



# ΣΤΕΡΕΑ ΔΙΑΛΥΜΑΤΑ

- Ισόμορφα Στερεά Διαλύματα
- Διαγράμματα Φάσης
- Ευτηκτικά Διαγράμματα Φάσης

# Ισόμορφα Στερεά Διαλύματα: Ισόμορφα Κράματα

---

- **Φάση** (phase) υλικού = ομογενές τμήμα ενός συστήματος, έχει παντού την ίδια σύσταση

**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Νερό στους  $0^{\circ}\text{C}$  = στερεά φάση (πάγος) + υγρή φάση (νερό) σε επαφή

- Η κάθε φάση ενός υλικού έχει τη δική της διακριτή δομή
- Οι φάσεις μπορούν να βρίσκονται σε επαφή μεταξύ τους.

**Διάλυμα** (solution) = **ομογενές** μίγμα δύο ή περισσότερων ειδών ατόμων ή μορίων – Μία ενιαία υγρή φάση (π.χ., αλκοόλη σε νερό)

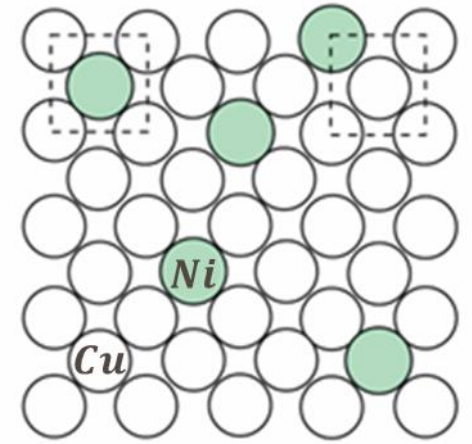
**Στερεό διάλυμα** (solid solution) = ομογενές μίγμα δύο τύπων ατόμων

**Ισόμορφο** ή **ισομορφικό** (isomorphous) στερεό διάλυμα = ομογενές μίγμα δύο τύπων ατόμων που έχει παντού την ίδια δομή

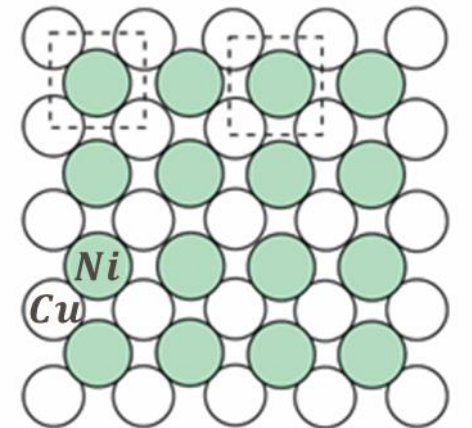
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** Ισόμορφο διάλυμα ή κράμα  $\text{Cu} - \text{Ni}$

# Στερεό διάλυμα αντικατάστασης $Cu - Ni$

- Ξεκινώντας από καθαρό χαλκό (100%  $Cu$ , δομή FCC) προσθέτοντας άτομα  $Ni$ ,
  - Αντικαθίστανται απευθείας τα άτομα  $Cu$
  - Η δομή παραμένει FCC σε όλη την κλίμακα ανάμιξης (100%  $Cu$  έως 100%  $Ni$ )
- **Διαλύτης** (solvent) = Το άτομα σε μεγαλύτερο ποσοστό στο διάλυμα
- **Διαλυμένη ουσία** (solute) = τα άτομα στο μικρότερο ποσοστό  
**ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ:** 90%  $Cu - 10\% Ni$ , εικ. (α)
- Στερεό διάλυμα αντικατάστασης χωρίς τάξη: Τυχαίες πλεγματικές θέσεις της διαλυμένης ουσίας (άτακτη αντικατάσταση), εικ. (α)
- Στερεό διάλυμα αντικατάστασης σε δομή με τάξη: Συγκεκριμένες πλεγματικές θέσεις (εύτακτη αντικατάσταση), εικ. (β)



(α) Στερεό διάλυμα αντικατάστασης, δομή χωρίς τάξη. Παράδειγμα: τα κράματα  $Cu-Ni$  (επίπεδα  $\{100\}$ ).



(β) Στερεό διάλυμα αντικατάστασης, δομή με τάξη. Παράδειγμα: το κράμα 50% $Cu$ - 50% $Zn$  (επίπεδα  $\{110\}$ ).

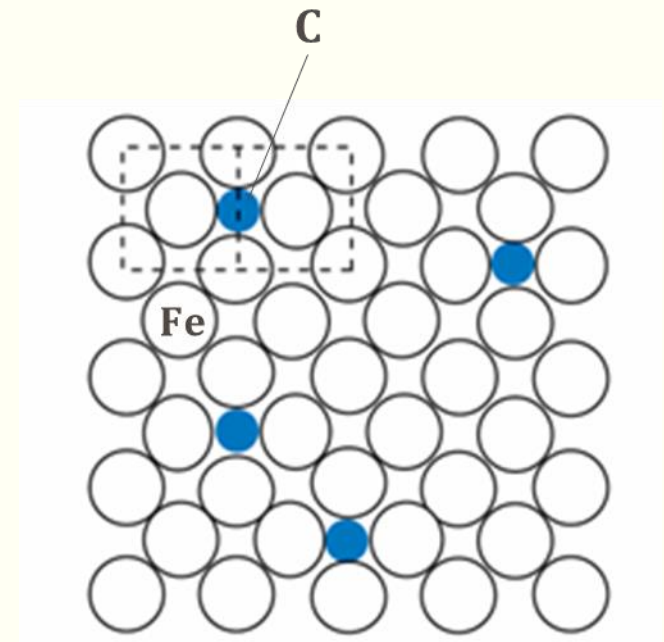
# Στερεό διάλυμα παρεμβολής

---

- Στερεό διάλυμα παρεμβολής (interstitial solid state solution)
  - Άτομα διαλυμένης ουσίας σε παραπλεγματικές θέσεις

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

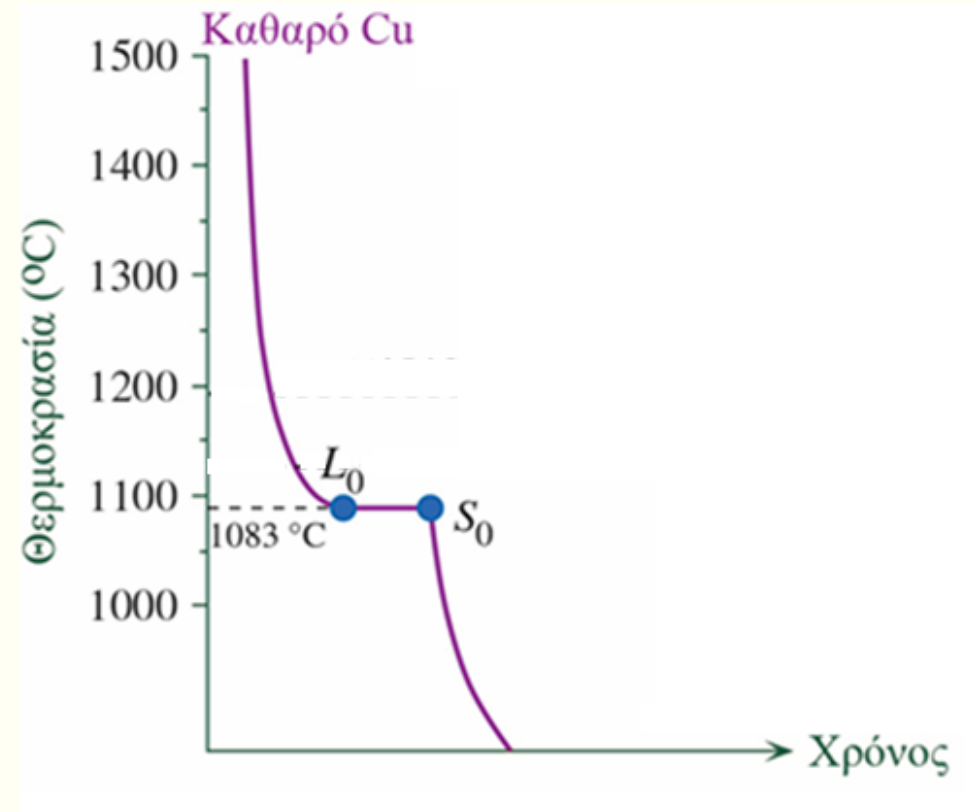
Μικρή ποσότητα ατόμων C σε FCC κρύσταλλο  $\gamma$  – Fe  
(Ωστενίτης)



# Διαγράμματα Φάσης: Η περίπτωση του καθαρού Cu

## A. Καμπύλη ψύξης καθαρού Cu

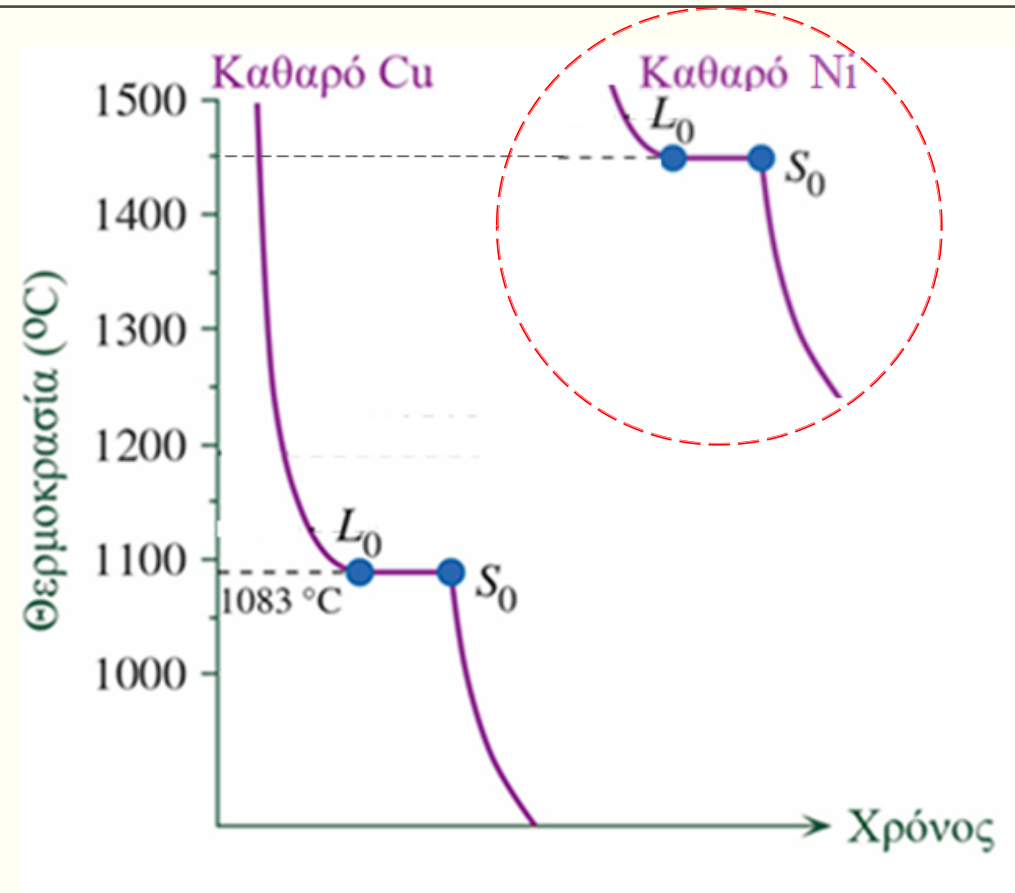
- $\theta > 1083^\circ\text{C}$ , μόνο υγρή φάση (τήγμα Cu)
- $\theta = 1083^\circ\text{C}$ , η θερμοκρασία παραμένει σταθερή έως ότου όλο το τήγμα Cu (σημείο  $L_0$ ) στερεοποιηθεί (σημείο  $S_0$ )
  - $1083^\circ\text{C} =$  θερμοκρασία τήξης καθαρού Cu
  - Συνύπαρξη τήγματος - στερεού Cu
  - **Θερμότητα σύντηξης** (heat of fusion) = θερμότητα εκλυόμενη κατά τη στερεοποίηση (τμήμα  $L_0 - S_0$ )
- $\theta < 1083^\circ\text{C}$ , μόνο στερεή φάση Cu



## Διαγράμματα Φάσης: Η περίπτωση του καθαρού Ni

### Β. Η καμπύλη ψύξης καθαρού Ni

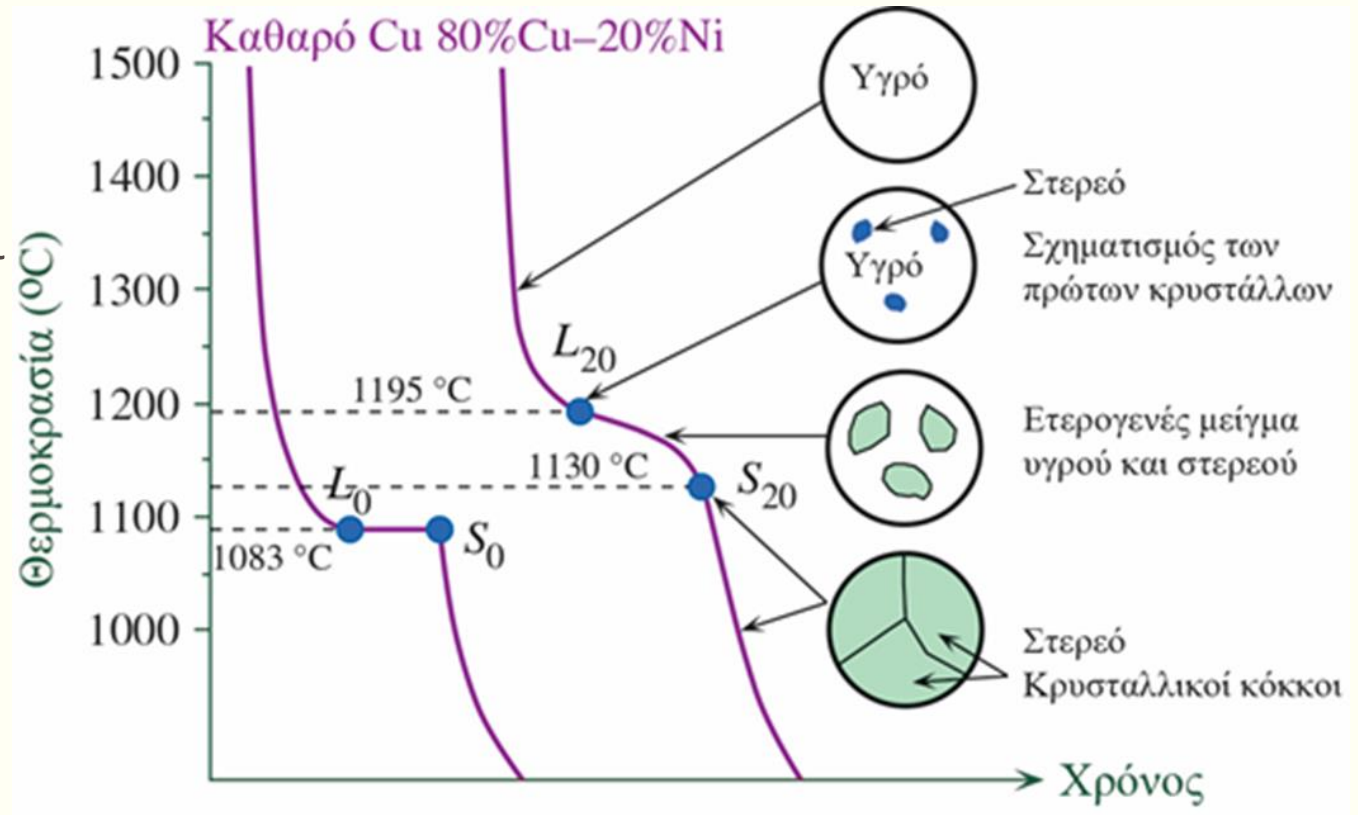
- Παρόμοια συμπεριφορά με καθαρό Cu
- Μόνη διαφορά: **θερμοκρασία τήξης** καθαρού Ni οι  $\theta = 1453^\circ\text{C}$



# Διαγράμματα Φάσης Ισόμορφων Κραμάτων: Περίπτωση Cu – Ni

## C. Καμπύλη ψύξης κράματος 80%Cu – 20%Ni

- $\theta > 1195^\circ\text{C}$ , μόνο μια υγρή φάση (τήγμα 80%Cu – 20%Ni, πλήρως αναμείξιμα)
- $\theta = 1195^\circ\text{C}$ , (σημείο  $L_{20}$ ) σχηματίζονται οι πρώτοι κρύσταλλοι κράματος Cu – Ni)
- Η θερμοκρασία δεν παραμένει σταθερή ως την πλήρη στερεοποίηση στους  $\theta = 1130^\circ\text{C}$  (σημείο  $S_{20}$ )
- $1195^\circ\text{C} < \theta < 1130^\circ\text{C}$ , συνύπαρξη υγρής και στερεάς φάσης σε ετερογενές μείγμα – Κρύσταλλοι Cu – Ni αυξανόμενου μεγέθους – μεταβαλλόμενης σύστασης



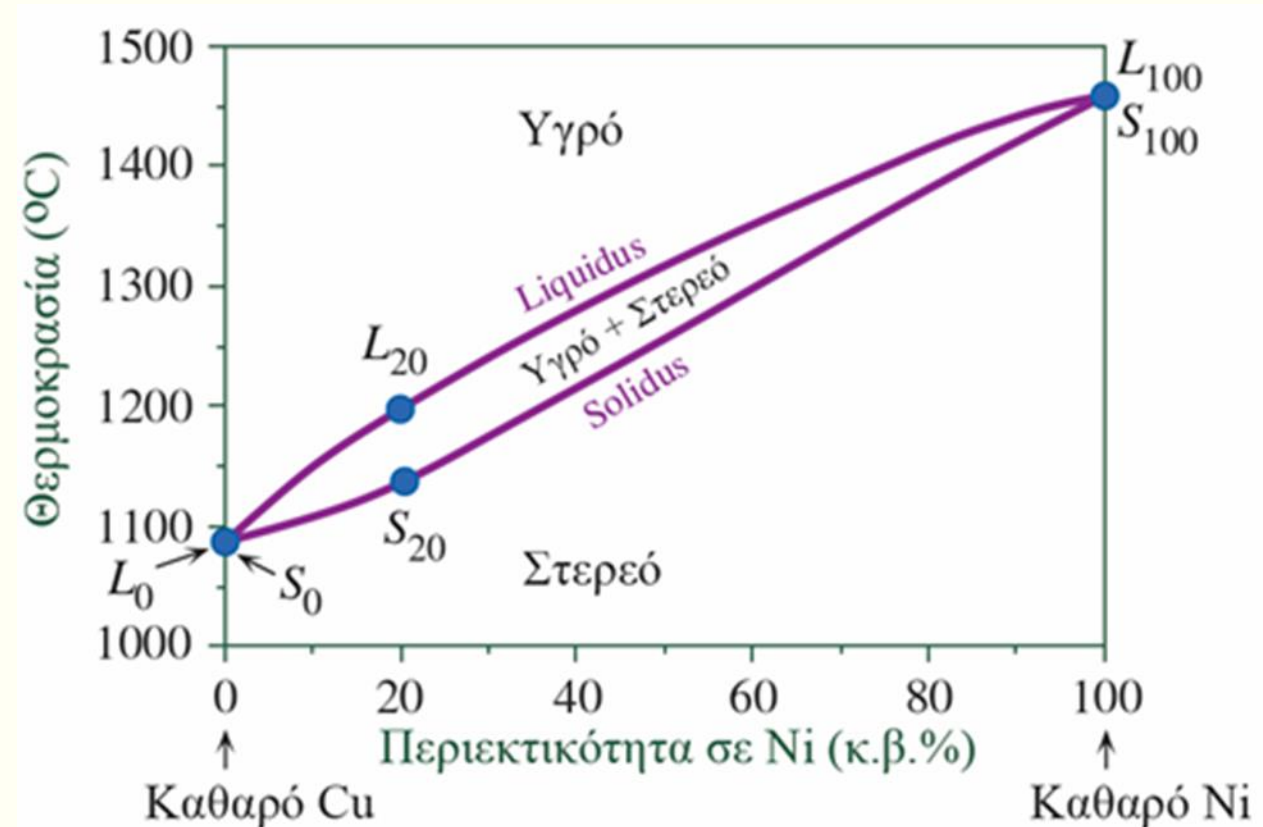
- $\theta < 1130^\circ\text{C}$ , μόνο στερεή φάση (κρύσταλλοι 80%Cu – 20%Ni)



# Θερμοκρασίες τήξης κραμάτων Cu – Ni με διαφορετικές συστάσεις

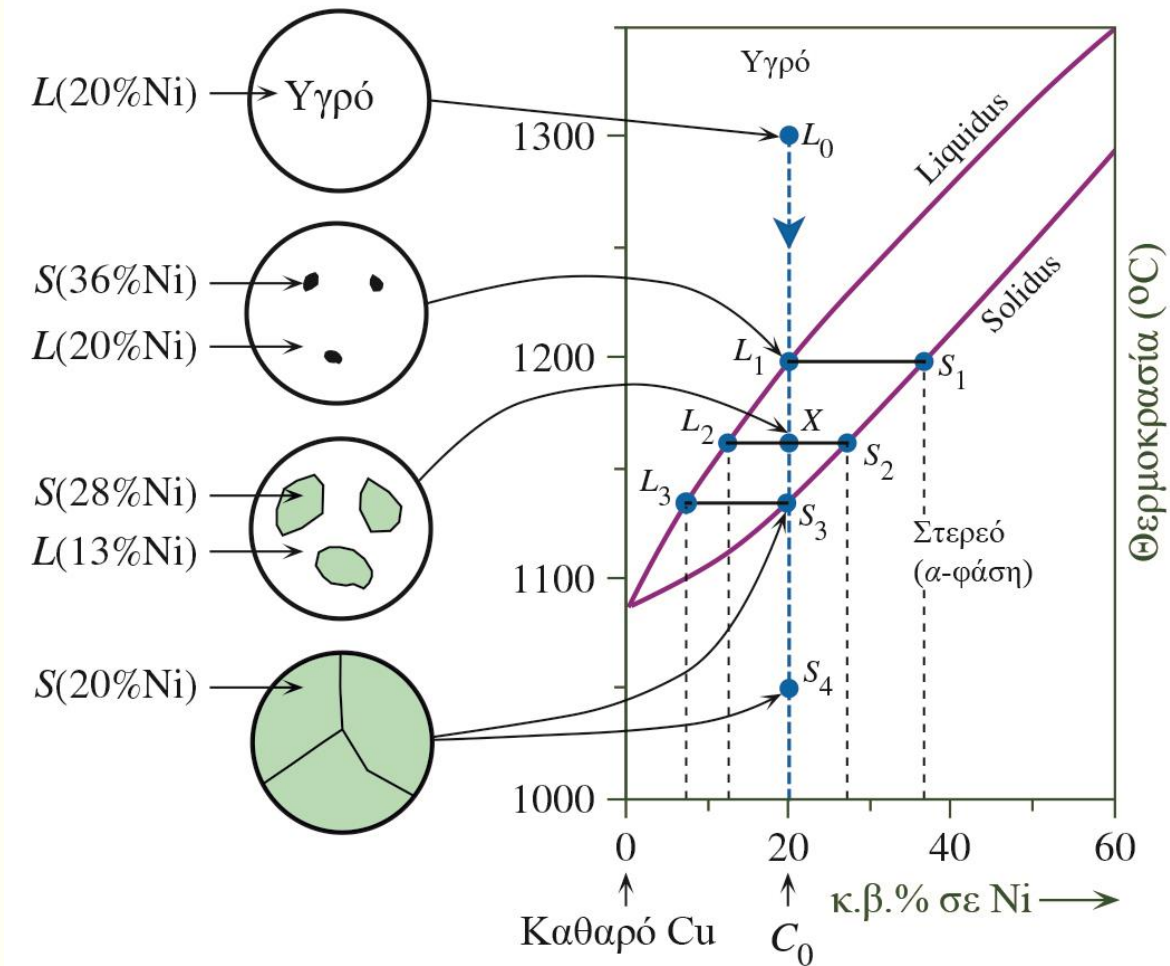
## Γραμμές Liquidus και Solidus

- Γραμμή **Liquidus** : Γραφική απεικόνιση θερμοκρασιών έναρξης στερεοποίησης (σημεία  $L$ ) σαν συνάρτηση της σύστασης του υλικού
- Πάνω από γραμμή Liquidus υπάρχει μόνο υγρή φάση (τήγμα)
- Γραμμή **Solidus** : Γραφική απεικόνιση θερμοκρασιών λήξης στερεοποίησης (σημεία  $S$ ) σαν συνάρτηση της σύστασης του υλικού
- Κάτω από γραμμή Solidus υπάρχει μόνο στερεή φάση (κράμα)
- Η περιοχή μεταξύ γραμμών Liquidus και Solidus αντιστοιχεί σε ετερογενές μίγμα υγρής και στερεής φάσης



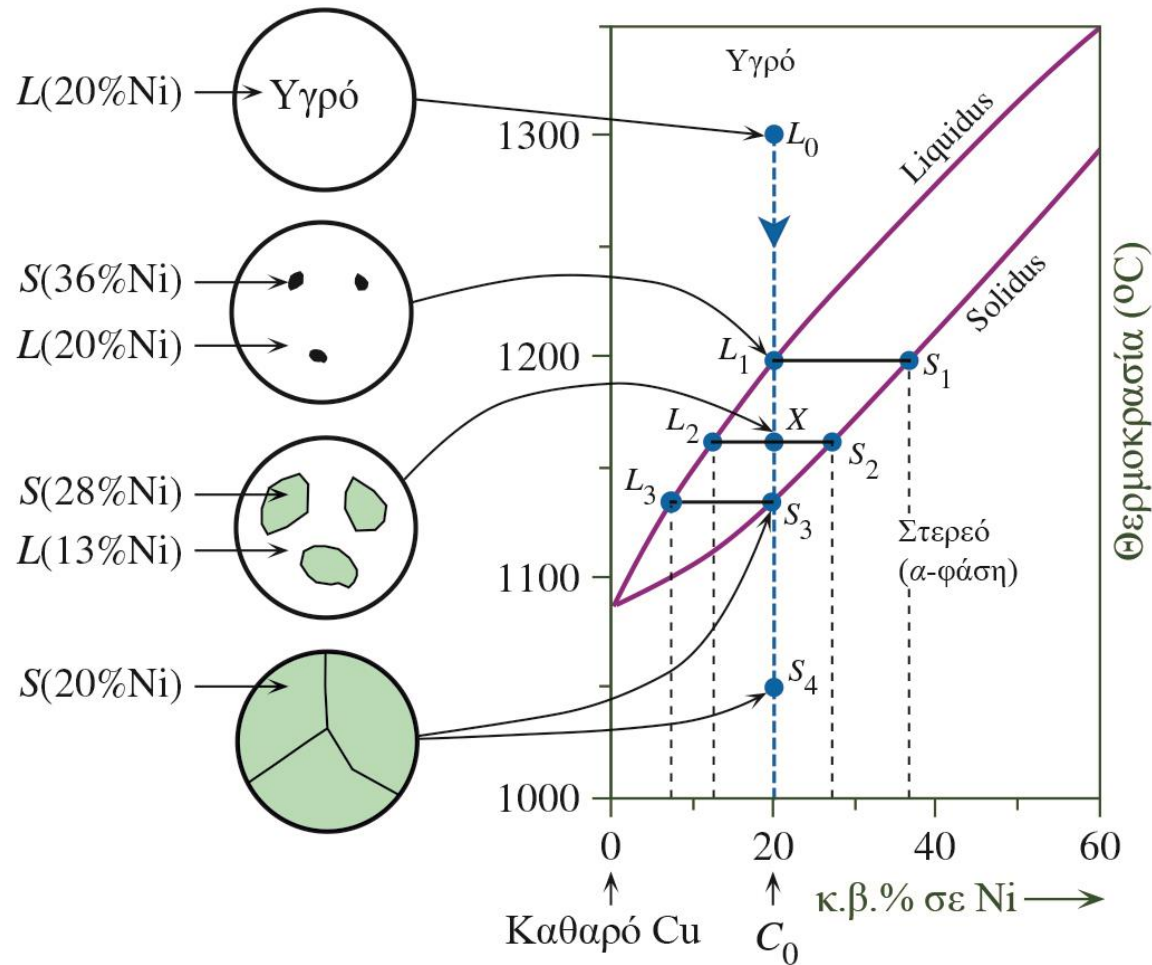


# Ψύξη κράματος 80%Cu – 20%Ni από τήγμα σε στερεό: Μεταβολή σύστασης των φάσεων



- $\theta = 1300^\circ\text{C}$  (σημείο  $L_0$ )
  - υγρό (τήγμα)
  - σύσταση 20%Ni
  
- $\theta = 1195^\circ\text{C}$  (σημείο  $L_1$ )
  - έναρξη στερεοποίησης - σχηματισμός πρώτων μικρών κρυστάλλων
  - Σύσταση κρυστάλλων 36%Ni – αντιστοιχεί στο σημείο  $S_1$  (η στερεά φάση σε αυτή τη θερμοκρασία)
  - Σύσταση υγρού 20%Ni (γιατί;)

# Ψύξη κράματος 80%Cu – 20%Ni από τήγμα σε στερεό: Μεταβολή σύστασης των φάσεων



- $\theta = 1160^{\circ}\text{C}$  (σημείο  $X$ )
  - Αύξηση μεγέθους κρυστάλλων – ετερογενές μίγμα
  - Σύσταση κρυστάλλων 28%Ni (αντιστοιχεί στο σημείο  $S_2$ )
  - Σύσταση υγρού 13%Ni (αντιστοιχεί στο σημείο  $L_2$ )
  - Συνολική σύσταση κράματος 20%Ni
- $\theta \leq 1130^{\circ}\text{C}$  (σημεία  $S_3, S_4$ )
  - στερεό
  - Σύσταση κρυστάλλων 20%Ni (σημείο  $S_3$ )
  - $\theta = 1130^{\circ}\text{C}$  (σημείο  $S_3$ ), τελευταίες σταγόνες υγρού με σύσταση  $L_3$ )

# Υπολογισμός ποσοστών φάσεων σε μίγμα – Κανόνας του μοχλού

---

**Κανόνας του μοχλού** (lever rule): μας επιτρέπει να υπολογίσουμε τα ποσοστά υγρής και στερεάς φάσης σε κάθε θερμοκρασία κατά την τήξη/στερεοποίηση ενός κράματος σύστασης  $C_O$  (π.χ.,  $C_O = 20\%Ni$  ή  $0.2$ )

- Έστω
  - $W_L, W_S$  τα ποσοστά βάρους ή μάζας (weight/mass fraction) υγρής και στερεάς φάσης, αντίστοιχα
  - $C_L, C_S$  οι συστάσεις υγρής και στερεάς φάσης, αντίστοιχα
- Έστω κράμα μοναδιαίας μάζας, δηλαδή,  $W_L + W_S = 1$
- Θα πρέπει  $C_L W_L + C_S W_S = C_O$  (·)
- Λύνοντας το σύστημα

$$W_L = \frac{C_S - C_O}{C_S - C_L}, \quad W_S = \frac{C_O - C_L}{C_S - C_L}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ εφαρμογής του κανόνα του μοχλού:

Υπολογισμός ποσοστού φάσεων κράματος 80%Cu – 20%Ni στη θερμοκρασία  $\theta = 1160^{\circ}\text{C}$  (σημείο X)

Έχουμε  $C_0 = 20\% = 0.2$

Σχεδιάζουμε μια συνδετική οριζόντια γραμμή μεταξύ των γραμμών Liquidus και Solidus,

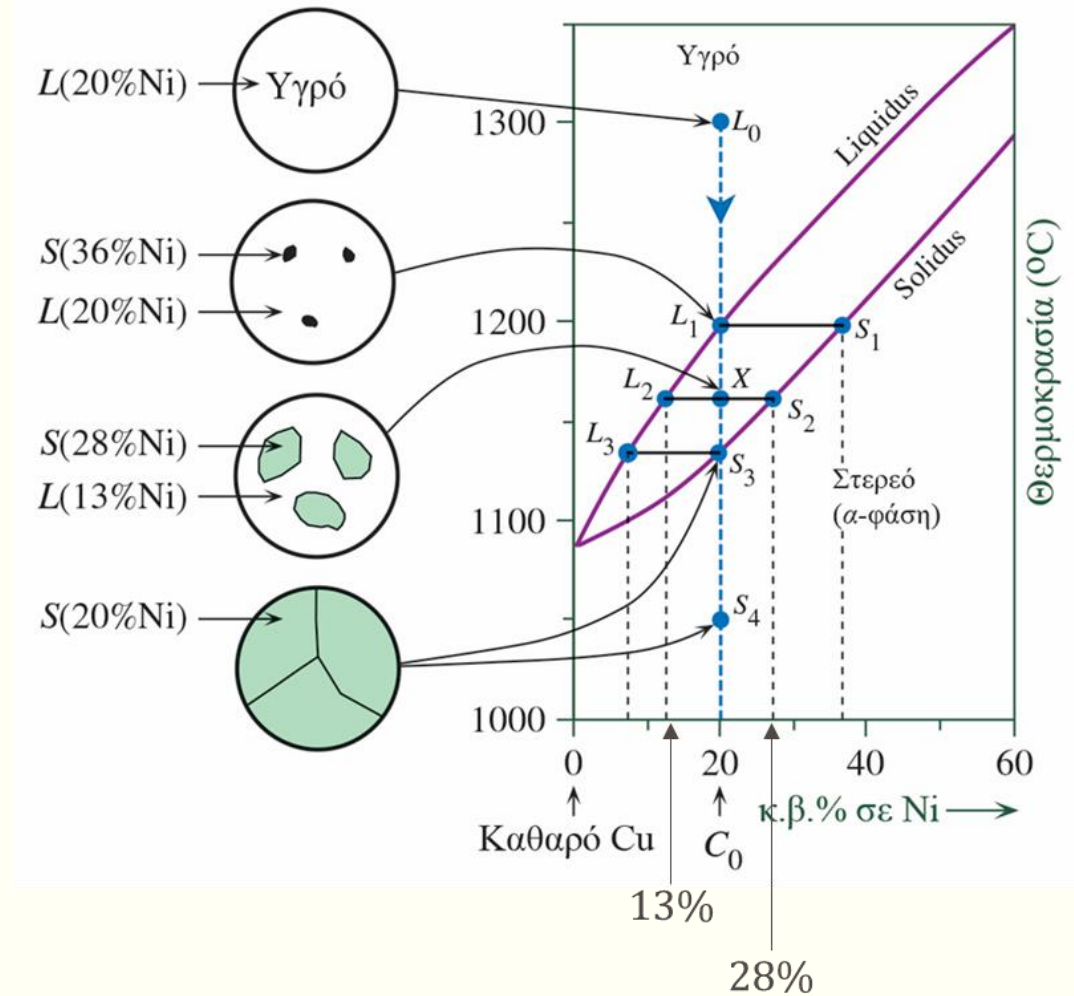
Έστω  $L_2$  σημείο τομής με γραμμή Liquidus,  $L_2$  αντιστοιχεί σε  $C_L$ .

Από το διάγραμμα φάσεων (εικ.) βλέπουμε  $C_L = 13\% = 0.13$

Έστω  $S_2$  σημείο τομής με γραμμή Solidus,  $S_2$  αντιστοιχεί σε  $C_S$ . Βλέπουμε  $C_S = 28\% = 0.28$

επομένως,  $W_L = \frac{C_S - C_0}{C_S - C_L} = \frac{0.28 - 0.20}{0.28 - 0.13} = 0.533$  ή 53%

και  $W_S = 1 - W_L = 1 - 0.533 = 0.467$  ή ~47%



# Όριο διαλυτότητας – Γραμμή Solvus

Όριο διαλυτότητας,  $X_S$  = η μέγιστη ποσότητα ενός στοιχείου που μπορεί να διαλυθεί σε ένα άλλο μέσο ώστε να σχηματιστεί ομογενές διάλυμα

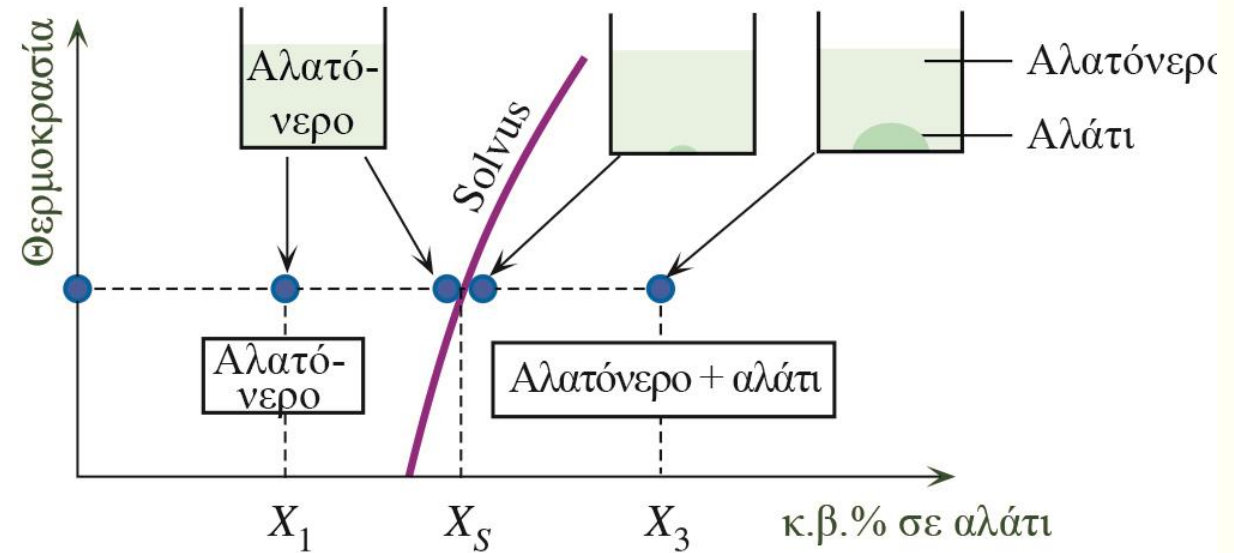
## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Για συγκέντρωση αλατιού σε νερό  $X_1 \leq X_S$  σχηματίζεται αλατόνερο (ομογενές διάλυμα)

Για μεγαλύτερες συγκεντρώσεις,  $X_3 > X_S$  σχηματίζεται ίζημα (ετερογενές διάλυμα, αλατόνερο + αλάτι)

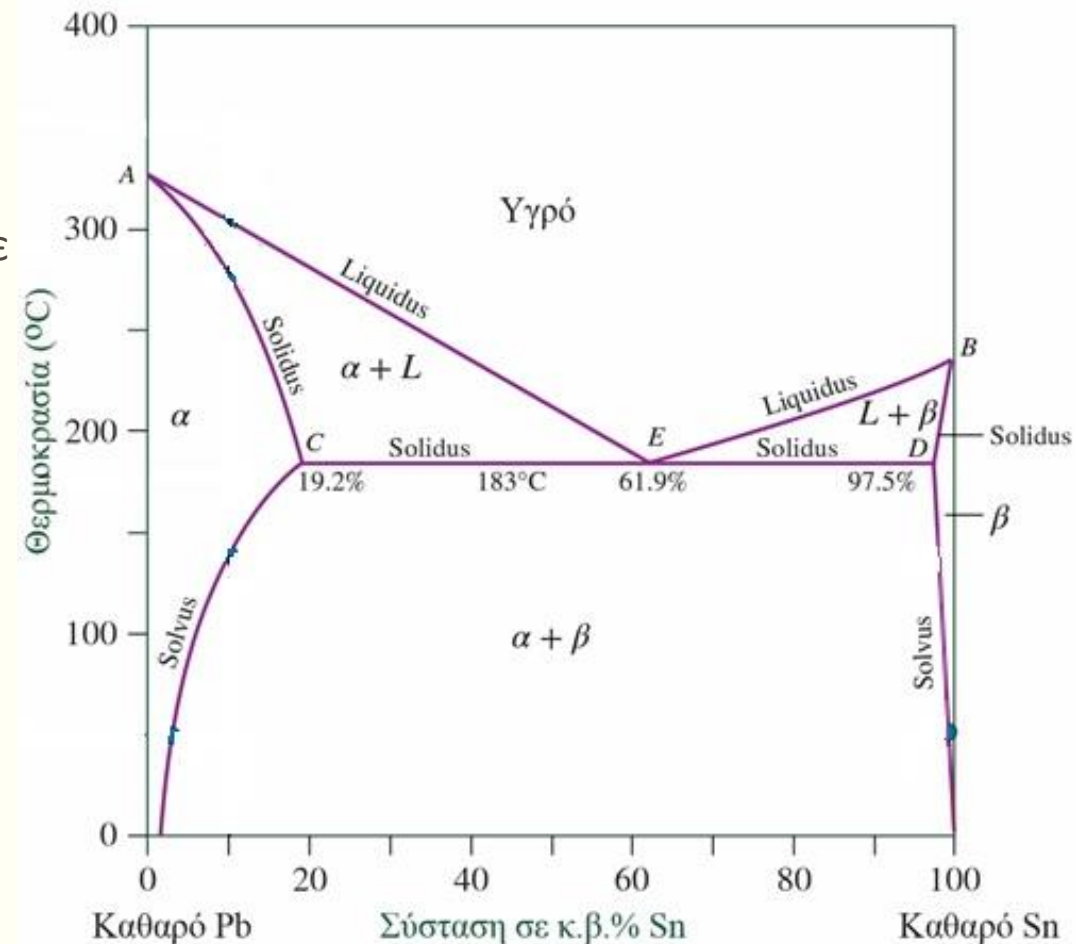
Η καμπύλη **Solvus** είναι η γραφική παράσταση του ορίου διαλυτότητας  $X_S$  σαν συνάρτηση της θερμοκρασίας,

$$X_S = X_S(\theta)$$



# Όριο διαλυτότητας στερεών διαλυμάτων – Η περίπτωση του κράματος Pb – Sn\*

- Στη στερεά φάση, ο καθαρός Pb έχει κρυσταλλική δομή FCC, ενώ ο καθαρός Sn δομή BCT (, Body-Centered Tetragonal, εδροκεντρωμένη τετραγωνική)
- Στην υγρή φάση (τήγμα), Pb και Sn είναι πλήρως αναμείξιμα σε οποιαδήποτε αναλογία
- Στη στερεά φάση
  - υπάρχει μικρό όριο διαλυτότητας Sn σε Pb,  $X_{Sn,max} = 19.2\%$
  - και ακόμη μικρότερο όριο διαλυτότητας Pb σε Sn,  $X_{Pb,max} = 2.5\%$
  - Για ενδιάμεσα ποσοστά, προκύπτει στερεό μίγμα δύο διακριτών φάσεων,
    - 1) φάση  $\alpha$ , FCC πλούσια σε Pb με λίγα άτομα Sn
    - 2) φάση  $\beta$ , δομή BCT πλούσια Sn με λίγα άτομα Pb

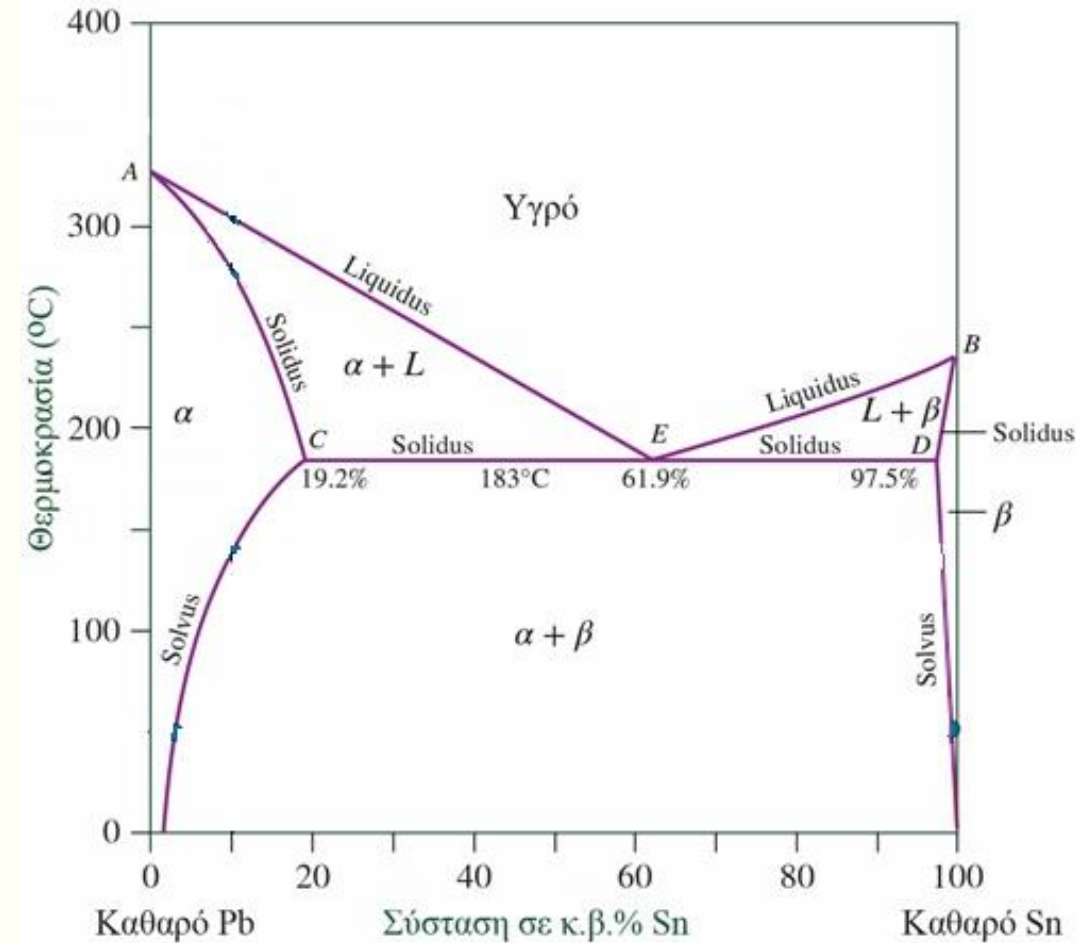


\*Κασσιτεροκόλληση (*soldering*): για συγκόλληση χάλκινων αντικειμένων, συνδέσεις καλωδίων και ολοκληρωμένων κυκλωμάτων στις ηλεκτρονικές πλακέτες



# Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων κράματος Pb – Sn: Ευτηκτικό

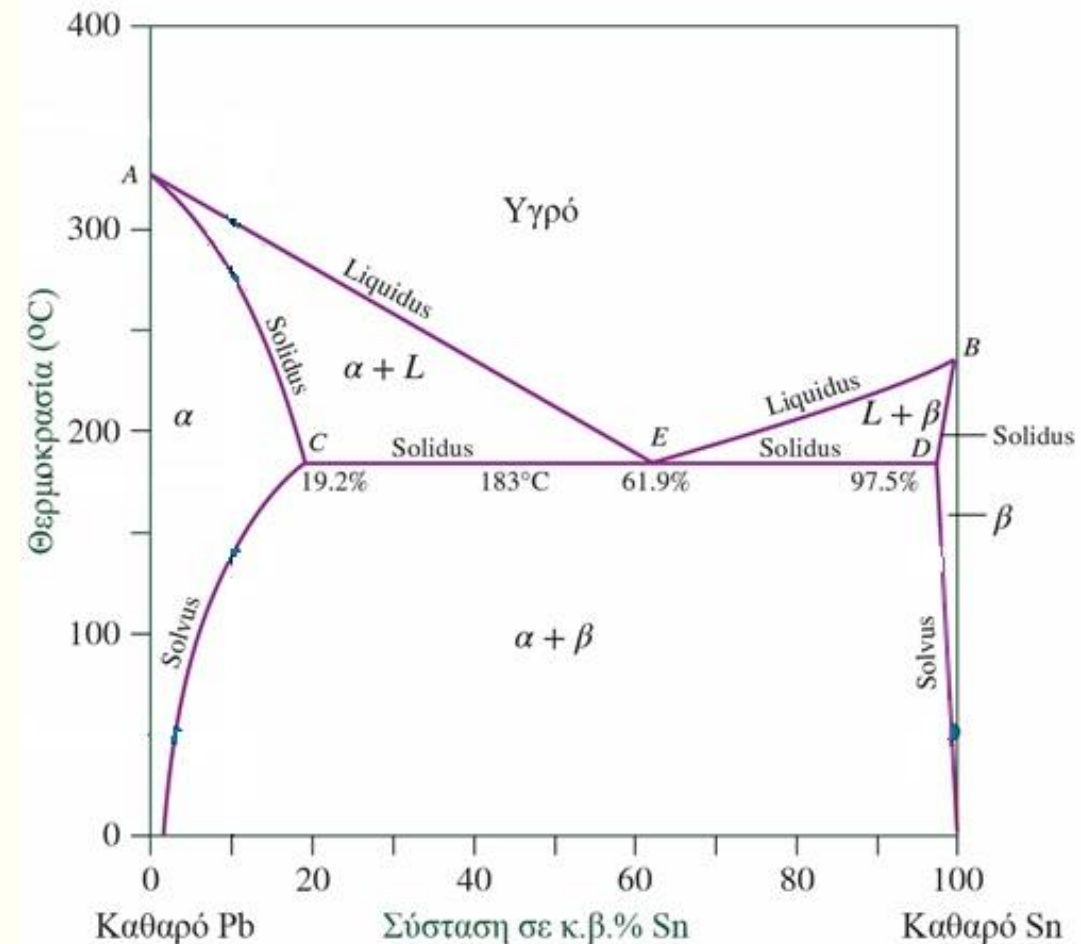
- **Ευτηκτικό διάγραμμα φάσεων** (eutectic phase diagram) = Διάγραμμα φάσεων Pb – Sn
- Μεταξύ των γραμμών Liquidus και Solidus έχουμε ετερογενές μίγμα τήγματος-στερεού
  - $\alpha + L$  για  $X_{Sn} < 61.9\%$
  - $\beta + L$  για  $X_{Sn} > 61.9\%$
- Γραμμές Liquidus συναντώνται στο σημείο  $E$  (61.9%, 183°C) = **ευτηκτικό σημείο** (eutectic point)
- Για  $\theta < 183^\circ\text{C}$ , μόνο στερεή φάση κράματος Pb – Sn



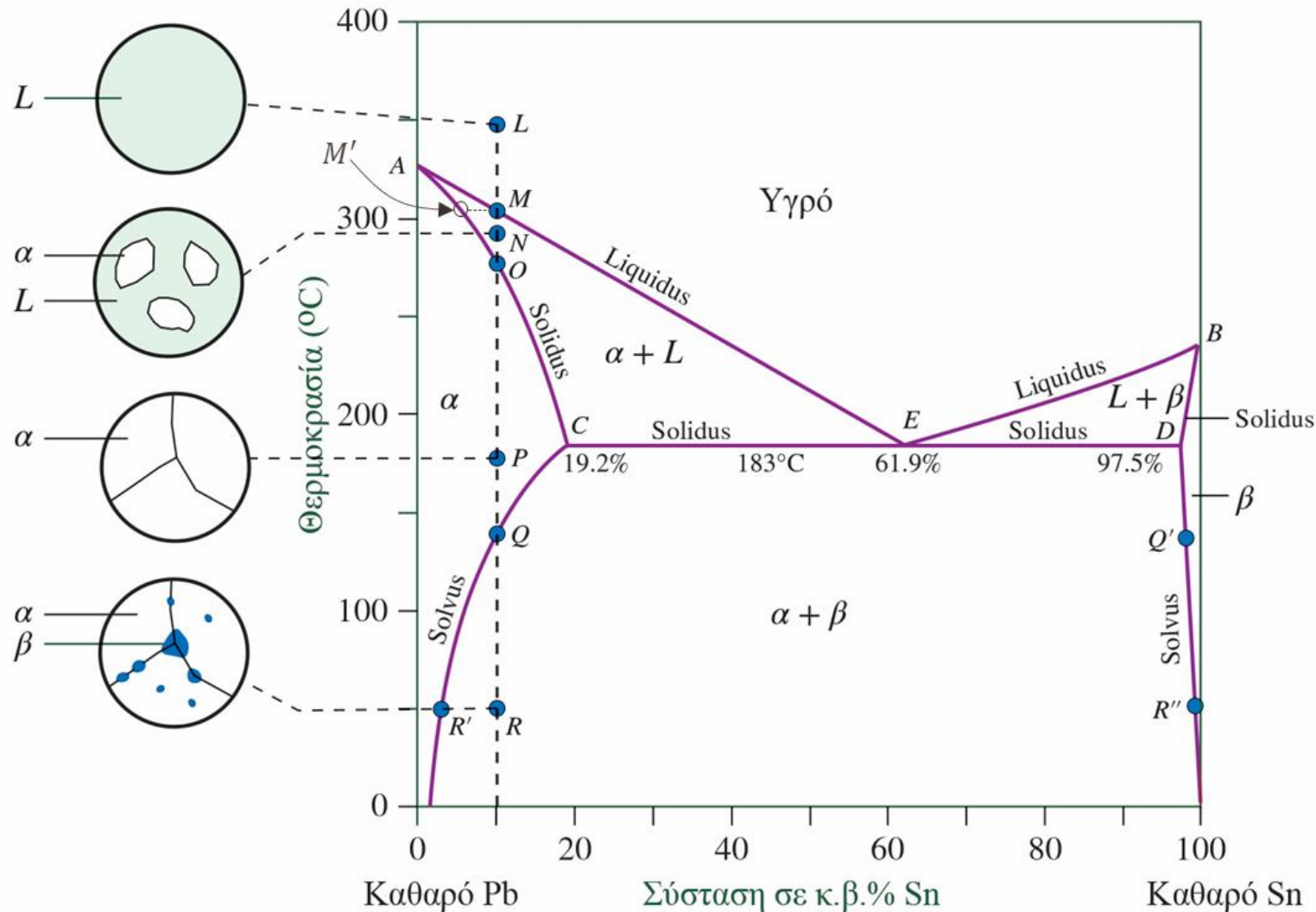


# Διάγραμμα ισορροπίας φάσεων κράματος Pb – Sn: Ευτηκτικό

- Στο αριστερό άκρο του διαγράμματος (100% Pb): Η καμπύλη **solvus** συναντά τη γραμμή **solidus** στο σημείο **C** (19.2% Sn)  
 $19.2\% \text{ Sn} = \text{Όριο διαλυτότητας Sn σε Pb}$
- Στο δεξί άκρο του διαγράμματος (100% Sn): Η καμπύλη **solvus** συναντά τη γραμμή **solidus** στο σημείο **D** (97.5% Sn)  
 $2.5\% \text{ Pb} = \text{Όριο διαλυτότητας Pb σε Sn}$
- Η ευθεία **CD** διερχόμενη από **E** στους  $183^{\circ}\text{C}$  είναι χαρακτηριστικό γνώρισμα ευτηκτικών διαγραμμάτων
- Για  $\theta < 183^{\circ}\text{C}$ , μεταξύ των δύο καμπυλών **solvus**, κράμα δύο φάσεων  $\alpha + \beta$



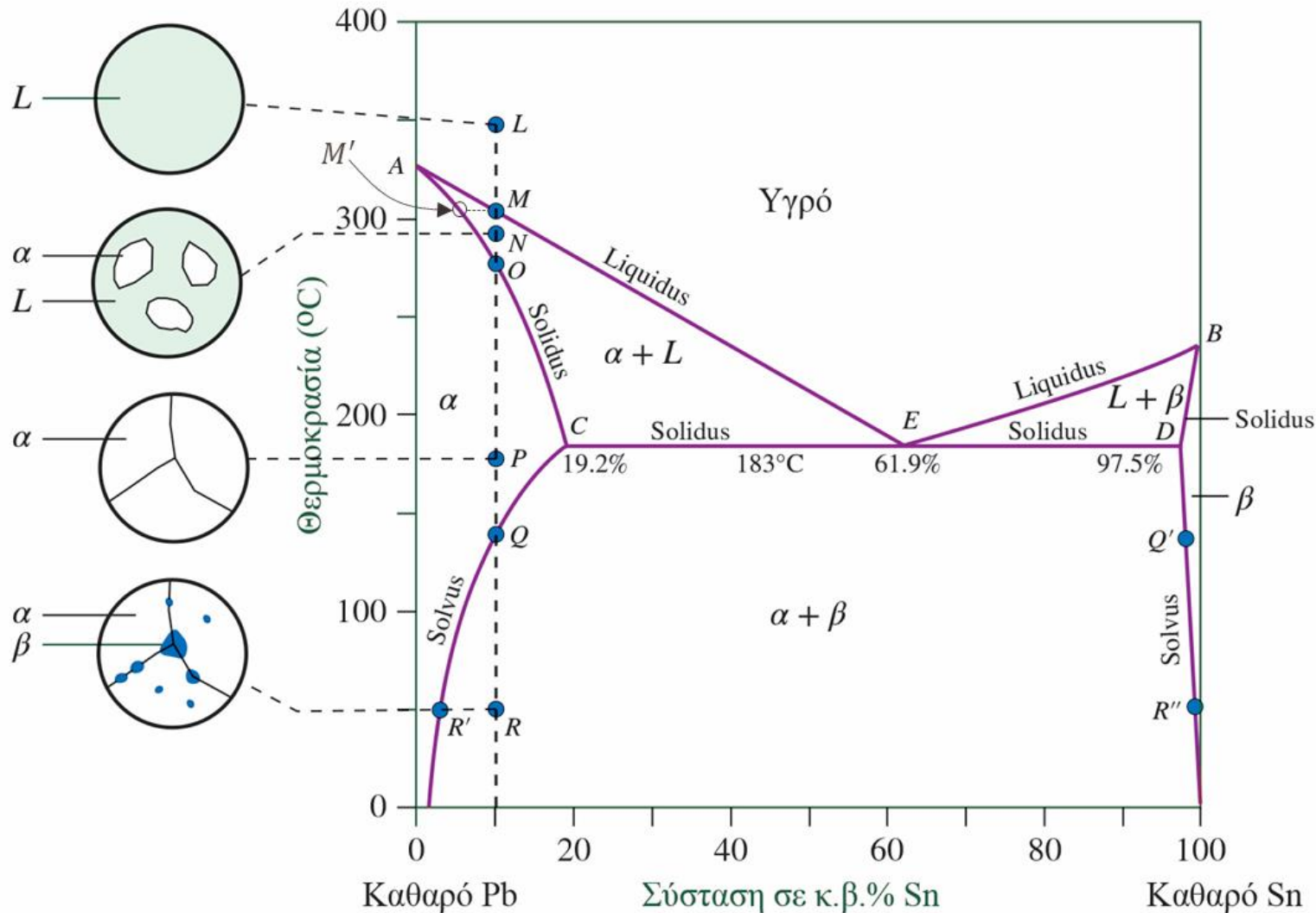
# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές



▪  $\theta = 350^{\circ}\text{C}$  (σημείο *L*)

- Μόνο υγρή φάση (τήγμα)
- σύσταση 10%Sn

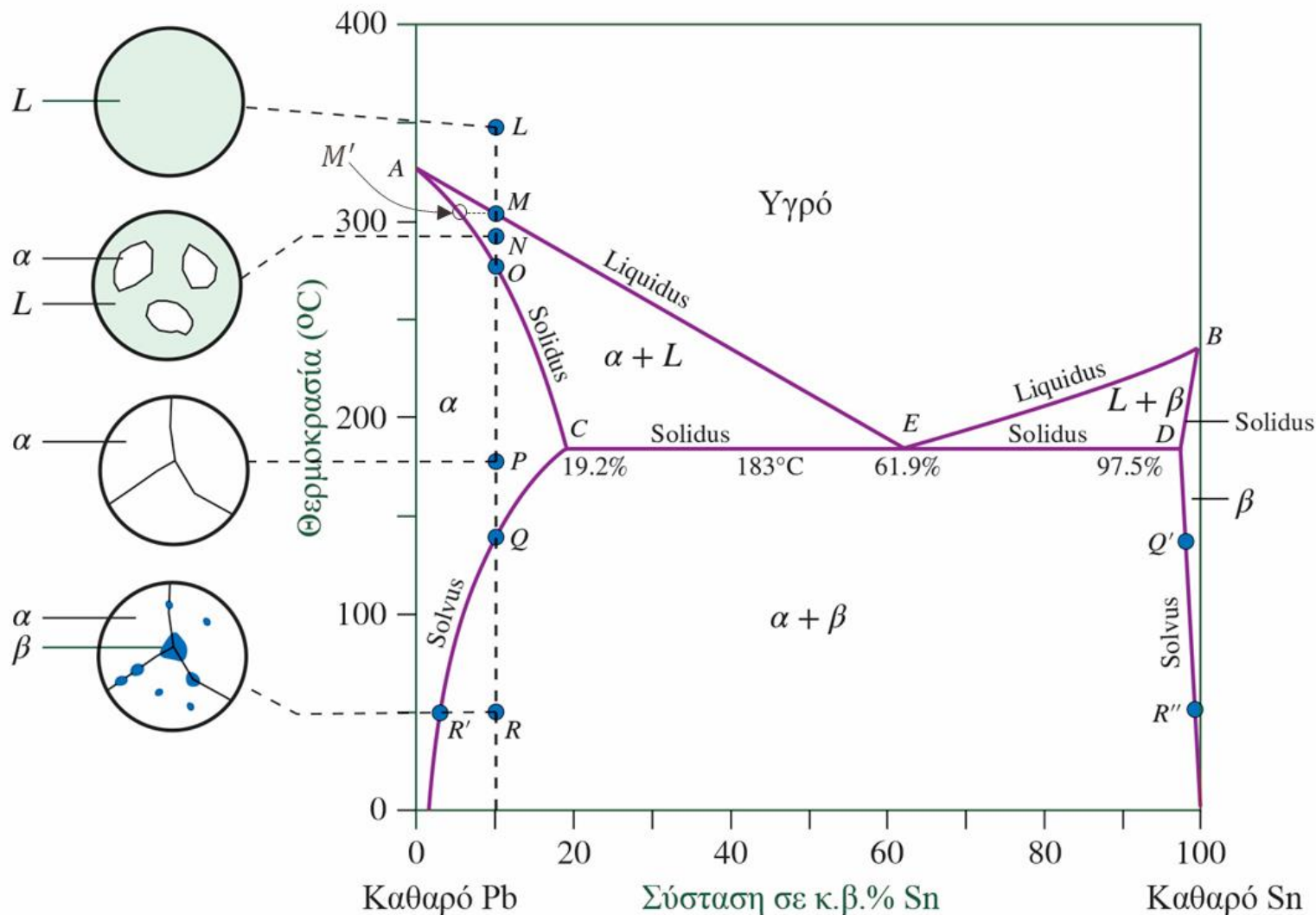
# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές



▪  $\theta = 315^{\circ}\text{C}$  (σημείο *M*)

- έναρξη στερεοποίησης
- σχηματισμός πρώτων μικρών πυρήνων  $\alpha$  – φάσης στο υγρό
- Σύνσταση  $\alpha$  – φάσης  $\sim 5\% \text{Sn}$ : αντιστοιχεί στο σημείο *M'* της γραμμής solidus
- Σύνσταση υγρού (*L*) 10%Sn

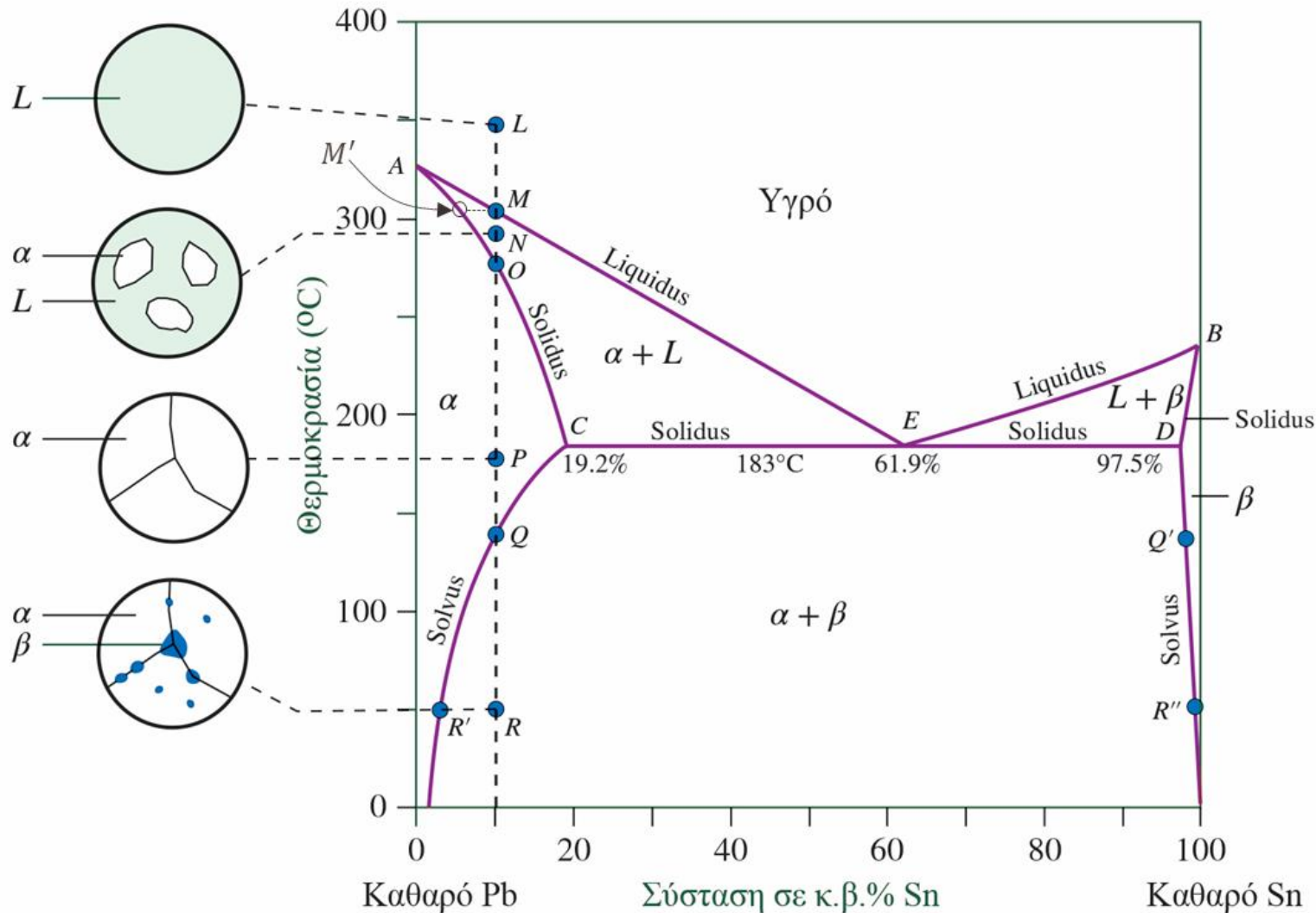
# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές



▪  $\theta = 290^{\circ}\text{C}$  (σημείο  $N$ )

- Αύξηση μεγέθους κρυστάλλων  $\alpha$  – φάσης
- Η σύσταση κρυστάλλων  $\alpha$  – φάσης  $\sim 7\%\text{Sn}(\text{:})$
- Συνολική σύσταση  $10\%\text{Sn}$
- Ποια είναι η σύσταση του υγρού;

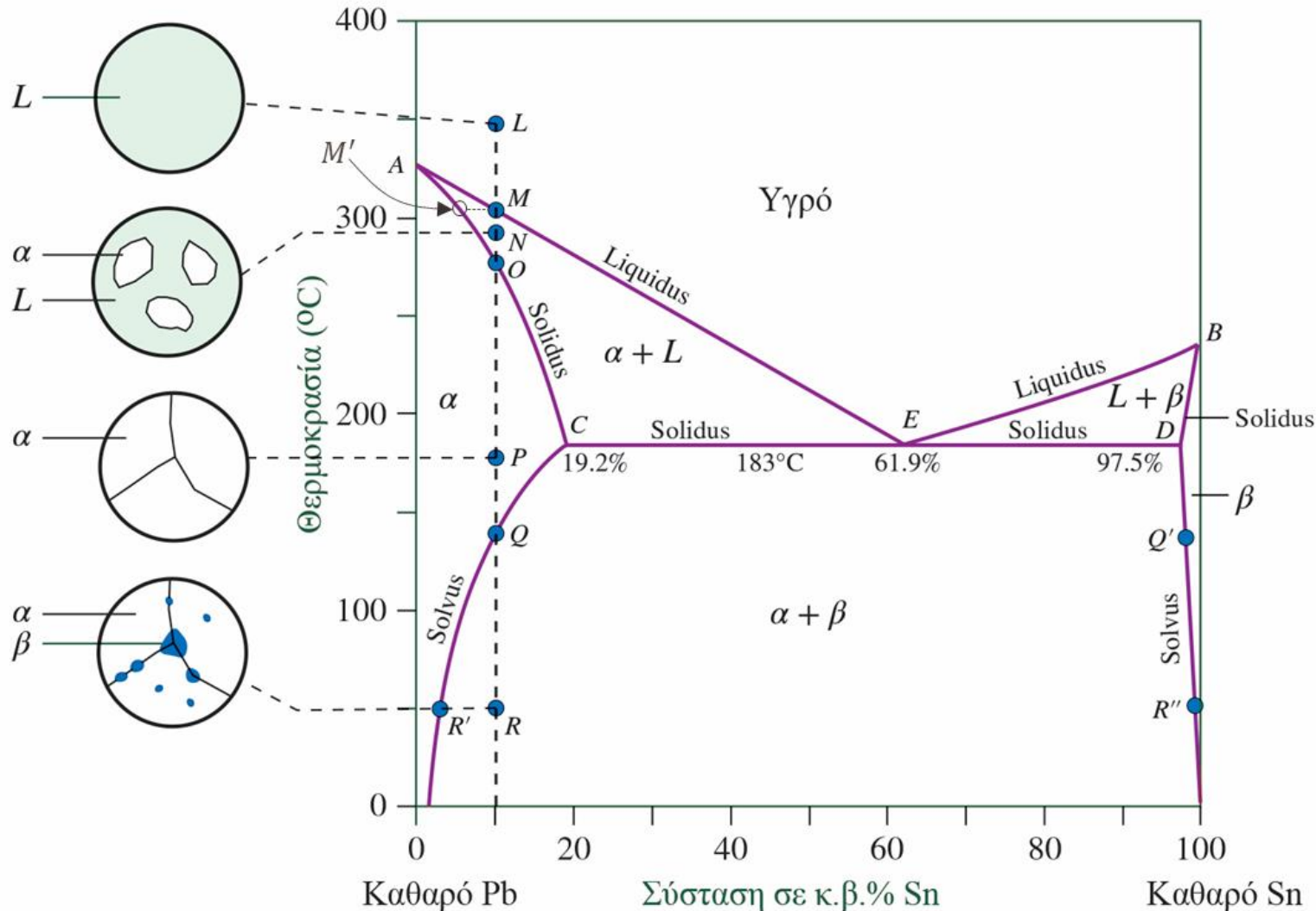
# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές



- $\theta = 275^{\circ}\text{C}$  (σημείο **O**)
  - Πλήρης στερεοποίηση στην  $\alpha$  – φάση
  - Σύνσταση  $\alpha$  – φάσης 10%Sn
- $\theta = 175^{\circ}\text{C}$  (σημείο **P**): μόνο  $\alpha$  – φάση

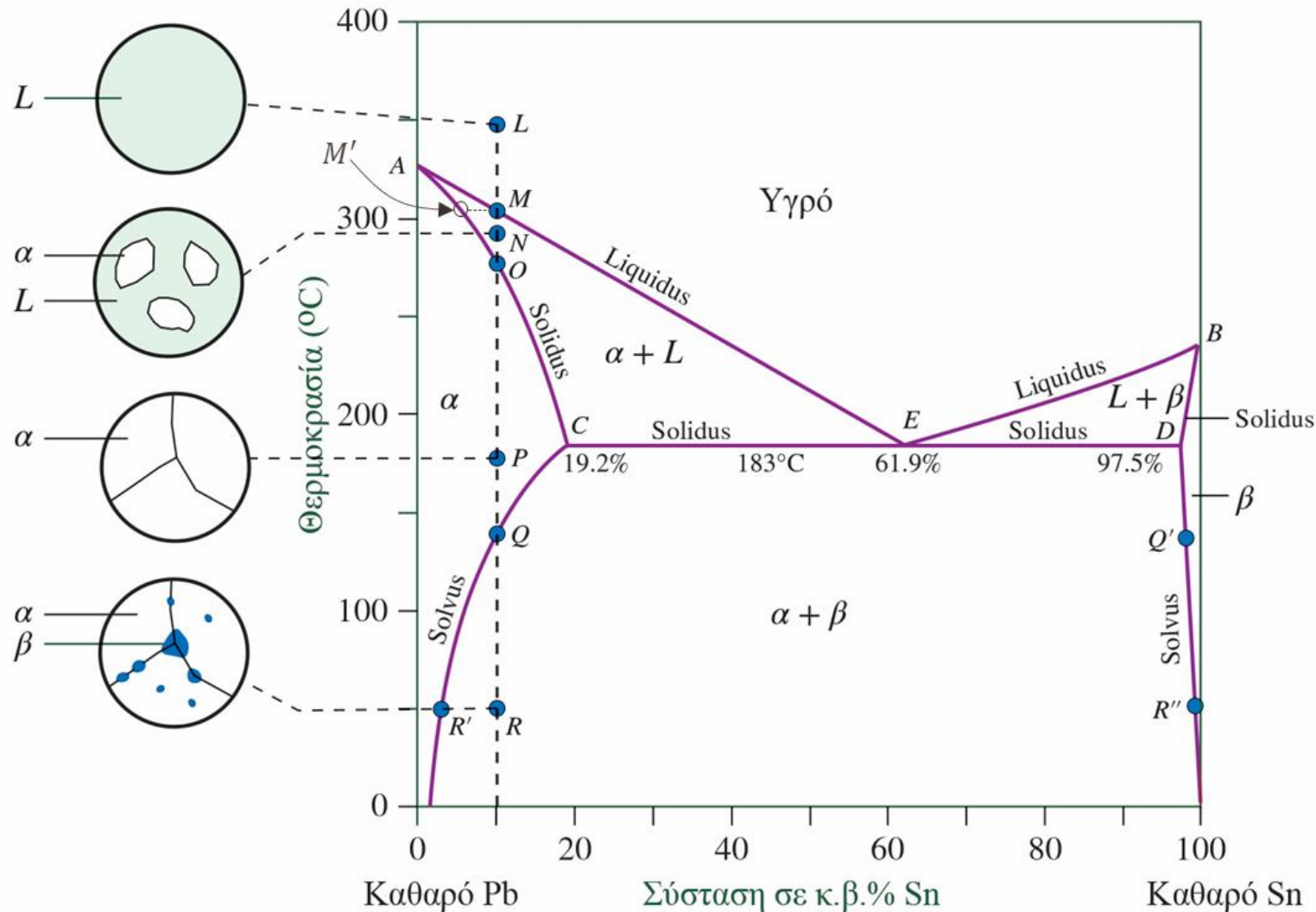


# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές



- $\theta = 140^\circ\text{C}$  (καμπύλη solvus, σημείο  $Q$ )
  - Όριο διαλυτότητας Sn στην  $\alpha$  –φάση: Ορισμένα άτομα Sn διαχέονται και σχηματίζουν πυρήνες  $\beta$  –φάσης
  - Πυρήνες  $\beta$  –φάσης μέσα στην  $\alpha$  –φάση (στα όρια κόκκων)
  - Σύσταση πυρήνων  $\beta$  –φάσης,  $\sim 98\%$ Sn (αντιστοιχεί στο  $Q'$  καμπύλης solvus)

# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές

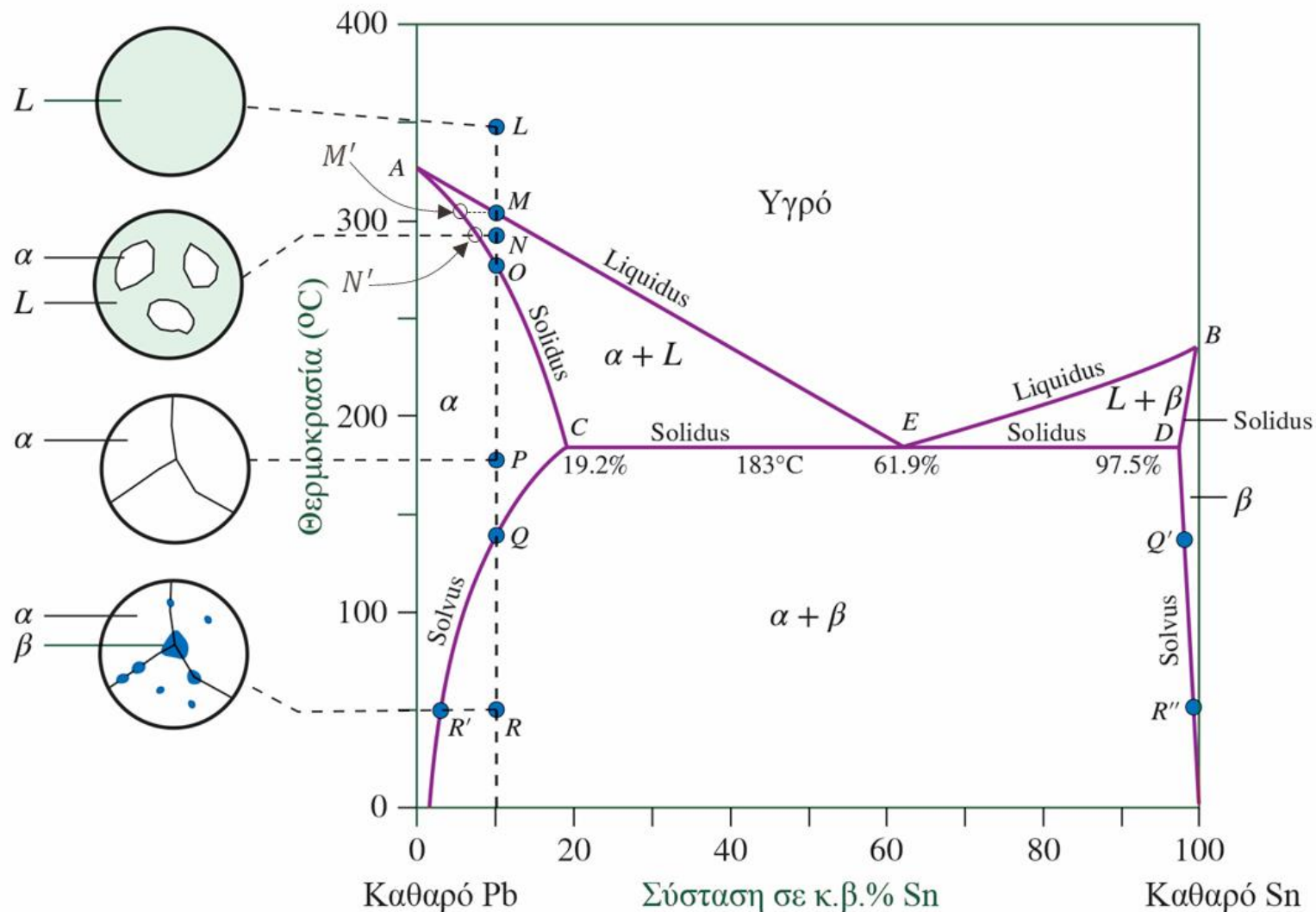


■ Για  $\theta < 140^\circ\text{C}$

- Συνύπαρξη  $\alpha$  και  $\beta$  φάσεων ( $\alpha + \beta$ )
- Σχετική αναλογία τους μεταβάλλεται με τη μείωση θερμοκρασίας



# Ψύξη τηγμένου κράματος 90%Pb – 10%Sn: Μετασχηματισμός φάσεων και μικροδομές

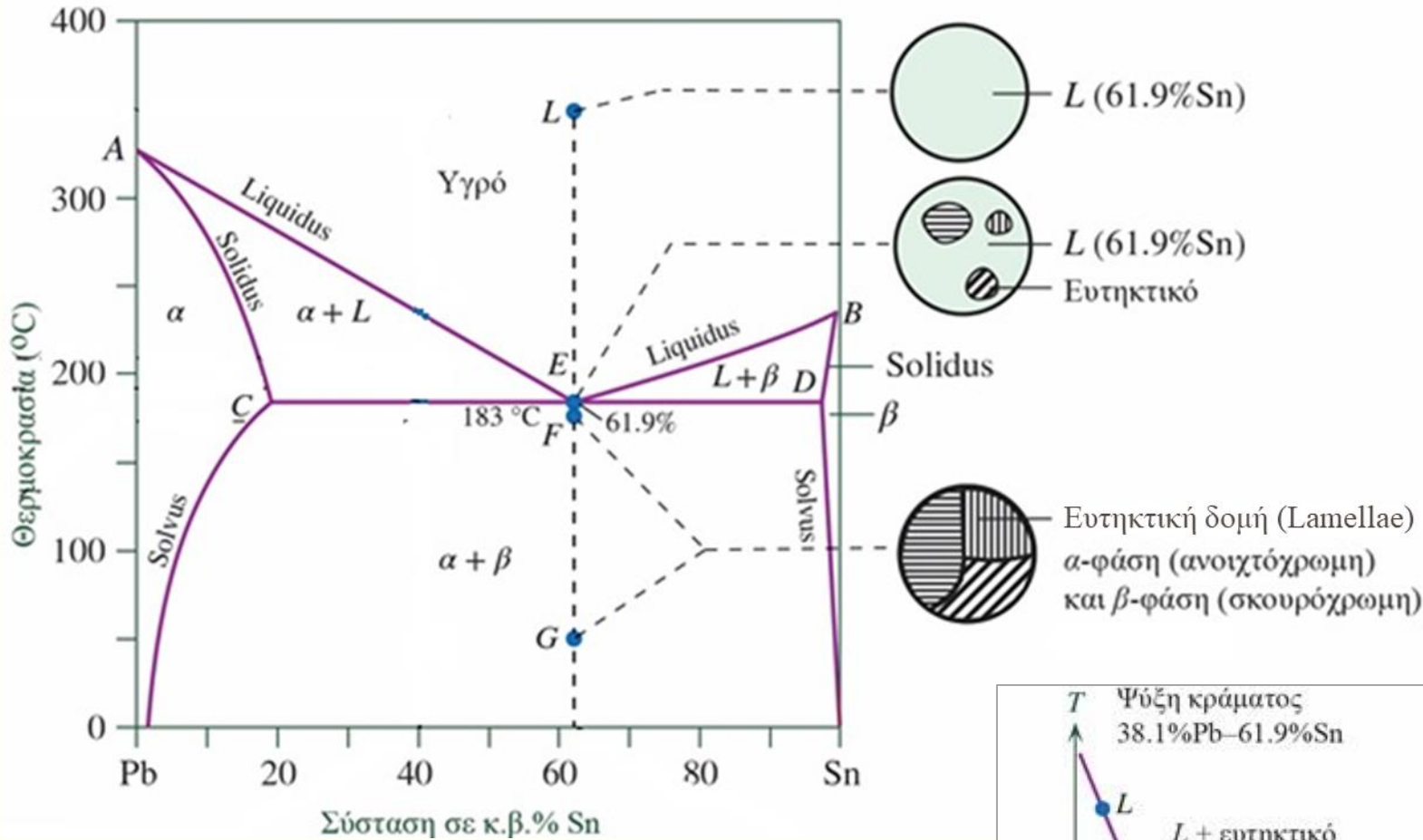


## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Για  $\theta = 50^\circ\text{C}$  (σημείο  $R$ ), το κράμα είναι μίγμα

- $\alpha$  -φάσης με περιεκτικότητα  $\sim 4\%\text{Sn}$  (αντιστοιχεί στο σημείο  $R'$ )
- $\beta$  -φάσης με περιεκτικότητα  $\sim 99\%\text{Sn}$  (αντιστοιχεί στο σημείο  $R''$ )

# Ψύξη ευτηκτικού κράματος 38.1%Pb – 61,9%Sn



$\theta = 350^\circ\text{C}$  (σημείο  $L$ ): Ομογενές υγρό

$\theta = 183^\circ\text{C}$  (ευτηκτικό σημείο  $E$ )

- Σχηματισμός πρώτων πυρήνων κρυστάλλωσης και βαθμιαία αύξηση στερεάς φάσης ως την πλήρη στερεοποίηση

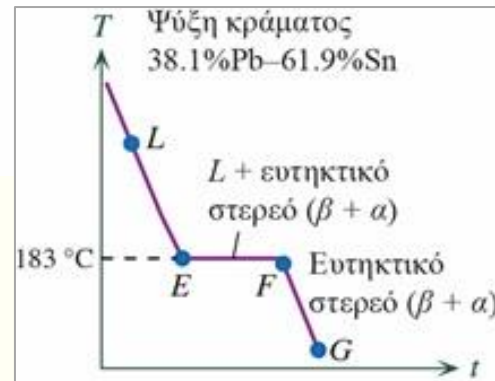
- Θερμοκρασία σταθερή, εικ.  $T(t)$ .

- Η ευτηκτική σύσταση ψύχεται σαν να ήταν καθαρό στοιχείο,  $L \rightarrow \alpha + \beta$

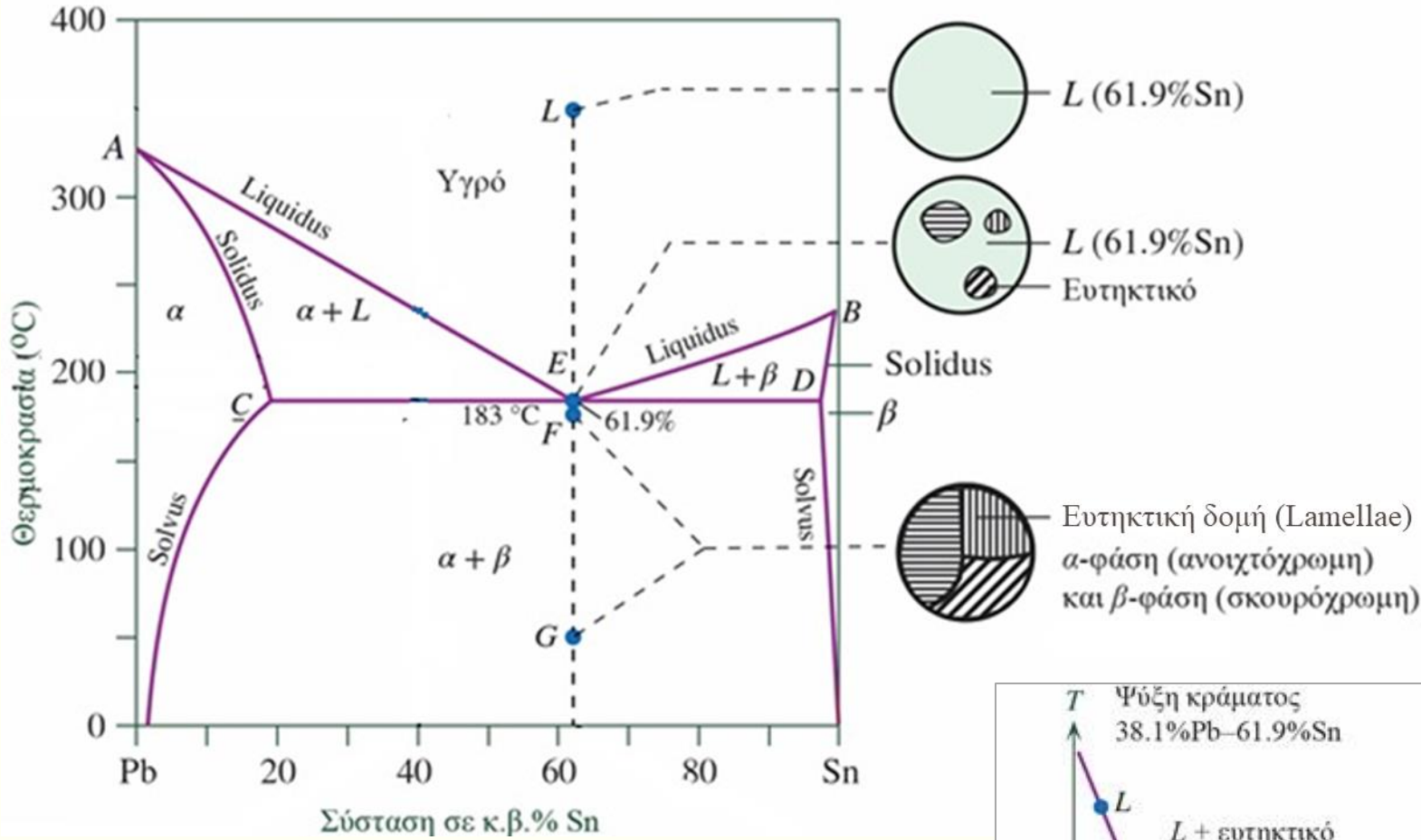
- Ευτηκτικός μετασχηματισμός ( $183^\circ\text{C}$ ):



- Ευτηκτική δομή: εναλλασόμενα επίπεδα φάσεων  $\alpha$  και  $\beta$  (lamellae)



# Ψύξη ευτηκτικού κράματος 38.1%Pb – 61.9%Sn



$\theta = 350^{\circ}\text{C}$  (σημείο  $L$ ): Ομογενές υγρό

$\theta = 183^{\circ}\text{C}$  (ευτηκτικό σημείο  $E$ )

- Σχηματισμός πρώτων πυρήνων κρυστάλλωσης και βαθμιαία αύξηση στερεάς φάσης ως την πλήρη στερεοποίηση

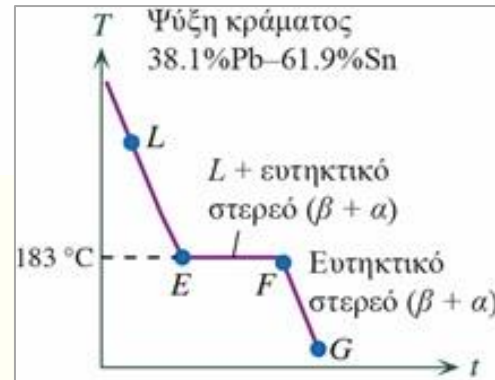
- Θερμοκρασία σταθερή, εικ.  $T(t)$ .

- Η ευτηκτική σύσταση ψύχεται σαν να ήταν καθαρό στοιχείο,  $L \rightarrow \alpha + \beta$

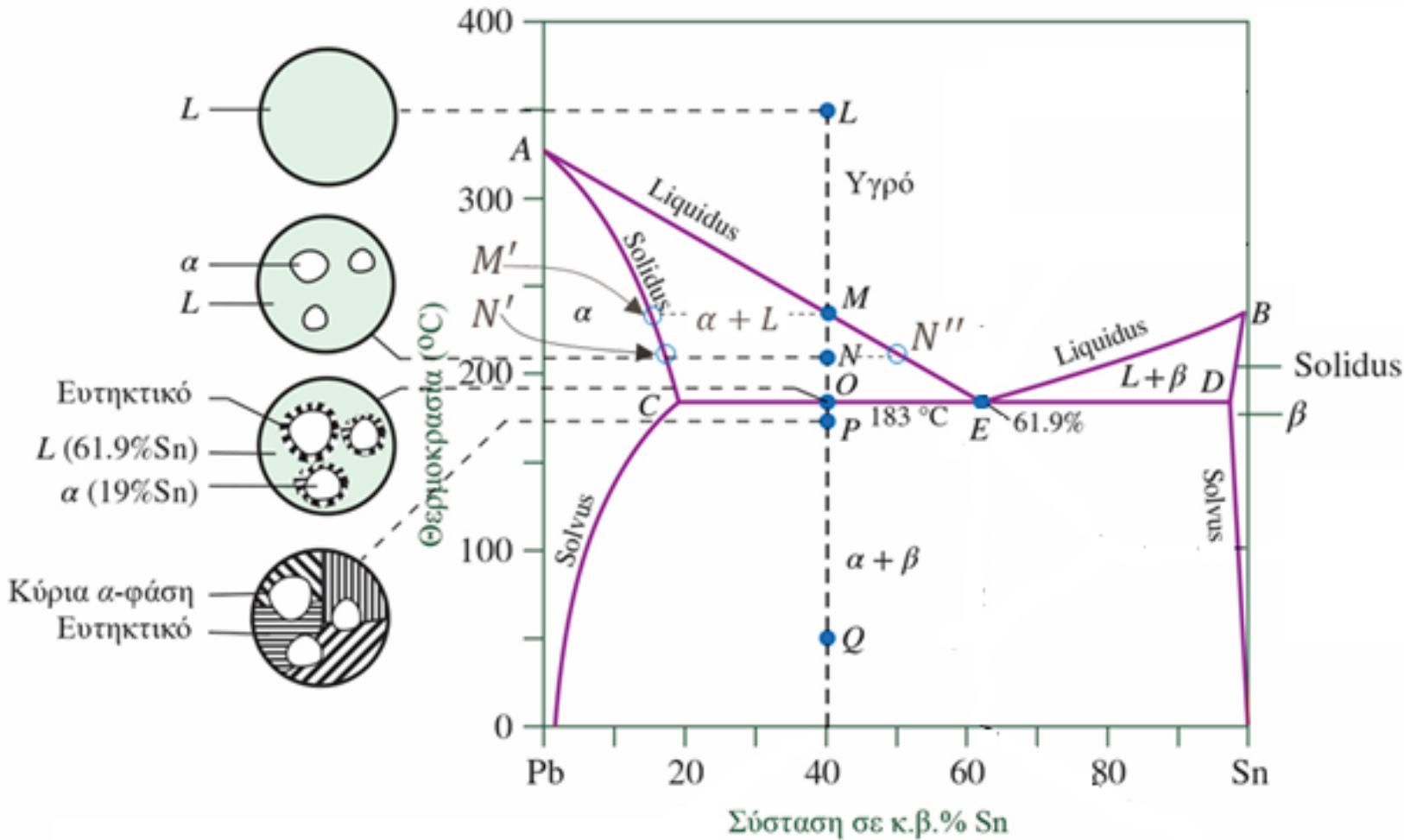
- Ευτηκτικός μετασχηματισμός ( $183^{\circ}\text{C}$ ):



- Ευτηκτική δομή: εναλλασσόμενα επίπεδα φάσεων  $\alpha$  και  $\beta$  (lamellae)

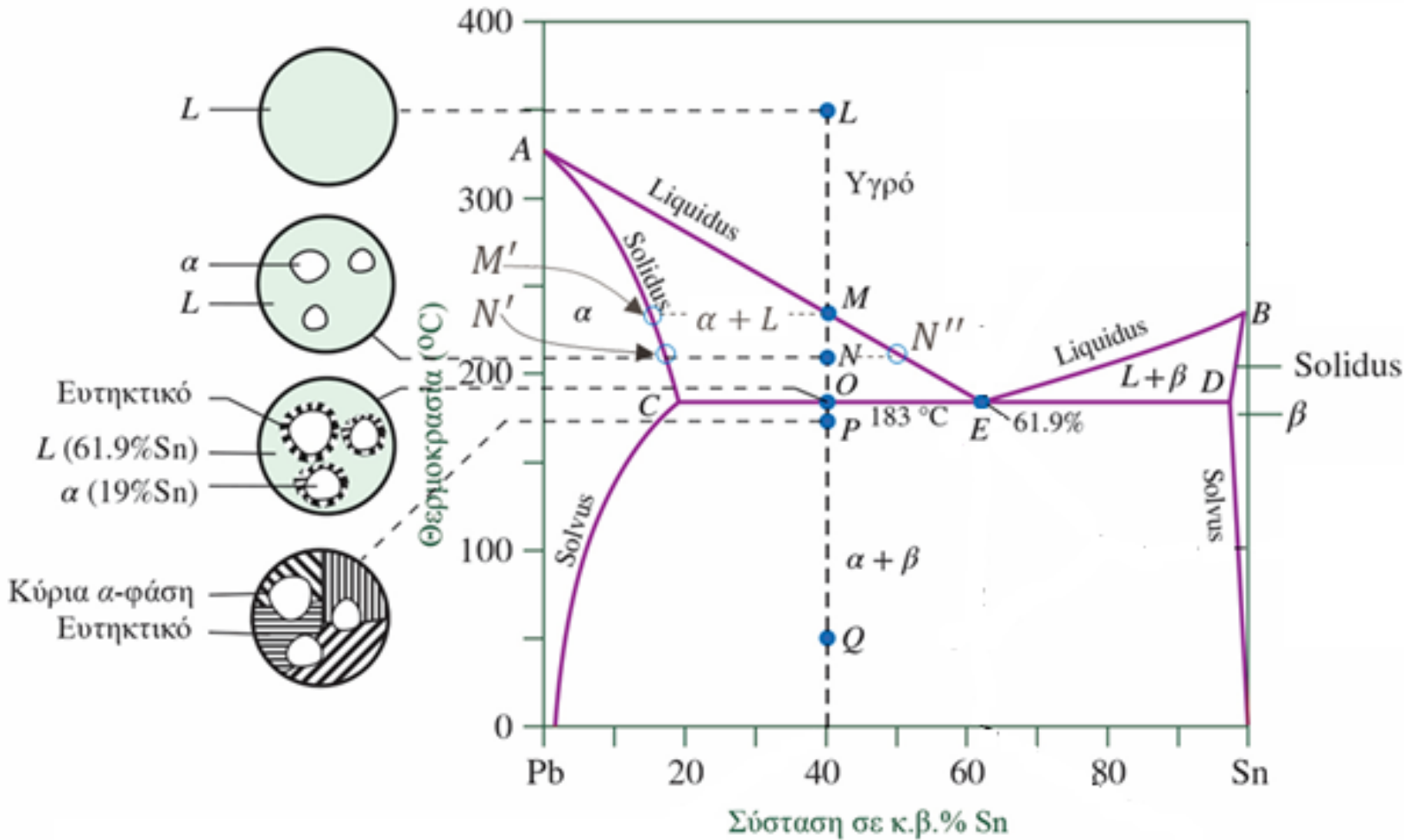


# Ψύξη κράματος 60%Pb – 40%Sn (γραμμή *LMNOPRQ*)



- $\theta = 350^{\circ}\text{C}$  (σημείο *L*)
  - υγρό (τήγμα)
- $\theta = 235^{\circ}\text{C}$  (σημείο *M*)
  - Έναρξη διαδικασίας σχηματισμού πυρήνων  $\alpha$  –φάσης
  - Σύσταση  $\alpha$  –φάσης:  $\sim 15\%$  Sn (σημείο *M'*)
  - Σύσταση *L* φάσης: 40% Sn

# Ψύξη κράματος 60%Pb – 40%Sn (γραμμή *LMNOPRQ*)



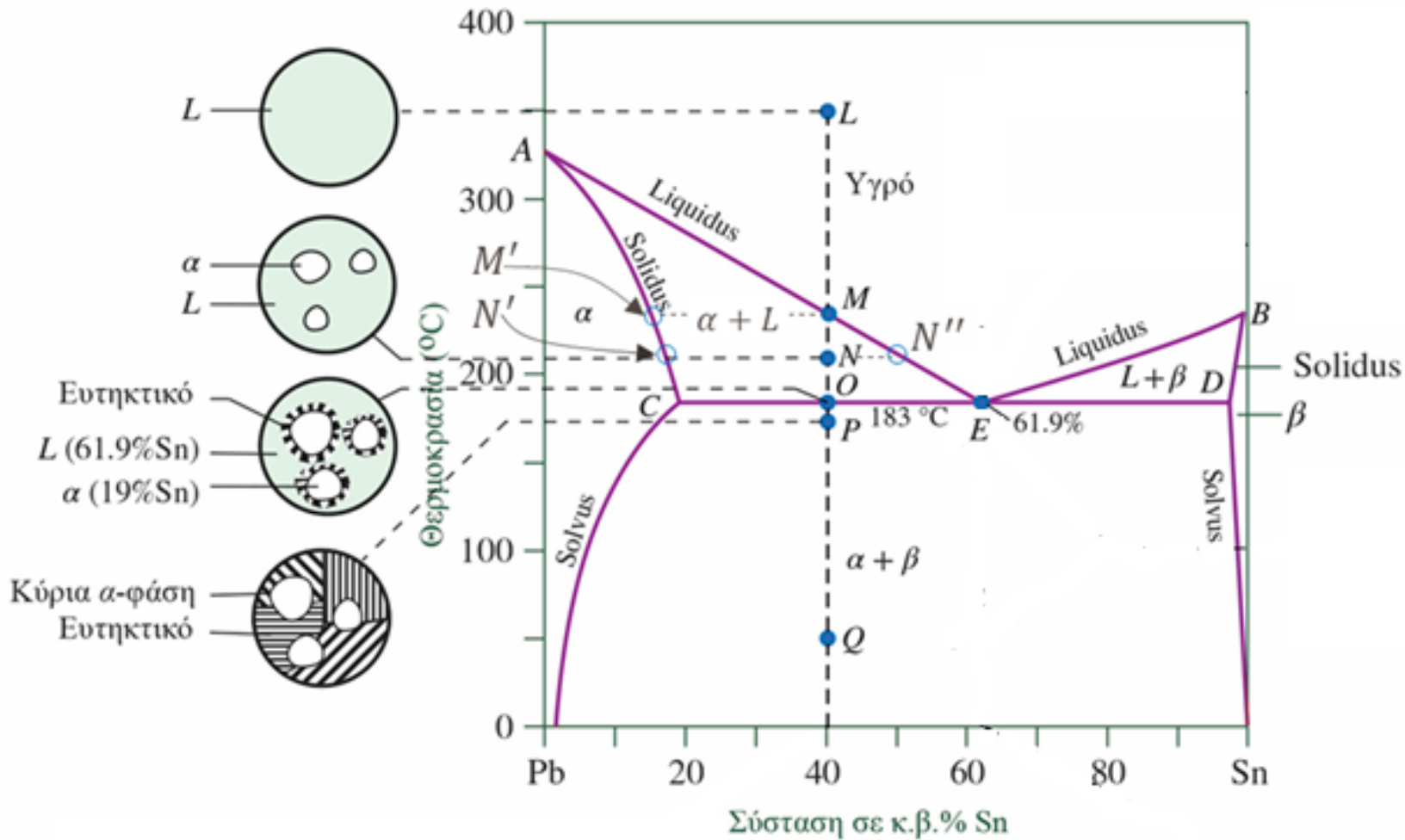
▪  $\theta = 210^{\circ}\text{C}$  (σημείο *N*)

- Μίγμα  $\alpha + L$
- Σύσταση  $\alpha$  –φάσης:  $\sim 18\%$  Sn (σημείο *N'*)
- Σύσταση *L* φάσης:  $\sim 50\%$  Sn (σημείο *N''*)

Συνέχεια ♦

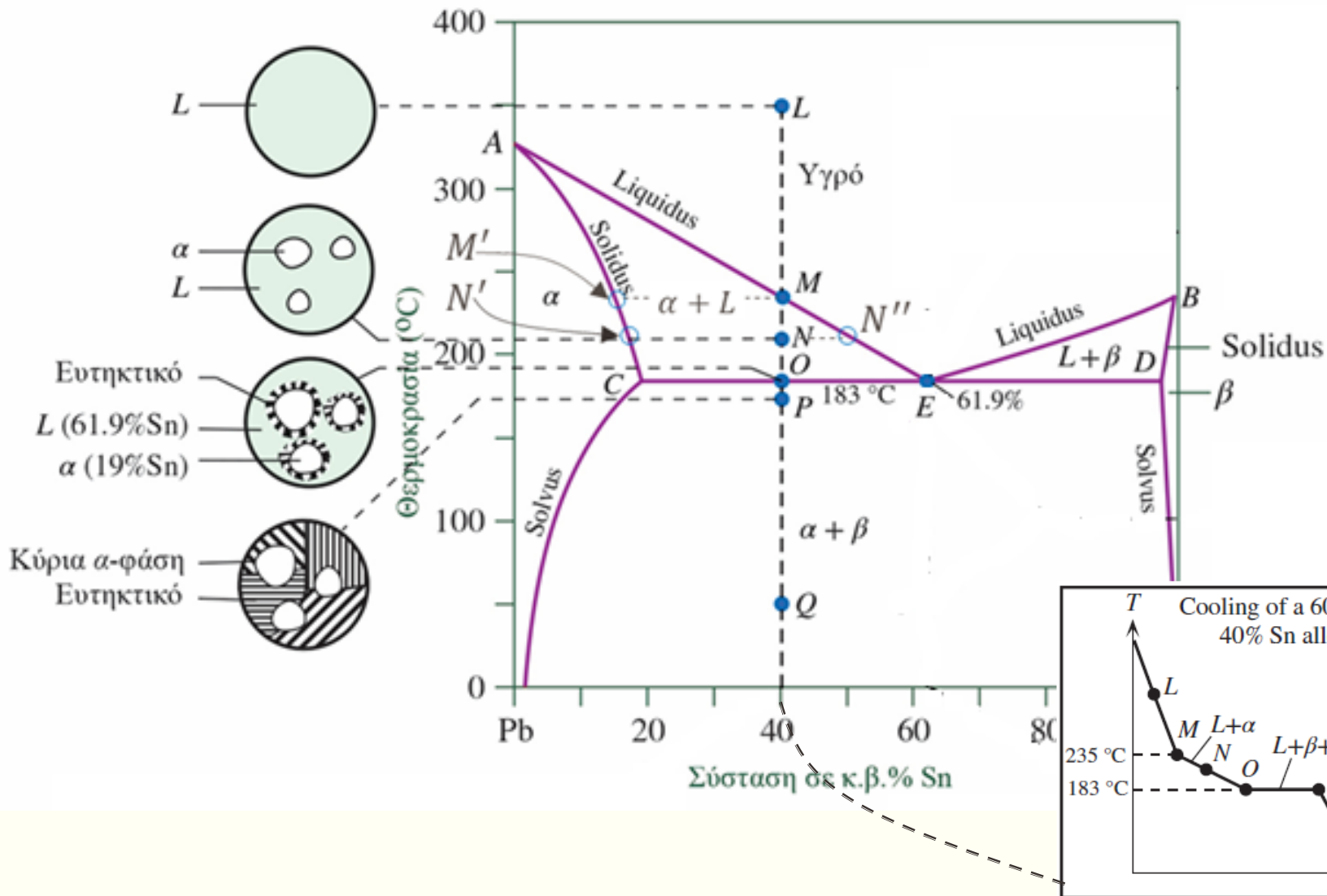


# Ψύξη κράματος 60%Pb – 40%Sn (γραμμή *LMNOPRQ*)



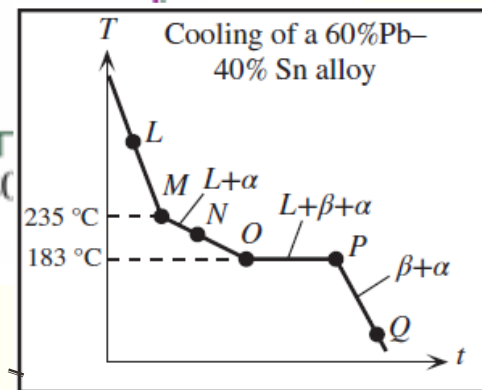
- $\theta = 183^{\circ}\text{C}$  (σημείο *O*)
- Αρχικά μίγμα  $\alpha + L$
- Σύσταση  $\alpha$  –φάσης: 19.2% Sn
- Σύσταση  $L$  φάσης: Ευτηκτική 61.9% Sn
- Η  $L$  φάση υφίσταται ευτηκτικό μετασχηματισμό ( $L_{61.9\%Sn} \rightarrow \alpha_{19.2\%Sn} + \beta_{97.5\%Sn}$ )

# Ψύξη κράματος 60%Pb – 40%Sn (γραμμή *LMNOPRQ*)



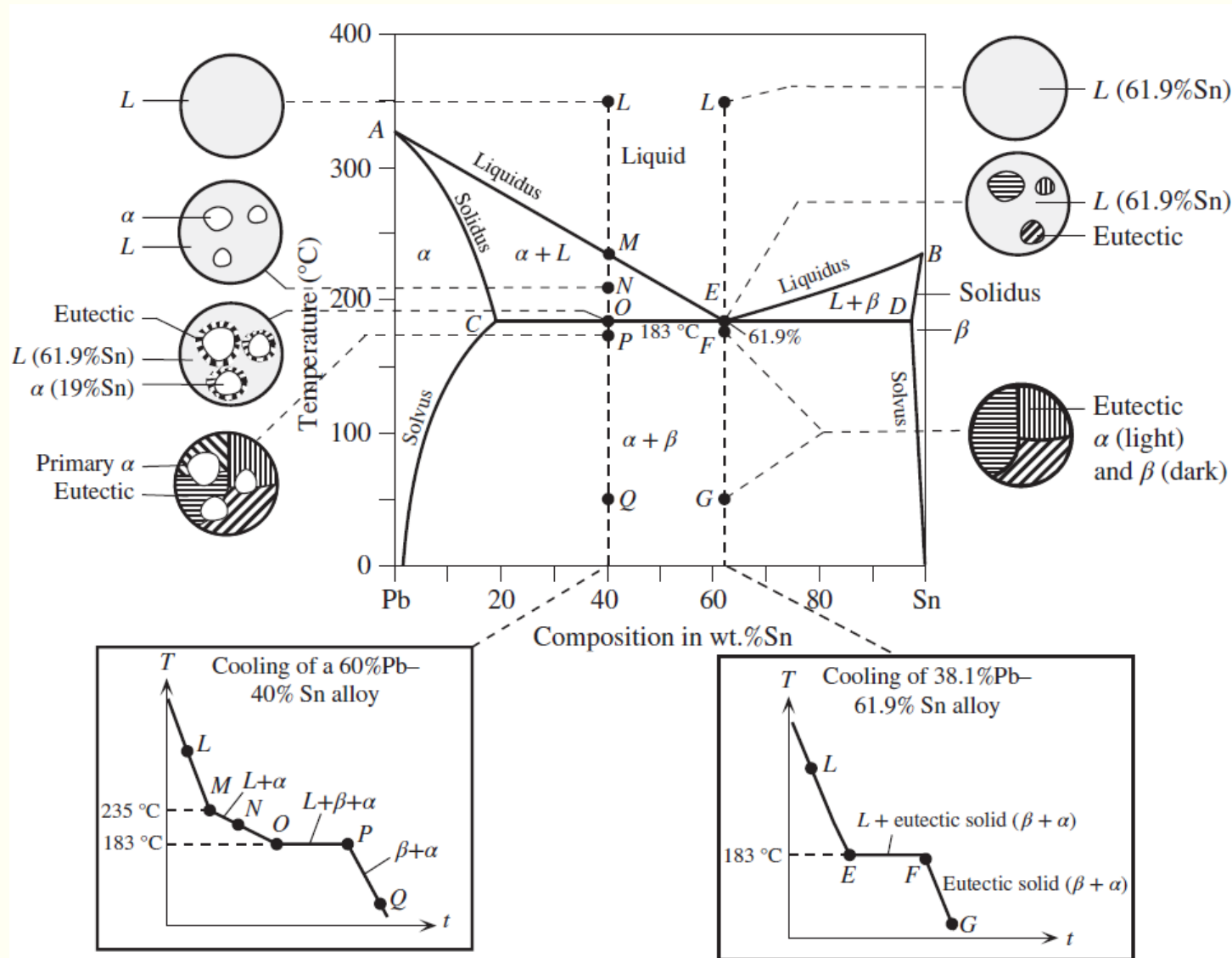
- $\theta = 183^\circ\text{C}$  παραμένει σταθερή
- Τελική σύσταση μετά την πλήρη στερεοποίηση (σημείο *P*)

1. **Κύρια (primary) ή προευτηκτική  $\alpha$  -φάση:**
2. **Ευτηκτικό στερεό,  $\alpha_{19.2\%}\text{Sn} + \beta_{97.5\%}\text{Sn}$**





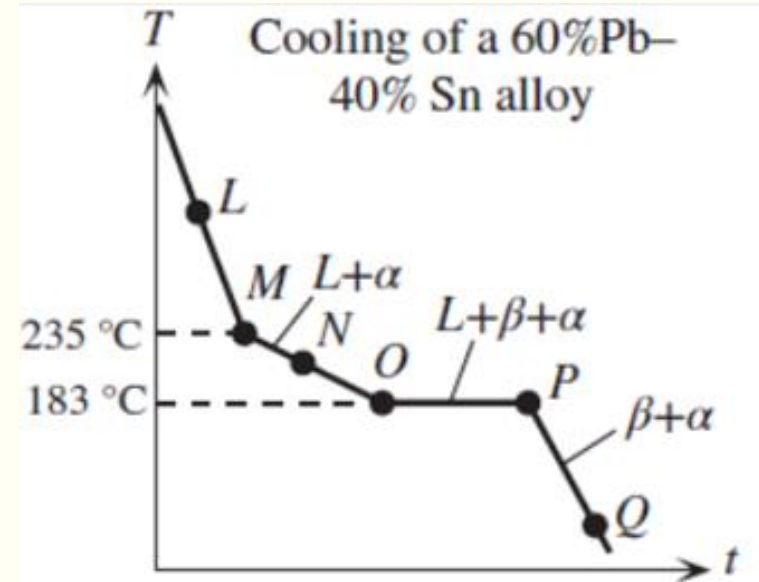
# Σύγκριση ευτηκτικού (61.9%Sn) και κράματος 60%Pb – 40%Sn



# Ιδιότητες και εφαρμογές κραμάτων Pb – Sn

## A. Κράμα 60%Pb – 40%Sn

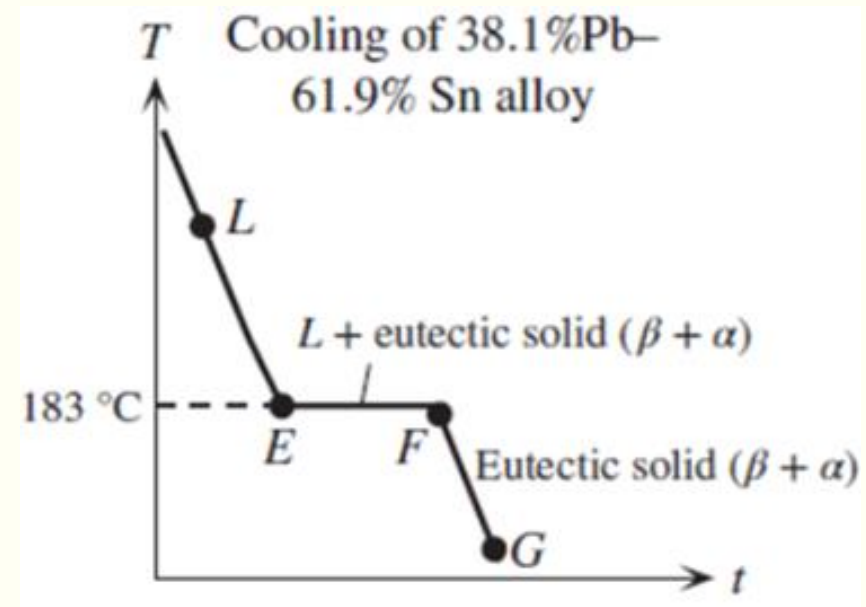
- Κατά την ψύξη, μίγμα  $\alpha + L$
- Μεγάλο εύρος θερμοκρασιών στερεοποίησης: 50°C (από 235°C ως 183°C)
- Πλαστική συμπεριφορά κατά τη στερεοποίηση
- Προτιμάται στη συγκόλληση αρμών για ένωση σωλήνων



# Ιδιότητες και εφαρμογές κραμάτων Pb – Sn

## B. Συγκολλητικό κράμα ευτηκτικής σύστασης

- Στο εμπόριο διατίθεται σύσταση 40%Pb – 60%Sn (πολύ κοντά στην ευτηκτική)
- Ελάχιστη θερμοκρασία τήξης, στερεοποιείται πολύ γρήγορα
- Χρησιμοποιείται στη συγκόλληση ημιαγωγικών διατάξεων όπου απαιτούνται
  - a. υδρόφιλες επιφάνειες
  - b. ελάχιστη έκθεση σε υψηλές θερμοκρασίες



## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.20

Στερεοποίηση κράματος 60% Pb – 40% Sn (εικ. Διάγραμμα φάσεων)

Ποιες είναι οι φάσεις, οι συστάσεις και οι αναλογίες βάρους των φάσεων στο κράμα στις θερμοκρασίες

(α) 250°C,

(β) 210°C,

(γ) 183.5°C (ελάχιστα πάνω από τους 183°C)

(δ) 182.5°C (ελάχιστα κάτω από τους 183°C);

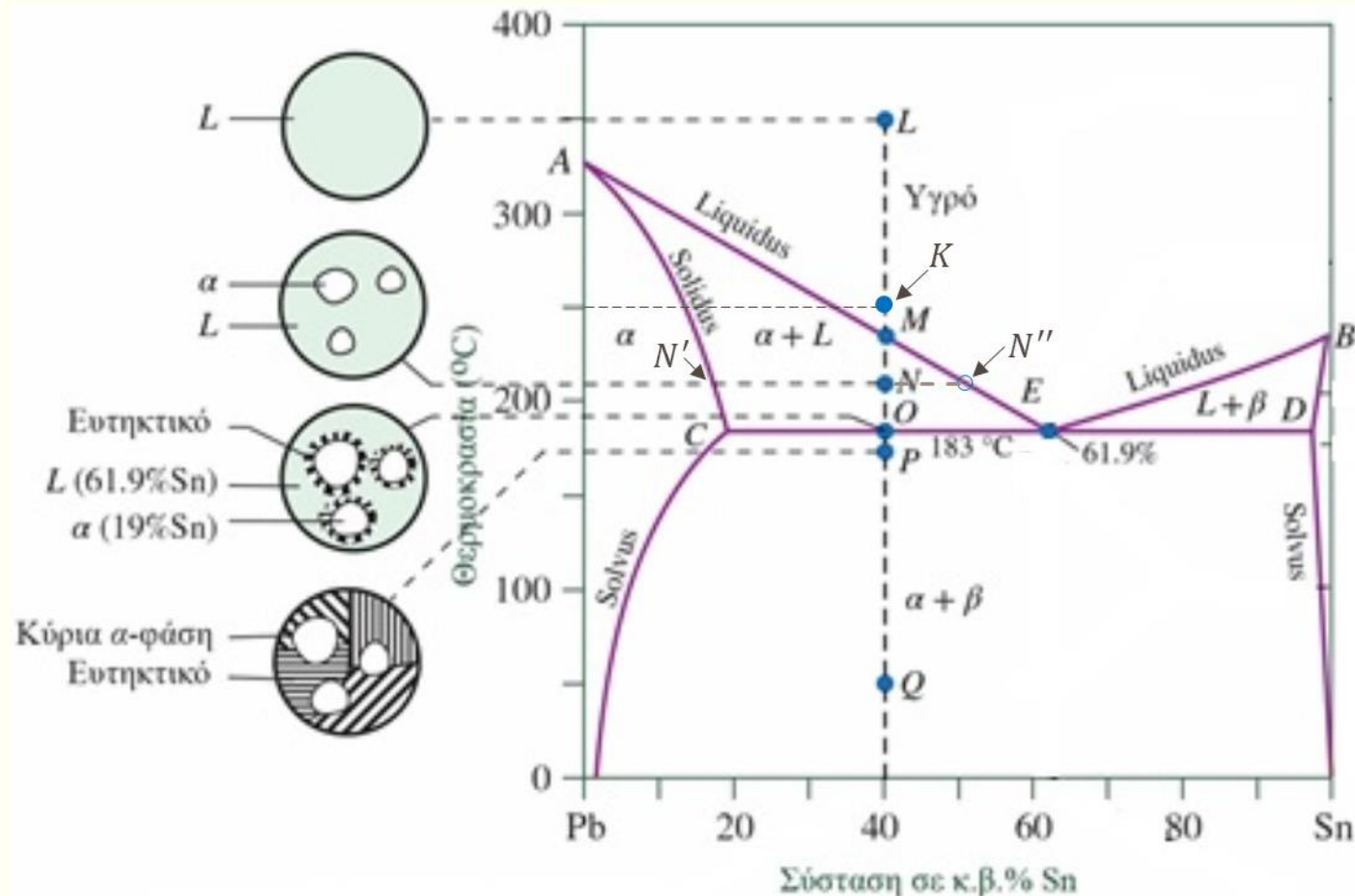
### ΑΠΑΝΤΗΣΗ

(α) **250°C** (σημείο *K*): υπάρχει μόνο υγρή φάση (τήγμα) ομογενής με σύσταση 40% Sn

(β) **210°C** (σημείο *N*): ισορροπία υγρής και  $\alpha$  –φάσης ( $\alpha + L$ )

Η σύσταση της  $\alpha$  –φάσης βρίσκεται από την καμπύλη solidus: (σημείο *N'*):  $C_\alpha = 18\% \text{ Sn}$

Η σύσταση της *L* φάσης βρίσκεται από την καμπύλη liquidus: (σημείο *N''*):  $C_L = 50\% \text{ Sn}$





## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1.20

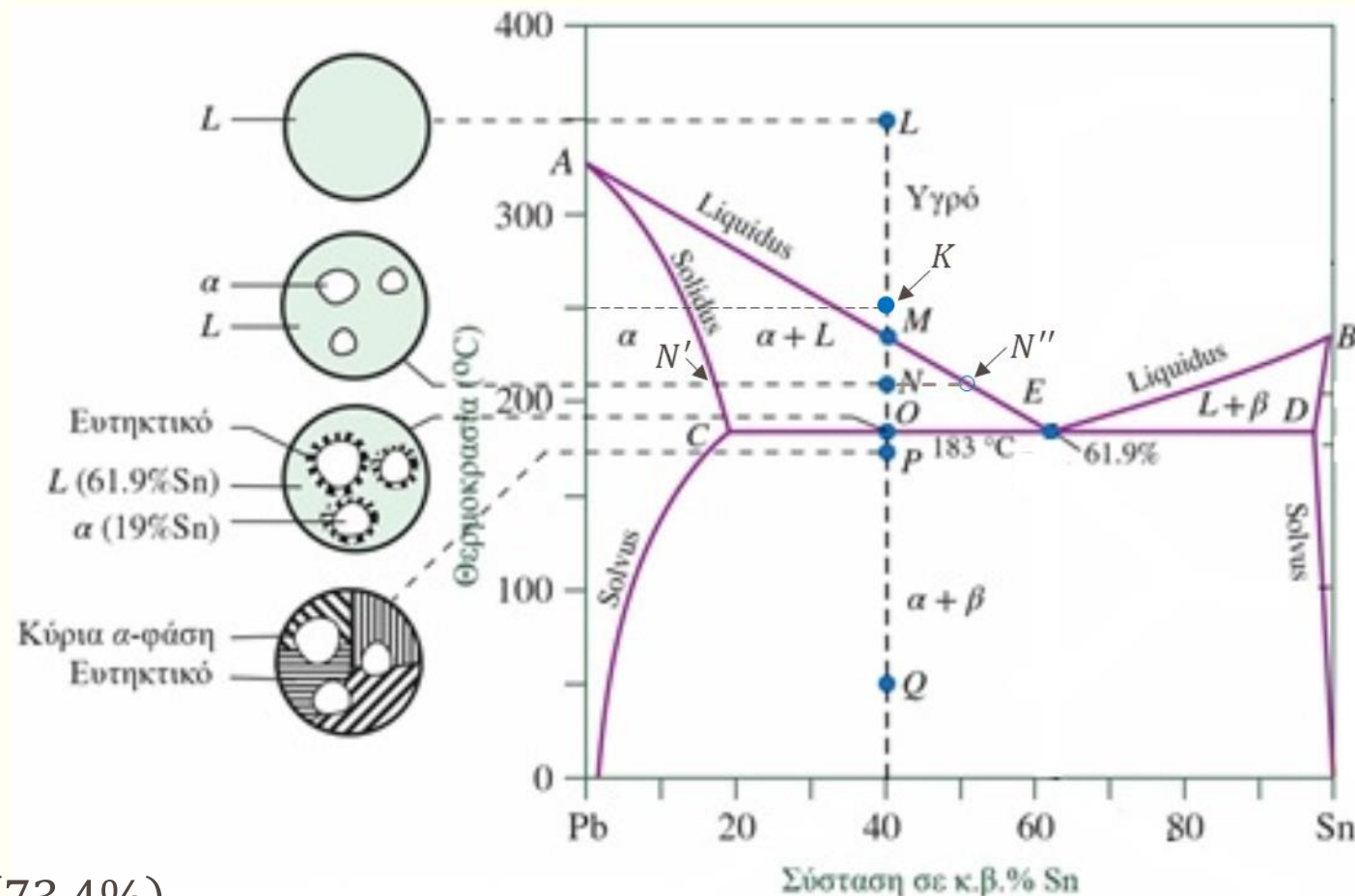
(δ) Ακριβώς κάτω από  $183^{\circ}\text{C}$  (σημείο  $P$ ):  
κράμα  $\alpha$  –φάσης και ευτηκτικού  
στερεού

Σύσταση συνολικού στερεού:  $\alpha$  –φάση  
και  $\beta$  –φάση ( $\beta$  –φάση εντός  
ευτηκτικής δομής)

Οι αναλογίες βαρών  $\alpha, \beta$  φάσεων  
υπολογίζονται με κανόνα μοχλού στο  
σημείο  $P$

$$W_{\alpha} = \frac{C_{\beta} - C_O}{C_{\beta} - C_{\alpha}} = \frac{97.5 - 40}{97.5 - 19.2} = 0.734 \text{ (73.4\%)}$$

$$W_{\beta} = 1 - W_{\alpha} = 0.266 \text{ (26.6\%)}$$



(ε) Σε θερμοκρασία δωματίου (π.χ., σημείο  $Q$ ): μικροδομή ίδια με  $183^{\circ}\text{C}$  (μηχανισμός διάχυσης αργός, δεν επιτρέπει αλλαγή σύστασης φάσεων)