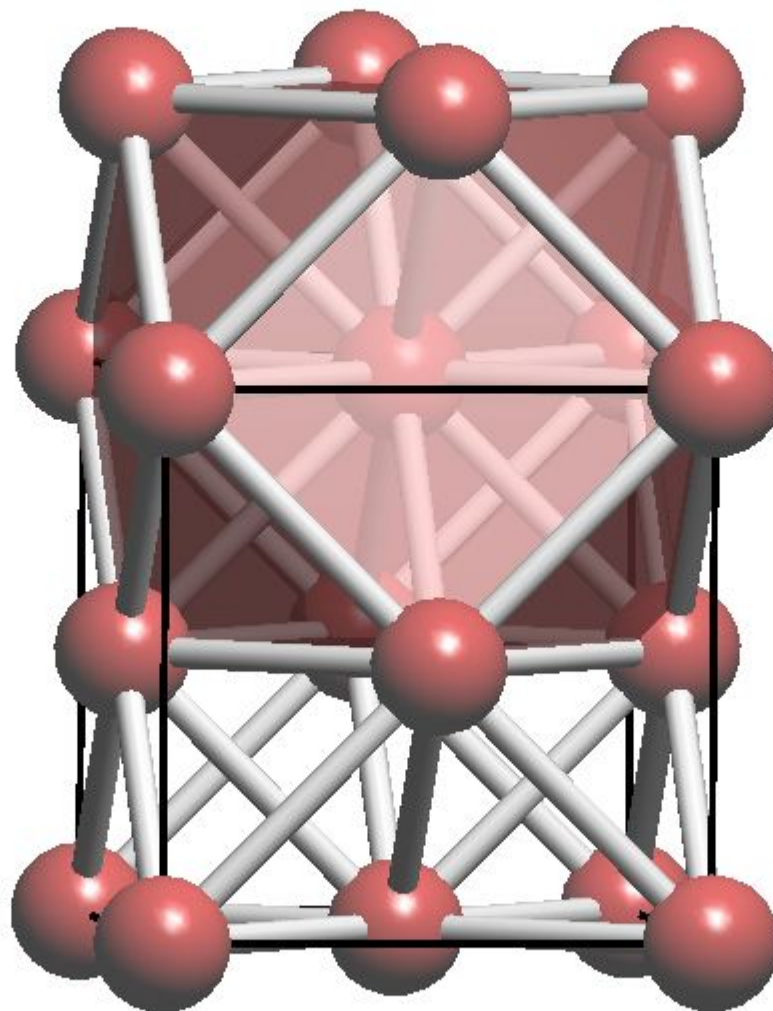
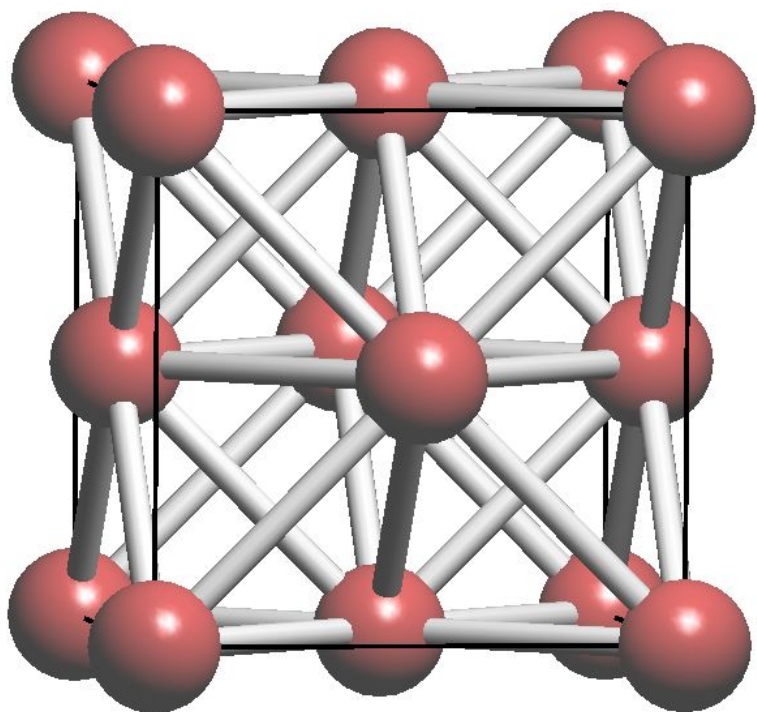


# Лекция 13

Структура металлов, сплавов,  
интерметаллидов и квазикристаллов

# Металлы

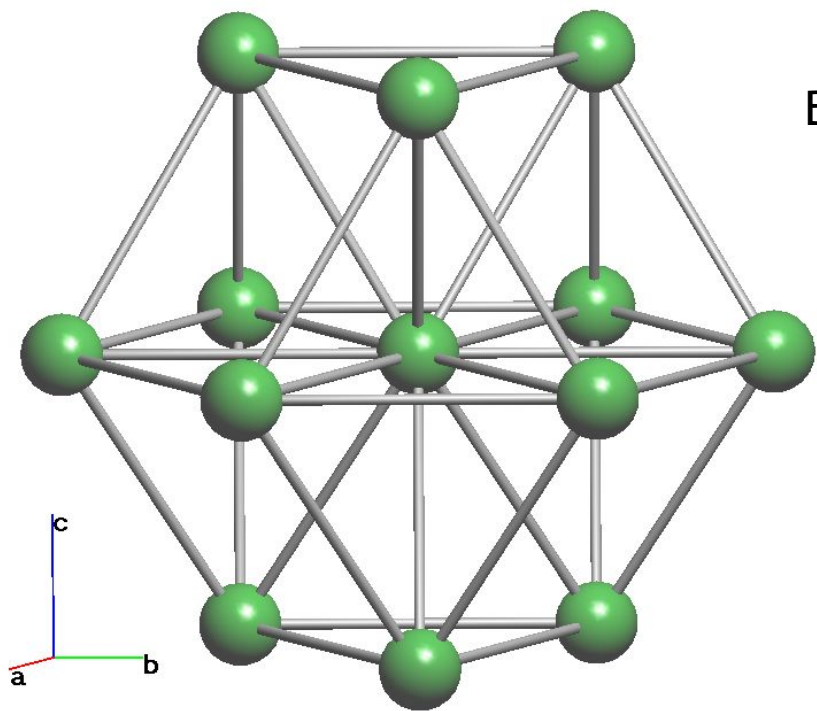
Cu



Ca, Sr, группы 9 (Co, Rh, Ir),  
10 (Ni, Pd, Pt), 11 (Cu, Ag, Au)

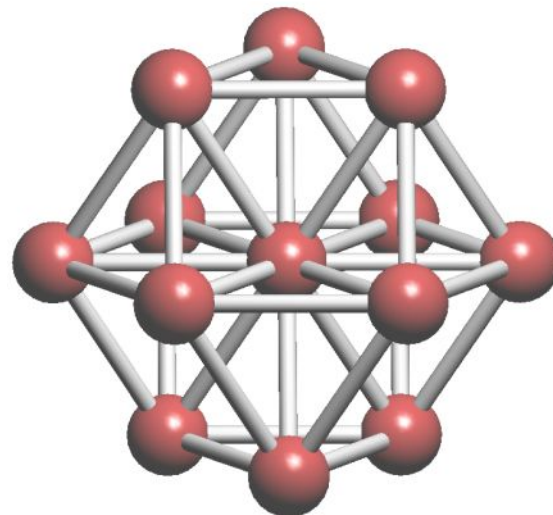
# Металлы

Mg



Гексагональный кубоктаэдр

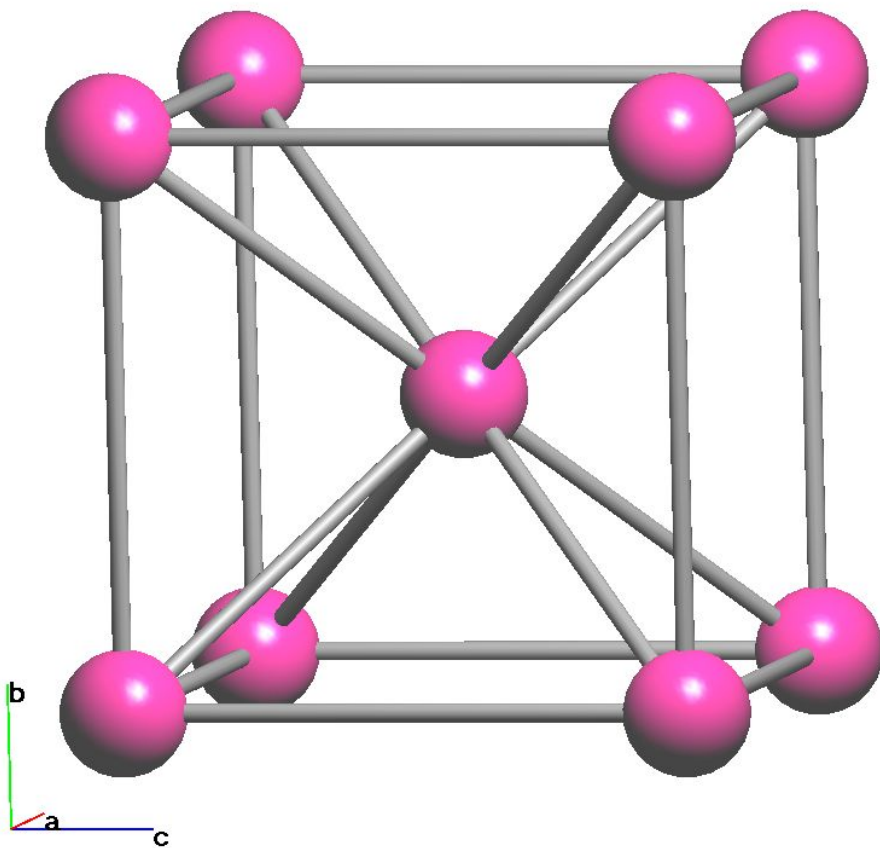
Be, Mg, Tc, Re, Ru, Os, Sc, Y,  
группа 4 (Ti, Zr, Hf)



(Кубический) кубоктаэдр

# Металлы

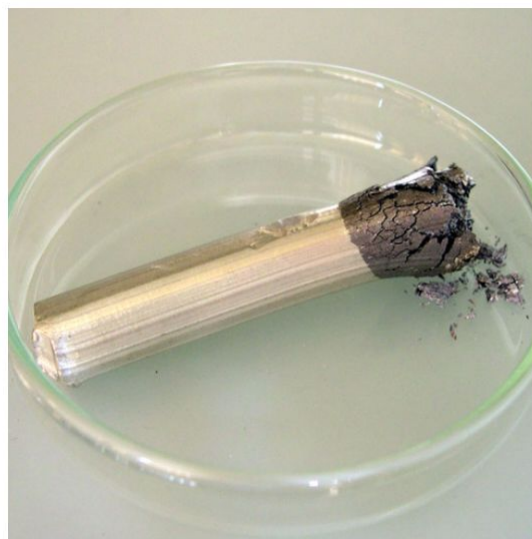
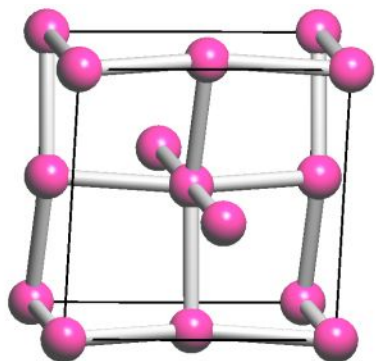
## $\alpha$ -Fe



Щелочные металлы,  
Ba, Ra, Eu, группы  
V (V, Nb, Ta) и  
VI (Cr, Mo, W)

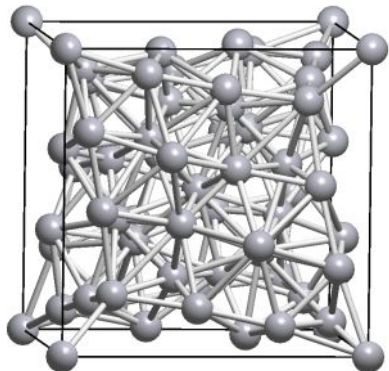
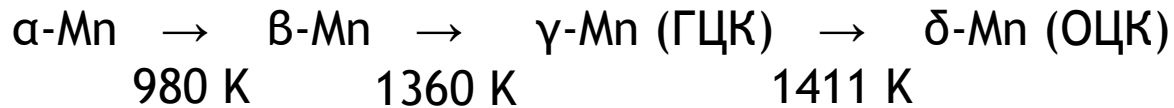
# Металлы: особые типы

$\beta\text{-Sn} \xrightarrow{13^\circ\text{C}} \alpha\text{-Sn}$  (тип алмаза)

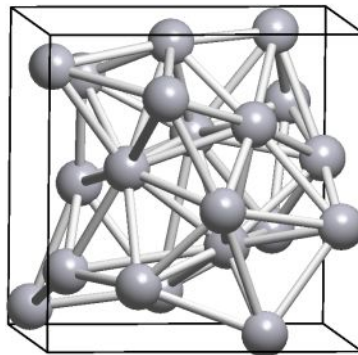


«Оловянная чума»

# Металлы: особые типы



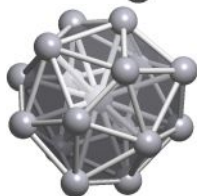
$\alpha\text{-Mn}$



$\beta\text{-Mn}$



Mn1: 16



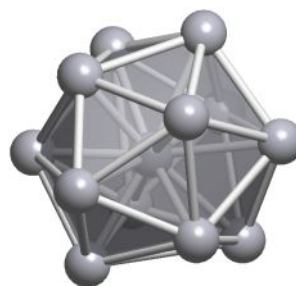
Mn2: 16



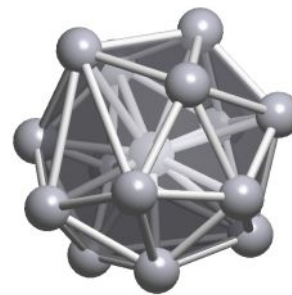
Mn3: 13



Mn4: 12



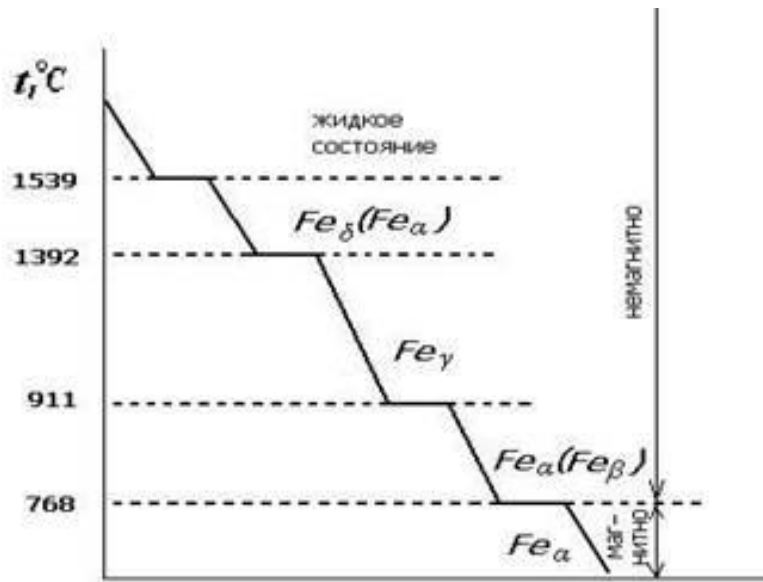
Mn1: 16



Mn2: 14



# Металлы: полиморфизм (аллотропия)



Металл	Кристаллическая структура	Интервал температур данной модификации, $^\circ\text{C}$
Титан	ГПУ ОЦК	До 882 882 – 1668
Цирконий	ГПУ ОЦК	До 862 862 – 1852
Олово	Алмазная ТОЦ	До 13 13 – 232
Уран	Ромбическая ТОЦ	До 663 663 – 764
Железо	ОЦК ОЦК ГЦК	до 911 911 – 1392
Кобальт	ОЦК ГПУ ГЦК	1392 – 1539 До 477 477 – 1490

Общая тенденция - образование ОЦК фазы при нагревании

Нормальные условия - ~20% металлов имеют ОЦК-решетку

Предрасплавное состояние - ~65% металлов имеют ОЦК-решетку

# Металлы

IA	IIA	IIIB	IVB	VB	VIB	VII B	VIII B	IB	II B	IIIA	IVA	VA	VI A	VII A	VIII A		
														H ○	He ○		
Li ○	Be ○										B ○	C ⋈	N ≡	O ⋈	F ○	Ne ○	
Na ○	Mg ○										Al ○	Si ⋈	P ≡	S ⋈	Cl ○	Ar ○	
K □	Ca □	Sc ○	Ti ○	V □	Cr □	Mn ○	Fe ○	Co ○	Ni ○	Cu ○	Zn ○	Ga ○	Ge ⋈	As ≡	Se ⋈	Br ○	Kr ○
Rb □	Sr □	Y ○	Zr ○	Nb □	Mo □	Tc ○	Ru ○	Rh ○	Pd ○	Ag ○	Cd ○	In ○	Sn ⋈	Sb ≡	Te ⋈	I ○	Xe ○
Cs □	Ba □	La ○	Hf ○	Ta □	W □	Re ○	Os ○	Ir ○	Pt ○	Au ○	Hg ○	Tl ○	Pb ○	Bi ≡	Po ○	At ○	Rn ○
		Ce ○	Pr ○	Nd ○	Pm □	Sm □	Eu □	Gd ○	Tb ○	Dy ○	Ho ○	Er ○	Tm ○	Yb ○	Lu ○		

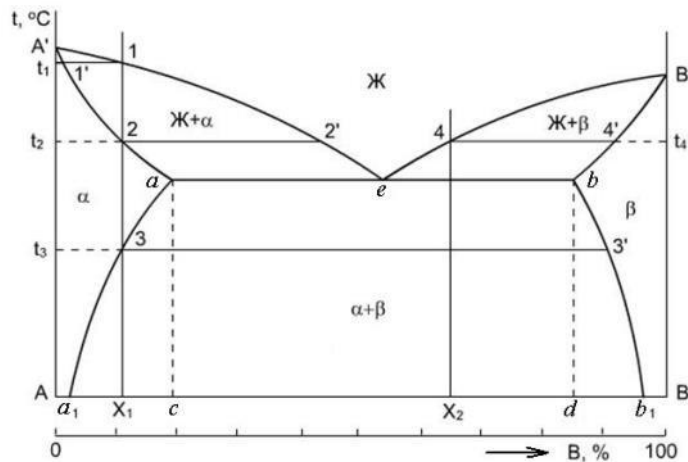


ГЦК    ГПУ    ОЦК



# Двойные системы

1. Металлы не взаимодействуют ни в твердом, ни в жидком состояниях
2. Металлы смешиваются в жидком состоянии, а в твердом состоянии образуют эвтектику
3. Металлы образуют твердые растворы
4. Металлы образуют интерметаллические соединения



# Двойные системы

1. Металлы не взаимодействуют ни в твердом, ни в жидком состояниях (Li+K, Mg+Na, Pb+Cr)
  2. Металлы смешиваются в жидком состоянии, а в твердом состоянии образуют эвтектику (Cu+Ti, Pb+W)
- Существенно разные размеры и/или электронное строение (не выполняется правило Гольдшмидта)
  - Разные структурные типы
  - Большая разница температур плавления металлов

# Двойные системы

Металлы образуют твердые растворы

- замещения
- внедрения
- вычитания

## Правила Юм-Розери

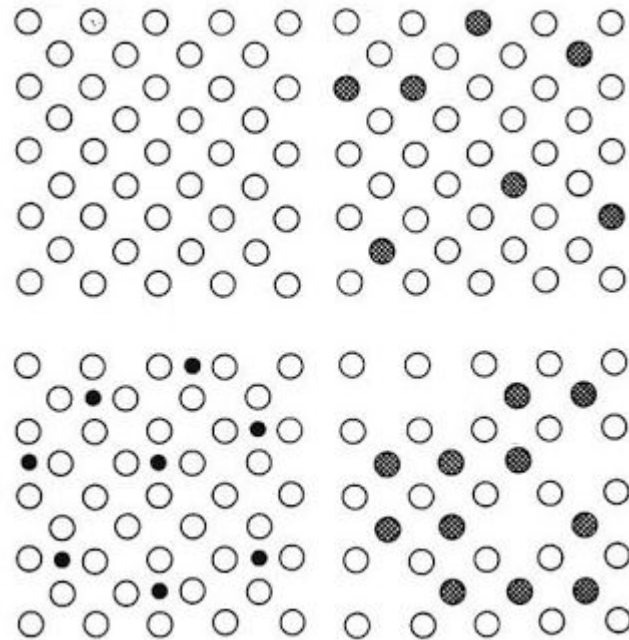
Непрерывный ряд твердых растворов образуется если

- Металлы принадлежат одному структурному типу
- Размеры их атомов близки
- Металлы химически близки

Co-Ni; Ag-Au; Ti-Zr; Cr-Fe

**Правило Вегарда** для параметра элементарной ячейки твердого раствора:

$$a_{\text{тр}} = a_1 C_1 + a_2 C_2$$

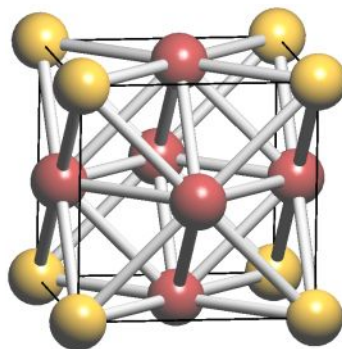
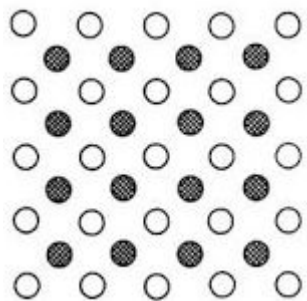


Аустенит  $\gamma\text{-Fe:C(2\%)}$  - твердый раствор

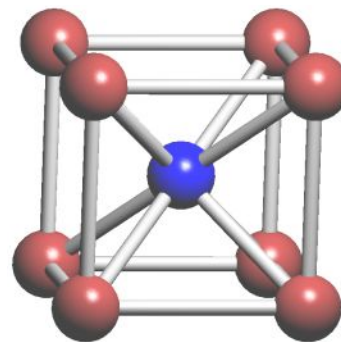
Цементит  $\text{Fe}_3\text{C}$  - соединение

# Двойные системы

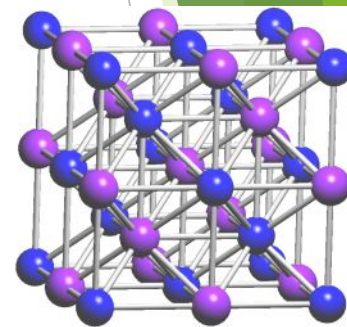
Металлы образуют интерметаллические соединения



$\text{Cu}_3\text{Au}$



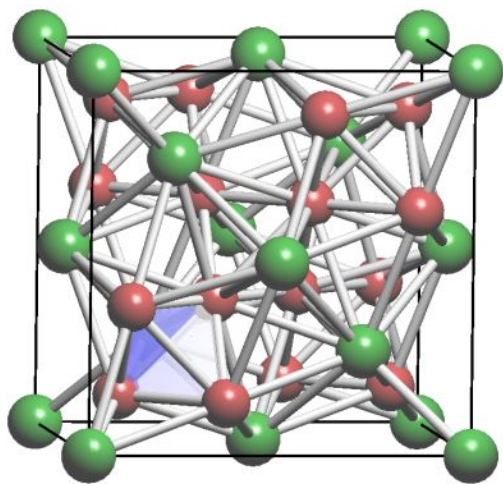
$\text{CuZn}$



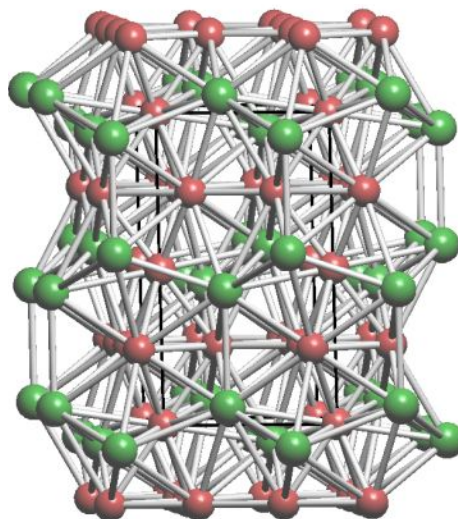
$\text{NaTl}$

# Двойные системы

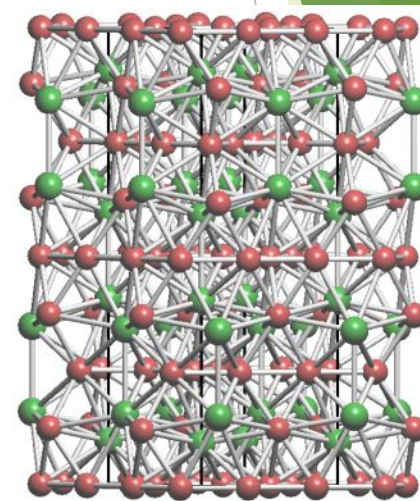
Особые типы: Фазы Лавеса



MgCu<sub>2</sub>



MgZn<sub>2</sub>



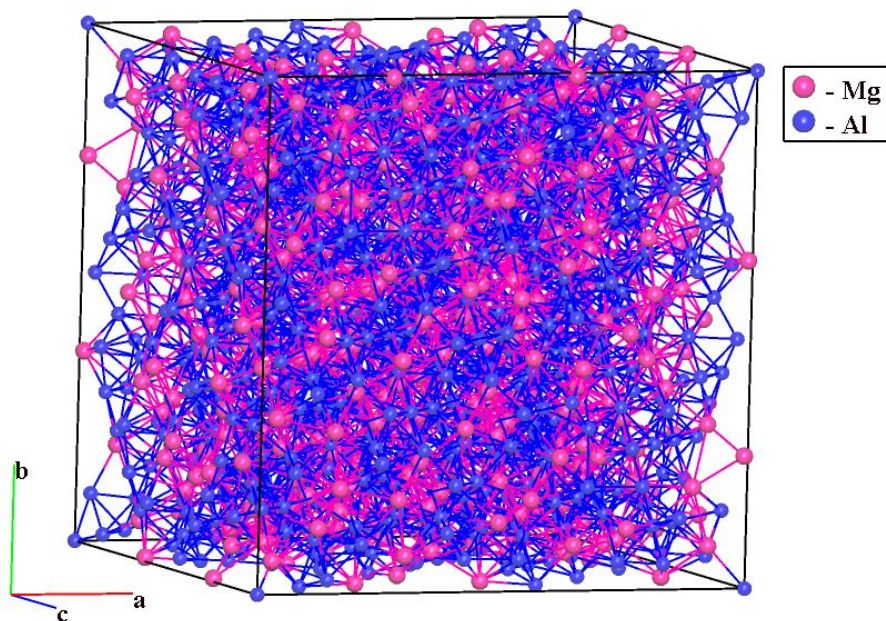
MgNi<sub>2</sub>

Накопители водорода



# Сложные интерметаллиды

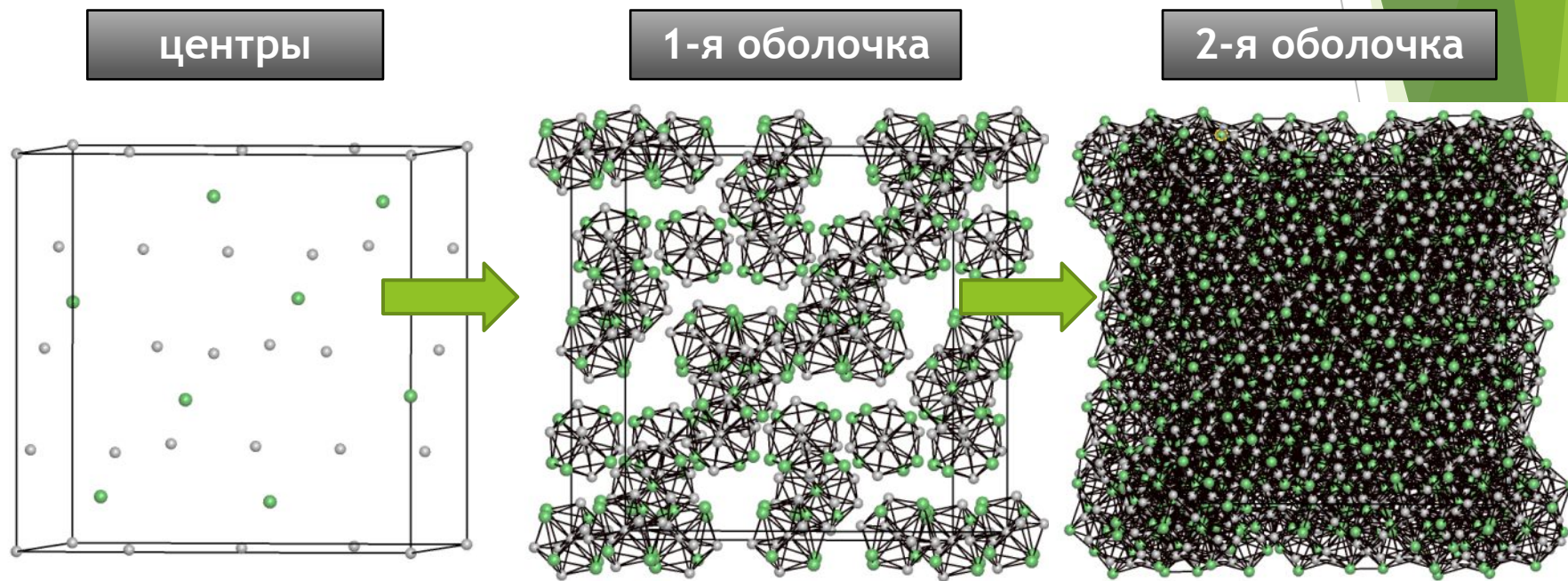
## Кластеры в интерметаллидах



“ $\beta$ -  $Mg_2Al_3$ ” - «монстр Самсона»  
>1000 атомов в эл. ячейке

# Сложные интерметаллиды

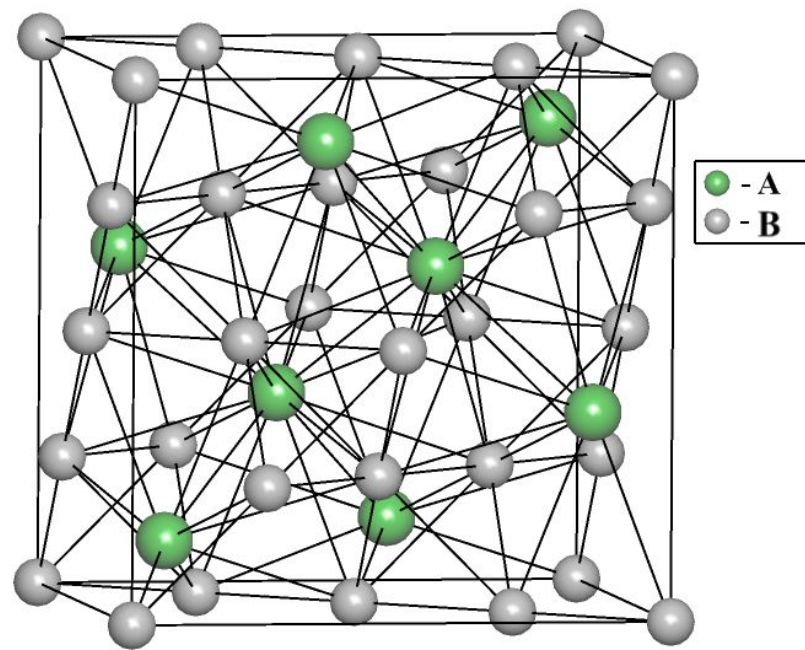
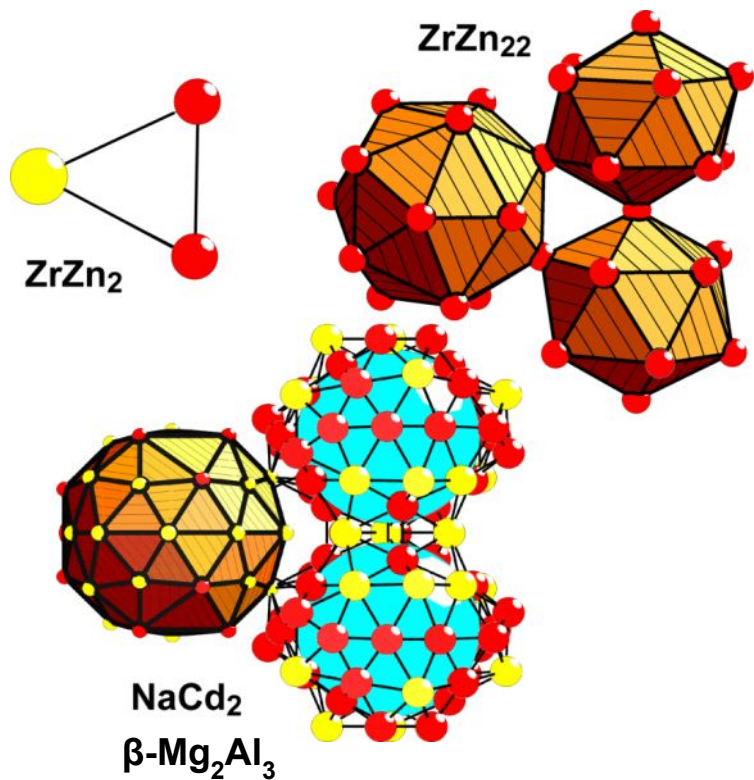
Кластеры в интерметаллидах



“ $B-Mg_2Al_3$ ” - «монстр Самсона»  
>1000 атомов в эл. ячейке

# Сложные интерметаллиды

Кластеры в интерметаллидах

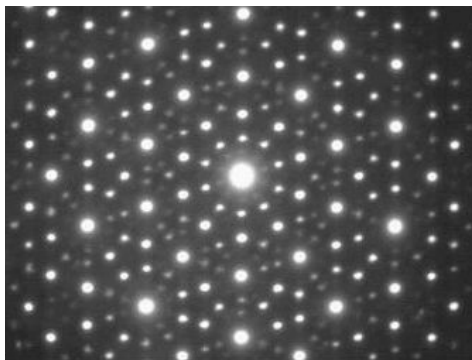


Структурный тип  
фазы Лавеса  $MgCu_2$

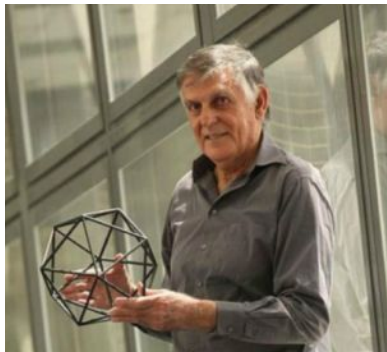


# Квазикристаллические интерметаллиды

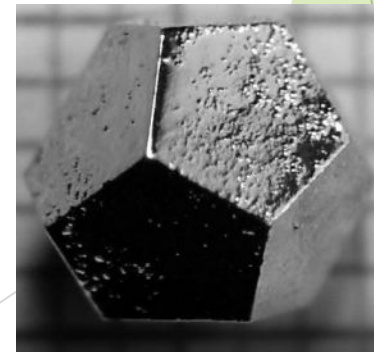
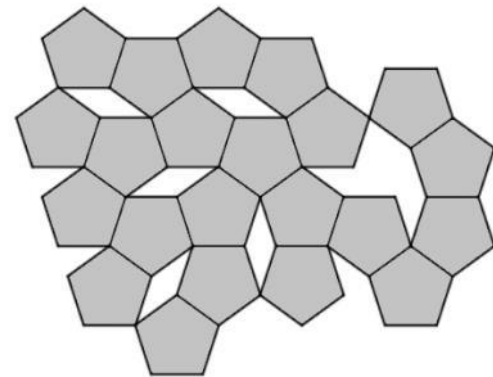
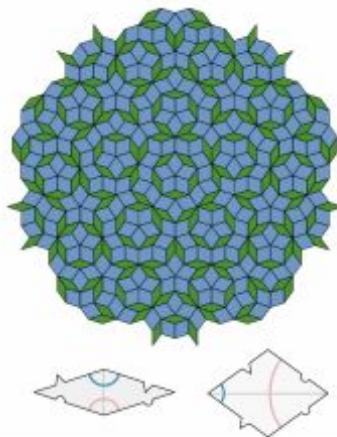
Д. Шехтман 1982  
 $\text{Al}_6\text{Mn}$



2011 Нобелевская  
премия



Р. Пенроуз 1974



**Спасибо за внимание**