



Омский государственный технический университет  
каф. Технология электронной аппаратуры

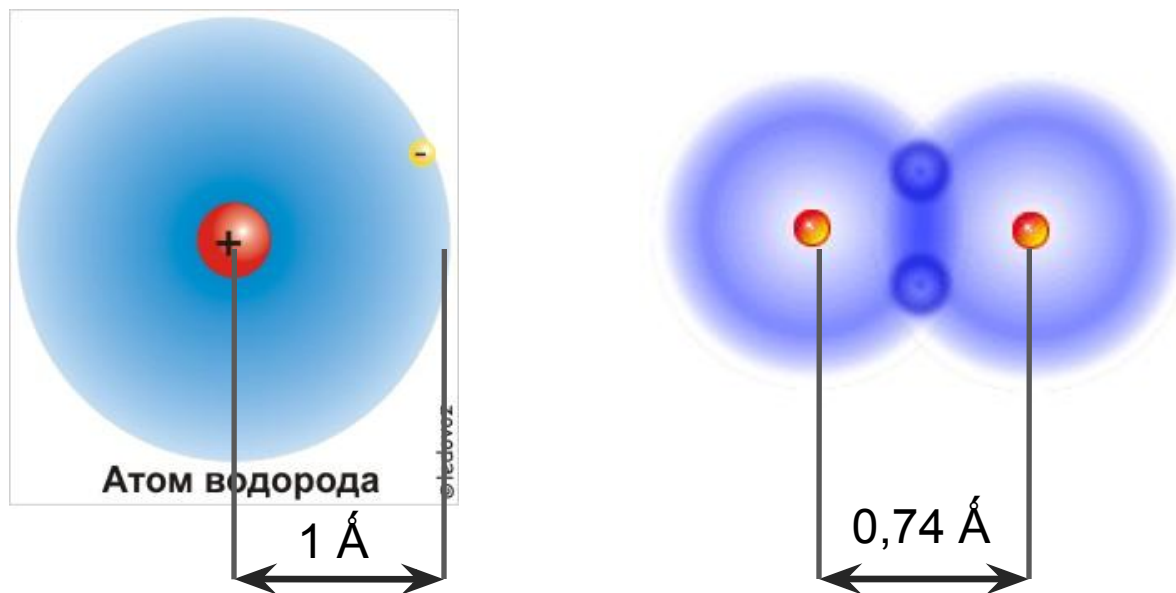
Дисциплина  
**Радиоматериалы и радиокомпоненты**

Лекция 2. Строение и структура  
материалов

Ст. преп. Пономарёв Д.Б.

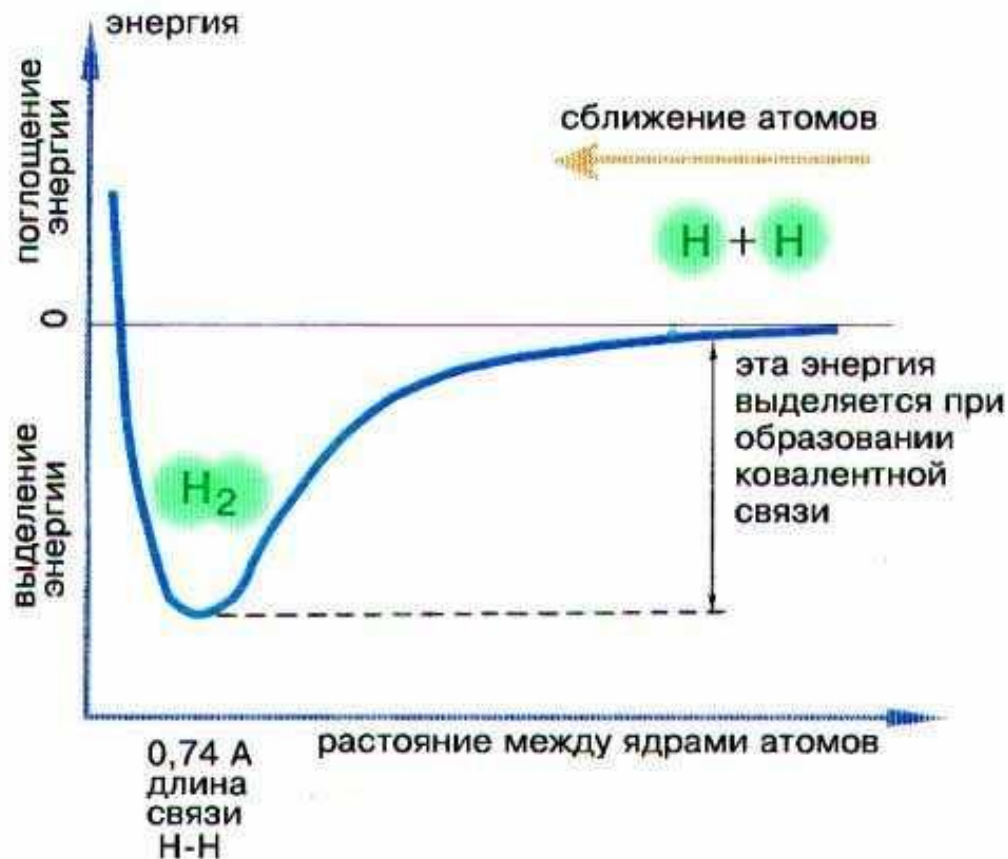


## 2.1. Виды химической связи



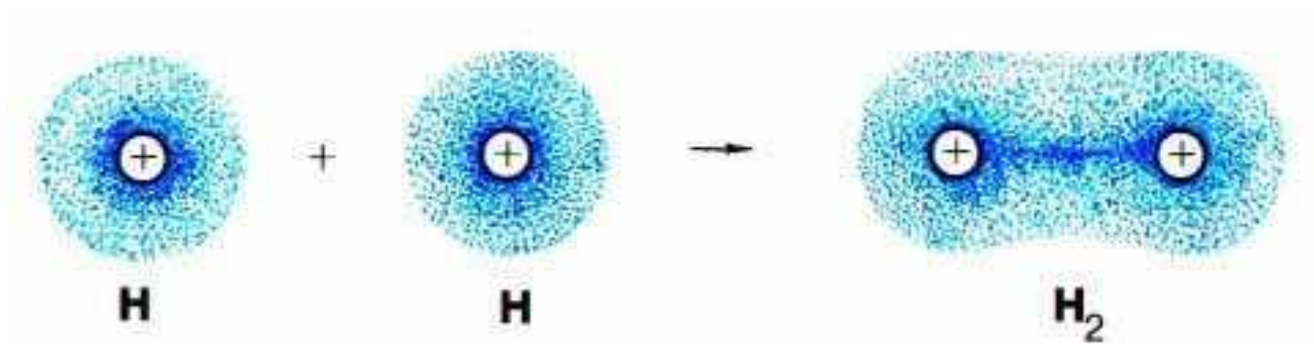
При сближении атомов до расстояния нескольких долей нанометра ( $1\text{ нм} = 10^{-9}\text{ м} = 10\text{ \AA}$ ), между ними появляются *силы взаимодействия*. Если эти силы являются *силами притяжения*, то атомы могут соединяться с выделением энергии, образуя химические соединения.

# Закон о минимуме потенциальной энергии



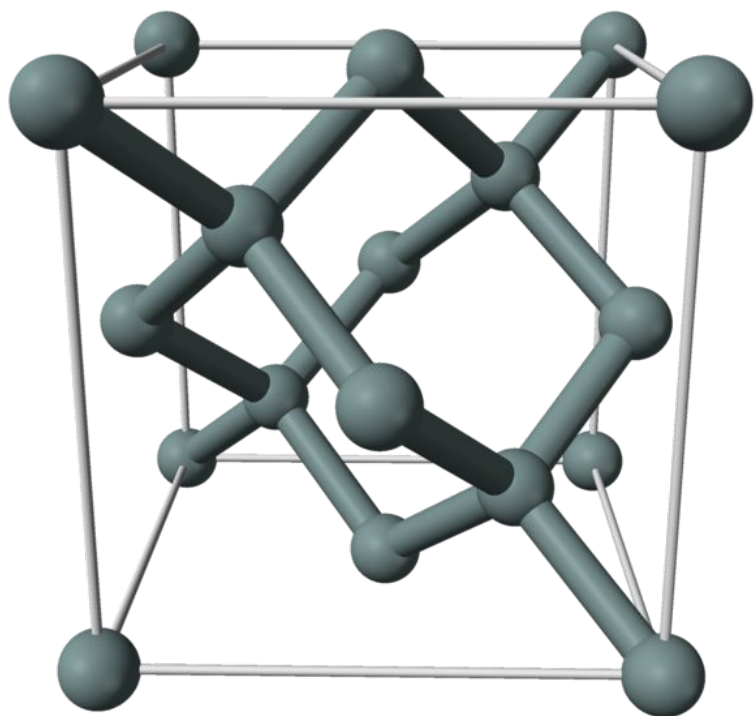
Кривая изменения потенциальной энергии при взаимодействии двух атомов водорода с образованием молекулы водорода. Принято говорить, что электроны *обобществлены*.

## 1) Ковалентная (гомеополярная) связь



Образована атомами с одинаковой электроотрицательностью.

Объединение атомов в молекулу достигается за счет электронов, которые становятся общими для пар атомов.



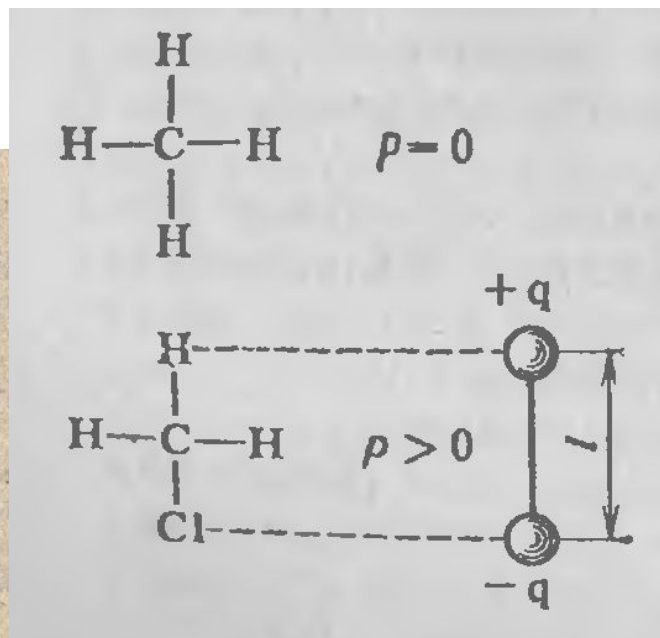
Ковалентная связь характерна как для органических, так и для неорганических соединений. К неорганическим веществам с ковалентной связью относятся алмаз, кремний, германий, арсенид галлия (GaAs), карбид кремния (SiC) и другие, являющиеся полупроводниками.

## Ковалентная неполярная связь

-центры положительных и отрицательных зарядов совпадают.

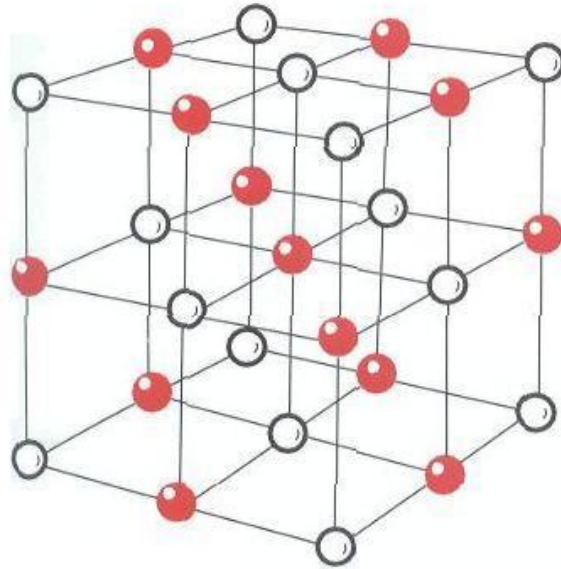
## Ковалентная полярная (дипольная) связь

- центры положительных и отрицательных зарядов не совпадают и находятся на некотором расстоянии друг от друга.



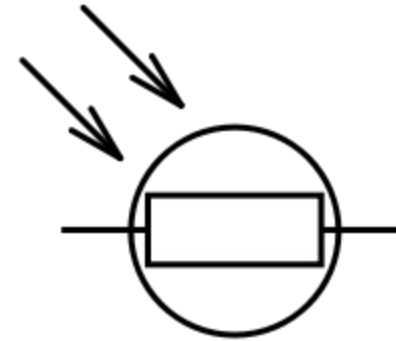
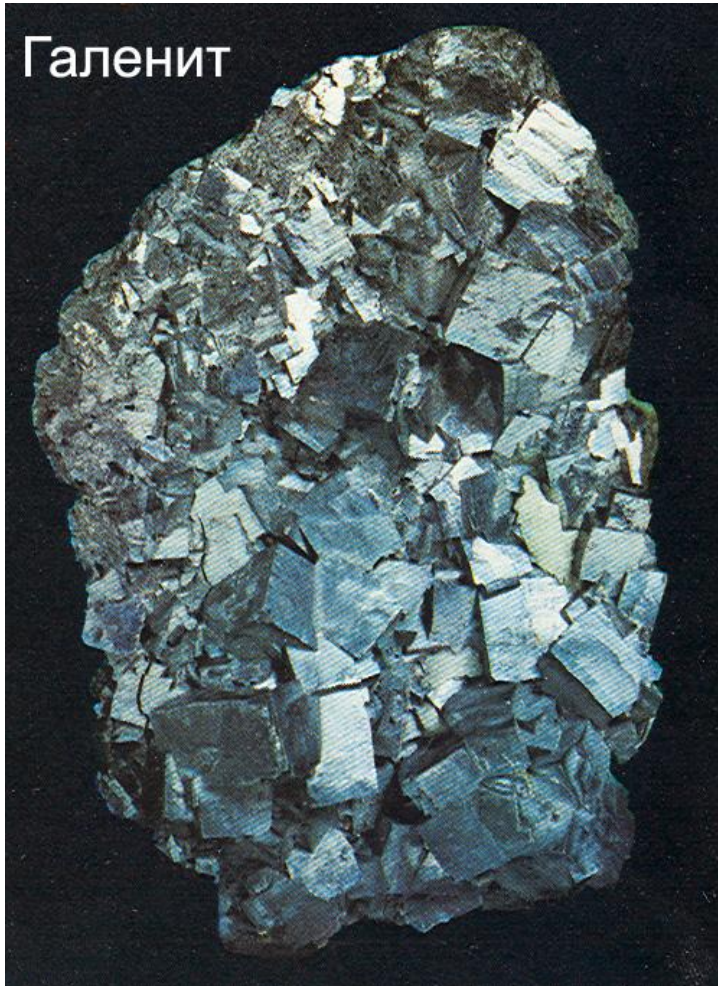


## 2) Ионная (гетерополярная) связь



Наблюдается в химических соединениях атомов металла с металлоидными атомами (типа NaCl). Ионная связь возникает вследствие перехода валентных электронов от металлоидного атома к металлоидному и возникновения электростатического притяжения разноименно заряженных атомов друг другу.

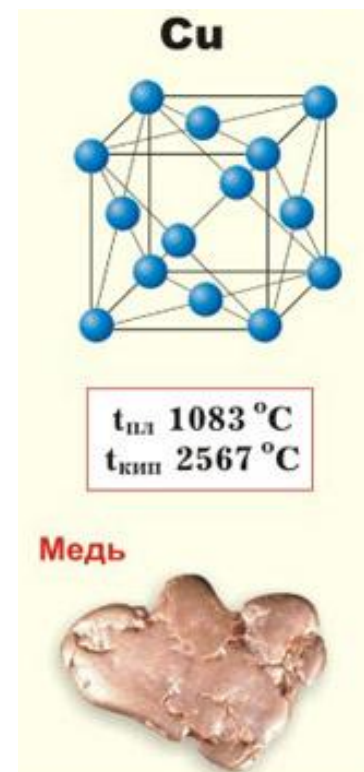
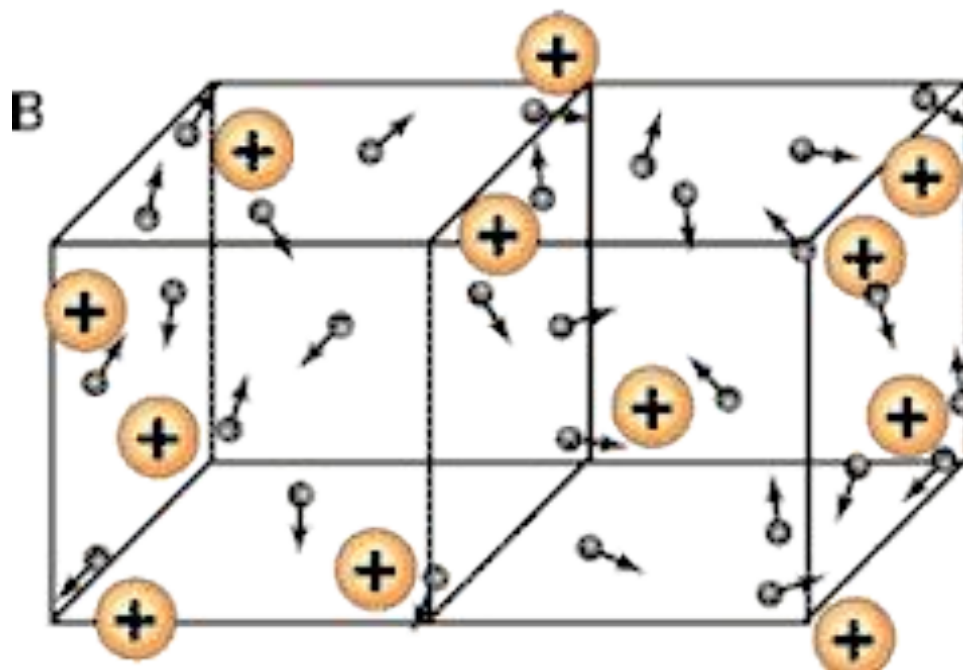
# Сульфид свинца PbS



Сульфид свинца — хороший материал полупроводниковой техники, фотоприемников и детекторов ИК-диапазона.

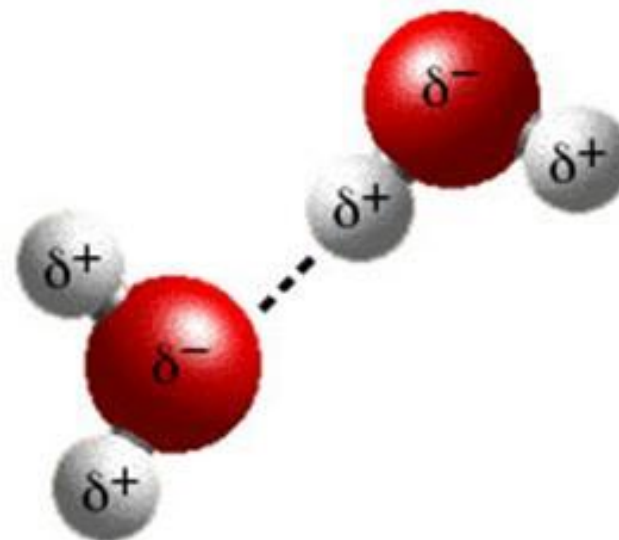
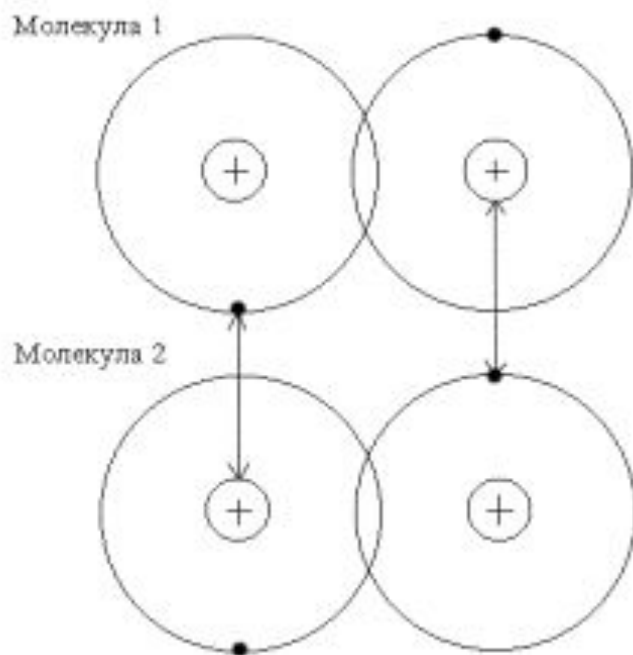


### 3) Металлическая связь



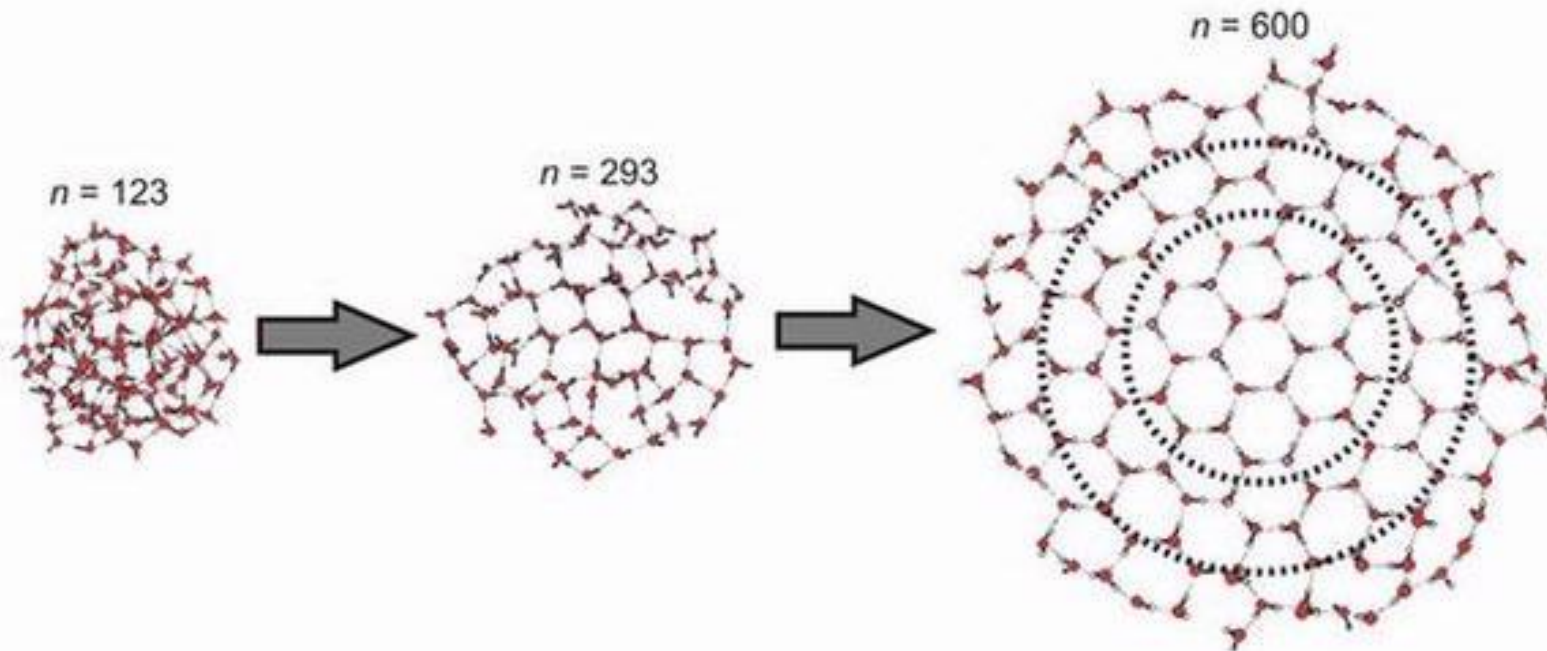
Существует в системах, построенных из положительных атомных островов, находящихся в среде свободных коллективизированных электронов - «электронного газа».

## 4) Молекулярная связь (связь Ван-дер-Ваальса)

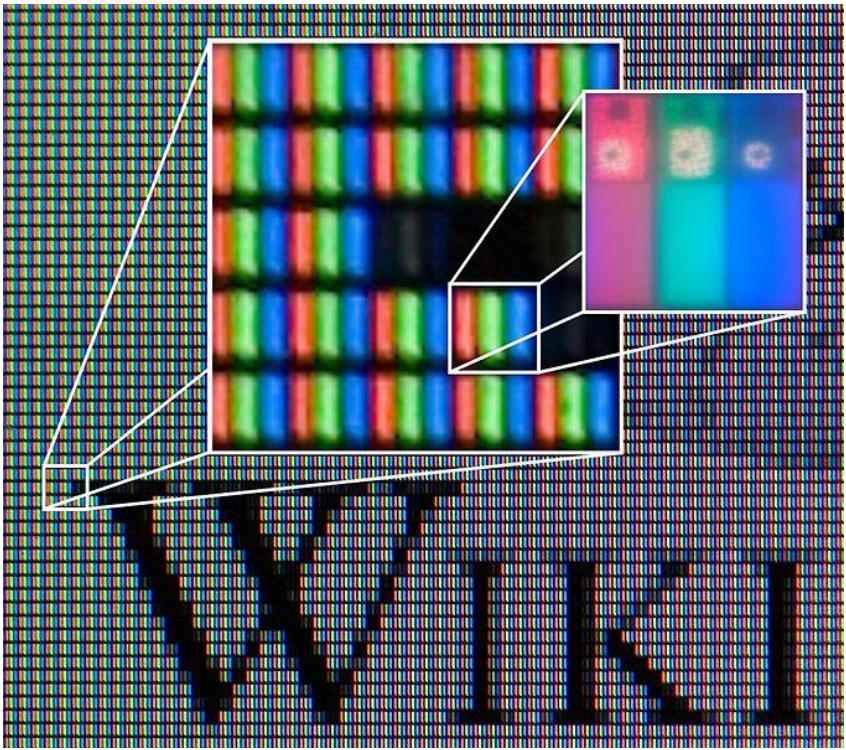
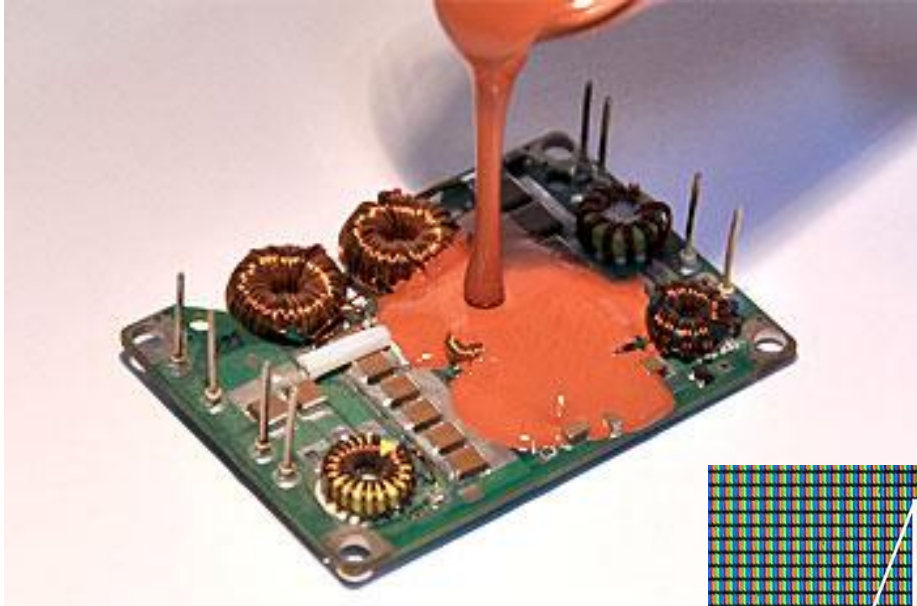


Связь между молекулами с ковалентным характером внутримолекулярного взаимодействия.

# Кластеры воды с разными структурами

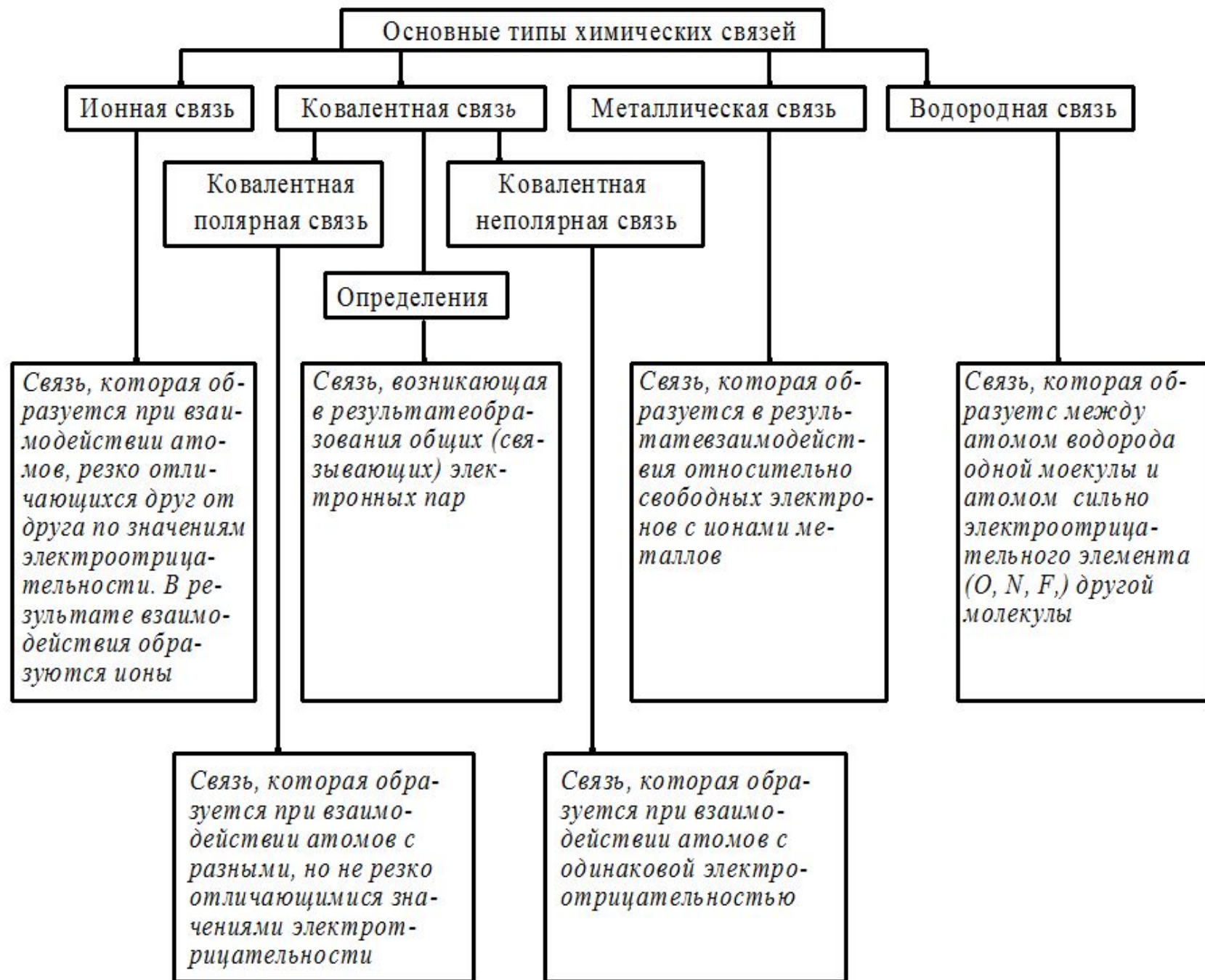


# Парафины, компаунд



# Жидкие кристаллы







# Агрегатные состояния вещества

- Газообразное состояние молекул наиболее беспорядочное и структурно не устойчивое.
- Жидкое состояние вещества характеризуется определенным объемом, но не имеет постоянной формы. Жидкости изотропны, кроме жидких кристаллов, характеризующихся некоторой ориентацией молекул, т.е. анизотропией, которая проявляется в двойном лучепреломлении.

# Агрегатные состояния вещества

- Твердое состояние характеризуется тремя признаками: упругостью, кристаллической структурой и скачкообразным изменением характеристик при плавлении.

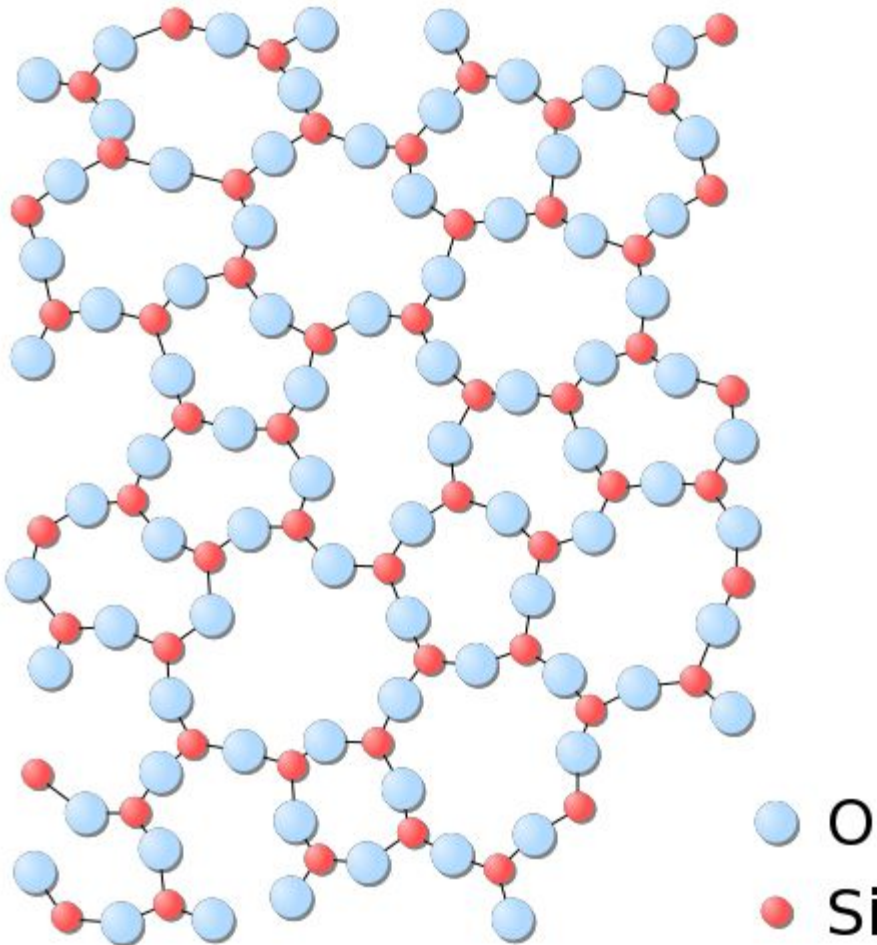
При медленном охлаждении расплава и специальном выращивании получают монокристалл; при средней скорости охлаждения – поликристаллические структуры; при очень быстром охлаждении – вещества аморфной структуры.

## Типы кристаллических решеток твердых веществ

Тип кристаллической решетки	Молекулярная	Ионная	Атомная	Металлическая
Частицы, находящиеся в узлах решетки	Молекулы	Положительно и отрицательно заряженные ионы (катионы и анионы)	Атомы	Атомы и положительно заряженные ионы металлов
Характер связи между частицами кристалла	Силы межмолекулярного взаимодействия (в т.ч. водородные связи)	Электростатические ионные связи	Ковалентные связи	Металлическая связь между ионами металлов и свободными электронами
Прочность связи	Слабая	Прочная	Очень прочная	Разной прочности
Отличительные физические свойства веществ	Легкоплавкие, небольшой твердости, многие растворимы в воде	Тугоплавкие, твердые, многие растворимы в воде. Растворы и расплавы проводят электрический ток (проводники II рода)	Очень тугоплавкие, очень твердые, практически нерастворимы в воде	Разнообразны по свойствам; имеют металлический блеск; обладают электропроводностью (проводники I рода) и теплопроводностью
Примеры веществ	Йод $I_2$ , лед $H_2O$ , «сухой лед» (твердый $CO_2$ )	Хлорид натрия $NaCl$ , гидроксид калия $KOH$ , нитрат бария $Ba(NO_3)_2$	Алмаз $C$ , кремний $Si$	Медь $Cu$ , калий $K$ , цинк $Zn$

## 2.2. Структура твердых тел

*Аморфные структуры* – это структуры, не имеющие явно выраженного дальнего порядка в расположении атомов.



**Стекло**

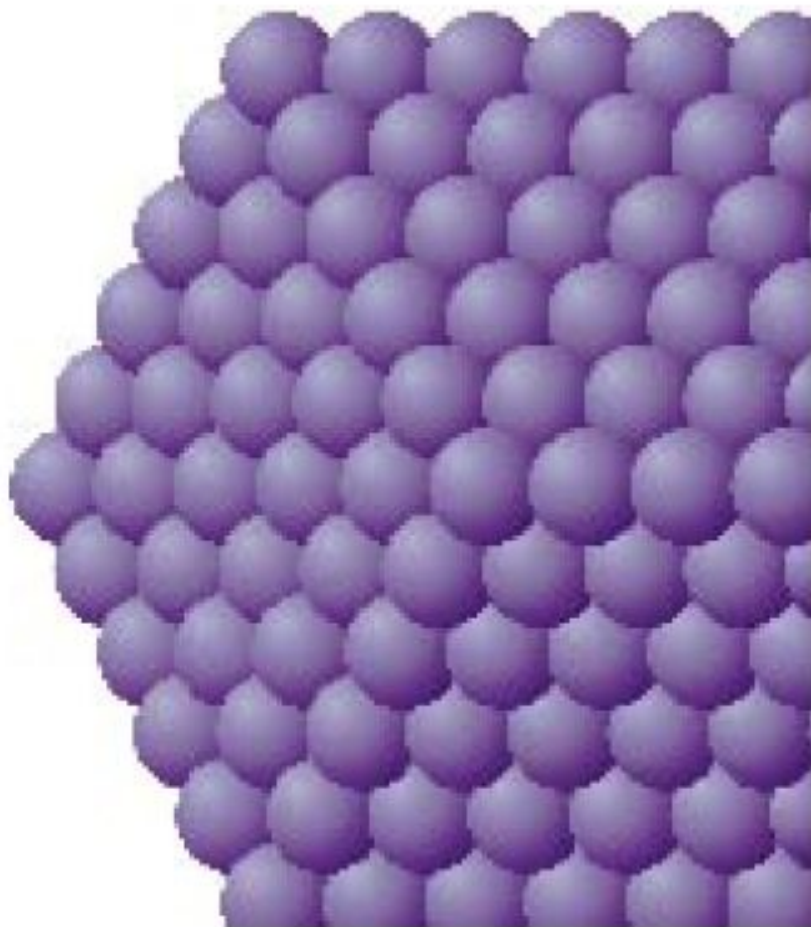
**Канифоль**

**Органические  
Материалы**

**Смолы**

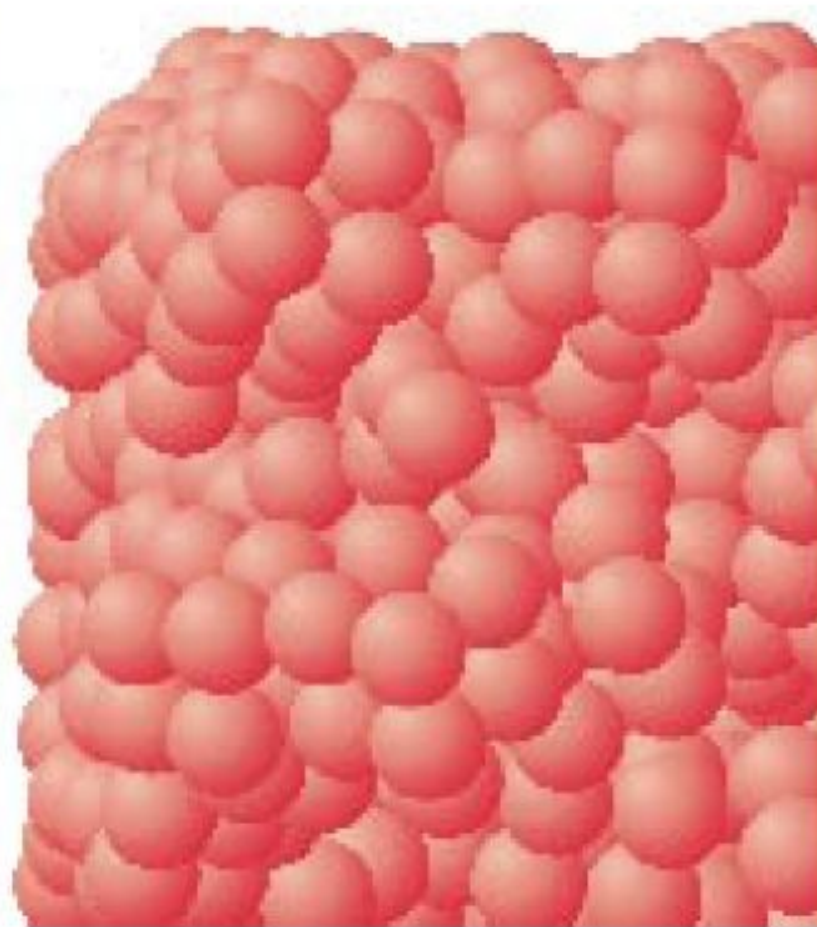


а



**Дальний порядок**

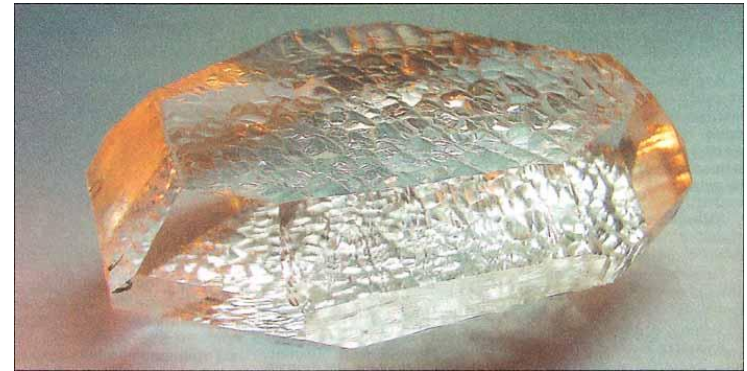
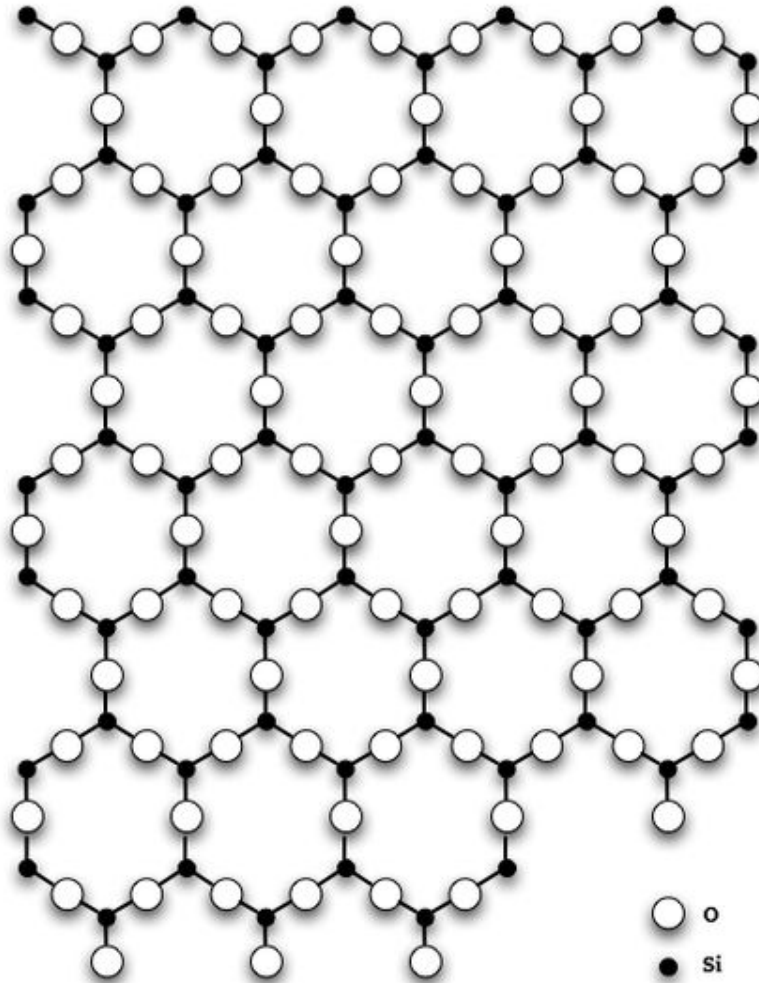
б



**Ближний порядок**



*Кристаллические структуры* – это структуры, представляющие периодическую решетку, в узлах которой расположены атомы



**Кварц**

**Полупроводниковые  
Кристаллы**

**Металлы**

**Монокристаллы** – однородные анизотропные тела, которые характеризуются правильным порядком в расположении атомов во всем объеме и состоят из периодически повторяющихся одинаковых кристаллических ячеек.

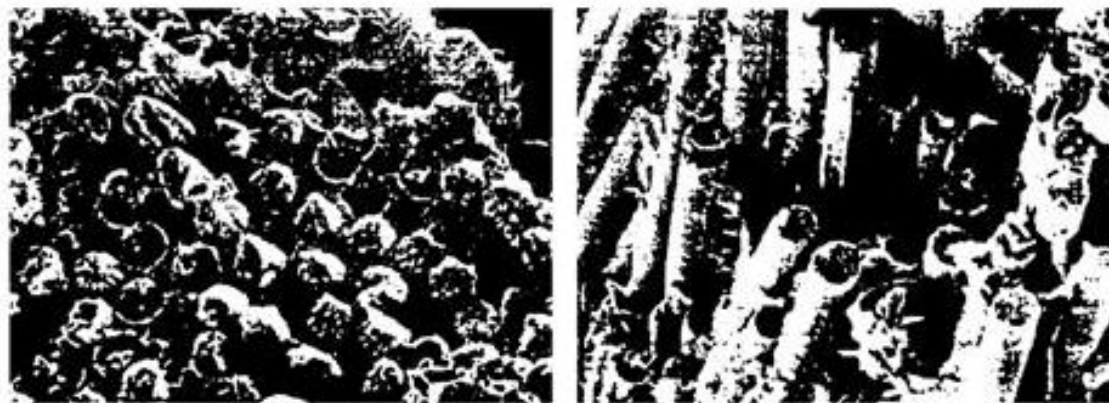
*Большое промышленное значение имеют монокристаллы полупроводниковых и диэлектрических материалов, выращиваемые в специальных условиях.*

Физические свойства:

- 1) Правильная геометрическая форма
- 2) Постоянная температура плавления.
- 3) Анизотропия.

Однако большинство кристаллических веществ являются поликристаллическими.

**Поликристаллические материалы** состоят из множества сросшихся мелких кристаллов (кристаллитов), хаотически ориентированных в разных направлениях. Обычно они изотропны.



*a*

*б*

Al, Be, Mg, Ti и др.

Физические свойства:

1) Правильная форма.

2) Постоянная температура плавления 3)

Изотропия.



электротехническая сталь



поликристаллический кремний

Если ориентацию кристаллитов упорядочить (мехобработкой металла, поляризацией сегнетокерамики), то материал становится анизотропным (такие тела называют **текстурами**).



а)



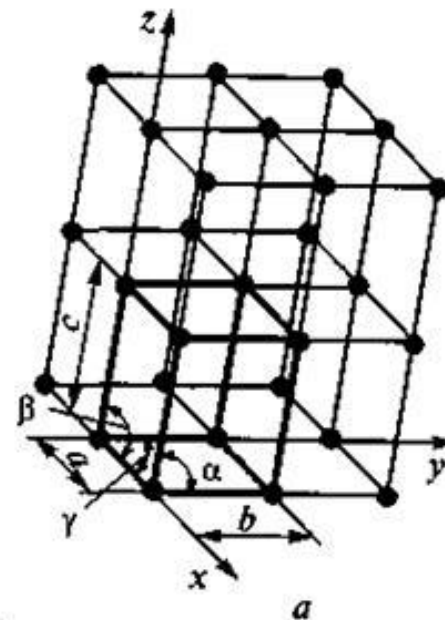
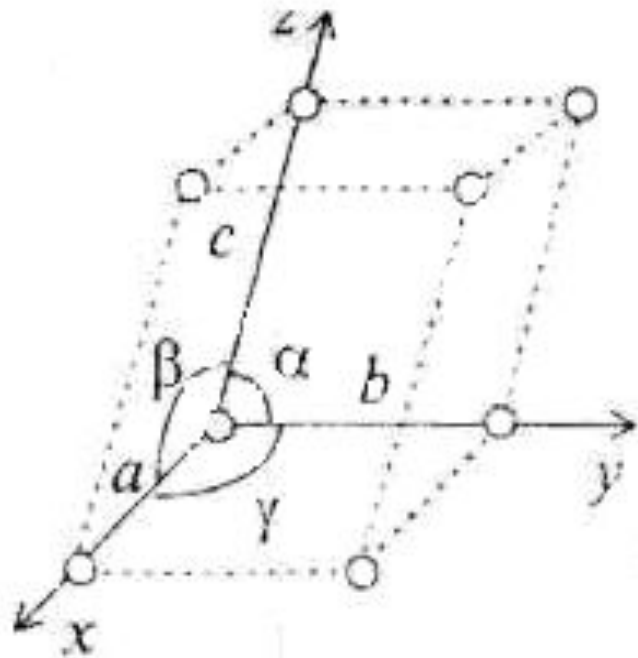
б)



в)

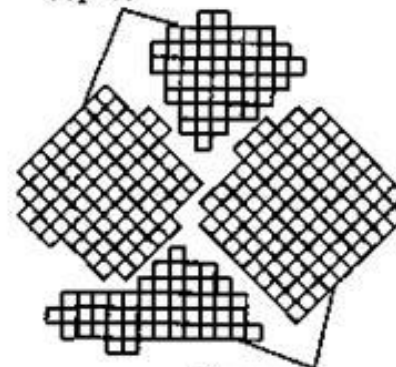


## Трехмерная кристаллическая структура



90

Кристаллическое зерно



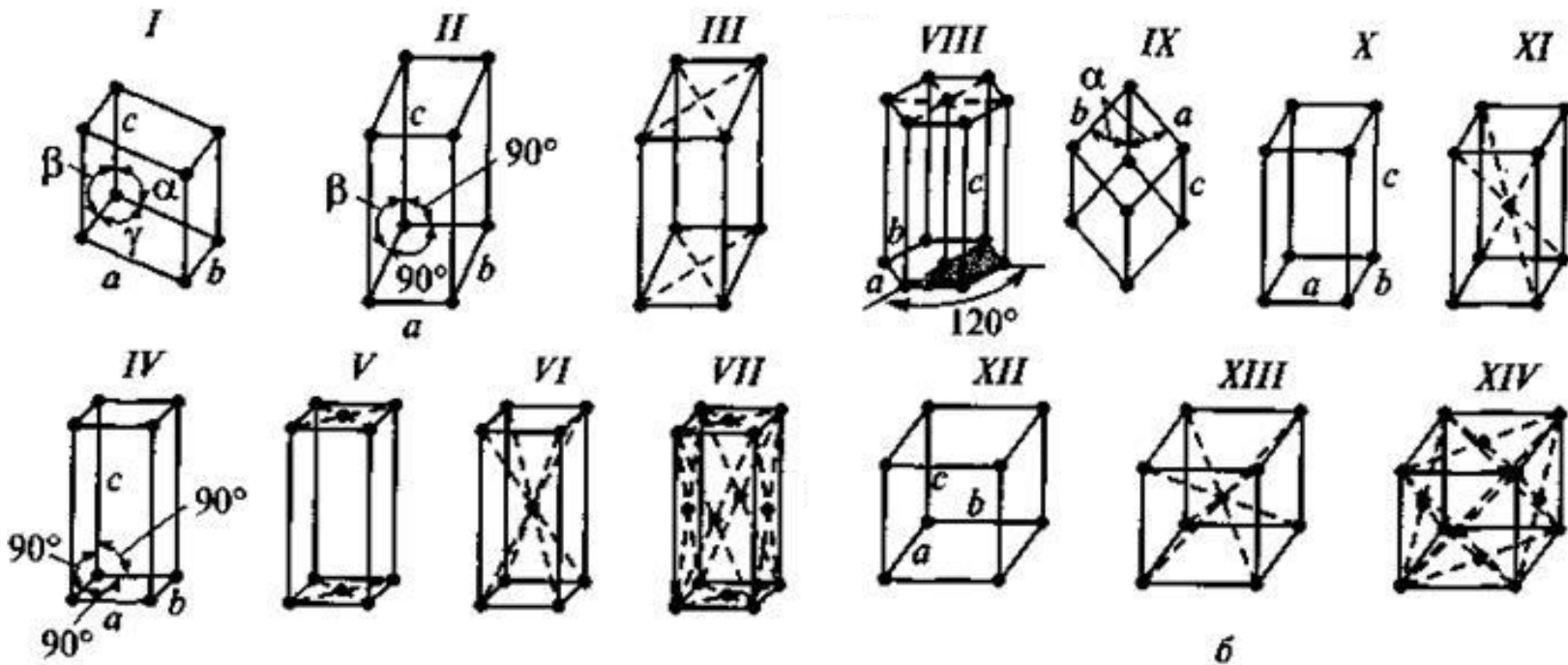
Кристаллическое зерно

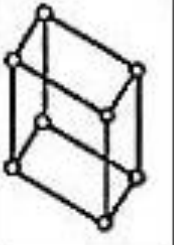
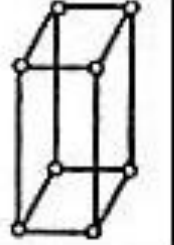
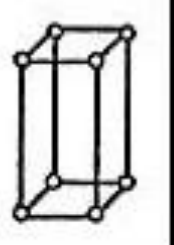
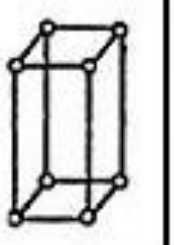
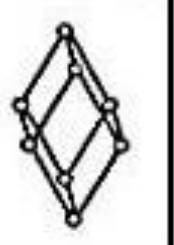
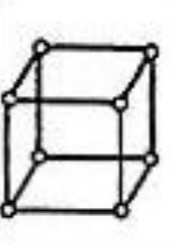
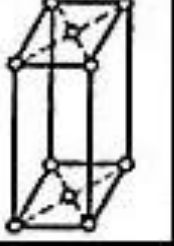
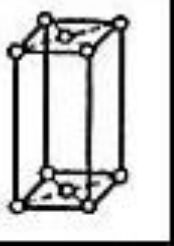
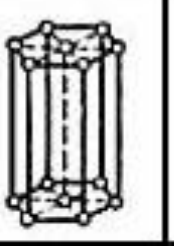
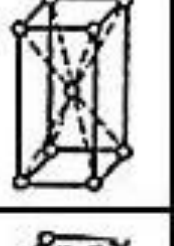
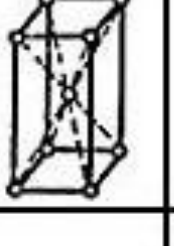
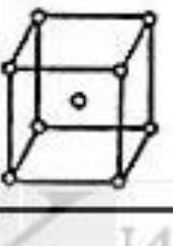
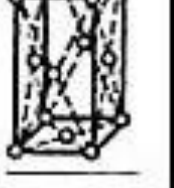

$\epsilon$

Элементарная ячейка  
- *решетка Браве.*

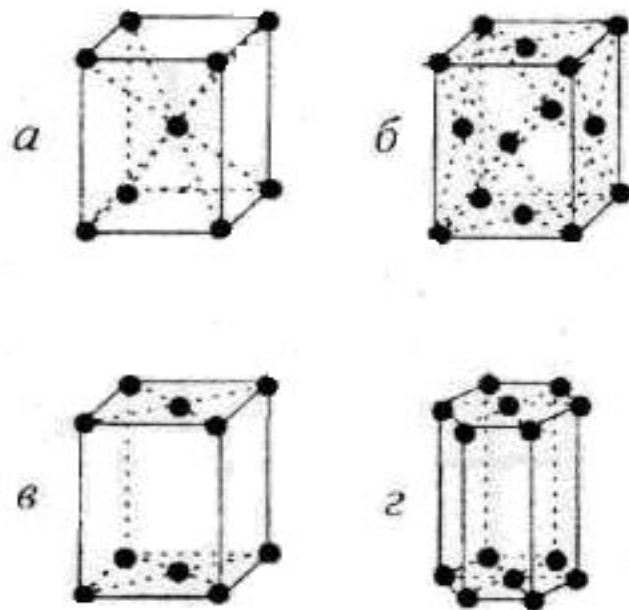
Существует четырнадцать типов решеток Браве. 7 кристаллических систем (сингоний). Системы отличаются друг от друга формой элементарной ячейки (соотношениями между длинами ребер  $a$ ,  $b$ ,  $c$  и углами между гранями  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

Все кристаллы по виду симметрии подразделяют на 32 класса. Всего существует 230 пространственных групп.

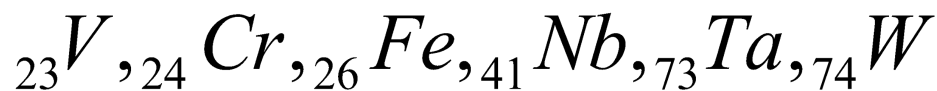


Сингония Тип решетки	Три- клинная	Моно- клинная	Ромби- ческая	Тетраго- нальная	Триго- нальная (ромбоэд- рическая)	Гексаго- нальная	Куби- ческая
Примитивный							
Базоцентри- рованный							
Объемноцен- трированный							
Гранецентри- рованный							

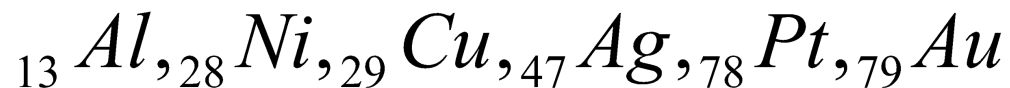
## Четыре типа сложных элементарных ячеек.



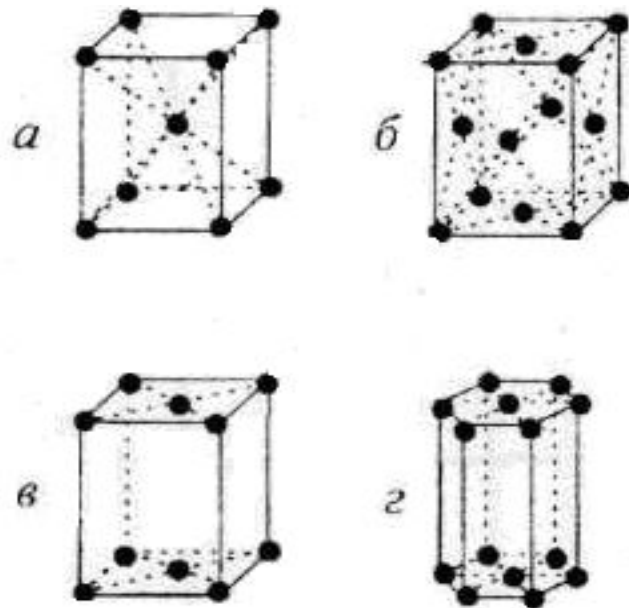
а) Объемоцентрированная (ОЦ) ячейка



б) Гранецентрированная (ГЦ) ячейка

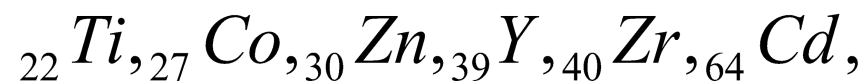


## Четыре типа сложных элементарных ячеек.



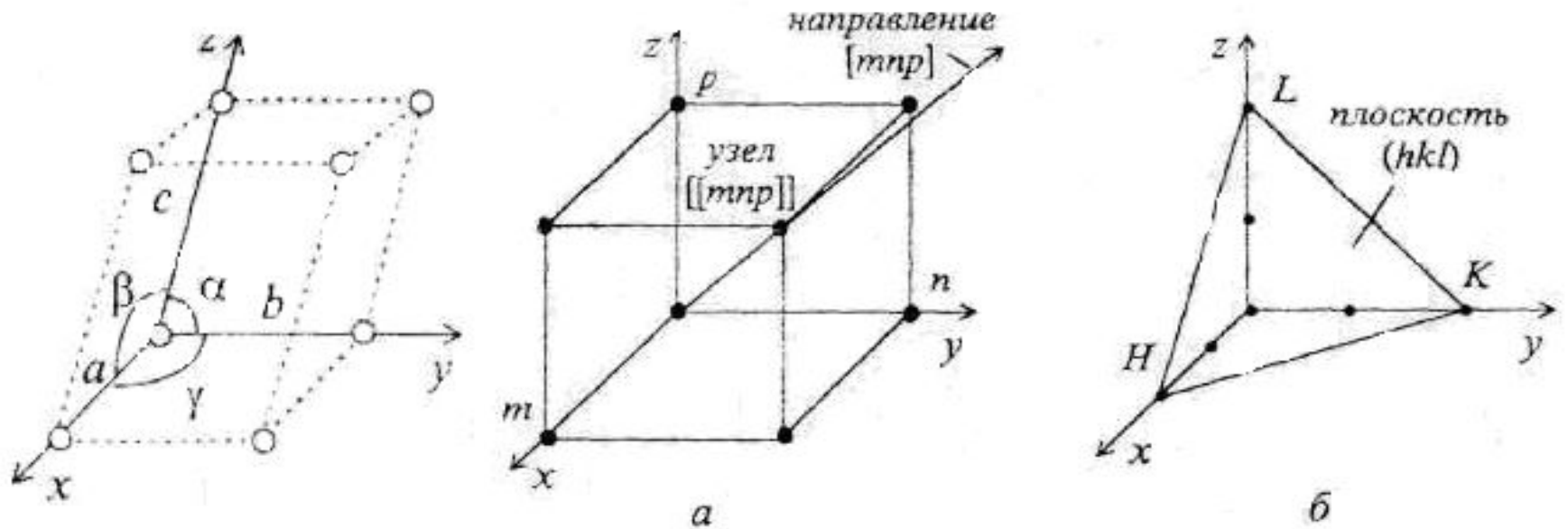
в) Базоцентрированная (БЦ) ячейка

г) Гексацентрированная ячейка





# Индексы Миллера.



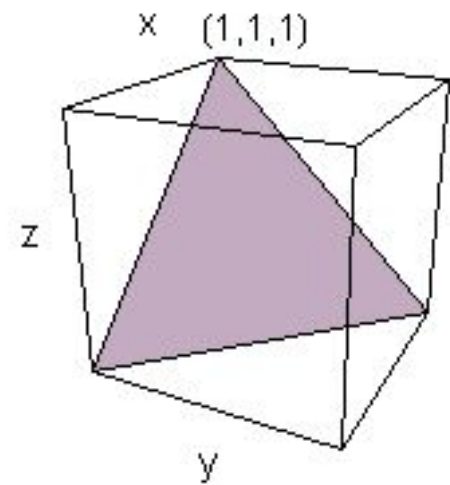
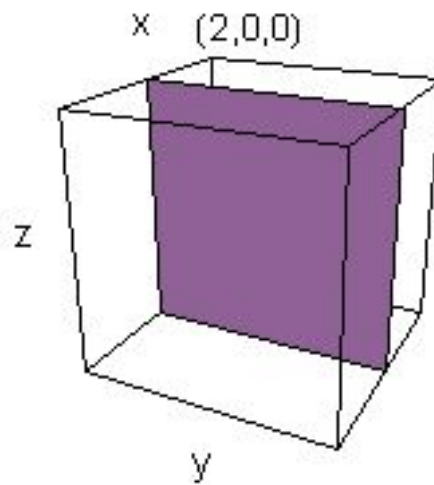
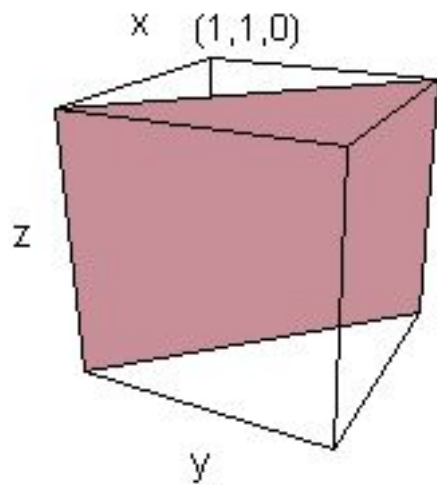
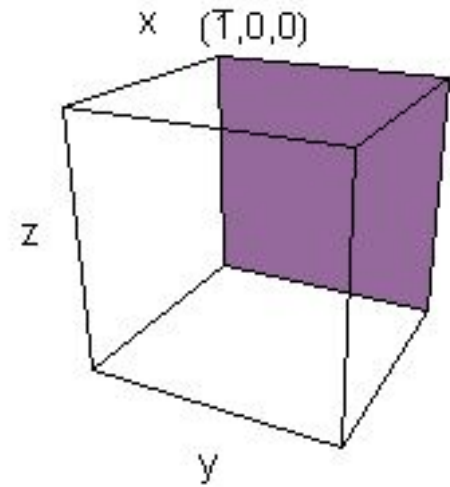
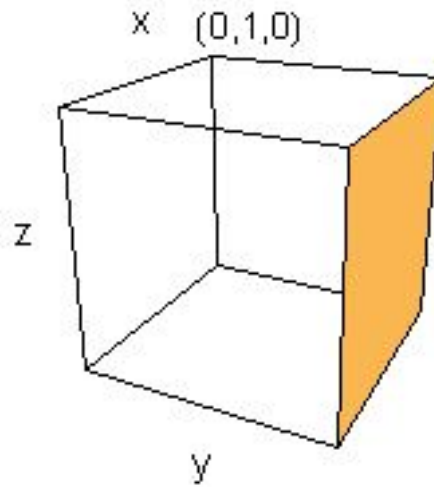
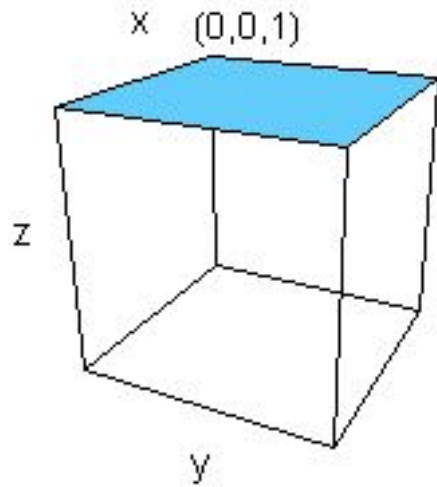
Обозначение узлов, направлений – а  
и плоскостей – б к кристаллической решетке

$$x = m \cdot a, \quad y = n \cdot b, \quad z = p \cdot c,$$

$m, n, p$  – *индексы узла*, целые или дробные числа.

*Индексы плоскости*  $h=d/m, k=d/n, l=d/p$  через НОК= $d$

# Индексы плоскости обозначаются как (hkl)



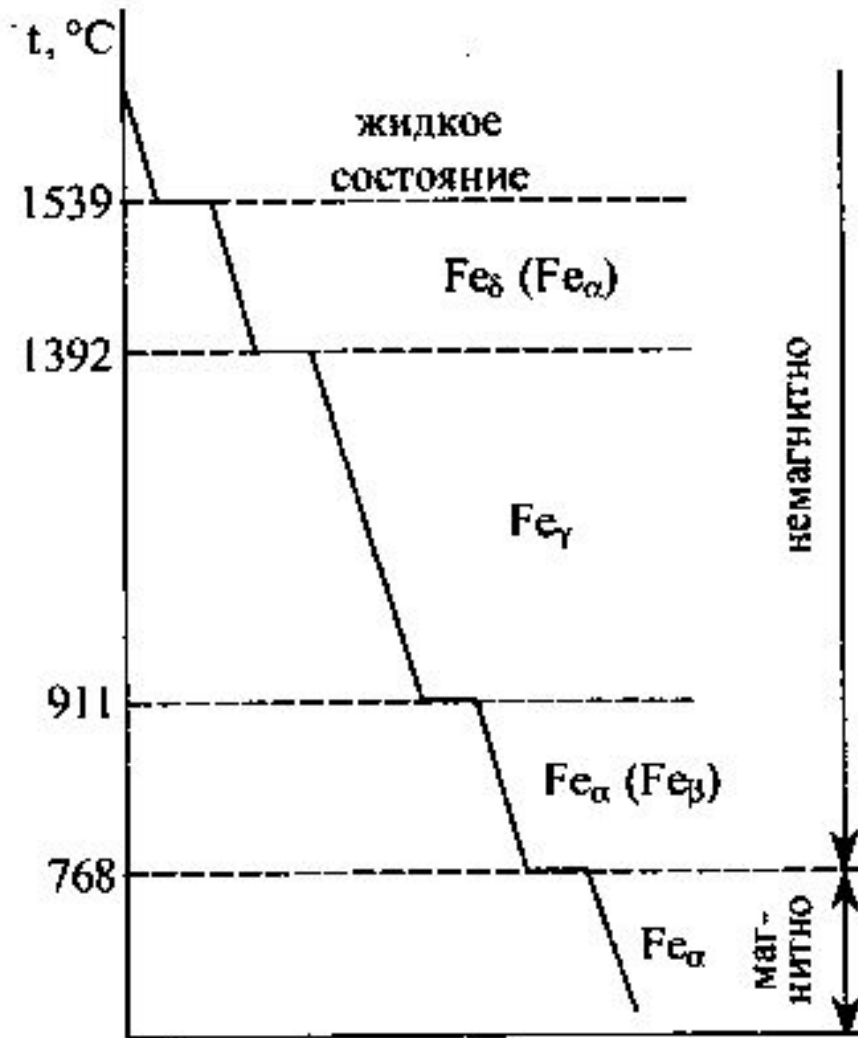
## Полиморфизм (аллотропия)

это способность образовывать не одну, а две и более кристаллические структуры, устойчивые при различных температурах и давлениях.

Модификация, устойчивую при нормальной и более низкой температуре обозначается  $\alpha$

Кристаллические структуры называют *полиморфными формами* или *аллотропными модификациями вещества*.

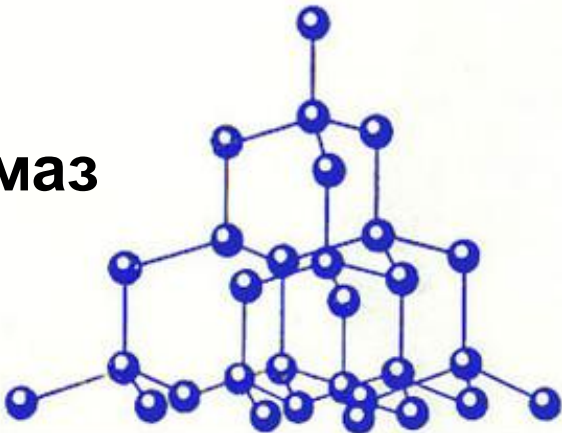
# Кривая охлаждения железа Fe



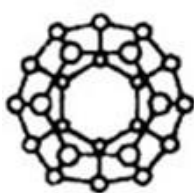
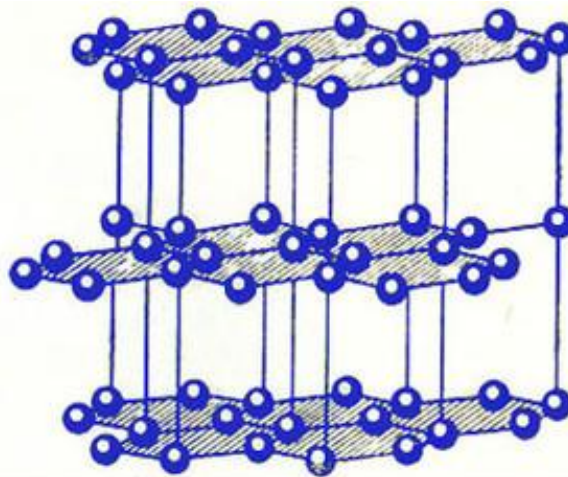
$\alpha\text{-Fe}$ ,  $\beta\text{-Fe}$ ,  $\gamma\text{-Fe}$

# Полиморфизм углерода С

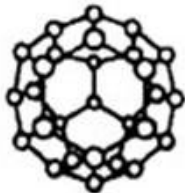
Алмаз



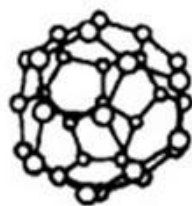
Графит



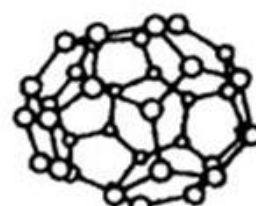
C<sub>24</sub>



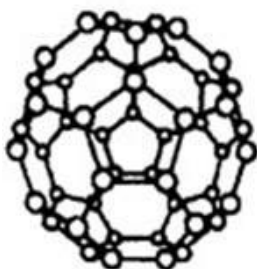
C<sub>28</sub>



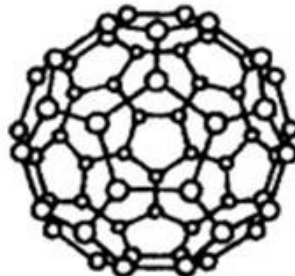
C<sub>32</sub>



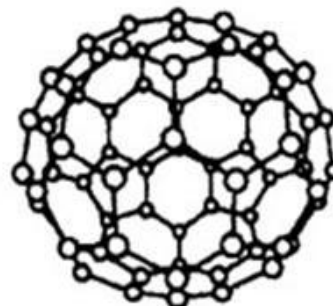
C<sub>36</sub>



C<sub>50</sub>



C<sub>60</sub>



C<sub>70</sub>

Фуллерен

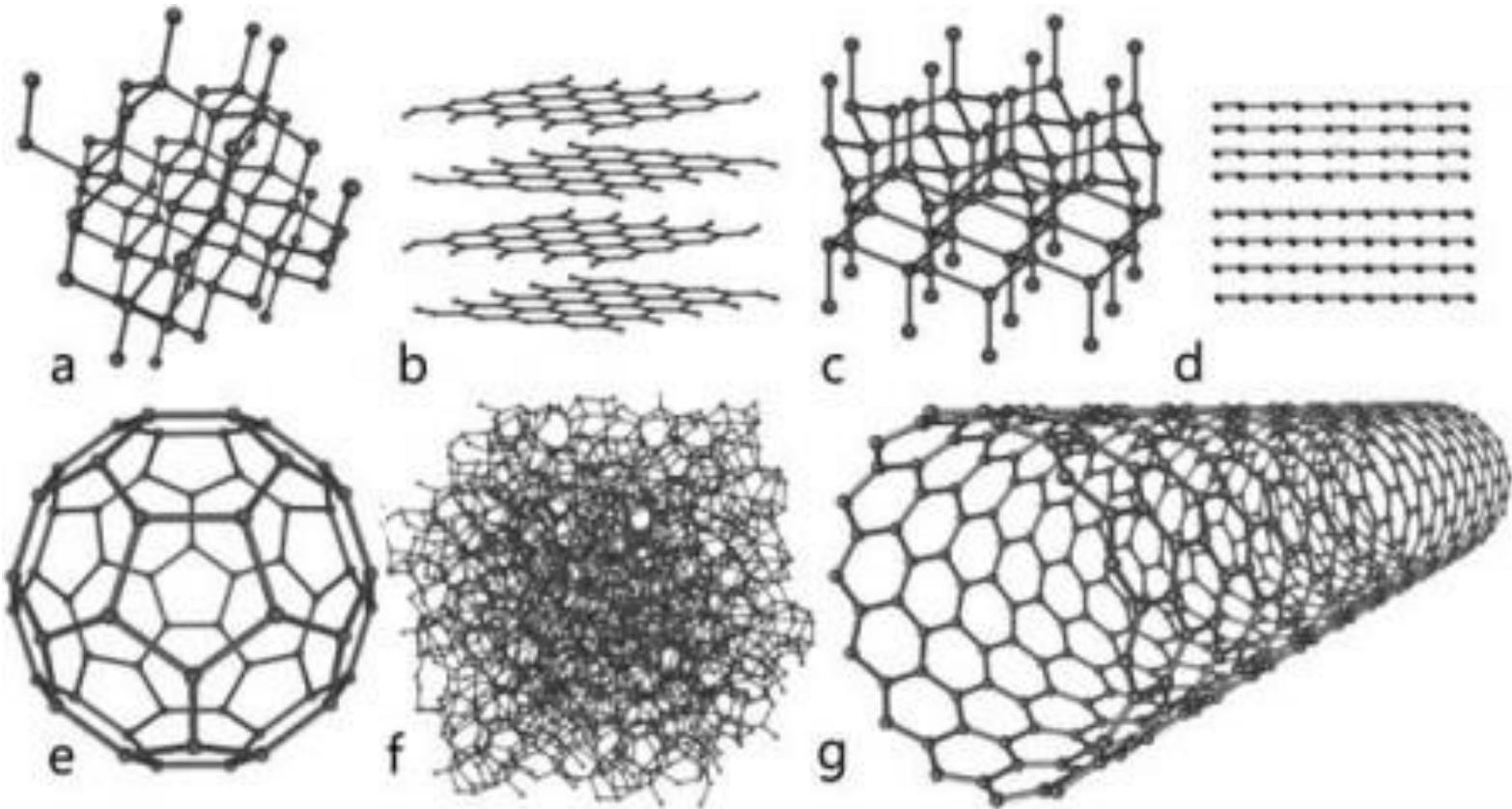


# Полиморфизм углерода

	<b>алмаз</b>	<b>графит</b>	<b>фуллерен</b>
<b>строение</b>	Атомная кубическая решетка, ковалентная неполярная связь	Слоистое строение, внутри слоя – ковалентная неполярная связь, между слоями – межмолекулярное взаимодействие	C <sub>60</sub> , C <sub>70</sub> , молекулы образуют сферу
<b>свойства</b>	Твердость	Хорошо проводит электрический ток, тугоплавкий, оказывает смазывающее действие	Химически стойкий, твердый
<b>применение</b>	Алмазные резцы, напильники...	Электроды, ракетные двигатели, узлы трения...	Сверхтвердые материалы

# Полиморфизм углерода

карбин



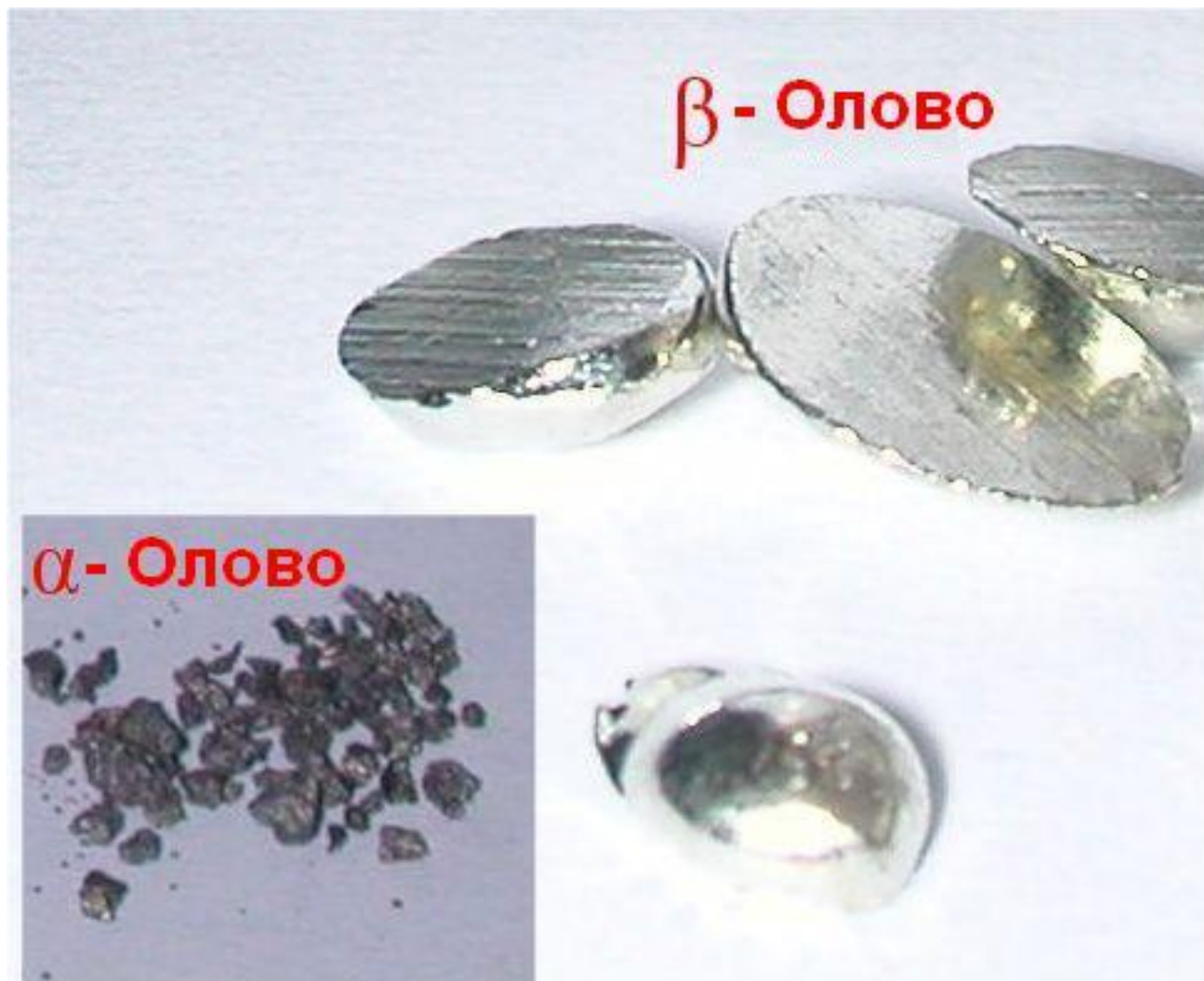
нановолокно

нанотрубка

# Полиморфизм кремния Si



# Полиморфизм олова Sn



$T < 13,2 \text{ } ^\circ\text{C}$

## 2.3. Структурные дефекты твердых тел.

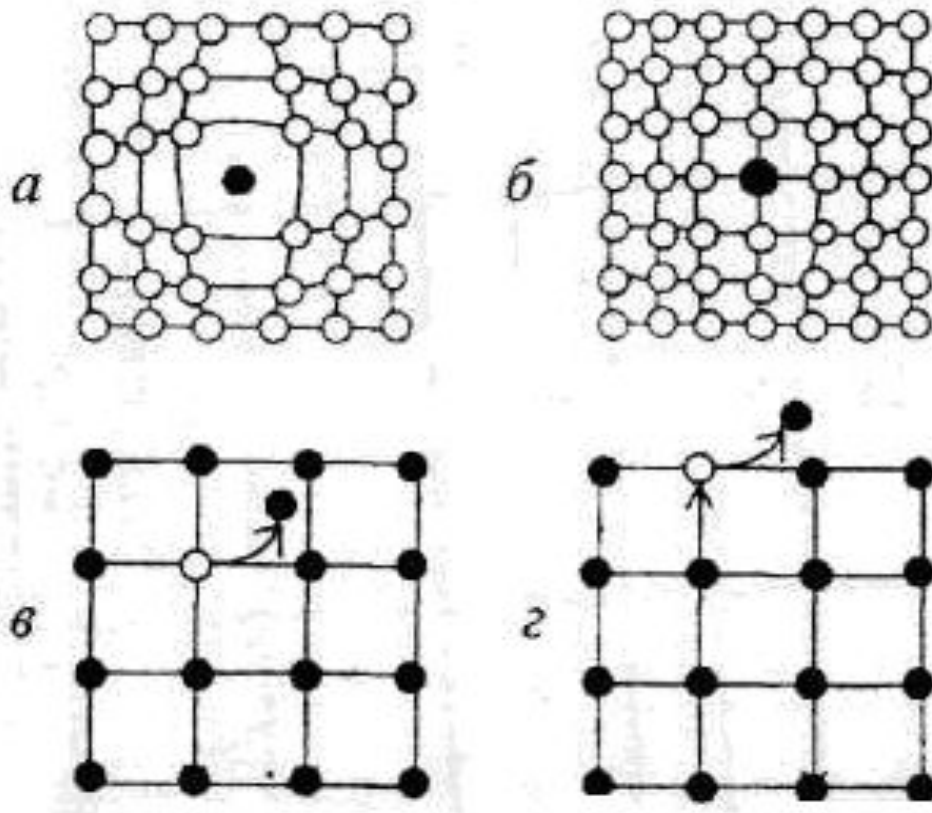
**Дефекты** – отклонения от регулярного расположения частиц в реальных кристаллах.

1) Динамические (временные) **д.** возникают при механических, тепловых (фононы) и электромагнитных воздействиях.

2) Статические (постоянные) **д.** это точечные (атомные) или протяженные несовершенства структуры

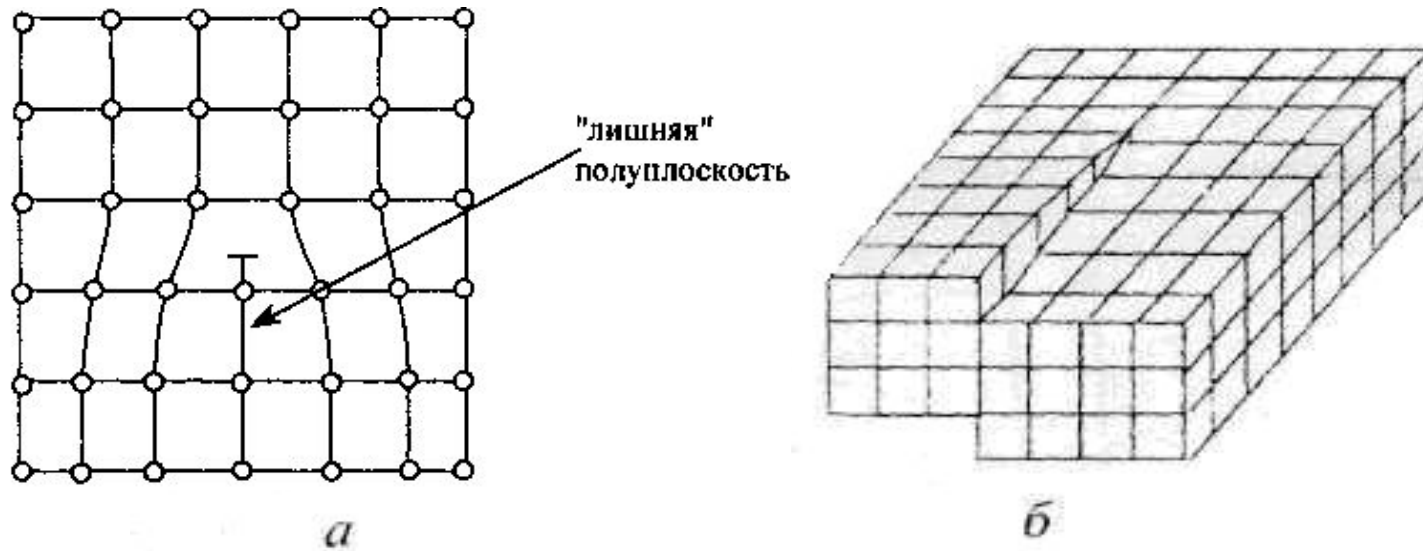


# Точечные дефекты твердых тел.



- a* – дефекты типа внедрения;
- б* – дефекты типа замещения;
- в* – дефекты по Френкелю;
- г* – дефекты по Шоттки

## Линейные дефекты твердых тел.

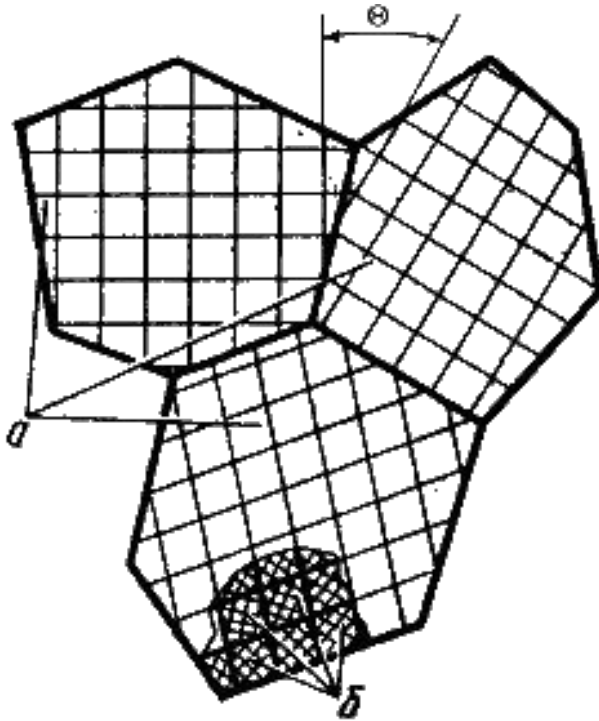


*а* – линейная дислокация; *б* – винтовая дислокация

*Дислокация* – это линейный дефект, заключающийся в смещении плоскостей кристаллической решетки относительно друг друга

# Поверхностные дефекты твердых тел.

Ошибки в наложении слоев атомов



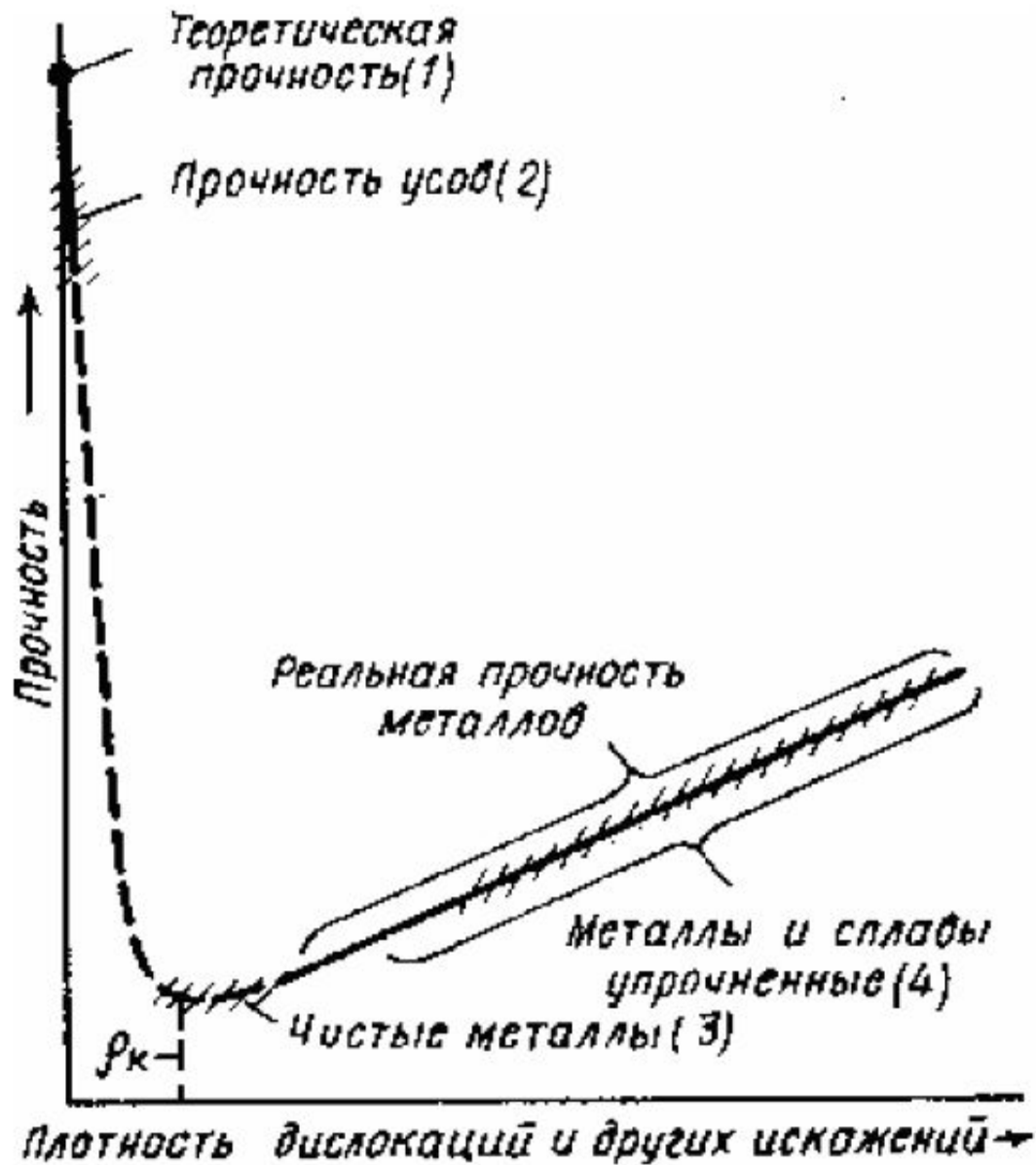
Поверхностная зона 5 – 10 атомных диаметров с максимальным нарушением порядка в расположении атомов.

## Объемные дефекты твердых тел.

Имеют в трех измерениях сравнительно большие размеры несопоставимые с размерами атомов.

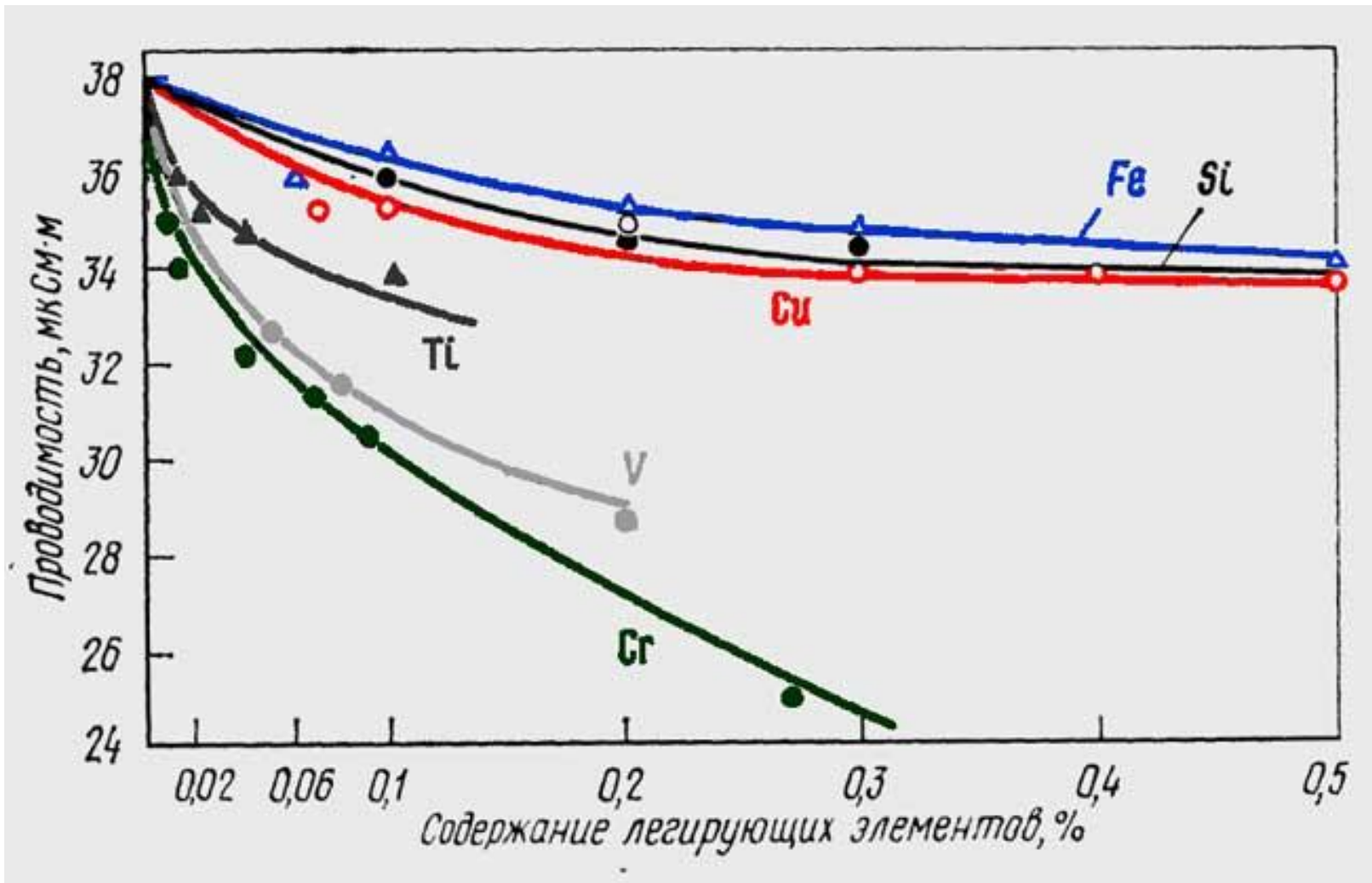
К ним относят микропустоты, включения другой фазы, поры, трещины.

# Зависимость прочности $\sigma_e$ от плотности дислокаций

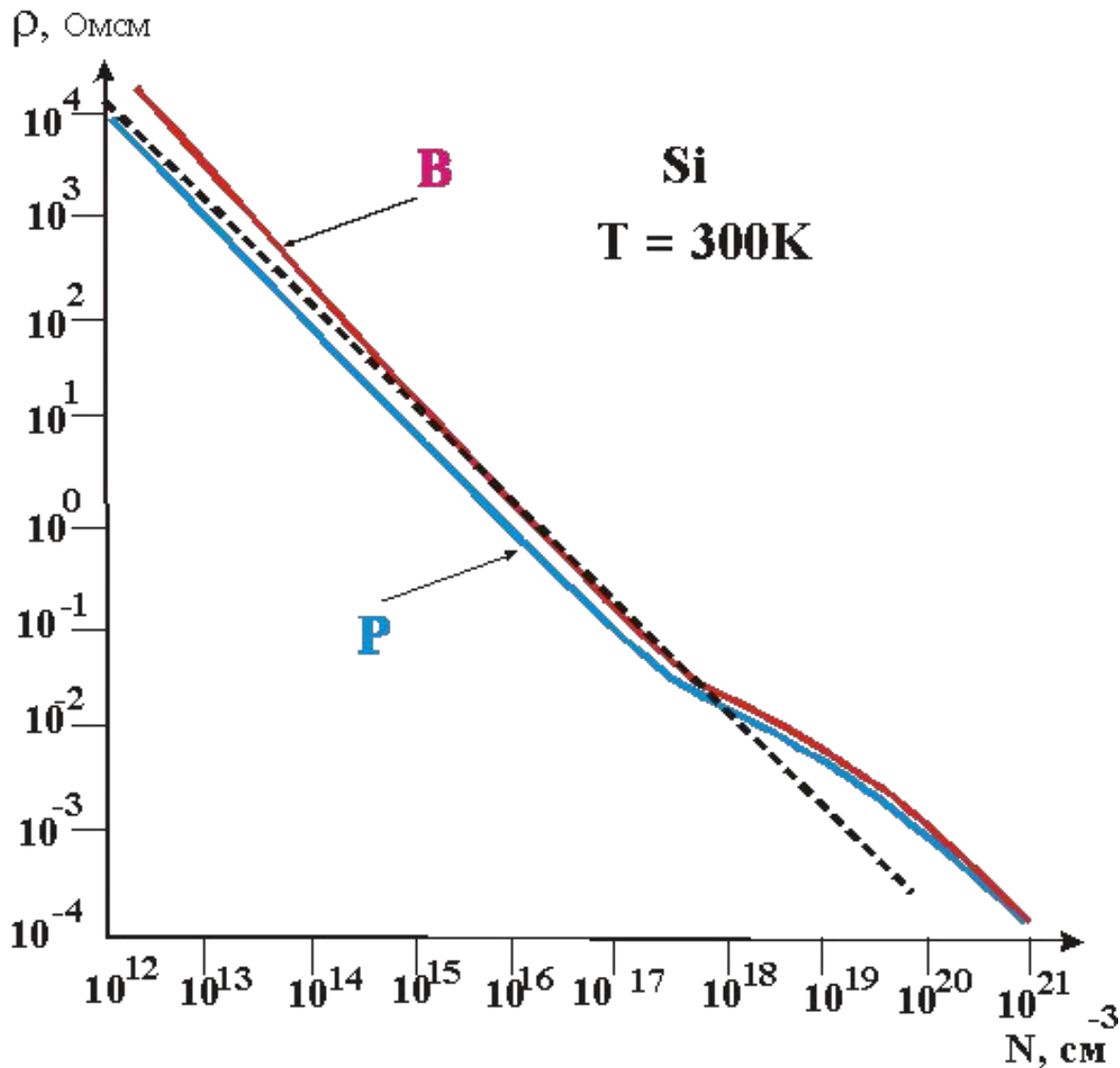




## Влияние примесей на проводимость Me



# Влияние примесей на удельное сопротивление очищенного кремния





Спасибо за внимание!

