

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*

23.05.2023 г.

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

**Б1.О.14 Структурная химия и кристаллохимия**

*Код и наименование дисциплины в соответствии с Учебным планом*

- 1. Шифр и наименование направления подготовки/специальности:**  
04.03.02 Химия, физика и механика материалов
- 2. Профиль подготовки:** материаловедение и индустрия наносистем
- 3. Квалификация (степень) выпускника:** бакалавр
- 4. Форма образования:** очная
- 5. Кафедра, отвечающая за реализацию дисциплины:**  
Кафедра материаловедения и индустрии наносистем
- 6. Составители программы:**  
Самойлов Александр Михайлович, доктор химических наук, профессор
- 7. Рекомендована:** научно-методическим советом химического факультета,  
протокол №4 от 25.04.2023
- 8. Учебный год:** 2023-2024 **Семестр(-ы):** 2

## 9. Цели и задачи учебной дисциплины:

Данная дисциплина состоит из двух частей: структурной химии (стереохимии) и кристаллохимии.

*Целями освоения учебной дисциплины являются:*

- формирование системных знаний о симметрии как всеобщем свойстве природы, о пространственном строении молекул и кристаллов,
- формирование системных знаний об элементах симметрии молекул и кристаллических многогранников, трансляционной симметрии кристаллических тел, о влиянии химического и кристаллохимического строения веществ на их функциональные свойства,
- формирование системных знаний об основных общетеоретических концепциях, объясняющих зависимость пространственного строения веществ, их физико-химических свойств от типа химической связи, которая реализуется между структурными единицами вещества,
- развитие пространственного мышления и воображения.

*Задачи учебной дисциплины:*

- формирование системных знаний об общетеоретических концепциях симметрии как всеобщем свойстве природы,
- формирование знаний об агрегатных состояниях вещественной материи, основных признаках их структурной организации;
- изучение особенностей строения аморфных и кристаллических твердых тел, а также жидких кристаллов,
- изучение классических законов кристаллографии,
- формирование умений применять макроскопический и микроскопический подходы при изучении внутреннего строения кристаллических тел,
- изучение фундаментальных понятий и представлений структурной химии и кристаллохимии об элементах симметрии первого и второго рода, точечных группах, классов симметрии, трансляционной симметрии как отличительного признака кристаллических тел, категориях и сингониях,
- формирование умений установить взаимосвязь между типом химической связи в кристалле и его пространственным строением;
- формирование у студента способностей и навыков к проведению экспериментальных и теоретических работ;
- формирование умений обобщать и анализировать полученную информацию и экспериментальные результаты.

Рассматриваются, симметрия как всеобщее свойство природы, решетки Браве, прямая и обратные решетки, теория химического строения, химическая связь, пространственные группы, теория плотнейших шаровых упаковок, закон постоянства двугранных углов и т.д. Изучение разделов структурной химии (стереохимии) преследует цель развить у студентов пространственное химическое мышление, научить теоретическому подходу к научным проблемам и критически воспринимать, казалось бы, незыблемые химические теории, т.к. все они неизбежно уточняются со временем.

**10. Место учебной дисциплины в структуре ООП:** (цикл, к которому относится дисциплина, требования к входным знаниям, умениям и компетенциям, дисциплины, для которых данная дисциплина является предшествующей)

Учебный курс входит в блок Б1, обязательную часть.

Для успешного освоения учебной программы студент должен освоить курс неорганической химии и аналитической геометрии (высшая математика). Основные теоретические положения структурной химии и кристаллохимии являются одной из важнейших естественных наук. Знать основные свойства различных агрегатных состояний вещества. Знать элементы симметрии, уметь проводить кристаллографическое индентифицирование узлов, ребер (направлений) и граней (плоскостей) кристаллической решетки. Знать основные структурные типы металлов, неметаллов, а также бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Уметь применять законы и положения структурной химии и кристаллохимии к рассмотрению пространственного строения веществ, уметь устанавливать взаимосвязь между типом химической связи, пространственным строением и физико-химическими свойствами веществ. Уметь определять координационные числа и координационные многогранники в кристаллических структурах. Уметь пользоваться шаростержневыми моделями молекул и кристаллов, решать типовые задачи по структурной химии и кристаллохимии.

**11. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины:**

ОПК-1.1; ОПК-1.2; ОПК-1.3; ОПК-1.4; ОПК-2.1; ОПК-2.2; ОПК-2.3; ОПК-2.4

**11. Планируемые результаты обучения по дисциплине/модулю (знания, умения, навыки), соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников):**

Код	Название компетенции	Код(ы)	Индикатор(ы)	Планируемые результаты обучения
ОПК-1	Способен использовать при решении задач профессиональной деятельности понимание теоретических основ химии, физики материалов и механики материалов	ОПК-1.1	Использует при решении задач профессиональной деятельности теоретические основы физико-химии полупроводниковых материалов	<b>Знать:</b> - отличительные свойства вещества в четырех различных агрегатных состояниях; - основные макроскопические признаки кристаллического вещества; - определение кристаллов; - законы классической кристаллографии: закон постоянства двугранных углов, закон изоморфизма и закон простых целых чисел; - принципы построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций кристаллических многогранников; - основные положения теории групп применительно к выводу точечных групп (классов симметрии);
		ОПК-1.2	Использует при решении задач профессиональной деятельности теоретические основы структурной химии неорганических материалов	

		ОПК-1.3	Использует при решении задач профессиональной деятельности теоретические основы механики материалов	<ul style="list-style-type: none"> <li>- основные свойства трансляционной симметрии;</li> <li>- элементы симметрии кристаллических структур: плоскости скользящего отражения и винтовые оси;</li> <li>- представления о прямой и обратной решетке;</li> <li>- основные положения теории плотнейших шаровых упаковок;</li> <li>- принципы кристаллографического индцирования узлов, отрезков (ребер) и плоскостей(граней);</li> </ul>
		ОПК-1.4	Предлагает интерпретацию результатов экспериментов и расчетно-теоретических работ с использованием теоретических основ химии, физики и механики материалов	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать Периодический закон Д.И. Менделеева для систематики кристаллических структур неорганических простых веществ и химических соединений;</li> <li>- применять законы классической кристаллографии (закон постоянства двугранных углов, закон изоморфизма, закон простых целых чисел) для систематики кристаллических структур;</li> <li>- строить сферические, стереографические и гномостереографические проекции кристаллических многогранников;</li> <li>- определять элементы симметрии I и II рода в кристаллических многогранниках;</li> <li>- применять основные положения теории групп применительно к выводу точечных групп (классов симметрии);</li> <li>- применять основные свойства трансляционной симметрии для анализа кристаллических структур;</li> </ul> <p><b>Владеть (иметь навык(и)):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения сферических, стерео-графических и гномостереографических проекций кристаллических многогранников;</li> <li>- методами кристаллографического индцирования узлов, отрезков (ребер) и плоскостей (граней) для кристаллических многогранников и кристаллических структур;</li> <li>- методами анализа кристаллических структур металлов с позиций теории плотнейших шаровых упаковок;</li> <li>- методами определения координационных чисел и координационных многогранников</li> </ul>

				<p>в кристаллических структурах;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методологией применения сеток Вульфа для анализа кристаллических многогранников.</li> </ul>
ОПК-2	Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности эксперимент по синтезу и анализу химических веществ, исследованию реакций, процессов и материалов, диагностике физических и механических свойств материалов	ОПК-2.1	Работает с химическими веществами с соблюдением норм техники безопасности	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методы планиметрического и стереометрического построения 2D-фигур и 3D-многогранников;</li> <li>- методы аналитической геометрии для определения координат узлов, ребер (отрезков) и граней в кристаллических структурах;</li> <li>- методы векторной алгебры для определения элементарных трансляций и элементарных ячеек в пространстве обратной решетки;</li> <li>- методы термодинамики для расчета энергии кристаллической решетки - цикл Борна - Габера;</li> <li>- кристаллографическую символику, используемую для построения стереографических и гномостереографических проекций элементов симметрии и граней кристаллических многогранников;</li> <li>- теоремы о сочетании элементы симметрии I и II рода кристаллических многогранников;</li> <li>- элементы симметрии кристаллических структур;</li> <li>- отличительные признаки кристаллов низшей, средней и высшей кристаллографических категорий;</li> <li>- параметры кристаллической решетки в векторном и скалярном выражении;</li> <li>- правила выбора элементарных ячеек плоских сеток и пространственных решеток;</li> </ul>
		ОПК-2.2	Проводит эксперимент по исследованию реакций, процессов и материалов с использованием стандартизированных процедур	<ul style="list-style-type: none"> <li>- правила выбора элементарных ячеек плоских сеток и пространственных решеток;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать Периодический закон Д.И. Менделеева для систематики кристаллических структур неорганических простых веществ и химических соединений;</li> <li>- применять основные положения теории групп применительно к выводу точечных групп (классов симметрии);</li> <li>- применять основные свойства трансляционной симметрии для анализа кристаллических структур.</li> </ul> <p><b>Владеть (иметь навык(и)):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций кристаллических многогранников;</li> </ul>
		ОПК-2.3	Проводит стандартные операции по диагностике физических и химических свойств материалов	<p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- использовать Периодический закон Д.И. Менделеева для систематики кристаллических структур неорганических простых веществ и химических соединений;</li> <li>- применять основные положения теории групп применительно к выводу точечных групп (классов симметрии);</li> <li>- применять основные свойства трансляционной симметрии для анализа кристаллических структур.</li> </ul> <p><b>Владеть (иметь навык(и)):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- методами построения сферических, стереографических и гномостереографических проекций кристаллических многогранников;</li> </ul>

				<p>- методами кристаллографического индицирования узлов, отрезков (ребер, направлений) и плоскостей (граней) в кристаллических структурах.</p>
		ОПК-2.4	<p>Проводит исследования свойств веществ и материалов с использованием серийного научного оборудования</p>	<p><b>Знать:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- 47 простых форм кристаллических многогранников;</li> <li>- 5 типов двумерных и 14 типов пространственных решеток Браве;</li> <li>- элементы симметрии I и II рода кристаллических многогранников;</li> <li>- отличительные признаки кристаллов низшей, средней и высшей кристаллографических категорий;</li> <li>- принципы построения элементарных ячеек и систем координат триклинной, моноклинной, ромбической, тригональной, тетрагональной, гексагональной и кубической сингоний;</li> <li>- методы расчета энергии кристаллической решетки, уравнения Борна - Ланде, формулу Капустинского, формулу Ферсмана;</li> </ul> <p><b>Уметь:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- определять наличие 47 простых форм кристаллических многогранников в комбинациях простых форм;</li> <li>- определять 5 типов двумерных и 14 типов пространственных решеток Браве;</li> <li>- определять элементы симметрии I и II рода в кристаллических многогранниках;</li> <li>- определять элементы симметрии кристаллических структур;</li> <li>- определять признаки кристаллов низшей, средней и высшей кристаллографических категорий;</li> <li>- определять элементарные ячейки плоских сеток и пространственных решеток в соответствии с правилами выбора;</li> <li>- принципы построения элементарных ячеек и систем координат триклинной, моноклинной, ромбической, тригональной, тетрагональной, гексагональной и кубической сингоний;</li> <li>- рассчитывать энергию кристаллической решетки по уравнениям Борна - Ланде, формуле Капустинского, формуле Ферсмана;</li> </ul> <p><b>Владеть (иметь навык(и)):</b></p>

				<ul style="list-style-type: none"> <li>- методами анализа кристаллических структур простых веществ в соответствии с положениями теории плотнейших шаровых упаковок;</li> <li>- методами анализа структур бинарных (NaCl, CsCl, ZnS, CaF<sub>2</sub>, TiO<sub>2</sub>, SiO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - корунд) соединений. Анализ структур тройных (перовскит CaTiO<sub>3</sub>, шпинель MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub>) и многокомпонентных соединений в соответствии с положениями теории плотнейших шаровых упаковок;</li> <li>- методами расчета энергии кристаллических решеток;</li> <li>- методами решения типовых задач по структурной химии и кристаллохимии;</li> <li>- методами расчета энергии кристаллических решеток.</li> </ul>
--	--	--	--	---

**12. Объем дисциплины в зачетных единицах/часах в соответствии с учебным планом — 4 / 144.**

**12.1 Форма промежуточной аттестации - зачет с оценкой (дифференцированный зачет)**

**13. Виды учебной работы:**

**13. Трудоемкость по видам учебной работы**

Вид учебной работы		Трудоемкость			
		Всего	По семестрам		
			2 семестр	3 семестр	...
Контактная работа		96	96		
в том числе:	лекции	32	32		
	практические	44	44		
	лабораторные				
	групповые консультации	16	16		
Самостоятельная работа		48	48		
Промежуточная аттестация (для экзамена)					
Итого:		144	144		

## 13.1. Содержание разделов дисциплины:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание раздела дисциплины	Реализация раздела дисциплины с помощью онлайн-курса, ЭУМК *
<b>1. Лекции</b>			
1	Введение. Понятие симметрии. Симметрия как всеобщее свойство природы. Стереохимия и кристаллохимия.	Предмет и задачи структурной химии и кристаллохимии. Симметрия в природе и творениях человека. Стереохимия и кристаллохимия. Кристаллохимия: ее основные задачи как науки. Физическая и геометрическая кристаллография. Место структурной химии и кристаллохимии среди других естественных наук.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201</a>
2	Агрегатное состояние вещества. Кристаллы. Аморфное и кристаллическое состояние твердых тел. Основные понятия стереохимии и кристаллохимии.	Агрегатное состояние вещества. Свойства газов, жидкостей, твердых тел и плазмы. Кристаллическое и аморфное состояние твердого тела. Основные понятия о кристаллах. Поли- и монокристаллы. Явления полиморфизма и аллотропии. Дефекты кристаллической структуры. Идеальные и реальные кристаллы. Проявление упорядоченности в газообразных и конденсированных системах. Понятие о фазе – носителе свойств вещества в кристаллах немалекулярной структуры. Способы изображения структуры веществ.	ЭУМК <a href="https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201">https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201</a>
3	Макроскопические признаки кристаллов. Закон постоянства двугранных углов.	Макроскопические свойства кристаллов: однородность, анизотропия, симметрия, ограниченность. Закон постоянства двугранных углов: классическая формулировка и современное прочтение. Естественные и искусственные кристаллы.	
4	Кристаллографические проекции.	Полярный комплекс кристалла. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая и гномостереографическая. Системы координат. Сетки Вульфа. Правила построения стереографической и гномостереографической проекций.	
5	Элементы симметрии конечных фигур.	Элементы симметрии конечных фигур. Элементы симметрии 1-го рода: центр симметрии, плоскость зеркального отражения. Оси симметрии: элементарный угол поворота и порядок оси. Элементы симметрии 2-го рода: инверсионные оси, зеркально-поворотные оси.	
6	Сочетание элементов симметрии.	Сложение элементов симметрии. Основные теоремы о сложении элементов симметрии.	
7	Трансляционная симметрия. Понятие об элементарной ячейке.	Понятие о трансляционной симметрии. Элементарная трансляция. Бесконечный узловый ряд, плоская сетка, пространственная решетка. Условия выбора элементарных ячеек плоской сетки и пространственной решетки. Параметры элементарной ячейки. Кристаллическая структура и пространственная	



		решетка. Теорема Кюри.
8	Категории и сингонии.	Симметрично равные и единичные направления в кристаллах. Категории (высшая, средняя и низшая) и сингонии (кубическая, тетрагональная, тригональная, гексагональная, ромбическая, моноклинная и триклинная). Кристаллографические координатные оси. Метрика и установка кристаллов различных сингоний.
9	Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе.	Символика Браве, международная символика Германа-Могена, символика Шенфлиса. Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе. Основные принципы вывода 32 классов симметрии. Примитивные, центральные, аксиальные, планальные, план-аксиальные, инверсионно-примитивные и инверсионно-планальные группы классов симметрии.
10	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм.	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм. Характеристика простых форм по числу граней и их положению относительно элементов симметрии. Энантиоморфизм. Общие и частные простые формы. Гемизедрия, тетардоэдрия, огдоэдрия.
11	Кристаллографическое индицирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней).	Кристаллографическое индицирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней). Параметры Вейсса, индексы Миллера. Особенности гексагональной сингонии. Закон целых чисел. Понятие о единичной грани.
12	Решетки Браве. Прямая и обратные решетки.	Решетки Браве, условия их выбора. Примитивные, базоцентрированные, объемно-центрированные и гранецентрированные решетки. Прямая и обратная решетка. Свойства обратной решетки.
13	Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.	Элементы симметрии кристаллических структур: плоскости скользящего отражения, винтовые оси. Правые, левые и нейтральные винтовые оси. Теоремы о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Понятия о пространственных группах симметрии (Е.С. Федоров). Энергия кристаллической решетки. Примеры расчета энергии кристаллических решеток. Цикл Борна-Габерга.
14	Теория плотнейших шаровых упаковок. Основные структурные типы металлов.	Теория плотнейших упаковок равновеликих шаров. Кубическая и гексагональная плотнейшие упаковки. Типы пустот в шаровых упаковках. Упаковки неравновеликих шаров. Координационные числа и координационные многогранники. Структура кристаллов и структурный тип. Три основных структурных типа металлов: Cu, Mg и $\alpha$ -Fe. Распределение структурных типов металлов по Периодической системе элементов.
15	Основные кристаллохимические	Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи.

	особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи.	Основные типы взаимодействия металлов друг с другом. Кристаллические структуры твердых растворов <i>металлов</i> и интерметаллических соединений. Соединения Курнакова, фазы внедрения, фазы Лавеса, электронные соединения Юм-Розери. Ионные радиусы. Размерный фактор в кристаллических структурах с ионной связью. Поляризация ионов. Классификация структурных типов по Г.Б. Бокию.
16	Основные структурные типы неметаллов, бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Структуры комплексных и металлорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.	Кристаллические структуры простых веществ – неметаллов: структуры алмаза, графита. Структуры халькогенов и пниктогенов. Правило Юм - Розери. Формула Пирсона. Анализ структур бинарных (NaCl, CsCl, ZnS, CaF <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - корунд) соединений. Анализ структур тройных (перовскит CaTiO <sub>3</sub> , шпинель MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) и многокомпонентных соединений. Кристаллические структуры силикатов. Структуры комплексных и металлорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.
17	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Наноструктуры.	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы: нематические, смектические и холестерические. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. нанокерамика. Наноструктуры.
<b>2. Практические занятия</b>		
1	Введение. Понятие симметрии. Симметрия как всеобщее свойство природы. Стереохимия и кристаллохимия.	Предмет и задачи структурной химии и кристаллохимии. Симметрия в природе и творениях человека. Стереохимия и кристаллохимия. Кристаллохимия: ее основные задачи как науки. Физическая и геометрическая кристаллография. Место структурной химии и кристаллохимии среди других естественных наук.
2	Агрегатное состояние вещества. Кристаллы. Аморфное и кристаллическое состояние твердых тел. Основные понятия стереохимии и кристаллохимии.	Агрегатное состояние вещества. Свойства газов, жидкостей, твердых тел и плазмы. Кристаллическое и аморфное состояние твердого тела. Основные понятия о кристаллах. Поли- и монокристаллы. Явления полиморфизма и аллотропии. Дефекты кристаллической структуры. Идеальные и реальные кристаллы. Проявление упорядоченности в газообразных и конденсированных системах. Понятие о фазе – носителе свойств вещества в кристаллах немолекулярной структуры. Способы изображения структуры веществ.
3	Макроскопические признаки кристаллов. Закон постоянства двугранных углов.	Макроскопические свойства кристаллов: однородность, анизотропия, симметрия, ограниченность. Закон постоянства двугранных углов: классическая формулировка и современное прочтение. Естественные и искусственные кристаллы.

4	Кристаллографические проекции.	Полярный комплекс кристалла. Кристаллографические проекции: сферическая, стереографическая и гномостереографическая. Системы координат. Сетки Вульфа. Правила построения стереографической и гномостереографической проекций.
5	Элементы симметрии конечных фигур.	Элементы симметрии конечных фигур. Элементы симметрии 1-го рода: центр симметрии, плоскость зеркального отражения. Оси симметрии: элементарный угол поворота и порядок оси. Элементы симметрии 2-го рода: инверсионные оси, зеркально-поворотные оси.
6	Сочетание элементов симметрии.	Сложение элементов симметрии. Основные теоремы о сложении элементов симметрии.
7	Трансляционная симметрия. Понятие об элементарной ячейке.	Понятие о трансляционной симметрии. Элементарная трансляция. Бесконечный узловый ряд, плоская сетка, пространственная решетка. Условия выбора элементарных ячеек плоской сетки и пространственной решетки. Параметры элементарной ячейки. Кристаллическая структура и пространственная решетка. Теорема Кюри.
8	Категории и сингонии.	Симметрично равные и единичные направления в кристаллах. Категории (высшая, средняя и низшая) и сингонии (кубическая, тетрагональная, тригональная, гексагональная, ромбическая, моноклинная и триклинная). Кристаллографические координатные оси. Метрика и установка кристаллов различных сингоний.
9	Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе.	Символика Бравэ, международная символика Германа-Могена, символика Шенфлиса. Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе. Основные принципы вывода 32 классов симметрии. Примитивные, центральные, аксиальные, планальные, план-аксиальные, инверсионно-примитивные и инверсионно-планальные группы классов симметрии.
10	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм.	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм. Характеристика простых форм по числу граней и их положению относительно элементов симметрии. Энантиоморфизм. Общие и частные простые формы. Гемиздрия, тетардоэдриа, огдоэдриа.
11	Кристаллографическое индицирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней).	Кристаллографическое индицирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней). Параметры Вейсса, индексы Миллера. Особенности гексагональной сингонии. Закон целых чисел. Понятие о единичной грани.
12	Решетки Браве. Прямая и обратные решетки.	Решетки Браве, условия их выбора. Примитивные, базоцентрированные, объемно-центрированные и гранецентрированные решетки. Прямая и обратная решетка.

		Свойства обратной решетки.
13	Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.	Элементы симметрии кристаллических структур: плоскости скользящего отражения, винтовые оси. Правые, левые и нейтральные винтовые оси. Теоремы о сочетании элементов симметрии кристаллических структур. Понятия о пространственных группах симметрии (Е.С. Федоров). Энергия кристаллической решетки. Примеры расчета энергии кристаллических решеток. Цикл Борна-Габеры.
14	Теория плотнейших шаровых упаковок. Основные структурные типы металлов.	Теория плотнейших упаковок равновеликих шаров. Кубическая и гексагональная плотнейшие упаковки. Типы пустот в шаровых упаковках. Упаковки неравновеликих шаров. Координационные числа и координационные многогранники. Структура кристаллов и структурный тип. Три основных структурных типа металлов: Cu, Mg и $\alpha$ -Fe. Распределение структурных типов металлов по Периодической системе элементов.
15	Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи.	Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи. Основные типы взаимодействия металлов друг с другом. Кристаллические структуры твердых растворов <i>металлов</i> и интерметаллических соединений. Соединения Курнакова, фазы внедрения, фазы Лавеса, электронные соединения Юм-Розери. Ионные радиусы. Размерный фактор в кристаллических структурах с ионной связью. Поляризация ионов. Классификация структурных типов по Г.Б. Бокию.
16	Основные структурные типы неметаллов, бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Структуры комплексных и металлоорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.	Кристаллические структуры простых веществ – неметаллов: структуры алмаза, графита. Структуры халькогенов и пниктогенов. Правило Юм - Розери. Формула Пирсона. Анализ структур бинарных (NaCl, CsCl, ZnS, CaF <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> - корунд) соединений. Анализ структур тройных (перовскит CaTiO <sub>3</sub> , шпинель MgAl <sub>2</sub> O <sub>4</sub> ) и многокомпонентных соединений. Кристаллические структуры силикатов. Структуры комплексных и металлоорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.
17	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Наноструктуры.	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы: нематические, смектические и холестерические. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. нанокерамика. Наноструктуры.

### 13.2. Разделы дисциплины и виды занятий:

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Виды занятий (часов)				
		Лекции	Групповые	Практические	Самостоятельная работа	Всего

			консультации			
1.1	Введение. Понятие симметрии. Симметрия как всеобщее свойство природы. Стереохимия и кристаллохимия.	1		---	4	5
1.2	Агрегатное состояние вещества. Кристаллы. Аморфное и кристаллическое состояние твердых тел. Основные понятия стереохимии и кристаллохимии.	1	4	---		5
1.3	Макроскопические признаки кристаллов. Закон постоянства двугранных углов.	2		2	2	6
1.4	Кристаллографические проекции.	2		3	2	7
1.5	Элементы симметрии конечных фигур.	2		3	2	7
1.6	Сочетание элементов симметрии.	2		2	2	6
1.7	Трансляционная симметрия. Понятие об элементарной ячейке.	2	2	2		6
1.8	Категории и сингонии.	2		2	2	6
1.9	Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе.	2	2	2	2	8
1.10	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм.	2	2	4	2	10
1.11	Кристаллографическое индцирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней).	2		4	4	10
1.12	Решетки Браве. Прямая и обратные решетки.	2		2	3	8
1.13	Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.	2	2	2	1	10
1.14	Теория плотнейших шаровых упаковок. Основные структурные типы металлов.	1	1	2	1	8
1.15	Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов	1	5	4	1	14

	связи.					
1.16	Основные структурные типы неметаллов, бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Структуры комплексных и металлорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.	3		6	1	15
17	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Наноструктуры.	3		4	1	13
Итого:		32		48	28	144

### 13.3 Междисциплинарные связи с другими дисциплинами:

№ п/п	Наименование дисциплин учебного плана, с которым организована взаимосвязь дисциплины рабочей программы	№ № разделов дисциплины рабочей программы, связанных с указанными дисциплинами
1	Общая и неорганическая химия	1 - 17
2	Органическая химия	2 – 7, 9, 10, 16
3	Физическая химия	8 - 17
4	Физика	12, 13
5	Геометрия	1 - 14

### 14. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

В учебном процессе используются следующие формы работы:

- проведение лекций,
- проведение лабораторных работ,
- занятия в интерактивной форме (дискуссии),
- внеаудиторная самостоятельная работа студентов.

#### Организация лекционного занятия предполагает:

- формулировка темы, целей занятия, постановка проблемного вопроса;
- разъяснение вопросов теоретического и практического плана для решения поставленной проблемы;
- рассмотрение путей решения проблемного вопроса на конкретных примерах.
- заключение, формулировка выводов;
- формулировка задания для самостоятельной домашней работы;
- озвучивание темы следующего занятия.

Организация самостоятельной работы студентов предполагает:

- изучение основных и дополнительных литературных источников;
- решение практических задач, предложенных преподавателем для работы на лекциях;
- выполнение контрольных работ;
- тестирование;
- текущий контроль успеваемости в форме устного опроса по основным разделам дисциплины.

#### Организационная структура лабораторного занятия:

- Формулировка целей занятия и ответы на вопросы студентов.

- ознакомление с теоретической основой работы, основными приемами и техникой безопасности при работе с используемыми приборами и реактивами.
- выполнение экспериментальной части работы.
- обработка экспериментальных результатов и предоставление их для предварительной проверки преподавателю.

Защита лабораторной работы проводится с целью выявления уровня освоения материала по тематике работы, способности дать правильную трактовку результатам, полученным при выполнении работы. Защита работы заключается в оформлении работ, устной беседе преподавателя со студентом по полученным в работе результатам и основным теоретическим понятиям по теме работы.

Текущий контроль проводится путем проверки выполнения домашнего задания, входного контроля (в виде контрольной работы).

Контроль освоения теоретического материала проводится после прослушивания студентами лекционного материала по каждой теме в виде коллоквиума и выполнения домашних заданий. Выполнение домашних заданий контролирует лектор. Еженедельно студенты имеют возможность выяснять все вопросы, освоение которых вызывает трудности, на консультациях с лектором в специально отведенные для этого контактные часы.

Используется ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201>

**15. Перечень основной и дополнительной литературы, ресурсов интернет, необходимых для освоения дисциплины (список литературы оформляется в соответствии с требованиями ГОСТ и используется общая сквозная нумерация для всех видов источников)**

**а) основная литература:**

№ п/п	Источник
1	Мюллер У. Структурная неорганическая химия / У. Мюллер. – Долгопрудный : ИД «Интеллект». – 2010. – 356 с.
2	Егоров-Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия / Ю.К. Егоров-Тисменко. - М. : Университет. Книжный Дом, 2012. – 587 с.
3	Самойлов А.М., Иевлев В.М. Структурная химия и кристаллохимия. Сборник задач и упражнений. Воронеж : ИПЦ Воронежского гос. ун-та, 2013. – 96 с.

**б) дополнительная литература:**

№ п/п	Источник
4.	Чупрунов Е.В. Кристаллография / Е.В. Чупрунов, А.Ф. Хохлов, М.А. Фадеев.- М. : Физматлит, 2006. – 494 с.
5	Бокий Г.Б. Кристаллохимия / Г.Б. Бокий - М. : Наука, 1971. – 400 с.
6	Шаскольская М.П. Кристаллография / М.П. Шаскольская. – М. : Высшая школа, 1984. – 375 с.
7	Зоркий П.М. Симметрия молекул и кристаллических структур / П.М. Зоркий. – М. : Изд-во МГУ, 1986. – 232 с.
8	Угай Я.А. Общая и неорганическая химия / Я.А. Угай. – М. : Высшая школа, 2004. – 527 с.
9	Самойлов А.М. Современное содержание основных понятий кристаллохимии. Методическое пособие для студентов 1 к. хим. ф-та / А.М. Самойлов. –

	<i>Воронеж : Изд-во ВГУ, 2001. – 32 с.</i>
10	<i>Самойлов А.М. Современные методы исследования и описания кристаллических структур. Методическое пособие для студентов 1 к. хим. ф-та / А.М. Самойлов. – Воронеж : Изд-во ВГУ, 2001. – 32 с.</i>
11	<i>Современная кристаллография / Под ред. Б.К. Вайнштейна: в 4-х т. М. : Наука, 1979. – Т. 1 – 337 с.; Т. 2 – 398 с.; Т. 3 – 364 с.; Т. 4 – 402 с.</i>
12	<i>Кребс Г. Основы кристаллохимии неорганических соединений / Г. Кребс. – М. : Мир, 1971. – 367 с.</i>
13	<i>Урусов В.С. Теоретическая кристаллохимия / В.С. Урусов. - М. : Изд-во МГУ, 1987. – 376 с.</i>
14	<i>Уэллс А. Структурная неорганическая химия / А. Уэллс: в 3-х т. М. : Мир, 1988. – Т. 1 – 405 с.; Т. 2 – 694 с.; Т. 3 – 563 с.</i>

в) базы данных, информационно-справочные и поисковые системы:

№ п/п	Источник
1	<a href="http://www.en.edu.ru/">http://www.en.edu.ru/</a> - Естественно-научный образовательный портал - является составной частью федерального портала "Российское образование". Содержит ресурсы и ссылки на ресурсы по естественно-научным дисциплинам (физика, химия и биология).
2	<a href="http://window.edu.ru/">http://window.edu.ru/</a> - информационная система «Единое окно доступа к образовательным ресурсам».
3	<a href="http://vovr.ru/">http://vovr.ru/</a> «Высшее образование в России» - научно-педагогический журнал Министерства образования и науки РФ. В журнале публикуются результаты исследований современного состояния высшей школы России, обсуждаются вопросы теории и практики гуманитарного, естественно-научного и инженерного высшего образования.
4	<a href="http://www.elibrary.ru">http://www.elibrary.ru</a> – Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU - крупнейший российский информационный портал в области науки, технологии, медицины и образования, содержащий рефераты и полные тексты более 12 млн. научных статей и публикаций. На платформе eLIBRARY.RU доступны электронные версии более 1400 российских научно-технических журналов, в том числе более 500 журналов в открытом доступе.
5	<a href="http://www.chem.msu.ru/rus/">http://www.chem.msu.ru/rus/</a> - Chemnet - официальное электронное издание Химического факультета МГУ в Internet
6	<a href="http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/History/index.html">http://www.physchem.chimfak.rsu.ru/Source/History/index.html</a> - «Кристаллохимия» - Программа лекционного курса, конспекты лекций. Южный Федеральный университет.
7	<a href="http://ru.wikipedia.org/wiki/">http://ru.wikipedia.org/wiki/</a> - Энциклопедия. Биографические данные выдающихся химиков.

**16. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы (учебно-методические рекомендации, пособия, задачки, методические указания по выполнению практических (контрольных) работ и др.)**

№ п/п	Источник
1.	Самойлов А.М., Иевлев В.М. Структурная химия и кристаллохимия. Сборник задач и упражнений. Воронеж : ИПЦ Воронежского гос. ун-та, 2013. – 96 с.
2.	Миттова И.Я., Самойлов А.М., Кострюков В.Ф. Томина Е.В. Лабораторный практикум по общей и неорганической химии. Часть 1 : учебн. пособие для вузов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2014. – 104 с.
3.	Кострюков В.Ф., Самойлов А.М., Томина Е.В., Шаров М.К. Лабораторный практикум по общей и неорганической химии. Часть II. // Учебное пособие для вузов. – Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2017. – 154 с.
4.	Шаров М.К., Даринский Б.М., Самойлов А.М., Кострюков В.Ф. Точечные группы симметрии кристаллов. Учебное пособие для вузов. Воронеж : Издательский дом ВГУ, 2016. - 38 с.



### 17. Информационные технологии, используемые для реализации учебной дисциплины, включая программное обеспечение и информационно-справочные системы (при необходимости)

При реализации дисциплины используются классические образовательные технологии без замены аудиторных занятий (лекций и лабораторных занятий) на ДОТ. Основные типы лекций – вводные лекции (в начале изучения дисциплины) и информационные лекции с визуализацией (мультимедийные презентации). Проведение текущих аттестаций и промежуточных аттестаций осуществляется в форме устного собеседования по КИМ. Самостоятельная работа по всем разделам предполагает выполнение обязательных письменных домашних заданий.

Используется ЭУМК <https://edu.vsu.ru/course/view.php?id=2201>

### 18. Материально-техническое обеспечение дисциплины:

мультимедийный проектор BENQ, экран, ноутбук

### 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.	Введение. Понятие симметрии. Симметрия как всеобщее свойство природы. Стереохимия и кристаллохимия.	ОПК-1	ОПК-1.1	Тестовые задания, решение задач
2.	Агрегатное состояние вещества. Кристаллы. Аморфное и кристаллическое состояние твердых тел. Основные понятия стереохимии и кристаллохимии.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4.	Тестовые задания Домашние задания, Решение задач
3.	Макроскопические признаки кристаллов. Закон постоянства двугранных углов.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3. ОПК-1.4.	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
4.	Кристаллографическое проекции.	ОПК-1	ОПК-1.3. ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
5.	Элементы симметрии конечных фигур.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3,	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
			ОПК-1.4	Семинарское занятие
6.	Сочетание элементов симметрии.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
7.	Трансляционная симметрия. Понятие об элементарной ячейке.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
8.	Категории и сингонии.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Контрольная работа №1
9.	Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
10.	Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм.	ОПК-1	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-1.3, ОПК-1.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
11.	Кристаллографическое индентирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней).	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.1, ОПК-1.2, ОПК-2.1, ОПК-2.2	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
12.	Решетки Браве. Прямая и обратные решетки.	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4, ОПК-2.3, ОПК-2.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
13.	Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4, ОПК-2.3, ОПК-2.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
14.	Теория плотнейших шаровых упаковок. Основные структурные типы металлов.	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4, ОПК-2.3, ОПК-2.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
15.	Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи.	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4, ОПК-2.3, ОПК-2.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
16.	Основные структурные типы	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4,	Лабораторная работа Домашние задания

№ п/п	Наименование раздела дисциплины (модуля)	Компетенция(и)	Индикатор(ы) достижения компетенции	Оценочные средства
	неметаллов, бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Структуры комплексных и металлоорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.		ОПК-2.3, ОПК-2.4	Решение задач Семинарское занятие Контрольная работа № 2
17.	Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Наноструктуры.	ОПК-1, ОПК-2	ОПК-1.2, ОПК-1.4, ОПК-2.3, ОПК-2.4	Лабораторная работа Домашние задания Решение задач Семинарское занятие
Промежуточная аттестация форма контроля – зачет с оценкой				Перечень вопросов

\* В графе «ФОС» в обязательном порядке перечисляются оценочные средства текущей и промежуточной аттестаций.

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

Оценка знаний, умений и навыков, характеризующая этапы формирования компетенций в рамках изучения дисциплины осуществляется в ходе текущей и промежуточной аттестаций.

Текущая аттестация проводится в соответствии с Положением о текущей аттестации обучающихся по программам высшего образования Воронежского государственного университета. Текущая аттестация проводится в форме: устного опроса (индивидуальный опрос); лабораторные работы; оценки результатов практической деятельности (курсовая работа). Критерии оценивания приведены выше.

Промежуточная аттестация проводится в соответствии с Положением о промежуточной аттестации обучающихся по программам высшего образования.

Контрольно-измерительные материалы промежуточной аттестации включают в себя теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень полученных знаний и практическое задание, позволяющее оценить степень сформированности умений и навыков.

При оценивании используются качественные шкалы оценок. Критерии оценивания приведены в п. 20.2.

### 20.1. Текущий контроль успеваемости

Контроль успеваемости по дисциплине осуществляется с помощью следующих оценочных средств: практикоориентированные задания, решение задач, лабораторные работы, тестовые задания, контрольные работы.

Перечень лабораторных работ:

1. Макроскопические признаки кристаллов. Закон постоянства двугранных углов.
2. Кристаллографические проекции.
3. Элементы симметрии конечных фигур.
4. Сочетание элементов симметрии.
5. Трансляционная симметрия. Понятие об элементарной ячейке.
6. Категории и сингонии.
7. Формула и класс симметрии. Понятие о точечной группе.
8. Формы кристаллических многогранников. Простая форма и комбинация простых форм.
9. Кристаллографическое индцирование. Символы узлов, направлений (ребер) и плоскостей (граней).
10. Решетки Браве. Прямая и обратные решетки.
11. Элементы симметрии кристаллических структур. Пространственные группы симметрии.
12. Теория плотнейших шаровых упаковок. Основные структурные типы металлов.
13. Основные кристаллохимические особенности металлического, ковалентного и ионного типов связи.
14. Основные структурные типы неметаллов, бинарных, тройных и многокомпонентных соединений. Структуры комплексных и металлоорганических соединений. Основные положения стереохимии и кристаллохимии органических соединений. Изомерия.
15. Структура перспективных функциональных материалов. Жидкие кристаллы. Фуллерены. Углеродные нанотрубки. Наноструктуры.

Лабораторные работы выполняются на занятии в течение 2 академических часов. За этот период студент должен, ознакомившись с порядком выполнения задания, при помощи преподавателя и лаборанта выполнить практическую часть работы, представить полученные результаты преподавателю и, если позволяет время, приступить к оформлению работы и формулировке выводов. Следующее лабораторное занятие студент начинает с представления оформленной работы, отчитывается по работе и получает следующее практическое задание.

Вопросы для домашнего задания формулирует лектор на лекционном занятии. На следующем лекционном занятии студенты представляют решение домашнего задания, занятие начинается с обсуждения вариантов решения.

Семинары и решение задач проводятся на лабораторном занятии, о чем преподаватель заранее сообщает обучающимся. Темы, по которым проводятся семинары, и программа к ним представлена в соответствующих методических указаниях, рекомендованных студентам. По согласованию с обучающимися семинарское занятие и решение задач может проводиться в форме устной беседы или форме тестирования по основным разделам курса. Зачет с оценкой проводится только в устной форме.

**20.2. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующие этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

**20.2.1. Тестовые задания (пример)**

<b>Задание 1.2.</b>	<i>Ответ</i>
<p>Все газы легко сжимаемы. Это обусловлено тем, что:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) в газах отсутствует ближний порядок;</li> <li>2) молекулы газов находятся в непрерывном поступательном движении;</li> <li>3) расстояния между молекулами очень велики;</li> <li>4) в газах отсутствует дальний порядок.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<b>Задание 1.3.</b>	<i>Ответ</i>
<p>Все жидкости могут принимать форму сосуда, в котором они находятся. Это обусловлено тем, что:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) в жидкостях присутствует ближний порядок;</li> <li>2) молекулы жидкостей находятся в непрерывном поступательном движении;</li> <li>3) расстояния между молекулами в жидкостях гораздо меньше, чем в газах;</li> <li>4) в жидкостях отсутствует дальний порядок.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<b>Задание 1.4.</b>	<i>Ответ</i>
<p>Все вещества в природе находятся в следующих агрегатных состояниях:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) жидкое и твердое;</li> <li>2) газообразное и твердое;</li> <li>3) газообразное, жидкое и твердое;</li> <li>4) газообразное, жидкое, твердое и плазма.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<b>Задание 1.5.</b>	<i>Ответ</i>
<p>Макроскопический признак однородности кристаллического состояния подтверждает изучение следующих физико-химических свойств:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) количественный элементный состав, плотность, теплоемкость, термо-э.д.с., удельная электропроводность;</li> <li>2) количественный элементный состав, теплоемкость, термо-э.д.с., удельная электропроводность коэффициент преломления;</li> <li>3) количественный элементный состав, плотность, термо-э.д.с., удельная электропроводность; магнитная восприимчивость;</li> <li>4) количественный элементный состав, плотность, теплоемкость, химический потенциал</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<b>Задание 1.6.</b>	<i>Ответ</i>
Макроскопический признак анизотропии кристаллического	1) <input type="radio"/>

<p>состояния подтверждает изучение следующих физико-химических свойств:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) количественный элементный состав, плотность, теплоемкость, термо-э.д.с., удельная электропроводность;</li> <li>2) количественный элементный состав, теплопроводность, теплоемкость, термо-э.д.с., удельная электропроводность;</li> <li>3) коэффициент преломления, теплопроводность, термо-э.д.с., удельная электропроводность, магнитная восприимчивость;</li> <li>4) плотность, теплоемкость, теплопроводность, термо-э.д.с., удельная электропроводность, коэффициент преломления.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<p><b>Задание 1.7.</b></p>	<p><i>Ответ</i></p>
<p>Анизотропией физических свойств обладают все вещества, находящиеся в следующем агрегатном состоянии:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) твердое аморфное ;</li> <li>2) твердое кристаллическое;</li> <li>3) жидкое;</li> <li>4) газообразное.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<p><b>Задание 1.8.</b></p>	<p><i>Ответ</i></p>
<p>Сходство внешней формы кристаллов характерно для следующей пары веществ:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) <math>\text{Na}_2\text{SO}_4</math> и <math>\text{Na}_2\text{SO}_3</math>;</li> <li>2) <math>\text{Na}_3\text{PO}_4</math> и <math>\text{Na}_3\text{AsO}_4</math>;</li> <li>3) <math>\text{KNO}_2</math> и <math>\text{KNO}_3</math>;</li> <li>4) <math>\text{Na}_3\text{PO}_4</math> и <math>\text{Na}_2\text{HPO}_3</math>;</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>
<p><b>Задание 1.9.</b></p>	<p><i>Ответ</i></p>
<p>А. Вещества, для которых характерно жидкокристаллическое состояние, могут быть неорганическими и органическими;</p> <p>В. Молекулы веществ, для которых характерно жидкокристаллическое состояние, должны иметь полярные группировки атомов.</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1) Верно только утверждение А;</li> <li>2) Верно только утверждение В;</li> <li>3) Оба утверждения верны;</li> <li>4) Оба утверждения являются неверными.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1) <input type="radio"/></li> <li>2) <input type="radio"/></li> <li>3) <input type="radio"/></li> <li>4) <input type="radio"/></li> </ol>

**20.2.2. Комплект заданий для контрольной работы № 1**



## КОНТРОЛЬНАЯ РАБОТА ПО КРИСТАЛЛОХИМИИ № 2

### ВАРИАНТ № 1

**ЗАДАНИЕ 1.** Решетки Бравэ. Условия выбора элементарных ячеек решеток Бравэ. - 5 баллов.

**ЗАДАНИЕ 2.** Привести в соответствие запись класса симметрии и формулы симметрии: - 10 баллов.

а) записать следующие формулы симметрии в виде классов симметрии, используя международную символику Германа-Могэна:

$L_4 2L_2 2P$  – ;  $L_3 3L_2 3PC$  – ;  $4L_3 3L_2 3PC$  –

б) для следующих классов симметрии записать соответствующие формулы симметрии, используя символику Бравэ:

$\bar{4}3m$  – ;  $\frac{4}{m}mm$  – ;  $mm2$  – .

**ЗАДАНИЕ 3.** Указать символы узлов А, В, С, F, G, W, S, Q, R ; ребер

(направлений) OA, OB, OC, AE,

EF, BD, OG, OF, а также

параметры Вейсса и индексы

Миллера плоскостей (граней)

AEFG, GFDB, ECDF, AECO,

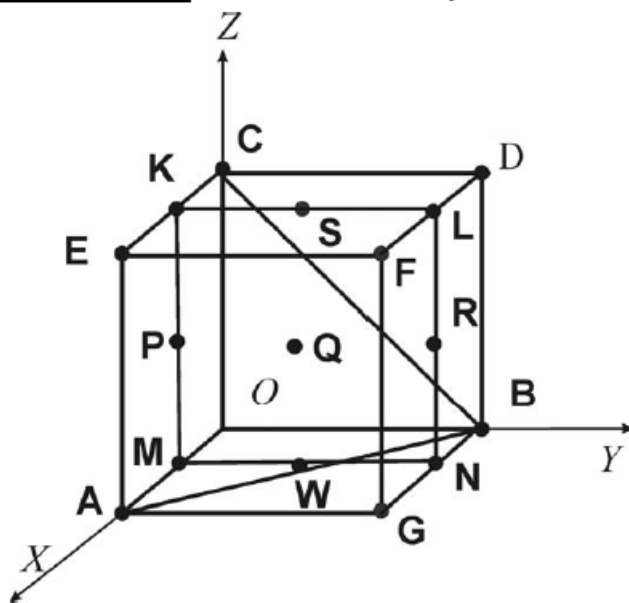
AEDB, MKLN, ACB в кристалле

кубической сингонии (точки S, R, W

– центры соответствующих граней,

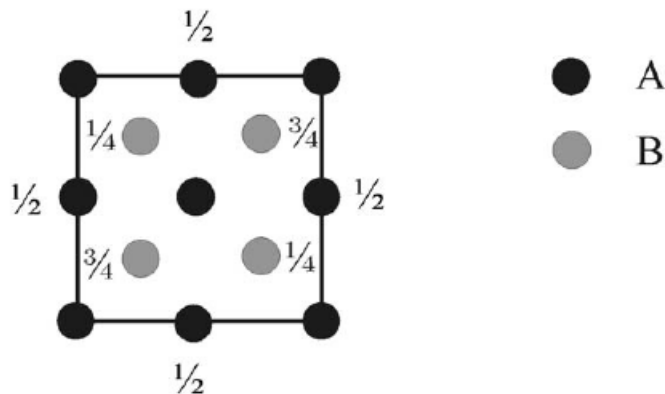
точка Q – центр куба). -

15 баллов.



**ЗАДАНИЕ 4.** По представленным проекциям элементарных ячеек на плоскость XOY распознать данное вещество и определить: а) число формульных единиц в элементарной ячейке; б) координационные числа; в) координационные многогранники; г) число и типы пустот; д) элементы симметрии; е) базис и трансляционную группу; ж) пространственную группу симметрии - 20 баллов.

(указаны координаты атомов, если они не лежат в плоскости XOY)



**Критерии оценки:**



- оценка «отлично» выставляется студенту, если: в контрольной работе тема раскрыта практически полностью, имеются лишь незначительные неточности;
- оценка «хорошо» выставляется студенту, если: в контрольной работе тема раскрыта, имеются лишь некоторые несущественные ошибки и недочеты;
- оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если в контрольной работе тема раскрыта не полностью, имеются значительные ошибки и недочеты;
- оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, если в контрольной работе тема не раскрыта или имеются грубые ошибки, значительные неточности.

## 20.2 Промежуточная аттестация

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

### Вопросы к дифференцированному зачету (зачету с оценкой):

#### *Экзаменационный билет № 1.*

1. Решетки Браве. Условия выбора решеток Браве.
2. Кристаллическая структура ZnS - сфалерита.

#### *Экзаменационный билет № 2.*

1. Кристаллографические проекции (сферическая, стереографическая, гномостереографическая).
2. Кристаллическая структура флюорита - CaF<sub>2</sub>.

#### *Экзаменационный билет № 3.*

1. Агрегатное состояние вещества. Понятие о кристаллическом состоянии вещества. Аморфное состояние твердого тела.
2. Простые формы кристаллов высшей категории.

#### *Экзаменационный билет № 4.*

1. Макроскопические признаки кристаллов. Однородность, анизотропия, симметрия, ограненность. Закон постоянства двугранных углов.
2. Простые формы кристаллов средней категории.

#### *Экзаменационный билет № 5.*

1. Элементы симметрии кристаллических многогранников первого рода.
2. Кристаллическая структура алмаза.

#### *Экзаменационный билет № 6.*

1. Элементы симметрии кристаллических многогранников второго рода.
2. Кристаллическая структура меди.

#### *Экзаменационный билет № 7.*

1. Трансляции. Элементарная трансляция. Элементарная ячейка плоской сетки, пространственной решетки. Условия выбора элементарных ячеек.
2. Кристаллическая структура вольфрама ( $\alpha$  - Fe).

*Экзаменационный билет № 8.*

1. Установка и метрика кристаллов низшей категории.
2. Кристаллическая структура хлорида натрия.

*Экзаменационный билет № 9.*

1. Установка и метрика кристаллов средней категории.
2. Кристаллическая структура графита.

*Экзаменационный билет № 10.*

1. Формула и класс симметрии. Международная символика Германа-Могена.
2. Кристаллическая структура магния.

*Экзаменационный билет № 11.*

1. Вывод классов симметрии для кристаллов низшей категории.
2. Кристаллическая структура ZnS - вюртцита.

*Экзаменационный билет № 12.*

1. Символы узлов и ребер (направлений) кристаллических решеток.
2. Кристаллическая структура рутила TiO<sub>2</sub>.

*Экзаменационный билет № 13.*

1. Символы плоскостей (граней) кристаллических решеток.
2. Кристаллическая структура перовскита.

*Экзаменационный билет № 14.*

1. Элементы симметрии кристаллических структур. Плоскости скользящего отражения.
2. Простые формы кристаллов высшей категории.

*Экзаменационный билет № 15.*

1. Теория плотнейших шаровых упаковок.
2. Кристаллическая структура хлорида цезия.

*Экзаменационный билет № 16.*

1. Элементы симметрии кристаллических структур. Винтовые оси.
2. Кристаллическая структура вольфрама ( $\alpha$  - Fe).

*Экзаменационный билет № 17.*

1. Вывод классов симметрии для кристаллов средней категории.
2. Кристаллическая структура ZnS - сфалерита.

*Экзаменационный билет № 18.*

2. Вывод классов симметрии для кристаллов высшей категории.
2. Кристаллическая структура меди.

*Экзаменационный билет № 19.*

1. Энергия кристаллической решетки.
2. Кристаллическая структура хлорида натрия.

*Экзаменационный билет № 20.*

1. Вывод классов симметрии для кристаллов средней категории.
2. Кристаллическая структура рутила  $\text{TiO}_2$ .

*Экзаменационный билет № 21.*

1. Вывод классов симметрии для кристаллов высшей категории.
2. Кристаллическая структура хлорида цезия.

*Экзаменационный билет № 22.*

1. Понятие об обратной решетке.
2. Кристаллическая структура флюорита -  $\text{CaF}_2$ .

*Экзаменационный билет № 23.*

1. Понятие о жидких кристаллах.
2. Кристаллическая структура  $\text{ZnS}$  - вюртцита.

*Экзаменационный билет № 24.*

1. Пространственные группы симметрии.
2. Кристаллическая структура магния.

*Экзаменационный билет № 25.*

1. Формула Борна - Ланде.
2. Кристаллическая структура алмаза.

*Экзаменационный билет № 26.*

2. Формула Капустинского. Упрощенные формулы для расчета энергии решетки.
2. Кристаллическая структура  $\text{ZnS}$  - сфалерита.

Для оценивания результатов обучения на экзамене/зачете используются следующие показатели:

- 1) знание и понимание основных положений и законов структурной химии и кристаллохимии;
- 2) знание и понимание основополагающих признаков газообразного, жидкого, твердого аморфного, твердого кристаллического состояния вещества;
- 3) знание и понимание принципов трансляционной симметрии кристаллических веществ;
- 4) знание и понимание отличий идеальной кристаллической решетки и реальной кристаллической структуры;
- 5) знание символики Браве, международной символики Германа-Могена, символики Шенфлиса,
- 6) знание основных положений теории групп к выводу точечных групп (классов симметрии) кристаллических многогранников;

- 7) знание элементов симметрии I и II рода кристаллических многогранников и элементов симметрии кристаллических многогранников;
- 8) знание теорем о сочетании элементов симметрии кристаллических многогранников;
- 8) знание методов кристаллографического индцирования узлов, ребер (направлений) и плоскостей (граней) кристаллических структур;
- 9) знание основных положений теории плотнейших шаровых упаковок и умение их применять при анализе кристаллических структур простых веществ и химических соединений;
- 10) владение понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способность иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач;
- 11) умение связывать теорию с практикой.

Для оценивания результатов обучения на зачете используется – **отлично, хорошо, удовлетворительно, неудовлетворительно.**

Соотношение показателей, критериев и шкалы оценивания результатов обучения.

Критерии оценивания компетенций	Уровень сформированности компетенций	Шкала оценок
Обучающийся в полной мере владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области структурной химии и кристаллохимии.	Повышенный уровень	Отлично
Обучающийся владеет понятийным аппаратом данной области науки (теоретическими основами дисциплины), способен иллюстрировать ответ примерами, фактами, данными научных исследований, применять теоретические знания для решения практических задач в области структурной химии и кристаллохимии, допускает ошибки и неточности при изложении конкретных фактов и теорий структурной химии и кристаллохимии, а также допускает незначительные ошибки при решении практических задач.	Базовый уровень	Хорошо
Обучающийся владеет частично теоретическими основами дисциплины, фрагментарно способен излагать основные законы и положения структурной химии и кристаллохимии, не умеет устанавливать связь между знаниями основ структурной химии и кристаллохимии и областями применения этих знаний, при решении практических задач допускает серьезные ошибки.	Пороговый уровень	Удовлетворительно
Обучающийся демонстрирует отрывочные, фрагментарные знания, допускает грубые ошибки при решении практических задач.	---	Неудовлетворительно

### 20.3 Фонд оценочных средств сформированности компетенций студентов, рекомендуемый для проведения диагностических работ

**ОПК-1 Способен использовать при решении задач профессиональной деятельности понимание теоретических основ химии, физики материалов и механики материалов**

1. Все вещества в природе находятся в следующих агрегатных состояниях:

- а) жидкое и твердое;
- б) газообразное и твердое;
- в) газообразное, жидкое и твердое;
- г) газообразное, жидкое, твердое и плазма.

Ответ: г).

2. Все жидкости могут принимать форму сосуда, в котором они находятся. Это обусловлено тем, что:

- а) в жидкостях присутствует ближний порядок;
- б) молекулы жидкостей находятся в непрерывном хаотическом поступательном движении;
- в) расстояния между молекулами в жидкостях гораздо меньше, чем в газах;
- г) в жидкостях отсутствует дальний порядок.

Ответ: б).

3. Анизотропией физических свойств обладают все вещества, находящиеся в следующем агрегатном состоянии:

- а) твердое аморфное;
- б) твердое кристаллическое;
- в) газообразное и жидкое;
- г) газообразное.

Ответ: б).

4. А) В структурной химии и кристаллохимии *стереографические проекции* используют для отображения на плоскости элементов симметрии молекул и кристаллических многогранников.

Б) В структурной химии и кристаллохимии *гномостереографические проекции* используют для изображения на плоскости внешней формы молекул и кристаллических многогранников.

- а) утверждение А является верным;
- б) утверждение Б является верным;
- в) оба утверждения являются верными;
- г) оба утверждения являются неверными.

Ответ: в)

5. А) Отличительной особенностью *твердых кристаллических тел* является наличие в них трансляционной симметрии и дальнего порядка.

Б) Отличительной особенностью *твердых аморфных тел* является наличие в них трансляционной симметрии и дальнего порядка.

- а) утверждение А является верным;
- б) утверждение Б является верным;
- в) оба утверждения являются верными;
- г) оба утверждения являются неверными.

Ответ: а).

6. Элементами симметрии первого рода молекул и кристаллических многогранников являются:

- а) центр симметрии (инверсии) и зеркально-поворотные оси;
- б) центр симметрии (инверсии) и инверсионно-поворотные оси;
- в) плоскости зеркального отражения и зеркально-поворотные оси;
- г) центр симметрии (инверсии), плоскости зеркального отражения и поворотные оси симметрии.

Ответ: г)

1. Указать номер рисунка.

Симметричная фигура (фигура, характеризующаяся наличием элементов симметрии) представлена на рисунке \_\_\_\_.

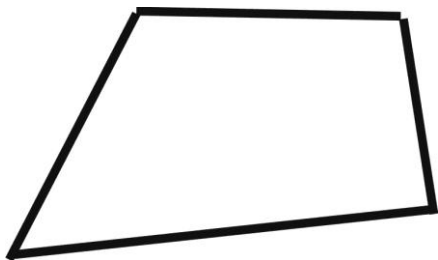


Рисунок 1.

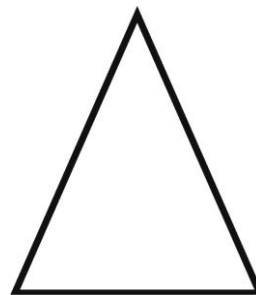


Рисунок 2.

Ответ: 2.

2. Вставить пропущенное слово:

\_\_\_\_\_ это твердые тела, обладающие упорядоченной трехмерно-периодической пространственной атомной, ионной или молекулярной структурой и вследствие этого при определенных условиях образования способные иметь форму правильных многогранников.

Ответ: Кристаллы.

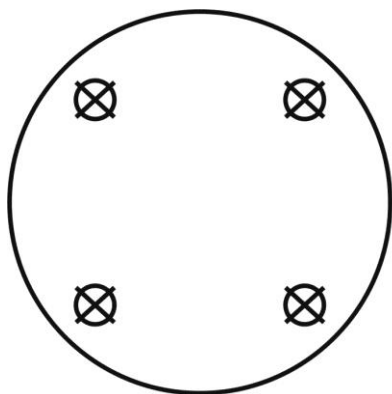
3. Вставить пропущенные числа:

Куб (гексаэдр) характеризуется наличием \_\_\_\_ плоскостей зеркального отражения, причем \_\_\_\_ из них являются координатными, а \_\_\_\_ являются диагональными.

Ответ: 9, 3, 6.

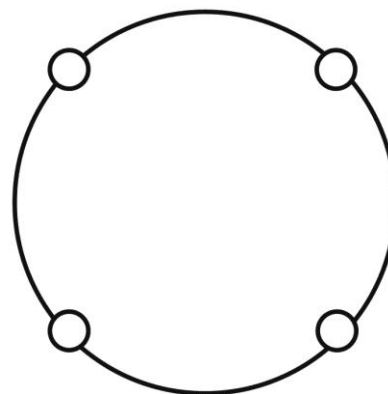
4. Указать номер рисунка.

Гномостереографическая проекция тетрагональной дипирамиды показана на рисунке \_\_\_\_.



1.

Рисунок 2.



Рисунок

Ответ: 1.

**ОПК-2 Способен проводить с соблюдением норм техники безопасности эксперимент по синтезу и анализу химических веществ, исследованию реакций, процессов и материалов, диагностике физических и механических свойств материалов**

1. К *средней* категории относятся кристаллы следующих *сингоний*:

а) моноклинной, тригональной, тетрагональной,

- б) триклинной, тригональной, тетрагональной;
- в) тригональной, тетрагональной, гексагональной;
- г) триклинной, тригональной, гексагональной.

Ответ: в).

2. Полному набору элементов симметрии *дигексагональной дипирамиды* соответствует формула симметрии Браве:

- а)  $L_4PC$ ;
- б)  $L_44P$ ;
- в)  $L_44L_25PC$ ;
- г)  $L_44L_2$ .

Ответ: в).

3. Элементарной ячейкой *триклинной сингонии* является:

- а) жидкое и твердое;
- б) газообразное и твердое;
- в) газообразное, жидкое и твердое;
- г) газообразное, жидкое, твердое и плазма.

4. Все четыре вида элементарных ячеек пространственных решеток Браве характерны для кристаллов:

- а) кубической сингонии;
- б) ромбической (орторомбической) сингонии;
- в) моноклинной сингонии;
- г) гексагональной сингонии.

Ответ: б).

5. А) Для кристаллов высшей категории (кубической сингонии) характерны *открытые* и *закрытые* простые формы.

Б) Для кристаллов высшей категории (кубической сингонии) характерны только *закрытые* простые формы.

- а) утверждение А является верным;
- б) утверждение Б является верным;
- в) оба утверждения являются верными;
- г) оба утверждения являются неверными.

Ответ: б).

6. К кубической сингонии относятся кристаллические структуры

- а) меди,  $\alpha$ -железа (вольфрама), магния;
- б) меди, хлорида натрия, графита;
- в) меди, алмаза, хлорида натрия;
- г)  $\alpha$ -железа (вольфрама), магния, алмаза.

Ответ: в).

1. Вставить пропущенное число.

Все многообразие симметрии внешней формы молекул и кристаллических многогранников можно описать с помощью \_\_\_\_\_ классов (точечных групп) симметрии.

Ответ: 32.

2. Вставить пропущенное число.

Все многообразие кристаллических структур можно описать с помощью \_\_\_\_\_ пространственных решеток Браве.

Ответ: 14.

3. Указать номер рисунка.

Схема, иллюстрирующая образование трехслойной кубической плотнейшей упаковки (КПУ) равновеликих шаров, представлена на рисунке \_\_\_\_\_.

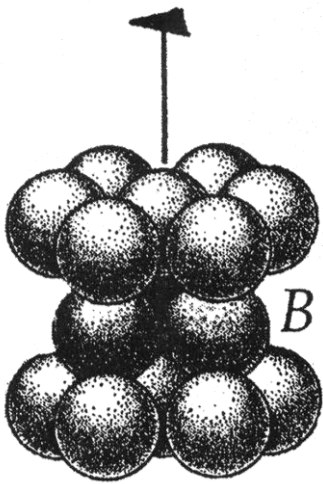


Рисунок 2.

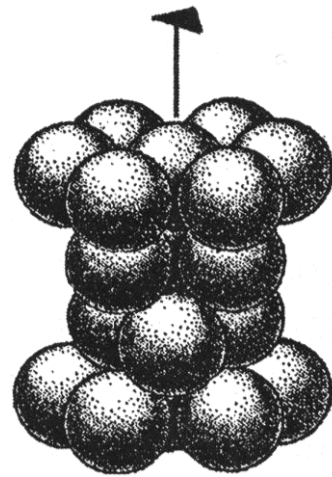


Рисунок 1.

Ответ: 2.

4. Указать номер рисунка.

Элементарная ячейка кристаллической решетки магния представлена на рисунке \_\_\_\_.

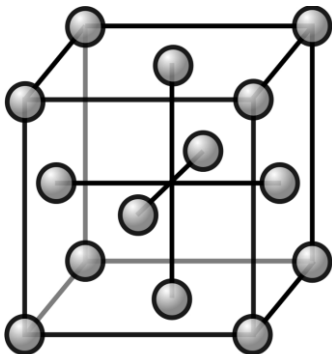


Рисунок 1.

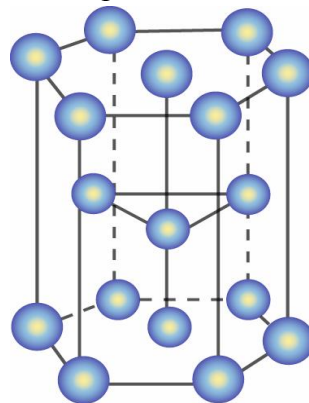


Рисунок 2.

Ответ: 2.

### Критерии и шкалы оценивания заданий ФОС:

Для оценивания выполнения заданий используется балльная шкала:

#### 1) закрытые задания (тестовые, средний уровень сложности):

- 1 балл – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

#### 2) открытые задания (тестовые, повышенный уровень сложности):

- 2 балла – указан верный ответ;
- 0 баллов – указан неверный ответ (полностью или частично неверный).

#### 3) открытые задания (мини-кейсы, средний уровень сложности):

- 5 баллов – задание выполнено верно (получен правильный ответ, обоснован (аргументирован) ход выполнения (при необходимости));



- 2 балла – выполнение задания содержит незначительные ошибки, но приведен правильный ход рассуждений, или получен верный ответ, но отсутствует обоснование хода его выполнения (если оно было необходимым), или задание выполнено не полностью, но получены промежуточные (частичные) результаты, отражающие правильность хода выполнения задания, или, в случае если задание состоит из нескольких подзаданий, верно выполнено 50% таких подзаданий;
- 0 баллов – задание не выполнено или выполнено неверно (получен неправильный ответ, ход выполнения ошибочен или содержит грубые ошибки).

**Задания раздела 20.3 рекомендуются к использованию при проведении диагностических работ с целью оценки остаточных результатов освоения данной дисциплины (знаний, умений, навыков).**