

# **ОСНОВЫ МЕТАЛЛОВЕДЕНИЯ**

Часть 1

Доцент каф. 903

**ЗАДОРИНА Елена Николаевна<sup>©</sup>**

***Металл суть твердое,  
непрозрачное и светлое тело,  
которое на огне плавить и  
холодное ковать можно.***

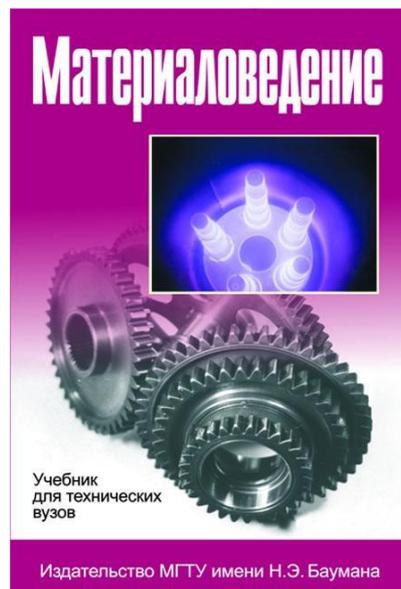
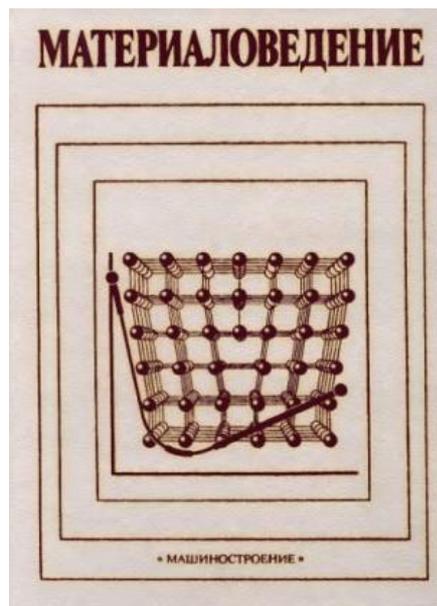
***М.В.Ломоносов***

# Литература

1. Строение и свойства авиационных материалов /  
под ред. Белова А.Ф., Николенко В.В. –  
М.: Металлургия, 1989.



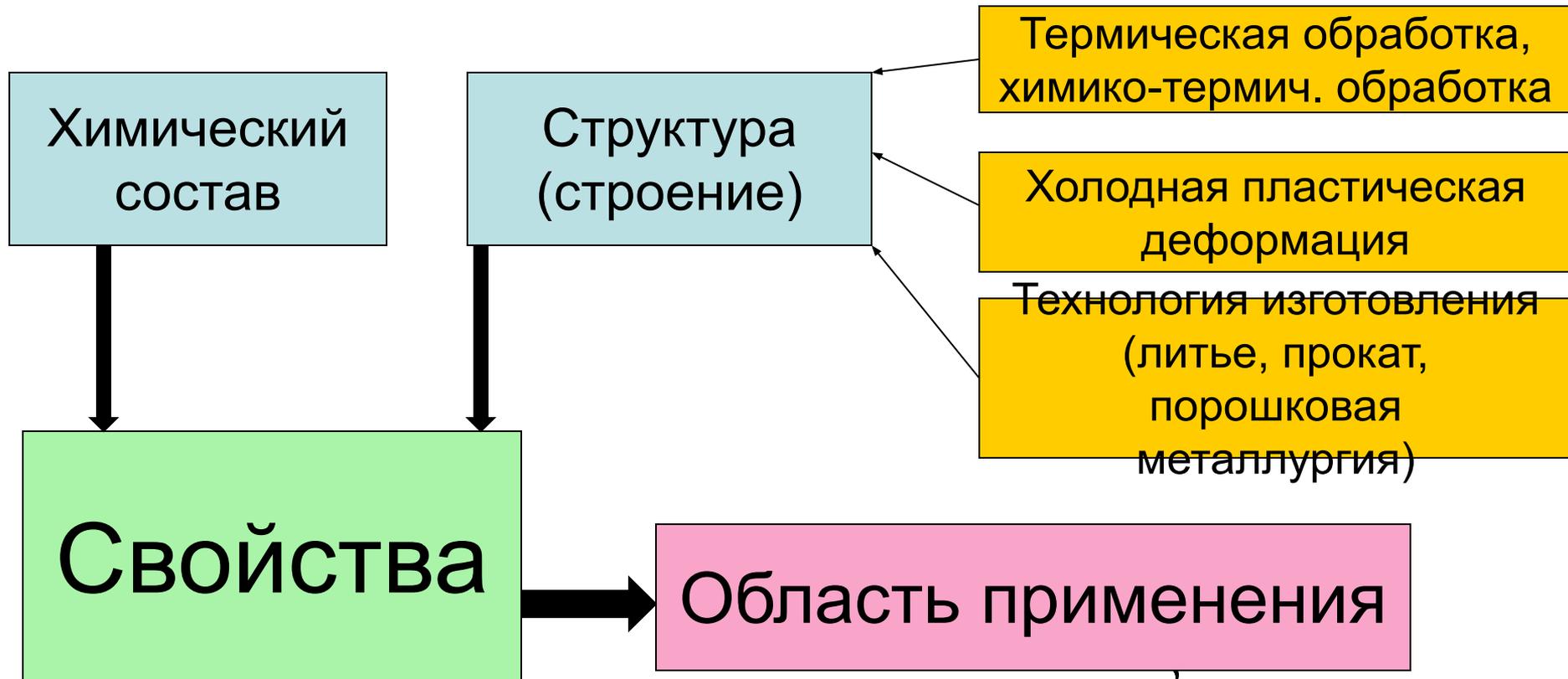
2. Арзамасов Б.Н. и др. Материаловедение. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2008.



3. Учебное пособие к лабораторным работам по металловедению. – М.: МАИ, разные годы издания

**Металловедение** – это прикладная наука, изучающая взаимосвязь состава, строения и свойств металлов и сплавов.

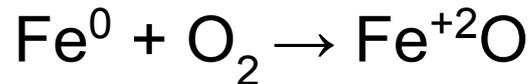
**Конструкционные материалы** и изделия из них применяются в определённых условиях эксплуатации.



# Отличительные особенности металлов

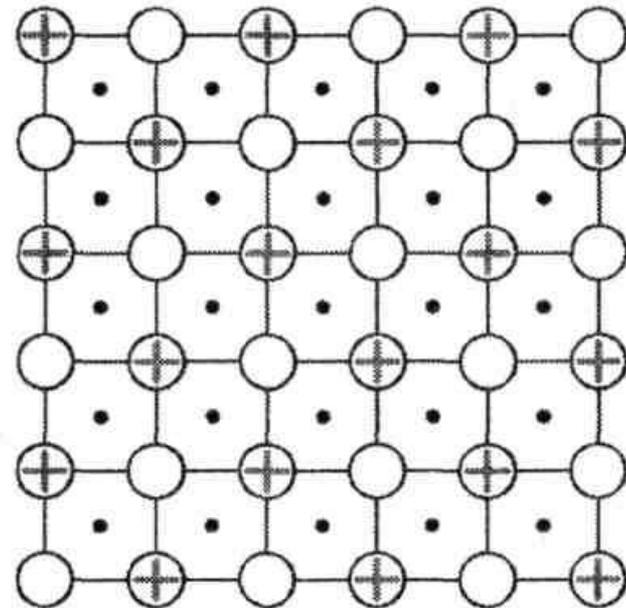
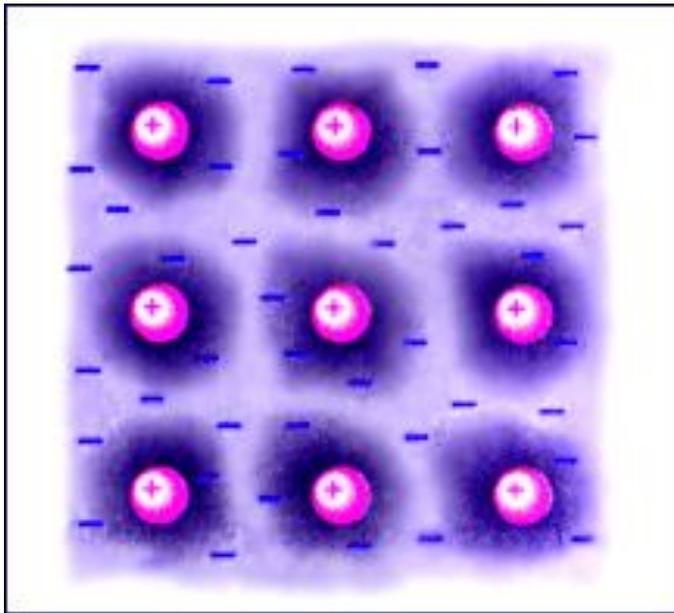
## 1. Наличие слабо связанных с ядром наружных электронов

Для металлов характерны процессы окисления  
– отдача электронов и повышение валентности

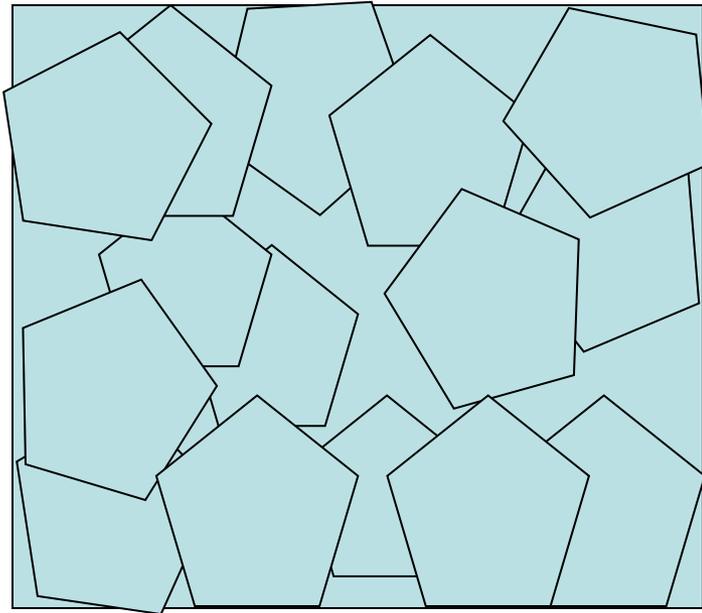


## 2. Металлический тип связи

В обобществлении принимают участие электроны всех атомов (в отличие от ковалентной связи)



### 3. Кристаллическая (поликристаллическая) структура (кристаллиты, зёрна)



Сегодня существуют аморфные и нанокристаллические металлы и сплавы

# Свойства металлов

1. Способность к пластической деформации
2. Возрастание прочности при введении элементов, вызывающих частично ковалентные связи
3. Высокая электропроводность, повышающаяся с понижением температуры (при  $T \rightarrow 0$ ,  $\rho \rightarrow 0$ )
4. Высокая теплопроводность

# Кристаллическое строение металлов

Правильное, закономерное расположение частиц (атомов, молекул) в пространстве характеризует кристаллическое состояние. Поэтому в физике кристаллическое и твердое состояние – синонимы.

Кристаллическое состояние можно представить в виде пространственной решетки, в узлах которой расположены атомы. Ее называют **кристаллической решеткой**.

## Элементарная кристаллическая

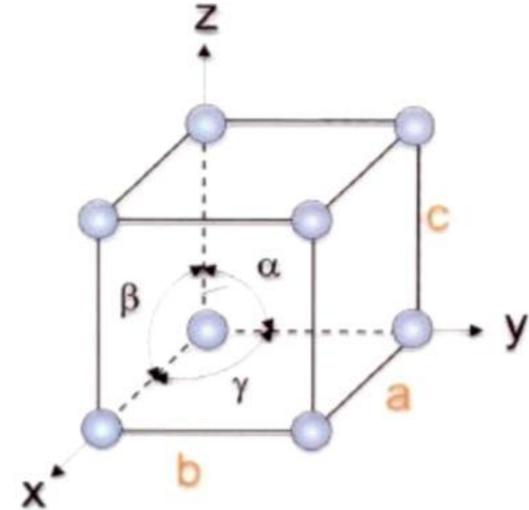
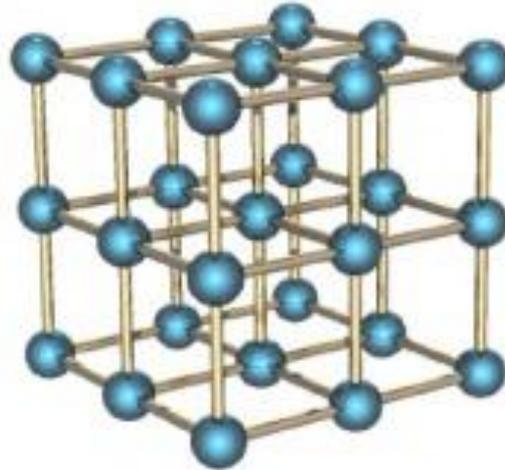
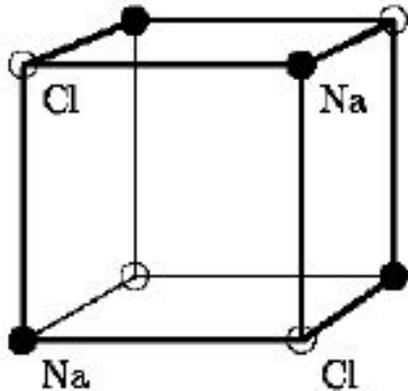
ячейка – наименьший комплекс атомов, который при многократном повторении позволяет воспроизвести пространственную кристаллическую решетку.

Принятое изображение кристаллических решеток – условно.

Для однозначной характеристики решетки надо знать ее параметры: три ребра ( $a$ ,  $b$ ,  $c$  – периоды решетки) и три угла между осями ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

Используют и другие характеристики.

# Простая кубическая решетка - ПК

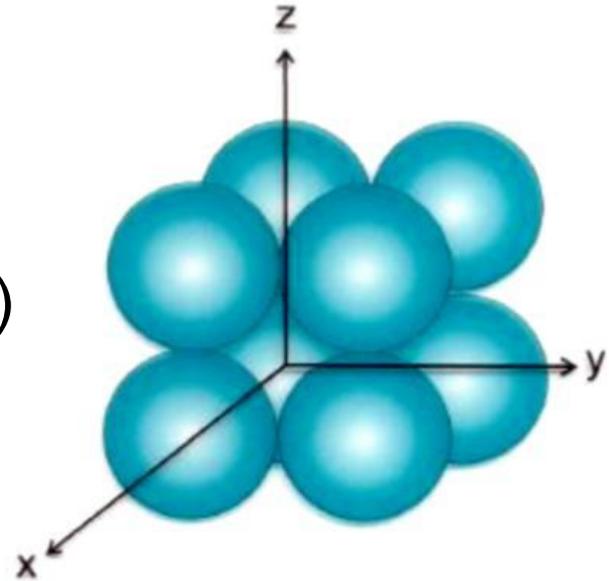


- 1)  $a = b = c$  – периоды решетки (отрезки, которые решетка отсекает на осях);
- 2)  $\alpha = \beta = \gamma = 90^\circ$  (углы, образованные с плоскостями  $XOZ$ ,  $YOZ$  и  $XOY$  соответственно);
- 3) **К6** – координационное число (число ближайших равноудаленных атомов);
- 4) **Число частиц** на элементарную ячейку =  $8 \cdot 1/8 = 1$

5) **Коэффициент компактности** (плотность упаковки, т. е. отношение объема, занятого атомами, ко всему объему ячейки) – 0,52

6) **Атомный (ионный) радиус**  
(половина наименьшего расстояния между частицами)

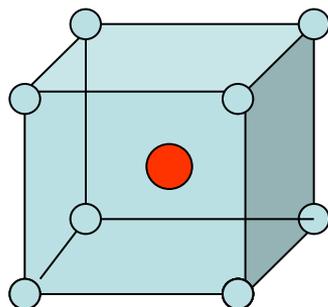
$$r_{\text{ат}} = a/2$$



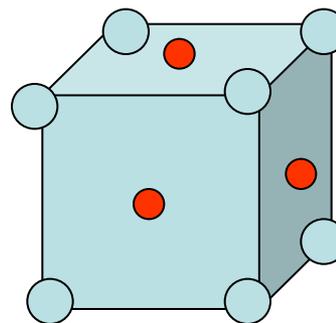
Примеры: Fe, Cu, Po, NaCl

# ДРУГИЕ ТИПЫ КРИСТАЛЛИЧЕСКИХ ЯЧЕЕК

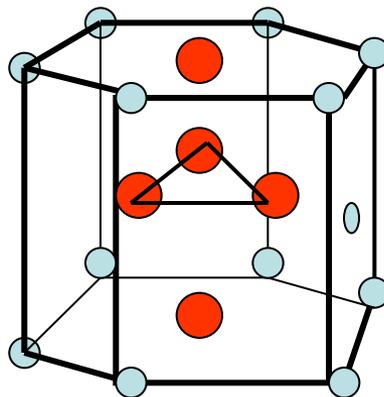
ОЦК – объёмноцентрированная  
кубическая



ГЦК – гранецентрированная  
кубическая



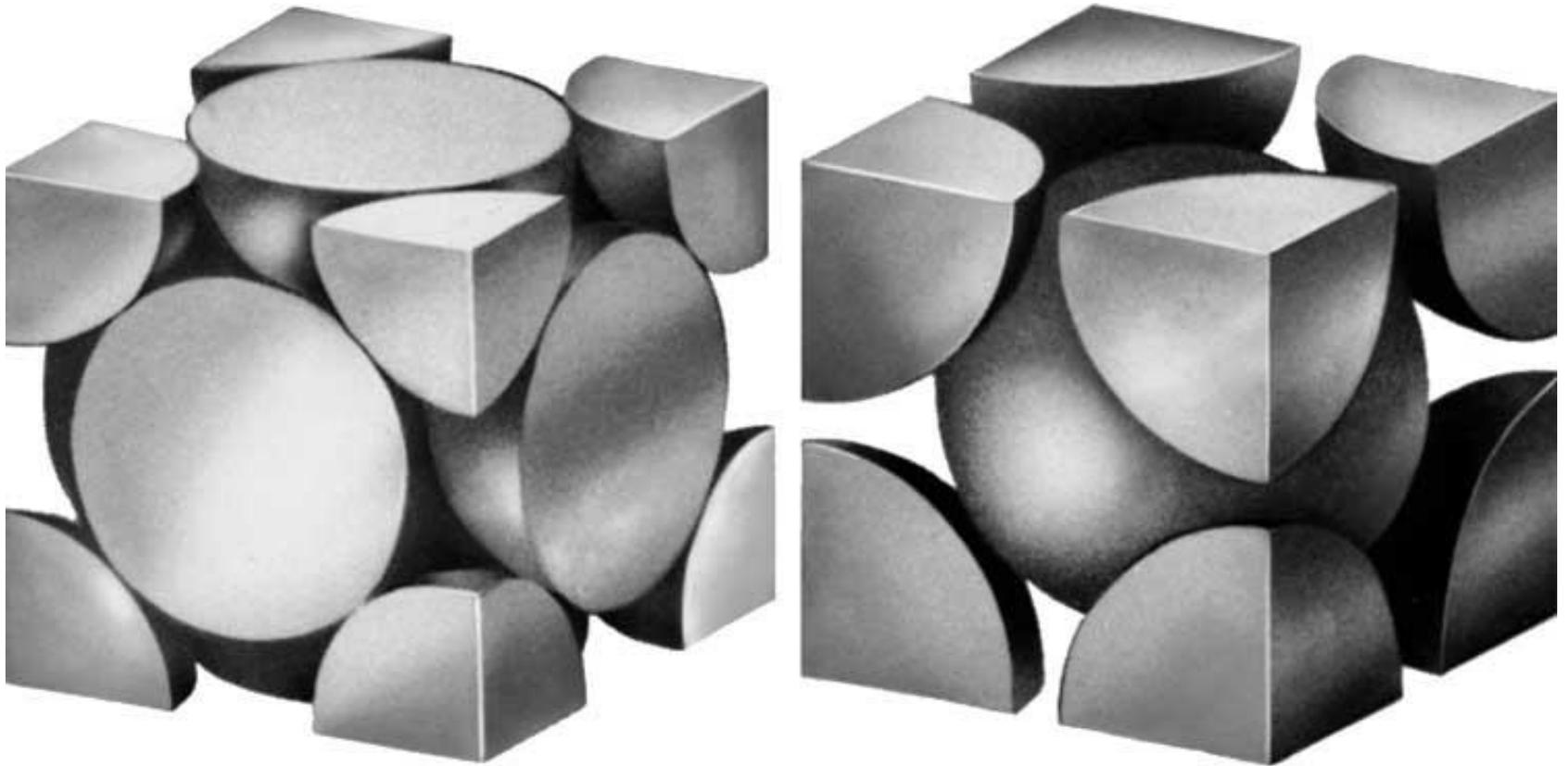
ГПУ - гексагональная плотноупакованная



# Основные типы кристаллических решеток металлов

	Периоды $a, b, c$	Углы $\alpha, \beta, \gamma$	Коорд. число	Число частиц	Кэфф. компакт.	$r_{ат}$
<b>ПК</b> Fe, Po	$a=b=c$	$90^\circ$	K6	1 $1/8 \cdot 8$	0,52	$a/2$
<b>ОЦК</b> Na, K, V, Nb, Cr, Mo, W, Ti, Fe <sub><math>\alpha</math></sub>	$a=b=c$	$90^\circ$	K8	2 $1/8 \cdot 8 + 1$	0,68	$\frac{a\sqrt{3}}{4}$
<b>ГЦК</b> Ag, Au, Pt, Cu, Al, Pb, Ni, Fe <sub><math>\gamma</math></sub>	$a=b=c$	$90^\circ$	K12	4 $1/8 \cdot 8 + 1/2 \cdot 6$	0,74	$\frac{a\sqrt{3}}{4}$
<b>ГПУ</b> Be, Mg, Zn, Cd	$a=b \neq c$	$\alpha, \beta = 90^\circ$ $\gamma = 120^\circ$	Г12	6 $1/6 \cdot 12 + 1/2 \cdot 2 + 3$	0,74	$a/2$

# К расчету координационного числа ГЦК и ОЦК решеток



**Полиморфизм** (аллотропия) – способность металла при разных температурах (давлениях) существовать в состояниях с разной кристаллической структурой. Существует та кристаллическая модификация, для которой при данной температуре свободная энергия (энергия Гиббса)  $G$ , то есть

$$G = H - TS = \min,$$

где  $H$  – энтальпия,  $S$  – энтропия,  $T$  – температура.

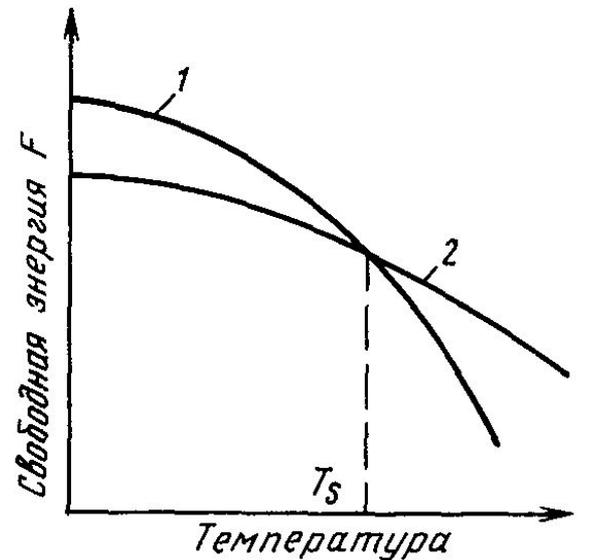
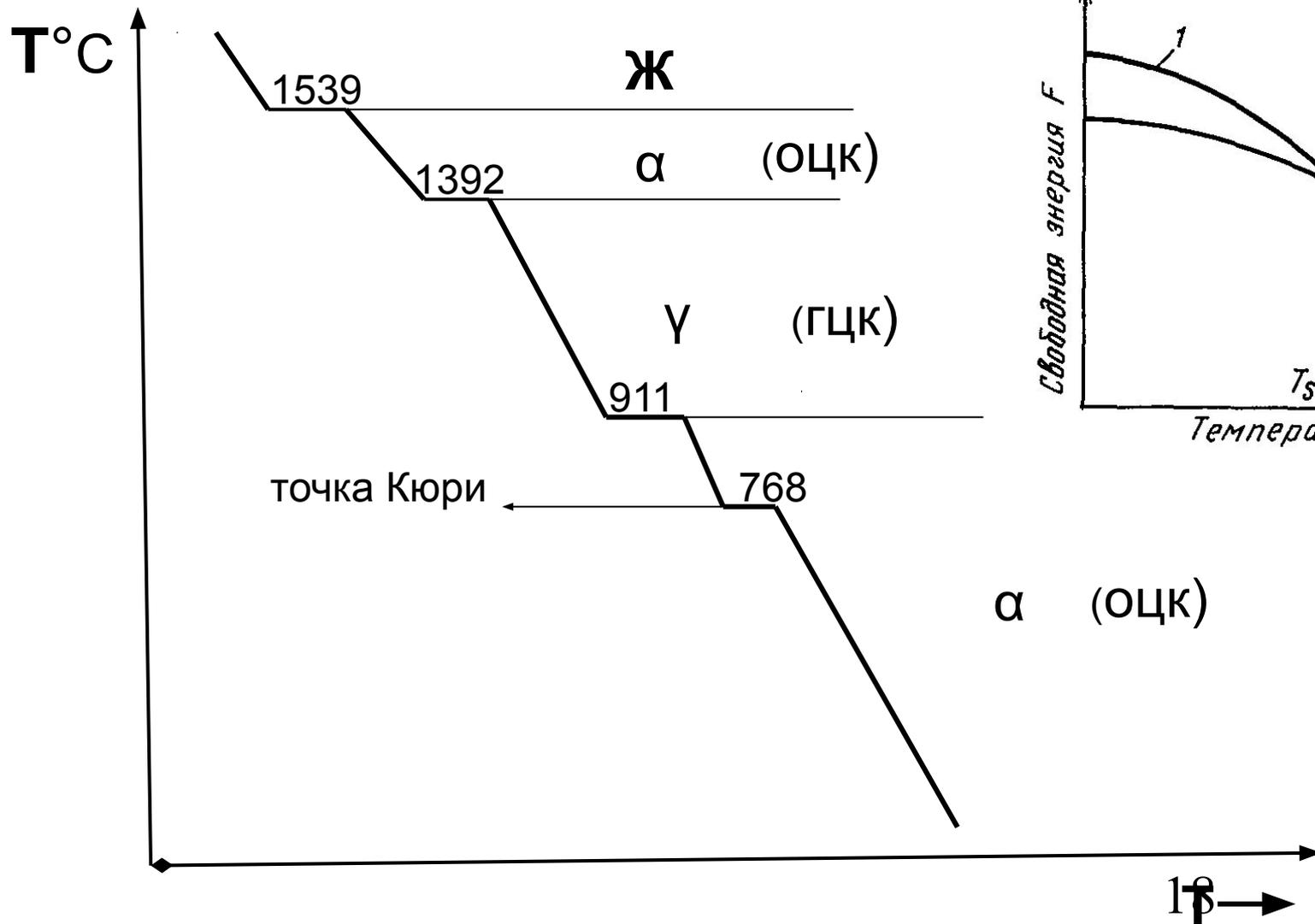
**Изоморфизм** – существование у разных металлов одинаковой кристаллической структуры.

**Анизотропия** – различие свойств в различных направлениях.

**Изотропия** – свойства вещества во всех направлениях одинаковы.

**Металлы квазиизотропны**, так как имеют **поликристаллическую структуру**.

# Полиморфизм (аллотропия) железа



1 - ОЦК  
2 - ГЦК

# Реальное строение металлических кристаллов

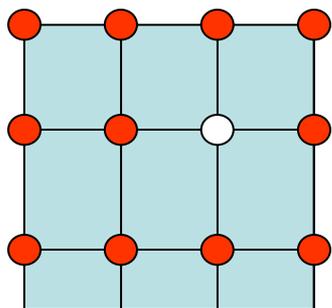
- Строение металлов является поликристаллическим.
- Кристаллы неправильной формы в металле называют **зернами** (кристаллитами).

Ориентация кристаллической решетки в зерне случайна. При холодной обработке давлением возникает **текстура** – преимущественная ориентировка зерен.

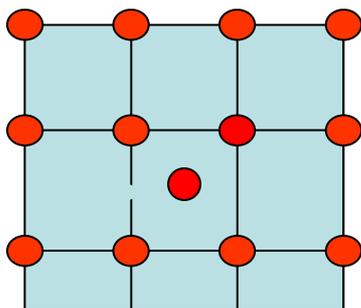
# Виды кристаллических дефектов

1. Точечные (размеры совпадают с межатомными расстояниями):
  - вакансия;
  - межузельный атом;
  - примесный атом внедрения;
  - примесный атом замещения.
2. Линейные (размер в одном из трех направлений соизмерим с размером кристалла):
  - дислокации (краевые и винтовые)
3. Поверхностные (малы только в одном направлении)

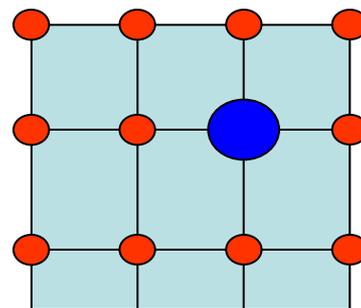
# I. Точечные дефекты кристаллического строения:



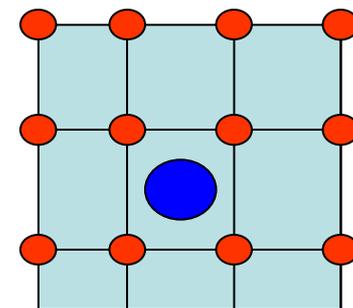
**вакансия**



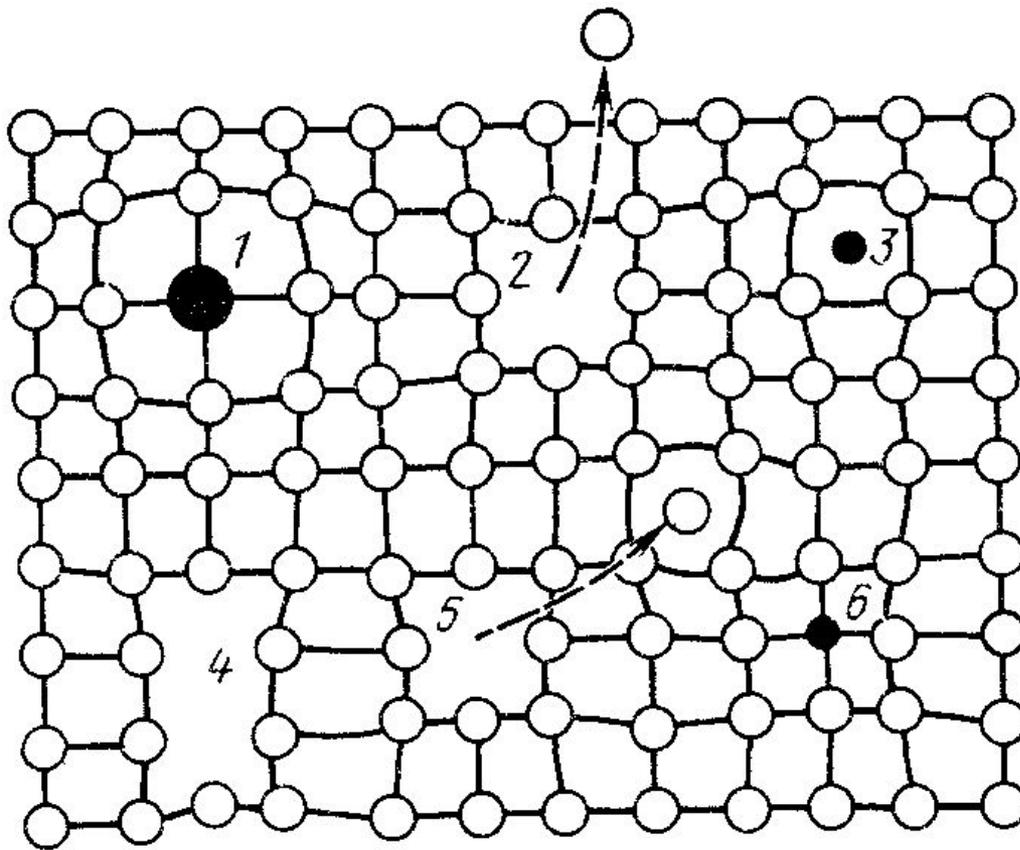
**межузельный  
атом**



**примесный атом  
замещения  
(твердый раствор  
замещения)**



**примесный атом  
внедрения  
(твердый раствор  
внедрения)**



1, 6 – Примесные атомы замещения

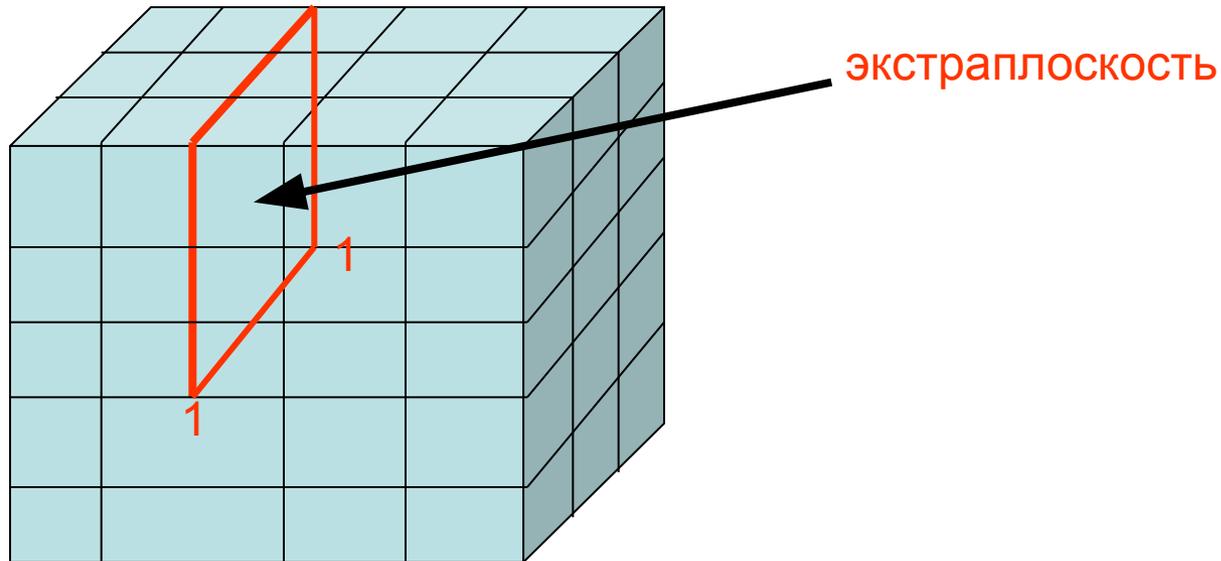
2, 4 – Вакансия и дивакансия (дефект по Шоттки)

3 – Примесный атом внедрения

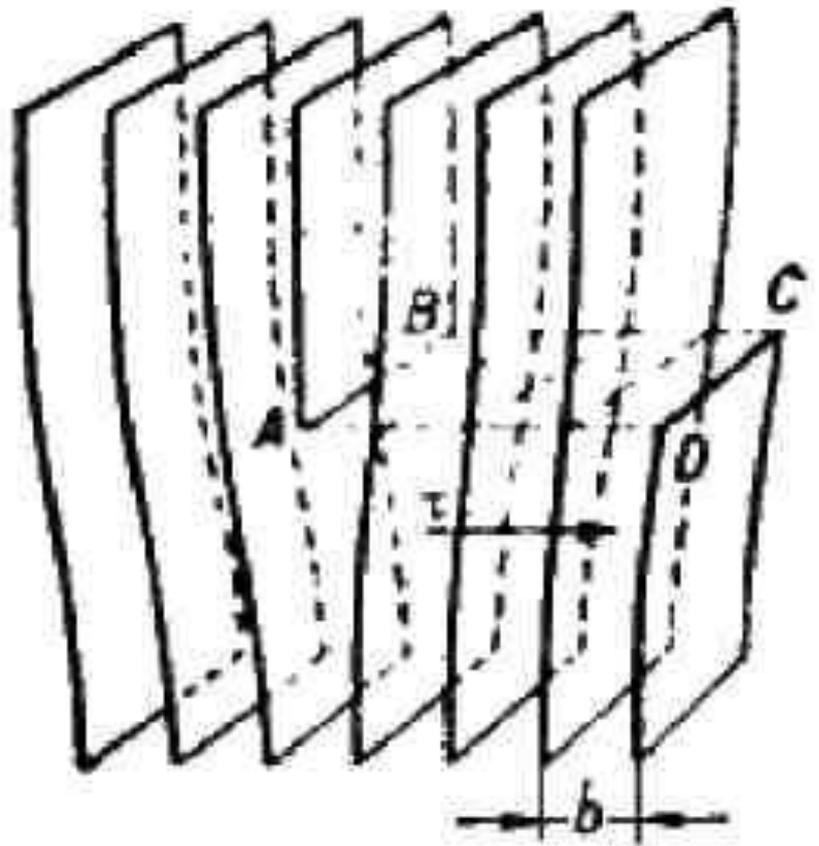
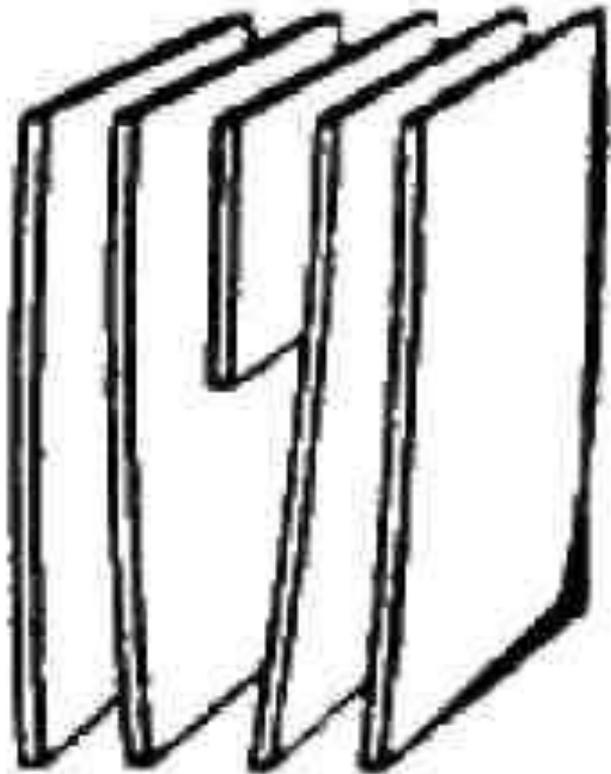
5 – Дефект по Френкелю (пара Френкеля) – дефект из вакансии и межузельного атома

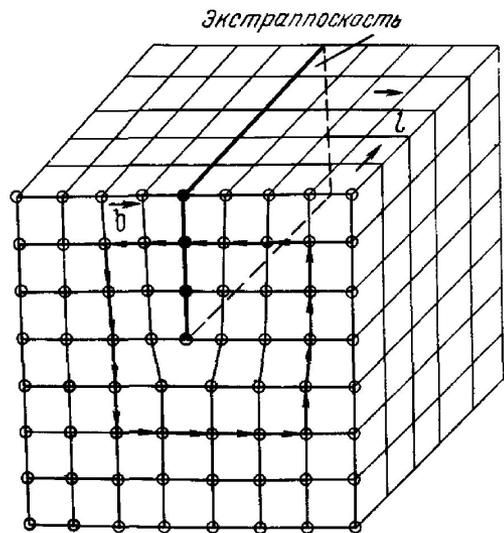
## II. Линейные дефекты кристаллической решетки

- краевая дислокация.



Край экстраплоскости образует линейную дислокацию **1 - 1**



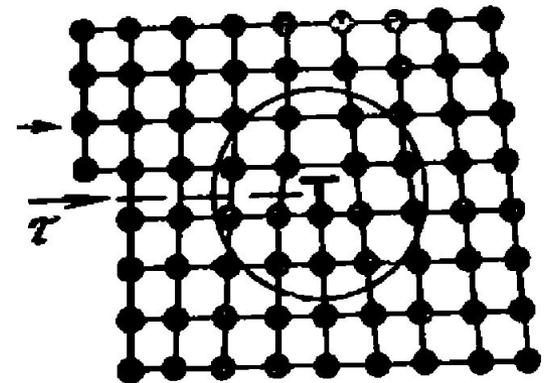
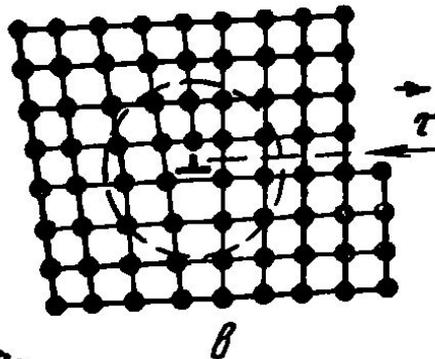
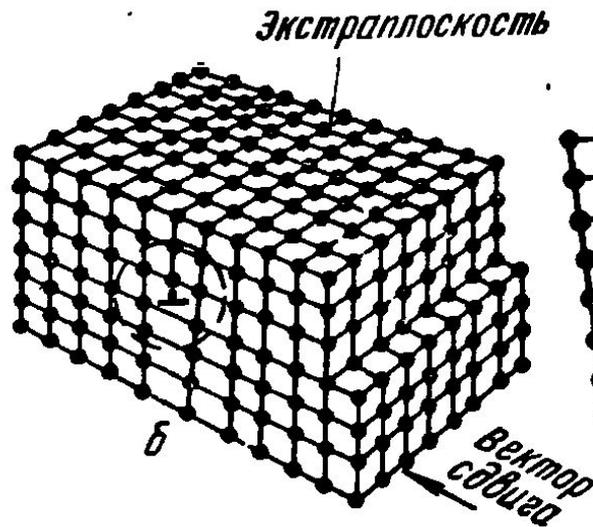


а – Линейное несовершенство вдоль нижнего края экстраплоскости называется **дислокацией**.

б – Сдвиг, создавший краевую дислокацию

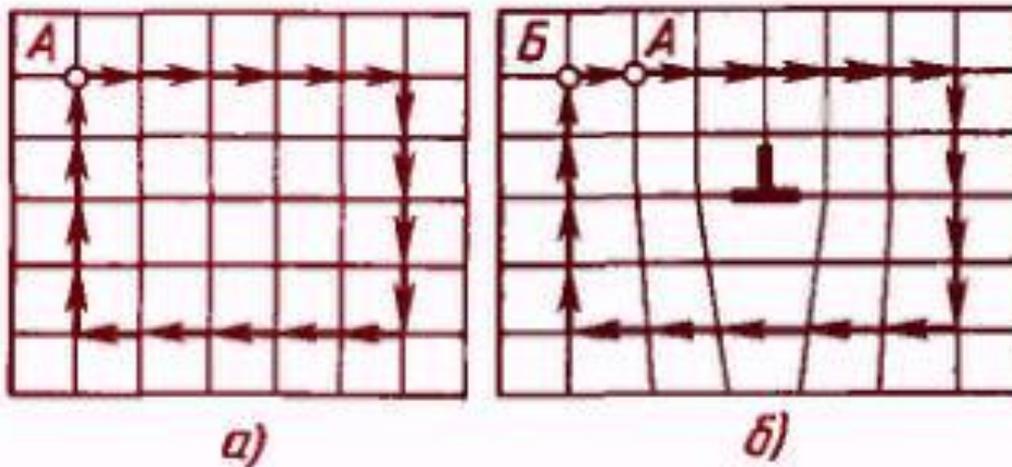
в, г – Положительная ( $\perp$ ) и отрицательная ( $\top$ ) экстраплоскости и области искажений (ниже и выше экстраплоскости).

а



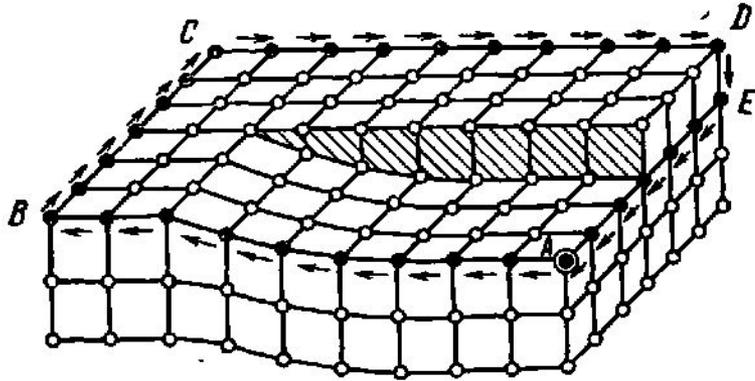
г

**Вектор Бюргерса** – количественная характеристика дислокации, то есть искажения кристаллической решетки.

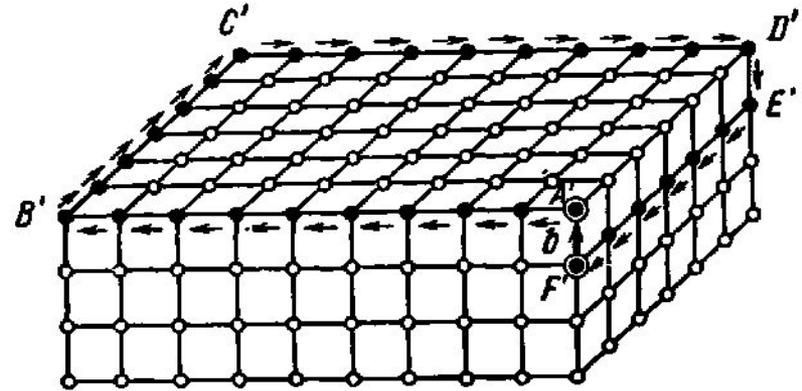


Вектор Бюргерса  $b$  замыкает произвольный контур в реальном кристалле, который был бы замкнутым в идеальном кристалле. Величина и направление вектора не зависят от размеров контура Бюргерса и выбора точки начала контура, а полностью определяются видом дислокации. У **краевой дислокации** вектор Бюргерса равен межатомному расстоянию и **перпендикулярен** дислокационной линии, у **винтовой дислокации** — **параллелен** ей.

# • Винтовая дислокация



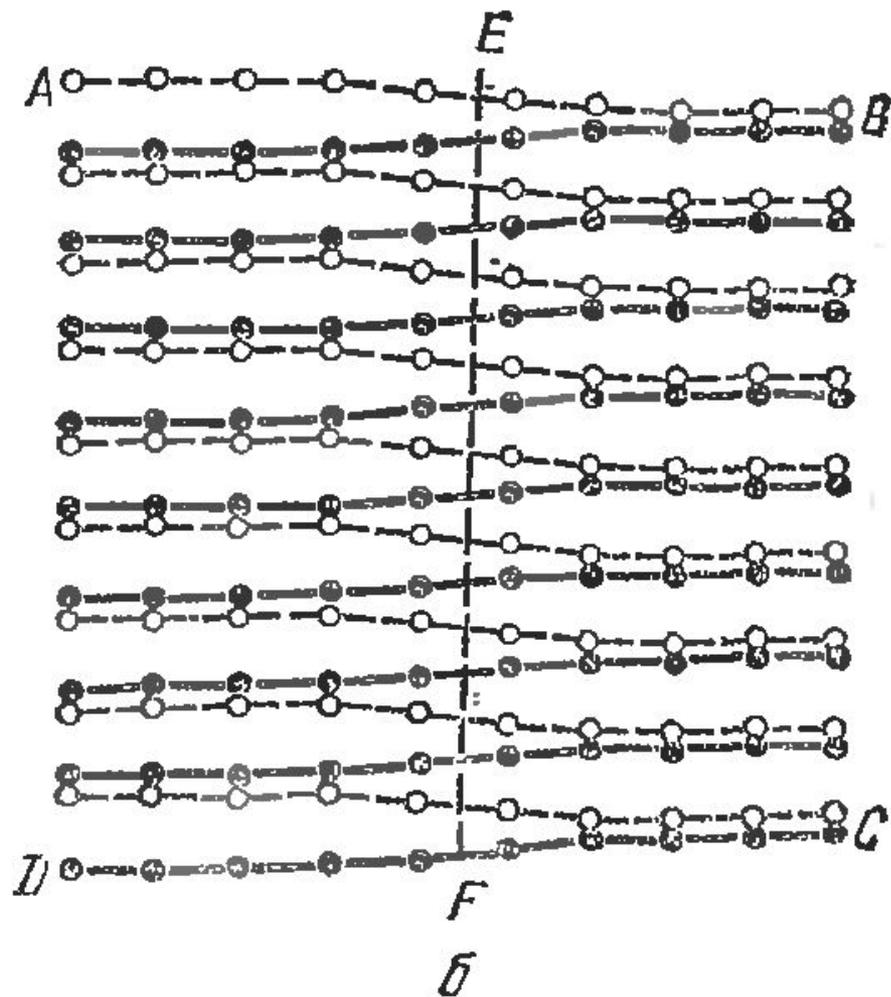
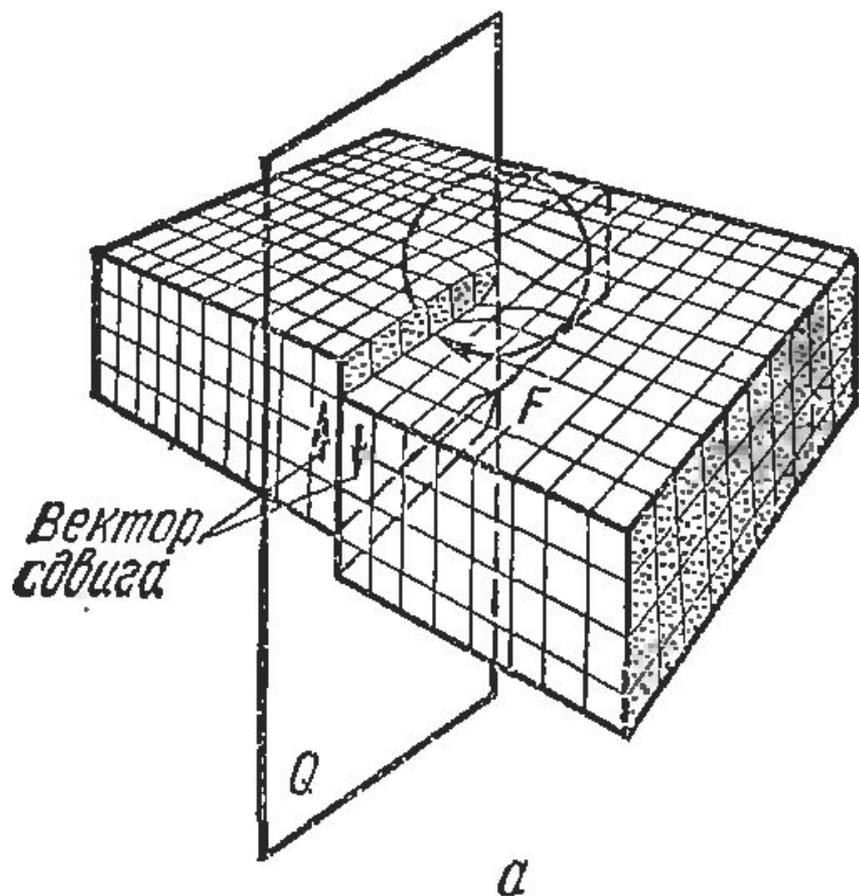
а



б

**Винтовая** дислокация возникает, если произвести сдвиг в вертикальной плоскости (а).

Вектор Бюргерса параллелен плоскости сдвига (б).



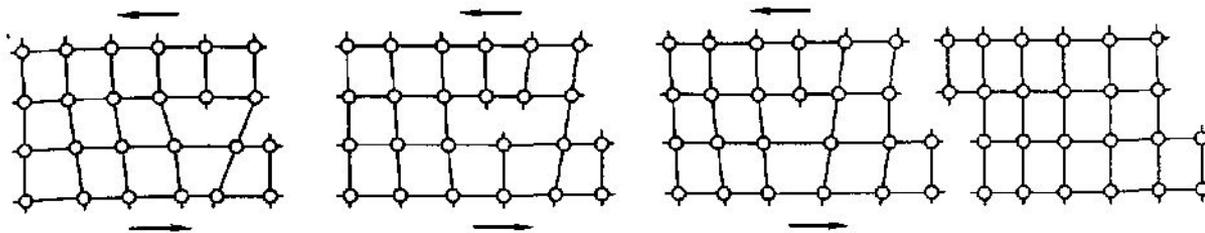
Пространственная модель образования винтовой дислокации в результате неполного сдвига по плоскости  $Q$  (а) и расположение атомов в области Винтовой дислокации (б)

# Виды движения дислокаций

- **Скольжение** – атомы перемещаются в одной атомной плоскости.

Это механизм пластической деформации металлов. Перемещаются не атомы, а условные экстраплоскости.

Этот механизм объяснил низкую прочность реальных металлов.



- **Переползание** – атомы перемещаются в другие атомные плоскости. При этом могут возникать вакансии (экстраплоскость укорачивается) или происходит увеличение числа атомов (экстраплоскость удлиняется)

**Плотность дислокаций  $\rho$**  - суммарная длина дислокаций в единице объема металла:

$$\rho = \Sigma L / V \text{ [см}^{-2}\text{]}, \text{ где}$$

$\Sigma L$  – суммарная длина всех дислокаций, см

$V$  – объем металла, см<sup>3</sup>

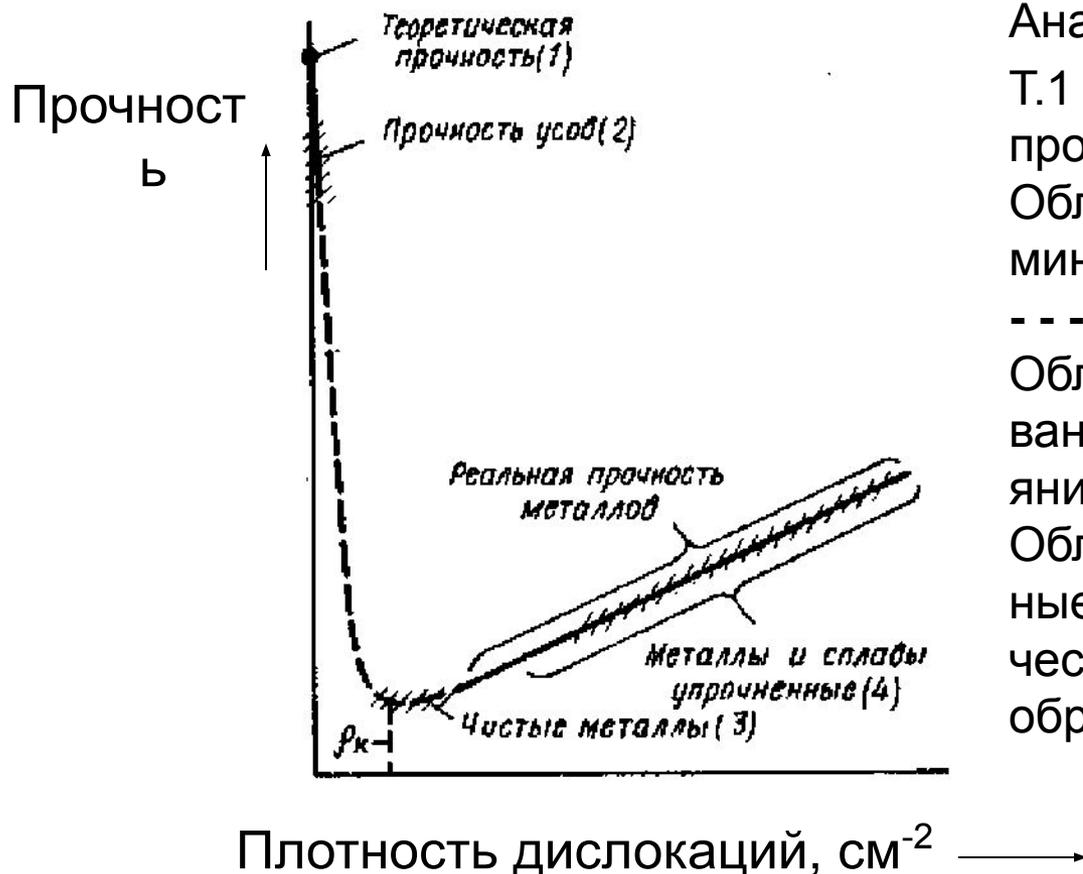
Легкое перемещение дислокаций приводит к снижению прочности металла.

Затруднение перемещения дислокаций соответствует упрочнению.

Барьеры на пути движения дислокаций:

- границы зерен
- частицы упрочняющих фаз
- сами дислокации мешают друг другу перемещаться

# Зависимость прочности металлических кристаллов от плотности дислокаций. Кривая Бочвара-Одинга.



Анализ кривой Бочвара-Одинга:

Т.1 – теоретическая (расчетная) прочность

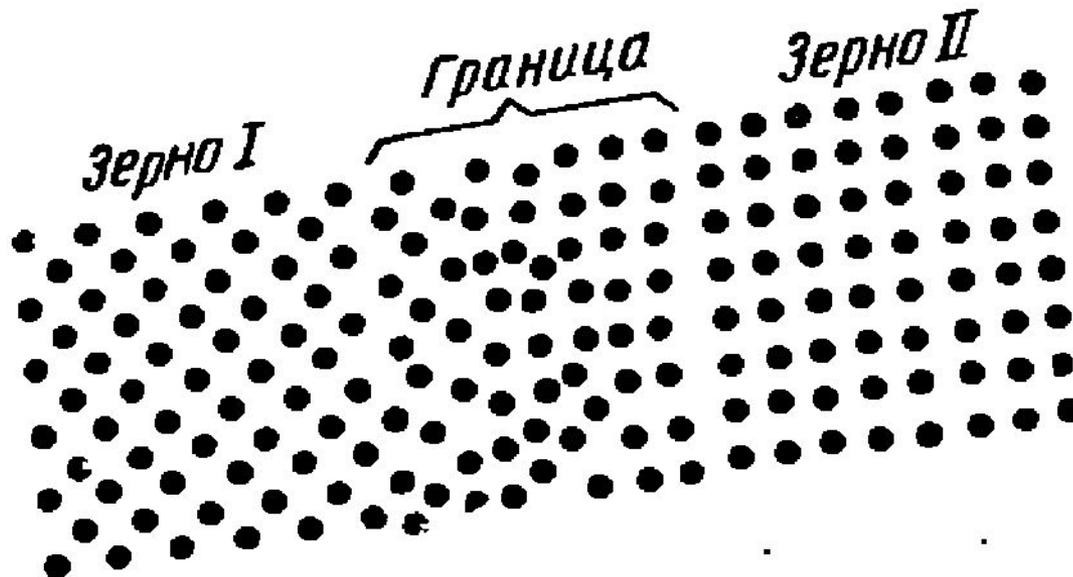
Обл.2 – нитевидные кристаллы с минимальным количеством дефектов  
- - - - - на практике не реализуется

Обл.3 – технически чистые, нелегированные металлы в отожженном состоянии

Обл.4 – металлы и сплавы, упрочненные легированием, холодной пластической деформацией, термической обработкой

# III. Поверхностные дефекты

- Высокоугловые границы – границы между зернами. Содержат большое количество дефектов. Ширина 1-5 нм. Угол разориентировки более  $10^\circ$ .



- Малоугловые границы – границы между субзернами. Образованы стенками дислокаций. Угол разориентировки  $\alpha$  менее  $10^\circ$ .

