



Уральский  
федеральный  
университет

# МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

**Лекция 2**  
**Строение вещества.**  
**Металлы и сплавы**

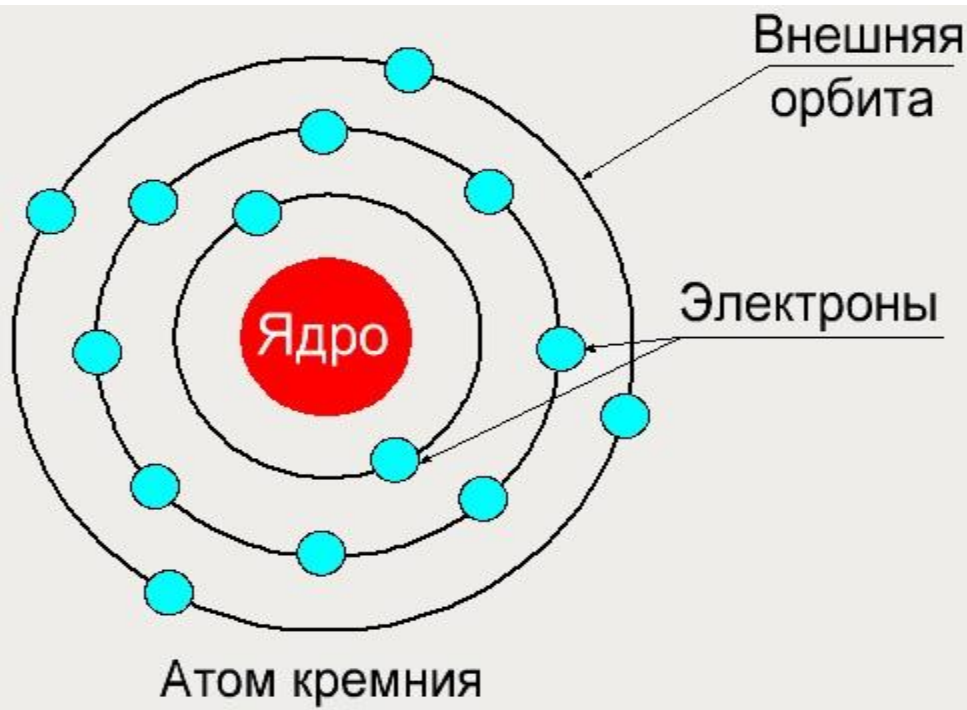
# Строение атомов

$$W = mv^2/2; U = U(r) = -e^2/r; E = W + U,$$

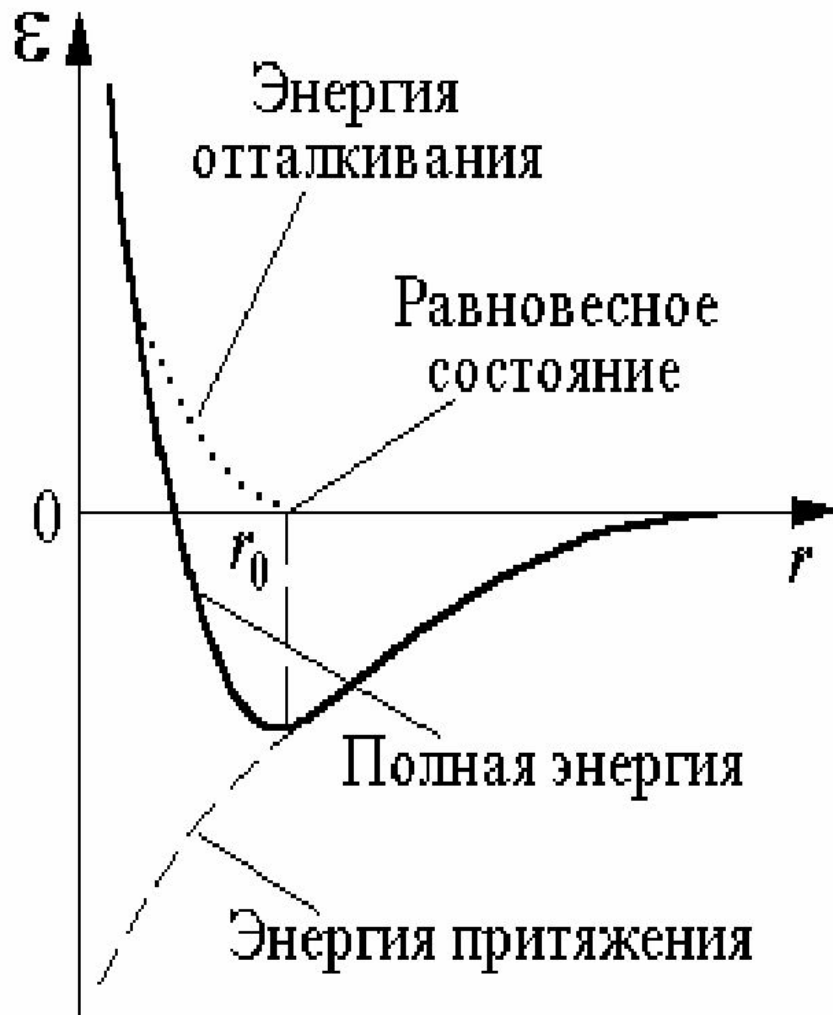
В одиночном атоме кремния (Si) : два электрона на атомной орбитали  $1S$  ( $1S^2$ ); два на  $2S$  ( $2S^2$ ); шесть - на  $2P$  ( $2P^6$ ); два на  $3S$  ( $3S^2$ ) и два на  $3P$  ( $3P^2$ ).

Структура атомов Si

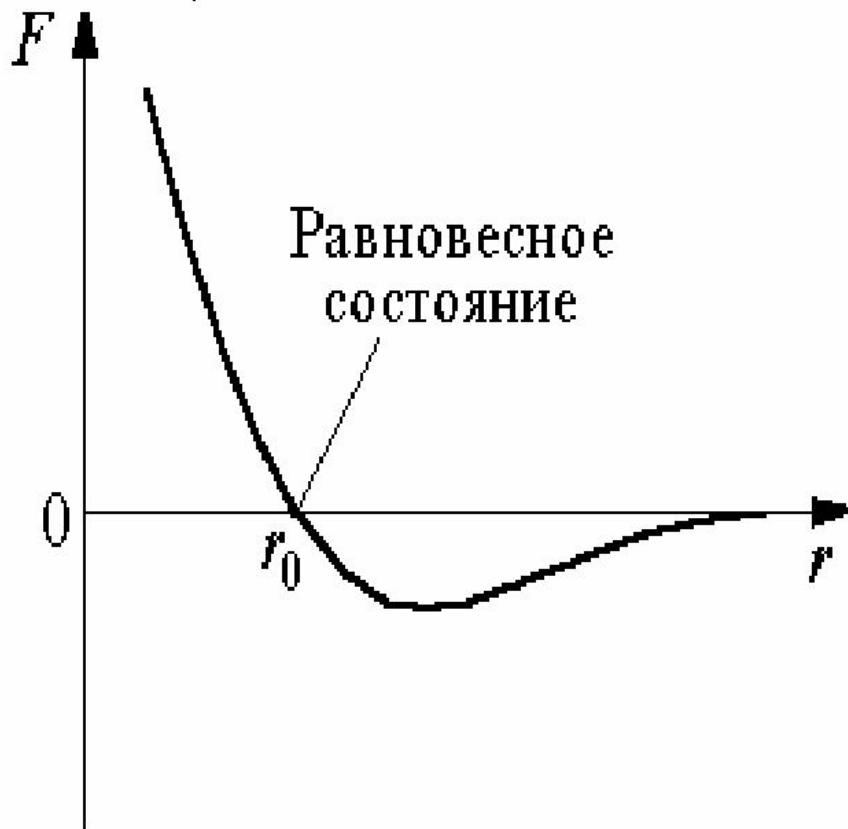
имеет вид:



# Структура твердых тел



а

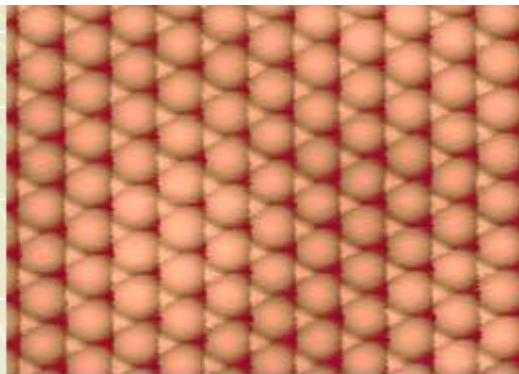


б

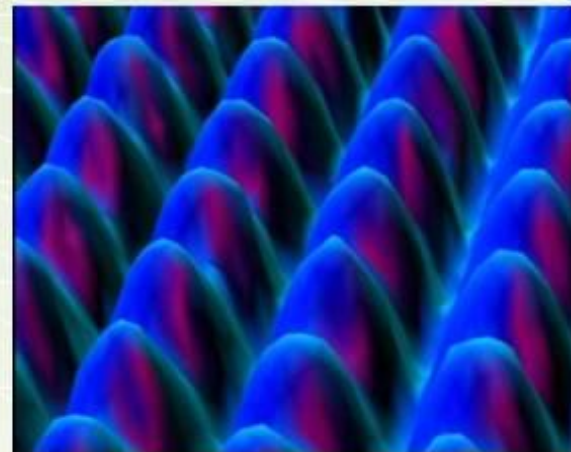
# АТОМЫ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ



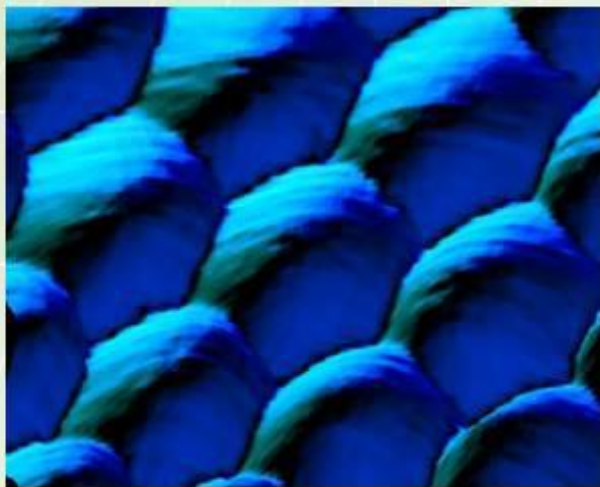
**АТОМЫ ЗОЛОТА**



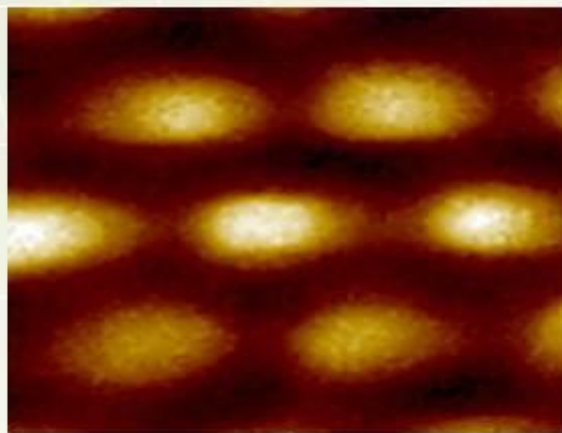
**АТОМЫ КОБАЛЬТА**



**АТОМЫ НИКЕЛЯ**



**АТОМЫ ПЛАТИНЫ**



**АТОМЫ УГЛЕРОДА**



**АТОМЫ КРЕМНИЯ**



# ПЕРИОДИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ Д.И.МЕНДЕЛЕЕВА

www.calc.ru



Д.И. Менделеев  
1834-1907

Периоды	Ряды	Г Р У П П Ы Э Л Е М Е Н Т О В																Электронная конфигурация
		I		II		III		IV		V		VI		VII		VIII		
		а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	а	б	
1	1	<b>H</b> водород 1,008															<b>He</b> гелий 4,003	
2	2	<b>Li</b> литий 6,941	<b>Be</b> бериллий 9,012	<b>B</b> бор 10,811	<b>C</b> углерод 12,011	<b>N</b> азот 14,007	<b>O</b> кислород 15,999	<b>F</b> фтор 18,998									<b>Ne</b> неон 20,179	
3	3	<b>Na</b> натрий 22,989	<b>Mg</b> магний 24,312	<b>Al</b> алюминий 26,981	<b>Si</b> кремний 28,086	<b>P</b> фосфор 30,974	<b>S</b> сера 32,064	<b>Cl</b> хлор 35,453									<b>Ar</b> аргон 39,948	
4	4	<b>K</b> калий 39,102	<b>Ca</b> кальций 40,078	21 <b>Sc</b> скандий 44,956	22 <b>Ti</b> титан 47,88	23 <b>V</b> ванадий 50,942	24 <b>Cr</b> хром 51,996	25 <b>Mn</b> марганец 54,938	26 <b>Fe</b> железо 55,845	27 <b>Co</b> кобальт 58,933	28 <b>Ni</b> никель 58,7							
	5	29 <b>Cu</b> медь 63,546	30 <b>Zn</b> цинк 65,39	31 <b>Ga</b> галлий 69,72	32 <b>Ge</b> германий 72,64	33 <b>As</b> мышьяк 74,922	34 <b>Se</b> селен 78,96	35 <b>Br</b> бром 79,904										<b>Kr</b> криптон 83,8
5	6	<b>Rb</b> рубидий 85,468	<b>Sr</b> стронций 87,62	39 <b>Y</b> итрий 88,906	40 <b>Zr</b> цирконий 91,224	41 <b>Nb</b> ниобий 92,906	42 <b>Mo</b> молибден 95,94	43 <b>Tc</b> технеций 98	44 <b>Ru</b> рутений 101,07	45 <b>Rh</b> родий 100,906	46 <b>Pd</b> палладий 106,4							
	7	47 <b>Ag</b> серебро 107,868	48 <b>Cd</b> кадмий 112,41	49 <b>In</b> индий 114,82	50 <b>Sn</b> олово 118,71	51 <b>Sb</b> сурьма 121,75	52 <b>Te</b> теллур 127,6	53 <b>I</b> йод 126,905										<b>Xe</b> ксенон 131,3
6	8	<b>Cs</b> цезий 132,905	<b>Ba</b> барий 137,34	57-71 лантаноиды	72 <b>Hf</b> гафний 178,49	73 <b>Ta</b> тантал 180,948	74 <b>W</b> вольфрам 183,85	75 <b>Re</b> рений 186,207	76 <b>Os</b> осмий 190,2	77 <b>Ir</b> иридий 192,22	78 <b>Pt</b> платина 195,08							
	9	79 <b>Au</b> золото 196,967	80 <b>Hg</b> ртуть 200,59	81 <b>Tl</b> таллий 204,37	82 <b>Pb</b> свинец 207,2	83 <b>Bi</b> висмут 208,98	84 <b>Po</b> полоний 209	85 <b>At</b> астат 210										<b>Rn</b> радон 222
7	10	<b>Fr</b> франций 223	<b>Ra</b> радий 226	89-103 актиноиды	104 <b>Rf</b> релерфордий 261	105 <b>Db</b> дубний 262	106 <b>Sg</b> шнборгий 263	107 <b>Bh</b> борий 264	108 <b>Hn</b> хазий 265	109 <b>Mt</b> мeyerгейм 266	110							
Высшие оксиды		R <sub>2</sub> O	RO	R <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	RO <sub>2</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	RO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O <sub>7</sub>	RO <sub>4</sub>									
Летучие водородные соединения					RH <sub>4</sub>	RH <sub>3</sub>	H <sub>2</sub> R	HR										



- s-элементы
- p-элементы
- d-элементы
- f-элементы

## Л А Н Т А Н О И Д Ы

57 <b>La</b> лантан 138,905	58 <b>Ce</b> церий 140,12	59 <b>Pr</b> празеодим 140,908	60 <b>Nd</b> неодим 144,24	61 <b>Pm</b> прометей 145	62 <b>Sm</b> самарий 150,4	63 <b>Eu</b> европий 151,96	64 <b>Gd</b> гадолиний 157,25	65 <b>Tb</b> тербий 158,928	66 <b>Dy</b> диспрозий 162,5	67 <b>Ho</b> гольмий 164,93	68 <b>Er</b> эрбий 167,26	69 <b>Tm</b> тулий 168,934	70 <b>Yb</b> иттербий 173,04	71 <b>Lu</b> лютеций 174,967
-----------------------------------	---------------------------------	--------------------------------------	----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	-------------------------------------	-----------------------------------	------------------------------------	-----------------------------------	---------------------------------	----------------------------------	------------------------------------	------------------------------------

## А К Т И Н О И Д Ы

89 <b>Ac</b> актиний 227	90 <b>Th</b> торий 232,038	91 <b>Pa</b> протактиний 231,036	92 <b>U</b> уран 238,029	93 <b>Np</b> нептуний 237	94 <b>Pu</b> плутоний 244	95 <b>Am</b> амерций 243	96 <b>Cm</b> куриум 247	97 <b>Bk</b> берклий 247	98 <b>Cf</b> калфорний 251	99 <b>Es</b> эйнштейний 252	100 <b>Fm</b> фермий 257	101 <b>Md</b> мendelevium 258	102 <b>No</b> нобелий 259	103 <b>Lr</b> лоренций 260
--------------------------------	----------------------------------	--	--------------------------------	---------------------------------	---------------------------------	--------------------------------	-------------------------------	--------------------------------	----------------------------------	-----------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	----------------------------------

# ТИПЫ ХИМИЧЕСКИХ СВЯЗЕЙ

ИОННАЯ  
Me+HeMe

КОВАЛЕНТНАЯ  
НЕПОЛЯРНАЯ  
HeMe+ HeMe

КОВАЛЕНТНАЯ  
ПОЛЯРНАЯ  
HeMe+HeMe

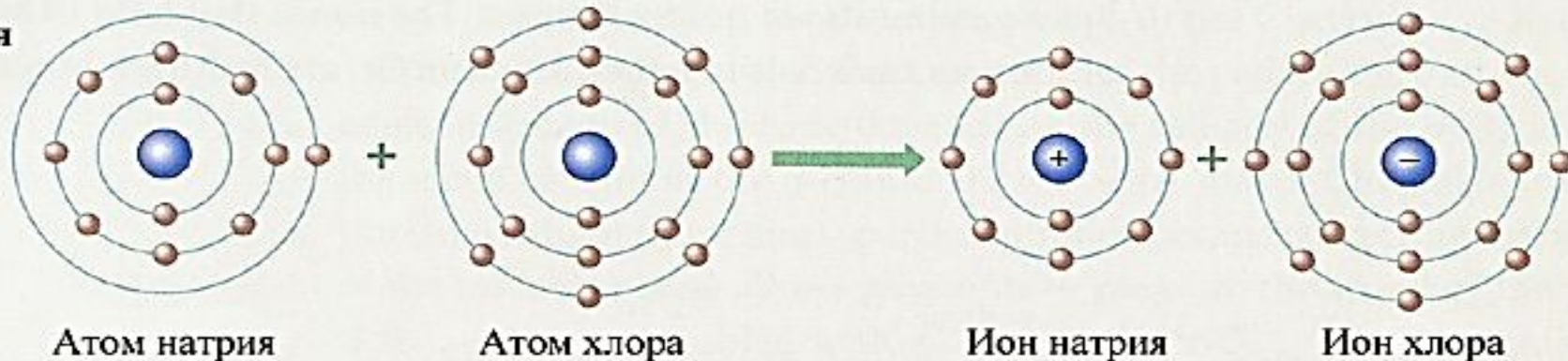
МЕТАЛЛИЧЕСКАЯ  
Me+Me

ВОДОРОДНАЯ  
(между молекулами воды)



# Виды химической связи

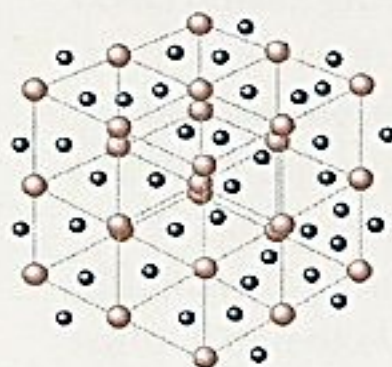
Ионная  
связь



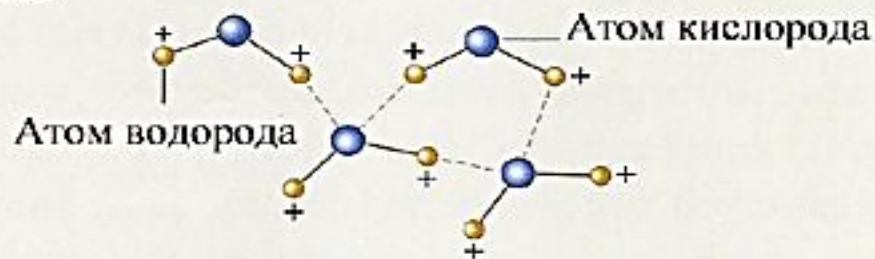
Ковалентная  
связь



Металлическая  
связь

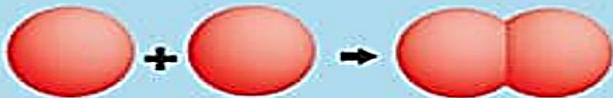


Водородная  
связь

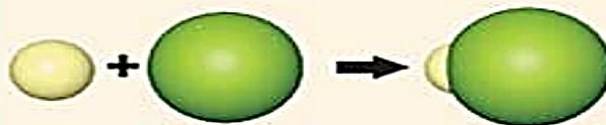
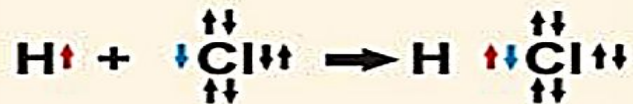
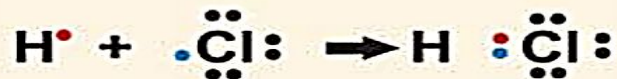


# Ковалентная связь

## ОБРАЗОВАНИЕ НЕПОЛЯРНОЙ СВЯЗИ

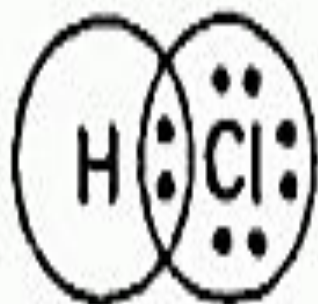


## ОБРАЗОВАНИЕ ПОЛЯРНОЙ СВЯЗИ



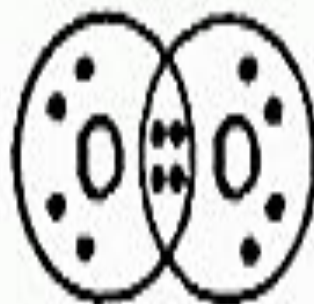


# Ковалентная связь



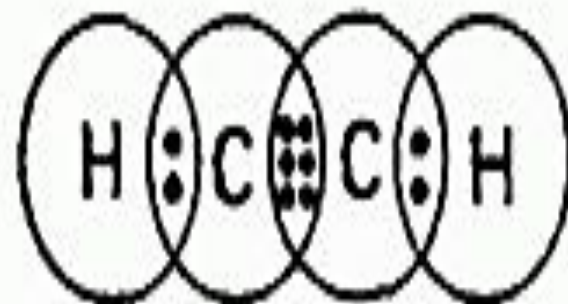
Простая

ковалентная связь



Двойная

ковалентная связь

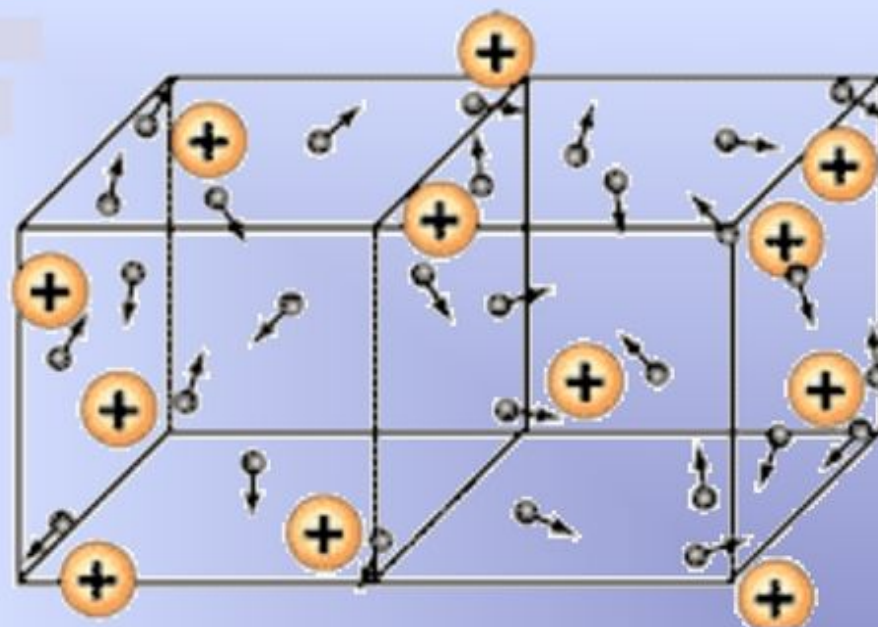
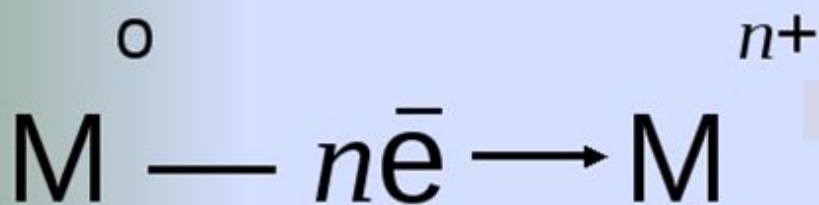
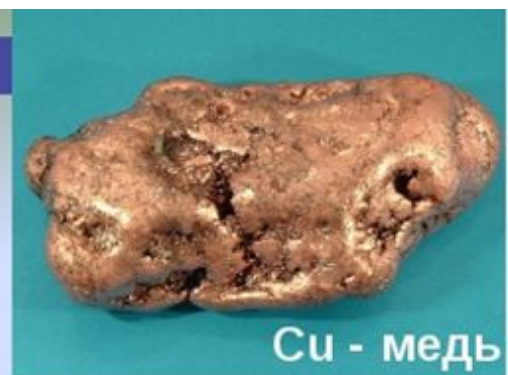


Тройная

ковалентная связь

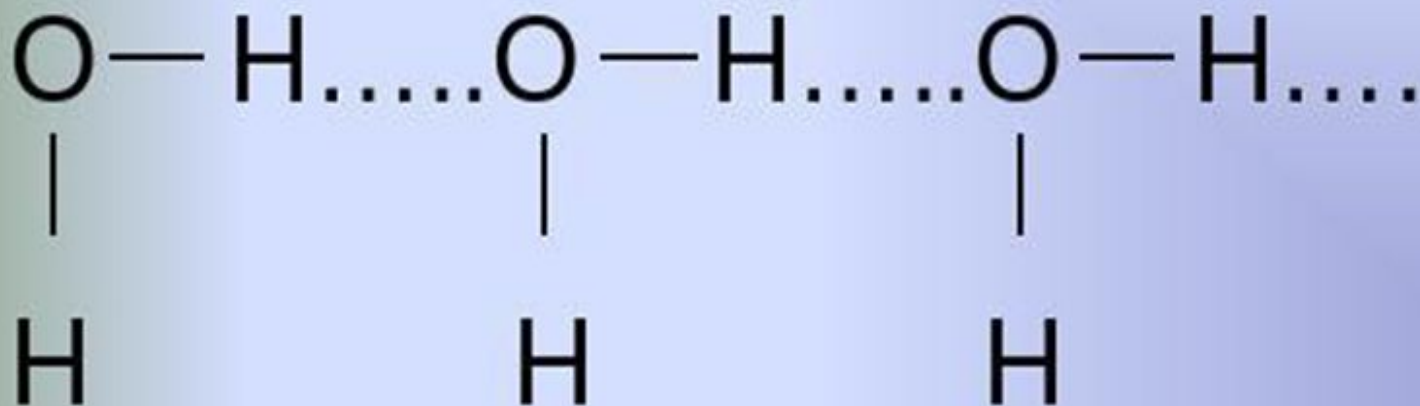
# Металлическая связь

связь в металлах и сплавах, которую выполняют относительно свободные электроны между ионами металлов в металлической кристаллической решетке



# Водородная связь

- Химическая связь между положительно поляризованными атомами водорода одной молекулы (или ее части) и отрицательно поляризованными атомами сильно электроотрицательных элементов, имеющих неподеленные электронные пары (F, O, N и реже Cl и S) другой молекулы (или ее части)



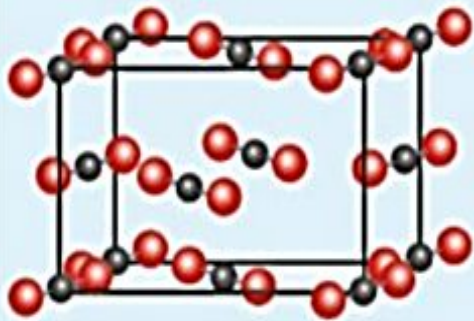


# Кристаллы делятся на четыре основные группы:

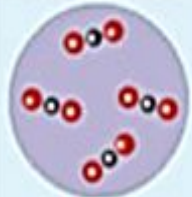
- 1) ионные кристаллы (NaCl);
- 2) ковалентные (алмаз, кремний);
- 3) металлические (металлы и полиметаллы);
- 4) молекулярные кристаллы (нафталин).

# Виды кристаллов

**МОЛЕКУЛЯРНЫЕ**  
**CO<sub>2</sub>**



Углекислый газ

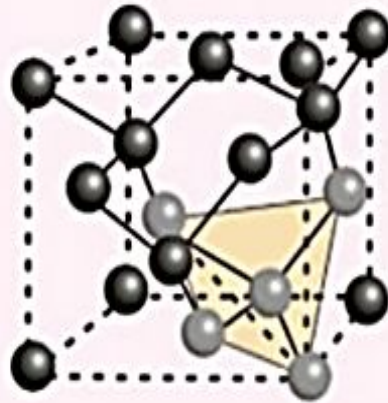


$t_{\text{кп}} -78^{\circ}\text{C}$

Твердая двуокись углерода



**АТОМНЫЕ**  
**C**

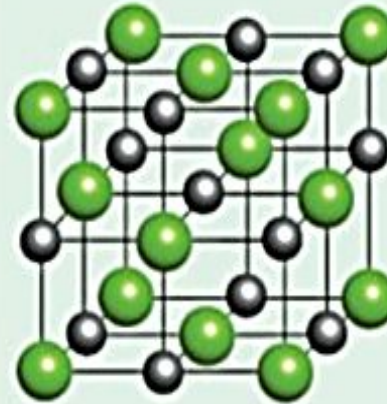


$t_{\text{пл}} 3500^{\circ}\text{C}$   
 $t_{\text{кп}} 4200^{\circ}\text{C}$

Алмаз



**ИОННЫЕ**  
**NaCl**

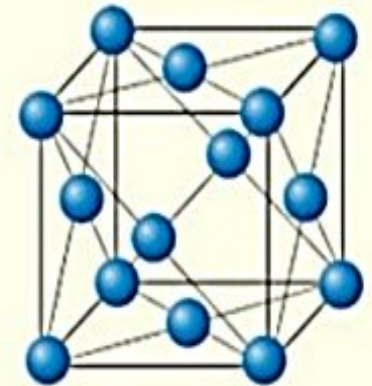


$t_{\text{пл}} 801^{\circ}\text{C}$   
 $t_{\text{кп}} 1465^{\circ}\text{C}$

Галит



**МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ**  
**Cu**



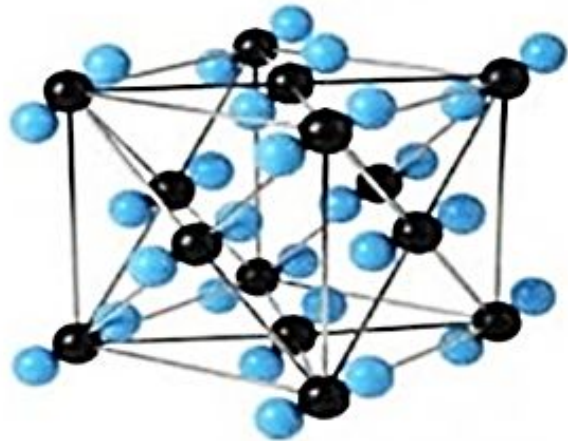
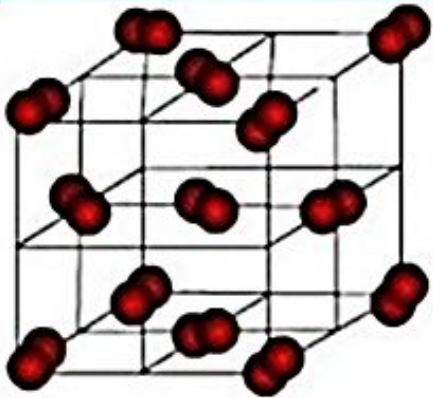
$t_{\text{пл}} 1083^{\circ}\text{C}$   
 $t_{\text{кп}} 2567^{\circ}\text{C}$

Медь



# Молекулярная кристаллическая решетка

йод  $I_2$



углекислый газ  $CO_2$

В узлах решетки молекулы.

Химическая связь ковалентная  
полярная и неполярная.

Свойства веществ:

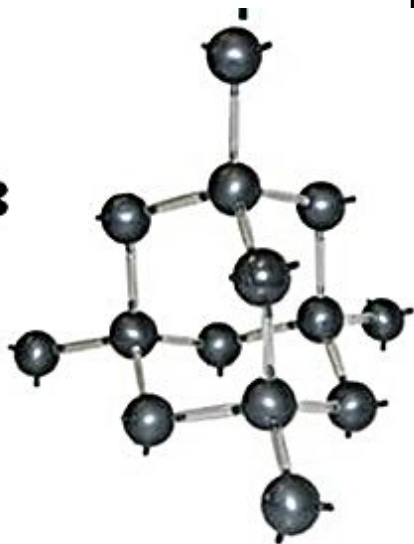
- 1) высокая летучность,
- 2) низкие  $t_{пл}$ ,  $t_{кип}$ ,
- 3) при комнатной  $t$  обычно жидкость или газ,
- 4) малая твердость и прочность.

Примеры: простые вещества ( $O_2$ ,  $N_2$ ,  $H_2$ ,  $J_2$ ,  $P_4$ ,  $S_8$ ,  $Ne$ ,  $He$ ), сложные вещества ( $CO_2$ ,  $H_2O$ , глюкоза  $C_6H_{12}O_6$  и др.)



# Атомная кристаллическая решетка

алмаз



В узлах решетки атомы.

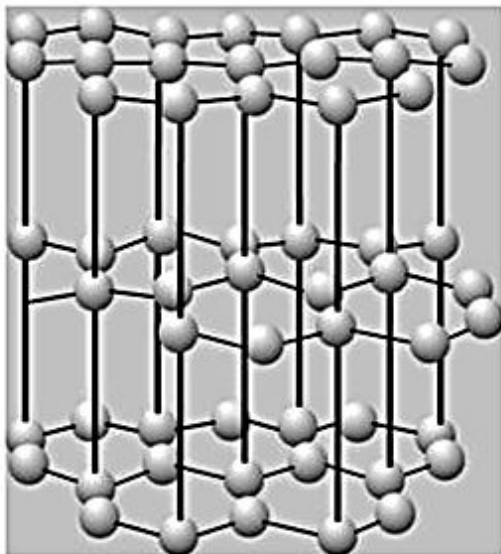
Химическая связь ковалентная  
неполярная.

Свойства веществ:

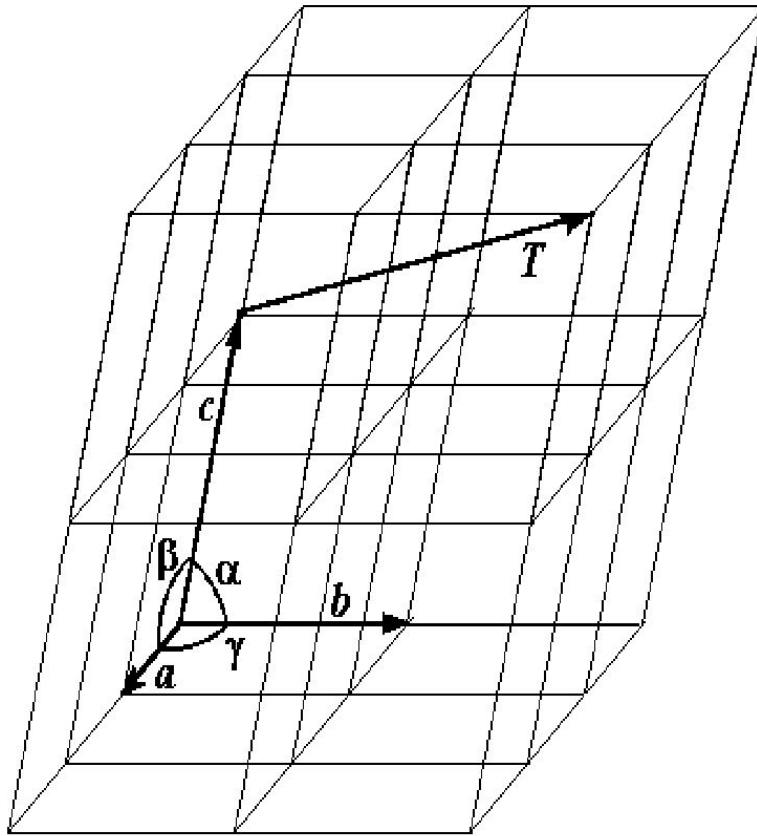
- 1) очень высокая твердость, прочность,
- 2) очень высокая  $T_{пл}$  (алмаз  $3500^{\circ}C$ ),
- 3) тугоплавкость,
- 4) практически нерастворимы,
- 5) нелетучесть

Примеры: простые вещества  
(алмаз, графит, бор и др.),  
сложные вещества ( $Al_2O_3$ ,  $SiO_2$ )

графит



# Кристаллы



$$T = A a + B b + C c,$$

Здесь

$$T = 3a + 2b + c$$

# Кристаллографическое направление

Прямая линия, проходящая по крайней мере через два узла решетки.

Обычно один – начало координат.

Символ кристаллографического  
направления

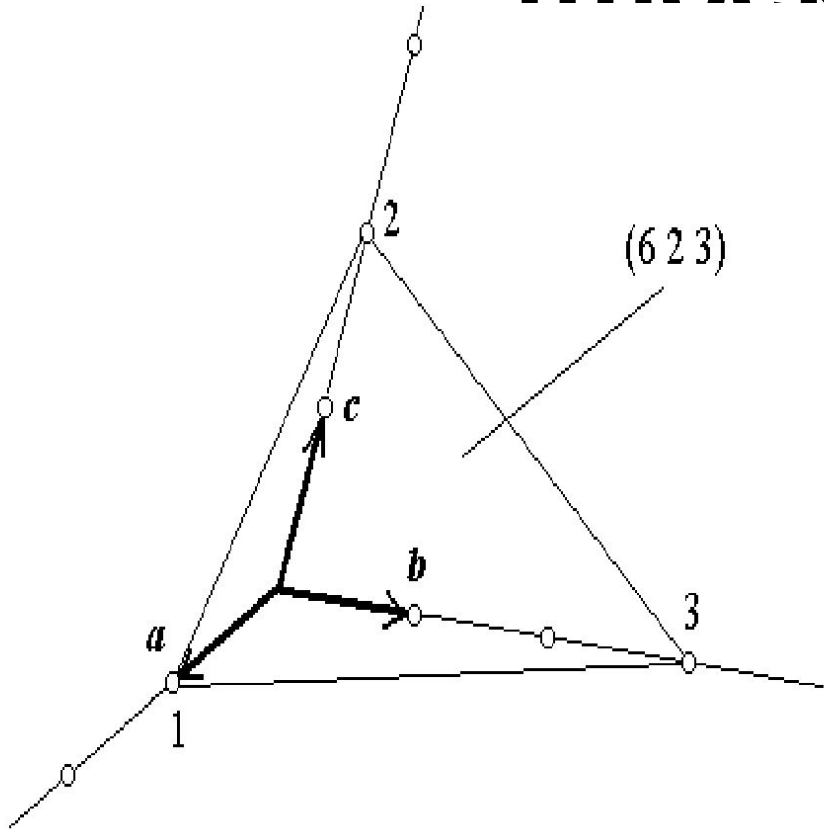
[A, B, C].

Например: ОХ - [1, 0, 0], ОУ - [0, 1, 0].

Если [20, 40, 60], [1, 2, 3],



# Кристаллографические плоскости

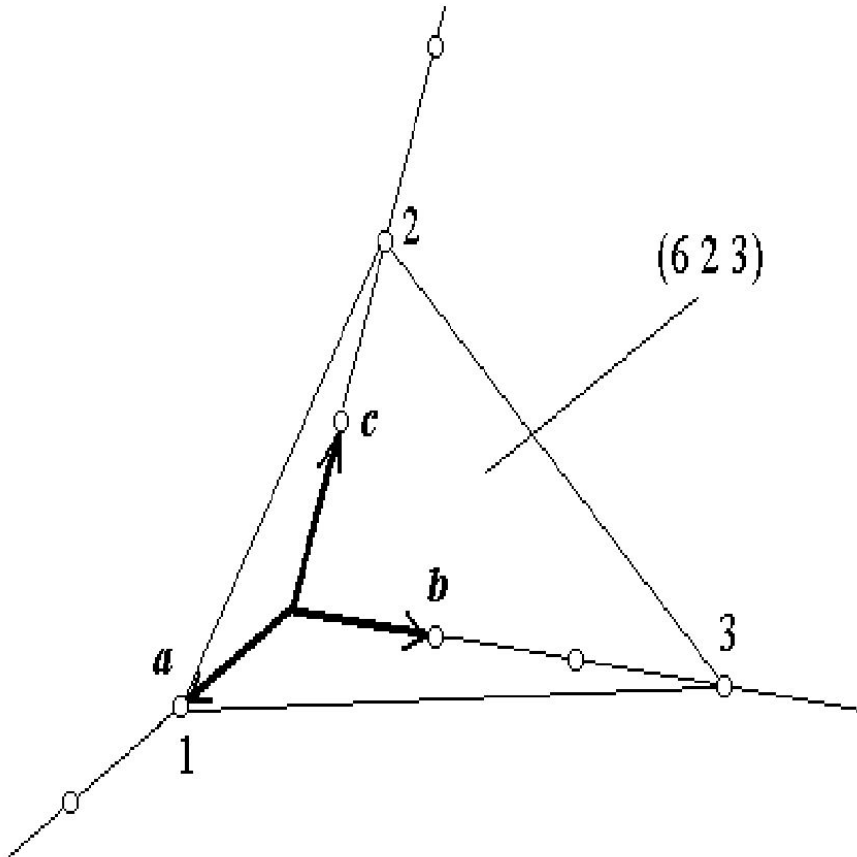


Может быть плоскость  
не параллельна ни  
одной из  
координатных осей,  
одной оси, двум осям.

$(a, b, c) \rightarrow (1/1, 1/3, 1/2) \times 6$  (минимальный  
общий знаменатель)  
 $\rightarrow$  воображаемая  
кристаллографическая  
плоскость  $(6\ 2\ 3)$ .

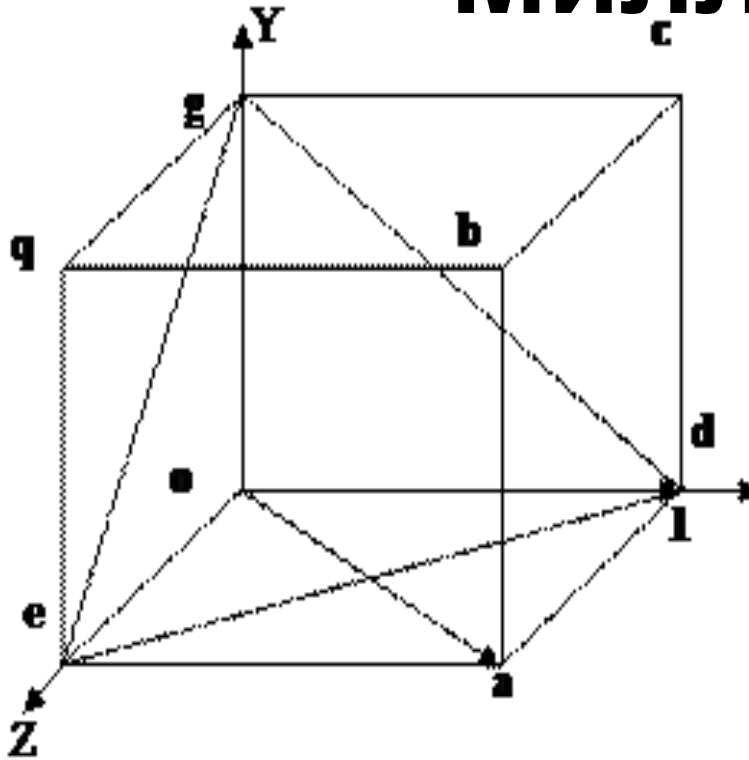
$(100)$  YOZ;  $(010)$  XOZ;  $(001)$  XOY  
координатные плоскости  
прямой решетки

# ИНДЕКСЫ МИЛЛЕРА



$(a, b, c) \rightarrow (1/1, 1/3, 1/2) \times 6$  (минимальный общий знаменатель)  
 $\rightarrow$  воображаемая кристаллографическая плоскость  $(6\ 2\ 3)$ .

# Пример расчета индексов Миллера



Пусть ребро куба равно 1.

Плоскость  $abcd$  (100).

Семейство плоскостей  $\{100\}$ .

$cdeq$  (101).

$deg$  (111).

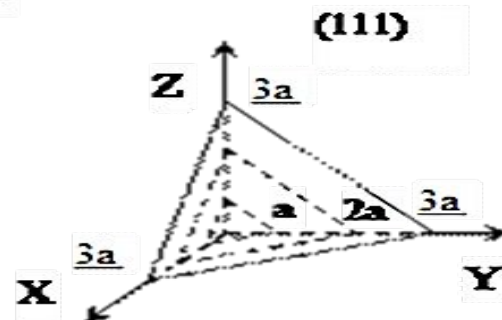
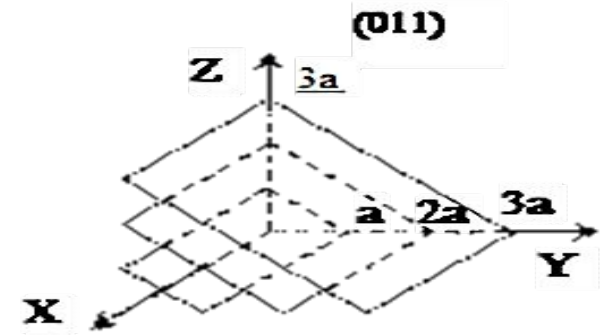
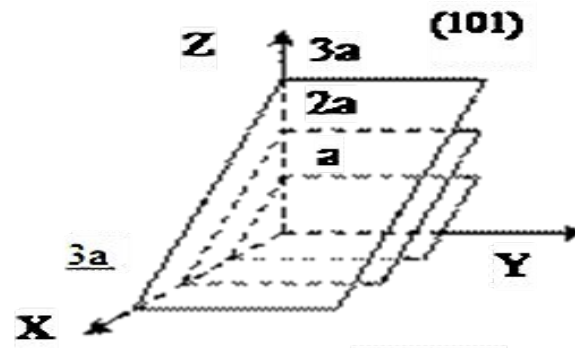
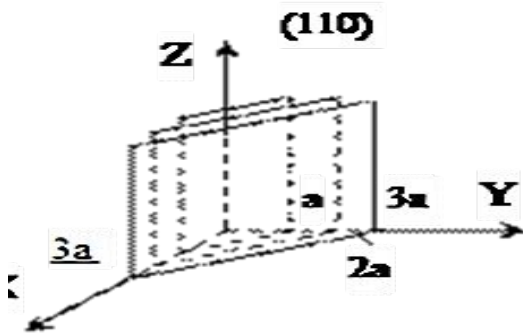
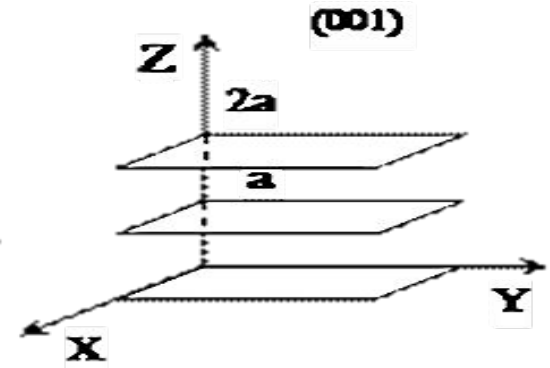
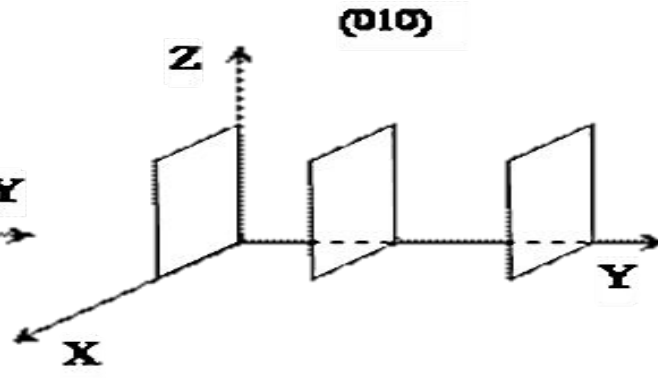
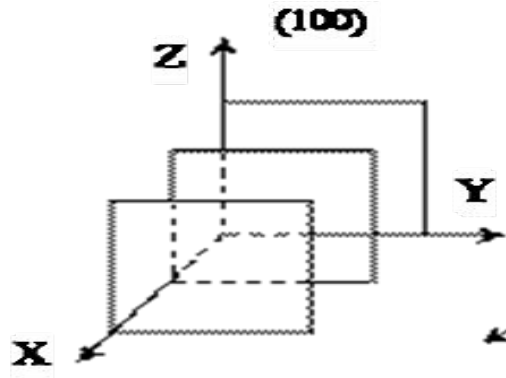
Направление ОХ: [100].

Направление ОА: [101].

Направление перпендикулярное плоскости (111):  
[111].



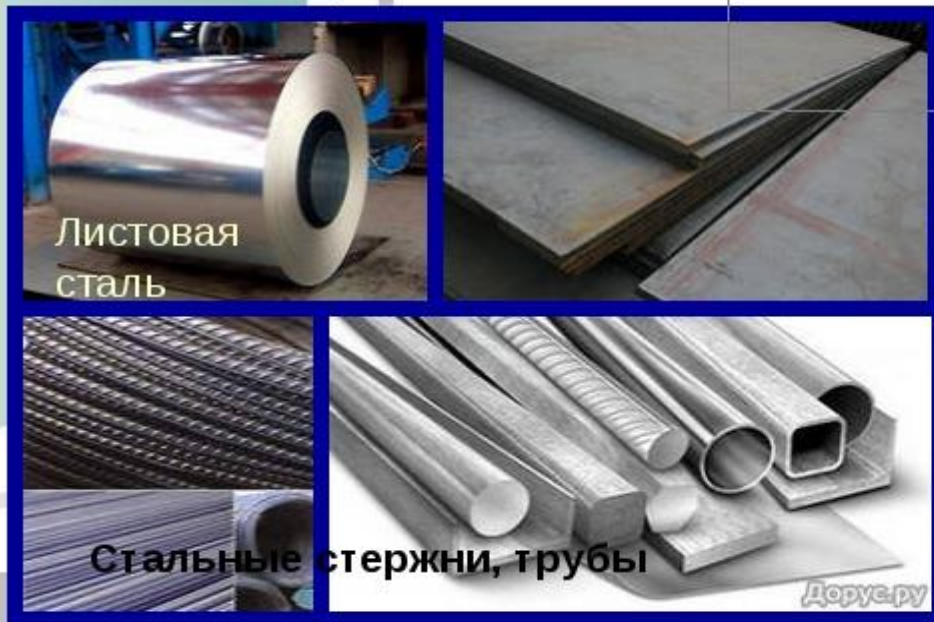
# Основные плоскости в кубической решетке



# Металл, как конструкционный материал



Геологические руды, залегающие в недрах земной коры. Являются сырьём для производства сталей и различных сплавов.



Сталь, конструкционный материал, являющийся сырьём для изготовления всевозможных металлических изделий (машин, станков, кораблей, самолётов и стройматериалов и мн.др.)

# КЛАССИФИКАЦИЯ

## МЕТАЛЛОВ

Из 106 элементов периодической системы 84 – металлы, 22 – неметаллы.

**Чёрные металлы:** железистые (железо, никель); тугоплавкие (с температурой плавления  $> 1539^{\circ}$ );

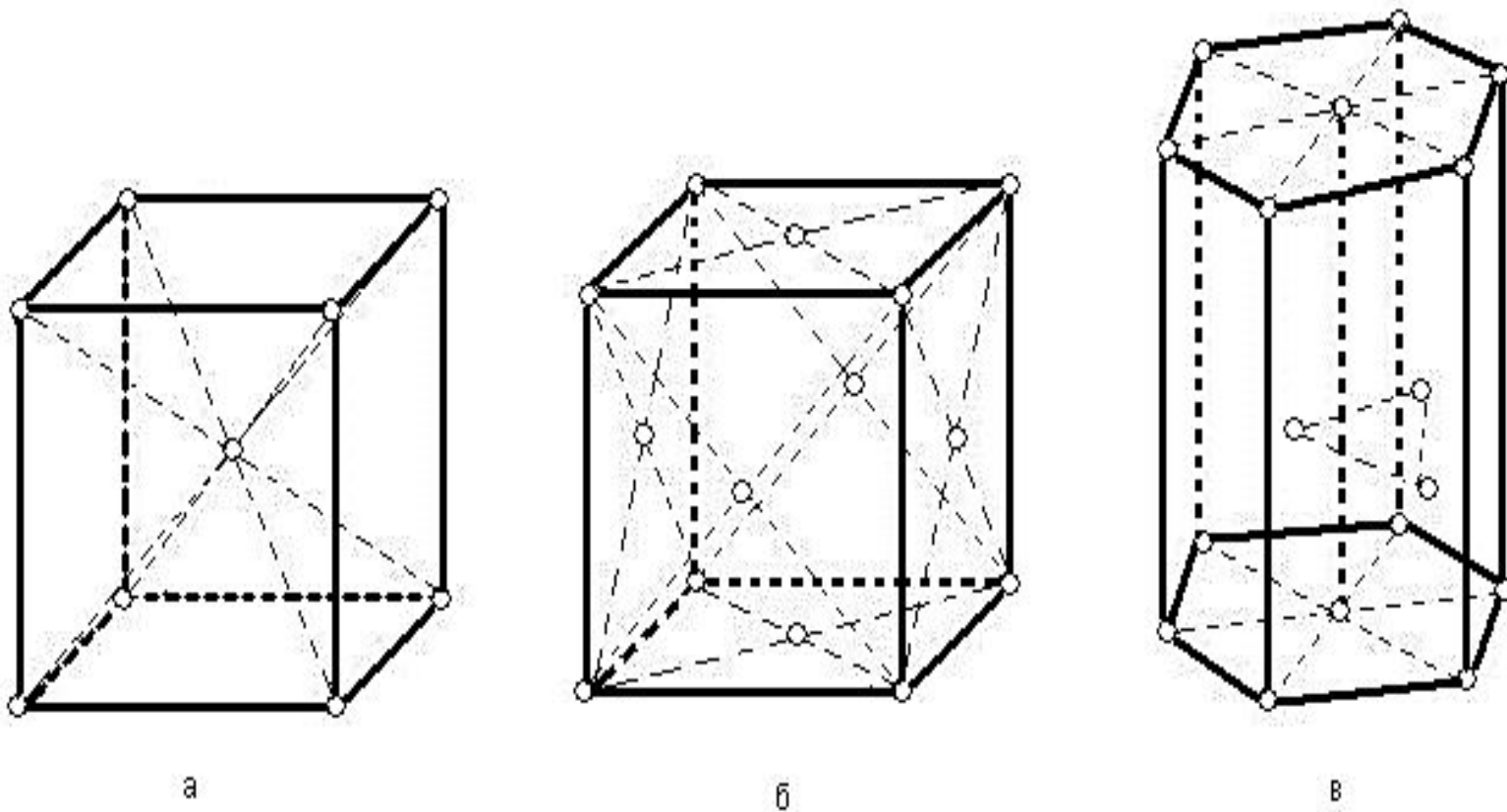
**урановые** (уран, плутоний);

**редкоземельные** (церий, неодим);

**щёлочноземельные** (калий, натрий).

**Цветные металлы:** лёгкие (магний, алюминий); благородные (золото, платина); легкоплавкие (висмут, свинец).

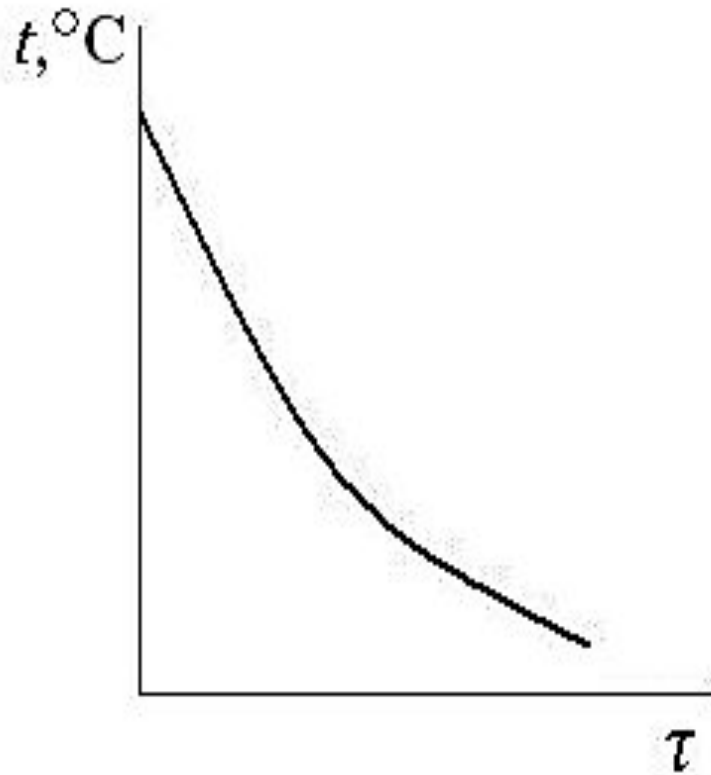
# Основные виды кристаллических решеток



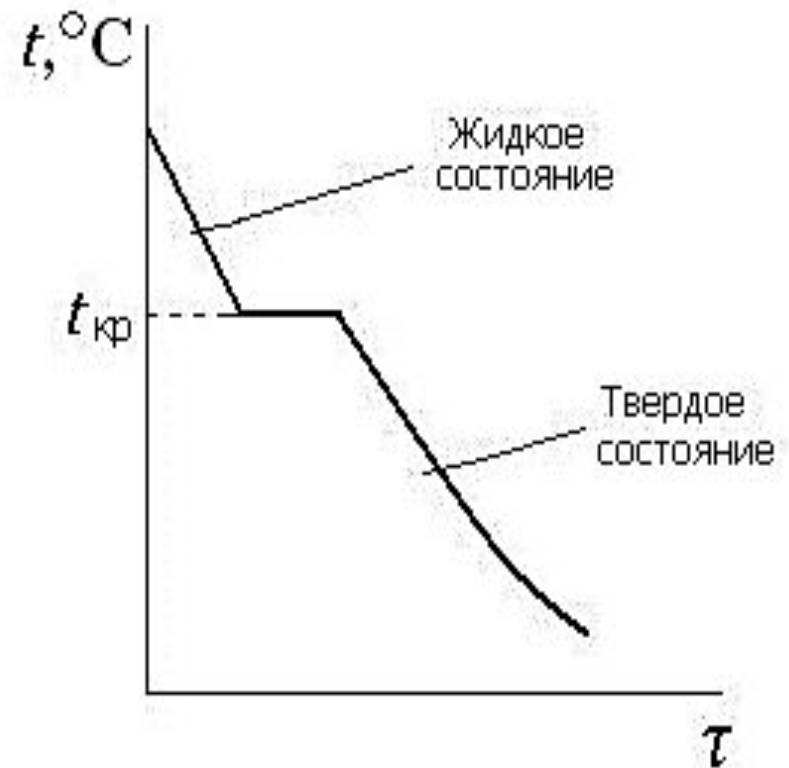
- а-кубическая объемноцентрированная (Cr, Mo, V)
- б-кубическая гранецентрированная (Cu, Ni)
- в-гексагональная плотноупакованная (Mg, Zn)



# Кривые охлаждения аморфного и кристаллического тел



а

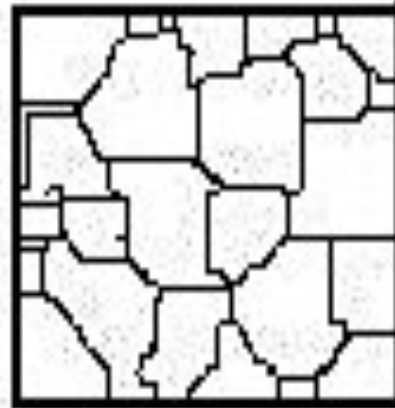
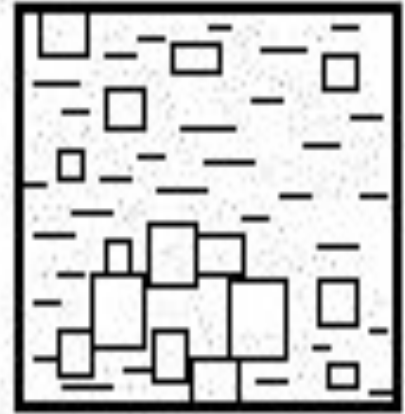
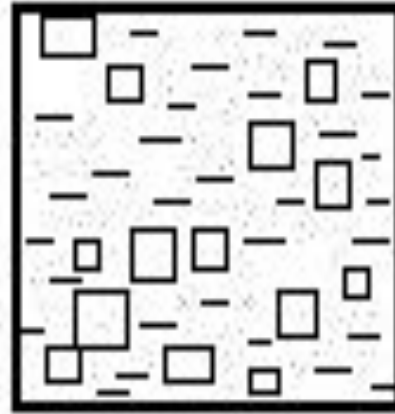
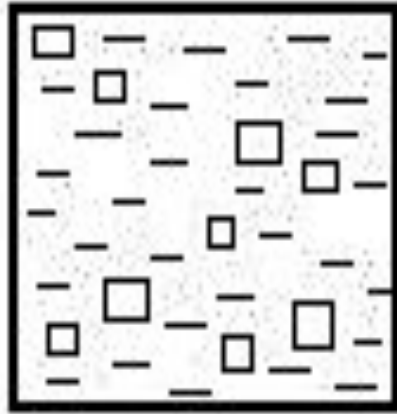


б

а – аморфное тело,  
б - кристаллическое

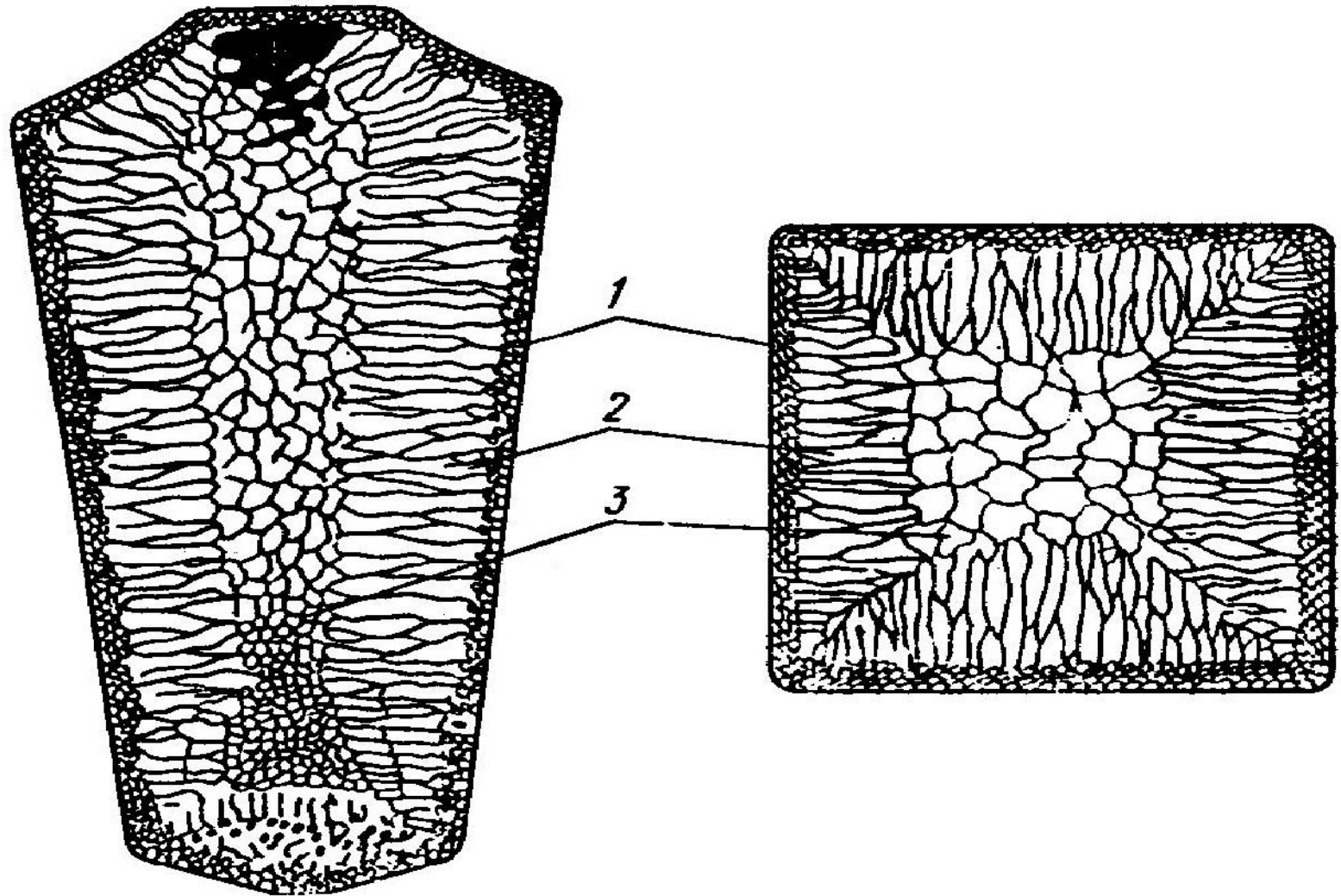
# Образование зерен или

кристаллитов

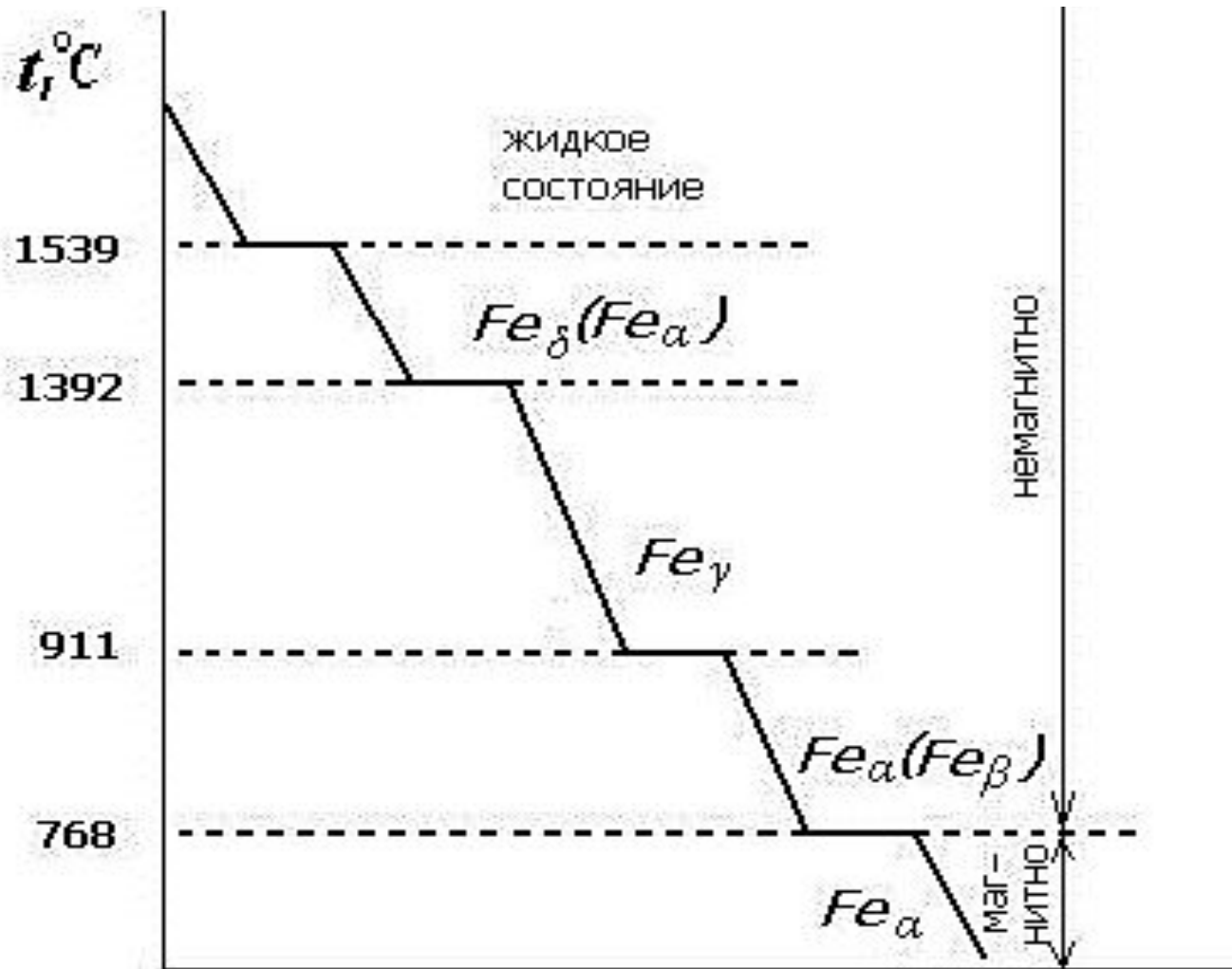


Процесс кристаллизации  
металла

# Структура слитка



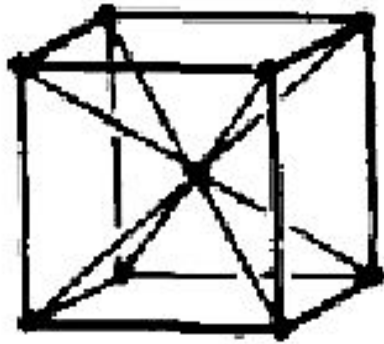
# Полиморфизм (аллотропия)



Кривая охлаждения  
железа

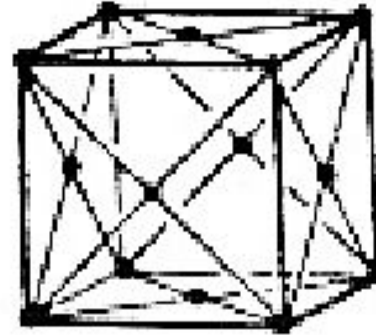
# Полиморфизм

## Полиморфизм железа



$\alpha$ -Fe до 723 °С

объемноцентрированный куб  
растворимость углерода до 0,02%



$\gamma$ -Fe при 917 ÷ 1394 °С

гранецентрированный куб  
растворимость углерода до 2,14%  
( $\approx$  в 107 раз больше)

Положительные последствия полиморфных превращений  
(термообработка материалов)

Отрицательные последствия полиморфных превращений

Олово



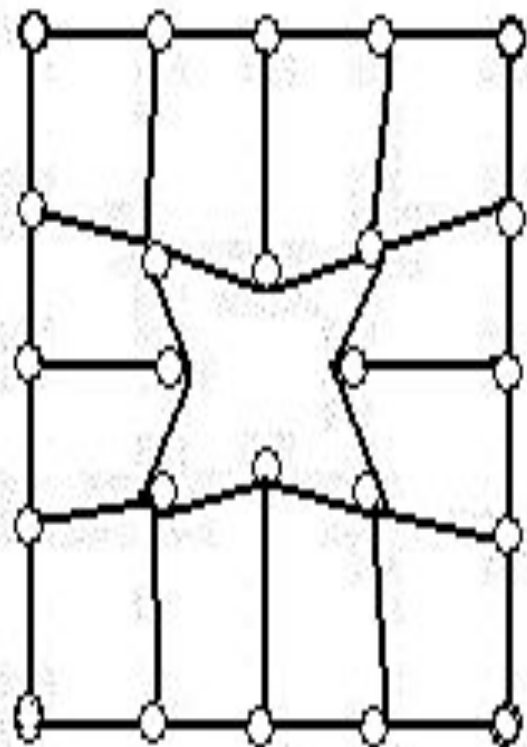
$\alpha$ -Sn (серое олово)  
при  $t < 13$  °С кубическая  
решетка типа алмаза;  
 $\rho = 5,75$  г/см<sup>3</sup>  
(ковалентная связь)

на 27 % увеличивается  
удельный объем,  
металл рассыпается  
(«оловянная чума»)

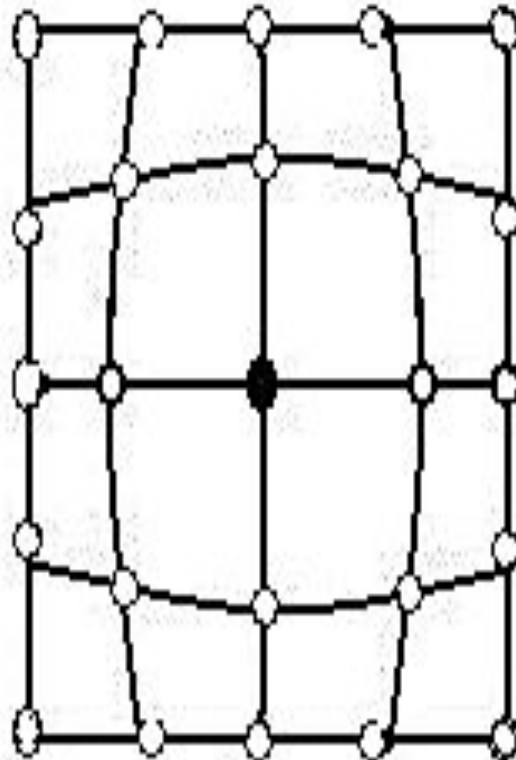
$\beta$ -Sn (белое олово)  
при  $t > 13$  °С тетрагональная  
решетка;  
 $\rho = 7,28$  г/см<sup>3</sup>  
(металлическая связь)



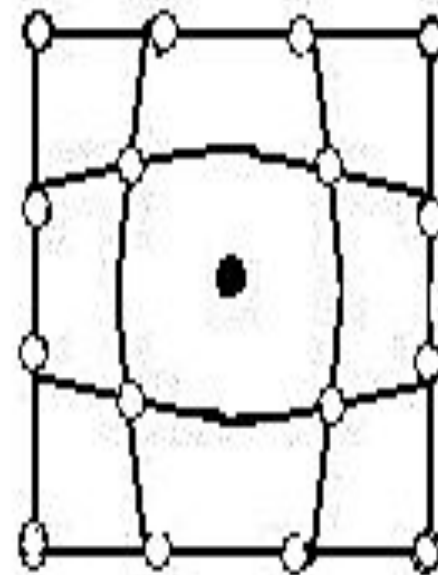
# Дефекты кристаллического строения



а



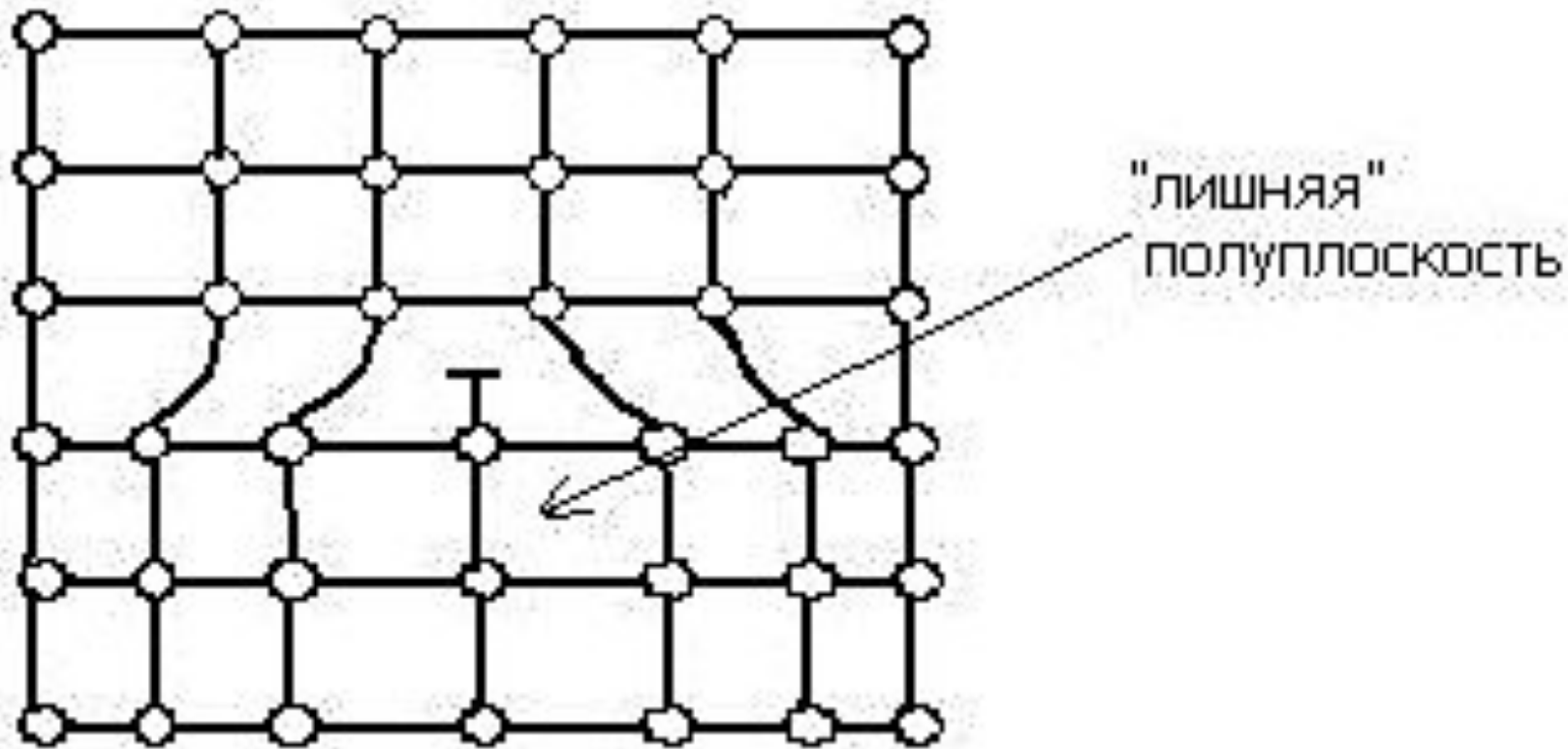
б



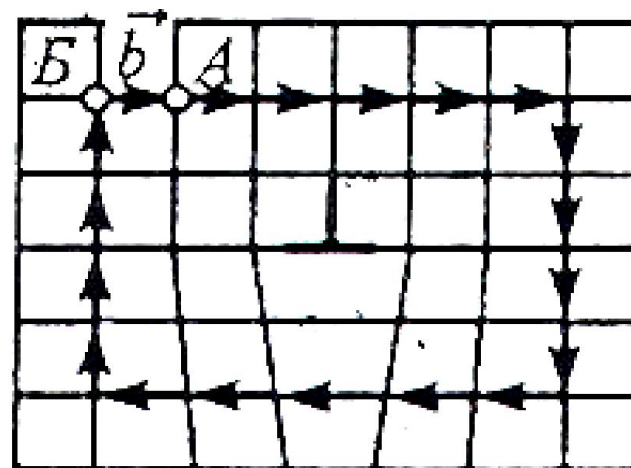
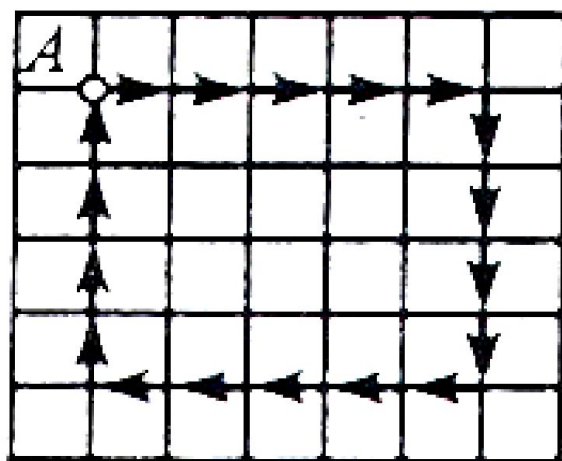
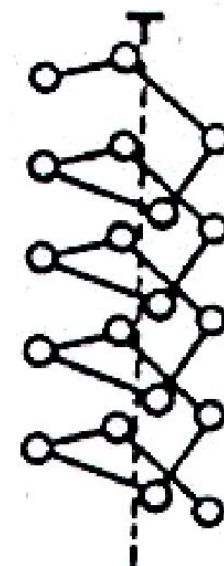
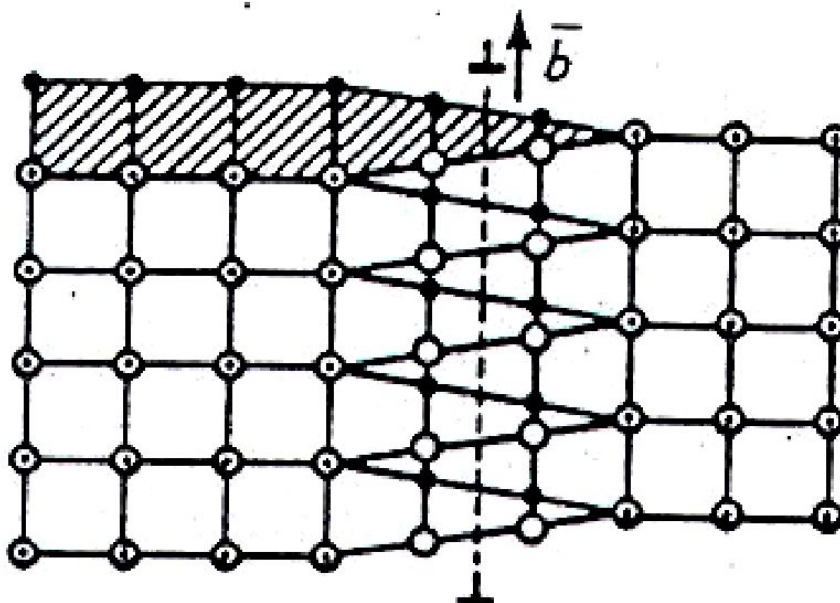
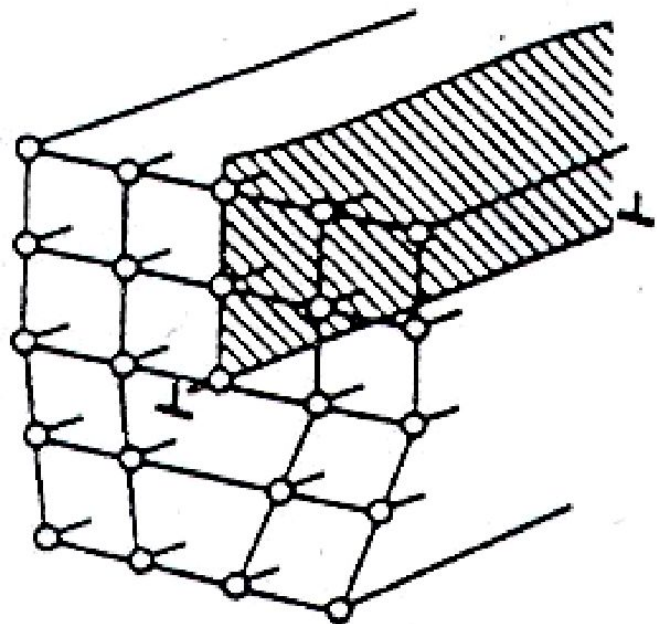
в

Схемы точечных дефектов в

# Схема краевой дислокации



# Краевая дислокация



# Наклеп и рекристаллизация

$$T_p = a \cdot T_{пл},$$

где  $a$  — коэффициент, зависящий от состава и структуры металла. Для особо чистых металлов  $a = 0,2$ , для металлов технической чистоты  $a = 0,3 \dots 0,4$ , для сплавов  $a = 0,5 \dots 0,6$ .



# Методы получения сплавов

- 1) Сплавления - из двух и более металлов и металлов с неметаллами;
- 2) Спекание порошков нескольких металлов. Обладают более высоким качеством.
- 3) Диффузия в поверхностный слой (амальгамирование, хромирование)



# Основные понятия

Элемент, входящий в состав сплава, называется **компонентом**.

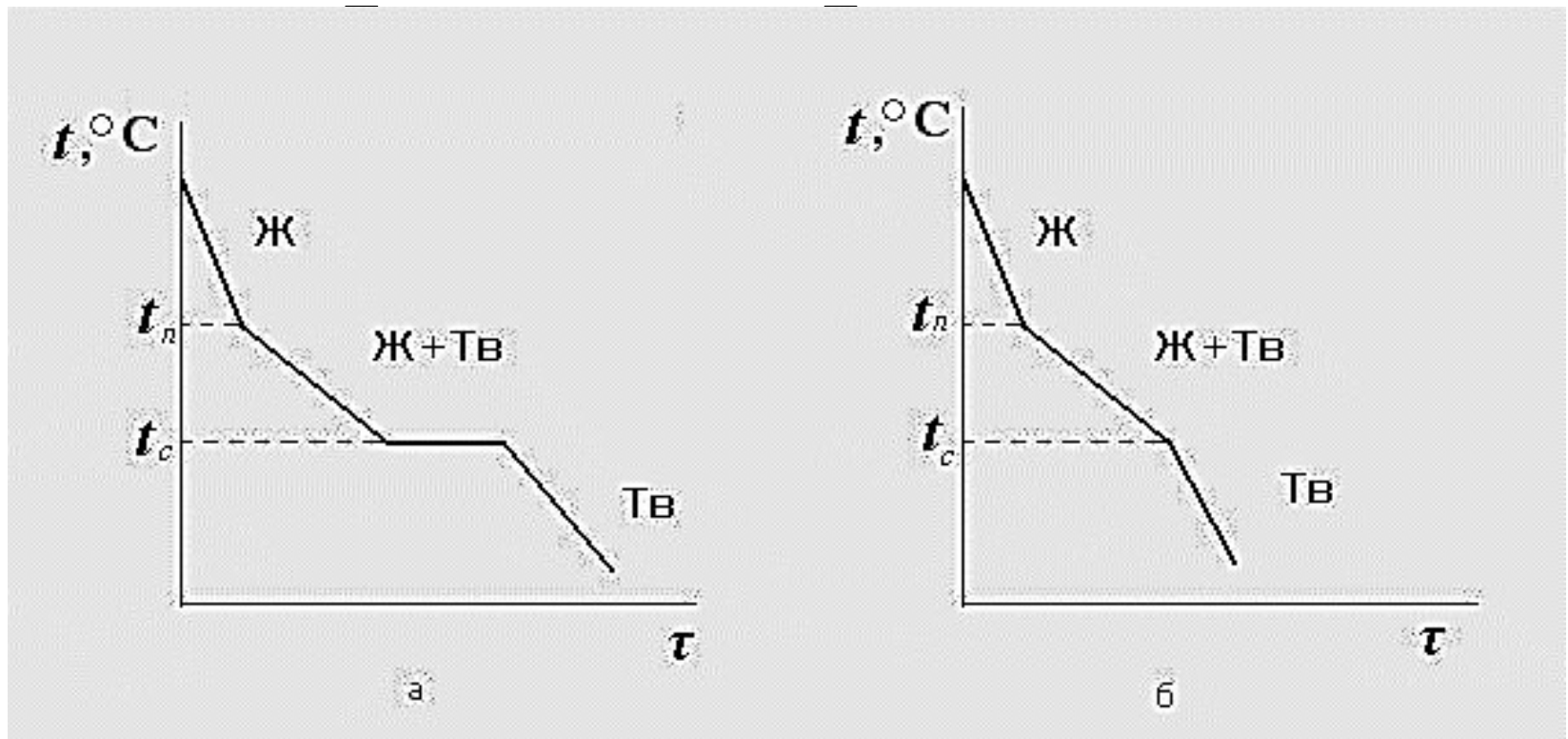
Преобладающий в сплаве компонент называется **основным**.

Компонент, вводимый в сплав для придания нужных свойств, называется **легирующим**.

Совокупность элементов сплава называется **системой**.

# Металлические сплавы

Виды сплавов по структуре: механические смеси (А+В), химические соединения ( $A_m B_n$ ), твердые растворы.



Кривые охлаждения сплавов:

а – механическая смесь; б – твердый раствор.

# Диаграммы состояний

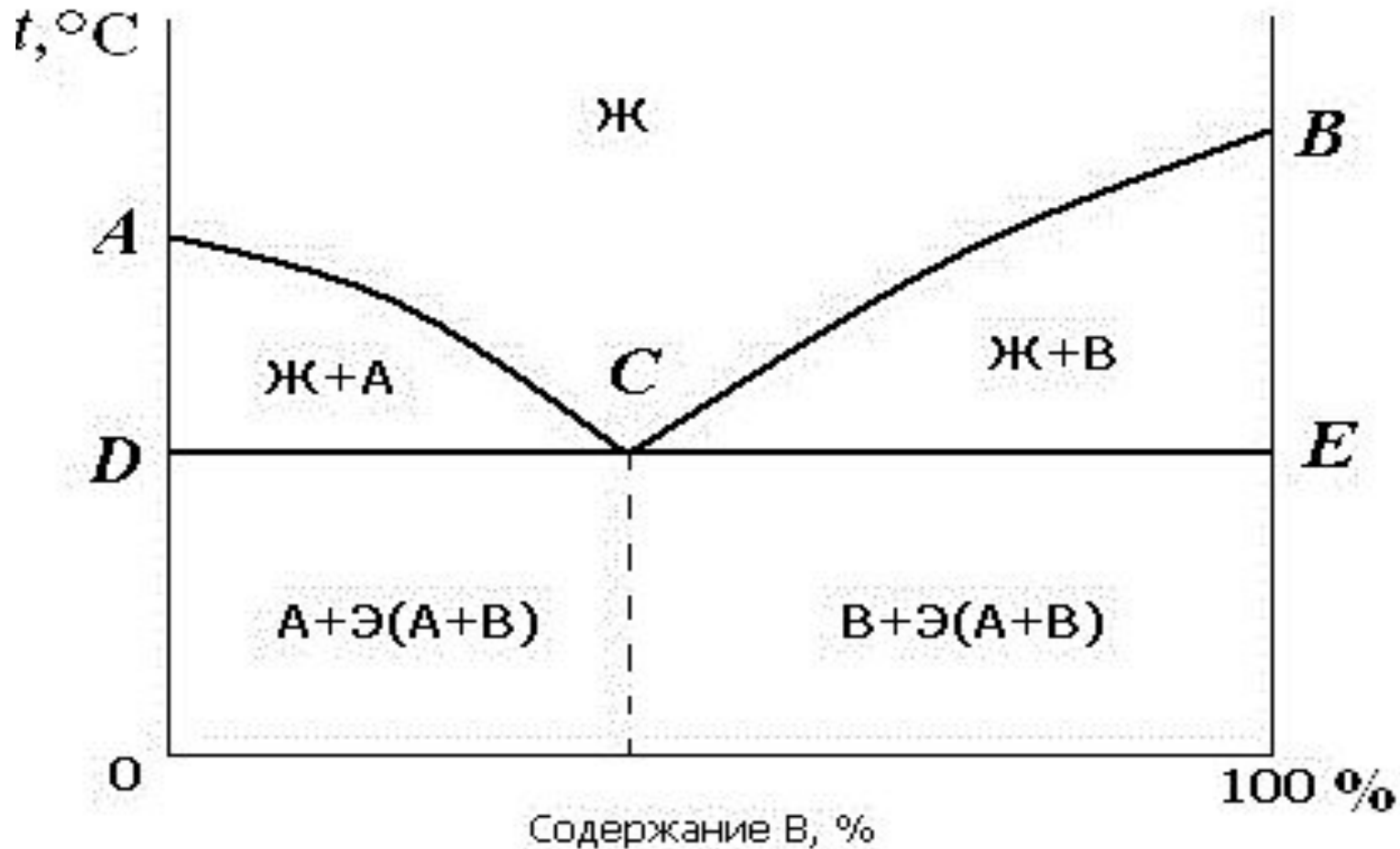
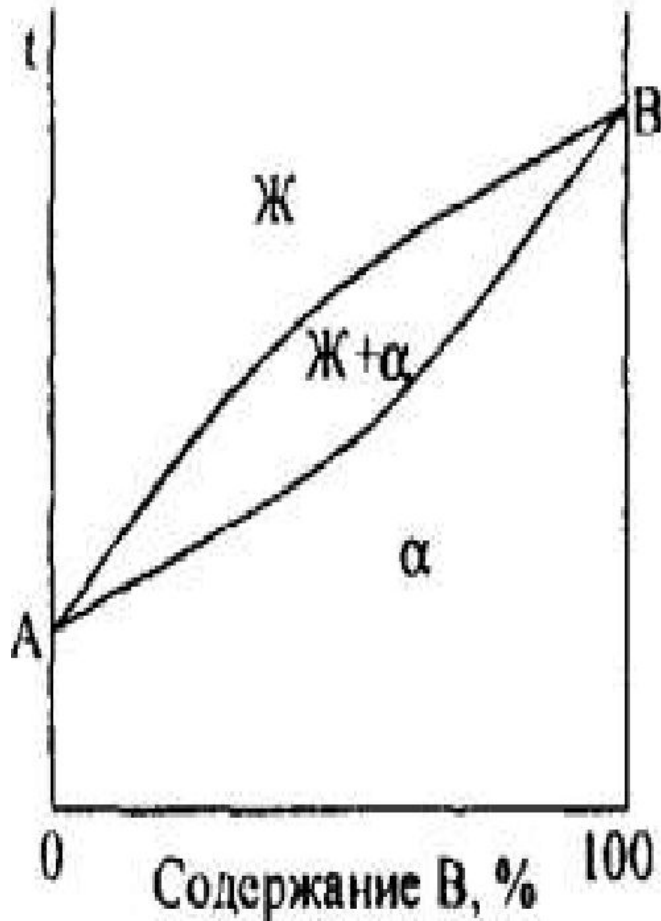


Диаграмма состояния сплавов, образующих механические

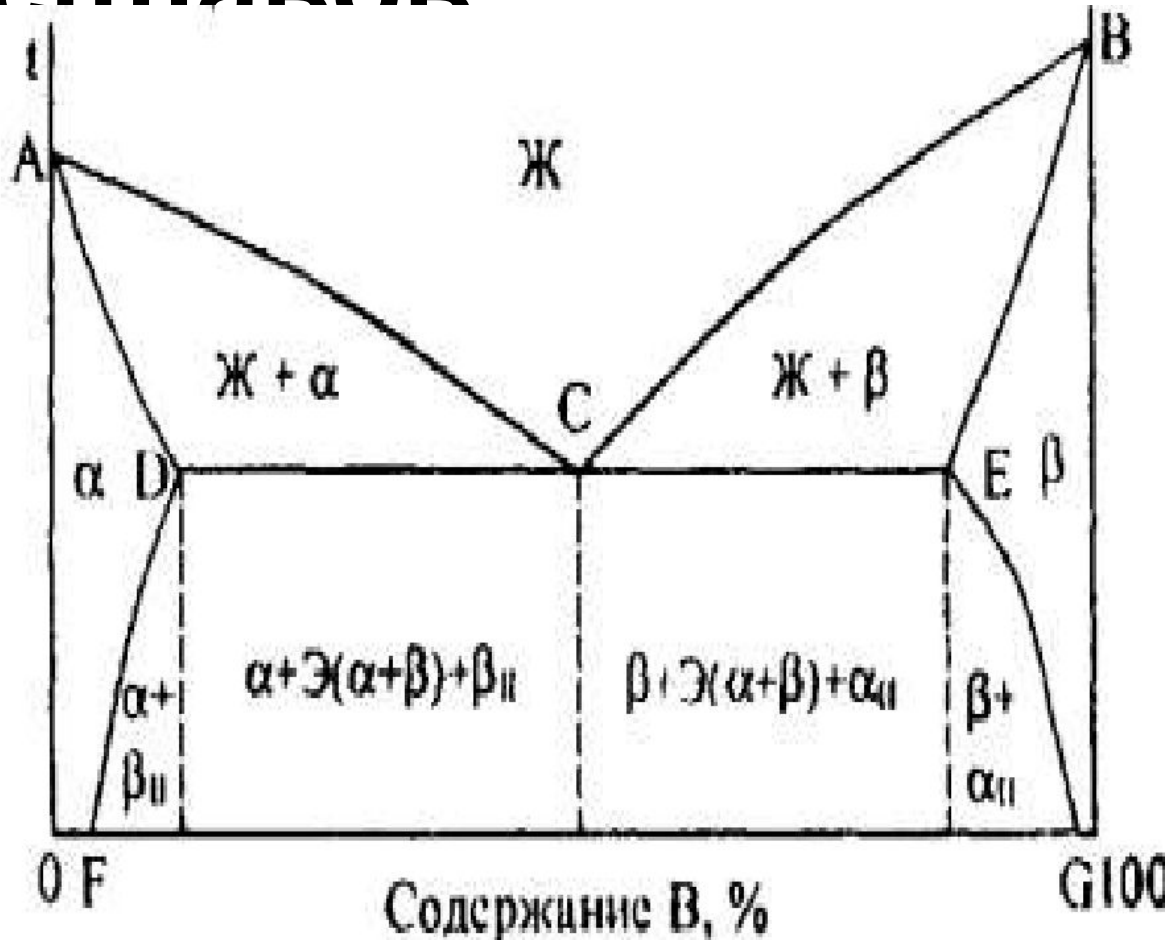


# Диаграммы состояния

## СПЛАВОВ

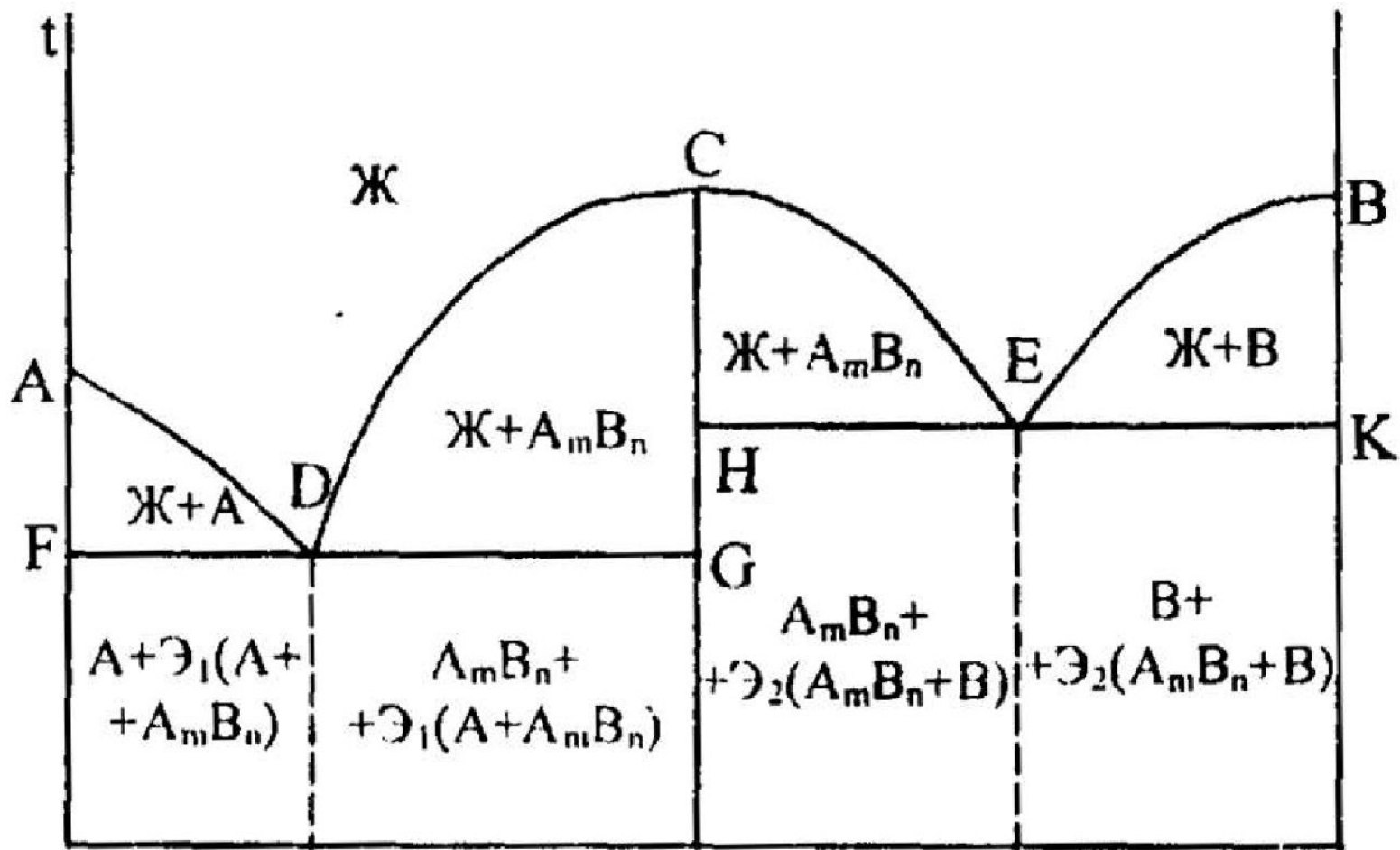


С неограниченной растворимостью компонентов в твердом сплаве



С ограниченной растворимостью компонентов в твердом сплаве

# Диаграмма состояния сплавов, образующих химическое соединение



# ***Сплавы классифицируют:***

- по числу компонентов - на двойные (бинарные), тройные, четверные и многокомпонентные;
- по основному элементу – железистые, алюминиевые, магниевые, титановые, медные;
- по применению – конструкционные, инструментальные, жаропрочные, антифрикционные, пружинные, шарикоподшипниковые;
- по плотности – тяжелые (на основе вольфрама, рения, свинца и т.д.) и легкие (на основе алюминия);
- по технологии изготовления полуфабрикатов и изделий – литейные, деформируемые, спечные, гранулированные, композиционные.

# ЧУГУН





# Каслинское литье



«РОССИЯ»  
скульптор Н. А. Лавренский  
Бронза.  
1900 г.





# Железо

Пластичный металл серебристо-белого цвета, невысокая твердость (НВ 80),  $t_{пл} = 1539^{\circ}\text{C}$ ,  $\rho = 7,83 \text{ г/см}^3$ . С углеродом образует химические соединения и твердые растворы.



# Железо-углеродистые

## сплавы

Техническое железо (до 0,02% С), Сталь (до

**Из чугуна и стали изготавливают:**



# СТАЛЬ

углеродистая

легированная

конструкционная

инструментальная

конструкционная

инструментальная

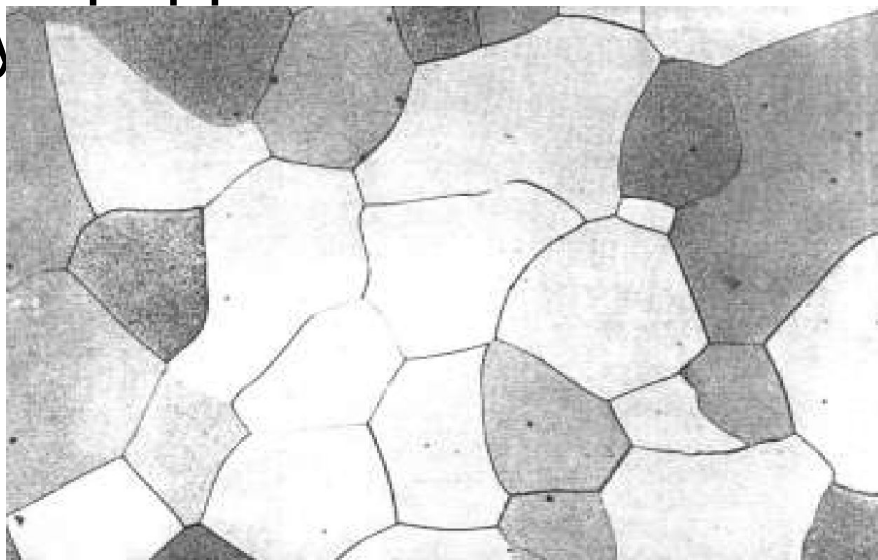
с особыми  
химическими  
свойствами

# СПЛАВЫ ЖЕЛЕЗА С

## УГЛЕРОДОМ

**Цементит** химическое соединение (карбид железа)  $Fe_3C$ , 6,67 % углерода, сложная ромбическая решетка, очень высокая твердость ( $HB\ 800$ ), крайне низкой пластичность и хрупкость.

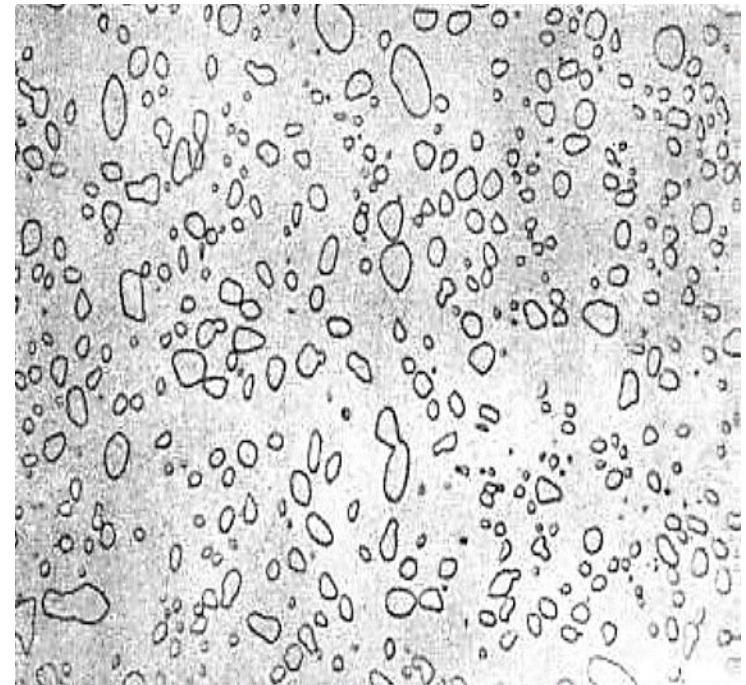
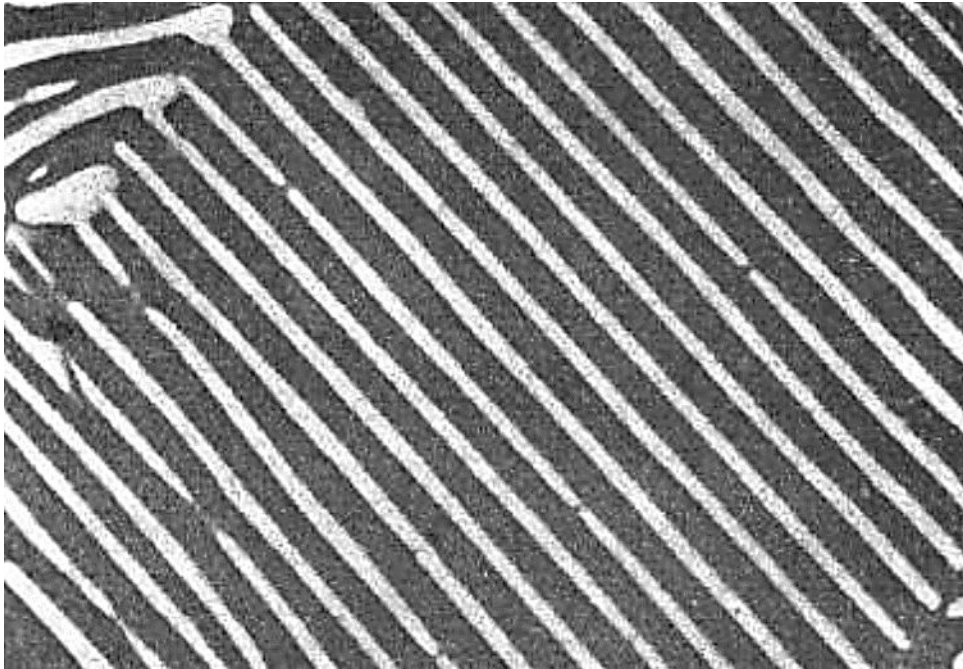
**Феррит** твердый раствор углерода в  $\alpha$ - железе. Содержание углерода мало, максимально 0,02% при температуре  $727\ ^\circ C$  (низкая твердость и высокая пластичность). Твердый раствор углерода в высокотемпературной модификации  $Fe_\alpha$  (т. е. в  $Fe_\delta$ ) часто называют  $\delta$ - ферритом или высокотемперату





# Перлит

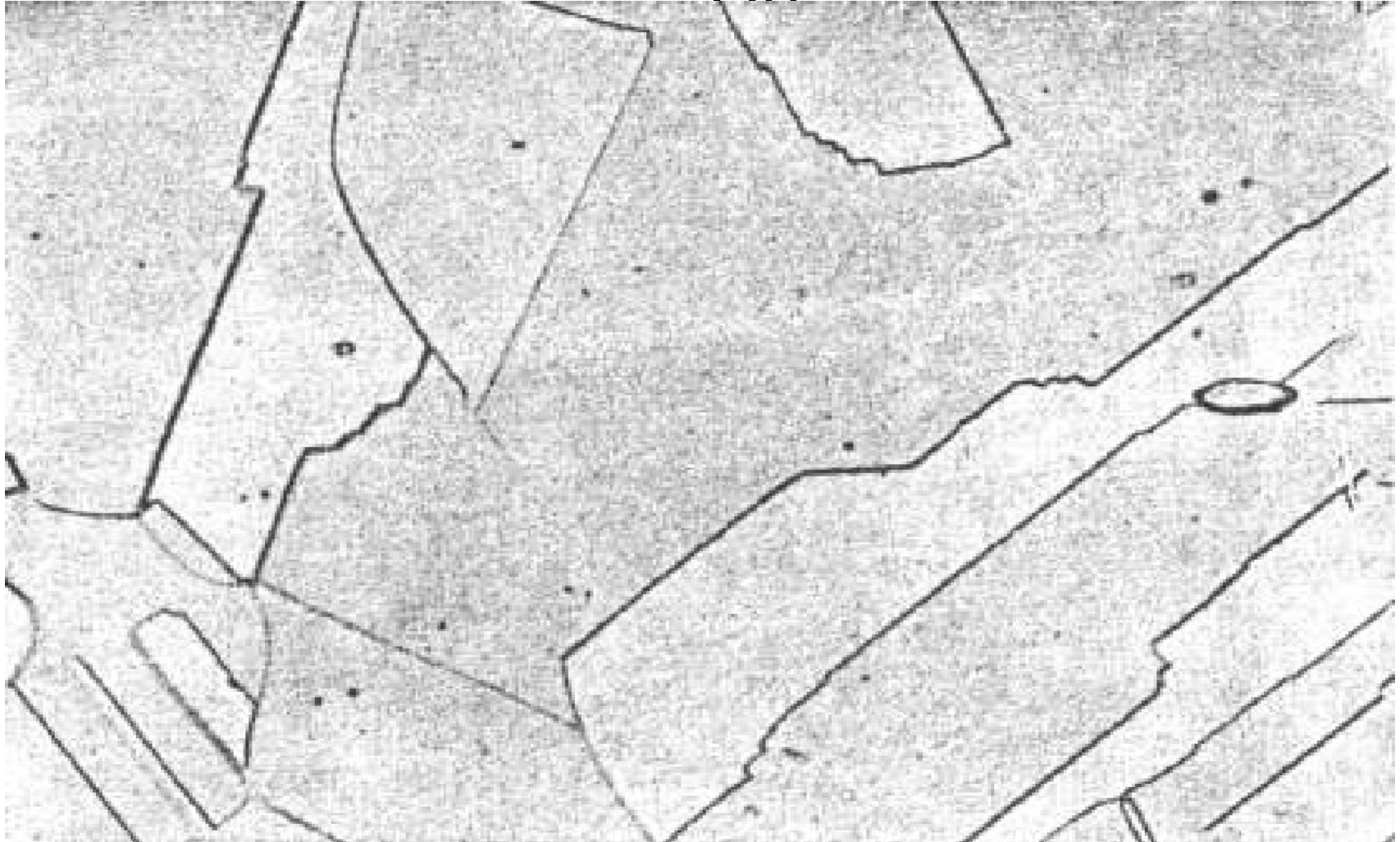
механическая смесь феррита с цементитом. Содержит 0,8% углерода, образуется из аустенита при температуре  $727^{\circ}\text{C}$ . Имеет пластинчатое строение, т.е. его зерна состоят из чередующихся пластинок феррита и цементита.





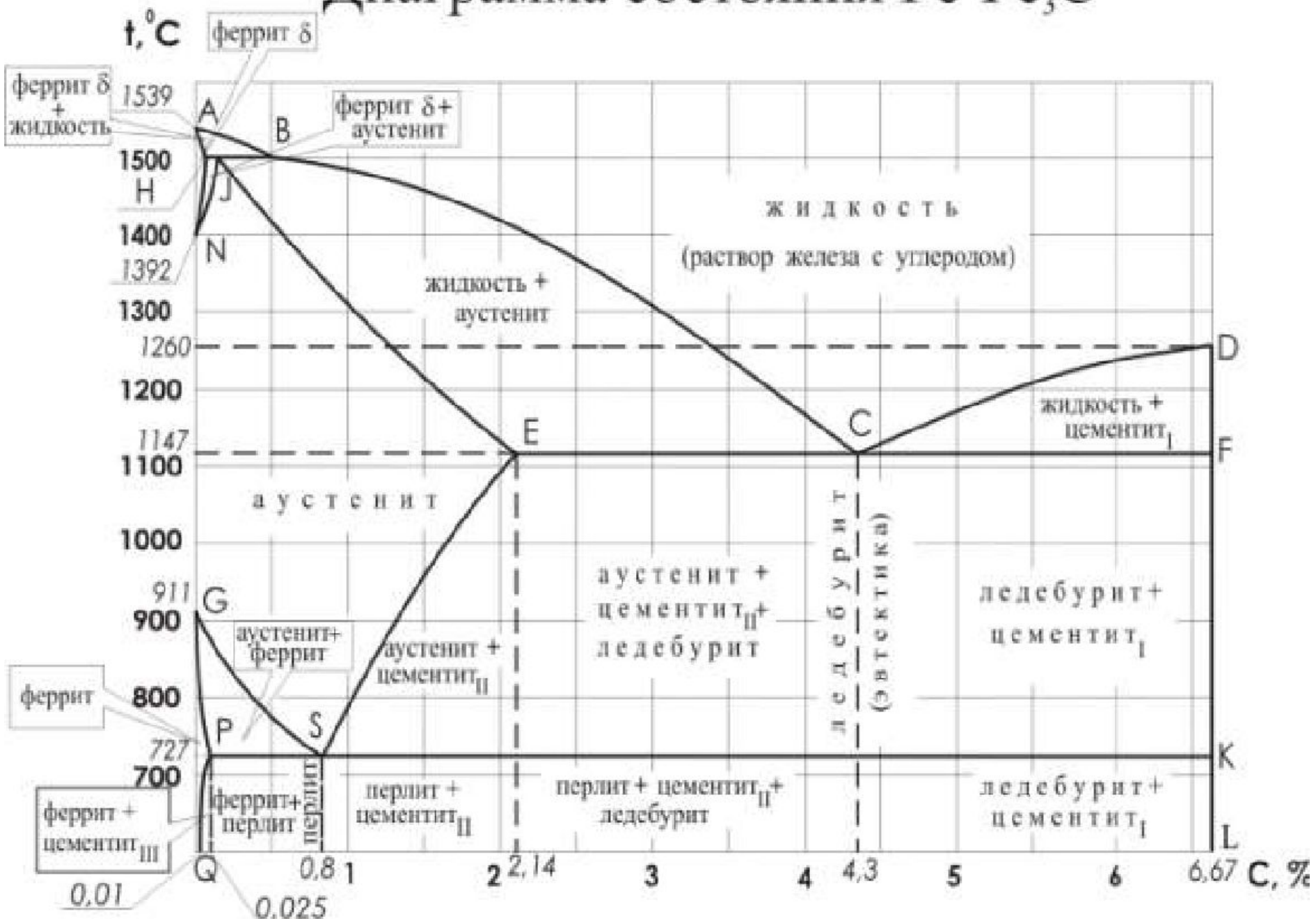
**Аустенит** твердый раствор углерода в  $\gamma$ -железе. Максимальное содержание углерода в аустените составляет 2,14 % (при температуре 1147 °С). Имеет твердость *HV*

220



- **Ледебурит** эвтектическая смесь аустенита с цементитом. Содержит 4,3 % углерода, образуется из жидкого сплава при температуре 1147 °С. При температуре 727 °С аустенит, входящий в состав ледебурита, превращается в перлит и ниже этой температуры ледебурит представляет собой механическую смесь перлита с цементитом.
- **Фаза цементита** имеет пять структурных форм: цементит первичный, образующийся из жидкого сплава; цементит вторичный, образующийся из аустенита; цементит третичный, образующийся из феррита; цементит ледебурита; цементит перлита.

# Диаграмма состояния Fe-Fe<sub>3</sub>C



# **Влияние углерода и примесей на свойства стали**

С повышением содержания углерода до 1,2% снижаются пластичность и вязкость стали и повышаются твердость и прочность.

Ковкость, свариваемость и обрабатываемость резанием ухудшаются, но литейные свойства улучшаются.

# Постоянные примеси

**Mn и Si** для раскисления (удаления оксида железа  $\text{FeO}$  и сернистых соединений). Содержание Mn < 0,8 %, а Si < 0,4 %. Марганец повышает прочность, а кремний упругость стали.

**Фосфор** растворяется в феррите, сильно искажает кристаллическую решетку, снижая пластичность и вязкость, но повышая прочность. Повышает температуру перехода стали в хрупкое состояние. Может распределяться в стали неравномерно. Содержание < 0,045 %.

**Сера** нерастворима и образует сульфид железа  $\text{FeS}$ , который располагается по границам зерен и делает сталь хрупкой при высоких температурах (красноломкость). S < 0,05 %.

**Водород, азот и кислород** содержатся в стали в небольших количествах. Они являются вредными примесями, ухудшающими свойства стали.

**Случайные примеси** (хром, никель, медь и др.)



# Классификация сталей.

*По содержанию углерода* низкоуглеродистые (до 0,25% С), среднеуглеродистые (0,25 — 0,7% С) и высокоуглеродистые (более 0,7% С).

*По назначению* конструкционные, инструментальные, специального назначения (нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.)

# Классификация и маркировка углеродистой стали

## 1) по химическому составу:

- низкоуглеродистые – до 0,25 %;
- среднеуглеродистые – 0,25–0,6%
- высокоуглеродистые – выше 0,6 %;

## 2) по качеству:

- обыкновенные (до 0,06 % S; 0,07 % P);
- качественные (до 0,035 % S; 0,035 % P);
- высококачественные (менее 0,025 % S; 0,025 % P);
- особовысококачественные (не более 0,015 % S; 0,025 % P).

# Маркировка

марки углеродистой стали

**обыкновенного** качества обозначают буквами и цифрами **Ст0, ..., Ст6**

**А** (в маркировке стали не указывается)

- гарантированные механические свойства;

**Б** - гарантируемые химические свойства;

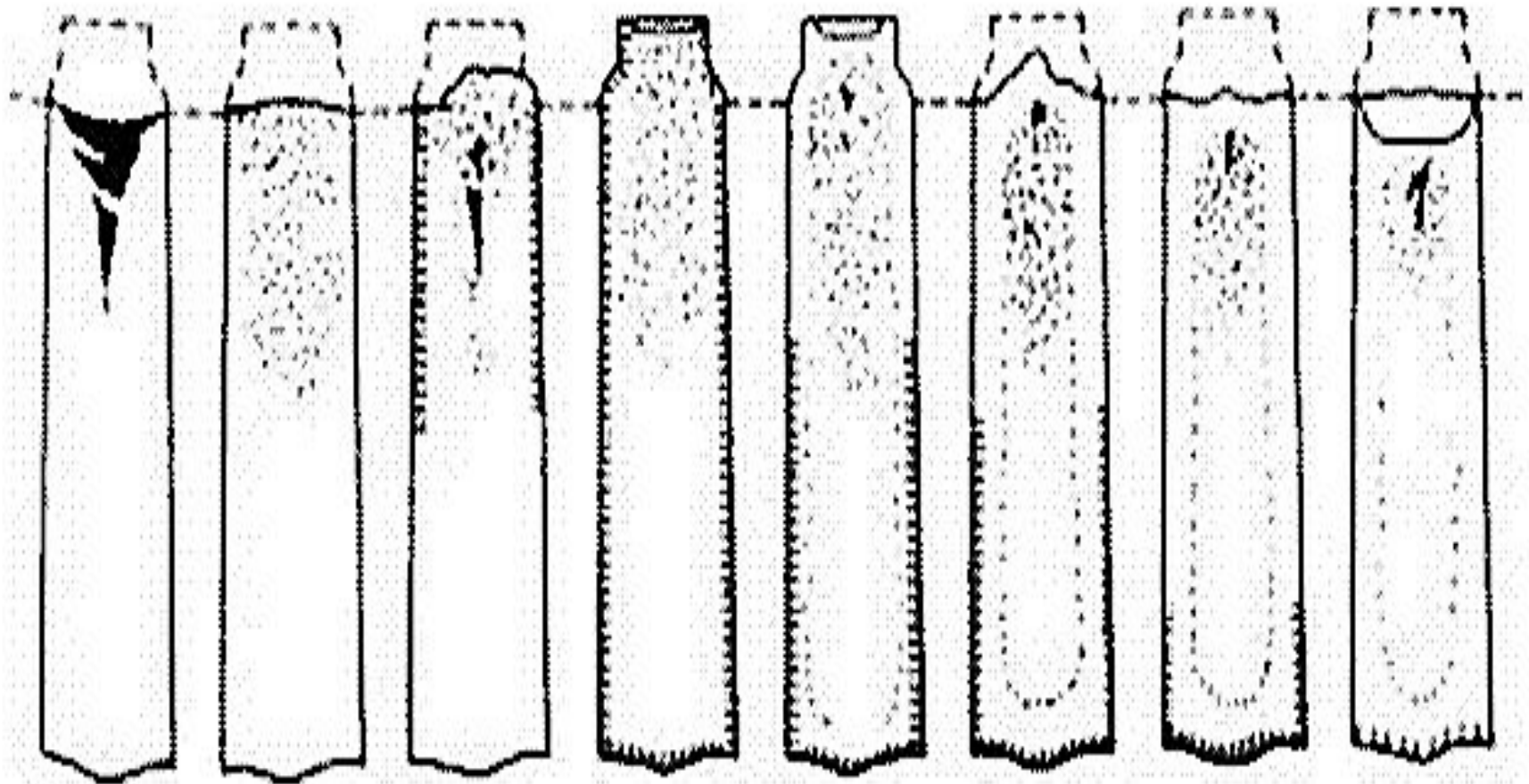
**В** - гарантируемые химические и механические свойства.

# Степень раскисления

- обозначается индексом, стоящим справа от номера марки: **КП** - кипящая сталь, **ПС** - полуспокойная сталь, **СП** - спокойная сталь,

Пример: сталь Ст1кп - сталь группы А, кипящая; БСт3СП - сталь группы Б, спокойная; ВСт5ПС - сталь группы В, полуспокойная и т.д.

# Степени раскисления



Спокойная

Полуспокойная

Capped steel

Кипящая



- К качественным углеродистым **инструментальным** сталям относится сталь марок У7 - У13. Изготавливают несложные по конфигурации режущие и измерительные инструменты.
- Более сложные инструменты из сталей марок У7А - У13А. Для прочности сталь закалывают в воде при температуре 770 – 810 °С.

**легированные** углеродистые стали маркируют цифрами и буквами.

Двухзначное число, стоящее в начале марки, соответствует среднему содержанию углерода в сотых долях процента.

Буквы указывают на наличие легирующих элементов: **Б - Nb, В - W, Г - Mn, Д - Cu, Е - Se, К - Co, М - Mo, Н - Ni, П - P, Р - B, С - Si, Т - Ti, Ф - V, Х - Cr, Ц - Zr, Ч – P3 элемент, Ю - Al.**

Число, стоящее после буквы, показывает примерное процентное содержание легирующего элемента. Отсутствие числа - среднее содержание 1,0 - 1,5 %.

# Конструкционные качественные стали:

1- низкоуглеродистые листовые стали (05кп, 08, 08кп, 10, 10кп) хорошо штампуются, хорошо свариваются (С мало). Для производства мало нагруженных деталей.

2 - (15, 20, 25) низкоуглеродистые стали - хорошо свариваются и обрабатываются резанием, для неответственных деталей машин, в деталях с повышенной износостойкостью (после цементации) и соответствующей термической обработки, но не подвергающихся высокой нагрузке.

3 - (самая значительная)  
среднеуглеродистые стали (30, 35, 40, 45, 50) - подвергающиеся термической обработке, хорошо обрабатываются на металлорежущих станках в отожженном состоянии, применяются в ответственных деталях.

4 - высокоуглеродистые стали (60, 65, 70, 75, 80, 85). После термической обработки приобретают высокую прочность, износостойкость и упругость

# Быстрорежущие стали

используют для изготовления режущего инструмента, используемого в оборудовании с высокими скоростями. В их состав входят карбидообразующие элементы такие, как ванадий, кобальт, молибден, хром, вольфрам.

В сталях марок P6, P9, P12, P18 цифра после буквы указывает на процентное содержание вольфрама (чем больше тем лучше).