

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего  
профессионального образования

Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова

Геологический факультет

**УТВЕРЖДАЮ**

**Декан Геологического факультета**

**академик**

\_\_\_\_\_/Д.Ю. Пуцаровский/

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**Теория симметрии кристаллов**

Автор-составитель: Белоконева Е.Л.

**Уровень высшего образования:**

*Бакалавриат*

**Направление подготовки:**

**05.03.01 «Геология»**

**Направленность (профиль) ОПОП:**

**«Геохимия»**

**Форма обучения:**

*Очная*

Рабочая программа рассмотрена и одобрена

Учебно-методическим Советом Геологического факультета МГУ

(протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_)

Москва 2019

*На обратной стороне титула*

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки «Геология» (*программы бакалавриата, магистратуры, реализуемых последовательно по схеме интегрированной подготовки*) в редакции приказа МГУ от 30 декабря 2016 г. № 1674

Год (годы) приемы на обучение – 2016

Геологический факультет МГУ им. М.В.Ломоносова

*Программа не может быть использована другими подразделениями университета и другими вузами без разрешения факультета*

## **Цель и задачи дисциплины**

Целью курса «Теория симметрии кристаллов» является получение знаний о симметричных законах, управляющих строением кристаллов на атомном уровне, т.е. знаний в области геометрической микроструктурологии. Без этих знаний невозможно определение структур минералов и синтетических фаз, анализ строения кристаллов и его связи со свойствами, а также практически все виды исследований в области кристаллографии, кристаллохимии, кристаллофизики, минералогии и петрографии.

Задачи курса - научить самостоятельно разбираться во всех тонкостях геометрии кристаллов, понимать симметрию одномерных и двумерных мотивов, уметь самостоятельно и грамотно описывать кристаллические структуры на основе фундаментального знания федоровских (пространственных) групп симметрии, уметь выявлять элементы симметрии на моделях структур или рисунках проекций структур и точно знать результаты их взаимодействий, уметь самостоятельно чертить графики групп, владеть специальной литературой, в том числе понимать и свободно использовать Интернациональные таблицы.

**1. Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО** - вариативная часть, профессиональный цикл, профессиональные дисциплины обязательные, курс III-IV, семестр 5-8

**2. Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия:** «Высшая математика» в блоке общенаучной подготовки, «Основы неорганической химии», курсы в блоке профессиональной подготовки по кристаллографии, кристаллохимии и минералогии. Данная дисциплина венчает подходы кристаллографии и кристаллохимии, ставя их на атомную основу. Без знания теории симметрии невозможно усвоение курса рентгеноструктурного анализа. Курс кристаллохимии фактически опирается на курс ТСК, необходимый для глубокого понимания строения кристаллов.

**3. Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников.**

Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):

ОПК-3Б Способность решать стандартные задачи профессиональной деятельности в соответствии с профилем подготовки

ОПК-5Б Способность использовать в профессиональной деятельности информационно-коммуникационные технологии, в т.ч. ГИС-технологии

ПК-2.Б Способность использовать знание теоретических основ фундаментальных геологических дисциплин при решении научно-исследовательских задач профессиональной деятельности

ПК-5.Б Способность применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения геологической информации

СПК-1.Б Способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации в области наук геохимического цикла

## **Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**

**Знать:** основные положения теории групп, определение понятий симметрии, операций и элементов симметрии конечных и бесконечных построек, их обозначения и взаимодействия; конечные группы (32), одномерно-бесконечные (бордюры, 7), двумерно-бесконечные (обои, 17) группы, их вывод и графическое представление; трехмерно-бесконечные (пространственные, 230) группы симметрии для всех сингоний.

**Уметь:** выводить из литературных данных или моделей, а также графически представлять группы симметрии; определять правильные системы точек и их характеристики; знать стандартные и нестандартные установки и взаимосвязь симметрии и пространственных групп разных сингоний; давать описание кристаллических структур в терминах пространственных групп;

**Владеть:** симметричным аппаратом для решения задач структурной кристаллографии в минералогии, петрологии и материаловедении; профессиональным анализом литературы по специальности в отношении симметрии.

**4. Формат обучения** - лекционные и семинарские занятия

**5. Объем дисциплины (модуля)** составляет 8 з.е., в том числе 288 в академических часа, отведенных на контактную работу обучающегося с преподавателем (66 часов – занятия лекционного типа, 69 часов – занятия семинарского типа, 153 часов на самостоятельную работу обучающихся).

Формы текущего контроля: проверка домашних работ с индивидуальной оценкой (38 домашних работ), устные ответы и решение задач на семинарских занятиях, письменные промежуточные контрольные работы (3) с оценкой, проверка описаний 87-ми моделей кристаллов по разработанной форме (18 моделей в 5 семестре, 21 модель в 6 семестре, 18 моделей в 7 семестре и 30 моделей в 8 семестре) в ходе их изучения в семестре и зачетная их сдача.

Форма промежуточной аттестации – зачеты (5 и 7 семестры) и экзамены (6 и 8 семестры) в устной форме, допуск к которым дается после сдачи всех моделей и успешного написания контрольных работ.

**6. Содержание дисциплины (модуля)**, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

### **Краткое содержание дисциплины (аннотация)**

В курсе излагаются основные понятия – симметрия, операции и элементы симметрии конечных и бесконечных построек, их взаимодействия. Одномерно-бесконечные, двумерные (слоевые) группы, симметрия узоров. Федоровские группы в последовательности сингоний: ромбическая, тетрагональная, кубическая, гексагональная, моноклинная. Вывод групп классным методом и путем взаимных переходов (тетрагонализация, кубизация), понятия правильных систем точек, кратностей, расчетов

числа  $Z$ , описаний структур с использованием терминов плотнейших упаковок в привязке к возможным свойствам кристаллов.

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов (трудоемкость в часах)				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				лекции	семинары	практич. занятия, лаб. работы	самост. работа	
<b>I</b>	<b>Введение, ромбическая сингония</b>	<b>5</b>						
1	Русская школа, Федоров-Шенфлис, представления симметрических операций: модельный, координатный и матричный; положения теории групп, действие параллельной трансляции $T_{  }$ на элементы симметрии: винтовые оси, плоскости $a, b, c, n, d$ . $T_{\perp}$ и косая $T$		1	2			3	
2	Действие перпендикулярной трансляции на старшие оси $L_4 * T_{\perp}$ , $L_2 * T_{\perp}$ , $L_3 * T_{\perp}$ , модельное и алгебраическое доказательство; общие выводы по действию $T_{\perp}$ . $m * m_{\perp}$ , $m * a_{\perp}$ , $n * n_{\perp}$ , $d * d_{\perp}$ -особенности алмазных плоскостей, алмаз, $PdCl_2$		2	2			3	6 Задач на дом на взаимодействие элементов симметрии. Дом. задание 1.
3	$m * m$ под $45^{\circ}$ , $L_4 * m_{\perp}$ . Вывод одномерных групп. Практикум с бордюрами.		3	1	1		3	
4	Вывод двумерных групп, проекции групп, мотивы Бюргера (плакат)		4	1			3	6 задач на дом по плоским узорам. Домашнее задание 2
5	Практикум по		5	1	1		3	

	рисункам Эшера и плоским мотивам. Вывод всех решеток Бравэ							
6	Вывод групп для точечной $mm2$ с решетками $P, C, I$ -решетки, структуры $I_2, AgNO_2$ .		6	2			3	4 задачи на дом достройка групп. Домашнее задание 3
7	Вывод групп $mm2$ $A, F$ -решетки ( $Fdd2$ ),		7	2			3	2 задачи на дом достройка групп. Домашнее задание 4
8	Вывод голоэдрических групп $mmm$ с $P$ -решеткой, график $Pnma$ . График $Pnma$ Структуры арагонита, марказита, $PdCl_2, PbCl_2, HgCl_2, K_2SO_4$		8	2			3	8 Задач на дом – все аспекты установки группы $Pnma$ Дом. задание 5
9	Вывод голоэдрических групп с $C, I, F$ решетками. План описания структуры и работа с моделями		9	1	1		3	
10	Работа с моделями $SiS_2, SO_2, I_2, U, TiI, CaSO_4, UAl_4$		10		2		3	
11	Вывод групп класса 222, работа с моделями.		11	1	1		3	
12	Решение задач на взаимодействие элементов симметрии (1 час)		12		2		3	Контрольная работа 1 на взаимодействие эл. симметрии
13	Работа с моделями $NaSO_4$ -тенардит, $TiSi_2, Sr(N_3)_2, CrO_3$		13		2		3	
14	Решение задач на восстановление групп симметрии по проекциям структур		14		2		3	
15	Решение задач на восстановление групп симметрии по проекциям структур		15		2		3	Контрольная работа 2
16	Работа с моделями и зачетная сдача 18-ти описаний моделей структур, изученных в семестре		16		2		3	
				$\Sigma 11$ ч	$\Sigma 16$ ч		$\Sigma 48$ ч	

II	Тетрагональная сингония	6						
1	Тетраг. точечные гр. и решетки Бравэ, вывод голоэдрических групп с $P$ и $I$ , гемиздриа $4/m$ , $4mm$ , $-42m$ , $-4m2$ как подгруппы голоэдрии. Вывод групп $-42m$ ( $-4m2$ ), $422$ , $4$		1	3			3	
2	Графики $P4_2$ , $P4bm$ , $P4/mbm$ , прав. системы точек. $P4_2/mmm$ и рутиловая задача $TiO_2$ , куперитовая задача $PtS$ и $P-42m$ , задача $A_2BX_4 - Ag_2HgI_4$		2	3			5	Домашняя работа- графики групп $P4_2/n$ , $I4/mmm$
3	График $P4_2/nmc$ . График $I4/mcb$ . Модели $PbO$ , $HgI_2$ , $KN_3$ , $CuAl_3$ , $BaAl_4$ , $U_3Si_2$ , $TiO_2$ , $PtS$ .		3	2	2		5	
4	Вывод голоэдрических групп тетрагон. из ромбических, $P, C, I, F$ . Вывод гемиздрических и тетартоэдрических из ромбических.		4	3			3	
5	График $I-42m$ , $I-42d$ , станнин $Cu_2FeSnS_4$ и халькопирит $CuFeS_2$ Работа с моделями.		5	2	2		3	Домашняя работа, задачи на достройку
6	График $I4_1/a$ , шеелит $CaWO_4$ и $CuN_3$ . Разбор задач. Работа с моделями		6	1	2		3	Домашняя работа, задачи на взаимодействие
7	График $I4_1/amd$ , способы вывода особой точки $-4$		7	3			3	
8	Разбор домашн. задач и работа с моделями циркон $ZrSiO_4$ , анатаз $TiO_2$ , $ThSi_2$ , $ThCl_4$ .		8	1	2		3	
9	Контрольная работа и работа с моделями		9		3		3	Контрольная работа на взаимодействие элементов симметрии
10	Работа с моделями $PdS$ , $BPO_4$ , $Hg_2Cl_2$ каломель, $PCl_5$		10		3		3	
11	Работа с моделями		11		3		3	

12	Работа с моделями и зачетная сдача 21 описания моделей структур, изученных в семестре		12		3		3	
				$\Sigma 18$ ч	$\Sigma 20$ ч		$\Sigma 39$ ч	
<b>III</b>	<b>Кубическая сингония</b>	<b>7</b>						
1	Вывод точечных кубических на основе ромбич. и тетраг., кубизация ромбич. гр. Вывод $m\bar{3}$ , $2\bar{3}$ , размножение осей $3$ , $3_1$ , $3_2$ в $P, I, F$ ячейках		1	3			3	
2	График $Pa\bar{3}$ , структуры пирита, герсдорфита, скутерудита $Pb(NO_3)_2$ , $N_2O_4$ , размножение точки общего положения $xyz$		2	1	2		3	
3	$SnI_4$ -задача, вывод кубических групп из тетрагональных в классах $m\bar{3}m$ , $-4\bar{3}m$ ,		3	3			3	
4	Вывод осевых групп. Обозначения эл. симметрии. График группы $P-4\bar{3}m$ и кубизирующая ось, сульванит		4	2	1		3	
5	Задачи на кубизирующую ось. График $I-4\bar{3}m$ . Уротропин и тетраэдрит.		5	2	1		3	
6	График $F-4\bar{3}m$ , сфалерит, работа с моделями		6	1	2		3	Контрольная работа на черчение групп
7	График $Pm\bar{3}n$ , кубизирующая ось, размножение осей, прав. системы точек, $\beta$ -W. Работа с моделями		7	2	1		3	
8	График $Pn\bar{3}m$ , размножение осей, прав. системы точек, $Cu_2O$ . Работа с моделями.		8	2	1		2	
9	Графики $P4_1\bar{3}2$ , $I4_1\bar{3}2$ и работа с моделями		9	2	1		2	
10	Задача - шпинель, чертеж $I4_1/amd-Fd\bar{3}m$ , алмаз, шпинель, крис-		10	1	2		2	



	тобалиит, арсенолит							
11	Работа с моделями <i>Fd3m</i>		11		3		2	
12	График <i>Ia3d</i> , гранат и работа со всеми моделями		12	1	2		2	
13	Работа с моделями		13		3		2	
14	Работа с моделями и зачетная сдача 18-ти описаний моделей структур, изученных в семестре		14		3		2	
				Σ21 ч	Σ21 ч		Σ35 ч	
<b>IV</b>	<b>Гексагональная и моноклинная сингонии</b>	<b>8</b>						
1	Вывод точечн. групп и решеток Бравэ, возможные оси и плоскости трех позиций, классный вывод пр.гр.		1	2			2	
2	График <i>R63/mc2</i> , работа с моделями Mg, NiAs, BN, Mg <sub>3</sub> Cd, лонсдейлит, α-графит, тридимит, Mg <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> , CdI <sub>2</sub> (ABAC), CrSi <sub>2</sub> , вюрцит		2	1	1		3	
3	Вывод тригональных групп с <i>P</i> -и <i>R</i> -решетками, пл. <i>r'</i> , <i>r''</i> , <i>r'''</i> , классный вывод		3	2			3	
4	Переход кубические – гексагональные-тригональные группы		4	2			2	
5	Переход от тригональных к гексагональным, добавление <i>2<sub>z</sub></i> , <i>m<sub>z</sub></i> , плакат. Работа с моделями CdI <sub>2</sub> (AB), La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Se, HgS(киноварь) α-SiO <sub>2</sub> , β-графит, As, Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S, NaFeO <sub>2</sub> , CuFeO <sub>2</sub> , NaN <sub>3</sub> , Hg		5	1	1		3	
6	График <i>R-3m</i> , <i>R-3c</i> . Работа с моделями		6	1	1		3	Домашняя работа задачи на достройку
7	Размножение координат осью <i>3</i> , KVO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -корунд, CaCO <sub>3</sub> -кальцит		7	1	1		3	

8	Моноклинная сингония основные принципы, установки <i>C-B-I</i> , вывод всех групп		8	2		2	
9	Задача $Y_2SiO_5$ , совместное рисование примера установок группы, модели $KFeS_2$ , $AlCl_3$ , $CuO$ -тенорит, $FeAsS$ -арсенопирит		9		2		3
10	Распространенность пространственных групп и ее причина		10		2		2
11	Работа с моделями тригональной и гексагональной сингоний и зачетная сдача 26-ти описаний моделей структур, изученных в семестре		11		2		2
12	Работа с моделями моноклинной сингонии и зачетная сдача 4-х описаний моделей структур, изученных в семестре		12		2		2
				$\Sigma 12$ ч	$\Sigma 12$ ч		$\Sigma 30$ ч

### Содержание разделов дисциплины

Лекция №	Содержание лекций
<b>5 семестр</b>	
<b>1</b>	Русская школа кристаллографии: Федоров-Шенфлис, представления симметрических операций: модельное, координатное и матричное; основные положения математической теории групп; трансляция параллельная $T_{  }$ , винтовые оси, плоскости $a, b, c, n, d$ ; трансляция перпендикулярная $T_{\perp}$ и косая $T$
<b>2</b>	Действие перпендикулярной трансляции на оси: $L_4^* T_{\perp}$ , $L_2^* T_{\perp}$ , $L_3^* T_{\perp}$ , модельное и алгебраическое доказательство; общие выводы по действию $T_{\perp}$ ; взаимодействие элементов симметрии $m^* m_{\perp}$ , $m^* a_{\perp}$ , $n^* n_{\perp}$ , $d^* d_{\perp}$ -особенности алмазных плоскостей, структуры алмаза, $PdCl_2 m^* m$ под углом $45^\circ$ , $L_4^* m_{\perp}$ .
<b>3</b>	Вывод одномерных групп. (1 час)
<b>4</b>	Вывод двумерных групп, проекции групп, мотивы Бюргера
<b>5</b>	Симметрия рисунков Эшера и плоские мотивы. Вывод всех решеток Бравэ (1 час)
<b>6</b>	Вывод пространственных групп в точечной группе $mm2$ , группы с $P, C, I$ -решетками, пример структуры $AgNO_2$ с выделением п.с.т., расчетом кратностей и всех остальных характеристик позиций, числа $Z$ и описанием структуры

7	Вывод групп $mm2$ , $A,F$ -решетки ( $Fdd2$ )
8	Вывод голоэдрических групп $mmm$ с $P$ -решеткой, график $Pnma$ . График $Pmna$
9	Вывод голоэдрических групп с $C,I,F$ решетками. План описания структуры (1 час)
11	Вывод групп класса $222$ (1 час)
<b>6 семестр</b>	
1	Тетрагональные точечные группы и решетки Бравэ, вывод голоэдрических групп с $P$ и $I$ , гемиедриа $4/m$ , $4mm$ , $-42m$ , $-4m2$ как подгруппы голоэдрии. Вывод групп $-42m$ ( $-4m2$ ), $422$ , $4$ (3 часа)
2	Графики $P4_2$ , $P4bm$ , $P4/mbm$ , прав. системы точек. $P4_2/mnm$ и рутиловая задача $TiO_2$ , куперитовая задача $PtS$ и $P-42m$ , задача $A_2BX_4 - Ag_2HgI_4$ (3 часа)
3	График $P4_2/nmc$ . График $I4/mcb$ . (2 часа)
4	Вывод голоэдрических групп тетрагональных из ромбических, $P,C,I,F$ . Вывод гемиедрических и тетартэдрических из ромбических. (3 часа)
5	Графики $I-42m$ и $I-42d$ , (2 часа)
6	График $I4_1/a$ (1 час)
7	График $I4_1/amd$ , способы вывода особой точки $-4$ (3 часа)
8	Разбор теоретических подходов при решении домашних задач. (1 час)
<b>7 семестр</b>	
1	Вывод точечных кубических на основе ромбических и тетрагональных, кубизация ромбических групп. Вывод $m3$ , $23$ , размножение осей $3$ , $3_1$ , $3_2$ в $P,I,F$ ячейках (3 часа)
2	График $Pa3$ , размножение точки общего положения $xyz$ (1 час)
3	$SnI_4$ -задача, вывод кубических групп из тетрагональных в классах $m3m$ , $-43m$ (3 часа)
4	Вывод осевых групп. Обозначения элементов симметрии. График группы $P-3m$ и кубизирующая ось (2 часа)
5	Задачи на кубизирующую ось. График группы $I-43m$ .
6	График $F-43m$
7	График $Pm3n$ , кубизирующая ось, размножение осей, правильные системы точек (2 часа)
8	График $Pn3m$ , кубизирующая ось, размножение осей, правильные системы точек, (2 часа)
9	Графики $P4_132$ , $I4_132$ (2 часа)
10	Задача - шпатель, чертеж $I4_1/amd-Fd3m$ , (1 час)
12	График группы $Ia3d$ (1 час)
<b>8 семестр</b>	
1	Вывод точечных групп и решеток Бравэ, возможные оси и плоскости трех позиций, классный вывод пр.гр. (2 часа)
2	График $P6_3/mc$ , правильные системы точек (1 час)
3	Вывод тригональных групп с $P$ -и $R$ -решетками, пл. $r',r'',r'''$ , классный вывод (2 часа)
4	Переход кубические – тригональные группы для всех решеток (2 часа)
5	Переход от тригональных к гексагональным, добавление $2_z$ , $m_z$ , плакат. (1 час)
6	График $R-3m$ , $R-3c$ . (1 час)
7	Размножение координат осью $3$ , (1 час)
8	Моноклиная сингония основные принципы, установки $C-B-I$ , вывод всех групп (2 часа)

### Содержание семинаров

Занятие №	Содержание семинарского занятия
<b>5 семестр</b>	
2	Задачи на взаимодействие элементов симметрии. <b>Домашнее задание №1</b> из 6-ти задач
3	Практикум с бордюрами.
4	<b>Домашнее задание №2</b> из 6 задач по плоским узорам
5	Практикум по рисункам Эшера и плоским мотивам.
6	4 задачи на достройку. <b>Домашнее задание №3</b>
7	2 задачи на достройку. <b>Домашнее задание №4</b>
8	8 задач – все аспекты группы. <b>Домашнее задание №5</b>
9	Работа с моделями арагонита, марказита, $PdCl_2$ , $PbCl_2$ , $HgCl_2$ , $K_2SO_4$
10	Работа с моделями $SiS_2$ , $SO_2$ , $I_2$ , U, TII, $CaSO_4$ , $UAl_4$
11	Работа с моделями, продолжение
12	Решение задач на взаимодействие элементов симметрии (1 час), <b>контрольная работа №1</b>
13	Работа с моделями $NaSO_4$ -тенардит, $TiSi_2$ , $Sr(N_3)_2$ , $CrO_3$
14	Решение задач на восстановление групп симметрии по проекциям структур. <b>Домашнее задание №6</b>
15	Разбор задач на восстановление групп симметрии по проекциям структур. <b>Контрольная работа №2</b>
16	Работа с моделями и зачетная сдача 18-ти описаний моделей структур, изученных в семестре
<b>6 семестр</b>	
2	<b>Домашнее задание №1</b> - графики групп $P4_2/n$ , $I4/mmm$
3	Работа с моделями $PbO$ , $HgI_2$ , $KN_3$ , $CuAl_{32}$ , $BaAl_4$ , $U_3Si_2$ , $TiO_2$ , $PtS$ . (1 час)
5	Работа с моделями станнит $Cu_2FeSnS_4$ и халькопирит $CuFeS_2$ (1 час) <b>Домашнее задание №2</b> , задачи на достройку
6	Работа с моделями, шеелит $CaWO_4$ и $CuN_3$ . Разбор задач. (2 часа) <b>Домашнее задание №3</b> , задачи на достройку
8	Работа с моделями, циркон $ZrSiO_4$ , анатаз $TiO_2$ , $ThSi_2$ , $ThCl_4$ . (2 часа)
9	<b>Контрольная работа №1</b> на взаимодействие элементов симметрии (1 час). Работа с моделями (2 часа)
10	Работа с моделями $PdS$ , $BPO_4$ , $Hg_2Cl_2$ каломель, $PCl_5$ (3 часа)
11	Продолжение работы с моделями (3 часа)
12	Работа с моделями и зачетная сдача 21 описания моделей структур, изученных в семестре (3 часа)
<b>7 семестр</b>	
2	Работа с моделями пирита, герсдорфита, скутерудита $Pb(NO_3)_2$ , $N_2O_4$ , (2 часа)
4	Работа с моделями, сульванит (1 час)
5	Работа с моделями, тетраэдрит и уротропин (1 час)
6	<b>Контрольная работа №2</b> на черчение групп (1 час). Работа с моделями, сфалерит (1 час)
7	Работа с моделями, $\beta$ -W. (1 час)
8	Работа с моделями, $Cu_2O$ . (1 час)
9	Продолжение работы с моделями (1 час)
10	Работа с моделями, алмаз, шпинель, кристобалит, арсенолит (2 часа)
11	Работа с моделями группы $Fd3m$ (3 часа)
12	Работа с моделями, гранат и работа со всеми моделями (2 часа)
13	Работа со всеми моделями (3 часа)

<b>14</b>	Зачетная сдача 18-ти описаний моделей структур, изученных в семестре (3 часа)
<b>8 семестр</b>	
<b>2</b>	Работа с моделями Mg, NiAs, BN, Mg <sub>3</sub> Cd, лонсдейлит, α-графит, тридимит, Mg <sub>5</sub> Si <sub>3</sub> , CdI <sub>2</sub> (ABAC), CrSi <sub>2</sub> , вюрцит (1 час)
<b>5</b>	Работа с моделями CdI <sub>2</sub> (AB), La <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Se, HgS(киноварь) α-SiO <sub>2</sub> , β-графит, As, Bi <sub>2</sub> Te <sub>2</sub> S, NaFeO <sub>2</sub> , CuFeO <sub>2</sub> , NaN <sub>3</sub> , Hg (1 час)
<b>6</b>	Работа с моделями (1 час). <b>Домашнее задание №1</b> , задачи на достройку
<b>7</b>	Работа с моделями KVO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> -корунд, CaCO <sub>3</sub> -кальцит(1 час)
<b>9</b>	Задача Y <sub>2</sub> SiO <sub>5</sub> , совместное рисование примеров установок группы, Работа с моделями KFeS <sub>2</sub> , AlCl <sub>3</sub> , CuO-тенорит, FeAsS-арсенопирит (2 часа)
<b>10</b>	Распространенность пространственных групп и ее причина, продолжение работы с моделями (2 часа)
<b>11</b>	Работа с моделями тригональной и гексагональной сингоний и зачетная сдача 26-ти описаний моделей структур, изученных в семестре (2 часа)
<b>12</b>	Работа с моделями моноклинной сингонии и зачетная сдача 4-х описаний моделей структур, изученных в семестре (2 часа)

### Рекомендуемые образовательные технологии

Используется образовательная **технология педагогических мастерских** - атмосфера сотворчества, не торопиться давать ответы на поставленные вопросы, самооценка учащегося, самокоррекция;

Используются активные формы проведения занятий; **при чтении лекций** используются *интерактивные лекции-визуализации* с выделением в визуальной форме основных понятий симметрии; **при проведении семинарских** занятий даются реальные задачи, имеющие практическую значимость.

### 7. Фонд оценочных средств (ФОС) для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.

#### Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов.

**В каждом семестре имеется список кристаллических структур, которые необходимо изучить и описать согласно плану:**

#### План описания кристаллической структуры:

- Определить ячейку структуры и тип решетки Бравэ.
- Определить элементы симметрии и, проверяя их взаимодействие, вывести пространственную группу.
- Определить позиции атомов в структуре и охарактеризовать их правильные системы точек (симметрия позиции, величина симметрии, число степеней свободы, кратность и координаты атомов)
- Начертить пространственную группу и указать позиции атомов в основной проекции, выделив контуры элементарной ячейки и обозначив высоты (координаты z)
- Подсчитать через кратности позиций, сколько атомов различного типа приходится на ячейку Браве, определить формулу соединения, число формульных единиц.
- Определить КЧ и КП для каждого сорта атомов, указать типы химических связей между атомами.
- Там, где возможно, - использовать термины плотнейшей упаковки и дать описание структуры с указанием возможных свойств кристаллов.

### Список структур:

**5 семестр, ромбическая сингония:**  $\text{AgNO}_2$ , арагонит  $\text{CaCO}_3$ , марказит  $\text{FeS}$ ,  $\text{PdCl}_2$ ,  $\text{PbCl}_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $\text{K}_2\text{SO}_4$ ,  $\text{SiS}_2$ ,  $\text{SO}_2$ ,  $\text{I}_2$ ,  $\text{U}$ ,  $\text{TlI}$ ,  $\text{CaSO}_4$ ,  $\text{UAl}_4$ ,  $\text{NaSO}_4$ -тенардит,  $\text{TiSi}_2$ ,  $\text{Sr}(\text{N}_3)_2$ ,  $\text{CrO}_3$

**6 семестр, тетрагональная сингония:** рутиловая задача и структура  $\text{TiO}_2$ , куперитовая задача и структура  $\text{PtS}$ , задача  $\text{A}_2\text{BX}_4$  - $\text{Ag}_2\text{HgI}_4$ ,  $\text{PbO}$ ,  $\text{HgI}_2$ ,  $\text{KN}_3$ ,  $\text{CuAl}_3$ ,  $\text{BaAl}_4$ ,  $\text{U}_3\text{Si}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ , станнит  $\text{Cu}_2\text{FeSnS}_4$  и халькопирит  $\text{CuFeS}_2$ , шеелит  $\text{CaWO}_4$  и  $\text{CuN}_3$ , циркон  $\text{ZrSiO}_4$ , анатаз  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ThSi}_2$ ,  $\text{ThCl}_4$ ,  $\text{PdS}$ ,  $\text{BPO}_4$ ,  $\text{Hg}_2\text{Cl}_2$  каломель,  $\text{PCl}_5$

**7 семестр, кубическая сингония:** пирит  $\text{FeS}_2$ , герсдорфита  $\text{NiAsS}$ , скутерудита  $\text{CaAs}_4$ ,  $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ ,  $\text{N}_2\text{O}_4$ ,  $\text{SnI}_4$ -задача и структура, сульванит  $\text{CuVS}_4$ , уротропин  $(\text{CH}_2)_6\text{N}_4$ , тетраэдрит  $\text{Cu}_{12}\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ , сфалерит  $\text{ZnS}$ , алмаз  $\text{C}$ , кристобалит  $\text{SiO}_2$ , шпинель  $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ , арсенолит  $\text{As}_4\text{O}_6$ , гранат  $\text{Ca}_3\text{Al}_2[\text{SiO}_4]_3$ , куприт  $\text{Cu}_2\text{O}$ ,  $\beta$ - $\text{W}$ .

**8 семестр, гексагональная сингония:**  $\text{Mg}$ ,  $\text{NiAs}$ ,  $\text{BN}$ ,  $\text{Mg}_3\text{Cd}$ , лонсдейлит  $\text{C}$ ,  $\alpha$ -графит, тридимит  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Mg}_5\text{Si}_3$ ,  $\text{CdI}_2(\text{ABAC})$ ,  $\text{CrSi}_2$ , вюрцит  $\text{ZnS}$ ,  $\text{CdI}_2(\text{AB})$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Se}$ ,  $\text{HgS}$  (киноварь),  $\alpha$ - $\text{SiO}_2$ ,  $\beta$ -графит,  $\text{As}$ ,  $\text{Bi}_2\text{Te}_2\text{S}$ ,  $\text{NaFeO}_2$ ,  $\text{CuFeO}_2$ ,  $\text{NaN}_3$ ,  $\text{Hg}$ ,  $\text{KVO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -корунд,  $\text{CaCO}_3$ -кальцит, **моноклинная сингония:**  $\text{KFeS}_2$ ,  $\text{AlCl}_3$ ,  $\text{CuO}$ -тенорит,  $\text{FeAsS}$ -арсенопирит

### 7.1. Типовые контрольные задания для проведения текущего контроля успеваемости.

- Рассмотреть взаимодействие элементов симметрии в форме записанных операций и дать обоснование результатов с выводом итоговой группы для различных сингоний
- Построить итоговую группу по заданным исходным элементам симметрии – задания для различных сингоний во многих вариантах
- Определить симметрию одномерного узора и отнести его к одной из возможных одномерных групп
- Определить симметрию плоского узора на основе симметрии фигуры и симметрии решетки (принцип Кюри) по заданным асимметричным фигуркам
- Определить симметрию плоского узора Эшера, заполняющего плоскость целиком, и отнести его к одной из возможных плоских групп
- Вывести все возможные аспекты той или иной ромбической группы симметрии (нестандартные установки): дать обоснование и обозначение
- Восстановить пространственную группу структуры, изображенной различными атомами – кружками с высотами в проекции
- Начертить пространственную группу на основе изученной теории с различными типами решеток Бравэ, дать характеристику правильных систем точек - задания для различных сингоний во многих вариантах

Текущий контроль усвоения дисциплины осуществляется при сдаче каждым студентом выполненных описаний структур и их рисунков в группах симметрии, решения задач текущих и контрольных.

### 7.2. Примерный перечень вопросов для промежуточной аттестации

#### Зачет, семестр 5:

1. Рассмотреть взаимодействие оси  $4_2$  и перпендикулярной к ней клиноплоскости  $n$ .
2. Вывести пространственные группы ромбической голоэдри с  $C$ - и  $F$ -решетками Бравэ
3. Построить график пространственной группы  $Pnnn$  и дать характеристику всех правильных систем точек
4. Одномерные группы симметрии. Их вывод
5. Построить график пространственной группы  $Pbcm$  и дать характеристику всех правильных систем точек
6. Двумерные плоские группы симметрии. Их вывод

7. Вывести пространственные группы класса 222 с  $C$ - и  $I$ -решетками Бравэ
8. Построить график группы  $Pban$  и дать характеристику всех правильных систем точек
9. Рассмотреть взаимодействие взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии  $d_x, d_y$
10. Рассмотреть взаимодействие взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии  $n_y$  и  $b_x$
11. Вывести пространственные группы ромбической голоэдри с  $C$ -и  $F$ -решетками Бравэ
12. Построить график пространственной группы  $Pmna$  а дать характеристику всех правильных систем точек
13. Вывести пространственные группы ромбической сингонии, подчиненные классу 222 с  $P$ - и  $F$ - решетками Бравэ
14. Построить график пространственной группы  $Ibca$  а дать характеристику всех правильных систем точек
15. Рассмотреть взаимодействие плоскости симметрии с перпендикулярным и косо расположенным к ней векторами
16. Вывести пространственные группы ромбической сингонии, подчиненных классу  $mm2$  с  $A$ -и  $F$ -решетками Бравэ
17. Построить график пространственной группы  $Ccca$  а дать характеристику всех правильных систем точек
18. Рассмотреть взаимодействие оси 3 с перпендикулярным к ней трансляционным вектором. Привести доказательство
19. Вывести пространственные группы ромбической голоэдри с  $I$ -решеткой Бравэ
20. Построить график пространственной группы  $Ibam$  и дать характеристику всех правильных систем точек
21. Построить график пространственной группы  $Pnna$  и дать характеристику всех правильных систем точек

### Экзамен, семестр 6:

1. Рассмотреть взаимодействие взаимно перпендикулярных плоскостей симметрии  $d_x, d_y$
2. Вывод пространственных групп тетрагональной сингонии на основе пространственных групп ромбической осевой гемиедри для всех решеток Бравэ
3. Вычертить график группы  $P-42_1c$  и дать характеристику всех правильных систем точек
4. Рассмотреть результат взаимодействия симметрических операций  $d_y, c_d$  под углом  $45^\circ$
5. Вывод гемиморфных пространственных групп ромбической сингонии для всех решеток Бравэ
6. Вычертить график пространственной группы  $P4_2/nmc$  и дать характеристику всех правильных систем точек
7. Рассмотреть результат взаимодействия симметрических операций  $c_x, g$ , расположенных под углом  $45^\circ$
8. Класный вывод пространственных групп тетрагональной сингонии, подчиненных точечным  $-42m, 4$  и  $-4$  для всех решеток Бравэ
9. Вычертить график пространственной группы  $Cmma$  и дать характеристику всех правильных систем точек
10. Рассмотреть взаимодействие оси  $4_1$  и перпендикулярной к ней плоскости  $b_z$
11. Класный вывод голоэдрических и гемиморфных пространственных групп тетрагональной сингонии для всех решеток Бравэ
12. Вычертить график пространственной группы  $Ibam$  и дать характеристику всех правильных систем точек
13. Рассмотреть результат взаимодействия симметрических операций  $b_x, c$ , расположенных под углом  $45^\circ$
14. Вывод пространственных групп тетрагональной сингонии на основе гемиморфных групп ромбической сингонии для всех решеток Бравэ
15. Вычертить график пространственной группы  $Pmnm$  и дать характеристику всех

правильных систем точек.

16. Рассмотреть результат взаимодействия симметрических операций  $a_y, g$ , расположенных под углом  $45^\circ$

17. Вывод пространственных групп тетрагональной сингонии на основе групп ромбической осевой гемидрии для всех решеток Бравэ

18. Вычертить график пространственной группы  $Pmna$  и дать характеристику всех правильных систем точек.

19. Рассмотреть взаимодействие оси  $4_2$  и перпендикулярной к ней плоскости  $b_z$

20. Вывод пространственных групп ромбической осевой гемидрии для всех решеток Бравэ

21. Вычертить график пространственной группы  $P4_2/nbc$  и дать характеристику всех правильных систем точек.

### **Зачет, семестр 7:**

1. Принцип вывода пространственных групп кубической сингонии со всеми типами решеток Бравэ на основе голоэдрических ромбических пространственных групп.

2. Нарисовать график пространственной группы  $F432$  и дать характеристику всех правильных систем точек.

3. Принцип вывода пространственных групп кубической сингонии со всеми типами решеток Бравэ на основе ромбических пространственных групп, подчиненных классу  $222$ .

4. Нарисовать график пространственной группы  $Im\bar{3}m$  и дать характеристику всех правильных систем точек

5. Принципы размножения точек общего положения на графиках пространственных групп кубической сингонии

6. Нарисовать график пространственной группы  $I432$  и дать характеристику всех правильных систем точек

7. Принцип вывода голоэдрических пространственных групп кубической сингонии с  $P$ -решеткой Бравэ на основе тетрагональных групп

8. Нарисовать график пространственной группы  $P-43n$  и дать характеристику всех правильных систем точек

9. Принцип вывода пространственных групп кубической сингонии, подчиненных точечной  $-43m$  на основе тетрагональных пространственных групп для всех решеток Бравэ

10. Нарисовать график пространственной группы  $I-43c$  и дать характеристику всех правильных систем точек

11. Принцип вывода пространственных групп кубической сингонии, подчиненных классу  $432$  со всеми типами решеток Бравэ на основе тетрагональных групп

12. Нарисовать график пространственной группы  $Pn\bar{3}n$  и дать характеристику всех правильных систем точек

13. Принцип вывода голоэдрических пространственных групп кубической сингонии с  $I$  и  $F$  решетками Бравэ на основе тетрагональных групп.

14. Нарисовать график пространственной группы  $Fm\bar{3}m$  и дать характеристику всех правильных систем точек

### **Экзамен, семестр 8:**

1. Вывод гексагональных пространственных групп на основе групп кубической сингонии.

2. Рассмотреть связь примитивной кубической ячейки с гексагональной ячейкой

3. Вычертить график группы  $Pm\bar{3}m$  и дать характеристику трех самых высокосимметричных правильных систем точек

4. Вывод пространственных групп тригональной подсингонии с  $P$ -решеткой на основе ромбоэдрических пространственных групп

5. Рассмотреть связь объемноцентрированной кубической элементарной ячейки с гексагональной ячейкой



6. Вычертить график группы  $Pn3n$  и дать характеристику четырех самых высокосимметричных правильных систем точек
7. Вывод пространственных групп гексагональной сингонии на основе тригональных групп
8. Рассмотреть связь гранцентрированной кубической ячейки с гексагональной ячейкой
9. Класный вывод пространственных групп гексагональной сингонии
10. Класный вывод пространственных групп тригональной сингонии
11. Вывод пространственных групп гексагональной сингонии на основе тригональных групп
12. Вывод пространственных групп моноклинной сингонии
13. Вычертить график пространственной группы  $P-6c2$  и дать характеристику всех правильных систем точек
14. Вычертить график пространственной группы  $P6/mcc$  и дать характеристику всех правильных систем точек
15. Вычертить график пространственной группы  $Fm3c$  и дать характеристику четырех самых высокосимметричных точек
16. Вывести различные аспекты группы  $C2/c$  и обозначить их в новой и минералогической установке
17. Вывести различные аспекты группы  $P2_1/m$  и обозначить их в новой и минералогической установках

### Шкала и критерии оценивания результатов обучения

Контроль усвоения пройденного материала осуществляется на нескольких уровнях и выражается в индивидуальной системе оценки знаний учащихся. Текущий контроль осуществляется путем непосредственного контакта преподавателя с каждым студентом во время семинарских и индивидуальных занятий, путем проверки, анализа и обсуждения домашних работ. Предусмотрены письменные тестирования (контрольные работы) в аудитории в процессе обучения. Прием с проверкой всех моделей; пространственные группы, их чертежи, позиции атомов на проекциях, описание структур (18 ромбических, 21 тетрагональная, 18 кубических, 30 гексагональных и 4 моноклинные) и выставление зачетов по сданным моделям структур. Это является условием допуска к зачету или экзамену в устной форме. Итоговая оценка студента оценивается по традиционной шкале.

Результаты обучения	«неудовлетворительно»	«удовлетворительно»	«хорошо»	«отлично»
Знания: основные положения теории групп, определение понятий симметрии, операций и элементов симметрии конечных и бесконечных построек, их обозначения и взаимодействия; конечные группы	Знания отсутствуют	Фрагментарные знания	Общие, но не структурированы	Систематические знания

<p>(32), одномерно-бес-конечные (бордюры, 7), двумерно-бесконечные (обои, 17) группы, их вывод и графическое представление; трехмерно-бесконечные (пространственные, 230) группы симметрии для всех сингоний.</p>				
<p>Умения: выводить из литературных данных или моделей, а также графически представлять группы симметрии; определять правильные системы точек и их характеристики; знать стандартные и нестандартные установки и взаимосвязь симметрии и пространственных групп разных сингоний; давать описание кристаллических структур в терминах пространственных групп;</p>	<p>Умения отсутствуют</p>	<p>Имеются трудности принципиального характера при работе с группами</p>	<p>В целом успешное умение опии-сать кристаллы, имеются затруднения</p>	<p>Успешное использование полученных знаний для описания кристаллов и их структур</p>

<p>Владения: симметрией-ным аппаратом для решения задач структурной кристаллографии в минералогии, петрологии и материаловедении; профессиональным анализом литературы по специальности в отношении симметрии.</p>	<p>Навыки владения отсутствуют</p>	<p>Наличие отдельных навыков, фрагментарное владение</p>	<p>В целом успешное владение материалом, но имеются затруднения в описании симметрии</p>	<p>Успешное использование полученных знаний для описания кристаллов и их структур</p>
--	------------------------------------	--	--	---

## 8. Ресурсное обеспечение:

### А) Перечень основной и дополнительной литературы

#### *-основная*

*Учебник (1) имеется в количестве более 100 экземпляров на кафедре кристаллографии, Интертаблицы (5) также имеются на кафедре в количестве 5 экземпляров, что достаточно для занятий.*

1. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. М.: Изд-во ГЕОС, 2000, 394 с.
2. Егоров-Тисменко Ю.К., Кристаллография и кристаллохимия. М.: Изд-во Университет, Книжный дом, 2005. 587 с.

#### *- дополнительная литература:*

1. **International Tables for X-ray crystallography. Vol.A.** 2th rew. edit., Dodrecht / Boston / London. 1989.
2. **International Tables for X-ray crystallography. Vol.1.** Birmingham. 1952
3. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П. Геометрическая микрокристаллография. М. : Изд-во МГУ, 1976. 238 с.
4. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии. М. : Изд-во МГУ, 1983. 167 с.
5. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Геометрическая кристаллография. М. :Изд-во МГУ, 1986, 166 с.
6. Белов Н.В., Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Атлас пространственных групп кубической системы. М. Наука. 1980. 68 с.

- 7 **Белов Н.В.** Классный метод вывода пространственных групп симметрии // Труды Ин-та Кристаллографии АН СССР. 1951. №6. С. 25-62.
- 8 **Егоров-Тисменко Ю.К.** К выводу тетрагональных федоровских групп симметрии на основе пространственных групп ромбической сингонии// Кристаллография. 1996. Т.41. №5.С.
- 9 **Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П.** Методика графического представления некоторых пространственных групп симметрии // Вестник Моск. Ун-та. Сер.4 Геология. 1995. №1. С. 81-90.
- 10 **Чупрунов Е.В., Хохлов. А.Ф., Фаддеев М.А.** Кристаллография. М. : Изд-во физ.-мат. литературы. 2000. 496 с.
- 11 **Белов Н.В.** Структуры ионных кристаллов и металлических фаз. М.-Л.: Изд-во АН СССР. 1947. 237 с.
- 12 **Бокий Г.Б.** Кристаллохимия. 3е изд. М.: Изд-во Наука. 1971. 400 с.
- 13 **Современная кристаллография.** Т.1. М.; Наука. 1979. 283 с.
- 14 **Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Белов Н.В.** Дополнение к инвентарю элементов симметрии в дисконтинууме в сборн. Проблемы кристаллологии. М.: Изд-во МГУ. 1976.С.57-62.
- 15 **Белов Н.В.** Систематика плотнейших и плотных упаковок // Докл. АН СССР. 1939. XXXIII. С. 171-175.
- 16 **Белов Н.В., Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К.** Из истории графического представления пространственных (федоровских) групп симметрии. В сборн. Кристаллохимия и структурный типоморфизм минералов.Л. : Наука. 1985. С.12-20.
- 17 **Белов Н.В.** Очерки по структурной кристаллографии и федоровские группы симметрии. М.: Наука. 1986. 278 с.
- 18 **Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П.** К вопросу о выводе гексагональных групп симметрии// Минерал. Журн. 1991. Т.13. №6,С. 8-14.

В) Профессиональная база данных ICSD

Г) Программное обеспечение и Интернет-ресурсы

[www.iucr.org](http://www.iucr.org) International Tables for X-ray crystallography. Vol. A, A1.

Д) Материально-техническое обеспечение дисциплины

а) специализированная аудитория, рассчитанная на группу до 15 учащихся,

б) проектор, компьютер, экран, доска для рисования групп симметрии и структур

в) уникальная в мире коллекция моделей структур минералов и неорганических соединений, шариковых и полиэдрических, которая является основой для обучения на кафедре кристаллографии; уникальный графический материал (плакаты) и модельный для пояснения ряда сложных разделов

9. Язык преподавания – русский

10. Преподаватель – Белоконева Е.Л.

11. Автор-составитель программы

Геологический ф-т

профессор

Е.Л.Белоконева

(место работы)

(занимаемая должность)

(инициалы, фамилия)

Рабочий телефон:8-495-939-49-26, мобильный +7(926) 839-25-22, e-mail: elbel@geol.msu.ru