

**Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова**  
**Геологический факультет**

**Направление 020700 ГЕОЛОГИЯ**  
**Профиль ГЕОХИМИЯ**

**ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**  
**«Кристаллография»**

**Рекомендуется для направления подготовки**  
**020700 «Геология» *профиля Геохимия***)

Квалификация (степень) выпускника - бакалавр

Автор:  
**профессор Н.Н.Еремин**

**Москва 2011**

## 1. Цели и задачи дисциплины

Целями дисциплины Кристаллография являются:

- освоение естественнонаучного базиса для последующего изучения минералогии, петрографии, геохимии, курса полезных ископаемых, литологии и других наук о веществе Земли;
- раскрытие кристаллической сущности минералов и вытекающих из этого особенностей их физических свойств, условий образования и поведения в земной коре, возможности использования природных материалов в народном хозяйстве, путей поисков полезных ископаемых и создания синтетических материалов с нужными физическими свойствами.

Задачей дисциплины Кристаллография является: обучение студентов практическим навыкам работы с кристаллами, овладение приемами грамотного описания главных особенностей кристаллического индивида - его внешней формы и внутреннего (атомного) строения, необходимых как для правильной интерпретации результатов самостоятельной научной работы, так и для понимания специальной литературы.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина Кристаллография входит в блок профильной подготовки вариативной части ООП (В.Г). Её освоение базируется на курсах блоков общенаучной подготовки базовой и вариативной части, входящих в модули Общая Геология, Физика, Высшая математика и Химия. Курс является основой для дальнейшего освоения дисциплин блока профильной подготовки вариативной части (В.Г) - «Кристаллохимия», «Минералогия», «Петрология». Курс предоставляет возможность профессионального овладения современными проблемами, прогрессивными методами исследования, комплексной обработки и интерпретации экспериментального и теоретического материала в области кристаллографии, кристаллохимии, физики и химии твердого тела.

## 3. Требования к результатам освоения дисциплины

Процесс изучения учебной дисциплины Кристаллография направлен на формирование элементов следующих компетенций:

**универсальных**, в том числе:

*а) общекультурных* (социально-личностных):

- способность осознавать свою роль и предназначение в разнообразных профессиональных и жизненных ситуациях; умение использовать нормативные правовые документы в своей деятельности (ОК-1);
- умение переоценивать накопленный опыт, анализировать собственные достижения и перспективы самосовершенствования (ОК-2);

- владение навыками организации научно-исследовательских и производственных работ (ОК-4);
- способность принимать ответственные решения, эффективно действовать в нестандартных обстоятельствах, в ситуациях профессионального риска (ОК-5);

*б) общенаучных:*

- обладание знаниями о предмете и объектах изучения, методах исследования, современных концепциях, достижениях и ограничениях естественных наук: физики, химии, биологии, наук о земле и человеке, экологии (ОНК-1);
- способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования (ОНК-2);
- владение методологией научных исследований в профессиональной области (ОНК-5);
- способность использовать в профессиональной деятельности базовые знания в области физики (ОНК-6);

*в) инструментальных:*

- владение терминологией специальности на иностранном языке (ИК-2);
- владение навыками использования программных средств и работы в компьютерных сетях, использования ресурсов Интернет; (ИК-3);
- способность использовать профессиональные базы данных, работать с распределенными базами знаний (ИК-4);
- способность использовать современную вычислительную технику и специализированное программное обеспечение в научно-исследовательской работе (ИК-5);

*г) системных:*

- способность к творчеству, порождению инновационных идей, выдвижению самостоятельных гипотез (СК-1);
- способность к поиску, критическому анализу, обобщению и систематизации научной информации, к постановке целей исследования и выбору оптимальных путей и методов их достижения (СК-2);
- способность к самостоятельному обучению и разработке новых методов исследования, к изменению научного и научно-производственного профиля деятельности; к инновационной научно-образовательной деятельности (СК-3);

– **профессиональных**, в том числе:

***общепрофессиональных**, обязательными для всех профилей подготовки (в соответствии с видами деятельности):*

*научно-исследовательская деятельность:*

- способность самостоятельно осуществлять сбор геологической информации, использовать в научно-исследовательской деятельности навыки полевых и лабораторных исследований (ПК-1);

– способность глубоко осмысливать и формировать диагностические решения проблем геологии путем интеграции фундаментальных разделов геологии, геофизики, экологической геологии и специализированных геологических знаний (ПК-2);

– способность самостоятельно ставить конкретные задачи научных исследований и решать их с использованием новейшего отечественного и зарубежного опыта (ПК-3);

– готовность в составе научно-исследовательского коллектива участвовать в составлении отчетов, рефератов, библиографий и обзоров по тематике научных исследований, в подготовке докладов и публикаций (ПК-4);

*производственно-технологическая деятельность:*

– способность применять на практике методы сбора, обработки, анализа и обобщения фондовой, полевой и лабораторной геологической информации (ПК-5);

– способность свободно и творчески пользоваться современными методами обработки и интерпретации комплексной геологической, геофизической, и эколого-геологической информации для решения научных и практических задач, в том числе находящихся за пределами непосредственной сферы деятельности (ПК-11);

*организационно-управленческая деятельность:*

– готовность к практическому использованию нормативных документов при планировании и организации полевых и лабораторных исследований (ПК-13);

– готовность участвовать в организации научных и научно-практических семинаров и конференций (ПК-14);

*проектная деятельность:*

– способность пользоваться нормативными документами, определяющими качество проведения полевых, лабораторных, вычислительных и интерпретационных геофизических, и эколого-геологических работ (ПК-15);

– готовность к проектированию комплексных научно-исследовательских и научно-производственных геологических работ (ПК-17);

*научно-педагогическая деятельность:*

– способность участвовать в руководстве работой школьников в области геологии (ПК-18);

***профильно-специализированных:***

– способность использовать профильно-специализированные знания в области геологии, геохимии, петрологии и минералогии для решения научных и практических задач (ПК-21);

– способность использовать профильно-специализированные знания фундаментальных разделов физической химии для освоения теоретических основ геологии, геохимии, петрологии и минералогии (ПК-22);

– способность использовать профильно-специализированные информационные технологии для решения геохимических и петрологических задач (ПК-23).

В результате освоения дисциплины обучающийся должен:

**Знать:** геометрические основы кристаллографии и кристаллохимии, основные законы геометрической кристаллографии, основы сферической тригонометрии, названия всех простых форм кристаллов, названия всех 32 классов симметрии, их обозначения в символиках Браве, Шенфлиса и международной.

**Уметь:** давать полное развернутое описание кристаллического и некристаллического многогранника, размножать грани, заданными элементами симметрии, вывести класс по заданным элементам симметрии, строить стереографические проекции 32-х классов симметрии, определять символы граней простых форм, анализировать по сетке Вульфа гониометрические данные, давать полное описание кристаллической структуры по ее модели или чертежу.

**Владеть:** теоремами взаимодействия элементов симметрии, методами гониометрии, навыками диагностики кристаллов по морфометрическим данным, навыками кристаллохимического анализа по геометрическим структурным данным.

#### 4. Структура и содержание дисциплины Кристаллография

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зачетных единиц или 180 часов, в том числе 96 аудиторных занятий (36 часов лекций и 60 часов семинаров) и 84 часа внеаудиторных самостоятельных занятий студента.

#### Структура преподавания дисциплины

№ п/п	Раздел дисциплины	Семестр	Неделя семестра	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)				Формы текущего контроля (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
				Лекции	Семинары	практ. занятия, лаб. работы	Самостоятельная работа студента	
1.	Введение в кристаллографию. Операции и элементы симметрии. Проецирование кристаллов. Работа с сеткой Вульфа. Взаимодействия операций симметрии. Различные способы представления симметрических операций Вывод 32 точечных групп симметрии. Обозначения групп симметрии в символика Шенфлиса. Кристаллографические координатные системы.	1	1-5	8	12		16	Собеседование на каждом семинаре, 6 домашних индивидуальных заданий, индивидуальная интерактивная подготовка к контрольной работе №1, контрольная работа №1.

	Категории. Сингонии. Международная символика. Основные положения теории групп.						
2.	Символы граней и ребер кристаллов. Понятие «единичная грань» и ее использование при определении символов. Кристаллографическое прочтение уравнения плоскости. Метод развития зон (поясов). Определение символов граней при отсутствии единичной грани. Простые формы кристаллов различных сингоний. Понятие «собственная симметрия простой формы». Облик и габитус кристаллов. Комбинационные кристаллы. Икосаэдрические группы. Простые формы икосаэдрических групп. Примеры икосаэдрической симметрии. Предельные группы симметрии Кюри. Физические явления, описываемые этими группами. Основы теории роста и морфологии кристаллов. Факторы, влияющие на внешний облик кристаллов. Двойники. Краткие сведения о методах выращивания кристаллов.	1	6-9	8	12	16	Собеседование на каждом семинаре, 4 домашних индивидуальных задания,
3.	Понятие о кристаллической решетке. Вывод 14 типов решеток Браве. Представление об элементах симметрии кристаллических структур - трансляционных элементах симметрии - плоскостях скользящего отражения и винтовых осях, их взаимодействиях. 230 пространственных групп симметрии. Правильные системы точек и их характеристики. Принципы вычерчивания графиков пространственных групп симметрии и построение проекций структур.	1	10-14	8	12	16	Собеседование на каждом семинаре, 4 домашних индивидуальных задания
4.	Дифракционные и спектроскопические методы исследования вещества. Физические свойства кристаллов. Предельные группы симметрии.	1	15-16	4	4	8	Интерактивная подготовка к контрольной работе №2, контрольная работа 2. Консультация перед зачетом.
5.	Промежуточная аттестация (1-ый семестр)	1					Зачет
6.	Основные понятия и термины кристаллохимии. Полиэдрический метод изображения кристаллических структур. Плотнейшие упаковки в кристаллах. Пустоты плотнейших упаковок. Симметрия двухслойной (гексагональной) плотнейшей упаковки. Симметрия трехслойной (кубической) плотнейшей упаковки. Симметрия многослойных упаковок. Примеры кристаллических структур	2	1-6	4	8	12	Представление 3-ех индивидуальных заданий-рефератов. Собеседование на каждом семинаре
7.	Геометрическая классификация силикатов на основе их кремнекислородных мотивов.	2	7-12	4	8	12	Представление 3-ех индивидуальных заданий-рефератов Собеседование на каждом семинаре. Интерактивная подготовка к контрольной работе №3, контрольная работа 3.
Промежуточная аттестация (по итогам 2 семестров)		2					Экзамен
Всего часов: 5 ЗЕ или 180 часов			96	36	60	84	

## 5. Рекомендуемые образовательные технологии

При освоении дисциплины Кристаллография предусматривается внедрение следующих образовательных технологий: Технология концентрированного обучения и Технология педагогических мастерских. А именно: при освоении дисциплины Кристаллография

предусматривается широкое использование активных и интерактивных форм проведения занятий. Учащиеся знакомятся с современными методами изучения кристаллического вещества на макро- и микро-уровне. По результатам внеаудиторной работы (работа с литературными источниками, ресурсами Интернет, базами данных) студенты под руководством преподавателя готовят решение индивидуальных задач по основным разделам дисциплины и защищают их на семинарах. Удельный вес интерактивных форм обучения составляет 62% аудиторных занятий, лекции составляют 38% аудиторных занятий. Для самоподготовки к контрольным работам учащимся предоставляется возможность использовать дистанционные интерактивные тесты.

**При чтении лекций** используются *интерактивные лекции-визуализации* с выделением в визуальной форме основных понятий кристаллографии.

**При проведении семинарских** занятий используются ролевые игры, имитирующие реальные задачи, имеющие практическую значимость.

#### **Темы семинарских занятий:**

- 1) Понятия «симметрия», «симметричный объект». Операции и элементы симметрии. Простые элементы симметрии I и II родов: поворотные оси симметрии, зеркальные плоскости симметрии, центр симметрии. Определение симметрии кристаллов. Символика Браве. Понятие «простые формы кристаллов». Их характеристики. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 2) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Проецирование кристаллов. Сферические, стереографические и гномостереографические проекции. Понятие «зона» (пояс). Сетка Вульфа. Решение задач с помощью сетки Вульфа. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 3) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Сложные элементы симметрии: зеркально-поворотные и инверсионные оси. Их взаимосвязь. Теорема Эйлера. Частные случаи этой теоремы. Взаимодействие симметрических операций (элементов симметрии). Вывод класса симметрии по заданным элементам симметрии. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 4) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Координатные системы в кристаллографии, категории, сингонии. Международная символика – символика Германа–Могена. Символика Шенфлиса. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 5) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Симметрия кристаллов кубической сингонии. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.

- 6) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Координационный и матричный метод представление симметрических операций. Координаты гексагональных и кубических преобразований. Работа с гексагональными и моноклинными кристаллами. Подготовка к контрольной работе №1. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 7) Анализ контрольной работы. Символы граней и ребер кристаллов. Закон зон (поясов). Определение символов граней кристаллов низшей и средней категорий с единичной гранью. Определение символов граней в кристаллах, не содержащих единичную грань. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 8) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Различные способы представления операций симметрии. Особенности координационного метода. Особенности матричного метода. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 9) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Простые формы кристаллов низшей и средней категорий. Понятие «собственная симметрия простой формы». Индицирование кристаллов с косоугольной координатной системой (моноклинных и гексагональных). Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 10) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Простые формы кристаллов кубической сингонии. Индицирование граней кубических кристаллов. Описание 3-х кристаллов + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 11) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Решение задач по определению символов граней кристаллов различных сингоний. Ролевая игра на сетку Вульфа с определением простых форм и выходов осей.
- 12) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Основы кристаллохимии. Выбор элементарных ячеек. Типы решеток Браве. Координационные числа (КЧ). Координационные многогранники (КМ). Число формульных единиц (Z). План кристаллических структур. Словесное описание кристаллических структур. Описание 3-х структур + решение задач из учебника по списку преподавателя.
- 13) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Теория групп симметрии. Трансляционные элементы симметрии бесконечных кристаллических построек. Пространственные (федоровские) группы симметрии. Правильные системы точек и их характеристики: симметрия позиции, величина симметрии, число степеней свободы, кратность, координаты атомов. Взаимодействие трансляционных элементов симметрии. Принципы графического представления пространственных групп симметрии. Вычерчивание графиков  $mm2$  и  $mmm$ .



14) Разбор домашних и индивидуальных заданий. Работа над ошибками. Международные интернациональные таблицы. Принципы работы с ними. Построение чертежа структуры. Описание кристаллической структуры марказита  $\text{FeS}_2$  на основе пространственной группы симметрии. Построение чертежа структуры марказита. Подготовка к контрольной работе №2.

15) Плотнейшие шаровые упаковки в кристаллах. Описание кристаллических структур в терминах плотнейших упаковок. Полиэдрическое изображение кристаллических структур.

16) Разбор индивидуальных домашних заданий. Работа над ошибками. Определение симметрии двухслойной (гексагональной) плотнейшей упаковки. Построение графика пространственной группы. Правильные системы точек, характеризующие позиции шаров плотнейшей упаковки и центров тяжести пустот. Чертеж структур, построенных на основе гексагональной плотнейшей упаковки: Mg, NiAs (никелин),  $\text{CdI}_2$ , ZnS (вюрцит).

17) Разбор индивидуальных домашних заданий. Работа над ошибками. Изучение симметрии трехслойной (кубической) плотнейшей упаковки. Правильные системы точек, характеризующих позиции атомов и центров тяжести пустот кубической плотнейшей упаковки. Чертеж кристаллических структур, построенных на основе трехслойной плотнейшей упаковки.

18) Разбор индивидуальных домашних заданий. Работа над ошибками. Изучение способов обозначений плотнейших упаковок: трехбуквенный (A, B, C) и двухбуквенный (к, г). Разбор задачи, решаемые с помощью этих обозначений: определение симметрии упаковки, определение слойности.

19) Изучение геометрических мотивов силикатов. Подготовка к контрольной работе №3.

**6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

### **6.1. Домашние задания для самостоятельной подготовки студентов**

1) Геометрическое описание кристалла:

- Определение симметрии кристалла - категории ( $a, b, c$ ), - сингонии ( $\alpha, \beta, \gamma$ ), запись класса симметрии по Браве, по Шенфлису, по международной символике (Германа-Могена);
- Вычерчивание стереографической проекции класса симметрии;
- Выбор координатной системы (обозначение на графике направление координатных осей X, Y и Z);
- Построение гномостереографической проекции граней кристалла;
- Характеристика простых форм кристалла:  $a$  - количество граней,  $b$  - частная или общая простая форма,  $v$  - закрытая или открытая простая форма,  $z$  - символы грани каждой простой формы,  $d$  - название простой формы;
- Название класса симметрии (по общей простой форме);
- Определение облика и габитуса кристалла.

## 2) Геометрическое описание кристаллической структуры:

- Выделить в структуре ячейку Браве;
- Определить тип решетки Браве. Записать ее константы;
- Сосчитать сколько атомов различных типов приходится на одну ячейку Браве;
- Определить (или подтвердить) тип формулы соединения;
- Рассчитать число формульных единиц ( $Z$ );
- Определить координационные числа (КЧ) атомов каждого сорта;
- Назвать координационный многогранник (КМ);
- Проверить формулу соединения по взаимной координации атомов;
- Дать словесное описание структуры; если возможно, то описание дать в терминах плотнейших упаковок (указать слойность упаковки и мотив заполнения в ней тех или иных пустот);
- Выделив координационные многогранники вокруг атомов, указать характер их сочленения;
- По приведенному описанию нарисовать кристаллическую структуру в плане, выделив контуры элементарной ячейки и обозначив высоты (координаты  $z$ ) атомов.

### Рекомендуемый набор кристаллических структур:

Cu (Au, Ag, Pt), Mg,  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$ -Fe, C ( $\alpha$ -,  $\beta$ -графит), BN (борнитрид), C (алмаз, лонсдейлит), модификации ZnS (сфалерит, вюрцит) и C (карборунд), CsCl, NaCl (галит) = MgO (периклаз) = PbS (галенит), NiAs (никелин) = FeS (пирротин), CaF<sub>2</sub> (флюорит) = Li<sub>2</sub>O, модификации TiO<sub>2</sub> (рутил, брукит, анатаз), модификации CaCO<sub>3</sub> (кальцит, арагонит), FeS<sub>2</sub> (марказит, пирит), MoS<sub>2</sub> (молибденит), CO<sub>2</sub>, модификации CdI<sub>2</sub> = Mg(OH)<sub>2</sub> (брусит), Cu<sub>2</sub>O (куприт), CaTiO<sub>3</sub> (перовскит), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (корунд) = Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (гематит) = Cr<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (эсколаит), MgAl<sub>2</sub>O<sub>4</sub> (шпинель).

Силикаты: оливин, гранат, циркон, топаз, каламин, бенитоит, берилл, диоптаз, турмалин, диопсид, волластонит, тремолит, каолинит, серпентин, пирофиллит, тальк, мусковит, биотит, модификации SiO<sub>2</sub> ( $\alpha$ -,  $\beta$ -кварц, тридимит, кристобалит, коэсит, стишовит), ортоклаз, альбит.

## 3) Типовые домашние задания:

- Размножить заданную грань указанными элементами симметрии. Отметить какие из полученных граней будут правыми (П), а какие – левыми (Л).
- Показать на графике, какой результирующий элемент симметрии возникнет при взаимодействии указанных на проекции элементов симметрии.
- Какими классами симметрии можно описать расположение граней, принадлежащих одной простой форме и представленных на проекции? Какая это простая форма – открытая или закрытая? Нанести элементы симметрии одного из классов на проекцию.
- Построить стереографическую проекцию класса  $L_2PC$ . Дать его обозначения в международной символике и символике Шенфлиса. Выбрать и обозначить координатные оси. Нанести на проекцию грань общего положения и дать характеристику полученной простой формы.
- Записать в учебной символике Браве и Шенфлиса классы симметрии  $23$  и  $32$ . К каким сингониям они относятся?
- Расшифровать символы Шенфлиса  $D_{2h}$  и  $D_{2d}$  и записать указанные классы симметрии в международной символике и символике Браве. К какой категории относятся эти классы?
- Какой класс симметрии возникнет, если к классу  $622$  добавить центр инверсии  $\bar{1}$ ? Записать ход вывода и привести проекцию полученного класса.
- С помощью сетки Вульфа измерить угловые расстояния между следующими точками:

- 2). Пользуясь методом развития зон, нанести грани со следующими символами: А - (100), В - (110), С - (321), D - (123), Е - (001), размножить их элементами симметрии класса 2 и дать названия полученным простым формам, предварительно обозначив направления координатных осей.
- Определить символ ребра по которому пересекаются грани (100) и (111). Изобразить на чертеже гномостереографические проекции этих граней, а также стереографическую и гномостереографическую проекцию этого ребра.
- Проанализировать гониометрические данные. По сферическим координатам граней используя сетку Вульфа определить класс симметрии. Сгруппировать грани по простым формам и дать им названия. Построить стереограмму кристалла, предварительно нанеся элементы симметрии.
- Используя символику Полинга расшифровать классическую последовательность слоев ...АВАВСВСВ...
- . Определить тип решетки Браве по изображенной проекции, учитывая приведенные соотношения параметров  $a$ ,  $b$  и  $c$ .
- По словесному описанию структуры нарисовать ее в плане и дать полную характеристику. Назвать структурный тип.
- Нарисовать график пространственной группы  $Pbn?$ . Дать характеристику всем правильным системам точек этой группы.
- Построить по структурным данным на миллиметровке чертеж структуры (элементарная ячейка и краевые связи). Определить формулу соединения. Выделить структурные полиэдры, определить характер их соединения. Сделать вывод о типе катиона и аниона.

## 6.2. Контрольные усвоения материала.

Контроль усвоения пройденного материала осуществляется на нескольких уровнях. Контроль на всех уровнях выражается в индивидуальной балльно-рейтинговой 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 заданий.

Предусмотрены 3 контрольные работы - по завершённым темам:

Контрольная работа №1 - письменная работа по теме “Симметрия и морфология кристаллов ” включает в себя тест на определение и описание симметрии кристаллических многогранников, решение графических и расчетных задач.

Контрольная работа №2 - письменная работа по теме “Геометрическая макро- и микро-кристаллография” включает в себя тест на определение и полное описание моделей кристаллических многогранников, анализ симметрии пространственных групп, решение графических и расчетных задач.

Контрольная работа №3 - письменная работа по теме “Геометрические основы кристаллохимии”- включает в себя тест на описание моделей кристаллических структур минералов, решение графических и расчетных кристаллохимических задач.

Зачет - после 1-го семестра.

Экзамен - после 2-го семестра.

### **6.3. Контрольные вопросы для промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины.**

Примерный перечень контрольных вопросов при проведении экзамена:

1. История развития кристаллографических наук.
2. Первые кристаллографические законы.
3. Три этапа развития кристаллографии.
4. Основные разделы современной кристаллографии.
5. Связь кристаллографии с родственными дисциплинами
6. Симметрия, симметричная фигура, операция симметрии, элемент симметрии.
7. Конгруэнтное и энантиоморфное равенство. Элементы симметрии, связывающие конгруэнтно равные и энантиоморфно равные фигуры.
8. Элементы симметрии первого рода – поворотные оси симметрии. Их характеристики. Элементы симметрии второго рода – зеркальная плоскость, центр симметрии.
9. Основной закон симметрии кристаллов и его доказательство.
10. Сложные элементы симметрии. Их взаимосвязь и реализация в кристаллическом веществе.
11. Сферическое, стереографическое и гномостереографическое проецирование кристаллов. Особенности каждого из них. Сферические координаты. Их использование при проецировании кристаллов.
12. Использование сетки Вульфа при проецировании кристаллов. Задачи, решаемые с помощью этих сеток.
13. Взаимосвязь стереографических и гномостереографических проекций граней и ребер кристаллов. Понятие «зона». Использование зон при проецировании кристаллов.
14. Осевая теорема Эйлера. Ее частные случаи. Доказательства.
15. Модельный способ представления симметрических операций
16. Матричный способ представления симметрических операций
17. Координатный способ представления симметрических операций
18. Основные положения теории групп применительно к кристаллографии. Использование квадрата Кейли для определения порядка групп. Примеры.
19. Осевая теорема Эйлера и ее решение с использованием основ сферической тригонометрии. Основы сферической тригонометрии.
20. Основные условия существования сферических треугольников при выводе классов симметрии.
21. Частные случаи теоремы Эйлера
22. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при выводе и вычерчивании графиков классов симметрии с единичными особыми направлениями
23. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при выводе и вычерчивании графиков кубических классов симметрии.
24. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при расшифровке символов Шенфлиса.
25. Использование теорем взаимодействия элементов симметрии при построении международных символов классов симметрии.
26. Кристаллографические координатные системы, их характеристики и использование при разбиении классов симметрии на категории и сингонии.
27. Суть закона Гаюи – закона рациональности отношений параметров граней, и его использование при определении символов граней кристаллов.
28. Индексы Вейса и индексы Миллера, их взаимосвязь

29. Уравнение Вейса, связывающее символы граней и ребер кристаллов. Основные следствия из этого уравнения. Их использование при определении символов граней и ребер кристаллов.
30. Понятия «единичная» и «двуединичная» грани. Их использование при определении символов граней в кристаллах разных категорий.
31. Закон поясов Вейса. Графический метод определения символов граней кристаллов – метод развития зон.
32. Связь гномостереографических проекций граней и ребер кристаллов, используемая в методе зон.
33. Особенности индицирования граней в случае отсутствия единичной грани в кристаллах разных категорий. Примеры
34. Простые формы кристаллов, их характеристики.
35. Понятия «облик» и «габитус» кристалла.
36. Простые формы n-гонально-скаленоэдрических классов.
37. Простые формы n-гонально-трапецоэдрических классов
38. Простые формы в кристаллах осевых классов низшей категории.
39. Простые формы в кристаллах ди-n-гонально-бипирамидальных классов симметрии.  
Показать положения граней этих форм на проекциях.
40. Простые формы в кристаллах кубической сингонии.
41. Вывод простых форм на основе граней гексаэдра в разных классах кубической сингонии.
42. Вывод простых форм кристаллов на основе граней октаэдра в разных классах кубической сингонии.
43. Вывод простых форм на основе граней тетраэдра в разных классах кубической сингонии.
44. Вывод простых форм в конечных фигурах икосаэдрической симметрии.
45. Понятие «пространственная решетка», как элемента симметрии
46. Элементарная ячейка и основная ячейка, их отличия.
47. Вывод 14 типов ячеек Браве.
48. Трансляционные элементы симметрии.
49. Взаимодействие трансляционных и нетрансляционных элементов симметрии
50. Взаимодействие трансляционных элементов симметрии между собой
51. Принципы вычерчивания графиков пространственных групп симметрии типа  $Pmm2$
52. Принципы вычерчивания графиков пространственных групп симметрии типа  $Pmmm$
53. Правильные системы точек и их характеристики
54. Правильные системы точек и позиции Уайкоффа. Их отличия.
55. Интернациональные кристаллографические таблицы. Информация, получаемая из них.
56. Координационные числа и координационные многогранники, число формульных единиц.
57. Словесное описание кристаллической структуры.
58. Плотнейшие шаровые упаковки в кристаллах. Их типы и характеристики. Примеры структур.
59. Пустоты в плотнейших упаковках. Их количество расположение в разных упаковках. Их роль в разнообразии кристаллических структур.
60. Кристаллические структуры, построенные на основе двухслойной плотнейшей упаковки.
61. Кристаллические структуры, построенные на основе трехслойной плотнейшей упаковки.
62. Структуры кристаллов с формулами типа  $AX$ , построенные на основе плотнейшей упаковки и без нее. Примеры.
63. Структуры кристаллов с формулами типа  $AX_2$ , построенные на основе плотнейшей упаковки и без нее. Примеры.
64. Полиэдрический метод изображения кристаллических структур, построенных на основе плотнейших упаковок и без них.
65. Использование обозначения Полинга при описании плотнейших упаковок.
66. Структуры  $SiC$  и  $CdI_2$ . Явление политипии.
67.  $NaCl$ -подобные структуры. Примеры.

68. Структуры полиморфных модификаций углерода.
69. Фуллерены, их геометрические особенности.
70. Классификация кристаллических структур на основе локализованных в них химических связей. Типы химических связей.
71. Классификация кристаллических структур на геометрической основе Геометрический характер структур.
72. Относительные размеры атомов в кристаллах
73. Понятие изоструктурности и антиизоструктурности. Примеры
74. Понятие изотипности и гетеротипности. Примеры.
75. Морфотропные ряды. Примеры.
76. Теория симметрии в эволюции Мира.
77. Диссимметризация минерального вещества в процессе эволюции.
78. Правизна и левизна в минеральном виде.
79. Кристаллическое вещество. Основные характеристики, отличающие его от аморфных тел. Кристалл, как выпуклый многогранник.
80. Квазикристалл. Его геометрические особенности. Отличия от кристаллов и аморфных тел.
81. Факторы, влияющие на зарождение кристаллов.
82. Основы теории роста кристаллов. Молекулярно-кинетическая теория роста кристаллов. Особенности роста атомно-гладких и атомно-шероховатых граней кристалла. Спиральный рост кристаллов.
83. Методы искусственного получения кристаллов, как имитация природных кристаллообразующих процессов.
84. Зоны и пирамиды роста, газовой-жидкие включения как типоморфные признаки кристаллов.
85. Штриховка, фигуры растворения – признаки, отражающие симметрию граней кристаллов. Их связь с воздействиями внешней среды.
86. Формы роста кристаллов: скелетные, дендритные, нитевидные, радиально-лучистые.
87. Факторы, влияющие на внешний облик кристаллов. Ретикулярная плотность граней и ее влияние на их скорости роста. Закон Браве.
88. Правило Кюри – Вульфа и ее связь с равновесной огранкой кристалла.
89. Дефекты в кристаллах. Их влияние на рост граней и физические свойства кристаллов. Зависимость дефектов от температуры. Классификация дефектов.
90. Сrostки кристаллов: закономерные и не закономерные. Геометрический отбор. Эпитаксиальные и двойниковые сростания.
91. Двойники кристаллов. Их особенности. Использование групп антисимметрии для описания двойников.
92. Плотность как пример скалярного свойства. Связь со структурой кристаллов.
93. Связь симметрии кристалла и симметрии среды. Принцип Кюри.
94. Симметрия и анизотропия физических свойств кристаллов. Предельные группы симметрии. Принципы Нейманна, Фойгта, Кюри.
95. Скалярные, векторные и тензорные физические свойства. Их характеристики.
96. Механические свойства: твердость, спайность, деформации. Их характеристики и связь с кристаллическими структурами. Зависимость этих свойств от типов химических связей, реализованных в кристаллах.
97. Упругие свойства. Тензор упругости. Модуль сжатия и модуль сдвига, как скалярное усреднение тензора упругости.
98. Связь упругих свойств с акустическими колебаниями
99. Оптические свойства, их связь с симметрией кристаллов. Понятия «показатель преломления», «двулучепреломление», «оптическая индикатриса». Главные оптические константы кристаллов.
100. Тензор диэлектрических констант и его связь с показателями преломления

101. Пьезоэффект. Его связь с симметрией кристаллов.
102. Пироэффект. Его связь с симметрией кристаллов.
103. Магнитные свойства кристаллов.
104. Рентгеновские методы исследования вещества. Характеристика рентгеновских лучей. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах. Условия Лауэ.
105. Формула Брэгга-Вульфа и ее использование в рентгенографии.
106. Спектроскопические методы исследования кристаллов.

## **7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **а) основная литература:**

1. Егоров-Тисменко Ю.К. «Кристаллография и кристаллохимия», М, изд-во Книжный дом «Университет», 2005, с.520
2. Егоров-Тисменко Ю.К. «Руководство к практическим занятиям по кристаллографии», М, Изд-во МГУ, 2010, 208 стр.
3. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. «Кристаллография», М., изд-во МГУ, 1992, 288 стр.
4. Урусов В.С., Еремин Н.Н. «Кристаллохимия. Краткий курс» М., Изд-во МГУ, 2010, 258 стр.
5. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю. К. Геометрическая кристаллография, 2-е изд., М., изд-во МГУ, 1986, 166 стр.
6. Загальская Ю.Г., Литвинская Г.П., Егоров-Тисменко Ю.К. Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии, М. изд-во МГУ, 1983, 167 стр.
7. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П. Теория симметрии кристаллов. М. изд-во ГЕОС, 2000, 394 стр.
8. Попов Г.М., Шафрановский И.И. Кристаллография, 5-е изд., М., изд-во Высшая школа, 1972, 352 стр.

### **б) дополнительная литература:**

1. Ворошилов Ю.В. Павлишин В.И. «Основы кристаллографии и кристаллохимии. Рентгенография кристаллов» Киев, КНТ, 2011. 568 стр.
2. Лорд Э.Э., Маккей А.Л., Ранганатан С. «Новая геометрия для новых материалов». М, Физматлит, 2010, 264 стр.
3. Банн Ч. «Кристаллы. Их роль в природе и науке» М., изд-во Мир, 1970, 311 стр.
4. Белов Н. В. «Структура ионных кристаллов и металлических фаз» М., изд-во АН СССР, 1947, 237 стр.
5. Вентцель М. К. «Сферическая тригонометрия» М. Геодезиздат, 1948, 154 стр.
6. Пущаровский Д.Ю. «Рентгенография минералов». М., ЗАО «Геоинформмарк», 2000, 292 стр.
7. Современная кристаллография. Т. 1, М., изд-во Наука, 1979, 383 стр.
8. Современная кристаллография. Т. 3, М., изд-во Наука, 1980, 407 стр.
9. Чупрунов Е.В., Хохлов А.Ф., Фаддеев М.А, Кристаллография, М., изд-во физико-математической литературы, 2000, 296 стр.
10. Шаскольская М.П. Кристаллография. М., изд-во Высшая школа, 1984, 375 стр.

### **в) программное обеспечение и Интернет-ресурсы:**

<http://cryst.geol.msu.ru/courses/crgraf/index2.php> - официальная страница курса;

<http://do.chem.msu.ru/Geo/> - междисциплинарный проект интерактивной поддержки очной формы обучения дисциплины «Кристаллография»;

<http://database.iem.ac.ru/minicryst/> - база данных кристаллических структур МИНКРИСТ;

<http://www.shapesoftware.com/> - программное обеспечение для визуализации кристаллов и кристаллических структур;

<http://rruff.geo.arizona.edu/AMS/amcsd.php> - база данных кристаллических структур American Mineralogist.

## **8. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Для проведения занятий: интерактивных лекций-визуализаций, презентаций рефератов на семинарах – используется LCD проектор.

Для самостоятельной работы студентов и работы используется компьютерный класс с выходом в Интернет, программное обеспечение для решения задач кристаллографических задач, библиотека геологического факультета МГУ.

Для интерактивной самоподготовки используется компьютер с выходом в Интернет

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

Предмет кристаллографии, ее место среди других естественных наук, связь с ними. Основные характеристики кристаллического вещества: однородность, анизотропия, способность самоограняться, симметрия. Метод симметрии. Основные этапы зарождения, становления и развития науки о кристаллах. Современные кристаллографические области знаний: математическая кристаллография, кристаллохимия, минералогическая кристаллография, органическая кристаллохимия, физическая кристаллография и учение о генезисе кристаллов.

Значение знания законов кристаллографии и кристаллохимии для направленных поисков полезных ископаемых, выявления путей создания необходимых современной технике синтетических кристаллов. Отличия симметрии живой и неживой материи. Взаимодействия операций (элементов) симметрии. Кристаллографические аспекты сферической тригонометрии. Алгоритм вывода точечных групп симметрии с использованием символики А.Шенфлиса. Различные способы представления симметрических операций (модельный, координатный, матричный). Основные положения теории групп. Координатные системы в кристаллографии, категории, сингонии. Распределение 32-х кристаллографических классов по трем категориям и шести сингониям - шести кристаллографическим координатным системам, отражающим основные особенности кристаллов: симметрию и анизотропию. Международные обозначения точечных классов (групп) симметрии - символика Германна-Могена. Методы графического проектирования кристаллов: сферические, стереографические и гномостереографические проекции. Их использование при проектировании классов симметрии и граней кристаллов. Сетка Вульфа. Способы определения символов граней. Индексы Вейсса и Миллера. Символы ребер кристаллов, их определение.



Понятие “простая форма”. Вывод простых форм кристаллов в классах разных сингоний. Роль символов граней при определении названия простых форм кристаллов кубической сингонии. Простые формы икосаэдрических групп. Морфология квазикристаллов.

Кристаллогенезис - возникновение, рост и разрушение кристаллов. Образование кристаллов в природе. Причины и условия образования кристаллов. Механизмы роста и зарождения кристаллов. Дефекты кристаллов, их влияние на скорости роста граней кристаллов. Влияние симметрии среды на форму растущего кристалла (принцип Кюри). Пирамиды роста. Краткие сведения о методах выращивания кристаллов. Методы промышленной массовой кристаллизации и выращивания монокристаллов. Методы кристаллизации из газовой (паровой) фазы, растворов, растворов в расплаве, расплава.

Предмет кристаллохимии. Основное отличие кристаллического вещества от аморфного - трехмерная периодичность расположения материальных частиц; ее геометрическое выражение - пространственная решетка. Основные свойства кристаллов как следствие их решетчатого строения. Симметрия кристаллических структур. Симметрия квазикристаллов. Пространственная решетка. Типы решеток Браве. Представление об элементах симметрии кристаллических структур - трансляционных элементах симметрии - плоскостях скользящего отражения и винтовых осях, их взаимодействиях. Общие представления о 230 пространственных группах симметрии. Принципы их вывода. Правильные системы точек и их характеристики. Основные понятия и термины кристаллохимии: координационное число (КЧ), координационный многогранник (КМ), число формульных единиц (Z). Типы химической связи и их реализация в кристаллических структурах. Гомодесмические и гетеродесмические структуры. Геометрический характер структур. Структурные мотивы: координационный, островной, цепочечный, слоистый и каркасный. Кристаллохимические радиусы: металлические, ионные, ковалентные, ван-дер-ваальсовы. Геометрические пределы устойчивости ионных структур.

Симметрия физических свойств кристаллов. Предельные группы симметрии (группы Кюри). Связь между точечной симметрией кристалла и симметрией физических свойств (принцип Нейманна). Принцип диссимметрии (суперпозиции) Кюри – связь между симметрией кристалла и симметрией среды. Понятие тензора. Скалярные, векторные и тензорные физические свойства кристаллов. Связь физических свойств кристаллов с их структурой. Дифракционные и спектроскопические методы исследования вещества. Теория плотнейших упаковок и ее использование при описании структур кристаллов. Полиэдрический метод изображения структур. Симметрия двухслойной (гексагональной) и трехслойной плотнейших упаковок. Особенности образования и строения силикатов - главных породообразующих минералов земной коры. Силикаты алюминия и алюмосиликаты. Классификация силикатов на основе их кремнекислородных мотивов.

**Разработчик**

МГУ им. М.В. Ломоносова, Геологический ф-т профессор Еремин Н.Н. тел. 939-3875  
peremin@geol.msu.ru

**Эксперты:**

\_\_\_\_\_

(место работы)

\_\_\_\_\_

(занимаемая должность)

\_\_\_\_\_

(инициалы, фамилия)

Программа одобрена на заседании Ученого совета Геологического факультета МГУ (протокол №  
от \_\_\_\_\_ )

Программа утверждена на заседании учебно-методического совета геологического  
факультета МГУ «\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2011 г., протокол № \_\_\_\_\_.