

Твёрдые тела и их симметрия

1. Моно- и поликристаллы.

Анизотропия

2. Кристаллографический признак кристаллов

3. Физический признак кристалла

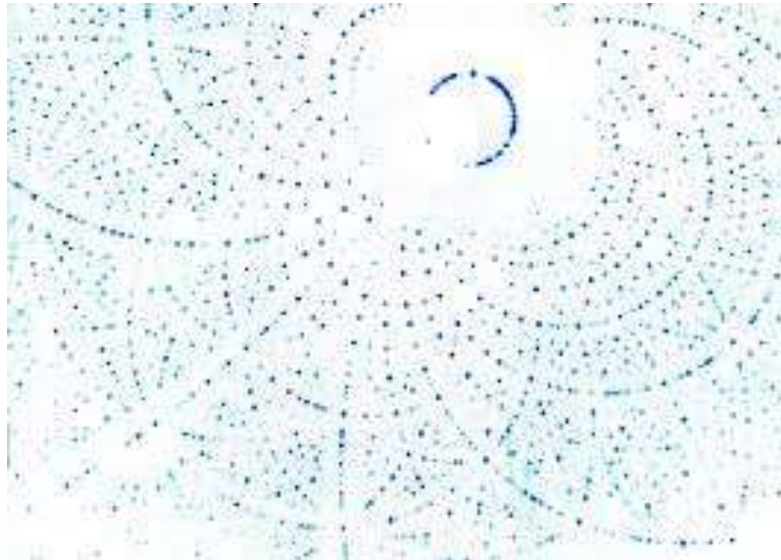
4. Дефекты в кристаллах

5.Теплоемкость твердых тел

6.Испарение, сублимация, плавление и кристаллизация. Аморфные тела.

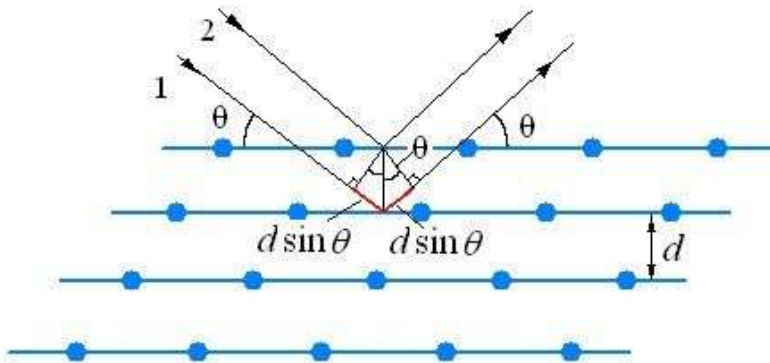
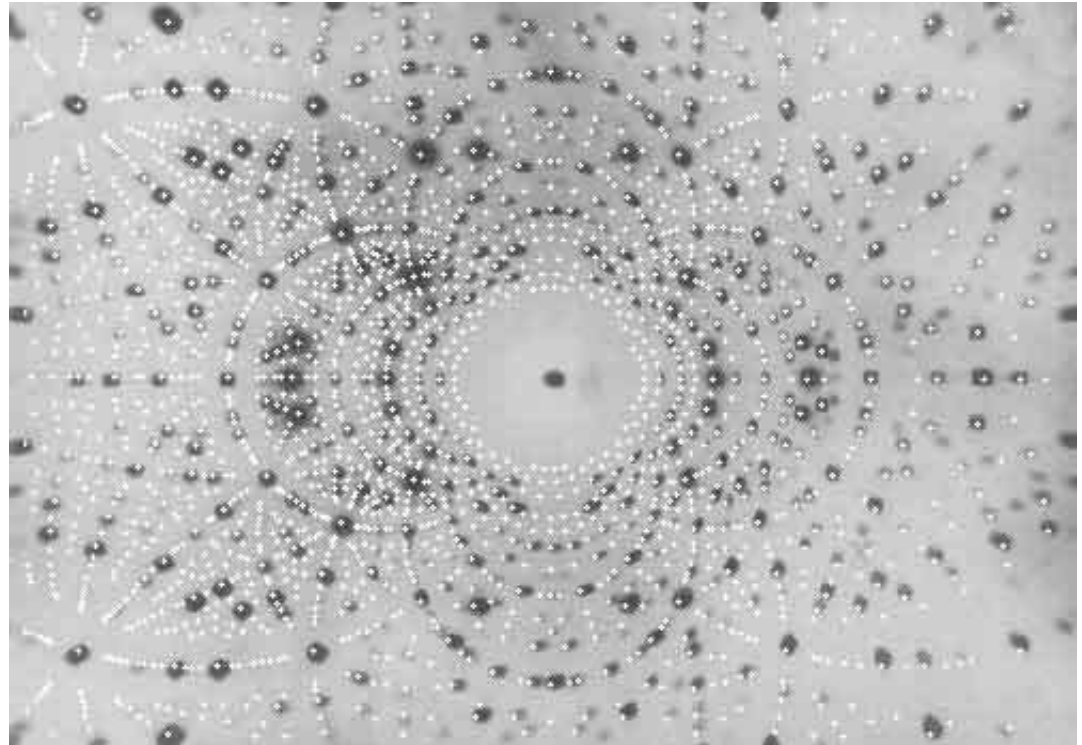
Твердые тела. Моно- и поликристаллы.

Твердые тела (кристаллы) характеризуются наличием значительных сил межмолекулярного взаимодействия и сохраняют постоянными не только свой объем, но и форму. Кристаллы имеют правильную геометрическую форму, которая, как показали рентгенографические исследования **М. Лауэ**, является результатом упорядоченного расположения частиц (атомов, молекул, ионов), составляющих кристалл.



Твердые тела. Моно- и поликристаллы.

Лауэграммы



Дифракция Вульфа-Брега

Твердые тела. Моно- и поликристаллы.

Структура, для которой характерно регулярное расположение частиц с периодической повторяемостью в трех измерениях, называется кристаллической решеткой. Точки, в которых расположены частицы, а точнее - средние равновесные положения, около которых частицы совершают колебания, называются узлами кристаллической решетки.

Кристаллические тела можно разделить на две группы: монокристаллы и поликристаллы.

Монокристаллы - твердые тела, частицы которых образуют единую кристаллическую решетку.

Кристаллическая структура монокристаллов **обнаруживается по их внешней форме**. Хотя внешняя форма монокристаллов одного типа может быть различной, но углы между соответствующими гранями у них остаются постоянными (**закон Ломоносова**).

Кроме того, он же сделал вывод, что правильная форма кристаллов связана с закономерным размещением частиц, образующих кристалл.

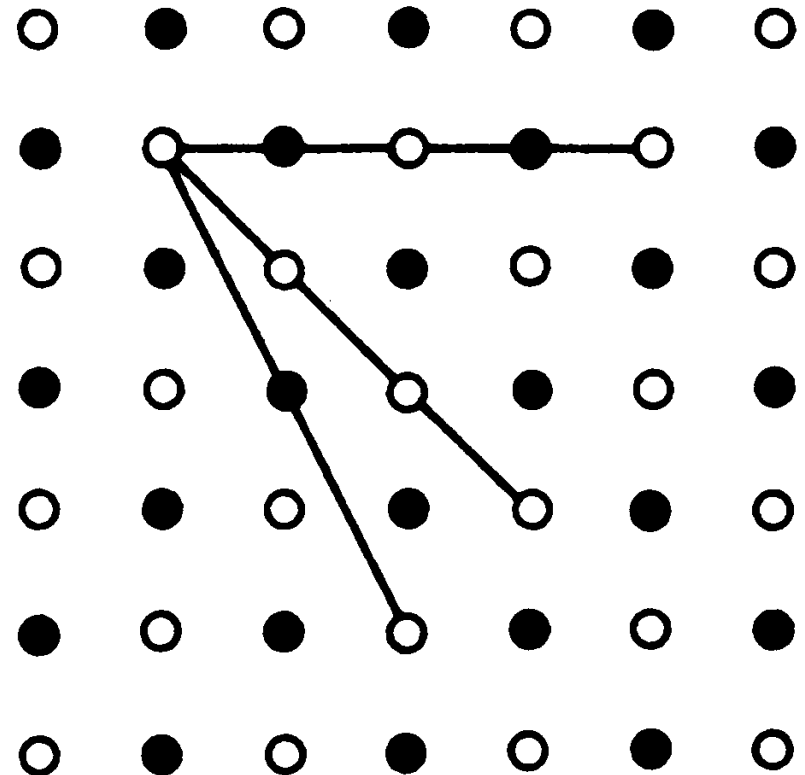
Монокристаллами являются большинство минералов.

Однако крупные природные **монокристаллы** встречаются довольно редко (например, лед, поваренная соль, исландский шпат). В настоящее время многие монокристаллы выращиваются искусственно. Условия роста крупных монокристаллов (чистый раствор, медленное охлаждение и т.д.) часто не выдерживаются, поэтому большинство твердых тел имеет мелкокристаллическую структуру, т.е. состоит из множества беспорядочно ориентированных мелких кристаллических зерен.

Такие твердые тела называются поликристаллами (многие горные породы, металлы и сплавы).

Характерной особенностью монокристаллов является их анизотропность, т.е. зависимость физических свойств - упругих, механических, тепловых, электрических, магнитных, оптических - от направления.

Анизотропия монокристаллов объясняется тем, что в кристаллической решетке различно число частиц, приходящихся на одинаковые по длине, но разные по направлению отрезки (см. рис.), т.е. плотность расположения частиц кристаллической решетки по разным направлениям неодинакова, что и приводит к различию свойств кристалла вдоль этих направлений.



В поликристаллах анизотропия наблюдается только для отдельных мелких кристалликов, но их различная ориентация приводит к тому, что **свойства поликристалла по всем направлениям в среднем одинакова.**

Типы кристаллических твердых тел

Существует **два** признака для классификации кристаллов:

- 1) **кристаллографический** (пространственная периодичность в расположении частиц);
- 2) **физический** (природа частиц, расположенных в узлах кристаллической решетки, и характер сил взаимодействия между ними).

Кристаллографический признак кристаллов.

В данном случае важна только пространственная периодичность в расположении частиц, поэтому можно отвлечься от их внутренней структуры, рассматривая частицы, как геометрические точки.

Кристаллическая решетка может обладать различными видами симметрии.

Симметрия кристаллической решетки - ее свойство совмещаться с собой при некоторых пространственных перемещениях, например, параллельных переносах, поворотах, отражениях или их комбинации и т.д.

Кристаллической решетке, как доказал **Федоров**, присущи **230** комбинаций элементов симметрии, или **230** различных пространственных групп.

С переносной симметрией в трехмерном пространстве связывают понятие трехмерной периодической структуры - пространственной решетки, или решетки Бравэ.

Всякая пространственная решетка может быть составлена повторением в трех различных направлениях одного и того же структурного элемента - элементарной ячейки.

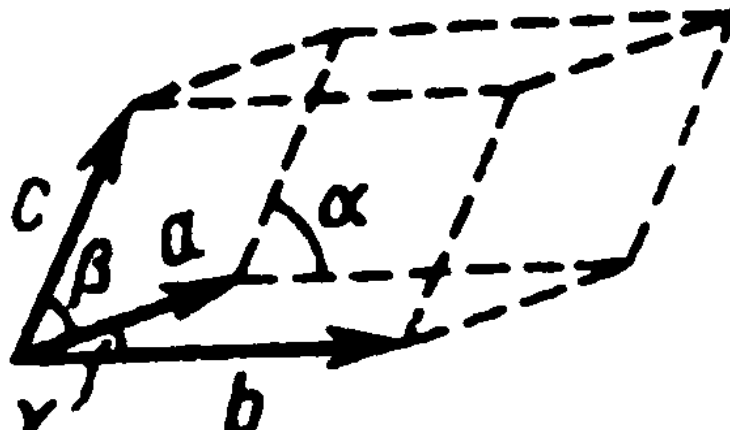
Всего существует **14** типов **решеток Бравэ**, различающихся по виду переносной симметрии.

Они распределяются по семи **7** кристаллографическим системам, или сингониям. Далее в таблице они будут представлены в порядке возрастающей симметрии.

Для описания элементарных ячеек используют кристаллографические оси координат, которые проводят параллельно ребрам элементарной ячейки, а начало координат выбирают в левом углу передней грани элементарной ячейки.

Элементарная кристаллическая ячейка представляет собой параллелепипед, построенный на ребрах a, b, c с углами α, β, γ между ребрами.

Величины a, b, c и α, β, γ называются параметрами элементарной ячейки и однозначно ее определяют.



Кристаллографическая система

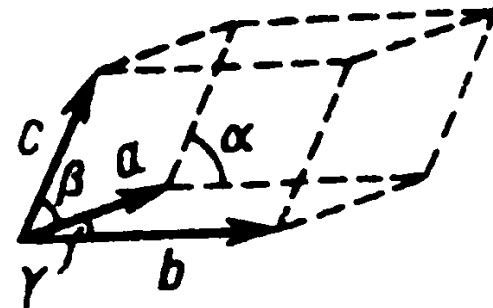
Характеристики
элементарной
ячейки

Форма
элементарной
ячейки

1. Триклинная

$$a \neq b \neq c$$

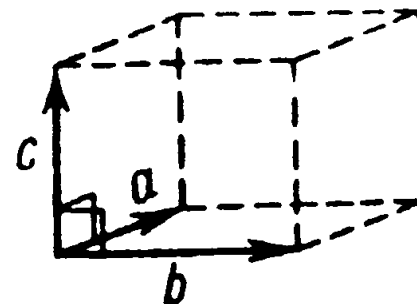
$$\alpha \neq \beta \neq \gamma$$



2. Моноклинная

$$a \neq b \neq c$$

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



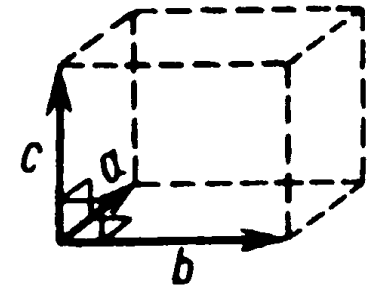
Кристаллографическая система

Характеристики
элементарной
ячейки

Форма
элементарной
ячейки

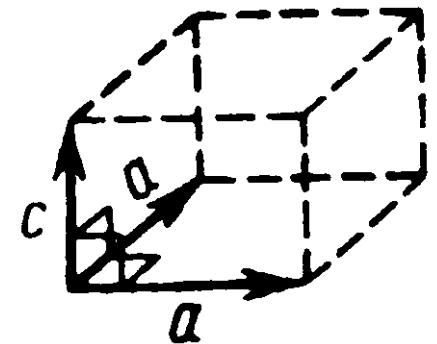
3. Ромбическая

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



4. Тетрагональная

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



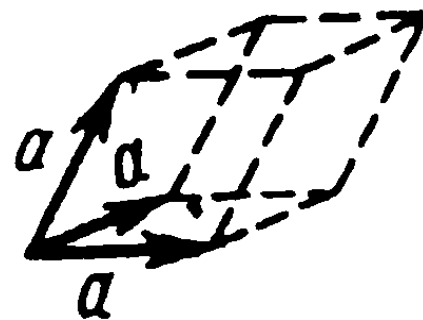
Кристаллографическая система

Характеристики
элементарной
ячейки

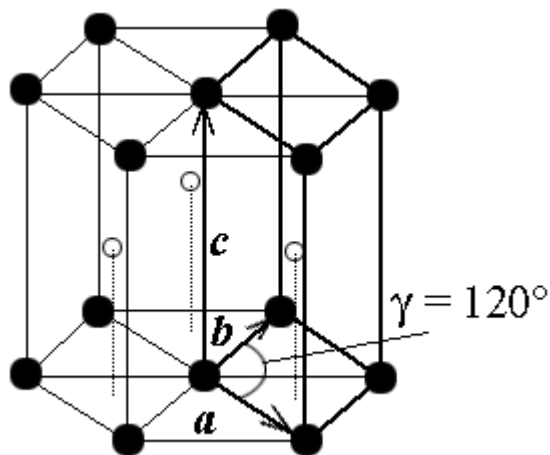
Форма
элементарной
ячейки

5. Ромбоэдрическая
(тригональная)

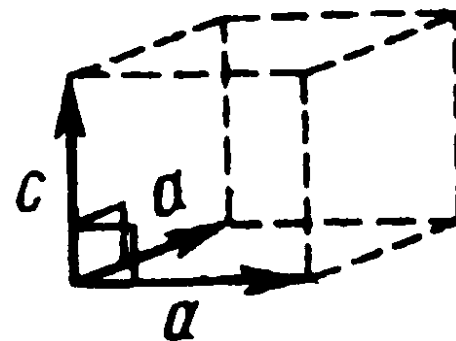
$$a = b = c$$
$$\alpha = \beta = \gamma \neq 90^\circ$$



6. Гексагональная



$$a = b \neq c$$
$$\alpha = \beta = 90^\circ$$
$$\gamma = 120^\circ$$



Кристаллографическая система

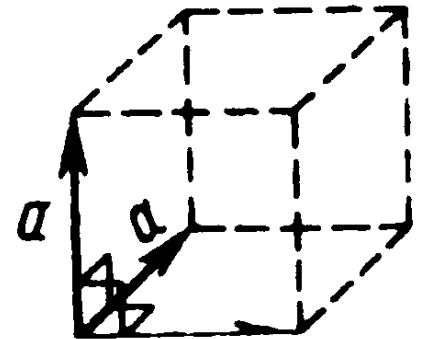
Характеристики
элементарной
ячейки

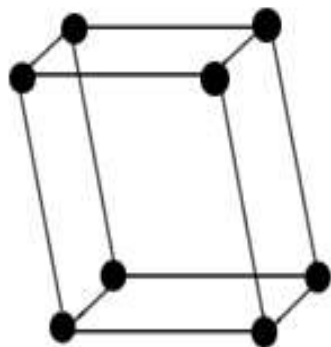
Форма
элементарной
ячейки

7. Кубическая

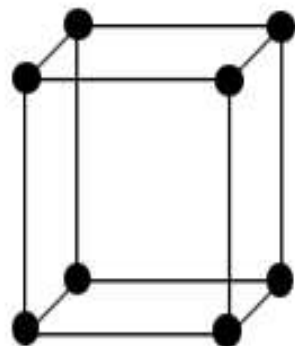
$$a = b = c$$

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

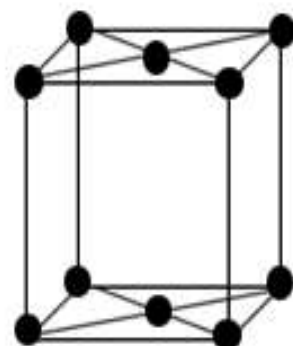




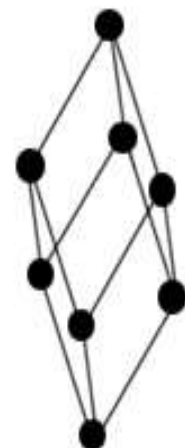
Триклинная



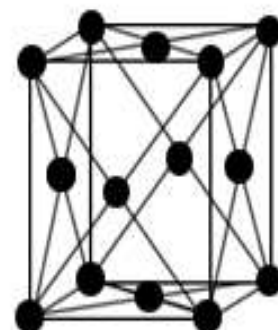
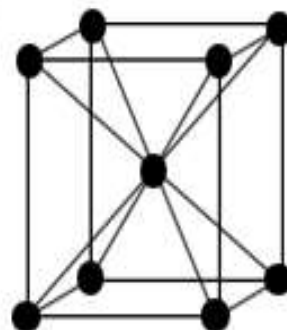
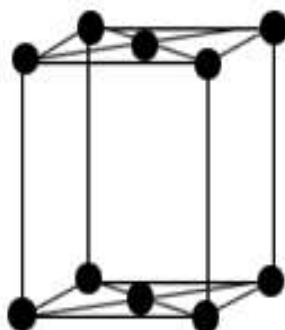
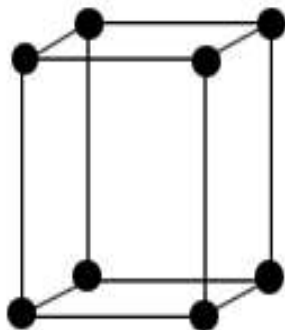
Моноклинная *P*



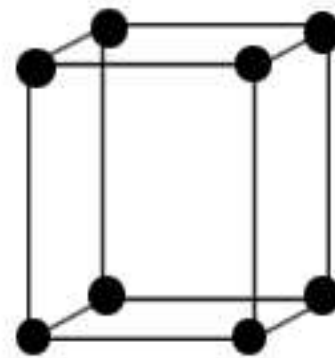
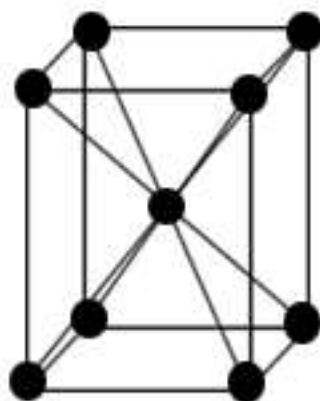
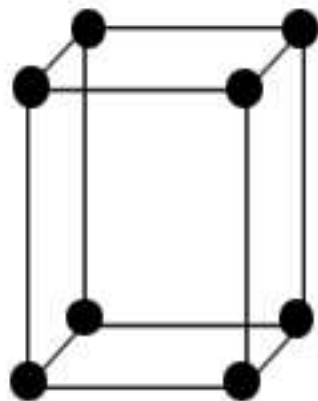
Моноклинная *C*



Тригональная

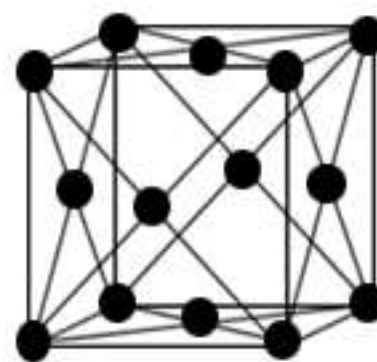
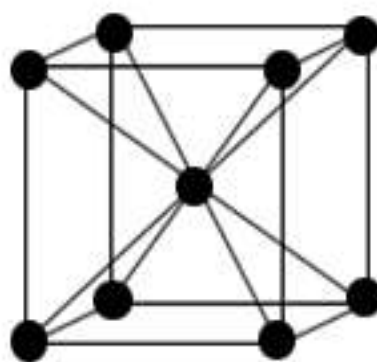
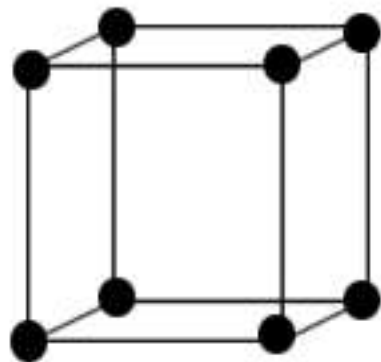


Ромбические *P C I F*



Тетрагональные *P, I*

Гексагональная



Кубические *P, I, F*

Преобразования симметрии

Трансляция - перемещение на вектор $\vec{T} = n_1 \vec{a} + n_2 \vec{b} + n_3 \vec{c}$

всего кристалла (по определению векторов элементарных трансляций перемещение кристалла на такой вектор переместит его в себя).

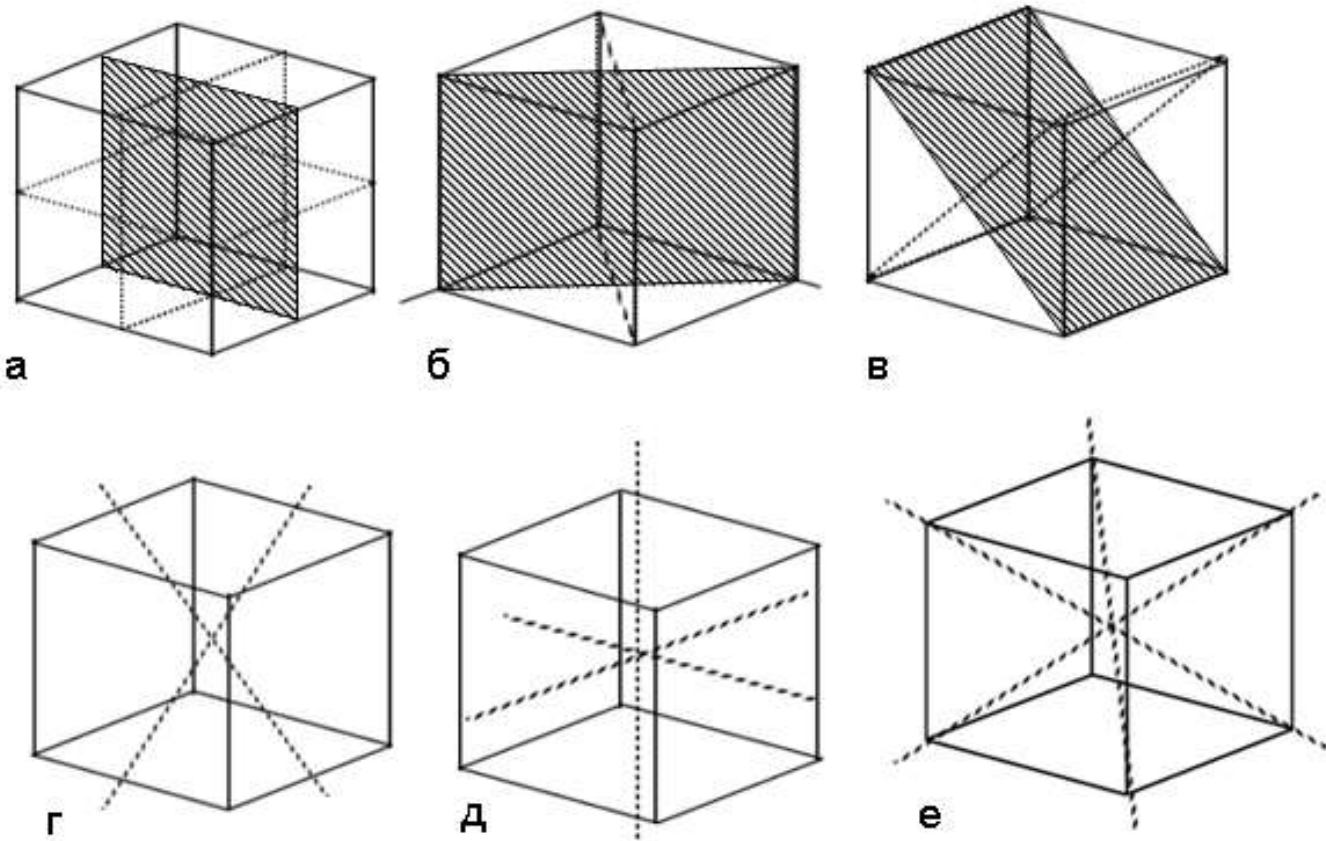
В результате **вращения** относительно оси на определенные углы кристаллическая решетка может быть приведена в **самосовмещение**. Причем, в кристаллических структурах эти углы не могут быть произвольными, как в случае стереометрических фигур, а имеют ограниченное число значений: 2π , $2\pi/2$, $2\pi/3$, $2\pi/4$, $2\pi/6$. Соответствующие оси носят название осей **первого, второго, третьего, четвертого и шестого порядков**. В кристаллографии доказывается, что **не существует** кристаллических решеток с осями пятого, седьмого или большего порядков.

Преобразования симметрии

Операция **отражения** представляет собой обычное отражение относительно зеркальной плоскости (аналогично тому, что видно в зеркале при поднесении к нему какого либо предмета), при этом твердое тело делится зеркальной плоскостью пополам.

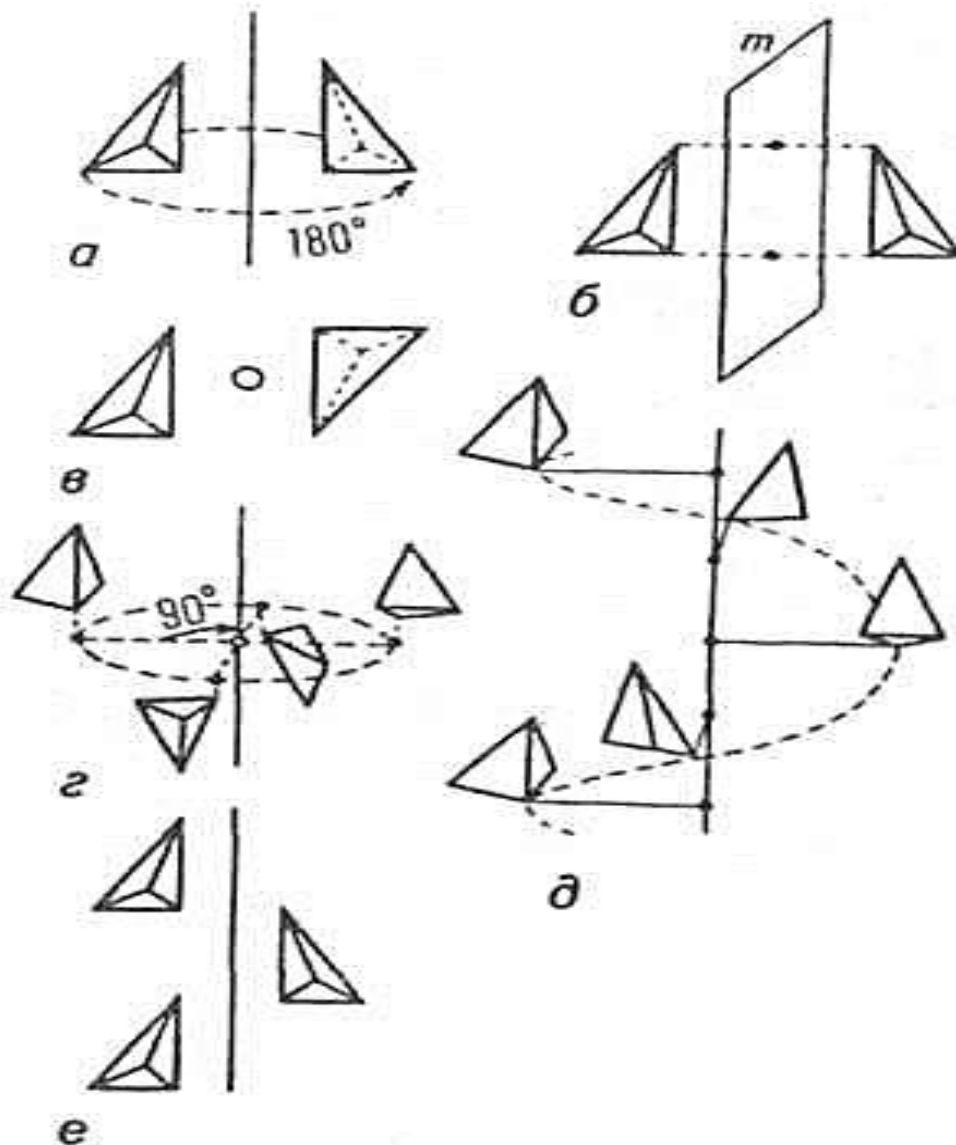
Центр симметрии или центр инверсии – особая точка внутри фигуры, при отражении в которой фигура совмещается сама с собой, то есть операция **инверсии** состоит в отражении в точке, фигура после отражения получается перевернутой и обращенной.

Кроме простых поворотных осей в кристаллах **встречаются сложные оси симметрии – инверсионные.** При инверсионной оси кристалл совмещается сам с собой при повороте вокруг некоторой оси и его последующем отражении в центре тяжести кристалла как в центре симметрии.



Таким образом, кубическая решетка имеет **три плоскости** симметрии, параллельные граням, **шесть** диагональных **плоскостей** симметрии, перпендикулярных диагоналям граней, **три оси четвертого порядка**, **шесть осей второго порядка**, **четыре оси третьего порядка** и **центр симметрии** в центре куба.

Операции симметрии: *a* - поворот; *б* - отражение; *в* - инверсия; *г* - инверсионный поворот; *д* - винтовой поворот; *е* - скользящее отражение.



Кристаллографические плоскости

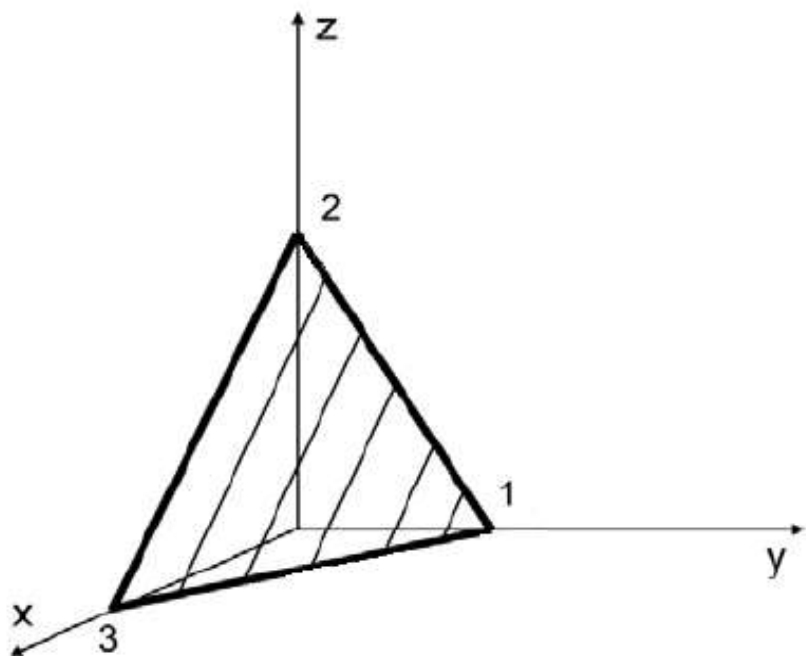
Кристалл можно представить в виде совокупности плоскостей, на которых расположены **центры частиц**.

Пусть плоскость проходит через координатные оси в узлах, которые находятся от начала координат на расстояниях ma , nb , pc . Индексы этих узлов соответственно $[[m00]]$, $[[0n0]]$, $[[00p]]$. Обратные числа $1/m$, $1/n$, $1/p$. Приведем эти числа к общему знаменателю: произведения представляют собой **индексы Миллера** данной кристаллографической плоскости. Обозначают индексы Миллера записью в круглых скобках без запятых (HKL). Правильно произносить такую запись для конкретной плоскости, например (110), следует как один-один-ноль. Например, плоскость проходит через узлы $[[003]]$; $[[020]]$; $[[001]]$. Обратные числа $1/3$, $1/2$, 1 , следовательно, данная плоскость имеет индексы Миллера (236).

Вследствие периодичности кристаллической решетки каждая плоскость имеет очень много параллельных ей плоскостей – семейство плоскостей. Индексы кристаллографической плоскости (HKL) характеризуют как плоскость, ближайшую к началу координат, так и все данное семейство плоскостей (рис.). Ближайшая к началу координат плоскость семейства отсекает на осях элементарных трансляций x , y , z отрезки a/H , b/K , c/L .

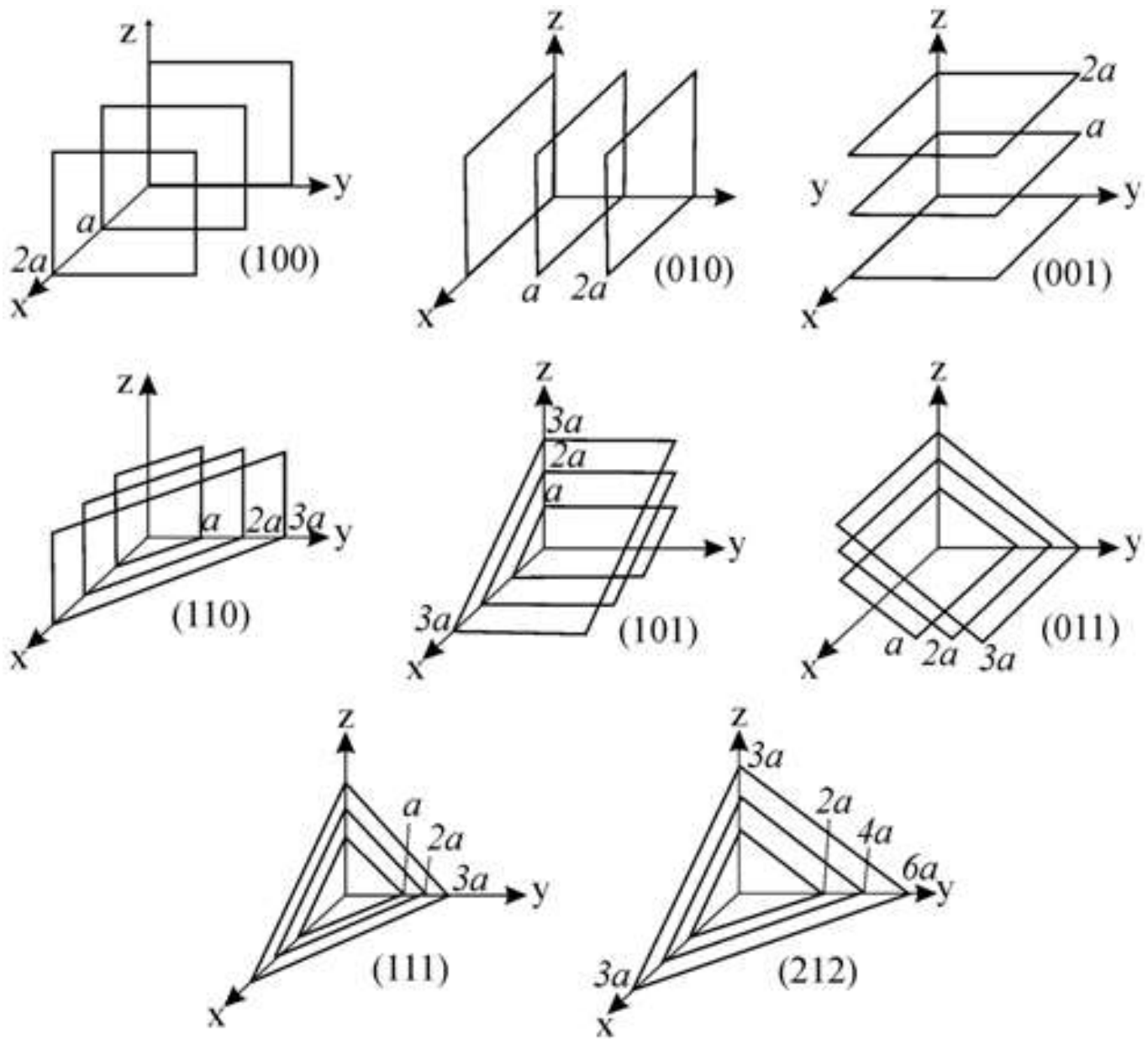
Индексы Миллера

Например, если эти точки (в качестве которых могут выступать атомы кристаллических плоскостей) имеют координаты (300), (010), (002) в единицах постоянной решетки, то плоскость может быть охарактеризована тремя числами 3, 1, 2.



Теперь возьмем обратные значения полученных чисел – это $1/3$, 1 , $1/2$ и приведем их к общему знаменателю, в нашем случае это цифра 6, то есть соответственно $2/6$, $6/6$, $3/6$. Числа, полученные в числителе дроби, после указанных преобразований и будут индексами Миллера. Их изображают в круглых скобках, для плоскости, изображенной на рисунке, индексы Миллера выглядят так: (263). Если индекс Миллера принимает отрицательное значение, то его изображают цифрой с верхним подчеркиванием.

Кристаллографические плоскости



Физический признак кристалла.

В зависимости от рода частиц, расположенных в узлах кристаллической решетки, и характера сил взаимодействия между ними кристаллы разделяются на четыре типа:

ионные,

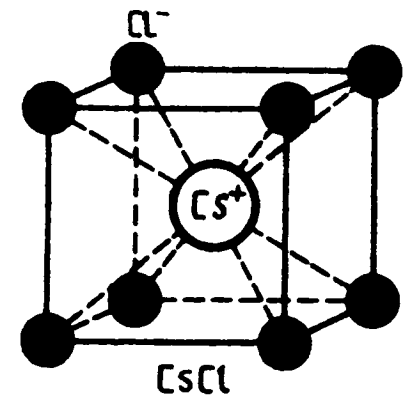
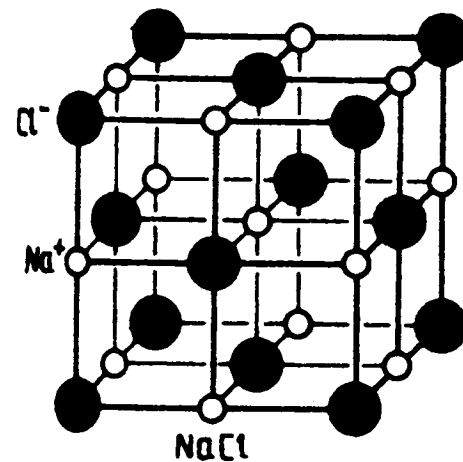
атомные,

металлические,

молекулярные.

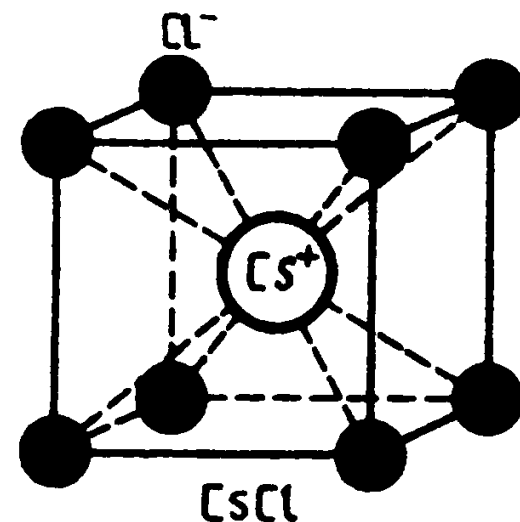
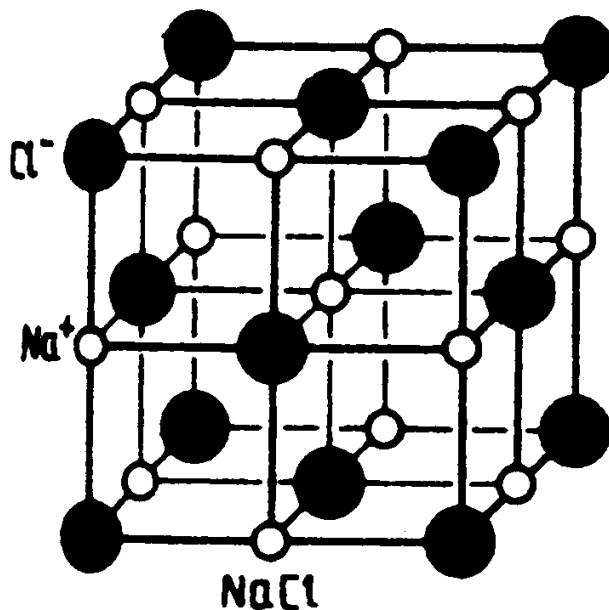
Ионные кристаллы. В узлах кристаллической решетки располагаются поочередно ионы противоположного знака. Типичными ионными кристаллами являются большинство галлоидных соединений щелочных металлов: $NaCl$, $CsCl$, KBr а также оксидов различных металлов - MgO , CaO .

Структуры решеток двух наиболее характерных ионных кристаллов $NaCl$ - (решетка представляет собой две одинаковые гранецентрированные кубические решетки, вложенные друг в друга; в узлах одной из этих решеток находятся ионы Na^+ , в узлах другой – ионы Cl^-) и (кубическая объемно центрированная решетка $CsCl$ - в центре каждой элементарной решетки находится ион Cs^+) показаны на рис.



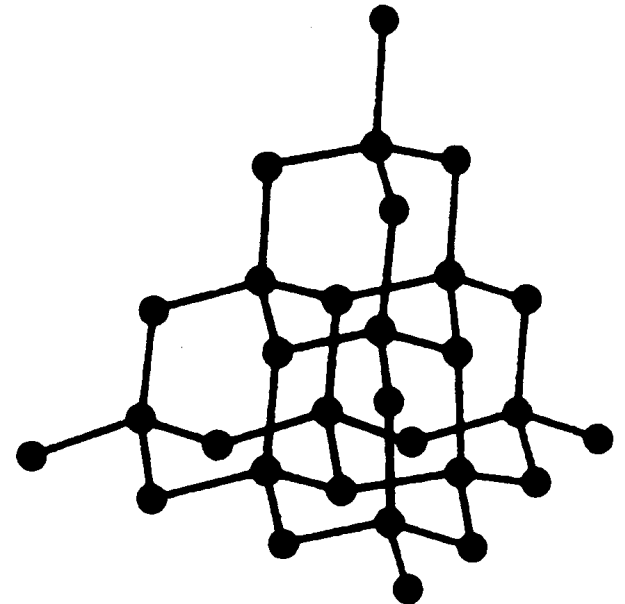
Силы взаимодействия между ионами являются в основном электростатическими (кулоновскими). Связь, обусловленная кулоновскими силами притяжения между разноименно заряженными ионами, называется ионной (или гетерополярной).

В ионной решетке нельзя выделить отдельные молекулы: кристалл представляет собой как бы одну гигантскую молекулу.

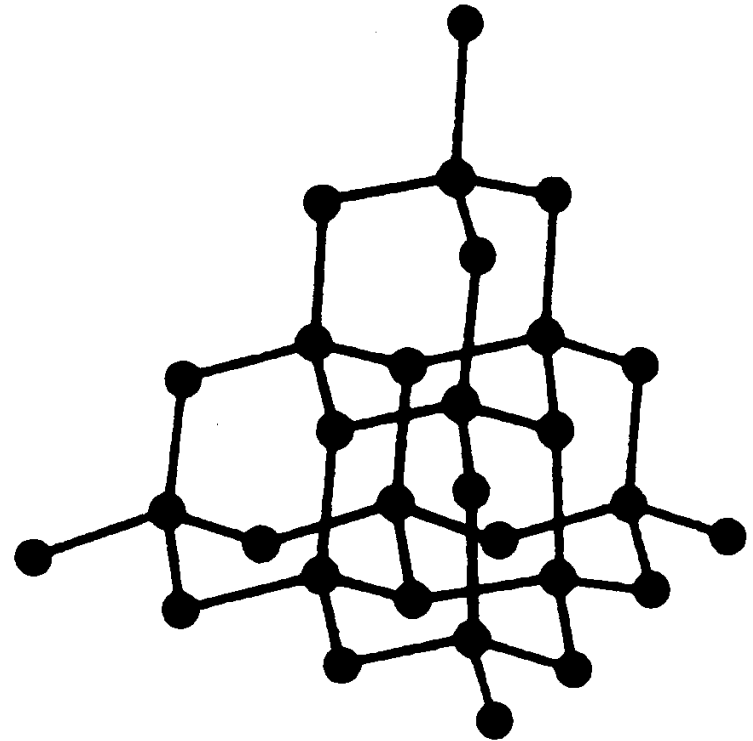


Атомные кристаллы. В узлах кристаллической решетки располагаются нейтральные атомы, удерживающиеся в узлах решетки гомеополярными, или ковалентными, связями квантово-механического происхождения (у соседних **атомов обобществлены валентные электроны**, наименее связанные с атомами). Атомными кристаллами являются алмаз и графит (два различных состояния углерода), некоторые неорганические соединения - ZnS , BeO а также типичные полупроводники – германий и кремний.

Структура решетки алмаза приведена на рис., где каждый атом углерода окружен четырьмя такими же атомами, которые располагаются на одинаковых расстояниях от него в вершинах тетраэдров.



Валентные связи осуществляются парами электронов, движущихся по орбитам, охватывающим оба атома, и носят направленный характер: ковалентные силы направлены от центрального атома к вершинам тетраэдра. В отличие от графита решетка алмаза не содержит плоских слоев, что не позволяет сдвигать отдельные участки кристалла, поэтому алмаз является прочным соединением.



Металлические кристаллы. В узлах кристаллической решетки располагаются положительные ионы металла. При образовании кристаллической решетки валентные электроны, сравнительно слабо связанные с атомами, отделяются от атомов и **коллективизируются**: они уже принадлежат не одному атому, как в случае ионной связи, и не паре соседних атомов, как в случае гомеопольярной связи, а всему кристаллу в целом. Таким образом, в металлах между положительными ионами хаотически, подобно молекулам газа, движутся «свободные» электроны, наличие которых обеспечивает хорошую **электропроводность металлов.**

Так как металлическая связь не имеет направленного действия и положительные ионы решетки одинаковы по свойствам, то металлы должны иметь симметрию высокого порядка. Действительно, большинство металлов имеют кубическую объемно центрированную - *Li, Na, K, Rb, Cs* и кубическую гранецентрированную - *Cu, Ag, Pt, Au* решетки. Чаще всего металлы встречаются в виде поликристаллов.

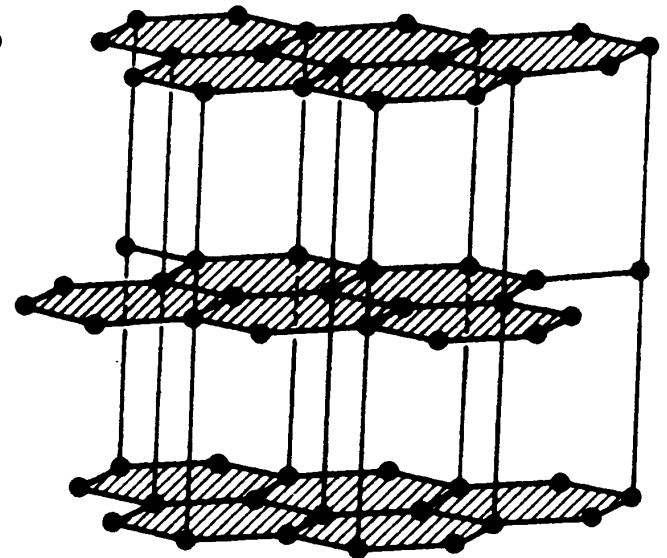
Молекулярные кристаллы. В узлах кристаллической решетки располагаются нейтральные молекулы вещества, силы взаимодействия между которыми обусловлены незначительным взаимным смещением электронов в электронных оболочках атомов.

Эти силы называются ван-дер-ваальсовыми, так как они имеют ту же природу, что и силы притяжения между молекулами, приводящими к отклонению газов от идеальности. Молекулярными кристаллами являются, например, большинство органических соединений (парафин, спирт, резина), инертные газы - *Ne, Ar, Kr, Xe* и газы CO_2, O_2, N_2 в твердом состоянии, лед, а также кристаллы брома и йода.

Ван-дер-ваальсовы силы довольно слабые, поэтому **молекулярные кристаллы легко деформируются.**

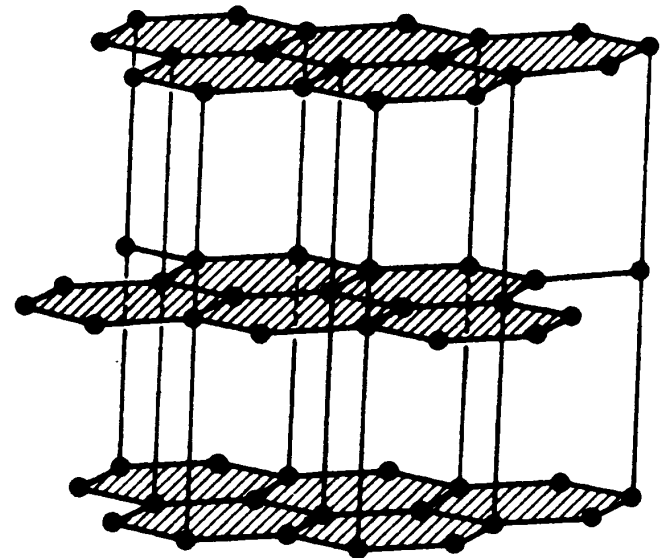
В некоторых твердых телах одновременно может осуществляться несколько видов связи. Примером может служить графит (гексагональная решетка). Решетка графита (см. рис.) состоит из ряда параллельных плоскостей, в которых атомы углерода расположены в вершинах правильных шестиугольников. Расстояние между плоскостями более чем в два раза превышает расстояние между атомами шестиугольника. Плоские слои связаны друг с другом ван-дер-ваальсовыми силами.

В пределах слоя три валентных электрона каждого атома углерода образуют ковалентную связь с соседними атомами углерода, а четвертый электрон, оставаясь «свободным», коллективизируется, но не по всей решетке, как в случае металлов, а в пределах одного слоя.

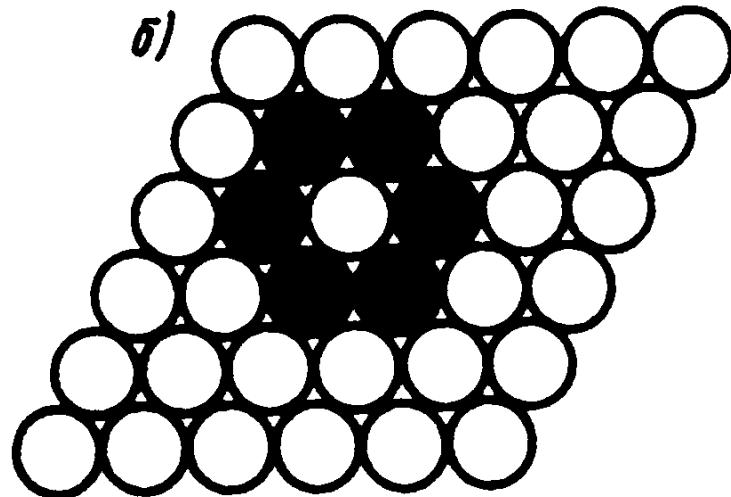
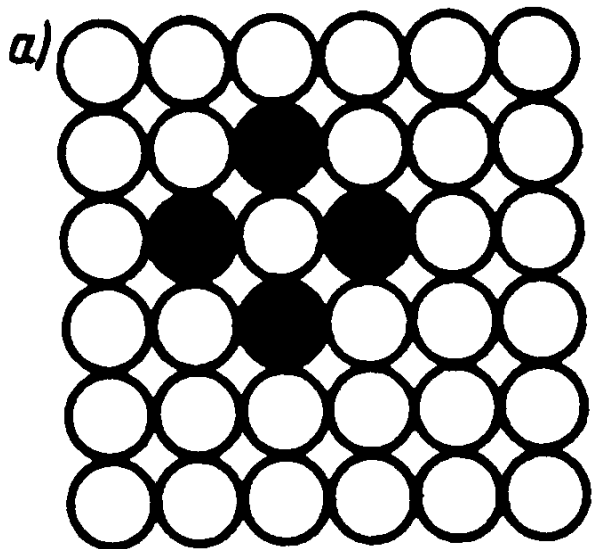


Таким образом, в данном случае осуществляются **три** вида связи: гомеополлярная и металлическая – в пределах одного слоя, ван-дер-ваальсова – между слоями. Этим объясняется мягкость графита, так как его слои могут скользить друг относительно друга.

Различие в строении кристаллических решеток двух разновидностей углерода – графита и алмаза – объясняет различие в их физических свойствах: мягкость графита и твердость алмаза; графит – проводник электричества, алмаз – диэлектрик (нет свободных электронов) и т.д.

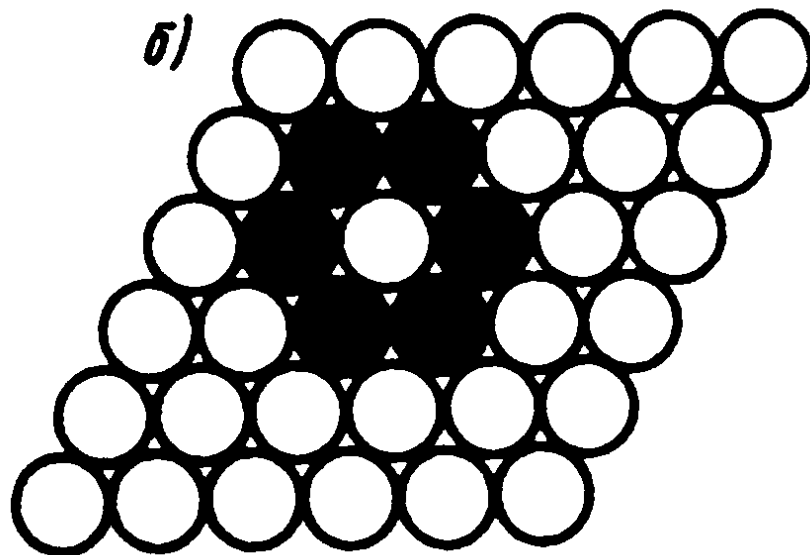
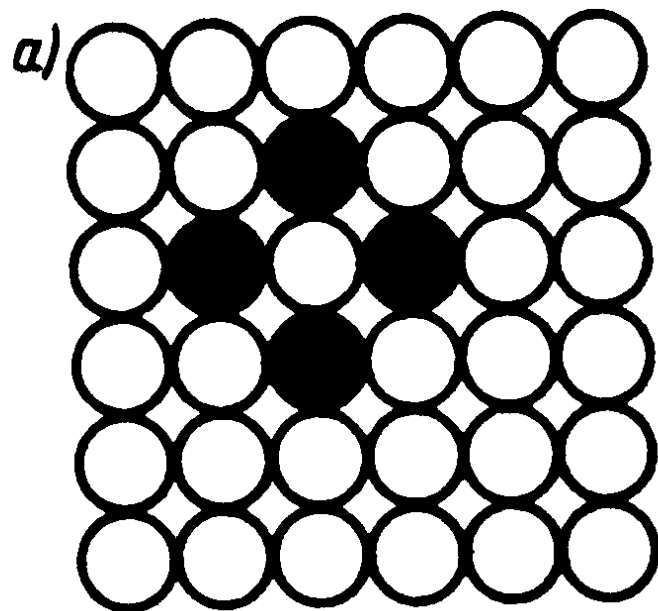


Расположение атомов в кристаллах характеризуется также координационным числом – числом ближайших однотипных с данным атомом соседних атомов в кристаллической решетке или молекул в молекулярных кристаллах. Для модельного изображения кристаллических структур из атомов и ионов пользуются системой плотной упаковки шаров. Рассмотрим простейший случай плотной упаковки шаров одинакового радиуса на плоскости (рис. а, б).



Правая упаковка является более плотной, так как при равном числе шаров площадь ромба со стороной, равной стороне квадрата, меньше площади квадрата. Как видно из рисунка, различие в упаковках сводится к различию координационных чисел:

в левой упаковке координационное число равно 4, в правой – 6, т.е. **чем плотнее упаковка, тем больше координационное число.**



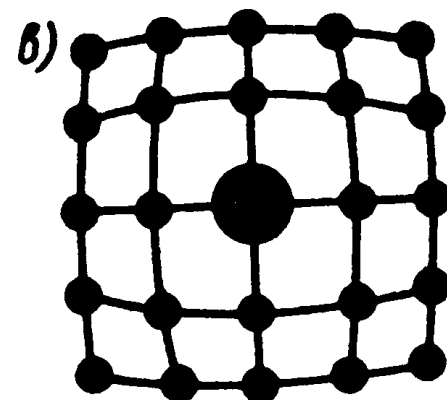
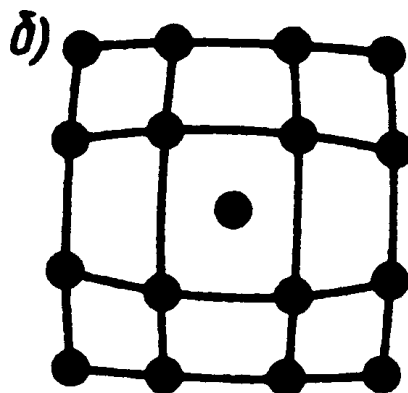
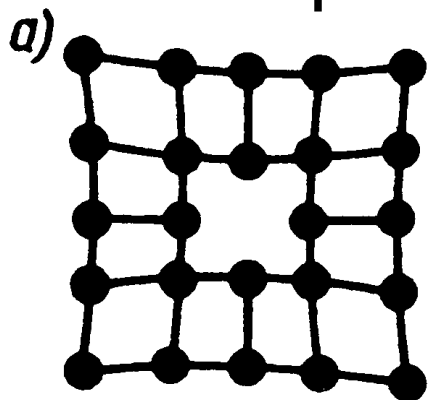
Дефекты в кристаллах

Рассмотренные ранее идеальные кристаллические структуры существуют лишь в очень малых объемах реальных кристаллов, в которых всегда имеются отклонения от упорядоченного расположения частиц в узлах решетки, называемые дефектами кристаллической решетки.

Дефекты делятся на макроскопические, возникающие в процессе образования и роста кристаллов (например, трещины, поры, инородные макроскопические включения), и микроскопические, обусловленные микроскопическими отклонениями от периодичности.

Микродефекты делятся на точечные и линейные. Точечные дефекты бывают трех типов: 1) вакансия – отсутствие атома в узле кристаллической решетки (рис. а); 2) междоузельный атом – атом, внедрившийся в междоузельное пространство (рис. б); 3) примесный атом – атом примеси, либо замещающий атом основного вещества в кристаллической решетке (примесь замещения, рис. в), либо внедрившийся в междоузельное пространство (примесь внедрения, рис. б; только в междоузлии вместо атома основного вещества располагается атом примеси).

Точечные дефекты нарушают лишь ближний порядок в кристаллах, не затрагивая дальнего порядка, - в этом состоит их характерная особенность.

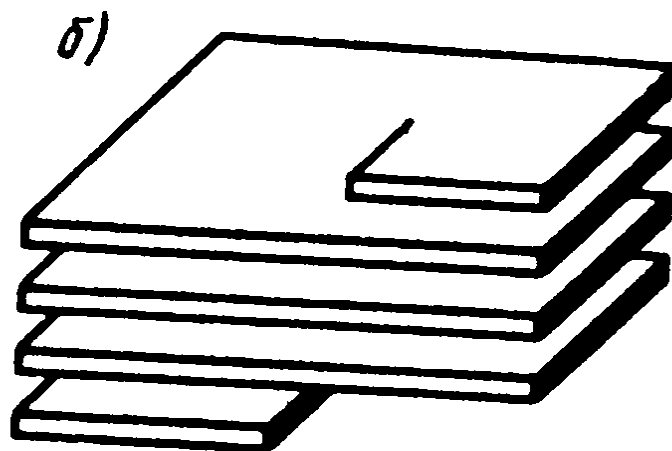
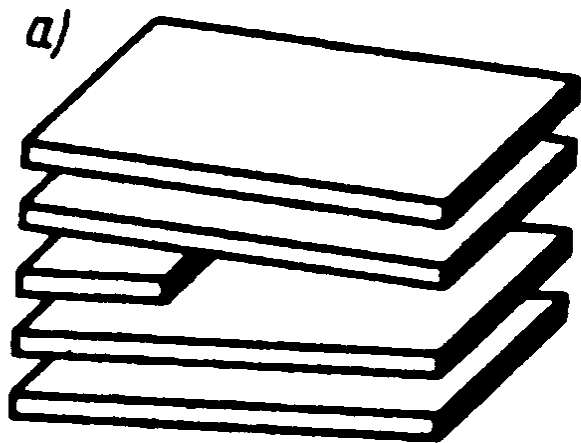


Линейные дефекты нарушают дальний порядок. Как следует из опытов, механические свойства кристаллов в значительной степени определяются дефектами особого вида – дислокациями.

Дислокация – линейные дефекты, нарушающие правильное чередование атомных плоскостей.

Дислокации бывают краевые и винтовые. Если одна из атомных плоскостей обрывается внутри кристалла, то край этой плоскости образует **краевую** дислокацию (рис. а).

В случае **винтовой** дислокации (рис. б) ни одна из атомных плоскостей внутри кристалла не обрывается, а сами плоскости лишь приблизительно параллельны и смыкаются друг с другом так, что фактически кристалл состоит из одной атомной плоскости, изогнутой по винтовой поверхности.



Плотность дислокаций (число дислокаций, приходящихся на единицу площади поверхности кристалла) для совершенных монокристаллов составляет 100-1000 см⁻², для деформированных кристаллов - 10¹⁰ - 10¹² см⁻².

Дислокации никогда не обрываются, они либо выходят на поверхность, либо разветвляются, поэтому в реальном кристалле образуются плоские или пространственные сетки дислокаций.

Дислокации и их движение можно наблюдать с помощью электронного микроскопа, а также методом избирательного травления - в местах выхода дислокации на поверхность возникают ямки травления (интенсивное разрушение кристалла под действием реагента), «проявляющие» дислокации. Наличие дислокаций в кристаллической структуре влияет на свойства кристаллов.

Теплоемкость твердых тел

В качестве модели твердого тела рассмотрим правильно построенную кристаллическую решетку, в узлах которой частицы (атомы, ионы, молекулы), принимаемые за материальные точки, колеблются около своих положений равновесия - узлов решетки - в трех взаимно перпендикулярных направлениях.

Таким образом, каждой составляющей кристаллическую решетку частице приписывается три колебательных степени свободы, каждая из которых, согласно закону равнораспределения энергии по степеням свободы, обладает энергией kT .

Внутренняя энергия моля твердого тела

$$U_m = 3N_A kT = 3RT$$

где $N_A k = R$ - молярная газовая постоянная.

Молярная теплоемкость твердого тела

$$C_V = \frac{dU_m}{dT} = 3R = 25 \text{ Дж/(моль·К)} \quad (1)$$

т.е. молярная (атомная) теплоемкость химически простых тел в кристаллическом состоянии одинакова (равна $3R$) и не зависит от температуры.

Этот закон был эмпирически получен Дюлонгом и Пти и носит название закона Дюлонга-Пти.

Если твердое тело является химическим соединением (например, $NaCl$), то число частиц в моле не равно постоянной Авогадро, а равно nN_A , где n - число атомов в молекуле (для $NaCl$ число частиц в моле равно $2N_A$, так как в одном моле $NaCl$ содержится N_A атомов натрия и N_A атомов хлора).

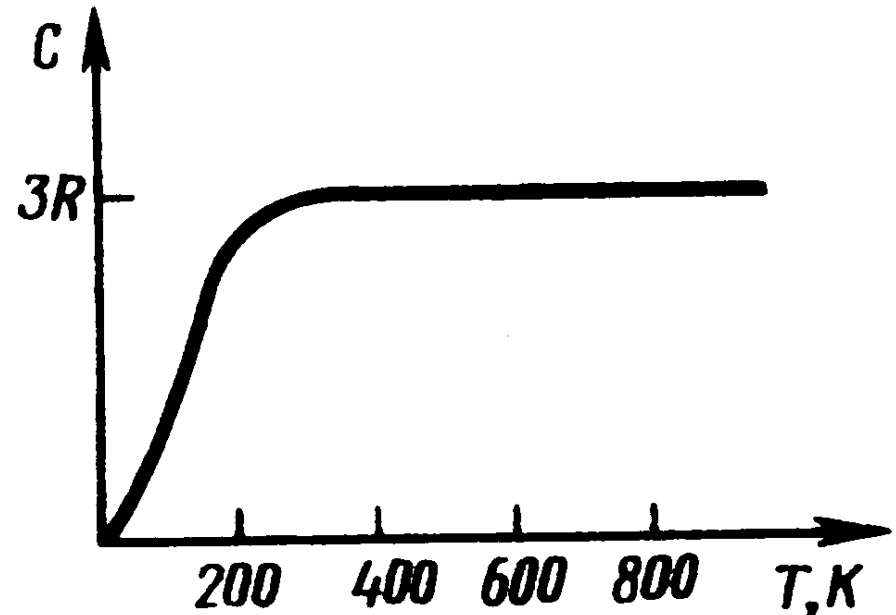
Таким образом, молярная теплоемкость твердых химических соединений $C_V = 3nR = 25n$ Дж/(моль·К), т.е. равна сумме атомных теплоемкостей элементов, составляющих это соединение.

Вещество	С, Дж/(моль·К)		Вещество	С, Дж/(моль·К)	
	теория	эксперимент		теория	эксперимент
Алюминий	25	25.5	Серебро	25	25.6
Алмаз	25	5.9	<i>NaCl</i>	50	50.9
Бериллий	25	15.6	<i>AgCl</i>	50	50.9
Бор	25	13.5	<i>CaCl₂</i>	75	76.2
Железо	25	26.8			

Как показывают опытные данные, для многих веществ закон Дюлонга и Пти выполняется с довольно хорошим приближением, хотя некоторые вещества – углерод, бериллий, бор - имеют значительные отклонения от вычисленных теплоемкостей.

Кроме того, так же как и в случае газов, опыты по измерению теплоемкости твердых тел при низких температурах показали, что она зависит от температуры (см. рис.). Вблизи 0 К теплоемкость тел пропорциональна T^3 , и только при достаточно высоких температурах, **характерных для каждого вещества**, выполняется условие (1). Алмаз, например, имеет теплоемкость, равную $3R$ при 1800 К. Однако для большинства твердых тел комнатная температура является уже достаточно высокой.

Расхождение опытных и теоретических значений теплоемкостей, вычисленных на основе классической теории, объяснили, исходя из квантовой теории теплоемкостей, Эйнштейн и Дебай.



Испарение, сублимация, плавление и кристаллизация. Аморфные тела.

Как в жидкостях, так и в твердых телах всегда имеется некоторое количество молекул, энергия которых достаточна для преодоления притяжения к другим молекулам и которые способны оторваться от поверхности жидкости или твердого тела и перейти в окружающее их пространство. Этот процесс для жидкости называется испарением (или парообразованием), для твердых тел - сублимацией (или возгонкой).

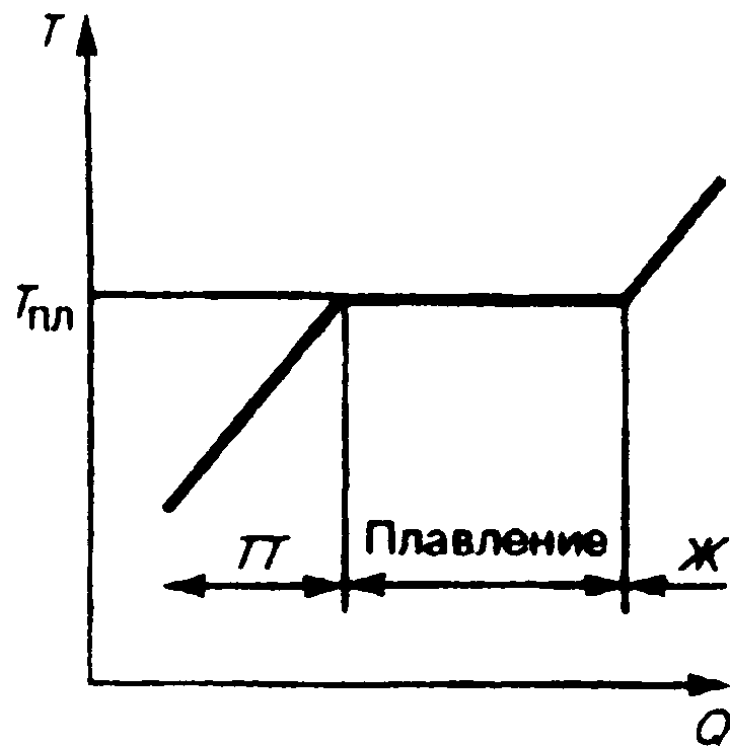
Испарение жидкостей идет при любой температуре, но его интенсивность с повышением температуры возрастает. Наряду с процессом испарения происходит компенсирующий его процесс конденсации пара в жидкость. Если число молекул, покидающих жидкость за единицу времени через единицу поверхности, равно числу молекул, переходящих из пара в жидкость, то наступает динамическое равновесие между процессами испарения и конденсации. Пар, находящийся в равновесии со своей жидкостью, называется насыщенным.

Для большинства твердых тел процесс сублимации при обычных температурах незначителен и давление пара над поверхностью твердого тела мало; оно повышается с ростом температуры.

Интенсивно сублимируют такие вещества, как нафталин, камфора, что обнаруживается по резкому, свойственному им запаху. Особенно интенсивно сублимация происходит в вакууме.

Известный пример сублимации - превращение льда в пар - мокрое белье высыхает на морозе.

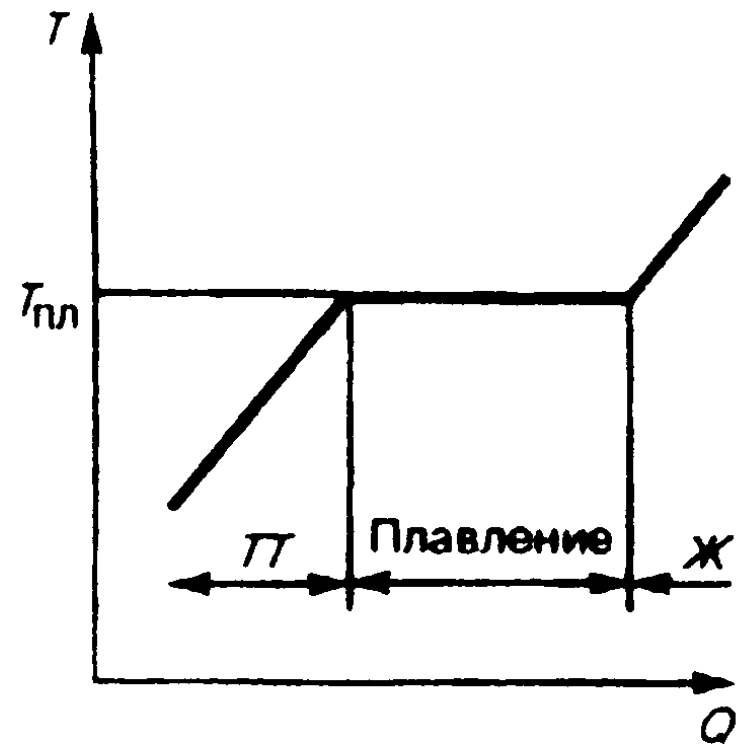
Если твердое тело нагревать, то его внутренняя энергия (складывается из энергии колебаний частиц в узлах решетки и энергии взаимодействия этих частиц) возрастает. При повышении температуры амплитуда колебаний частиц увеличивается до тех пор, пока кристаллическая решетка не разрушится, - твердое тело плавится. На рис. изображена примерная зависимость $T(Q)$, где Q - количество теплоты, получаемое телом при плавлении. По мере сообщения твердому телу теплоты его температура повышается, а при температуре плавления $T_{пл}$ начинается переход тела из твердого состояния в жидкое.



Температура $T_{пл}$ не изменяется до тех пор, пока весь кристалл не расплавится, и только тогда температура жидкости вновь начнет повышаться.

Нагревание твердого тела до $T_{пл}$ еще не переводит его в жидкое состояние, поскольку энергия частиц вещества должна быть достаточной для разрушения кристаллической решетки. В процессе плавления теплота, сообщаемая веществу, идет на совершение работы по разрушению кристаллической решетки, а поэтому $T_{пл} = const$ до расплавления всего кристалла.

Затем подводимая теплота пойдет на увеличение энергии частиц жидкости, и ее температура начнет повышаться. Количество теплоты, необходимое для расплавления 1 кг вещества, называется удельной теплотой плавления.

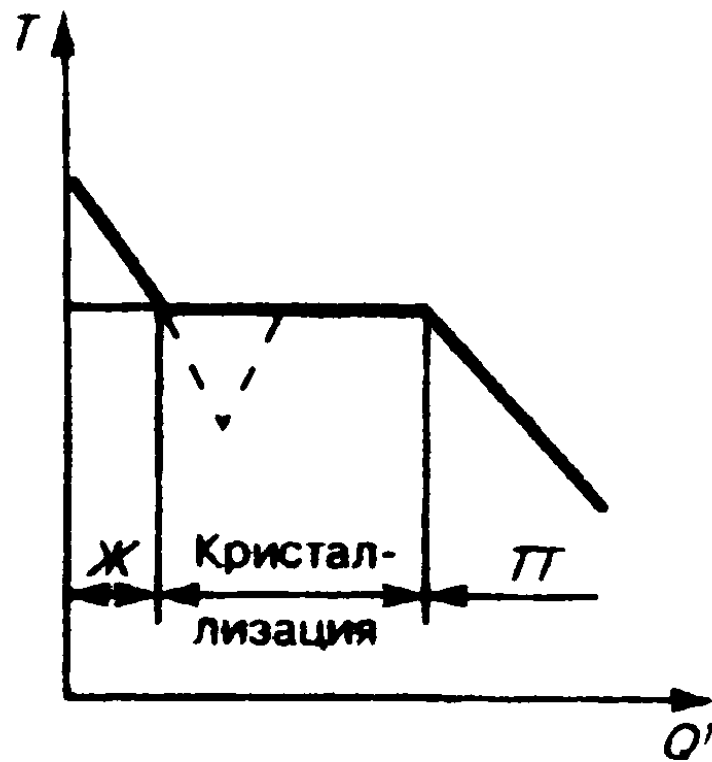


Если жидкость охлаждать, то процесс протекает в обратном направлении (Q' - количество теплоты, отдаваемое телом при кристаллизации):

сначала температура жидкости понижается, затем при постоянной температуре, равной $T_{пл}$ начинается кристаллизация, после ее завершения температура кристалла начнет понижаться. Для кристаллизации вещества необходимо наличие так

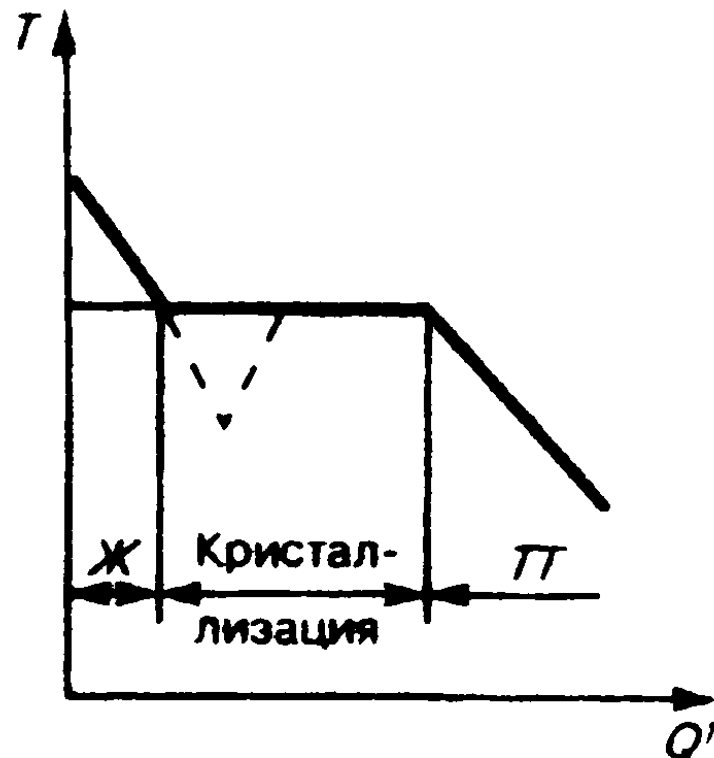
называемых центров кристаллизации

- кристаллических зародышей, которыми могут быть не только кристаллики образующегося вещества, но и примеси, а также пыль, сажа и т.д.



Отсутствие центров кристаллизации в чистой жидкости затрудняет образование микроскопических кристалликов, и вещество, оставаясь в жидком состоянии, охлаждается до температуры, меньшей температуры кристаллизации, при этом образуется **переохлажденная жидкость** (на рисунке ей соответствует штриховая линия).

При сильном переохлаждении начинается спонтанное образование центров кристаллизации, и вещество кристаллизуется довольно быстро.



Обычно переохлаждение расплава происходит от долей до десятков градусов, но для ряда веществ может достигать сотни градусов.

Из-за большой вязкости сильно переохлажденные жидкости теряют текучесть, сохраняя, как и в твердых телах, свою форму. Эти тела получили название аморфных твердых тел. К ним относятся смолы, воск, сургуч, стекло.

Аморфные тела, являясь переохлажденными жидкостями, изотропны, т.е. их свойства во всех направлениях одинаковы; для них, как и для жидкостей, характерен ближний порядок в расположении частиц; в них в отличие от жидкостей подвижность частиц довольно мала.

Особенностью аморфных тел является отсутствие у них определенной точки плавления, т.е. невозможно указать определенную температуру, выше которой можно было бы констатировать жидкое состояние, а ниже - твердое.

В аморфных телах со временем может наблюдаться процесс кристаллизации, например в стекле появляются кристаллики; оно, теряя прозрачность, начинает мутнеть и превращаться в поликристаллическое тело.