

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования "Пермский  
государственный национальный исследовательский  
университет"**

**Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники**

**Авторы-составители: Волынцев Анатолий Борисович  
Спивак Лев Волькович**

Рабочая программа дисциплины  
**ФИЗИКА РЕАЛЬНОГО КРИСТАЛЛА**  
Код УМК 63721

Утверждено  
Протокол №9  
от «13» мая 2020 г.

Пермь, 2020

## **1. Наименование дисциплины**

Физика реального кристалла

## **2. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина входит в обязательную часть Блока « Б.1 » образовательной программы по направлениям подготовки (специальностям):

Направление: **28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника  
направленность Материалы микро- и наносистемной техники

### **3. Планируемые результаты обучения по дисциплине**

В результате освоения дисциплины **Физика реального кристалла** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

**28.03.01** Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность : Материалы микро- и наносистемной техники)

**ПК.1** Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов

#### **Индикаторы**

**ПК.1.1** Использует структурные и физико-химические принципы, определяющие строение реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне

#### 4. Объем и содержание дисциплины

<b>Направления подготовки</b>	28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники)
<b>форма обучения</b>	очная
<b>№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины</b>	9
<b>Объем дисциплины (з.е.)</b>	3
<b>Объем дисциплины (ак.час.)</b>	108
<b>Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:</b>	42
<b>Проведение лекционных занятий</b>	28
<b>Проведение практических занятий, семинаров</b>	14
<b>Самостоятельная работа (ак.час.)</b>	66
<b>Формы текущего контроля</b>	Защищаемое контрольное мероприятие (3)
<b>Формы промежуточной аттестации</b>	Зачет (9 триместр)

## **5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины**

### **Физика реального кристалла. Первый семестр**

#### **1. Термодинамика конденсированных систем.**

##### **1. Основные термодинамические понятия в физике реального кристалла**

Первый и второй законы термодинамики. Дифференциал функции состояния. Энтропия. Дополнительные термодинамические функции. Измерение энтальпии. Измерение энтропии. Термодинамическое равновесие и фазовые превращения в твердом состоянии. Энтропия смешения. Термодинамические потенциалы и условия равновесия. Фазовое равновесие в одно- и многокомпонентной системе.

##### **2. Получение твердых тел**

Получение твердых тел. Конденсированные системы. Природа и структура расплавленных металлов. Функция распределения. Атомное распределение при  $0\text{K}$ , при  $T > 0$ , в жидкости. Сиботаксические группы. Жидкие кристаллы. Кристаллизация. Теория кристаллизации Таммана. Расчет кинетики кристаллизации жидкости Колмогорова - Миркина. Приведенная скорость кристаллизации и число кристалликов в сплаве. Общая теория образования фаз Гиббса. Критический зародыш и параметры его определяющие. Влияние размера частиц на упругость пара над ее поверхностью (уравнение Томсона (Кельвина)). Критическая величина зародыша капли при конденсации пара. Флуктуация и вероятность термодинамического процесса. Влияние готовых поверхностей раздела на образование фаз. Принцип Конобеевского. Рост кристаллов. Двумерный зародыш. Число центров кристаллизации и линейная скорость роста кристаллов. Кристаллизация двухфазных сплавов и эвтектик. Уравнение Пуассона. Метастабильные состояния. Диаграммы состояний.

##### **3. Самодиффузия и диффузия**

Основные понятия и определения диффузии. Первый закон Фика. Второй закон Фика. Диффузия из бесконечно тонкого слоя. Диффузия из слоя конечной толщины. Диффузия из полубесконечного пространства. Самодиффузия. Механизмы диффузии. Факторы, влияющие на диффузию. Эффект Киркендалла. Анализ Даркена. Диффузия в поле напряжений. Диффузия в температурном поле. Влияние температуры на коэффициент диффузии.

##### **4. Твердые растворы**

Типы твердых растворов. Взаимная растворимость металлов. Анализ уравнения Б.Я. Пинеса. Упорядочение атомно-кристаллической структуры. Упорядоченные твердые растворы. Теория дальнего порядка Сверхструктуры. Типы неупорядоченности и кинетические особенности упорядочения. Термодинамика процессов упорядочения. Теория Брэгга-Вилльямса. Энергия связи в приближении парного взаимодействия. Ближний и дальний порядок при упорядочении. Теория дальнего порядка.

##### **5. Интерметаллиды**

Дальтони́ды и бертолиды. Сигма фазы. Электронные соединения. Фазы Лавеса. Фазы внедрения.

#### **2. Фазовые переходы в конденсированных системах.**

##### **1. Общие закономерности фазовых превращений в твердом состоянии**

Классификация фазовых переходов. Многообразие фазовых переходов. Бездиффузионные и диффузионные фазовые превращения. Стабильность фаз и механизм фазовых превращений в твердом состоянии. Фазовые превращения первого рода. Фазовые превращения второго рода. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Роль энергии упругой деформации и межфазной поверхностной энергии. Когерентные и некогерентные границы. Габитусная и инвариантные плоскости. Соотношение между упругой и поверхностной энергиями плоского зародыша. Модулированные структуры и упругие

концентрационные домены. Полидомены и упругое взаимодействие кристаллов новой фазы. Термоупругое мартенситное превращение. Нормальное превращение Мартенситное превращение. Сравнение с нормальным превращением. Массивные превращения

## **2. Термодинамика процессов распада пересыщенных твердых растворов**

Классификация фазовых переходов. Многообразие фазовых переходов. Бездиффузионные и диффузионные фазовые превращения. Стабильность фаз и механизм фазовых превращений в твердом состоянии. Фазовые превращения первого рода. Фазовые превращения второго рода. Гомогенное и гетерогенное зарождение. Роль энергии упругой деформации и межфазной поверхностной энергии. Когерентные и некогерентные границы. Габитусная и инвариантные плоскости. Соотношение между упругой и поверхностной энергиями плоского зародыша. Модулированные структуры и упругие концентрационные домены. Полидомены и упругое взаимодействие кристаллов новой фазы. Термоупругое мартенситное превращение. Нормальное превращение Мартенситное превращение. Сравнение с нормальным превращением. Массивные превращения

## **3. Бездиффузионные фазовые превращения**

Мартенситные и массивные превращения. Нормальные превращения. Термоупругие и нетермоупругие мартенситные превращения. Механические эффекты в неупругих мартенситных превращениях. Химическая и механическая движущая сила. Критическое напряжение. Эффект пластичности превращения. Механические эффекты в термоупругих мартенситных превращениях. Эффект памяти формы. Псевдоупругие эффекты. Эффект деформации ориентированного превращения.

## **4. Металлические стекла**

Кинетический и структурный критерии. Структура металлических стекол. Стеклование, свободный объем. Аморфизация. Релаксация. Диффузия. Кристаллизация металлических стекол. Пластическая деформация и разрушение.

## **3. Структура реальных твердых тел**

### **1. Идеальный и реальный кристаллы.**

Идеальный и реальный кристаллы. Классификация дефектов кристаллического строения.

### **2. Точечные дефекты и кластеры.**

Виды точечных дефектов, термодинамика точечных дефектов, миграция точечных дефектов, их источники и стоки, комплексы точечных дефектов, методы определения их концентрации. Влияние точечных дефектов на протекание процессов диффузии и фазовых превращений в сплавах. Комплексы точечных дефектов.

### **3. Прочность и пластичность кристалла.**

Оценка теоретической прочности кристаллов и ее сравнение с реальной прочностью. Континуальная теория дислокаций. Краевая и винтовая дислокации, их скольжение, переползание краевой дислокации, поперечное скольжение винтовой дислокации, смешанные дислокации, призматические дислокации, вектор Бюргерса, плотность дислокаций.

### **4. Упругие свойства дислокаций.**

Энергия дислокаций, силы, действующие на дислокацию, упругое взаимодействие дислокаций.

### **5. Дислокации в типичных кристаллических структурах.**

Полные и частичные дислокации, плотнейшие упаковки и дефекты упаковки, характерные полные дислокации, частичные дислокации Шокли, растянутые дислокации, частичные дислокации Франка,

стандартный тетраэдр Томсона и дислокационные реакции в ГЦК решетке, дислокационные реакции в ГЦК и ГПУ решетках, поперечное скольжение и переползание растянутых дислокаций, дислокации в упорядоченных сплавах.

#### **6. Пересечение дислокаций.**

Пересечение единичных дислокаций, движение дислокаций с порогами, образование точечных дефектов при пластической деформации.

#### **7. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.**

Пересечение единичных дислокаций, движение дислокаций с порогами, образование точечных дефектов при пластической деформации.

#### **8. Образование и размножение дислокаций.**

Происхождение дислокаций, дислокационные сетки, размножение дислокаций по механизмам Франка-Рида и Орована.

#### **9. Границы зерен и субзерен.**

Малоугловые границы, высокоугловые границы, границы наклона и кручения, специальные и произвольные границы, зернограничные дислокации.

#### **10. Торможение дислокаций**

Силы (барьеры) Пайерлса, торможение дислокаций при их упругом взаимодействии и пересечении с другими дислокациями, торможение дислокаций примесными атомами, понятие активационного объема, термически активируемое и атермическое преодоление препятствий, торможение дислокаций атмосферами Коттрелла, Сузуки и Снука, торможение дислокаций дисперсными частицами, торможение дислокаций границами зерен и субзерен, торможение дислокаций дисперсными частицами, особенности движения дислокаций в упорядоченных твердых растворах, торможение дислокаций при их высокоскоростном движении: торможение на фононах и электронах, радиационное торможение, флаттер-эффект, роль эффективной массы дислокаций при их высокоскоростном движении.

#### **11. Методы выявления дислокаций и их следов.**

Линии и полосы скольжения, метод ямок травления, метод реплик, декорирование дислокаций, метод дифракционного контраста, реализуемый с помощью просвечивающей электронной микроскопии.

#### **12. Дислокации.**

Обобщенное рассмотрение дислокаций Сомилианы, трансляционных дислокаций Вольтерра и дисклинаций в непрерывной упругой среде, клиновые дисклинации и дисклинации кручения, энергия клиновой дисклинации, комплексы дисклинаций и их упругая энергия, дисклинации в кристаллической решетке, механизмы перемещения дисклинаций, псевдокристаллы.

## **6. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины**

Освоение дисциплины требует систематического изучения всех тем в той последовательности, в какой они указаны в рабочей программе.

Основными видами учебной работы являются аудиторские занятия. Их цель - расширить базовые знания обучающихся по осваиваемой дисциплине и систему теоретических ориентиров для последующего более глубокого освоения программного материала в ходе самостоятельной работы. Обучающемуся важно помнить, что контактная работа с преподавателем эффективно помогает ему овладеть программным материалом благодаря расстановке необходимых акцентов и удержанию внимания интонационными модуляциями голоса, а также подключением аудио-визуального механизма восприятия информации.

Самостоятельная работа преследует следующие цели:

- закрепление и совершенствование теоретических знаний, полученных на лекционных занятиях;
- формирование навыков подготовки текстовой составляющей информации учебного и научного назначения для размещения в различных информационных системах;
- совершенствование навыков поиска научных публикаций и образовательных ресурсов, размещенных в сети Интернет;
- самоконтроль освоения программного материала.

Обучающемуся необходимо помнить, что результаты самостоятельной работы контролируются преподавателем во время проведения мероприятий текущего контроля и учитываются при промежуточной аттестации.

Обучающимся с ОВЗ и инвалидов предоставляется возможность выбора форм проведения мероприятий текущего контроля, альтернативных формам, предусмотренным рабочей программой дисциплины. Предусматривается возможность увеличения в пределах 1 академического часа времени, отводимого на выполнение контрольных мероприятий.

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

При проведении текущего контроля применяются оценочные средства, обеспечивающие передачу информации, от обучающегося к преподавателю, с учетом психофизиологических особенностей здоровья обучающихся.

## **7. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

При самостоятельной работе обучающимся следует использовать:

- конспекты лекций;
- литературу из перечня основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины (модуля);
- текст лекций на электронных носителях;
- ресурсы информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимые для освоения дисциплины;
- лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение из перечня информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине;
- методические указания для обучающихся по освоению дисциплины.



## 8. Перечень основной и дополнительной учебной литературы

### Основная:

1. Федотов, А. К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах : учебное пособие / А. К. Федотов. — Минск : Вышэйшая школа, 2012. — 446 с. — ISBN 978-985-06-2063-7. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/21754>
2. Федотов, А. К. Физическое материаловедение. Часть 1. Физика твердого тела : учебное пособие / А. К. Федотов. — Минск : Вышэйшая школа, 2010. — 400 с. — ISBN 978-985-06-1918-1. — Текст : электронный // Электронно-библиотечная система IPR BOOKS : [сайт]. <http://www.iprbookshop.ru/20161>

### Дополнительная:

1. Новиков И. И. Дефекты кристаллического строения металлов: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов"/И. И. Новиков.-Москва:Металлургия,1983.-232.-Библиогр.: с. 231-232
2. Уманский Я.С., Скаков Ю.А. Физика металлов: Атомное строение металлов и сплавов: учебник для высш. учеб. заведений по специальности "Физика металлов"/Я. С. Уманский, Ю. А. Скаков.- М.:Атомиздат,1978.-352.

## 9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.chem.msu.ru/rus/teaching/education-program/spec-inorg/2.html> реальная структура твердых тел

## 10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине

Образовательный процесс по дисциплине **Физика реального кристалла** предполагает использование следующего программного обеспечения и информационных справочных систем:

- презентационные материалы (слайды по темам лекционных и практических занятий);
- доступ в режиме on-line в Электронную библиотечную систему (ЭБС) ;
- доступ в электронную информационно-образовательную среду университета.

Перечень необходимого лицензионного и (или) свободно распространяемого программного обеспечения:

1. Операционная система "ALT Linux".
2. Приложение позволяющее просматривать и воспроизводить медиаконтент PDF-файлов «Adobe Acrobat Reader DC».
3. Программы, демонстрации видео материалов (проигрыватель)«WindowsMediaPlayer».
4. Программа просмотра интернет контента (браузер) «Google Chrome» или аналогичных.
5. Офисный пакет приложений «LibreOffice».

При освоении материала и выполнения заданий по дисциплине рекомендуется использование материалов, размещенных в Личных кабинетах обучающихся ЕТИС ПГНИУ (**student.psu.ru**).

При организации дистанционной работы и проведении занятий в режиме онлайн могут использоваться:

- система видеоконференцсвязи на основе платформы BigBlueButton (<https://bigbluebutton.org/>).
- система LMS Moodle (<http://e-learn.psu.ru/>), которая поддерживает возможность использования текстовых материалов и презентаций, аудио- и видеоконтент, а так же тесты, проверяемые задания, задания для совместной работы.
- система тестирования Indigo (<https://indigotech.ru/>).

## 11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине

Лекционные занятия проводятся в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Практические занятия проходят в аудитории, оснащенной презентационной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук) с соответствующим программным обеспечением, меловой или маркерной доской.

Групповые (индивидуальные) консультации проводятся в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

Текущий контроль осуществляется в аудитории, оснащенной меловой (и) или маркерной доской.

К помещениям для самостоятельной работы студентов относятся:

- Аудитория для самостоятельной работы, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспеченный доступом в электронную информационно-

образовательную среду университета.

- Помещения Научной библиотеки ПГНИУ.

Помещения научной библиотеки ПГНИУ для обеспечения самостоятельной работы обучающихся:

1. Научно-библиографический отдел, корп.1, ауд. 142. Оборудован 3 персональными компьютера с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

2. Читальный зал гуманитарной литературы, корп. 2, ауд. 418. Оборудован 7 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

3. Читальный зал естественной литературы, корп.6, ауд. 107а. Оборудован 5 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

4. Отдел иностранной литературы, корп.2 ауд. 207. Оборудован 1 персональным компьютером с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

5. Библиотека юридического факультета, корп.9, ауд. 4. Оборудована 11 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

6. Читальный зал географического факультета, корп.8, ауд. 419. Оборудован 6 персональными компьютерами с доступом к локальной и глобальной компьютерным сетям.

Все компьютеры, установленные в помещениях научной библиотеки, оснащены следующим программным обеспечением:

Операционная система ALT Linux;

Офисный пакет Libreoffice.

Справочно-правовая система «КонсультантПлюс»

**Фонды оценочных средств для аттестации по дисциплине  
Физика реального кристалла**

**Планируемые результаты обучения по дисциплине для формирования компетенции.  
Индикаторы и критерии их оценивания**

**ПК.1**

**Способен исследовать и контролировать структуру вещества на атомно-молекулярном уровне с помощью различных инструментальных методов**

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p><b>ПК.1.1</b> Использует структурные и физико-химические принципы, определяющие строение реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне</p>	<p>Знать:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- особенности фазовых превращений при фазовых переходах, при кристаллизации и фазовых превращениях в твердое состояние (диффузионное, кооперативные, нормальные и т.п.).</li> <li>- основные типы деформации кристаллических решеток, их взаимодействие между собой и их роли в физических и механических свойствах реальных кристаллических материалов.</li> <li>- термодинамику и кинетику процессов кристаллизации, фазовых переходов первого и второго родов в конденсированных средах.</li> <li>- процессы упорядочения и расслоения твердых растворов.</li> <li>- принципы организации и атомно-кристаллическую структуру интерметаллических соединений (дальтонида, бертоллиды).</li> </ul> <p>уметь различать по виду термодинамические функции фазовых превращений первого и второго рода.</p> <p>Уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать концентрацию точечных деформаций кристаллической решетки.</li> <li>- оценивать характеристики</li> </ul>	<p align="center"><b>Неудовлетворител</b></p> <p>Не знает особенности фазовых превращений при фазовых переходах, при кристаллизации и фазовых превращениях в твердое состояние (диффузионное, кооперативные, нормальные и т.п.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные типы деформации кристаллических решеток, их взаимодействие между собой и их роли в физических и механических свойствах реальных кристаллических материалов.</li> <li>- термодинамику и кинетику процессов кристаллизации, фазовых переходов первого и второго родов в конденсированных средах.</li> <li>- процессы упорядочения и расслоения твердых растворов.</li> <li>- принципы организации и атомно-кристаллическую структуру интерметаллических соединений (дальтонида, бертоллиды).</li> </ul> <p>Не умеет различать по виду термодинамические функции фазовых превращений первого и второго рода.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать концентрацию точечных деформаций кристаллической решетки.</li> <li>- оценивать характеристики дислокационных атмосфер и в целом устойчивости всей дефектной структуры.</li> </ul> <p>Демонстрирует отсутствие владения навыками расчета основных количественных параметров дефектной структуры и их прогнозы после различных видов термических, механических обработок и излучения.</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
	<p>дислокационных атмосфер и в целом устойчивости всей дефектной структуры.</p> <p>Владеть:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- навыками расчета основных количественных параметров дефектной структуры и их прогнозы после различных видов термических, механических обработок и излучения.</li> </ul>	<p style="text-align: center;"><b>Удовлетворительн</b></p> <p>Демонстрирует общие, но не структурированные знания об особенностях фазовых превращений при фазовых переходах, при кристаллизации и фазовых превращениях в твердое состояние (диффузионное, кооперативные, нормальные и т.п.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные типы деформации кристаллических решеток, их взаимодействие между собой и их роли в физических и механических свойствах реальных кристаллических материалов.</li> <li>- термодинамику и кинетику процессов кристаллизации, фазовых переходов первого и второго родов в конденсированных средах.</li> <li>- процессы упорядочения и расслоения твердых растворов.</li> <li>- принципы организации и атомно-кристаллическую структуру интерметаллических соединений (дальтонида, бертоллиды).</li> </ul> <p>Демонстрирует частично сформированную способность различать по виду термодинамических функций фазовые превращения первого и второго рода.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать концентрацию точечных деформаций кристаллической решетки.</li> <li>- оценивать характеристики дислокационных атмосфер и в целом устойчивости всей дефектной структуры.</li> </ul> <p>Демонстрирует не полное владение основными навыками расчета основных количественных параметров дефектной структуры и их прогнозы после различных видов термических, механических обработок и излучения.</p> <p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>Демонстрирует сформированные, но содержащие отдельные пробелы знания об особенностях фазовых превращений при фазовых переходах, при кристаллизации и фазовых превращениях в твердое состояние (диффузионное, кооперативные, нормальные</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Хорошо</b></p> <p>и т.п.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные типы деформации кристаллических решеток, их взаимодействие между собой и их роли в физических и механических свойствах реальных кристаллических материалов.</li> <li>- термодинамику и кинетику процессов кристаллизации, фазовых переходов первого и второго родов в конденсированных средах.</li> <li>- процессы упорядочения и расслоения твердых растворов.</li> <li>- принципы организации и атомно-кристаллическую структуру интерметаллических соединений (дальтонида, бертоллиды).</li> </ul> <p>Демонстрирует сформированную, но содержащую отдельные пробелы способность различать по виду термодинамических функций фазовые превращения первого и второго рода.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать концентрацию точечных деформаций кристаллической решетки.</li> <li>- оценивать характеристики дислокационных атмосфер и в целом устойчивости всей дефектной структуры.</li> </ul> <p>Демонстрирует сформированные, но содержащие отдельные пробелы навыки расчета основных количественных параметров дефектной структуры и их прогнозы после различных видов термических, механических обработок и излучения.</p> <p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>Демонстрирует сформированные систематические знания :</p> <p>об особенностях фазовых превращений при фазовых переходах, при кристаллизации и фазовых превращениях в твердое состояние (диффузионное, кооперативные, нормальные и т.п.).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- основные типы деформации кристаллических решеток, их взаимодействие между собой и их роли в</li> </ul>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;"><b>Отлично</b></p> <p>физических и механических свойствах реальных кристаллических материалов.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- термодинамику и кинетику процессов кристаллизации, фазовых переходов первого и второго родов в конденсированных средах.</li> <li>- процессы упорядочения и расслоения твердых растворов.</li> <li>- принципы организации и атомно-кристаллическую структуру интерметаллических соединений (дальтонида, бертоллиды).</li> </ul> <p>Демонстрирует владение способностью различать по виду термодинамических функций фазовые превращения первого и второго рода.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- рассчитывать концентрацию точечных деформаций кристаллической решетки.</li> <li>- оценивать характеристики дислокационных атмосфер и в целом устойчивости всей дефектной структуры.</li> </ul> <p>Демонстрирует сформированные, навыки расчета основных количественных параметров дефектной структуры и их прогнозы после различных видов термических, механических обработок и излучения.</p>

## Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : СУОС

**Вид мероприятия промежуточной аттестации :** Зачет

**Способ проведения мероприятия промежуточной аттестации :** Оценка по дисциплине в рамках промежуточной аттестации определяется на основе баллов, набранных обучающимся на контрольных мероприятиях, проводимых в течение учебного периода.

**Максимальное количество баллов :** 100

### Конвертация баллов в отметки

«отлично» - от 81 до 100

«хорошо» - от 61 до 80

«удовлетворительно» - от 43 до 60

«неудовлетворительно» / «незачтено» менее 43 балла

Компетенция (индикатор)	Мероприятие текущего контроля	Контролируемые элементы результатов обучения
<b>ПК.1.1</b> Использует структурные и физико-химические принципы, определяющие строение реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	4. Твердые растворы <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Основные термодинамические понятия в физике реального кристалла. Получение твердых тел. Конденсация. Кристаллизация. Строение реальных кристаллов. Самодиффузия и диффузия. Гетеродиффузия. Эффект Киркендалла. Твердые растворы. Интерметаллиды.
<b>ПК.1.1</b> Использует структурные и физико-химические принципы, определяющие строение реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	4. Металлические стекла <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Общие закономерности фазовых превращений в твердом состоянии. Теория Гиббса. Критический зародыш. Скорость кристаллизации. Теория Колмогорова. Термодинамика процессов распада пересыщенных твердых растворов. Коллоидное равновесие. Спинодальный распад. Бездиффузионные фазовые превращения. Нормальное превращение. Мартенситное превращение. Массивное превращение. Металлические стекла. Термодинамика процессов стеклования.



<b>Компетенция (индикатор)</b>	<b>Мероприятие текущего контроля</b>	<b>Контролируемые элементы результатов обучения</b>
<b>ПК.1.1</b> Использует структурные и физико-химические принципы, определяющие строение реальных твердых тел на атомно-молекулярном уровне	7. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. <b>Защищаемое контрольное мероприятие</b>	Виды точечных дефектов, Прочность и пластичность кристаллов. Упругие свойства дислокаций. Дислокации в типичных кристаллических структурах. Пересечение дислокаций. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами. Образование и размножение дислокаций. Границы зерен и субзерен. Торможение дислокаций. Методы выявления дислокаций и их следов. Дисклинации

### **Спецификация мероприятий текущего контроля**

#### **4. Твердые растворы**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **.5 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **20**

Проходной балл: **9**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знания о получении твердых тел и конденсации, кристаллизации. Знания о строении реальных кристаллов.	6
Знания о твердых растворах. Знания о интерметаллидах.	5
Знания о самодиффузии и диффузии. Знания о гетеродиффузии. Эффект Киркендалла.	5
Знания об основных термодинамических понятиях в физике реального кристалла.	4

#### **4. Металлические стекла**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знания о бездиффузионных фазовых превращениях и нормальных превращениях. Знания о мартенситных превращениях. Массивное превращение.	13
Знания об общих закономерностях фазовых превращений в твердом состоянии. Знания теории Гиббса.	10
Знания термодинамики процессов распада пересыщенных твердых растворов. Знания о коллоидном равновесии и спиноидальном распаде.	10
Знания о металлических стеклах. Знания о термодинамике процессов стеклования.	7

#### **7. Взаимодействие дислокаций с точечными дефектами.**

Продолжительность проведения мероприятия промежуточной аттестации: **1 часа**

Условия проведения мероприятия: **в часы аудиторной работы**

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **40**

Проходной балл: **17**

<b>Показатели оценивания</b>	<b>Баллы</b>
Знания о видах точечных дефектов, прочности и пластичности кристаллов. Знания о упругих свойствах дислокаций.	13
Знания о дислокациях в типичных кристаллических структурах. Знания о пересечении дислокаций и взаимодействии дислокаций с точечными дефектами.	10
Знания об образовании и размножении дислокаций. Знания о границе зерен и субзерен, а также торможении дислокаций.	10
Знания о методах выявления дислокаций и их следов. Знания о дисклинациях.	7