

МИНОБРНАУКИ РОССИИ  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ВОРОНЕЖСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»  
(ФГБОУ ВО «ВГУ»)

**УТВЕРЖДАЮ**

Заведующий кафедрой  
материаловедения и индустрии наносистем  
Академик РАН

  
В.М. Иевлев  
*подпись, расшифровка подписи*

25.06.2021 г.

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

### Б1.О.21 Кристаллохимия

- 1. Код и наименование направления подготовки/специальности:** 04.03.01 Химия
- 2. Профиль подготовки/специализация:** -
- 3. Квалификация выпускника:** бакалавр
- 4. Форма обучения:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:** кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:** Шаров Михаил Константинович, кандидат химических наук, доцент
- 7. Рекомендована:** Научно-методический совет химического факультета протокол № 5 от 17.06.2021

---

*отметки о продлении вносятся вручную)*

---

**8. Учебный год:** 2022-2023

**Семестр(ы):** 3

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Изучение зависимости пространственного строения веществ, их физико-химических свойств в зависимости от типа химической связи, которая реализуется между структурными единицами вещества. В основу положены свойство симметрии и Периодический закон как основа химической систематики. Рассматривается классификация структурных типов и особенностей пространственного строения простых веществ, а также бинарных и сложных химических соединений. Изучаются особенности стереохимии комплексных соединений и металлорганических соединений. Серьезное внимание уделяется стереохимии и кристаллохимии наиболее перспективных функциональных материалов. Уделяется внимание изучению путей развития структурной химии, проблеме получения новых неорганических веществ с заранее заданными свойствами (полупроводники, ферриты, неорганические полимеры, жидкие кристаллы, нанотрубки, наноструктуры и т.п.).

## 10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:

Блок 1, обязательная часть. Для успешного освоения данной дисциплины, студент должен предварительно изучить следующие дисциплины: Неорганическая химия. Данная дисциплина является предшествующей для дисциплин: Строение вещества; Структурный анализ и дифракционные методы исследования; Квантовая механика и квантовая химия.

## 11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями) и индикаторами их достижения:

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен анализировать и интерпретировать результаты химических экспериментов, наблюдений и измерений.	ОПК-1.1	Систематизирует и анализирует результаты химических экспериментов, наблюдений, измерений, а также результаты расчетов свойств веществ и материалов.	Знать: Теоретические основы проведения измерений структуры и свойств кристаллов.  Уметь: Делать обоснованный выбор наиболее оптимальных методов измерений свойств кристаллических веществ.  Владеть: Методами анализа результатов экспериментов, измерений, количественной оценки качества измерений свойств кристаллических веществ.
		ОПК-1.2	Предлагает интерпретацию результатов собственных экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ традиционных и новых разделов химии	Знать: Законы химии, физики, кристаллографии и кристаллохимии, необходимые для интерпретации собственных экспериментов при исследовании кристаллических веществ.  Уметь: Делать обоснованный выбор различного аналитического оборудования для исследования свойств кристаллических веществ. Применять математические методы для интерпретации экспериментов.  Владеть: Практическими навыками подготовки образцов кристаллических веществ, для проведения измерений. Навыками работы на аналитическом оборудовании, необходимом исследования

ОПК-3	Способен применять расчетно-теоретические методы для изучения свойств веществ и процессов с их участием с использованием современной вычислительной техники.	ОПК-1.3	Формулирует заключения и выводы по результатам анализа литературных данных, собственных экспериментальных и расчетно-теоретических работ химической направленности	<p>свойств и структуры кристаллов.</p> <p>Знать: Нормативно-методические требования к оформлению научных отчетов.</p> <p>Уметь: Обосновывать собственные заключения и выводы на основе фундаментальных законов химии, физики, кристаллографии, кристаллохимии, а также на основе ранее проведенных исследований и литературных источников.</p> <p>Владеть: Навыками поиска и обработки источников научной информации в виде печатных изданий и информационных ресурсов сети интернет.</p>
		ОПК-3.1	Применяет теоретические и полуэмпирические модели при решении задач химической направленности	<p>Знать: Математические модели, используемые при решении типовых задач кристаллографии, кристаллохимии и структурного анализа.</p> <p>Уметь: Интерпретировать результаты моделирования структуры и свойств кристаллов.</p> <p>Владеть: Навыками математического моделирования структуры и свойств кристаллов.</p>
		ОПК-3.2.	Использует стандартное программное обеспечение при решении задач химической направленности	<p>Знать: Назначение и возможности стандартных программных комплексов для обработки дифрактометрических измерений кристаллов.</p> <p>Уметь: Использовать программное обеспечение, для обработки результатов анализа структуры кристаллов.</p> <p>Владеть: Навыками работы с программными системами для обработки дифрактометрических измерений структуры кристаллов.</p>

## 12. Объем дисциплины в зачетных единицах/час — 3/108

Форма промежуточной аттестации – зачет с оценкой..

## 13. Трудоемкость по видам учебной работы

Вид учебной работы	Трудоемкость			
	Всего	По семестрам		
		№ семестра	№ семестра 3	...
Контактная работа	68			
в том числе: лекции	34		34	

	практические	34		34	
	лабораторные				
	курсовая работа				
Самостоятельная работа		40		40	
Промежуточная аттестация					
Итого:		108		108	

### 13.1. Содержание дисциплины

п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1.1	Основы кристаллографии	Элементы симметрии континуума. Категории и сингонии кристаллов. Стереографические проекции граней кристаллов. Точечные группы симметрии кристаллов. Простые и сложные формы кристаллических многогранников. Кристаллическая решетка. Элементы симметрии димконтинуума. Плоские сетки и пространственные решетки Бравэ. Пространственные группы симметрии кристаллов. Систематика точечных и пространственных групп симметрии кристаллов Шенфлиса и Германа-Могена (Международная система). Прямая и обратная решетки. Строение квазикристаллов.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507</a>
1.2	Основы кристаллохимии	Структурные типы простых веществ, а также бинарных и тройных соединений. Системы атомных и ионных радиусов. Взаимосвязь типа химической связи и кристаллической структуры. Дефекты в кристаллах и их влияние на физико-химические свойства. Структура неорганических полимеров, жидких кристаллов, фуллеренов, нанотрубок. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Особенности физико-химических свойств квазикристаллов. Основы дифрактометрического анализа структуры кристаллов.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507</a>
<b>2. Практические занятия</b>			
1.1	Основы кристаллографии	Вывод точечных групп симметрии и соответствующих групповых множеств операций симметрии кристаллов на основе генераторов групп и теорем о сочетании элементов симметрии. Посторонние простых и сложных форм кристаллов, а также их стереографических проекций на основе точечных групп симметрии. Вывод некоторых пространственных групп симметрии.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507</a>
1.2	Основы кристаллохимии	Описание структур металлов и простых полупроводниковых веществ. Описание структур сфалерита, вюртцита, флюорита, антифлюорита, каменной соли, шпинели. Анализ влияния точечных дефектов на физико-химических свойства кристаллов с учетом особенностей области гомогенности бинарных соединений и твердых растворов. Расчет структуры кристаллов по результатам дифрактометрического анализа.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507</a>

## 13.2. Темы (разделы) дисциплины и виды занятий

№ п/п	Наименование темы (раздела) дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Практические	Лабораторные	Самостоятельная работа	Всего
1.1	Основы кристаллографии	20	20		20	60
1.2	Основы кристаллохимии	14	14		20	48

## 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Для успешного освоения дисциплины, необходимо

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- подготовка рефератов с целью более детального изучения вопросов, рассматриваемых на лекциях;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса.

ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507>

## 15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины

а) основная литература:

№ п/п	Источник
1	Косенко Н.Ф. Кристаллография и кристаллохимия [Электронный ресурс]: учеб. пособие / Косенко Н.Ф. - Иваново : Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2017. — Москва : Ивановский ГХТУ, 2017. — 240 с. — <URL: <a href="http://www.studentlibrary.ru/book/ghtu_038.html">http://www.studentlibrary.ru/book/ghtu_038.html</a> >.
2	Басалаев Ю. М. Кристаллофизика и кристаллохимия : учебное пособие / Ю.М. Басалаев ; Министерство образования и науки Российской Федерации ; Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Кемеровский государственный университет» .— Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2014. — 403 с. — <URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=278304">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=278304</a> >.
3	Пугачев, В. М. Кристаллохимия : учебное пособие / В.М. Пугачев .— Кемерово : Кемеровский государственный университет, 2013. — 104 с. — <URL: <a href="http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232461">http://biblioclub.ru/index.php?page=book&amp;id=232461</a> >.

б) дополнительная литература:

№ п/п	Источник
4	Шаскольская М.П. Кристаллография. / М.П. Шаскольская - М. : Высш. шк., 1984. - 376 с.
5	Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю.К. Егоров-Тисменко - М. : КДУ, 2010. - 588 с.
6	Чупрунов Е. В. Основы кристаллографии: учеб. для вузов. / Е. В. Чупрунов, А. Ф. Хохлов, М. А. Фаддеев. - М. : Физматлит, 2006. - 500 с.
7	
8	Ормонт Б.Ф. Введение в физическую химию и кристаллохимию полупроводников. / Б.Ф. Ормонт. - М. : Высш. шк., 1982. - 528 с.
9	Современная кристаллография / под. ред. Б.К. Вайнштейна: в 4-х т. - М. : Наука, 1979.
10	Методы исследования атомной и структуры и субструктуры материалов / В.М. Иевлев [и др.] – Воронеж : Воронеж. гос. техн. ун-т, 2003. – 484 с.
11	Горелик С.С. Рентгенографический и электронно-оптический анализ. / С.С. Горелик, Л.Н. Расторгуев, Ю.А. Скаков. - М. : Металлургия, 1970. - 368 с.
12	Козлова О.Г. Рост и морфология кристаллов. / О.Г. Козлова. - М. : Изд-во МГУ, 1980. - 357 с.

в) информационные электронно-образовательные ресурсы (официальные ресурсы интернет)\*:

№ п/п	Источник
13	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – научная электронная библиотека.
14	<a href="http://www.lib.vsu.ru">http://www.lib.vsu.ru</a> – Зональная научная библиотека ВГУ.
15	<a href="http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1163834&amp;uri=index.htm">http://geo.web.ru/db/msg.html?mid=1163834&amp;uri=index.htm</a> Электронный учебник по теории симметрии кристаллов. Авторы: Ю.К.Егоров-Тисменко, Г.П.Литвинская.

## 16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы

№ п/п	Источник
1	Шаров М.К. Точечные группы симметрии кристаллов / М.К. Шаров, А.М. Самойлов, Б.М. Даринский, В.Ф. Кострюков // Учебное пособие для вузов. – Воронеж: Издательский дом ВГУ, 2016. – 38 с.

## 17. Образовательные технологии, используемые при реализации учебной дисциплины, включая дистанционные образовательные технологии (ДОТ), электронное обучение (ЭО), смешанное обучение):

ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=9507>

Проведение текущей аттестации и самостоятельной работы по отдельным разделам дисциплины.

## 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

Ноутбук, мультимедийный проектор, экран, модели кристаллических структур

## 19. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестаций

Порядок оценки освоения обучающимися учебного материала определяется содержанием следующих разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
1.	Основы кристаллографии	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Контрольная работа 1 Контрольная работа 2
2.	Основы кристаллохимии	ОПК-1 ОПК-3	ОПК-1.1 ОПК-1.2 ОПК-1.3 ОПК-3.1 ОПК-3.2	Контрольная работа 3
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

## 20 Типовые оценочные средства и методические материалы, определяющие процедуры оценивания

### 20.1 Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств:

#### Контрольная работа 1.

1. Докажите, что представленные ниже множества операций симметрии образуют группы:

а)  $\{e, 2_1^1, 2_2^1, 2_3^1, 3^1, 3^2\}$

б)  $\{e, m_1, m_2, m_3, 3^1, 3^2\}$ .

2. Найти подгруппы в следующих групповых множествах точечных групп симметрии:

- а)  $\{e, 2_1^1, 2_2^1, 2_3^1, m_1, m_2, m_3, \bar{1}\}$   
б)  $\{e, 2_1^1, 2_2^1, 2_3^1, 3_1^1, 3_2^1, 3_3^1, 3_4^1, 3_1^2, 3_2^2, 3_3^2, 3_4^2\}$ .

3. Составьте квадраты Кэли для следующих точечных групп симметрии:

- а)  $C_{3v}$   
б)  $C_{3h}$ .

4. Получите групповые множества следующих точечных групп симметрии, используя их генераторы:

- а)  $C_{4h}$   
б)  $C_{4v}$ .

5. Обоснуйте с помощью различных теорем возникновение операций инверсии и зеркальных поворотов в следующих точечных группах симметрии:

- а)  $C_{6h}$   
б)  $O_h$ .

### Контрольная работа 2.

1. Постройте проекцию граней и укажите их индексы Миллера для следующих кристаллических многогранников: а) тетрагональный тетраэдр, б) ромбоэдр, в) тригонритетраэдр, г) пирамидальный куб, д) ромбододекаэдр.

2. Какие простые формы кристаллических многогранников реализуются только как общие, или только как частные? Почему?

3. В каких некубических и кубических точечных группах возникают энантиоморфные кристаллические многогранники? Назовите эти многогранники?

4. Почему в четных группах  $D_n$  при равнонаклонном расположении грани к двум осям 2-го порядка простая форма остается общей?

5. Почему в частных положениях число точек в правильной системе и число граней в простой форме меньше, чем порядок соответствующей точечной группы? Приведите примеры.

### Контрольная работа 3.

1. При растворении олова в PbTe образуются точечные дефекты типа  $Sn_{Pb}$ . Рассчитать с помощью правила Вегарда величину периода решетки и плотность твердого раствора  $Pb_{0.60}Sn_{0.40}Te$ , если период решетки PbTe равен 0.6462 нм, а период решетки SnTe равен 0.63 нм.
2. Углерод образует твердый раствор внедрения в ГЦК-железе (аустенит). Найти долю занятых углеродом междоузлий, если растворимость углерода составляет 2.14 масс. %.
3. Параметры тетрагональной ячейки мартенсита зависят от содержания углерода по уравнению:  $c/a = 1 + 0,046 \cdot C$ , где  $C$  - содержание углерода в массовых процентах. Определить параметры решетки мартенсита при максимальной растворимости углерода 2.14 масс. %. Период решетки первичного аустенита считать равным 0.363 нм.
4. Найти период решетки твердого раствора  $PbTe_{1-x}Cl_x$  (где  $x = 0.005$ ), если ионные радиусы имеют следующие величины  $R(Te^{2-}) = 0.211$  нм,  $R(Cl) = 0.181$  нм,  $R(Pb^{2+}) = 0.112$  нм. Полагать, что хлор образует твердый раствор замещения.
5. При растворении серебра в сульфиде олова образуются точечные дефекты типа  $Ag_{Sn}$ . Как будет меняться соотношение интенсивностей рефлексов  $I_{111} / I_{200}$  (уменьшаться или увеличиваться) с ростом содержания серебра? Ответ обоснуйте с помощью анализа структурного фактора интенсивностей рентгеновских рефлексов твердого раствора.

## Описание технологии проведения.

Контрольные работы проходят в письменной форме. Время выполнения контрольной работы – 2 часа.

## Требования к выполнению заданий (или шкалы и критерии оценивания).

Контрольная работа оценивается по количеству выполненных заданий, правильности и полноты выполнения каждого задания.

## 20.2 Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: собеседование по билетам к зачету.

### Перечень вопросов к зачету и порядок формирования КИМ:

1. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $C_n$ . Показать соответствующие групповые множества.
2. Решетки Бравэ триклинной сингонии.
3. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $S_n$ . Показать соответствующие групповые множества.
4. Решетки Бравэ моноклинной сингонии.
5. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $C_{nh}$ . Показать соответствующие групповые множества.
6. Решетки Бравэ ромбической сингонии.
7. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $C_{nv}$ . Показать соответствующие групповые множества.
8. Решетки Бравэ тригональной сингонии.
9. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $D_n$ . Показать соответствующие групповые множества.
10. Решетки Бравэ тетрагональной сингонии.
11. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $D_{nd}$ . Показать соответствующие групповые множества.
12. Решетки Бравэ гексагональной сингонии.
13. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекции элементов симметрии точечных групп  $D_{nh}$ . Показать соответствующие групповые множества.
14. Решетки Бравэ кубической сингонии.
15. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекцию элементов симметрии точечной группы  $T$ . Показать ее групповое множество.
16. Влияние типа химической связи на структуру кристаллов.
17. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекцию элементов симметрии точечной группы  $T_h$ . Показать ее групповое множество.
18. Кристаллические структуры бинарных соединений типа АВ.
19. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекцию элементов симметрии точечной группы  $T_d$ . Показать ее групповое множество.
20. Кристаллические структуры бинарных соединений типа  $A_2B$ .
21. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекцию элементов симметрии точечной группы  $O$ . Показать ее групповое множество.
22. Кристаллические структуры бинарных соединений типа  $AB_2$ .
23. Построить стереографические проекции общей и частных простых форм, а также проекцию элементов симметрии точечной группы  $O_h$ . Показать ее групповое множество.
24. Полиморфизм и изоморфизм.
25. Винтовые оси и плоскости скользящего отражения. Примеры.
26. Типы точечных дефектов. Разупорядочение по Шоттки и Френкелю.
27. Теоремы о сочетании элементов симметрии.
28. Точечные дефекты при отклонении от стехиометрии.
29. Индексы Миллера атомных плоскостей и граней кристаллов.
30. Точечные дефекты при легировании и их влияние на свойства кристаллов.
31. Анизотропия кристаллов. Эквипотенциальные поверхности физических процессов на примере теплопроводности в кристаллах различных категорий.
32. Категории, сингонии и классы кристаллов.
33. Структурные типы алмаза и сфалерита.
34. Структурные типы NaCl, CsCl и шпинели
35. Взаимосвязь понятий – точечная группа, правильная система точек и простые формы кристаллических многогранников. Примеры.



- 
36. Донорные и акцепторные точечные дефекты. Примеры.
  37. Простые и сложные формы кристаллических многогранников как орбиты точечных групп симметрии. Примеры.
  38. Систематика классов симметрии кристаллов Шенфлиса и Германа-Могена (Международная система).
  39. Систематика пространственных групп симметрии кристаллов Шенфлиса и Германа-Могена (Международная система).
  40. Понятие о прямой и обратной решетке.
  41. Системы атомных и ионных радиусов.
  42. Структуры неорганических полимеров.
  43. Структуры жидких кристаллов.
  44. Структуры фуллеренов и нанотрубок.
  45. Квазипериодические кристаллы. Особенности их свойств. Примеры.

*В каждом КИМ по 2 вопроса. Один из которых может являться практическим заданием..*

Описание технологии проведения.

После получения студентом билета КИМ и бланка листа ответа, самостоятельно выполняются задания КИМ в письменной форме. Время подготовки 45 минут. При выставлении итоговой оценки по промежуточной аттестации учитывается активность и успешность работы студента на этапах текущего контроля успеваемости.

Требования к выполнению заданий, шкалы и критерии оценивания

отлично	Полный ответ на вопросы КИМ. Демонстрация навыков полученных знаний. Исчерпывающий ответ на дополнительные вопросы по тематике, не связанной с основными вопросами.
хорошо	Недостаточно полный ответ на вопросы КИМ, при понимании основных положений теории и умении их использовать. Допускаются незначительные ошибки, исправленные самостоятельно.
удовлетворительно	Недостаточно полный ответ на вопросы КИМ. Демонстрация знаний только основных понятий без углубления в детализацию.
неудовлетворительно	Нет ответа более чем на 50% учебного материала.