

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»



УТВЕРЖДАЮ

Декан ФМАТ В.И. Рязжих

«31» августа 2018 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Дифракционные методы исследования наноструктур»

Направление подготовки 27.04.01 СТАНДАРТИЗАЦИЯ И МЕТРОЛОГИЯ

Профиль Метрология наноструктур и нанотехнологий

Квалификация выпускника магистр

Нормативный период обучения 2 года

Форма обучения очная

Год начала подготовки 2018

Автор программы \_\_\_\_\_ В.В. Ожерельев / В.В. Ожерельев /

Заведующий кафедрой  
материаловедения и физики  
металлов \_\_\_\_\_ Д.Г. Жиликов / Д.Г. Жиликов /

Руководитель ОПОП \_\_\_\_\_ В.А. Небольсин / В.А. Небольсин /

Воронеж 2018

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

### 1.1. Цели дисциплины

формирование у студентов компетенций, связанных с пониманием природы и закономерностей физических процессов, на которых основаны дифракционные методы исследования наноструктур

### 1.2. Задачи освоения дисциплины

теоретическое и практическое освоение дифракционных методов исследования наноструктур; выработка у будущего специалиста комплекса навыков и знаний для использования основных дифракционных методов анализа в физике конденсированного состояния как в области исследования структуры материалов, так и для контроля качества материалов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Дифракционные методы исследования наноструктур» относится к дисциплинам вариативной части блока ФТД.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Дифракционные методы исследования наноструктур» направлен на формирование следующих компетенций:

ПВК-9 - способность ставить и решать прикладные исследовательские задачи, проводит научные эксперименты, оценивать результаты исследований, сравнивать новые экспериментальные данные с принятыми моделями для проверки их адекватности и при необходимости предлагать новые решения

ПК-29 - готовностью участвовать в научной и педагогической деятельности в области метрологии, технического регулирования и управления качеством

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции
ПВК-9	знать основы теории дифракции рентгеновских лучей на кристаллах; основные методы рентгеноструктурного анализа; особенности дифракции электронов и нейтронов
	уметь: использовать дифракционные методы исследования фазового и структурного состояния металлов и сплавов, наноструктурированных материалов
	владеть: навыками решения практически задач рентгеноструктурного анализа кристаллических материалов и наноструктур
ПК-29	знать оборудование, используемое для проведения фазового и структурного анализа кристаллов и наноструктур методами дифракции рентгеновских лучей, электронов, нейтронов

	<b>уметь</b> осуществлять адекватный стоящей задаче выбор экспериментального метода исследования структурного состояния вещества
	<b>владеть</b> навыками расчета рентгенограмм и решения задач в области рентгеноструктурного анализа кристаллов, текстурированных материалов и наноструктур

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Дифракционные методы исследования наноструктур» составляет 2 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

Виды учебной работы	Всего часов	Семестры
		1
<b>Аудиторные занятия (всего)</b>	36	36
В том числе:		
Лекции	18	18
Практические занятия (ПЗ)	18	18
<b>Самостоятельная работа</b>	36	36
Виды промежуточной аттестации - зачет	+	+
Общая трудоемкость: академические часы	72	72
зач.ед.	2	2

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**

**очная форма обучения**

№ п/п	Наименование темы	Содержание раздела	Лекц	Прак зан.	СРС	Всего, час
1.	Физика рентгеновских лучей. Источники рентгеновских лучей, монохроматоры и детекторы	Волновые и корпускулярные свойства рентгеновских лучей. Рентгеновские спектры. Излучение со сплошным спектром, его происхождение и свойства. Характеристический спектр, теория его происхождения и закономерности. Явления, сопровождающие прохождение рентгеновских лучей через вещество. Формула Вульфа-Брэгга. Источники рентгеновского излучения. Рентгеновские трубки. Монохроматоры, рентгеновская оптика. Методы регистрации рентгеновских лучей	2	2	6	10
2.	Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом	Закон ослабления интенсивности рентгеновских лучей при прохождении через вещество. Линейный и массовый коэффициенты ослабления. Проникающая способность рентгеновских лучей. Основы рентгеновской и гамма-дефектоскопии. Явление рассеяния. Когерентное и некогерентное	4	4	6	14

		(комптоновское) рассеяние рентгеновских лучей. Поглощение рентгеновских лучей, ионизация, фотоэлектрический эффект и вторичное характеристическое излучение				
3.	Интерференция рентгеновских лучей	Интерференционная функция и ее анализ. Интерференционное уравнение. Уравнения Лауэ. Фактор формы кристалла. Геометрическая интерпретация интерференционного уравнения. Уширение дифракционных линий. Структурный множитель	2	2	6	10
4	Основные методы рентгеноструктурного анализа	Методы исследования монокристаллов. Метод Лауэ. Метод вращающегося монокристалла и его применение. Метод поликристалла (порошка). Аналитическое и графическое индентирование рентгенограмм кристаллов кубической и средних сингоний. Метод поликристалла (порошка). Определение периодов решетки. Качественный фазовый анализ и его чувствительность. Рентгеноструктурный количественный фазовый анализ. Оборудование для рентгеноструктурного анализа. Конструкция рентгеновского дифрактометра. Схемы фокусировки. Малоугловая дифракция.	4	4	6	14
5	Анализ текстурированных материалов, внутренних напряжений, процессов при нагреве деформированных материалов	Классификация текстур. Полусные фигуры и их построение с помощью дифрактометра. Изучение аксиальной текстуры. Ограниченные текстуры. Их анализ с помощью прямых полусных фигур. Обратные полусные фигуры и их использование для исследования текстур. Определение внутренних напряжений с помощью рентгеновских лучей. Рентгеноанализ размера областей когерентного рассеяния и величины микродеформации при их совместном действии. Метод аппроксимации. Определение внутренних напряжений с помощью рентгеновских лучей. Анализ структурных изменений, происходящих при нагреве наклепанных металлов и сплавов. Определение внутренних напряжений с помощью рентгеновских лучей. Рентгеноанализ процессов возврата, полигонизации, рекристаллизации.	4	4	6	14
6.	Применение дифракции электронов и нейтронов	Дифракция электронов. Геометрия дифракционной картины. Основные области применения электронографии. Дифракция медленных электронов. Применение дифракции нейтронов. Области применения нейтронографии. Времяпролетная нейтронография	2	2	6	10
<b>Итого</b>			<b>18</b>	<b>18</b>	<b>36</b>	<b>72</b>

## 5.2 Перечень лабораторных работ

Не предусмотрено учебным планом

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины не предусматривает выполнение курсового проекта (работы) или контрольной

работы.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

### 7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания

#### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Аттестован	Не аттестован
ПВК-9	знать основы теории дифракции рентгеновских лучей на кристаллах; основные методы рентгеноструктурного анализа; особенности дифракции электронов и нейтронов	ответы на теоретические вопросы, выполнение домашних заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь использовать дифракционные методы исследования фазового и структурного состояния металлов и сплавов, наноструктурированных материалов	Решение стандартных практических задач, выполнение домашних заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	Владеть навыками решения практически задач рентгеноструктурного анализа кристаллических материалов и наноструктур	Решение прикладных задач в конкретной предметной области, выполнение домашних заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
ПК-29	знать оборудование, используемое для проведения фазового и структурного анализа кристаллов и наноструктур методами дифракции рентгеновских лучей, электронов, нейтронов	ответы на теоретические вопросы, выполнение домашних заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	уметь осуществлять адекватный стоящей задаче выбор экспериментального метода исследования структурного состояния вещества	Решение стандартных практических задач, выполнение домашних заданий	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах
	владеть навыками расчета рентгенограмм и решения задач в области рентгеноструктурного анализа кристаллов, текстурированных материалов и	Решение прикладных задач в конкретной предметной	Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах	Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах

	наноструктур	области, выполнение домашних заданий		
--	--------------	--	--	--

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 1 семестре для очной формы обучения по двухбалльной системе:

«зачтено»

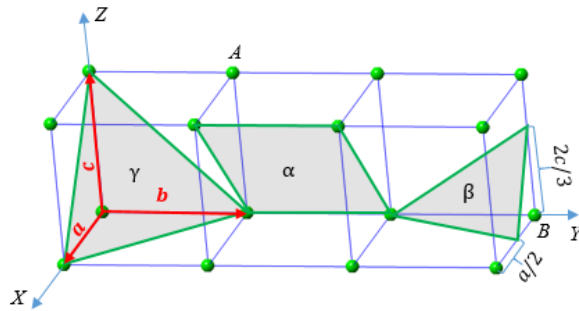
«не зачтено»

Компетенция	Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции	Критерии оценивания	Зачтено	Не зачтено
ПВК-9	<b>знать</b> основы теории дифракции рентгеновских лучей на кристаллах; основные методы рентгеноструктурного анализа; особенности дифракции электронов и нейтронов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>уметь</b> использовать дифракционные методы исследования фазового и структурного состояния металлов и сплавов, наноструктурированных материалов	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>Владеть</b> навыками решения практически задач рентгеноструктурного анализа кристаллических материалов и наноструктур	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
ПК-29	<b>знать</b> оборудование, используемое для проведения фазового и структурного анализа кристаллов и наноструктур методами дифракции рентгеновских лучей, электронов, нейтронов	Тест	Выполнение теста на 70-100%	Выполнение менее 70%
	<b>уметь</b> осуществлять адекватный стоящей задаче выбор экспериментального метода исследования структурного состояния вещества	Решение стандартных практических задач	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены
	<b>владеть</b> навыками расчета рентгенограмм и решения задач в области рентгеноструктурного анализа кристаллов, текстурированных материалов и наноструктур	Решение прикладных задач в конкретной предметной области	Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач	Задачи не решены

**7.2 Примерный перечень оценочных средств (типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)**

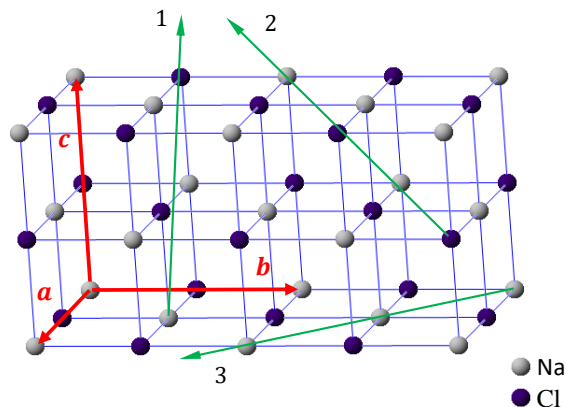
#### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

1. Определите индексы Миллера плоскостей  $\alpha$ ,  $\beta$  и  $\gamma$ , показанных на рисунке.



- а)  $\alpha$ :  $(10\bar{1})$ ,  $\beta$ :  $(4\bar{2}3)$ ,  $\gamma$ :  $(111)$ ,  
 б)  $\alpha$ :  $(10\bar{1})$ ,  $\beta$ :  $(3\bar{2}4)$ ,  $\gamma$ :  $(111)$ ,  
 в)  $\alpha$ :  $(1\bar{1}0)$ ,  $\beta$ :  $(4\bar{2}3)$ ,  $\gamma$ :  $(111)$ .

2. Определите индексы направлений в структуре NaCl, показанных на рисунке.



- а) 1:  $[\bar{1}02]$ , 2:  $[\bar{2}\bar{2}1]$ , 3:  $[1\bar{1}0]$   
 б) 1:  $[10\bar{2}]$ , 2:  $[221]$ , 3:  $[1\bar{1}0]$   
 в) 1:  $[10\bar{2}]$ , 2:  $[\bar{2}\bar{2}1]$ , 3:  $[2\bar{1}0]$

3. Базисные векторы  $\mathbf{a}_1$ ,  $\mathbf{a}_2$ ,  $\mathbf{a}_3$  прямой решетки и базисные векторы  $\mathbf{a}_1^*$ ,  $\mathbf{a}_2^*$ ,  $\mathbf{a}_3^*$  обратной решетки связаны соотношениями:

а)  $\mathbf{a}_i \cdot \mathbf{a}_j^* = \delta_{ij}$

б)  $\mathbf{a}_1^* = \frac{\mathbf{a}_2 \times \mathbf{a}_3}{\mathbf{a}_1 \cdot (\mathbf{a}_2 \times \mathbf{a}_3)}$ ,  $\mathbf{a}_2^* = \frac{\mathbf{a}_3 \times \mathbf{a}_1}{\mathbf{a}_1 \cdot (\mathbf{a}_2 \times \mathbf{a}_3)}$ ,  $\mathbf{a}_3^* = \frac{\mathbf{a}_1 \times \mathbf{a}_2}{\mathbf{a}_1 \cdot (\mathbf{a}_2 \times \mathbf{a}_3)}$ .

в) справедливы и соотношения а, и соотношения б.

4. Уравнение Вульфа-Брэгга записывается формулой

а)  $\cos^2 \alpha + \cos^2 \beta + \cos^2 \gamma = 1$ .

б)  $2d \sin \theta = n\lambda$

в)  $\ln I_0 / I_D = -\mu D$

г)  $h\nu = P + mV^2 / 2$

5. По лауэграмме можно определить:

- а) фазовый состав  
 б) внутренние напряжения  
 в) ориентировку монокристалла  
 г) элементный состав

6. Макронапряжения исследуют по дифрактограмме, определяя

- а) набор межплоскостных расстояний  
 б) уширение дифракционного максимума  
 в) изменение интенсивности дифракционного максимума  
 г) изменение положения дифракционного максимума

7. Микронапряжения исследуют по дифрактограмме, определяя
- набор межплоскостных расстояний
  - уширение дифракционного максимума
  - изменение интенсивности дифракционного максимума
  - изменение положения дифракционного максимума
8. Селективно поглощающий фильтр используют чтобы:
- выделить одну длину волны сплошного спектра
  - отфильтровать мешающую компоненту характеристического спектра
  - уменьшить интенсивность минимальной длины волны сплошного спектра
  - уменьшить интенсивность максимальной длины волны сплошного спектра
9. При нагревании образца линии на дебаэграмме смещаются
- к коллиматору
  - к тубусу
  - занимают неизменное положение
  - занимают неизменное положение и уширяются
10. Сбалансированные фильтры Росса непригодны для анализа
- тяжелых элементов
  - легких элементов
  - радиоактивных элементов
  - элементов в кристаллическом состоянии

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

- Край полосы поглощения молибдена составляет  $0,6197 \text{ \AA}$ . Вычислить минимальное напряжение, способное возбудить характеристическое рентгеновское излучение молибдена.
- Каковы скорость и кинетическая энергия электронов пучка, двигающегося в рентгеновской трубке под напряжением 50 кВ. Каков коротковолновый край сплошного спектра и максимальная энергия кванта излучения?
- Найти выражение для определения угла между направлениями  $[u_1v_1w_1]$  и  $[u_2v_2w_2]$  для кристаллов кубической, ромбической, тетрагональной и гексагональной систем.
- Рассчитать положение точек гномостереографической проекции для кубического кристалла. Построить соответствующие проекции  $\{110\}$  и  $\{111\}$ , расположив в центре проекции направления  $[001]$  и  $[011]$ . Указать способ перехода (с помощью сетки Вульфа) от первой проекции ко второй.
- Известно, что в кристалле имеются три взаимно перпендикулярные (неэквивалентные) плоскости симметрии. Определить набор элементов симметрии, кристаллическую систему, класс симметрии и общую форму.
- Структура  $\text{Cu}_2\text{O}$  характеризуется кубической элементарной ячейкой с базисом:  
Cu:  $1/4 \ 1/4 \ 1/4$ ;  $1/4 \ 3/4 \ 3/4$ ;  $3/4 \ 1/4 \ 3/4$ ;  $3/4 \ 3/4 \ 1/4$ ;  
O:  $000$ ;  $1/2 \ 1/2 \ 1/2$ .  
Определить тип решетки Бравэ.
- Определить набор элементов симметрии и правильные системы точек при наличии примитивной решетки Бравэ и оси  $4_3$ , совпадающей с осью  $z$ .
- Структура алмаза описывается кубической ячейкой и базисом  $0 \ 0 \ 0$ ;  $1/2 \ 1/2 \ 0$ ;  $1/2 \ 0 \ 1/2$ ;  $0 \ 1/2 \ 1/2$ ;  $1/4 \ 1/4 \ 1/4$ ;  $3/4 \ 3/4 \ 1/4$ ;  $3/4 \ 1/4 \ 3/4$ ;  $1/4 \ 3/4 \ 3/4$ . Определить типовые значения  $F^2$  и указать законы погасаний.
- Рассчитать структурную амплитуду для Mg (ГПУ решетка). Базис:  $000$ ;  $1/3 \ 2/3 \ 1/2$ . Перенести начало координат в положение центра симметрии. Найти новое значение базиса и структурной амплитуды. Сравнить значения  $F$  и  $F^2$  для обоих вариантов.
- Кристалл 1,5 динитронафталина характеризуется элементарной ячейкой с параметрами  $a = 7.81 \text{ \AA}$ ,  $b = 16.02 \text{ \AA}$ ,  $c = 3.62 \text{ \AA}$ ,  $\beta = 102^\circ$  и пространственной группой  $P2_1/a = C_{2h}^5$ . Определить элементарную ячейку обратной решетки и узор  $F^2$ -тела.

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач



1. Проиндцировать рентгенограмму кубического вещества с межплоскостными расстояниями 2.22, 1.57, 1.28, 1.11, 0.99.
2. Проиндцировать рентгенограмму гексагонального вещества с межплоскостными расстояниями 2.82, 2.50, 1.87, 1.45, 1.42, 1.29, 1.25.
3. Проиндцировать рентгенограмму тетрагонального вещества с межплоскостными расстояниями 4.04, 3.13, 2.85, 2.48, 2.11, 2.02, 1.93.
4. Каково соотношение интенсивности линий с четными и нечетными индексами у структур цинковой обманки и антимонида индия (структурный тип – цинковая обманка)? Проведите расчет для  $H+K+L=4n$  и  $H+K+L=4n+2$  отдельно.
5. Подобрать излучение, наиболее целесообразное для прецизионных измерений параметров элементарных ячеек Al ( $a \approx 4.05 \text{ \AA}$ ), Ni ( $a \approx 3.52 \text{ \AA}$ ), Cu ( $a \approx 3.61 \text{ \AA}$ ),  $\alpha\text{Fe}$  ( $a \approx 2.87 \text{ \AA}$ ) и Zn ( $a \approx 4.95 \text{ \AA}$ ). Возможно использование  $K\alpha$  излучения железа, кобальта, никеля и меди.
6. Рентгенограмма поликристаллического цинка получена в фокусирующей камере на медном излучении. Линии (0006) и  $(21\bar{3}2)$  образуют триплет: линия 0006  $K\alpha_2$  совпадает с линией  $(21\bar{3}2) K\alpha_1$ . Угол отражения  $\theta = 69^\circ 30'$ . Определить значения  $c/a$ ,  $c$  и  $a$  для цинка.
7. Медь с золотом образуют непрерывный ряд твердых растворов:  $a_{\text{Au}}=4,0786 \text{ \AA}$ ,  $a_{\text{Cu}}=3,6150 \text{ \AA}$ . Параметр ячейки определяется на дифрактометре, точность измерения угла  $\Delta\theta = \pm 1'$ . Исследование проводится на излучении  $\text{Cu}K\alpha$ . С какой точностью может быть определена концентрация твердого раствора в области, близкой к 50 атомным процентам?
8. Лауэграмма алюминия ( $a = 4.049 \text{ \AA}$ ) получена в камере РКСО (расстояние от образца до пленки  $D=40 \text{ мм}$ ) при напряжении 50 кВ. Отражение типа (113) находится на расстоянии  $S_1=11,8 \text{ мм}$  от следа первичного пучка, отражение типа 211 на расстоянии  $S_2=17 \text{ мм}$ . Определить, какие наблюдаются порядки отражений и до какой величины нужно снизить напряжение, чтобы исчезло одно из указанных пятен.
9. Построить «теоретическую» лауэграмму монокристалла Al ориентации [001].
10. Построить «теоретическую» текстурограмму для вольфрамовой проволоки с аксиальной текстурой  $\langle 110 \rangle$ . Текстурограмма должна быть получена в камере РКСО на излучении  $\text{Ag}K\alpha$  ( $\lambda = 0.56 \text{ \AA}$ ). Расстояние от образца до пленки  $D = 40 \text{ мм}$ . Ограничиться первыми пятью дебаевскими кольцами.

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

1. Получение рентгеновских лучей, их природа. Основные свойства рентгеновских лучей.
2. Рентгеновские спектры. Излучение со сплошным спектром, его происхождение и свойства.
3. Характеристический спектр, теория его происхождения и закономерности.
4. Устройство рентгеновской трубки. Устройство рентгеновских аппаратов.
5. Явления, сопровождающие прохождение рентгеновских лучей через вещество.
6. Закон ослабления интенсивности рентгеновских лучей при прохождении через вещество. Линейный и массовый коэффициенты ослабления.
7. Основы рентгеновской и гамма-дефектоскопии. Факторы, влияющие на ее чувствительность. Компенсаторы и их применение. Явление рассеяния. Когерентное и некогерентное (комптоновское) рассеяние рентгеновских лучей.
8. Дифракция рентгеновских лучей на кристалле.
9. Уравнение Вульфа-Брегга. Уравнение Вульфа-Брегга в обратной решетке
10. Уравнение Лауэ.

11. Геометрическая интерпретация дифракции с помощью сферы Эвальда. Методы исследования монокристаллов. Метод Лауэ. (2 ч).
12. Метод вращающегося монокристалла и его применение, объяснение происхождения слоевых линий на рентгенограмме в представлении обратной решетки.
13. Метод поликристалла (порошка). Аналитическое и графическое индентирование рентгенограмм кристаллов кубической и средних сингоний. Определение периодов решетки.
14. Рентгеноструктурный качественный и количественный фазовый анализы. Количественный фазовый анализ. Анализ двухфазных композиций методом градуировочной кривой.
15. Определение содержания фазы в многофазной композиции методом подмешивания внутреннего стандарта. Метод внешнего стандарта.
16. Анализ текстурированных материалов, внутренних напряжений, процессов при нагреве деформированных материалов.
17. Классификация текстур. Полусные фигуры и их построение с помощью дифрактометра. Изучение аксиальной текстуры.
18. Ограниченные текстуры. Их анализ с помощью прямых полусных фигур. Обратные полусные фигуры и их использование для исследования текстур.
19. Анализ зональных напряжений. Определение внутренних напряжений с помощью рентгеновских лучей. Рентгеноанализ размера областей когерентного рассеяния и величины микродеформации при их совместном действии. Метод аппроксимации.
20. Анализ структурных изменений, происходящих при нагреве наклепанных металлов и сплавов.
21. Возврат. Рентгеноанализ процессов возврата.
22. Рекристаллизация. Рентгеноанализ процессов рекристаллизации.
23. Дифракция электронов. Геометрия дифракционной картины. Основные области применения электронографии. Дифракция медленных электронов.
24. Области применения нейтронографии. Времяпролетная нейтронография.

### **7.2.5 Примерный перечень вопросов для подготовки к экзамену**

Не предусмотрено учебным планом

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 10 вопросов и задачу. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом, задача оценивается в 10 баллов (5 баллов верное решение и 5 баллов за верный ответ). Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Зачтено» ставится в случае, если студент набрал более 8 баллов.

2. Оценка «Незачтено» ставится в случае, если студент набрал менее 10 баллов.

## 7.2.7 Паспорт оценочных материалов

№ п/п	Контролируемые разделы (темы) дисциплины	Код контролируемой компетенции	Наименование оценочного средства
1	Физика рентгеновских лучей. Источники рентгеновских лучей, монохроматоры и детекторы	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа,
2	Взаимодействие рентгеновских лучей с веществом	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа,
3	Интерференция рентгеновских лучей	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа
4	Основные методы рентгеноструктурного анализа	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа
5	Анализ текстурированных материалов, внутренних напряжений, процессов при нагреве деформированных материалов	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа
6	Применение дифракции электронов и нейтронов	ПВК-9, ПК-29	Тест, контрольная работа

## 7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

## 8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины

1. Лукин, А.А. Рентгенография металлов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. ( 18.1Мб ). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2011.

2. Лукин, А.А. Структура и дифракционные методы анализа кристаллических материалов [Электронный ресурс] : Учеб. пособие. - Электрон. текстовые, граф. дан. ( 18,0 Мб ). - Воронеж : ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2013.

3. А.А. Лукин, Специальные методы исследования материалов. Учеб. пособ. Воронеж: Изд-во ГОУ ВПО ВГТУ, 2008. 133 с.

4. А.Т.Косилов, С.Ю. Вахмин, А.В. Король. Кристаллофизика. Учеб. пособ. Воронеж : Изд-во ГОУ ВПО ВГТУ, 2009. 143 с.

5. Келли А. Гровс Г. Кристаллография и дефекты в кристаллах. – М.: Мир, 1974.

6. Методические указания к проведению лабораторных работ по курсам "Кристаллография, рентгенография, микроскопия" и "Специальные методы исследования

конструкционных материалов" для студентов специальностей 150702 "Физика металлов" и 200503 "Стандартизация и сертификация" очной формы обучения. Ч.2 / Каф. материаловедения и физики металлов; Сост.: А. А. Лукин, З. С. Лукина. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2010. - 34 с.

7. Методические указания к проведению лабораторных работ по курсам "Кристаллография, рентгенография, микроскопия" и "Специальные методы исследования конструкционных материалов" для студентов специальностей 150702 "Физика металлов" и 200503 "Стандартизация и сертификация" очной формы обучения. Ч.1 / Каф. материаловедения и физики металлов; Сост.: А. А. Лукин, З. С. Лукина. - Воронеж : ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2010. - 45 с.

## **8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

Обучающиеся могут при необходимости использовать возможности информационно-справочных систем, электронных библиотек и архивов.

Адрес электронного каталога электронно-библиотечной системы ВГТУ: <http://catalog2.vgasu.vrn.ru/MarcWeb2/>

Другие электронной информационно-образовательной ресурсы доступны по ссылкам на сайте ВГТУ-см. раздел Электронные образовательные информационные ресурсы. В их числе: библиотечные серверы в Интернет, серверы науки и образования, периодика в интернет, словари и энциклопедии.

- Электронная библиотека диссертаций Российской государственной библиотеки <http://www.diss.rsl.ru>

- Электронно-библиотечная система «Лань» <http://www.e.lanbook.com3>

- Электронно-библиотечная система «Elibrary» <http://elibrary.ru>

- Электронно-библиотечная система «IPRbooks» <http://www.iprbookshop.ru>

- Справочная правовая система Консультант Плюс. Доступна только в локальной сети ВГТУ

- Электронные ресурсы российских корпоративных библиотечных систем <http://www.arbikon.ru>

- Электронная библиотечная система ВГТУ <http://catalog.vgasu.vrn.ru/> MarcWeb2

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

Специализированная лекционная аудитория, оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой

Учебные лаборатории:

«Лаборатория рентгеноструктурного анализа» (Рентгеновский дифрактометр ДРОН-2, рентгеновские камеры для съемки дебаеграмм и лауэграмм, рентгеновские трубки, детекторы рентгеновских квантов).

Дисплейный класс, оснащенный компьютерными программами для проведения лабораторного практикума

Натурные лекционные демонстрации:

– демонстрационные образцы кристаллов кальцита, кварца, сегнетовой соли, флюорита и др.

– модели кристаллических решеток ОЦК, ГЦК, ГП, CsCl, сфалерита, вюрцита, графита, кристобалита, рутила, флюорита, перовскита и др..

– сетки Вульфа, сетки Болдырева, стандартные проекции, справочная литература по физическим свойствам кристаллов.

– дебаграммы, лауэграммы, рентгеновские дифрактограммы различных образцов.

## 10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

По дисциплине «Дифракционные методы исследования наноструктур» читаются лекции, проводятся практические занятия.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков решения задач по рентгеноструктурному анализу. Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Вид учебных занятий	Деятельность студента
Лекция	Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, обобщения; пометить важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.
Практическое занятие	Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.
Самостоятельная работа	Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие: <ul style="list-style-type: none"><li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li><li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li><li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li><li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li><li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li></ul>
Подготовка к промежуточной аттестации	Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.