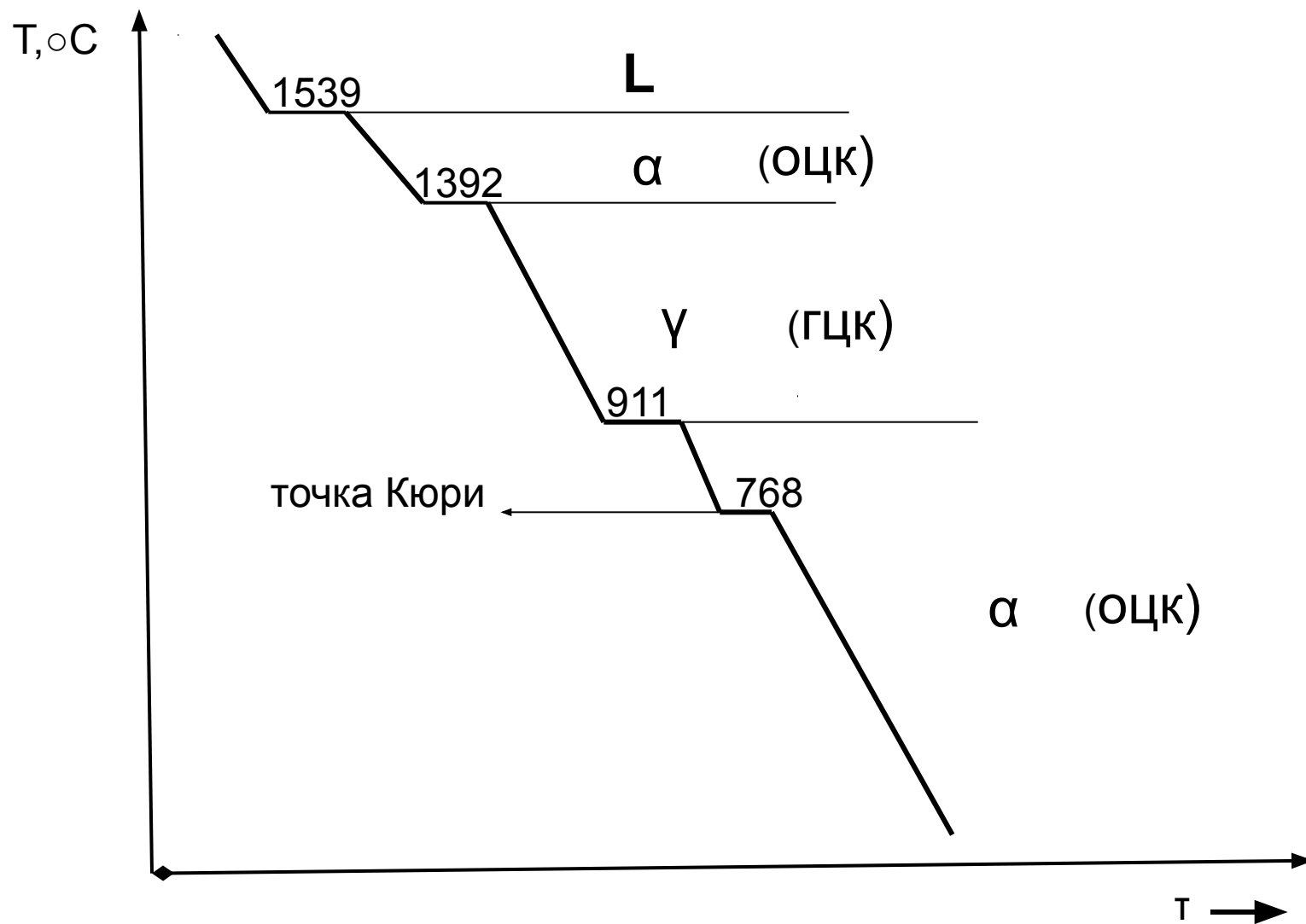


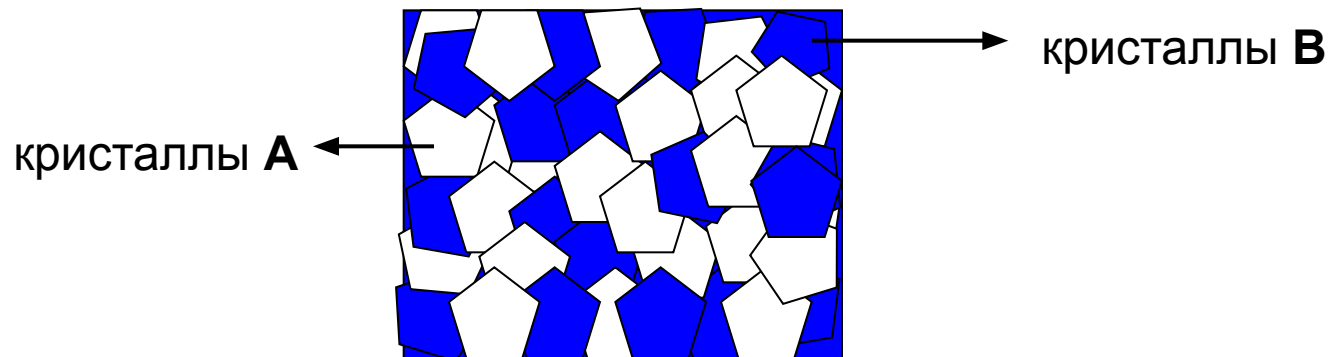
ТЕОРИЯ СПЛАВОВ

Аллотропия железа



Строение сплавов

- **Сплав** — вещество, получаемое сплавлением двух или более компонентов.
- **Механическая смесь**: компоненты, образующие сплав, не способны к взаимному растворению и не образуют соединения.



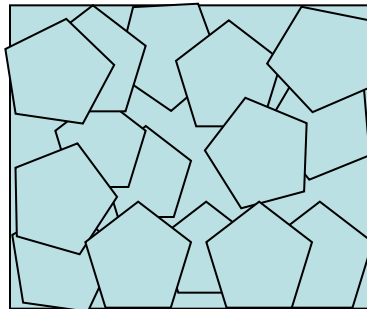
Кристаллы А и В имеют различные кристаллические решетки.

К

р

Строение сплавов

- **Твердый раствор на основе одного из компонентов сплава:** образуется в сплавах, сохраняющих однородность жидкого расплава при кристаллизации. Существует в интервале концентраций.



Состоит из одного вида кристаллов и имеет одну кристаллическую решетку. различают твердые растворы замещения (ограниченные и неограниченные) и внедрения.

Строение сплавов

- **Химическое соединение:**
 1. Соотношение чисел атомов элементов соответствует стехиометрической пропорции и может быть выражено простой формулой (в общем виде - A_nB_m).
 2. Образуется специфическая (отличная от элементов, составляющих химическое соединение) кристаллическая решетка с упорядоченным расположением в ней атомов компонентов.
 3. Химическое соединение характеризуется определенной температурой плавления.

Правило фаз

$$C = k - f + 1$$

C — число степеней свободы

k — число компонентов

f - количество фаз

1 — число переменных

Это выражение применяют к металлическим системам, считая, что давление и концентрация постоянны.

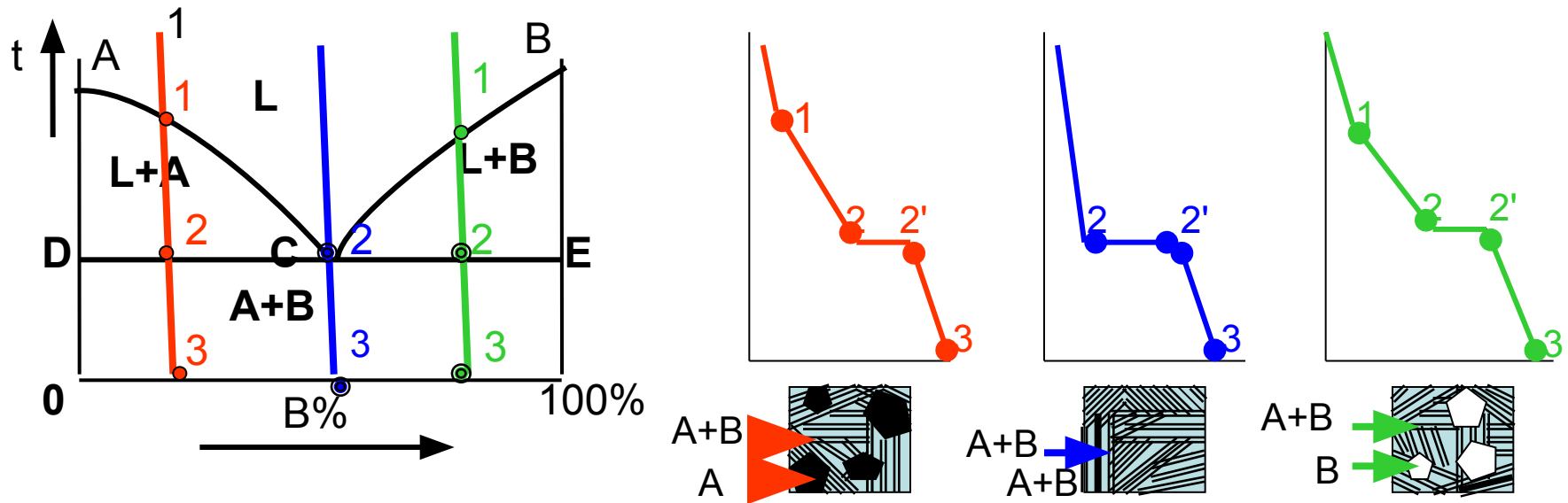
Правило фаз (закон Гиббса)

- **Правило фаз** дает количественную зависимость между степенью свободы системы и количеством фаз и компонентов.
- **Фаза:** однородная часть системы, отделенная от других частей системы (фаз) поверхностью раздела, при переходе через которую химический состав или структура вещества изменяются скачком.
- **Компоненты:** вещества, образующие систему.
- **Число степеней свободы** (вариантность) системы: число внешних и внутренних факторов (температура, давление и концентрация), которое можно изменять без изменения числа фаз.

Диаграмма состояния

- **Диаграмма состояния** показывает изменение состояния в зависимости от температуры и концентрации (давление постоянно для всех рассматриваемых случаев).
- Для построения диаграмм состояния пользуются результатами термического анализа: строят кривые охлаждения и по остановкам и перегибам на этих кривых, определяют температуры фазовых превращений. Линиями соединяют точки аналогичных превращений.
- Каждая точка на диаграмме состояния показывает состояние сплава данной концентрации при данной температуре.

Диаграмма состояния для сплавов, образующих механические смеси из чистых компонентов (1 рода)



Компоненты: вещества A и B ($k=2$).

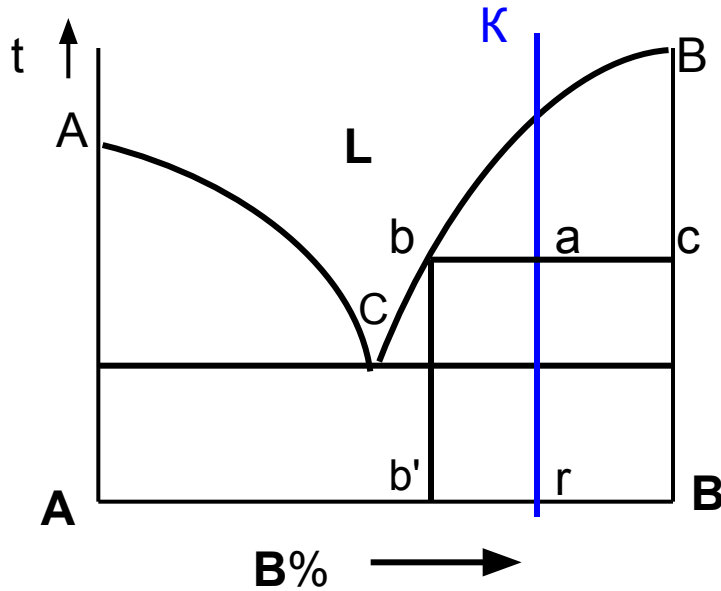
Фазы: жидкость L, кристаллы A и кристаллы B (максимальное значение $f=3$).

$$C = k - f + 1$$

Эвтектика – механическая смесь двух (или более) видов кристаллов, одновременно кристаллизовавшихся из жидкости.



Правило отрезков



В сплаве **K**: $r\%$ В и $(100 - r)\%A$.

AB – все количество сплава; rA – количество В;

rB – количество А в сплаве **K**.

В точке **a**: $L + B$; L имеет концентрацию b .

L содержит $b'\%$ В (отрезок ab').

Если принять массу сплава **K** = 1 и она

изображается bc , то масса кристаллов в точке **a**:

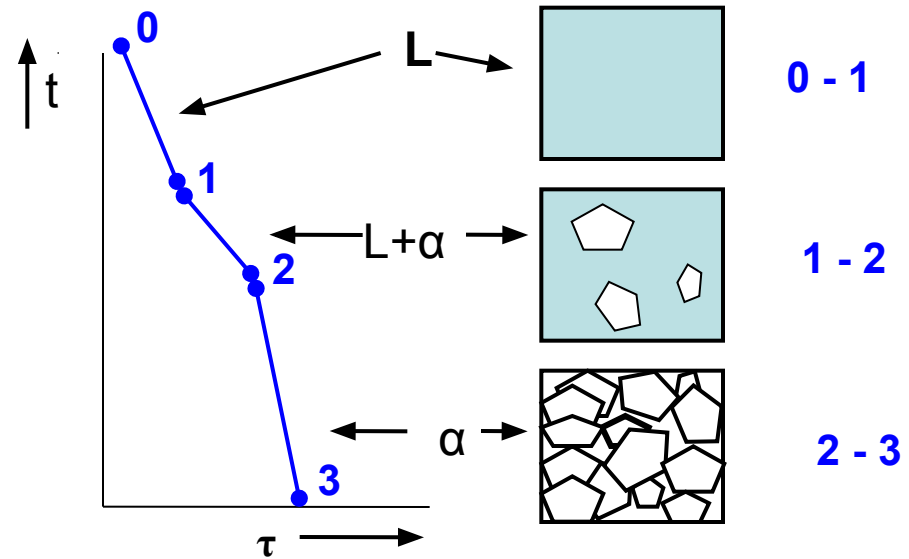
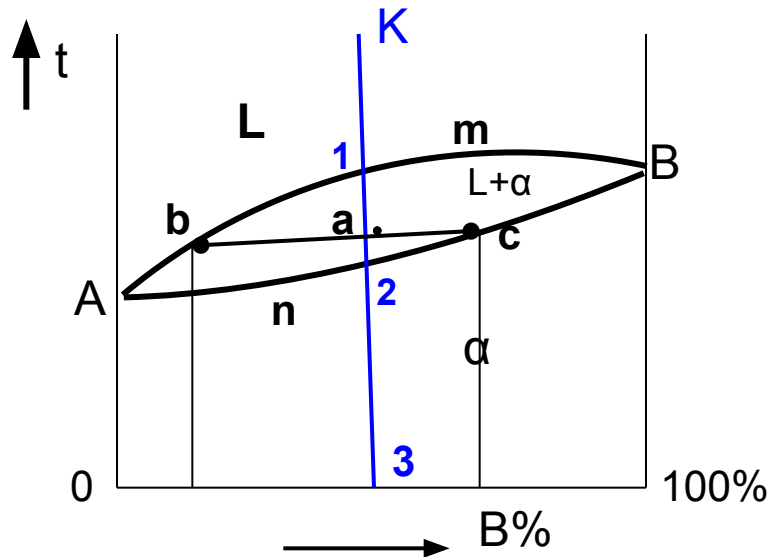
$x = ba / bc$, а количество жидкости: $1 - x = ac / bc$.

Отношение твердой и жидкой фаз:

$$x / (1-x) = ba / ac.$$

1. Чтобы определить концентрацию компонентов в фазах, через данную точку характеризующую состояние сплава, проводят горизонтальную линию до пересечения с линиями, ограничивающими данную область; проекции точек пересечения на ось концентраций показывают состав фаз.
2. Для того чтобы определить количественное соотношение фаз, через заданную точку проводят горизонтальную линию. Отрезки этой линии между заданной точкой и точками, определяющими составы фаз, обратно пропорциональны количествам этих фаз.

Диаграмма для сплавов с неограниченной растворимостью в твердом состоянии (2 рода)



Компоненты: A и B ($\kappa = 2$); фазы: L и α , где L – жидкость; α – твердый раствор ($f=2$).

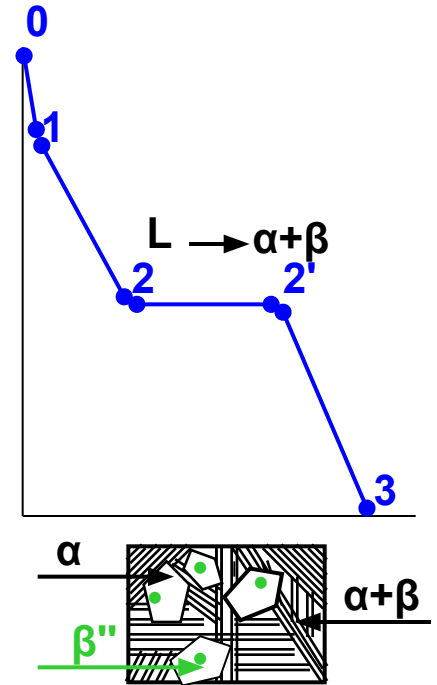
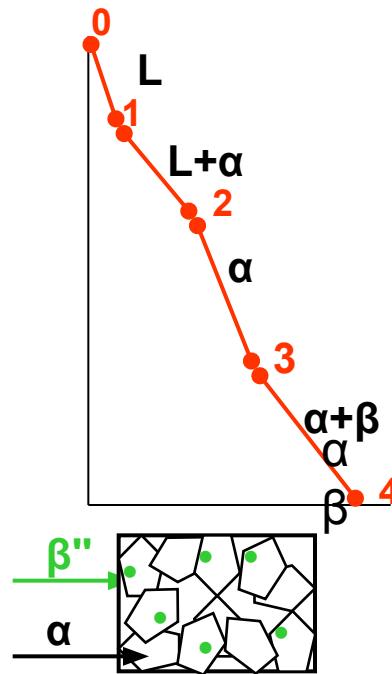
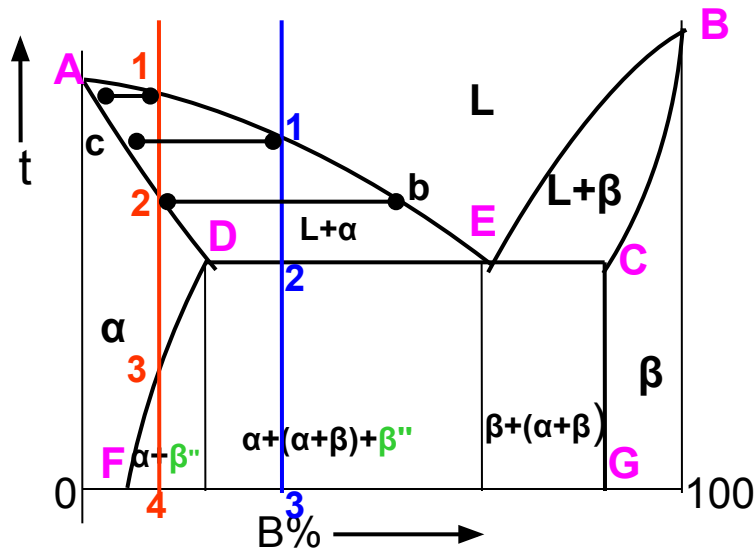
$$c = \kappa - f + 1$$

AmB – линия ликвидус; AnB – линия солидус.

Сплав K в точке a: L состава b и α состава c. Количество жидкой фазы L = ac / bc ; количество твердой фазы α = ba / bc .

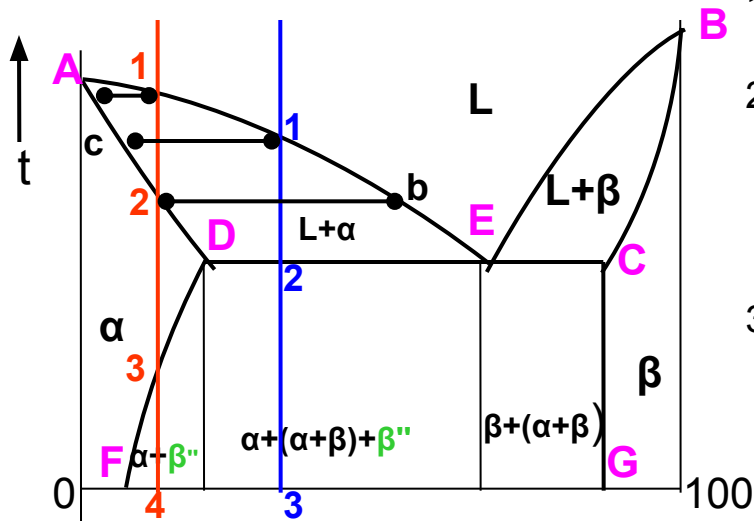
Диаграммы состояния для сплавов с ограниченной растворимостью в твердом состоянии (3 рода).

Диаграмма с эвтектикой.



Компоненты: A; B : $k=2$. **Фазы:** L; α (твердый раствор B в A); β (твердый раствор A в B): $f=3$. Следовательно возможно неинвариантное равновесие при одновременном существовании трех фаз ($c = k - f + 1$). В заданной системе не образуются фазы, представляющие собой чистые компоненты. AEB – линия ликвидус; ADCB – линия солидус. В точках 3 и 4 – 2 **фазы:** α и β . В точке 3 – 2 **структурные составляющие:** α и β'' . В точке 4 – 3 **структурные составляющие:** α , β и β'' .

Описание процесса охлаждения **сплава 2**

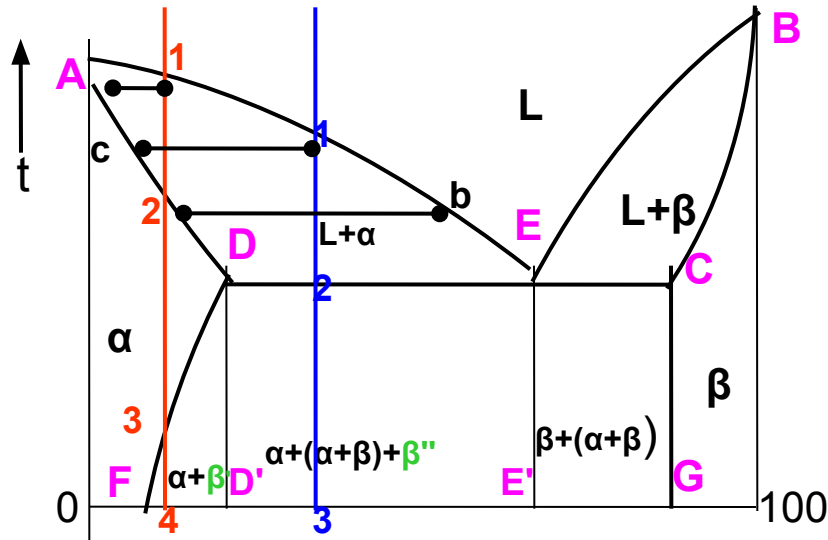


1. Выше точки 1 сплав находится в жидком состоянии.
2. В точке 1 начинается процесс кристаллизации. Выделяются кристаллы твердого раствора α . Концентрация которого изменяется по кривой cD, а состав жидкости по кривой 1E.
3. При достижении горизонтальной прямой DEC наступает невариантная реакция. В равновесии находятся три фазы: жидкость (состава E); α -кристаллы (состава D) и β -кристаллы (состава C).

4. В результате кристаллизации сплава, кроме первичных (выделившихся из жидкости) кристаллов α , образуется еще и эвтектика ($\alpha + \beta$).

5. При охлаждении **сплава 2 ниже линии DEC**, вследствие изменения растворимости, α -кристаллы выделяют вторичные кристаллы β'' . Выделение вторичных кристаллов из эвтектических составляющих обычно не обнаруживается, так как вторичные кристаллы объединяются с такой же фазой эвтектики.

Количественное определение фаз и структурных составляющих в сплавах



Сплав 1

Количество фаз и структурных составляющих при комнатной температуре:

$$\alpha = 4G / FG$$

$$\beta'' = F4 / FG$$

Сплав 2

Количество фаз при комнатной температуре:

$$\alpha = 3G / FG$$

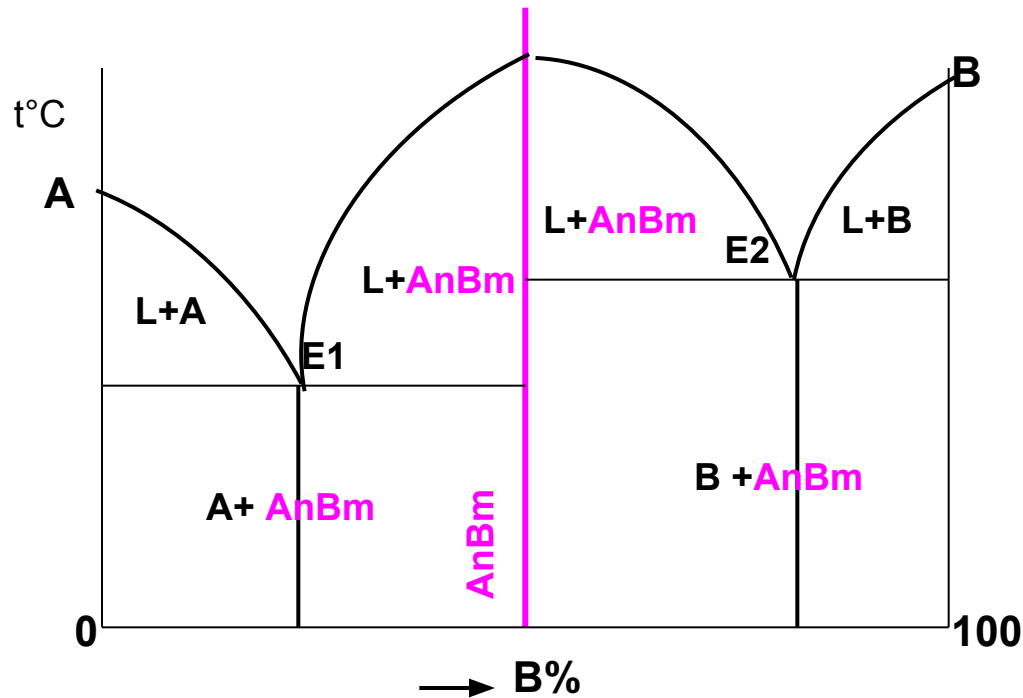
$$\beta = F3 / FG$$

Количество структурных составляющих при температуре эвтектического превращения:

$$(\alpha + \beta) = D2 / DE$$

$$\alpha = E2 / DE$$

Диаграмма с устойчивым химическим соединением



Хим. соединение и чистые компоненты не образуют в твердом состоянии растворов.
Компоненты: A, B, AnBm – можно рассматривать как однокомпонентную систему

Диаграмма железо – углерод.

Железоуглеродистые сплавы – стали и чугуны.

Стали содержат $< 2,14\%$ углерода; чугуны содержат $> 2,14\%$ углерода.

Железо образует с углеродом химическое соединение – цементит Fe_3C . Устойчивое химическое соединение можно рассматривать как компонент, а диаграмму при этом можно рассматривать по частям от железа до Fe_3C ($6,67\%\text{C}$). Это оправдано еще и тем, что на практике применяют металлические сплавы с содержанием углерода не более 5% .

Свойства и строение компонентов диаграммы железо - углерод

1. **Железо** – Fe: $T_{пл} = 1539^{\circ} \text{C}$; в твердом состоянии может находиться в двух модификациях: α (δ – высокотемпературная модификация) - решетка о.ц.к. и γ – решетка г.ц.к.; при 768°C происходит магнитное превращение; с углеродом железо образует растворы внедрения; **твердый раствор углерода в α -железе называют ферритом, а в γ -железе – аустенитом.**
2. **Цементит** – химическое соединение углерода с железом (**карбид железа**) Fe_3C : $T_{пл} = 1250^{\circ} \text{C}$; кристаллическая решетка крайне сложна; аллотропических превращений не испытывает; магнитные свойства теряет при 217°C ; имеет практически нулевую пластичность; при определенных условиях распадается с образованием свободного углерода (графита); твердый раствор металлов на базе решетки цементита называют **легированным цементитом.**

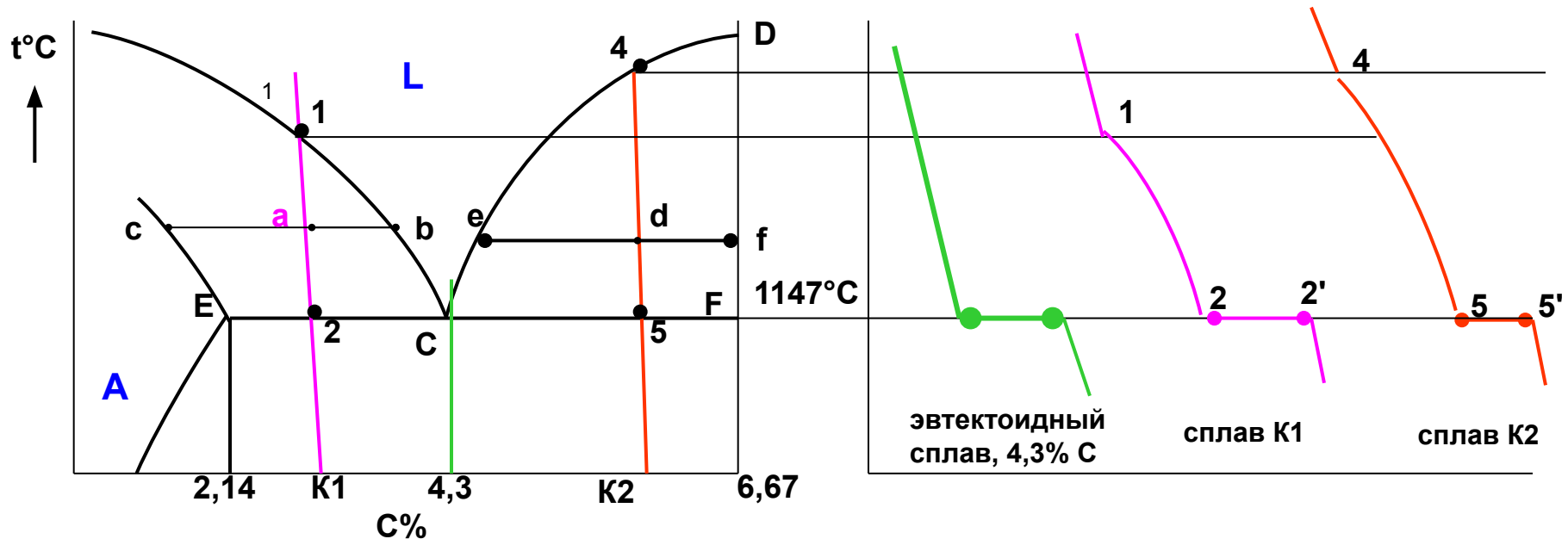
Обозначения, принятые для дальнейшего изложения.

- **L** – жидкость (жидкий раствор углерода в железе), существует выше линии ликвидус ABCD.
- **Ц** – цементит, соответствует линии DFKL.
- **Ф** – феррит – структурная составляющая, незначительный раствор углерода в α -железе, на диаграмме располагается левее линий GPQ и AHN.
- **A** – аустенит – структурная составляющая, твердый раствор углерода в γ -железе, область на диаграмме NJESG/

Нонвариантные реакции на диаграмме

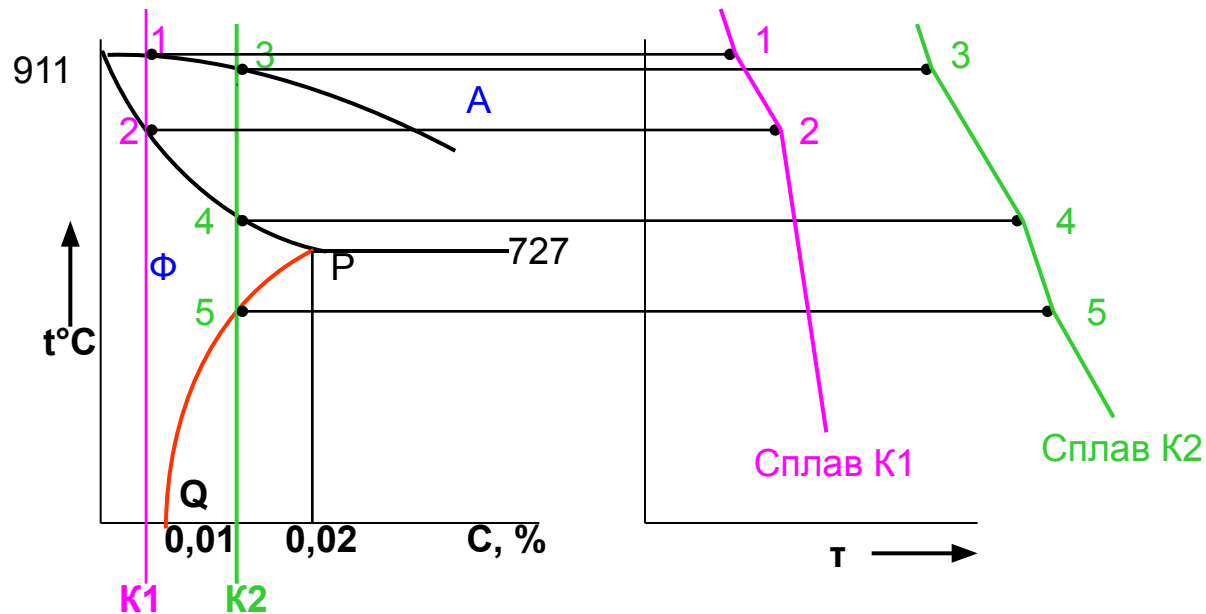
1. $T=1499^{\circ}\text{C}$ (линия HJB): $L(B)+\Phi(H)\rightarrow A(J)$ - перетектическая реакция, наблюдается только у сплавов с содержанием углерода от 0,1% до 0,5%.
2. $T=1147^{\circ}\text{C}$ (линия ECF): $L(C)\rightarrow A(H)+\Psi$ – эвтектическая реакция, наблюдается у сплавов с содержанием углерода более 2,14% C, образовавшуюся в результате реакции эвтектическую смесь называют ледебуритом.
3. $T=727^{\circ}\text{C}$ (линия PSK): $A(S)\rightarrow\Phi(P)+\Psi$ – эвтектоидная реакция, наблюдается у всех сплавов с содержанием углерода более 0,02%, образовавшуюся в результате реакции эвтектоидную смесь называют перлитом.

Процессы кристаллизации сплавов с содержанием углерода более 2,14%



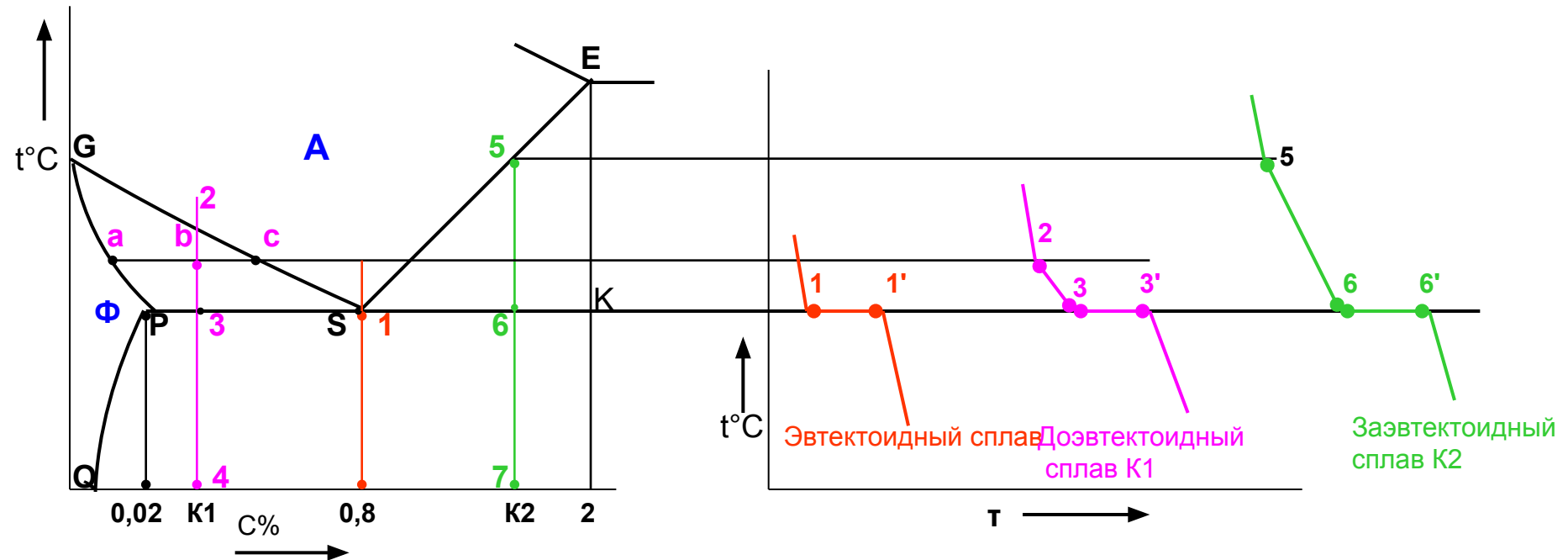
1. Первичная кристаллизация заканчивается **эвтектической** реакцией: $L(4,3\% \text{C}) \rightarrow A(2,14\% \text{C}) + C(6,67\% \text{C})$; в сплаве, содержащем 4,3% C происходит только эта реакция, структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит.
2. В **доэвтектическом** сплаве K2 сначала идет выделение первичного аустенита; в точке **a** количество фаз определяется соотношением $L(\text{состава } b) / A(\text{состава } c) = ca / ab$; структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит + аустенит.
3. В заэвтектическом сплаве K2 первоначально выделяется **первичный цементит**; соотношение фаз в точке **d** определяется аналогично; структура в результате первичной кристаллизации – ледобурит + цементит.

Вторичная кристаллизация весьма малоуглеродистых сплавов



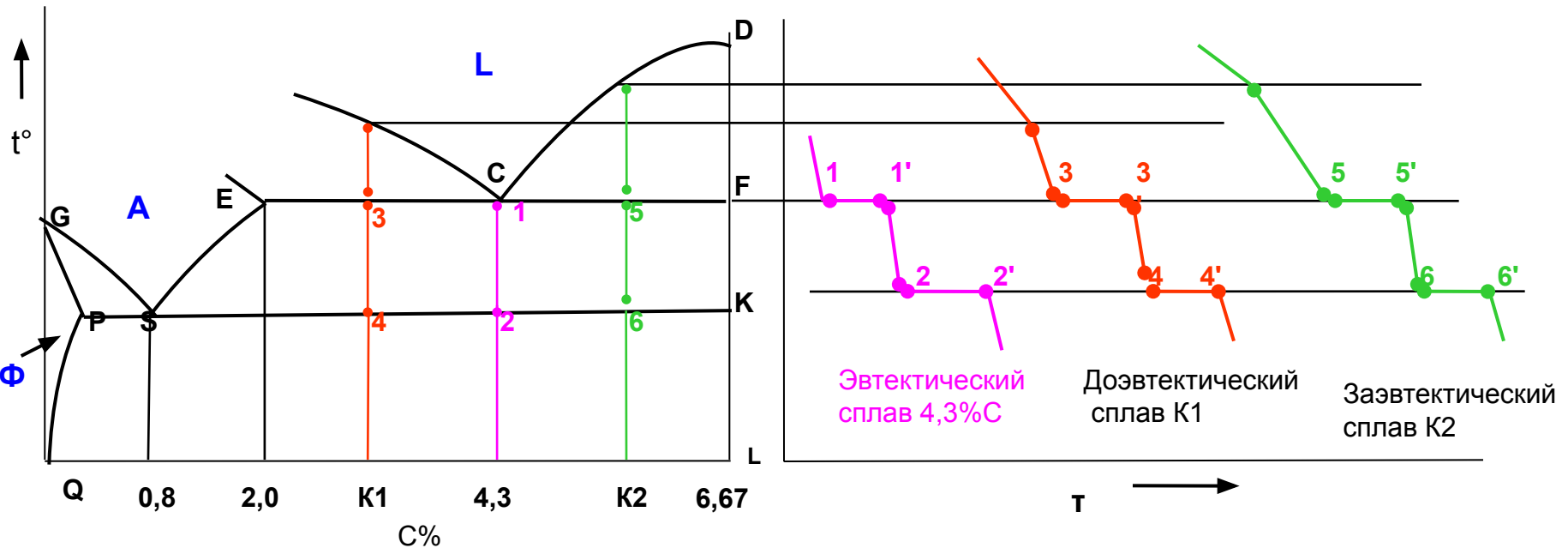
1. Сплав типа K1 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$) : при охлаждении в интервале температур 1 – 2 происходит превращение $A \rightarrow \Phi$; ниже точки 2 сплав состоит из однородного α -твердого раствора феррита (Φ).
2. Сплав типа K2 (содержание углерода $0,01 < C\% < 0,02$): этот сплав отличается от сплава K1 тем, что вертикаль данного сплава пересекает линию PQ в точке 5. Ниже точки 5 происходит выделение из сплава высокоуглеродистой фазы – цементита (ζ), который называют **третичным цементитом** в отличие от **первичного цементита**, выделяющегося из жидкости, и **вторичного цементита**, выделяющегося из аустенита (A).

Вторичная кристаллизация сталей



1. **Сплав 1:** в точке S (727°C) происходит эвтектоидная реакция - $\text{A} \rightarrow \text{Ф} + \text{Ц}$; образовавшаяся эвтектоидную смесь называют **перлитом (П)**; **перлит не фаза, а структурная составляющая**, представляющая собой чередующиеся пластинки феррита и цементита.
2. **Сплав K1:** имеет избыток Fe по сравнению с эвтектоидной концентрацией 0,8%С; выделение Ф при охлаждении обогащает А углеродом и при 727°C происходит эвтектоидная реакция; после окончания превращения структура будет состоять из П и зерен Ф.
3. **Сплав K2:** при охлаждении в интервале 5 – 6 из А выделяется Ц, при этом А обедняется углеродом и при 727°C происходит эвтектоидная реакция; в результате получается структура, состоящая из Ц, выделяющегося по границам зерен в виде сетки и П.

Превращения при вторичной кристаллизации в высокоуглеродистых сплавах - чугунах



1. **Эвтектический сплав (4,3%С)**: после затвердевания сплав имеет чисто ледебуритную структуру; при охлаждении от 1147°C до 727°C из **А**, входящего в состав эвтектики, выделяется **вторичный Ц**, который обычно структурно не обнаруживается; при 727°C **А** эвтектики имеет концентрацию 0,8%С и происходит перлитное превращение $\text{А} \rightarrow \Phi + \text{Ц}$; следовательно ниже 727°C С ледебурит это смесь перлита и цементита.
2. **Сплав К1**: первичные кристаллы **А** изменяют свою концентрацию при охлаждении от точки **3** до точки **4** от 2,14 до 0,8%с и в точке **4** происходит перлитное превращение; структура такого чугуна ниже 727°C состоит из перлита, ледебурита и вторичного **Ц**.
3. **Сплав К2**: первичный **Ц** в заэвтектических чугунах не имеет превращений, поэтому в нем происходят превращения как в эвтектическом сплаве; структура ниже 727°C состоит из ледебурита и **Ц**