

Федеральное агентство по образованию
Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования
Ухтинский государственный технический университет

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине «Минералогия»
для студентов специальностей 130304, 130306

Издание 2-е, переработанное и дополненное

Ухта 2009

УДК 548.0 (075)

П 40

Плякин, А.М.

Кристаллография : метод. указания. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – Ухта : УГТУ, 2009. – 15 с.: ил.

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам специальностей 130304 и 130306 при выполнении лабораторных работ по разделу «Кристаллография» дисциплины «Минералогия».

В методических указаниях приводятся основные понятия об элементах симметрии кристаллических минералов, видах симметрии и сингониях, а также о простых формах для всех сингоний и видов симметрии. Содержание указаний соответствует ГОСу и рабочей учебной программе.

Методические указания рассмотрены и одобрены кафедрой минералогии и геохимии, геологии УГТУ 17 сентября 2008 г., протокол №1.

Рецензент – канд. геол.-мин. наук, доц. Л.П. Бакулина.

Редактор – доктор геол.-мин. наук, проф. О.С. Кочетков.

В методических указаниях учтены предложения рецензента и редактора.

План 2009 г., позиция 290. Компьютерный набор

Подписано в печать 26.02.2009 г. Компьютерный набор.

Объем 15 с. Тираж 50 экз. Заказ № 228.

©Ухтинский государственный технический университет, 2009

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Первомайская. 13.

Отдел оперативной полиграфии УГТУ.

169300, Республика Коми, г. Ухта, ул. Октябрьская, 13.

ВВЕДЕНИЕ

Целевым назначением настоящих «Методических указаний» является практическая помощь студентам специальностей 130304 и 130306 в самостоятельном изучении законов симметрии кристаллов и их форм, определении кристаллографических формул, видов симметрии и сингоний кристаллов, определении простых форм кристаллов разных минералов.

Большинство минералов в земной коре находится в твёрдом состоянии. При этом минералы в зависимости от внутреннего строения могут быть кристаллическими или аморфными. Аморфные минералы имеют одинаковые физические свойства по всем направлениям. Расположение в них атомов, молекул и ионов не является строго определённым и периодически повторяемым.

У кристаллических минералов физические свойства в разных направлениях различны, но в параллельных – одинаковы, в результате свободного роста кристаллов образуются геометрические тела, ограниченные в пространстве различными по размерам и форме гранями и соединяющими их рёбрами. Во внутреннем строении кристаллов отмечается закономерное, в отличие от аморфных минералов, размещение атомов, молекул и ионов, вследствие чего они образуют разные типы кристаллических структур.

Лабораторные работы выполняются с целью освоения методики определения элементов симметрии кристаллов, составления по ним кристаллографической формулы минерала, определения вида симметрии и сингонии. В «Методических указаниях» приведены материалы по простым формам кристаллов (фигур) и их приуроченности к разным категориям, сингониям и видам симметрии.

К «Методическим указаниям» прилагается таблица существующих видов симметрии, чтобы облегчить студентам работу с кристаллами на рабочем месте, а также приводятся зарисовки главных простых форм кристаллов всех сингоний и видов симметрии.

1 Понятие о симметрии и основных элементах симметрии

Геометрическая симметрия – это закономерная повторяемость равных фигур или равных частей одной и той же фигуры.

По Е.С. Фёдорову, «*симметрия есть свойство геометрических фигур в различных положениях приходить в совмещение с первоначальным положением*». Другими словами, это закономерная повторяемость одинаковых граней, рёбер и углов. При этом повторяемость характеризуется целым числом раз.

Основываясь на этом, можно сказать, что две фигуры равны, если расстояние между двумя любыми точками одной фигуры равно расстоянию между двумя соответственными (аналогичными) точками другой фигуры.

Равными будут и такие фигуры, которые при наложении одной на другую совпадают всеми своими точками. Такие фигуры называются совместиморавными.

Кроме того, равными являются и такие фигуры, которые относятся друг к другу как предмет и его зеркальное отражение – это зеркально-равные фигуры.

Выяснение особенностей строения кристаллов и закономерностей повторяемости осуществляется с помощью специальных методов или операций, при которых пользуются вспомогательными геометрическими образами: точками, прямыми и плоскостями, с помощью которых симметрия фигур может быть охарактеризована математически. Эти вспомогательные геометрические образы называются *элементами симметрии*.

Непосредственное изучение кристаллов осуществляется следующим образом:

- 1) отражением части кристалла через его центр;
- 2) отражением равных частей кристалла через воображаемую плоскость;
- 3) совмещением равных частей кристалла через вращение вокруг воображаемой оси;
- 4) отражением части кристалла через его центр с последующим поворотом вокруг воображаемой оси этой части на определённый угол.

В соответствии с названными операциями изучения кристаллов существуют следующие элементы симметрии кристаллов:

- 1 – *центр симметрии*,
- 2 – *плоскость симметрии*,
- 3 – *ось симметрии*,
- 4 – *инверсионная ось симметрии*.

Центр симметрии обозначается индексом **C** и представляет собой особую точку внутри фигуры. Любая проведенная через эту точку прямая по обе стороны от неё на равных расстояниях встретит соответственные (аналогичные) точки фигуры. Если по одну сторону от центра располагается вершина фигуры, то и по другую сторону на таком же расстоянии будет находиться аналогичная вершина фигуры; если по одну сторону от центра располагается центр грани, то и по другую сторону на таком же расстоянии должен располагаться центр аналогичной грани.

В кристалле, имеющем центр симметрии **C**, каждой грани отвечает другая грань, равная и параллельная первой. Следовательно, обязательным условием наличия центра симметрии в кристалле является присутствие в нём попарно параллельных граней. Если в кристалле имеется хотя бы одна грань, не имеющая себе равной и параллельной, то в таком случае кристалл центра симметрии не имеет.

Плоскость симметрии обозначается индексом **P** и представляет собой плоскость, разделяющую кристалл (фигуру) на две зеркально-равные части, расположенные одна относительно другой как предмет и его зеркальное отражение.

В кристалле плоскости симметрии могут отсутствовать или присутствовать в количестве от одной до 9, в зависимости от особенностей строения кристалла, то есть, в зависимости от принадлежности его к тому или иному виду симметрии и сингонии.

Плоскости симметрии в кристалле (фигуре) могут проходить через рёбра (вдоль или поперёк через середину ребра), через вершины кристалла или через середину граней (перпендикулярно граням). Относительно занимающего стабильную позицию кристалла плоскости проходят в трёх направлениях: вертикально, горизонтально или наклонно.

Плоскости симметрии присутствуют в кристаллах планального, планаксиального, инверсионно-планального видов симметрии, а также частично – центрального вида симметрии.

Ось симметрии обозначается индексом **L** и представляет собой прямую линию, при вращении вокруг которой несколько раз повторяются равные части симметричной фигуры (кристалла).

В кристаллах с осью (осями) симметрии его части расположены таким образом, что путём поворота вокруг воображаемой оси на определённый угол фигура (кристалл) занимает то же положение, которое она занимала и до поворота, но вместо одних его частей такое положение занимают уже другие анало-

гичные части. При этом не только какие-то части, а вся фигура (кристалл) совмещается сама с собой. Число самосовмещений фигуры при повороте на 360^0 называется *порядком этой оси симметрии*. В кристаллографии существуют оси симметрии второго, третьего, четвёртого и шестого порядков. Порядок оси симметрии обозначается арабской цифрой, которая пишется справа внизу, около индекса оси симметрии: L_2 , L_3 , L_4 , L_6 . Осей пятого порядка и порядков выше шестого в кристаллографии не существует. Это объясняется решетчатой структурой кристаллов.

Оси симметрии в кристалле (фигуре) проходят через центры граней, центры (середины) рёбер кристаллов или их вершины. *Оси второго порядка L_2* легко обнаружить, поскольку они проходят в кристалле там, где сходятся две одинаковые грани (ребро или вершина) или через центр прямоугольной грани.

Оси третьего порядка L_3 проходят через вершину, в которой сходятся три одинаковые грани или через центр треугольной грани (равносторонний треугольник).

Оси четвёртого порядка L_4 проходят через вершину, в которой сходятся четыре одинаковые грани или через центр квадратной грани.

Оси шестого порядка L_6 проходят через вершину, в которой сходятся шесть одинаковых граней или через центр шестиугольной грани (правильный шестиугольник).

Оси симметрии отсутствуют только в триклинной сингонии и планальном виде симметрии моноклинной сингонии, то есть только три формулы из 32 существующих не имеют осей симметрии. В кристаллах могут быть единичные или множественные оси симметрии. Наибольшее количество осей симметрии характерно для кристаллов кубической сингонии, здесь количество осей симметрии составляет от 7 до 13, причём эти оси симметрии принадлежат разным порядкам: второму и третьему, или второму, третьему и четвёртому.

Инверсионная ось симметрии (инверсионноповоротная) обозначается индексом L_i и представляет собой прямую, при повороте вокруг которой на 360^0 с соответствующим переносом-отражением (инверсией) части фигуры через центр кристалла происходит его повторение-совмещение целое число раз. В кристаллах существуют инверсионные оси четвёртого и шестого порядков (L_{i4} , L_{i6}). Эти оси соответствуют: оси четвёртого порядка – осям симметрии второго порядка, а инверсионные оси симметрии шестого порядка – осям симметрии третьего порядка.

Для определения инверсионной оси фигура поворачивается вокруг оси на 60 или 90^0 , и все элементы её (рёбра, вершины, грани) проецируются через

центр на противоположную сторону, то есть на 180° в вертикальной плоскости. Если при этом все элементы нижней части фигуры отразятся через центр в её верхней части, в фигуре присутствует инверсионная (инверсионноповоротная) ось симметрии. Порядок инверсионной оси симметрии определяется так же, как и порядок обычной оси симметрии, но он суммируется из количества обычных и отражённых совмещений.

2 Виды симметрии и сингонии

Все формы природных кристаллов объединяются в 32 вида симметрии, которые можно вывести математически. В зависимости от наличия тех или иных элементов симметрии или их сочетания выделяются следующие виды симметрии:

































- 1) **Примитивный** – характеризуется отсутствием элементов симметрии или минимальным количеством осей симметрии.
- 2) **Центральный** – характеризуется обязательным присутствием центра симметрии и нескольких других элементов симметрии.
- 3) **Аксиальный** – характеризуется присутствием только осей симметрии разных порядков.
- 4) **Планальный** – характеризуется обязательным присутствием плоскостей симметрии, в основном, в множественном количестве, и отсутствием центра симметрии.
- 5) **Планаксиальный** – характеризуется присутствием всех элементов симметрии (оси, плоскости, центр) с максимальным количеством плоскостей и осей симметрии.
- 6) **Инверсионно-примитивный** – характеризуется присутствием инверсионно-поворотных осей симметрии в единичном количестве и отсутствием других элементов симметрии.
- 7) **Инверсионно-планальный** – характеризуется присутствием наряду с инверсионно-поворотными осями симметрии обычных осей симметрии второго порядка и плоскостей симметрии.

Все перечисленные семь видов симметрии распространены во всех семи сингониях кристаллов: *триклинной, моноклинной, ромбической, тригональной, тетрагональной, гексагональной и кубической*, которые объединяются в три *категории*.

ТАБЛИЦА №1 ВИДОВ СИММЕТРИИ И ФОРМУЛ СИММЕТРИИ

Категория	Сингония	Степень, вид и формула симметрии						
		Примитивная	Центральная	Аксиальная	Планальная	Плاناксиальная	Инверсионно-поворотная	Инверсионно-планальная
Низшая	Триклинная	¹	² C					
	Моноклини- ная			³ L ₂	⁴ P	⁵ L ₂ C		
	Ромбическая			⁶ 3L ₂	⁷ L ₂ P	⁸ 3L ₂ 3PC		
Средняя	Тригональная	⁹ L ₃	¹⁰ L ₃ C	¹¹ L ₃ 3L ₂	¹² L ₃ 3P	¹³ L ₃ 3L ₂ 3PC L ₃ 3L ₂ 4PC	¹⁴ Li ₄ (=L ₂)	¹⁵ Li ₄ 2L ₂ P
	Тетрагональная	¹⁶ L ₄	¹⁷ L ₄ PC	¹⁸ L ₄ 4L ₂	¹⁹ L ₄ 4P	²⁰ L ₄ 4L ₂ 5PC		
	Гексагональная	²¹ L ₆	²² L ₆ PC	²³ L ₆ 6L ₂	²⁴ L ₆ 6P	²⁵ L ₆ 6L ₂ 7PC	²⁶ Li ₆ (L ₃ P)	²⁷ Li ₆ 3L ₂ 3P (L ₃ 3L ₂ 4P)
Высшая	Кубическая	²⁸ 4L ₃ 3L ₂	²⁹ 4L ₃ 3L ₂ 3 PC	³⁰ 4L ₃ 3L ₄ 6L ₂	³¹ 4L ₃ 3L ₂ 6P	³² 3L ₄ 4L ₃ 6L ₂ 9PC		

СИНГО- НИЯ	Степень симметрии						
	примитив- ная	центральная	аксиальная	планальная	планаксиальная	Инверсионно- примитивная	Инверсионно- планальная
Триклин- ная	1 моноэдр	2 пинакоид					
Моно- клинная			3 диэдр осевой	4 диэдр безосный	5 призма		
Ромби- ческая			6 тетраэдр	7 пирамида	8 дипирамида		
Триго- нальная	9 пирамида	10 ромбоэдр	11 трапецоэдр	12 Дитетрагональная пирамида	13 Дитетрагональ- ная дипирамида	14 тетраэдр	15 скаленоэдр
Тетраго- нальная	16 пирамида	17 ромбоэдр	18 трапецоэдр	19 дитригональная пирамида	20 скаленоэдр		
Гексаго- нальная	21 пирамида	22 дипирамида	23 трапецоэдр	245 Дигексагональная пирамида	25 Дигексагональ- ная дипирамида	26 тригональная дипирамида	27 Дитригональ- ная дипирамида
Куби- ческая	28 Пентагон- три-тетраэдр	29 Дидодекаэдр	30 Пентагон-три- октаэдр	31 Гексатетраэдр	32 Гексаоктаэдр		

ГПС СИСТЕ- МА	СТУПЕНЬ СИММЕТРИЧНОСТИ						
	ПРИМИТИВНАЯ	ЦЕНТРАЛЬНАЯ	АКСИАЛЬНАЯ	ПЛАНАЛЬНАЯ	ПЛАНАКСИАЛЬНАЯ	ИНВЕРСИОННО-ПРИМИТИВНАЯ	ИНВЕРСИОННО-ПЛАНАЛЬНАЯ
ТРИКЛИННАЯ	1  Моноэдр	2  Пинакоид					
МОНОКЛИННАЯ			3  Диэдр осевой	4  Диэдр безосный	5  Призма		
РОМБИЧЕСКАЯ			6  Тетраэдр	7  Пирамида	8  Дипирамида		
ТЕТРАГОНАЛЬНАЯ	9  Пирамида	10  Дипирамида	11  Трапецоэдр	12  Дитетрагональная пирамида	13  Дитетрагональная дипирамида	14  Тетраэдр	15  Скаленоэдр
ТРИГОНАЛЬНАЯ	16  Пирамида	17  Ромбоэдр	18  Трапецоэдр	19  Дитригональная пирамида	20  Скаленоэдр		
ГЕКСАГОНАЛЬНАЯ	21  Пирамида	22  Дипирамида	23  Трапецоэдр	24  Дигексагональная пирамида	25  Дигексагональная дипирамида	26  Тригональная дипирамида	27  Дитригональная дипирамида
КУБИЧЕСКАЯ	28  Пентагон тритетраэдр	29  Дидодекаэдр	30  Пентагон триоктаэдр	31  Гексатетраэдр	32  Гексоктаэдр		

Триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии образуют *низшую категорию*; тригональная, тетрагональная и гексагональная объединены в *среднюю категорию*; кубическая сингонию принадлежит *высшей категории*.

Каждая сингония объединяет несколько видов симметрии, обладающих одним или несколькими аналогичными элементами симметрии. Например, для триклинной сингонии характерно отсутствие элементов симметрии или присутствие только центра симметрии. В кристаллах моноклинной сингонии присутствуют единичные элементы симметрии. Для ромбической сингонии характерна множественность элементов симметрии с осями симметрии не выше второго порядка. Тригональная сингонии отличается обязательным присутствием осей симметрии третьего порядка. Кристаллы тетрагональной сингонии обязательно имеют оси симметрии четвёртого порядка, а гексагональной – шестого порядка. Кубическая сингония отличается множественностью осей симметрии второго, третьего и четвёртого порядков. Сочетание элементов симметрии в фигуре (кристалле), выраженное индексами, образуют формулу симметрии, которая отражает все 32 существующие вида симметрии. Характеристика всех этих видов симметрии сведена в табл. 1.

3. Простые формы

Изучение кристаллов, их элементов симметрии показывает, что совершенно разные по внешнему облику кристаллы могут иметь одинаковые формулы симметрии. Следовательно, одного определения элементов симметрии совершенно недостаточно, чтобы определить и охарактеризовать какой-то конкретный кристалл. Объясняется это тем, что каждый кристалл имеет характерную форму, представляющую собой сочетание разных по форме и размеру граней.

Простой формой называется сочетание одинаковых по размеру и форме граней, связанных друг с другом элементами симметрии. Каждый кристалл может представлять собой простую форму, если он состоит из одинаковых по форме и размеру граней. Он может быть также комбинацией простых форм, если образован разными по форме и размерам гранями. Следовательно, в кристалле столько простых форм, сколько типов граней он содержит. Для определения простой формы в кристалле надо взять любую грань, сосчитать количество таких граней в кристалле и уяснить их взаимоположение в кристалле.

В связи с особенностями строения кристаллов каждого вида симметрии для каждого из них характерны и возможны только определённые простые

формы, при этом каждая категория кристаллов обладает сходными простыми формами, хотя переход из одной категории в другую довольно «мягкий» – с сохранением некоторых сходных или аналогичных простых форм.

Низшую категорию характеризуют следующие простые формы: моноэдр, пинакоид, диэдр, тетраэдр, призма ромбическая, пирамида ромбическая, дипирамида ромбическая.

Моноэдр – одиночная, неповторяемая грань в кристалле.

Пинакоид – простая форма, образованная двумя равными параллельными гранями. Ориентировка и положение граней кроме параллельности не имеют значения.

Диэдр – простая форма, образованная двумя равными гранями, расположенными под углом друг к другу.

Тетраэдр – простая форма, образованная четырьмя одинаковыми по форме и размерам гранями. Каждая грань имеет форму равностороннего треугольника. Каждая пара сходящихся граней расположена по нормали к другой паре таких же граней.

Призма, пирамида и дипирамида ромбические имеют сечение в виде ромба.

Средняя категория часть простых форм наследует из низшей категории, к которым относятся: *моноэдр, пинакоид, тетраэдр* (в отличие от ромбического тетраэдра тетрагональный имеет форму грани в виде равнобедренного треугольника), *призма, пирамида и дипирамида*. Последние три простые формы в соответствии с типом сингонии имеют треугольную, квадратную или шестиугольную форму сечения. В средней категории они могут быть тригональными, дитригональными, тетрагональными, дитетрагональными, гексагональными и дигексагональными.

Здесь полностью исчезает такая простая форма, как диэдр. Из новых форм в средней категории появляются: ромбоэдр, трапецоэдр, скаленоэдр.

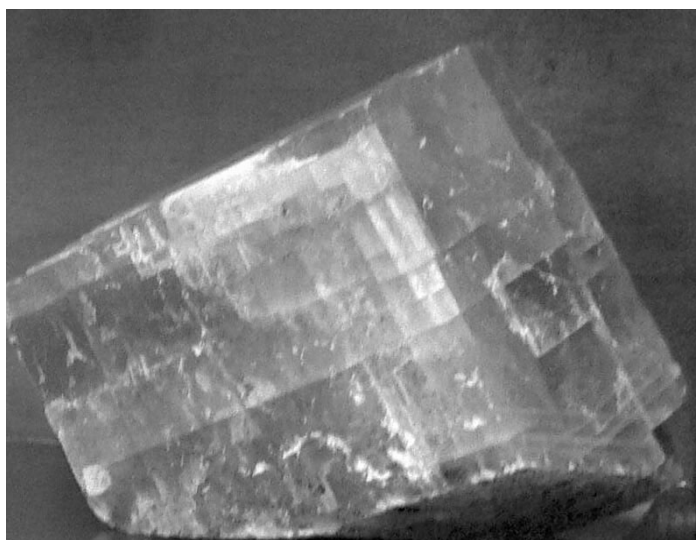
Ромбоэдр – простая форма, состоящая из 6 равных граней, три из которых располагаются не строго под (или над) другими тремя, а повернуты относительно друг друга на некоторый угол. Форма граней ромбоэдра – ромбическая.

Трапецоэдр устроен аналогично ромбоэдру, но форма грани у него представляет собой трапецию.



Гексаэдрические кристаллы
пирита. Сингония кубическая

Полупрозрачные кристаллы
кальцита. Система
пинакоидов. Сингония
тригональная



Кристаллы розово-
го микро-клина.
Система пинакои-
дов. Сингония
моноклинная

Скаленоэдр – простая форма, представляющая собой тетрагональный тетраэдр с раздвоенной гранью или тригональный ромбоэдр с раздвоенной гранью.

Высшая категория имеет только одну простую форму, сходную с формами низшей и средней категории – тетраэдр.

Все остальные простые формы кубической сингонии новые. К ним относятся: гексаэдр, октаэдр, додекаэдр и производные формы от них.

Гексаэдр представляет собой правильный шестигранник (куб) с квадратной формой грани.

Октаэдр – это простая форма в виде правильного восьмигранника.

Додекаэдр – правильный двенадцатигранник. В зависимости от формы грани могут быть следующие простые формы этого типа: *ромбододекаэдры* – форма грани у них – ромб; *пентагондодекаэдры* с формой грани в виде пятиугольника. Правильный двадцатичетырёхгранник называется *дидодекаэдром*.

При четырёх основных простых формах высшей категории (тетраэдр, гексаэдр, октаэдр и додекаэдр) существуют комбинированные простые формы. Название таких форм образуется из трёх слов, обозначающих: третье слово – базовую модель; второе слово – количество малых граней, составляющих грань базовой модели; первое слово – форму малой грани, составляющую вместе с другими подобными и равными гранями грань базовой модели.

Примеры:

1. Кристалл представляет собой тетраэдр, у которого каждая из четырёх граней состоит из трёх маленьких треугольных граней. Такая форма будет иметь название *тригон-три-тетраэдр*.

2. Кристалл представляет собой октаэдр, каждая из восьми граней которого составлена из трёх малых четырёхугольных граней. Такая форма имеет название *тетрагн-три-октаэдр*.

Для определения простой формы кристаллов кубической сингонии следует сориентировать кристалл таким образом, чтобы одинаковые группы граней можно было свести к одной из базовых простых форм (тетраэдр, октаэдр, додекаэдр). После этого легко определить название комбинированной формы.

Максимально возможное количество граней в естественных кристаллах составляет 48 граней. Такой кристалл (простая форма, так как все грани одинаковы по форме и размерам) называется гексооктаэдр.

Фотографии некоторых простых форм приведены в тексте.

Библиографический список

1. Куровец, М.И. Кристалло-морфологические свойства минералов и их определение [Текст] / М.И. Куровец. – Киев: УМК ВО, 1988.
2. Лазаренко, Е.К. Курс минералогии [Текст] / Е.К. Лазаренко. – Ч. 1. – М.: Просвещение, 1958.
3. Попов, Г.М. Кристаллография [Текст] / Г.М. Попов, И.И. Шафрановский. – М.: Высшая школа, 1972.
4. Шафрановский, И.И. Краткий курс кристаллографии [Текст] / И.И. Шафрановский, В.Ф. Алявдин. – М.: Высшая школа, 1984.