

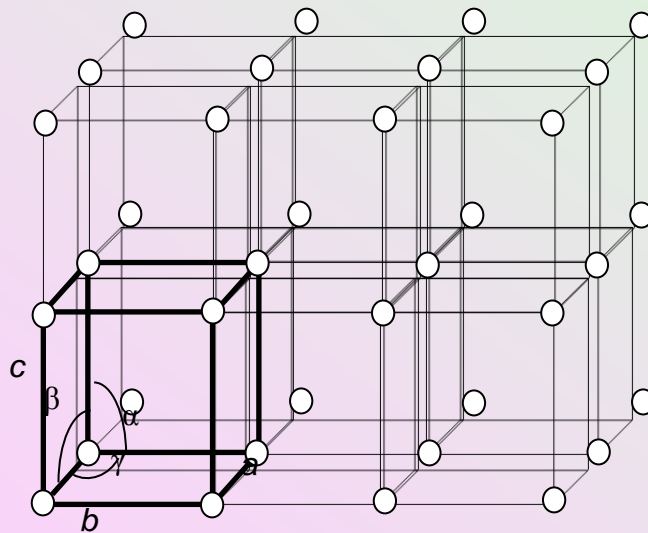
Учреждение образования
«Белорусский государственный технологический университет»

КРИСТАЛЛОГРАФИЯ, МИНЕРАЛОГИЯ

*Иван Адамович Левицкий, заслуженный
деятель науки РБ, профессор, доктор
технических наук*

Кристаллография – наука о кристаллах и кристаллическом состоянии вещества

Кристаллом называется твердое тело, химически однородное, в котором элементарные частицы (атомы, молекулы и ионы) располагаются закономерно в виде узлов пространственной (кристаллической) решетки.



Кристаллические вещества обладают следующими основными свойствами:

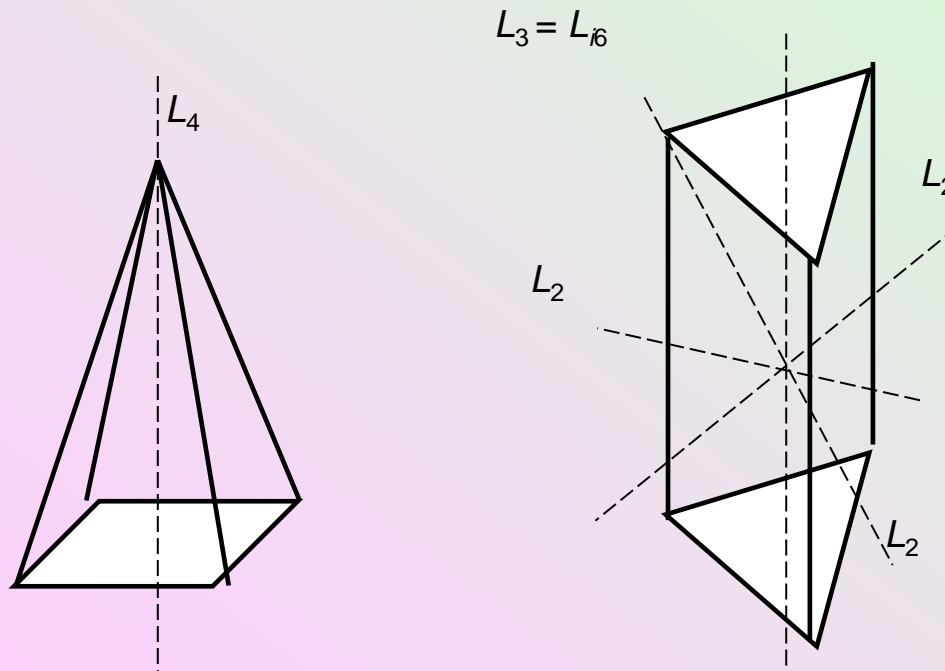
- симметричностью,
- однородностью,
- анизотропностью,
- способностью самоограняться,
- статичностью,
- минимальной внутренней энергией.

Элементами ограничения кристаллов являются грани, ребра, вершины.

Грани – это плоскости, ограничивающие кристалл. Они соответствуют плоским сеткам пространственной решетки кристалла.

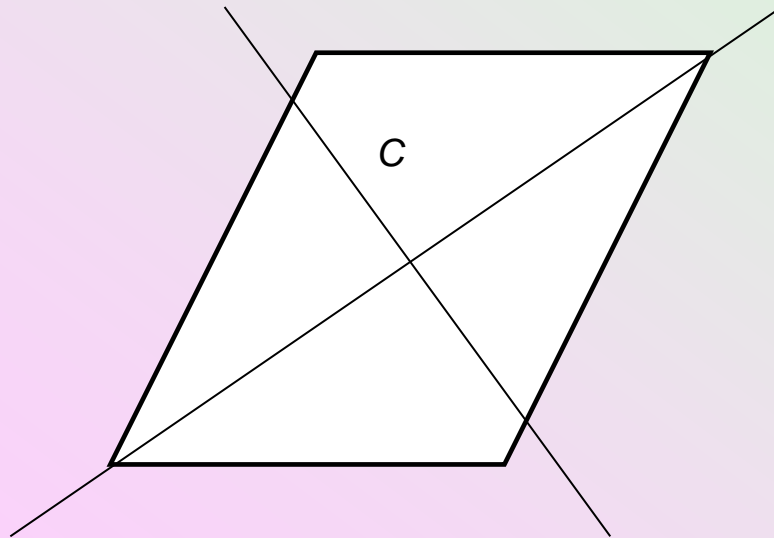
Ребра – образуются на пересечениях граней и отвечают рядам решетки.

Вершины располагаются на пересечении нескольких ребер.



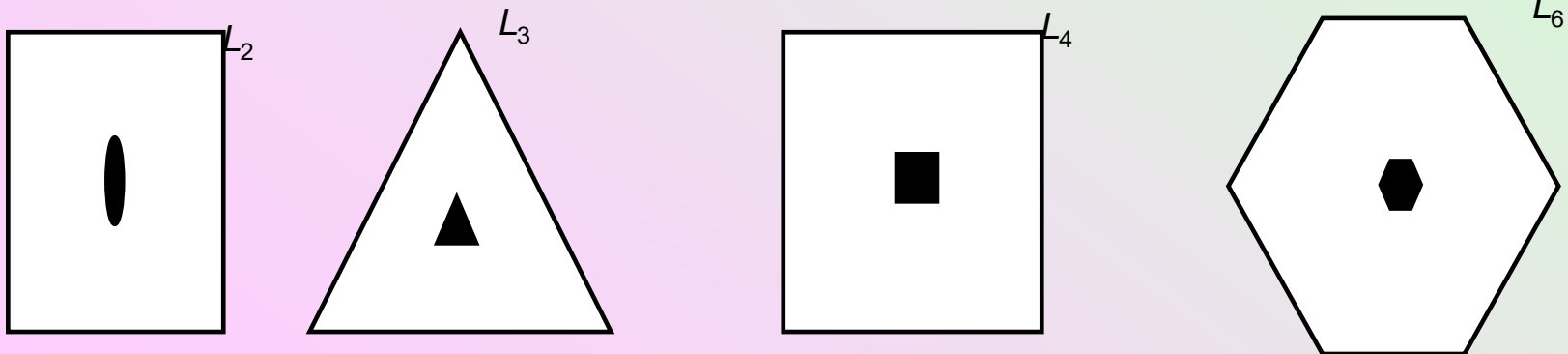
Симметрия кристаллов – закономерное повторение одинаковых элементов ограничения кристалла относительно элементов его симметрии – точек, линий и плоскостей. Простыми элементами симметрии являются центр симметрии, оси симметрии и плоскость симметрии.

Центр симметрии (инверсии) C – точка внутри фигуры, в которой делятся пополам все прямые, соединяющие одинаковые элементы ограничения кристалла. При наличии центра симметрии все грани в кристалле парные: каждой грани соответствует противоположащая, равная ей параллельная грань.

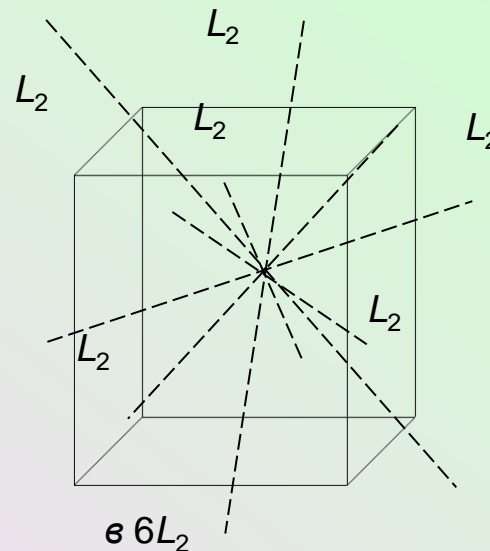
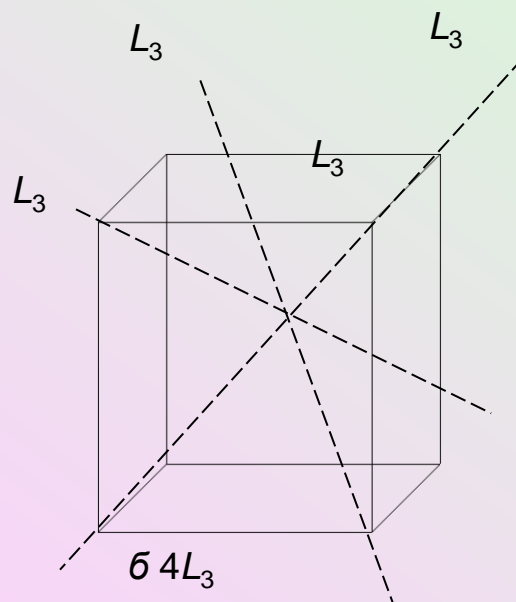
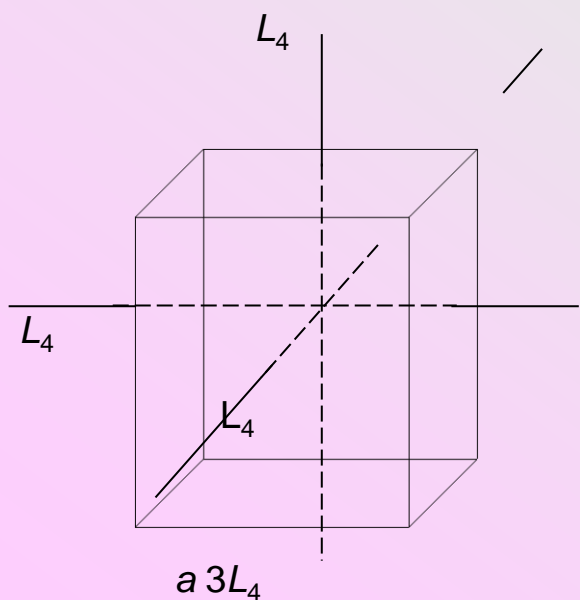


Ось симметрии L – это мысленно проведенная прямая линия, при вращении вокруг которой фигура совмещается сама с собой определенное число раз. Наименование оси определяется числом совмещений при повороте фигуры на 360° . У реальных кристаллов наблюдаются оси симметрии второго, третьего, четвертого и шестого порядков. Оси первого порядка не учитываются, так как их в любом кристалле бесконечное множество, а осей 5-го порядка и выше 6-го не допускают особенности пространственных решеток кристаллов. Оси симметрии обозначаются буквой L , а на порядок осей указывает цифра, записываемая справа внизу.

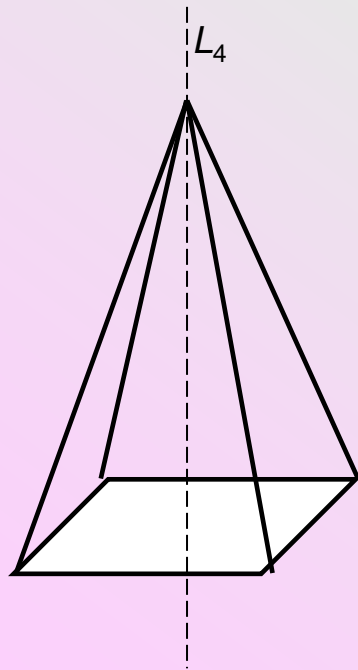
Наличие нескольких осей одного порядка показывается цифрой перед буквой.



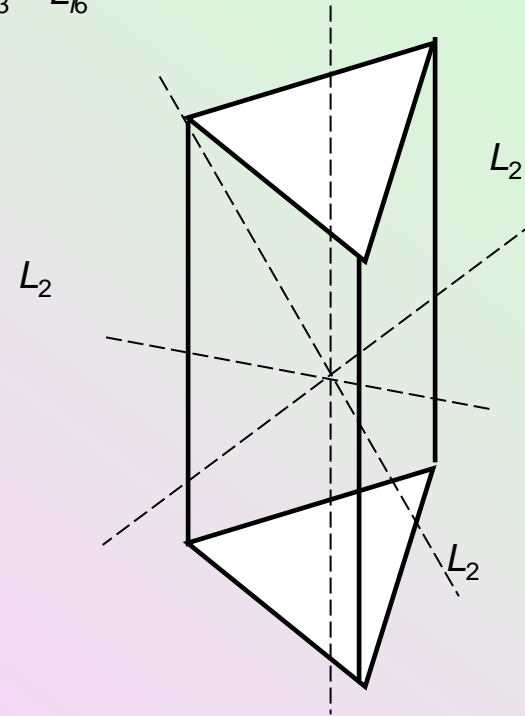
В кристаллических многогранниках оси симметрии обязательно проходят через центр фигуры, а их выходы на поверхности совпадают либо с вершинами, либо с центрами граней, либо с серединами ребер



Для фигур, не имеющих центра симметрии, оси могут проходить по линиям: вершина – центр грани, центр ребра – центр грани. При наличии осей, сходящихся в вершинах кристалла, порядок оси соответствует числу граней

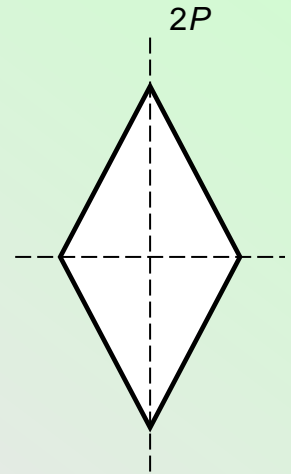
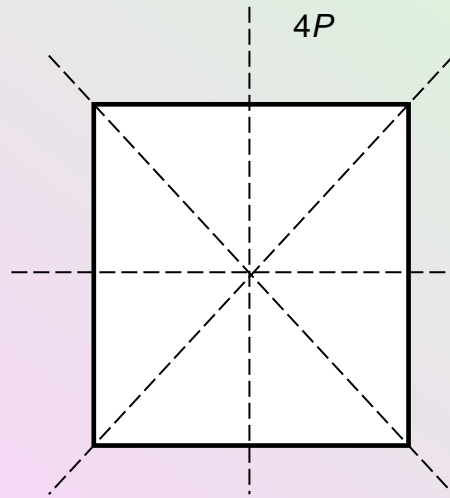
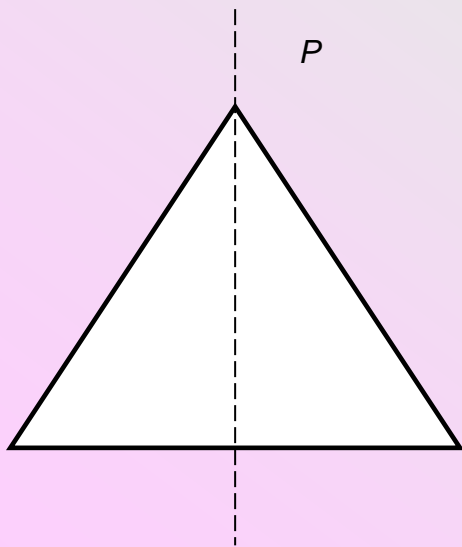


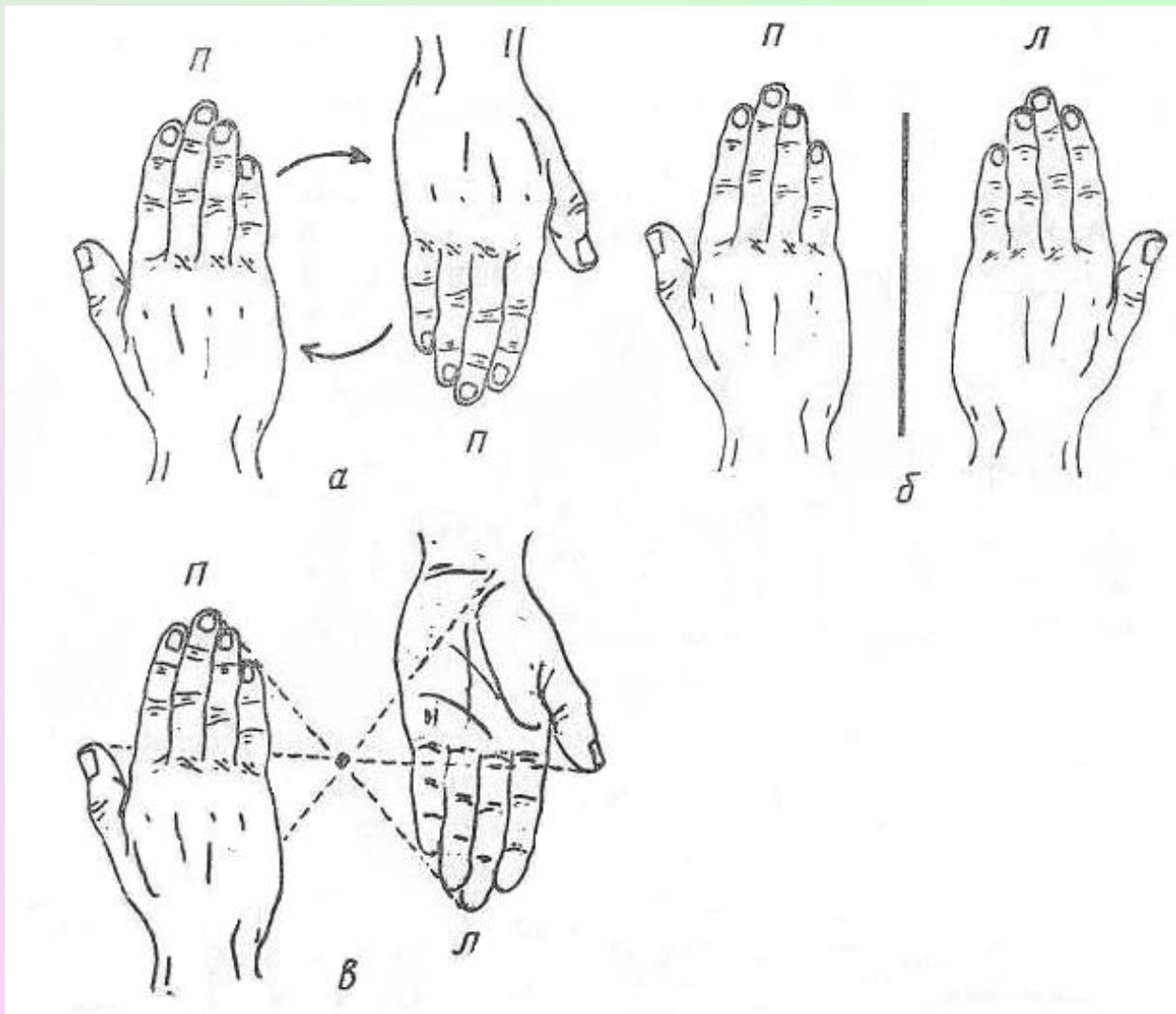
$$L_3 = L_6$$



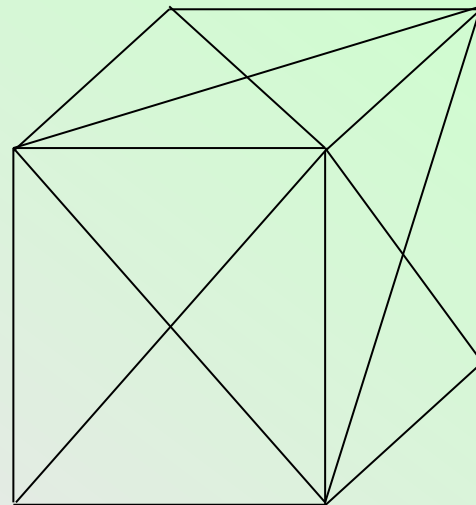
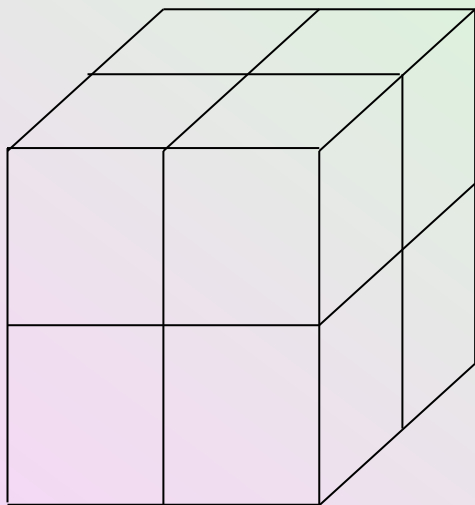
Помимо простых осей симметрии существуют еще и сложные – ***инверсионные оси***. Инверсионной осью L_i кристалла называется линия, при вращении вокруг которой на некоторый определенный угол и последующим отражении в центральной точке многогранника (как в центре симметрии) совмещаются одинаковые элементы ограничения. Существуют инверсионные оси четвертого и шестого порядков – L_{i4} , L_{i6} .

Плоскость симметрии P – плоскость, разделяющая фигуру на две зеркально равные части, расположенные относительно друг друга как предмет и его зеркальное отображение





- Примеры конгруэнтного (а) и зеркального (энантиоморфного) (б,в) равенства фигур

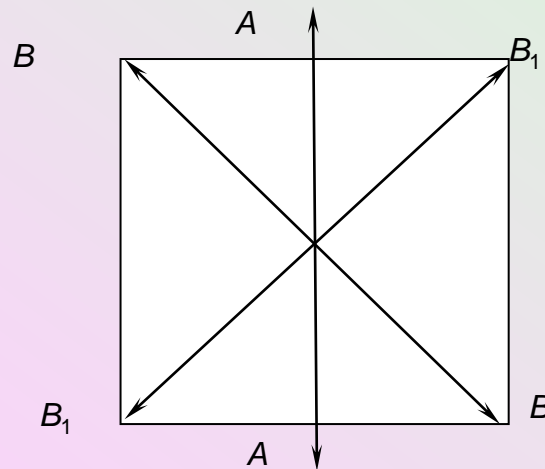


Плоскости симметрии в кубе

Классы симметрии бывают 7 типов:

- **примитивные**, состоящие только из какой-либо одной оси симметрии;
- **центральные**, состоящие только из какой-либо одной оси симметрии, центра симметрии;
- **планальные**, состоящие из одной оси симметрии и плоскости симметрии;
- **аксиальные**, состоящие из осей симметрии различных наименований;
- **планаксиальные**, состоящие из комбинации плоскостей симметрии, центра симметрии и различных осей симметрии;
- **инверсионно-примитивные**, в которых единичное направление совмещено с инверсионной осью;
- **инверсионно-планальные**, в которых кроме единичного направления, совпадающего с инверсионной осью имеется плоскость симметрии, идущая вдоль него.

**Единичным направлением в кристалле
называется единственное
неповторяющееся направление**



Сингония – это группа видов симметрии, обладающих одним или несколькими одинаковыми элементами симметрии и имеющих одинаковое расположение кристаллографических осей – единичных направлений. Различается 7 типов сингоний.

1. **Триклинная**. Название дано по трем косым углам между кристаллографическими осями. У кристаллов, относящихся к этой сингонии, или совершенно нет элементов симметрии, или имеется только центр симметрии C . Все направления в кристалле единичны. Кристаллы триклинной сингонии наименее симметричные по своему внешнему облику по сравнению с формами кристаллов остальных сингоний.

2. **Моноклинная**. Кристаллы имеют каждый элемент симметрии лишь в единичном числе: или одну ось L_2 или одну плоскость P , или сочетание PC . Единичных направлений много.

3. **Ромбическая**. В кристаллах число осей или плоскостей симметрии больше единицы. Осей порядка выше L_2 нет. Единичных направлений – три.

4. **Тригональная**. Кристаллы помимо остальных элементов симметрии обязательно имеют одну ось третьего порядка, с которой совпадает единичное направление.

5. **Тетрагональная**. Кристаллы имеют помимо двух элементов симметрии одну ось симметрии L_4 (или сложную ось инверсии L_{i4}) и одно единичное направление, которое совпадает с осью четвертого порядка.

6. **Гексагональная**. Кристаллы обязательно имеют одну простую ось симметрии шестого порядка (или сложной осью инверсии шестого порядка), с которой совпадает одно единичное направление.

7. **Кубическая**. Кристаллы равномерно развиты по всем направлениям (их фигуры можно вписать в шар) и наиболее симметричны из всех – обладают самым большим числом элементов симметрии, из которых обязательны четыре оси третьего порядка. Единичных направлений нет.

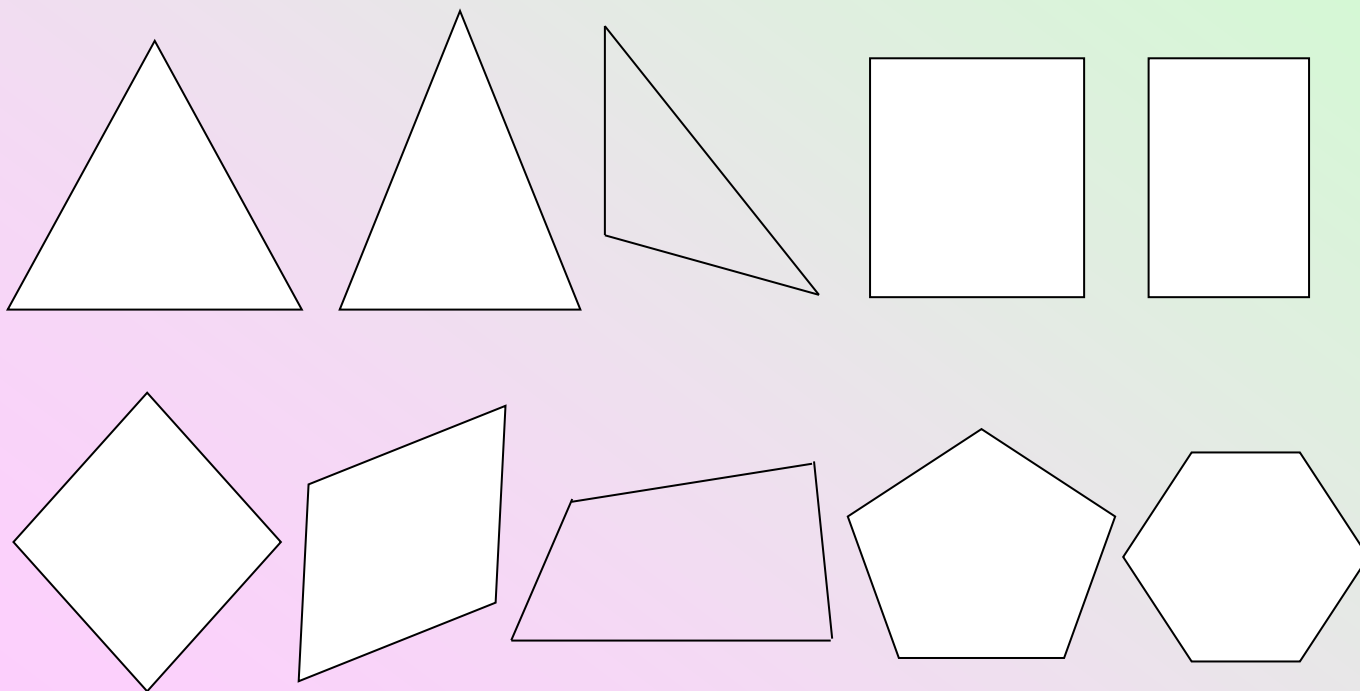
Сингонии группируют в более крупные систематические единицы – ***категории***.

Низшая категория – единичных направлений больше одного, отсутствуют оси выше второго порядка. К этой категории относятся триклинная, моноклинная и ромбическая сингонии.

Средняя категория – кристаллы имеют одно единичное направление, совпадающее с единственной осью высшего порядка (выше L_6). Сюда относятся тригональные, тетрагональные и гексагональные сингонии.

Высшая категория – единичных направлений нет, несколько осей высшего порядка. К высшей категории относится кубическая сингония.

В кристаллографии известно всего 47 различных простых форм. Названия большинства форм основаны на следующих древнегреческих словах: моно – один; ди – два; три – три; тетра – четыре; пента – пять; гекса – шесть; окта – восемь; додека – двенадцать; эдра – грань; скалес – косой треугольник; скаленас – кривой, неровный; трапеца – неравносторонний; пинакос – доска; аксон – ось; планум – плоскость; поли – много; сингония – сходноугольность; гонис – угол.



Элементы симметрии I рода –

оси симметрии

Оси порядка выше 2 – **оси высшего порядка**

Элементы симметрии II рода –

- 1) Плоскости симметрии
- 2) Сложные оси симметрии
(инверсионные оси)
- 3) Центр симметрии

Теоремы

о сочетании элементов симметрии

- Теорема № 1. Линия пересечения двух плоскостей симметрии является осью симметрии, причем угол поворота вокруг этой оси вдвое больше угла между плоскостями.

- Теорема № 1 а (обратная).

Поворот вокруг оси симметрии на угол α эквивалентен отражениям в двух плоскостях симметрии, проходящих вдоль оси; угол между плоскостями равен $\alpha/2$, причем отсчет угла производится в направлении поворота.

- Теорема № 2. Точка пересечения четной оси симметрии с перпендикулярной ей плоскостью симметрии есть центр симметрии.

- Теорема № 2 а (обратная).
Если есть четная ось симметрии и на ней центр симметрии, то перпендикулярно этой оси проходит плоскость симметрии.

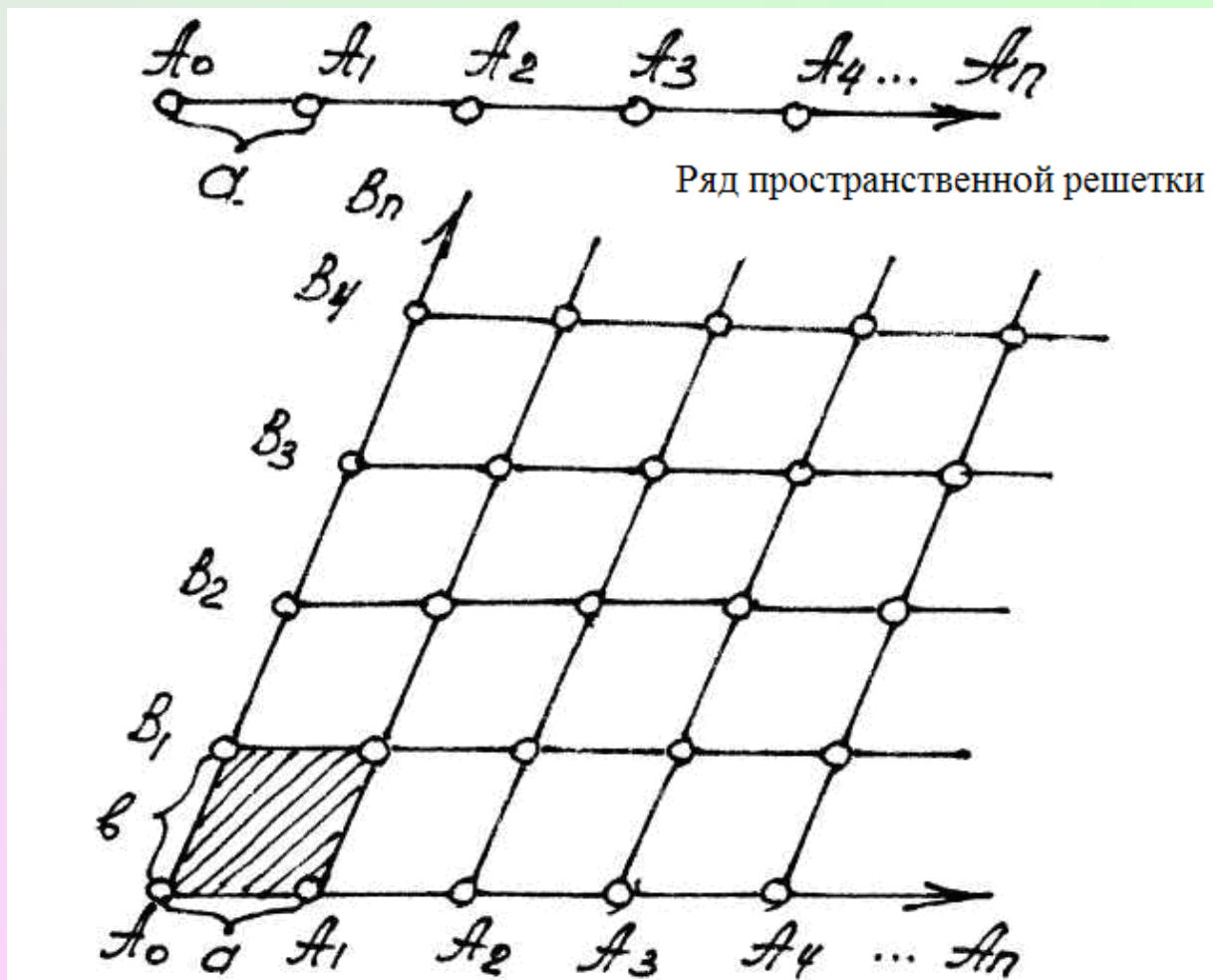
- Теорема 2 б (обратная). Если есть центр симметрии и через него проходит плоскость симметрии, то перпендикулярно этой плоскости через центр проходит четная ось симметрии.

- Теорема № 3. Если есть ось симметрии порядка n и перпендикулярно этой оси проходит ось 2, то всего имеется n осей 2-го порядка, перпендикулярных оси n -го порядка.

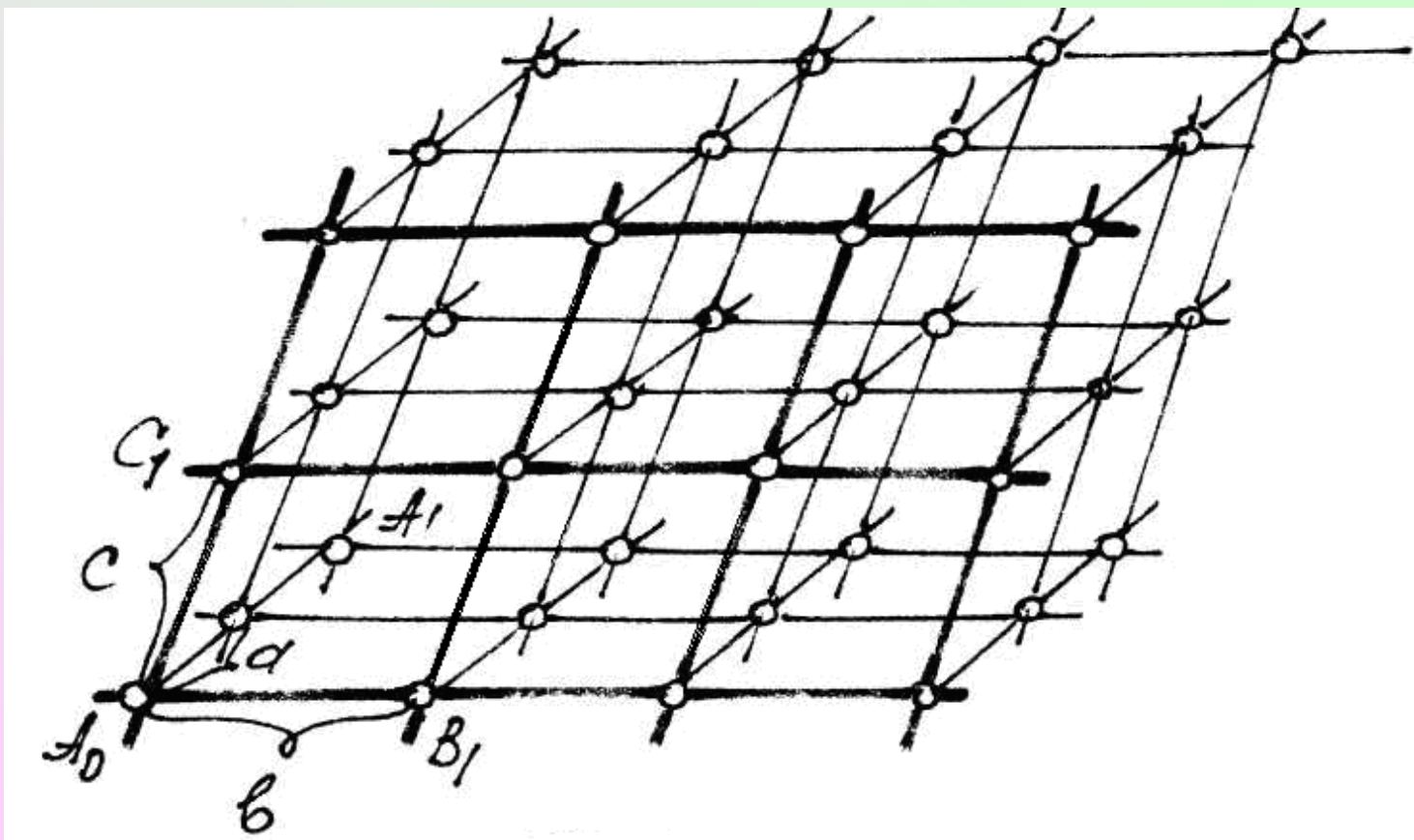
- Теорема № 4. Если есть ось симметрии n -го порядка и вдоль нее проходит плоскость симметрии, то таких плоскостей имеется n .

- Теорема № 5 (теорема Эйлера). Равнодействующей двух пересекающихся осей симметрии является третья ось, проходящая через точку их пересечения.

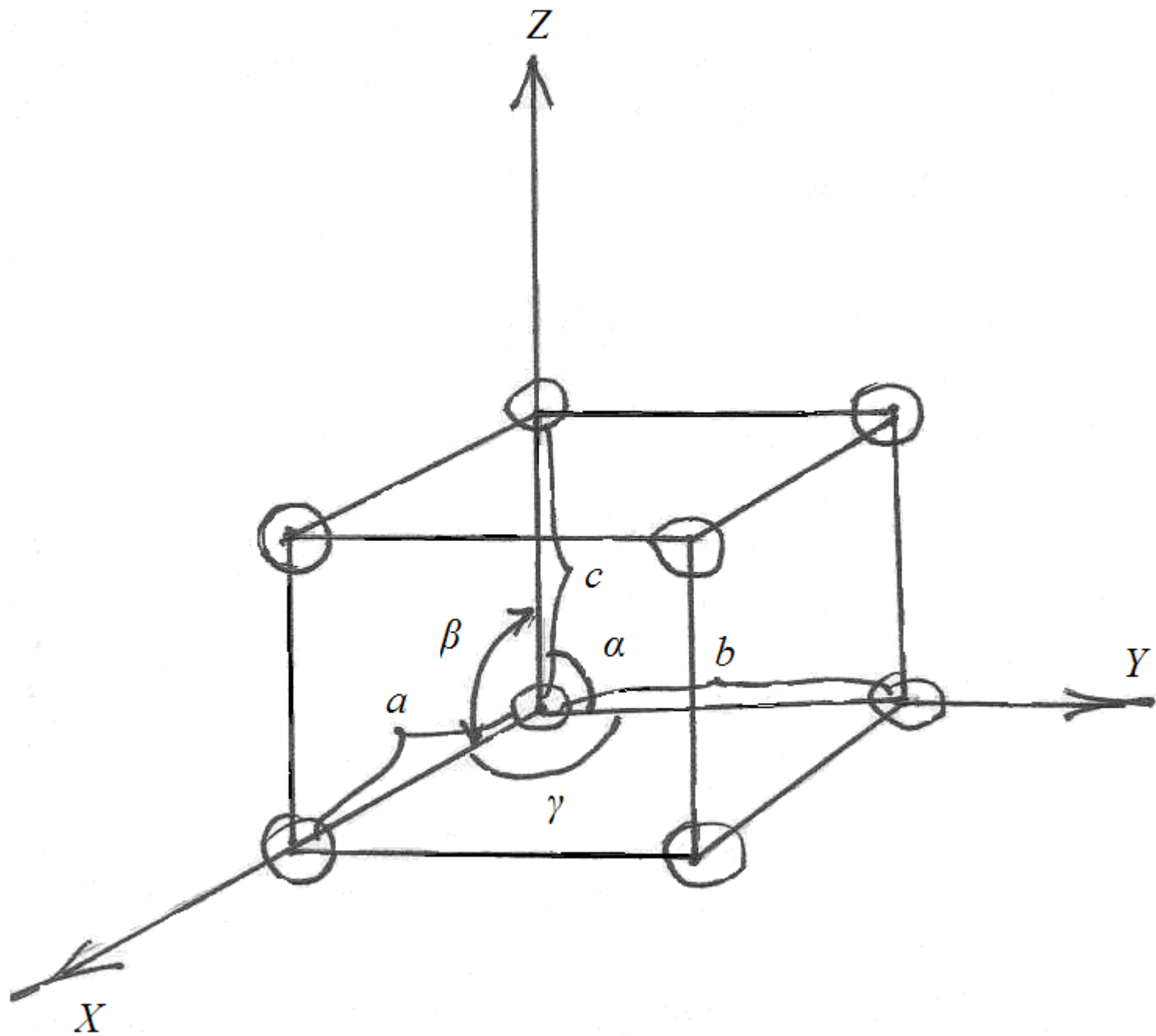
- Теорема № 6. Плоскость, проходящая вдоль четной инверсионной оси симметрии, приводит к появлению оси 2-го порядка, перпендикулярной инверсионной оси и проходящей по биссектрисе угла между плоскостями.

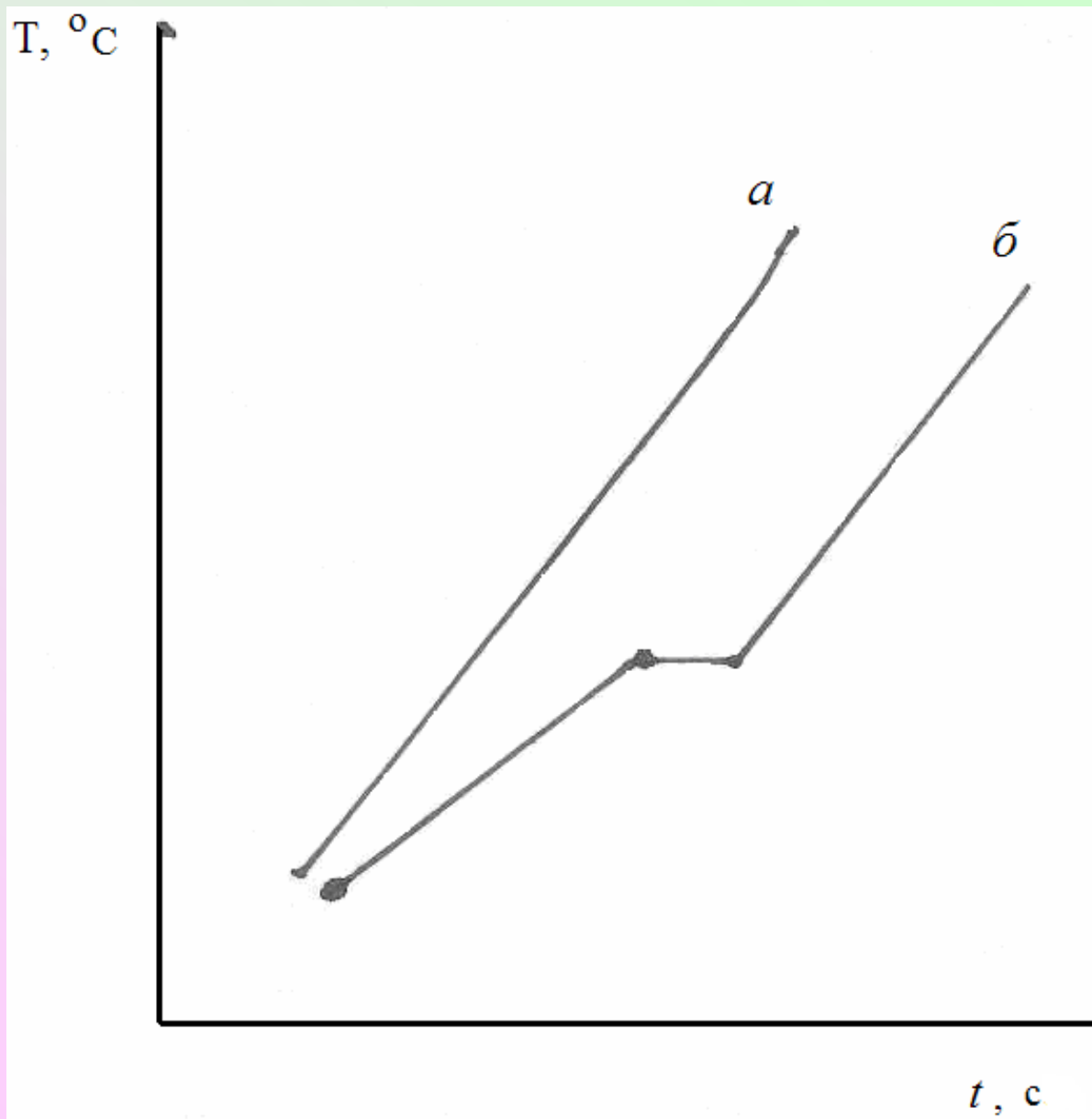


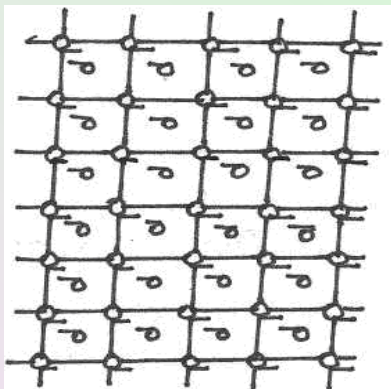
Плоская сетка пространственной решетки



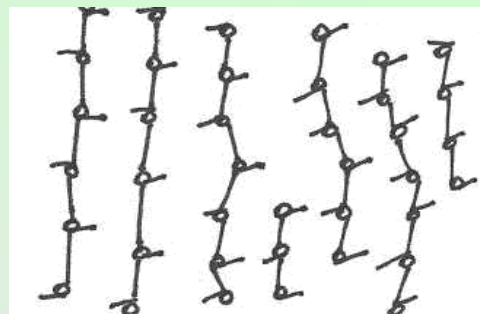
Пространственная решетка кристалла



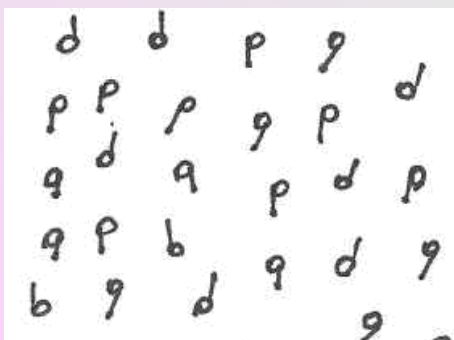




1 – кристаллическое состояние



2 – полимер



3 – жидкий кристалл



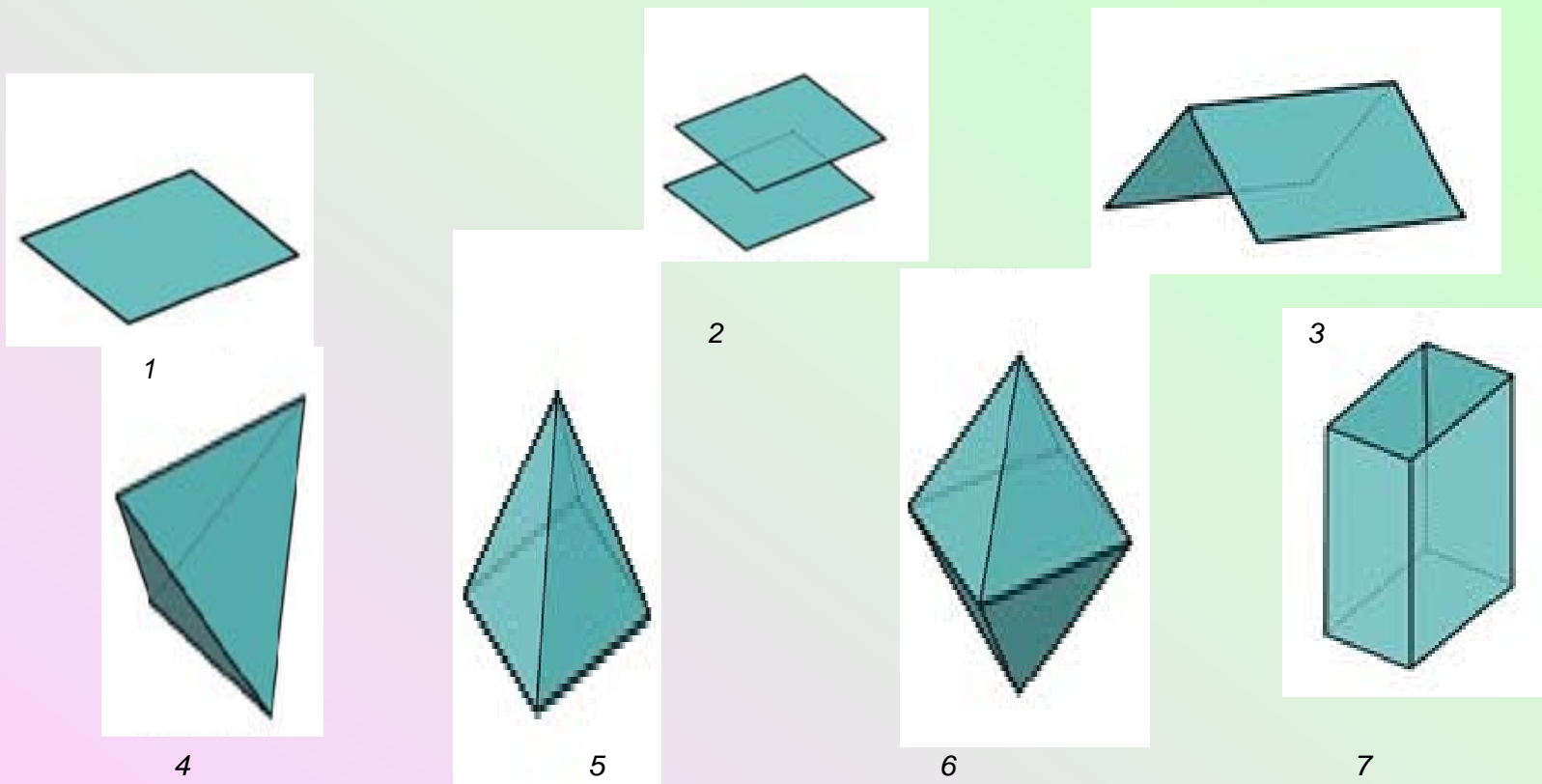
4 – аморфное тело

По формуле симметр.	Междунар. символ	Изображение по отношению к плоскости	
		I	II
C	$\bar{7}$	C	O
P	m	// =	⊙
L_n	n	—	—
L_2	2	●	●—●
L_3	3	▲	▲—▲
L_4	4	■	■—■
L_6	6	⬠	⬠—⬠
L_{ni}	\bar{n}	—	—
L_{3i}	$\bar{3}$	⊙ ▲	⊙—⊙ ▲—▲
L_{4i}	$\bar{4}$	◊	◊—◊
L_{6i}	$\bar{6}$	⬠	⬠—⬠

syklisch-
круговой

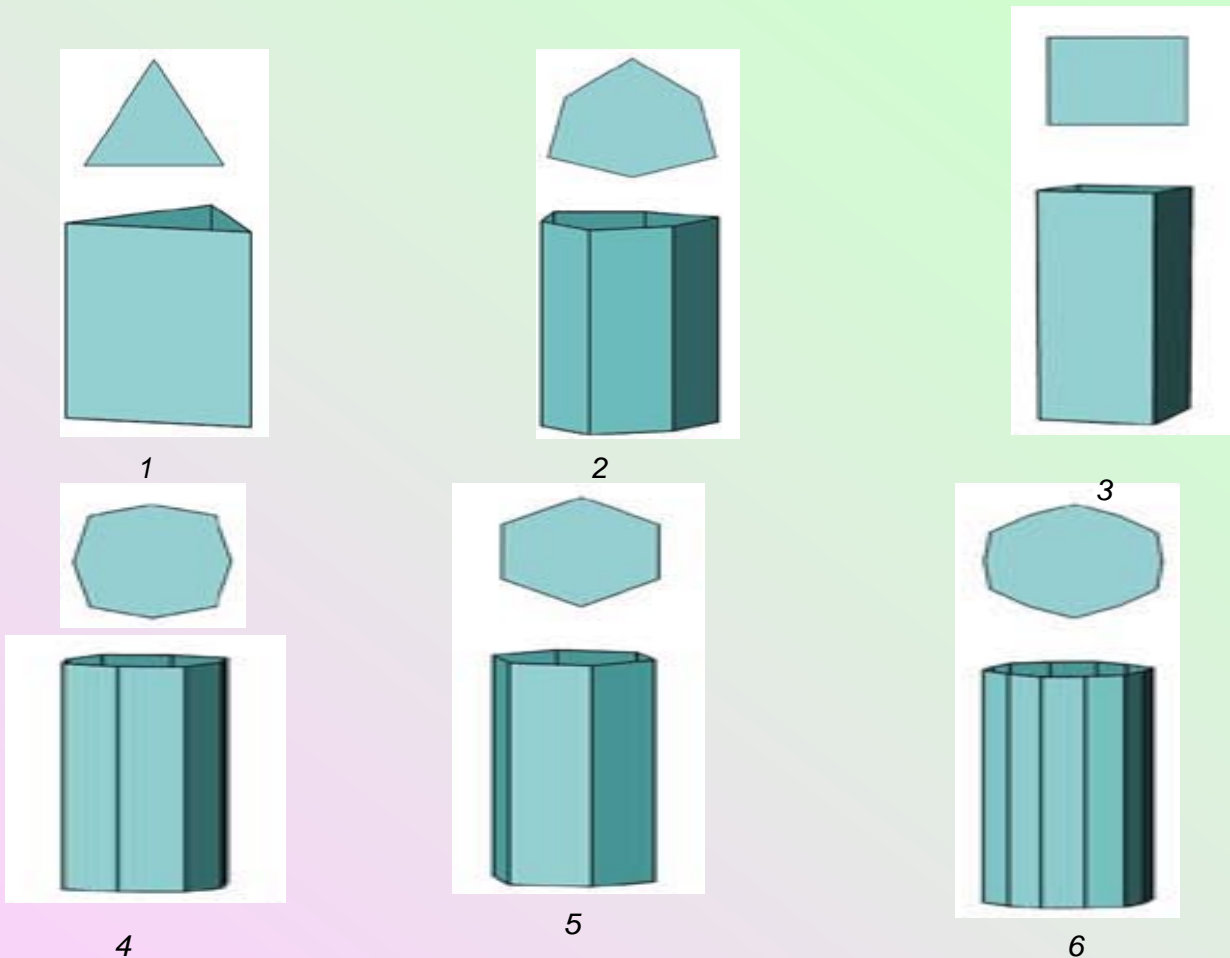
- Элементы симметрии и их обозначение на стереографических проекциях (обозначения К. Германа и Ш.Могена)

По Шефлинсу ↗



Простые формы сингоний низшей категории:

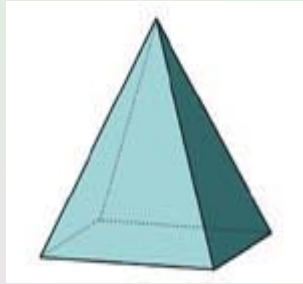
- 1 – моноэдр; 2 – пинакоид; 3 – диэдр;
4 – ромбический тетраэдр; 5 – ромбическая пирамида; 6 – ромбическая дипирамида;
7 – ромбическая призма***



Простые формы сингоний средней категории: 1 – тригональная призма; 2 – дитригональная призма; 3 – тетрагональная призма; 4 – дитетрагональная призма; 5 – гексагональная призма; 6 – дигексагональная призма



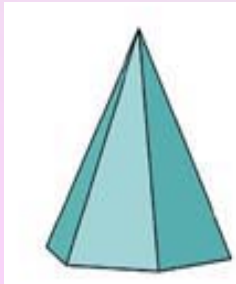
1



2



3



4



5



6



7



8



9



10



11

**Простые формы сингоний
средней категории:**

- 1 – тригональная пирамида;
- 2 – тетрагональная пирамида;
- 3 – гексагональная пирамида;
- 4 – дитригональная пирамида;
- 5 – дитетрагональная пирамида;
- 6 – дигексагональная пирамида;
- 7 – тетрагональный тетраэдр;
- 8 – тригональная дипирамида;
- 9 – тетрагональная дипирамида;
- 10 – гексагональная дипирамида;
- 11 – дитригональная дипирамида



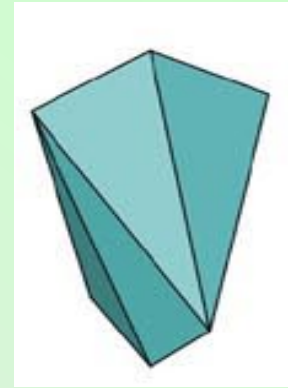
1



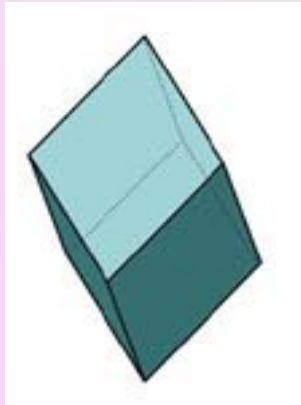
2



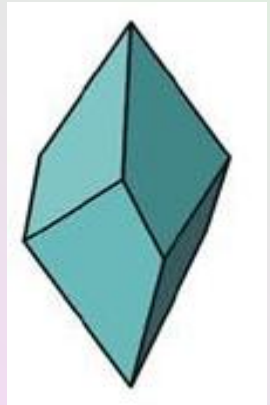
3



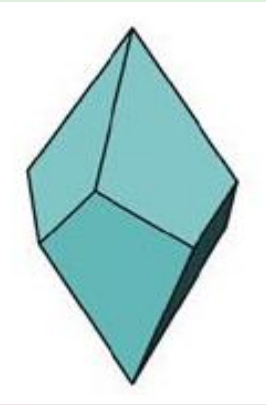
4



5



6



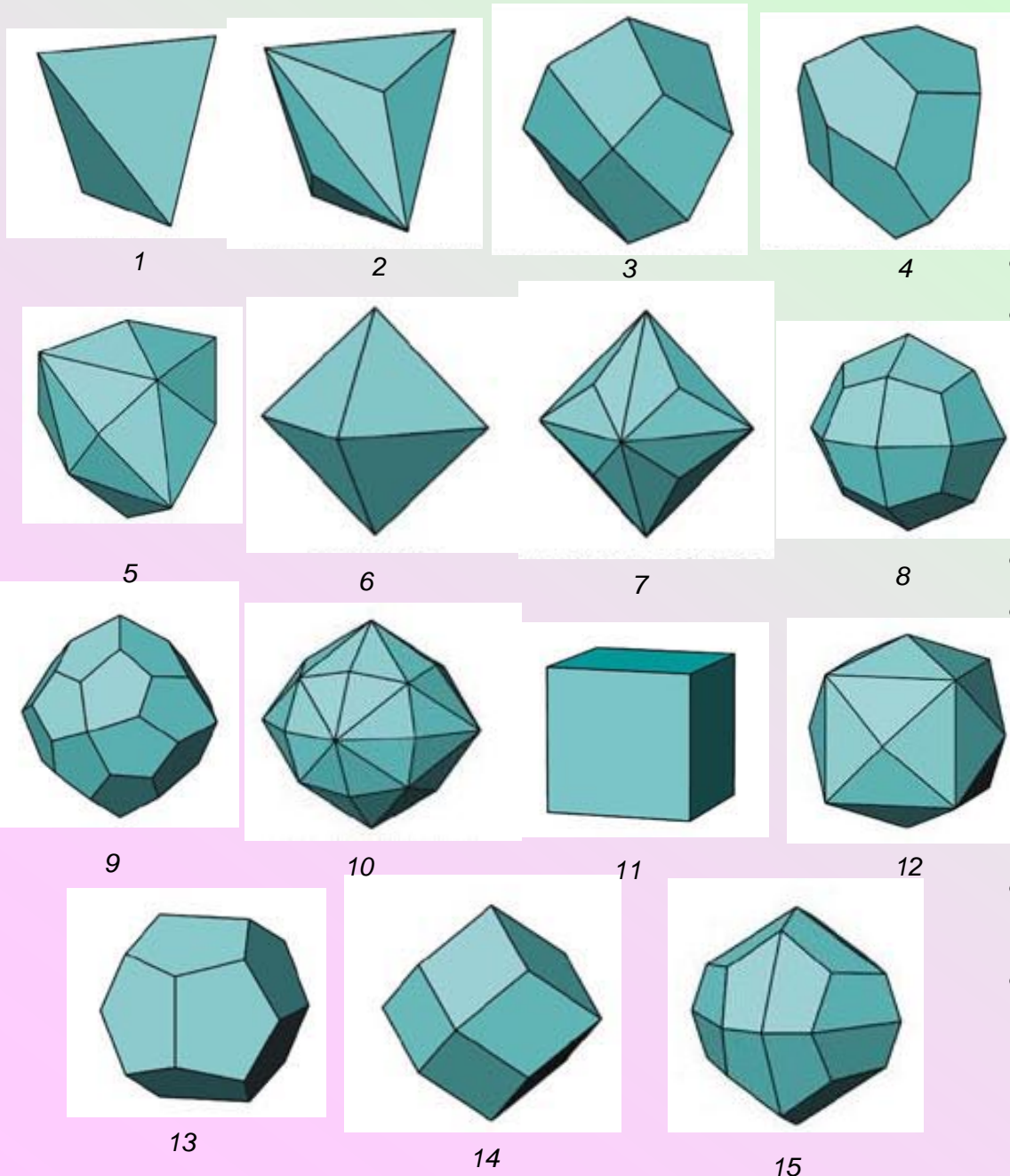
7



8

- **Простые формы сингоний средней категории:**

1 – дитетрагональная дипирамида; 2 – дигексагональная дипирамида; 3 – дитригональный скаленоэдр; 4 – тетрагональный скаленоэдр; 5 – ромбоэдр; 6 – тригональный трапецоэдр; 7 – тетрагональный трапецоэдр; 8 – гексагональный трапецоэдр



**Простые формы
высшей категории**

(кубическая сингония):

- 1 – тетраэдр;
- 2 – тригонритетраэдр;
- 3 – тетрагонритетраэдр;
- 4 – пентагонритетраэдр;
- 5 – гексатетраэдр (тригонгексатетраэдр);
- 6 – октаэдр;
- 7 – тригонтриоктаэдр;
- 8 – тетрагонтриоктаэдр;
- 9 – пентагонтриоктаэдр;
- 10 гексаоктаэдр (тригонгексаоктаэдр);
- 11 – куб (гексаэдр);
- 12 – тетрагексаэдр (тригонтетрагексаэдр);
- 13 – пентагондодокаэдр;
- 14 – ромбододокаэдр;
- 15 – дидодокаэдр

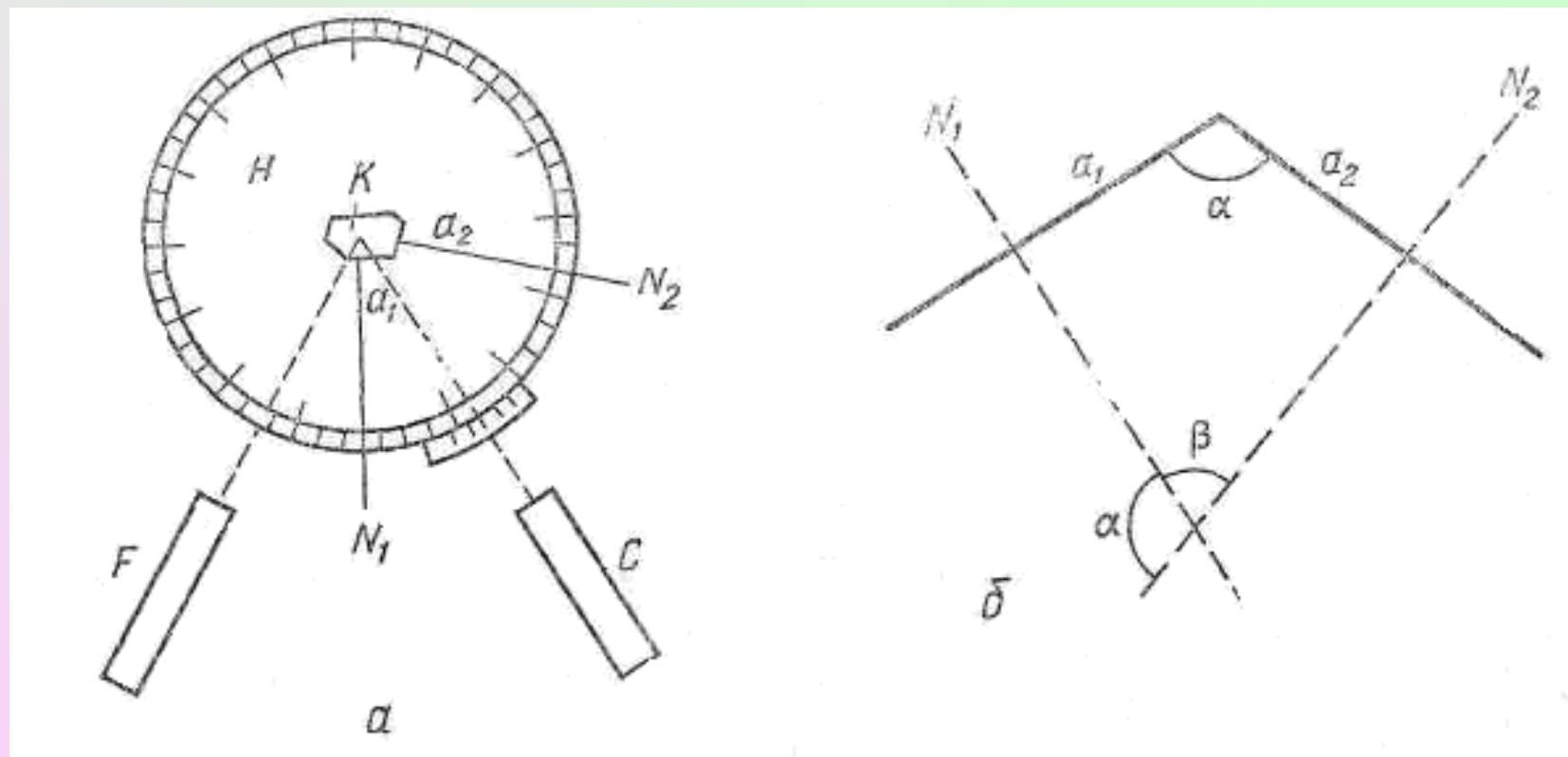
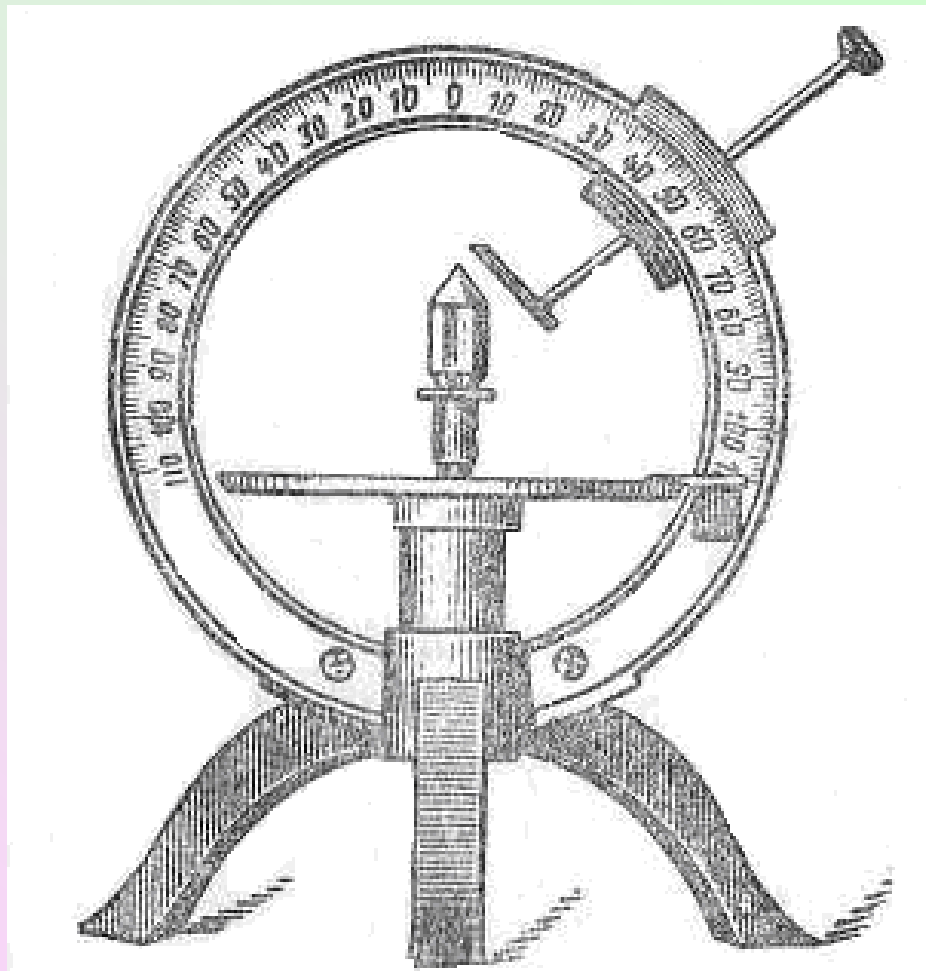
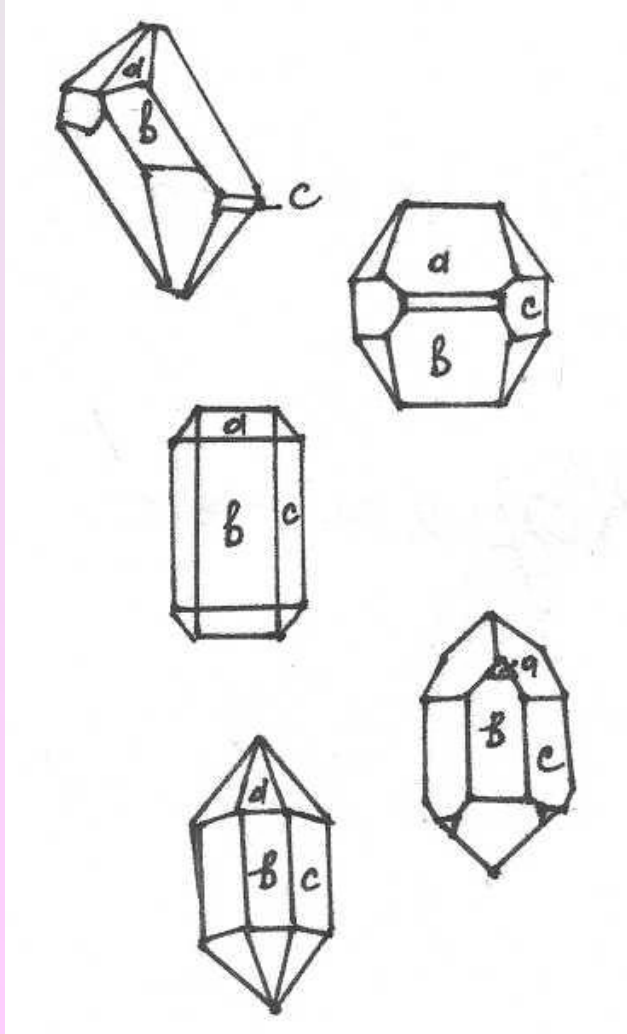


Схема действия отражательного гониометра (а);
соотношение углов между гранями кристалла и
нормальями к ним (б)



Прикладной двухкругный гониометр
Гольдшмидта

$$\begin{aligned}\angle a\beta &= 141^{\circ}47' \\ \angle a\gamma &= 113^{\circ}08' \\ \angle \beta\gamma &= 120^{\circ}00'\end{aligned}$$



- Закон Стено-Ломоносова-Ромэ-Делиля:
- 1) углы между соответствующими гранями (и ребрами) во всех кристаллах одного и того же вещества постоянны
- 2) во всех кристаллах, принадлежащих одной полиморфной модификации данного вещества, при одинаковых условиях углы между соответствующими гранями (и ребрами) постоянны

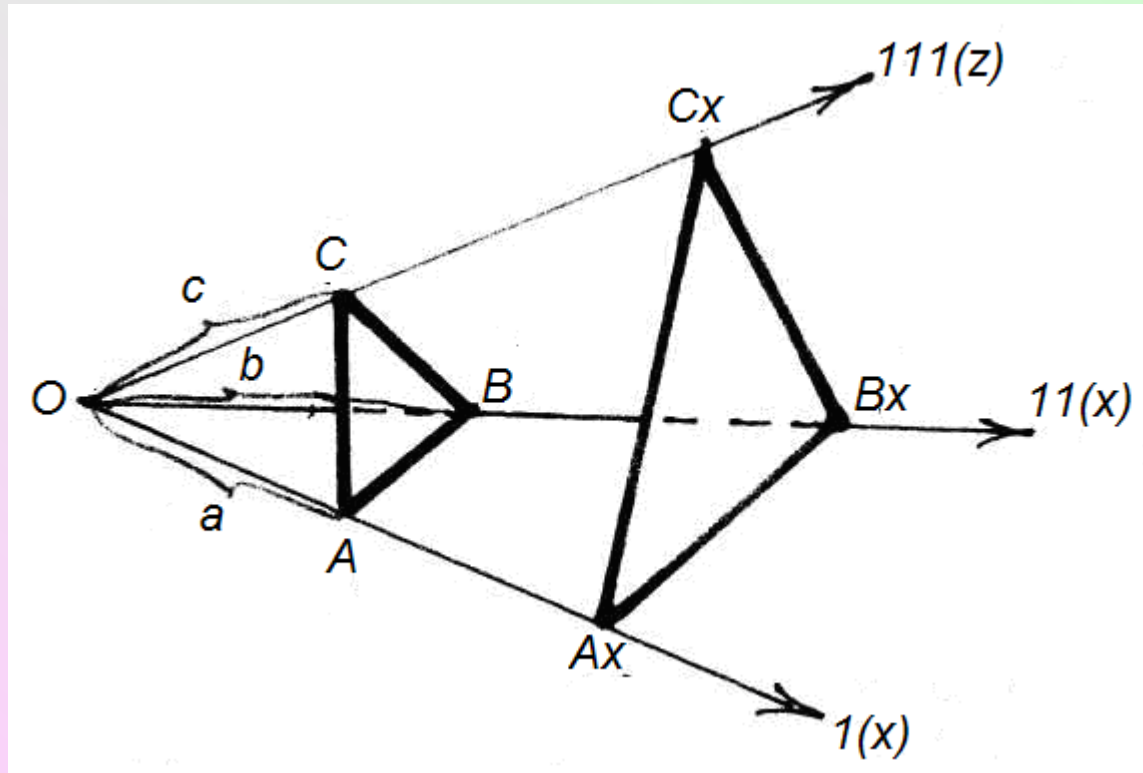
Для кристаллов тригональной и гексагональной сингоний принимаются оси X , Y , U , Z , а для остальных сингоний – X , Y , Z .

В кристаллографии принята правая система координат, то есть положительными направлениями считаются: для оси X – вперед на наблюдателя, Y – вправо от наблюдателя, Z – вверх

Сингония	Выбор координатных осей	Координатные углы и единичные параметры
Триклинная	За оси X, Y, Z принимают три ребра, которые пересекались бы под углами, более близкими к 90° . За вертикальную ось принимают ребро наиболее развитой зоны	$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$ $a \neq b \neq c$
Моноклинная	Ось $Z - L_2$ или $\perp P$; X и Y – два ребра, перпендикулярные оси Y ; X – вперед наклонно вниз, Z – вертикально вдоль ребра наиболее развитой зоны	$\alpha = \gamma = 90^\circ$ $\beta \neq 120^\circ$ $a \neq b \neq c$
Ромбическая	$X, Y - 2L_2$ или нормали к $2P, Z - L_2$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a \neq b \neq c$

Тетрагональная	$Z - L_4; X, Y - 2L_2$, или нормали к $2P$ (под 90°) при их отсутствии – два перпендикулярных ребра под углом 90°	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b \neq c$
Тригональная	$Z - L_3; X, Y, U - 3L_2$ или нормали к $3P$. При их отсутствии – три перпендикулярных к оси Z ребра под углами 60° .	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$
Гексагональная	$Z - L_6 (L_{i6}); X, U, Z - 3L_2$ или нормали к $3P$	$\alpha = \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$ $a = b \neq c$
Кубическая	$X, Y, Z - 3L_4 (3L_4)$, при их отсутствии – $3L_2$	$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$ $a = b = c$

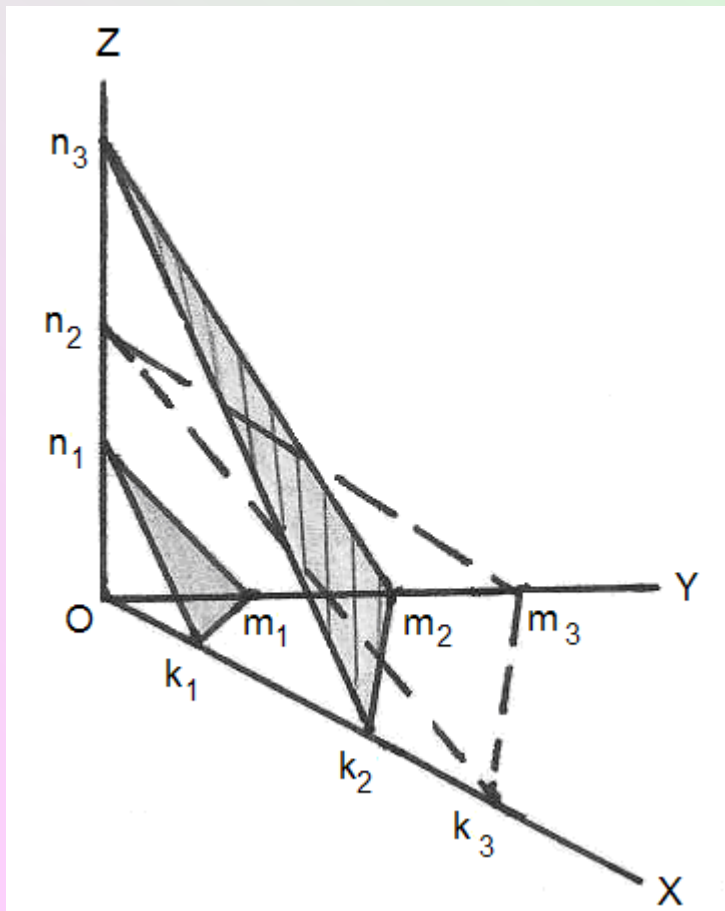
Закон Гаюи (Аюи)



$$\frac{OA_x}{OA} : \frac{OB_x}{OB} : \frac{OC_x}{OC} = p : q : r$$

$$\frac{1}{\frac{OA_x}{OA}} : \frac{1}{\frac{OB_x}{OB}} : \frac{1}{\frac{OC_x}{OC}} = h : k : l$$

- Для примера найдем индекс грани $AxVxСx$.
 Параметры выражаем числом промежутков между элементарными частицами:
- $$\frac{OA_1}{OA_x} : \frac{OB_1}{OB_x} : \frac{OC_1}{OC_x} = \frac{2}{4} : \frac{2}{3} : \frac{1}{2} = \frac{2 \cdot 3 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 1 \cdot 12}{12} = 6:8:12 = 3:4:6$$
- Индекс грани $AxVxСx = (346)$ (читается три – четыре – шесть, а не триста сорок шесть).
- Если грань пересекает какую-либо ось со стороны отрицательного значения (минуса), над индексом этой оси ставится знак минус (hI).



Грань $k_1 m_1 n_1$

$h, k, l = 1$

$$\frac{1}{p}, \frac{1}{q}, \frac{1}{r} = \frac{1}{1} : \frac{1}{1} : \frac{1}{1} = (111)$$

Грань $k_2 m_2 n_2$

$$\frac{1}{2} : \frac{1}{2} : \frac{1}{3} = 3 : 3 : 2$$

СИМВОЛ (332)

Грань $k_3 m_3 n_3$

$$\frac{1}{3} : \frac{1}{3} : \frac{1}{2} = 2 : 2 : 3$$

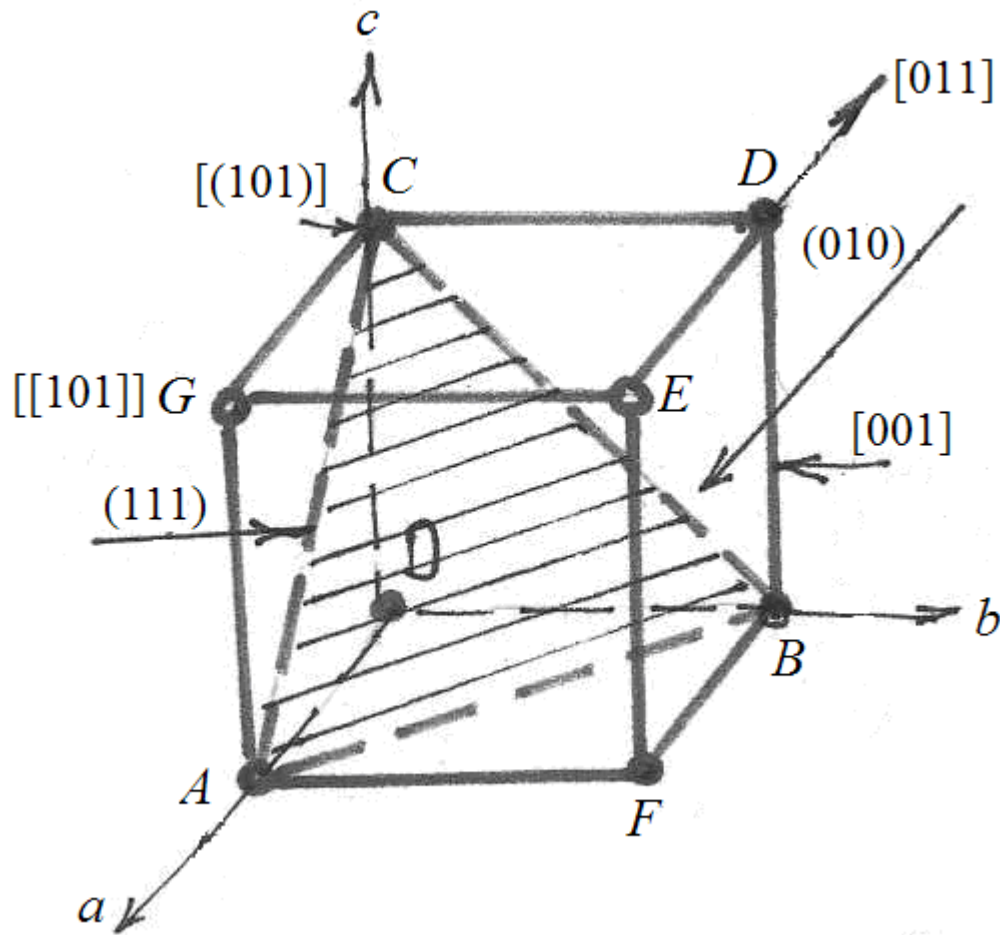
СИМВОЛ (223)

Если //

$$\frac{1}{\infty} : \frac{1}{\infty} : \frac{1}{2} = 0 : 0 : 2$$

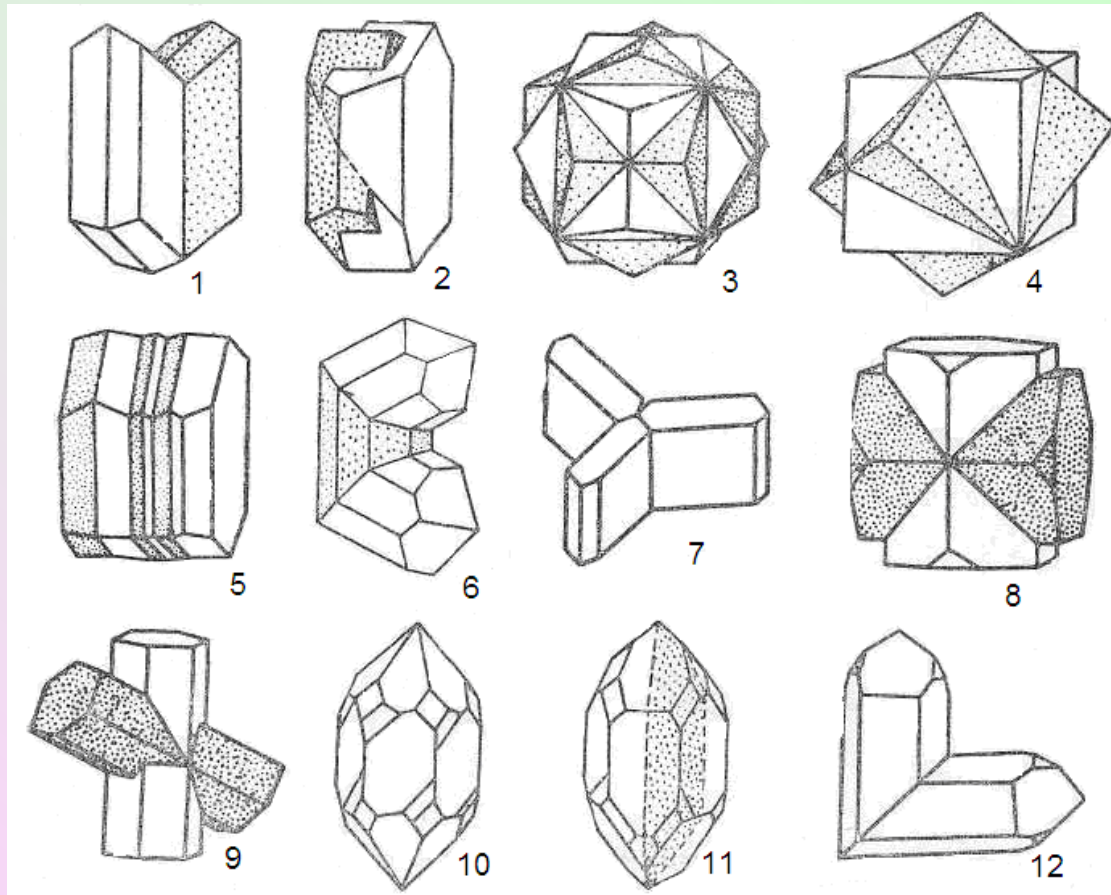
сокращаем на общий множитель 2

0:0:1 символ (001)

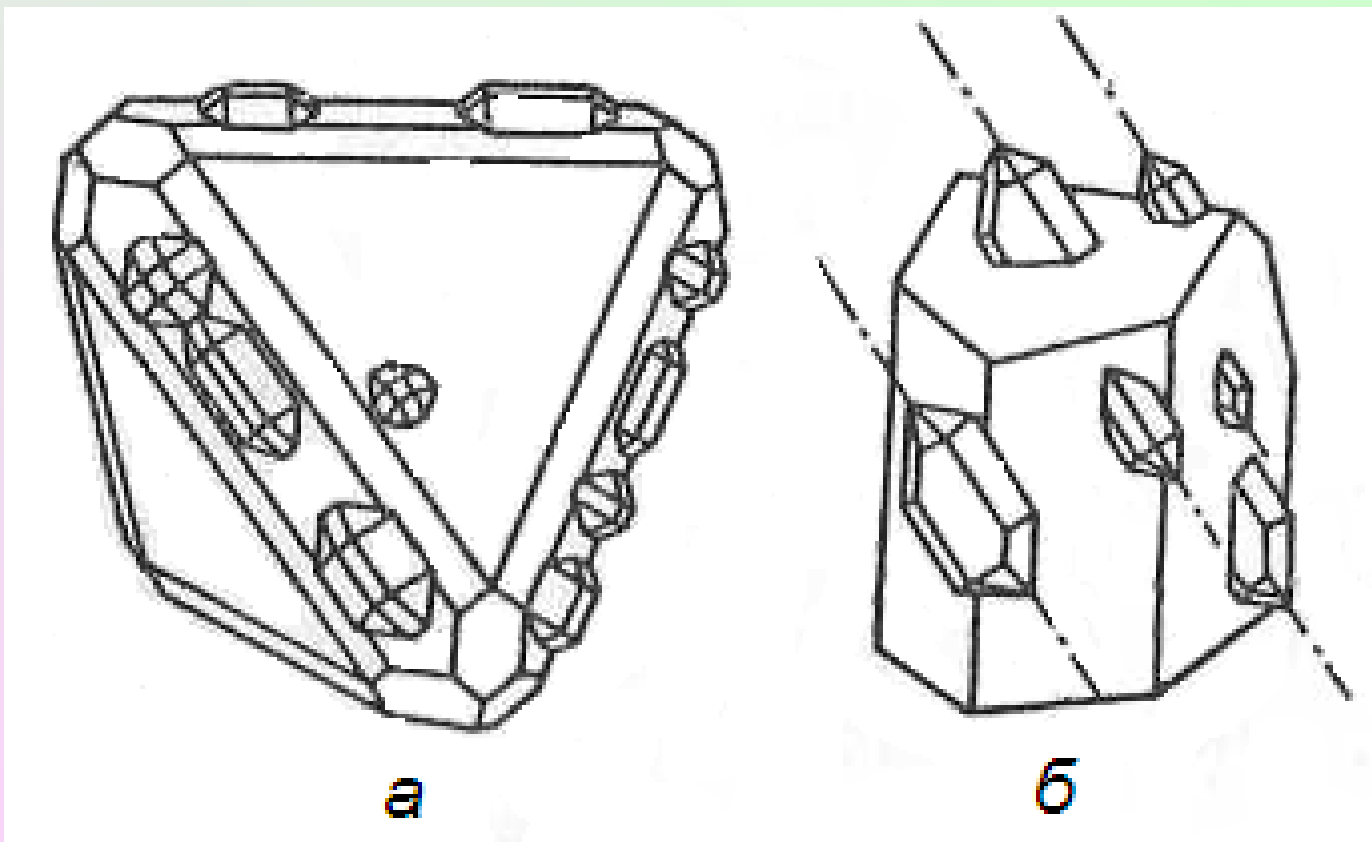


(010) – символ грани, пересекающей кристаллографическую ось b ;
 (111) – символ плоской сетки ABC ;
 $[001]$ – символ ребра BD ;
 $[011]$ – символ направления OD ;
 $[[101]]$ – символ вершины G кристалла (узла кристаллической решетки)

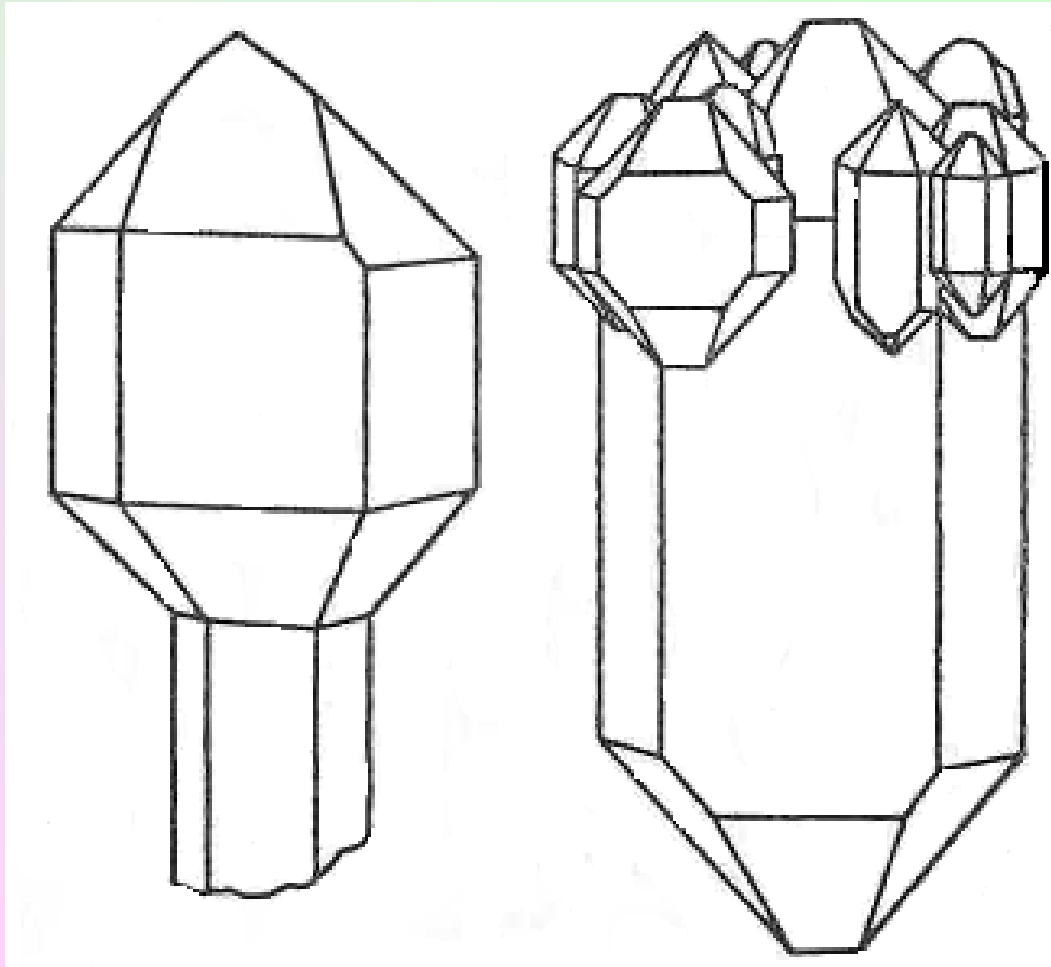
Гексаэдр $\{100\}$



Наиболее распространенные двойники некоторых кристаллов: 1 – двойник гипса «ласточкин хвост», 2 – карлсбадский двойник полевого шпата, 3 – двойник пирита «железный крест», 4 – двойник флюорита по «шпинелевому закону», 5 – двойник плагиоклаза, 6 – коленчатый тройник рутила, 7 – арагонитовый тройник, 8-9 – двойники ставролита, 10 – дофинейский двойник кварца, 11 – бразильский двойник кварца, 12 – японский двойник кварца



Эпитаксическое нарастание



Скипетровидные кристаллы кварца

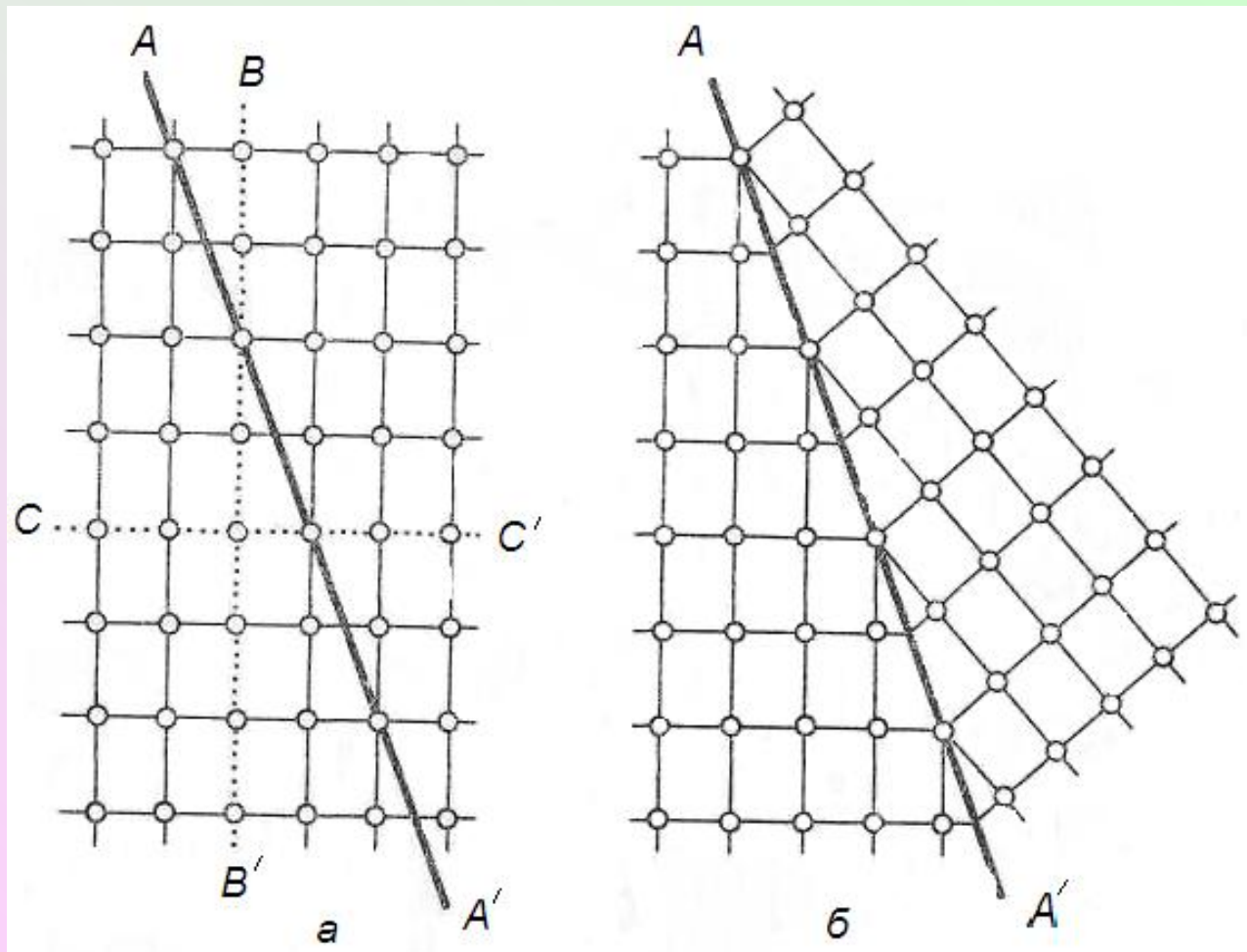
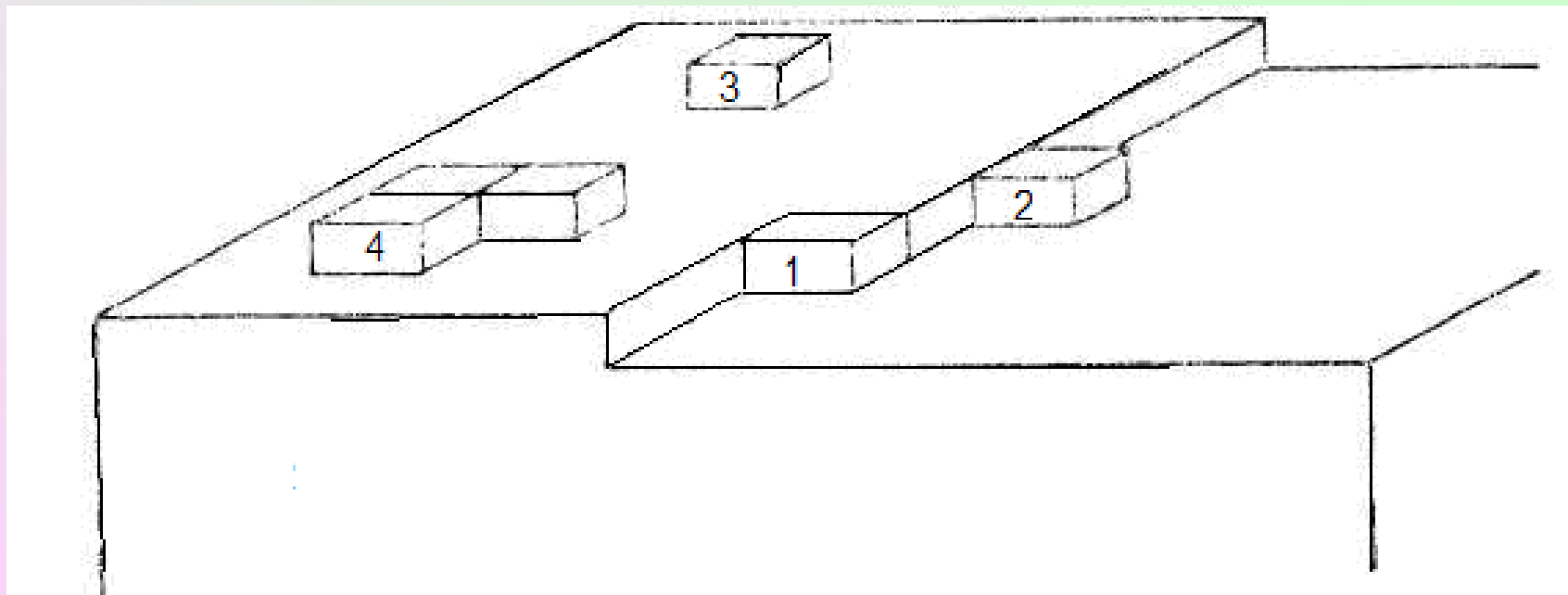
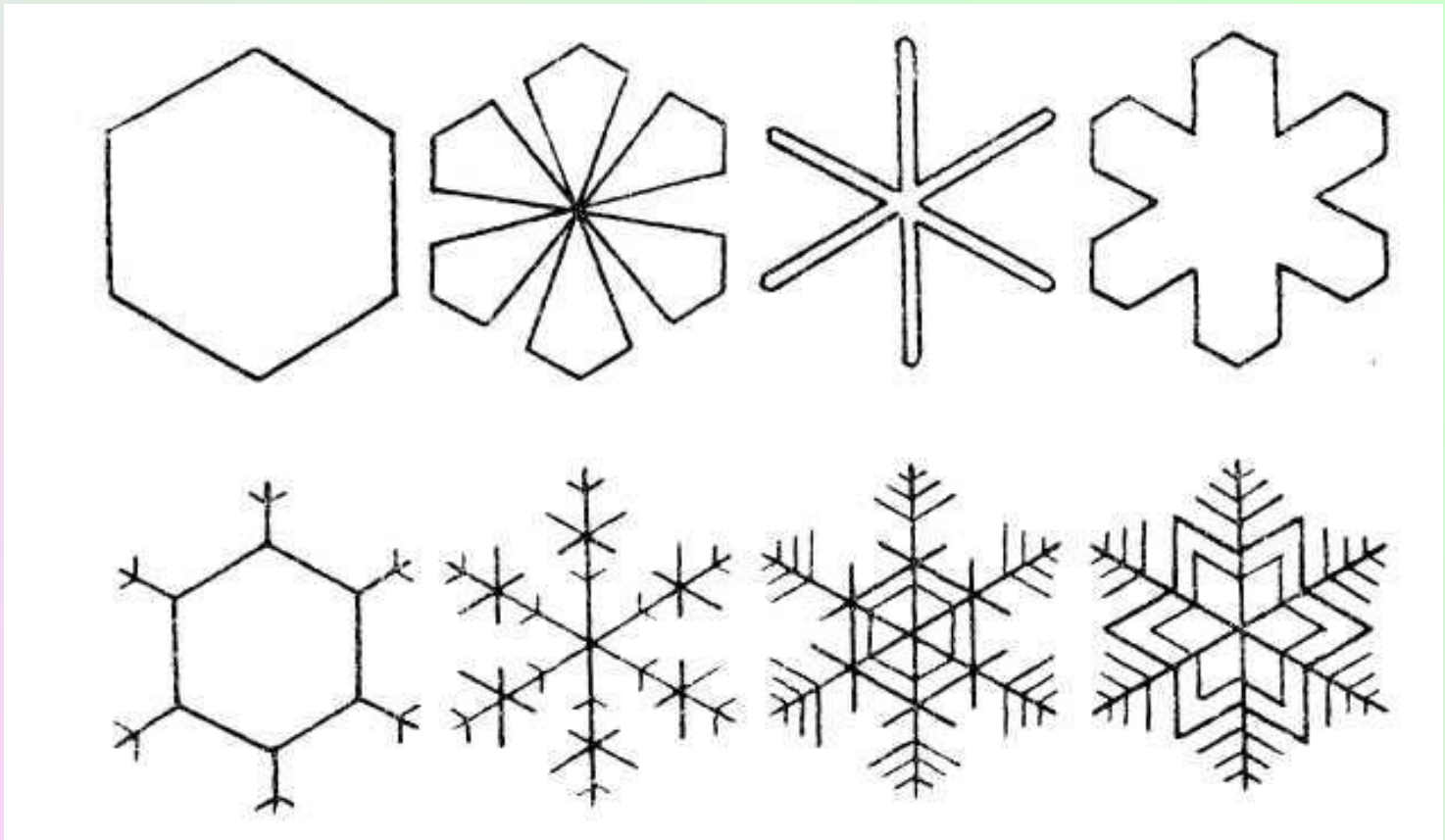


Схема образования двойника



Различные способы присоединения
частиц к поверхности растущего
кристалла



Восемь основных типов снежинок (по У. Накайя)

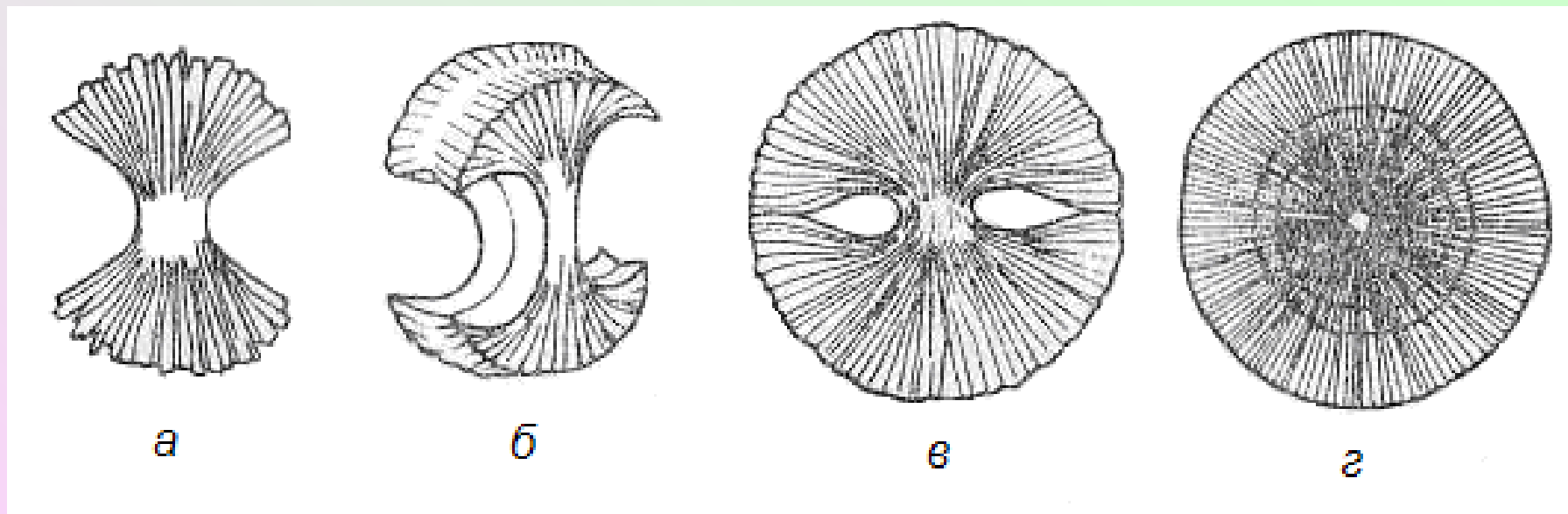
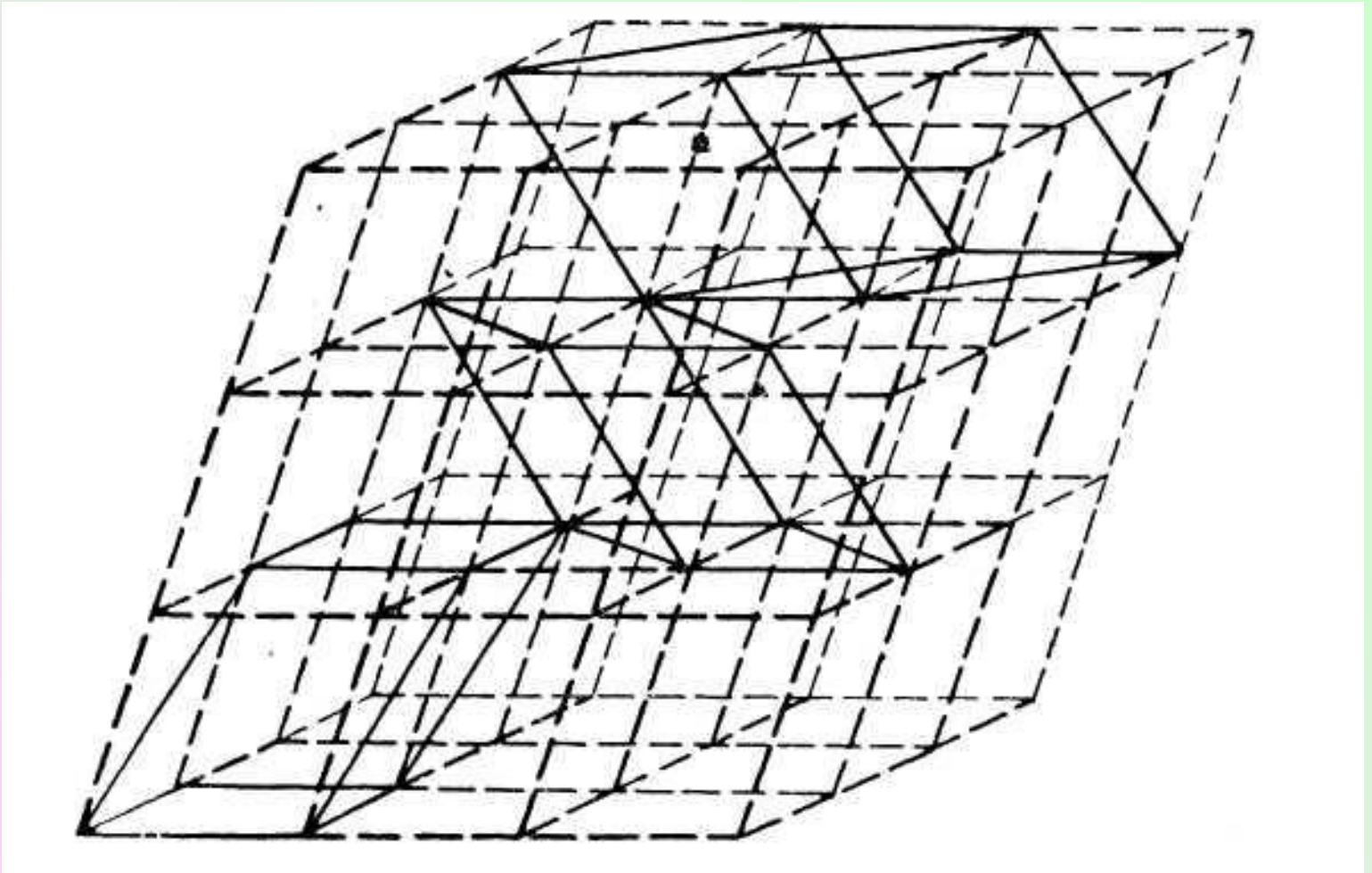
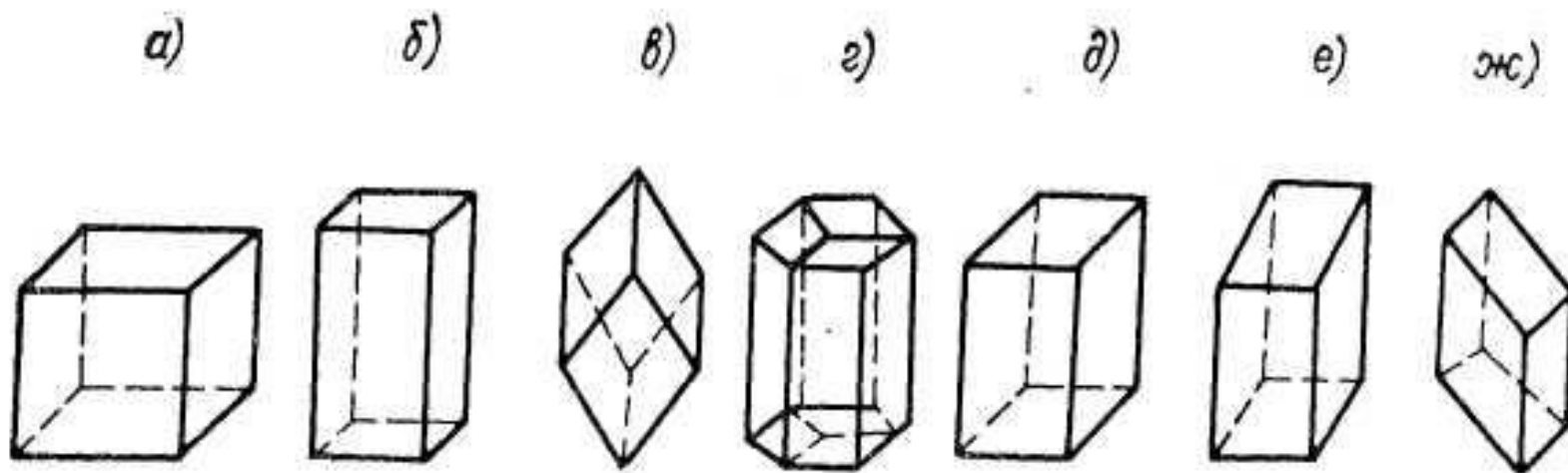


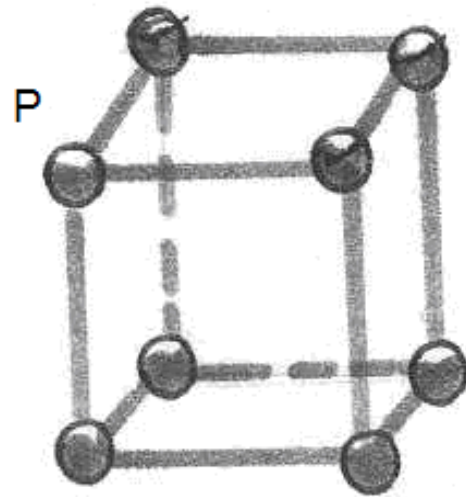
Схема расщепления кристалла во время роста
с образованием сферокристалла (а-в);
сферолит (г)



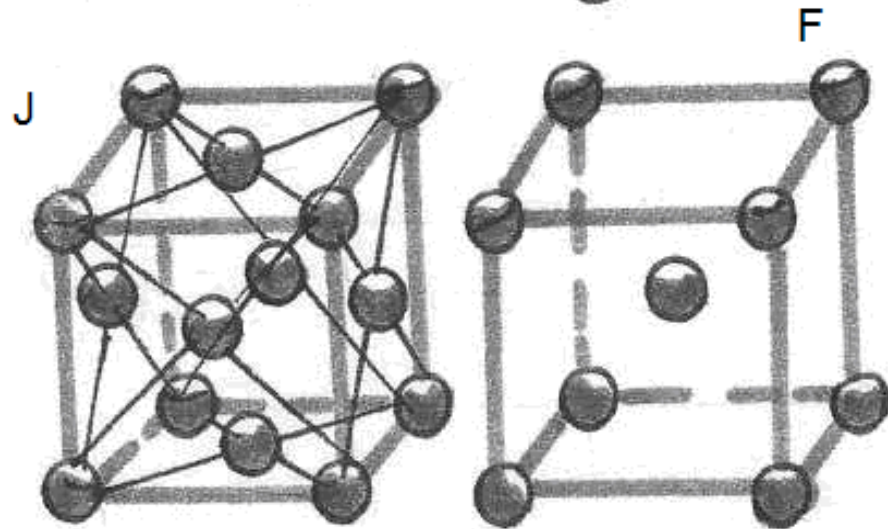
Различные способы выбора элементарной ячейки в пространственной решетке



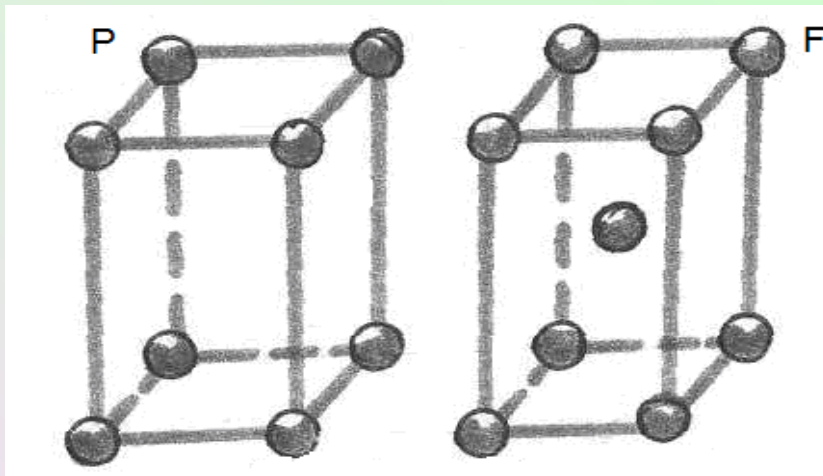
Формы элементарных ячеек разных сингоний



$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$



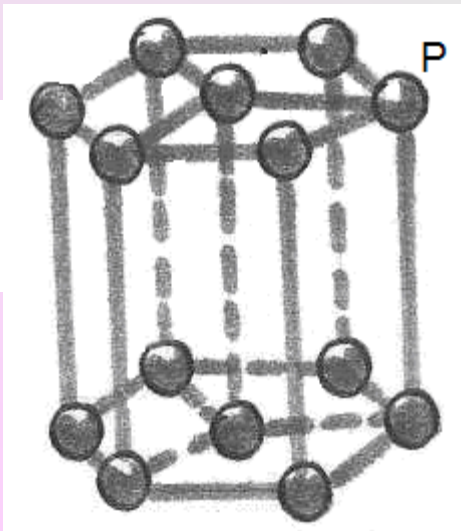
Кубические



$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Тетрагональные

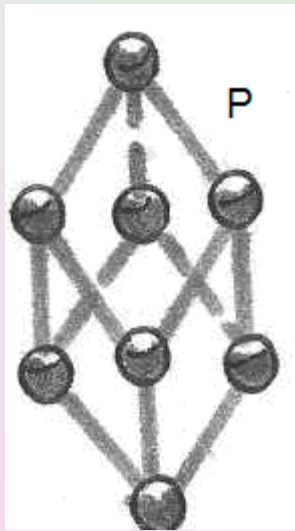


$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

$$\gamma = 120^\circ$$

Гексагональная

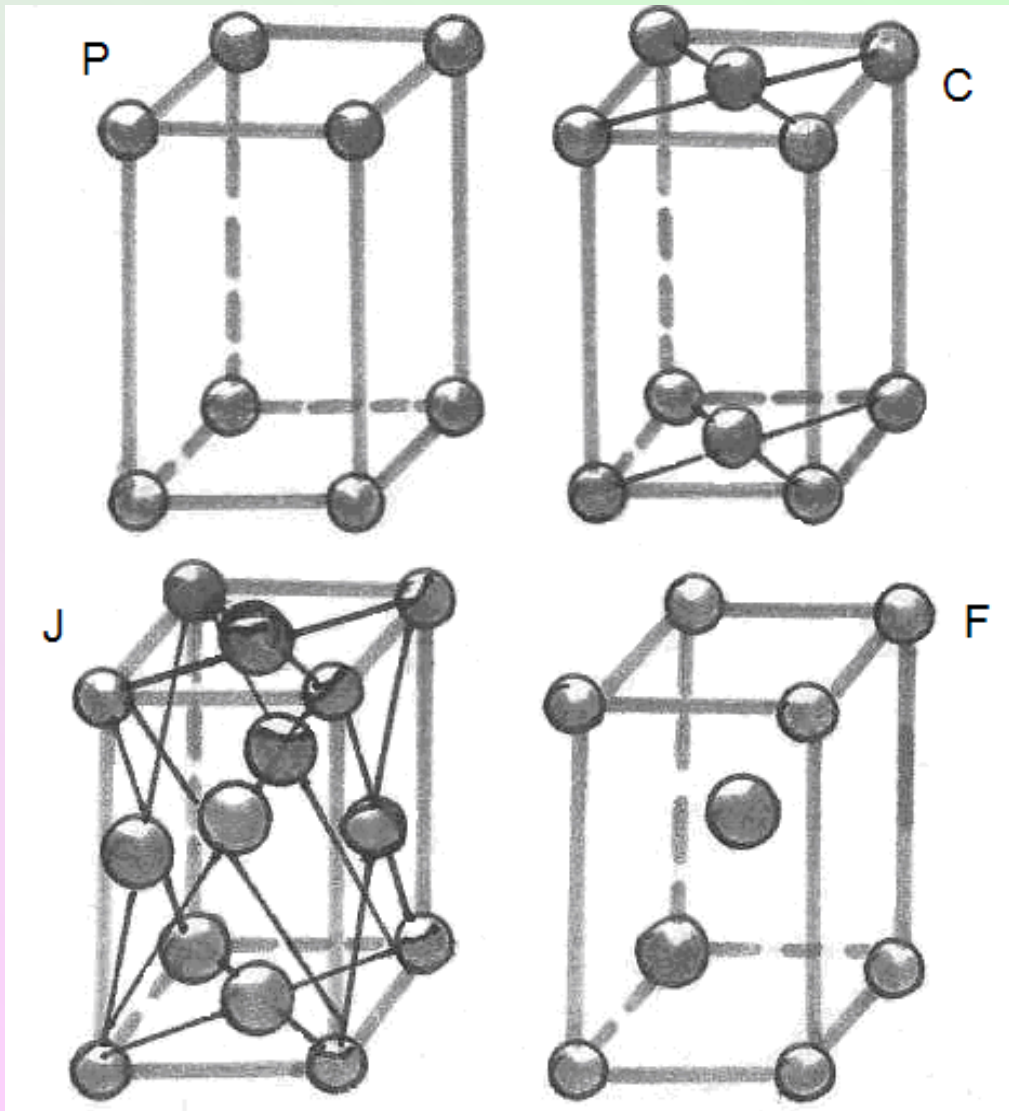


$$a = b \neq c$$

$$\alpha = \beta = 90^\circ$$

$$\gamma = 120^\circ$$

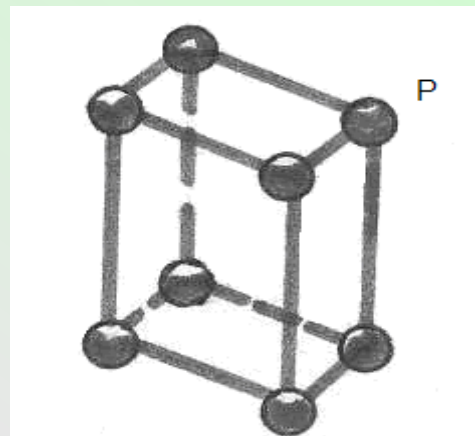
Ромбоэдрическая



$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$$

Ромбические

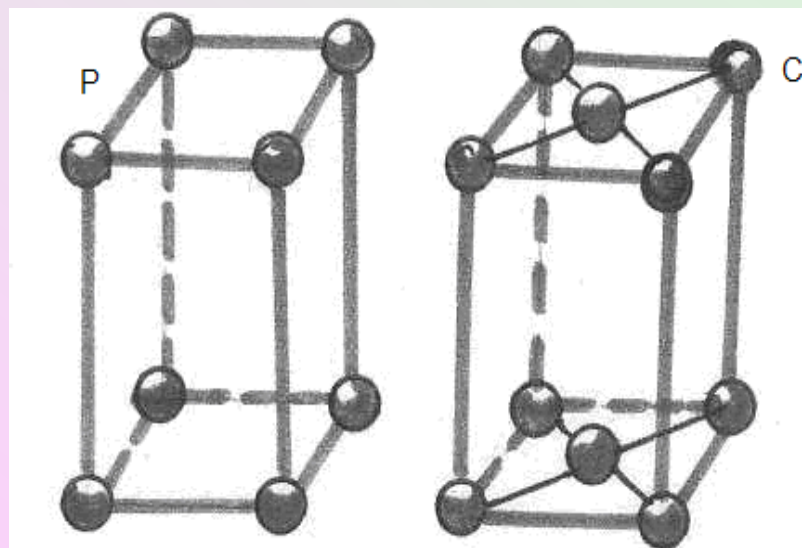


P

$$a \neq b \neq c$$

$$\alpha \neq \beta \neq \gamma \neq 90^\circ$$

Триклинная



P

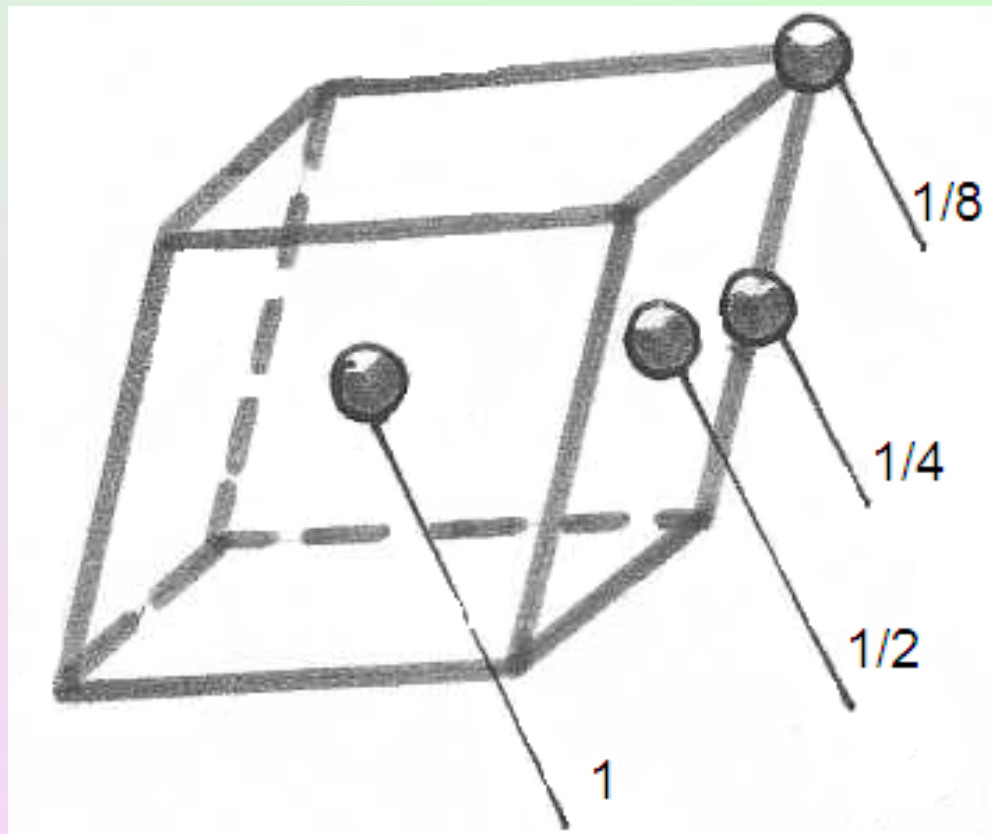
C

$$a \neq b \neq c$$

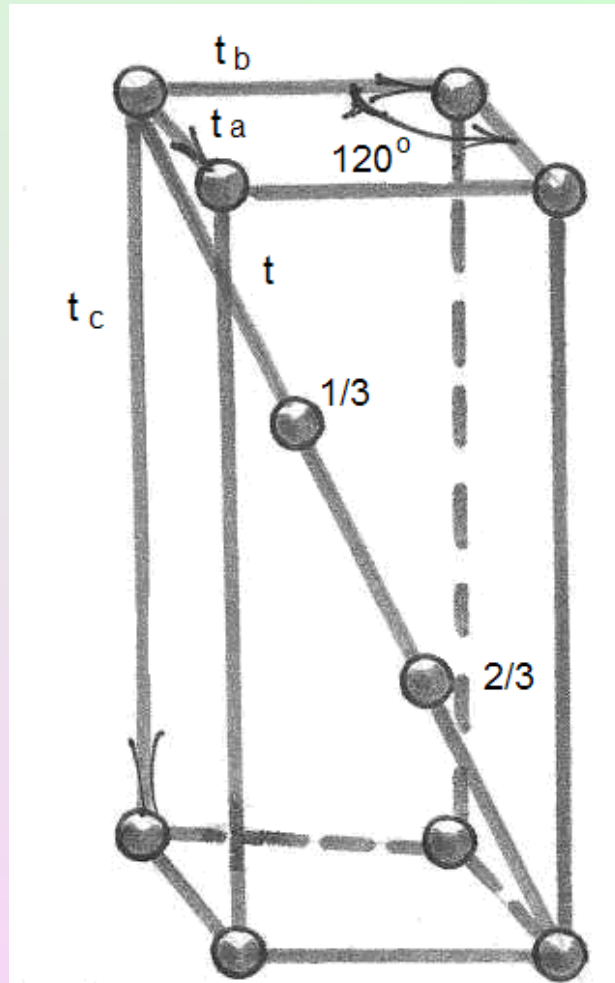
$$\alpha = \gamma = 90^\circ$$

$$\beta \neq 90^\circ$$

Моноклинные



К подсчету атомов, приходящихся на одну элементарную ячейку



Одна треть дважды-центрированной
гексагональной ячейки

Элементы симметрии кристаллических решеток

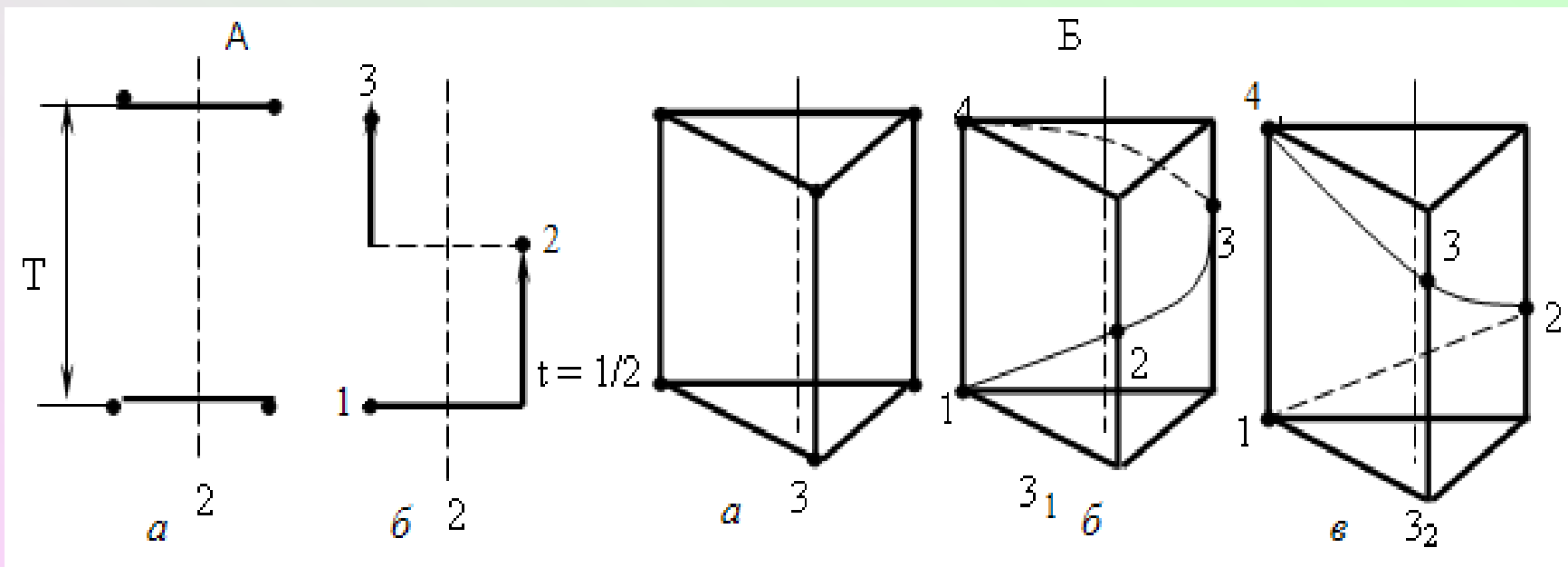
Закрытые элементы симметрии:

- Оси L_2 , L_3 , L_4 , L_6 и Li_4 , Li_6
- Плоскости
- Цент симметрии

Открытые элементы симметрии:

- Трансляции
- Винтовые оси
- Плоскости скользящего отражения

- Направления, при перемещении вдоль которых на определенный отрезок (*шаг трансляции*) происходит совмещение, называется **осями трансляции** (переносов)
- **Винтовые оси симметрии** – сложные оси. При симметрических преобразованиях вдоль винтовых осей совмещение точек осуществляется их перемещением на определенный отрезок вдоль оси и одновременно поворотом на угол $360^\circ/n$, где n может быть равно 2, 3, 4 или 6. Кристаллические решетки могут обладать, таким образом, винтовыми осями второго, третьего, четвертого и шестого порядков и различаться при этом по величине трансляции. Винтовые оси обозначают $2_1, 3_1, 3_2, 4_1, 4_2, 4_3, 6_1, 6_2, 6_3, 6_4, 6_5$.

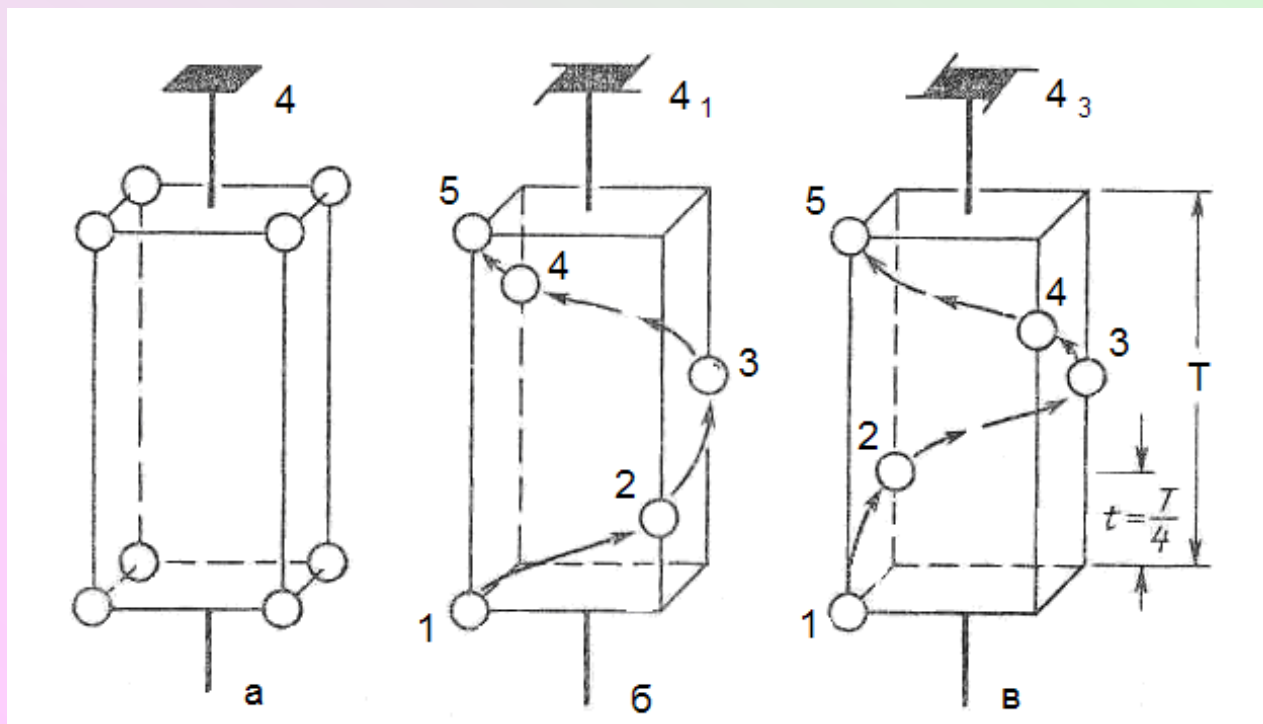


Поворотные оси симметрии: А – двойная 2 (а) и двойная винтовая 2_1 (б); Б – тройная 3 (а) и тройные винтовые оси – правая 3_1 (б) и левая 3_2 (в)

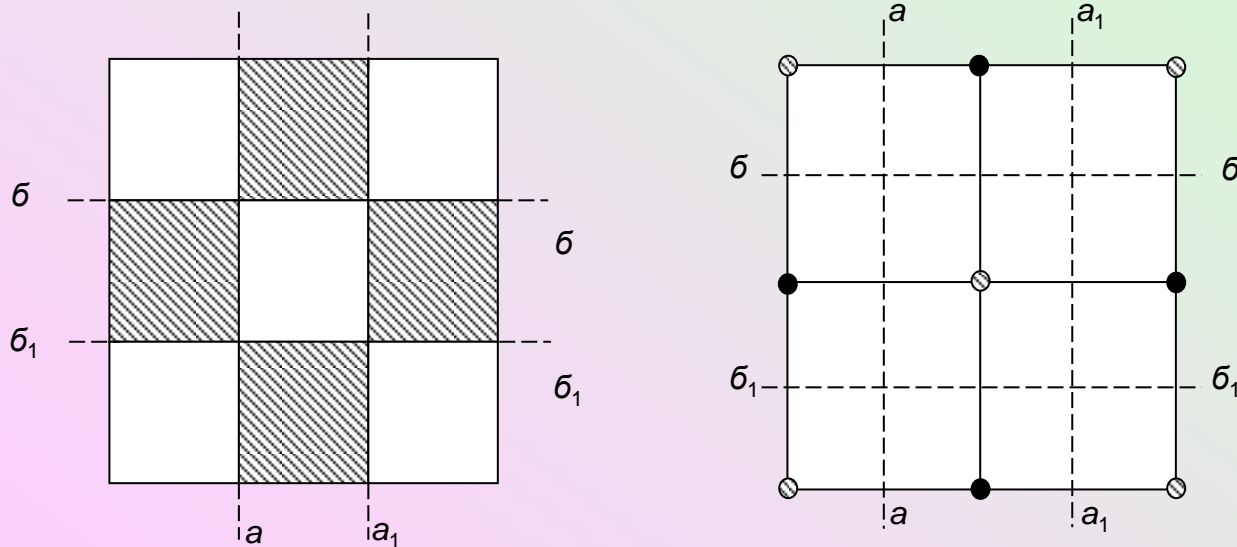
Двойная винтовая ось 2_1 – действие ее сводится к повороту на 180° с последующим переносом вдоль нее на половину элементарной трансляции.

Действие тройной оси (3_1) состоит в повороте на 120° и последующем переносе на $1/3$ элементарной трансляции

Оси 4-го порядка: поворотная – 4 (а), винтовые – 4_1 (б) и 4_3 (в)



- **Плоскость скользящего отражения** – сочетание трансляции с отражением, т. е. скользящее отражение состоит из параллельного переноса и зеркального отражения: узел отражается плоскостью симметрии и одновременно перемещается на расстояние, равное периоду идентичности в направлении трансляции.



Координационные числа (КЧ) и координационные полиэдры (КП)

- «Гантель» менее 0,15 (КЧ 2)
- Треугольник 0,15-0,21 (КЧ 3)
- Квадрат или тетраэдр 0,22-0,40 (КЧ 4)
- Октаэдр 0,41-0,73 (КЧ 6)
- Гексаэдр 0,74-1,37 (КЧ 8)
- Гексаоктаэдр более 1,37 (КЧ 12)

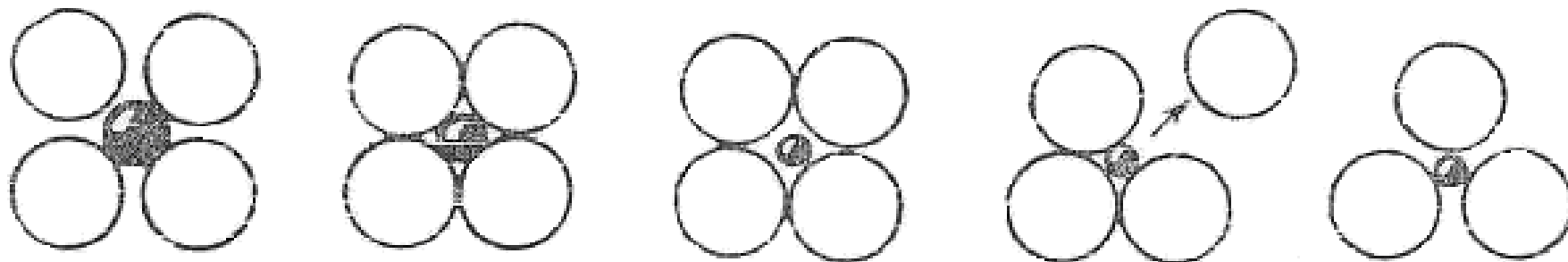
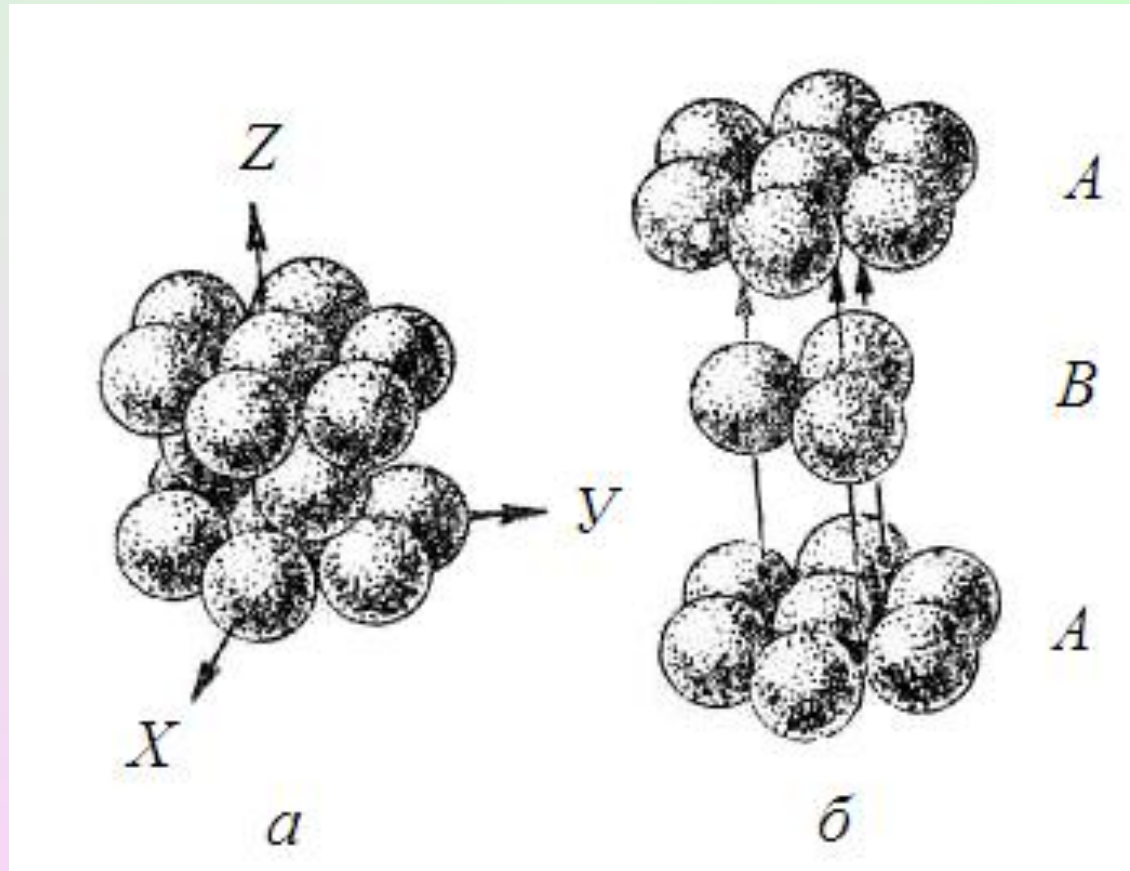
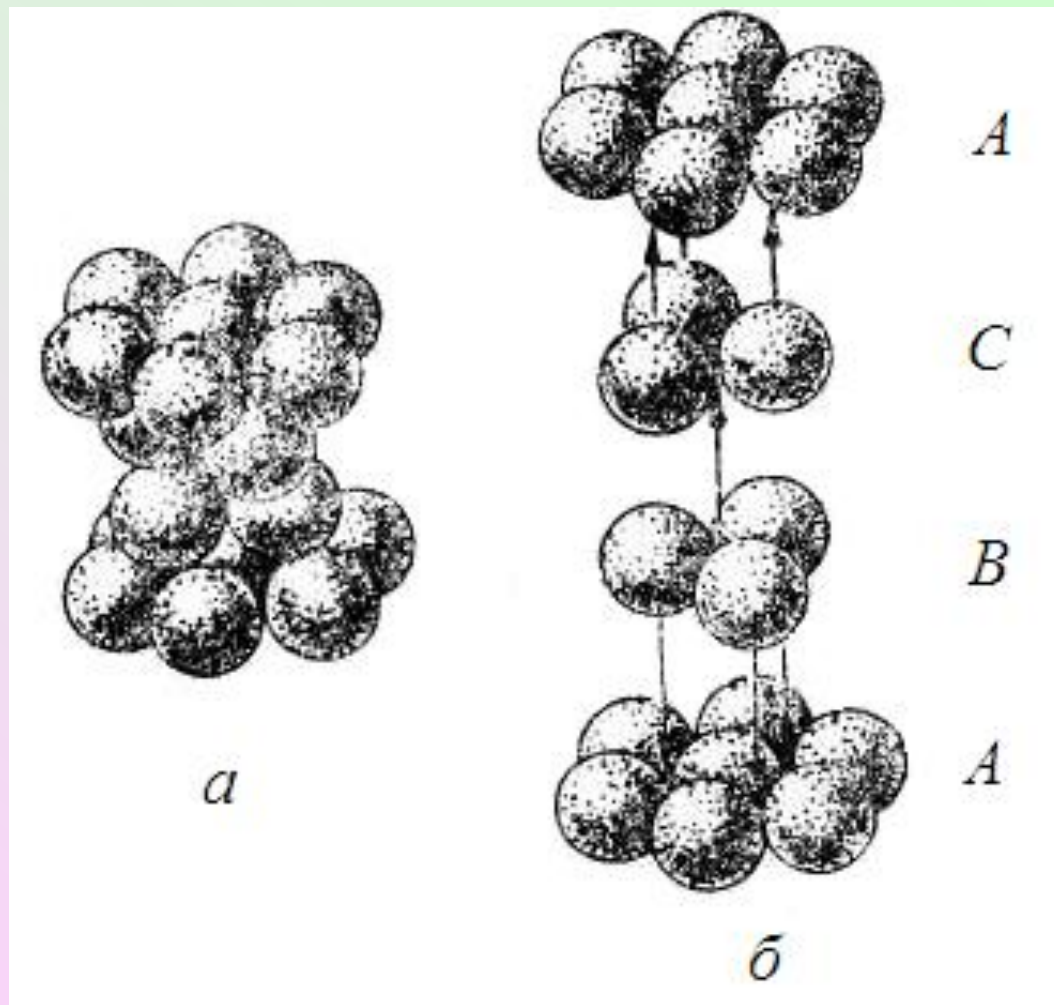


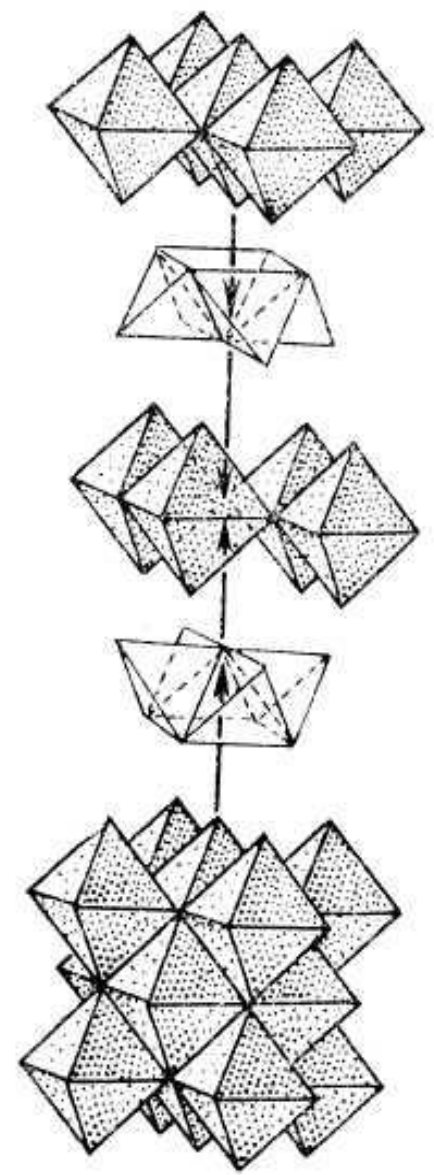
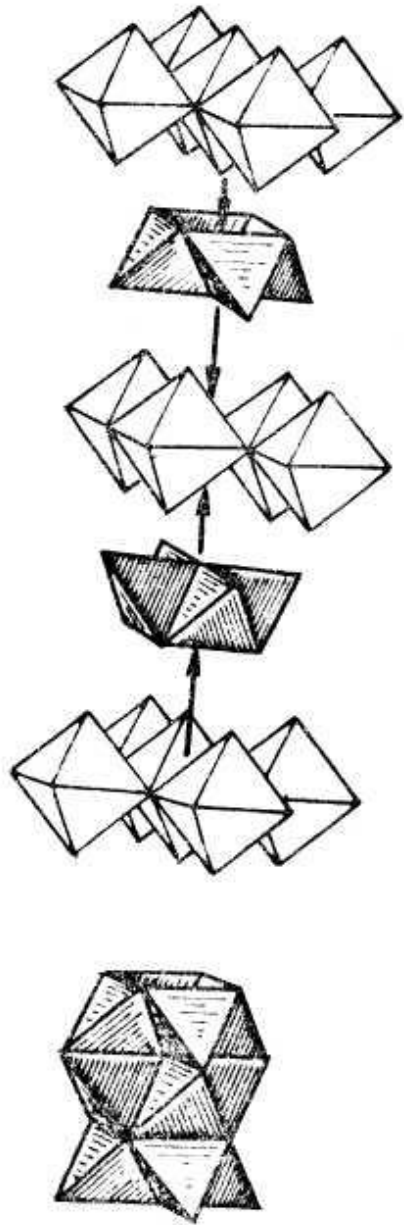
Схема изменения координационного числа в зависимости от размеров катионов

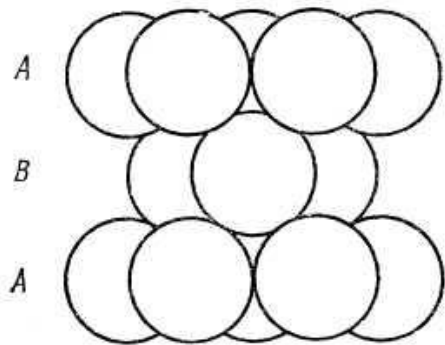
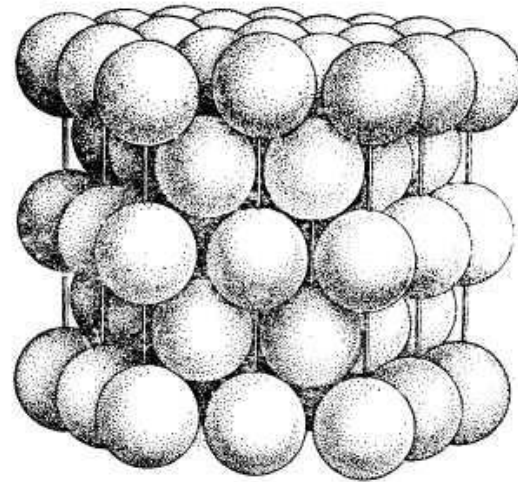
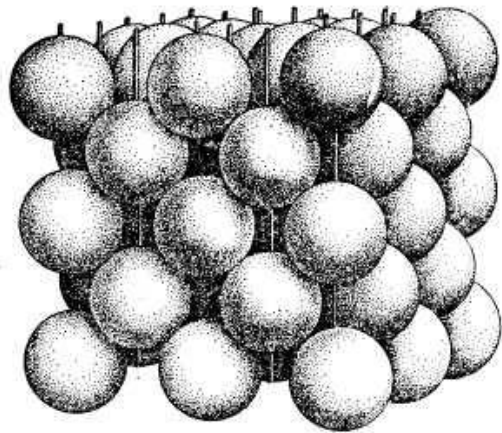


Двухслойная (гексагональная) плотнейшая упаковка АВ АВ... (а) и ее разделение на слои (б)

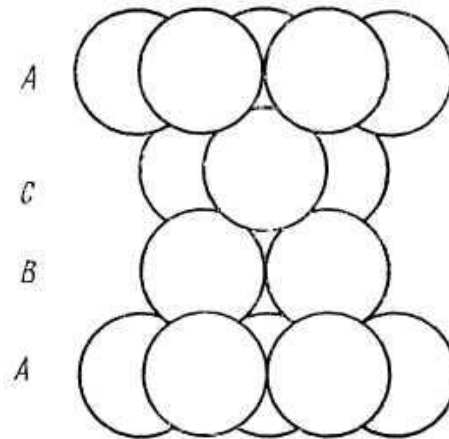


Трехслойная (кубическая) плотнейшая упаковка
ABCABC... (а) и ее разделение на слои (б)





a)

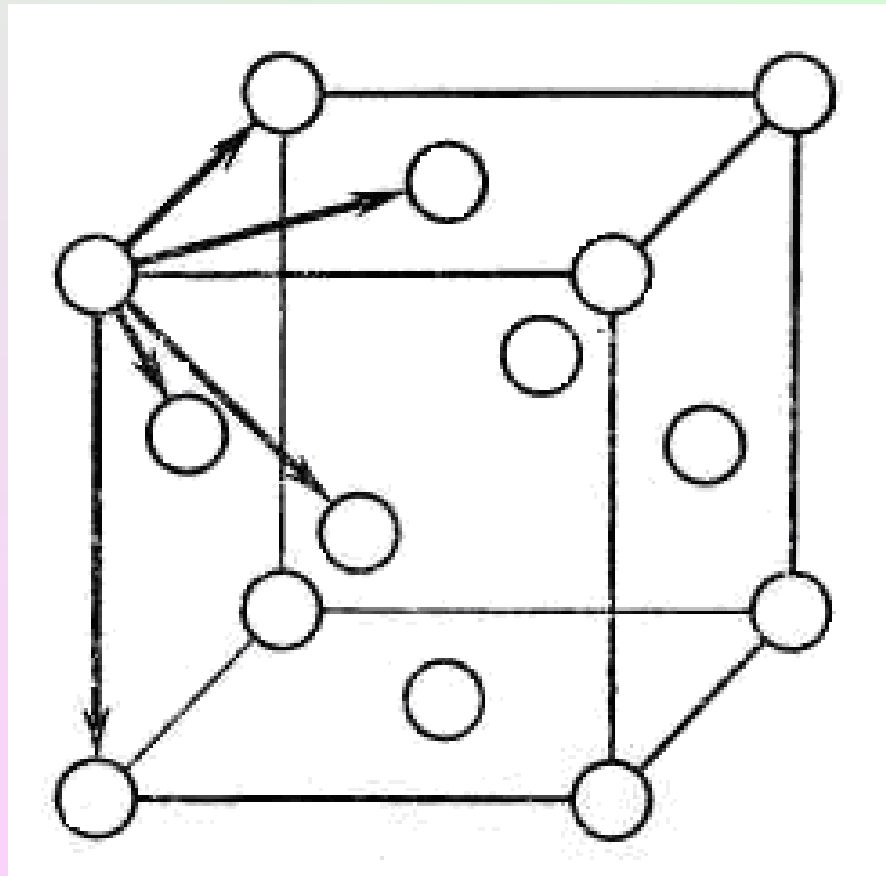


δ)

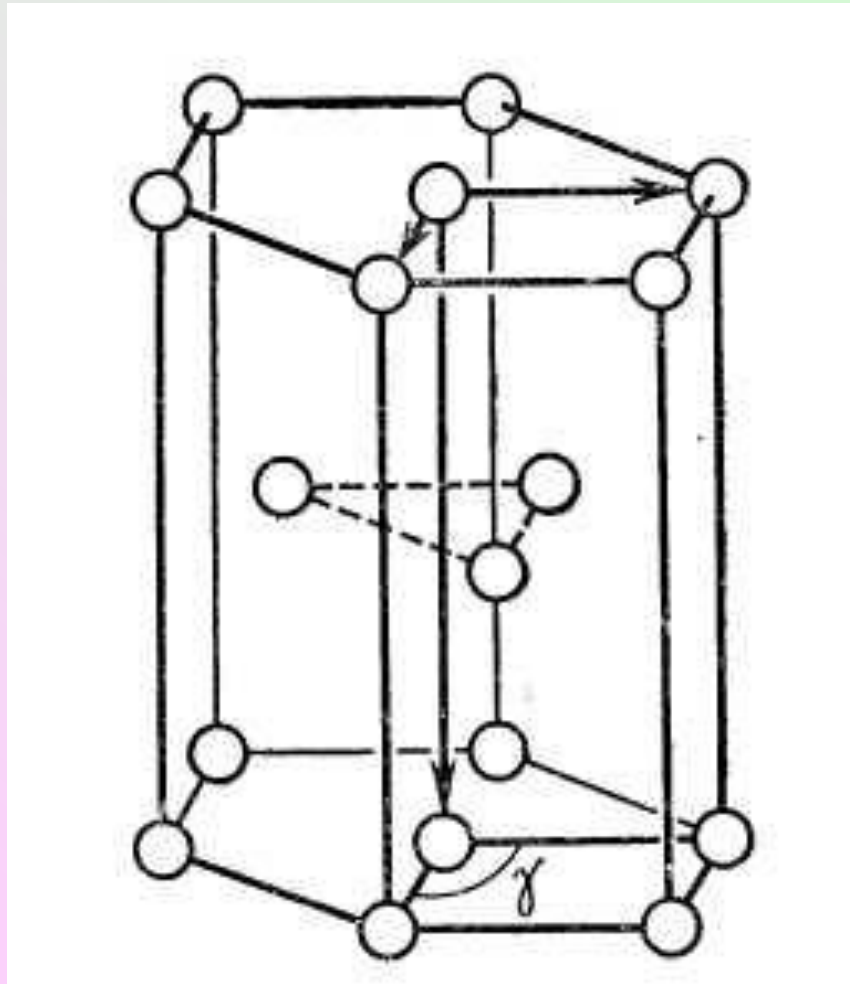
Типы химической связи в кристаллах

- Металлическая связь
- Ковалентная (гомеополярная) связь
- Ионная (гетерополярная) связь
- Вандервальсовская (остаточная) межмолекулярная связь
- Водородная связь
- Смешанный тип связи

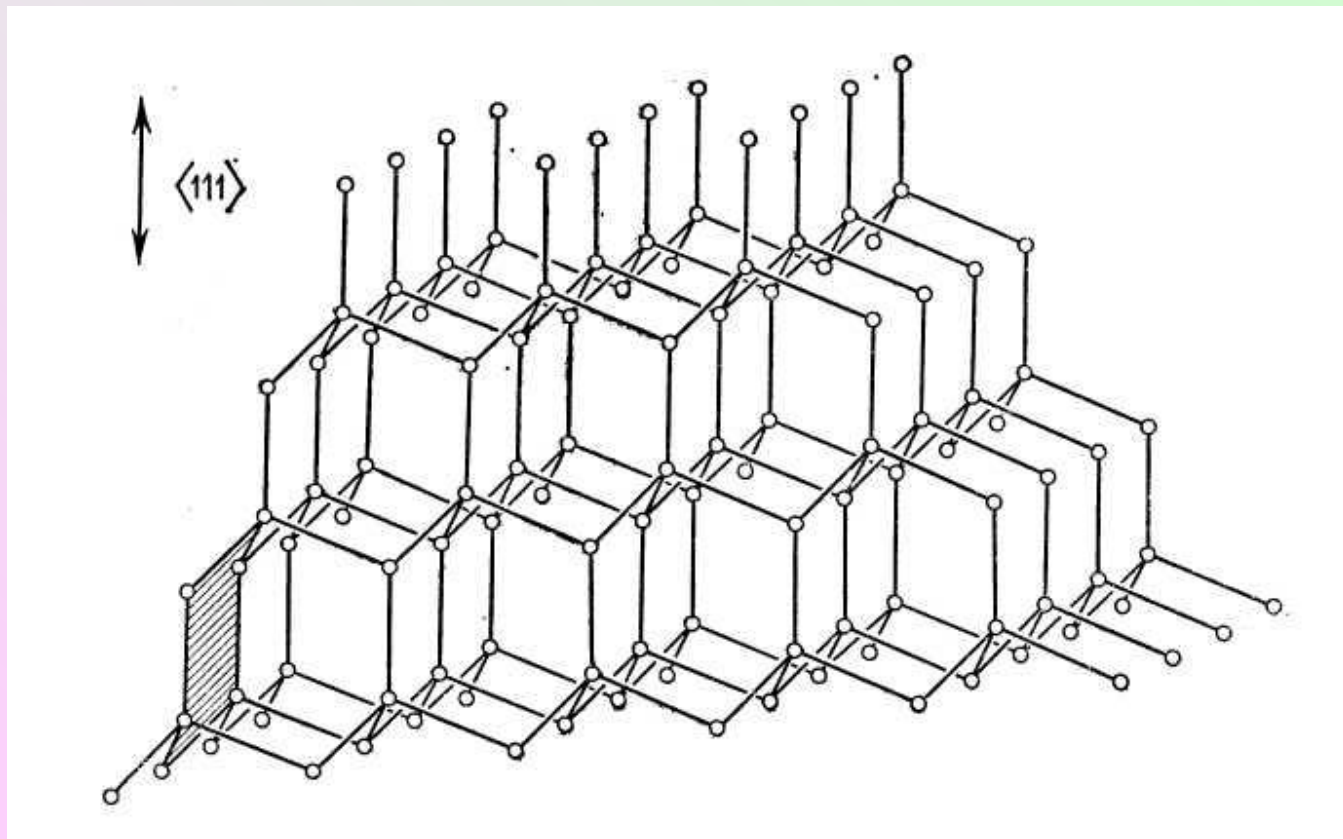
Структура меди



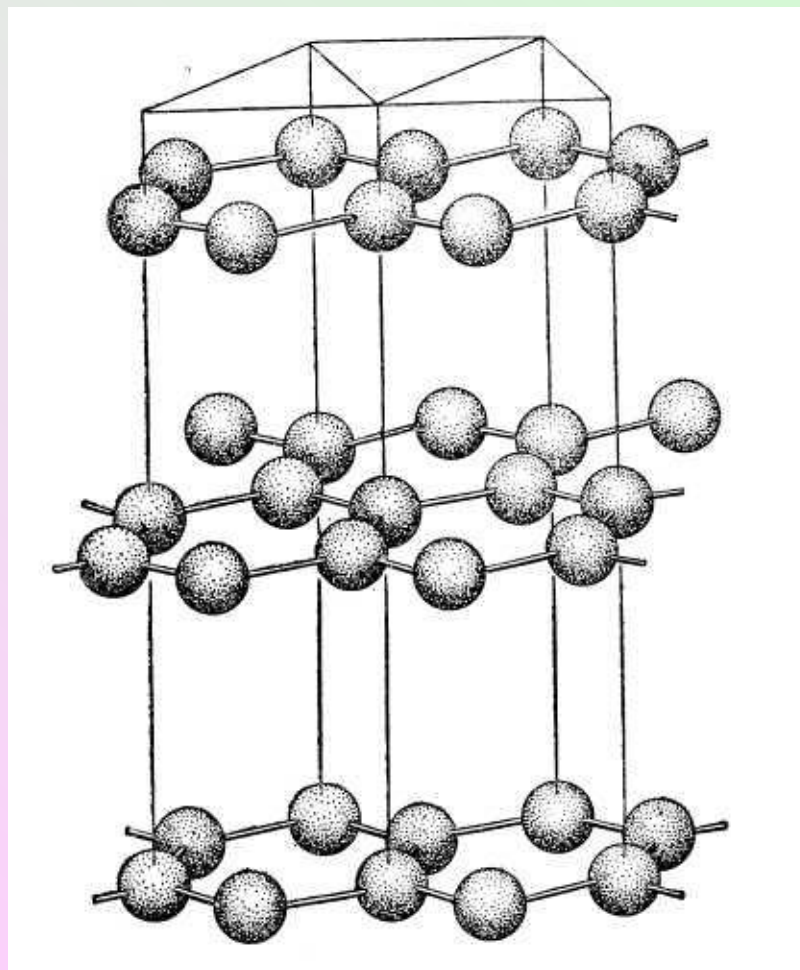
Структура магния



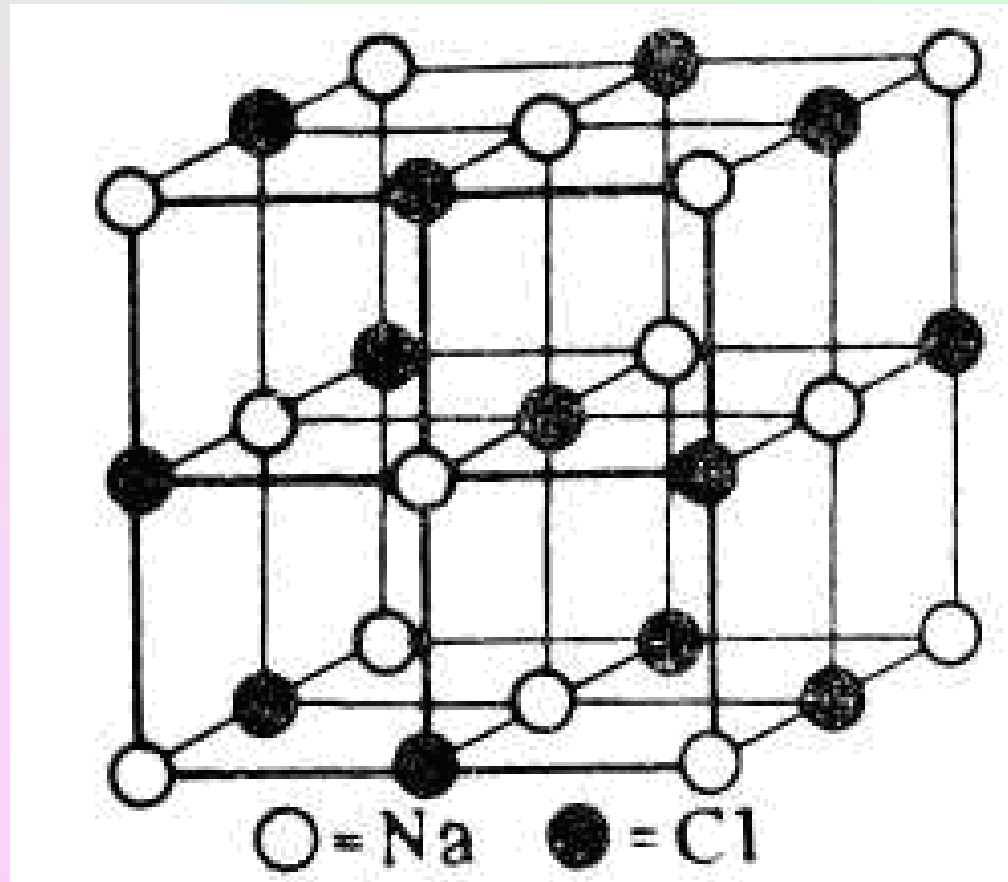
Структура алмаза



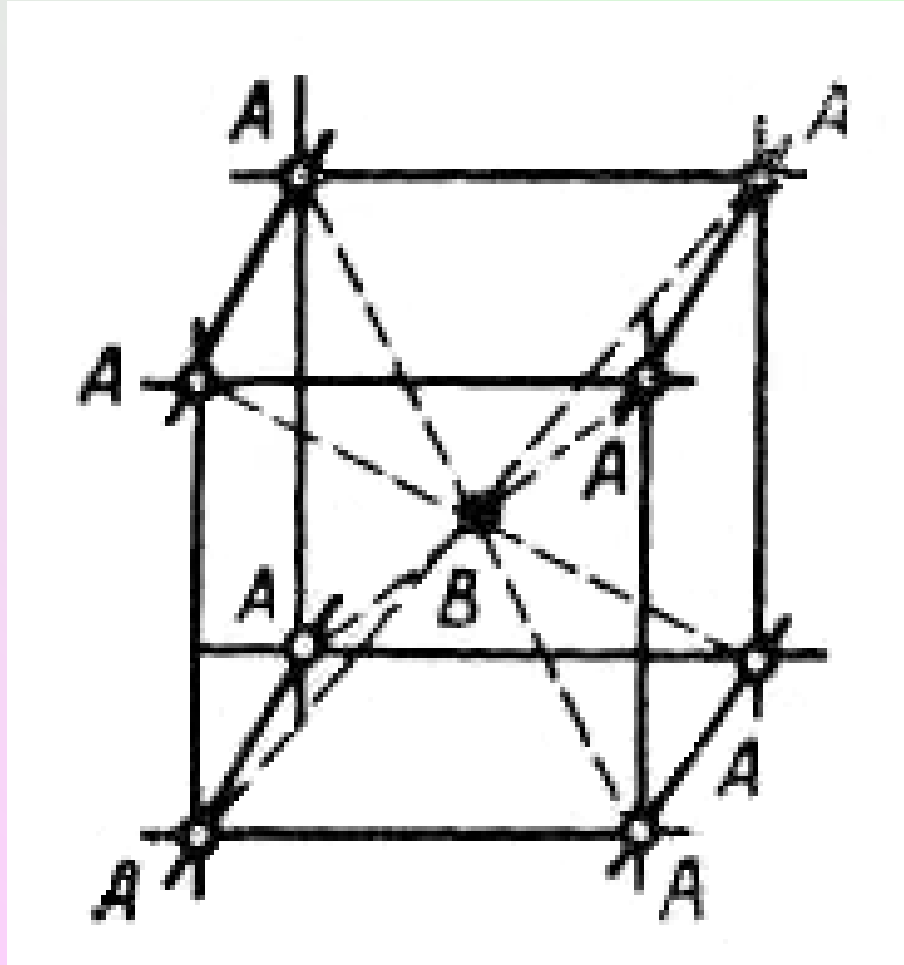
Структура графита



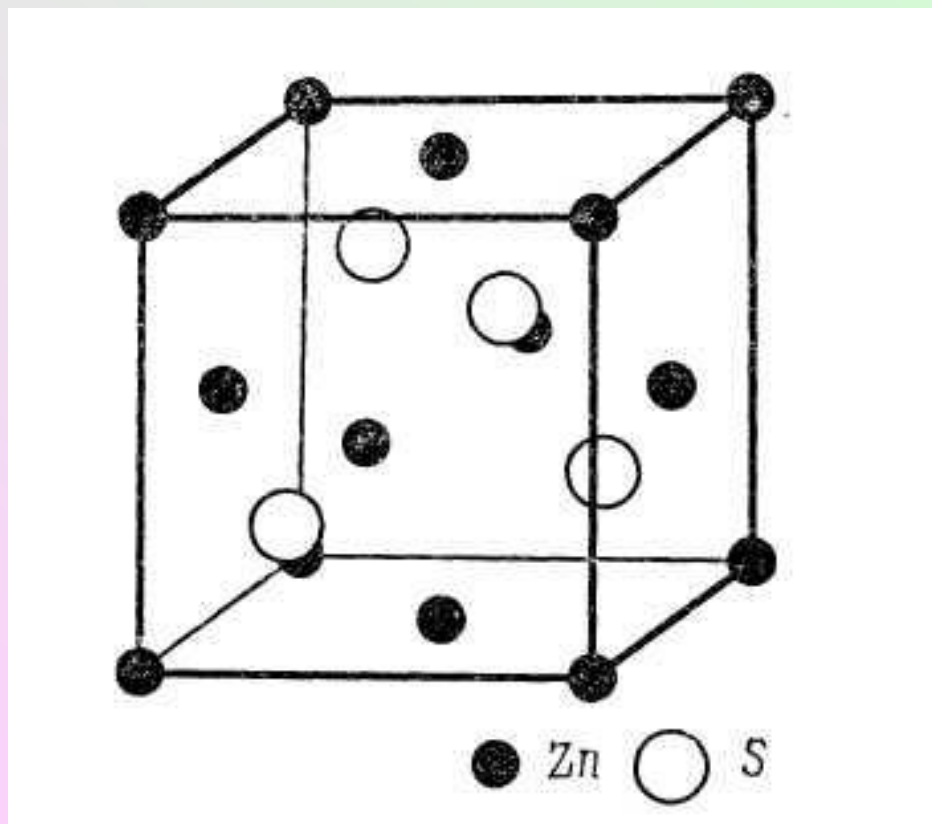
Структура NaCl



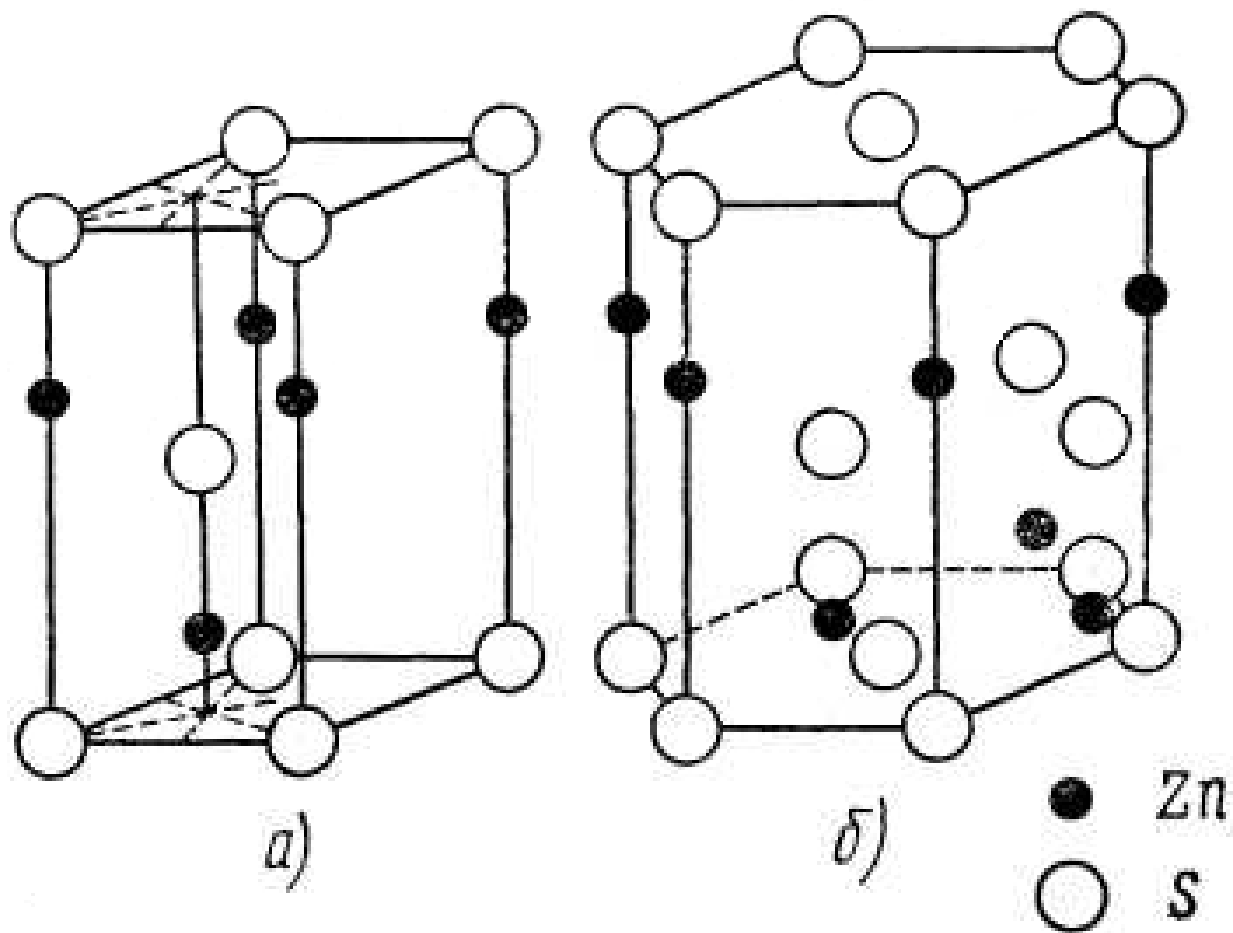
Структура цезия CsCl



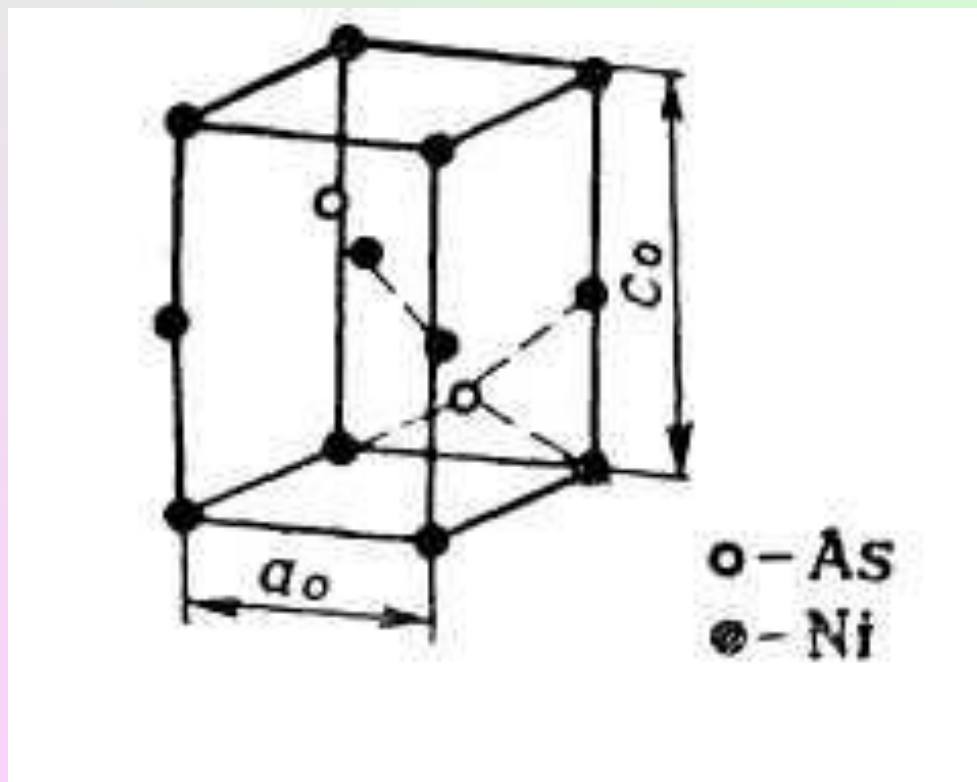
Структура сфалерита



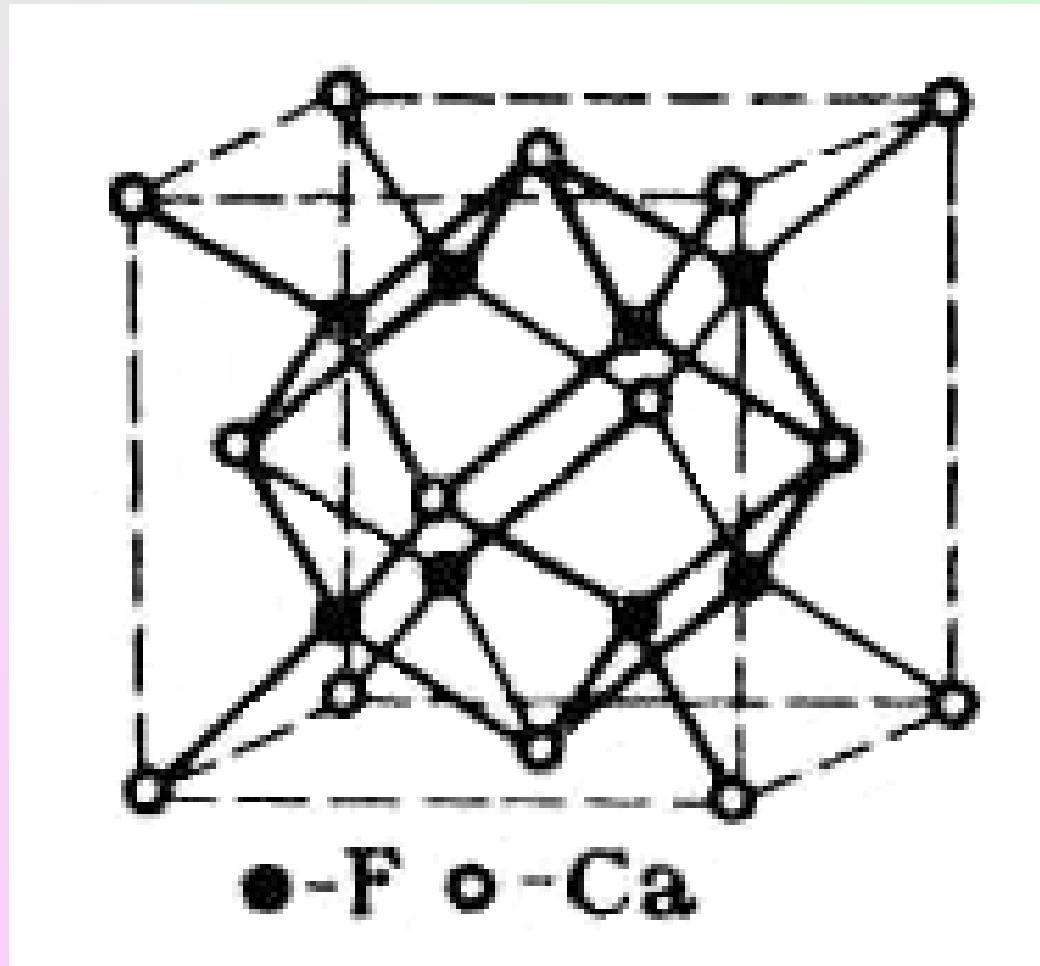
Структура вюрцита



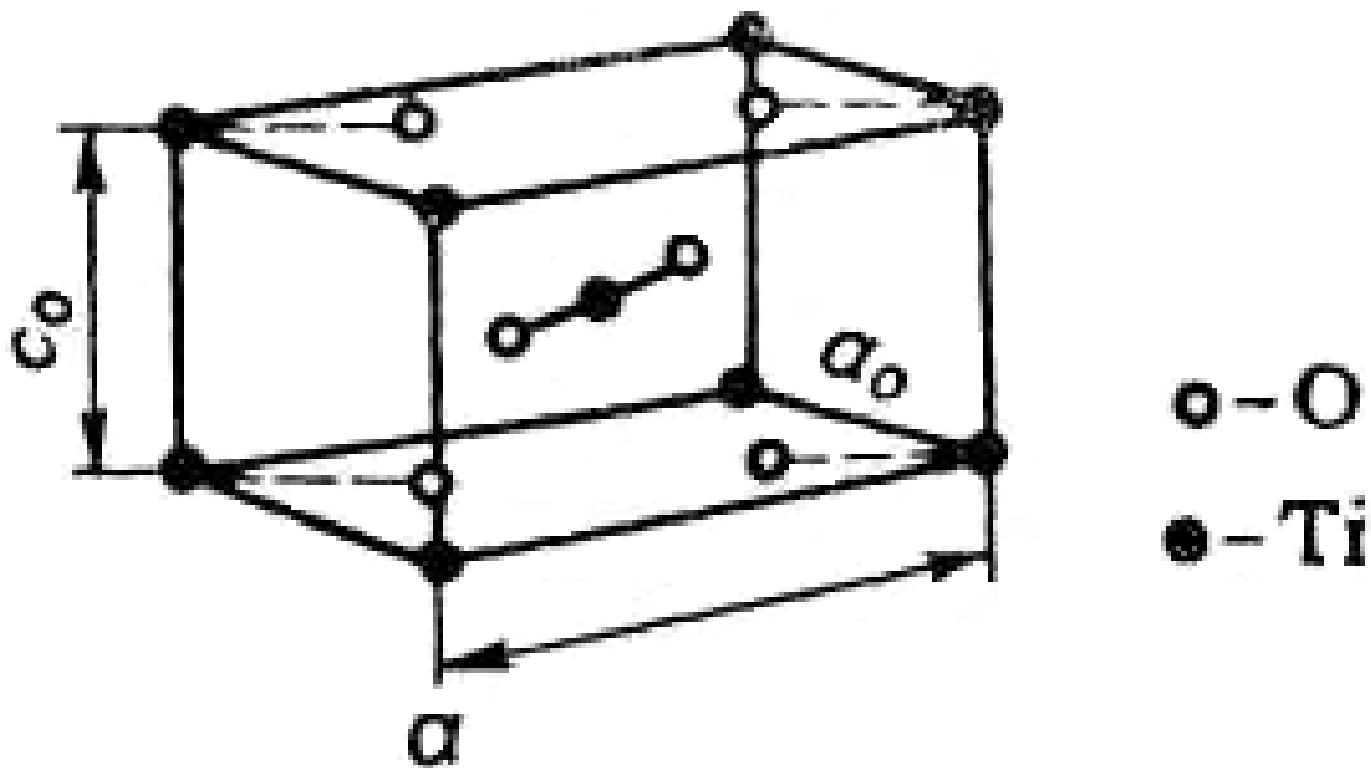
Структура никелина



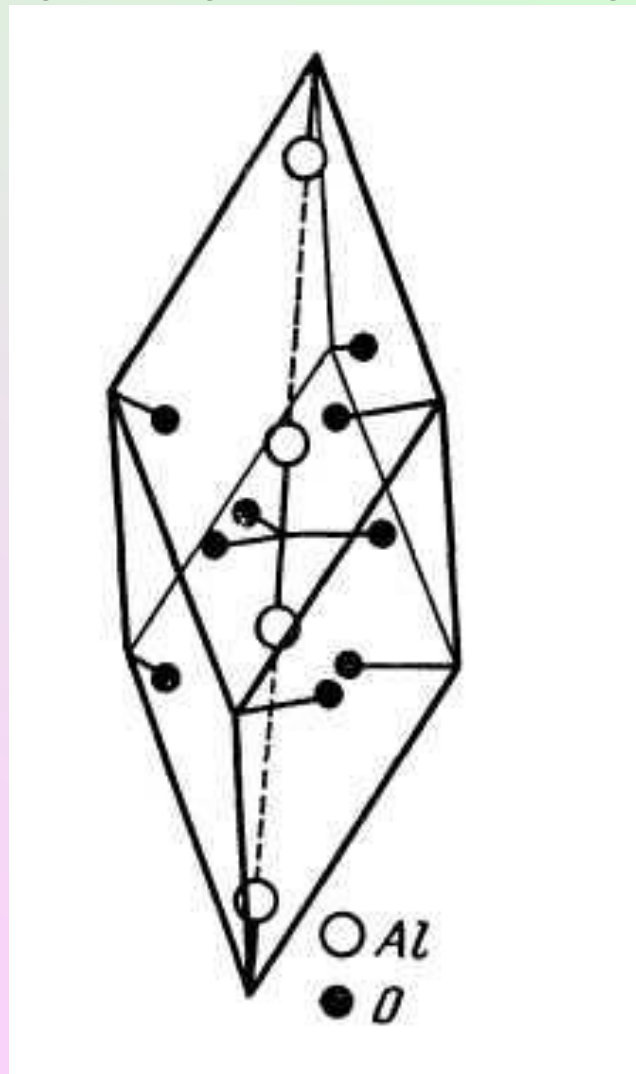
Структура флюорита CaF_2



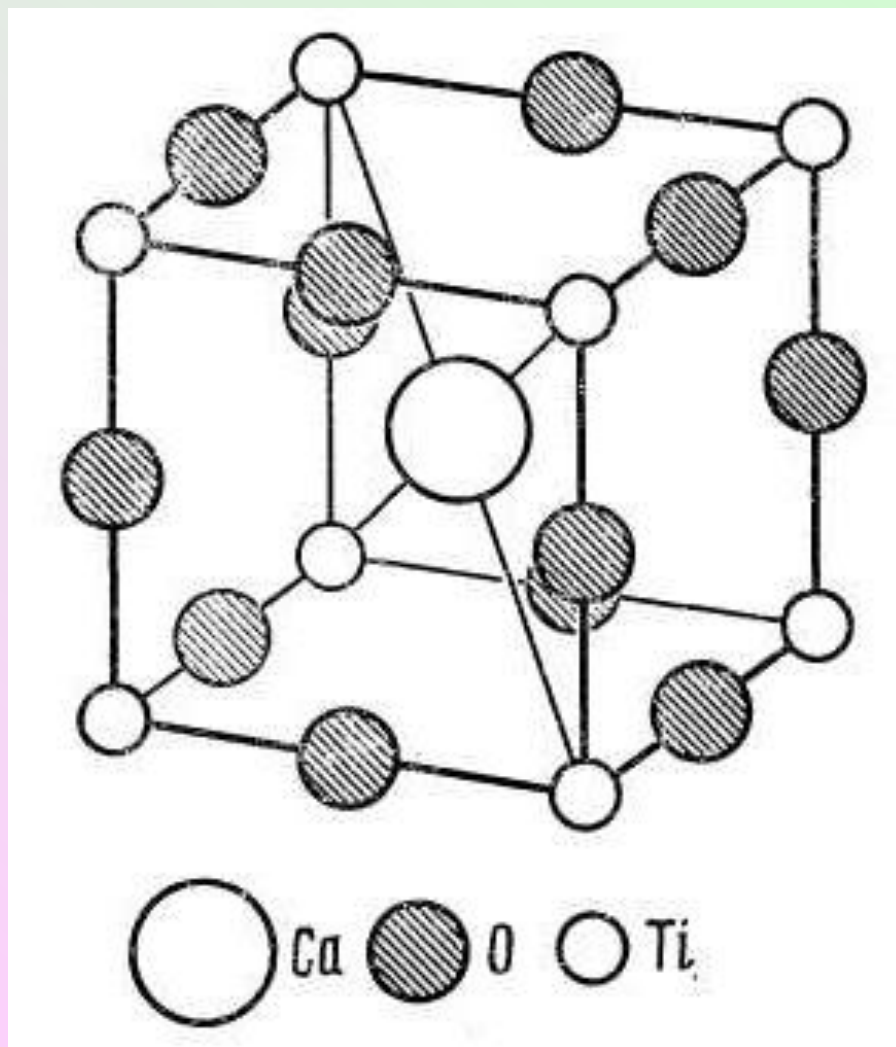
Структура рутила TiO_2



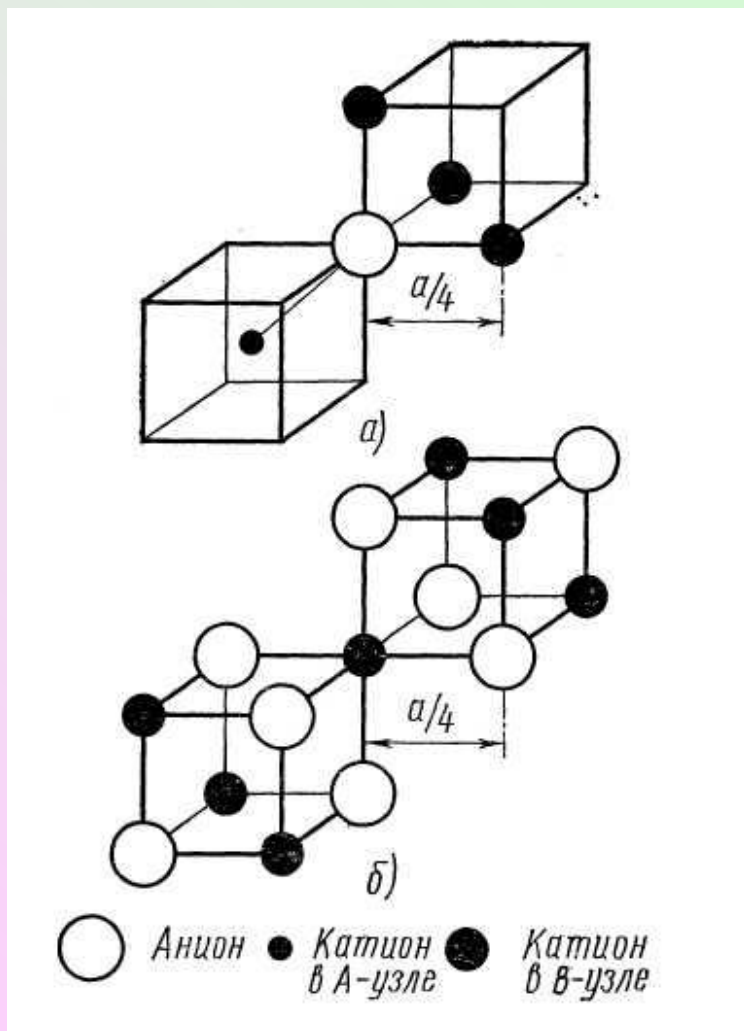
Структура корунда

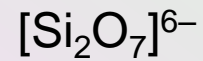
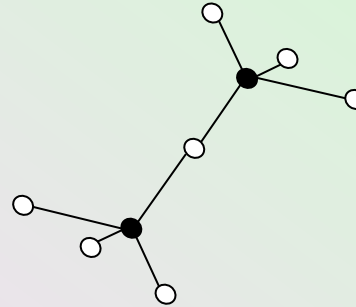
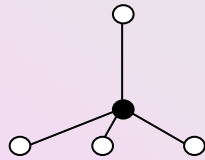
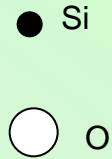
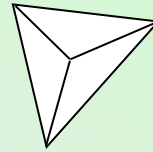
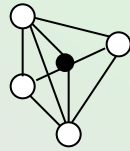
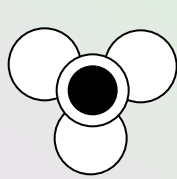


Структура перовскита

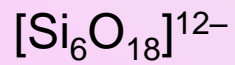
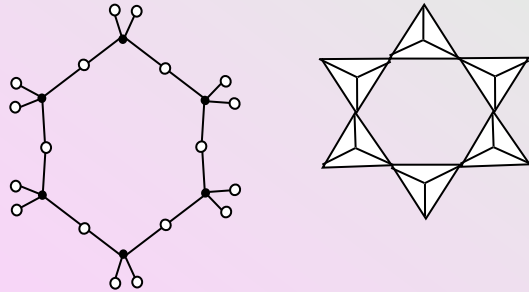
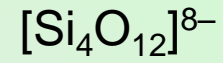
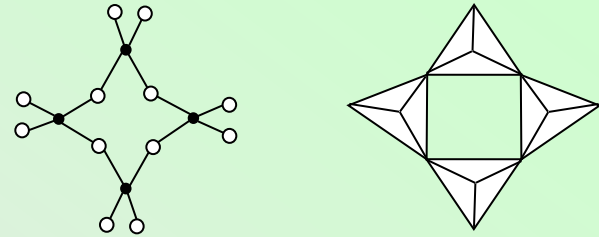
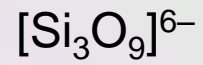
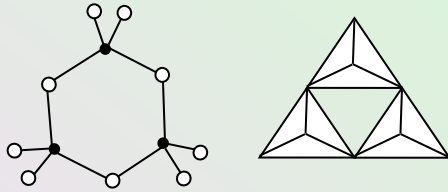


Структура шпинели

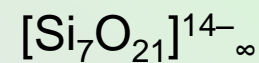
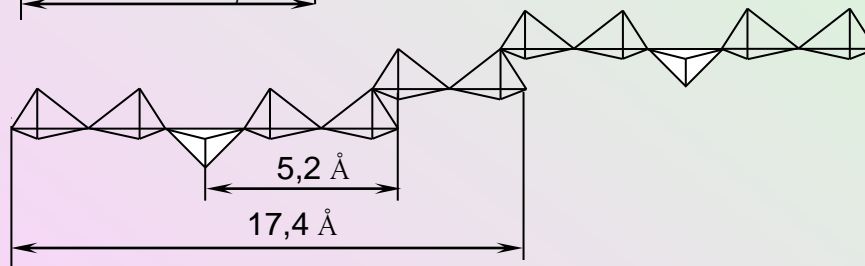
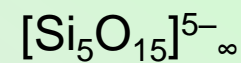
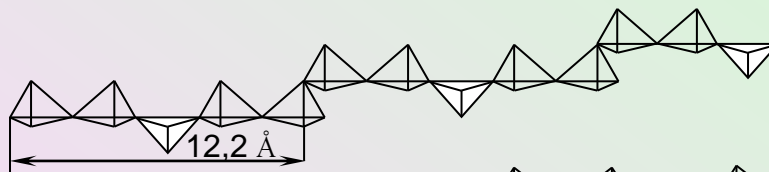
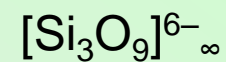
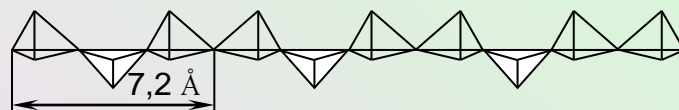
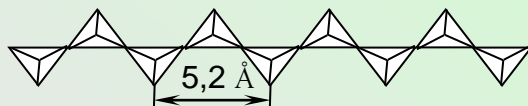
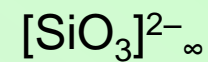




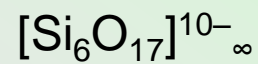
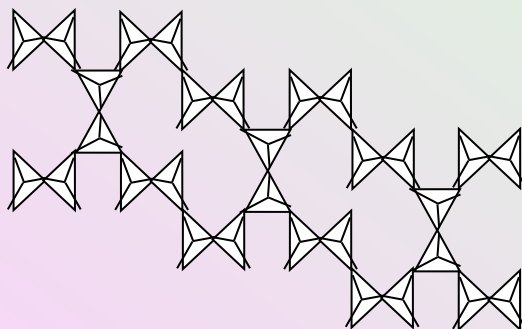
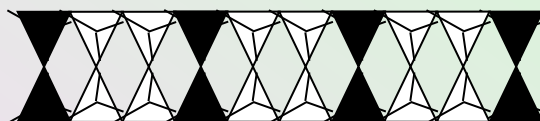
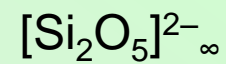
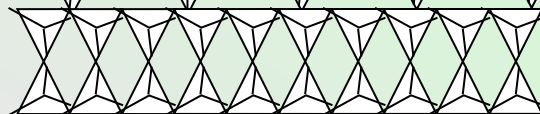
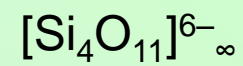
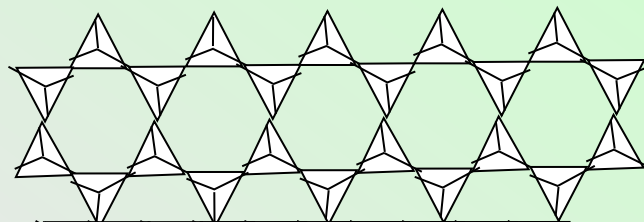
Островная структура



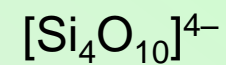
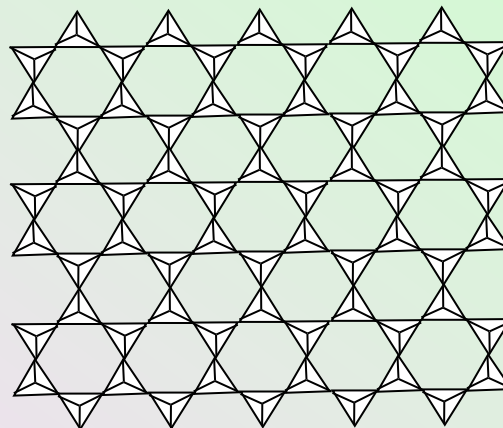
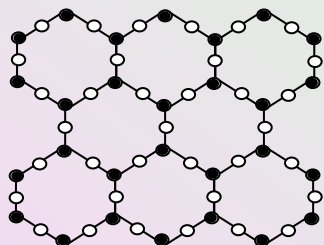
Кольцевая структура



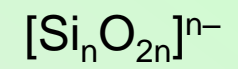
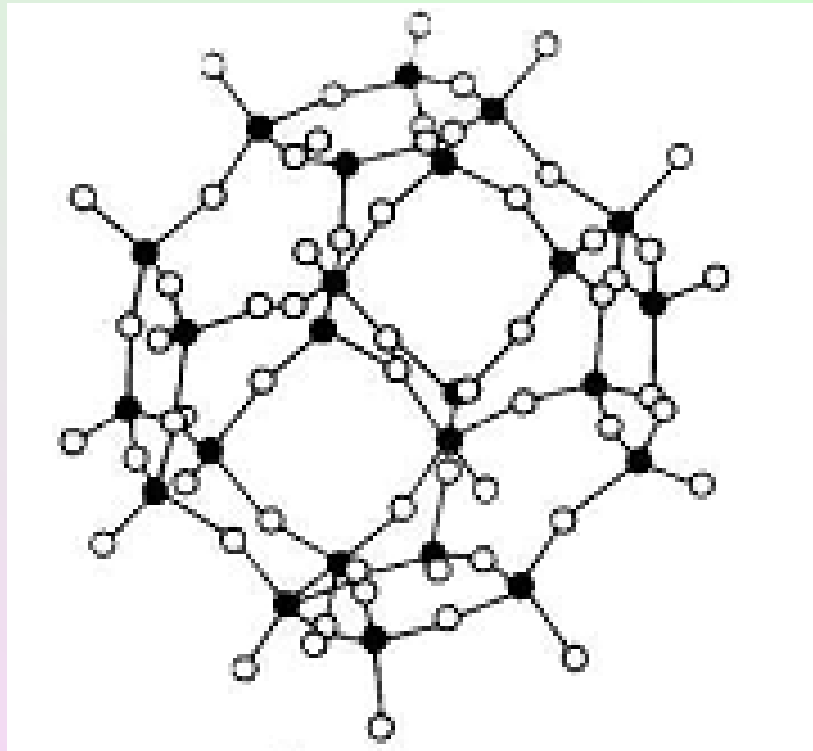
Цепочечная структура



Ленточная структура



Листовая (слоевая) структура



Каркасная структура

Координационная структура

Физические свойства кристаллов

- ***Плотность***

легкие 0,8-2,5 г/см³

средние более 2,5 до 4 г/см³

тяжелые более 4 г/см³

- ***Твердость***

Шкала Мооса

Минерал	Химическая формула	Твердость (относительная)	Микротвердость, МПа
Тальк	$\text{Mg}(\text{OH})_2[\text{Si}_4\text{O}_{10}]$	1	24
Гипс	$\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$	2	360
Кальцит	CaCO_3	3	1050
Флюорит	CaF_2	4	1640
Апатит	$\text{Ca}_5[\text{PO}_4]_3(\text{F}, \text{Cl})$	5	5360
Ортоклаз	$\text{K}[\text{AlSi}_3\text{O}_8]$	6	7140
Кварц	SiO_2	7	10000
Топаз	$\text{Al}_2(\text{F}, \text{OH})_2[\text{SiO}_4]$	8	14270
Корунд	Al_2O_3	9	20500
Алмаз	C	10	28500

- ***Спайность***

Весьма совершенная

Совершенная

Средняя

Несовершенная

Весьма несовершенная

- **Теплопроводность** (Вт/(м · К))

Фигура травления на гранях различных категорий: а – высшая, б – средняя,

в - низшая

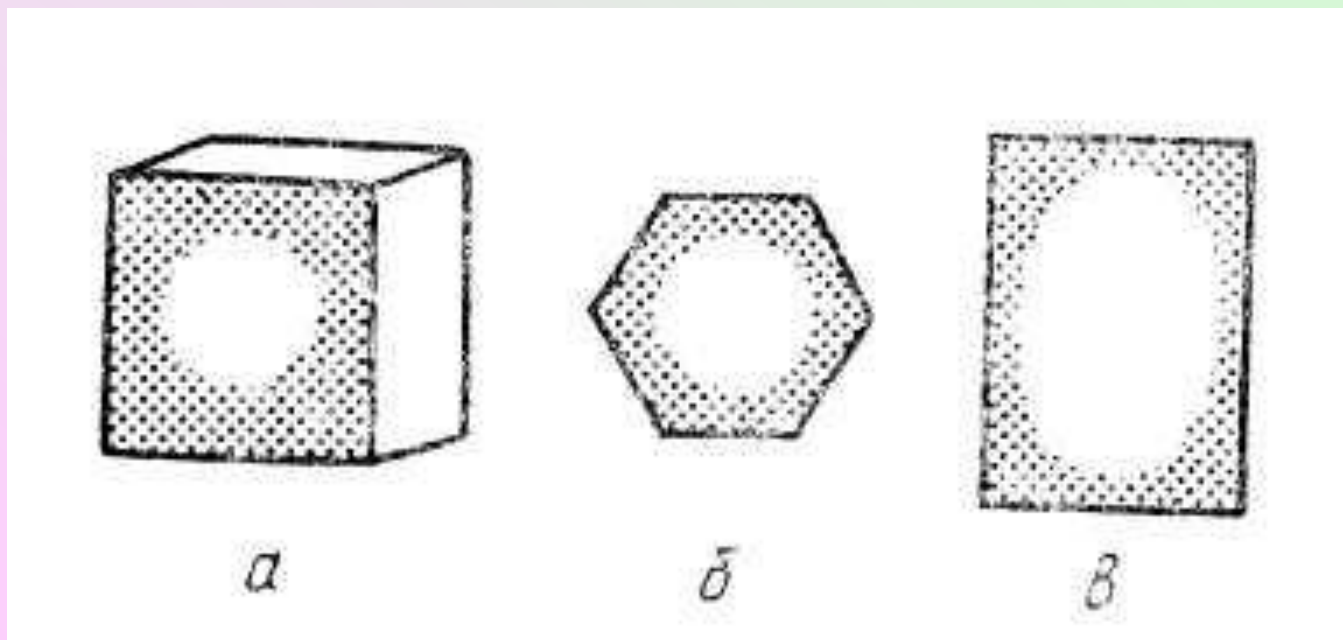
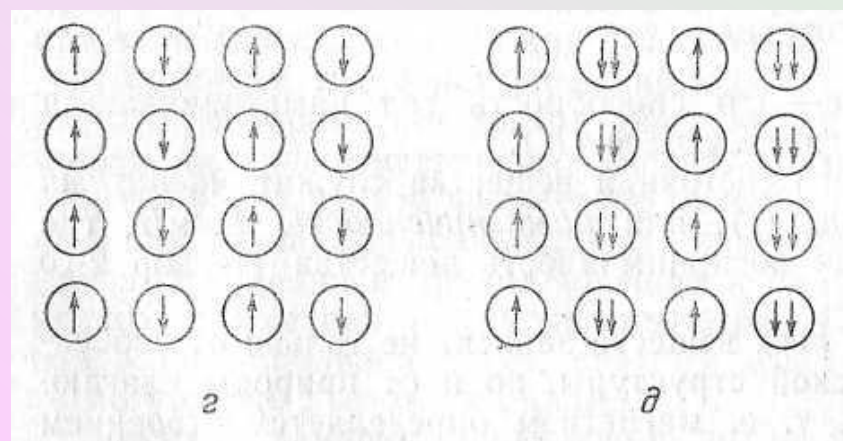
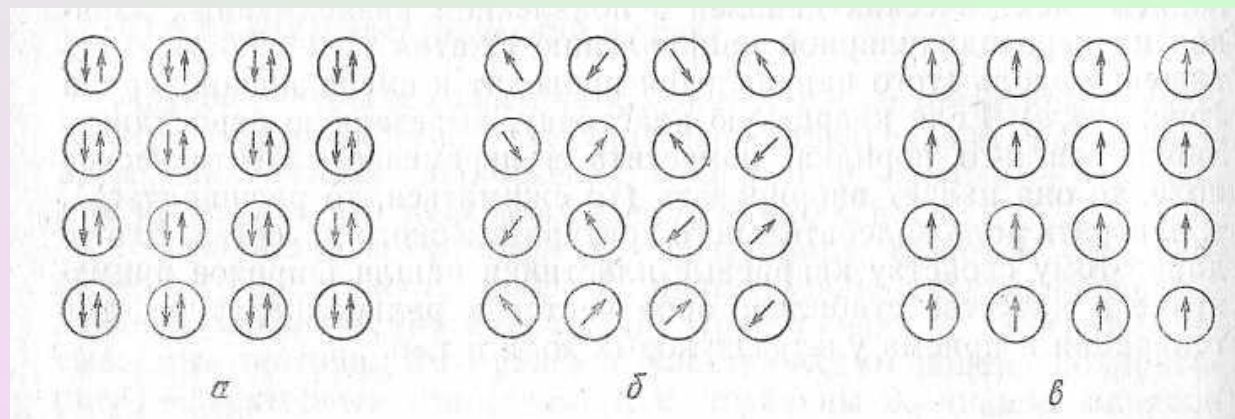
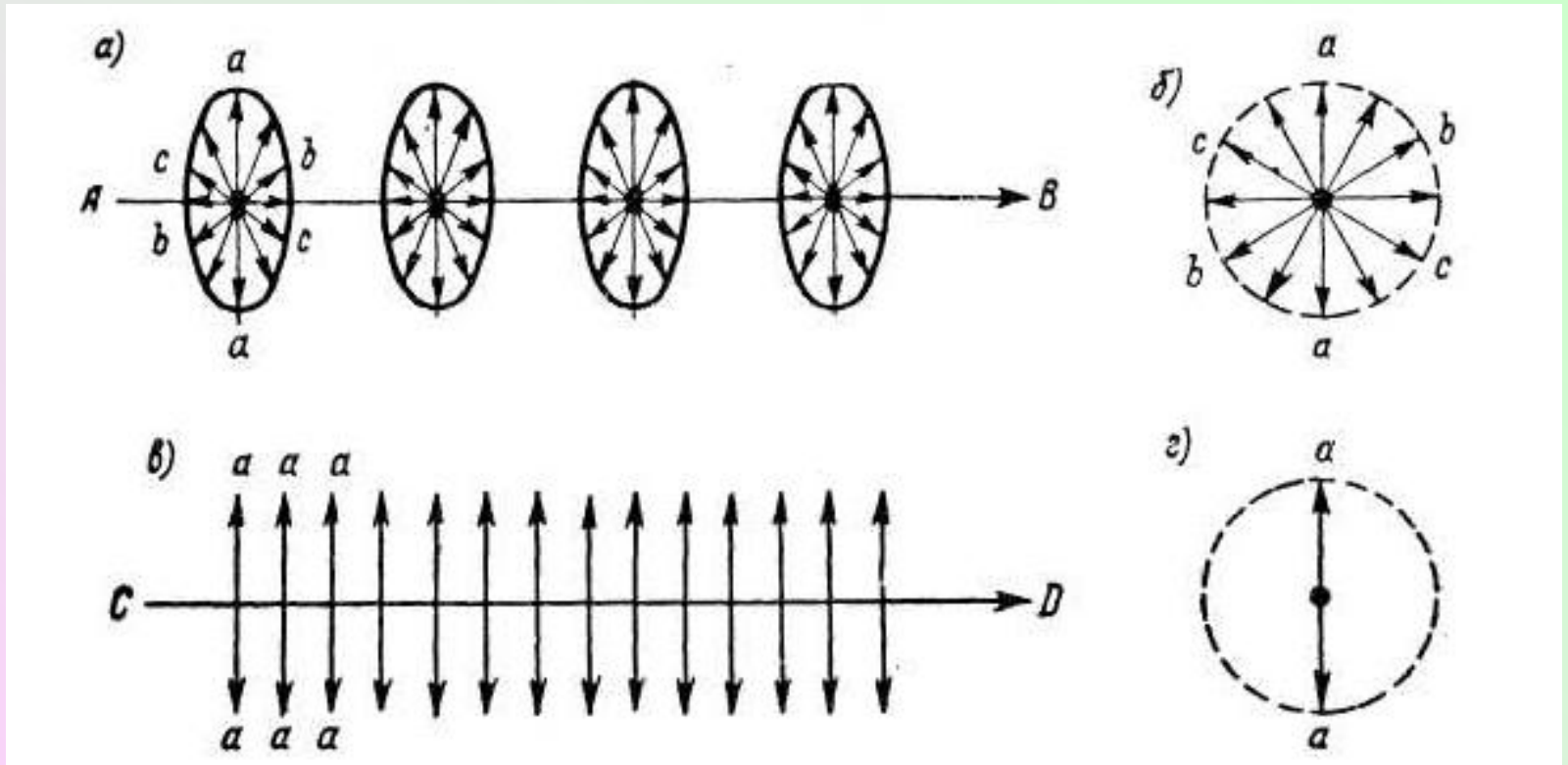
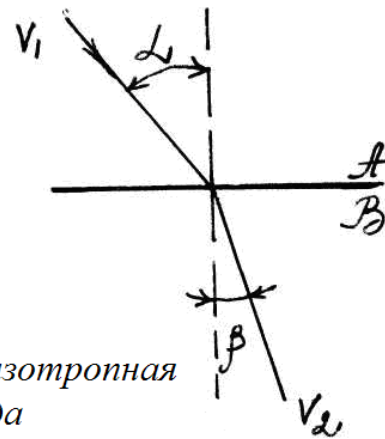


Схема магнитных структур: а – диамагнетик,
б – парамагнетик, в – ферромагнетик,
г – антиферромагнетик, д - ферримагнетик

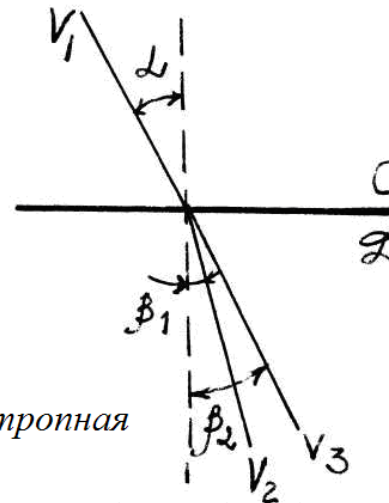




- Колебания естественного (а и б) и поляризованного (в и г) света



a - изотропная среда



б - анизотропная среда

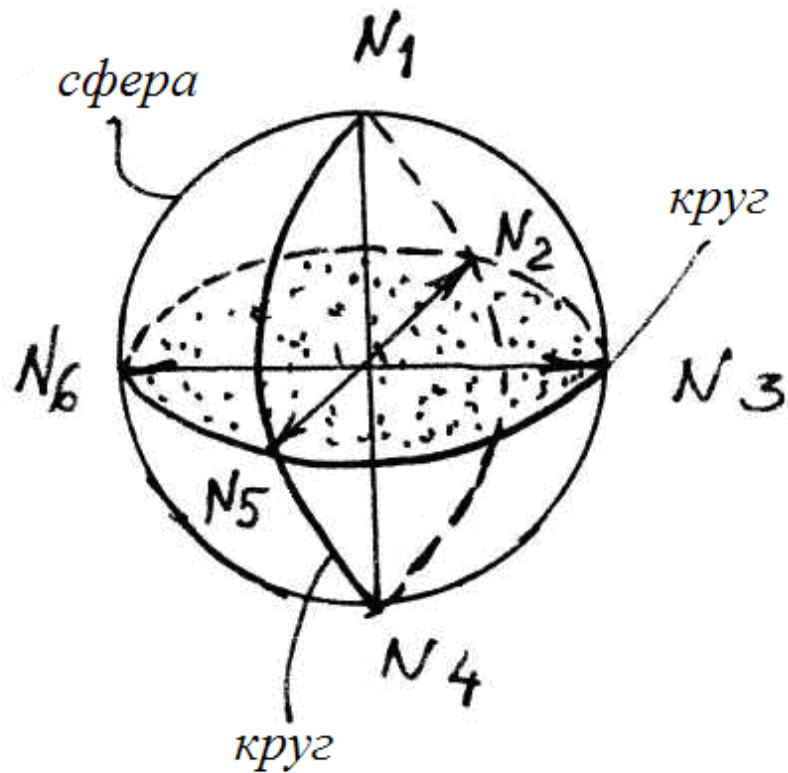
$$n = \frac{v_1}{v_2} = \frac{\sin \alpha}{\sin \beta}$$

Отражательная способность

$$R = \frac{I_1}{I_0}, \%$$

I₁ - интенсивность отраженного света

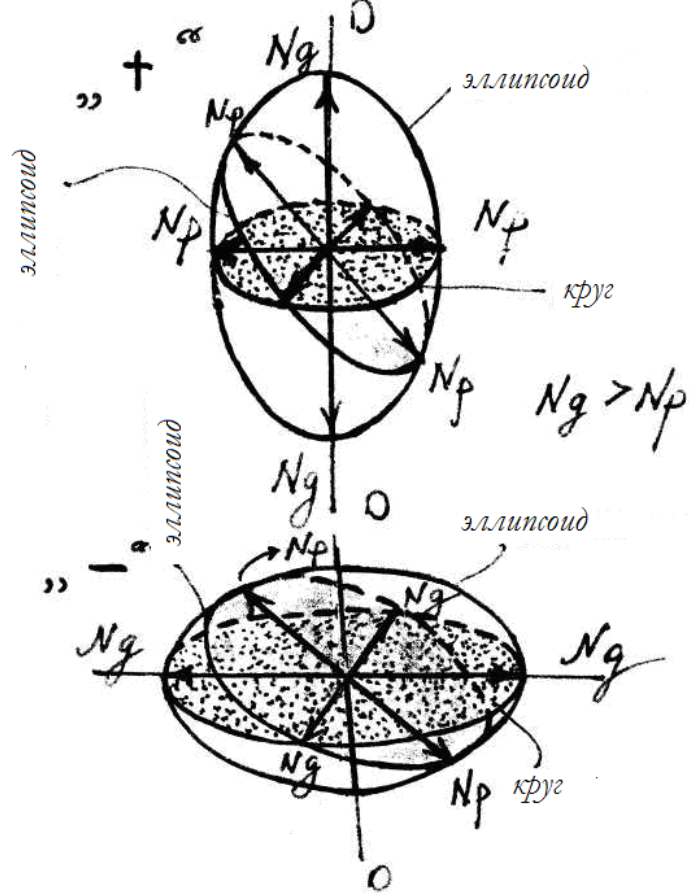
I₀ - интенсивность падающего света



$$N_{\Pi} = \text{const}$$

$$N_1 = N_2 = N_3 = N_4 = N_5 = N_6 = N_{\Pi}$$

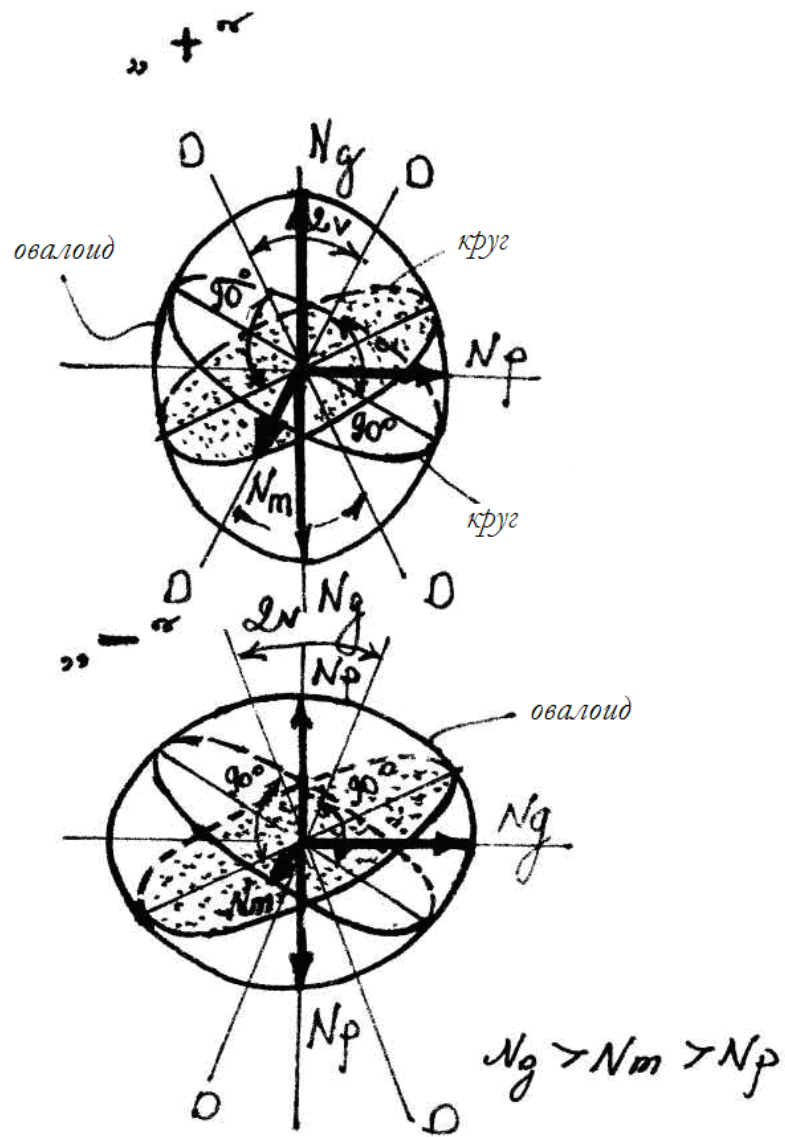
Оптическая индикатриса изотропных кристаллов и аморфных минералов



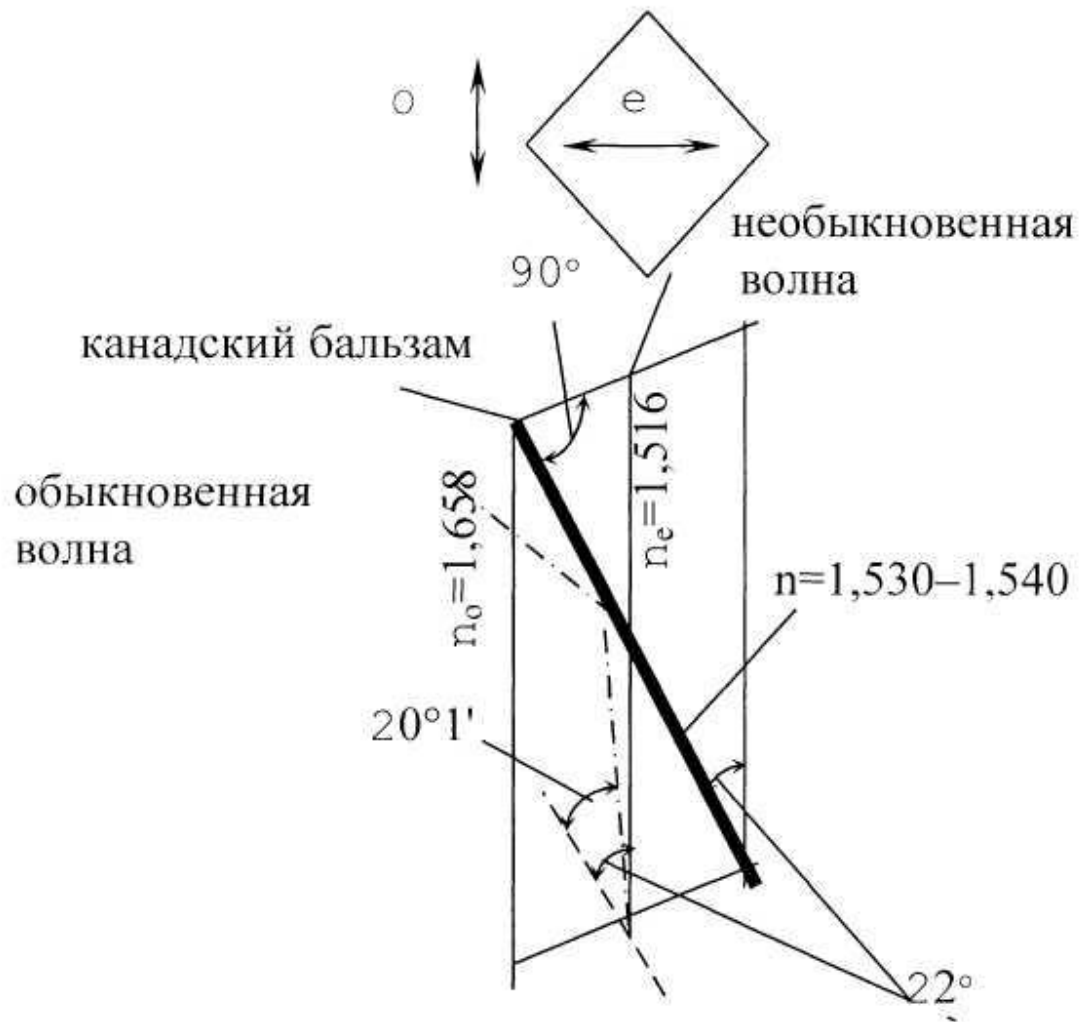
Оптическая индикатриса одноосных кристаллов:
 положительных (+)
 отрицательных (-)

n_n - средний показатель преломления
 n_g - наибольший показатель преломления
 n_p - наименьший показатель преломления

$\Delta = (n_g - n_p)$ - величина дубреломления

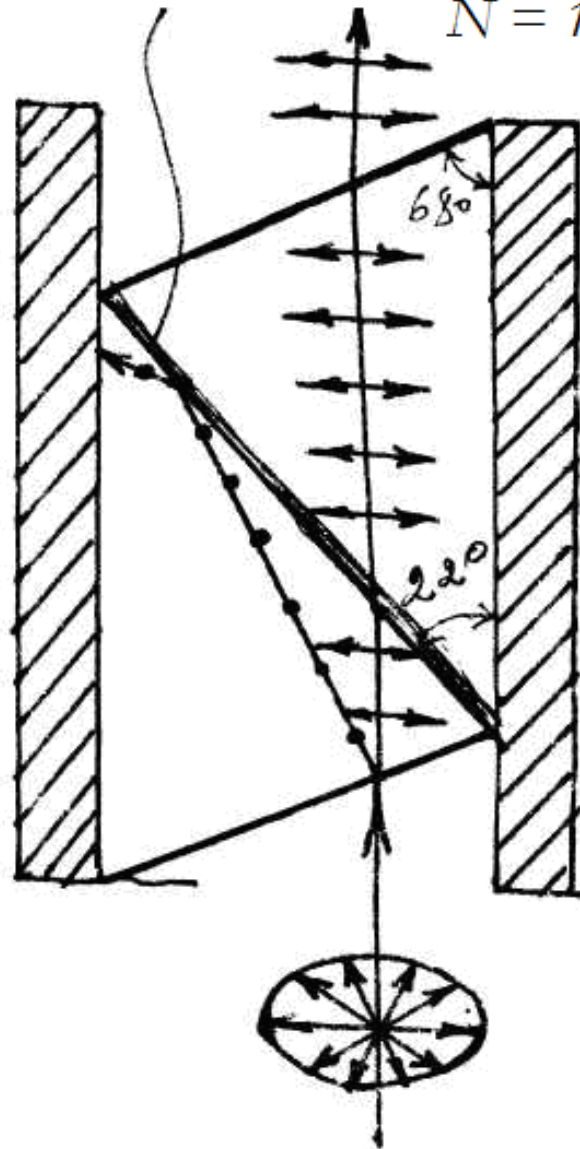


Оптическая индикатриса двухосных кристаллов:
 положительных (+)
 отрицательных (-)



Необыкновенный канадский бальзам

$$N = 1,537$$

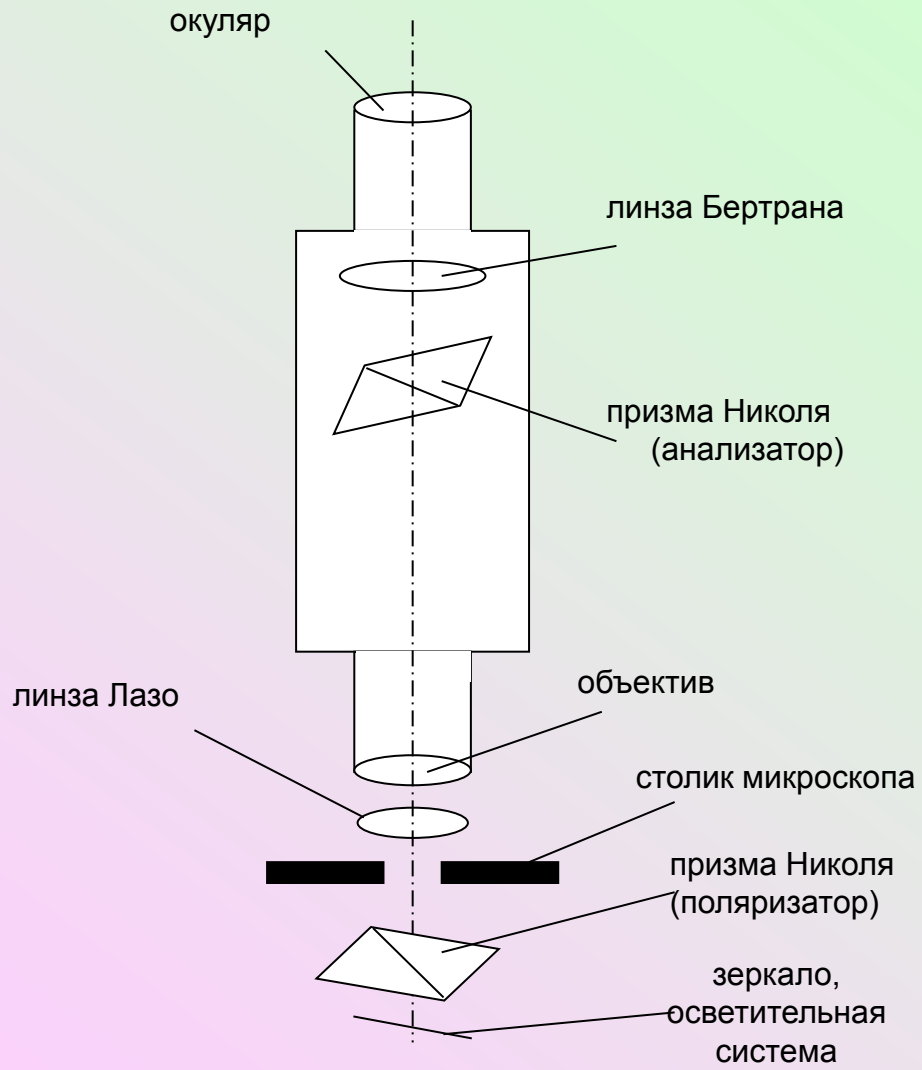


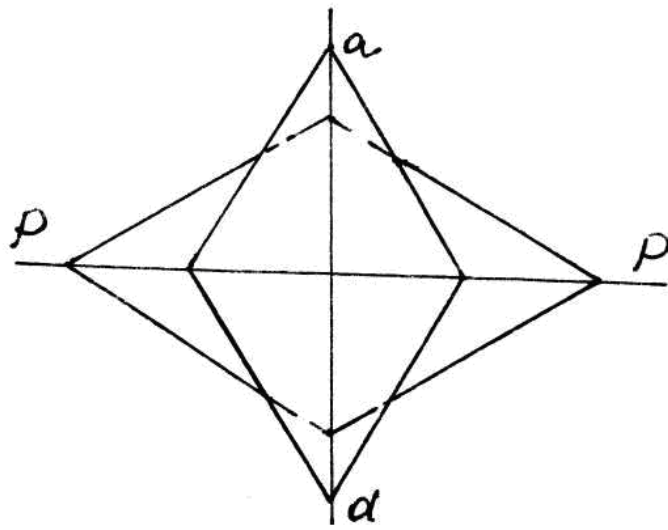
1,54 к.б.

1,53-1,54 к. и

1,658

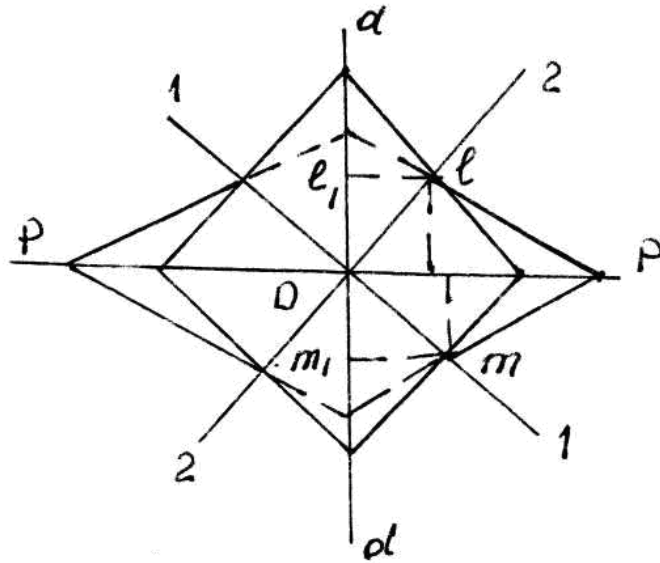
*Ход лучей в призме
Николя*



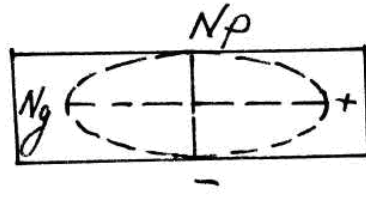


↑ свет

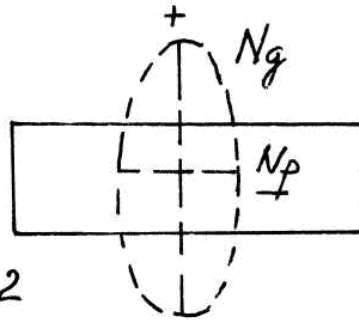
скрещенные николи



Ход лучей в поляризационном микроскопе
при исследовании оптически
анизотропных кристаллов



1



2

Главные зоны у минералов

1 - положительная;

2 - отрицательная

одноосн.

$$n_e > n_o$$

$$n_e < n_o$$

g - grand, большой

m - moyen, средний

p - petit, малый

У двуосных

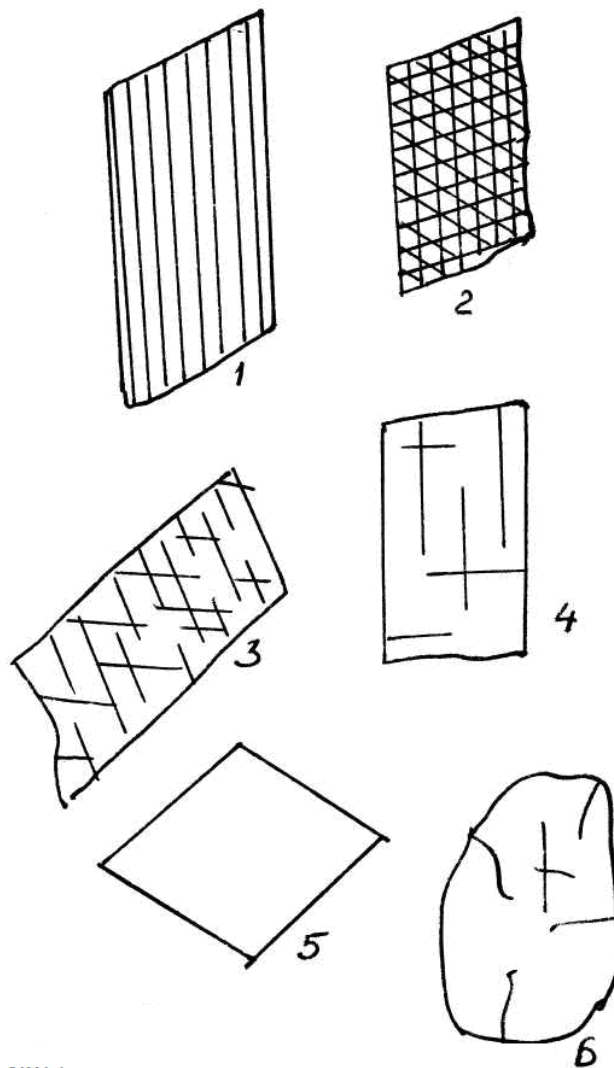
$$n_g; n_m; n_p$$

$$n_g - n_m > n_m - n_p$$

оптич. полож.

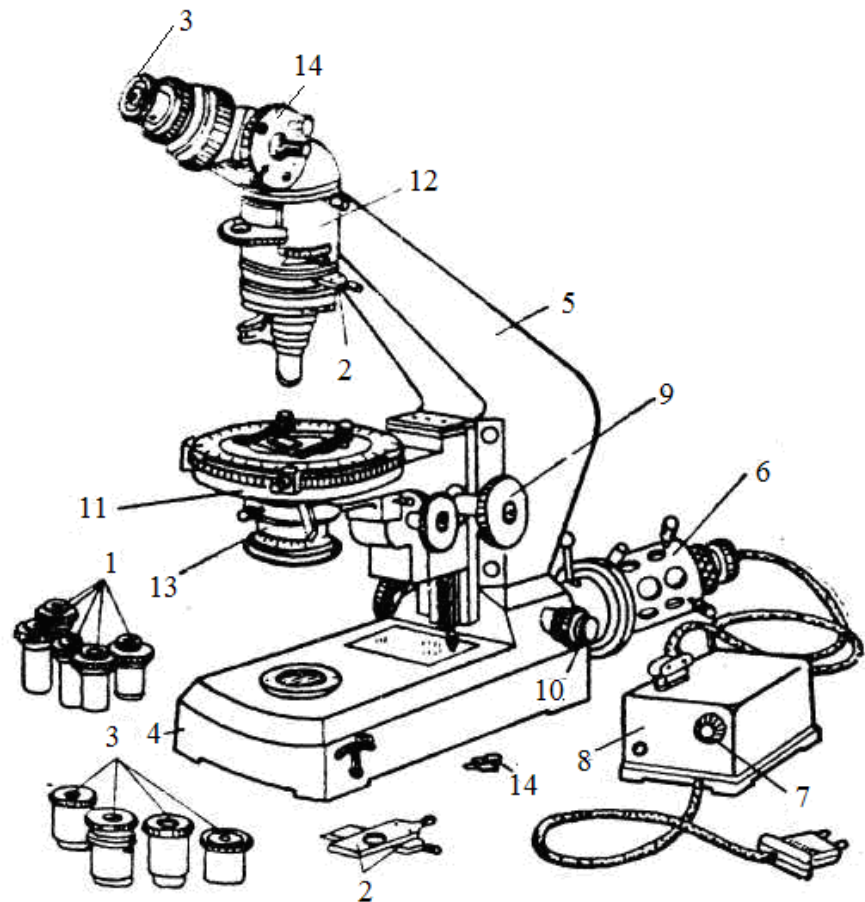
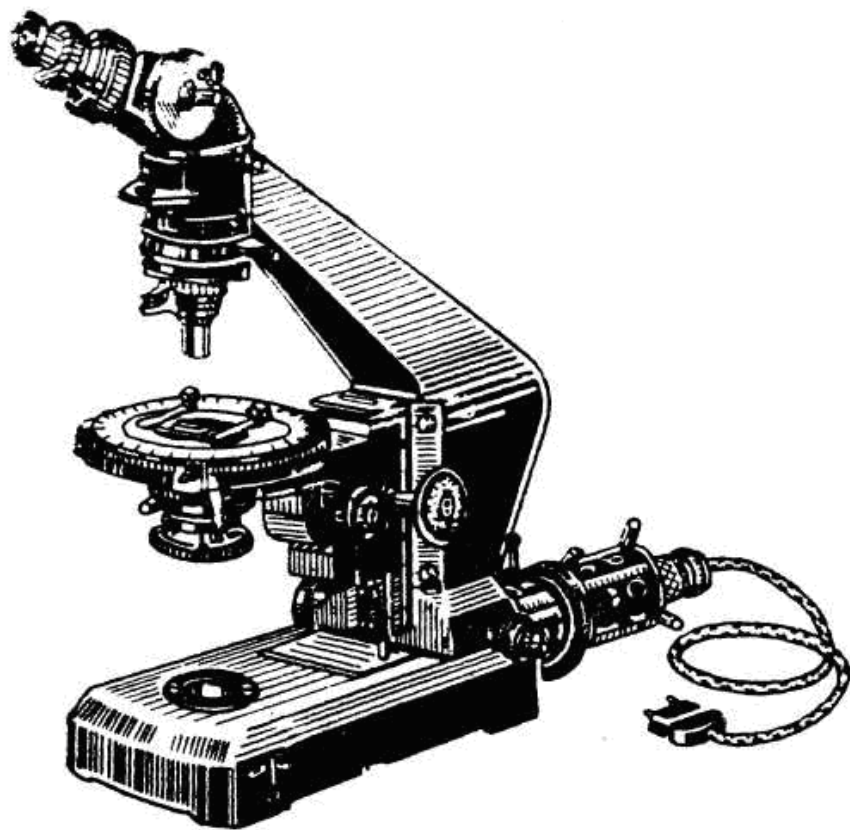
$$n_g - n_m < n_m - n_p$$

оптич. отрицат.

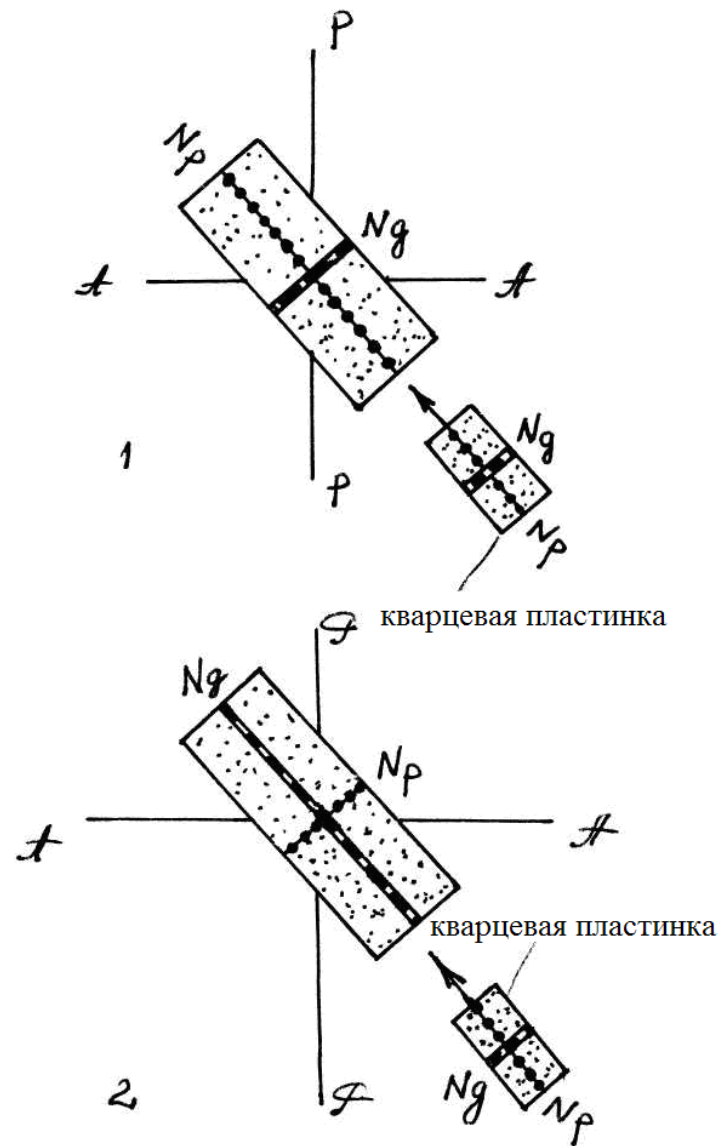


Спайность:

- 1 - весьма совершенная в одном направлении;*
- 2 - весьма совершенная в трех направлениях;*
- 3 - совершенная в двух направлениях;*
- 4 - спайность несовершенная в двух направлениях;*
- 5, 6 - спайность отсутствует;*
- 6 - трециноватость неправильная*



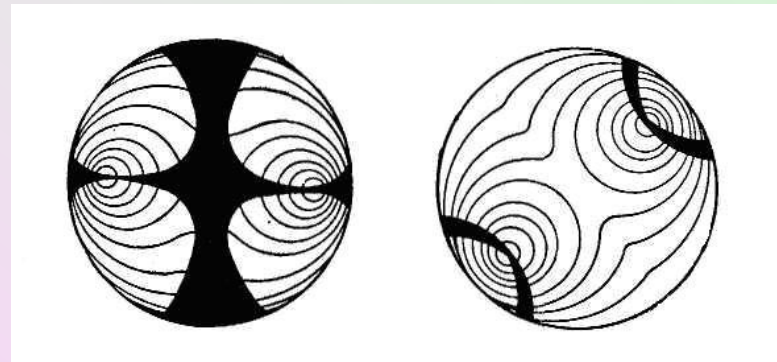
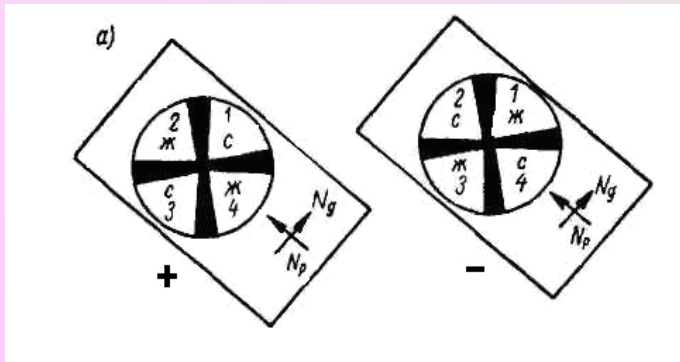
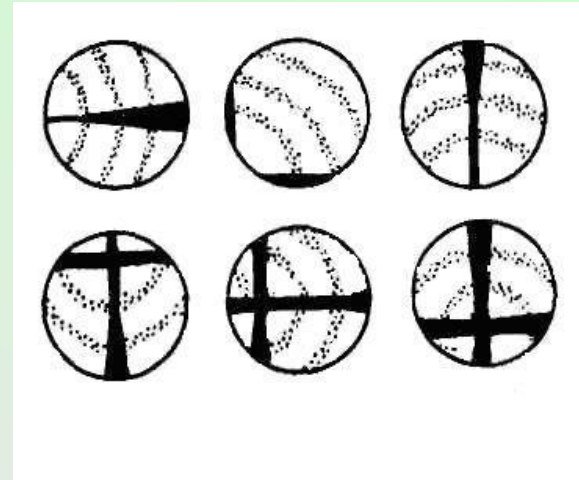
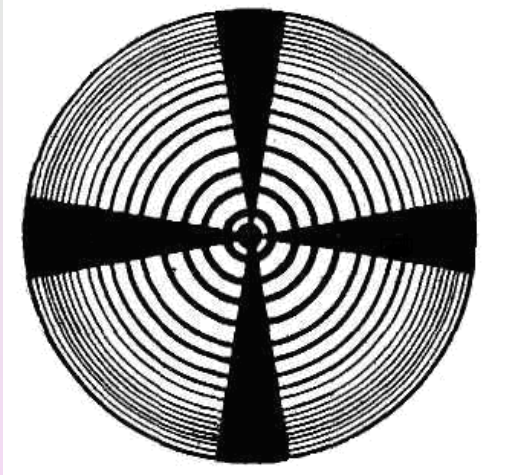
Общий вид поляризационного микроскопа МИН-8: 1 - объективы, 2 - компенсационные пластинки, 3 - окуляры, 4 - основание прибора, 5 - тубусодержатель, 6 - фонарь, 7 - ручка трансформатора для регулировки накала лампы, 8 - трансформатор, 9 - маховички грубой подачи, 10 - барабанчики микромеханизма, 11 - столик микроскопа, 12 - тубус микроскопа, 13 - оправа поляризатора, 14 - барашек для включения конденсора

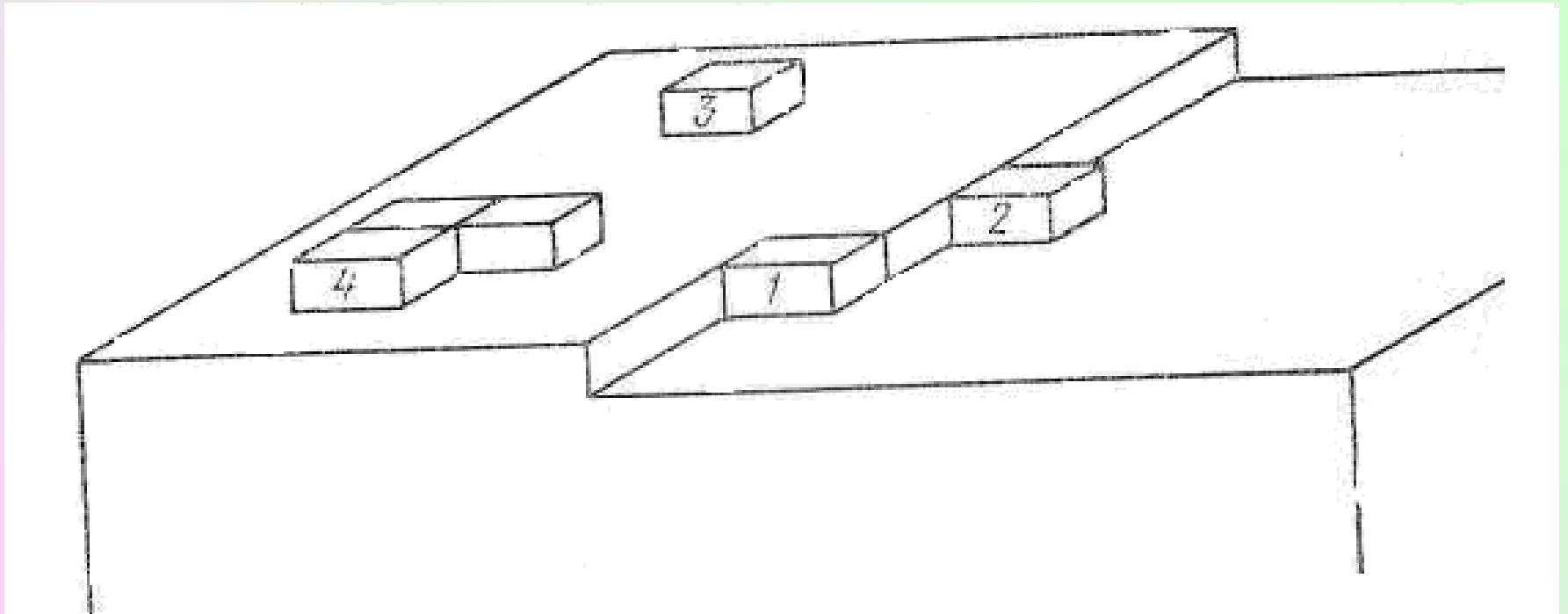


Определение знака гавной зоны (характера удлинения)

1 - сложение; интер. окраска повышается;

2 - вычитание; интер. окраска понижается





Различные способы присоединения частиц к поверхности растущего кристалла

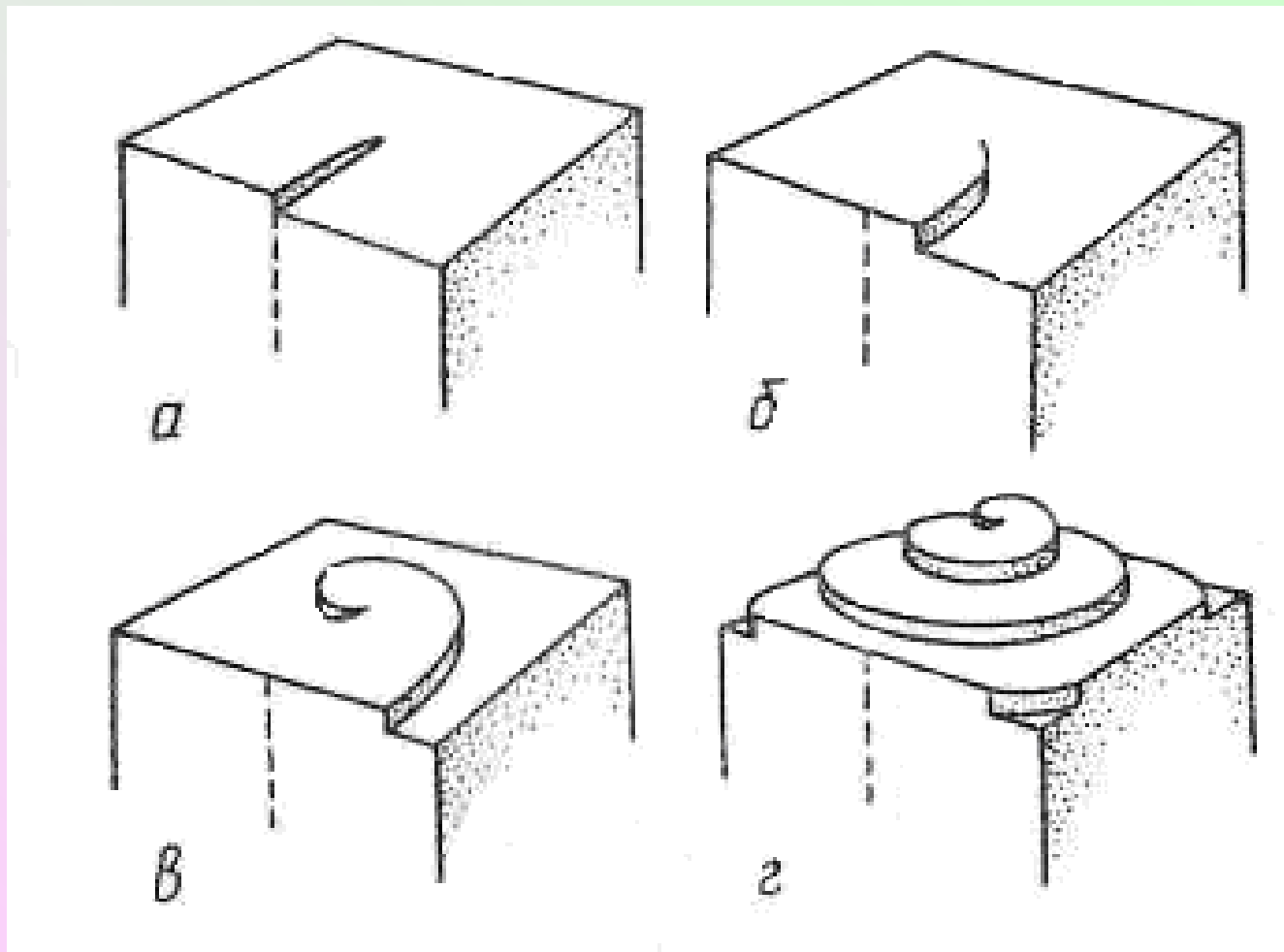
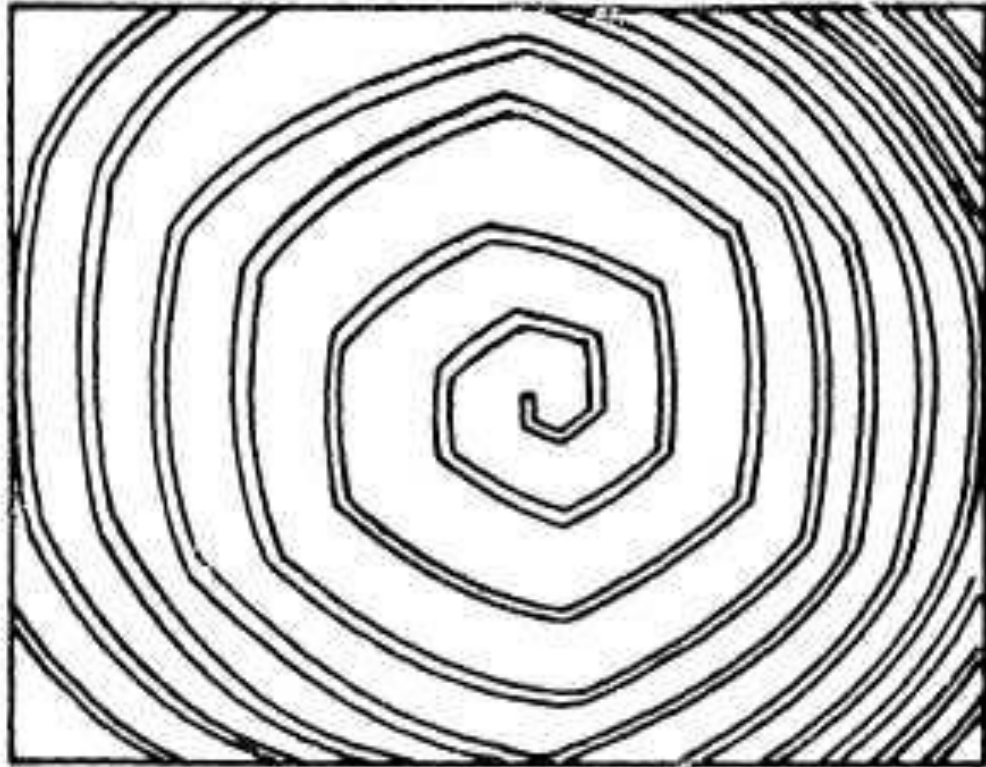


Схема спирального роста кристаллов



Спираль роста кристалла

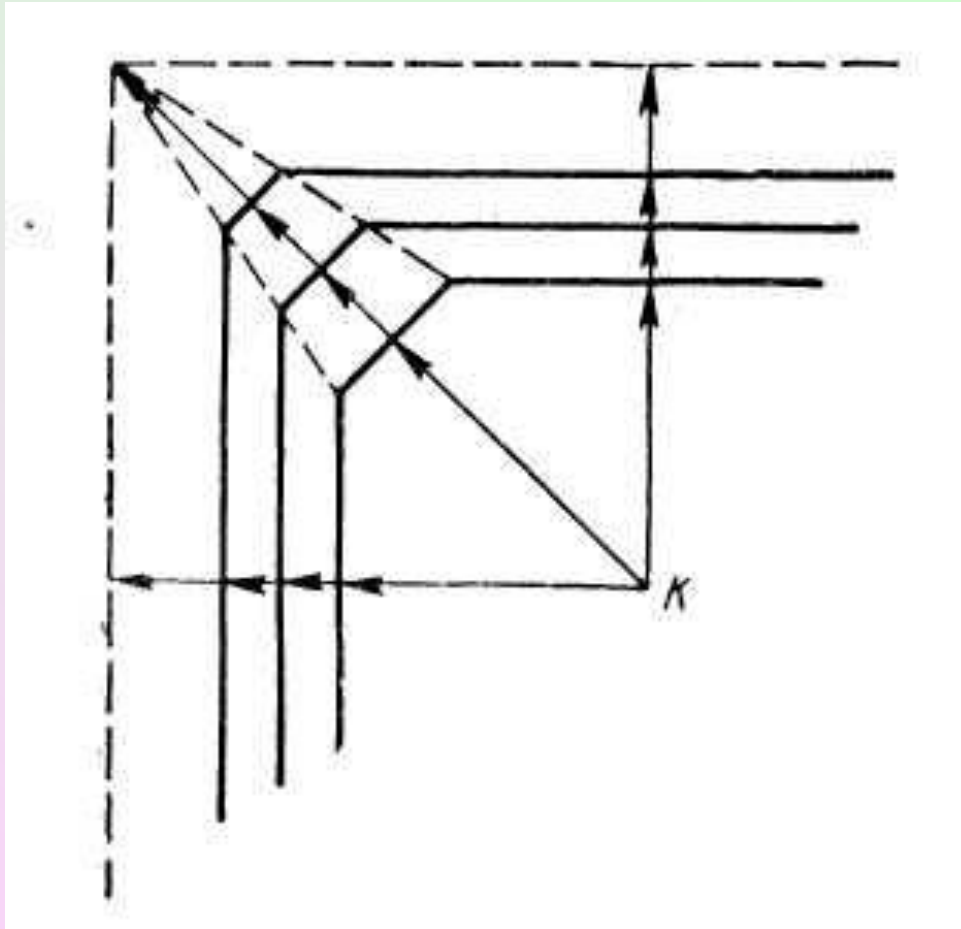


Схема образования вершин и ребер кристалла

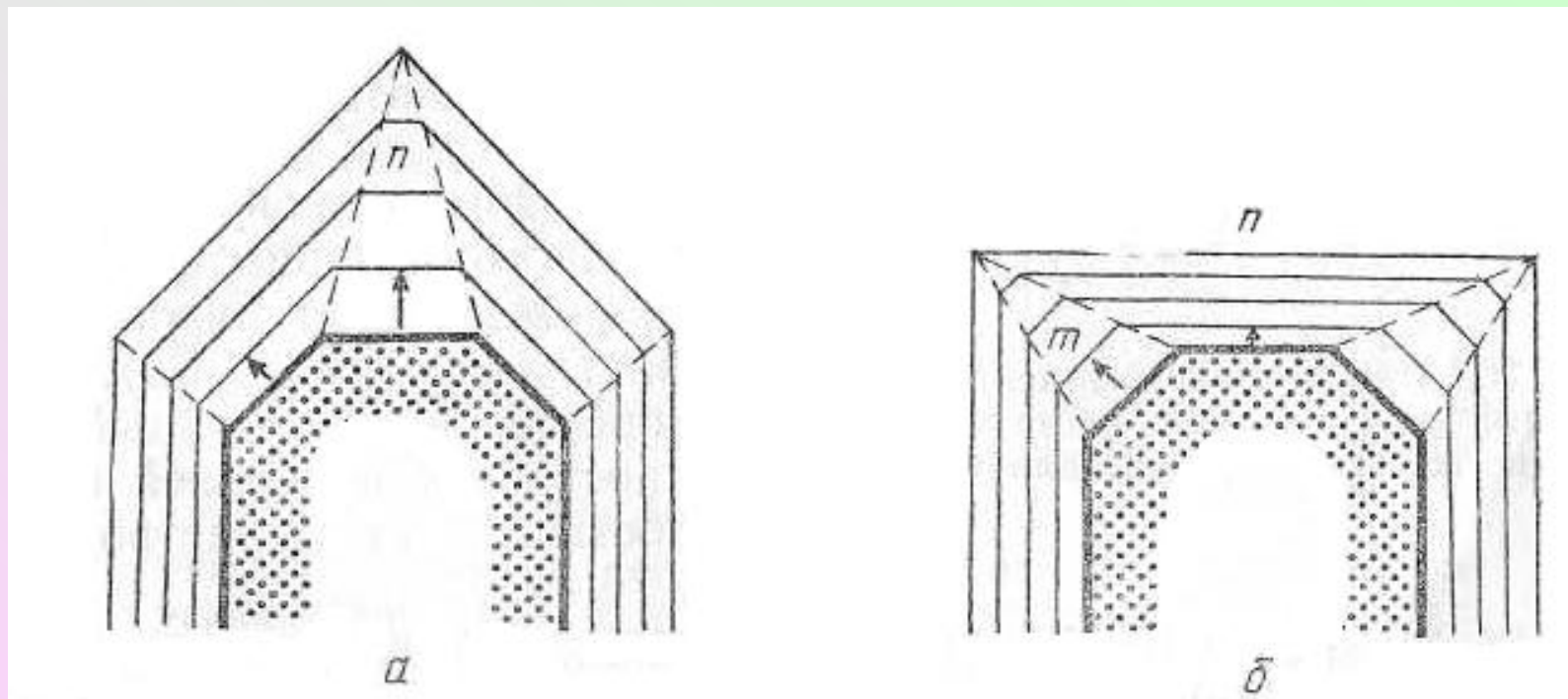
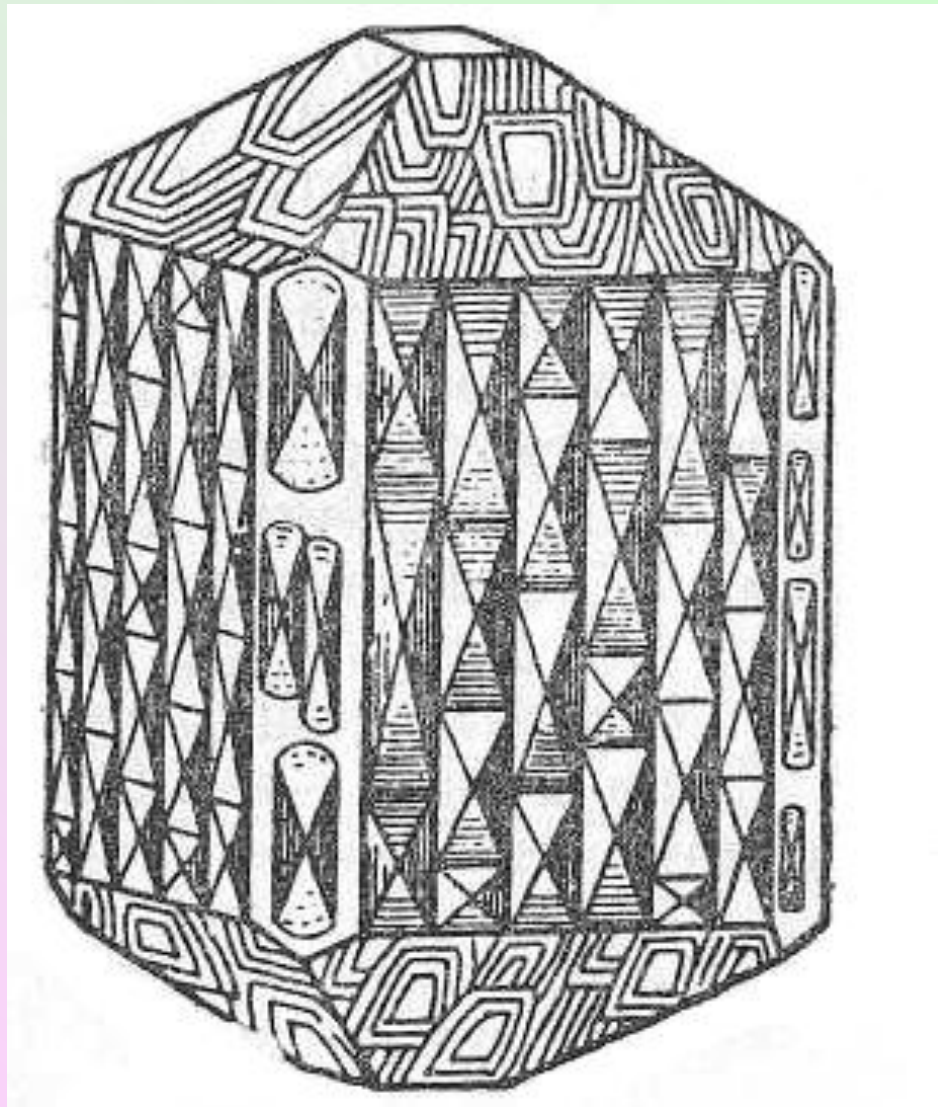
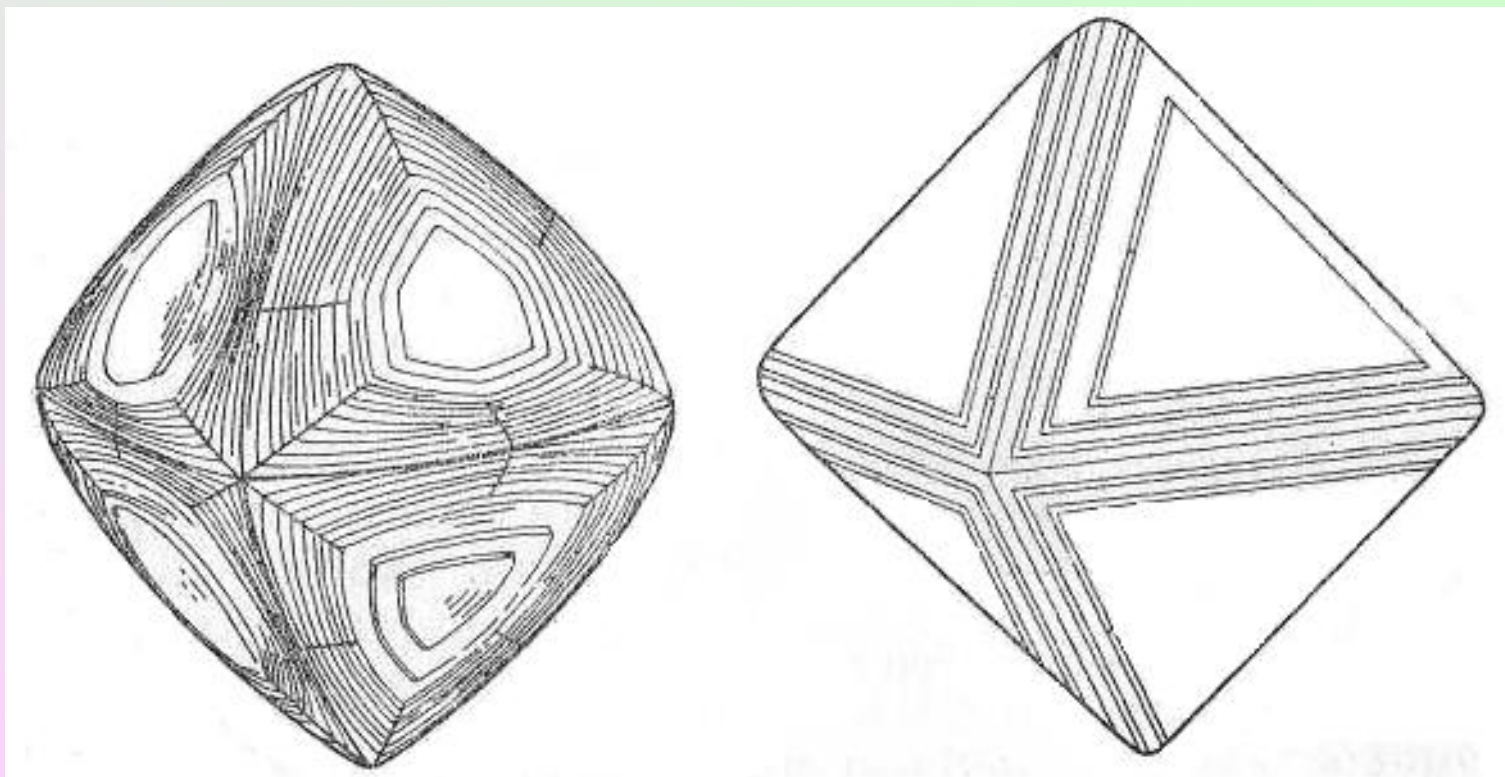


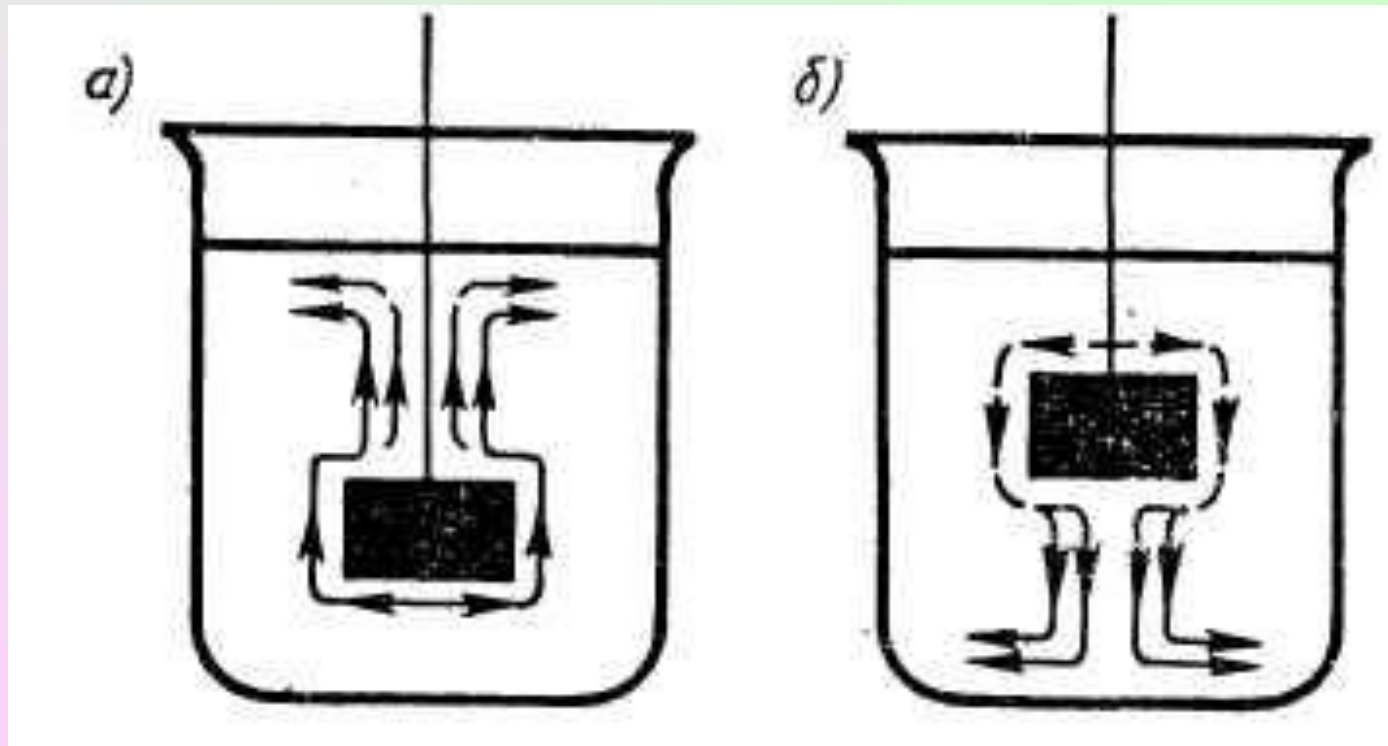
Схема зарастания быстро растущих граней кристалла



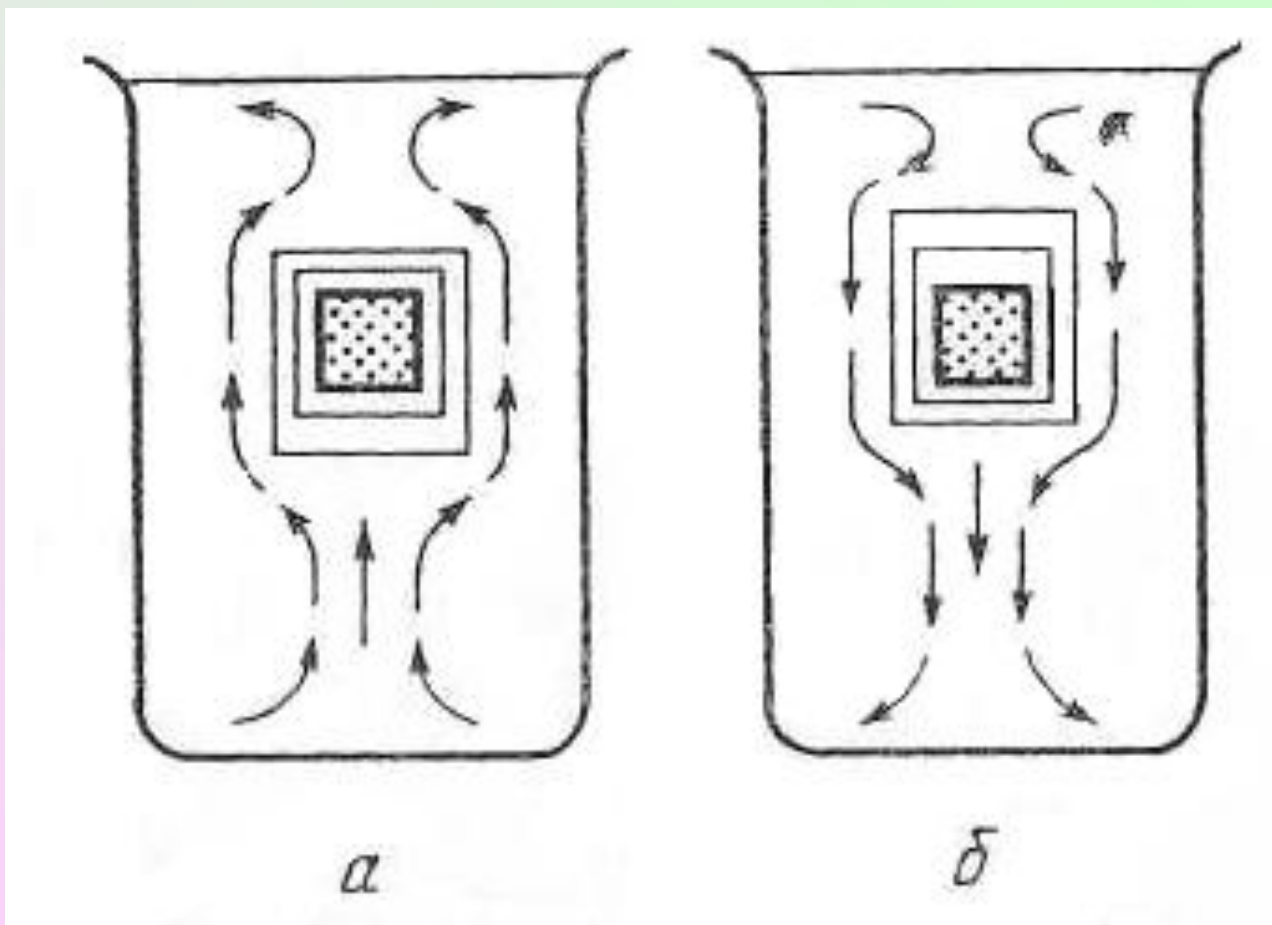
Вицинали на гранях кристалла



Фигуры растворения на гранях кристаллов
алмаза



Концентрационные потоки в пересыщенном (а)
и ненасыщенном (б) растворах



Направление концентрационных потоков при
росте (а) и растворении (б) кристаллов

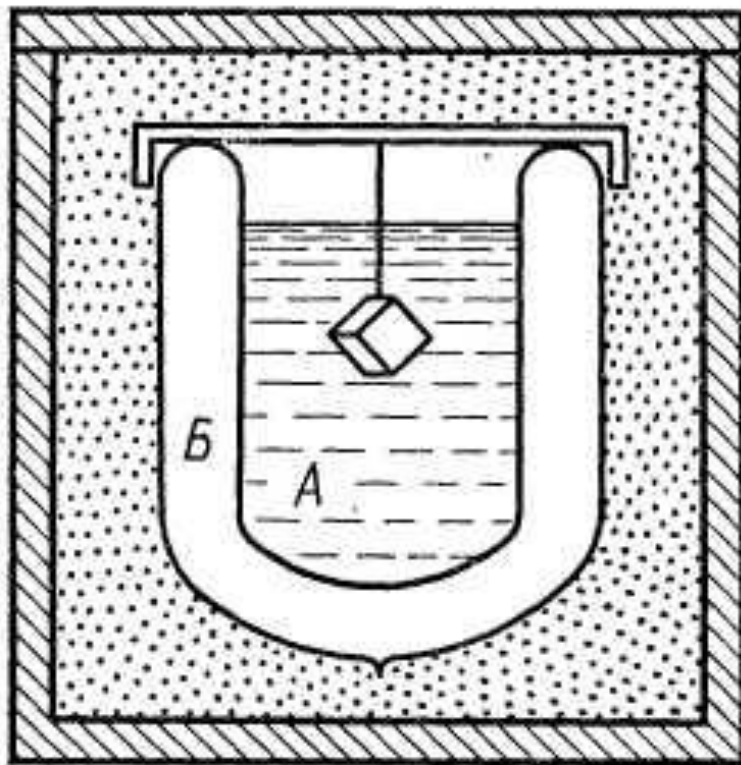
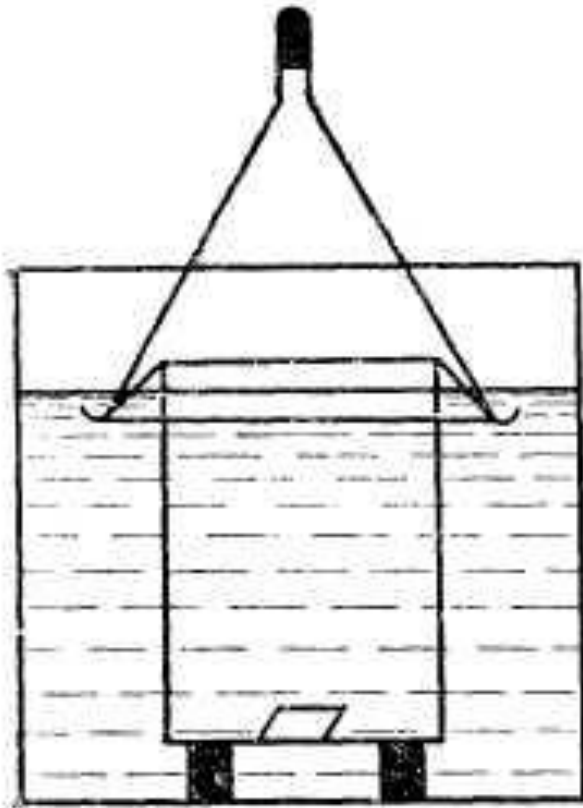
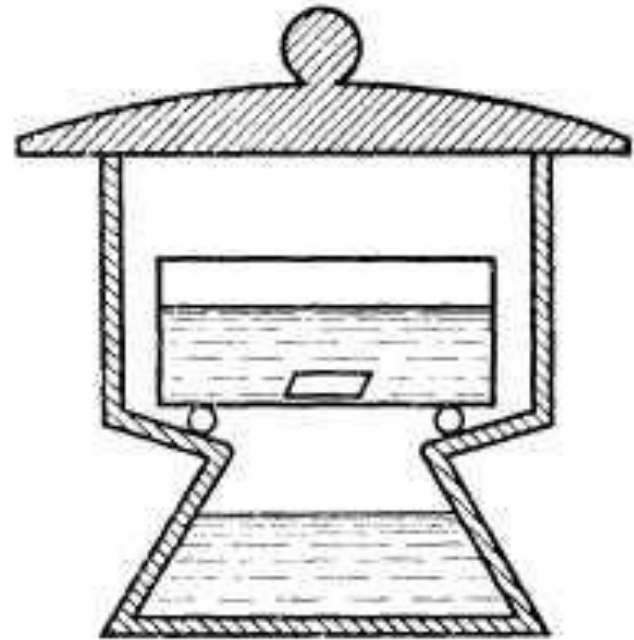


Схема выращивания кристаллов из раствора
методом охлаждения

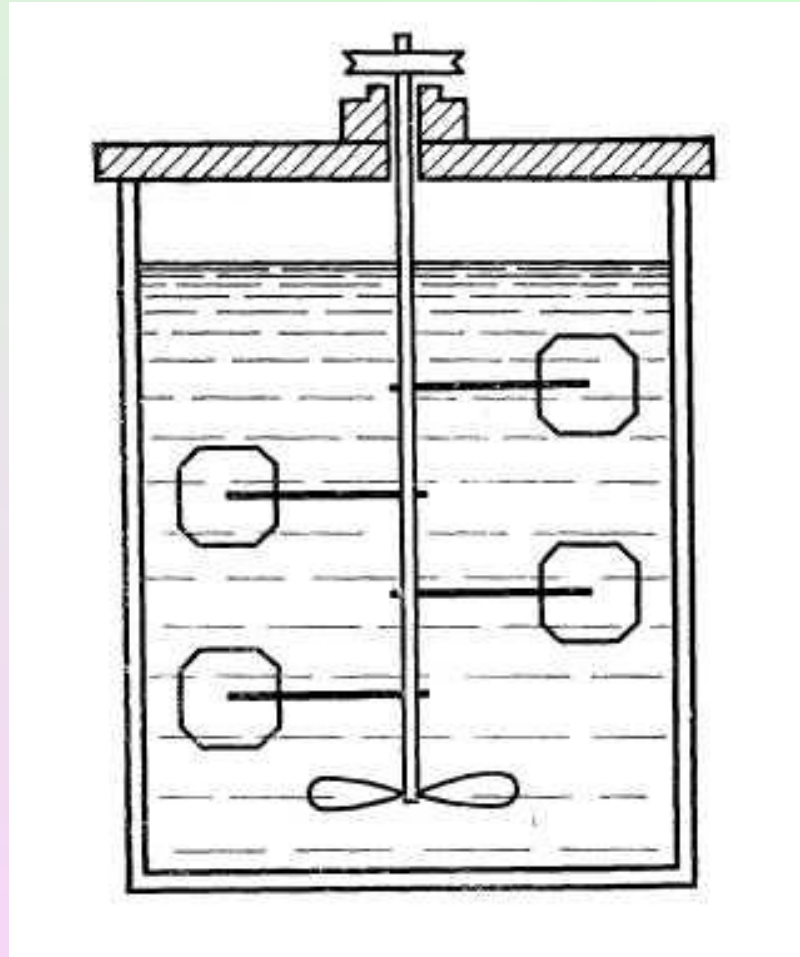


a)



b)

Простейшие схемы выращивания кристаллов из раствора путем испарения



Выращивание кристаллов из раствора путем испарения с вращением растущих кристаллов

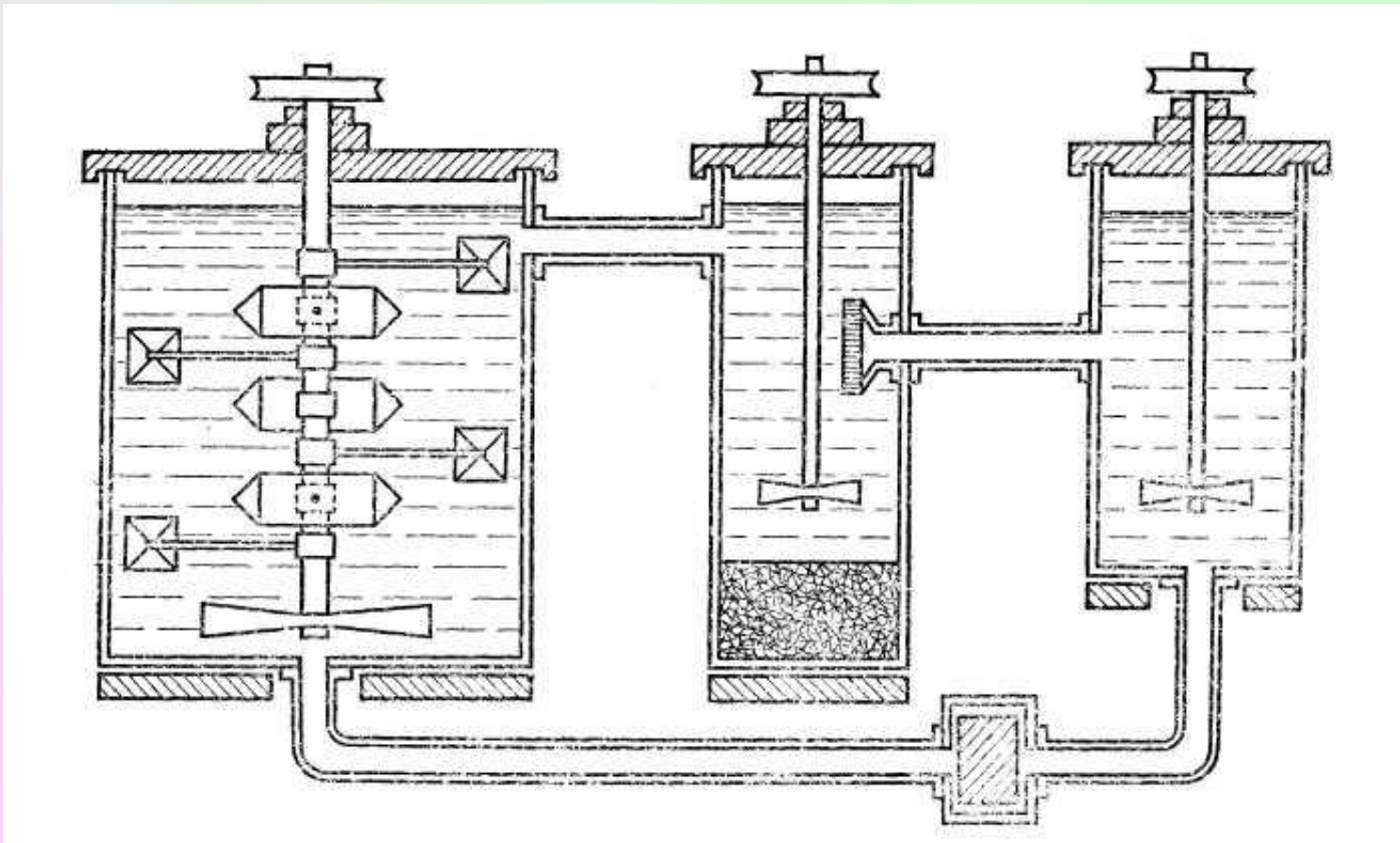


Схема выращивания кристалла из раствора с циркуляцией растворителя

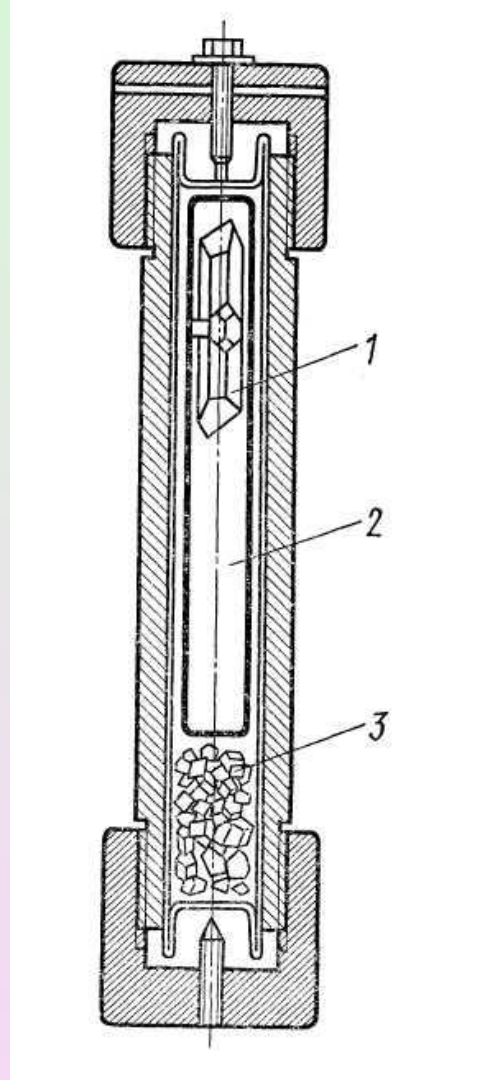


Схема гидротермального метода выращивания кристаллов кварца: 1 – кристалл, растущий на затравке, 2 – щелочной раствор, 3 – исходное вещество

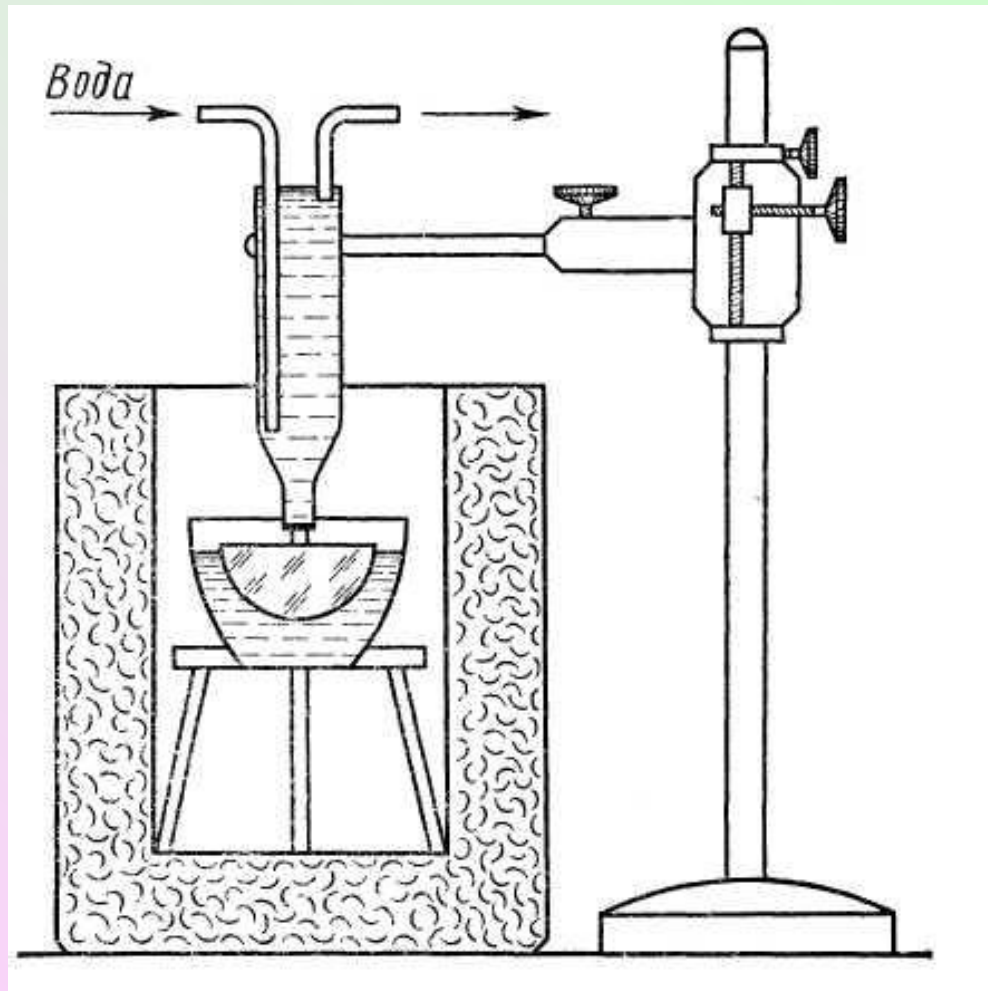


Схема установки для выращивания кристаллов из расплава по методу Кирпулоса

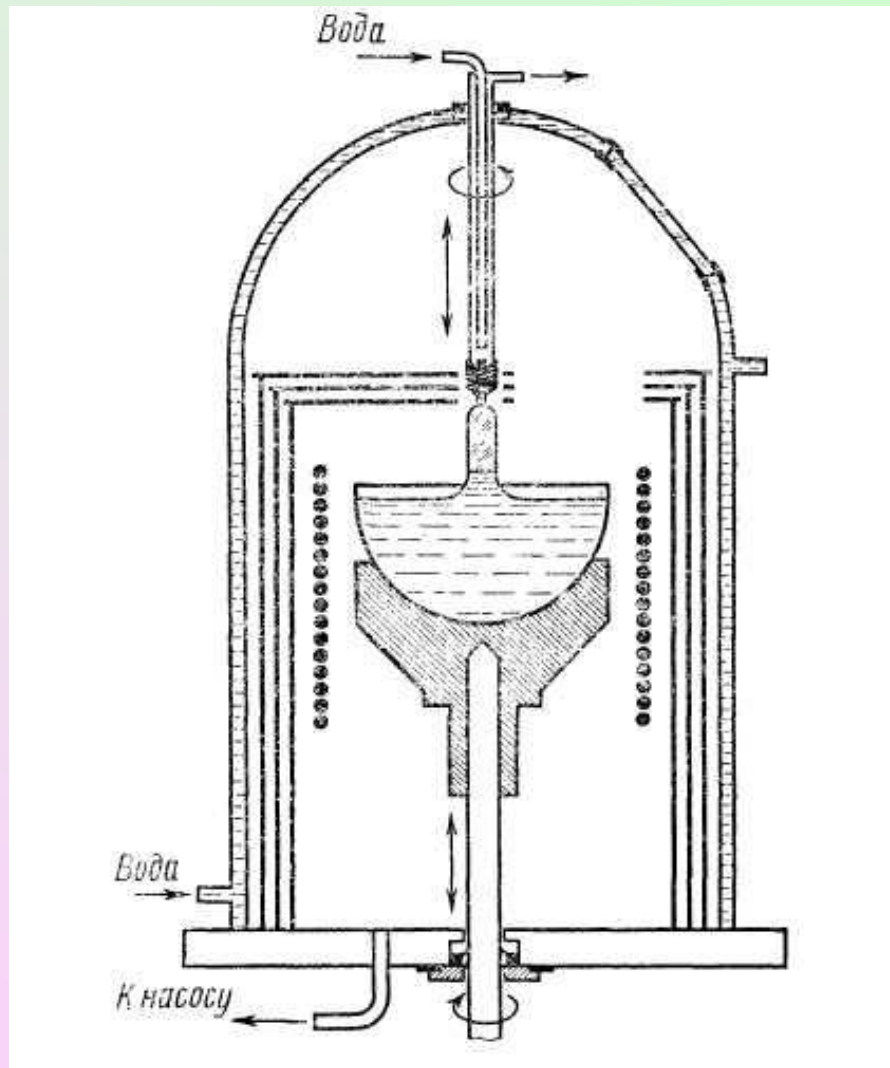


Схема выращивания кристаллов из расплава по методу Чохральского

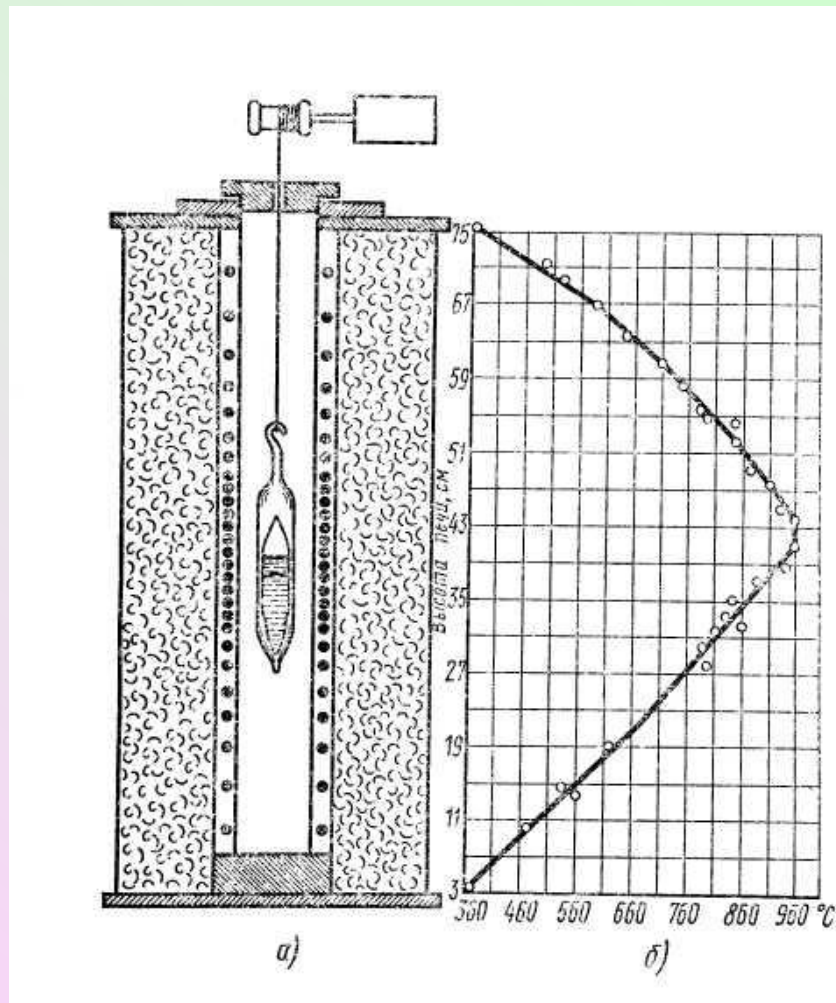


Схема выращивания кристаллов из расплава по методу Бриджмена-Стокбаргера (а) и распределение температуры по высоте печи (б)

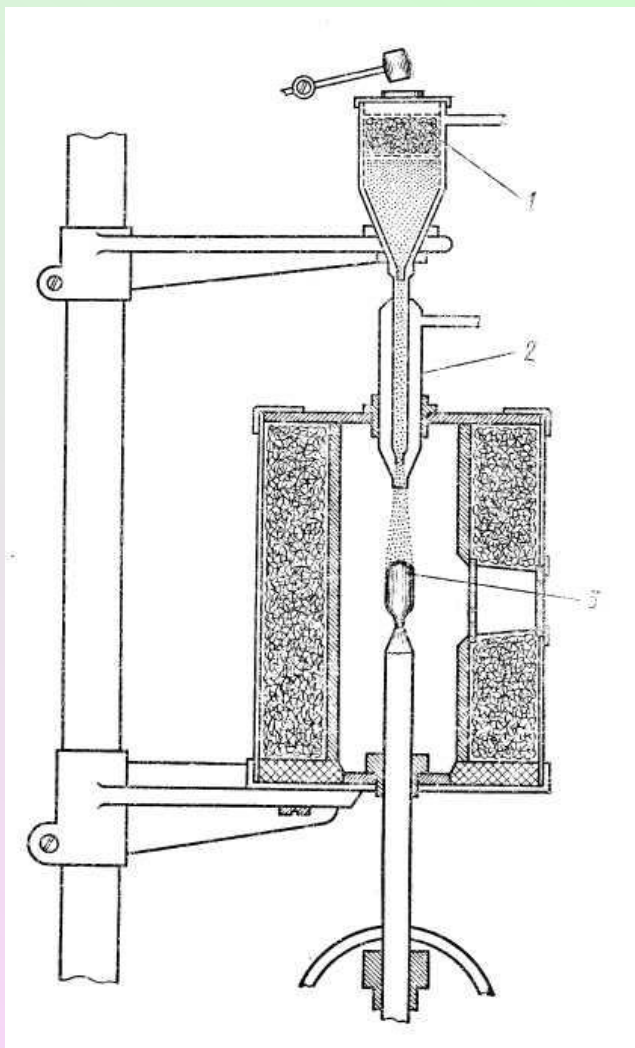


Схема выращивания кристаллов из расплава по методу Вернейля

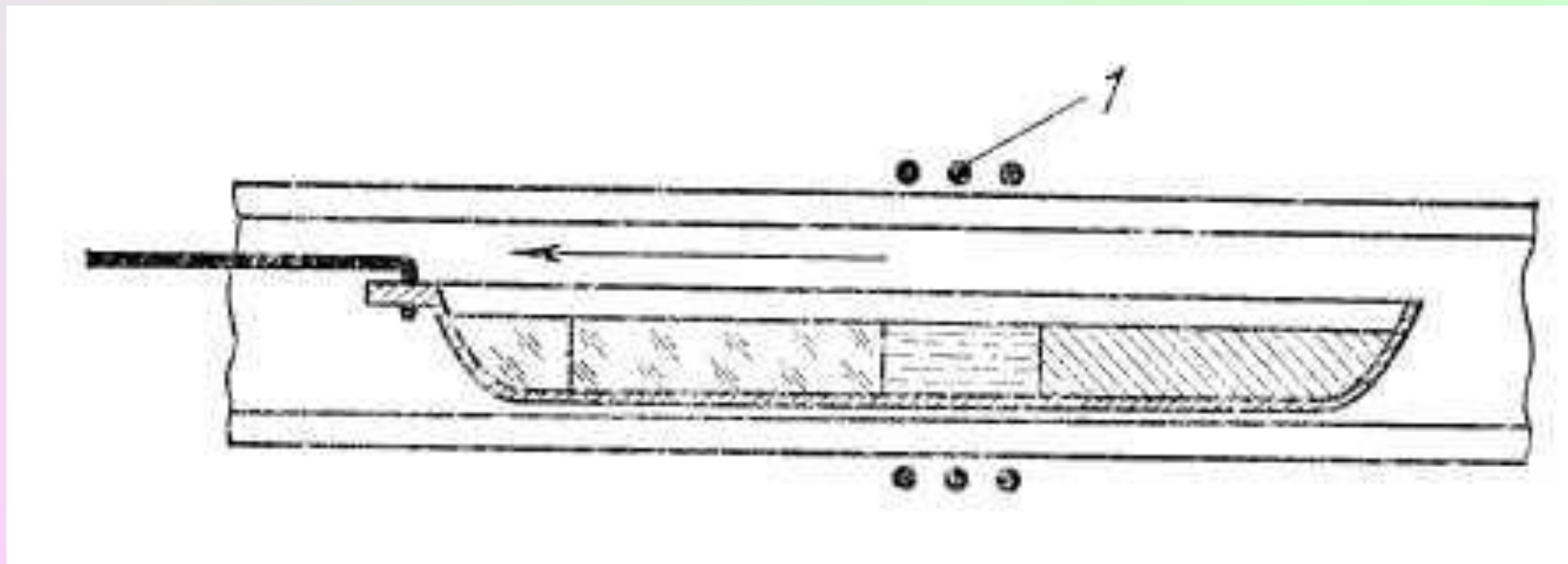


Схема выращивания кристаллов из расплава по методу зонной кристаллизации