

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ ФИЗИКИ ВЫСОКИХ ДАВЛЕНИЙ ИМ. Л.Ф. ВЕРЕЩАГИНА  
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК (ИФВД РАН)**

ПРИНЯТО

На Ученом совете ИФВД РАН  
Протокол № 6 от 30.11.2020



**ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА  
ПО ДИСЦИПЛИНЕ**

**«Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях»**  
*наименование*

Направление подготовки	<b>03.06.01 Физика и астрономия</b>
Направленность (профиль)	<b>«Физика конденсированного состояния» (01.04.07)</b>
ООП	
Квалификация	<b>«Исследователь. Преподаватель-исследователь»</b>
Форма обучения	<b>очная</b>
Год приема	<b>2020</b>

Программа кандидатского экзамена по дисциплине «Физика конденсированного состояния в экстремальных условиях» разработана на основании следующих нормативных документов:

- Федеральный государственный образовательный стандарт высшего образования, утвержденный приказом Министерства образования и науки Российской Федерации от «30» июля 2014 г № 876. по направлению подготовки 03.06.01 «Физика и астрономия», с изменениями и дополнениями от 30 апреля 2015 г;

- Программа кандидатского минимума и паспорт научной специальности 01.04.07 — Физика конденсированного состояния, разработанный экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства в связи с утверждением приказа Министерства образования и науки Российской Федерации от «23» октября 2017 г. № 1027 «Об утверждении Номенклатуры научных специальностей, по которым присуждаются ученые степени».

Составитель: д.ф-м.н. Рыжов В.Н.

## **1. ВВЕДЕНИЕ**

В основу настоящей программы положены основные разделы физики конденсированного состояния, касающиеся основных физических проблем данной области. Программа разработана экспертным советом по физике Высшей аттестационной комиссии при участии Московского государственного университета им. М.В. Ломоносова, Института физики металлов УРО РАН, ФИАН им. П.Н. Лебедева и Института металлургии им. Байкова РАН (программа утверждена приказом Минобрнауки Российской Федерации М 274 от 08.10.2007 г.).

## **2. ОСНОВНАЯ ПРОГРАММА**

### **Тема 1. Структура твердых тел**

1. Кристаллические и аморфные тела. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решётка Браве. Точечные и пространственные группы. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Брэгга. Обратная решётка. Индексы Миллера. Зона Бриллюэна.

2. Дефекты в кристаллах. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Границы зерен. Источник Франка-Рида. Влияние радиационных, механических, термических воздействий на реальную структуру твердых тел.

3. Тип химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов. Плотнейшие упаковки.

### **Тема 2. Энергетический спектр кристаллов**

1. Описание энергетического состояния кристаллов при помощи газа квазичастиц. Примеры квазичастиц: фононы, магноны, экситоны, плазмоны и другие. Электроны в металле как квазичастицы, квазиимпульс. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний. Статистика газа квазичастиц. Бозоны и фермионы. Взаимодействие квазичастиц.

2. Колебания решётки – фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоёмкость решётки. Дебаевская частота. Фактор Дебая-Уоллера в рассеянии рентгеновских лучей. Ангармонизм и тепловое расширение.

3. Электронные состояния в кристаллах. Приближение сильной и слабой связи. Зонная схема и типы твердых тел. Вырожденный электронный газ. Электронная теплоёмкость, поверхности Ферми. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках.

### **Тема 3. Кинетические явления**

1. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах. Электрон-фононные взаимодействия. Нормальные процессы и процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.

2. Металлы с большой длиной свободного пробега электронов. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты. Проникновение электромагнитного поля в металл. Квантование орбит в магнитном поле. Эффект де-Гааза-ван-Альфена.

3. Полупроводники. Электронная структура типичных полупроводников. Германий. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы.

Температурная зависимость проводимости. p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей. Горячие носители.

#### **Тема 4. Механические, оптические и магнитные свойства твердых тел**

1. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.

2. Механизм поглощения фотонов. Поглощение свободными носителями. Решеточное поглощение. Многофотонные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора. Междузонные прямые и не прямые переходы. Экситоны. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безызлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

3. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейса. Обменное взаимодействие. Ферромагнитные домены. Энергия анизотропии. Доменная стенка. Антиферромагнетики. Ферриты.

#### **Тема 5. Диэлектрики**

Эффективное поле. Электронная, ионная и дипольная поляризация. Электрострикция и пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис. Молекулярные кристаллы.

#### **Тема 6. Термодинамика и фазовые переходы**

Равновесие фаз. Фазовые переходы I и II рода. Теория фазовых переходов Ландау. Флуктуации, твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия. Кинетика фазовых превращений. Диффузионные и бездиффузионные превращения.

#### **Тема 7. Сверхпроводимость**

Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффекты Джозефсона.

#### **Тема 8. Экспериментальные методы физики твердого тела**

Рентгенография: методы исследования идеальной и реальной структуры. Электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров. Эффект Мессбауэра. ЭПР. ЯМР. Спектроскопия твердых тел (Раман, ИК, Бриллюэновское 5 рассеяние и др.) Электрические и гальваномагнитные измерения как методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.

#### **Тема 9. Физика наноструктур**

Определение наноструктур, особенности их физических характеристик. Размерное квантование, электронные и колебательные спектры наноструктур. Металлические кластеры. Фуллерены и нанотрубки. Графен. Полупроводниковые низкоразмерные структуры. Гетеропереходы и квантовые ямы.

#### **Тема 10. Физика жидкостей и стекол**

Структура жидкостей и стекол. Жидкие кристаллы. Статический и динамический структурный фактор. Вязкость жидкостей. Стеклование. Электронные и решеточные возбуждения в неупорядоченных средах. Локализация.

### **Тема 11. Геофизика высоких давлений**

Геофизика и геохимия высоких давлений. Давление, температура, состав внутри Земли и планет Солнечной системы. Петрология и физические свойства мантии Земли. Внешнее и внутреннее ядро. Мантийные плюмы, конвекция, миграция вещества в недрах Земли и планет. Уравнения состояния геоматериалов и сейсмические волны.

## **3. ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ПРОГРАММА**

### **Тема 1. «Поверхностно-чувствительные и спектрально-селективные рентгеновские методы анализа»**

Рентгеновское, синхротронное излучение получение и свойства. Лазеры на свободных электронах (FEL) — получение и свойства. Теоретические основы дифракции и рассеяния рентгеновского излучения. Устройства коллимации и монохроматизации рентгеновского излучения, типы детекторов. Методы регистрации ионизирующих излучений. Экспериментальная база структурных исследований лабораторные дифрактометры, синхротронные и FEL станции.

Двух и трехкристальные схемы. Угловая и спектральная расходимость. Коллимация и монохроматизация рентгеновского пучка. Однокристалльный и многокристалльный монохроматор. Параллельная, непараллельная и антипараллельная геометрия.

Двукристалльная кривая дифракционного отражения (КДО). Трехкристалльная КДО. Многоволновая КДО.

Рентгеноакустика. Классификация рентгеноакустических взаимодействий. Особенности коротковолнового, средневолнового, длинноволнового диапазона взаимодействий. Типы деформаций, рентгеноакустические резонаторы. Свойства рентгеноакустических резонаторов. Управление параметрами рентгеновского излучения: интенсивность, длина волны, угол. Стробоскопическая техника и методы регистрации.

Вторичные процессы при взаимодействии рентгеновского излучения с веществом, Характеристический спектр атомов. Рентгенофлуоресцентный анализ.

Отражение, преломление и поглощение рентгеновского излучения, явление полного внешнего отражения. Условия формирования волнового поля стоячей рентгеновской волны в области полного внешнего отражения и в условиях брегговской дифракции. Схема экспериментальной реализации метода стоячих рентгеновских волн. Возможности применения метода стоячих рентгеновских волн.

## **Тема 2. «Механические свойства кристаллов»**

Классы точечной симметрии кристаллов. Электрострикция и магнитострикция. Линеаризованный пьезомагнетизм. Динамическое уравнение упругости с учетом вязкости среды. Механический вектор Пойтинга.

Особые направления в кристаллах: акустические оси, поперечные и продольные нормали. Особая объемная волна. Уравнение Кристоффеля. Фазовые скорости и векторы поляризации собственных упругих волн. Групповая и лучевая скорости волн. Волны Стоунли, Лява и Лэмба. Физические явления в акустике, целиком обусловленные анизотропией кристаллов: коническая рефракция волн, концентрирование энергии, фононная фокусировка.

Поверхностные волны в чисто упругих средах. Формализм Стро. Теорема существования и единственности Барнетта-Лоте. Квазиобъемные волны. Соотношение между фазовой, групповой и лучевой скоростями. Поверхностные волны в пьезоэлектриках. Обобщение формализма Стро и теории Лоте-барнетта.

Перемещение точечных дефектов по кристаллу. Различия краевой, винтовой и смешанной дислокации. Дислокационное скопление, дислокационная стенка. Дислокационная модель дисклинации. Частичные дислокации. Дефект упаковки. Пластическая деформация двойникованием.

Релаксация напряжений в кристаллах. Скольжение дислокации. Переползание дислокации. Динамическое торможение дислокаций. Экспериментальное изучение динамики дислокаций.

Особенности высокотемпературной деформации кристаллов. Измерение микро- и нанотвердость кристаллов. Механизмы бездислокационной пластичности, их реализация в кристаллах.

## **Тема 3. «Методы электронной микроскопии для визуализации и анализа структуры микро- и наносистем»**

Преимущества использования ПЭМ, по сравнению с другими методиками исследования. Радиационные повреждения образцов в ПЭМ. Полупроводниковые детекторы, сцинтилляторы-ФЭУ и их преимущества и недостатки. Получение изображений кристаллической решетки. Картины Муара.

Электронная томография. Энергодисперсионный спектрометр. Волновой спектрометр. Принципы работы растрового микроскопа. Системы растрового микроскопа.

Устройство ионных источников ФИП. Применение ФИП в исследованиях материалов.

## **Тема 4. «Ядерные резонансные методы исследования конденсированного состояния»**

Особенности резонансных методов исследования конденсированного состояния. Квадрупольное взаимодействие. Определение резонансной частоты колебательного контура. Метод Ядерного магнитного резонанса. Мёсбауэровская спектроскопия.

Комплекс программ для анализа мессбауэровских спектров на ЭВМ. Возможности и ограничения программы Univem.

Особенности регистрируемых мессбауэровских спектров наночастиц оксидов железа.

## **Тема 5. «Органические и биоорганические материалы: получение, структура и свойства»**

Типы и принципы формирования органических капсул и упорядоченных пленок. Молекулярная организация и свойства биологических мембран. Физико-химические свойства белковых растворов. Получение органических и биоорганических материалов и систем

Способы создания полимерных капсул. Методы получения упорядоченных органических пленок. Основные методы кристаллизации белков. Кристаллизация белков методом диффузии паров растворителя в вискозной капле. Кристаллизация белков методом встречной диффузии. Свойства белковых кристаллов.

Методы исследования устойчивости органических, биоорганических и гибридных систем

Оптические, рентгеновские и электронографические методы структурной диагностики.

Особенности организации органических пленок на поверхности жидкости. Белки, их строение, свойства, функции. Для чего необходимо знать трехмерные структуры белков.

Основные этапы исследования пространственной структуры белков методом рентгеноструктурного анализа. Методы исследования функциональных свойств фоточувствительных органических систем.

Комплексы программ для решения задач белковой кристаллографии на ЭВМ. Возможности программ Mosfilm, Phaser, Refmac, Coot, PyMol.

## **Тема 6. «Актуальные проблемы физики сегнетоэлектричества»**

Тензорное описание свойств, тензоры четных и нечетных рангов; пьезоэлектрический эффект и электрострикция. Спонтанная поляризация, обращение спонтанной поляризации (сегнетоэлектричество). Принцип Неймана - Кюри.

Свободная энергия Гиббса, уравнения состояния с учетом нелинейных членов. Термодинамический потенциал Ландау-Гинзбурга. Вид ЛГД потенциала для фазовых переходов I и II рода. Диэлектрический P-E гистерезис. Закон Кюри-Вейсса. Электрофизические методы исследования сегнетоэлектрических свойств и фазовых переходов.

Переполяризация реального сегнетоэлектрического кристалла. Активационная модель переключения: механизм нуклеации, критический размер зародыша, механизм бокового движения доменной стенки. Поля смещения, обратное переключение. Связь формы доменов с симметрией кристалла. Методы исследования статики и динамики доменов: токи переключения; поверхностные (химическое травление, декорирование, АСМ и РЭМ) и объемные (оптические, нелинейно-оптические) методы.

Тензоры линейного и квадратичного электрооптического эффекта для кристаллов низших сингоний. Оптическая индикатриса, ее изменение при приложении поля в одноосных кристаллах. Связь электрооптических коэффициентов со спонтанной поляризацией в сегнетоэлектриках. Нелинейная поляризация. Условие фазового синхронизма. Условие фазового квазисинхронизма. Микродоменная структура как эффективная нелинейная среда, нелинейные фотонные кристаллы.

Размерные эффекты в сегнетоэлектриках. Изменение сегнетоэлектрических свойств в наноразмерных сегнетоэлектриках (ультратонких пленках, нанокристаллах). Термодинамическое коэрцитивное поле, пороговое переключение. Нанодомены (полярные кластеры). Проводимость и фотовольтаический эффект на доменных границах

Принцип сегнетоэлектрической памяти, устройства типа FeRAM. Электрооптические модуляторы: принцип фазовой модуляции, продольный и поперечный электрооптический эффекты, полуволновое напряжение. Природа волноводного эффекта; методы получения оптических волноводов. Регулярные микродоменные структуры для преобразования частоты и пространственной модуляции лазерного излучения.

## **Тема 7. «Основы физики и применение жидких кристаллов»**

Симметрия кристаллов и их наблюдаемые свойства. Принципы Неймана и Кюри. Фазовые переходы в жидкокристаллических средах. Переходы первого и второго рода в жидких кристаллах.

Свободная энергия и уравнения Эйлера-Лагранжа для нематиков.

Теория Майера-Заупе.

Времена релаксации поля директора в нематических ЖК. Положительная и отрицательная диэлектрическая анизотропия. Двухчастотные ЖК. Главные показатели преломления ЖК и оптическая задержка. Фотонные свойства хиральных ЖК.

Методы измерения толщин жидкокристаллических слоев. Емкостной способ измерения коэффициентов упругости. Использование рефрактометра Аббе для измерения главных показателей преломления.

Оптика однородно ориентированных слоев ЖК. Модуляция оптической задержки с помощью электрического поля.

Оптические свойства холестерических жидких кристаллов. Понятие фотонной зоны. Дисперсионные соотношения и поляризационные свойства хиральных ЖК с геликоидальным распределением поля директора.

Оптические элементы жидкокристаллических дисплеев (ЖКД). Способы формирования электрического поля в ЖКД. Типы электрооптических эффектов, используемых в ЖКД.

## **Тема 8. «Рентгеновские методы исследования не полностью упорядоченных систем»**

Диапазон рентгеновских длин волн и энергий. Отличительные особенности рентгеновского излучения. Основные виды взаимодействия рентгеновского излучения с веществом. Основные методы рентгеновских исследований.

Виды источников рентгеновского излучения. Принцип работы рентгеновской трубки. Принцип работы синхротронного источника. Принцип работы сцинтилляционного детектора.

Преимущества и недостатки рентгеновского рассеяния перед атомно-силовой микроскопией. Сущность **PSD-функции** и её связь с рельефом поверхности. Сущность эффекта Ионеды (аномальное рассеяние).

Сущность типов томографии (РКТ, МРТ и др.), их сходства и различия. Недостатки обычной рентгенографии. Закон Бэра.

Метод преобразования Фурье решения уравнения Радона на основе теоремы о слое, Метод свёртки и обратных проекции решения уравнения Радона на основе теоремы о слое,

Отличие рассеяния на монокристаллах от рассеяния на неупорядоченных или частично упорядоченных структурах, Информативность данных малоуглового рассеяния, применение теоремы Котельникова-Шеннона. Достоинства и ограничения метода малоуглового рассеяния. Основные особенности конструкции малоугловых дифрактометров.

Преимущества и недостатки используемых в дифракционных экспериментах источников излучения, рентгеновских и нейтронных.



## **Тема 9. «Когерентное взаимодействие ультракоротких рентгеновских импульсов с веществом»**

Современные экспериментальные методики для импульсных источников рентгеновского излучения (ритр — probe, imaging).

Детекторы и методы обработки данных эксперимента с РЛСЭ (рентгеновскими лазерами на свободных электронах).

Общее описание станций РЛСЭ для жесткого и мягкого рентгена. Рентгеновская оптика для сверхярких импульсных источников.

## **Тема 10. «Рост кристаллов»**

Движущая сила кристаллизации. Критерий Джексона. Кинетика дислокационного роста и двумерного образования зародышей. Методы кристаллизации из растворов, расплавов, паровой фазы, Методы эпитаксии.

Образование дислокаций при росте кристаллов из растворов и расплава. Захват примесей: механизмы релаксации кристалла. Зонарное и секториальное строение кристалла. Механизмы захвата включений различной природы.

Уравнение конвективной диффузии. Конвекция Марангони.

Свойства диаграмм Скрейнмакерса. Критерий объемно-дефицитного и объемно-избыточного замещения. Причины, определяющие зонарность смешанных кристаллов.

## **Тема 11. «Рост, структура и современные методы исследования поверхности тонких пленок»**

Методы роста тонких пленок. Технология молекулярно-лучевой эпитаксии, Основные узлы установки для проведения молекулярно-лучевой эпитаксии.

Механизм послойного роста (Франка—ван дер Мерве). Механизм островкового роста (Вольмера—Вебера). Механизм Странского - Крастанова.

Построение модели роста.

Основы метода дифракция быстрых электронов на отражение.

Слежение в реальном времени за следующими параметрами роста: чистота поверхности; температура образца; ориентация подложки; скорость роста.

Основы метода СЗМ. Контактная и полуконтактная СЗМ.

Методика фазового контраста. Применение методики фазового контраста для идентификации фаз.

## **Тема 12. «Современные методы моделирования структуры и свойств неорганических и органических материалов»**

Симметрия кристаллов и их наблюдаемые свойства. Принципы Неймана и Кюри. Фазовые переходы в кристаллических средах. Переходы первого и второго рода в жидких кристаллах.

Кинематическая и динамическая теория дифракции, пределы применимости. Двухволновое и многоволновое приближения. Сходство и различие поляризационных явлений для фотонов и нейтронов.

Классификация дефектов кристаллической решетки, полные и частичные дислокации. Дислокации: контур и вектор Бюргерса. Взаимодействие дислокаций с примесями. Упругое взаимодействие дислокаций и его связь с пластичностью кристаллов, дислокационные реакции, диссоциация дислокаций

Вариационный принцип Хоэнберга-Кона. Принципы построения нормосохраняющих потенциалов в теории функционала плотности

Механизм формирования оптических свойств конденсированных сред.

Принципы теории локального поля. Оптические свойства композитов на основе наноразмерных металлических частиц и структур.

Функциональные свойства метаматериалов и субволновых решеток.

Квазистатистическое приближение для наноразмерных частиц

Эпсилон-метод и задача на собственные значения интегрального оператора. Программирование в среде Matlab.

Нетрадиционные магнетики, мультиферроники. Магнитная анизотропия кристаллов, магнитные явления, связанные с взаимодействием Дзялошинского-Мории. Пространственно неоднородные магнитные структуры: периодические и аperiodические.

#### **4. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

##### **а) Вопросы к экзамену:**

1. Экспериментальные свидетельства и следствия существования кристаллической решетки. Связь физических свойств с составом, атомной структурой и симметрией кристаллов.

2. Трансляционная симметрия. Элементарная ячейка. Решётка Браве. Точечные и пространственные группы.

3. Особенности распространения волн в периодических структурах. Закон Брэгга. Обратная решётка. Зона Бриллюэна.

4. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии. Атомы внедрения. Комбинации атомных дефектов.

5. Краевые и винтовые дислокации. Вектор Бюргерса. Энергия дислокаций. Переполнение и скольжение. Размножение дислокаций.

6. Энергетический спектр кристаллов. Закон дисперсии. Теорема Блоха. Граничные условия. Плотность состояний.

7. Колебания решётки – фононы. Акустическая и оптическая ветви колебаний. Теплоёмкость решётки. Дебаевская и эйнштейновская частоты.

8. Кинетическое уравнение. Электро- и теплопроводность. Время релаксации. Механизмы рассеяния электронов. Рассеяние на примесях и дефектах.

9. Электрон-фононные взаимодействия. Нормальные процессы и процессы переброса. Магнитосопротивление и эффект Холла.

10. Аномальный скин-эффект. Циклотронный резонанс и размерные эффекты.

11. Тензор эффективных масс. Электроны и дырки. Циклотронная масса. Положение Ферми-уровня в невырожденных полупроводниках. Электронная структура типичных полупроводников. Узкозонные полупроводники. Примесные уровни. Доноры и акцепторы. Температурная зависимость проводимости.

12. p-n переходы. Фотопроводимость. Рекомбинация и релаксация неравновесных носителей.

13. Тензор упругих постоянных и упругая деформация. Пластичность кристаллов. Предел текучести. Упрочнение. Внутреннее трение.

14. Многофотонные процессы. Комбинационное рассеяние света в кристаллах. Поглощение связанными носителями. Правила отбора.

15. Экситоны. Времена жизни возбуждений, флюоресценция. Безизлучательные переходы. Квантовый выход люминесценции.

16. Диамагнетизм свободного электронного газа. Спиновый парамагнетизм. Закон Кюри. Ферромагнетизм. Молекулярное поле Вейса. Обменное взаимодействие.

17. Основные свойства сверхпроводников. Эффект Мейснера. Сверхпроводники I и II рода. Вихри и вихревые структуры.
18. Основы микроскопической теории. Куперовские пары. Энергетическая щель и квазичастицы в сверхпроводниках. Туннельный эффект. Эффекты Джозефсона.
19. Электрострикция и пьезоэлектричество. Сегнетоэлектрики. Электрический гистерезис.
20. Фазовые переходы I и II рода. Теория фазовых переходов Ландау. Флуктуации, твердые растворы и промежуточные фазы. Равновесие в многокомпонентных системах и правило фаз. Диаграммы равновесия.
21. Рентгенография, электронография и электронная микроскопия. Нейтронография: упругое и неупругое когерентное рассеяние, исследование магнитных структур и фононных спектров.
22. Точечные дефекты, их образование и диффузия. Вакансии и межузельные атомы. Дефекты Френкеля и Шоттки.
22. Эффект Мессбауэра. ЭПР. ЯМР. Электрические и гальваномагнитные методы изучения электронной структуры кристаллов и состава примесей в полупроводниках.
23. Тип химической связи. Структурные и физические особенности ионных, ковалентных, металлических и молекулярных кристаллов.
24. Определение наноструктур, особенности их физических характеристик. Размерное квантование, электронные и колебательные спектры наноструктур.
25. Металлические кластеры. Фуллерены и нанотрубки. Графен.
26. Полупроводниковые низкоразмерные структуры. Гетеропереходы и квантовые ямы. Сверхрешетки, квантовые нити, точки.
27. Структура жидкостей и стекол. Ближний и промежуточный порядок. Методы исследования структуры неупорядоченных сред.
28. Квазичастицы в неупорядоченных средах. Локализация возбуждений.
29. Физические свойства мантии Земли. Внешнее и внутреннее ядро.
30. Мантийные плюмы, конвекция, миграция вещества в недрах Земли и планет.
31. Линейные дефекты. Краевые и винтовые дислокации. Роль дислокаций в пластической деформации.
32. Распространение волн в кристаллах. Дифракция рентгеновских лучей, нейтронов и электронов в кристалле. Упругое и неупругое рассеяние, их особенности.
33. Брэгговские отражения. Атомный и структурный факторы. Дифракция в аморфных веществах.
34. Классическая теория теплоемкости. Закон равномерного распределения энергии по степеням свободы в классической физике. Границы справедливости классической теории.
35. Квантовая теория теплоемкости по Эйнштейну и Дебаю. Предельные случаи высоких и низких температур. Температура Дебая.
36. Тепловое расширение твердых тел. Его физическое происхождение. Ангармонические колебания. Теплопроводность решеточная и электронная. Закон Видемана — Франца для электронной теплоемкости и теплопроводности.
37. Магнитные свойства твердых тел. Намагниченность и восприимчивость. Диамагнетизм, парамагнетизм и ферромагнетизм. Законы Кюри и Кюри — Вейсса. Парамагнетизм и диамагнетизм электронов проводимости.
38. Антиферромагнетики. Магнитная структура. Точка Нееля. Восприимчивость антиферромагнетиков. Ферримагнетики. Магнитная структура ферримагнетиков. Спиновые волны, магноны.
39. Сверхпроводимость. Критическая температура. Высокотемпературные сверхпроводники. Эффект Мейснера. Критическое поле и критический ток. Сверхпроводники первого и второго рода. Их магнитные свойства. Вихри Абрикосова.
40. Глубина проникновения магнитного поля в образец. Эффект Джозефсона. Куперовское спаривание. Длина когерентности. Энергетическая щель.

## **б) Основная литература:**

1. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в химии: через алмаз к высокотемпературным сверхпроводникам. М.: ТЕХНОСФЕРА, 2019. – 168 с.
2. Булычёв Б.М., Ступников В.А. Высокие давления в твердофазном синтезе веществ и материалов. - Москва: Техносфера, 2018. - 157 с.
3. Зуев Л.Б. Автоволновая пластичность локализации и коллективные моды. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2018. – 208 с.
4. Физика конденсированного состояния, Учебное пособие. Байков Ю.А., Кузнецов В.М. Издательство Бином. Лаборатория знаний, 2019. — 293 с.
5. Павлов П. В., Хохлов А. Ф. «Физика твердого тела»: Учебник. Изд. 4-е. — М.: ЛЕНАНД, 2016. — 496 с.
6. Ландау Л.Д., Ахиезер А.И., Лифшиц Е.М. Курс общей физики. Механика и молекулярная физика. Добросвет. Издательство «КДУ». Москва, 2017.
7. Наука и жизнь: моя конвергенция. Избранные научные труды. М.В. Ковальчук. Москва, ИКЦ «Академкнига». Том 2. 2018 г.
8. Теоретическая физика. В 10-и томах. Том 5. Статистическая физика. В 2-х частях. Часть 1. Учебное пособие. Гриф МО РФ. Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2019. — 293 с.
9. Теоретическая физика. Учебное пособие. В 10-и томах. Том X: Статистическая физика, Часть 2: Теория конденсированного состояния. Гриф МО РФ Л.Д. Ландау, Е.М. Лифшиц. Издательство Физматлит, 2016 — 44 с.
10. Дифракционный структурный анализ. А.С. Илюшин, А.П. Орешко. М.: физический факультет МГУ, Издательский дом «Крепостновъ», 2017 — 616 с.
11. Фокусировка фононов и фононный транспорт в монокристаллических наноструктурах / И. Г. Кулеев, И. И. Кулеев, С. М. Бахарев, В. В. Устинов. - Екатеринбург: ИФМ УрО РАН, 2018. - 254 с
12. Хельтзе Х.-Д. Молекулярное моделирование: теория и практика / Х.-Д. Хельтзе, В. Зиппель, Д. Роньян, Г. Фолькерс. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2019. — 318 с.

## **в) Дополнительная литература:**

1. Безуглов Н. Н. Проявления «динамического хаоса» в реакциях с участием ридберговских состояний. Изд-во Санкт-Петербургского ун-та, сор. 2017. - 111 с.
2. Блинов Л. М. Жидкие кристаллы Структура и свойства Издательство Либроком, 2016. - 484 с.
3. Вайнштейн Б. К. Кристаллография и жизнь. Москва: Физматлит. 2017 г.
4. Кристаллология. Основные представления о кристаллах, кристаллических веществах и методах их изучения. Задачи по геометрической кристаллографии и анализ их решений. Завьялов Е.Н. Издательство Книжный дом «Университет» (КДУ), 2016 — 314 с.
5. Ремпель А. А. Нестехиометрия в твердом теле. - Москва: Физматлит, 2018. - 636 с.
6. Стишов С. М. Фазовые переходы для начинающих. Институт физики высоких давлений РАН. - Изд. 2-е. - Троицк: Тривант, 2017. – 105 с.
7. Теоретические методы описания критических свойств ультратонких плёнок / Прудников В.В., Прудников П.В., Мамонова М.В., Медведева М.А.: Монография. — Омск: Изд-во Ом. гос. ун-та, 2016. — 138 с.

8. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып. 1, 2: Современная наука о природе. Законы механики. Пространство. Время. Движение: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. изд. 11-е. - М.: УРСС: книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2018. – 448 с.

9. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Вып.3: Излучение. Волны. Кванты: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. Я.А. Смородинского. Изд. 10-е. — М.: УРСС: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. — 256 с.

10. Фейнман Ричард Ф., Лейтон Роберт Б., Сэндс Мэтью Фейнмановские лекции по физике: Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 14: Учебное пособие. Пер. с англ./Под ред. и с предисл. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2019. – 280 с.; Задачи и упражнения с ответами и решениями к вып. 5-9: Учебное пособие. Пер. с англ. Под ред. А.П. Леванюка. Изд. 9-е. — М.: Книжный дом «ЛИБРОКОМ», 2020. – 272 с.

**г) Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимый для освоения дисциплины**

<b>Ресурс</b>	<b>Описание ресурса</b>
<a href="http://Institute for High Pressure Physics (troitsk.ru)">http://Institute for High Pressure Physics (troitsk.ru)</a>	Библиотека ИФВД РАН - Электронный доступ к журналам для сотрудников ИФВД РАН
<a href="http://vak.ed.gov.ru/">http://vak.ed.gov.ru/</a>	Сайт ВАК
<a href="http://elibrary.ru">http://elibrary.ru</a>	ЭБС «Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU» содержит базы данных полнотекстовых российских журналов раз
<a href="http://diss.rsl.ru">http://diss.rsl.ru</a>	База данных «Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки»
<a href="http://biblioclub.ru">http://biblioclub.ru</a> ЭБС	ЭБС «Университетская библиотека онлайн» специализируется на учебных материалах для вузов, обеспечивает доступ к наиболее востребованным материалам – первоисточникам, учебной и научной литературе ведущих издательств.