

А.В. Шубников

Как растут кристаллы

**Москва
«Книга по Требованию»**

УДК 82-053.2
ББК 74.27
А11

А11 **А.В. Шубников**
Как растут кристаллы / А.В. Шубников – М.: Книга по Требованию, 2021. – 178 с.

ISBN 978-5-458-35521-6

В последние годы наука и промышленность выдвинули огромное количество интереснейших и имеющих огромное практическое значение вопросов, связанных с применением искусственных и естественных кристаллов. Опорные камни всех родов из искусственных кристаллов рубина сотнями миллионов потребляются ежегодно для часовых механизмов, электрических счетчиков, буссолей и всевозможных точных приборов. Рубиновые матрицы употребляются для проталкивания графитовой массы в карандашном производстве и для волочения тончайших проволок...

ISBN 978-5-458-35521-6

© Издание на русском языке, оформление
«YOYO Media», 2021

© Издание на русском языке, оцифровка,
«Книга по Требованию», 2021

Эта книга является репринтом оригинала, который мы создали специально для Вас, используя запатентованные технологии производства репринтных книг и печати по требованию.

Сначала мы отсканировали каждую страницу оригинала этой редкой книги на профессиональном оборудовании. Затем с помощью специально разработанных программ мы произвели очистку изображения от пятен, клякс, перегибов и попытались отбелить и выровнять каждую страницу книги. К сожалению, некоторые страницы нельзя вернуть в изначальное состояние, и если их было трудно читать в оригинале, то даже при цифровой реставрации их невозможно улучшить.

Разумеется, автоматизированная программная обработка репринтных книг – не самое лучшее решение для восстановления текста в его первозданном виде, однако, наша цель – вернуть читателю точную копию книги, которой может быть несколько веков.

Поэтому мы предупреждаем о возможных погрешностях восстановленного репринтного издания. В издании могут отсутствовать одна или несколько страниц текста, могут встретиться невыводимые пятна и кляксы, надписи на полях или подчеркивания в тексте, нечитаемые фрагменты текста или загибы страниц. Покупать или не покупать подобные издания – решать Вам, мы же делаем все возможное, чтобы редкие и ценные книги, еще недавно утраченные и несправедливо забытые, вновь стали доступными для всех читателей.



Серия Книжный Ренессанс

www.samizday.ru/reprint

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ О КРИСТАЛЛАХ

Природная форма кристаллов

Слово кристалл употреблялось еще задолго до нашей эры и означало — горный хрусталь. Впоследствии это слово стали применять для названия всех минералов, имеющих природную форму многогранников. Таким образом, внешняя форма оказалась тем свойством, на которое впервые было обращено внимание исследователей кристаллов. Примером больших природных кристаллов могут служить: кварц (рис. 1), полевой шпат, каменная соль, гипс, берилл и т. д. Сначала кристаллы считались редкостью, так как с большими трудностями добывались из недр земли. Впоследствии оказалось, что кристаллы могут быть выращены искусственно в неограниченном числе и нередко неограниченной величины. Известным примером хорошо кристаллизующихся веществ служат квасцы и медный купорос. Среди природных кристаллов редко можно встретить

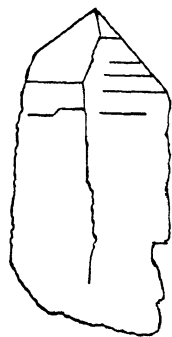


Рис. 1. Кристалл кварца.

экземпляры, покрытые гранями со всех сторон; обычно несколько кристаллов сростаются между собой в друзы. Поверхность раздела между отдельными кристаллами друзы обычно совершенно неправильна. Возможны случаи, когда в кристалле можно обнаружить всего только одну плоскую поверхность, а то и ни одной. Так, разбивши кусок мрамора, мы увидим, что кусок состоит из отдельных зерен с плоскими поверхностями излома. Отсюда мы заключаем, что мрамор состоит из кристаллов. Плотные сростки кристаллов, потерявших при взаимном срастании свою естественную форму, называются агрегатами. Иногда зерна бывают так малы, что

их уже невозможно рассмотреть простым глазом; в этом случае существование их иногда можно обнаружить рассматриванием излома около источника света; микроскопические грани, отражая свет, производят тогда впечатление отдельных светящихся точек (излом металла). В кристаллической природе многих химических порошков можно убедиться с помощью микроскопа, особенно поляризационного. Применяя те или иные способы исследования, можно доказать, что большинство твердых тел состоит из кристаллов. Из сказанного следует, что всякое твердое тело, имеющее природную форму многогранника, есть кристалл, но не всякий кристалл имеет многогранную форму.

Закон постоянства углов

Кристаллы одного и того же вещества могут отличаться друг от друга своей величиной, числом граней и ребер и

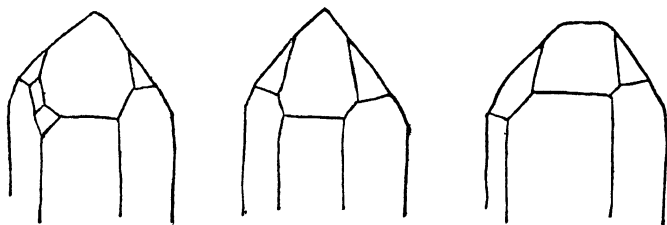


Рис. 2. Кристаллы кварца в параллельном положении.

формой граней. Наблюдая разнообразные формы кристаллов кварца, датский ученый Николай Стенон в 1669 году заметил, что все кристаллы могут быть приведены в такое положение в пространстве, при котором несколько граней одного кристалла станут в параллельное положение с гранями в других кристаллах; На рис. 2 изображены три кристалла кварца в параллельном положении. Из этих наблюдений следует, что углы между соответственными гранями и ребрами в кристаллах одного и того же вещества равны друг другу. В этом и состоит закон постоянства углов.

Природные кристаллы, как и все, что существует в мире, не были „сотворены“ готовыми, а образовывались посте-

пенно — росли. Мы знаем уже, что не все кристаллы обязаны иметь многогранную форму, но те кристаллы, которые ее имеют теперь, должны были иметь ее и во время роста. Если закон постоянства углов верен для различных кристаллов одного и того же вещества, то тем более он должен быть верен для одного и того же кристалла в различные моменты его роста, а это значит, что во время роста кристалла грани его перемещаются параллельно самим себе. На рис. 3 изображено сечение кристалла квасцов в различных стадиях его роста. Часто случается, что во время роста кристалла на его гранях отлагаются периодически посторонние примеси; в разрезе такой кристалл будет очень похож на наш чертеж. Изучая разрез, можно прочесть на нем всю историю развития кристалла и проверить правильность закона постоянства углов; одновременно мы приходим к заключению, что всякий кристалл можно рассматривать как совокупность концентрических многогранных оболочек; минимальная толщина их, очевидно, равна толщине одного молекулярного слоя. Мы видим, таким образом, что закон постоянства углов имеет отношение не только к внешней форме, но и к внутреннему строению кристаллов.

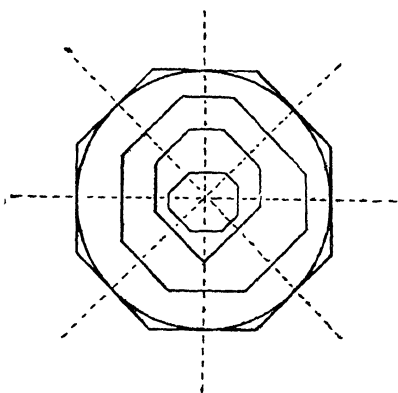


Рис. 3. Сечение кристалла квасцов в различных стадиях роста. Построение идеальной формы роста.

Идеальная форма кристаллов

Вернемся к изображению кристалла в отдельных стадиях его роста (рис. 3). Возьмем произвольную точку где-нибудь внутри кристалла. Опустим из нее перпендикуляры на все грани кристалла. Таких перпендикуляров будет столько, сколько граней есть в одном кристалле, или столько, сколько есть в данной группе кристаллов, приведенных в параллельное положение, серий параллельных граней. Опишем из выбранной точки сферу произвольным радиу-

сом и отметим на ней точки пересечения ее с перпендикулярами. Ясно, что системой этих точек можно пользоваться для характеристики формы кристалла, ибо дуги больших кругов, соединяющих две точки на сфере, будут численно равны углам между соответствующими им гранями (углом между гранями принято считать угол между перпендикулярами к граням). Мы видим, таким образом, что кристаллографу во многих случаях важно знать не истинное положение граней кристалла, а направление их роста, т. е. направление перпендикуляров к граням, совершенно так же, как астроному при составлении карты звездного неба важно знать не расстояние звезд от центра земного шара, а направления, в которых мы наблюдаем положения светил. Это обстоятельство приводит к тому, что обе науки для своих геометрических построений пользуются одинаковыми методами. Проведем теперь в точках встречи перпендикуляров с поверхностью шара касательные плоскости, — мы получим многогранник, коим может быть характеризована вся совокупность форм кристаллов данного вещества. Форму нового многогранника мы будем называть идеальной формой данного вещества. Идеальная форма есть одна из возможных форм кристалла данного вещества. Идеальные формы различных веществ различны; они дают нам возможность судить о направлениях ребер и граней в реальных кристаллах и о действительных направлениях роста граней.

Простые формы и комбинации

Мы видели, что по реальной форме кристалла можно построить идеальную. Изучая идеальные формы кристаллов, легко обнаружить в них то, что некоторые грани их равны или зеркально равны друг другу. Совокупность таких граней образует простую форму. Совокупность нескольких простых форм называется комбинацией форм. Простые формы можно рассматривать отдельно, вне связи их с комбинацией. Для этого нужно продолжить грани простой формы до их взаимного пересечения и выделить полученный таким образом многогранник из комбинации. На рис. 4 изображен в параллельной проекции идеальный кри-

сталл квасцов. Кристалл представляет собой комбинацию трех простых форм, отдельно изображенных на том же чертеже. Ниже мы узнаем, что одного геометрического равенства граней (простого или зеркального) недостаточно для того, чтобы они могли составить простую форму, ибо

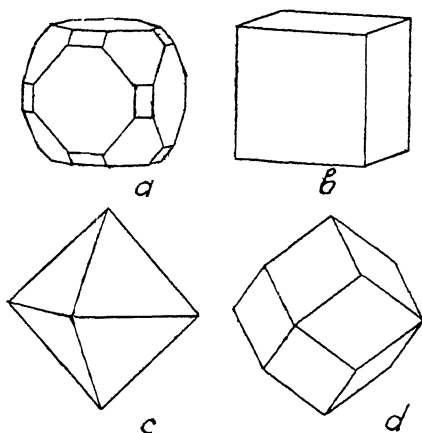


Рис. 4. Комбинация (а) трех простых форм: куба (b), октаэдра (с) и ромбододекаэдра (d).

геометрическое равенство есть только частный случай более общего физического равенства. На рис. 5 изо-

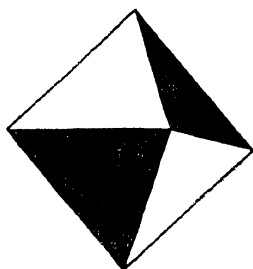


Рис. 5. Комбинация двух тетраэдров.

бражена фигура, состоящая из восьми равных треугольных граней; четыре грани выкрашены в черный цвет, другие четыре — в белый. С геометрической точки зрения изображенная фигура есть октаэдр; с кристаллографической точки зрения — комбинация двух тетраэдров: черного и белого. На таблице даны все простые формы, возможные для кристаллов.

Симметрия простых форм

Наблюдая простые формы кристаллов, мы замечаем в них особую правильность, выражающуюся в физическом равенстве их граней. Это свойство носит название симметрии. Физическое равенство граней может быть установлено различными физическими испытаниями и воображаемыми геометрическими операциями, которые производятся с помощью плоскости, прямой или точки.

Возьмем кристалл водного метасиликата натрия ($\text{Na}_2\text{SiO}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$); „головка“ идеальной формы его изображена на рис. 6. Мы видим, что она состоит из трех простых форм.

Физическое различие граней условно обозначено различной чертежной их обработкой. Произведем воображаемое отражение кристалла в плоскости, изображенной пунктиром. Правая часть кристалла при этом займет положение левой, а левая — правой. Черная грань совместится с черной, штрихованная — со штрихованной, а белая совместится сама с собой так, что ее левая часть поменяется местом с правой. Вообще же с фигурой после этой операции не произойдет никаких изменений. Плоскость, в которой произошло отражение, называется плоскостью симметрии и обозначается буквой P .

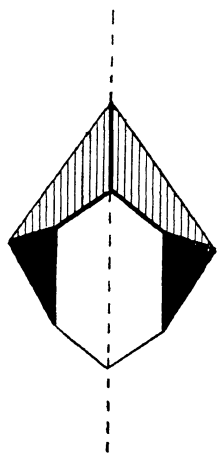


Рис. 6. Кристалл водного метасиликата натрия. Пунктирная линия есть след плоскости симметрии.

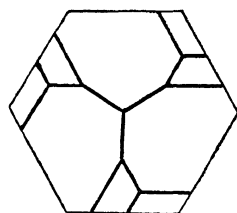


Рис. 7. Проекция „головки“ кристалла кварца. В центре чертежа перпендикулярно к нему проходит ось симметрии третьего порядка.

Теперь возьмем кристалл кварца (SiO_2) и спроектируем головку его идеальной формы на плоскость (рис. 7). Повернем мысленно кристалл на одну треть оборота около оси, проходящей через центр фигуры перпендикулярно к плоскости чертежа. В результате такого поворота фигура займет

исходное положение. Ось поворота называется осью симметрии третьего порядка и обозначается L_3 . Если бы нужно было повернуть фигуру для приведения ее в исходное положение на иную целую часть оборота, то ось была бы иного порядка. Теоретически можно доказать, что в кристаллах могут быть только следующие оси симметрии: L_1 , L_2 , L_3 , L_4 , L_6 и никакие другие. Ось симметрии первого порядка L_1 имеет чисто формальное значение, так как этой осью обладают все решительно фигуры, ибо при полном обороте около любой прямой всякая фигура совмещается сама с собой.

Возьмем октаэдрический кристалл (рис. 8) квасцов и произведем с ним следующую воображаемую операцию. Соединим вершины нижней грани $a' b' c'$ с центром фигуры

прямыми линиями и продолжим их на то же расстояние вверх; мы попадем в вершины верхней грани abc . Верхняя грань равна (зеркально) нижней и расположена обратно-параллельно нижней, т. е., если в нижней грани точка a , смотрит вправо от ребра $b'c'$, то в верхней грани точка a смотрит влево от линии bc . Если в результате такой операции со всеми гранями фигура совместится сама с собой, то мы говорим, что фигура имеет центр симметрии.

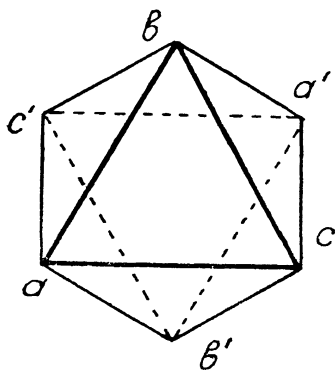


Рис. 8. Октаэдр как пример многогранника, обладающего центром симметрии.

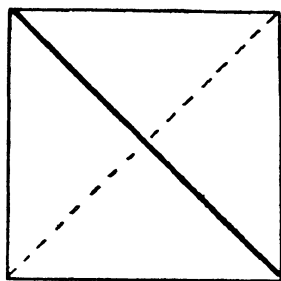


Рис. 9. Тетраэдр как пример многогранника, обладающего зеркально-поворотной осью симметрии четвертого порядка.

Возьмем простейший правильный многогранник—тетраэдр (рис. 9), состоящий из четырех граней, имеющих форму правильного треугольника. При повороте фигуры на четверть оборота около оси, проходящей через центр фигуры перпендикулярно к чертежу, верхнее ребро в новом положении будет параллельно нижнему ребру в старом положении. Совмещения фигуры с ней самой не произойдет; если, однако, вслед за этой операцией мы произведем отражение в плоскости параллельной чертежу и проходящей через центр тетраэдра, то все ребра и грани кристалла займут старые места. Такая составная операция называется сложной, а ось поворота называется зеркально-поворотной осью четвертого порядка и обозначается L_4 .

Теоретически можно доказать, что другие элементы симметрии, существующие в кристаллических многогранниках, могут быть сведены к перечисленным выше и ничего нового

в себе не содержат. Мы можем поэтому сказать, что перечисленными элементами симметрии исчерпываются все элементы симметрии кристаллических многогранников. Геометрические же многогранники могут иметь и другие элементы симметрии, но мы ими в этой книжке интересоваться не будем.

Один многогранник может содержать в себе одновременно несколько элементов симметрии. Так напр., куб имеет три оси четвертого порядка, четыре оси третьего порядка, шесть осей второго порядка, девять плоскостей симметрии и центр симметрии. Полный набор элементов симметрии изображается формулой симметрии; для куба формула симметрии будет напр., $3L_4, 4L_3, 6L_2 C 9P$.

Таблица формул симметрии

№	Формула симметрии	Сингония	№	Формула симметрии	Сингония
1	L_1	Триклинная I	17	$L_4 CP$	
2	C		18	L_4	
3	$L_2 CP$	Моноклинная II	19	$L_4 2 L_2 2 P$	
4	$L_2 P$		20	L_4	
5	L_2		21	$L_6 6 L_2 C 7 P$	Гексагональная VI
6	$3 L_2 C 3 P$	Ромбическая III	22	$L_6 6 L_2$	
7	$3 L_2$		23	$L_6 6 P$	
8	$L_2 2 P$		24	$L_6 CP$	
9	$L_3 3 L_2 C 3 P$	Тригональная IV	25	L_6	
10	$L_3 3 L_2$		26	$L_3 3 L_2 4 P$	
11	$L_3 3 P$		27	$L_3 P$	
12	$L_3 C$		28	$3 L_4 4 L_3 6 L_2 C 9 P$	Кубическая VII
13	L_3	Тетрагональная V	29	$3 L_4 4 L_3 6 L_2$	
14	$L_4 4 L_2 C 5 P$		30	$3 L_4 4 L_3 6 P$	
15	$L_4 4 L_2$		31	$3 L_2 4 L_2 C 3 P$	
16	$L_4 4 P$		32	$3 L_2 4 L_3$	