

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ

ОДОБРЕНО

УМС ИЯФИТ Протокол №01/08/24-573.1 от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ФИЗИЧЕСКАЯ КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 22.03.01 Материаловедение и технологии  
материалов

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
5	3	108	32	16	16		17	0	Э
Итого	3	108	32	16	16	8	17	0	

## **АННОТАЦИЯ**

В данной дисциплине рассмотрены: основы кристаллографии, симметрия кристаллов, влияние симметрии на физические свойства кристаллов, основные типы кристаллических структур, кристаллография пластической деформации моно- и поликристаллов, способы описания текстуры в поликристаллах, кристаллография фазовых превращений и границ раздела.

Итоговой формой контроля является экзамен.

### **1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Целями освоения учебной дисциплины являются:

- научить студентов при анализе материалов кристаллографическому подходу с учетом влияния симметрии на физические свойства;
- изучить основы кристаллографии, симметрию кристаллов, влияние симметрии на физические свойства кристаллов;
- изучить основные типы кристаллических структур;
- изучить кристаллографию пластической деформации моно- и поликристаллов;
- изучить способы описания текстуры в поликристаллах, кристаллографию фазовых превращений и границ раздела.

### **2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО**

Для изучения дисциплины необходимы компетенции, сформированные у обучающихся в результате освоения таких дисциплин, как: «Математика: дифференциальное исчисление», «Интегральное исчисление и функции многих переменных», «Обыкновенные дифференциальные уравнения, вариационное исчисление», «Математика: аналитическая геометрия», «Линейная алгебра», «Кратные интегралы, векторный анализ, ряды», «Теория вероятностей и математическая статистика», «Дифференциальные и интегральные уравнения», «Физическая химия и основы термодинамики», «Физика: физические основы механики», «Общая физика (молекулярная физика и основы статистической термодинамики)», «Общая физика (электричество и магнетизм)», «Общая физика (волны и оптика)», «Физический практикум», «Химия», «Соппротивление материалов».

Данная дисциплина является базой для изучения специальных дисциплин «Основы теории дефектов», «Физика конденсированного состояния», «Радиационная физика твердого тела», «Коррозия материалов и защита», «Физическое материаловедение», «Конструкционные и функциональные материалы», «Физические свойства твердых тел», «Взаимодействие излучения с веществом».

Знание ее содержания необходимо при выполнении работ по курсовому и дипломному проектированию, НИРС, а также при практической работе выпускников по специальности.

### **3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ**

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
<b>научно-исследовательский</b>			
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	ПК-1.2 [1] - способен применять знания об основных типах современных материалов, принципах выбора материалов для заданных условий эксплуатации с учетом требований технологичности, экономичности, надежности и долговечности, экологических последствий их применения при проектировании высокотехнологичных процессов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-1.2[1] - знать основные типы современных материалов, а также подходы к выбору материалов для заданных условий эксплуатации; У-ПК-1.2[1] - уметь выбрать материал для заданных условий эксплуатации; В-ПК-1.2[1] - владеть основными подходами при выборе материалов для заданных условий эксплуатации
участие в работе группы специалистов при выполнении экспериментов и обработке их результатов по созданию, исследованию и выбору материалов, оценке их технологических и служебных качеств путем комплексного анализа их структуры и свойств, физико-механических,	методы и средства испытаний и диагностики, исследования и контроля качества материалов, пленок и покрытий, полуфабрикатов, заготовок, деталей и изделий, все виды исследовательского, контрольного и испытательного оборудования, аналитической аппаратуры,	ПК-1 [1] - способен использовать в исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации  <i>Основание:</i>	З-ПК-1[1] - знать основные методы исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации; ; У-ПК-1[1] - уметь использовать в

коррозионных и других испытаний	компьютерное программное обеспечение для обработки результатов и анализа полученных данных, моделирования поведения материалов, оценки и прогнозирования их эксплуатационных характеристик	Профессиональный стандарт: 40.011	исследованиях и расчетах знания о методах исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации; ; В-ПК-1[1] - владеть навыками исследования, анализа, диагностики и моделирования свойств материалов, физических и химических процессах, протекающих в материалах при их получении, обработке и модификации.
сбор данных о существующих типах и марках материалов, их структуре и свойствах применительно к решению поставленных задач с использованием баз данных и литературных источников	основные типы современных конструкционных и функциональных неорганических (металлических и неметаллических) и органических (полимерных и углеродных) материалов, композитов и гибридных материалов, сверхтвердых материалов, интеллектуальных и наноматериалов, пленок и покрытий	ПК-2 [1] - способен использовать на практике современные представления о влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	З-ПК-2[1] - знать основные представления о структуре материалов и влиянии структуры на свойства материалов, их взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; У-ПК-2[1] - уметь анализировать влияние структуры материалов на их свойства, а также ее эволюцию при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями; ; В-ПК-2[1] - владеть

			практическими навыками анализа эволюции структурно-фазового состояния материалов при взаимодействии с окружающей средой, полями, частицами и излучениями и влияния этой эволюции на свойства материалов.
--	--	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (В17)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок.</p> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.</p>
Профессиональное	Создание условий,	Использование воспитательного

воспитание	обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	<p>1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований.</li> </ul> <p>2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед;</li> <li>- формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.</li> </ul>

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Прак- т. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>5 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	16/6/6		40	Кл-8	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
2	Раздел 2	9-14	8/6/6		20	Кл-12	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
3	Раздел 3	15- 16	8/4/4		15	Кл-16	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		32/16/16		75		
	<b>Контрольные мероприятия за 5 Семестр</b>				25	Э	3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
Кл	Коллоквиум
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	32	16	16
<b>1-8</b>	<b>Раздел 1</b>	16	6	6
1 - 2	<b>Основы современной кристаллографии</b> Основы современной кристаллографии. Кристаллическое состояние. Проективное изображение кристаллов. Стереографическая проекция. Сетки Вульфа и Болдырева.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
3 - 4	<b>Структура кристаллов и пространственная решетка</b> Структура кристаллов и пространственная решетка. Прими-тивная и элементарная ячейки. Метрический тензор. Обратная решетка и Фурье-пространство. Кристаллографические символы узловых прямых и плоскостей.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
5 - 6	<b>Основные формулы структурной кристаллографии</b> Основные формулы структурной кристаллографии. Определение группы, подгруппы. Сопряженные элементы и классы сопряженных элементов. Матричное представление группы.	Всего аудиторных часов		
		4	1	1
		Онлайн		
7 - 8	<b>Закрытые и открытые элементы симметрии</b> Закрытые и открытые элементы симметрии. Матричная запись элементов симметрии. Точечные группы (кристаллические классы). Предельные группы симметрии Кюри.	Всего аудиторных часов		
		4	1	1
		Онлайн		
<b>9-14</b>	<b>Раздел 2</b>	8	6	6
9 - 10	<b>Трансляционная симметрия</b> Трансляционная симметрия. Сингонии. Решетки Бравэ. Пространственные группы. Принципы симметрии Кюри, Неймана. Влияние симметрии кристалла на физические свойства кристалла.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
11 - 12	<b>Решетка и структура кристаллов</b> Решетка и структура кристаллов. Координационное число и координационный многогранник. Структуры меди, вольфрама, магния, алмаза. Закон Вегарда.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
13 - 14	<b>Кристаллография пластической деформации монокристаллов</b> Кристаллография пластической деформации монокристаллов. Тензор пластической дисторсии. Системы скольжения в ГЦК, ОЦК, ГПУ кристаллах.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		



<b>15-16</b>	<b>Раздел 3</b>	8	4	4
15	<b>Методы описания кристаллической текстуры</b> Методы описания кристаллической текстуры. Прямые полюсные фигуры, обратные полюсные фигуры, функции распределения ориентаций.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
16	<b>Мартенситное превращение</b> Мартенситное превращение. Габитусная плоскость. Кристаллографические соотношения между ГЦК решеткой -Fe и ОЦТ мартенсита. Кристаллография границ зерен Малоугловые границы: наклона, кручения.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

При реализации программы учебной дисциплины используются различные образовательные технологии – занятия проводятся в форме лекций и семинаров с выполнением практических заданий, которые охватывают все разделы учебного курса и проводятся фронтально. Им предшествует чтение лекций по тематике последующих семинаров.

Для контроля усвоения студентом разделов данного курса используются тестовые технологии, ответы на которые позволяют судить об усвоении студентом данного курса. Усвоение студентами материала курса контролируется проведением коллоквиумов и выполнением домашних заданий. Самостоятельная работа студентов подразумевает под собой проработку лекционного материала с использованием рекомендуемой литературы для подготовки к тестам и семинарам, а так же выполнение домашних заданий.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-1	З-ПК-1	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16

	У-ПК-1	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	В-ПК-1	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
ПК-1.2	3-ПК-1.2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	У-ПК-1.2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	В-ПК-1.2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
ПК-2	3-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	У-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	В-ПК-2	Э, Кл-8, Кл-12, Кл-16

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 548 Я53 Практикум по физической кристаллографии : учебное пособие для вузов, Скритный В.И., Яльцев В.Н., Москва: НИЯУ МИФИ, 2011
2. ЭИ Ф50 Физическое материаловедение Т.1 Физика твердого тела, , : МИФИ, 2007

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 548 Ч-92 Основы кристаллографии : учебник для вузов, Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А., Москва: Физматлит, 2006

### **ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:**

Специальное программное обеспечение не требуется

### **LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:**

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

## **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

## **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

Курс направлен на формирование у обучающихся компетенций (части компетенций), предусмотренных образовательным стандартом. Аудиторные занятия являются только частью общего материала, который должен освоить студент. Поэтому необходимо помнить, что аудиторные занятия дополняются самостоятельной работой студента. При самостоятельной работе следует использовать рекомендованную литературу, а также ресурсы сети Интернет. Для более успешного освоения материала курса целесообразно перед каждым аудиторным занятием прочитать материал из рекомендованной литературы и из интернет-источников.

При изучении кристаллического состояния и основ кристаллографии необходимо обратить внимание на понятия:

- решетка и структура,
- макроскопические и микроскопические свойства кристаллов,
- меридианы и параллели сетки Вульфа,
- эйлеровские углы поворота,
- свойства вектора обратной решетки,
- вид узла обратной решетки для мозаичного монокристалла и поликристалла,

объем ячейки обратной решетки для сложных решеток Бравэ, преобразование индексов направлений и плоскостей при изменении системы координат, изображение зоны плоскостей на стереографической и гномостереографической проекциях и в обратной решетке,

ячейки Бравэ в прямой и обратной решетках.

При изучении симметрии кристаллов обратить внимание на:

отсутствие осей пятого порядка в кристаллах,

отсутствие базоцентрированных ячеек Бравэ в кубической сингонии,

матричную запись элементов симметрии,

элементы симметрии полярного и аксиального векторов,

принципы симметрии в кристаллофизике,

тензорное и матричное описание компонентов напряжений и деформаций,

анизотропию упругих свойств кубических и гексагональных кристаллов.

При изучении структуры кристаллов обратить внимание на:

базис основных структурных типов,

определение координационных чисел для первых координационных сфер основных структурных типов,

определение сингонии в упорядоченных твердых растворах замещения,

описание структуры квазикристаллов и несоответственных кристаллов.

При изучении кристаллографии пластической деформации обратить внимание на:

определение сдвиговых напряжений для основных систем скольжения при различных видах напряженного состояния,

изображение прямых и обратных полюсных фигур для аксиальной текстуры,

изображение функции распределения ориентаций для аксиальной текстуры с учетом симметрии кристаллов,

способы описания взаимного разворота кристаллов с учетом симметрии кристаллов,

способы описания структуры малоугловых и высокоугловых границ зерен.

При изучении кристаллографии мартенситных превращений обратить внимание на:

особенности пластической деформации при мартенситном превращении,

деформацию Бейна,

определение инвариантной плоскости при мартенситном превращении.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Основной объем самостоятельной работы приходится на подготовку к семинарским занятиям. Для более результативного проведения семинарских занятий целесообразно провести краткий опрос студентов перед началом занятий, обсудив материалы предыдущего занятия и тему предыдущего занятия.

Необходимо помнить, что посещение семинарских занятий в соответствии с графиком учебного процесса является обязательным для студентов очной формы обучения. В случае невозможности присутствия на занятии по уважительным причинам, необходимо уточнить на кафедре даты дополнительного занятия. Итоговая оценка по промежуточной аттестации в первую очередь зависит от того, насколько активно студент участвовал в семинарских занятиях, участвовал в обсуждении полученных результатов, а также от ответов на дополнительные вопросы.

Рекомендации по литературе при подготовке к занятиям

Для подготовки к лекциям, семинарам и лабораторным работам рекомендую использовать учебник «Физическое материаловедение».

Автор(ы):

Скрытний Владимир Ильич