

*Лекция 3.*  
*Теория диаграмм состояния*

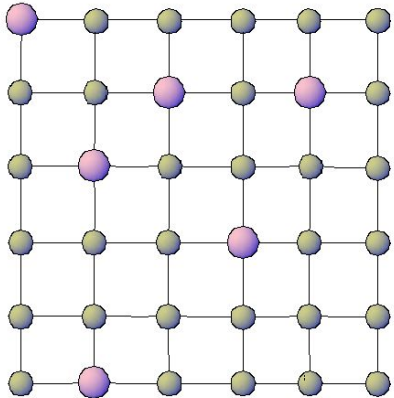
# 1. Общие понятия о сплавах

**Сплавами** называют сложные вещества, получаемые сплавлением или спеканием нескольких простых веществ (компонентов).

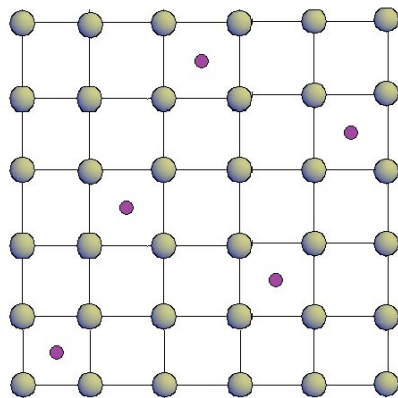
## Виды взаимодействия атомов в сплавах

Твердый раствор

Твердый раствор замещения



Твердый раствор внедрения



Химическое соединение

- Имеют определенный химический состав ( $A_m B_n$ ).
- Специфическая кристаллическая решетка, отличающаяся от решеток обоих компонентов.
- Свойства химического соединения резко отличаются от свойств образующих его компонентов.

Механическая смесь

образуется, если в твердом состоянии компоненты не растворимы и не образуют химических соединений.

## 2. Понятие о диаграммах состояния сплавов

*Диаграмма состояния* представляет собой графическое изображение структурного или фазового состава всех сплавов системы, состоящей из двух компонентов  $A$  и  $B$ , в зависимости от температуры и химического состава сплава (соотношения содержаний компонентов  $A$  и  $B$ ).

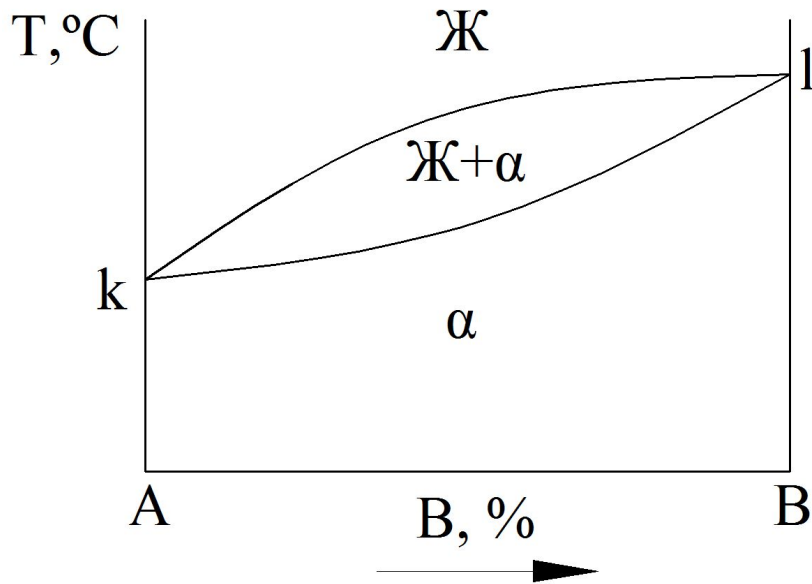
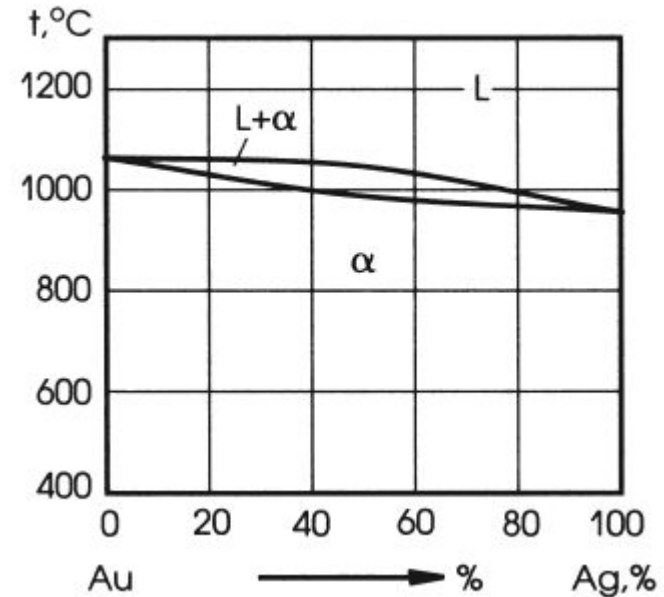
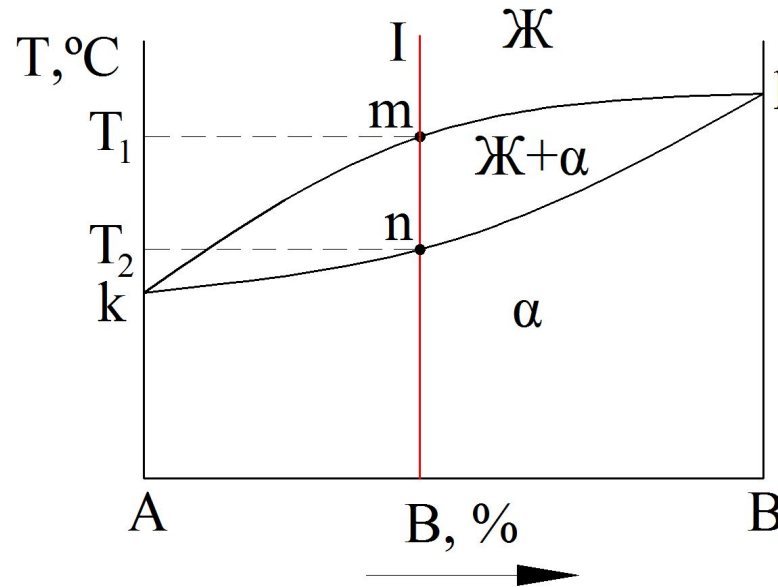


Диаграмма состояния сплавов, состоящих из двух компонентов  $A$  и  $B$ :  
Ж – жидкий раствор компонентов  $A$  и  $B$ ;  
 $\alpha$  – твердый раствор компонентов  $A$  и  $B$



Пример диаграммы состояния «золото Au – серебро Ag»: L – жидкий раствор Au и Ag;  $\alpha$  – твердый раствор Au и Ag

### 3. Основные линии диаграммы состояния



*Линия ликвидус* – это геометрическое место точек на диаграмме состояния, соответствующее температурам начала кристаллизации всех сплавов компонентов  $A$  и  $B$ . Выше линии ликвидус чистые компоненты и сплавы находятся в жидком состоянии.

*Линия солидус* – это геометрическое место точек на диаграмме состояния, соответствующее температурам окончания кристаллизации всех сплавов компонентов  $A$  и  $B$ . Ниже линии солидус чистые компоненты и сплавы находятся в твердом состоянии.

# 4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

## Диаграмма состояния I типа

Для каких сплавов  
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **нерастворимы** в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

*acb* – линия ликвидус; *dce* – линия солидус.

Примеры:

*Pb – Sb, Sn – Zn.*

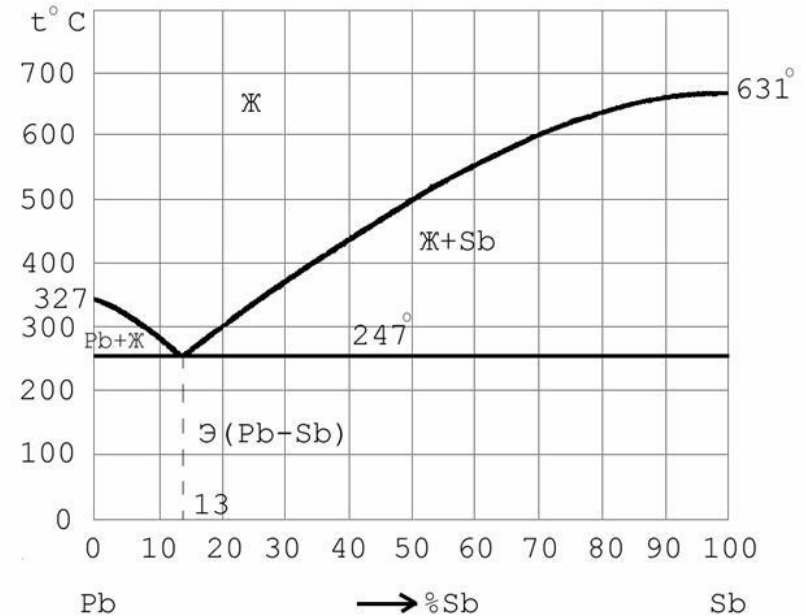
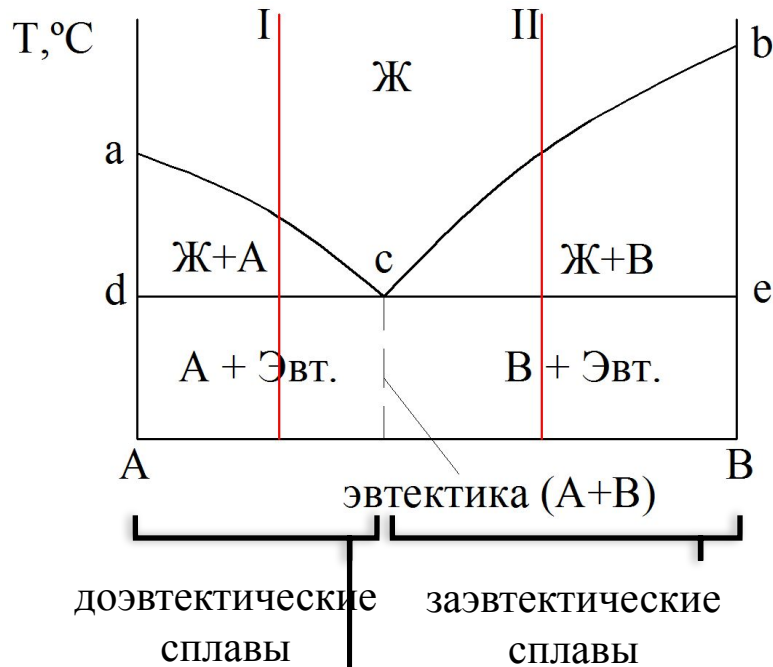


Диаграмма состояния Pb-Sb (I тип)

## 4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

### Диаграмма состояния II типа

Для каких сплавов  
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **неограниченно** взаимно растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

*ab* (поверху) – линия ликвидус; *ab* (понузу) – линия солидус.

Примеры:

*Cu – Ni, Ag – Au.*

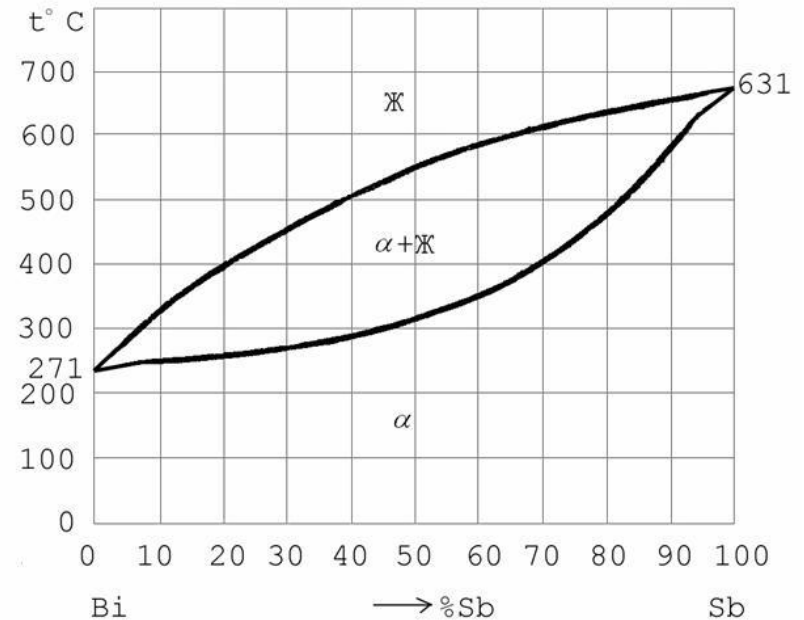
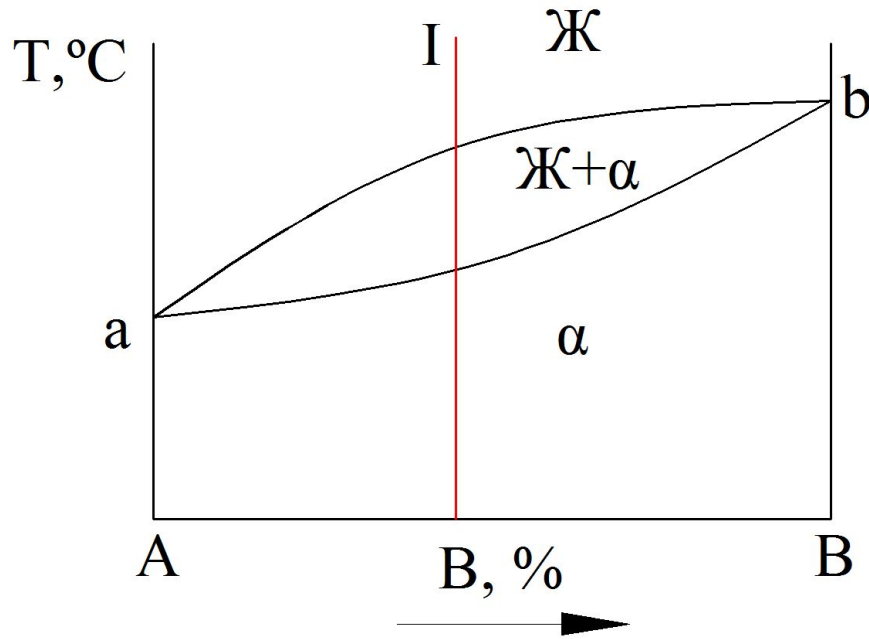


Диаграмма состояния Bi-Sb (II тип)

# 4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

## Диаграмма состояния III типа

Для каких сплавов  
характерна

для сплавов, компоненты которых полностью взаимно растворимы в жидком состоянии, **ограниченно** взаимно растворимы в твердом состоянии и не образуют химических соединений.

Линии диаграммы

*acb* – линия ликвидус; *adceb* – линия солидус.

Примеры:

*Pb – Sn, Cu – Ag.*

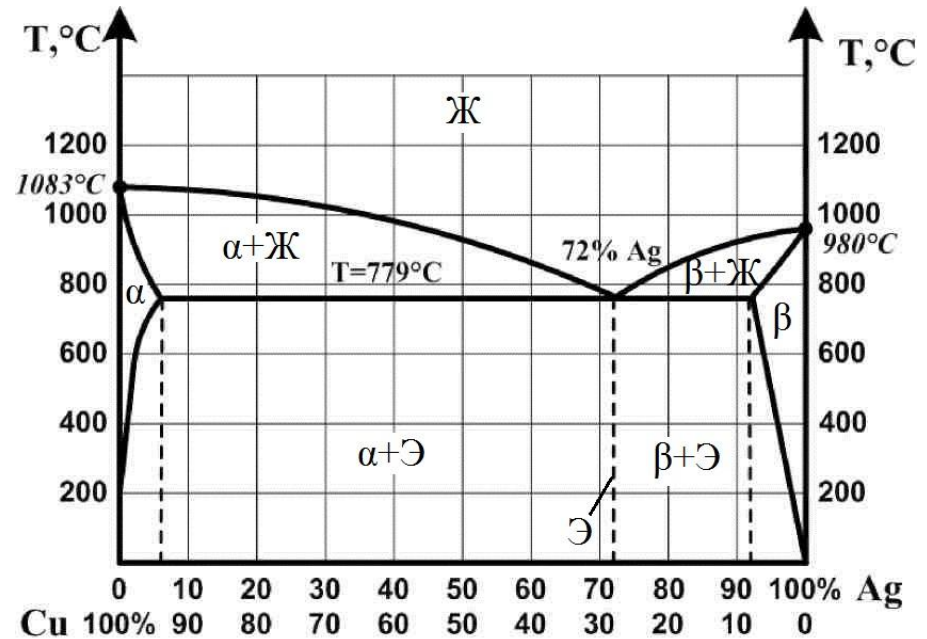
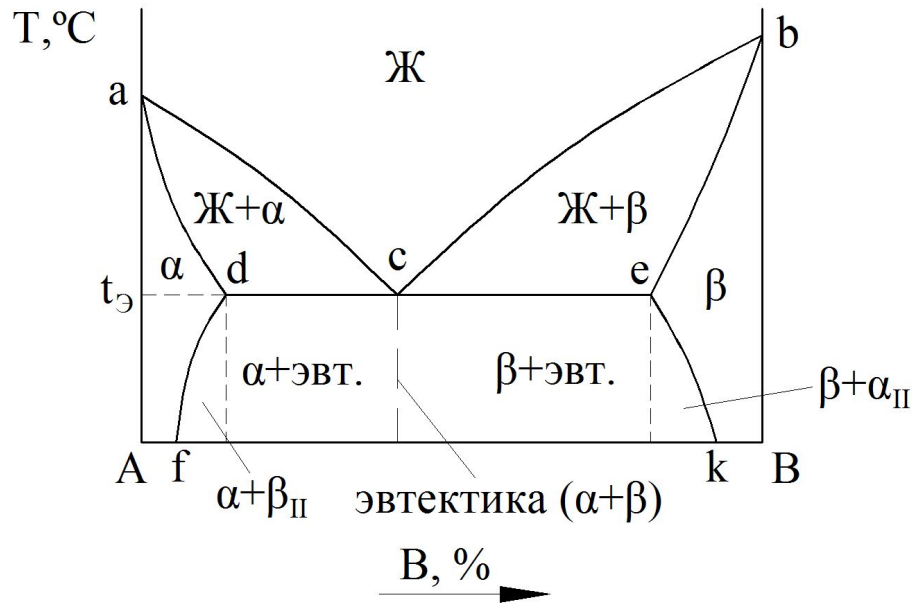


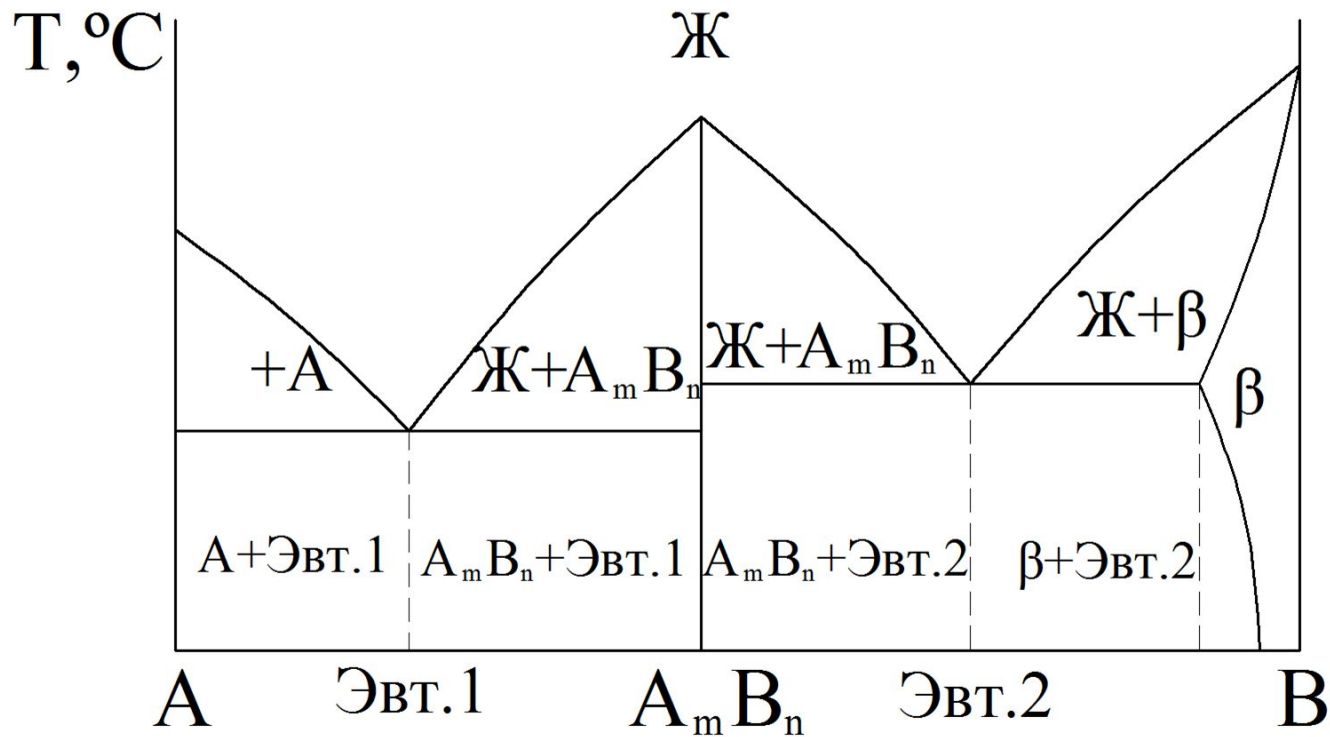
Диаграмма состояния Cu-Ag (III тип)

## 4. Основные типы диаграмм состояния двойных сплавов

### Диаграмма состояния IV типа

Для каких сплавов характерна для сплавов, компоненты которых образуют химические соединения.

Примеры: *Cu – Al, Fe – Al.*

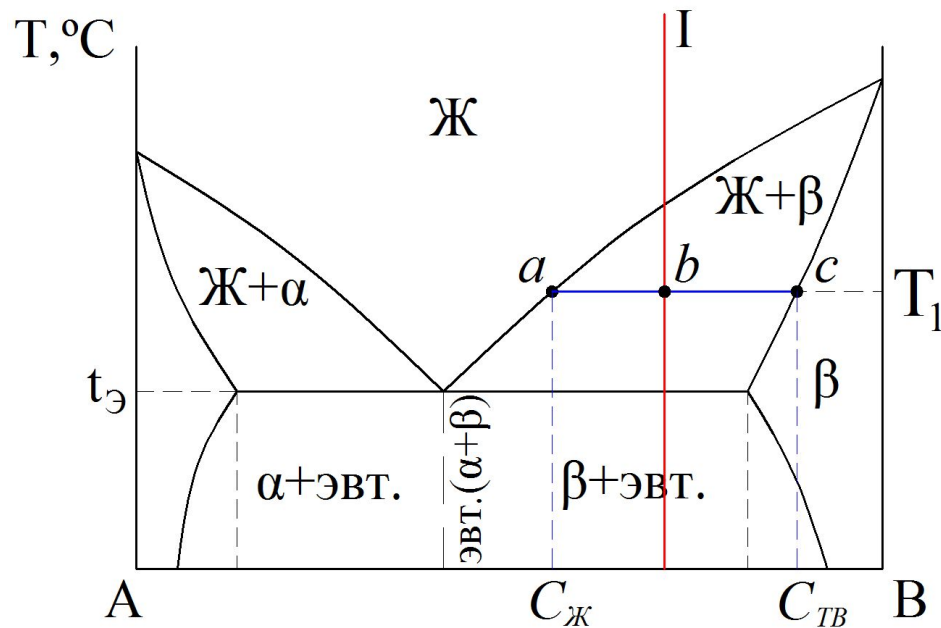




## 5. Правило отрезков

*Первое положение* правила отрезков позволяет определить концентрацию компонентов в твердой и жидкой фазах.

*Второе положение* правила отрезков позволяет определить количественное соотношение фаз для конкретного сплава при заданной температуре.



Применение правила отрезков на диаграмме состояния III типа

*По первому положению:*

$C_{Ж}$  и  $C_{ТВ}$  показывают хим. состав (концентрацию компонентов) в жидкой и твердой фазе соответственно.

*По второму положению:*

Количество жидкой фазы  $Q_{ж}$  во всем объеме металла для сплава I при температуре  $T_1$  будет определяться отношением длин отрезков

$$Q_{ж} = \frac{b}{ac} \cdot 100\%$$

Количество твердой фазы  $\beta$   $Q_{тв}$  будет определяться отношением длин отрезков

$$Q_{тв} = \frac{ab}{ac} \cdot 100\%$$

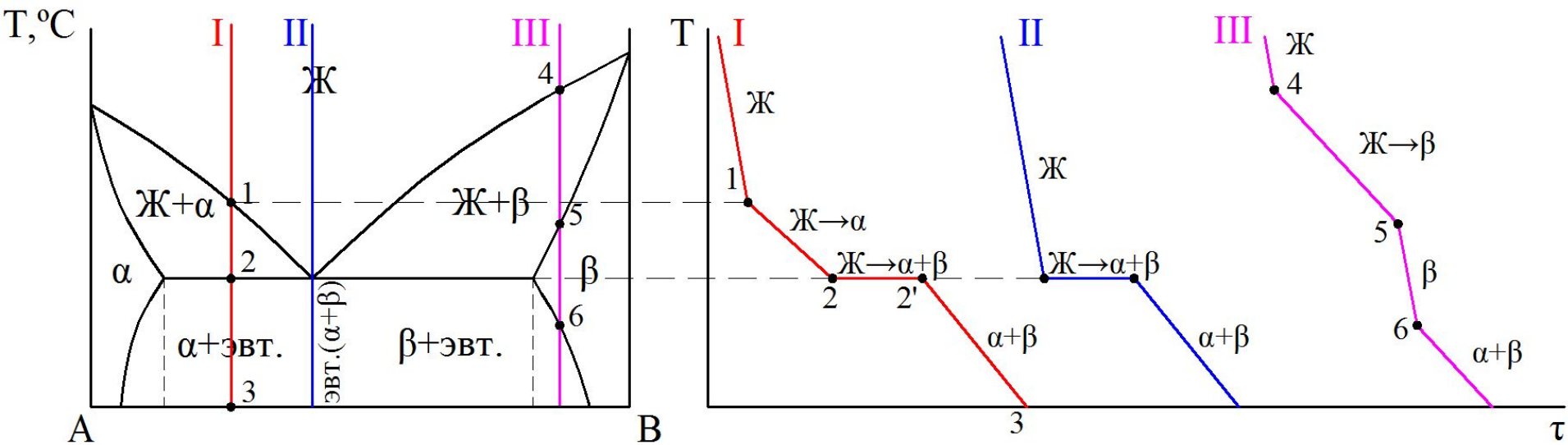
## 6. Правило фаз. Построение кривых охлаждения сплавов

Правило фаз (правило Гиббса):

$$C = K - \Phi + n,$$

где  $C$  – число степеней свободы;  $K$  – число компонентов;  $n$  – число внешних факторов.

$$\text{В случае } p = \text{const} \quad C = K - \Phi + 1.$$



Пример применения правила фаз на диаграмме состояния III типа

# *Сплавы железа с углеродом*

# 1. Общие сведения о сплавах железа с углеродом

*Сталь* – сплав железа и углерода с содержанием углерода не более 2.14%.

*Чугун* – сплав железа и углерода с содержанием углерода от 2.14% до 6.67%.

Широкое использование сплавов *Fe* с *C* объясняется тем, что:

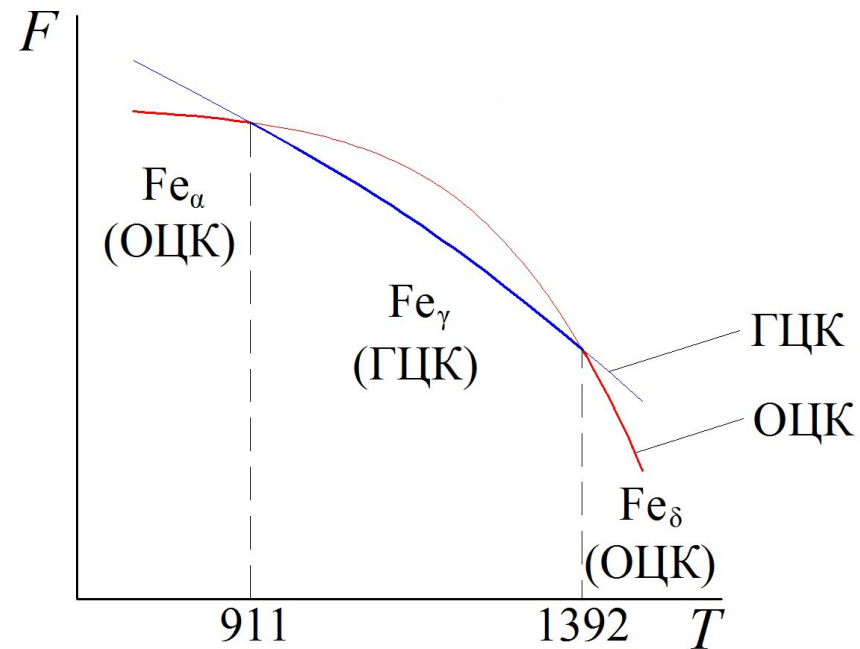
- в земной коре содержится сравнительно много железа;
- железо сравнительно легко восстанавливается до металлического состояния;
- железо имеет достаточно высокую температуру плавления (1539 °C);
- железо имеет полиморфное (аллотропическое) превращение, что позволяет получать в его сплавах большое количество структур с различными свойствами.

## 2. Общие сведения о железе

Атомный номер	26
Атомный вес	56
Плотность, г/см <sup>3</sup>	7,87
Температура плавления, °C	1539
Температура магнитного превращения, °C	768

Типы кристаллических решеток чистого железа в зависимости от температуры

Интервал температур	Тип решетки	Обозначение модификации
< 911°C	ОЦК	Fe <sub>α</sub>
911...1392 °C	ГЦК	Fe <sub>γ</sub>
1392...1539 °C	ОЦК	Fe <sub>δ</sub>



Изменение свободной энергии железа с различными типами кристаллической решетки в зависимости от температуры

### 3. Виды взаимодействия железа и углерода

#### 1. Образование твёрдых растворов.

**Феррит** – твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_{\alpha}$  (железо с ОЦК-решеткой).

$$\max \% C (1499^{\circ}C) = 0,1 \%$$

$$\max \% C (727^{\circ}C) = 0,025 \%$$

$$\max \% C (600^{\circ}C) \approx 0,010 \%$$

$$\max \% C (20^{\circ}C) = 0,006 \%$$

**Аустенит** – твердый раствор внедрения углерода в  $Fe_{\gamma}$  (железо с ГЦК-решеткой).

$$\max \% C (1147^{\circ}C) = 2,14 \%$$

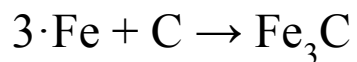
$$\max \% C (727^{\circ}C) = 0,8 \%$$

$$r_C = 1,54 \text{ Ангстрем}$$

$$r_{\text{ОЦК}} = 0,62 \text{ Ангстрем}$$

$$r_{\text{ГЦК}} = 1,02 \text{ Ангстрем}$$

#### 2. Образование химического соединения ( $Fe_3C$ – цементит).

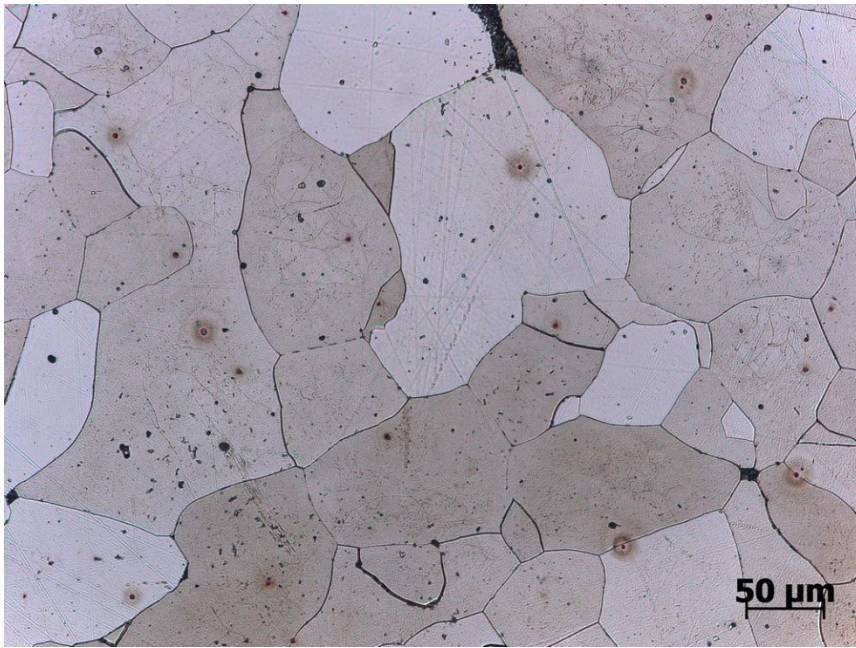


$$\% C = 6,67 \%$$

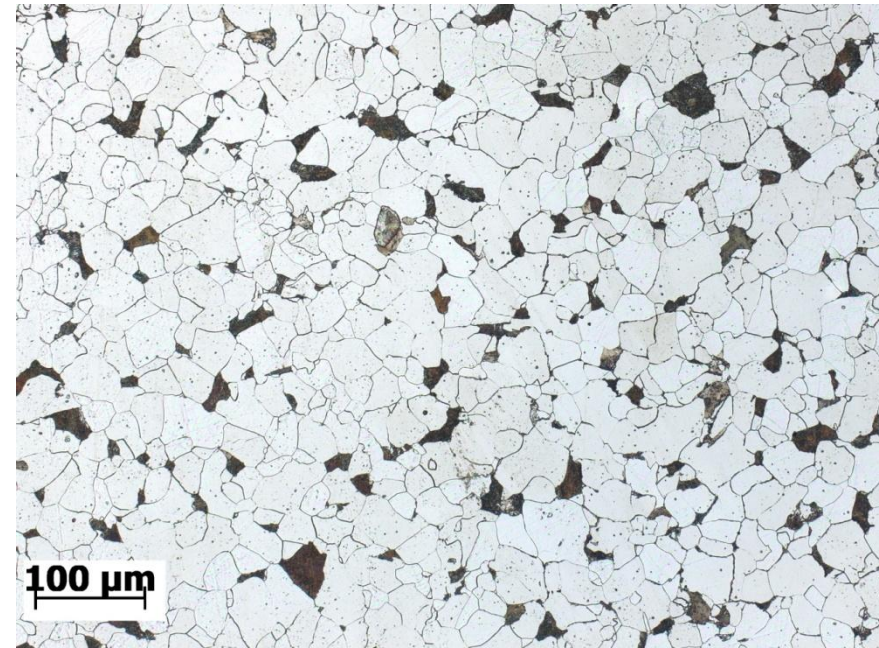
## 4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей

	<i>Феррит (Ф)</i>	<i>Аустенит (А)</i>	<i>Цементит (Ц)</i>	<i>Перлит (П)</i>
<i>Вид взаимодействия атомов Fe и C</i>	твердый раствор углерода в Fe <sub>α</sub>	твердый раствор углерода в Fe <sub>γ</sub>	химическое соединение Fe <sub>3</sub> C	механическая смесь феррита и цементита
<i>Содержание углерода, %</i>	≤ 0,1% (1499°C) ≤ 0,025% (727°C) ≤ 0,006% (20°C)	≤ 2,14% (1147°C)	6,67%	0,8%
<i>Твердость по Бринеллю HB, МПа</i>	1000	1600-2000	8500	2000
<i>Предельное удлинение до разрушения, %</i>	40	50	0	15

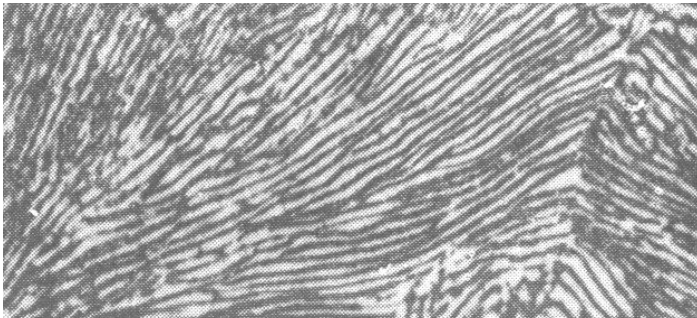
## 4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей



Микроструктура низкоуглеродистой стали после отжига (на фото – зерна феррита)



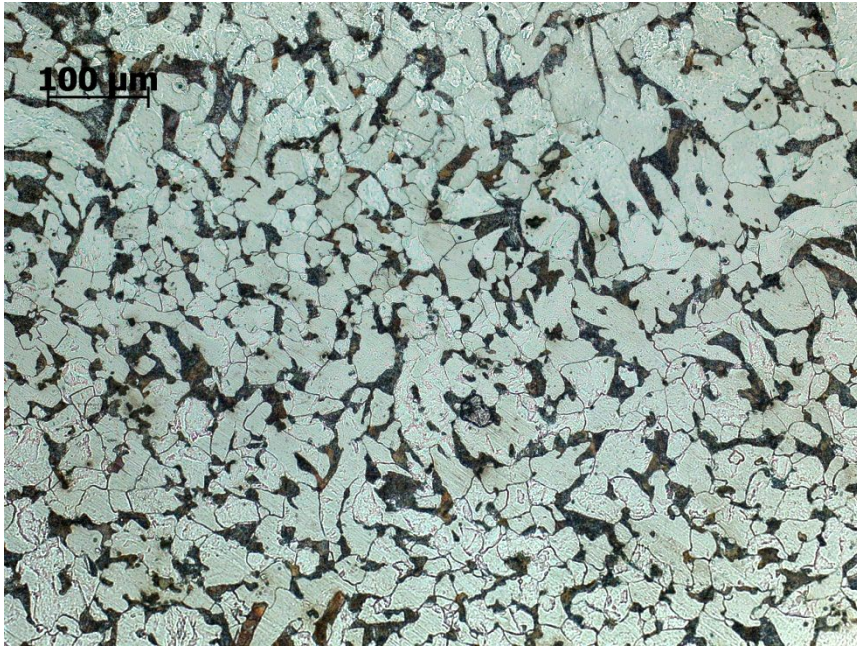
Микроструктура стали с содержанием углерода  $\approx 0.1\%$ ; (на фото – зерна феррита и перлита)



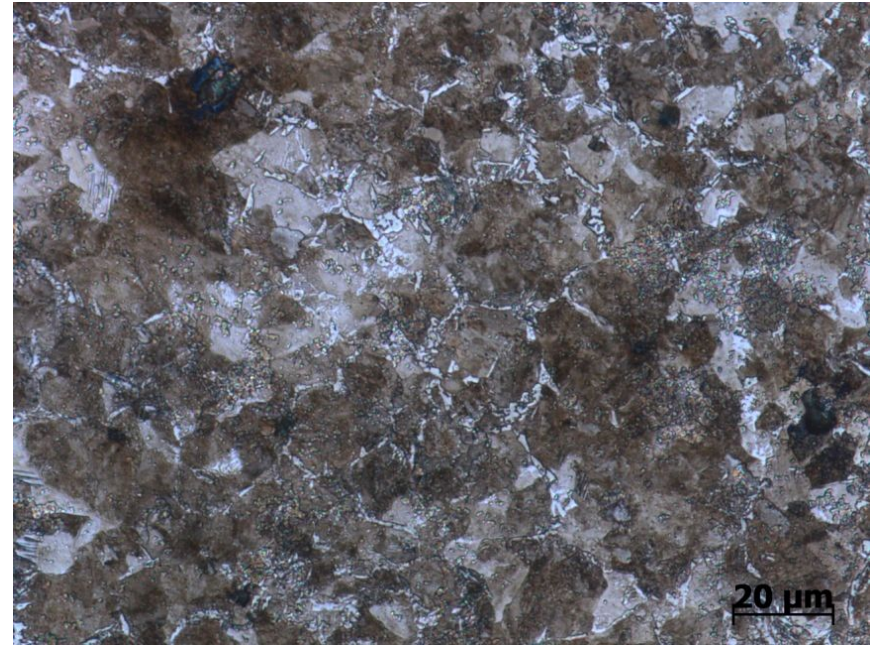
Микроструктура зерна перлита (увеличено,  $\times 1600$ )



## 4. Структурные составляющие углеродистых незакаленных сталей



Микроструктура доэвтектоидной стали  
с содержанием углерода  $\approx 0.25\%$



Микроструктура заэвтектоидной стали  
с содержанием углерода  $\approx 0.9\%$

## 5. Диаграмма состояния «железо (Fe) - цементит (Fe<sub>3</sub>C)»

