

## Лекция 3

### ОСНОВЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

План лекции:

Предмет кристаллографии, ее методы.

Симметрия кристаллов.

Понятие о сингониях и простых формах кристаллов.

#### 1. Предмет кристаллографии

**Кристаллография** - (от кристаллы и греч. grapho — пишу, описываю), это наука об атомно-молекулярном строении, симметрии, физических свойствах, образовании и росте кристаллов, а также их связи с окружающей средой.

Кристаллография зародилась в древности в связи с наблюдениями над природными кристаллами, имеющими естественную форму правильных многогранников. Как самостоятельная наука существует с середины XVIII в.

В зависимости от расположения элементарных частиц в твердых веществах различают следующие их состояния:

**Аморфность** (по греч. «аморфоз» – бесформенный) состояние твердого вещества с беспорядочным расположением частиц в пространстве (молекул, атомов, ионов). Аморфные вещества можно рассматривать как переохлажденные жидкости с сильно пониженной подвижностью материальных частиц, их составляющих.

**Кристалличность** - состояние твердого вещества с закономерно расположенными частицами по геометрическим законам.

Все кристаллические вещества обладают рядом свойств, являющихся следствием их закономерного внутреннего строения:

Однородность выражается в том, что любые сколь угодно малые частицы одного и того же кристаллического вещества обладают одинаковыми свойствами (по параллельным направлениям).

**Анизотропностью** («анисос» – неровный, «тропос» – направление) называется различие свойств (неравносвойственность) кристаллов в разных направлениях (в отличие от аморфных тел, которые всегда изотропны).

Способность **самоограняться** - это свойство вещества принимать в условиях свободного роста форму правильных многогранников — кристаллов.

Минимальная внутренняя энергия. Вследствие своей максимальной упорядоченности кристаллическое состояние вещества характеризуется минимальной внутренней энергией и является термодинамически равновесным состоянием при данных параметрах - давлении, температуре, составе и др.

**Статичность** – сохранение строгой структуры кристаллической формы при определенных условиях.

Кристаллография является наукой, всесторонне изучающей кристаллическое вещество, т.е. предметом кристаллографии являются кристаллы.

**Кристаллами** (от греч. «кристаллос» — лед) называют твердые тела, имеющие естественную форму многогранника. Прежде всего, на кристалле можно увидеть совершенно плоские поверхности, которые как зеркала отражают свет, отсвечивают

голубыми, зелеными, желтыми и красными огнями. Эти поверхности называются гранями кристаллов. Линии, по которым грани пересекаются друг с другом, являются ребрами, а точки пересечения нескольких ребер - вершинами кристаллов. Кристаллы – основная форма существования твердых тел до 95 % всех твердых тел литосферы составляют кристаллы.

Все кристаллические вещества в отличие от аморфных обладают закономерным внутренним строением, выражающимся в наличии у них кристаллических решеток — однородных бесконечных векториальных построений, в которых материальные точки (атомы, молекулы, ионы и их группы) занимают строго определенные, геометрически закономерные места в пространстве. Места расположения материальных точек называют узлами кристаллической решетки. Совокупность узлов, лежащих на одной прямой и периодически повторяющихся через равные промежутки, формирует ряд, а совокупность рядов, расположенных в одной плоскости, — плоскую сетку кристаллической решетки.

Кристаллические решетки очень многообразны по своей структуре, которая зависит от слагающих их материальных частиц, их размеров, характера связей друг с другом, ближайшего окружения.

Разделы современной кристаллографии:

- геометрическая кристаллография - совокупность методов описания кристаллов и закономерности их огранения.
- структурная кристаллография занимается исследованиями дифракции рентгеновских лучей в кристаллах.
- физическая кристаллография изучает зависимость между физическими свойствами кристаллов (спайность, пластическая деформация, излом, твердость, хрупкость, электрические свойства и т.д.) и их внутренним строением.
- генетическая кристаллография изучает образование кристаллов, механизмы их зарождения и роста.
- кристаллохимия изучает законы взаимного расположения атомов в кристаллах и химические связи между ними, а также явления изоморфизма и полиморфизма.
- кристаллофизика исследует механические, оптические, электрические и магнитные свойства кристаллов, что смыкает ее с физикой твёрдого тела.

Результаты кристаллографических исследований широко используются в физике, минералогии, химии, мол. биологии и др.).

## 2. Симметрия кристаллов

**Симметрия** (от греч. «соразмерность») - закономерная повторяемость одинаковых частей. Она чрезвычайно широко распространена в природе, но нигде она не проявляется так ярко, как в мире кристаллов. Симметрия в них отражается во внешней правильной форме многогранников.

Имея в руках кристалл, нельзя не обратить внимание на то, что он содержит по несколько равных между собой граней. Поэтому при повороте кристалла вокруг некоторых воображаемых осей на определенный угол, многогранник будет совмещаться с самим собой.

По отношению к кристаллам **симметрия** — это закономерная повторяемость в пространстве одинаковых граней, ребер и углов фигуры, которая может совмещаться сама с собой в результате одного или нескольких отражений. Для описания симметрии пользуются воображаемыми образами — точками, прямыми, плоскостями, называемыми элементами симметрии.

**Ось симметрии (L)** — прямая линия, при вращении вокруг которой повторяются равные части фигуры, то есть она самосовмещается. Число совмещений при повороте на  $360^\circ$  определяет порядок оси симметрии (n). В кристаллографии известны оси 2, 3, 4 и 6го порядков. Например, если кубик вращать вокруг линии, проходящей через центры противоположных граней, то при повороте на  $360^\circ$  произойдет 4 таких совмещения. Эта линия является осью симметрии кристалла четвертого порядка. Через каждые две противоположные вершины куба проходят оси третьего порядка, так как фигура при повороте вокруг них на  $360^\circ$  совмещается сама с собой 3 раза. Через середины противоположных ребер куба проходят оси симметрии второго порядка.

В реальных кристаллах имеются оси симметрии первого L1, второго L2, третьего L3, четвертого L4 и шестого L6 порядков - это основной закон кристаллографии. Осей пятого и выше шестого порядков в кристаллах не бывает.

**Центр симметрии (C)** — точка внутри кристалла, в которой пересекаются и делятся пополам все линии, соединяющие соответственные точки на его поверхности. Для куба центром симметрии будет точка, лежащая на пересечении его диагоналей. Всякий кристалл, у которого для каждой грани есть равная и параллельная грань, обладает центром симметрии. В кристалле может быть только один центр симметрии, а в низкосимметричных фигурах он отсутствует вовсе.

**Плоскость симметрии (P)** — это воображаемая плоскость, которая делит фигуру на две симметрично равные части, расположенные друг относительно друга как предмет и его зеркальное отражение

**Оси, плоскости и центр симметрии** обнаруживаются в кристаллах в различных сочетаниях. Набор всех элементов симметрии, присущих тому или иному многограннику, определяет вид симметрии. Все многообразие сочетаний элементов симметрии в кристаллах определяется 32 видами симметрии. Формула вида симметрии состоит из последовательно записанных всех элементов симметрии взятого кристалла от высшего порядка к низшему: оси, плоскости, центр. Перед каждым элементом симметрии указывается их количество. Так формула куба  $3L4; 4L3; 6L2; 9PC$  означает, что куб имеет 3 оси четвертого порядка, 4 оси третьего порядка, 6 осей второго порядка, 9 плоскостей и центр симметрии.

### 3. Понятие о сингонии

**Сингонией** кристалла называется совокупность видов симметрии, связанных общим признаком. Выделено семь сингоний, объединенных в три категории:

Сингонии низшей категории характеризуются отсутствием осей высшего порядка): триклинная, моноклинная, ромбическая. В кристаллах триклинной сингонии элементы симметрии отсутствуют, либо имеется только центр. В кристаллах моноклинной сингонии количество осей второго порядка или плоскостей не должно быть больше одной. В ромбической сингонии может быть несколько плоскостей или осей второго порядка.

Сингонии средней категории характеризуются наличием одной оси симметрии высшего порядка: тригональная, тетрагональная, гексагональная. Для тригональной сингонии обязательна 1 ось третьего порядка, для тетрагональной - 1 ось четвертого порядка, для гексагональной - 1 ось шестого порядка и.

Сингония высшей категории характеризуется наличием осей симметрии высшего порядка: кубическая, для нее характерно на - 4 оси третьего порядка

Вывод 32 видов симметрии явился надежной основой для создания учения о внешней форме кристаллов. Основным понятием этого учения является простая форма кристаллов. 32 видам симметрии соответствуют 47 простых форм.

Простой формой называется многогранник, который может быть получен из одной грани, размноженной с помощью элементов симметрии. Для понимания названий простых форм полезно знать греческие наименования простых чисел и нескольких слов: моно - один, ди - 2, три - 3, тетра - 4, пента - 5, гекса - 6, окта - 8, дека - 10, додека - 12; эдра - грань, гон - угол, пинакс - пластина, скалена - косой, морфо - форма.

Кристаллы тригональной, тетрагональной и гексагональной сингонии имеют соответственно одну из осей L3, L4, L6. Поперечные сечения таких кристаллов будут представлять собой правильный треугольник - тригон, квадрат - тетрагон или правильный шестиугольник - гексагон. Часто стороны этих фигур как бы удвоены. В результате сечения кристаллов получают названия дитригон, дитетрагон или дигексагон. Слово «ромбический» в названиях простых форм означает, что поперечные сечения фигур представляют собой ромбы.

Для сингоний низшей категории, где нет осей выше второго порядка, возможны **только 7 простых форм:**

**Моноэдр** – простая форма из одной грани;

**Диэдр** - две равных пересекающиеся грани;

**Пинакоид** – две параллельные грани;

**Ромбическая призма** - фигура из 4 пересекающихся граней, каждая из которых параллельна противоположной;

**Ромбический тетраэдр** - фигура из 4 пересекающихся граней, каждая из которых имеет вид неправильного треугольника;

**Ромбическая пирамида** - фигура из 4 треугольных граней, пересекающихся в одной вершине;

**Ромбическая дипирамида** - фигура из 8 пересекающихся граней, напоминающая 2 пирамиды, приставленные друг к другу основаниями.

В тригональной, тетрагональной и гексагональной сингониях простые формы представлены призмами, пирамидами, дипирамидами, трапецоэдрами, тетраэдром, ромбоэдром и скаленоэдрами.

**Призмы** представляют собой фигуры из прямоугольных пересекающихся граней, ребра которых параллельны друг другу и оси высокого порядка.

**Пирамиды** - многогранники из треугольных пересекающихся граней, ребра которых сходятся в одной вершине.

**Дипирамиды** представляют собой простые формы как бы состоящие из двух пирамид, сложенных друг с другом основаниями.

**Трапецоэдры** отличаются от дипирамид тем, что нижняя пирамида находится не точно под верхней, а смещена на неопределенный угол. Грани продолжены до взаимного пересечения и имеют форму четырехугольников с неравными сторонами.

**Тригональный ромбоэдр** - фигура из 6 пересекающихся граней, в первом приближении представляющая собой куб, вытянутый или сплюснутый вдоль одной из диагоналей. Грани имеют форму ромбов. Каждая верхняя грань расположена между двумя нижними.

**Тригональный скаленоэдр** представляет собой ромбоэдр с удвоенными гранями.

**Тетрагональный тетраэдр** - фигура из 4 пересекающихся граней, имеющих форму равнобедренных треугольников.

**Тетрагональный скаленоэдр** представляет собой тетраэдр с удвоенными гранями.

В кубической сингонии имеется еще 15 простых форм. Ранее перечисленные здесь отсутствуют:

**Куб или гексаэдр** - фигура образованная 6 пересекающимися взаимно перпендикулярными квадратными гранями.

**Тетрагексаэдр** представляет собой куб, на каждой грани которого расположена низкая пирамида. В результате каждая грань куба оказалась поделенной на 4 треугольных грани.

**Кубический тетраэдр** - фигура из 4 пересекающихся тригонов.

**Тригонритетраэдр** - тетраэдр, каждая грань которого разделена на 3 треугольные грани.

**Тетрагонритетраэдр** - тетраэдр, каждая грань которого разделена на 3 четырехугольные грани.

**Пентагонритетраэдр** - тетраэдр, каждая грань которого поделена на 3 пятиугольника.

**Октаэдр** - фигура, напоминающая своей формой тетрагональную дипирамиду, но грани представлены равносторонними треугольниками. Так же, как и в случае с тетраэдром, грани октаэдра могут быть разбиты на 3 или 6 более мелких граней. В результате возникают простые формы, в названиях которых перед словом октаэдр сначала указывается форма мелких граней, а затем их количество на каждой грани октаэдра.

Соответственно получим тригонтриоктаэдр, тетрагонтриоктаэдр, пентагонтриоктаэдр и гексагонтриоктаэдр.

**Ромбододекаэдр** - двенадцатигранник с гранями в виде ромбов.

**Пентагондододекаэдр** - двенадцатигранник с гранями в форме пятиугольников.

**Дидододекаэдр** - двадцатичетырехгранник, образованный путем деления каждой грани пентагондододекаэдра на 2 более мелкие четырехугольные грани.

Все простые формы принято разделять на **открытые** и **закрытые**. **Открытые** простые формы не ограничивают пространства, они незамкнутые. К ним относятся моноэдры, диэдры, пинакоиды, призмы и пирамиды. **Закрытые** простые формы ограничивают пространство, они замкнутые. К ним относятся дипирамиды, тетраэдры, трапецоэдры, скаленоэдры и другие.

Если в кристалле все грани имеют одинаковую форму и размеры, то кристаллический многогранник представляет собой одну простую форму.

Нередко в кристалле наблюдается несколько разновидностей граней. В этих случаях многогранники представляют собой комбинации из ряда простых форм. Грани каждого вида в комбинации не связаны элементами симметрии и, следовательно, могут быть различными по очертаниям и размерам.

Для выявления простых форм в комбинации следует найти число сортов граней или число простых форм. Грани каждого вида необходимо мысленно продолжить до взаимного пересечения и дать названия полученной простой формы в их комбинации..

Ассоциированный профессор  
кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.

Маусымбаева Алия Думановна

Образовательная программа 7М07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»

- 2 Геологическое строение Казахстана / Бекжанов Г.Р., Кошкин В.Я., Никитченко И.И. и др. - Алматы: Академия минеральных ресурсов Республики Казахстан, 2005.
- 3 Полезные ископаемые Казахстана: Объяснительная записка к Карте полезных ископаемых Казахстана масштаба 1:1 000 000 / Никитченко И.И. – Кокшетау, 2006.
- 4 Геология и минералогия Казахстана. Алматы: «Казгео», 2008.
- 5 Геонауки в Казахстане. Алматы: «Казгео», 2008.
- 6 Бекжанов Г.Р., Фишман И.Л. Прогнозные ресурсы и управление недропользованием в Казахстане. Алматы, 2012.
- 7 Бакенов М.М. Основы рудно-формационного анализа. Алматы, 2011.
- 8 Бакенов М.М., Отарбаев К. Геология полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2012.
- 9 Бакенов М.М. Нетрадиционные и новые виды полезных ископаемых Казахстана, Алматы, 2008.
- 10 Рельеф Казахстана (пояснительная записка к Геоморфологической карте Казахстана масштаба 1: 1 500 000). В 2 – х частях. – Алма – Ата: Гылым, 2011.
- 11 Бакенов М.М. Нерудные полезные ископаемые Казахстана, Алматы, 2009.
- 12 Бакенов М.М. Месторождения золота Казахстана, Алматы, 2008.
- 13 Сырьевая база алюминиевой промышленности Казахстана. Алматы: Академия минеральных ресурсов РК, 2006.
- 14 Сырьевая база черной металлургии Казахстана (железо, марганец, хром). Караганда

Ассоциированный профессор кафедры ГРМПИ: доктор PhD, к.т.н.

**Маусымбаева Алия Думановна**

Образовательная программа 7M07202 «Геология и разведка месторождений полезных ископаемых»