

## Введение

Что такое минерал? Надеюсь, вы найдете ответ в этом модуле.

Этот модуль ответит на следующие вопросы:

- Из чего состоят минералы?
- Сколько минералов известно в природе?
- В чем сходство и отличие разных минералов?
- Как определяют минералы?
- Физические свойства минералов



© Amethyst Galleries

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Что такое минерал



Это фотографии двух разных горных пород. Горные породы состоят из минералов. Горная порода на левом снимке называется эклогит. В ее состав входят три минерала: гранат (красный),



пироксен (зеленый) и цоизит (светлый). В состав породы на правом снимке входят два минерала: амфибол (темный) и плагиоклаз (светлый).

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Что такое минерал



Если поместить горную породу под микроскоп, можно отчетливо увидеть различные минералы, из которых она состоит. Эта фотография показывает, как выглядит горная порода амфиболит под микроскопом. Зеленоватые и

зеленовато-желтые зерна это зерна амфибола, а светлые зерна это плагиоклаз, минерал из группы полевых шпатов. Амфибол и плагиоклаз это минералы. Амфиболит это горная порода, которая состоит из амфибола и плагиоклаза.

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Что такое минерал



© Amethyst Galleries

Цитрин

Когда геологи используют термин "минерал", они обычно имеют в виду вещества

- имеющие естественное происхождение
- неорганические, твердые
- имеющие упорядоченную внутреннюю структуру
- с характерным химическим составом

- с характерными физическими и химическими свойствами

На этой фотографии изображен минерал цитрин. Цитрин это желтая разновидность кварца, химическая формула которого  $\text{SiO}_2$

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Фотографии некоторых минералов



Кианит

Голубой минерал на этой фотографии - кианит -  
 $\text{Al}_2\text{SiO}_5$

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Фотографии некоторых минералов



© Amethyst Galleries

Пирит

Золотистый минерал на этой фотографии называется пирит. Формула пирита  $\text{FeS}_2$ . Блестящие минералы часто по ошибке

принимались старателями за золото. Поэтому они также называются "обманками".

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Фотографии некоторых минералов



Гроссуляр

Этот минерал называется гроссуляр и является разновидностью граната. Его формула  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Фотографии некоторых минералов



Алмаз



Корунд

В земной коре найдено более 3500 различных минералов. Минералы очень разнообразны по физическим и химическим свойствам. Алмаз и корунд самые твердые минералы, которые встречаются в природе. Высокая твердость позволяет использовать их в качестве абразивов.

Крупные прозрачные кристаллы алмаза и корунда являются драгоценными камнями. Формула алмаза -  $C$ , он состоит из чистого углерода. Формула корунда -  $Al_2O_3$ . Кристаллы корунда окрашенные в красный цвет называются рубином, а в синий - сапфиром.



# ЧТО ТАКОЕ МИНЕРАЛ

## Фотографии некоторых минералов



Графит



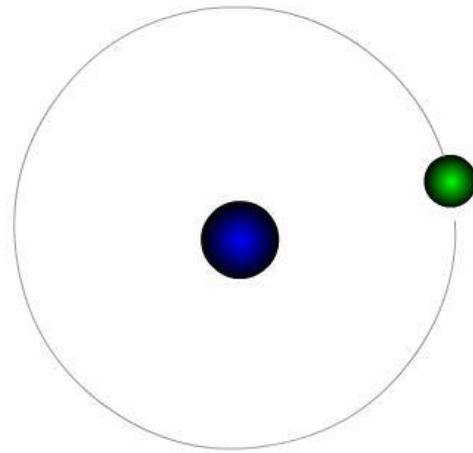
Молибденит

Молибденит и графит одни из самых мягких минералов, известных в земной коре. Поэтому они используются для изготовления смазочных материалов. Физические свойства минерала, например его твердость и цвет, определяются 1) Химическим составом минерала (то есть тем, какие атомы входят в его состав) и 2) Типом

химических связей между атомами. Графит и алмаз имеют одинаковый состав: они состоят из углерода (C). Разные физические свойства графита и алмаза объясняются разными типами химических связей между атомами углерода в этих минералах. Формула молибденита  $\text{MoS}_2$ .

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Атомы



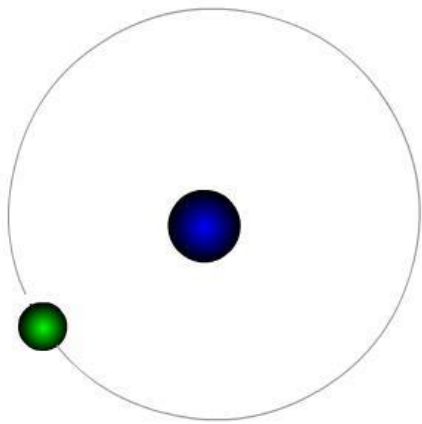
H

Минералы состоят из атомов одного или нескольких химических элементов. Однако, перед тем как мы станем обсуждать типы химических связей между атомами, следует вспомнить, что такое атом, и как он устроен. Атом состоит из ядра, в которое входят положительно заряженные протоны и электрически нейтральные нейтроны. Ядро окружено облаком отрицательно заряженных электронов. Число протонов в ядре

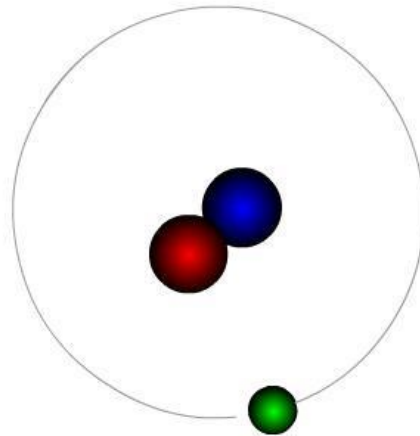
определяет, к какому химическому элементу относится данный атом. В ядре атома водорода только один протон. Положительный заряд одного протона равен по величине отрицательному заряду одного электрона. Таким образом, в нейтральном атоме число протонов в ядре равно числу электронов в электронном облаке, которое окружает ядро.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

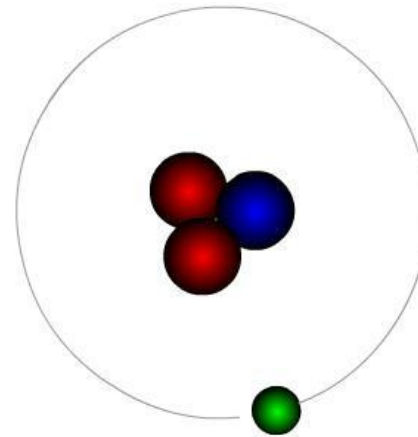
## Изотопы водорода



**H-1**



**H-2**



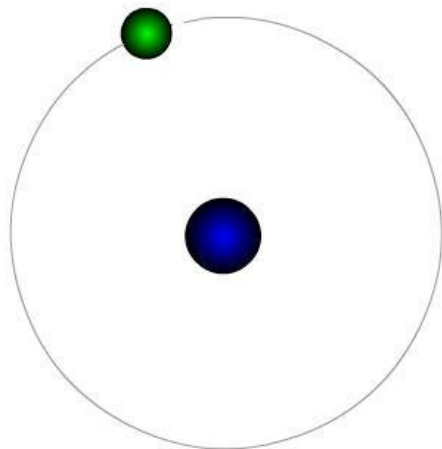
**H-3**

Ядро водорода может содержать 0, 1 или 2 нейтрона. Ядра с одинаковым числом протонов, но разным числом нейтронов называются изотопами данного химического элемента. В ядре

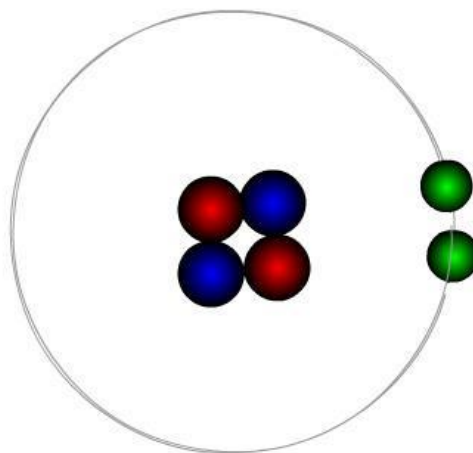
H-1 только один протон (синий). В ядре H-2 (дейтерия) один протон и два нейтрона (красные). Наконец ядро трития H-3 состоит из одного протона и двух нейтронов.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Электронные оболочки



H



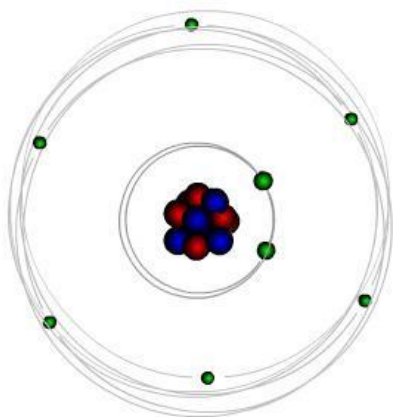
He

Электроны в атомах водорода (H) и гелия (He) заполняют самую ближайшую к ядру оболочку.

Однако в этой оболочке может находиться только два электрона.

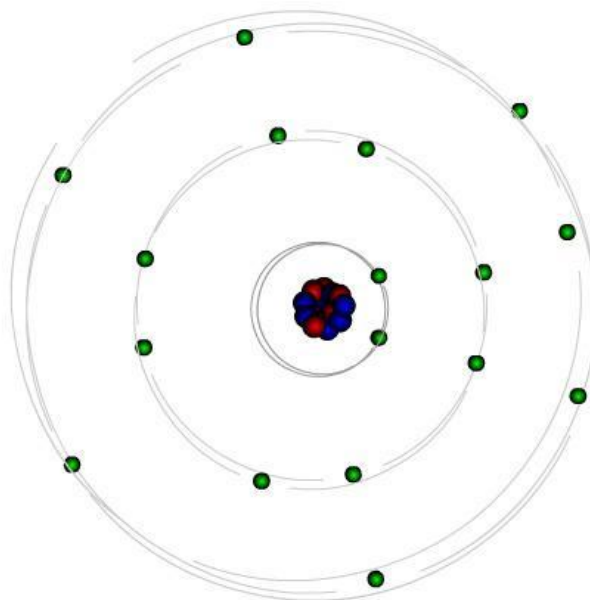
# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Электронные оболочки



O

В нейтральном атоме кислорода (O) 8 электронов. Внутренняя электронная оболочка (K-оболочка), которая может содержать 2 электрона, заполнена. Оставшиеся 6 электронов находятся на следующей оболочке (L-оболочке), которая более удалена от ядра. L-оболочка может содержать 8

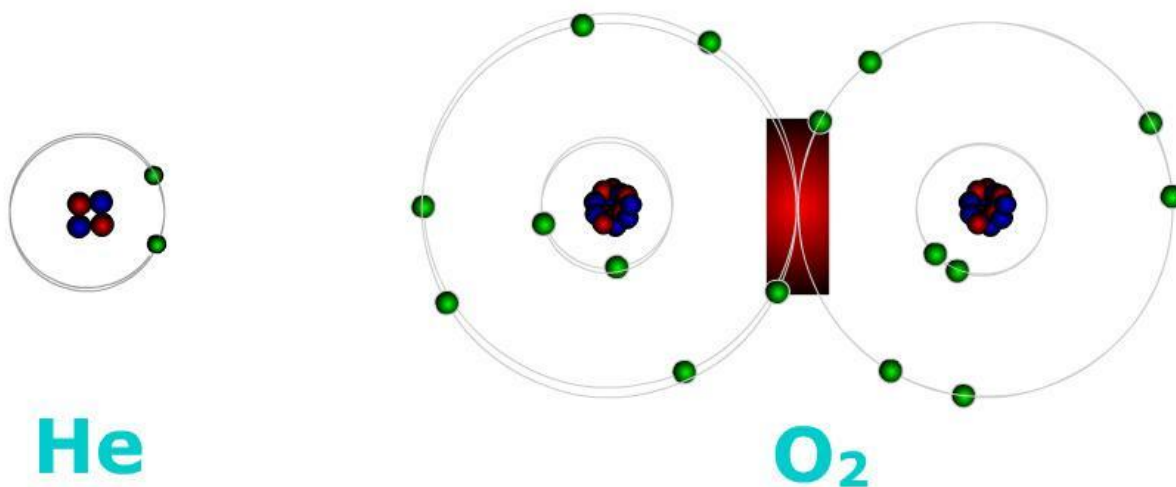


Cl

электронов. Нейтральный атом хлора (Cl) содержит 17 электронов. Десять электронов заполняют K- и L-оболочки. Оставшиеся 7 электронов находятся на M-оболочке. M-оболочка также может содержать 8 электронов.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Типы химических связей между атомами

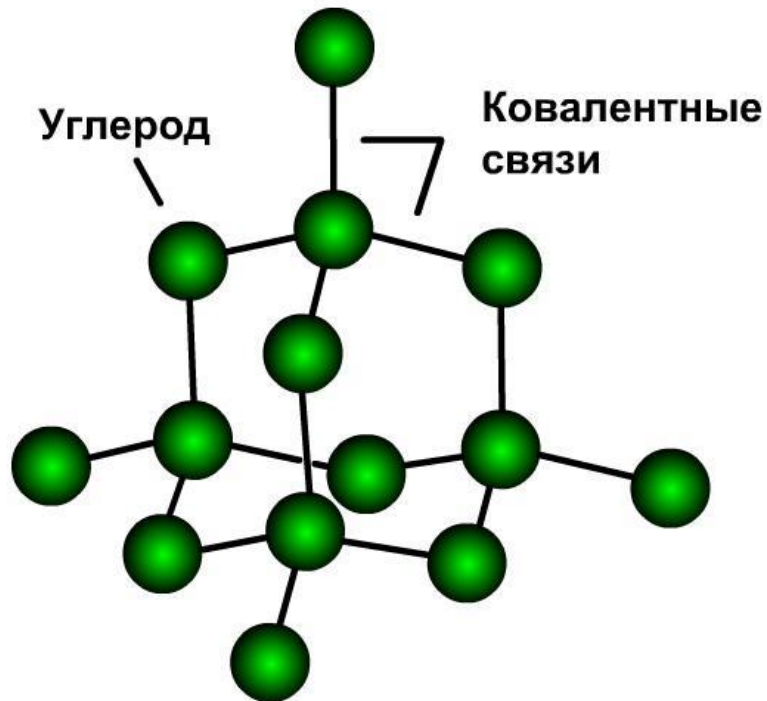


Химические связи между атомами возникают, когда электроны одного атома взаимодействуют с электронами и ядром другого атома. Можно сказать, что атомы как бы стремятся заполнить свои внешние электронные оболочки. В атоме гелия (He) внешняя оболочка заполнена, так как атом гелия содержит два электрона, которых достаточно для заполнения К-оболочки. В то же время, внешняя оболочка атома кислорода, для заполнения которой необходимо 8 электронов,

содержит только 6 электронов. Таким образом, для заполнения внешней оболочки атома кислорода не хватает двух электронов. Один из способов, с помощью которых атом кислорода может достроить свою внешнюю электронную оболочку, это обобществление электронов, то есть два электрона становятся общими для двух атомов кислорода. В результате между двумя атомами возникает прочная химическая связь. Связь этого типа называется ковалентной.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Ковалентная связь между атомами углерода в алмазе

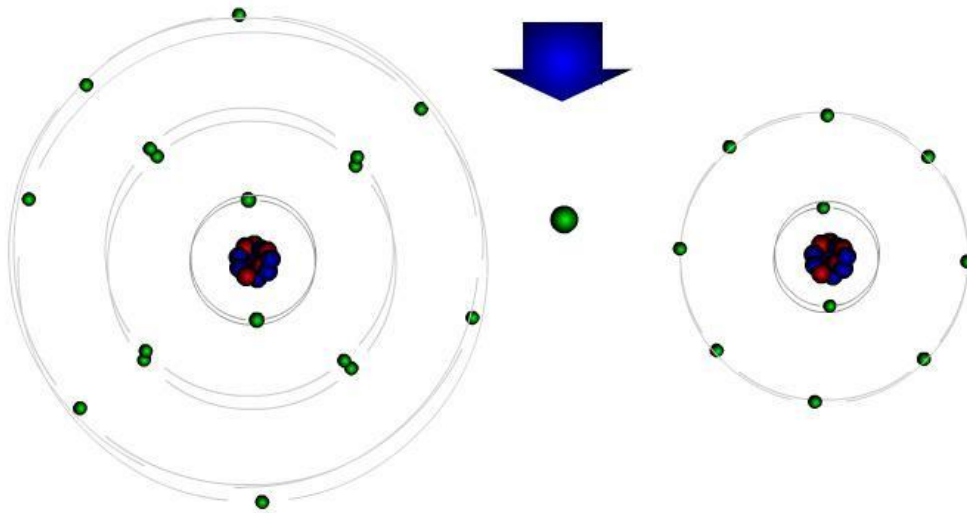


На этом слайде показана внутренняя структура алмаза. Алмаз состоит только из атомов углерода (C). Каждый атом углерода образует ковалентные связи с четырьмя другими атомами углерода.

Ковалентные связи между атомами углерода очень прочные - алмаз является самым твердым минералом в природе.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Ионная связь



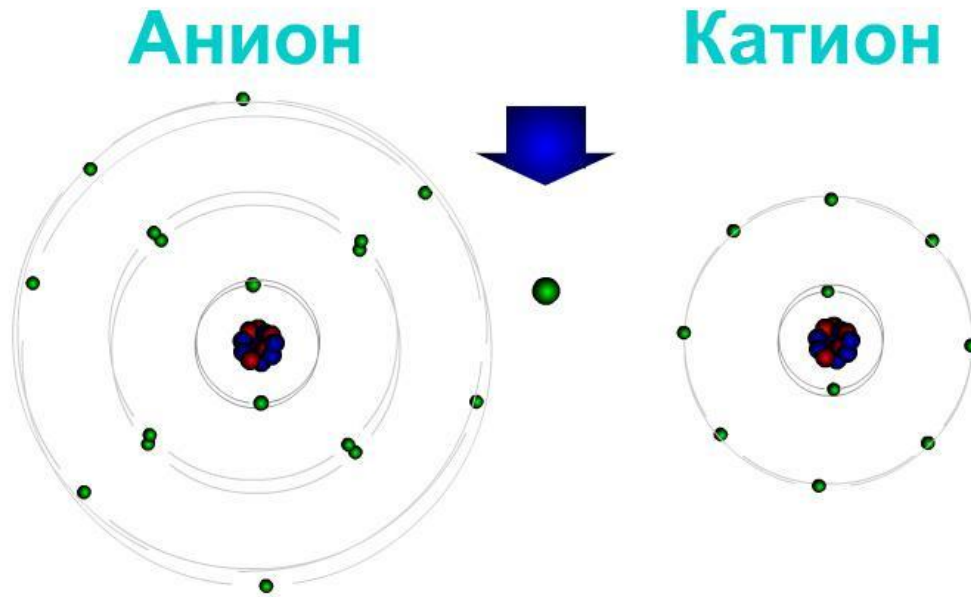
Атом хлора на этом слайде достраивает свою электронную оболочку другим способом. Хлору (Cl) требуется один электрон, чтобы достроить свою внешнюю электронную оболочку. Атом натрия (Na), наоборот, имеет один "лишний" электрон (на его внешней оболочке только один электрон, и необходимо еще 7, чтобы ее достроить). Если атом Cl сближается с атомом Na, он может "отобрать" у Na один электрон. Если это происходит, атом Cl приобретает электрический

заряд. Ион хлора имеет символ  $\text{Cl}^-$ . Поскольку атом натрия теряет одну частицу с отрицательным зарядом (электрон), он становится положительно заряженным. Символ иона натрия  $\text{Na}^+$ . Ионы натрия и хлора, имеющие противоположные по знаку заряды, притягиваются друг к другу. Поэтому когда атом хлора "отбирает" электрон у атома натрия, между ними возникает химическая связь.



# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Ионная связь

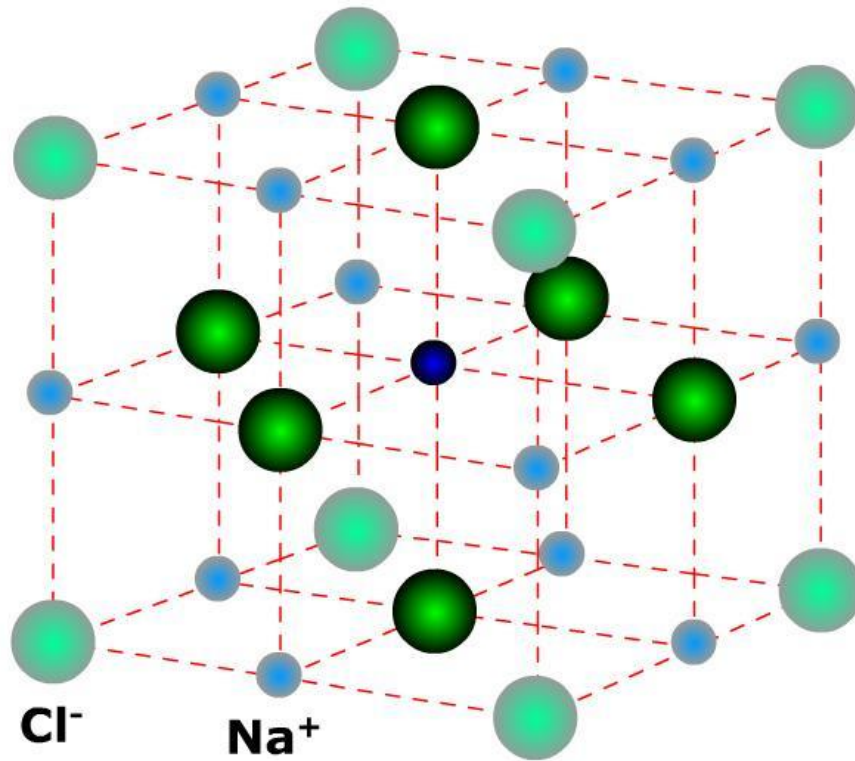


Ионные связи достаточно прочные, но не такие прочные как ковалентные связи. Ионные и ковалентные связи - наиболее важные типы химических связей между атомами в минералах.

Положительно заряженные ионы называются катионами, а отрицательно заряженные - анионами.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Ионная связь

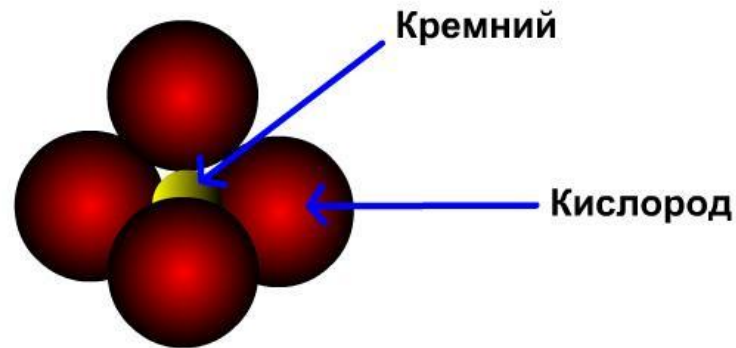


На этом слайде изображена структура минерала галита (NaCl). Связанные между собой ионы Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup> образуют кубическую структуру. Обратите внимание, что каждый ион Na<sup>+</sup> (голубой) окружен 6 ионами Cl<sup>-</sup> (зеленый). И наоборот, каждый ион Cl<sup>-</sup> окружен 6 ионами Na<sup>+</sup>. Структура минерала

определяется чередованием положительно и отрицательно заряженных ионов. Силы притяжения между положительно и отрицательно заряженными частицами формируют связи между атомами. Такой тип химических связей называется ионным.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Химические связи в кремнекислородном тетраэдре $\text{SiO}_4$

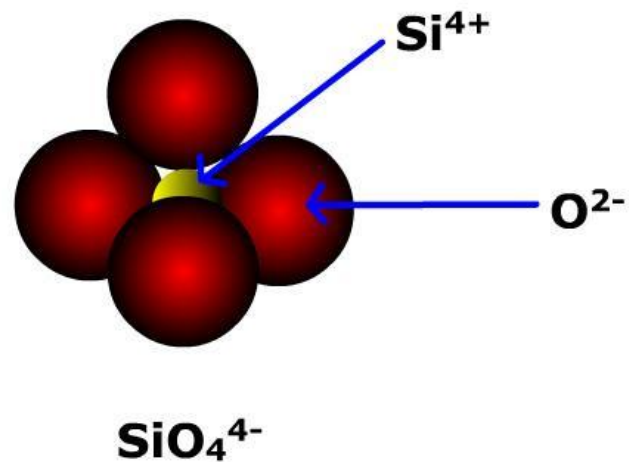


Если атом хлора полностью отбирает электрон у атома натрия, химическая связь между ними является на 100% ионной. 100% ковалентная связь предполагает, что электроны становятся общими для двух атомов и проводят равное время на электронных оболочках каждого атома. Однако большинство химических связей в минералах является комбинацией ковалентных и ионных связей. Связь между атомами кремния (Si)

и кислорода является характерным примером. Атом кислорода "пытается" отнять один электрон у атома кремния. Однако этот электрон переходит к атому кислорода не полностью. Часть времени "захваченный" электрон по-прежнему проводит на электронной оболочке атома кремния. Поэтому связь между Si и O является на 50% ионной, а на 50% ковалентной.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Химические связи в кремнекислородном тетраэдре $\text{SiO}_4$



Хотя, в действительности, связи между атомами в минералах имеют смешанную природу, удобно считать химические связи на 100% ионными. Следующие слайды рассказывают, как связи

между положительно и отрицательно заряженными частицами определяют внутреннюю структуру минералов.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Другие типы химических связей



Металлическая связь характерна для атомов металлов, которые имеют тенденцию легко расставаться с электронами внешней оболочки. Свободные электроны становятся общими для всех ионов в структуре металла. Минералы с металлическими связями являются хорошими

проводниками и имеют металлический блеск. Пирит, показанный на этом слайде, состоит из атомов железа (Fe) и серы (S). Для атомов в структуре пирита характерен металлический тип связи.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Другие типы химических связей

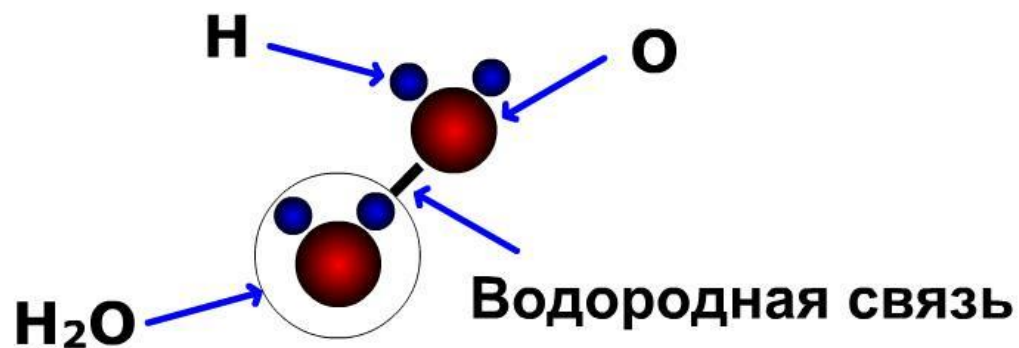


Ван дер Ваальсовы связи это слабые химические связи, которые возникают между электрически нейтральными частицами. Минералы, в котрых атомы связаны Ван дер Ваальсовыми связями, обычно отличаются низкой твердостью. Графит состоит из атомов углерода, которые образуют

плоскостные структуры с прочными ковалентными связями. Однако, индивидуальные плоские слои атомов углерода связаны между собой слабыми Ван дер Ваальсовыми связями. Благодаря этому, графит очень мягкий минерал.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Другие типы химических связей



Водородные связи это слабые связи, возникающие в некоторых соединениях, где есть атомы водорода. Молекулы, внутри которых атомы связаны прочной ковалентной связью, могут образовывать с другими молекулами воды водородные связи. Водородные связи образуются потому, что внутренние связи в молекуле воды не являются на 100 % ковалентными; общие электроны более тяготеют к ядру атома

кислорода, чем к ядрам атомов водорода. Поэтому вокруг ядер атомов водорода образуется слабый положительный заряд, а вокруг ядра кислорода - отрицательный. Положительно заряженная часть одной молекулы воды притягивается к отрицательно заряженной части другой молекулы - между ними возникает водородная связь.

# АТОМЫ И ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ АТОМАМИ

## Периодическая система

Атомный номер

Символ химического элемента

1 <b>H</b>																	2 <b>He</b>
3 <b>Li</b>	4 <b>Be</b>											5 <b>B</b>	6 <b>C</b>	7 <b>N</b>	8 <b>O</b>	9 <b>F</b>	10 <b>Ne</b>
11 <b>Na</b>	12 <b>Mg</b>											13 <b>Al</b>	14 <b>Si</b>	15 <b>P</b>	16 <b>S</b>	17 <b>Cl</b>	18 <b>Ar</b>
19 <b>K</b>	20 <b>Ca</b>	21 <b>Sc</b>	22 <b>Ti</b>	23 <b>V</b>	24 <b>Cr</b>	25 <b>Mn</b>	26 <b>Fe</b>	27 <b>Co</b>	28 <b>Ni</b>	29 <b>Cu</b>	30 <b>Zn</b>	31 <b>Ga</b>	32 <b>Ge</b>	33 <b>As</b>	34 <b>Se</b>	35 <b>Br</b>	36 <b>Kr</b>
37 <b>Rb</b>	38 <b>Sr</b>	39 <b>Y</b>	40 <b>Zr</b>	41 <b>Nb</b>	42 <b>Mo</b>	43 <b>Tc</b>	44 <b>Ru</b>	45 <b>Rh</b>	46 <b>Pd</b>	47 <b>Ag</b>	48 <b>Cd</b>	49 <b>In</b>	50 <b>Sn</b>	51 <b>Sb</b>	52 <b>Te</b>	53 <b>I</b>	54 <b>Xe</b>
55 <b>Cs</b>	56 <b>Ba</b>	57 <b>La*</b>	72 <b>Hf</b>	73 <b>Ta</b>	74 <b>W</b>	75 <b>Re</b>	76 <b>Os</b>	77 <b>Ir</b>	78 <b>Pt</b>	79 <b>Au</b>	80 <b>Hg</b>	81 <b>Tl</b>	82 <b>Pb</b>	83 <b>Bi</b>	84 <b>Po</b>	85 <b>At</b>	86 <b>Rn</b>
87 <b>Fr</b>	88 <b>Ra</b>	89 <b>Ac**</b>	104 <b>Rf</b>	105 <b>Db</b>	106 <b>Sg</b>	107 <b>Bh</b>	108 <b>Hs</b>	109 <b>Mt</b>									

*58 <b>Ce</b>	59 <b>Pr</b>	60 <b>Nd</b>	61 <b>Pm</b>	62 <b>Sm</b>	63 <b>Eu</b>	64 <b>Gd</b>	65 <b>Tb</b>	66 <b>Dy</b>	67 <b>Ho</b>	68 <b>Er</b>	69 <b>Tm</b>	70 <b>Yb</b>	71 <b>Lu</b>
**90 <b>Th</b>	91 <b>Pa</b>	92 <b>U</b>	93 <b>Np</b>	94 <b>Pu</b>	95 <b>Am</b>	96 <b>Cm</b>	97 <b>Bk</b>	98 <b>Cf</b>	99 <b>Es</b>	100 <b>Fm</b>	101 <b>Md</b>	102 <b>No</b>	103 <b>Lw</b>

Периодическая система включает все известные химические элементы. Атомный номер химического элемента соответствует числу протонов в ядре атома данного элемента: в ядре натрия (Na) 11 протонов, в ядре титана (Ti) 22 протона и т. д. У всех элементов в первой колонке периодической системы (H, Li, Na, K, Rb, Cs и Fr)

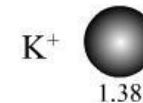
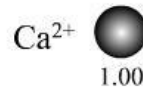
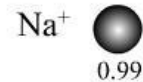
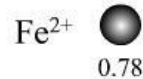
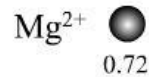
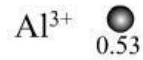
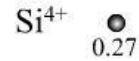
есть только один валентный электрон (то есть электрон внешней электронной оболочки). Атомы этих элементов с легкостью отдают этот электрон другим атомам, например атомам галогенных элементов (F, Cl, Br, I и At). В результате между этими атомами образуются ионные химические связи.



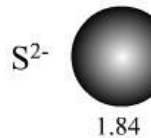
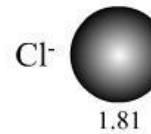
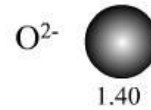
# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Ионные радиусы

### Катионы



### Анионы

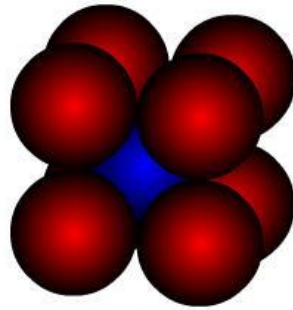


Мы можем условно рассматривать ионы в структуре минералов как сферы различного размера. Ионы с противоположными зарядами образуют связи. Формирование внутренней структуры растущих кристаллов минерала зависит от размера ионов, слагающих данный минерал.

На этом слайде показаны относительные размеры ионов, слагающих наиболее распространенные минералы. Цифры соответствуют ионному радиусу в Ангстрёмах (1 Ангстрём = 0,00000001см)

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Куб

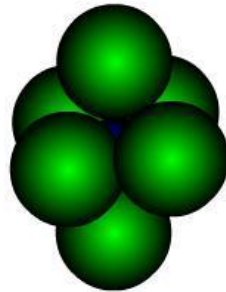


Во время роста кристаллов ионы, слагающие минерал, стремятся заполнить пространство наиболее экономичным образом, то есть расположиться как можно ближе друг к другу. Если катионы и анионы имеют примерно

одинаковый ионный радиус, они образуют структуру, показанную на этом слайде. Обратите внимание, что синий ион в центре окружен 8 красными ионами.

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Октаэдр

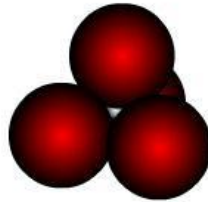


Ионный радиус  $\text{Na}^+$  равен 0.99, и сильно отличается от ионного радиуса  $\text{Cl}^-$  равного 1.81 Ангстрёма. В минерале галите ( $\text{NaCl}$ ) атомы хлора и натрия образуют структуру, показанную на этом

слайде. Обратите внимание, что маленький ион натрия окружен 6 ионами хлора. Такая структура называется октаэдром.

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Тетраэдр

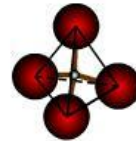
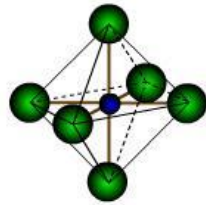
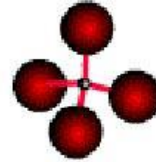
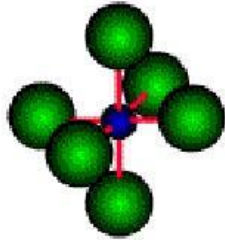


Радиус иона кислорода  $O^{2-}$  в 5 раз больше ионного радиуса кремния  $Si^{4+}$ . Когда размеры ионов отличаются так сильно, они образуют

структуру, которая называется тетраэдром. Маленький ион  $Si^{4+}$  окружен 4 ионами  $O^{2-}$ .

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Октаэдр и тетраэдр



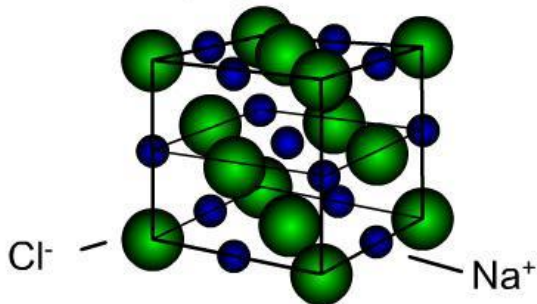
Эта анимация показывает, как октаэдрическая и тетраэдрическая структуры иллюстрируются с помощью геометрических фигур.

Соответствующие геометрические фигуры, показанные синим, называются октаэдр (слева) и тетраэдр (справа).

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Внутренняя структура и форма кристаллов

Кубическая  
структура



Форма кристаллов минерала определяется его внутренней структурой. При формировании кристалла галита ионы Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup> образуют кубическую структуру. Каждый ион Na<sup>+</sup> окружен 6 ионами Cl<sup>-</sup>, поэтому позиция, которую занимает натрий называется октаэдрической. Размеры



© Amethyst Galleries

Галит

кубических кристаллов галита на этой фотографии 1-2 мм. Каждый кристалл построен из миллионов ионов Na<sup>+</sup> и Cl<sup>-</sup>, образующих кубическую структуру, показанную на этом слайде.

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Внутренняя структура и форма кристаллов



© Amethyst Galleries

Пирит



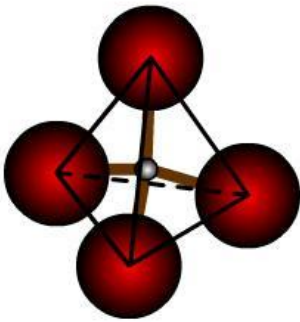
© Amethyst Galleries

Галенит

Минералы пирит ( $\text{FeS}_2$ ) и галенит ( $\text{PbS}$ ) также имеют кубическую структуру.

# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Внутренняя структура и форма кристаллов



Основой структуры минерала кварца являются кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$ . В структуре кварца каждый тетраэдр образует связи с 4 другими тетраэдрами, в результате чего



© Amethyst Galleries

формируется сложная трехмерная структура. Обычно кристаллы кварца имеют форму гексагональных призм, что обусловлено его внутренней структурой.



# ВНУТРЕННЯЯ СТРУКТУРА МИНЕРАЛОВ

## Внутренняя структура и форма кристаллов

© Amethyst Galleries



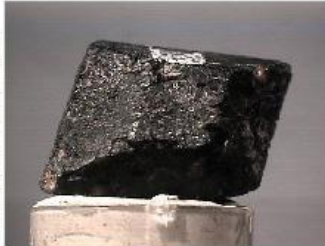
Сколецит (цеолит)  
 $\text{CaAl}_2\text{Si}_3\text{O}_{10} \cdot 3\text{H}_2\text{O}$

© Amethyst Galleries



Гроссуляр (гранат)  
 $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$

© Amethyst Galleries



Авгит (пироксен)  
 $(\text{Ca}, \text{Na})(\text{Mg}, \text{Fe}, \text{Al})(\text{Al}, \text{Si})_2\text{O}_6$

© Amethyst Galleries

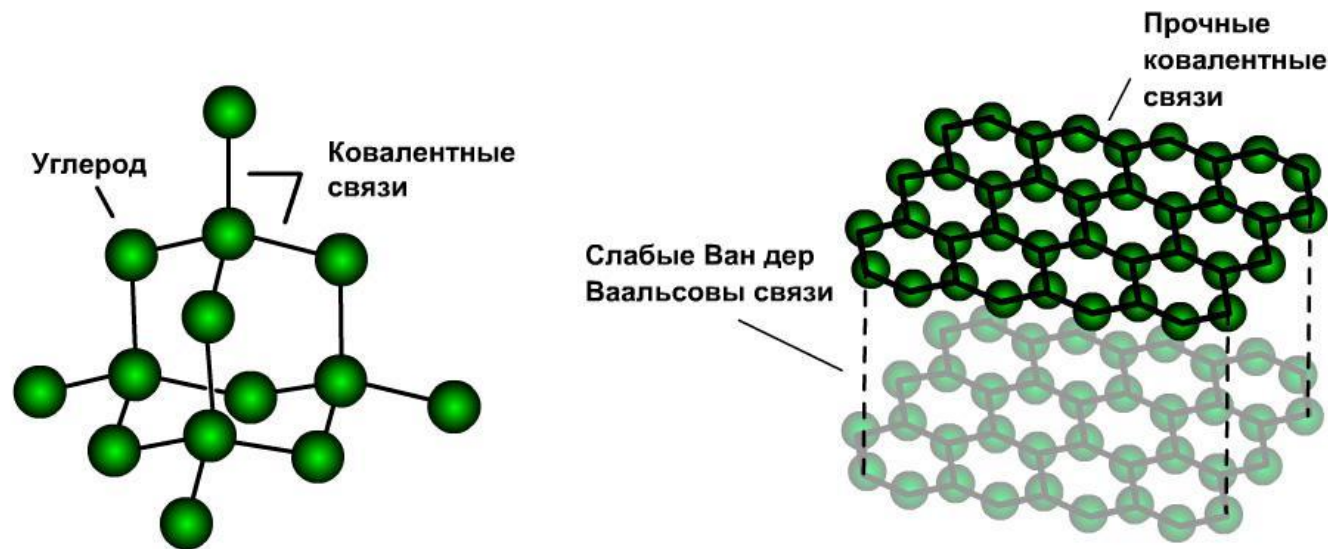


Оливин  
 $\text{Mg}_2\text{SiO}_4$

На этих фотографиях кристаллы некоторых других минералов. Форма кристаллов минерала зависит от его внутренней структуры.

# ПОЛИМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ

## Алмаз и графит



Минералы, имеющие одинаковый химический состав, но разную структуру называются полиморфными разновидностями, а сама способность одних и тех же химических соединений образовывать кристаллы с различной внутренней структурой - полиморфизмом. Графит и алмаз являются полиморфными разновидностями углерода. В структуре алмаза атомы углерода связаны прочными ковалентными

связями и образуют трехмерный каркас. Поэтому алмаз является самым твердым минералом в природе. В структуре графита атомы углерода образуют плоскостные структуры с прочными ковалентными связями. Однако, отдельные плоские слои атомов углерода связаны между собой слабыми Ван дер Ваальсовыми связями. Благодаря этому, графит очень мягкий минерал.

# ПОЛИМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ

## Алмаз и графит

© Amethyst Galleries



Алмаз

© Amethyst Galleries



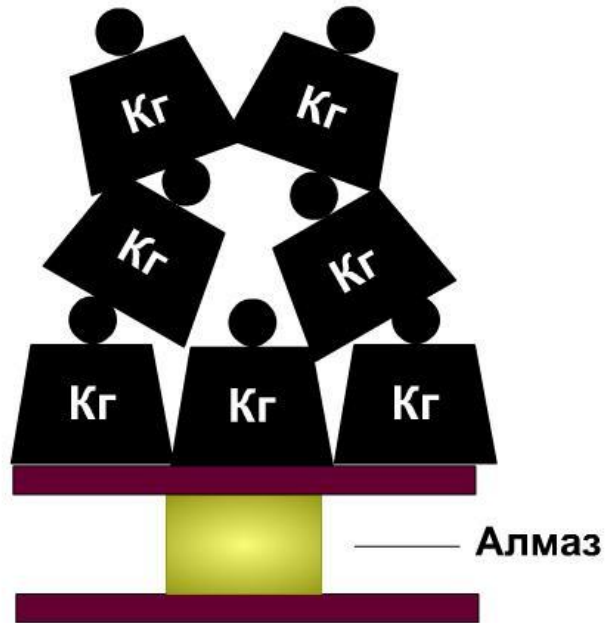
Графит

Облик кристаллов и внутреннее строение алмаза и графита сильно отличаются. Почему так сильно отличаются свойства минералов, имеющих один и тот же химический состав? Ответ может подсказать существенная разница в плотности этих минералов. Плотность алмаза значительно выше плотности графита. Это объясняется более плотной упаковкой атомов в структуре алмаза по сравнению со структурой графита. Разница в

плотности минералов может определяться давлением при котором они кристаллизуются. Алмаз формируется на глубинах порядка 150 км в условиях высокого давления. В условиях высокого давления более плотная упаковка атомов в структуре алмаза является более экономичной. На меньших глубинах, где давление существенно ниже, атомы углерода образуют более "рыхлую" структуру, характерную для графита.

# ПОЛИМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ

## Алмаз и графит

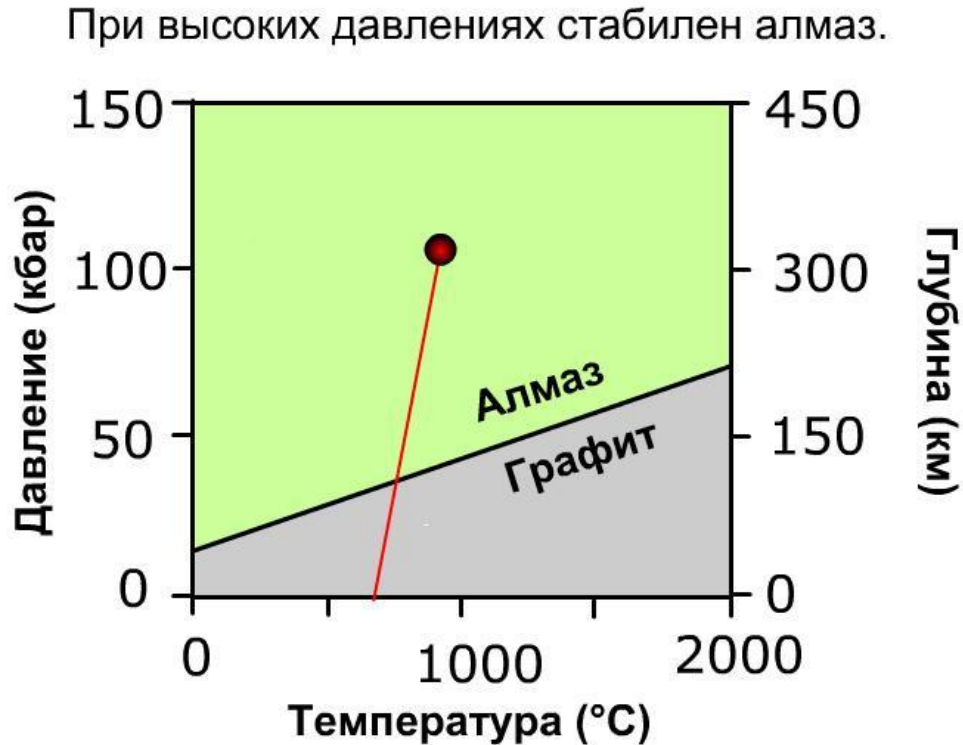


Графит, плотность которого  $2,1 \text{ г/см}^3$ , стабилен до глубин порядка 50-60 км. Если кристалл графита поместить на большую глубину, давление повышается настолько, что структура графита

становится неустойчивой, и атомы углерода образуют новую структуру с более плотной упаковкой - структуру алмаза. Плотность алмаза  $3,5 \text{ г/см}^3$ .

# ПОЛИМОРФИЗМ МИНЕРАЛОВ

## Алмаз и графит

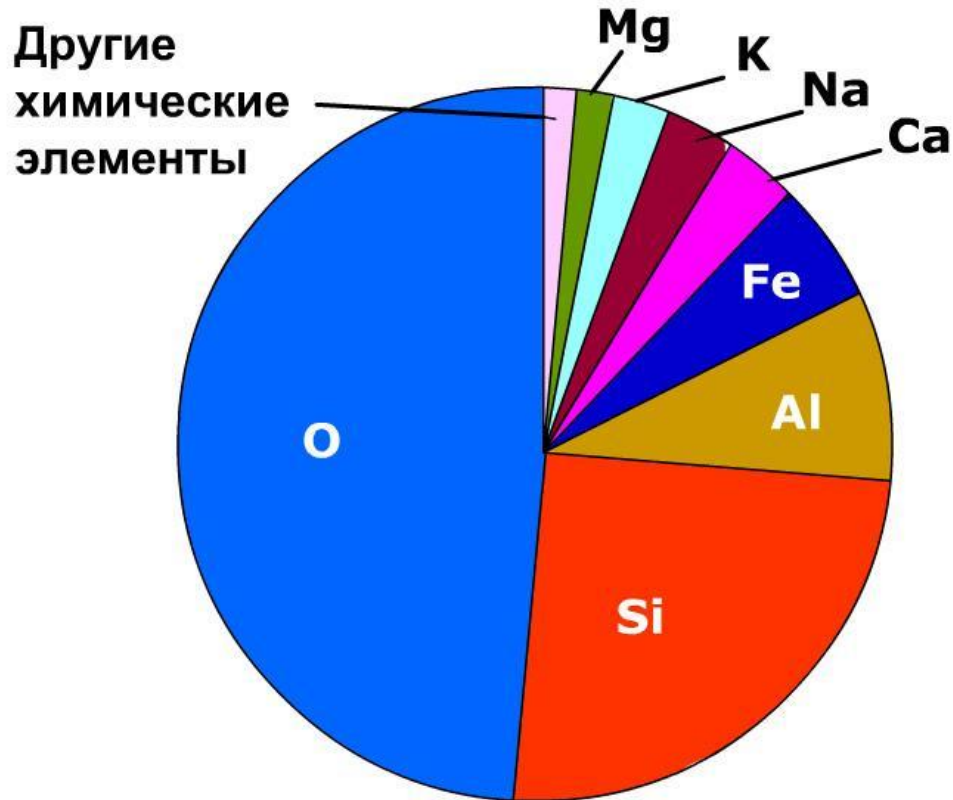


Красная точка показывает рост давления и температуры в горных породах по мере их погружения на большие глубины. Если в породе первоначально присутствовал графит, когда

красная точка пересекает линию, разделяющую поля стабильности графита и алмаза, структура графита становится неустойчивой и образуется алмаз.

# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Химический состав земной коры

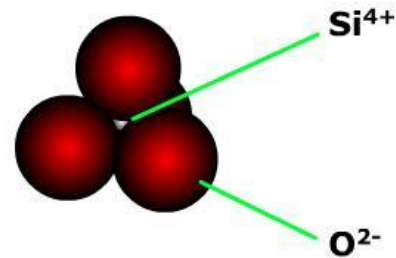


На этой диаграмме показан средний химический состав земной коры. Кислород составляет около 46,6 весовых % коры. Второй по распространенности химический элемент - кремний (27.2 весовых %). Кора также содержит

существенные количества Al, Fe, Ca, Na, K и Mg. Другие химические элементы периодической системы (которых более 90) составляют менее 1 весового % земной коры.

# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Кремнекислородный тетраэдр $\text{SiO}_4$

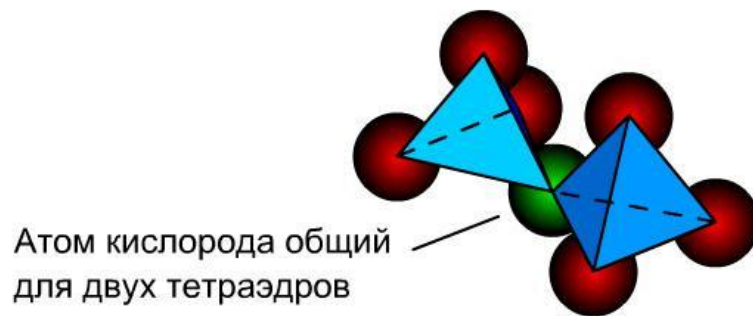


Два элемента - кислород и кремний - составляют более 70 % массы земной коры. Это предполагает, что Si и O являются важными составляющими наиболее распространенных породообразующих минералов. Кремний в природных соединениях обычно связан с 4 атомами кислорода, которые образуют кремнекислородный тетраэдр  $\text{SiO}_4$ , показанный на этом слайде. Кислород может также занимать другие структурные позиции, однако его участие в

кремнекислородных тетраэдрах  $\text{SiO}_4$  является очень важным. Кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  являются основной структуры минералов из группы силикатов (куда входят многие породообразующие минералы). Тетраэдры  $\text{SiO}_4$  могут занимать в структуре силикатов изолированное положение, или могут быть связаны с другими тетраэдрами с образованием колец, цепочек, бесконечных плоских сеток и трехмерных каркасов, состоящих из тетраэдров.

# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Образование связей между кремнекислородными тетраэдрами $\text{SiO}_4$



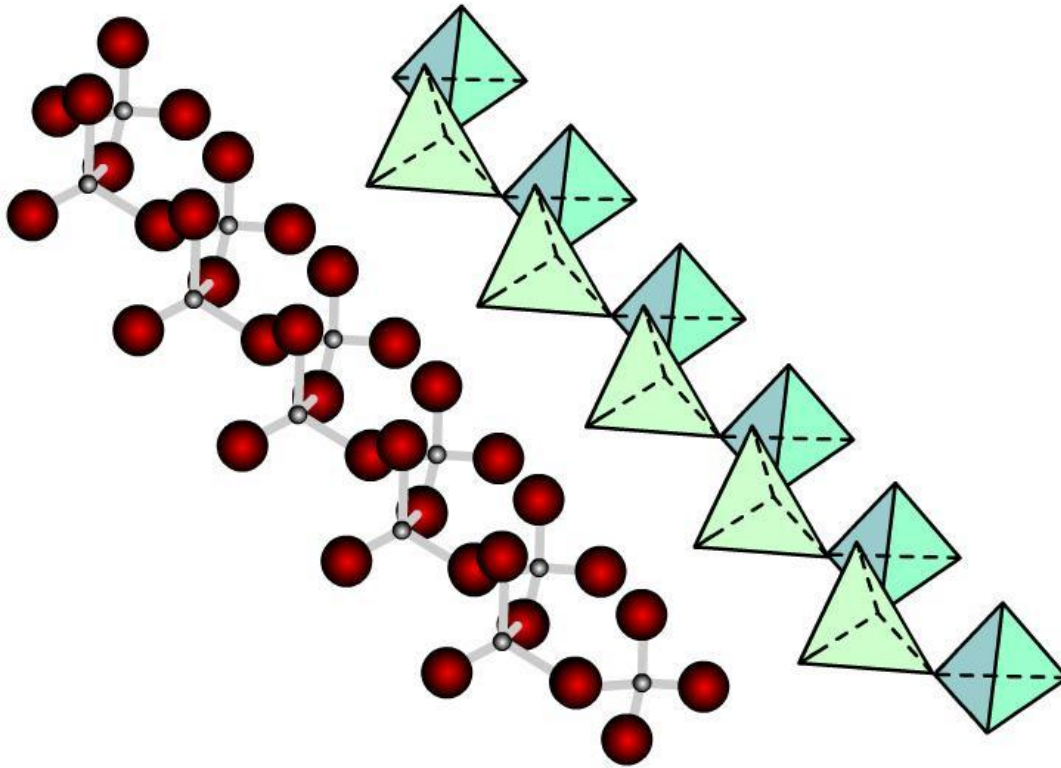
На этом слайде показано объединение двух  $\text{SiO}_4$  тетраэдров за счет общего атома кислорода. Электрически нейтральному атому кислорода нужно два электрона, чтобы заполнить внешнюю

электронную оболочку. Поэтому кислород охотно образует ковалентные связи с двумя соседними атомами кремния.



# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Цепочки кремнекислородных тетраэдров $\text{SiO}_4$



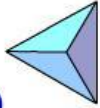
Эта анимация показывает объединение кремнекислородных тетраэдров в бесконечные цепочки двумя разными способами. Каждый

тетраэдр связан с двумя другими посредством общих атомов кислорода.

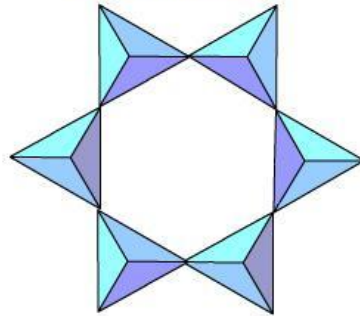
# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Островные, кольцевые и листовые силикаты

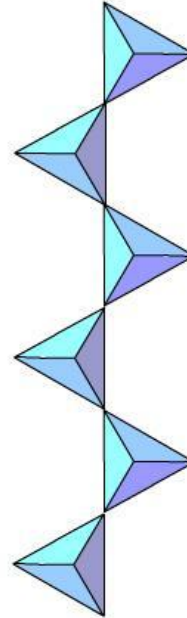
**Островные  
силикаты  
(ортосиликаты)**



**Кольцевые  
силикаты**



**Цепочечные силикаты**



В зависимости от того, как связаны между собой кремнекислородные тетраэдры, в минералах из группы силикатов и алюмосиликатов выделяются следующие структурные группы. Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры изолированы друг от друга, называются

островными силикатами или ортосиликатами. Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры образуют кольца, называются кольцевыми. Силикаты, в структуре которых кремнекислородные тетраэдры образуют цепочки, называются цепочечными.

# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Ленточные и листовые силикаты

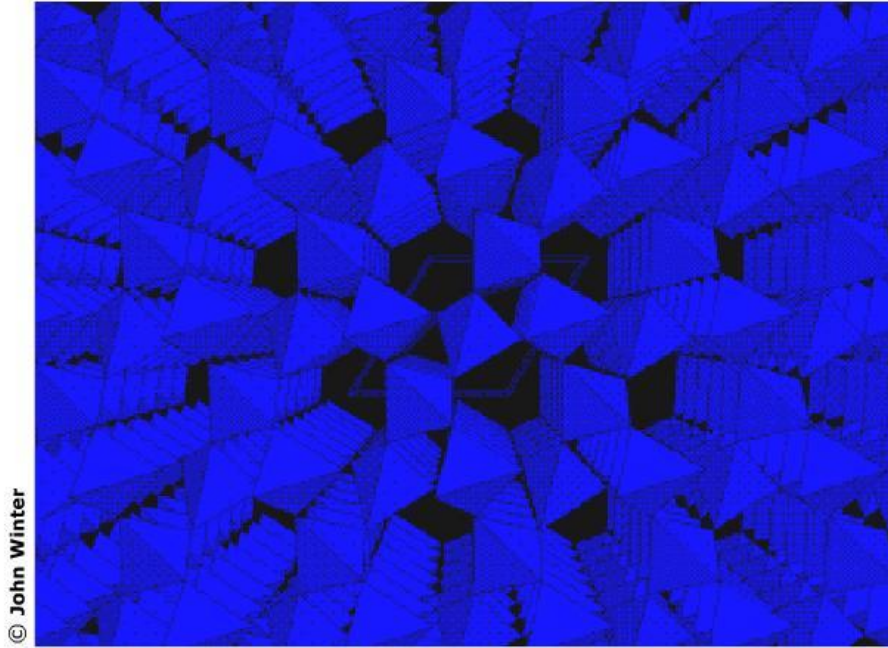


В структуре ленточных силикатов тетраэдры  $\text{SiO}_4$  образуют сдвоенные цепочки - ленты. Кремнекислородные тетраэдры могут также

образовывать бесконечные плоские сетки - такие силикаты называются листовыми или слоистыми.

# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Каркасные силикаты



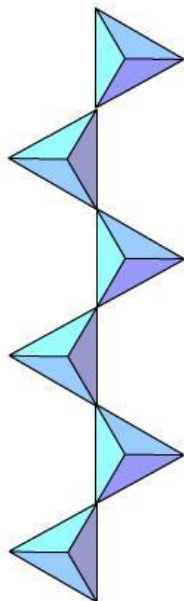
В структуре каркасных силикатов каждый тетраэдр  $\text{SiO}_4$  связан с четырьмя другими кремнекислородными тетраэдрами. В результате кремнекислородные тетраэдры образуют

бесконечный трехмерный каркас. На этом слайде показана структура кварца, в которой каждый тетраэдр связан с четырьмя другими посредством общих атомов кислорода.

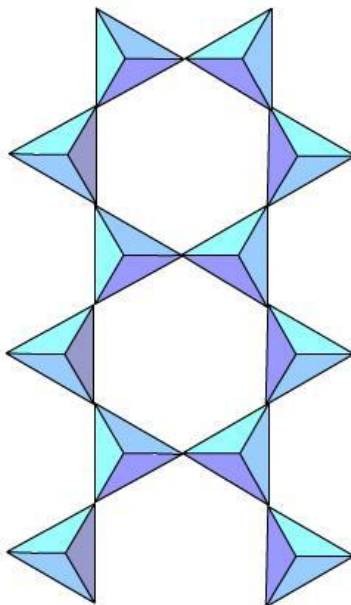
# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Отрицательный заряд цепочек кремнекислородных тетраэдров $\text{SiO}_4$

Цепочечные  
силикаты



Ленточные  
силикаты



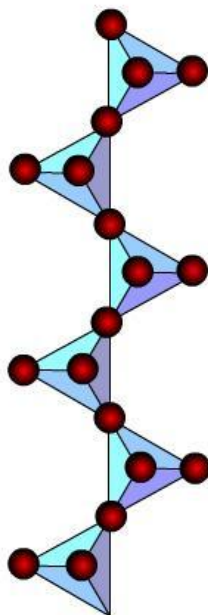
Структура силикатов построена на основе кремнекислородных тетраэдров. Однако, в структуру силикатов (за исключением кварца) входят также атомы других химических элементов. Рассмотрим более подробно структуру цепочечных и ленточных силикатов. Ион кремния четырехвалентный, положительно заряженный ( $\text{Si}^{4+}$ ). Ион кислорода двухвалентный, отрицательно заряженный ( $\text{O}^{2-}$ ). Зная это, можно

сосчитать общий заряд цепочки и ленты состоящей из кремнекислородных тетраэдров. Для этого попробуйте сосчитать количество ионов  $\text{Si}^{4+}$  и  $\text{O}^{2-}$  в структурах, показанных на этом слайде. Анимация поможет вам сосчитать ионы кислорода. Помните, что атомы кремния расположены в центре, а атомы кислорода в вершинах тетраэдров.

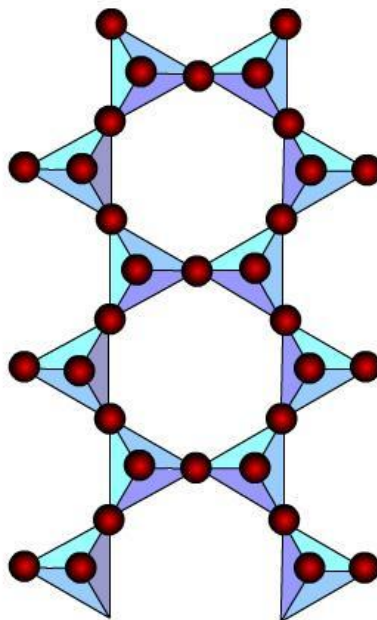
# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Отрицательный заряд цепочек кремнекислородных тетраэдров $\text{SiO}_4$

18



33



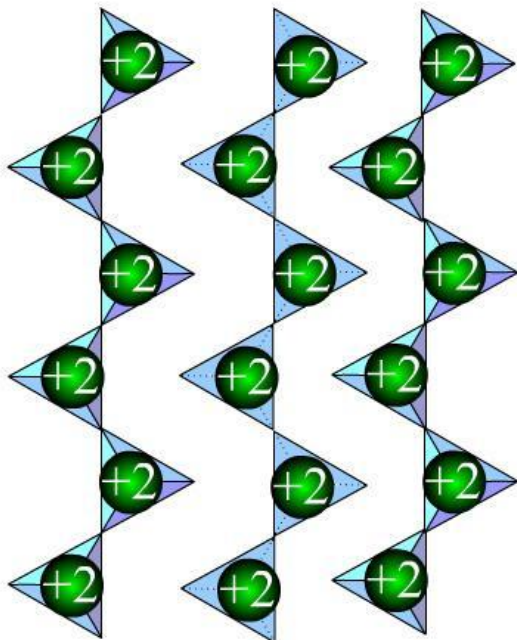
Цепочка на этом слайде содержит 18 ионов  $\text{O}^{2-}$ . Вы наверняка уже сосчитали, что она также содержит шесть ионов  $\text{Si}^{4+}$ . Таким образом, отношение  $\text{Si}:\text{O} = 1:3$ . На каждый атом кремния в этой цепочке приходится 3 атома кислорода, и ее структура может быть записана как  $(\text{SiO}_3)^{2-}$ . Лента, показанная на этом слайде, содержит 33 иона

$\text{O}$  и 12 ионов  $\text{Si}$ . Таким образом, отношение  $\text{Si}^{4+}:\text{O}^{2-} = 4:11$ . В структуре ленты на 4 атома  $\text{Si}$  приходится 11 атомов  $\text{O}$ , и ее общий заряд  $-6$ . Таким образом, и цепочки и ленты кремнекислородных тетраэдров имеют нескомпенсированный отрицательный заряд.

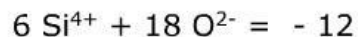
# СТРУКТУРА СИЛИКАТОВ

## Катионы в структуре силикатов

Цепочечный  
силикат



Каждая цепочка имеет отрицательный заряд:



Этот отрицательный заряд  
нейтрализуется за счет присоединения  
катионов

В результате образуются прочные ионные  
связи между отрицательно заряженными  
цепочками тетраэдров  $\text{SiO}_4^{4-}$  и  
положительно заряженными катионами.

В структуре минералов не может быть  
нескомпенсированных электрических зарядов.  
Поэтому наряду с цепочками и лентами  
тетраэдров  $\text{SiO}_4$  в структуру минералов входят  
также катионы. Катионы нейтрализуют

отрицательный заряд кремнекислородных  
тетраэдров и объединяют ленты и цепочки в  
общую структуру за счет образования прочных  
ионных связей.

# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Пироксены



© Amethyst Galleries

Авгит

Минералы из группы пироксенов являются наиболее распространенными цепочечными силикатами. Август - минерал из группы пироксенов. Пироксены обычно образуют

короткопризматические кристаллы (см. слайд).  
Формула августа:





# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Пироксены



Диопсид

Другой минерал из группы пироксенов - диопсид. Формула диопсида  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ . В структуре диопсида нет атомов железа. Поэтому диопсид имеет светлую окраску. Цвет многих минералов

зависит от присутствия железа. Богатые железом минералы имеют темную окраску, а бедные - светлую.

# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Пироксены



Геденбергит

Геденбергит, который также относится к пироксенам, темно-зеленого цвета. Темная

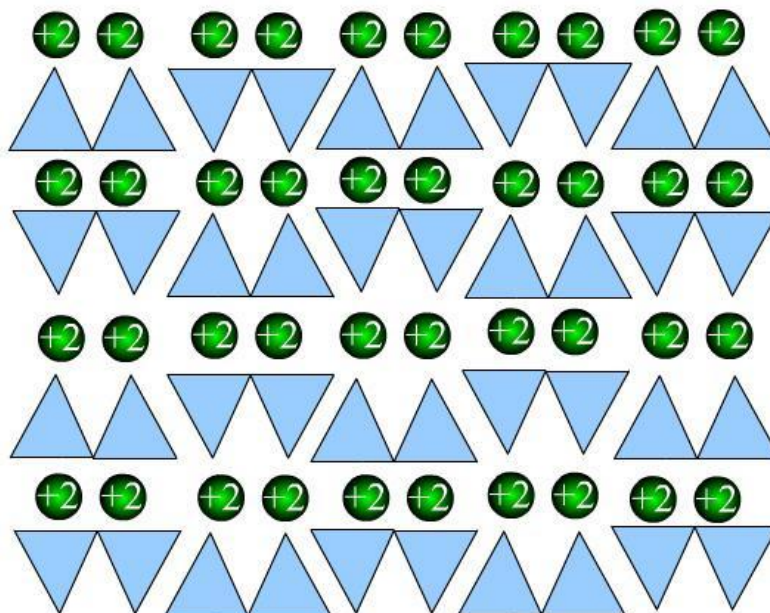
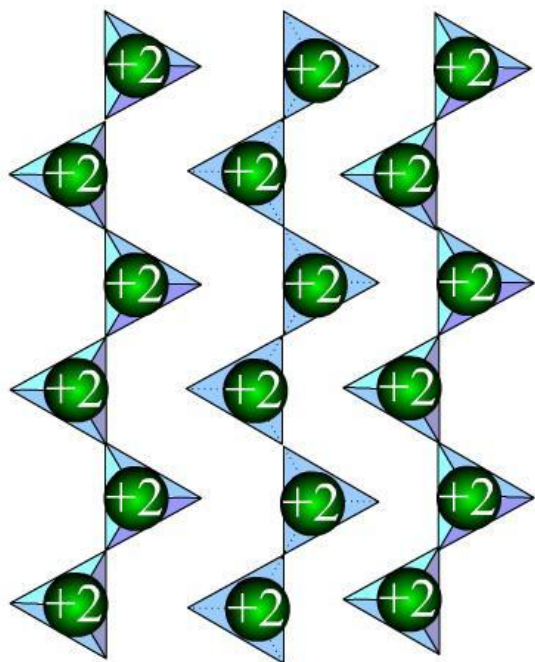
окраска определяется присутствием железа.

Формула геденбергита:



# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Структура пироксенов

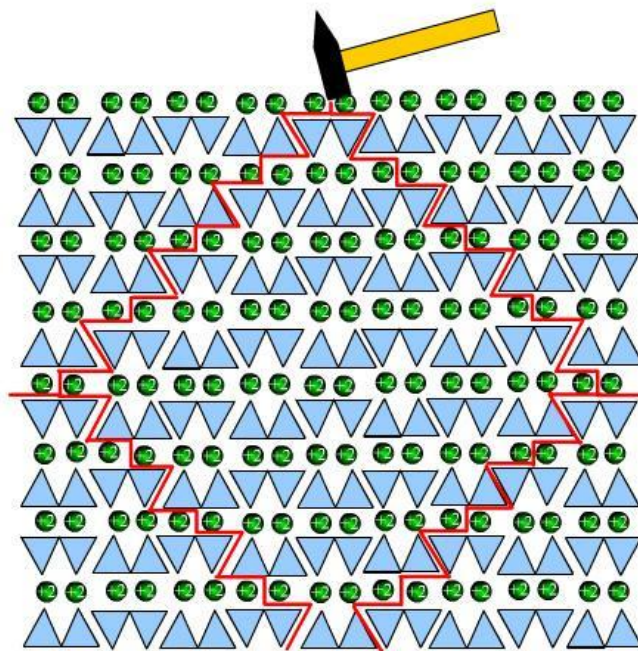


Слева на этом слайде изображена структура пироксена в разрезе, плоскость которого проходит параллельно удлинению цепочек кремнекислородных тетраэдров. Направо

изображен разрез перпендикулярно удлинению цепочек. Отрицательно заряженные цепочки связаны друг с другом за счет положительно заряженных катионов.

# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Спайность в пироксенах

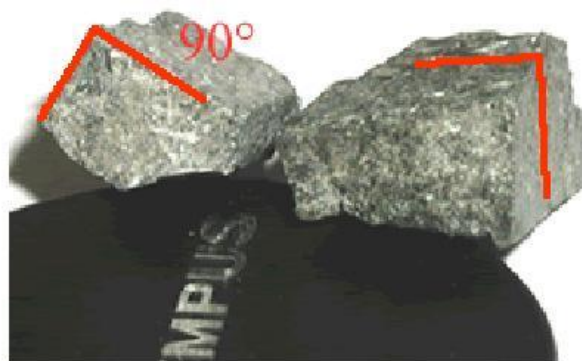


На этом слайде изображена структура пироксена в сечении перпендикулярном к удлинению цепочек  $\text{SiO}_4$ . Если кристалл пироксена деформируется (например при ударе геологическим молотком) наиболее слабые химические связи нарушаются первыми. Наиболее слабые химические связи в структуре

пироксена это ионные связи между отрицательно заряженными цепочками кремнекислородных тетраэдров и положительно заряженными катионами металлов. Поэтому при ударе кристалл пироксена раскалывается вдоль двух плоскостей параллельных удлинению цепочек  $\text{SiO}_4$ . Угол между этими плоскостями близок к  $90^\circ$ .

# ЦЕПОЧЕЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Спайность в пироксенах

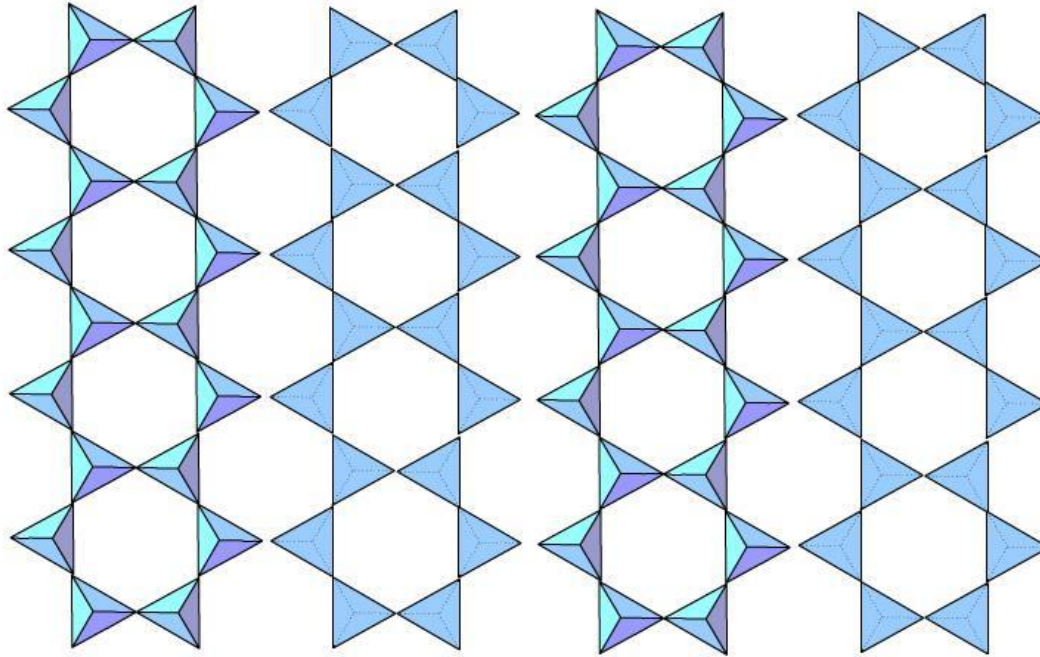


Способность кристаллов минералов раскалываться по определенным направлениям называется спайностью. Спайность это важное свойство, которое используется при определении

минералов. На этой фотографии показана спайность в двух направлениях в кристалле пироксена. Угол между плоскостями спайности близок к  $90^\circ$ .

# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Амфиболы



Минералы из группы амфиболов являются ленточными силикатами. В этой структуре соотношение  $\text{Si}^{4+}$  и  $\text{O}^{2-}$  4:11. На этом слайде

показано сечение структуры амфибола параллельное удлинению лент кремнекислородных тетраэдров.

# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Амфиболы

© Amethyst Galleries



Тремолит



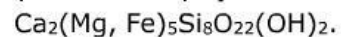
Актинолит

Тремолит и актинолит относятся к группе амфиболов. Формула тремолита:



Актинолит имеет сходную формулу, однако в его

структуре есть железо и несколько меньше магния. Поэтому актинолит имеет более темную окраску чем тремолит. Формула актинолита:



# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Амфиболы

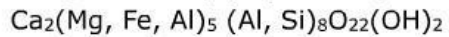


Роговая обманка



Роговая обманка и плаггиоклаз

На фотографии слева кристалл роговой обманки из группы амфиболов, формула которой :



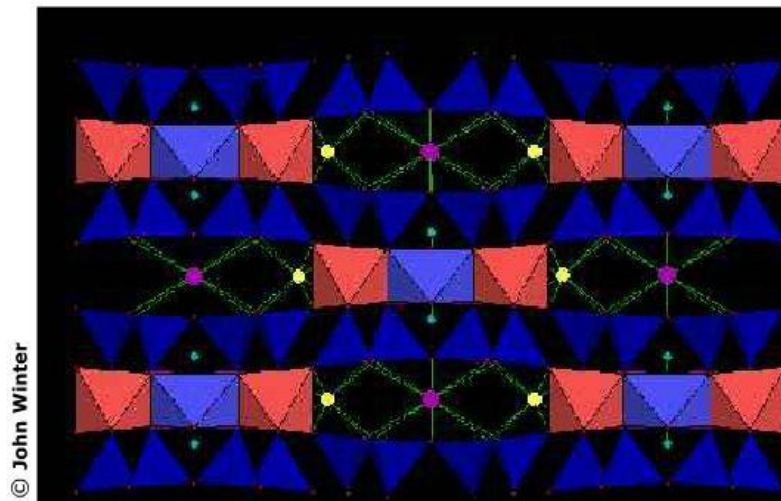
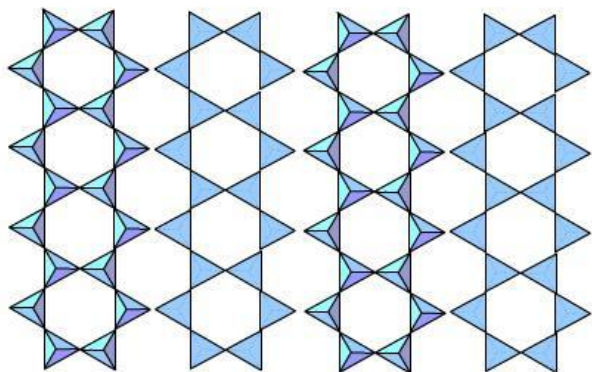
На фото справа горная порода сложенная светлыми зернами плаггиоклаза, который относится к группе полевых шпатов, и черными зернами роговой обманки. Роговая обманка, вероятно наиболее распространенный

темноцветный минерал в земной коре. В структуру амфиболов могут входить разные химические элементы, включая K, Na, Ca, Fe, Mg, Si и O. Кроме того, амфиболы содержат ионы  $\text{OH}^-$ . При нагревании кристаллы амфибола теряют воду, которая содержится в их структуре в виде ионов  $\text{OH}^-$ .



# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Структура амфиболов

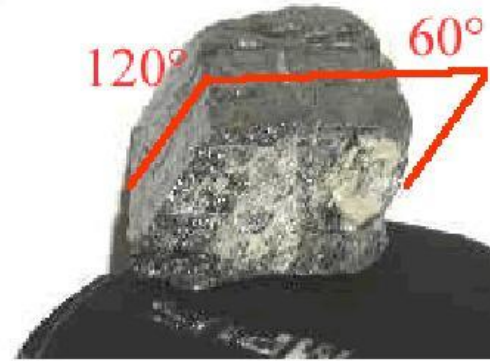
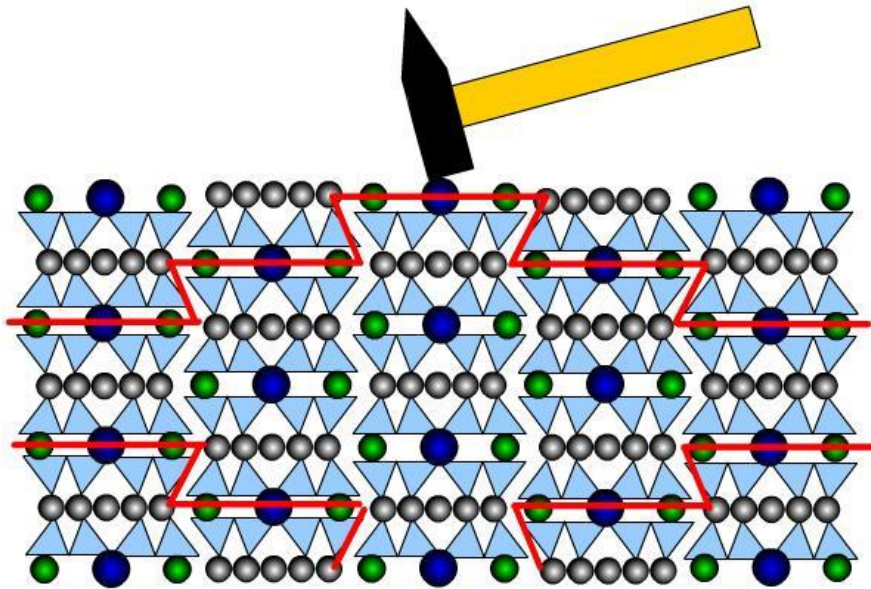


На левом рисунке разрез структуры амфибола параллельно удлинению лент кремнекислородных тетраэдров, а на правом - перпендикулярно удлинению. На правом рисунке каждая лента в разрезе состоит из 4 связанных тетраэдров  $\text{SiO}_4$  (темно синие). Катионы могут занимать различные

позиции в структуре амфиболов. Fe и Mg обычно находятся в центре синих и оранжевых октаэдров. Желтым цветом показана позиция катионов Ca, а темно красным - позиция Na и K. Бирюзовые сферы показывают структурную позицию ионов OH.

# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Спайность в амфиболах



Левый рисунок показывает разрез структуры амфибола перпендикулярно удлинению лент кремнекислородных тетраэдров. Также как и в кристалле пироксена, при деформации амфибола

наиболее слабые химические связи нарушаются первыми. Для амфиболов характерна спайность в двух направлениях. Углы между плоскостями спайности 60° и 120° (правый рисунок).

# ЛЕНТОЧНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Асбест

© Amethyst Galleries



Тремолит



Актинолит

Волокнистый амфибол один из минералов известных под названием асбест. До недавнего времени асбест широко применялся в промышленности. Сейчас применение асбеста

прекращено, так как оказалось, что асбестовая пыль представляет серьезную угрозу для здоровья.

# ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

## Слюды



Биотит



Мусковит

В структуре минералов из группы слоистых силикатов участвуют бесконечные плоские сетки тетраэдров  $\text{SiO}_4$ . Биотит и мусковит входят в группу слюд, а слюды являются одной из групп слоистых силикатов. Формула биотита

$\text{K}(\text{Mg}, \text{Fe})_3(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ , а формула мусковита  $\text{KAl}_2(\text{AlSi}_3\text{O}_{10})(\text{OH})_2$ . Обратите внимание, что содержащий железо биотит окрашен в темный цвет, а мусковит, который не содержит железа - серебристого цвета.

# ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

## Другие листовые силикаты



Тальк



Серпентин

Тальк и серпентин относятся к магниезальным листовым силикатам. Формула талька  $Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2$ , а формула серпентина :  $Mg_3Si_2O_5(OH)_4$ .

# ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

## Другие листовые силикаты

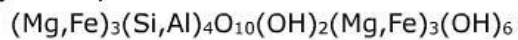


Хлорит



Минералы глин

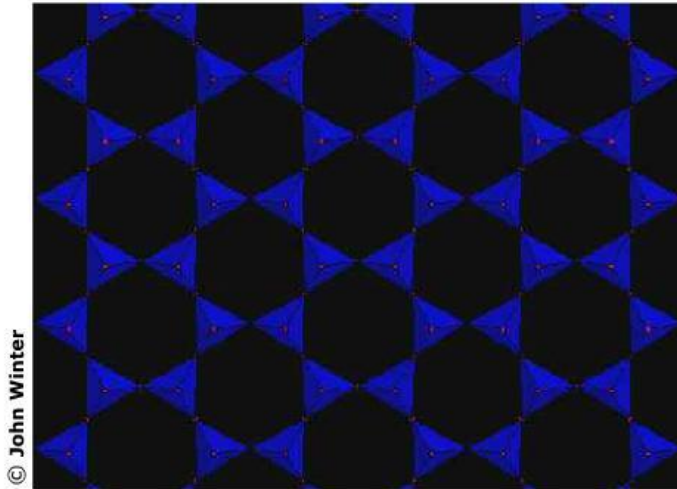
Хлорит является листовым силикатом, который содержит значительные количества Fe и Mg.  
Формула хлорита



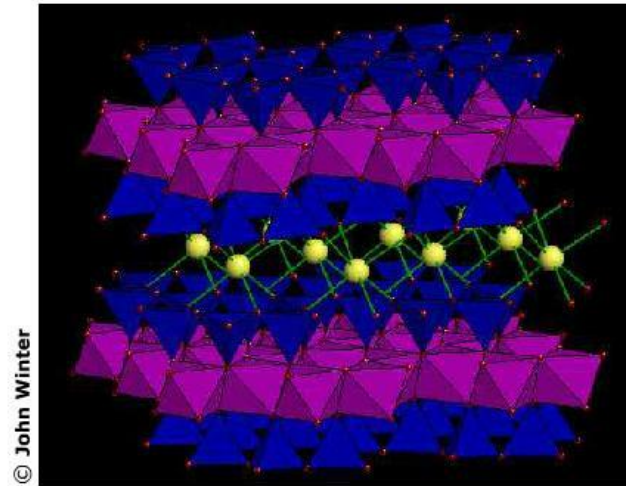
Минералы глин также относятся к слоистым силикатам.

# ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

## Структура листовых силикатов



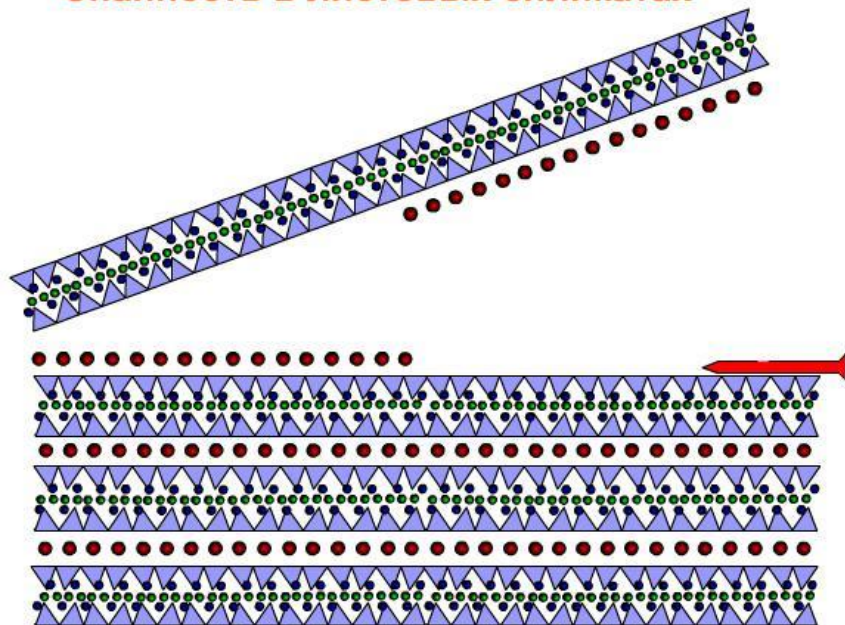
На рисунке слева изображена структура листовых силикатов. Каждый тетраэдр  $\text{SiO}_4$  связан с тремя другими тетраэдрами, которые все вместе образуют бесконечную плоскую сетку. На рисунке справа изображена структура мусковита. Ионы  $\text{Si}^{4+}$  расположены в центрах тетраэдров, показанных синим цветом, а ионы  $\text{Al}^{3+}$  в центрах октаэдров, показанных лиловым цветом. Ионы  $\text{O}^{2-}$  и  $\text{OH}^-$  расположены в вершинах тетраэдров и



октаэдров. Желтым показаны ионы  $\text{K}^+$ . Обратите внимание, что слои октаэдров расположены между двумя слоями тетраэдров. Связи между атомами в тетраэдрических и октаэдрических слоях это сильные ковалентные связи. Пакеты состоящие из 1 слоя октаэдров и 2 слоев тетраэдров связаны друг с другом посредством положительно заряженных ионов  $\text{K}^+$ . Эти ионные связи являются самыми слабыми в структуре.

# ЛИСТОВЫЕ СИЛИКАТЫ

## Спайность в листовых силикатах



На левом рисунке показана структура мусковита в разрезе. Разрез проходит перпендикулярно удлинению плоских сеток кремнекислородных тетраэдров. Химические связи между отдельными пакетами плоских сеток кремнекислородных

тетраэдров довольно слабые, при деформации кристалла мусковита они легко разрушаются. Поэтому кристалл мусковита можно легко расщепить на тонкие пластинки с помощью ножа (правый рисунок).



# ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Гроссуляр и циркон

© Amethyst Galleries



Гроссуляр

© Amethyst Galleries



Циркон

К островным или ортосиликатам относятся несколько минералов и минеральных групп. В структуре островных силикатов кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  изолированы

друг от друга. На этих фотографиях показаны минералы гроссуляр  $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{SiO}_4)_3$ , который относится к группе гранатов, и циркон  $\text{ZrSiO}_4$ .

# ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Оливин и кианит

© Amethyst Galleries



Оливин

© Amethyst Galleries

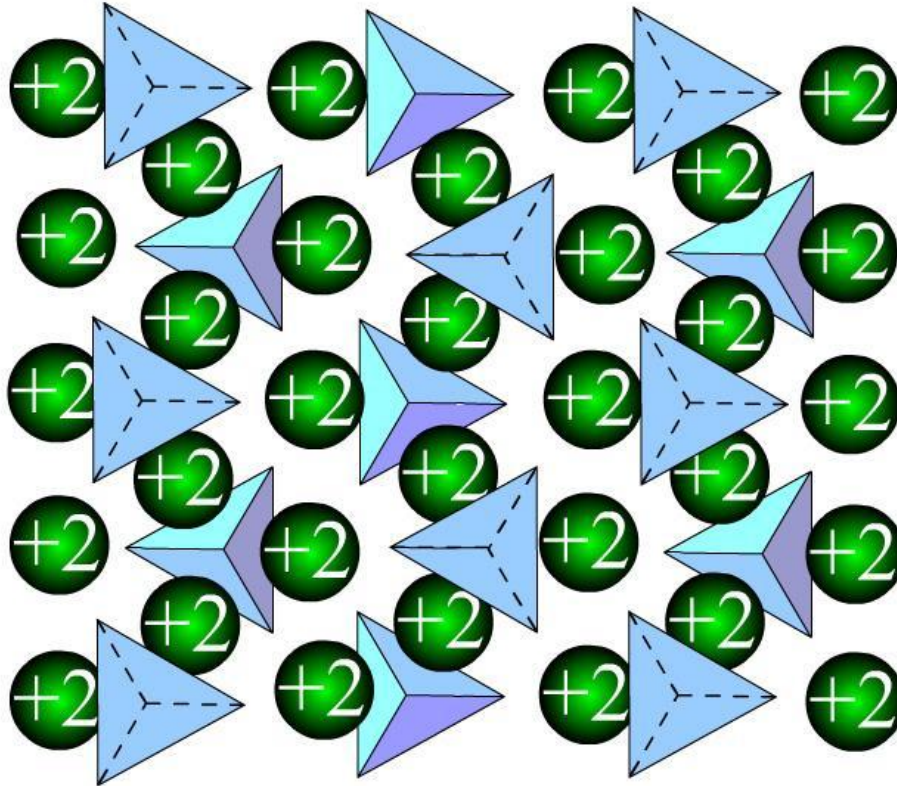


Кианит

Оливин и кианит также относятся к ортосиликатам. Формула оливина  $(Mg,Fe)_2SiO_4$ , а формула кианита  $Al_2SiO_5$ .

# ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Структура оливина

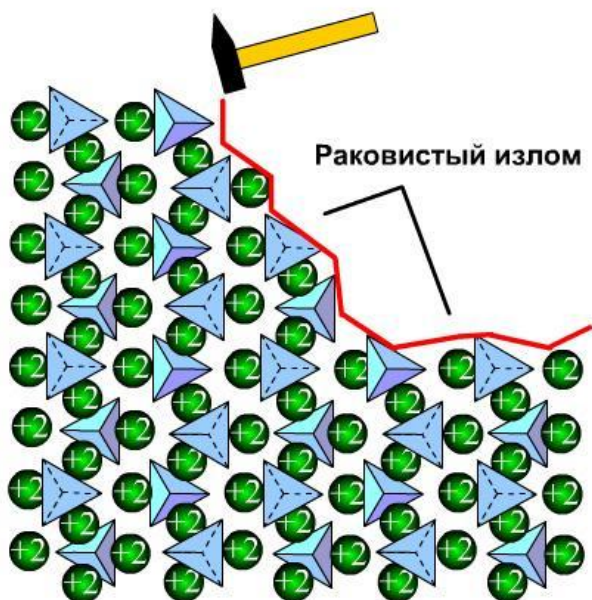


В структуре островных силикатов кремнекислородные тетраэдры SiO<sub>4</sub> изолированы друг от друга. Формула оливина, который относится к островным силикатам (Mg,Fe)<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>. Чтобы нейтрализовать отрицательные заряды

кремнекислородных тетраэдров SiO<sub>4</sub> (каждый из которых имеет заряд 4-), в структуре оливина на каждый кремнекислородный тетраэдр приходится два иона Mg<sup>2+</sup> или Fe<sup>2+</sup>.

# ОСТРОВНЫЕ СИЛИКАТЫ

## Излом оливина



Раковистый излом обсидиана  
(вулканическое стекло)

В структуре оливина между ионами  $Mg^{2+}$  и  $Fe^{2+}$  и кремнекислородными тетраэдрами возникают ионные связи. Эти связи характеризуются одинаковой прочностью во всех направлениях, то есть в структуре оливина отсутствуют такие плоскости, в пределах которых связи были бы менее прочными. Если кристалл оливина расколоть

геологическим молотком, то поверхность раскола будет иметь случайную (незакономерную) форму. Излом оливина напоминает излом стекла или керамики. Такой тип излома называется раковистым. На фотографии справа изображен раковистый излом вулканического стекла.

# КВАРЦ

## Кварц

© Amethyst Galleries



Горный хрусталь

Кварц часто формирует прекрасно огранные псевдогексагональные кристаллы. Чистый кварц ( $\text{SiO}_2$ ) это бесцветный и прозрачный минерал. Кристаллы такого кварца (левое фото) часто

© Amethyst Galleries



Цитрин

называются горный хрусталь. Малые количества примесей могут придавать кварцу различную окраску. Желтый цвет цитрина (правое фото) обусловлен незначительной примесью железа.

# КВАРЦ

## Кварц

© Amethyst Galleries



Аметист

© Amethyst Galleries



Розовый кварц

Фиолетовая окраска аметиста обусловлена незначительной примесью железа. Розовый кварц содержит примесь титана.

# КВАРЦ

## Кварц

© Amethyst Galleries



Дымчатый кварц

Темная окраска дымчатого кварца (левое фото) обусловлена либо примесью алюминия, либо небольшими дефектами структуры. Серый или молочно белый кварц (правое фото), который является наиболее распространенной

© Amethyst Galleries



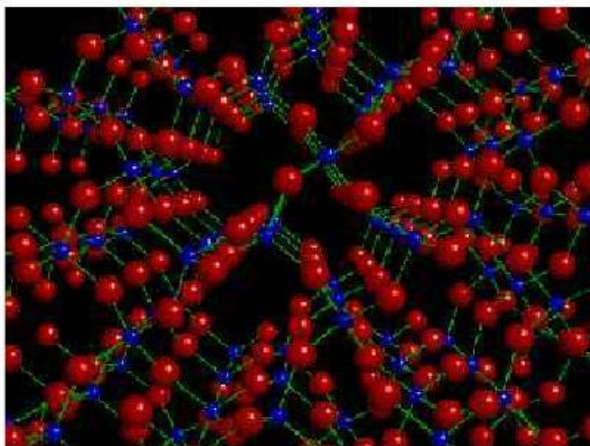
Серый кварц

разновидностью кварца, является полупрозрачным и окрашен в белый или серый цвет благодаря большому количеству флюидных включений (небольших полостей заполненных жидкостью или газами).

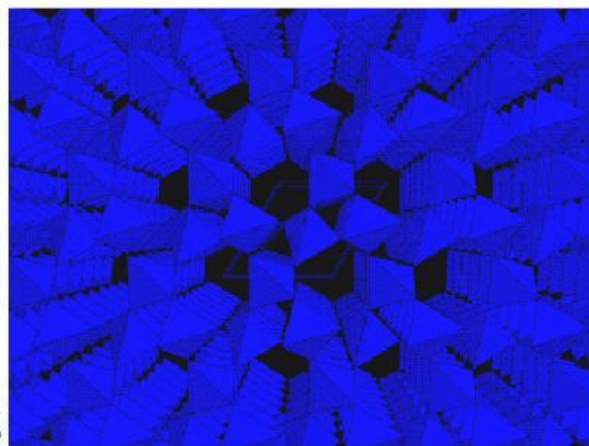
# КВАРЦ

## Кварц

© John Winter



© John Winter



На этих рисунках показаны разные варианты изображения структуры кварца. На левом рисунке ионы Si<sup>4+</sup> показаны маленькими голубыми сферами, а ионы O<sup>2-</sup> показаны более крупными красными сферами. Обратите внимание, что каждый ион Si<sup>4+</sup> связан с четырьмя ионами O<sup>2-</sup>, а каждый ион O<sup>2-</sup> связан с двумя ионами Si<sup>4+</sup>. На правом рисунке структура кварца показана посредством кремнекислородных тетраэдров SiO<sub>4</sub>

(показаны синим цветом). Ионы O<sup>2-</sup> расположены в вершинах тетраэдров, а ионы Si<sup>4+</sup> в центрах тетраэдров. На рисунке сверху показано, что структура кварца определяется трехмерным каркасом кремнекислородных тетраэдров SiO<sub>4</sub>. Отношение Si:O в этой структуре 1:2, поэтому формула кварца SiO<sub>2</sub>. Кварц относится к группе окислов, но по своей структуре он близок к минералам из группы силикатов.



# КВАРЦ

## Излом кварца



Раковистый излом розового кварца

В структуре кварца кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  связаны друг с другом прочными ковалентными связями и образуют бесконечный трехмерный каркас. Химические связи в структуре кварца являются одинаково прочными во всех направлениях. Поэтому у кварца нет спайности.

При ударе кварц раскалывается по случайным направлениям без какой-либо закономерности. Поверхность излома кварца напоминает излом стекла. Такой тип излома называется раковистым изломом.

# ПОЛЕВОЙ ШПАТ

## Щелочной полевой шпат



Альбит



© Amethyst Galleries

Микроклин

Формула альбита  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , а формула микроклина  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ . Полевые шпаты, которые образуют серию промежуточных составов (изоморфный ряд) между альбитом и

микромлином, называются щелочными полевыми шпатами. Состав щелочных полевых шпатов можно выразить формулой:  $(\text{K},\text{Na})\text{AlSi}_3\text{O}_8$ .

# ПОЛЕВОЙ ШПАТ

## Плагиоклазы



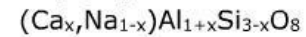
Альбит



Анортит

Формула альбита  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ , а формула анортита  $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ . Полевые шпаты, которые образуют серию промежуточных составов (изоморфный ряд) между чистым альбитом и чистым анортитом,

называются плагиоклазы. Состав плагиоклазов можно выразить формулой:



# ПОЛЕВОЙ ШПАТ

## Амазонит

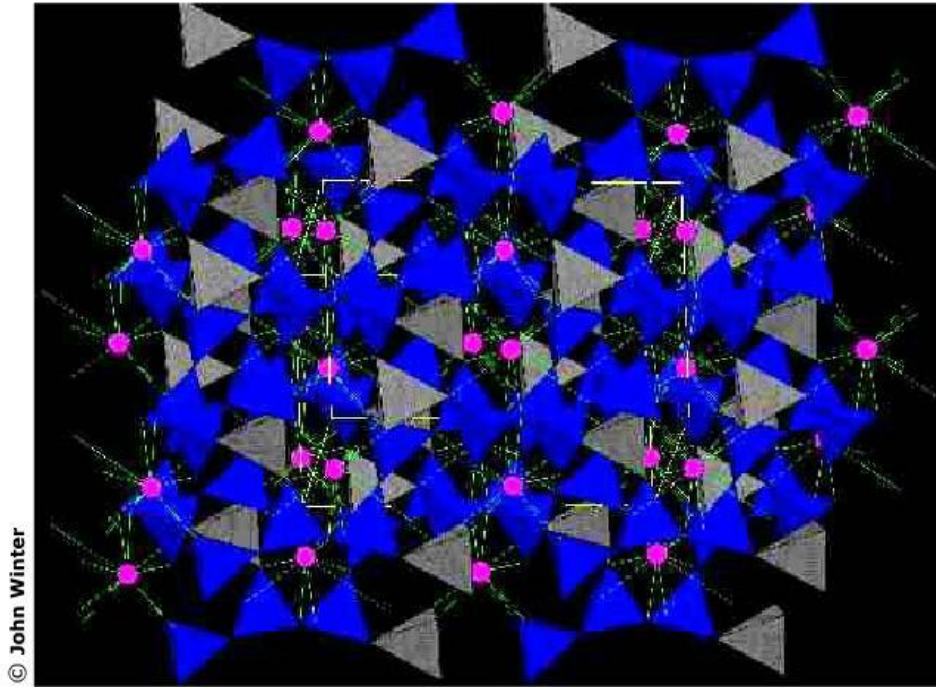


Амазонит

Амазонит это разновидность микроклина, окрашенная в зеленый цвет. Зеленоватая окраска амазонита обусловлена микропримесью свинца (Pb).

# ПОЛЕВОЙ ШПАТ

## Структура полевых шпатов



На этом рисунке показана структура альбита. Минералы из группы полевых шпатов относятся к каркасным силикатам, в их структуре кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  (показаны синим) образуют бесконечный трехмерный каркас. В структуре кварца участвуют только тетраэдры

$\text{SiO}_4$ . В альбите каждый четвертый ион  $\text{Si}^{4+}$  замещен ионом  $\text{Al}^{3+}$  с образованием тетраэдров  $\text{AlO}_4$  (показаны серым). Кроме того, в структуру альбита входят ионы  $\text{Na}$  (розовые). Формула альбита  $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ .

# ПОЛЕВОЙ ШПАТ

## Спайность в полевых шпатах



Анортит

В полевых условиях часто бывает трудно отличить кварц от полевого шпата. Определить является ли минерал кварцем или полевым шпатом можно по наличию или отсутствию у него

спайности. У полевых шпатов есть ясная спайность по двум направлениям, тогда как для кварца характерен раковистый излом.

# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Карбонаты



Карбонат-ион  $(\text{CO}_3)^{2-}$

Земная кора в основном сложена минералами из группы силикатов, структура которых построена на основе кремнекислородных тетраэдров  $\text{SiO}_4^{4-}$ . Однако структуры других минералов построены

на основе других соединений атомов. Карбонат-ион  $[(\text{CO}_3)^{2-}]$  является основой структуры минералов из группы карбонатов.

# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Карбонаты



Кальцит

Кальцит ( $\text{CaCO}_3$ ) является наиболее распространенным минералом из группы карбонатов в земной коре. Родохрозит ( $\text{MnCO}_3$ )

© Amethyst Galleries



Родохрозит (с небольшими кристаллами кварца)

встречается относительно редко. Красноватая окраска родохрозита характерна для многих минералов марганца.



# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Оксиды



© Amethyst Galleries

Корунд



© Amethyst Galleries

Шпинель



© Amethyst Galleries

Рутил



© Amethyst Galleries

Магнетит

Минералы из группы оксидов состоят из одного или нескольких ионов металлов, которые связаны с кислородом. На этих фотографиях показаны корунд ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), шпинель ( $\text{MgAl}_2\text{O}_4$ ), рутил ( $\text{TiO}_2$ ) и магнетит ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ). Чистые прозрачные кристаллы

корунда и шпинели являются драгоценными камнями. Рутил и магнетит используются, так как они содержат полезные компоненты - титан и железо, соответственно.

# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Сульфиды

© Amethyst Galleries



Стибнит

© Amethyst Galleries



Галенит

Сульфиды состоят из ионов металлов, которые связаны с серой. На фотографии показаны стибнит ( $Sb_2S_3$ ) и галенит ( $PbS_2$ ). Минералы из

группы сульфидов являются важными для промышленности. Многие металлы получают из сульфидных руд.

# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Сульфаты



© Amethyst Galleries

Барит



© Amethyst Galleries

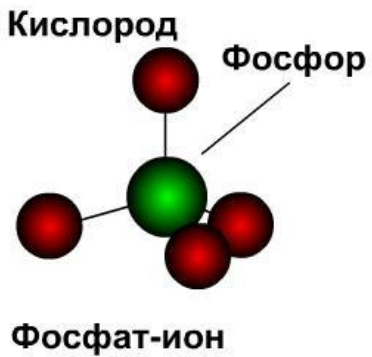
Ангидрит

Основной структуры сульфатов является сульфат-ион ( $\text{SO}_4^{2-}$ ). Барит и ангидрит - минералы из

группы сульфатов. Формула барита  $\text{BaSO}_4$ , а формула ангидрита  $\text{CaSO}_4$ .

# ДРУГИЕ МИНЕРАЛЬНЫЕ ГРУППЫ

## Фосфаты



Апатит



Бирюза

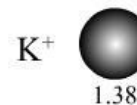
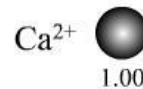
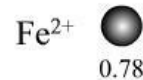
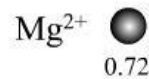
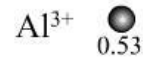
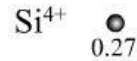
Основой структуры фосфатов является фосфат-ион ( $\text{PO}_4^{3-}$ ). Апатит  $[\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3]$  является наиболее распространенным минералом из группы фосфатов в земной коре. Зубы человека и

многих животных состоят из микроскопических кристаллов апатита. Бирюза  $[\text{CuAl}_6(\text{PO}_4)_4(\text{OH})_8 \cdot 5(\text{H}_2\text{O})]$  это относительно редкий минерал из группы фосфатов.

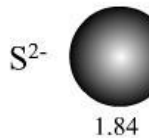
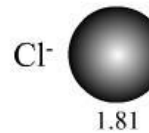
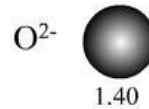
# ИЗОМОРФИЗМ

## Изоморфизм

### Катионы



### Анионы



На этом рисунке показаны размеры ионов, которые слагают наиболее распространенные породообразующие минералы. Цифрами обозначен радиус ионов в Ангстрёмах (1 Ангстрём = 0.00000001 см). Ионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  имеют одинаковый заряд. Кроме того, их ионные радиусы также близки. Благодаря этому сходству,  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  сходным образом участвуют в геохимических процессах. Если какой-либо минерал содержит  $\text{Fe}^{2+}$ , в его структуре с большой вероятностью будет участвовать также некоторое

количество ионов  $\text{Mg}^{2+}$ . Оба иона занимают одинаковые позиции в структуре минералов. В минералогии принято говорить, что эти ионы могут замещать друг друга. Замещение одних атомов или их соединений в структуре минералов другими называется изоморфизмом. Таблица также показывает, что Na и K имеют одинаковый заряд и относительно близкие ионные радиусы. Na и K также могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов.

# ИЗОМОРФИЗМ

## Изоморфизм

© Amethyst Galleries



Тремолит ( $\text{Ca}_2\text{Mg}_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ )



Актинолит ( $\text{Ca}_2(\text{Mg}, \text{Fe})_5\text{Si}_8\text{O}_{22}(\text{OH})_2$ )

Ионы  $\text{Fe}^{2+}$  и  $\text{Mg}^{2+}$  имеют одинаковый заряд и близкие размеры, поэтому они могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов. Тремолит, в котором почти нет железа, образуется в бедных железом породах. Если кристалл тремолита взаимодействует с богатым

железом флюидом, содержание железа в тремолите может увеличиваться. В ходе этого процесса происходит изоморфное замещение атомов магния атомами железа, и тремолит превращается в актинолит.

# ИЗОМОРФИЗМ

## Изоморфизм



Альбит ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ )



© Amethyst Galleries

Микроклин ( $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ )

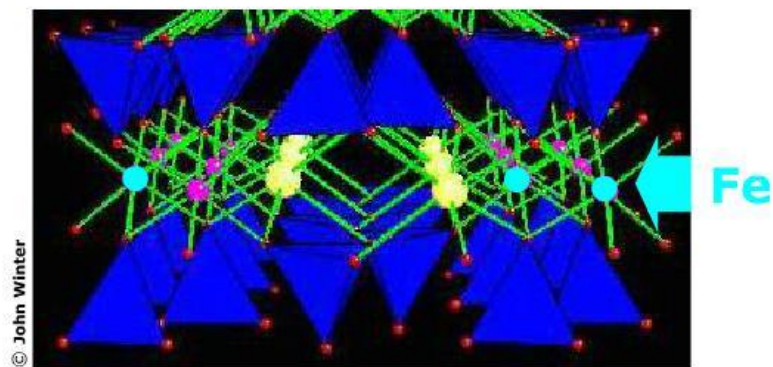
$\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  имеют одинаковый заряд (+1) и относительно крупные размеры.  $\text{Na}^+$  и  $\text{K}^+$  могут замещать друг друга в структуре некоторых минералов. Формула полевого шпата микроклина  $\text{KAlSi}_3\text{O}_8$ . Если кристаллизация микроклина

происходила в присутствии богатого натрием флюида, часть ионов  $\text{K}^+$  в структуре этого минерала могла замещаться ионами  $\text{Na}^+$ . Чисто натровая разновидность щелочного полевого шпата называется альбитом ( $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$ ).

# ИЗОМОРФИЗМ

## Изоморфизм

Mg



На этом рисунке показана модель структуры минерала диопсида  $\text{CaMgSi}_2\text{O}_6$ , который относится к группе пироксенов. Кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  показаны на этом рисунке синим цветом, ионы  $\text{Ca}^{2+}$  желтым, а

ионы  $\text{Fe}^{2+}$  темно-красным. Анимация показывает, как три иона  $\text{Mg}^{2+}$  замещаются ионами  $\text{Fe}^{2+}$  (голубые). В результате содержание Fe в минерале увеличивается.



# МИНЕРАЛОВ

## Физические свойства минералов

© Amethyst Galleries



© Amethyst Galleries



© Amethyst Galleries



В настоящее время известно около 3500 различных минералов, которые встречаются в природе. Как же отличить один минерал от другого? Диагностика минералов основана на их физических свойствах. Физические свойства минералов включают их окраску, спайность (или ее отсутствие), твердость, плотность, блеск, цвет

черты, магнитность, облик (или габитус) кристаллов и в некоторых случаях вкус и запах. Физические свойства минерала определяются: 1) химическим составом минерала, то есть тем какие химические элементы входят в его структуру и 2) типом химических связей в структуре минерала.

# МИНЕРАЛОВ

## Спайность



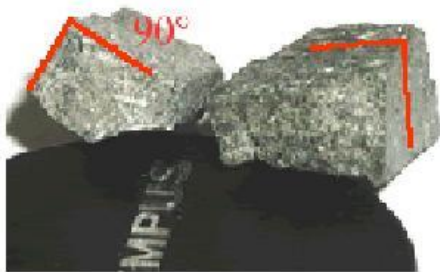
Мусковит

Спайность это свойство минералов раскалываться по определенным направлениям. Эти направления совпадают с зонами наиболее слабых химических связей в структуре минералов. Выколки по спайности образуют более или менее гладкие поверхности. У мусковита, который

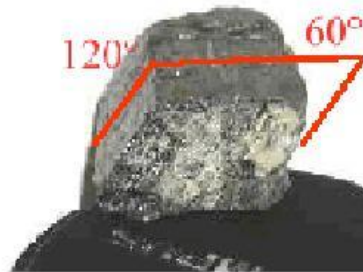
относится группе слюд, весьма совершенная спайность в одном направлении. Относительно более слабые химические связи между пакетами бесконечных плоских сеток кремнекислородных тетраэдров с легкостью разрушаются при ударе или деформации.

# КРИСТАЛЛИЧЕСКОЕ СТРОЕНИЕ МИНЕРАЛОВ

## Спайность



Пироксен



Амфибол

Как пироксен (слева), так и амфибол (справа) имеют спайность в двух направлениях. Угол между двумя плоскостями спайности у пироксенов близок к  $90^\circ$ . У амфиболов углы между двумя плоскостями спайности составляют  $60^\circ$  и  $120^\circ$ .

Разные углы между двумя плоскостями спайности являются важной диагностической характеристикой, помогающей отличать пироксены от амфиболов.

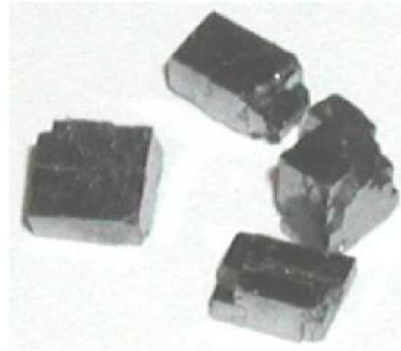
# МИНЕРАЛОВ

## Спайность



Кальцит

У кальцита ( $\text{CaCO}_3$ ) спайность по трем направлениям. Если расколоть кристалл кальцита, образуются спайные выколки по форме соответствующие ромбоздру (левая верхняя



Галенит

фотография). У галенита ( $\text{PbS}$ ) спайность также по трем направлениям. Если расколоть кристалл кальцита, образуются спайные выколки по форме соответствующие почти идеальным кубам.

# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

## Излом



Розовый кварц

В структуре кварца кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$  связаны друг с другом прочными ковалентными связями и образуют бесконечный трехмерный каркас. Химические связи в структуре кварца являются одинаково прочными во всех направлениях. Поэтому у кварца нет спайности.

При ударе кварц раскалывается по случайным направлениям без какой-либо закономерности. Поверхность излома кварца напоминает излом стекла. Такой тип излома называется раковистым изломом.

# МИНЕРАЛОВ

## Твердость по шкале Мооса

**10. Алмаз.** Это самый твердый из известных минералов. Алмаз состоит из атомов углерода, которые связаны прочными ковалентными связями и образуют трехмерную структуру.



**9. Корунд.** Формула корунда  $Al_2O_3$ . Высокая твердость корунда определяет его применение в качестве абразивного материала. Прозрачные кристаллы корунда являются драгоценными камнями.



**8. Топаз.** Формула топаза  $Al_2SiO_4(F,OH)_2$ . В полевых условиях топаз можно спутать с кварцем. Однако, топаз значительно тверже кварца. Кристалл топаза оставляет царапину на кристалле кварца. Благодаря высокой твердости прозрачные кристаллы топаза являются драгоценными камнями.



**7. Кварц.** Кварц это твердый минерал. Он оставляет отчетливые царапины на стекле и стальном лезвии ножа.



**6. Полевой шпат.** Полевой шпат также тверже стекла и стали.



Твердость стекла примерно 5,5. Твердость стали такая же или чуть выше.



Важным диагностическим признаком минералов является их твердость. Твердость минерала зависит от типа химических связей между атомами в структуре минерала. Шкала Мооса включает 10 минералов, которым присвоена твердость от 1 до 10. Минерал с твердостью один является самым мягким, а минерал с твердостью

10 - самым твердым. Шкала Мооса это относительная шкала. Твердость минералов по абсолютной шкале определяется с помощью специальных приборов микротвердометров. Твердость стекла 5,5. На этом слайде показаны минералы из шкалы Мооса с твердостью выше пяти.

# МИНЕРАЛОВ

## Твердость по шкале Мооса

**5. Апатит.** Формула апатита  $\text{Ca}_5(\text{PO}_4)_3(\text{OH}, \text{F}, \text{Cl})$ . Зубы человека и некоторых животных состоят из микроскопических кристаллов апатита.

**4. Флюорит.** Формула флюорита  $\text{CaF}_2$ . Медная монета, которая имеет твердость 3,5, будет оставлять царапину на кристаллах кальцита, но не будет царапать флюорит.

**3. Кальцит.** Формула кальцита  $\text{CaCO}_3$ . Мелкие зерна кальцита в горных породах иногда можно спутать с кварцем. Чтобы избежать ошибки достаточно поцарапать неизвестное зерно острием ножа. Если нож с легкостью царапает данное зерно, то это скорее всего кальцит.

Твердость ногтя 2-2,5 и зависит от профессии конкретного человека. Ноготь будет оставлять отчетливые царапины на всех минералах с твердостью ниже 2.

**2. Гипс.** Формула гипса  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ .

**1. Тальк.** Формула талька  $\text{Mg}_3\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2$ . Тальк один из самых мягких минералов. Тальк относится к слоистым силикатам. Пакеты плоских сеток кремнекислородных тетраэдров связаны в структуре талька очень слабыми Ван-дер-Ваальсовыми связями.

Справа перечислены минералы с твердостью от 1 до 5 по шкале Мооса.



# МИНЕРАЛОВ

## Цвет

© Amethyst Galleries



Тремолит



Актинолит

Окраска минералов определяется, в частности, их химическим составом. Разница в окраске тремолита и актинолита связана с наличием или отсутствием железа в составе минерала. Железо

и элементы из группы железа являются хромофорами и окрашивают минералы в темный цвет.



# МИНЕРАЛОВ

## Цвет



Амазонит



© Amethyst Galleries

Микроклин

Зеленый цвет амазонита (левая фотография) связан с микропримесями свинца (Pb) в составе минерала. За исключением микропримеси свинца,

амазонит идентичен по составу и структуре с микроклином (правая фотография). Оба минерала относятся к группе щелочных полевых шпатов.

# МИНЕРАЛОВ

## Цвет черты



Графит

Гематит

Цвет минерала в порошке часто отличается от его цвета в образце и является важным диагностическим признаком. Для определения цвета минерала в порошке минералогии используют шероховатую фаянсовую пластинку. Черта, которую оставляют минералы на этой пластинке, соответствует цвету минерала в порошке. Поскольку твердость фаянсовой

пластинки примерно 6-6,5, минералы с твердостью больше 6 не будут оставлять черту, а будут царапать пластинку. Графит (наверху слева) и гематит (наверху справа) имеют сходную сероватую окраску, но могут быть легко идентифицированы по цвету черты. Графит оставляет черную черту, а цвет черты гематита - вишневый.

# МИНЕРАЛОВ

## Габитус кристаллов



© Amethyst Galleries

Сколецит (гр. Цеолитов)



© Amethyst Galleries

Авгит (гр. Пироксенов)



© Amethyst Galleries

Оливин

Облик кристаллов минералов называется габитусом кристаллов. Габитус кристаллов определяется внутренней структурой минерала. Габитус кристаллов является важным

диагностическим признаком многих минералов. Разные минералы образуют волокнистые, игольчатые, призматические, пластинчатые и другие формы кристаллов.

# МИНЕРАЛОВ

## Магнитность



Магнетитовая руда из месторождения Бьорневатн, Финнмарк.

Магнетит обладает магнитными свойствами. Большинство железо-содержащих минералов обладают слабыми магнитными свойствами, однако лишь немногие минералы являются сильными природными магнитами как магнетит.

Магнитные свойства минералов используются при поисках и обогащении руд. Рудные минералы отделяются от пустой породы с помощью больших электромагнитных сепараторов.

# ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МИНЕРАЛОВ

## Растворимость



Реакция кальцита с разбавленной соляной кислотой

Некоторые минералы реагируют с кислотами. Надежный метод идентификации кальцита является его реакция с соляной кислотой. Если на поверхность кальцита поместить каплю разбавленной соляной кислоты, начинается

бурная реакция с вскипанием, то есть выделением пузырьков  $\text{CO}_2$ . Уравнение реакции  $\text{CaCO}_3 + 2\text{HCl} = \text{CaCl}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2$ . Происходит нейтрализация кислоты за счет разложения кальцита.

# МИНЕРАЛОВ

## Плотность

© Amethyst Galleries



Алмаз

© Amethyst Galleries



Графит

Плотность минералов определяется 1) атомным весом химических элементов, из которых состоит минерал и 2) плотностью упаковки атомов в кристаллической решетке минерала. Алмаз и графит имеют одинаковый состав и состоят из

атомов углерода. Однако в структуре алмаза атомы углерода упакованы гораздо более плотно, чем в структуре графита. Поэтому плотность алмаза ( $3.5 \text{ г/см}^3$ ) гораздо выше плотности графита ( $2.1 \text{ г/см}^3$ ).

# МИНЕРАЛОВ

## Плотность

© Amethyst Galleries



Барит

© Amethyst Galleries



Ангидрит

Барит и ангидрит относятся к группе сульфатов. Формула барита  $BaSO_4$ , а формула кальцита  $CaSO_4$ . Молярный вес бария (Ba) 137 г/моль, а молярный вес кальция (Ca) только 40 г/моль.

Существенно различный молярный вес является причиной различной плотности этих минералов. Плотность барита  $4.5 \text{ г/см}^3$ , а плотность ангидрита  $2.9\text{-}3.0 \text{ г/см}^3$ .

# МИНЕРАЛЫ ПОД МИКРОСКОПОМ

## Поляризационный микроскоп



Для изучения минерального состава горных пород под микроскопом применяют тонкие срезы горных пород, которые наклеивают на стеклянную пластинку. Эти препараты называются петрографическими шлифами. В минералогии обычно применяется микроскоп с поляризатором света. Источник света в этом микроскопе расположен под предметным столиком, на котором укреплен шлиф горной породы. Прежде чем пройти через шлиф, свет проходит через поляризатор, установленный ниже предметного столика. Поляризатор пропускает световые волны с колебаниями в одной определенной плоскости.

Над предметным столиком находится еще один поляризатор (так называемый анализатор), который пропускает световые волны с колебаниями в плоскости перпендикулярной плоскости нижнего поляризатора. Анализатор установлен таким образом, что его можно включать и выключать при необходимости. Когда анализатор выключен, под микроскопом видна естественная окраска минералов в тонком срезе. Когда анализатор включен, минералы демонстрируют различные цвета интерференции. Как естественные, так и интерференционные цвета используются для диагностики минералов.



# МИНЕРАЛЫ ПОД МИКРОСКОПОМ

## Гранат и амфибол под микроскопом



Гранатовый амфиболит



Анализатор выключен



Анализатор включен

Гранатовый амфиболит (левая фотография) это горная порода, которая состоит из граната (красный), амфибола (черный) и полевого шпата (белый). На средней фотографии показано, как выглядит эта горная порода под микроскопом с выключенным анализатором. Зеленые зерна сложены амфиболом, белые зерна это полевой

шпат, а крупные желтовато-розовые зерна это гранат. На правой фотографии та же порода с включенным анализатором. На этой фотографии гранат черный, цвет зерен полевого шпата меняется от белого до темно серого, а амфибол демонстрирует целую гамму цветов.

# МИНЕРАЛЫ ПОД МИКРОСКОПОМ

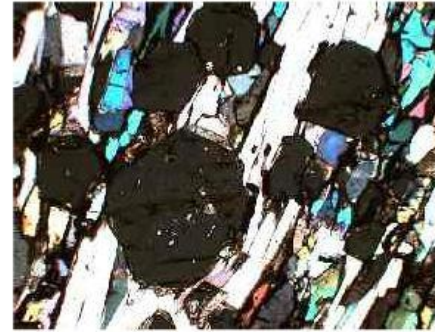
## Эклогит под микроскопом



Эклогит



Анализатор выключен



Анализатор включен

Эклогит (левая фотография) это горная порода, состоящая в основном из красного граната и зеленого пироксена. Однако эклогит может содержать другие минералы, например цоизит (светлый минерал на фото сверху). На средней фотографии показано, как выглядит эта горная порода под микроскопом с выключенным

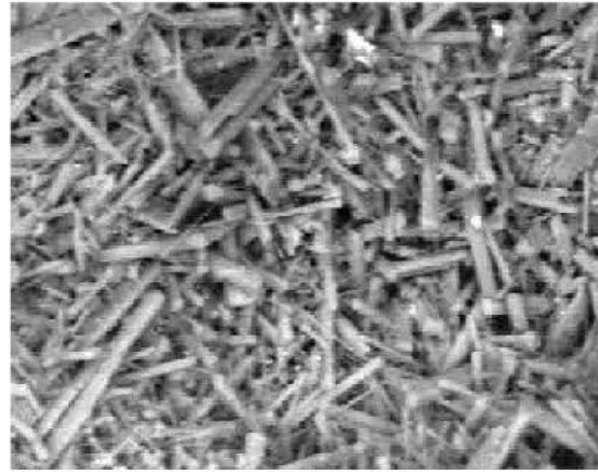
анализатором. Зеленый минерал это пироксен, розовый - гранат, а белый - цоизит. На правой фотографии та же порода с включенным анализатором. Здесь гранат - черный, пироксен демонстрирует целую гамму цветов интерференции, а цоизит - белый или серый.

# МИНЕРАЛЫ ПОД МИКРОСКОПОМ

## Электронный микроскоп



Электронный микроскоп Jeol JSM 6200



Микрокристаллы амфибола под электронным микроскопом

Электронный микроскоп используется для изучения очень мелких зерен минералов. Многие электронные микроскопы оборудованы

детекторами, которые позволяют анализировать химический состав минералов.

# ЗАКЛЮЧЕНИЕ

## Заключение

- Когда геологи используют термин "минерал", они обычно имеют в виду вещества
  - имеющие естественное происхождение
  - неорганические, твердые
  - имеющие упорядоченную внутреннюю структуру
  - с характерным химическим составом
  - с характерными физическими и химическими свойствами
- Минералы состоят из атомов, которые связаны друг с другом химическими связями. Выделяют следующие типы химических связей - ковалентная, ионная, металлическая, вандерваальсова и водородная.
- Более 70 весовых % земной коры состоит из двух химических элементов - кремния и кислорода. Кремний и кислород образуют кремнекислородные тетраэдры  $\text{SiO}_4$ , которые являются основой структуры минералов из группы силикатов, в которую входят важнейшие породообразующие минералы.

- В зависимости от того, как связаны между собой кремнекислородные тетраэдры в структуре силикатов, выделяют островные, кольцевые, цепочечные, ленточные, слоистые и каркасные силикаты.
- Другие важные классы минералов включают оксиды, карбонаты, сульфиды, сульфаты и фосфаты.
- Минералы идентифицируются по физическим свойствам, которые включают спайность, твердость, окраску, цвет черты, габитус кристаллов, магнитность, растворимость и плотность.
- Физические свойства минерала определяются 1) химическим составом минерала (то есть тем, какие атомы входят в его структуру) и 2) типом химических связей между атомами в структуре минерала.

© Amethyst Galleries



© Amethyst Galleries

