

МИНОБРНАУКИ РОССИИ

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

Кафедра нанотехнологий и микросистемной техники

**Авторы-составители: Волынцев Анатолий Борисович
Пономарев Роман Сергеевич
Семенова Оксана Рифовна**

Рабочая программа дисциплины

КРИСТАЛЛОФИЗИКА

Код УМК 64388

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

Пермь, 2020

1. Наименование дисциплины

Кристаллофизика

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 **Кристаллофизика** у обучающегося должны быть сформированы следующие компетенции:

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

ПК.2 Способен контролировать и прогнозировать физические свойства материалов с помощью различных инструментальных методов и компьютерного моделирования

Индикаторы

ПК.2.1 Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники

4. Объем и содержание дисциплины

Направления подготовки	28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника (направленность: Материалы микро- и наносистемной техники)
форма обучения	очная
№№ триместров, выделенных для изучения дисциплины	5
Объем дисциплины (з.е.)	4
Объем дисциплины (ак.час.)	144
Контактная работа с преподавателем (ак.час.), в том числе:	56
Проведение лекционных занятий	28
Проведение практических занятий, семинаров	28
Самостоятельная работа (ак.час.)	88
Формы текущего контроля	Защищаемое контрольное мероприятие (3)
Формы промежуточной аттестации	Экзамен (5 триместр)

5. Аннотированное описание содержания разделов и тем дисциплины

Кристаллофизика. Первый семестр

Курс кристаллофизики посвящен изучению наиболее общих базовых свойств кристаллических тел, связанных с симметрией их внутреннего строения и анизотропией физических свойств. Знания, получаемые студентами в рамках данного курса являются необходимыми для изучения и создания новых технических устройств на базе активных диэлектриков.

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором нулевого ранга

Полярные и аксиальные векторы, скаляры, псевдоскаляры и их симметрия.
Скалярные физические свойства кристалла

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга

Пироэлектрический эффект. Указательная поверхность, ее симметрия. Ограничения, налагаемые симметрией кристалла. Электрокалорический эффект. Связь электрокалорического коэффициента с пироэлектрическим. Сегнетоэлектрики.

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга

Геометрическая интерпретация тензора второго ранга. Приведение симметричного тензора второго ранга к главным осям. Виды характеристической поверхности. Геометрические свойства характеристической поверхности. Нахождение свойств по заданному направлению. Свойство радиуса-вектора и нормали. Влияние симметрии кристалла на число независимых компонент тензора. Обратные тензоры. Величина свойства поликристаллического образца в заданном направлении.

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором третьего ранга

Прямой пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрические модули. Уменьшение числа независимых пьезомодулей. Матричные обозначения. Четыре типа пьезоэлектрических эффектов. Обратный пьезоэлектрический эффект. Уменьшение числа независимых пьезомодулей из-за ограничений, налагаемых симметрией кристалла. Характеристические поверхности.

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором четвертого ранга

Упругость. Закон Гука. Физический смысл компонент тензора упругих констант. Матричные обозначения. Энергия деформированного кристалла. Симметричность матриц (S_{ij}) и (C_{ij}) . Влияние симметрии кристалла на число независимых коэффициентов S_{ij} и C_{ij} . Соотношения между напряжениями и деформациями для изотропных тел. Характеристические поверхности упругих коэффициентов. Объемная и линейная сжимаемость кристаллов. Соотношения между податливостями и жесткостями.

Оптические свойства кристаллов

Волновая поверхность, фронт волны, двойное лучепреломление, оптические оси, главная плоскость, обыкновенная и необыкновенная волна. Диэлектрические свойства кристаллов. Доказательство симметричности тензора диэлектрической проницаемости. Оптическая индикатриса для кристаллов высшей, средней и низшей категорий; оптические характеристики кристаллов.

Применение кристаллов в технике

Прямой пьезоэлектрический эффект. Пьезоэлектрические модули. Уменьшение числа независимых пьезомодулей. Матричные обозначения. Четыре типа пьезоэлектрических эффектов. Обратный пьезоэлектрический эффект. Уменьшение числа независимых пьезомодулей из-за ограничений, налагаемых симметрией кристалла. Характеристические поверхности.

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. Семенова О. Р. Кристаллография: учебное пособие для студентов, обучающихся по направлению подготовки бакалавров "Нанотехнологии и микросистемная техника", "Прикладная математика и физика", "Физика"/О. Р. Семенова.-Пермь, 2017, ISBN 978-5-7944-2902-2.-136.-Библиогр.: с. 132 <https://elis.psu.ru/node/436364>
2. Семенова О. Р. Кристаллофизика: учебное пособие/О. Р. Семенова.-Пермь: ПГНИУ, 2019, ISBN 978-5-7944-3361-6.-179.-Библиогр.: с. 175 <https://elis.psu.ru/node/601002>

Дополнительная:

1. Шаскольская М. П. Кристаллография: учебное пособие для студентов вузов/М. П. Шаскольская.- Москва: Высшая школа, 1984.-375.-Библиогр.: с. 371. - Предм. указ.: с. 372-375
2. Васильев Д. М. Физическая кристаллография: учебное пособие для металлургических специальностей вузов/Д. М. Васильев.-Москва: Металлургия, 1981.-248.-Библиогр. в конце глав
3. Переломова Н. В., Тагиева М. М. Задачник по кристаллофизике: учебное пособие для студентов вузов/Н. В. Переломова, М. М. Тагиева ; ред. М. П. Шаскольская.-Москва: Наука, 1982.-288.
4. Кристаллография, рентгенография и электронная микроскопия: учебник для студентов вузов, обучающихся по специальностям "Физика металлов" и "Металловедение, оборудование и технология термической обработки металлов"/Я. С. Уманский [и др.]-Москва: Металлургия, 1982.-631.-Библиогр.: с. 628-631

9. Перечень ресурсов сети Интернет, необходимых для освоения дисциплины

<http://www.psu.ru/files/docs/science/books/uchebnie-posobiya/semnova-kristallofizika.pdf> Семенова О.Р. Кристаллофизика

<http://www.iprbookshop.ru/56274.html> Розин, К. М. Кристаллофизика

<http://www.iprbookshop.ru/78778.htm> Бердинский, В. Л. Кристаллофизика

<http://www.iprbookshop.ru/66323.html> Сергеев, Н. А. Кристаллофизика

<http://www.iprbookshop.ru/67480.html> Белов, Н. П. Основы кристаллографии и кристаллофизики

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

Образовательный процесс по дисциплине **Кристаллофизика** 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-образовательной 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
Кристаллофизика**

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

ПК.2

Способен контролировать и прогнозировать физические свойства материалов с помощью различных инструментальных методов и компьютерного моделирования

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
<p>ПК.2.1 Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники</p>	<p>Знать: основные законы и основные понятия кристаллофизики (симметрии объектов, физических явлений и математических величин их описывающих); классификацию физических свойств кристаллов. Уметь: применять основные законы кристаллофизики при описании физических явлений в кристаллах (фазовых переходов, поляризации, намагниченности, тепловому расширению, пиро- и пьезоэлектричеству и т. п.); определять физический смысл различных коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов, оценивать их величину и анизотропию, устанавливать связь между структурой кристаллов и их физическими свойствами. Владеть: методами расчета и экспериментального определения физических констант кристаллов, методами математического анализа при изучении анизотропии физических параметров кристаллов.</p>	<p align="center">Неудовлетворител</p> <p>Студент не знает основные законы и основные понятия кристаллофизики, не способен классифицировать физические свойства кристаллов по общим признакам, не применяет основные законы кристаллофизики при описании физических явлений в кристаллах; не может определить физический смысл различных коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов, дать им оценку, не знает методы расчета и экспериментального определения физических констант кристаллов.</p> <p align="center">Удовлетворительн</p> <p>Студент знает формулировку основных законов и основных понятий кристаллофизики, но не применяет их при описании физических явлений в кристаллах; определяет физический смысл различных коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов, только в стандартной установке кристаллофизической системы координат, способен дать оценку величине только некоторых физических свойств кристаллов, с подсказкой преподавателя устанавливает связь между структурой кристаллов и их физическими свойствами и не владеет методами расчета и экспериментального определения физических констант кристаллов.</p> <p align="center">Хорошо</p> <p>Студент знает основные законы и основные понятия кристаллофизики, классификацию физических свойств кристаллов; пользуется основными законами кристаллофизики при описании физических явлений в кристаллах;</p>

Компетенция (индикатор)	Планируемые результаты обучения	Критерии оценивания результатов обучения
		<p style="text-align: center;">Хорошо</p> <p>определяет физический смысл некоторых коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов; может произвести их количественную оценку, с подсказкой преподавателя устанавливает связь между структурой кристаллов и их физическими свойствами, использует методы расчета и экспериментального определения физических констант кристаллов, методы математического анализа при изучении анизотропии физических параметров кристаллов.</p> <p style="text-align: center;">Отлично</p> <p>Студент знает основные законы и основные понятия кристаллофизики; классификацию физических свойств кристаллов, применяет их при описании физических явлений в кристаллах; может определить физический смысл различных коэффициентов, характеризующих свойства кристаллов, дать оценку их величины и анизотропии, самостоятельно способен установить связь между структурой кристаллов и их физическими свойствами, использует методы расчета и экспериментального определения физических констант кристаллов, методы математического анализа при изучении анизотропии физических параметров кристаллов.</p>

Оценочные средства текущего контроля и промежуточной аттестации

Схема доставки : Базовая

Вид мероприятия промежуточной аттестации : Экзамен

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
ПК.2.1 Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором нулевого ранга Защищаемое контрольное мероприятие	Способность изображать стереографические проекции элементов симметрии кристалла и использовать принципы Кюри и Неймана
ПК.2.1 Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга Защищаемое контрольное мероприятие	Способность оценить величину пирозлектрического эффекта и его влияние на свойства кристаллов
ПК.2.1 Использует в своей профессиональной деятельности соотношения и взаимосвязи между структурой материалов и их физическими свойствами для достижения требуемых рабочих параметров объектов микро- и наносистемной техники	Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга Защищаемое контрольное мероприятие	Знание явлений, описываемых тензором второго ранга

Спецификация мероприятий текущего контроля

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором нулевого ранга

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Способен изобразить стереографическую проекцию элементов симметрии кристаллов любого класса	15
Способен применить принцип Кюри и Неймана к кристаллу любой симметрии	10
Способен применить принцип Кюри к кристаллу любой симметрии	10

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором первого ранга

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **35**

Проходной балл: **15**

Показатели оценивания	Баллы
Способен собрать пьезоэлектрический датчик	15
Способен рассчитать величину электрического поля, возникающего в кристалле при изменении его температуры	10
Способен рассчитать изменение температуры пьезоэлектрического кристалла при помещении его в электрическое поле заданной напряженности	10

Физические свойства кристаллов, описываемые тензором второго ранга

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

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

Максимальный балл, выставляемый за мероприятие промежуточной аттестации: **30**

Проходной балл: **13**

Показатели оценивания	Баллы
Способен найти главные оси кристалла и главные элементы тензора второго ранга.	13
Оптическая индикатриса кристалла и ее характеристики	10
Способен описать напряженное состояние кристалла	7