

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] 14.03.02 Ядерные физика и технологии

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	2	72	32	16	16		8	0	3
Итого	2	72	32	16	16	16	8	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.

Дисциплина состоит из лекционного цикла - 32 часов, лабораторных работ - 16 часов и практических занятий – 16 часов, студенты выполняют 5 контрольных работ, 2 больших домашних задания, сдают 3 коллоквиума. 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», «Сопротивление 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
научно-исследовательский			
Исследования перспективных типов ядерных энергетических установок, теплофизические исследования перспективных твэлов, топлива, конструкционных материалов и теплоносителей. Разработка моделей и программных комплексов для расчета теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов. Создание и применение установок и систем для проведения теплофизических, ядерно-физических исследований, неравновесных физических процессов	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов	ПК-2 [1] - Способен проводить математическое моделирование процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-2[1] - знать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований; ; У-ПК-2[1] - уметь использовать методы математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;; В-ПК-2[1] - владеть навыками математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований;
производственно-технологический			
Разработка моделей и программных комплексов для расчета	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические	ПК-6 [1] - Способен к контролю соблюдения технологической дисциплины и	3-ПК-6[1] - знать технические характеристики и принципы

теплогидравлических и нейтронно-физических процессов в активных зонах перспективных ядерных реакторов.	и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, тепловые измерения и контроль, теплоносители, материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов	обслуживания оборудования <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.032	безопасного обслуживания технологического оборудования ; У-ПК-6[1] - уметь контролировать соблюдение технологической дисциплины и обслуживание оборудования; В-ПК-6[1] - владеть методами контроля, проверок и испытаний систем и навыками выявления неисправностей в работе оборудования
--	--	---	---

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)	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. 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.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного 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)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - 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.
--	--	--

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (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	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
2	Раздел 2	9-14	8/6/6		20	Кл-12	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
3	Раздел 3	15-16	8/4/4		15	Кл-16	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6
	<i>Итого за 5 Семестр</i>		32/16/16		75		
	Контрольные мероприятия за 5 Семестр				25	3	З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6

* – 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
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>5 Семестр</i>	32	16	16
1-8	Раздел 1	16	6	6
1 - 2	Основы современной кристаллографии Основы современной кристаллографии. Кристаллическое состояние. Проективное изображение кристаллов. Стереографическая проекция. Сетки Вульфа и Болдырева.	Всего аудиторных часов		
		4	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Структура кристаллов и пространственная решетка 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		
		0	0	0
5 - 6	Основные формулы структурной кристаллографии Основные формулы структурной кристаллографии. Определение группы, подгруппы. Сопряженные элементы и классы сопряженных элементов. Матричное представление группы.	Всего аудиторных часов		
		4	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Закрытые и открытые элементы симметрии Закрытые и открытые элементы симметрии. Матричная запись элементов симметрии. Точечные группы (кристаллические классы). Предельные группы симметрии Кюри.	Всего аудиторных часов		
		4	1	1
		Онлайн		
		0	0	0
9-14	Раздел 2	8	6	6
9 - 10	Трансляционная симметрия 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		
		0	0	0
11 - 12	Решетка и структура кристаллов Решетка и структура кристаллов. Координационное число и координационный многогранник. Структуры меди, вольфрама, магния, алмаза. Закон Вегарда.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 14	Кристаллография пластической деформации монокристаллов Кристаллография пластической деформации монокристаллов. Тензор пластической дисторсии. Системы скольжения в ГЦК, ОЦК, ГПУ кристаллах.	Всего аудиторных часов		
		2	2	2
		Онлайн		
		0	0	0
15-16	Раздел 3	8	4	4
15	Методы описания кристаллической текстуры Методы описания кристаллической текстуры. Прямые	Всего аудиторных часов		
		4	2	2

	полюсные фигуры, обратные полюсные фигуры, функции распределения ориентаций.	Онлайн		
		0	0	0
16	Мартенситное превращение 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-2	З-ПК-2	З, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	У-ПК-2	З, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	В-ПК-2	З, Кл-8, Кл-12, Кл-16
ПК-6	З-ПК-6	З, Кл-8, Кл-12, Кл-16

	У-ПК-6	3, Кл-8, Кл-12, Кл-16
	В-ПК-6	3, 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, Скрытний 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

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 несоразмерных 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.

ЗАДАНИЯ ДЛЯ САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ

1. Области Вороного, симметричные ячейки Вигнера - Зейтца, зоны Бриллюэна. Поворотные, инверсионные и зеркально-поворотные оси. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 58 – 65.

2. Пространственные группы. Антисимметрия. Несоразмерные кристаллы и квазикристаллы. Экспериментальное определение элементов симметрии Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 58 – 65.

3. Структура кристаллов. Плотнейшие упаковки в структурах. Структурные типы кристаллов химических элементов. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 86 – 95.

4. Структурные типы соединений типа АВ, АВ₂, А_mВ_nС_k. Сверхструктуры в твердых растворах замещения. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 95 – 101.

5. Структура фуллеренов, фуллеритов и квазикристаллов. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 101 – 106.

6. Принцип симметрии в кристаллофизике. Влияние симметрии кристалла на его свойства. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 107 – 113.

7. Кристаллография пластической деформации. Механическое двойникование кристаллов. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 127 – 128.

8. Кристаллографическая текстура. Прямые полюсные фигуры. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 128 – 130.

9. Кристаллографическая текстура. Обратные полюсные фигуры. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 130.

10. Кристаллографическая текстура. Функции распределения ориентаций. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 131.

11. Кристаллография мартенситных превращений. Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 139 – 141.

12. Высокоугловые границы. Решетка совпадающих узлов. Полная решетка наложения
Физическое материаловедение: Том 1. Физика твердого тела– М.: НИЯУ МИФИ, 2012, стр. 133 – 136.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

Для подготовки к лекциям в соответствии с программой рекомендуется использовать учебник

1. Физическое материаловедение: Учебник для вузов./ Второе изд. Под общей ред. Б.А. Калина. Том 1. Физика твердого тела. Гл. 1. Физическая кристаллография. – М.: НИЯУ МИФИ, 2012. – 764 с.

2. Физическое материаловедение: Учебник для вузов: В 6 т. /Под общей ред. Б.А. Калина. – М.: МИФИ, 2007. Том 1. Физика твердого тела/ Г.Н. Елманов, Г.Н., А.Г. Залужный, В.И. Скрытный, Е.А. Смирнов, В.Н. Яльцев – М.: МИФИ, 2007. – 636 с.

Для подготовки к практическим занятиям рекомендуется учебное пособие

3. Яльцев В.Н., Скрытный В.И. Практикум по физической кристаллографии. Учебное пособие. – М.: НИЯУ МИФИ, 2011. – 88 с.

Рекомендации по литературе при подготовке к занятиям

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

Автор(ы):

Скрытный Владимир Ильич