

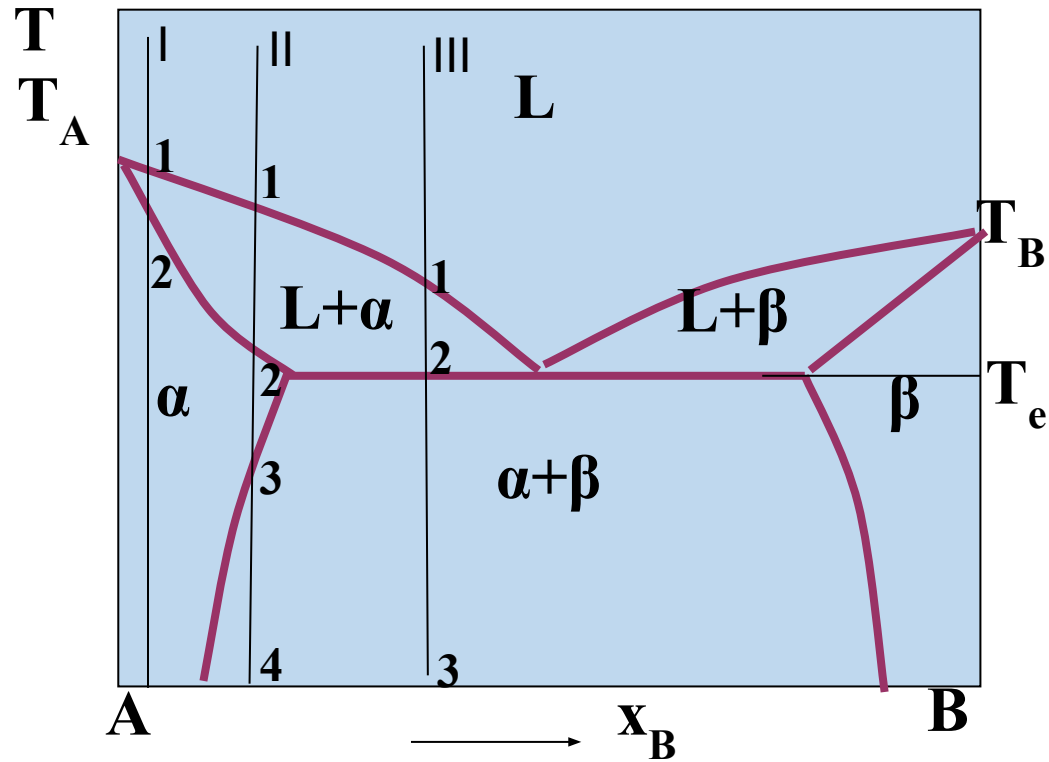
# Лабораторное и проектное материаловедение

Лекция 7

# Диаграмма состояния эвтектического типа

- СОЛЬВУС – [solvus] — графическое изображение (точка, линия, поверхность) на диаграмме состояния зависимости температуры растворимости элемента в твердом растворе от химического состава
- **Доэвтектические сплавы** — в сплавах, имеющих в своем составе эвтектику, любой сплав, чей состав имеет избыток основного металла по сравнению с составом эвтектики и чья равновесная микроструктура содержит некоторое количество эвтектической структуры.
- **Заэвтектический сплав** - в сплавах, имеющих в своем составе эвтектику, любой сплав, состав которого имеет избыток легирующего элемента по сравнению с составом эвтектики и чья равновесная микроструктура содержит некоторое количество эвтектической структуры.

# Диаграмма состояния эвтектического типа с полной взаимной растворимостью в жидком состоянии и ограниченной растворимостью в твердом состоянии



## Сплав 1

- 0-1 Охлаждение жидкого сплава;
- т.1 Начало процесса кристаллизации с выделением кристаллов  $\alpha$ ;
- 1-2 Дальнейшая кристаллизация с выделением кристаллов  $\alpha$ ;
- т. 2 Конец выделения кристаллов  $\alpha$ ;
- 2-3 Охлаждение твердого сплава.

## Сплав 2

- 0-1 Охлаждение жидкого сплава;
- т.1 Начало процесса кристаллизации с выделением кристаллов  $\alpha$ ;
- 1-2 Дальнейшая кристаллизация с выделением кристаллов  $\alpha$ ;
- т. 2 Конец выделения кристаллов  $\alpha$ ;
- 2-3 Охлаждение твердого сплава.
- т.3 Начало выделения кристаллов  $\beta$  и  $\alpha$  - твердого раствора;
- 3-4  $\alpha$  твердый раствор пересыщен и из него выделяются избыточные кристаллы  $\alpha \rightarrow \beta_{II}$

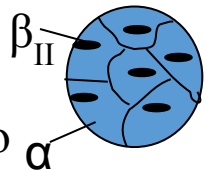
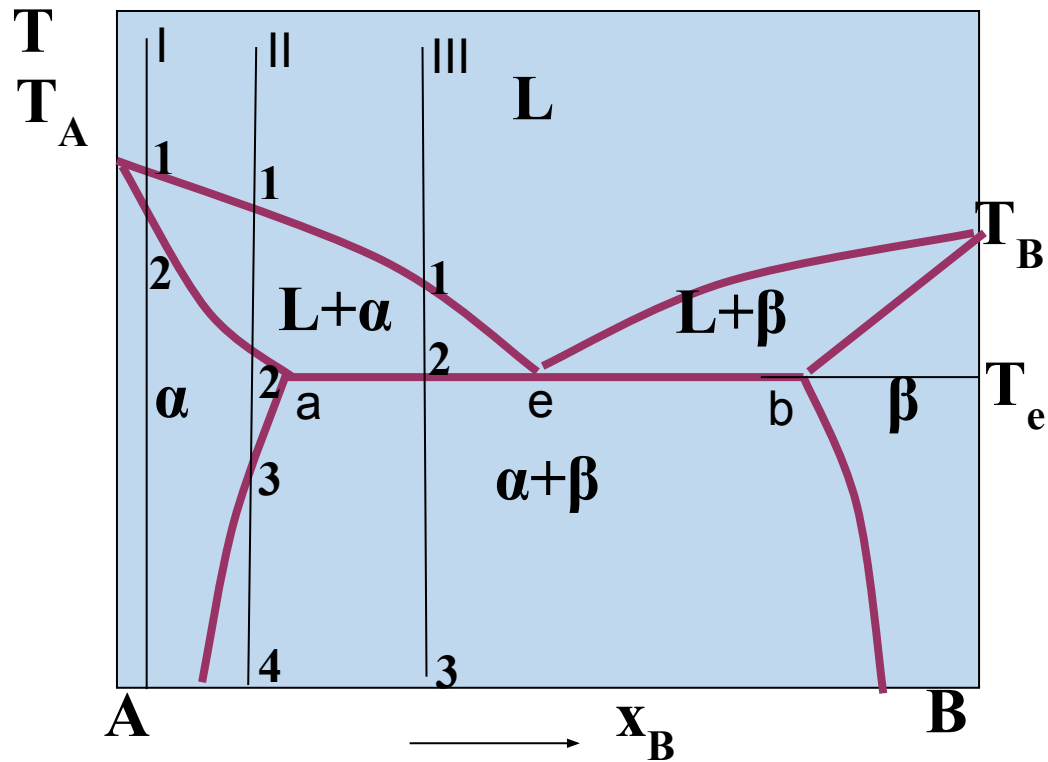
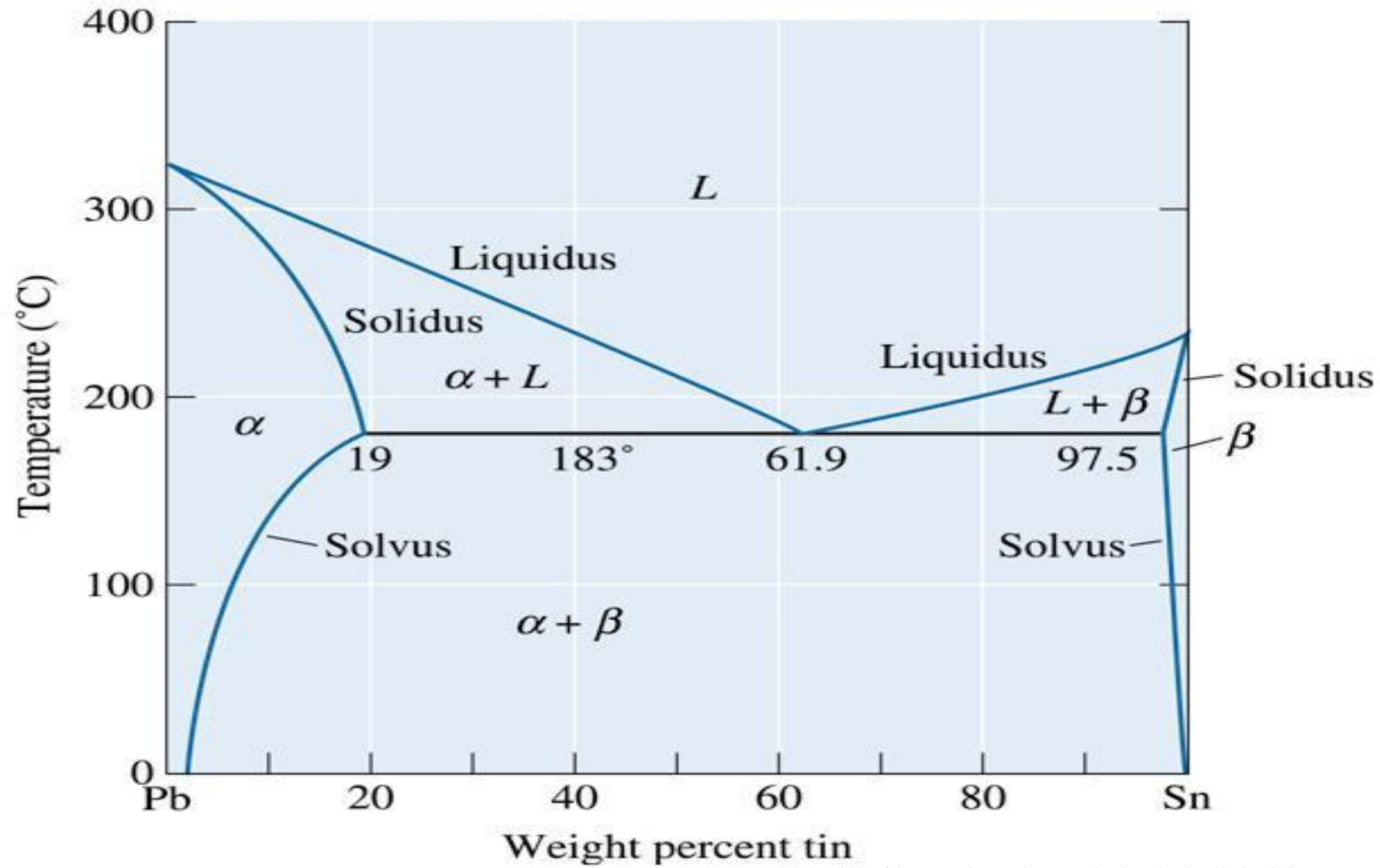


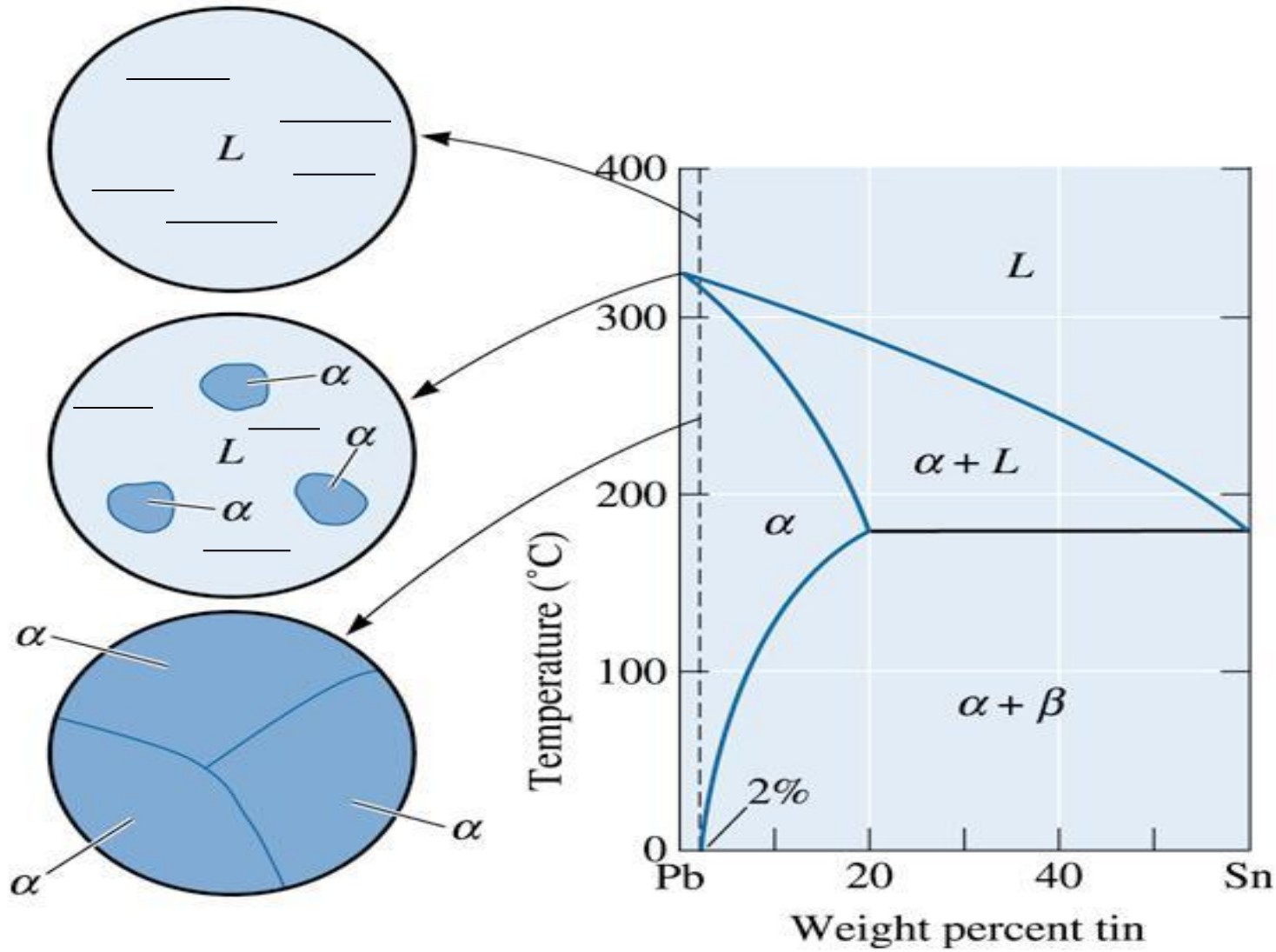
Диаграмма состояния эвтектического типа с полной взаимной растворимостью в жидком состоянии и ограниченной растворимостью в твердом состоянии



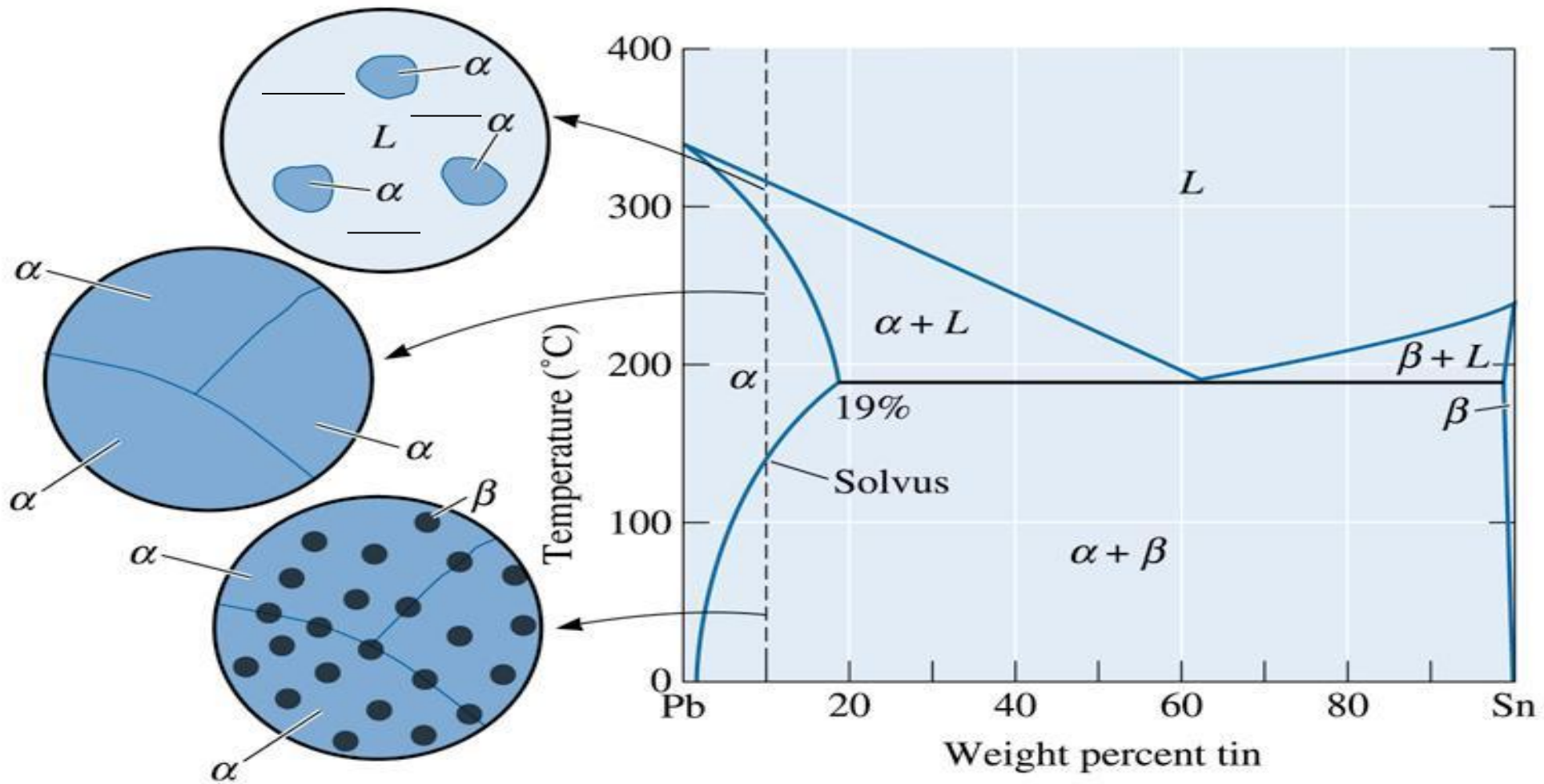
Сплав 3

- 0-1** Охлаждение жидкого сплава;  
**т.1** Начало процесса кристаллизации с выделением кристаллов  $\alpha$ ;  
**1-2** Дальнейшая кристаллизация с выделением кристаллов  $\alpha$ ;  
**т. 2** Эвтектическое превращение по реакции  $L_e \leftrightarrow \alpha_a + \beta_b$   
**2-3** Охлаждение твердого сплава с выделением из  $\alpha$  кристаллов вторичных кристаллов  $\beta_{II}$ , а из  $\beta$  вторичных кристаллов  $\alpha_{II}$





**Кристаллизация и микроструктура сплава Pb-2% Sn. Сплав представляет собой однофазный твердый раствор.**



(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>™</sup> is a trademark used herein under license.

**Кристаллизация и микроструктура сплава Pb-10% Sn. Наблюдается выделение вторичных  $\beta$  кристаллов.**

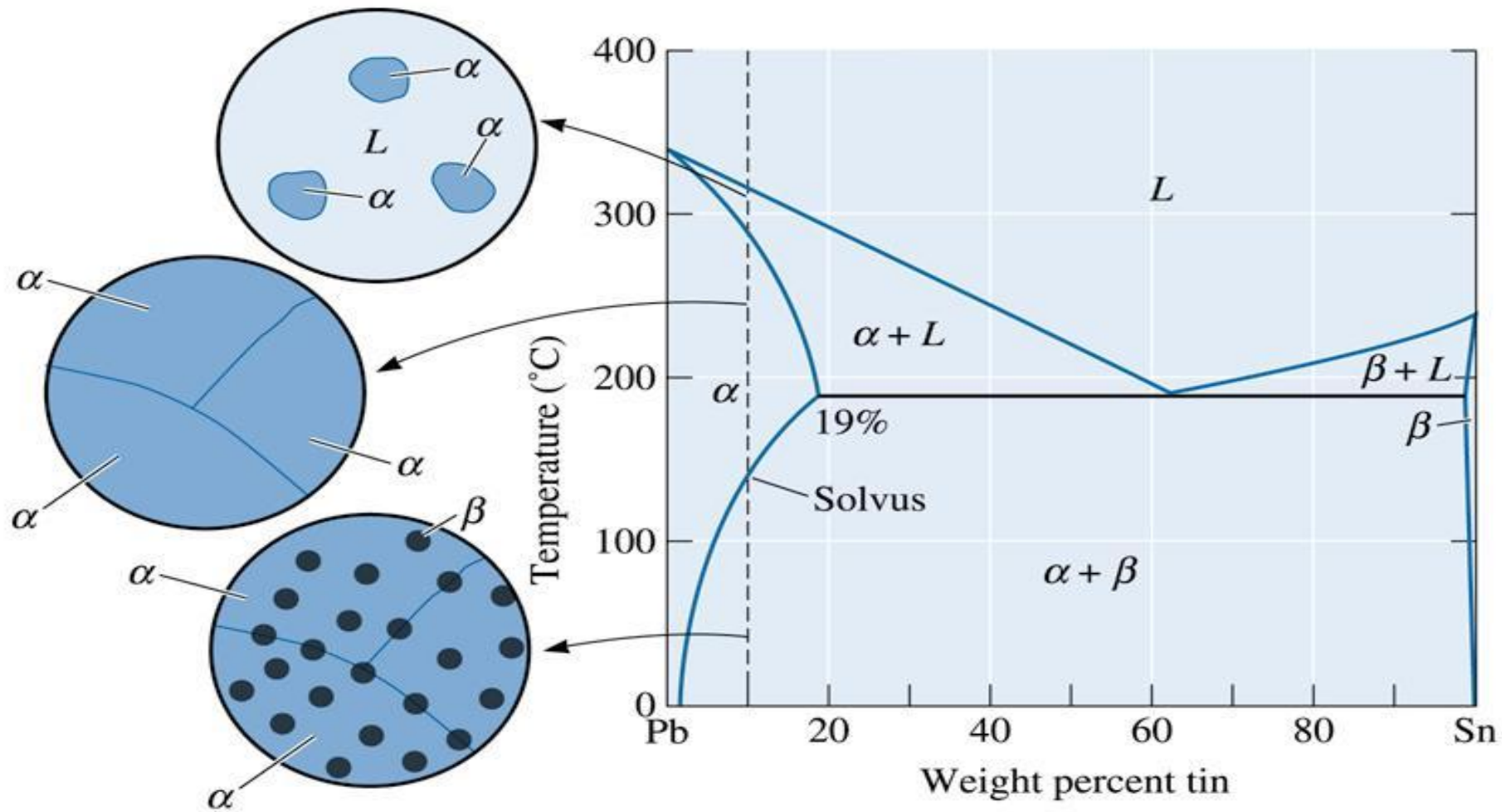
## Задача 1

## Фазовая диаграмма Pb-Sn

Определить : (а) растворимость олова в твердом свинце при  $100^{\circ}\text{C}$ , (b) максимальную растворимость свинца в твердом олове, (c) количество бета фазы, которая формируется если сплав Pb-10% Sn охлаждается до  $0^{\circ}\text{C}$ , (d) массу олова, содержащегося в  $\alpha$  и  $\beta$  фазе.

Предполагается, что общая масса сплава Pb-10% Sn - 100 грамм.





(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sub>™</sub> is a trademark used herein under license.

Кристаллизация и микроструктура сплава Pb-10% Sn. Выделение вторичных  $\beta$ - кристаллов

## Решение поставленной задачи:

а) При температуре  $100^{\circ}\text{C}$  линия сольвуса пересекается при 5% Sn. Следовательно, растворимость олова (Sn) в свинце (Pb) при  $100^{\circ}\text{C}$  составляет 5%.

б) Максимальная растворимость свинца (Pb) в олове (Sn), которая определяется по стороне фазовой диаграммы богатой оловом, наблюдается при эвтектической температуре  $183^{\circ}\text{C}$  и составляет 97,5% Sn.

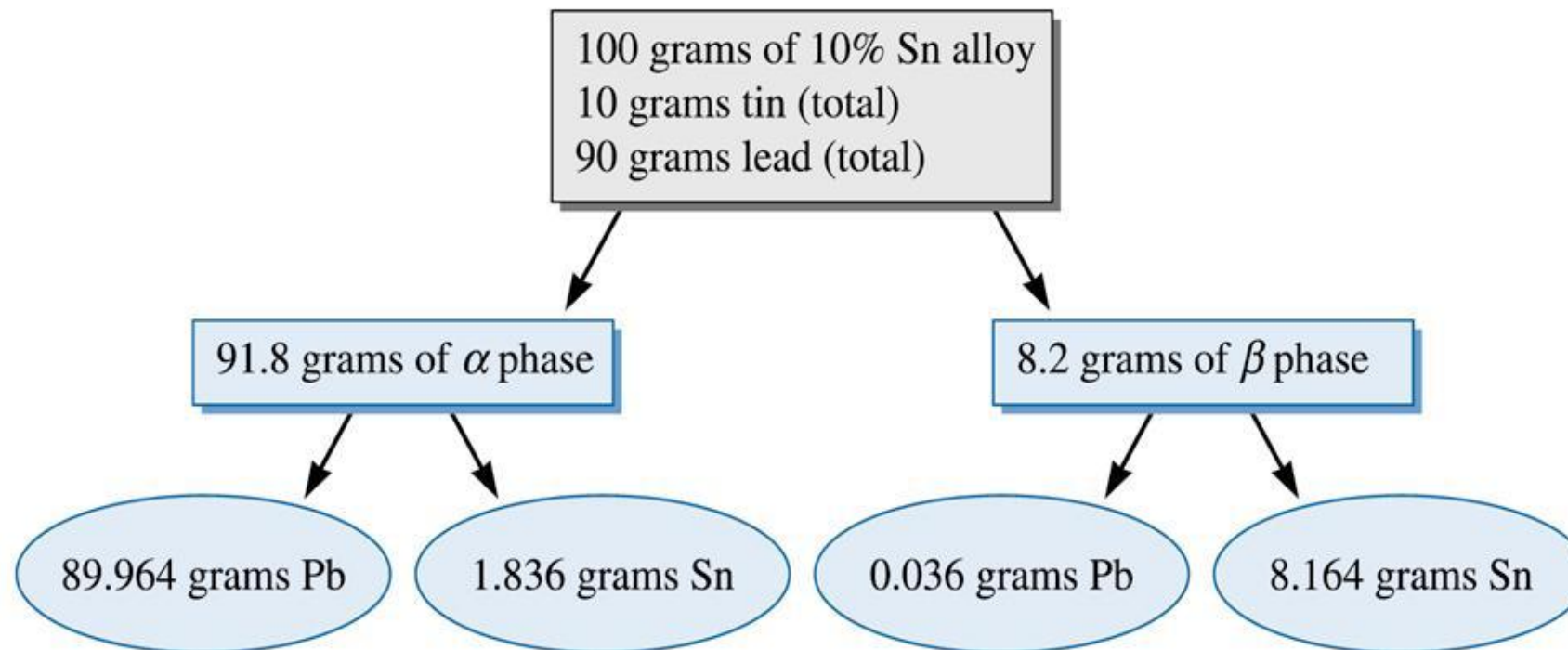
в) При температуре  $0^{\circ}\text{C}$ , сплав с 10% олова находится в двухфазной области  $\alpha+\beta$  фазовой диаграммы. Если нарисовать коноду при  $0^{\circ}\text{C}$  и применить правило рычага, мы можем найти, что:

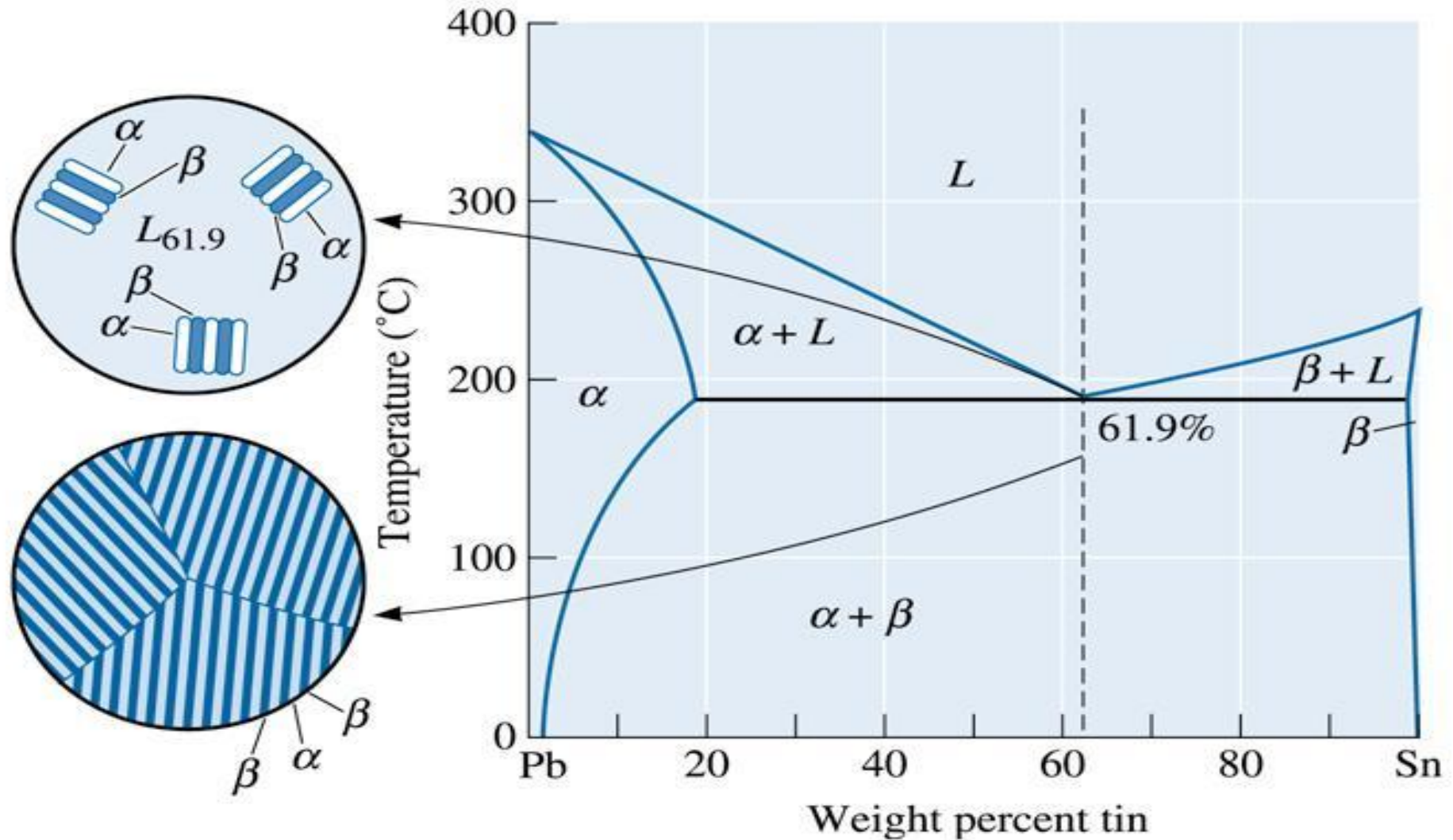
$$\% \beta = \frac{10 - 2}{100 - 2} \times 100 = 8.2\%$$

## Продолжение решения

(d) масса Sn в  $\alpha$ -фазе = 2% Sn  $\times$  91.8 г  $\alpha$ -фазы = 0.02  $\times$  91.8 г = 1,836 г. Поскольку олово (Sn) появляется в обеих фазах  $\alpha$  и  $\beta$ , масса Sn в  $\beta$ -фазе будет = (10 – 1,836) г = 8,164 г.

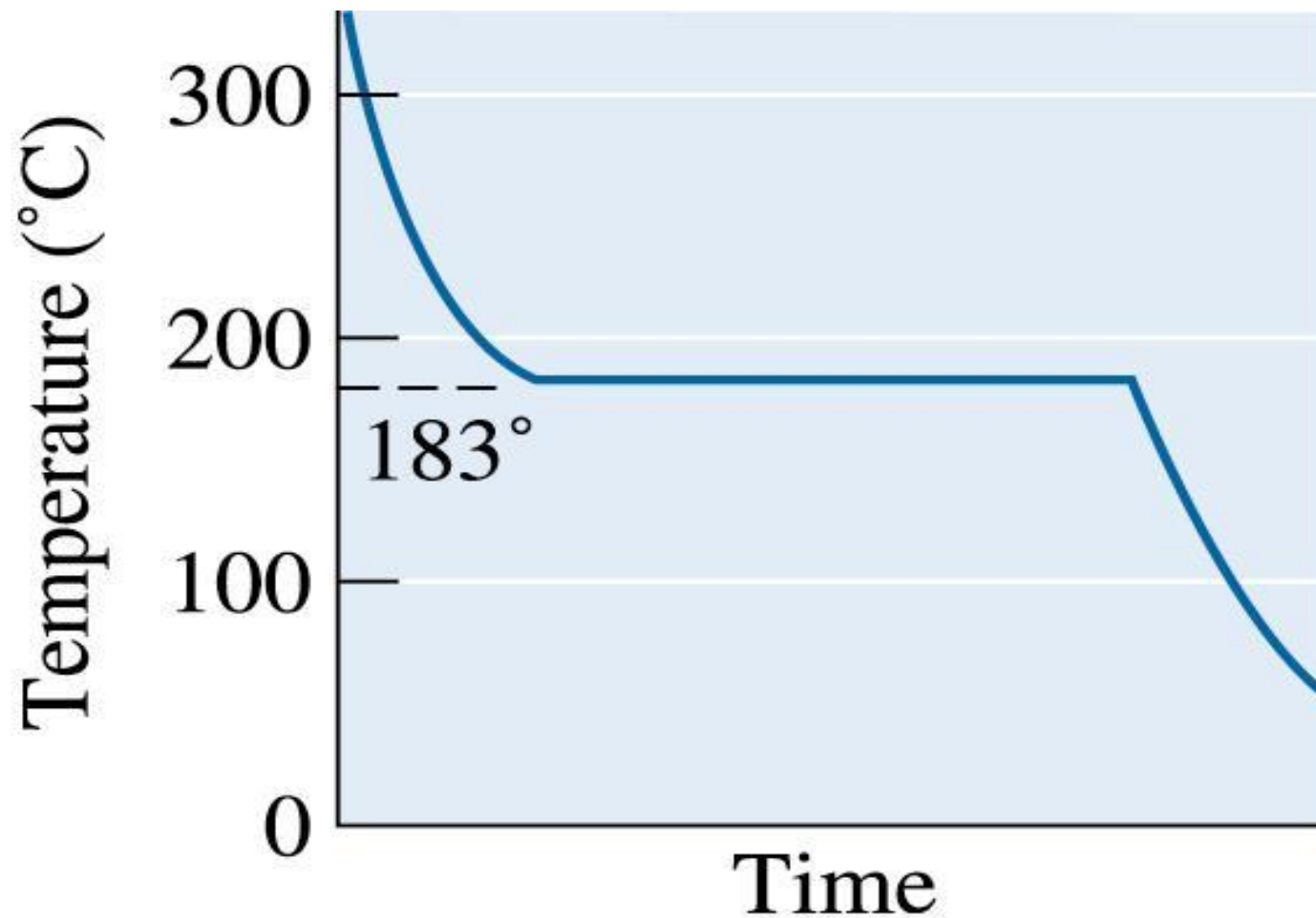
(e) Масса свинца (Pb) в  $\alpha$ -фазе = 98% Sn  $\times$  91,8 г  $\alpha$ -фазы = 0,98  $\times$  91,8 г = 89,964 г  
Масса свинца (Pb) в  $\beta$ -фазе = 90 – 89,964 = 0.036 г.





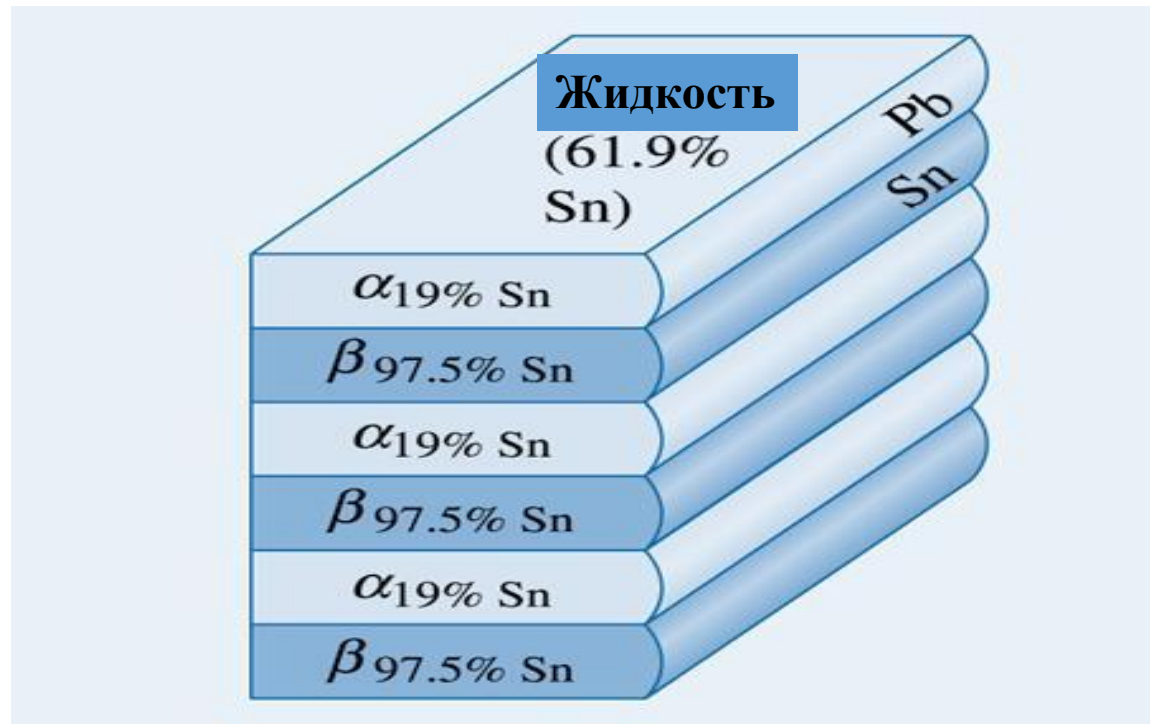
(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sub>™</sub> is a trademark used herein under license.

**Кристаллизация и микроструктура эвтектического сплава Pb-61,9% Sn.**

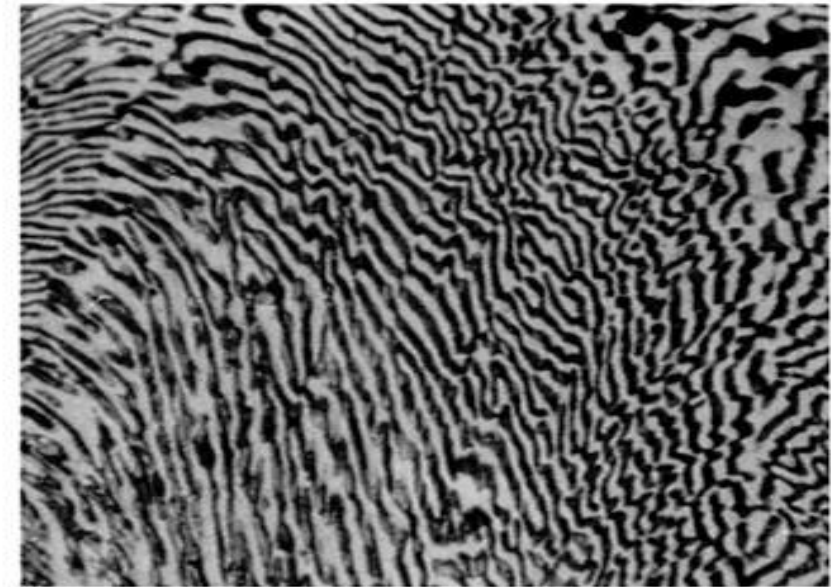


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>®</sup> is a trademark used herein under license.

Кривые охлаждения для эвтектического сплава с простой термической остановкой, при охлаждении или плавлении эвтектики при одной и той же температуре.



(a)



(b)

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>™</sup> is a trademark used herein under license.

(a) Перераспределение атомов в ходе роста пластин эвтектики свинец-олово. Атомы олова из жидкости, предпочтительно диффундируют к площадке  $\beta$ -фазы, а атомы свинца диффундируют к площадке  $\alpha$ -фазы. (b). Микрофотография структуры эвтектики свинец-олово (x400).

## Задача 2. Определение количества фаз в эвтектическом сплаве

- (а) Определите количество и состав каждой фазы в сплаве свинец-олово эвтектического состава. (б) Рассчитайте массу фаз.  
(с) Рассчитайте количество свинца и олова в каждой фазе, предполагая, что у вас есть по 200 г сплава.

### Решение

(а) эвтектический сплав содержит 61,9% Sn.

$$\alpha : (Pb - 19\% Sn) \% \alpha = \frac{97.5 - 61.9}{97.5 - 19.0} \times 100 = 45.35\%$$

$$\beta : (Pb - 97.5\% Sn) \% \beta = \frac{61.9 - 19.0}{97.5 - 19.0} \times 100 = 54.65\%$$

## Продолжение решения

(b) При температуре чуть ниже эвтектической:

Масса  $\alpha$ -фазы в 200 г сплава

$$= \text{масса сплава} \times \text{часть } \alpha \text{ фазы} = 200 \text{ г} \times 0,4535 = 90,7 \text{ г}$$

Количество  $\beta$ -фазы в 200 г сплава (масса сплава  $\times$  масса  $\alpha$  фазы) =  
 $200,0 \text{ г} \times 90,7 \text{ г} = 109,3 \text{ г}$

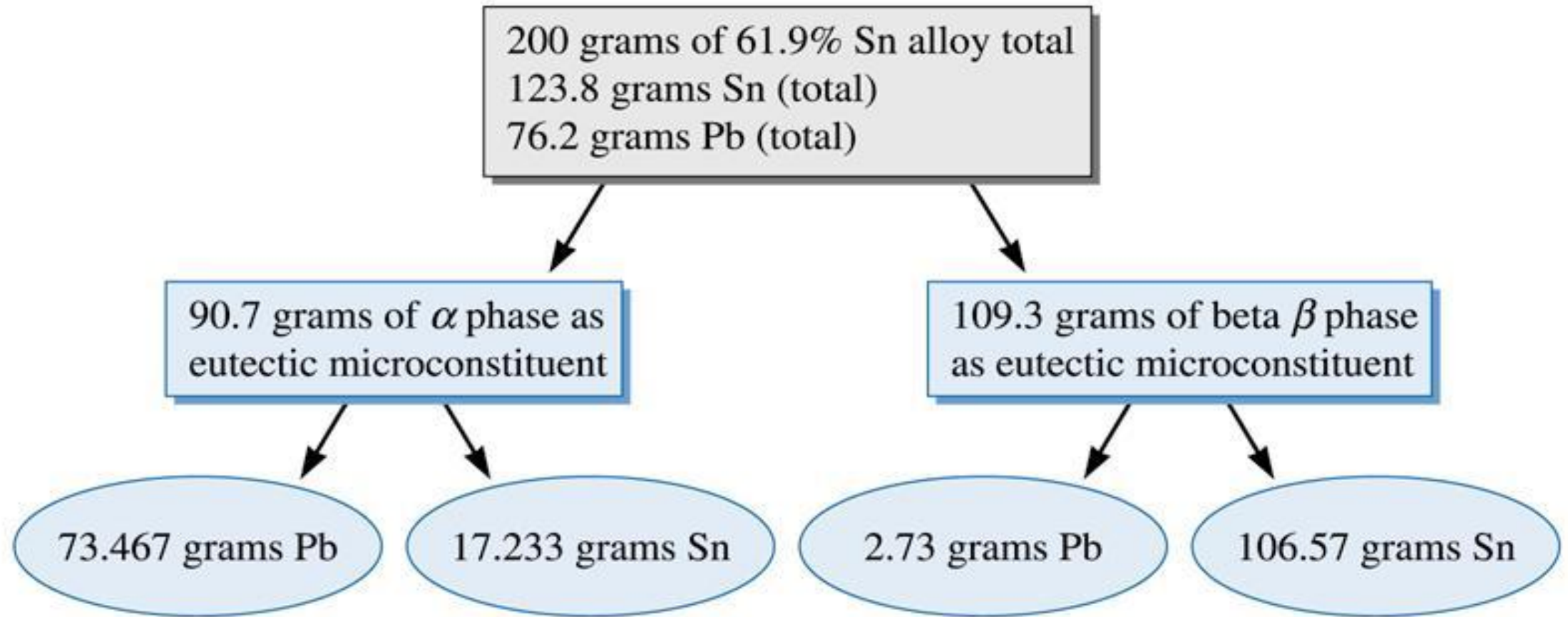
(c) Масса Pb в  $\alpha$  фазе = масса  $\alpha$  фазы в 200 г  $\times$  (концентрация Pb в  $\alpha$ ) =  $(90,7 \text{ г}) \times (1 - 0,190) = 73,467 \text{ г}$

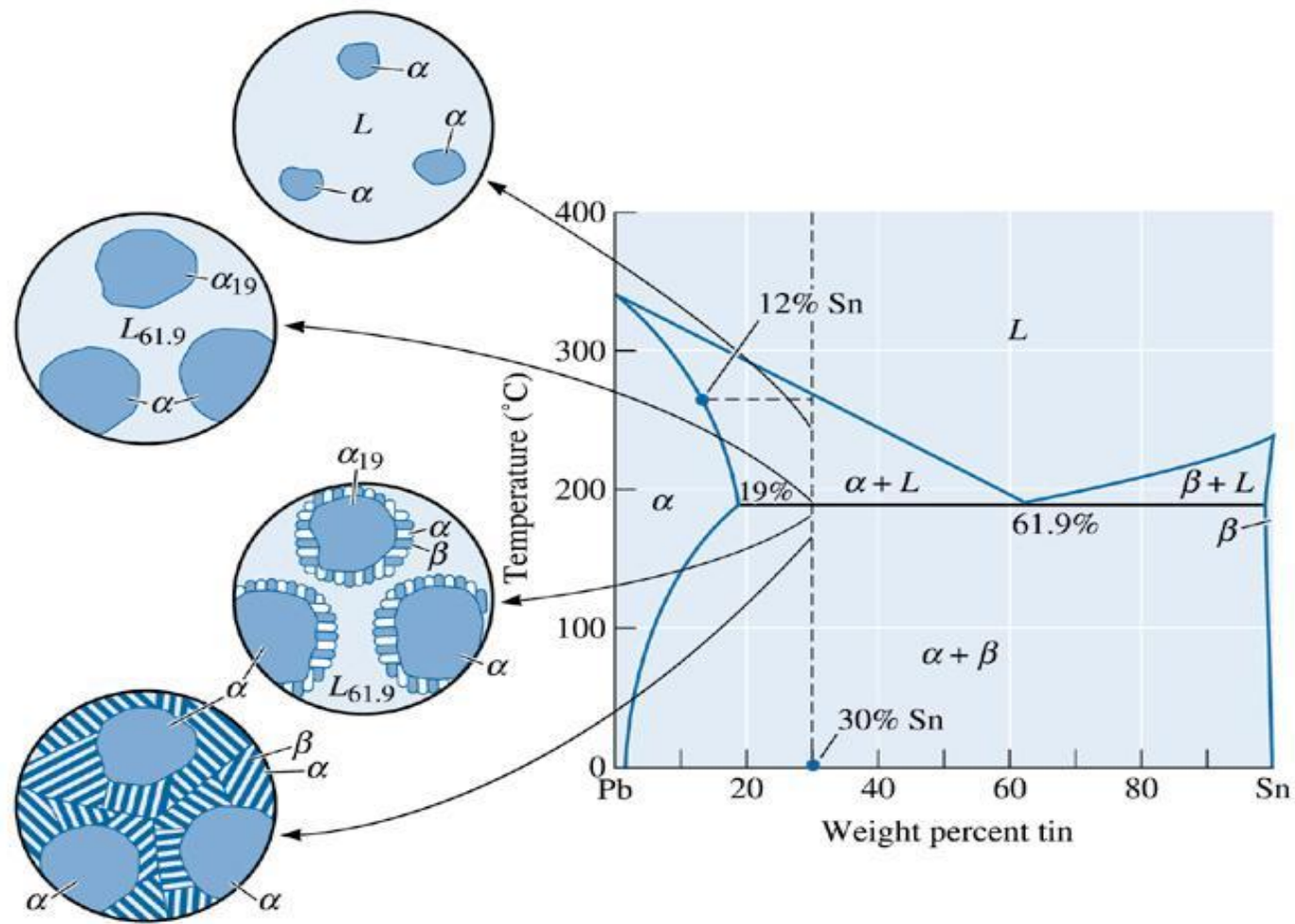
Масса Sn в  $\alpha$  фазе = масса  $\alpha$  фазы – масса Pb в  $\alpha$  фазе =  $(90,7 - 73,467 \text{ г}) = 17,233 \text{ г}$

Масса Pb в  $\beta$  фазе = масса  $\beta$  фазы в 200 г  $\times$  (весовое количество Pb в  $\beta$ ) =  $(109,3 \text{ г}) \times (1 - 0,975) = 2,73 \text{ г}$

Масса Sn в  $\beta$  фазе = полная масса Sn – масса Sn в  $\alpha$  фазе =  $123,8 \text{ г} - 17,233 \text{ г} = 106,57 \text{ г}$

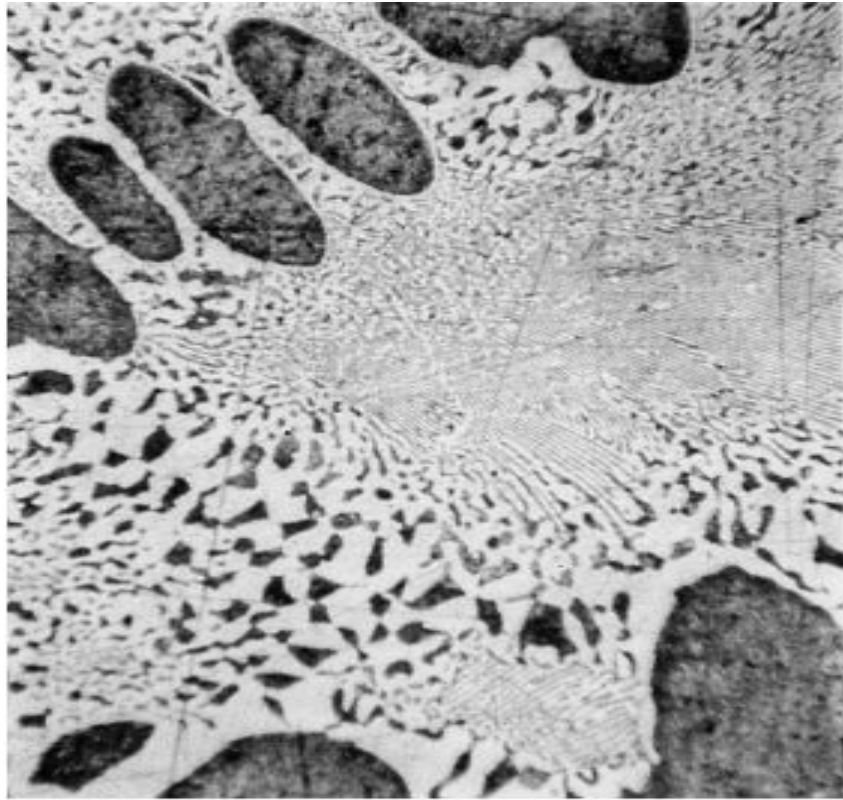




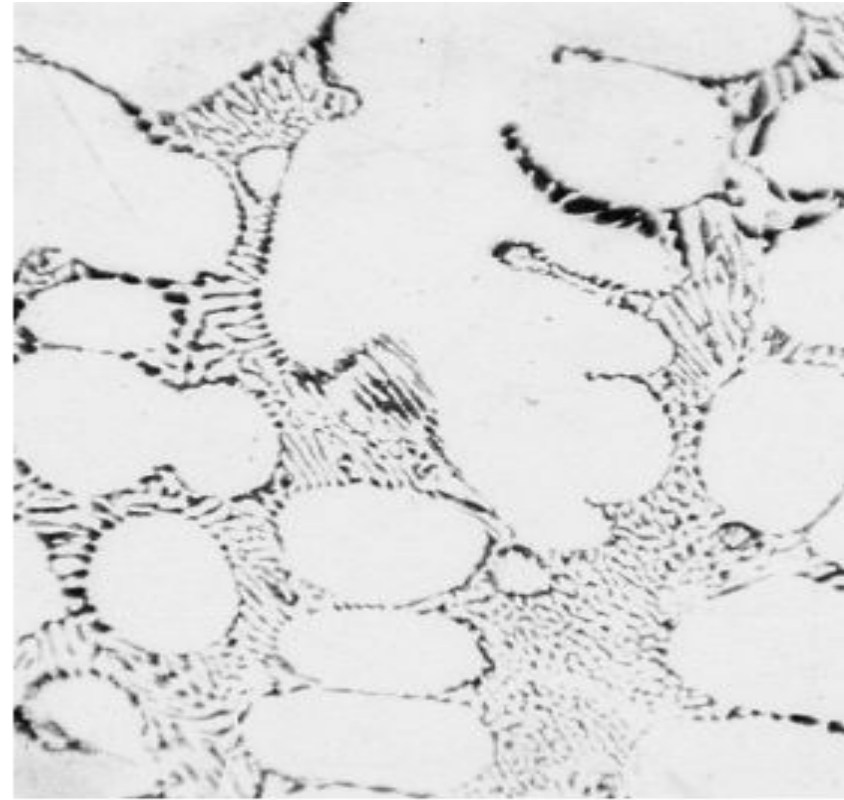


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning<sup>®</sup> is a trademark used herein under license.

**Кристаллизация и микроструктура доэвтектического сплава Pb-30% Sn.**



(a)



(b)

(a) Доэвтектический сплав свинец-олово. (b) Заэвтектический сплав свинец-олово. Темная составляющая является богатой свинцом твердой  $\alpha$ -фазой, а светлая составляющая богатая оловом твердая  $\beta$ -фаза. Показана тонкопластинчатая структура эвтектики (x400).

## Задача 3. Определение фаз и их количества в доэвтектическом сплаве Pb-30% Sn

Для сплава Pb-30%Sn, определите представленные фазы, их количество и их состав при следующих температурах: 300°C, 200°C, 184°C, 182°C, и 0°C.

Temperature (°C)	Phases	Compositions	Amounts
300	$L$	$L$ : 30% Sn	$L = 100\%$
200	$\alpha + L$	$L$ : 55% Sn	$L = \frac{30 - 18}{55 - 18} \times 100 = 32\%$
		$\alpha$ : 18% Sn	$\alpha = \frac{55 - 30}{55 - 18} \times 100 = 68\%$
184	$\alpha + L$	$L$ : 61.9% Sn	$L = \frac{30 - 19}{61.9 - 19} \times 100 = 26\%$
		$\alpha$ : 19% Sn	$\alpha = \frac{61.9 - 30}{61.9 - 19} \times 100 = 74\%$
182	$\alpha + \beta$	$\alpha$ : 19% Sn	$\alpha = \frac{97.5 - 30}{97.5 - 19} \times 100 = 86\%$
		$\beta$ : 97.5% Sn	$\beta = \frac{30 - 19}{97.5 - 19} \times 100 = 14\%$
0	$\alpha + \beta$	$\alpha$ : 2% Sn	$\alpha = \frac{100 - 30}{100 - 2} \times 100 = 71\%$
		$\beta$ : 100% Sn	$\beta = \frac{30 - 2}{100 - 2} \times 100 = 29\%$

## Задача 4. Определение количества микрокомпонентов и их состава для доэвтектоидного сплава

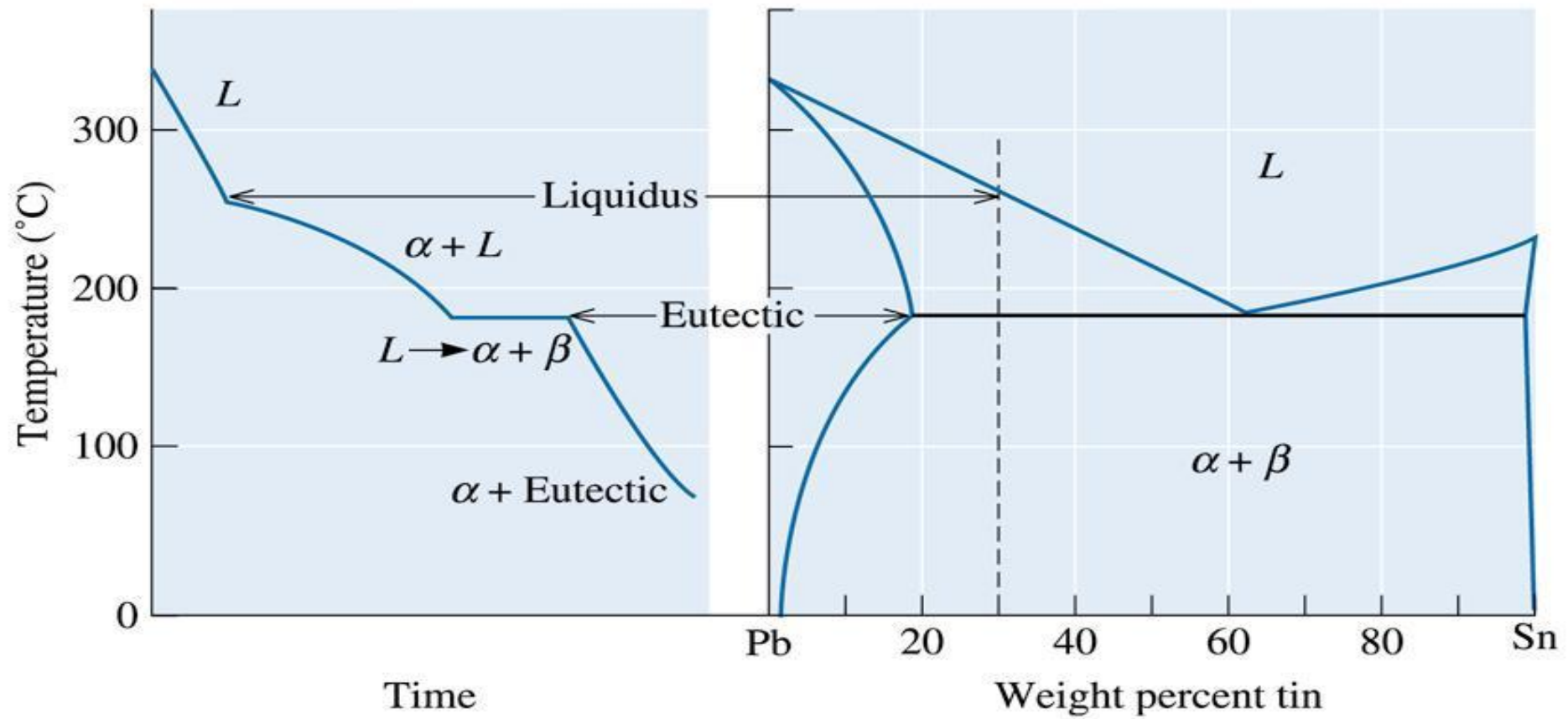
Определить количество и состав каждого микрокомпонента в сплаве Pb-30% Sn до того, как была завершена эвтектическая реакция.

### Решение

При температуре чуть выше эвтектической  $184^{\circ}\text{C}$  - количество и состав двух фаз:

$$\alpha : 19\% \text{ Sn} \quad \% \alpha = \frac{61.9 - 30}{61.9 - 19} \times 100 = 74\% = \% \text{ первичные } \alpha$$

$$L : 61.9\% \text{ Sn} \quad \% L = \frac{30 - 19}{61.9 - 19} \times 100 = 26\% = \% \text{ эвтектика при } 182^{\circ}\text{C}$$

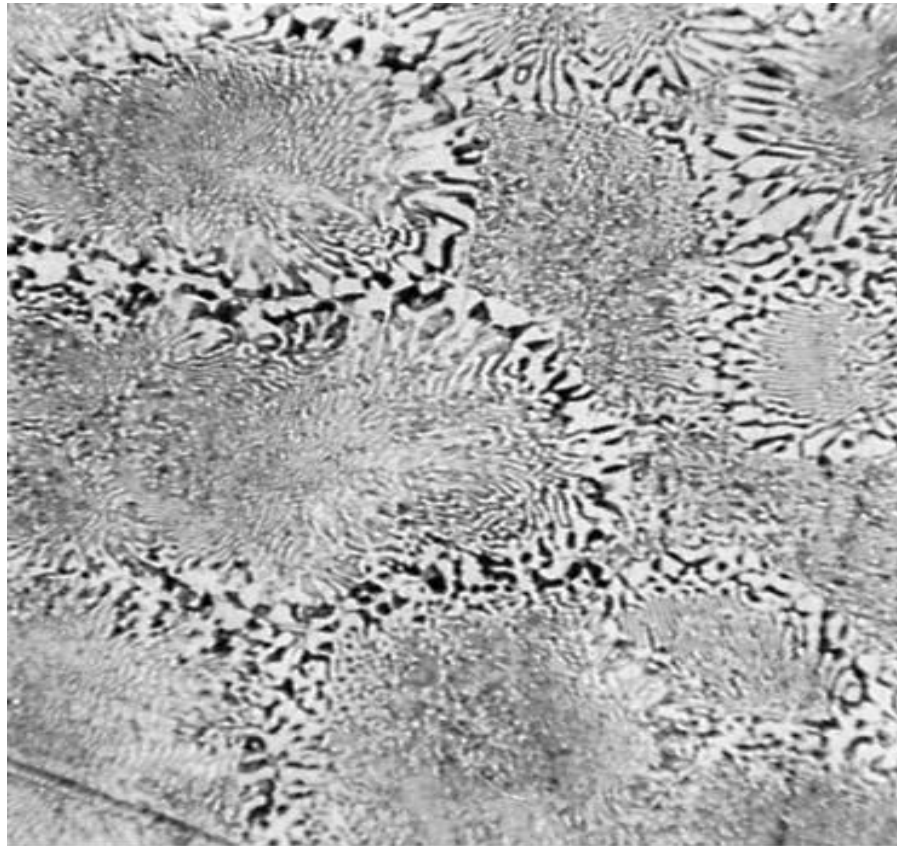


(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning... is a trademark used herein under license.

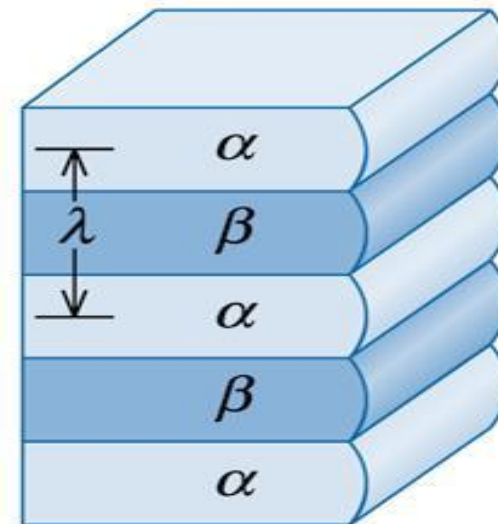
Кривые охлаждения для доэвтектического сплава Pb-30% Sn.

# Прочность эвтектических сплавов

- Размер эвтектических колоний
- Межпластинчатое расстояние
- Количество эвтектики
- Микроструктура эвтектики



**(a)**



**(b)**

(c)2003 Brooks/Cole, a division of Thomson Learning, Inc. Thomson Learning, is a trademark used herein under license.

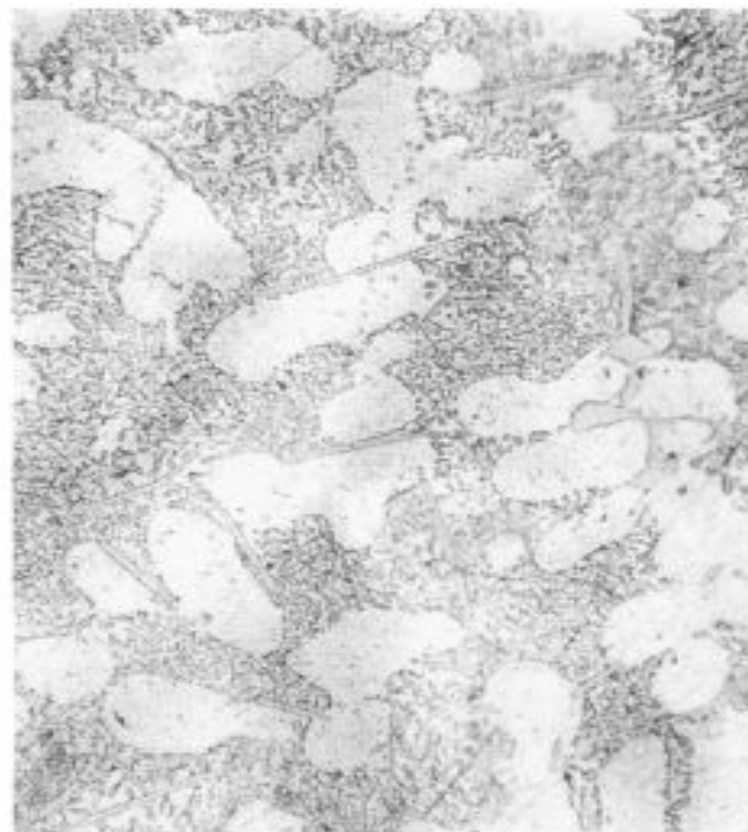
(a) Колонии в эвтектике свинец-олово(x300).

(b) Межпластинчатое расстояние в эвтектической микроструктуре.





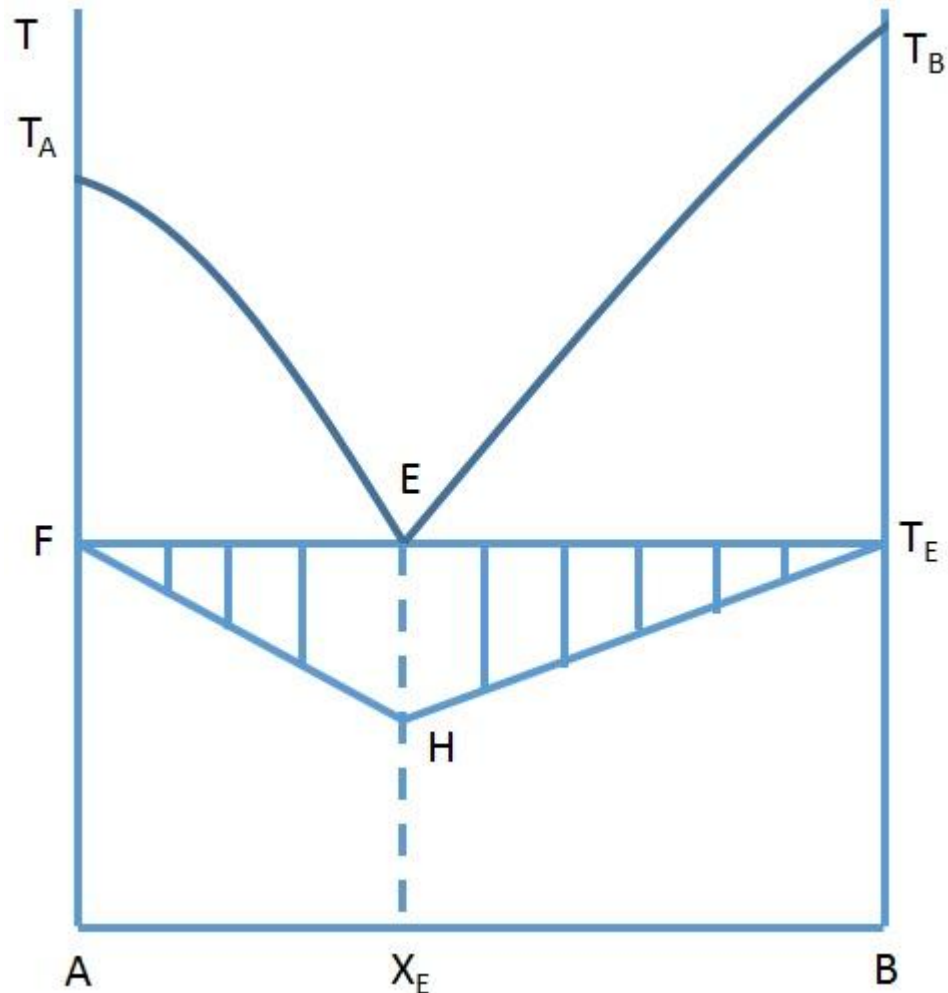
**(a)**



**(b)**

Типичные эвтектические микроструктуры: (a) игольчатых кремниевых пластин в эвтектике алюминий-кремний (x100), и (b), округленные стержни кремния в модифицированной эвтектике алюминий-кремний (x100).

# Треугольник Таммана

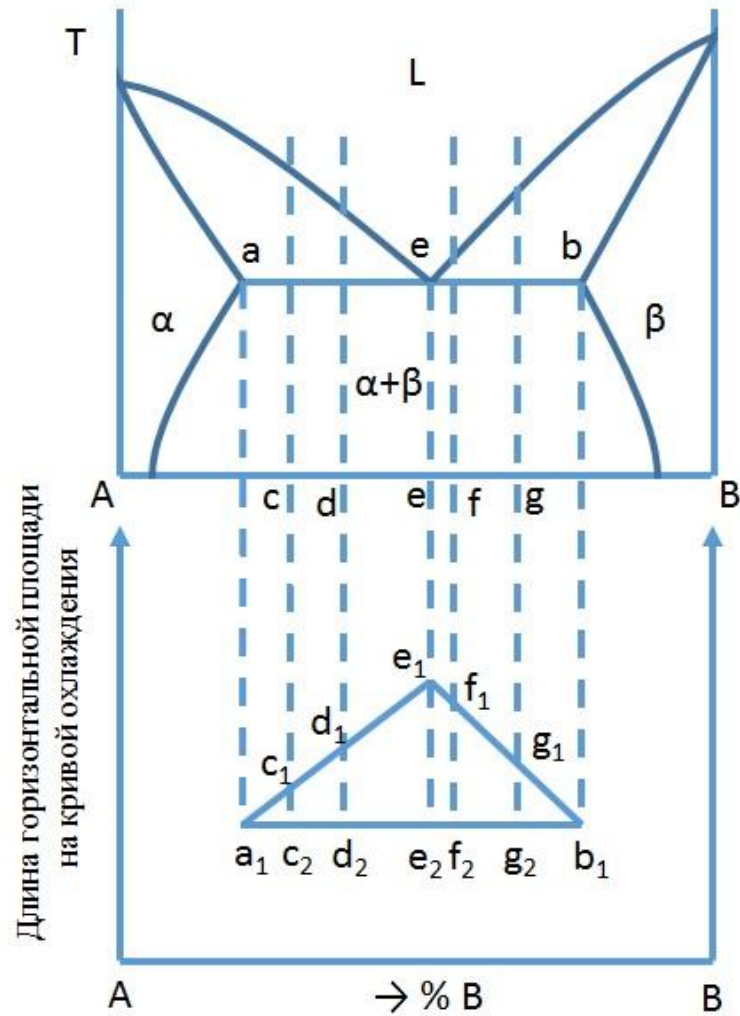


Если среди смесей не оказывается эвтектической, то можно воспользоваться экстраполяцией кривых охлаждения. Но такой метод оказывается ненадежным.

При одинаковом условии охлаждения всех сплавов можно воспользоваться особым приемом, основанным на том, что длина горизонтальных отрезков кривых охлаждения пропорциональна времени кристаллизации эвтектики.

Треугольник  $HT_EF$  называется треугольником Таммана

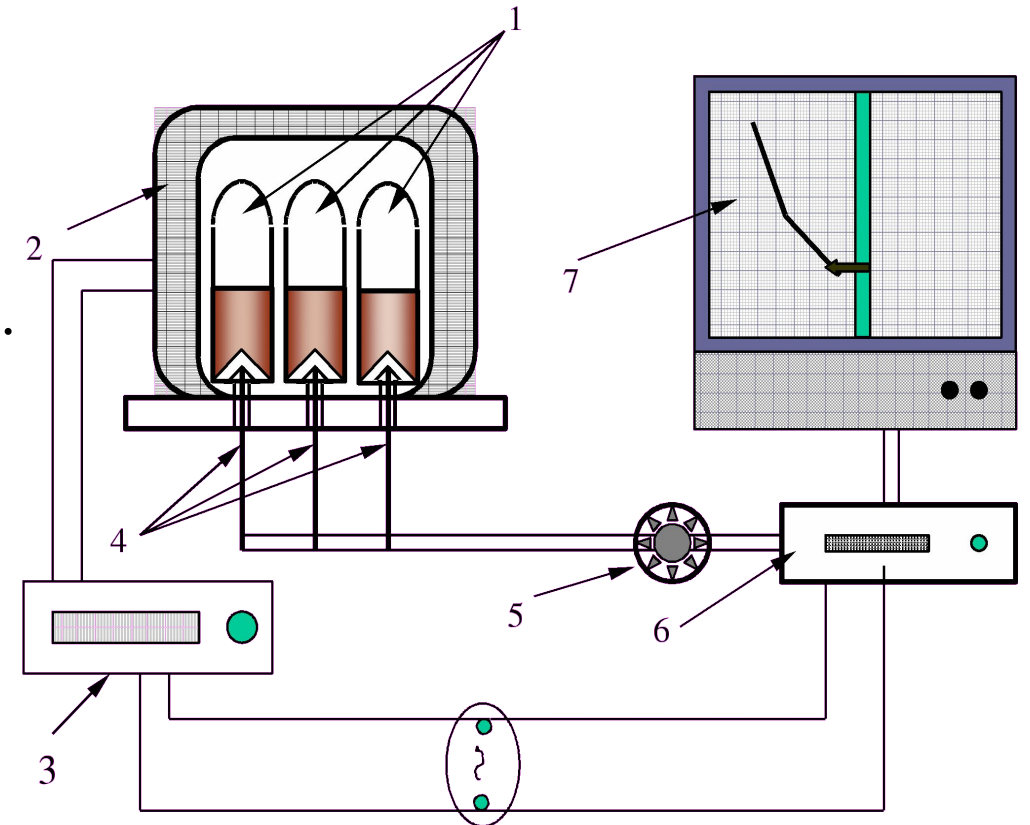
# Построение треугольника Таммана



# Для чего нужен треугольник Таммана?

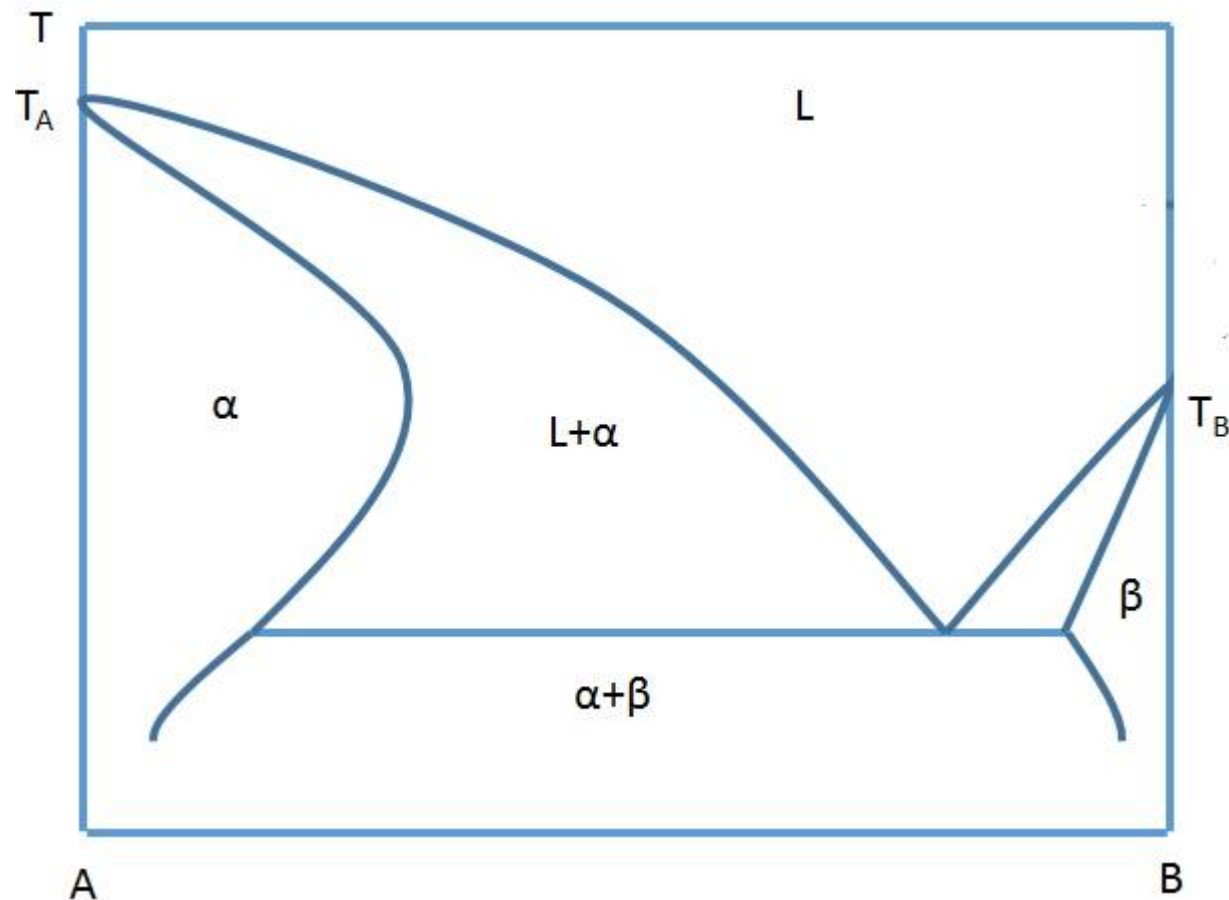
Построение этого треугольника можно использовать для ускоренного определения положения эвтектической точки  $e$  на горизонтали  $ab$  и концов горизонтали  $a$  и  $b$ .

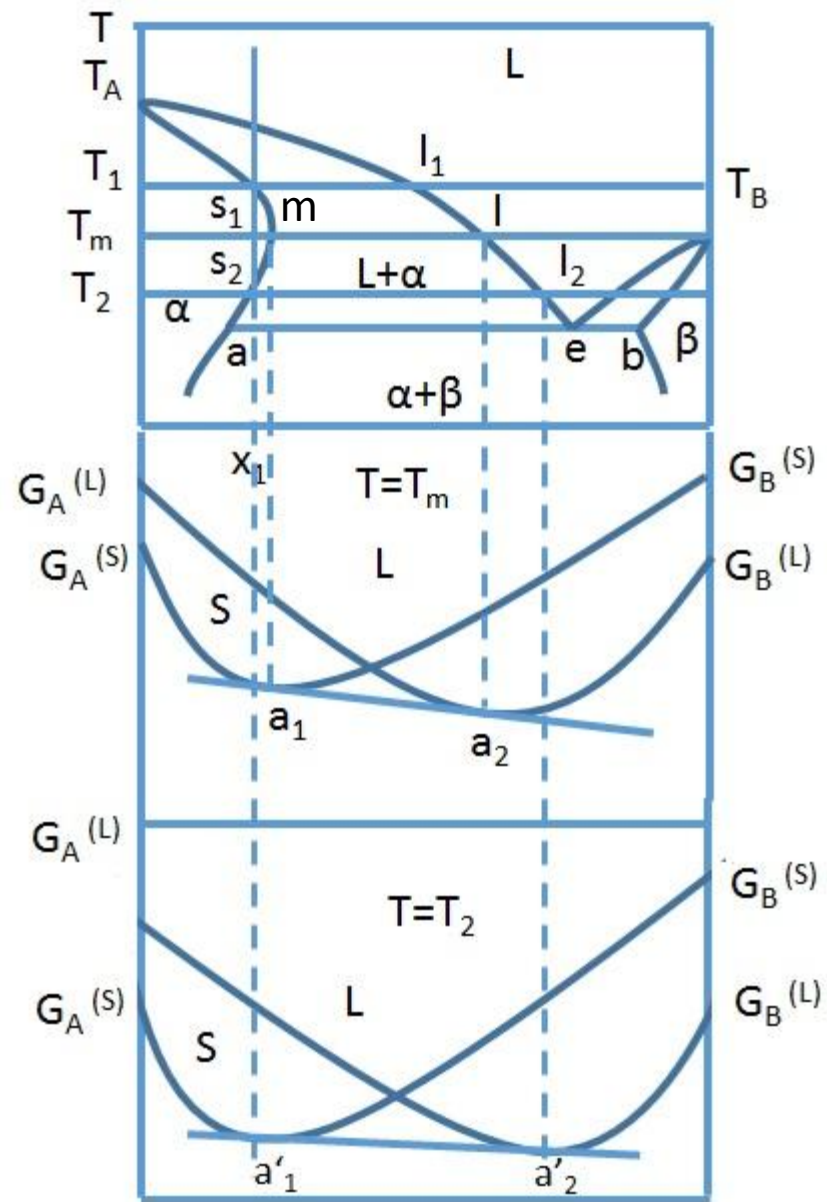
Точность построения зависит прежде всего от количества исследованных сплавов и аппаратурных условий снятия их кривых охлаждения.



# ДСС с ретроградным солидусом

**Ретроградный солидус** – случай максимальной растворимости выше температуры трехфазного равновесия





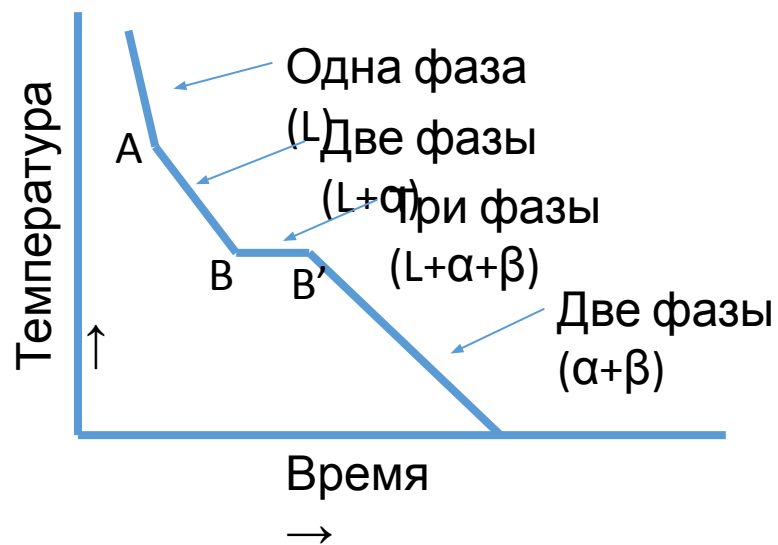
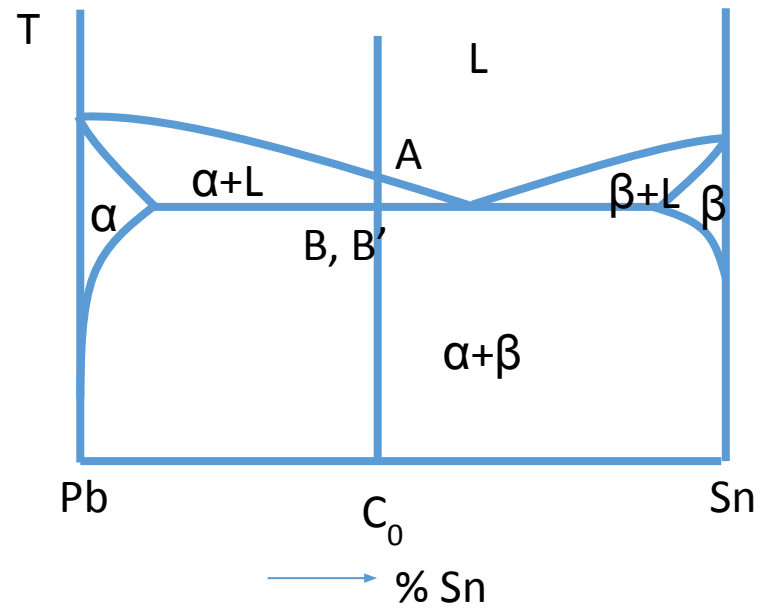
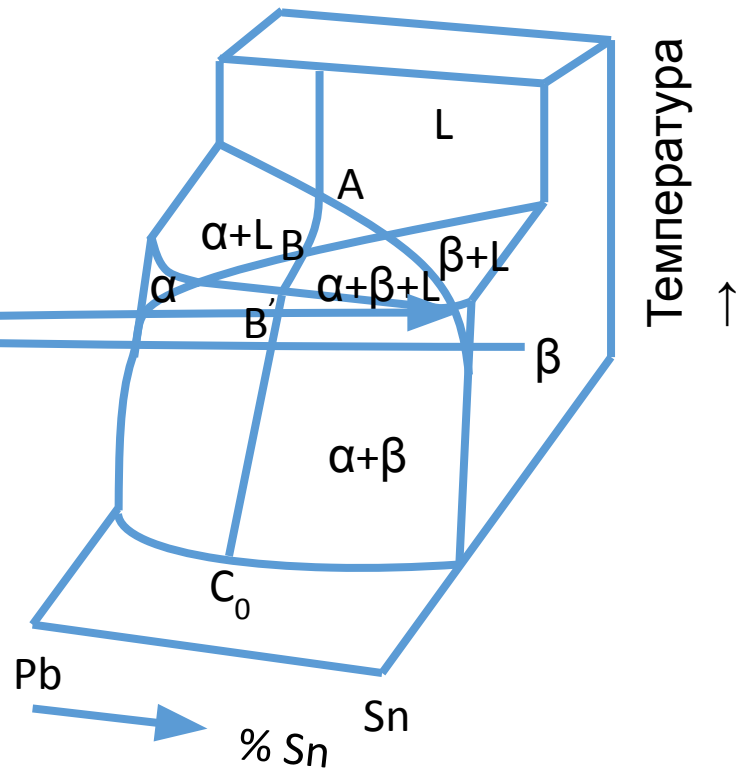
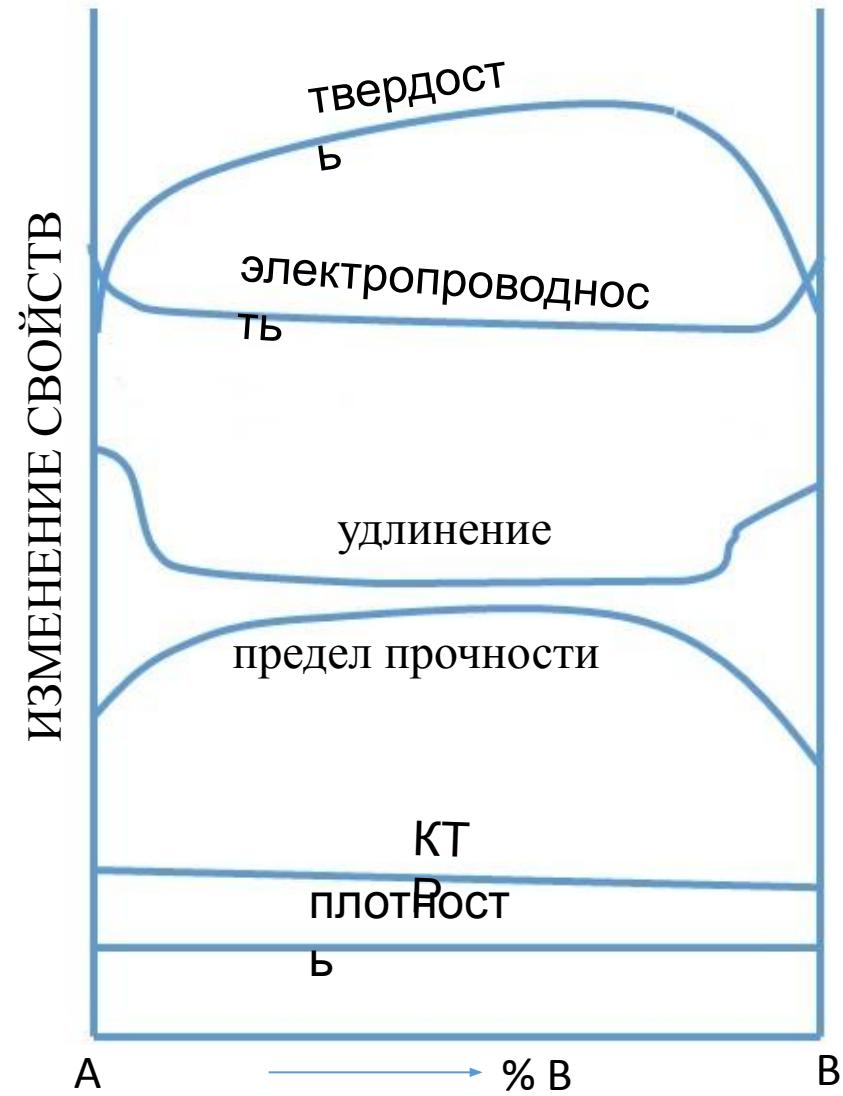


Диаграмма с полной взаимной растворимостью  
компонентов в жидком и твердом состояниях

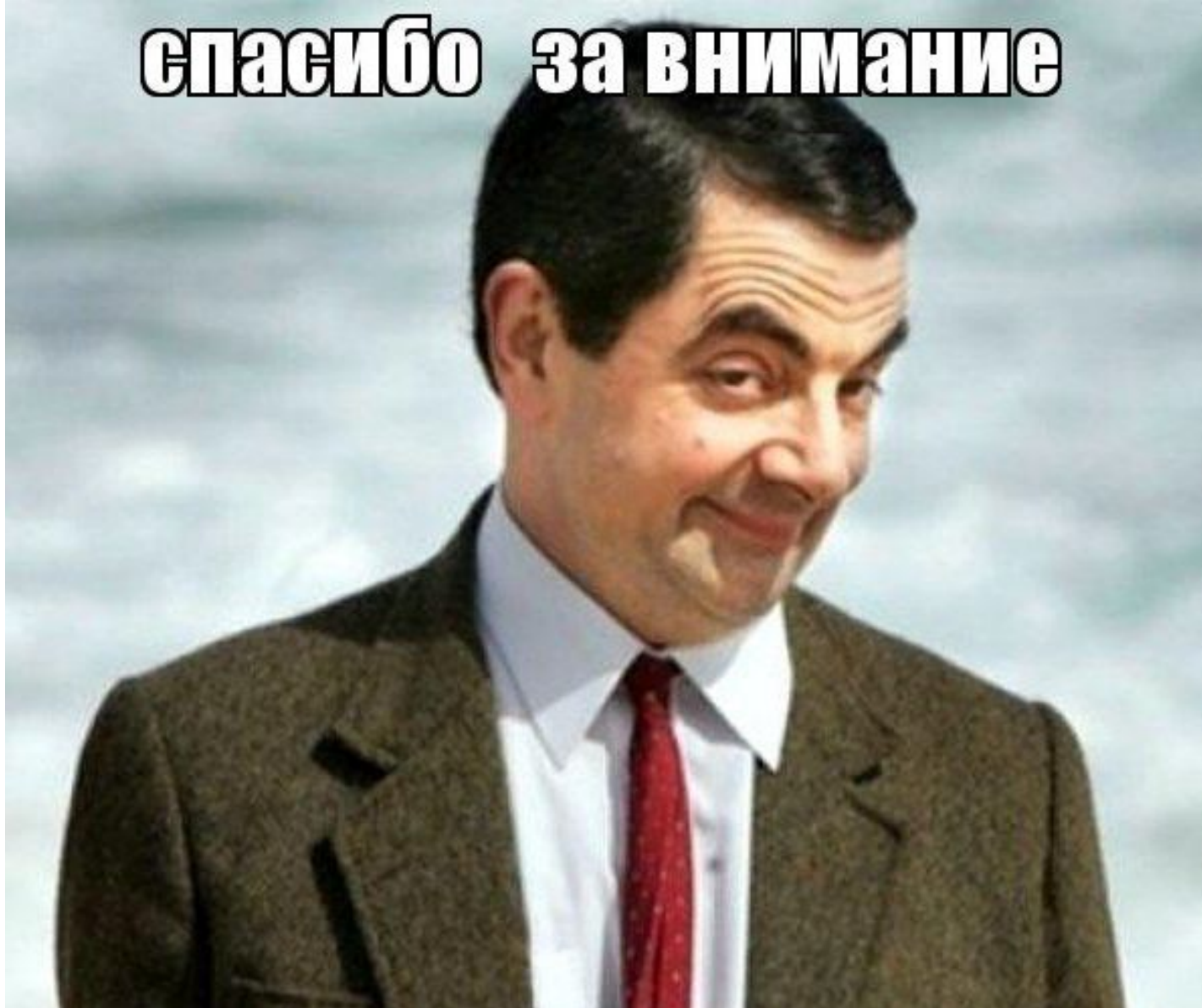


Диаграмма с эвтектическим равновесием





**спасибо за внимание**



**УЧИТЕ МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ!!!**