



Основы физики кристаллов

Для 3 курса группы ТОБО-01-15

5 семестр, 2017-2018 уч.год

По направлению подготовки

12.03.02 Оптотехника

Преподаватель: Кобыш Алина Николаевна

к.т.н., доцент кафедры оптических и биотехнических систем и технологий

Москва, 2017



Содержание:

Лекция 1 Кристалл. Основные законы кристаллографии.....	3
Лекция 2 Кристаллографические категории и сингонии.....	18
Лекция 3 Элементы симметрии.....	40
Лекция 4 Кристаллографические проекции.....	52
Лекция 5 Теория плотнейших шаровых упаковок.....	62
Лекция 6 Основы кристаллохимии.....	70
Лекция 7 Образование и рост кристаллов.....	83
Лекция 8 Физические свойства кристаллов.....	92



Лекция 1 Кристалл. Основные законы кристаллографии.

- .Кристаллография, основные понятия.**
- .Свойства кристаллических веществ.**
- .Кристаллическое строение.**
- .Дефекты кристаллического строения.**

- **Кристаллография** — это наука об атомно-молекулярном строении, симметрии, физических свойствах, образовании и росте кристаллов, а также их связи с окружающей средой.



- **Кристаллы-** (от греч. «кристаллос» — лед) это твёрдые тела, в которых атомы расположены закономерно, образуя трёхмерно-периодическую пространственную укладку — кристаллическую решётку.



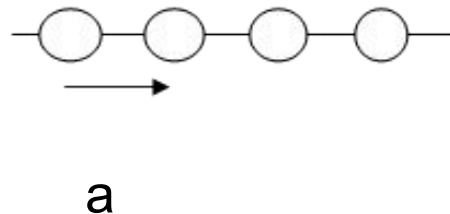


Основные свойства кристаллического вещества

1. Однородность
2. Анизотропность
3. Способность самоограняться
4. Минимальная внутренняя энергия
5. Статичность

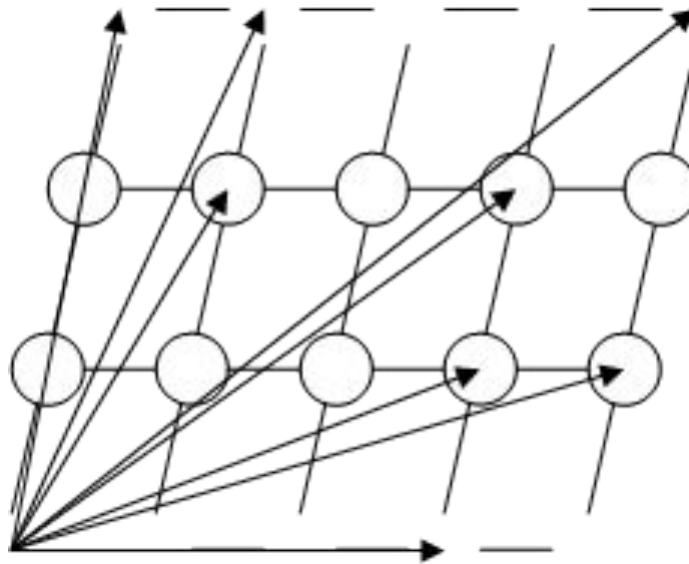
Структура кристаллов и пространственная решётка

Элементарная трансляция или **период идентичности** - это кратчайшее из возможных расстояний между одинаковыми точками в ряду (иногда употребляют названия период трансляции или параметр ряда).



Симметричный бесконечный ряд с трансляцией a .

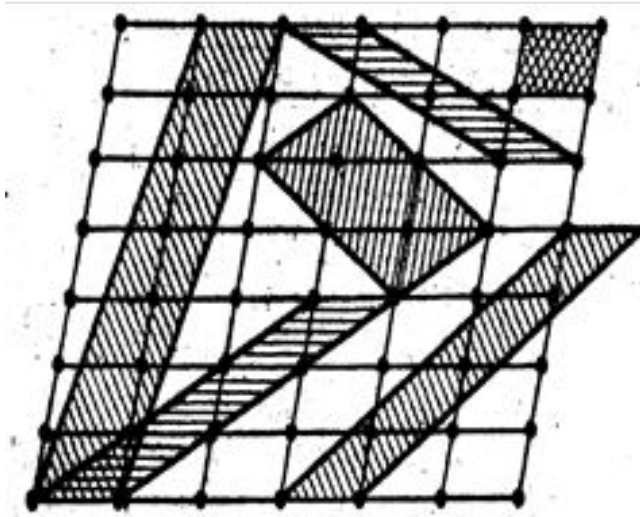
- **Ячейки сетки**- это параллелограммы, вершины которых являются узлами.
- **Плоскую сетку** можно определить любой парой основных трансляций, не лежащих на одной прямой.



Различные основные трансляции

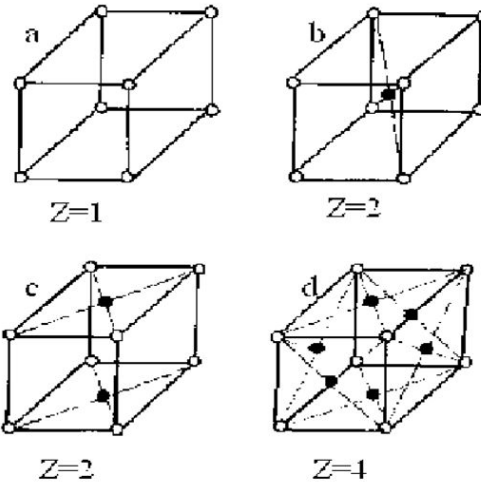
Элементарную ячейку принято выбирать так, чтобы она удовлетворяла следующим условиям:

- 1) наилучшим образом отражала симметрию сетки;
- 2) имела бы прямые углы, если это можно;
- 3) обладала бы наименьшей площадью.



Различные элементарные ячейки

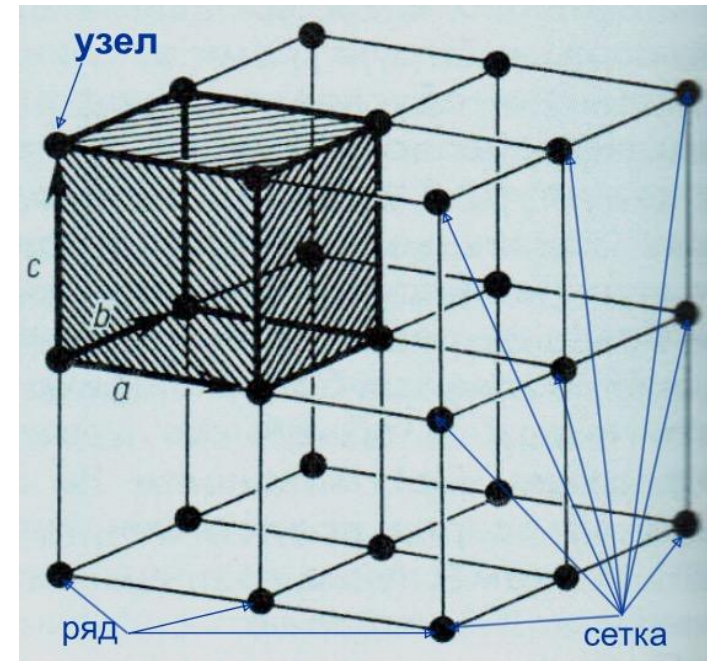
Типы элементарных ячеек



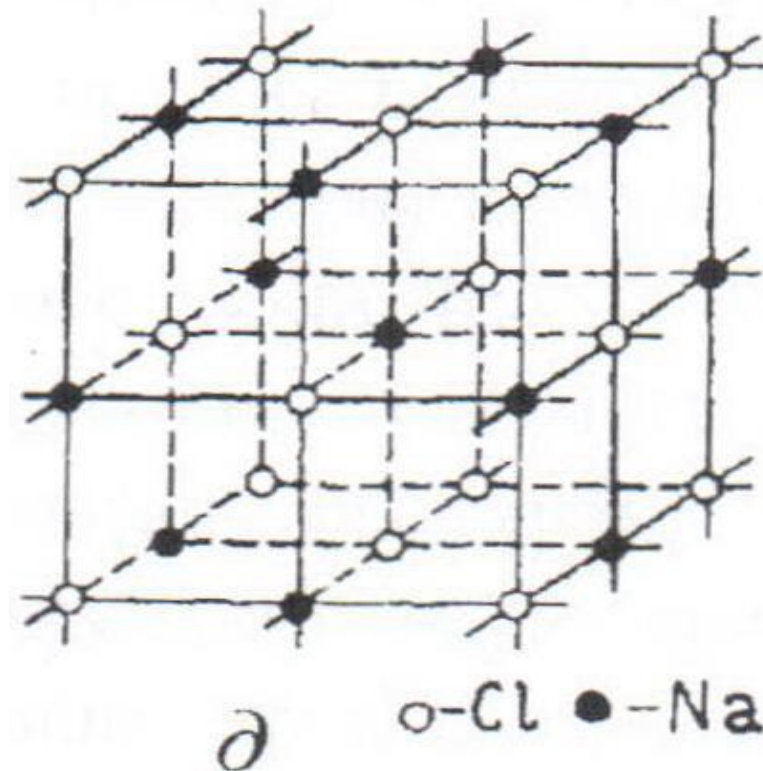
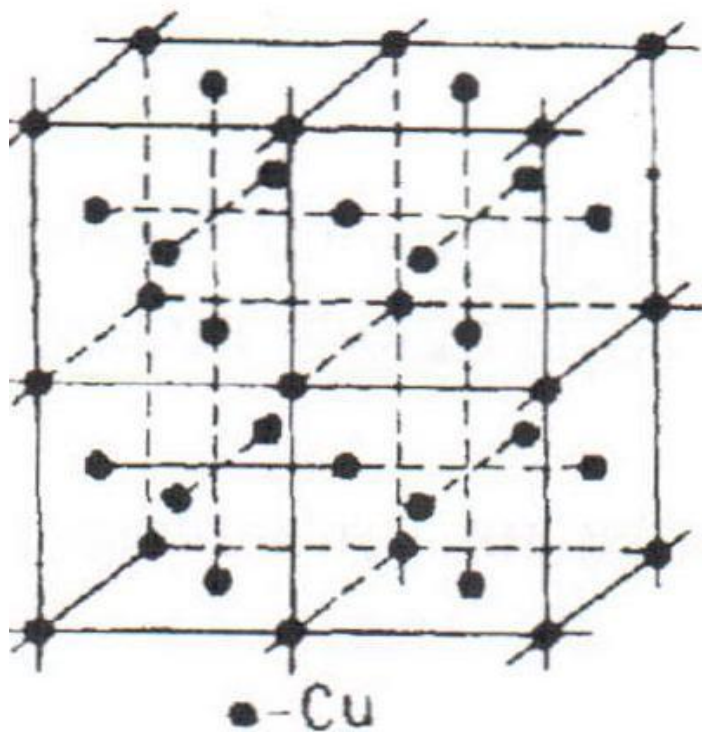
a – примитивная; **b** – объемноцентрированная;
c – базоцентрированная; **d** – гранецентрированная.

Кристаллическая решетка

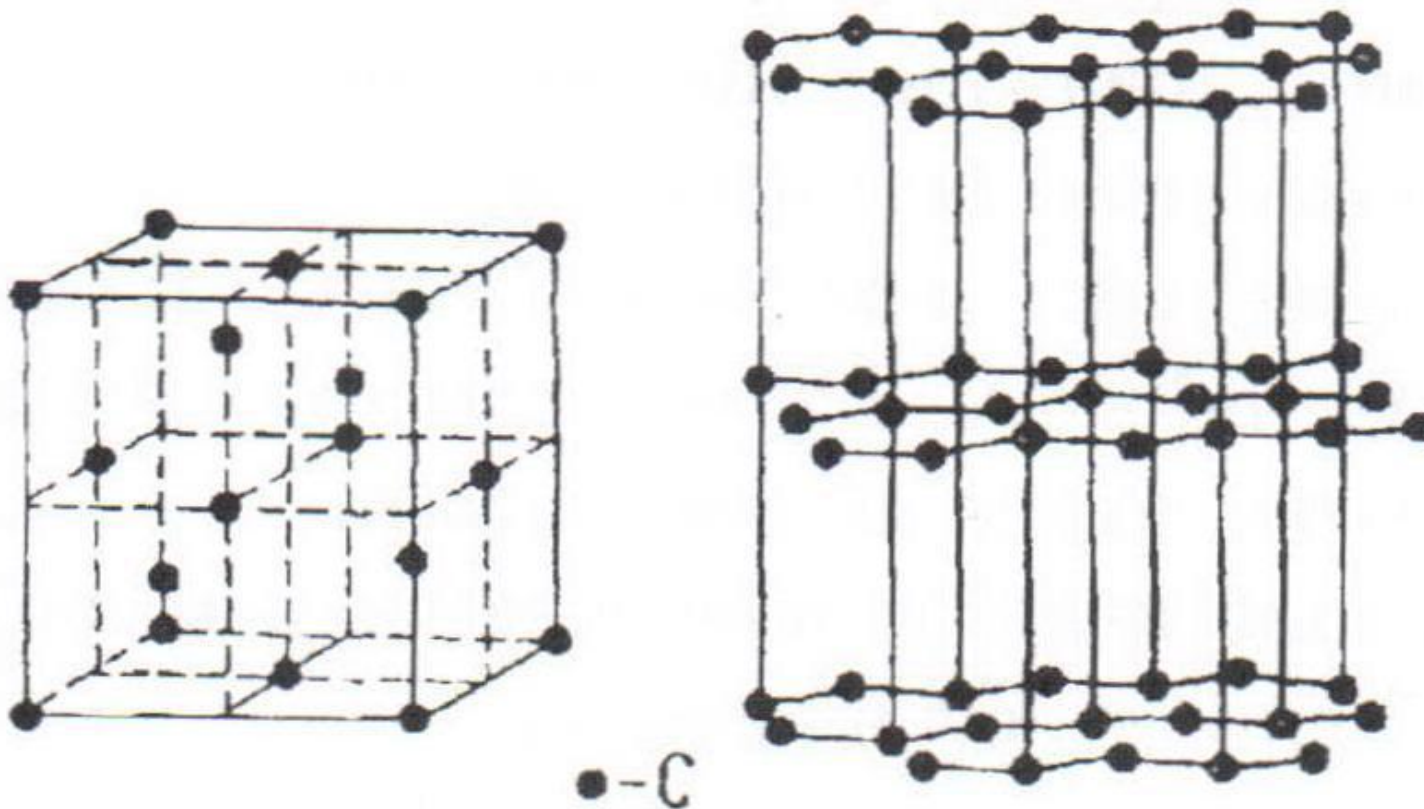
представляет собой абстрактный математический образ, позволяющий фиксировать расположение частиц в пространстве



Кристаллическая решетка меди и поваренной соли

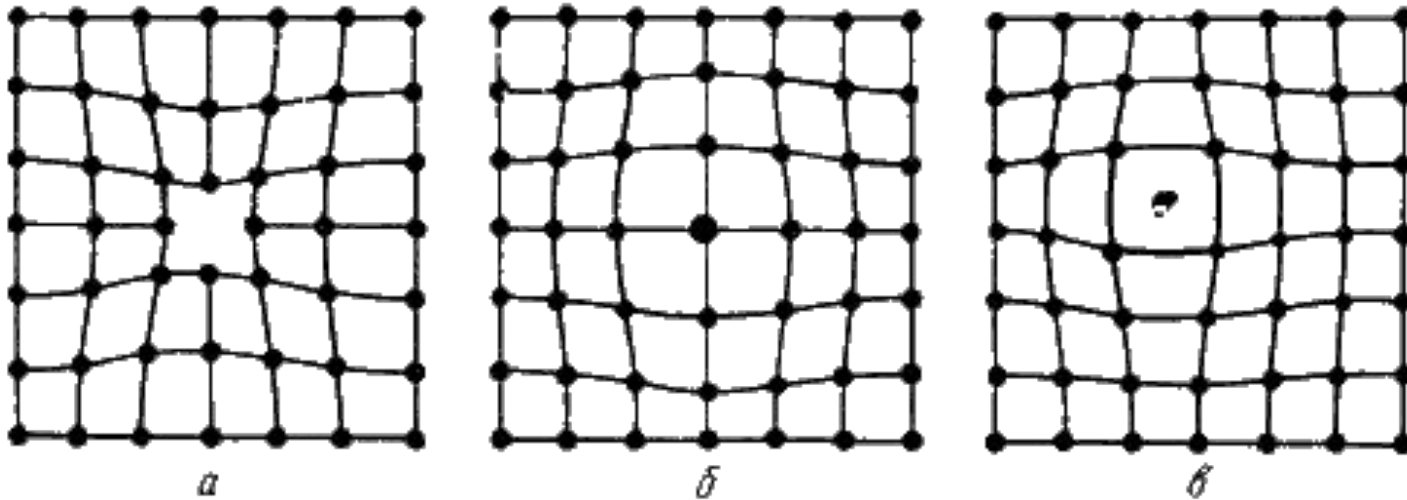


Кристаллическая решетка алмаза и графита



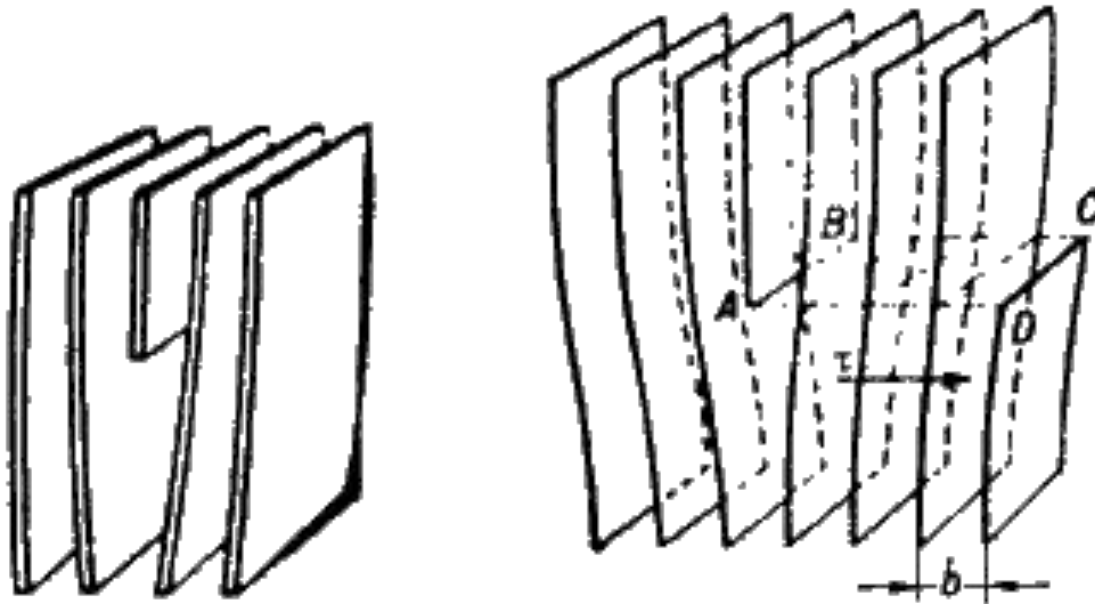
Дефекты кристаллического строения

Точечные дефекты



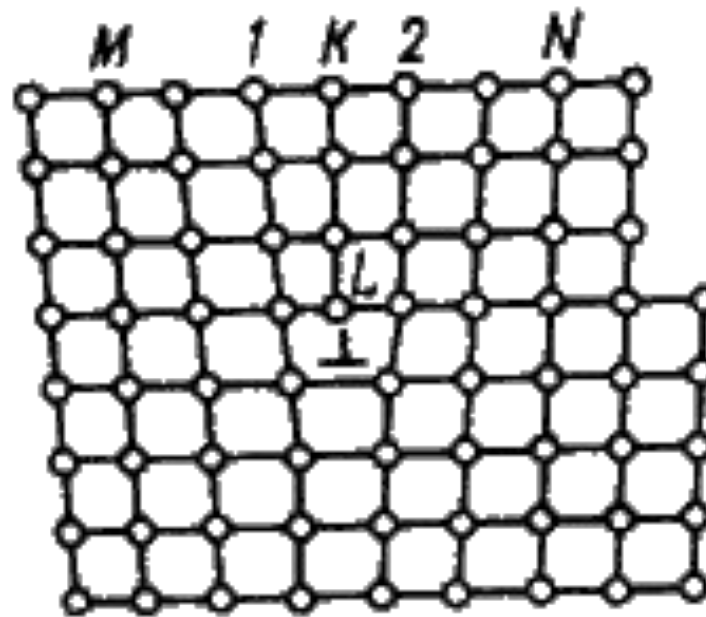
а – вакансия; б – примесный атом; в – дислоцированный атом.

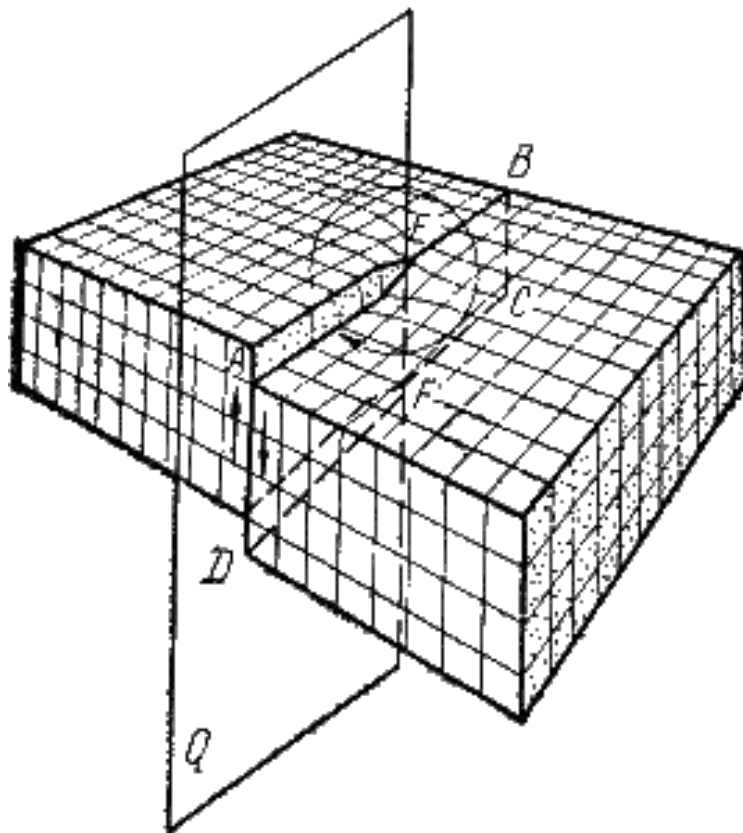
Линейные дефекты



Краевая дислокация

Искажения в кристаллической решетке при наличии краевой дислокации





Винтовая дислокация



Лекция 2 Кристаллографические категории и сингонии.

.Понятия о сингониях.

.Кристаллографические категории.

.Простые формы кристаллов.



- **Сингония** - классификация кристаллографических групп симметрии, кристаллов и кристаллических решёток в зависимости от системы координат (координатного репера). Группы симметрии с единой координатной системой объединяются в одну сингонию.

Существует семь кристаллографических сингоний:

1. Триклинная (параллелепипед).
2. Моноклинная (призма с параллелограммом в основании).
3. Ромбическая (прямоугольный параллелепипед).
4. Тригональная (прямоугольная призма с основанием ромб).
5. Тетрагональная (прямоугольный параллелепипед с квадратом в основании).
6. Гексагональная (призма с основанием правильного центрального шестиугольника).
7. Кубическая (куб).

Характеристики координатных систем шести сингонии в трех кристаллографических категориях

Категория	Степень эквивалентности координатных направлений	Угловые характеристики координатных систем	Сингонии
Низшая	$a \neq b \neq c$	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ \neq 120^\circ$	Триклинная
		$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma \neq 90^\circ \neq 120^\circ$ ($\alpha = \gamma = 90^\circ, \beta \neq 90^\circ \neq 120^\circ$)	Моноклинная
		$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Ромбическая
Средняя	$a = b \neq c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Тетрагональная
		$\alpha = \beta = 90^\circ, \gamma = 120^\circ$	Гексагональная
Высшая	$a = b = c$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$	Кубическая



Простые формы кристаллов

- ***Простой формой*** называется совокупность равных граней, связанных между собой элементами симметрии.

В кристаллографии имеются 47 простых форм.



В названии простых форм используются греческие слова:

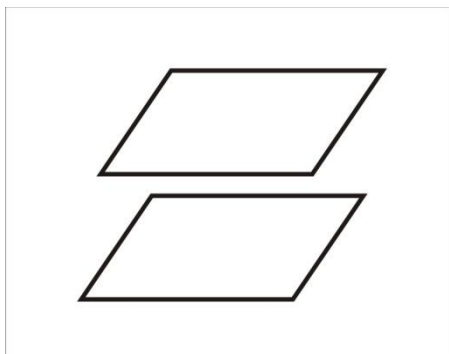
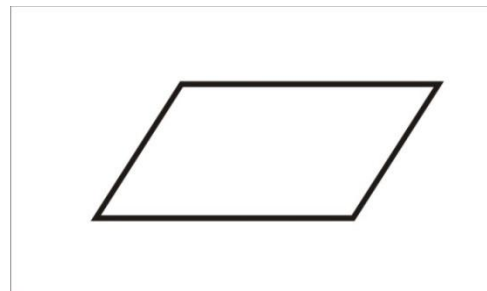
моно – 1; ди – 2; три – 3; **тетра** – 4;
пента – 5; гекса – 6; окта – 8, дека – 10,
додека – 12;

эдра – грань; гон – угол;
пинакс – пластина;
скалена – косой; морфо – форма.

Простые формы низшей категории

Моноэдр

(простая форма из одной грани)



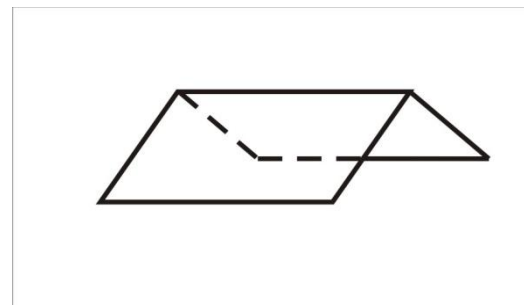
Пинакоид

(две параллельные грани)



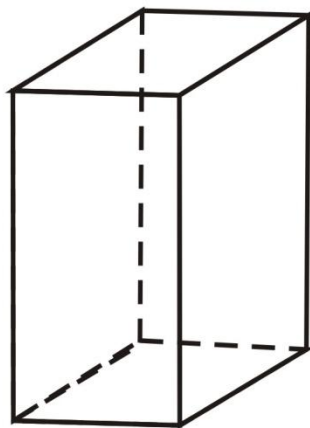
Диэдр

(две пересекающиеся грани)



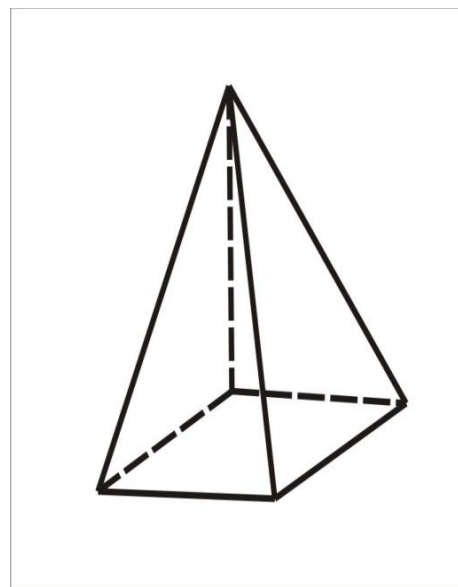
Ромбическая призма

фигура из 4 пересекающихся
граней, каждая из которых
параллельна противоположной



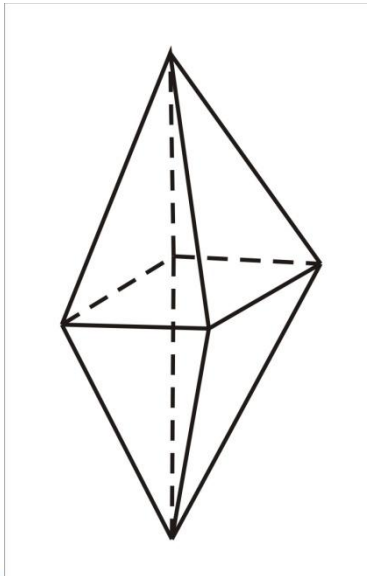
Ромбическая пирамида

фигура из 4 треугольных
граней, пересекающихся в
одной вершине



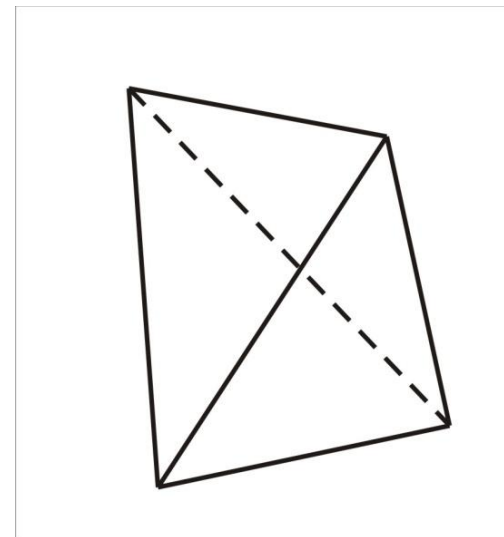
Ромбическая дипирамида

фигура из 8 пересекающихся
граней, напоминающая 2
пирамиды, приставленные
друг к другу основаниями



Ромбический тетраэдр

фигура из 4 пересекающихся
граней, каждая из которых
имеет вид неправильного
треугольника



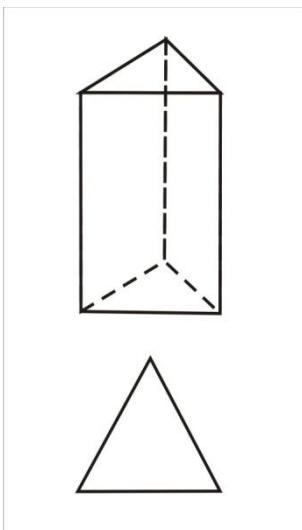


Простые формы средней категории

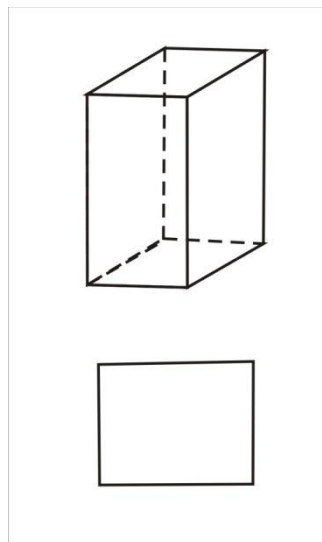
- **Призмы** представляют собой фигуры из прямоугольных пересекающихся граней, ребра которых параллельны друг другу и оси высокого порядка.

Призмы I серии

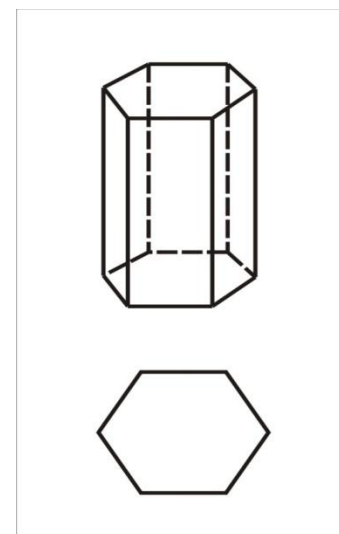
Тригональная



Тетрагональная

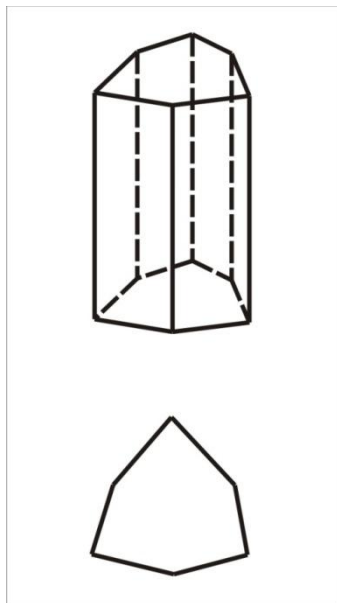


Гексагональная

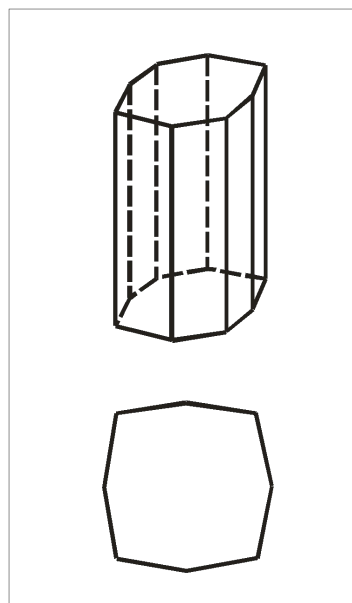


Призмы II серии

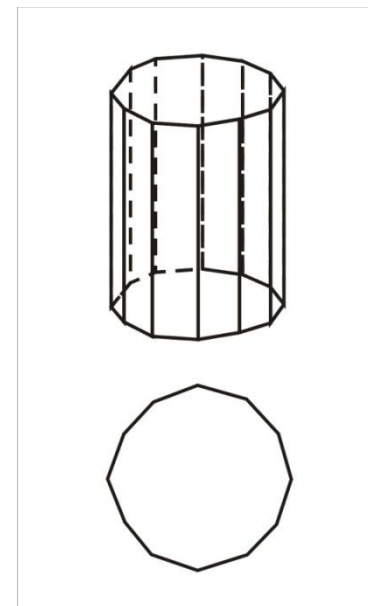
Дитригональная



Дитетрагональная



Дигексагональная



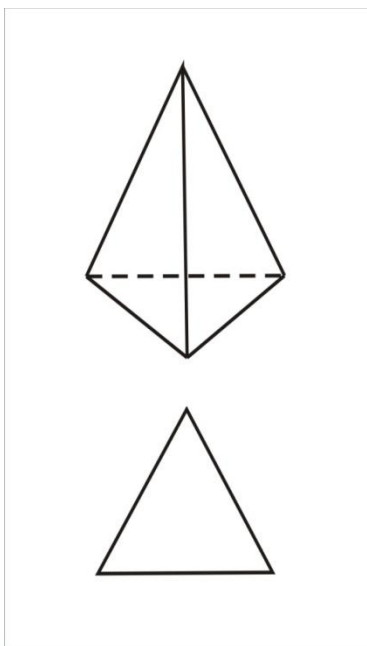


Пирамиды - многогранники из треугольных пересекающихся граней, ребра которых сходятся в одной вершине.

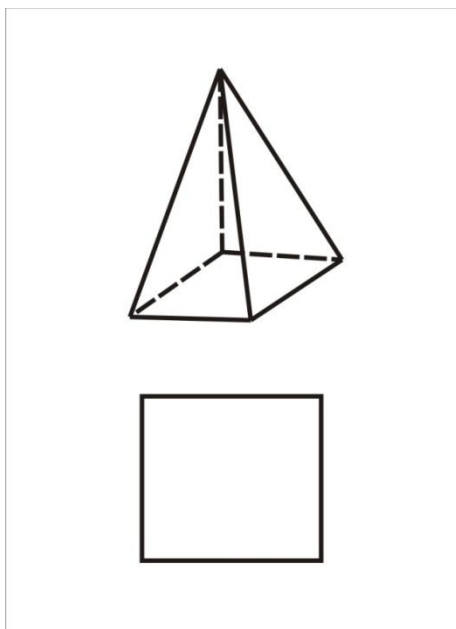
Дипирамиды - представляют собой простые формы как бы состоящие из двух пирамид, сложенных друг с другом основаниями.

Пирамиды I серии

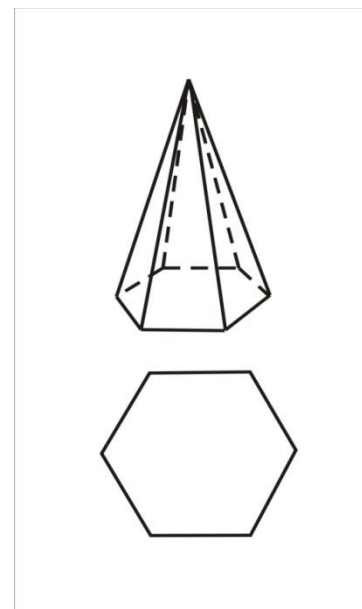
Тригональная



Тетрагональная

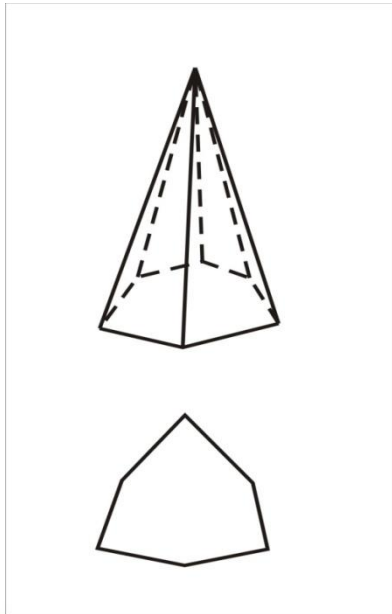


Гексагональная

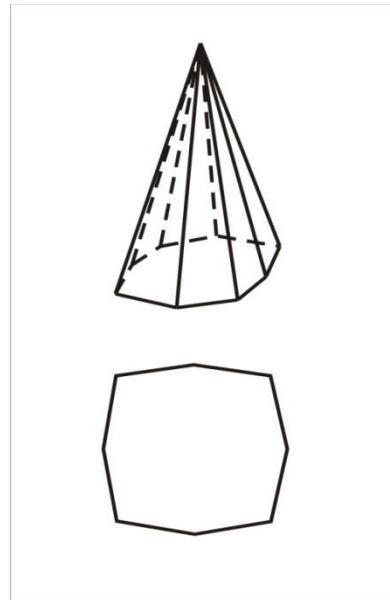


Пирамиды II серии

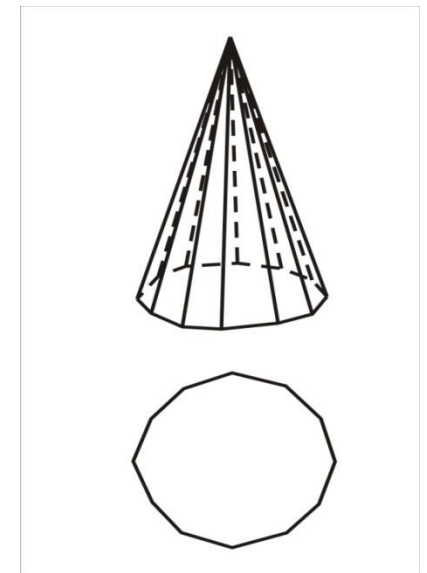
Дитригональная



Дитетрагональная

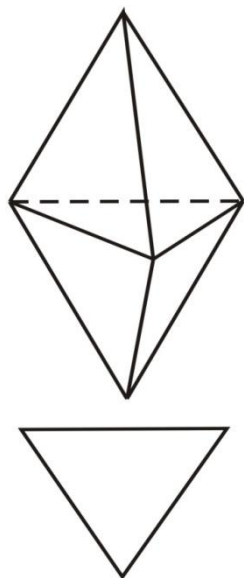


Дигексагональная

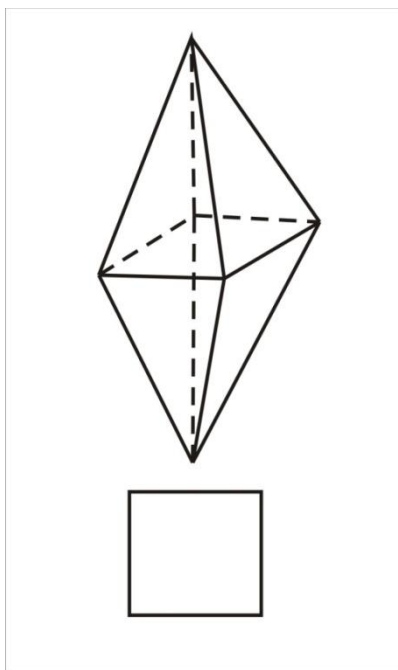


Дипирамиды (I серия)

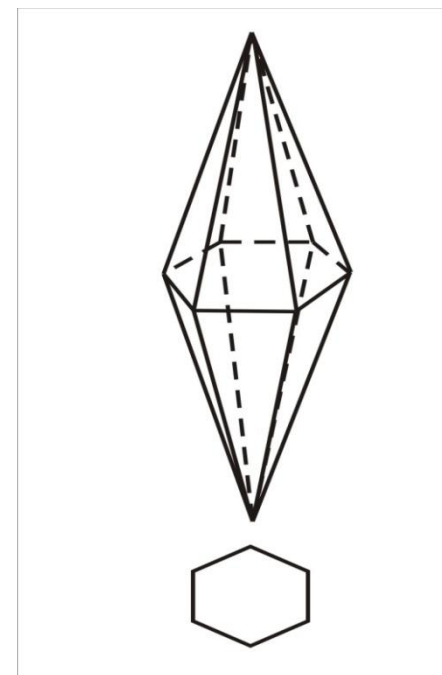
Тригональная



Тетрагональная

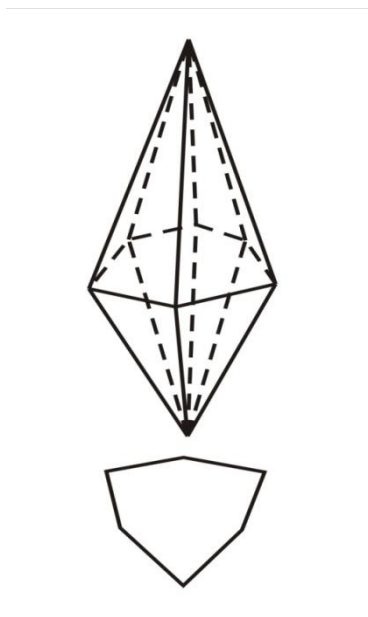


Гексагональная

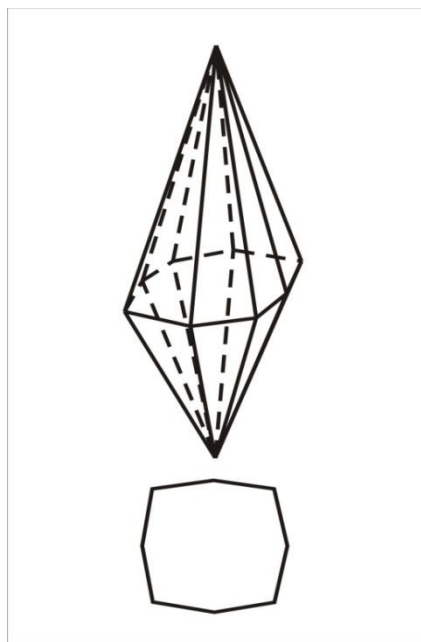


Дипирамиды (II серия)

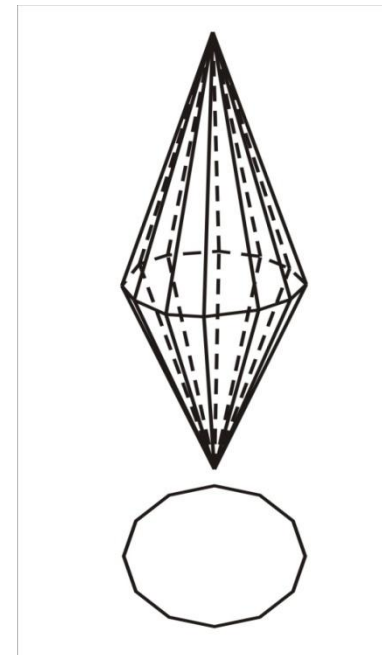
Дитригональная



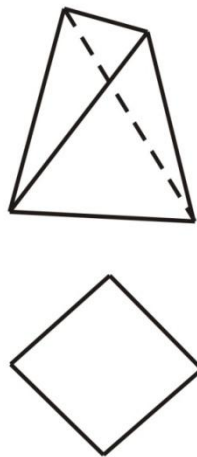
Дитетрагональная



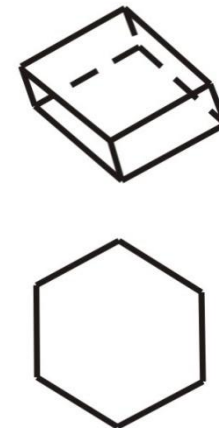
Дигексагональная



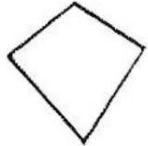
Тетраэдр - фигура из 4 пересекающихся граней, имеющих форму равнобедренных треугольников

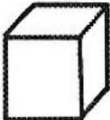
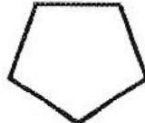


Ромбоэдр - фигура из 6 пересекающихся граней, в первом приближении представляющая собой куб, вытянутый или сплюснутый вдоль одной из диагоналей



Простые формы высшей категории

Исходные формы		Производные формы			
Общий вид	Форма грани	Общий вид	Форма грани	Общий вид	Форма грани
					
Тетраэдр, 4 грани		Тригон-тритетраэдр, 12 граней		Пентагон-тритетраэдр, 12 граней. Класс $4L_33L_2$	
					
		Тетрагон-тритетраэдр, 12 граней		Гексатетраэдр, 24 грани. Класс $4L_33L_26P$	

					
Куб, 6 граней		Пентагон-дodeкаэдр, 12 граней		Дидодекаэдр, 24 грани. Класс $4L_33L_23PC$	
					
		Тетрагексаэдр, 24 грани			
					
		Ромбододекаэдр, 12 граней			



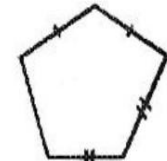
Октаэдр, 8 граней



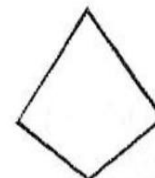
Тригон-триоктаэдр,
24 грани



Пентагон-триоктаэдр,
24 грани. Класс $3L_44L_36L_2$



Тетрагон-триоктаэдр,
24 грани



Гексоктаэдр, 48 граней.
Класс $3L_44L_36L_29PC$





Все простые формы принято разделять на
открытые и закрытые.

Открытые простые формы

не ограничивают
пространства, они
незамкнутые.

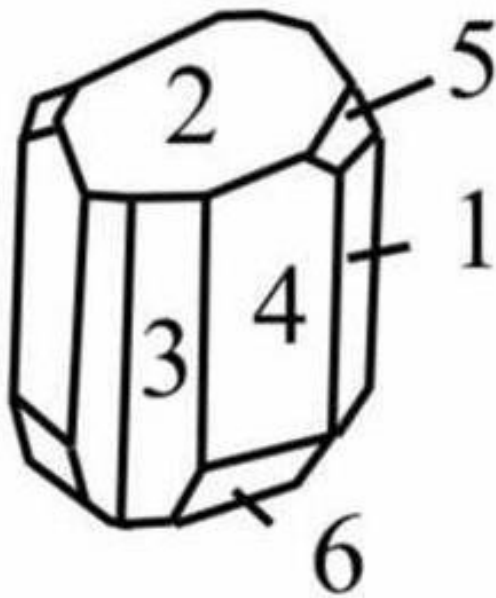
К ним относятся: моноэдры,
диэдры, пинакоиды, призмы
и пирамиды.

Закрытые простые формы

ограничивают пространство,
они замкнутые.

К ним относятся: дипирамиды,
тетраэдры, трапецоэдры,
скаленоэдры и другие.

Комбинации простых форм



В кристалле реальгара 6 простых форм:

- Грани 1, 2 - пинакоиды открытые
- грани 3, 4, 5, 6 - призмы, открытые



Лекция 3 Элементы симметрии

- .Основные понятия симметрии.**
- .Ось симметрии.**
- .Центр симметрии.**
- .Плоскость симметрии.**
- .Классы симметрии.**



Симметрия (соразмерность, от лат. *сим* – одинаковый, *метрос* – размер) – правильная повторяемость элементов ограничения кристаллов при выполнении симметрических операций.

Элементами симметрии называются вспомогательные геометрические образы (линии, плоскости, точки), которые позволяют выявить симметрию кристаллов.



Элементами ограничения кристаллов считаются их грани, ребра и вершины.

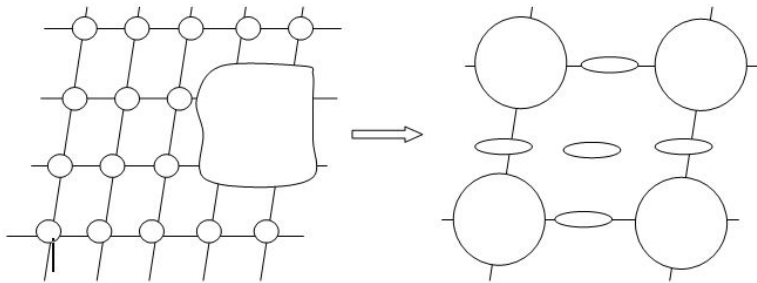
Симметрические операции – это повороты и отражения кристалла относительно элементов симметрии.



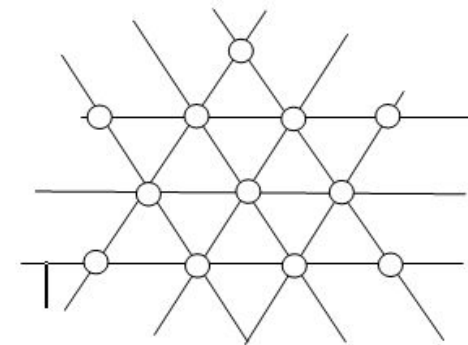
Ось симметрии L_n — прямая линия, при вращении вокруг которой повторяются равные части фигуры, то есть она самосовмещается.

Число совмещений при повороте на 360° определяет порядок оси симметрии (n).

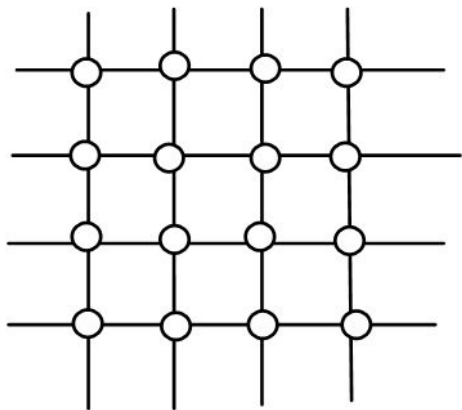
- Атомная плоскость с простыми осями симметрии второго порядка



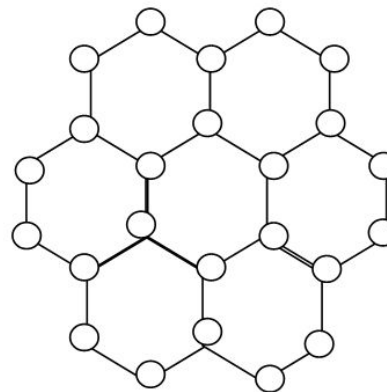
- Атомная плоскость с простыми осями симметрии третьего порядка



- Атомная плоскость с простыми осями симметрии четвертого порядка



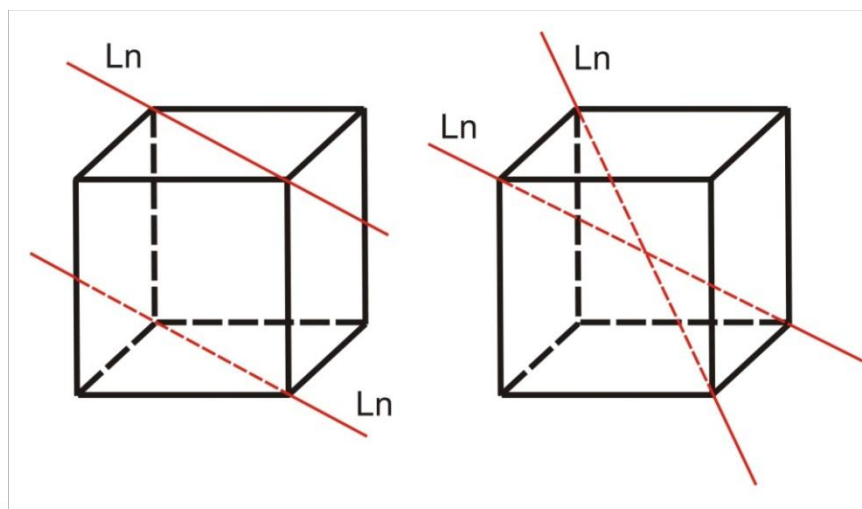
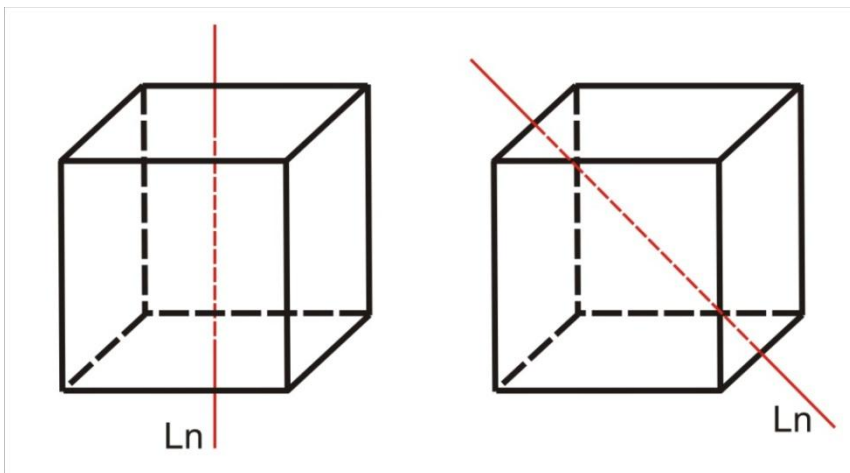
- Атомная плоскость с простыми осями симметрии шестого порядка



Основной закон кристаллографии

В реальных кристаллах имеются оси симметрии первого L_1 , второго L_2 , третьего L_3 , четвертого L_4 и шестого L_6 порядков.

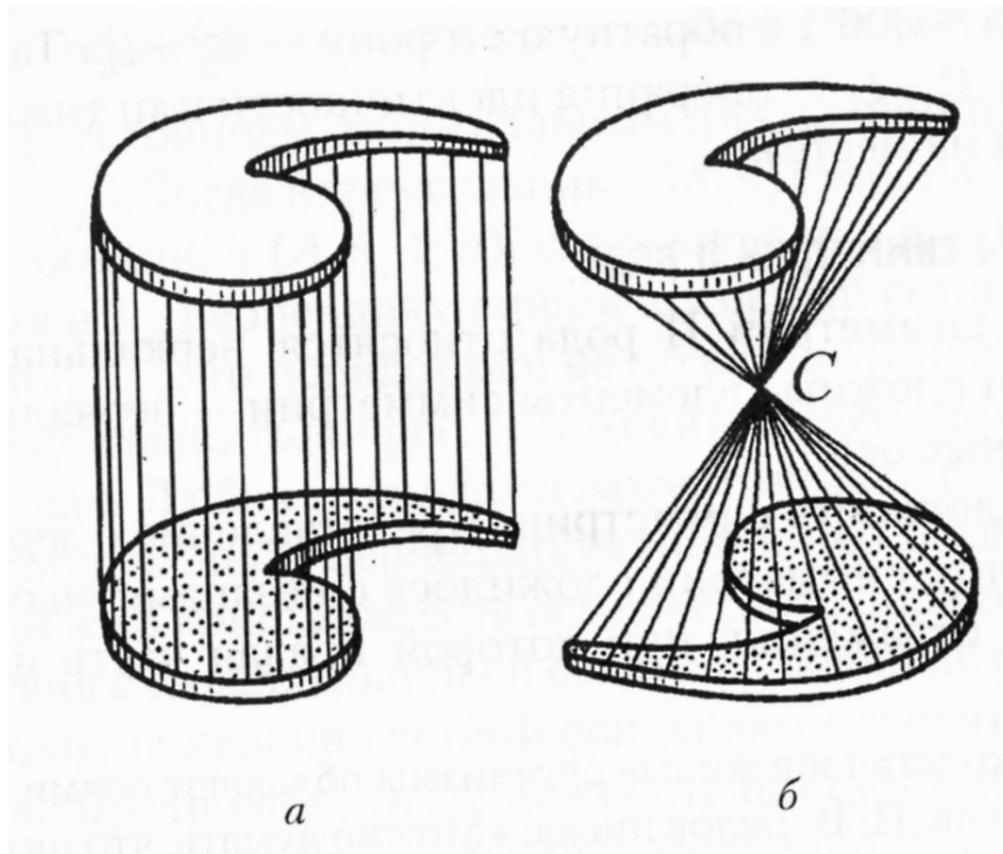
В кристаллографии невозможны оси пятого и выше шестого порядков.



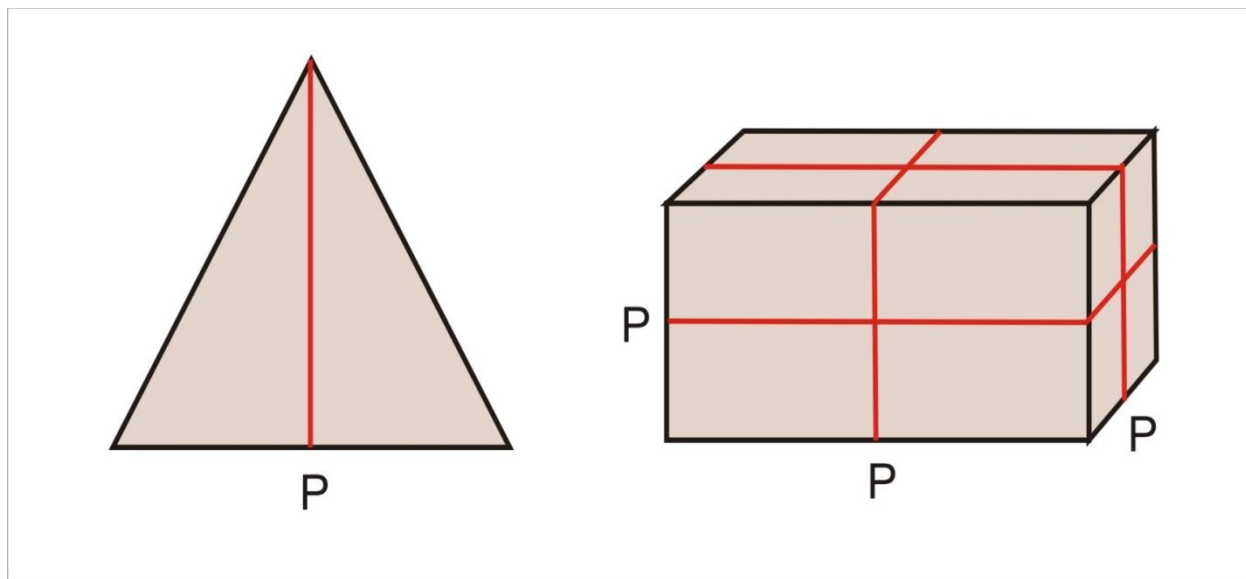


Центр симметрии (C) — это точка внутри кристалла, по обе стороны которой на равных расстояниях находятся одинаковые элементы ограничения (границы, рёбра, вершины).

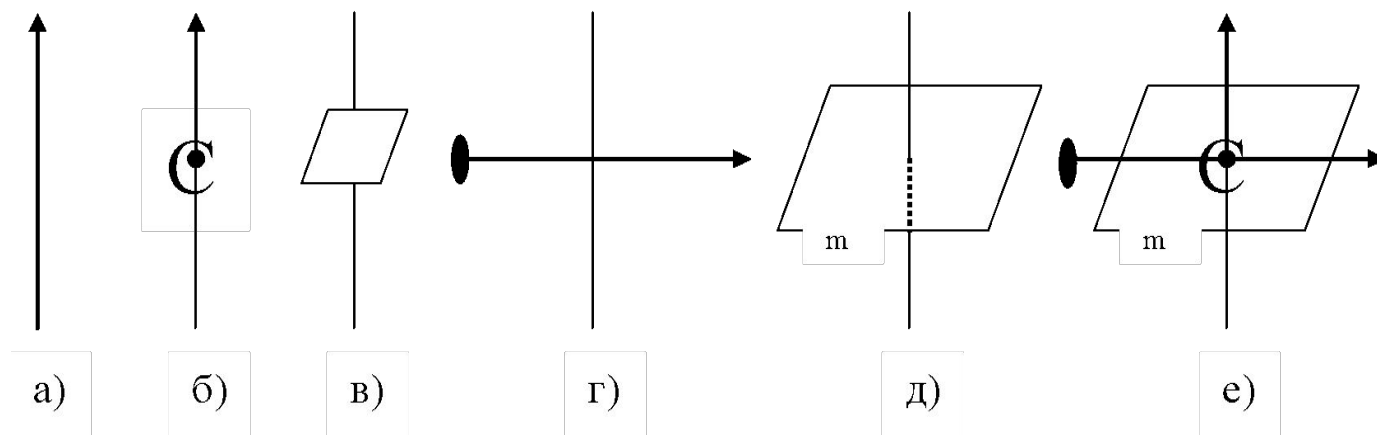
В кристалле может быть только один центр симметрии, либо он отсутствует вовсе.



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



Классы симметрии средней и низшей категорий



- а) простейший; б) центральный; в) планальный; г) аксиальный;
 д) инверсионно-примитивный; е) планаксиальный.



Лекция 4 Кристаллографические проекции

1. Сферическая проекция.
2. Стереографическая проекция.
3. Гномостереографическая проекция.

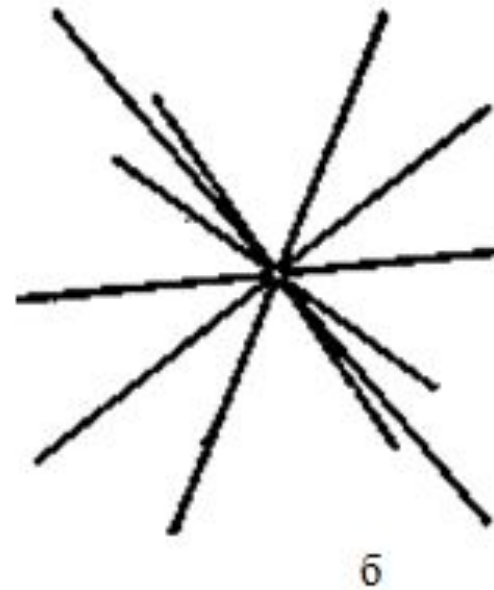
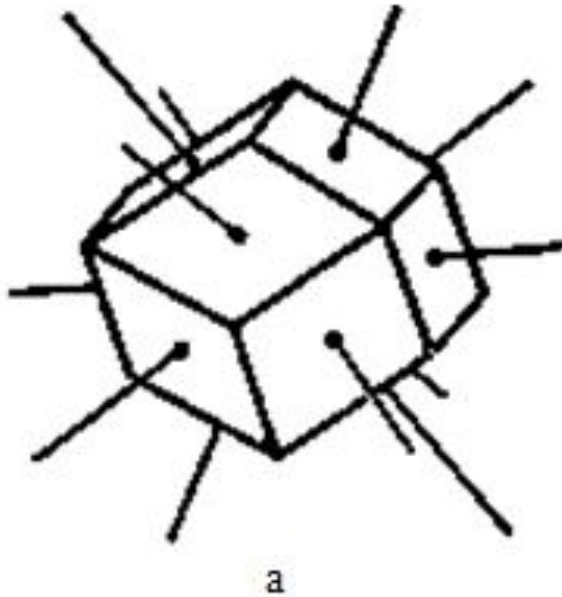


Согласно **закону постоянства углов**, характерными параметрами любого кристаллического вещества являются углы между гранями (между определенными сетками в структуре).

Описание взаимного расположения граней кристалла, основанное на величине углов между ними, **не даёт наглядной картины симметрии кристалла**.

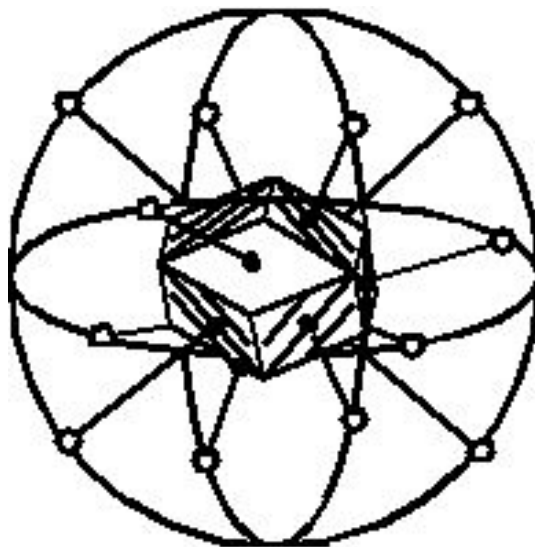
И только **графический способ** описания расположения граней с помощью кристаллографических проекций позволяет выделить грани кристалла (а также направления), связанные элементами симметрии.

Ромбический додекаэдр: а - с нормальями; б - его полярный комплекс

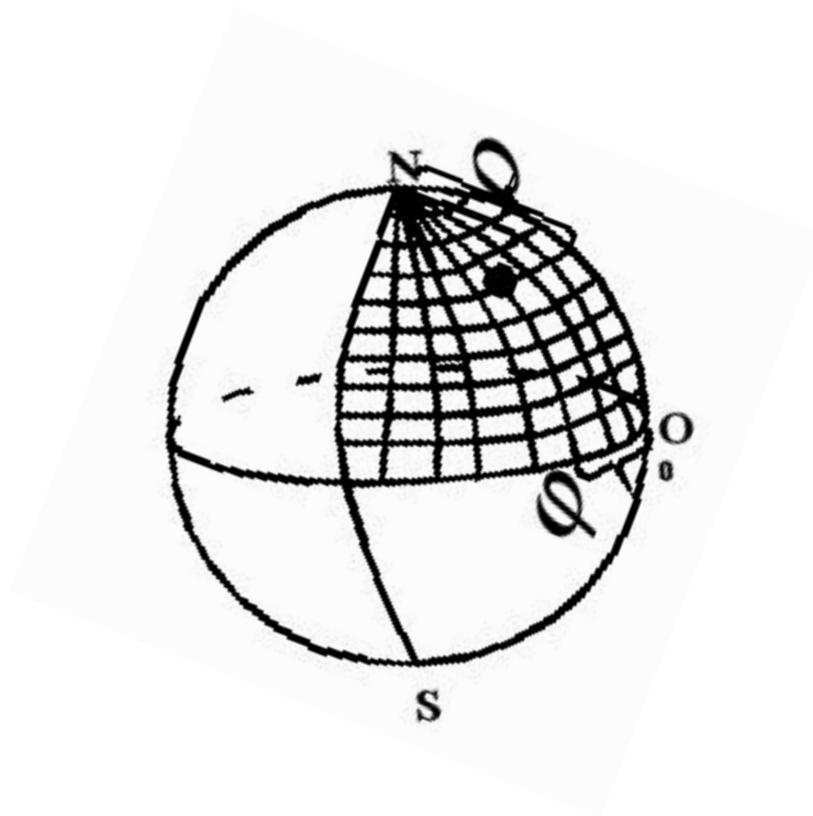


Сферическая проекция

Принцип построения сферической проекции.

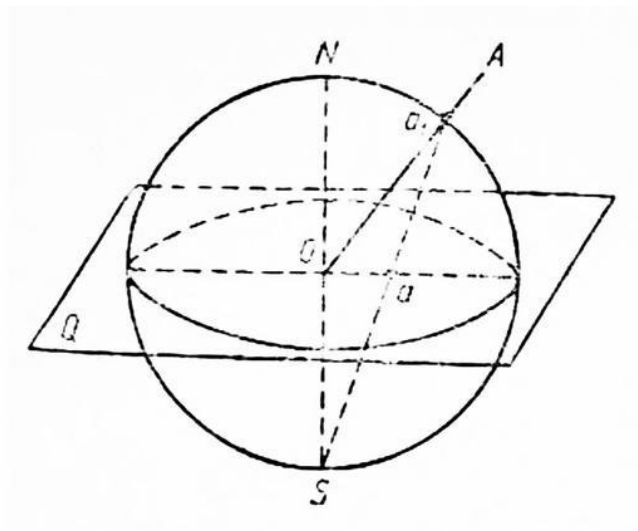


Сферические координаты на поверхности сферы проекции

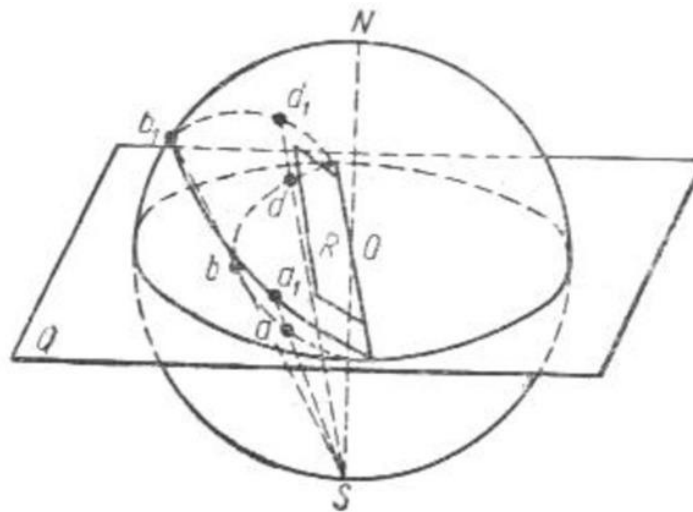


Стереографическая проекция

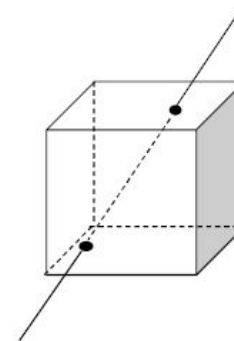
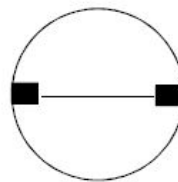
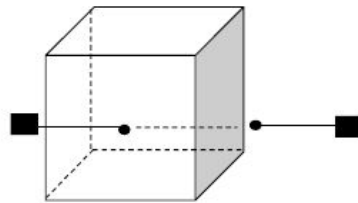
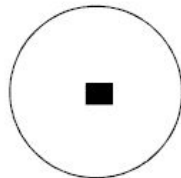
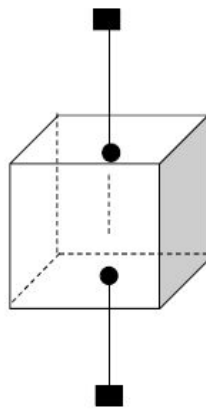
Принцип построения стереографической проекции



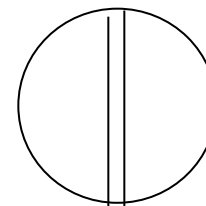
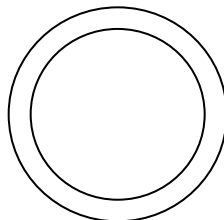
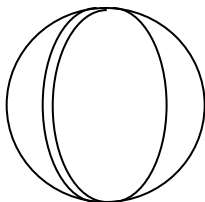
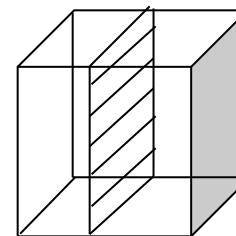
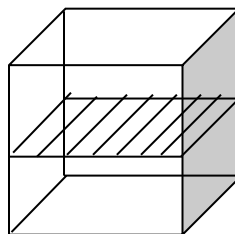
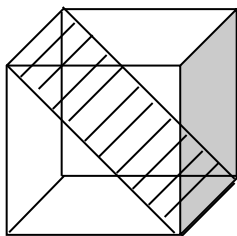
Построение стереографической проекции a , b , d плоскости R



Стереографические проекции некоторых осей симметрии куба.

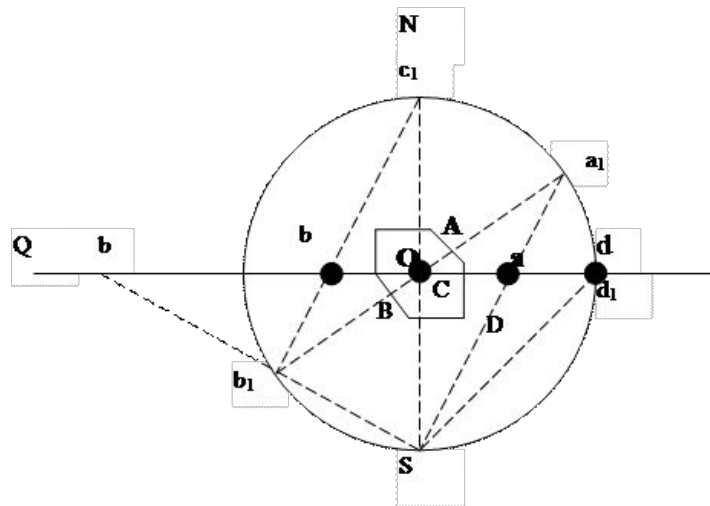


Некоторые плоскости симметрии куба и их стереографические проекции

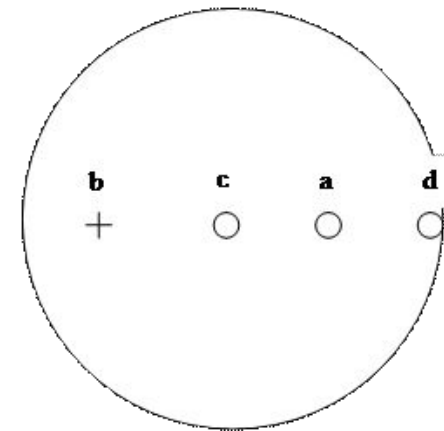


Построение гномостереографической проекции граней В, С, Д кристалла

принцип построения проекции



изображение проекций граней





Лекция 5 Теория плотнейших шаровых упаковок

- .Основные принципы шаровой укладки.**
- .Разделение плотнейших шаровых упаковок.**
- .Типы пустот в плотнейших упаковках.**

Плотнейшая шаровая укладка из квадратных слоев:

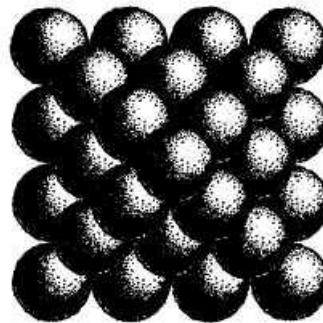
a — изолированный квадратный шаровой слой (соотношение числа шаров и лунок — 1:1);

б — квадратные слои образуют плотнейшую упаковку;

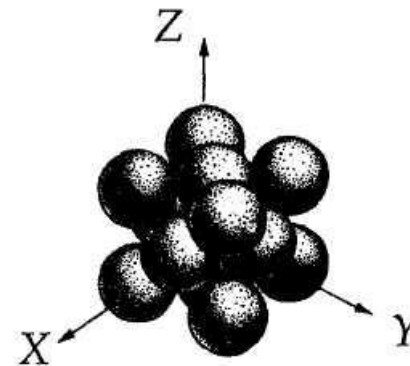
в — шары плотнейшей упаковки служат узлами кубической гранецентрированной (*F*) решетки Браве.



a



б



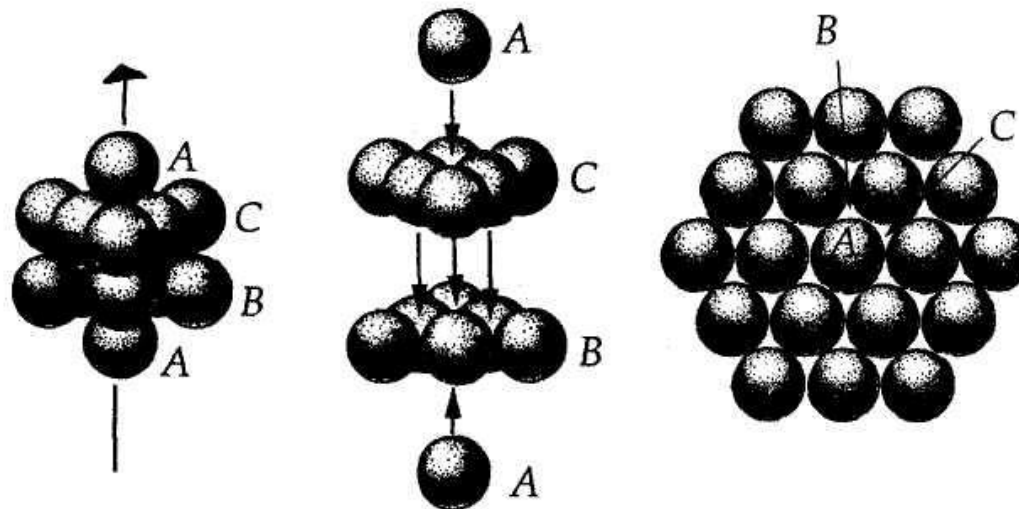
в

Разделение плотнейшей укладки шаров:

а - на плотнейшие слои;

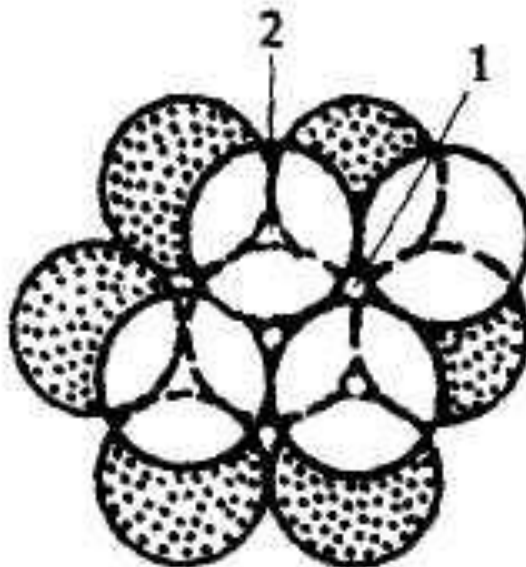
б - перпендикулярные оси 3-го порядка гексагональной симметрии;

в - в изолированном плотнейшем слое каждый шар окружен шестью лунками (В и С), а так как каждая лунка образована тремя шарами, то соотношение числа шаров и лунок $1 : 2$

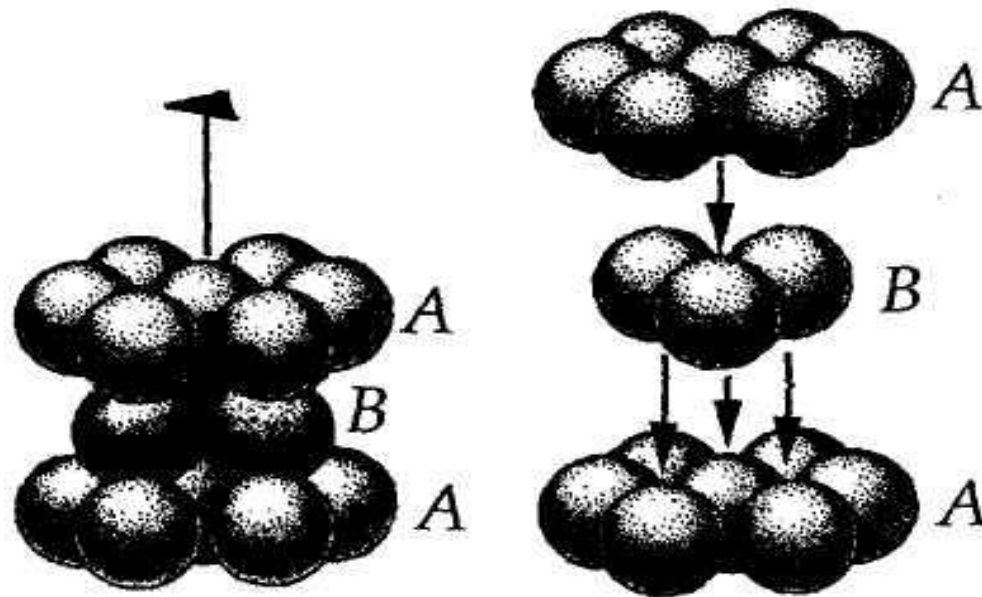


Шары 2-го слоя заполняют лишь половину лунок предыдущего плотноупакованного слоя.

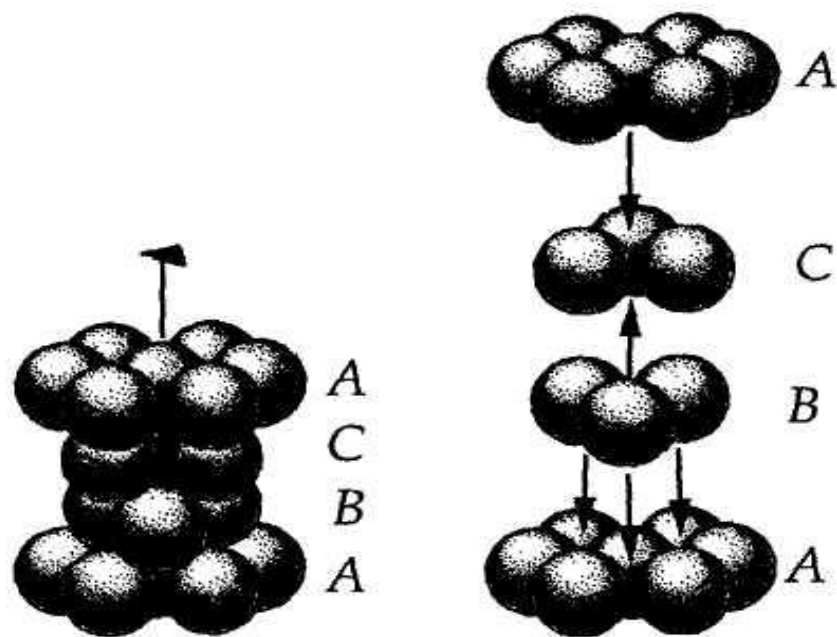
Образуется половина сквозных (1) и половина несквозных (2) лунок.



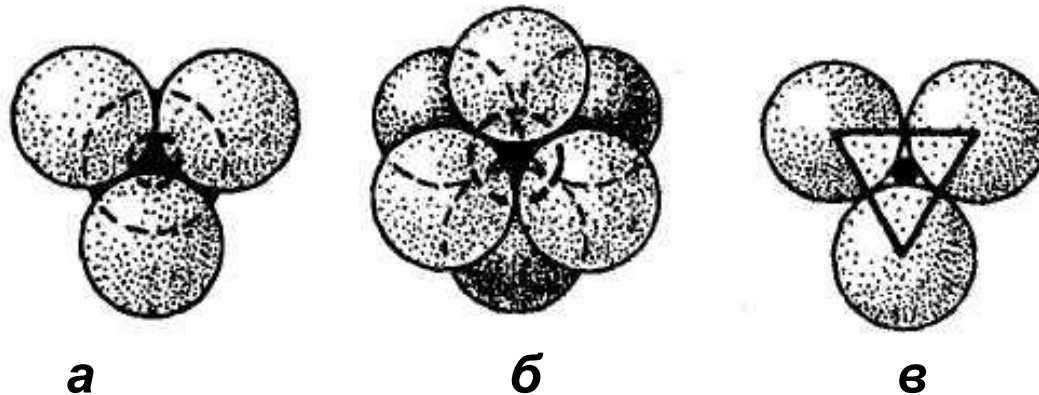
Двухслойная гексагональная плотнейшая упаковка.



Двухслойная кубическая плотнейшая упаковка.

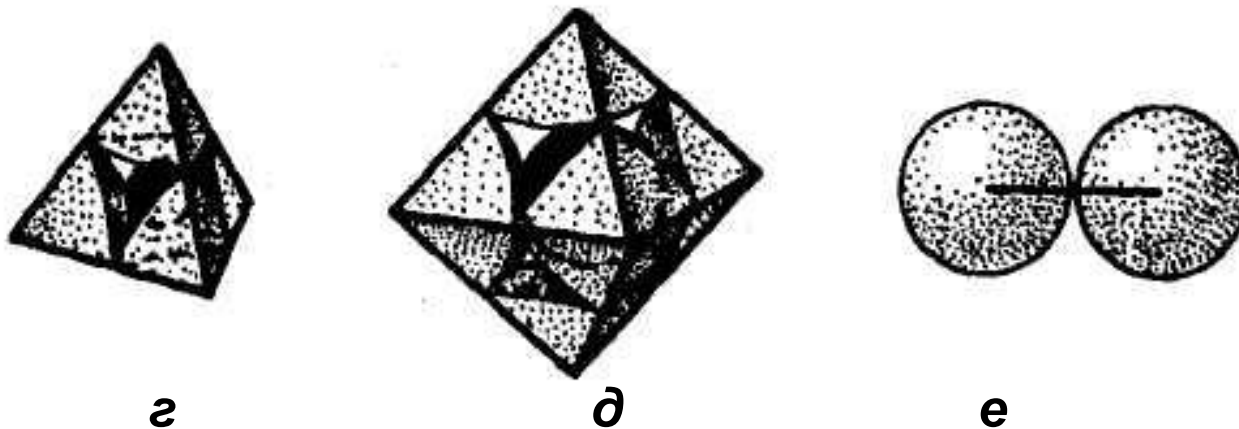


Типы пустот в плотнейших упаковках.



а, б — тетраэдрическая; *в* — октаэдрическая.

Типы пустот в плотнейших упаковках.



г — октаэдрическая; д — тригональная;
е — двухкоординатная



Лекция 6 Основы кристаллохимии

1. Радиусы атомные и ионные.
2. Типы химических связей.
3. Изоморфизм и полиморфизм.



Кристаллохимия - изучает связь между атомным строением (структурой) кристаллов и их химическими, физическими и геометрическими свойствами.



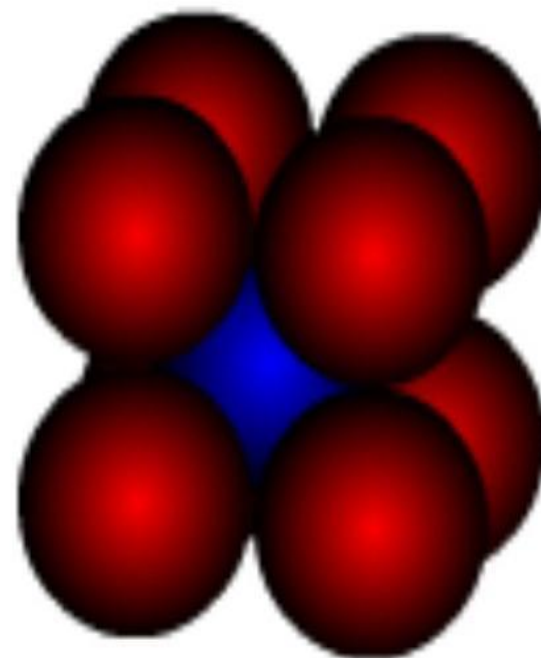
Атомные и ионные радиусы – это минимальное расстояние, на которое центр сферы данного атома (иона) может приблизиться к поверхности соседних атомов (ионов).

Величина радиуса зависит от ряда причин:

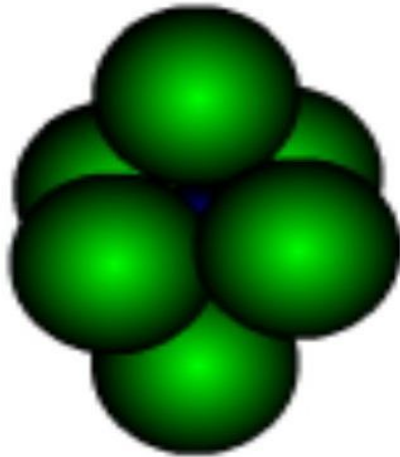
- .заряд иона;
- .поляризационная способность атома или иона;
- .термодинамические условия (температура, давление).

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

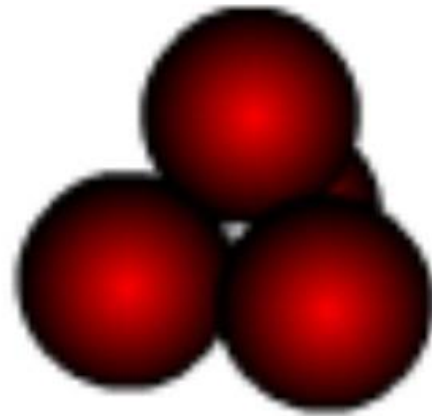
Если катионы и анионы имеют одинаковый ионный радиус, они образуют **кубическую** структуру.



В минерале галите (NaCl) атомы хлора и натрия отличаются по ионному радиусу и образуют *октаэдрическую* структуру.



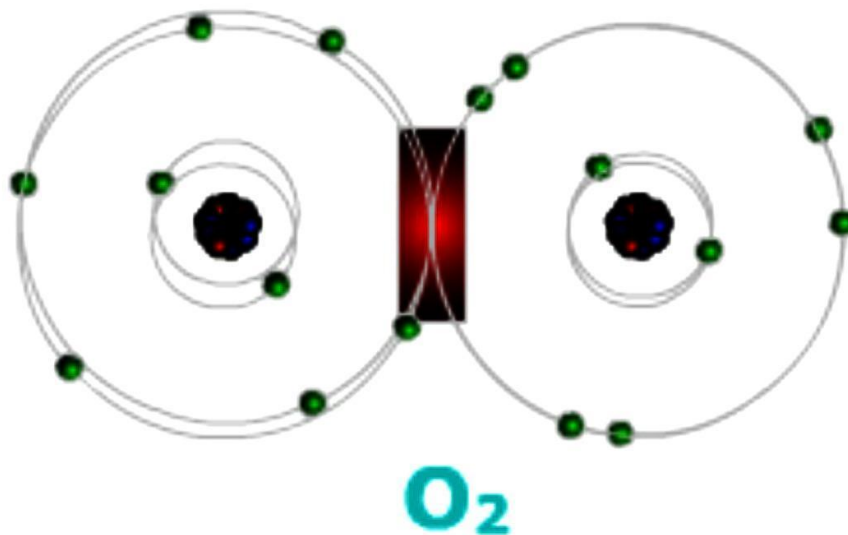
Когда размеры ионов сильно отличаются по размеру, они образуют *тетраэдрическую* структуру.



Типы химических связей между атомами

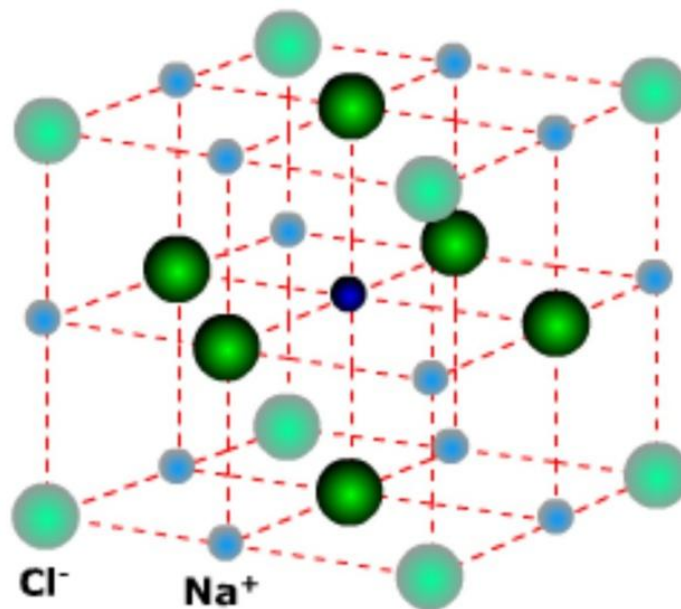
Ковалентная связь –

осуществляется в атомных и частично в ионных кристаллических постройках с помощью спаренных (обобществленных) электронов: два внешних электрона противоположными спинами принадлежат одновременно двум атомам.



Ионная связь

– характеризуется тем, что силы связи обусловлены электростатическим притяжением противоположно заряженных ионов, каждый из которых окружен максимальным количеством ионов противоположного заряда. Эта связь возникает потому, что атомы стремятся приобрести наиболее устойчивую внешнюю оболочку с полным числом электронов во внешнем слое



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.



Изоморфизм

(от греч. «изос» — равный, «морфэ» — форма) - явление взаимного замещения атомов, ионов или их групп в кристаллических решетках минералов без изменения их строения.

Результатом процесса изоморфного замещения являются *изоморфные смеси (смешанные кристаллы, твердые растворы, кристаллы переменного состава).*

Виды изоморфизма

1. **Совершенный (неограниченный) изоморфизм** – это явление полного без ограничений замещения, т.е. наблюдается полный переход от одного крайнего члена изоморфного ряда к другому (группа плагиоклазов $\text{Na}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$ - $\text{Ca}[\text{Al}_2\text{Si}_2\text{O}_8]$).
2. **Ограниченный (неполный) изоморфизм** – когда крайние члены изоморфного ряда не могут образовывать между собой непрерывного перехода и состав изоморфной смеси достигает определенного предельного уровня для каждого из крайних членов в определенных соотношениях (кальцит Ca,MgCO_3).

Полиморфизм

(от греч. «поли» — много, «морфэ» — форма) - свойство соединений и простых веществ в зависимости от внешних условий (T , P , x – концентрация растворов) кристаллизоваться в различных структурных типах.



Полиморфные превращения – переходы из одной кристаллической формы в другую.

Устойчивые в тех или иных термодинамических условиях кристаллические формы вещества называются ***полиморфными модификациями***.

Пример полиморфизма



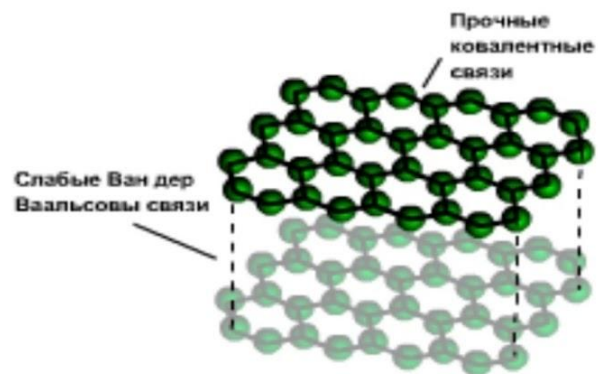
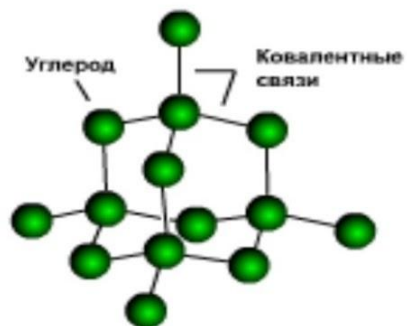
© Amethyst Galleries

Алмаз



© Amethyst Galleries

Графит





Лекция 7 Образование и рост кристаллов.

.Моделирование процесса роста кристалла.

.Оптимизация режимов роста кристаллов.

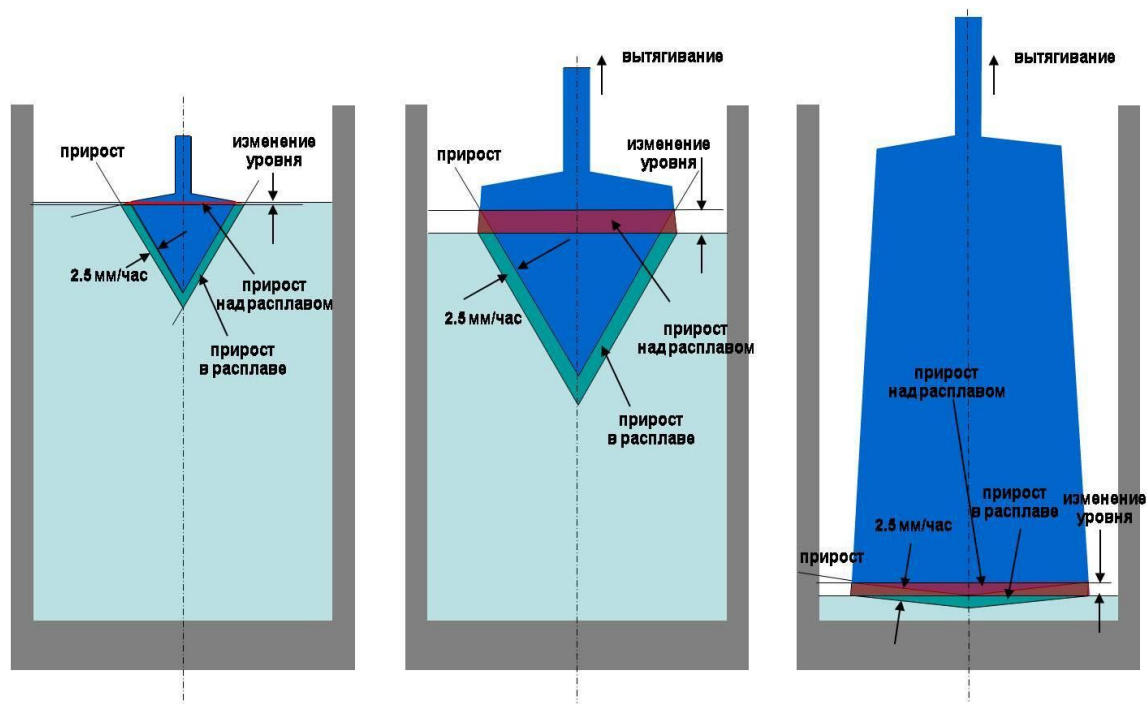
.Процесс кристаллизации у металлов.



Задачи моделирования роста кристаллов:

- .расплавление шихты;
- .затравливание;
- .разращивание;
- .рост вертикальной части;
- .завершение;
- .охлаждение.

Стадии роста, на которых изменения веса имеет разные закономерности.



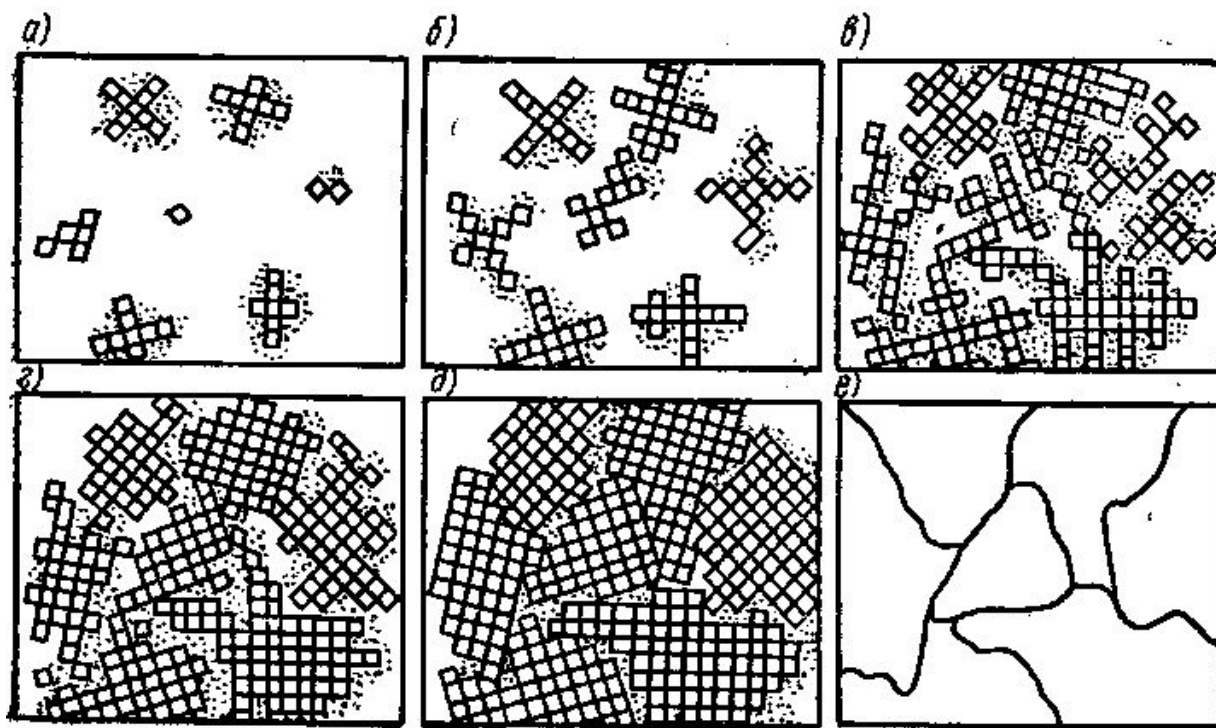
Выращенные кристаллы



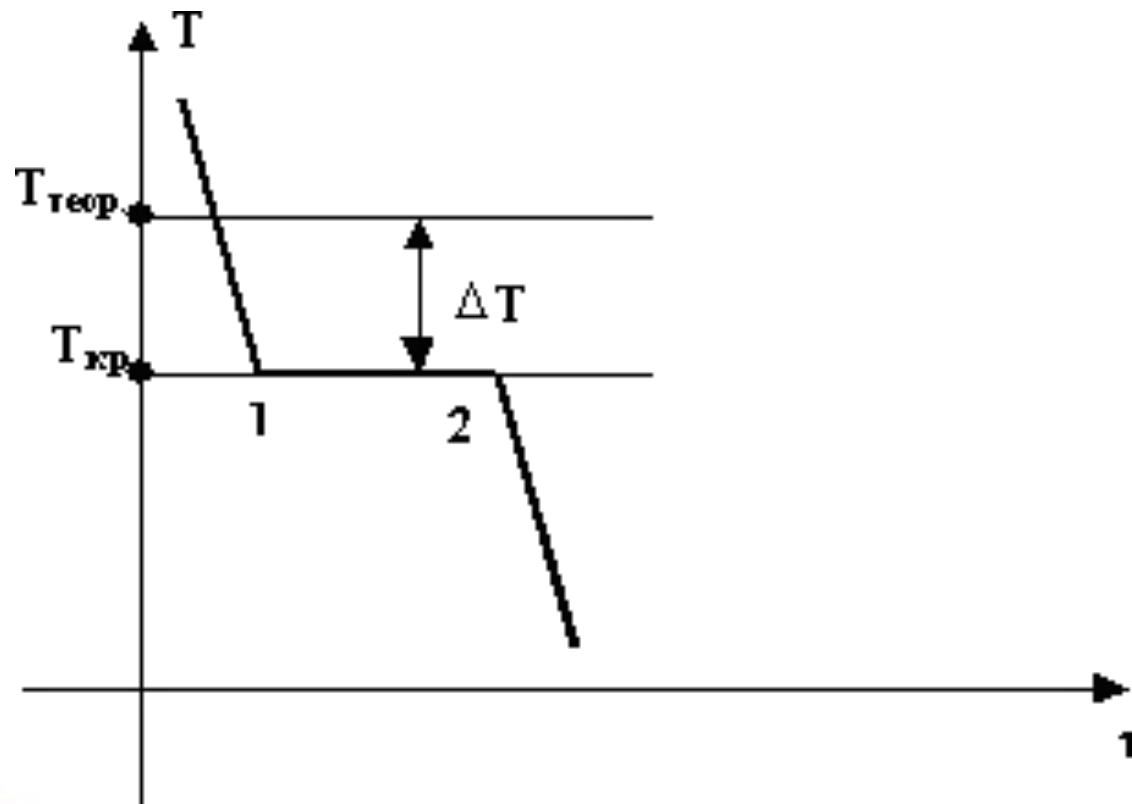
Фото образцов кернов



Схема процесса кристаллизации металла

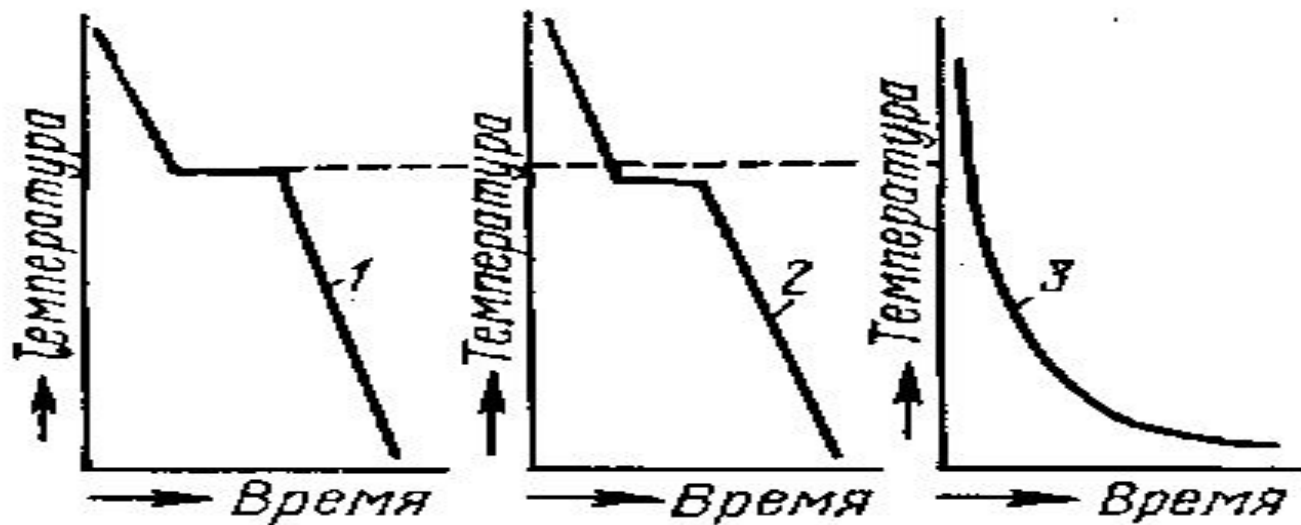


Кривая охлаждения чистого металла



Кривые охлаждения при кристаллизации:

- 1 — теоретическая кривая кристаллизации металла;
- 2 — кривая кристаллизации металла с переохлаждением;
- 3 — кривая кристаллизации неметалла.

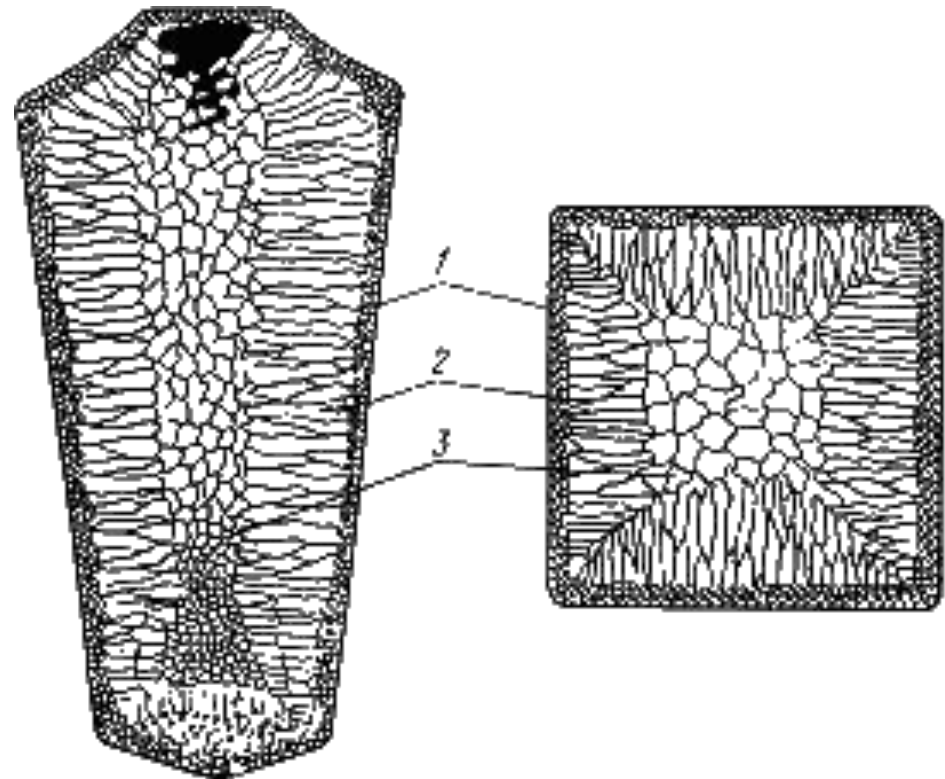


Слиток состоит из трех зон:

1-мелкокристаллическая корковая зона;

2-зона столбчатых кристаллов;

3-внутренняя зона крупных кристаллов.





Лекция 8 Физические свойства кристаллов

.Механические свойства кристаллов.

.Оптические свойства кристаллов.



Физические свойства кристаллов представлены механическими, оптическими, электрическими и пр. свойствами кристаллов.

Обусловлены основными свойствами кристаллического вещества: однородностью, анизотропией, способностью к самоограничению, а также постоянством фазовых превращений.



Механические свойства кристаллов

Спайность называется свойство кристаллов раскалываться или расщепляться по определенным кристаллографическим направлениям с образованием ровных гладких плоскостей, называемых плоскостями спайности.

В зависимости от степени совершенства выделяют несколько видов спайности

Весьма совершенная спайность – кристалл способен расщепляться на тонкие листочки, получить излом иначе, чем на спайности, весьма трудно (это слюды, хлориты);



Несовершенная спайность

обнаруживается с трудом, ее нужно искать на обломке минерала. Изломы представляют неровные поверхности (*апатит, касситерит, самородная Si*).



Весьма несовершенная спайность

Практически отсутствует. Такие тела имеют раковистый излом (подобно обсидиану).





Излом

**– способность минералов
раскалываться не по плоскостям
спайности, а по сложной неровной
поверхности.**

Раковистый излом

похож на внутреннюю поверхность раковины, характерен для кристаллов, у которых отсутствует спайность (кварц, халцедон, обсидиан)



Крючковатый излом

поверхность
излома как бы покрыта мелкими
Крючками (самородная медь,
серебро и другие ковкие
металлы).



Ступенчатый излом

для кристаллов со спайностью в
нескольких направлениях,
например, полевой шпат.





Магнитность – способность некоторых минералов действовать на магнитную стрелку компаса (сильно отклоняя ее) или притягиваться магнитом (магнетит, пирротин, ферроплатина, самородное железо).

Твердостью кристаллов - называется степень сопротивления вещества какому-либо внешнему Механическому воздействию (царапанию).



Минералы	Бытовая шкала	Твердость
Тальк	карандаш мягкий	1
Гипс	ноготь	2
Кальцит	медная монета	3
Флюорит	стальная проволока	4
Апатит	простое оконное стекло	5
Ортоклаз	лезвие стального ножа	6
Кварц	напильник	7
Топаз		8
Корунд		9
Алмаз		10



Оптические свойства кристаллов

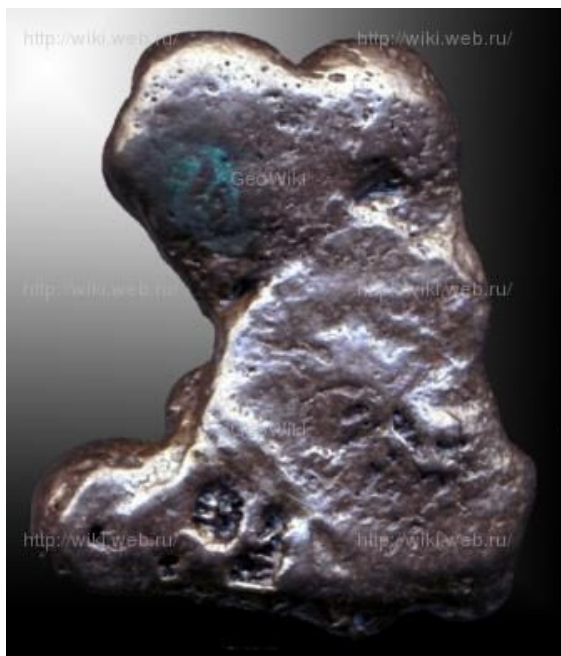
Прозрачность – способность минерала пропускать свет. В зависимости от степени прозрачности все минералы делятся на 3 группы:

- **Прозрачные** (сквозь минерал можно легко видеть различные предметы) – горный хрусталь, исландский шпат, топаз и др.
- **Полупрозрачные** (сквозь минерал виден свет, но контуры предметов уже не различимы) – сфалерит, киноварь и др.
- **Непрозрачные** – пирит, магнетит, графит и др.

Типы окраски минералов

Идиохроматическая (от греческого *идиос* – собственный) – минерал имеет отчетливо выраженный собственный цвет

медь

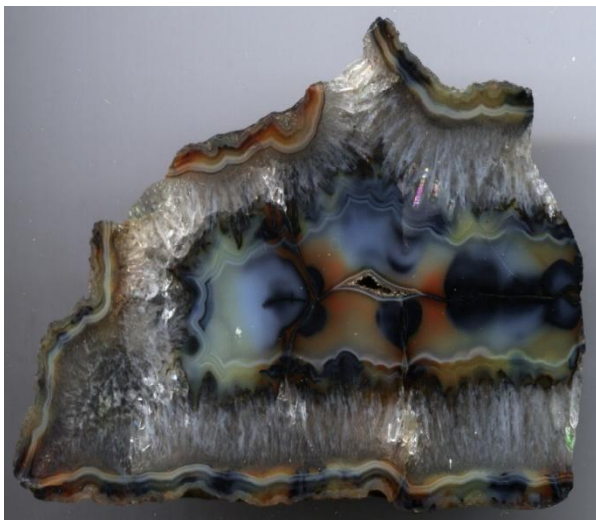


ЗОЛОТО



Аллохроматическая (от греческого *аллос* - чужой) – минерал окрашен примесями

Агат + Fe

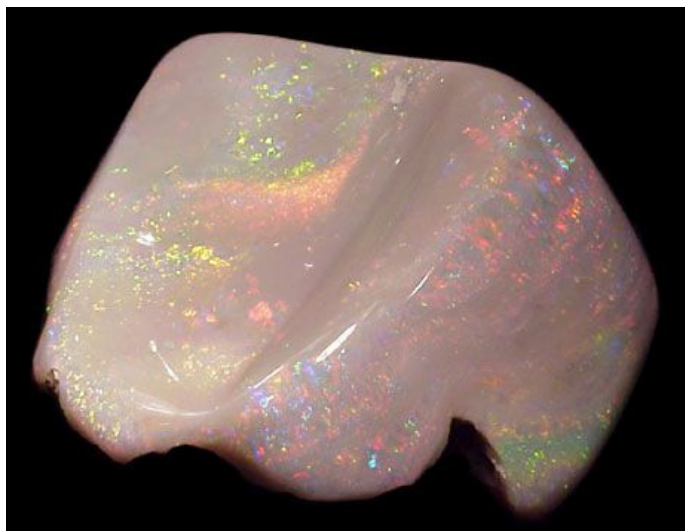


Берилл + Mn



Псевдохроматическая – «ложная окраска». Иногда тонкий поверхностный слой минерала имеет дополнительную окраску.

Опал



Блеск

– способность минералов с различной интенсивностью отражать падающий на них свет

Металлический –
напоминает блеск
полированного металла
(серебро, золото,
сульфиды). Минералы,
обладающие
металлическим блеском
всегда непрозрачны



Полуметаллический

блеск – более тусклый чем металлический, как у потускневших от времени металлов (гематит) или как у грифеля простого карандаша (графит). Минералы, обладающие полуметаллическим блеском также всегда непрозрачны



Стеклянный –

поверхность минерала
блестит как стекло.
Стеклянным блеском
обладает
большинство (около
70%) прозрачных и
полупрозрачных
минералов. Например,
кварц, топаз, гипс и др



Шелковистый –
обусловлен
волокнистым строением
минерала, поэтому
минерал блестит
и переливается, как
шелк или моток
шелковых нитей
(гипс-селенит, асбест,
иногда малахит



Жирный – поверхность минерала кажется смазанной жиром или покрытой маслянистой пленкой (нефелин, каолин). Возникает тогда, когда поверхности минерала покрыта мельчайшими неровностями. В результате при рассеянии получается эффект «жирной поверхности»



Смоляной – блеск, напоминающий блеск застывшей смолы или гудрона (обсидиан, янтарь). Аналог жирного блеска для минералов с темной окраской

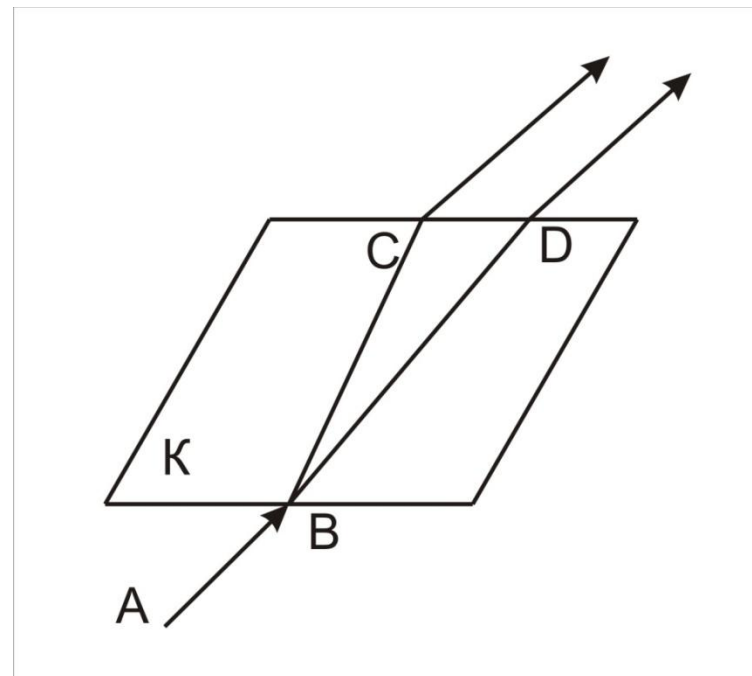


Восковой –

полуматовый блеск,
напоминающий блеск
пчелиного воска,
характерный для
минералов,
равномерно
рассеивающих свет
(халцедон, серпентин)



- **Двупреломление** – разложение в анизотропных средах светового луча, входящего в кристалл на два преломленных поляризованных луча со взаимно перпендикулярными световыми колебаниями





Литература:

1. Дикарева Р. П., Введение в кристаллофизику, М., Наука, 2007
2. Егоров -Тисменко Ю.К. Кристаллография и кристаллохимия, М., МГУ, 2010, 589 с
3. Егоров-Тисменко Ю.К., Литвинская Г.П., Загальская Ю.Г. Кристаллография. М., 2010.
4. Сонин А.С. Курс макроскопической кристаллофизики, М., ФИЗМАТЛИТ, 2006, 256 с.