

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

**УТВЕРЖДАЮ**  
Декан ФРТЭ В.А. Небольсин  
«20» января 2023 г



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**  
дисциплины

**«Кристаллография»**

**Направление подготовки** 28.03.01 Нанотехнологии и микросистемная техника

**Профиль** Компоненты микро- и наносистемной техники

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2023

**Автор программы**

/Калгин А.В./

**И.о. заведующего кафедрой  
твердотельной электроники**

/Калинин Ю.Е./

**Руководитель ОПОП**

/Стогней О.В./

Воронеж 2023

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** ввести слушателя в мир кристаллического пространства, его симметричных свойств, многообразия их проявления, и фундаментальных закономерностей, объединяющих эти закономерности

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** обоснование взаимосвязи симметрии кристалла и его физических свойств. Подготовка студента к осмысленному восприятию специальных дисциплин, ориентированных на изучение физических свойств кристаллических материалов. Изображение кристаллов. Симметрия кристаллов. Кристаллогеометрия пространственной решетки. Элементы структурной кристаллографии. Дефекты кристаллической структуры: точечные, линейные, двумерные. Влияние дефектов кристаллической решетки на физические свойства кристаллов

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Кристаллография» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений (дисциплина по выбору) блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Кристаллография» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-5 - Способен исследовать, анализировать и прогнозировать влияние различных факторов на параметры наногетероструктурных объектов и изделий.

ПК-4 - Способен участвовать в реализации технологических процессов в рамках планарной технологии, обеспечивающих создание монолитных интегральных схем

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                               |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-5        | знать основные фундаментальные положения, принципы и закономерности геометрической и структурной кристаллографии; принципы симметричного подхода к анализу физических свойств твердых тел; методологию расчета структуры тензоров, описывающих физические свойства твердых тел разной симметрии |
|             | уметь использовать симметричный подход, принципы симметрии для анализа физических явлений, свойств, структурных организаций в конденсированных средах; решать задачи кристаллофизики                                                                                                            |
|             | владеть навыками применения основных положений и принципов кристаллофизики в практических приложениях; навыками применения симметричных подходов к анализу физических явлений и процессов в кон-                                                                                                |

|      |                                                                                                                                                                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|      | денсированных средах; навыками решения задач кристаллофизики                                                                                                                         |
| ПК-4 | знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов; основные способы получения и технологию кристаллов                               |
|      | уметь разрабатывать технологические схемы производства кристаллов; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций |
|      | владеть методами выращивания кристаллов                                                                                                                                              |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Кристаллография» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий

**очная форма обучения**

| Виды учебной работы                                       | Всего часов | Семестры |     |
|-----------------------------------------------------------|-------------|----------|-----|
|                                                           |             | 5        | 6   |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>                         | 108         | 54       | 54  |
| В том числе:                                              |             |          |     |
| Лекции                                                    | 72          | 36       | 36  |
| Практические занятия (ПЗ)                                 | 36          | 18       | 18  |
| <b>Самостоятельная работа</b>                             | 45          | 18       | 27  |
| Часы на контроль                                          | 27          | -        | 27  |
| Виды промежуточной аттестации - эк-замен, зачет с оценкой | +           | +        | +   |
| Общая трудоемкость:                                       |             |          |     |
| академические часы                                        | 180         | 72       | 108 |
| зач.ед.                                                   | 5           | 2        | 3   |

#### 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     | Симметрия кристаллов           | Анизотропия и симметрия кристаллов. Структура кристалла и пространственная решетка. Закон постоянства углов кристаллов. Формула Вульфа-Брэгга. Метод кристаллографического индирования. Закон целых чисел. Кристаллографические проекции. Элементы симметрии кристаллических многогранников. Теоремы о сочетании операций симметрии. Классы симметрии. Вывод и описание 32 классов симметрии. Формы кристаллов | 12   | 6         | 6   | 24         |
| 2     | Симметрия структуры кристаллов | Решетки Бравэ. Элементы симметрии кристаллических структур. Теоремы о сочетании операций симметрии структур. Пространственные группы симметрии. Обратная решетка. Основные сведения об экспериментальном определении струк-                                                                                                                                                                                    | 12   | 6         | 8   | 26         |

|              |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |           |           |           |            |
|--------------|--------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|-----------|------------|
|              |                                | туры кристаллов. Основные формулы структурной кристаллографии                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |           |           |           |            |
| 3            | Кристаллохимия                 | Атомные и ионные радиусы. Координационное число и координационный многогранник. Число атомов в ячейке. Определение стехиометрической формулы вещества. Поляризация ионов. Типы связи в структурах. Пределы устойчивости структур. Плотнейшие упаковки частиц в структурах. Основные типы структур. Политипия. Изоморфизм. Фазовые переходы. Полиморфизм                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 12        | 6         | 8         | 26         |
| 4            | Физические свойства кристаллов | Предельные группы симметрии. Основной принцип симметрии в кристаллофизике. Указательные поверхности. Тензорное описание физических свойств кристаллов. Кристаллофизические системы координат. Антисимметрия. Скалярные физические свойства. Векторные свойства. Пьезоэлектрический эффект. Диэлектрические свойства. О физических свойствах, описываемых тензором второго ранга. Магнитные свойства. Теплопроводность. Двойное лучепреломление и поляризация света в кристаллах. Оптические свойства кристаллов и их применение. Исследование оптических свойств кристаллов в поляризованном свете. Напряжение и деформации в кристаллах. Тепловое расширение. Пьезоэлектрический эффект. Сегнетоэлектрические свойства. Электрооптический эффект. Упругие свойства. Пьезооптический эффект. Взаимная связь физических свойств и явлений в кристаллах | 12        | 6         | 8         | 26         |
| 5            | Физика реальных кристаллов     | Механические свойства. Пластическая деформация. Спайность и твердость. Атомные нарушения структуры кристалла. Классификация дефектов структуры. Точечные дефекты. Дислокации. Движении дислокации. Энергия дислокации. Дислокации в некоторых реальных кристаллических структурах. Поле напряженной дислокации. Методы наблюдения дислокаций                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 12        | 6         | 8         | 26         |
| 6            | Рост кристаллов                | Зарождение кристаллов. Основные представления о росте кристаллов. Равновесная форма кристаллов. Реальные формы роста кристаллов. Макроскопические дефекты кристаллов. Закономерные сростки и двойники. Эпитаксия. Краткие сведения о методах выращивания кристаллов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 12        | 6         | 7         | 25         |
| <b>Итого</b> |                                |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <b>72</b> | <b>36</b> | <b>45</b> | <b>153</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                                                   |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ПК-5        | знать основные фундаментальные положения, принципы и закономерности геометрической и структурной кристаллографии; принципы симметричного подхода к анализу физических свойств твердых тел; методологию расчета структуры тензоров, описывающих физические свойства твердых тел разной симметрии | Тест                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь использовать симметричный подход, принципы симметрии для анализа физических явлений, свойств, структурных организаций в конденсированных средах; решать задачи кристаллофизики                                                                                                            | Тест                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть навыками применения основных положений и принципов кристаллофизики в практических приложениях; навыками применения симметричных подходов к анализу физических явлений и процессов в конденсированных средах; навыками решения задач кристаллофизики                                     | Тест                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
| ПК-4        | знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов; основные способы получения и технологию кристаллов                                                                                                                                          | Тест                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь разрабатывать технологические схемы производства кристаллов; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций                                                                                                            | Тест                | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

|  |                                         |      |                                                               |                                                                 |
|--|-----------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
|  | владеть методами выращивания кристаллов | Тест | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|--|-----------------------------------------|------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 5, 6 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;

«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                               | Критерии оценивания                                      | Отлично                                                | Хорошо                                                                                | Удовл.                                                   | Неудовл.                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ПК-5        | знать основные положения, принципы и закономерности геометрической и структурной кристаллографии; принципы симметричного подхода к анализу физических свойств твердых тел; методологию расчета структуры тензоров, описывающих физические свойства твердых тел разной симметрии | Тест                                                     | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | уметь использовать симметричный подход, принципы симметрии для анализа физических явлений, свойств, структурных организаций в конденсированных средах; решать задачи кристаллофизики                                                                                            | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|             | владеть навыками применения основных положений и принципов кристаллофизики в практических приложениях; навыками применения симметричных подходов к анализу физических явлений и процессов в конденсированных средах; навыками решения задач кри-                                | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

|      |                                                                                                                                                                                      |                                                          |                                                        |                                                                                       |                                                          |                                      |
|------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
|      | сталлофизики                                                                                                                                                                         |                                                          |                                                        |                                                                                       |                                                          |                                      |
| ПК-4 | знать основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов; основные способы получения и технологию кристаллов                               | Тест                                                     | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|      | уметь разрабатывать технологические схемы производства кристаллов; определять экспериментальным или расчетным путем оптимальные режимы проведения отдельных технологических операций | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|      | владеть методами выращивания кристаллов                                                                                                                                              | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | 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. При смещении кристалла на вектор трансляции

- а) грани кристалла совмещаются;
- б) появляется возможность определить пространственную группу симметрии;
- с) кристалл самосовмещается;
- д) ничего не происходит.

#### 2. Отсутствие в точечных группах симметрии кристаллов оси пятого порядка объясняется

- а) отсутствием в кристаллах атомных конфигураций с осями симметрии 5-го порядка;
- б) отсутствием граней кристаллов с осями 5-го порядка;
- с) наличием правильной огранки кристалл;
- д) наличием пространственной решетки.

#### 3. Из перечисленных подборок классов симметрии:

- а)  $m$ , 2, 4mm, 32, mmm;
- б) 2, 6, 4mm, mm2, 1;
- с) 3,  $m$ , 2/m,  $\bar{1}$ , mmm;
- д)  $m\bar{3}$ , 3,  $\bar{6}m2$ , 222, 4m

все классы в данной подборке только полярные;  
все классы только с единичными (особыми) направлениями.

4. *Пространственные группы симметрии описывают*

- a) симметрию взаимного расположения атомов в кристалле;
- b) координаты атомов в трехмерном пространстве;
- c) пространственное размещение структурного мотива в элементарной ячейке;
- d) только трансляционный порядок в кристалле.

5. *Расстояния между узлами обратной решетки равны*

- a) обратной величине расстояний между атомами;
- b) обратной величине расстояний между узлами пространственной решетки;
- c) величине расстояния между узловыми плоскостями, возведенной в степень (-1).

6. *Пирозлектрики могут иметь точечные группы симметрии*

- a)  $m$ , 1,  $6mm$ ,  $mm2$ ,  $3m$ , 4;
- b)  $\bar{3}$ ,  $4/mmm$ ,  $2/m$ ,  $mmm$ ;
- c)  $m3$ ,  $m3m$ , 432;
- d) 222, 2, 32, 422.

7. *Принцип Неймана позволяет*

- a) определить точечную группу симметрии кристалла, зная свойства этого кристалла;
- b) по результатам изучения изменения физических свойств в поле физического воздействия определять точечную группу симметрии кристалла;
- c) зная точечную группу симметрии кристалла, определять симметрию его возможных физических свойств.

8. *Гидростатическое давление может*

- a) понизить симметрию кристалла;
- b) привести к изменению величины и направления вектора спонтанной поляризации;
- c) повысить симметрию кристалла;
- d) не приводит к изменениям симметрии физических свойств кристаллов.

9. *Точечная группа симметрии сегнетоэлектрической фазы кристалла  $4mm$ . Какие из перечисленных точечных групп симметрии может иметь параэлектрическая фаза данного кристалла?*

- a)  $4/m\bar{m}2$ ;
- b)  $\bar{4}3m$ ;
- c)  $m3m$ ;
- d) 432;
- e) 4.

10. *Вдоль главных осей полевого тензора напряжений*

- a) направление действующей на площадку силы и направление нормали к этой площадке совпадают;

б) действующие на площадку силы совпадают с направлением вдоль этой площадки;

с) действуют только максимальные силы;

д) отсутствуют напряжения растяжения и сжатия.

11. Какой вид имеет характеристическая поверхность коэффициента теплового расширения кристалла, если, согласно справочным данным, главные электропроводности данного кристалла соотносятся между собой как  $\alpha_1 = \alpha_2 \neq \alpha_3$ ?

а) однополостный гиперболоид;

б) сфера;

с) эллипсоид вращения;

д) трехосный эллипсоид.

12. Кристаллы каких из перечисленных точечных групп симметрии могут обладать пьезоэлектрическими свойствами?

а) 2/m;

б) 4m;

с) 222;

д) 6/m;

е) mmm.

13. Главные оси тензора электропроводности – это направления, вдоль которых вектор плотности тока

а) образует оптимальный угол наклона с направлением напряженности поля;

б) перпендикулярен вектору напряженности поля;

с) параллелен вектору напряженности поля;

д) никак не связан с направлением напряженности поля.

14. Вид матрицы пьезомодулей зависит от

а) симметрии кристалла;

б) расположения осей координат, в которых задана матрица пьезомодулей;

с) характера приложенной к кристаллу нагрузки;

д) не зависит от чего-либо.

15. Монокристалл в однородном поле напряжения сжатия вдоль оси  $X_3$  обнаруживает отличные от нуля компоненты деформаций  $\varepsilon_{11}$  и  $\varepsilon_{23}$ . Какие из перечисленных упругих податливостей соответствуют приведенным компонентам деформаций?

а)  $S_{31}$ ;

б)  $S_{13}$ ;

с)  $S_{21}$ ;

д)  $S_{53}$ ;

е)  $S_{22}$ .

16. Эффект Поккельса состоит в

а) деформации кристалла под влиянием внешнего электрического поля;

б) изменении тензора диэлектрической проницаемости кристалла в

электрическом поле;

с) изменении оптической индикатрисы кристалла под действием электрического поля.

17. Количество атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку в ОЦК решетке:

а) 2;

б) 4;

с) 6.

18. Суммарная длина всех линий дислокаций в единице объема называется

а) плотностью дислокаций;

б) вектором Бюргерса;

с) искажением решетки.

19. Расстояния (А, В, С) между центрами ближайших атомов в элементарной ячейке называют

а) плотностями упаковки;

б) периодами решетки;

с) координационными числами.

20. Линейный дефект строения кристаллической решетки – это

а) дислокация;

б) вакансия;

с) граница зерна.

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

1. Найти символ плоскости, отсекающей на осях координат отрезки  $4a$ ,  $3b$  и  $2c$ .

а) (111);

б) (346);

с) (122);

д) (213).

2. Найти символ плоскости, параллельной осям  $X$  и  $Z$  и отсекающей три единицы на оси  $Y$ .

а) (122);

б) (246);

с) (010);

д) (100).

3. Определить символ направления, проходящего через начало координат  $O$  и точку с координатами  $(a/8, 3b/8, 5c/8)$ .

а) [001];

б) [121];

с) [531];

д) [135].

4. Определить символ направления, проходящего через точки  $A(0, b/2, c/2)$  и  $B(a/2, 0, c/2)$ .

а) [110];

б) [010];

с)  $[001]$ ;

д)  $[011]$ .

5. Найти индексы узлового ряда, проходящего через два узла кристаллической решетки с индексами  $[\bar{1}11]$  и  $[\bar{1}10]$ .

а)  $[111]$ ;

б)  $[\bar{3}32]$ ;

с)  $[201]$ ;

д)  $[212]$ .

6. В кристаллическом пространстве задан вектор  $\mathbf{R} = \mathbf{a}/4 + \mathbf{b}/3 + \mathbf{c}/2$ , где  $\mathbf{a}$ ,  $\mathbf{b}$ ,  $\mathbf{c}$  – базисные векторы трансляций. Является ли прямая, параллельная этому вектору, узловым рядом? Найти его индексы.

а) является узловым рядом с индексами  $[346]$ ;

б) не является узловым рядом;

с) является узловым рядом с индексами  $[623]$ ;

д) является узловым рядом с индексами  $[432]$ .

7. Найти индексы узловой плоскости, проходящей через три узла кристаллической решетки  $[\bar{1}10]$ ,  $[\bar{1}01]$  и  $[011]$ .

а)  $[\bar{1}00]$ ,  $[\bar{0}10]$  и  $[\bar{0}01]$ ;

б)  $[\bar{0}01]$ ,  $[\bar{1}01]$  и  $[\bar{1}00]$ ;

с)  $[\bar{0}10]$ ,  $[\bar{1}01]$  и  $[\bar{0}01]$ ;

д)  $[\bar{1}00]$ ,  $[\bar{0}01]$  и  $[\bar{1}11]$ .

8. Задан узловой ряд  $[110]$ . Записать индексы нескольких узлов, лежащих на параллельном узловом ряду, проходящем через узел  $[\bar{1}100]$ .

а)  $[\bar{2}10]$ ,  $[\bar{3}20]$ ;

б)  $[\bar{1}22]$ ,  $[\bar{1}11]$ ;

с)  $[\bar{0}12]$ ,  $[\bar{2}30]$ ;

д)  $[\bar{1}02]$ ,  $[\bar{2}03]$ .

9. Измерить угол между направлениями, заданными сферическими координатами  $\varphi_3 = 76^\circ$ ,  $\rho_3 = 23^\circ$  и  $\varphi_4 = 34^\circ$ ,  $\rho_4 = 119^\circ$ .

а)  $101^\circ$ ;

б)  $23^\circ$ ;

с)  $89^\circ$ ;

д)  $77^\circ$ .

10. Две пары точек со сферическими координатами  $\varphi_1 = 172^\circ$ ,  $\rho_1 = 46^\circ$ ,  $\varphi_2 = 16^\circ$ ,  $\rho_2 = 64^\circ$  и  $\varphi_3 = 140^\circ$ ,  $\rho_3 = 40^\circ$ ,  $\varphi_4 = 82^\circ$ ,  $\rho_4 = 106^\circ$  соответственно определяют две дуги больших кругов. Найти угол между этими дугами.

а)  $90^\circ$ ;

б)  $77^\circ$ ;

с)  $31^\circ$ ;

д)  $56^\circ$ .

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

1. Кристалл NaCl поместили в однородное электрическое поле, вектор

напряженности которого совпадает с направлением  $[\bar{1}10]$ . Найти симметрию кристалла в поле.

- a)  $D_{2d}$ ;
- b)  $T$ ;
- c)  $O_h$ ;
- d)  $C_{2v}$ .

2. Как следует направить однородное электрическое поле, чтобы оптически одноосный кристалл с симметрией  $D_{4h}$  остался одноосным?

- a) вдоль  $[100]$ ;
- b) вдоль  $[010]$ ;
- c) вдоль  $[001]$ .

3. Кристалл  $NaCl$  поместили в однородное электрическое поле, вектор напряженности которого совпадает с направлением оси четвертого порядка. Найти симметрию кристалла в поле.

- a)  $D_{2h}$ ;
- b)  $C_{4i}$ ;
- c)  $C_4$ ;
- d)  $C_{4v}$ .

4. Определить симметрию кристалла кварца (точечная группа  $D_3$ ) в поле одноосного механического сжатия, приложенного вдоль направления оси второго порядка.

- a)  $C_1$ ;
- b)  $C_2$ ;
- c)  $C_3$ ;
- d)  $C_4$ .

5. Определить симметрию кристалла с точечной группой  $D_{4h}$  в однородном магнитном поле, действующем в направлении перпендикулярно оси четвертого порядка.

- a)  $D_2$ ;
- b)  $C_1$ ;
- c)  $D_{3h}$ ;
- d)  $C_{3h}$ .

6. Определить симметрию монокристалла титаната бария в сегнетоэлектрической фазе, если вектор спонтанной поляризации направлен вдоль  $[100]$ . Группа симметрии  $BaTiO_3$  в параэлектрической фазе  $O_h$ .

- a)  $C_{4v}$ ;
- b)  $C_{2v}$ ;
- c)  $D_{4h}$ ;
- d)  $D_{2d}$ .

7. Вдоль каких кристаллографических направлений (указать индексы) одноосное механическое растяжение не меняет симметрию кристаллов тетрагональной и гексагональной сингоний?

- a)  $[120]$ ;
- b)  $[100]$ ;

c) [001];

d) [010].

8. В кристаллах каких тетрагональных точечных групп симметрии приложение однородного электрического поля любого направления (в том числе [001]) приводит к изменению симметрии оптической индикатрисы ( $D_{\infty h}$ )?

a)  $S_4 = \bar{4}$ ;  $D_{2d} = \bar{4}2m$ ;

b)  $C_4 = 4$ ;  $D_4 = 422$ ;

c)  $C_s = m$ ;  $C_{2h} = 2/m$ ;

d)  $C_{3i} = \bar{3}$ ;  $D_3 = 32$ .

9. Какие из одноосных кристаллов не будут изменять симметрию оптической индикатрисы при внесении их в однородное электрическое поле, направленное по оси высшего порядка?

a)  $O = 432$ ;  $T_d = \bar{4}3m$ ;

b)  $C_{6h} = 6/m$ ;  $D_6 = 622$ ;

c)  $C_s = m$ ;  $T = 23$ ;

d)  $S_4 = \bar{4}$ ;  $D_{2d} = \bar{4}2m$ .

10. Возможен ли пьезоэффект в кристалле с симметрией  $D_3 = 32$  при всестороннем сжатии? В каком направлении следует сжимать кристалл, чтобы имел место пьезоэффект?

a) Нет; [100], [210];

b) Да;

c) Нет; [111], [123];

d) Нет; [110], [346].

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

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к экзамену

5-й семестр:

1. Пространственная решетка, особенности ее строения.

2. Особенности кристаллических веществ.

3. Методы выращивания кристаллов.

4. Явления, сопровождающие кристаллизацию.

5. Законы кристаллографии.

6. Кристаллографические проекции.

7. Элементы симметрии кристаллических многогранников.

8. Теоремы о сочетании операций симметрии.

9. Классы симметрии. Общие определения и системы обозначений.

10. Вывод и описание 32 классов симметрии.

11. Формы кристаллов.

12. Решетки Бравэ.

13. Элементы симметрии кристаллических структур.

14. Теоремы о сочетании операций симметрии структур.

15. Пространственные группы симметрии.
16. Взаимодействие частиц в кристалле.
17. Типы химических связей в кристаллах.
18. Пределы устойчивости структур.
19. Плотнейшие шаровые упаковки.
20. Способы изображения кристаллических структур. Мотивы структур.

21. Изоморфизм.
22. Полиморфизм.

6-й семестр:

1. Предельные группы симметрии.
2. Основной принцип симметрии в кристаллофизике. Указательные поверхности.
3. Тензорное описание физических свойств кристаллов. Кристаллографические системы координат.
4. Антисимметрия.
5. Скалярные физические свойства.
6. Векторные свойства. Пироэлектрический эффект.
7. Упругие свойства кристаллов.
8. Твердость кристаллов.
9. Спайность.
10. Электрические свойства кристаллов.
11. Электромеханические свойства кристаллов.
12. Магнитные свойства кристаллов.
13. Теплопроводность.
14. Тепловое расширение.
15. Сегнетоэлектрические свойства кристаллов.
16. Оптика кристаллов.
17. Электрооптический эффект.
18. Пьезооптический эффект.
19. Взаимная связь физических свойств и явлений в кристаллах.
20. Атомные нарушения структуры кристалла. Классификация дефектов структуры.
21. Точечные дефекты.
22. Дислокации.

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

Экзамен 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 «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Симметрия кристаллов                     | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |
| 2     | Симметрия структуры кристаллов           | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |
| 3     | Кристаллохимия                           | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |
| 4     | Физические свойства кристаллов           | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |
| 5     | Физика реальных кристаллов               | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |
| 6     | Рост кристаллов                          | ПК-5, ПК-4                     | Тест                             |

#### **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. Косилов А.Т. Кристаллофизика: учеб. пособие / А.Т. Косилов, С.Ю. Вахмин, А.В. Король. – Воронеж: ГОУВПО "Воронежский государственный технический университет", 2009. – 143 с.

2. Чупрунов Е.В. Основы кристаллографии: учебник / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фаддеев. – М.: Физматлит, 2004. – 500 с.

3. Розин К.М. Практическая кристаллография: учеб. пособие / К.М. Розин. – М.: МИССИС, 2005. – 488 с.

4. Задачи по кристаллографии: учеб. пособие / под ред. Е.В. Чупрунова, А. Ф. Хохлова. – М.: Физматлит, 2003. – 208 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:**

*Microsoft Office Word 2013/2007, Microsoft Office Excel 2013/2007, Microsoft Office Power Point 2013/2007, Windows Professional 8.1 (7 и 8), Adobe Acrobat Reader, Mozilla Firefox.*

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

*1. Демонстрационные образцы кристаллов кальцита, кварца, сегнетовой соли, флюорита и др.*

*2. Модели кристаллических решеток ОЦК, ГЦК, ГПУ, CsCl, сфалерита, вюрцита, графита, кристобалита, рутила, флюорита, перовскита и др.*

*3. Сетки Вульфа, сетки Болдырева, стандартные проекции, справочная литература по физическим свойствам кристаллов.*

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

По дисциплине «Кристаллография» 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 расчета задач из разных разделов дисциплины «Кристаллография». 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; пометать 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 | <p>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 с оценкой, экзаменом три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>                                                                              |