

Московский государственный университет им. М.В.Ломоносова

Геологический факультет

Кафедра кристаллографии и кристаллохимии

Утверждена Методическим Советом
Геологического факультета МГУ

17 мая 2005 г.

Программа

курса

“КРИСТАЛЛОГРАФИЯ”

(краткий курс)

Для студентов специальностей:

011100 - “Геология” и

011500 - “Геология и геохимия горючих ископаемых”

Программу составил:

доцент Ю.К. Егоров-Тисменко

Москва - 2005 г.

Цель курса

Курс “Кристаллография” (краткий курс) - первый из цикла наук о Земле, о вещественном составе земной коры - рассчитан на студентов Геологического факультета МГУ специальностей - 011100 - “Геология”, 011400 - “Гидрогеология и инженерная геология” и 011500 - “Геология и геохимия горючих ископаемых”. Курс является базисом для изучения минералогии, петрографии, геохимии, курса полезных ископаемых, литологии и др., поэтому, естественно, его место в учебном плане на 1-ом семестре, предваряющем изучение перечисленных дисциплин.

Задачи курса

Одна из главных задач курса - раскрытие того общего, основного, что присуще подавляющему большинству минералов: их кристаллической сущности и вытекающих из этого особенностей 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.

В задачи курса помимо раскрытия обоих теоретических положений, необходимых для сознательного восприятия базирующихся на этом курсе дисциплин, входит обучение студентов определенным практическим навыкам работы с кристаллами, овладение приемами грамотного описания главных особенностей кристаллического индивида - его внешней формы и внутреннего (атомного) строения, необходимых в дальнейшем как для правильной интерпретации результатов самостоятельной научной работы, так и для понимания специальной литературы.

Объем дисциплины:

лекции - 18 часов,
лабораторные занятия - 36 час.

Аннотация к курсу “Кристаллография”

Курс “Кристаллография”, включающий несколько аспектов изучения кристаллов минералов, представлен следующими разделами:

- Краткие сведения по истории развития кристаллографической науки и ее месте среди других естественных наук.
- Понятие симметрии – как основного метода познания закономерностей развития Земли, ее вещества.
- Основы учения о симметрии кристаллов.
- Основы учения о внешней форме - морфологии кристаллов.
- Краткие сведения об образовании и рост кристаллов, способах их искусственного получения. Симметрия и формы реальных кристаллов.
- Краткие сведения об атомном строении кристаллов и главных законах кристаллохимии. Приемы описания простейших кристаллических структур. Плотнейшие упаковки в кристаллических структурах. Основы кристаллохимии силикатов.
- Краткие сведения о физических свойствах кристаллов.
- Знакомство с методами исследования кристаллического вещества.

Содержание курса

Тема 1. Введение в науку

Предмет кристаллографии, ее место среди других естественных наук, связь с ними. Сущность понятий “симметрия”, “кристалл”. Основные характеристики кристаллического вещества: однородность, анизотропия, способность самоограняться, симметрия.

Метод симметрии - основной метод современной кристаллографии, его использование в различных областях современной геологии. Использование идей симметрии при описании реальной формы планеты, ее рельефа и процессов, происходящих на ее поверхности.

Основные этапы зарождения, становления и развития науки о кристаллах. Роль русских и зарубежных ученых в развитии кристаллографических наук. 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 и для изучения истории развития земной коры.

Тема 2. Симметрия кристаллов

Понятие об операциях и элементах симметрии конечных фигур I и II рода (осях симметрии - поворотных, зеркальных и инверсионных, плоскости симметрии и центре инверсии). Их обозначение в символике Браве. Особенность симметрии кристаллов - отсутствие осей 5-го и выше 6-го порядков - основной закон симметрии кристаллов.

Правила взаимодействия операций (элементов) симметрии и их использование при выводе всех возможных сочетаний элементов симметрии - 32-х кристаллографических классов (точечных групп) симметрии. Вывод точечных групп симметрии с использованием символики А.Шенфлиса.

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 Гермманна-Могена.

Методы графического проектирования кристаллов: сферические, стереографические и гномостереографические проекции. Их использование при проектировании классов симметрии и граней кристаллов. Сетка Вульфа. Координаты φ и ρ . Кристаллографические задачи, решаемые с помощью сетки Вульфа.

Закон постоянства углов (закон Н. Стенона - Роме де Лиля) - основа первого кристаллографического метода исследования вещества - гониометрии.

Тема 3. Символы граней и ребер кристаллов - индексирование кристаллов

Понятие “символ грани кристалла”. Способы определения символов граней кристаллов. Параметры граней. Индексы Вейсса и Миллера. Четвертый индекс в кристаллах гексагональной сингонии. Закон Гаюи - закон рациональности отношений параметров граней.

Понятия “единичная” и “двуединичная” грани. Выбор единичной грани в кристаллах разных сингоний

Символы ребер кристаллов, их определение.

Уравнение плоскости $Ax + By + Cz = D$, его кристаллографическое прочтение. Связь символов граней и ребер кристалла.

Закон зон (поясов) - закон Вейсса. Связь между символами граней и ребер кристаллов. Графический метод определения символов граней и ребер кристаллов - метод развития зон.

Тема 4. Морфология кристаллов

Понятие “простая форма кристаллов”. Ее характеристики: количество граней, частная или общая, закрытая или открытая. Понятия “облик” и “габитус” кристалла. Понятие «собственная симметрия простой формы».

Вывод простых форм кристаллов в классах разных сингоний.

Комбинационные кристаллы.

Тема 5. Рост кристаллов (кристаллогенезис)

Кристаллогенезис - возникновение, рост и разрушение кристаллов.

Общие сведения об искусственном получении кристаллов. Образование кристаллов в природе.

Причины и условия образования кристаллов. Механизмы роста и зарождения кристаллов: молекулярно-кинетическая теория Косселя-Странского, спиралевидный рост кристаллов.

Дефекты кристаллов, их влияние на скорости роста граней кристаллов. Концентрационные и конвекционные потоки. Динамический метод выращивания кристаллов. Влияние симметрии среды на форму растущего кристалла (принцип Кюри). Пирамиды роста. Секториальное строение кристалла. Влияние примесей на скорости роста граней кристаллов.

Морфологические особенности реальных кристаллов: скульптура граней (штриховка, холмики роста, вицинали), скелетные формы кристаллов, дендриты, нитевидные кристаллы, сферокристаллы, сферолиты. Способы выявления истинной симметрии кристаллов. Различные типы срастаний кристаллов - незакономерные и закономерные (двойники, эпитаксия и др.). Морфологические критерии в поисковой геологии.

Краткие сведения о методах выращивания кристаллов из водных растворов, расплавов, газовой фазы.

Тема 6. Основы кристаллохимии

Предмет кристаллохимии. Исторические сведения. Задачи, решаемые кристаллохимией.

Законы кристаллографии (закон постоянства углов, закон симметрии, закон рациональности отношений параметров – закон Гаюи) в свете решетчатого строения кристаллов. Основное отличие кристаллического вещества от аморфного - трехмерная периодичность расположения материальных частиц (атомов, ионов, молекул); ее геометрическое выражение - пространственная решетка, главный элемент симметрии кристаллических структур. Основные свойства кристаллов (анизотропия, симметрия, плоскогранность) как следствие их решетчатого строения.

Симметрия кристаллических структур. Пространственная решетка. Типы решеток Браве. Понятия “элементарная ячейка» («ячейка Браве»). Параметры (константы) ячейки Браве.

Трансляционные элементы симметрии - плоскости скользящего отражения и винтовые оси. Общие представления о 230 пространственных (федоровских) группах симметрии и правильных системах точек (позициях атомов в кристаллической структуре). Характеристики правильных систем точек.

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. Теория плотнейших упаковок и ее использование при описании структур кристаллов. Полиэдрический метод изображения структур - метод Полинга-Белова - и его использование при описании кристаллических структур с плотнейшей упаковкой и без нее.

Краткие сведения об основных категориях кристаллохимии: морфотропии (автоморфотропии), полиморфизме (аллотропии, энантиотропных и монотропных превращениях, структурных типах полиморфизма), политипии, изоморфизме (совершенном и несовершенном, изовалентном и гетеровалентном, роли диагональных рядов Гольдшмидта-Ферсмана в изоморфных замещениях атомов). Кристаллы - “геологические термометры”, “геологические барометры”, “геологические спидометры”.

Тема 7. Кристаллохимия силикатов

Особенности образования и строения силикатов - главных породообразующих минералов земной коры. Силикаты алюминия и алюмосиликаты. Классификация силикатов на основе их кремнекислородных мотивов. Изоморфизм в классах силикатов.

Тема 8. Физические свойства кристаллов

Общие сведения. Кристаллическое вещество как сплошная однородная анизотропная среда.

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.

Плотность. Механические свойства - твердость, спайность, упругие и пластические деформации, ковкость, упругость, тепловые свойства - теплопроводность. Оптические свойства кристаллов (показатели преломления, двулучепреломление, оптическая индикатриса, одно- и двусные кристаллы). Способы определения показателей преломления - иммерсионный метод. Поляризационный микроскоп. Цвет кристаллов. Оптическая активность кристаллов - вращение плоскости поляризации. Электрические свойства кристаллов (электропроводность, пиро- и пьезоэффект). Магнитные свойства.

Тема 9. Методы исследования внутреннего строения кристаллов

Общие сведения.

Дифракционные методы исследования вещества.

Рентгеновские методы. Получение и характеристика рентгеновских лучей. Дифракция рентгеновских лучей на кристаллах (опыт Лауэ, уравнение Брегга-Вульфа). Способы получения дифракционных картин. Метод вращения – качания. Порошковая рентгенография минерального сырья - рентгенофазовый анализ. Метод Дебая-Шерера-Халла.

Электроннография. Нейтронография.

Спектроскопические методы: оптическая спектроскопия, инфракрасная и рамановская спектроскопия, рентгеноспектральные методы, рентгеновский микроанализатор, электронный парамагнитный резонанс, ядерный магнитный резонанс, ядерный гамма-резонанс – эффект Мессбауэра.

Лабораторные занятия

Работа с реальными кристаллами: подтверждение закона постоянства углов между гранями кристаллов одного и того же вещества, иллюстрация изменения формы и видимой симметрии кристаллов в зависимости от симметрии среды, в которой они образовались - ложные формы, ложная симметрия (принцип Кюри). Знакомство с наиболее распространенными двойниками кристаллов минералов.

Работа с моделями кристаллов минералов. Определение симметрии кристаллических многогранников - класса симметрии, категории, сингонии. Проектирование кристаллов - построение стереограмм (стереографических проекций классов симметрии и гномостереографических проекций граней кристаллов). Выбор кристаллографических координатных осей и единичной грани в кристаллах разных сингоний. Приемы определения символов граней кристаллов на моделях с единичной гранью. Индицирование (на моделях) кристаллов различных сингоний методом развития зон (поясов). Определение простых форм и их характеристика. Определение названия класса симметрии по общей простой форме.

Решение графических и расчетных задач (без моделей). Построение стереограммы кристаллов по гониометрическим данным приближенное и с помощью сетки Вульфа, определение их симметрии и внешнего вида. Размножение грани, заданной сферическими координатами в конкретном классе симметрии, и характеристика полученной простой формы (число граней, частная или общая, открытая или закрытая, название и индексы граней). Задачи на применение теорем взаимодействия элементов симметрии. Определение символов граней и ребер кристаллов различными (графическими и расчетными) способами. Решение вопроса о возможности проявления тех или иных физических свойств в зависимости от симметрии кристалла.

Описание симметрии кристаллических структур по их пространственным моделям (шариковым и полиэдрическим) и по простейшим проекциям, выбор элементарной ячейки (ячейки Браве), подсчет ее материального содержания (числа формульных единиц), определение типа решетки Браве, определение координационных чисел и многогранников, геометрического характера структуры, описание структуры кристалла в терминах плотнейших упаковок.

Определение типа и формулы кремнекислородного мотива в структурах силикатов. Кристаллохимические (развернутые) формулы силикатов. Установление связи между структурой и некоторыми свойствами кристаллов (твердость, спайность и др.).

Рекомендуемый набор кристаллических структур

Cu (Au, Ag, Pt), Mg, α -, β -, γ -Fe, C (α -, β -графит), BN (борнитрид), C (алмаз, лонсдейлит), модификации ZnS (сфалерит, вюрцит), CsCl, NaCl (галит) = MgO (периклаз) = PbS (галенит), NiAs (никелин) = FeS (пирротин), CaF₂ (флюорит) = Li₂O, модификации TiO₂ (рутил, брукит, анатаз), модификация CaCO₃ (кальцит), FeS₂ (пирит), MoS₂ (молибденит), CO₂, модификации CdI₂ = Mg(OH)₂ (брусит), Cu₂O (куприт), CaTiO₃ (перовскит).

Силикаты: (Mg,Fe)₂[SiO₄] (оливин), Ca₃Al₂[SiO₄] (гранат), Zr[SiO₄] (циркон), Al₂[SiO₄](F,OH)₂ (топаз), Zn₄[SiO₄](OH)₂·2H₂O (каламин = гемиморфит), BaTi[Si₃O₉] (бенитоит), Be₃Al₂[Si₆O₁₈] (берилл), Cu₆[Si₆O₁₈]·6H₂O (диоптаз), MgCa[Si₂O₆] (диопсид, Ca₃[Si₃O₉] (волластонит), Ca₂Mg₅[Si₄O₁₁]₂(OH)₂ (тремолит), Al₂[Si₂O₅](OH)₄ (каолинит), Mg₃[Si₂O₅](OH)₄ (серпентин), Al₂[Si₄O₁₀](OH)₂ (пирофиллит), Mg₃[Si₄O₁₀](OH)₂ (тальк), KAl₂[Si₃AlO₁₀](OH)₂ (мусковит), K(Mg,Fe)₃[Si₃AlO₁₀](OH)₂ (биотит), CaAl₂[Si₂Al₂O₁₀](OH)₂ (маргарит), модификации SiO₂ (α -, β -кварц, тридимит, кристобалит), K[Si₃AlO₈] (ортоклаз).

Самостоятельная работа студентов (Домашняя работа)

Решение графических и расчетных задач и внеаудиторная работа с моделями кристаллических многогранников в соответствии с тематикой аудиторных занятий.

Внеаудиторная работа с моделями кристаллических структур. Представление главных особенностей структуры по литературным данным (словесному описанию, проекциям).

Формы и сроки контроля

Контроль усвоения пройденного материала осуществляется на нескольких уровнях:

Текущий контроль - непосредственный контакт преподавателя с каждым студентом во время лабораторных и индивидуальных занятий, проверка, анализ и обсуждение домашних заданий и в зависимости от результатов соответствующие коррективы в проведение дальнейших занятий.

Контрольные работы по завершённым темам:

№1 - письменная контрольная работа по теме “Симметрия” - описание симметрии кристаллических многогранников, решение графических и расчетных задач.

№2 - письменная контрольная работа по теме “Морфология кристаллов и индентификация их граней” - полное описание моделей кристаллических многогранников.

№3 - письменная контрольная работа по теме “Основы кристаллохимии” - описание моделей кристаллических структур минералов и решение простейших кристаллохимических задач.

Экзамен - для студентов специальностей 011100 и 011400.

Зачет - для студентов специальности 011500.

Литература

Основная

1. Егоров - Тисменко Ю. К., изд-во Книжный дом «Университет», 2005, с.520
2. Егоров - Тисменко Ю. К., Литвинская Г. П., Загальская Ю. Г. Кристаллография, М., изд-во МГУ, 1992, с. 288
3. Загальская Ю. Г., Литвинская Г. П., Егоров - Тисменко Ю. К. Геометрическая кристаллография, 2-е изд., М., изд-во МГУ, 1986, с. 166
4. Загальская Ю. Г., Литвинская Г. П., Егоров - Тисменко Ю. К. Руководство к практическим занятиям по кристаллохимии, М. изд-во МГУ, 1983, с. 167
5. Попов Г. М., Шафрановский И. И. Кристаллография, 5-е изд., М., изд-во Высшая школа, 1972, с. 352

Дополнительная

1. Банн Ч. Кристаллы. Их роль в природе и науке. М., изд-во Мир, 1970, с. 311
2. Белов Н. В. Структура ионных кристаллов и металлических фаз. М., изд-во АН СССР, 1947, с. 236
3. Егоров – Тисменко Ю. К., Литвинская Г. П., Теория симметрии кристаллов, М. изд-во ГЕОС, 2000, 394 с.
4. Ковба Л. М., Трунов В. К., Рентгенофазовый анализ. Б., изд-во МГУ, 1976, 231 с.
3. Шаскольская М. П. Кристаллография. М., изд-во Высшая школа, 1984, с.375
4. Шафрановский И. И. Симметрия в природе. Л., изд-во Недра, 1985, с.166