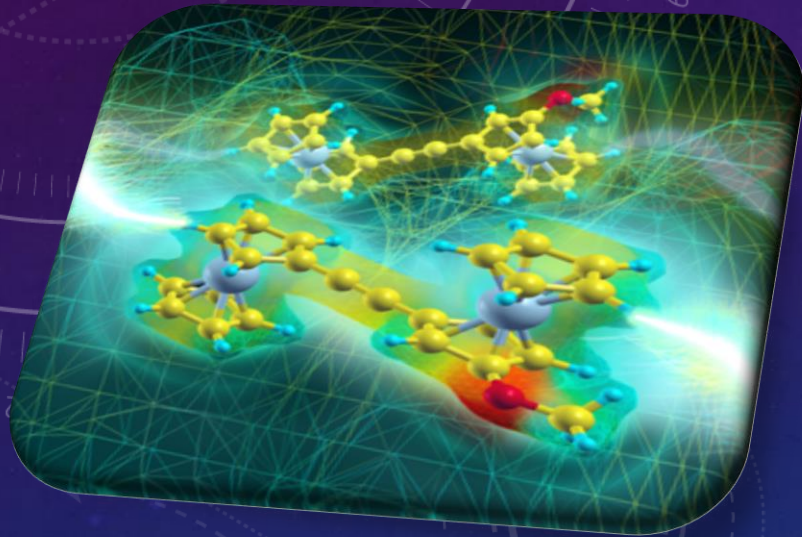




ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΑ ΥΛΙΚΑ

2^ο ΜΕΡΟΣ

ΘΕΩΡΗΤΙΚΗ ΑΝΑΛΥΣΗ

ΚΡΑΜΑΤΑ

- **Καθαρές ουσίες** είναι τα στοιχεία και οι χημικές ενώσεις.
- Τα **μίγματα** προέρχονται από ανάμιξη δύο τουλάχιστον καθαρών ουσιών και διακρίνονται σε **ομογενή** και **ετερογενή**.
- **Κράμα** ονομάζεται κάθε μεταλλικό σώμα που προέρχεται από την ανάμιξη δύο ή περισσότερων χημικών στοιχείων, από τα οποία το ένα τουλάχιστον είναι μέταλλο, ενώ το άλλο μπορεί να είναι επίσης μέταλλο ή αμέταλλο.
- Τα κράματα είναι τεχνικά υλικά, δηλαδή προορίζονται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες της τεχνικής.
- Τα κράματα δύο συστατικών ονομάζονται διμερή κράματα.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΣΙΔΗΡΟΥ

Κράμα σιδήρου (Fe) με άνθρακα (C):

0,01 – 2% χάλυβας

2,5 – 4% χυτοσίδηρος

Η προσθήκη άλλων στοιχείων (π.χ. Ni, Mn, Cr, Si, Mo) επιφέρει

- ✓ βελτίωση αντοχής σε διάβρωση
- ✓ βελτίωση μηχανικών ιδιοτήτων
- ✓ αύξηση σκληρότητας
- ✓ βελτίωση κατεργασιμότητας.

Πολλές εφαρμογές αντοχής στη διάβρωση, για λόγους οικονομικούς (π.χ. χημική βιομηχανία, ναυπηγική), για λόγους αισθητικούς (π.χ. αρχιτεκτονική) ή για λόγους υγιεινής (π.χ. μαγειρικά σκεύη, χειρουργικά εργαλεία) .

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ ΚΡΑΜΆΤΩΝ



Κράμα αλουμινίου



Γαλλικό κόρνο
φτιαγμένο από
ορείχαλκο

Κράμα σιδήρου:
χάλυβας οπλισμού σκυροδέματος



Τεχνητό ισχίο
από κράμα τιτανίου

Κράματα χαλκού: κέρματα ευρώ



Κέρμα 2 ευρώ:

Χαλκονικέλιο (δακτύλιος)
Νικελιούχος ορείχαλκος (πυρήνας)



ΜΙΚΡΟΔΟΜΗ

Είναι η οπτική εμφάνιση ενός μετάλλου ή κράματος με τη βοήθεια μικροσκοπίου (π.χ. μεταλλογραφικού ή ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης)

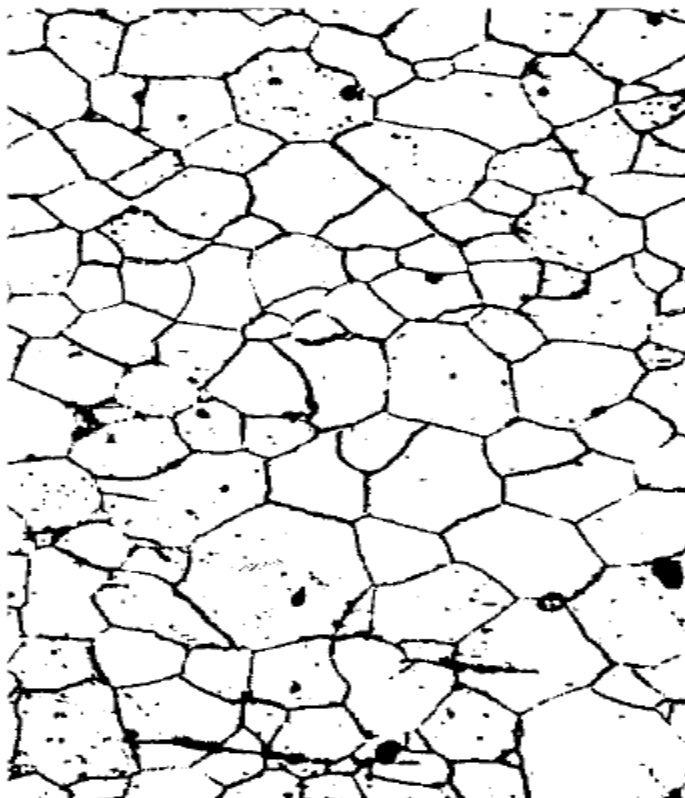
Συστατικά στοιχεία μικροδομής:

1. Κόκκοι
2. Φάσεις

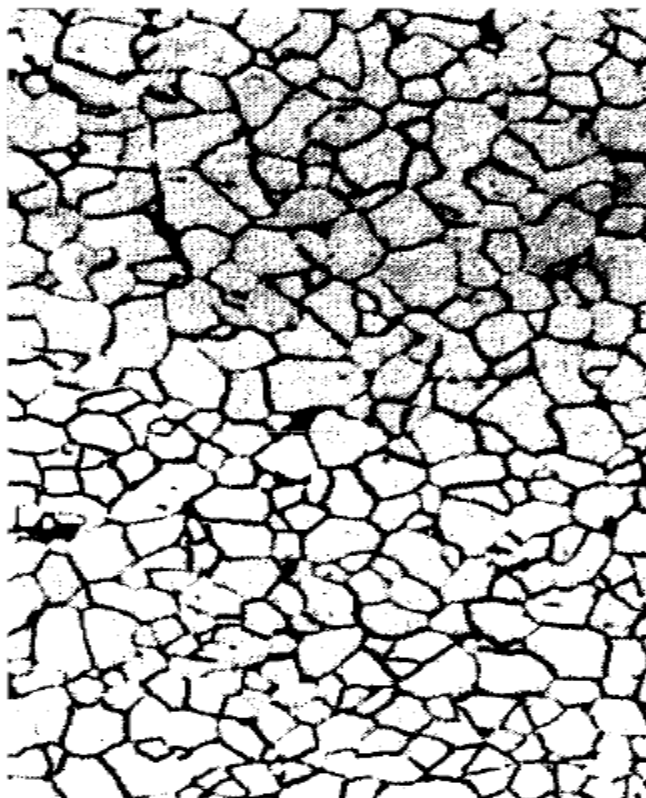
ΚΟΚΚΟΙ

Οι δομή κόκκων είναι η συνηθέστερα συναντώμενη δομή, στην περίπτωση μετάλλων και κραμάτων, και προκύπτει από τη στερεοποίηση του υλικού μετά από τη χύτευση, με τους μηχανισμούς πυρηνοποίησης και ανάπτυξης. Το μέγεθος των κόκκων ενός υλικού είναι καθοριστικό για τις συναγόμενες μηχανικές του ιδιότητες. Έτσι, ένα λεπτόκοκκο υλικό έχει μεγαλύτερη σκληρότητα και μεγαλύτερη αντοχή σε εφελκυσμό σε σχέση με ένα χονδρόκοκκο υλικό.

Γενικά **απότομη ψύξη** κατά τη στερεοποίηση τηγμένου μετάλλου οδηγεί στη δημιουργία πολλών πυρήνων κρυστάλλωσης και επομένως σε λεπτόκοκκο υλικό, ενώ **αργή ψύξη** οδηγεί σε χονδρόκοκκο υλικό.



(α)



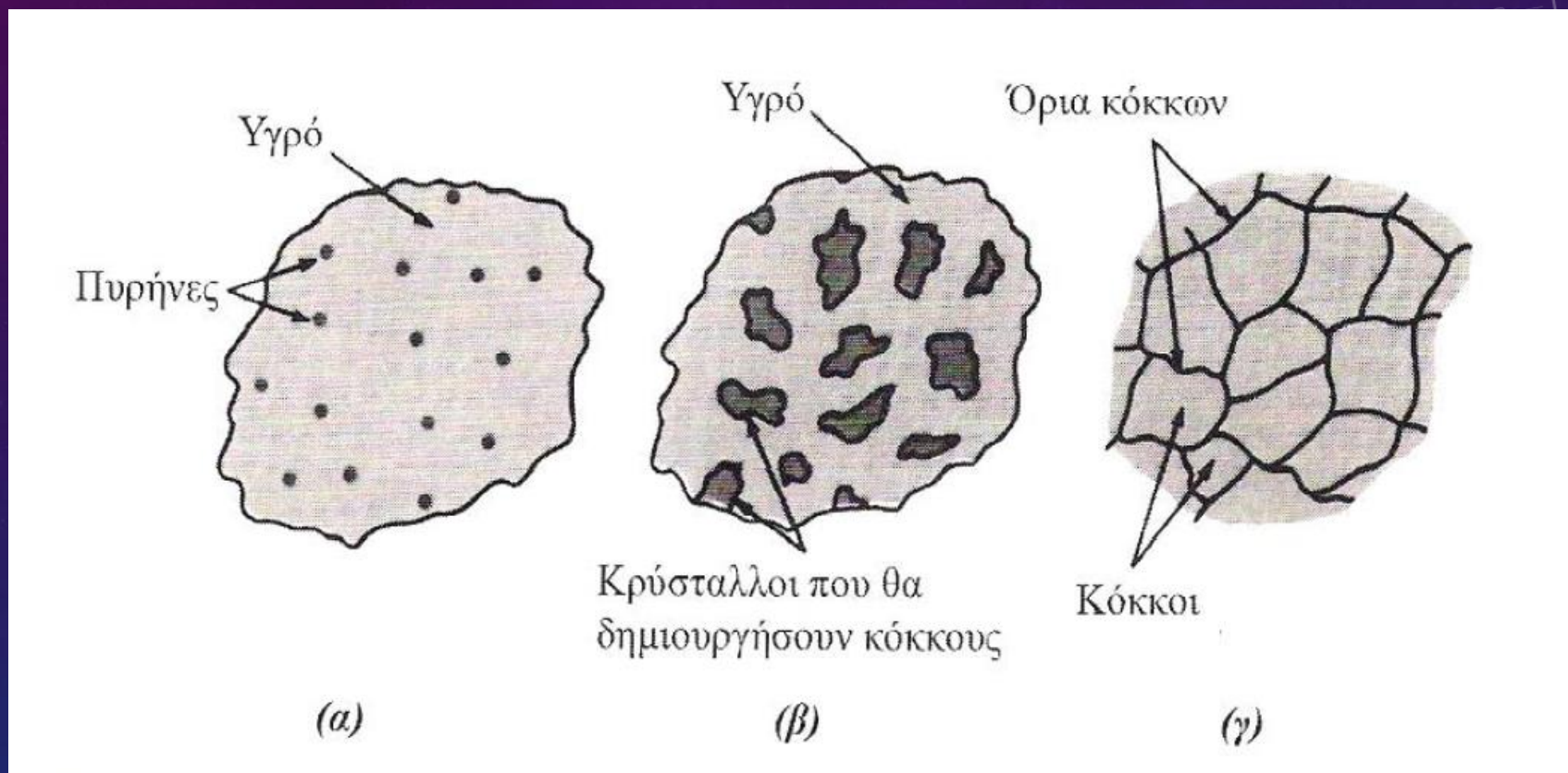
(β)



(γ)

Μικροδομές μαλακού χάλυβα, που διακρίνεται το διαφορετικό μέγεθος των κόκκων (Μεγέθυνση X 100). Το μέγεθος των κόκκων μειώνεται από (α) προς (γ).

Το στερεοποιημένο μέταλλο δεν παρουσιάζει μια συνεχόμενη κρυσταλλική δομή σε όλη τη μάζα του, οπότε θα μιλούσαμε για **μονοκρύσταλλο**, αλλά αποτελείται από πολλούς κόκκους, δηλαδή είναι ένα **πολυκρυσταλλικό υλικό**

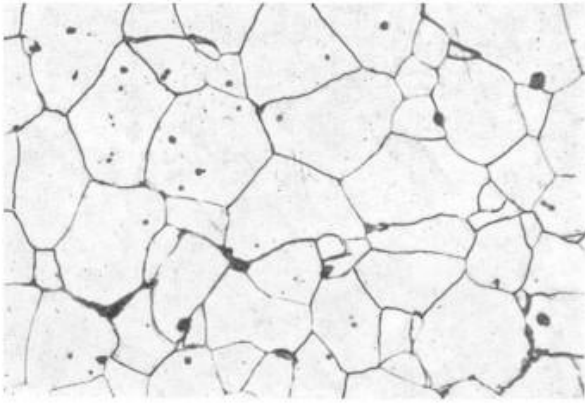


Στάδια της στερεοποίησης των μετάλλων. (α) σχηματισμός πυρήνων κρυστάλλωσης, (β) ανάπτυξη κρυστάλλων, (γ) κόκκοι και όρια κόκκων.

ΦΑΣΕΙΣ

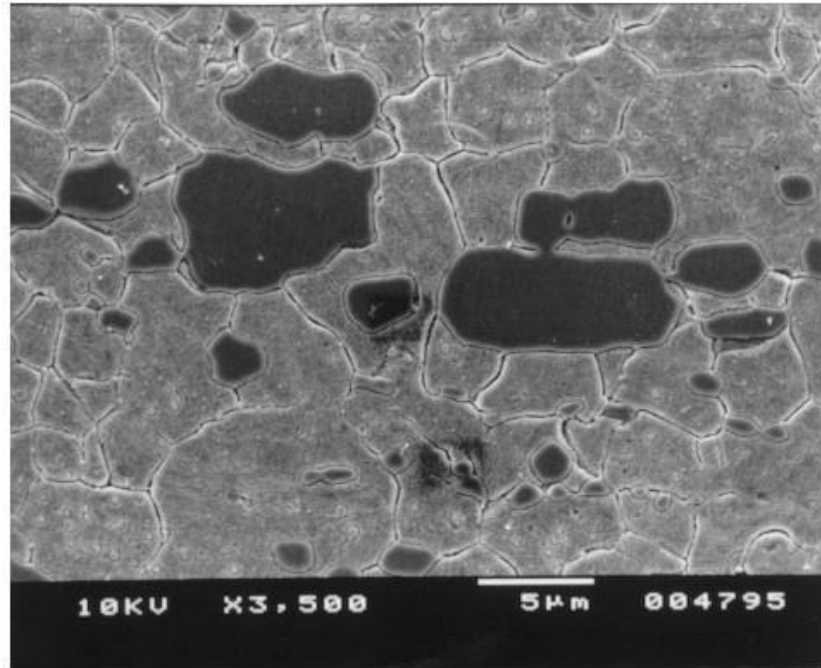
- **Φάση** είναι μια ομογενής περιοχή υλικού. **Ομογενής** σημαίνει ότι έχει παντού την ίδια χημική σύσταση, την ίδια κρυσταλλική δομή και τις ίδιες ιδιότητες. Στην παρατήρηση ενός κράματος με οπτικό μικροσκόπιο, οι υπάρχουσες φάσεις ξεχωρίζουν μεταξύ τους λόγω της διαφορετικής τονικότητας (contrast) που τις χαρακτηρίζει.
- Αποτελεί τμήμα ενός συστήματος και διαχωρίζεται από τα υπόλοιπα τμήματα του συστήματος από μια επιφάνεια.
- Στη συνήθη θερμοκρασία τα διάφορα κράματα αποτελούνται από μία ή περισσότερες φάσεις που ο αριθμός τους εξαρτάται κυρίως από τη σύσταση του κάθε κράματος.

(α)



(α) Μικροδομή μονοφασικού κράματος Fe, που διακρίνονται οι κόκκοι μίας μόνο φάσης (αφάση) σε μεγέθυνση X500.

(β)



(β) Μικροδομή διφασικού κράματος (χρωμιούχος χάλυβας): οι «γκρίζοι» κόκκοι είναι η α-φάση, ενώ οι «μαύροι» κόκκοι είναι η κ-φάση (καρβίδια του χρωμίου). (Φωτογραφία από ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης, μεγέθυνση X3500).

ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ – ΔΙΑΜΕΤΑΛΛΙΚΗ ΈΝΩΣΗ

- Χημική ένωση καθορισμένης σύστασης (διαμεταλλική ένωση)
- Στερεό διάλυμα
- Μίγμα στερεών φάσεων

➤ Χημική ένωση καθορισμένης σύστασης (διαμεταλλική ένωση)

- ✓ Μεταξύ των μετάλλων που αποτελούν το κράμα σχηματίζεται καθορισμένης αναλογίας χημική ένωση.
- ✓ Οι δεσμοί μεταξύ των ατόμων στις διαμεταλλικές ενώσεις είναι μεταλλικοί δεσμοί.
- ✓ Η αναλογία ατόμων δεν ανταποκρίνεται αναγκαστικά στο σθένος τους.

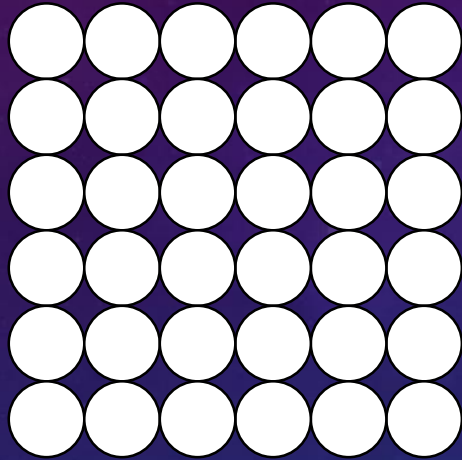
π.χ. Mg_2Sn , CuBe , Mg_2Pb

Cu_5Sn , CoZn_3 , Cu_9Al_4 .

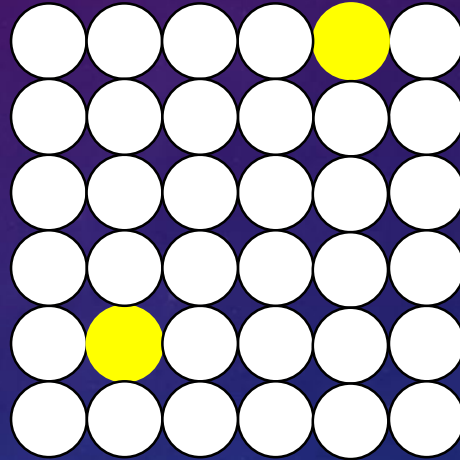
ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΡΑΜΆΤΩΝ – ΣΤΕΡΕΟ ΔΙΑΛΥΜΑ

- Το στερεό διάλυμα είναι **ομογενής κρυσταλλική φάση δύο ή περισσότερων στοιχείων**.
 - ✓ Το μέταλλο που βρίσκεται στη μεγαλύτερη αναλογία θεωρείται το διαλυτικό μέσο, το άλλο μέταλλο ή άλλα μέταλλα το διαλυμένο σώμα.
 - ✓ Στην κρυσταλλική δομή του στερεού διαλύματος έχουμε αντικατάσταση των ατόμων της μιας κρυσταλλικής δομής από άτομα της άλλης. Ένας τέτοιος τύπος στερεού διαλύματος ονομάζεται **στερεό διάλυμα αντικατάστασης**.
 - ✓ Ένας άλλος τύπος στερεών διαλυμάτων είναι τα καρβίδια, τα υδρίδια, τα βορίδια και τα νιτρίδια, όπου τα άτομα του διαλυμένου αμέταλλου στοιχείου βρίσκονται στα διάκενα του κρυσταλλικού πλέγματος του μετάλλου. Ένας τέτοιος τύπος στερεού διαλύματος ονομάζεται **στερεό διάλυμα παρεμβολής**.

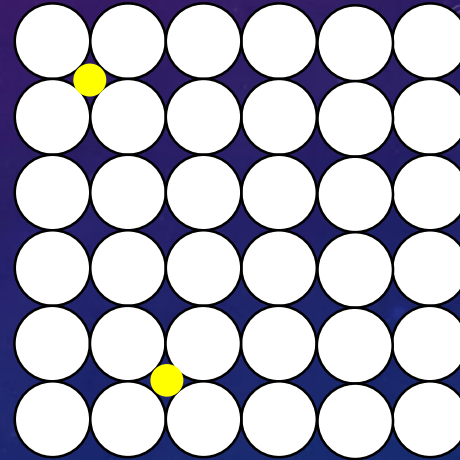
ΣΤΕΡΕΟ ΔΙΑΛΥΜΑ



Κρύσταλλος



Στερεό διάλυμα
αντικατάστασης



Στερεό διάλυμα
παρεμβολής

➤ στερεά διαλύματα παρεμβολής

- ✓ το μέγεθος του ατόμου του διαλυόμενου στοιχείου να είναι μικρότερο του 59% του μεγέθους του ατόμου του διαλύτη
- ✓ ο διαλύτης θα πρέπει να είναι ένα από τα μεταβατικά μέταλλα για λόγους ηλεκτρονικής διαμόρφωσης

➤ στερεά διαλύματα αντικατάστασης

- ✓ οι ατομικές τους ακτίνες δεν πρέπει να διαφέρουν περισσότερο από 15%
- ✓ τα δύο στοιχεία πρέπει να έχουν ίδια κρυσταλλική δομή
- ✓ πρέπει να έχουν παραπλήσια ηλεκτραρνητικότητα
- ✓ πρέπει να έχουν ίδιο σθένος

ΣΥΣΤΑΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ – ΜΙΓΜΑ ΣΤΕΡΕΩΝ ΦΑΣΕΩΝ

Μηχανικά μίγματα φάσεων οι οποίες μπορούν να είναι καθαρό μέταλλο, στερεό διάλυμα ή διαμεταλλική ένωση, π.χ. κράμα χαλκού – μολύβδου: καθαρός μόλυβδος είναι διασκορπισμένος σε μορφή μικρών σφαιριδίων μέσα σε χαλκό.

- ✓ Σε αυτά τα κράματα υπάρχει μια αναλογία αναμίξεως των συστατικών τους, στην οποία το κράμα παρουσιάζει το ταπεινότερο σημείο τήξεως, το οποίο ονομάζεται **ευτηκτικό σημείο**.
- ✓ Το κράμα που αντιστοιχεί στην αναλογία αυτή ονομάζεται **ευτηκτικό**.
- ✓ Ένα κράμα μπορεί να παρουσιάζει μια ή και περισσότερες από τις συστάσεις αυτές.

ΑΤΕΛΕΙΕΣ ΣΤΗ ΔΟΜΗ

➤ Ατέλειες μηδενικής διάστασης ή σημειακές ατέλειες

- **πλεγματικά κενά**
- ατέλειες αντικατάστασης
- ατέλειες παρεμβολής

➤ Ατέλειες μιας διάστασης ή γραμμικές ατέλειες (διαταραχές)

- διαταραχές ακμής
- διαταραχές κοχλία

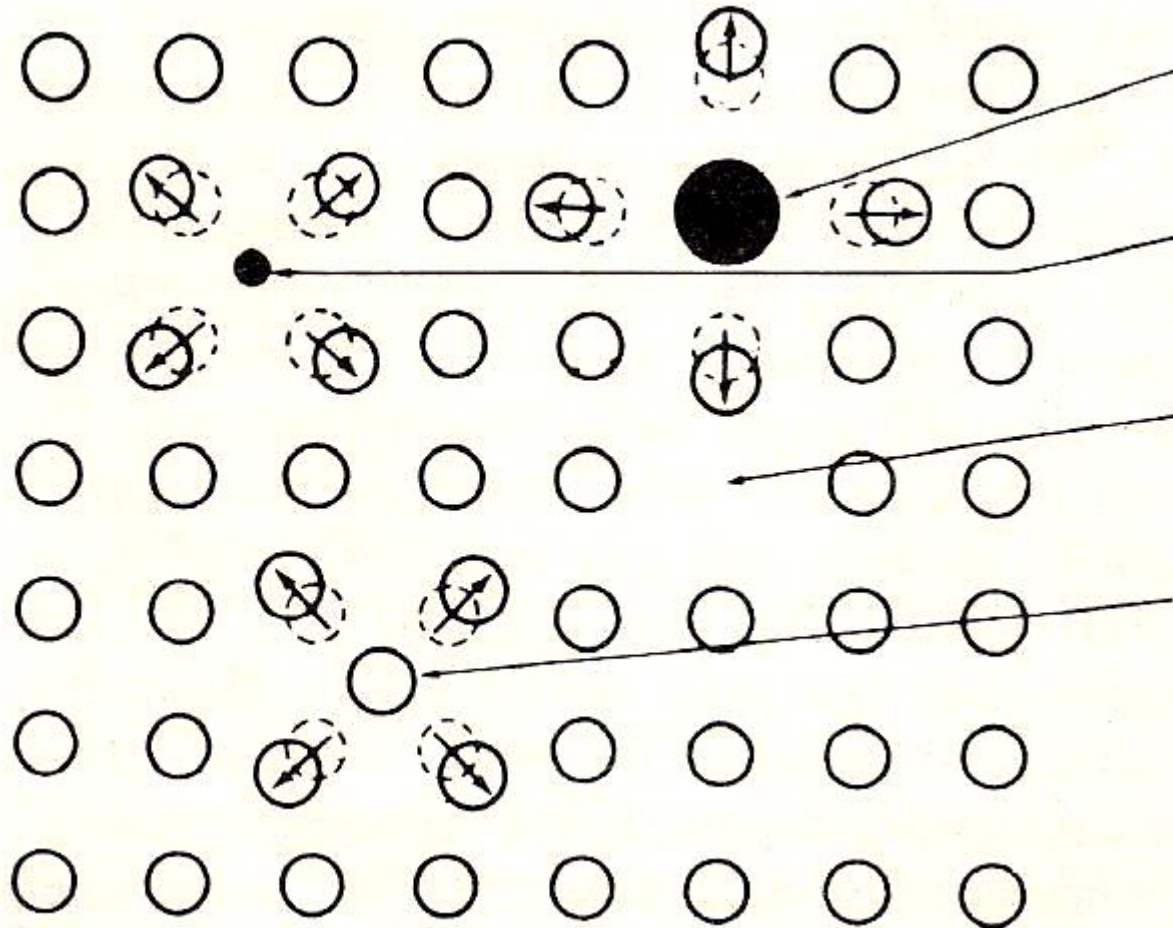
➤ Ατέλειες δύο διαστάσεων ή επίπεδες ατέλειες

- όρια κόκκων
- **σφάλματα στοιβάγματος**
- **διδυμίες**

➤ Ατέλειες τριών διαστάσεων

- πόροι
- ρωγμές
- ξένα εγκλείσματα
- κατακρημνίσματα

ΣΗΜΕΙΑΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ



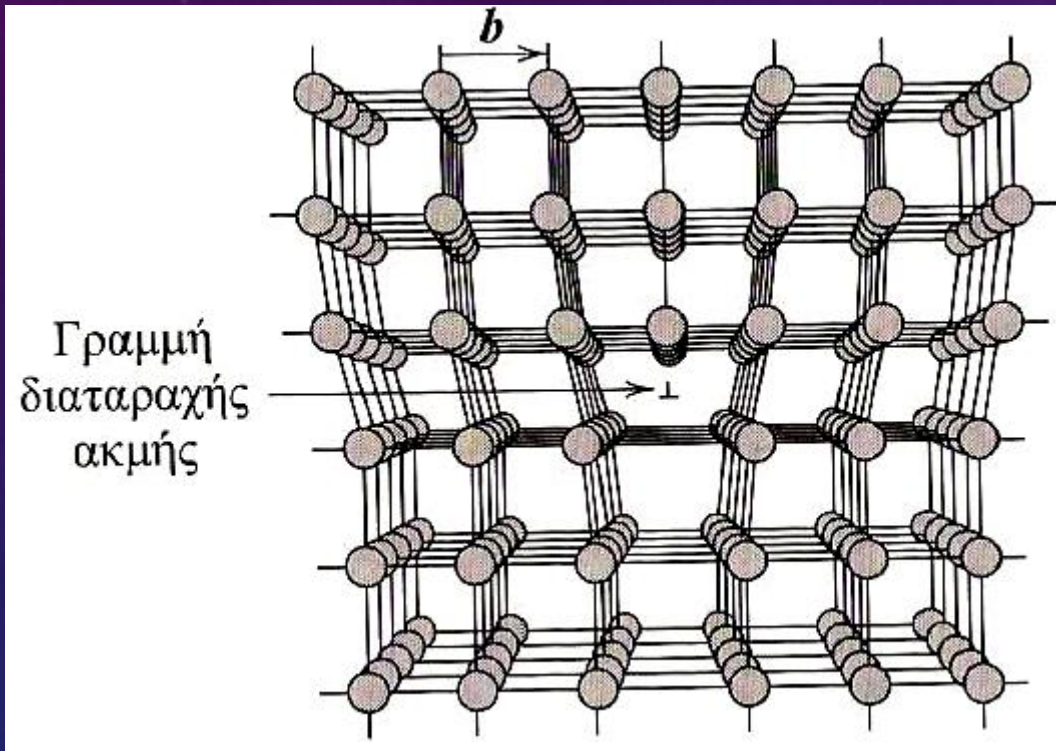
Ογκώδες άτομο πρόσμιξης
σε μια πλεγματική θέση

Μικρό άτομο πρόσμιξης
σε παραπλεγματική θέση

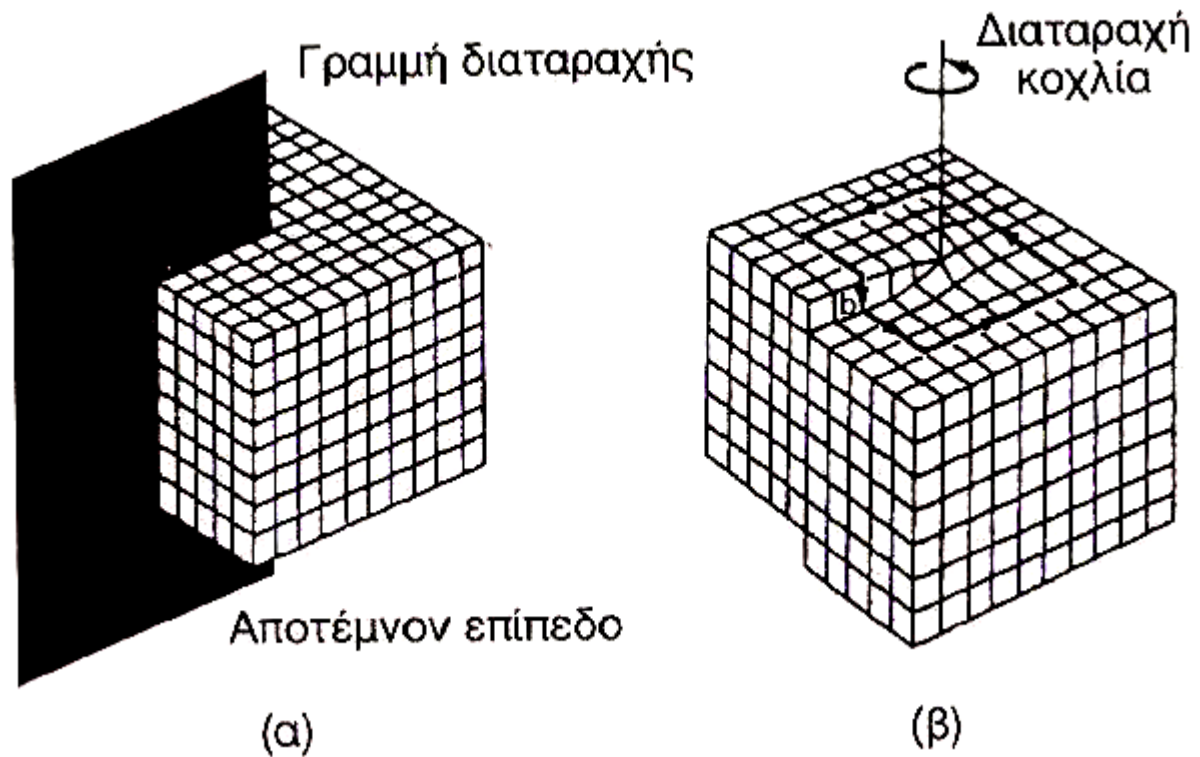
Κενή θέση

Άτομο του σώματος σε
παραπλεγματική θέση

ΓΡΑΜΜΙΚΕΣ ΑΤΕΛΕΙΕΣ

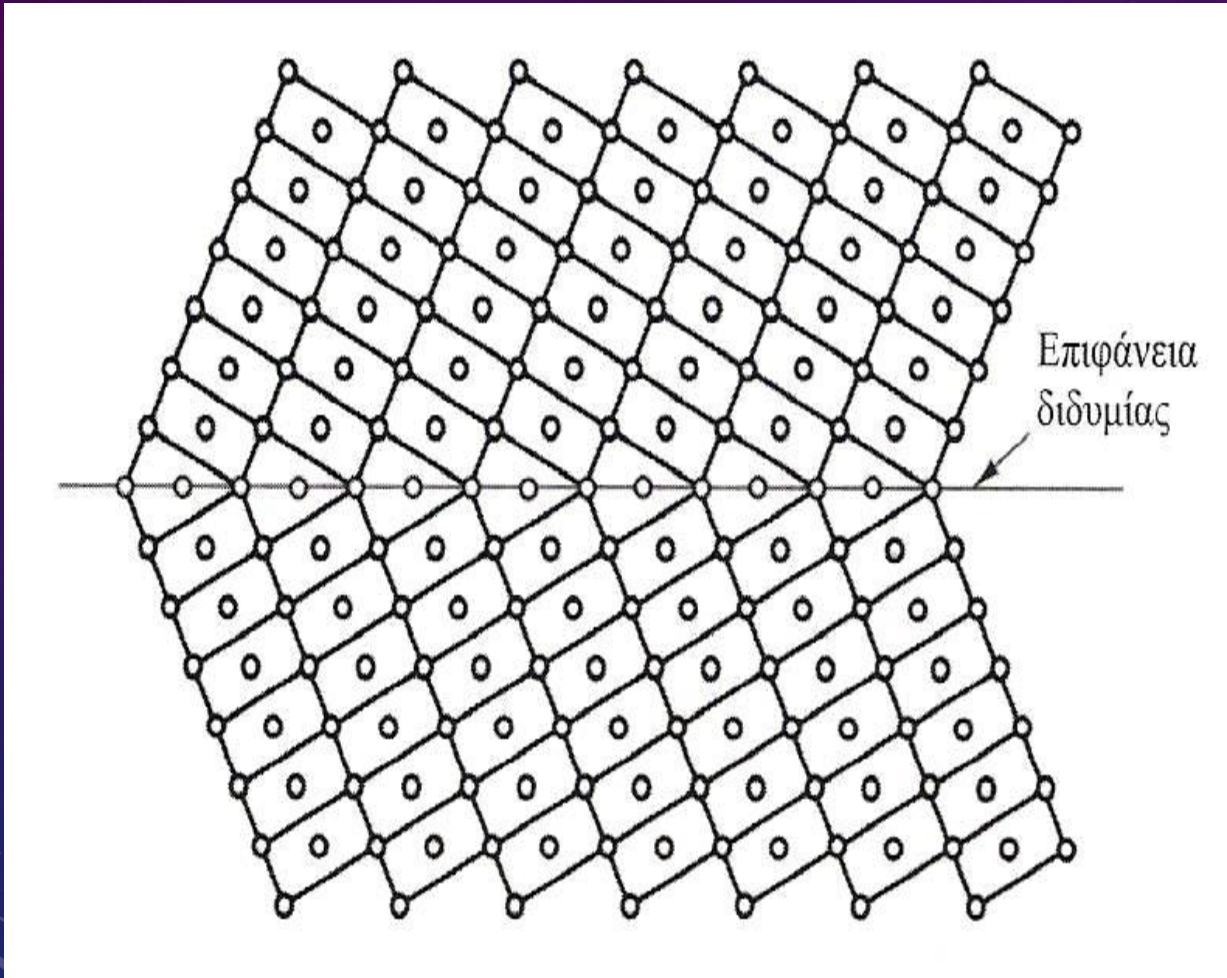


Η διαταραχή ακμής δημιουργείται με την παρεμβολή ενός επί πλέον κρυσταλλικού επιπέδου στη κρυσταλλική δομή όπως φαίνεται στο διπλανό σχήμα. Η ακμή-άκρη του κρυσταλλικού αυτού επιπέδου στο εσωτερικό του κρυστάλλου ονομάζεται **γραμμή διαταραχής** και στην περιοχή γύρω από αυτήν παρατηρείται παραμόρφωση του κρυσταλλικού πλέγματος.



Η **διαταραχή κοχλία** μπορεί να σχηματιστεί σε ένα κρύσταλλο με την εφαρμογή μιας διατμητικής τάσης σε ένα μέρος του, που προκαλεί μετατόπιση-ολίσθηση του ενός τμήματος του κρυστάλλου κατά μια ατομική απόσταση.

ΔΙΔΥΜΙΑ

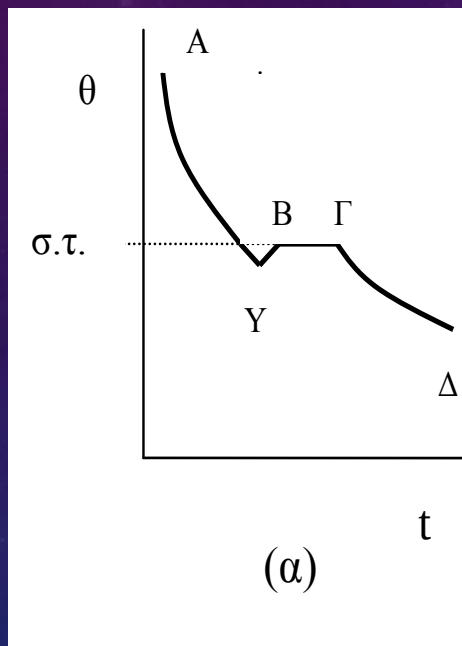


Οι διδυμίες παρατηρούνται σε κρυστάλλους όπου ένα μέρος του κρυστάλλου είναι μετατοπισμένο σε σχέση με το υπόλοιπο, έτσι ώστε το ένα μέρος να αποτελεί το κατοπτρικό είδωλο του άλλου ως προς ένα επίπεδο που ονομάζεται επίπεδο διδυμίας. Οι διδυμίες σχηματίζονται είτε κατά την πλαστική παραμόρφωση του υλικού, είτε κατά τη διάρκεια θερμικών κατεργασιών (ανόπτηση) είτε κατά την ανάπτυξη του κρυστάλλου από την υγρή ή αέρια φάση ή την ανακρυστάλλωση ενός στερεού

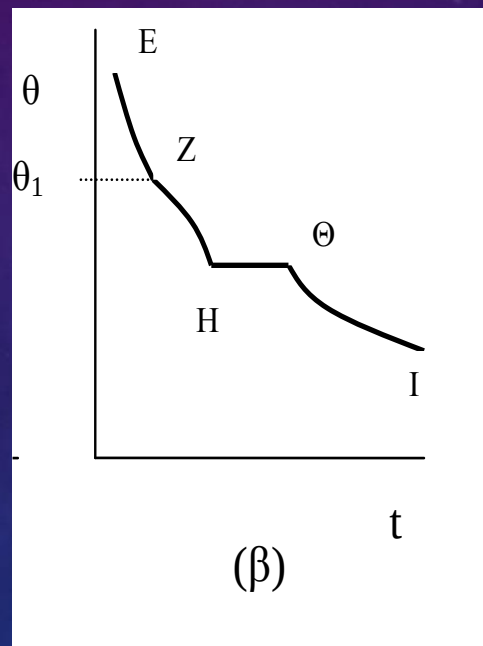
ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΨΥΞΗΣ

Ένα υγρό σώμα (τήγμα) σε σταθερή θερμοκρασία περιβάλλοντος, χαμηλότερη του σημείου τήξης, μεταβαίνει στην στερεά κατάσταση. Η καταγραφή της θερμοκρασίας του σώματος συναρτήσει του χρόνου, δίνει την **καμπύλη ψύξης** του υλικού.

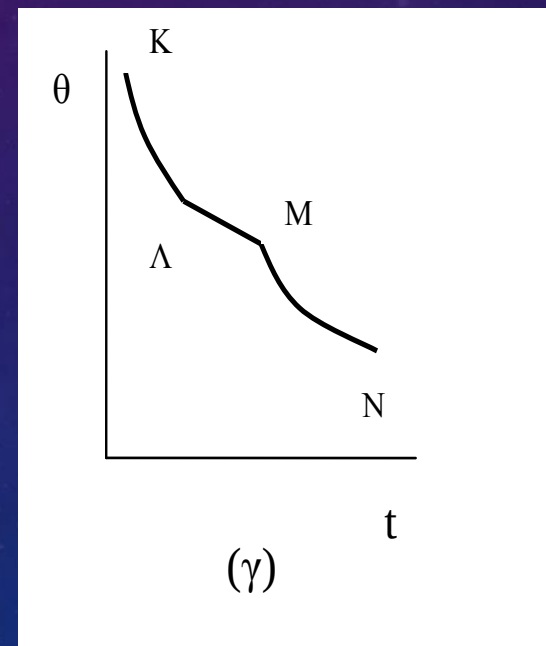
Η μορφή της καμπύλης εξαρτάται από την φύση του σώματος.



Καθαρή κρυσταλλική ουσία ή κράμα ευτηκτικού τύπου που έχει την ευτηκτική σύσταση.



Κράμα ευτηκτικού τύπου



Κράμα με πλήρη αναμιξιμότητα των συστατικών του σε στερεά κατάσταση ή άμορφο στερεό.

Ταχύτητα ψύξης

$$v = \frac{dT}{dt} = -K(T - T_{\pi})$$

όπου: **T** θερμοκρασία σώματος

T_π θερμοκρασία περιβάλλοντος

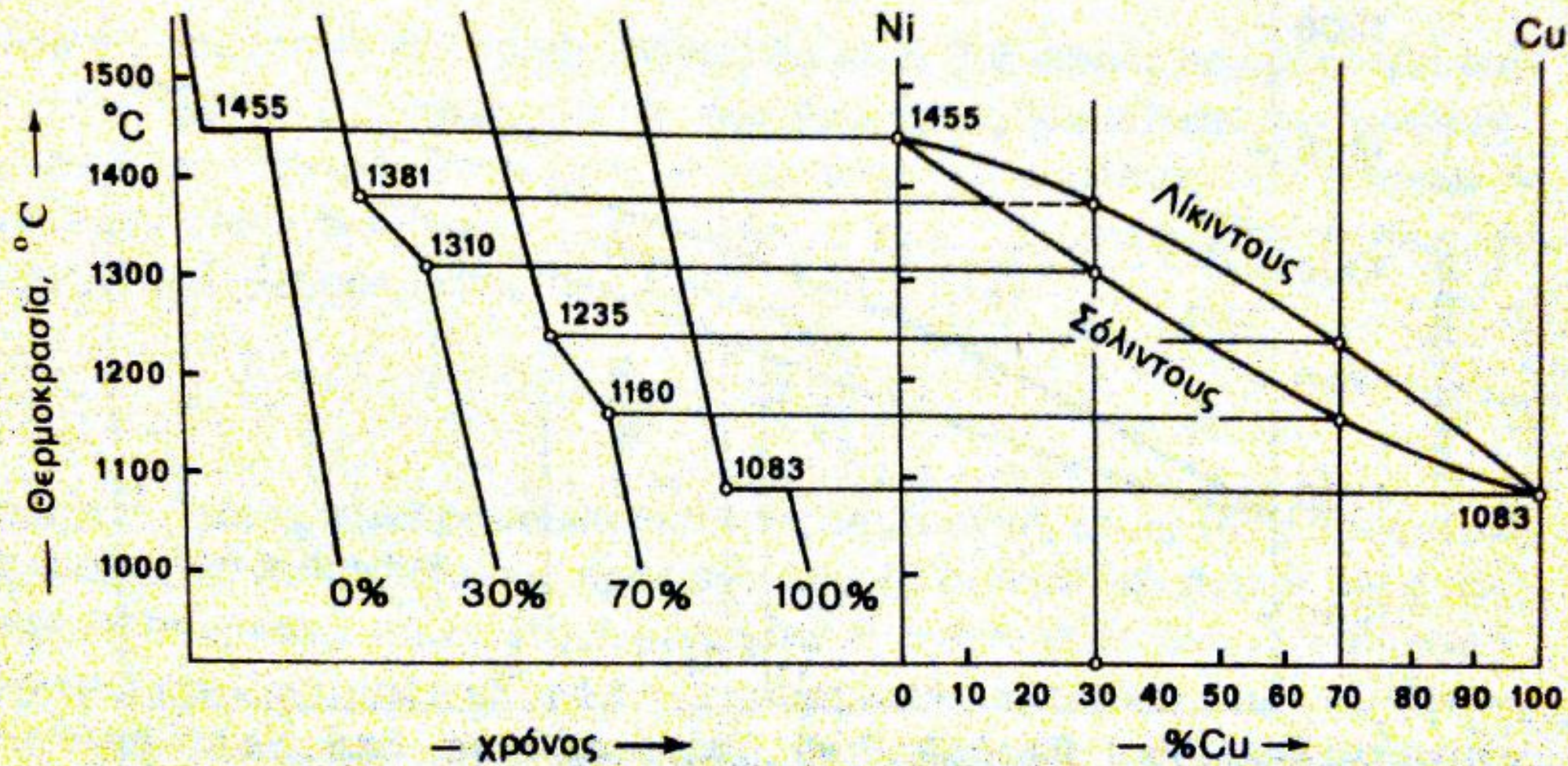
K σταθερά που εξαρτάται από τη μάζα την ειδική θερμότητα και τη φύση της επιφάνειας του υλικού μέσω της οποίας γίνεται η απαγωγή της θερμότητας προς το περιβάλλον

Η επίλυση της σχέσης αυτής με αρχική συνθήκη για $t=0 \rightarrow T=T_0$, δίνει τη συνάρτηση της μεταβολής της θερμοκρασίας με το χρόνο κατά τη ψύξη:

$$T = T_{\pi} + (T_0 - T_{\pi})e^{-Kt}$$

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ NI-CU

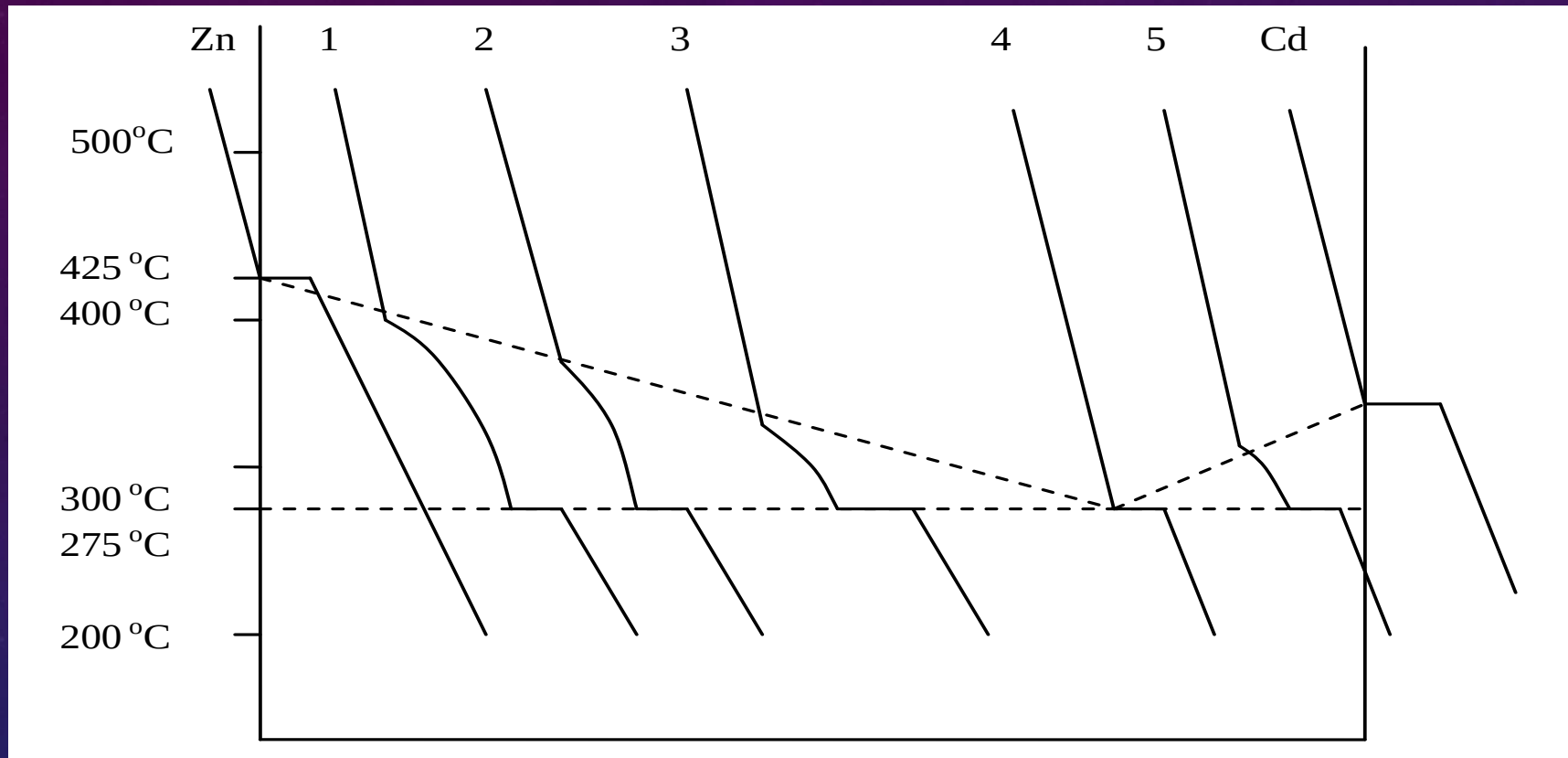
- Τα διαγράμματα νικελίου – χαλκού αφορούν στην περίπτωση κατά την οποία δύο μέταλλα, όπως το νικέλιο και ο χαλκός, σχηματίζουν μίγμα στερεών φάσεων, οι οποίες αποτελούνται από καθαρό μέταλλο.
- Τα μέταλλα αυτά έχουν συνεχή αναλογία σε όλο το φάσμα των περιεκτιτοτήτων και στην στερεά και στην υγρή φάση. Το σύστημα παρουσιάζει πλήρη διαλυτότητα.
- Τα διαγράμματα αυτά είναι χαρακτηριστικά για όλα τα κράματα της κατηγορίας αυτής.



ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ZN - CD

- Τα διαγράμματα ψευδαργύρου – καδμίου αφορούν στην περίπτωση κατά την οποία δύο μέταλλα, όπως ο ψευδάργυρος και το κάδμιο, σχηματίζουν μίγμα στερεών φάσεων, οι οποίες αποτελούνται από καθαρό μέταλλο.
- Τα μέταλλα αυτά είναι πλήρως μη αναμίξιμα σε στερεά κατάσταση, δηλαδή παρουσιάζουν μηδενική αμοιβαία διαλυτότητα σε στερεά κατάσταση.
- Τα διαγράμματα αυτά είναι χαρακτηριστικά για όλα τα κράματα της κατηγορίας αυτής.

ΚΑΜΠΥΛΕΣ ΨΥΞΗΣ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ZN - CD



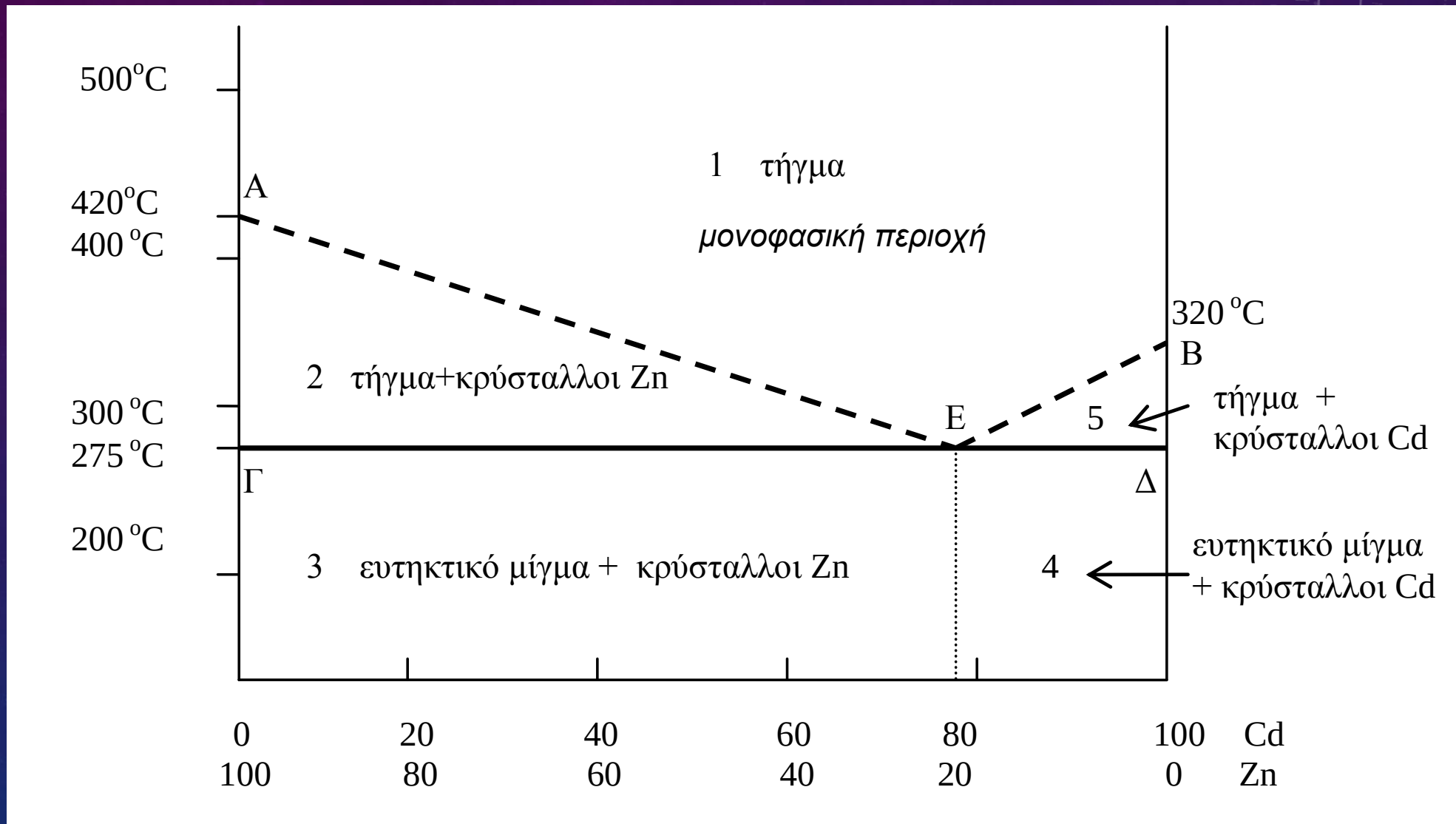
Καμπύλη Ζη (καθαρός ψευδάργυρος)

Καμπύλη Cd (καθαρό κάδμιο)

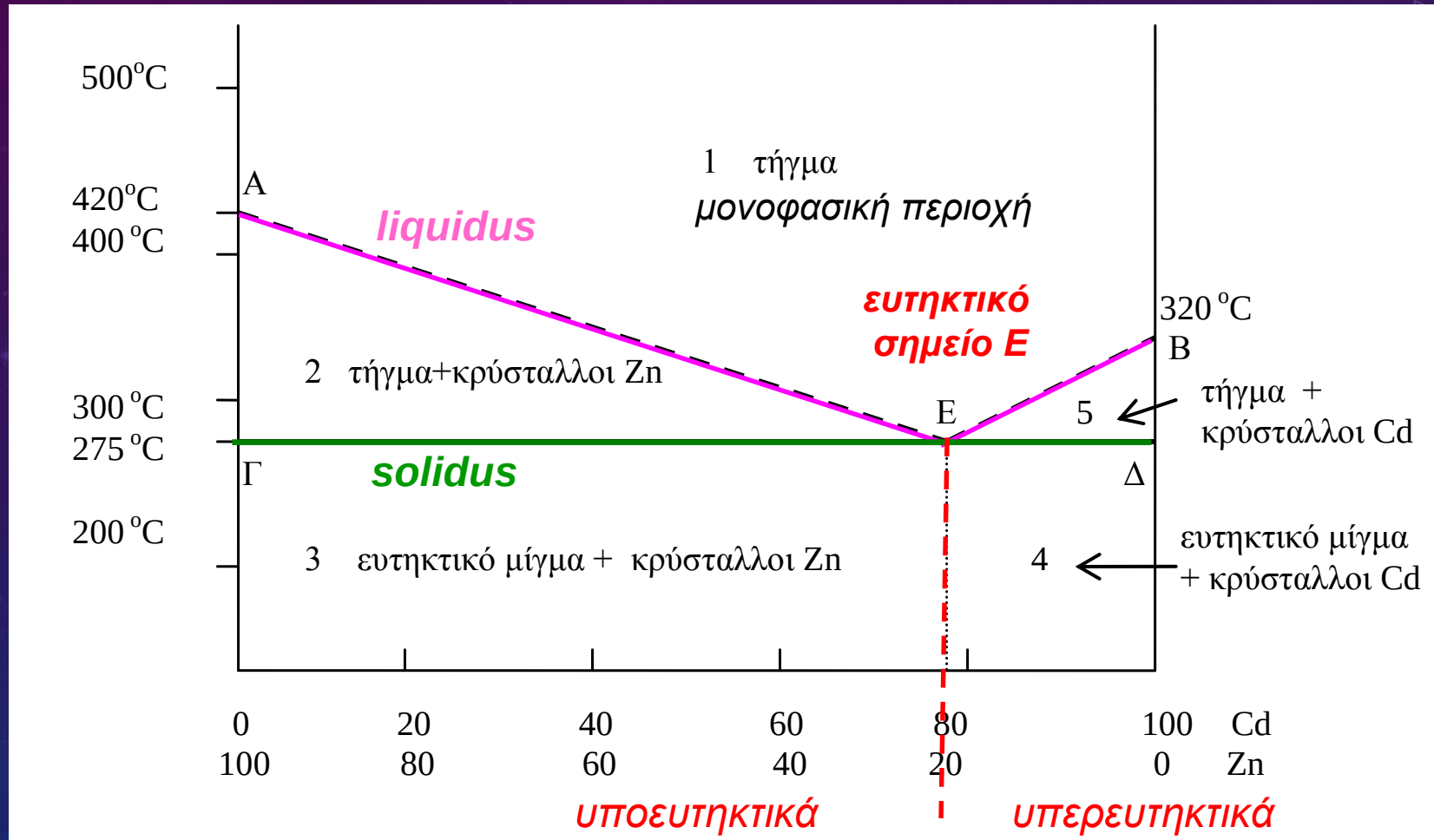
Καμπύλες 1 – 5 (κράματα αυξανόμενης περιεκτικότητας σε κάδμιο)

Καμπύλη 4 (ευτηκτικό κράμα ψευδαργύρου – καδμίου).

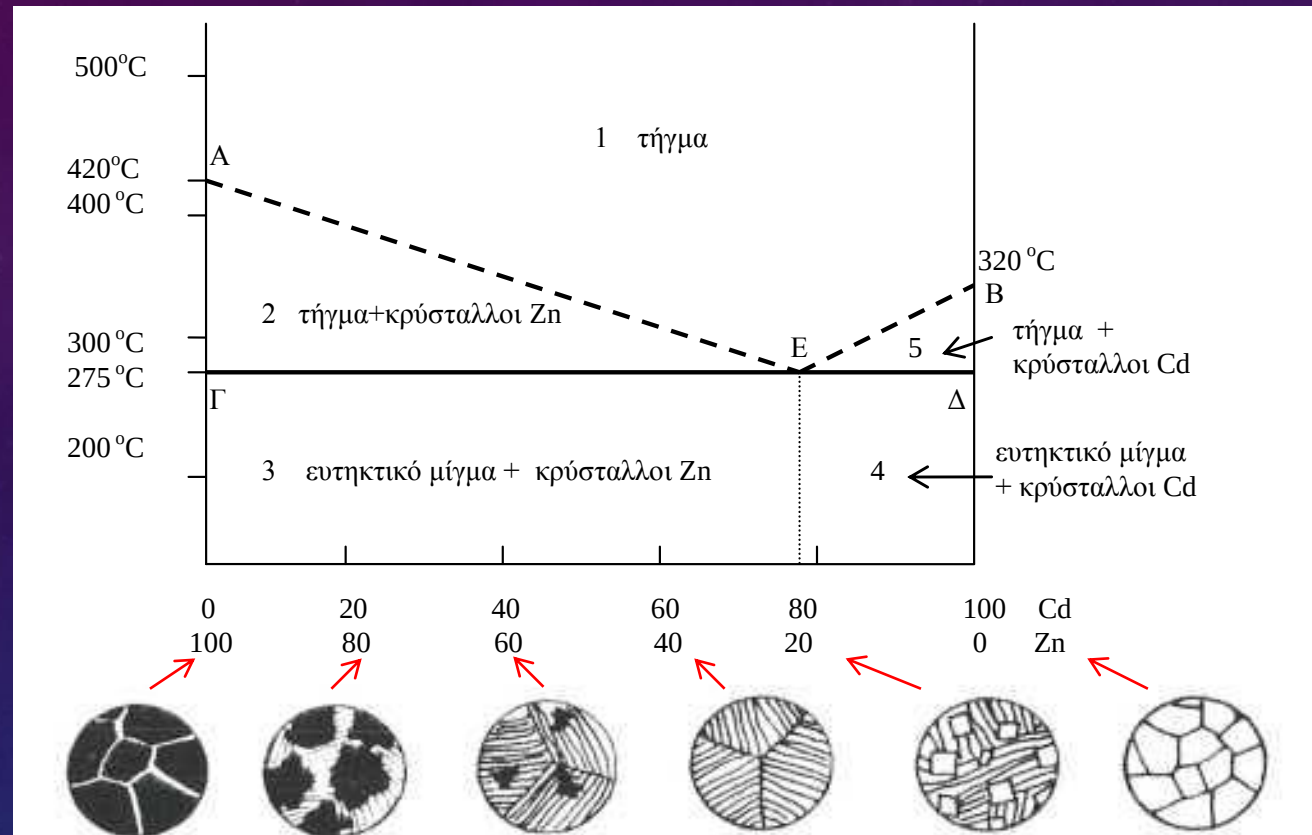
ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ZN - CD



ΦΑΣΕΙΣ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ZN - CD



ΚΟΚΚΟΙ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ZN - CD

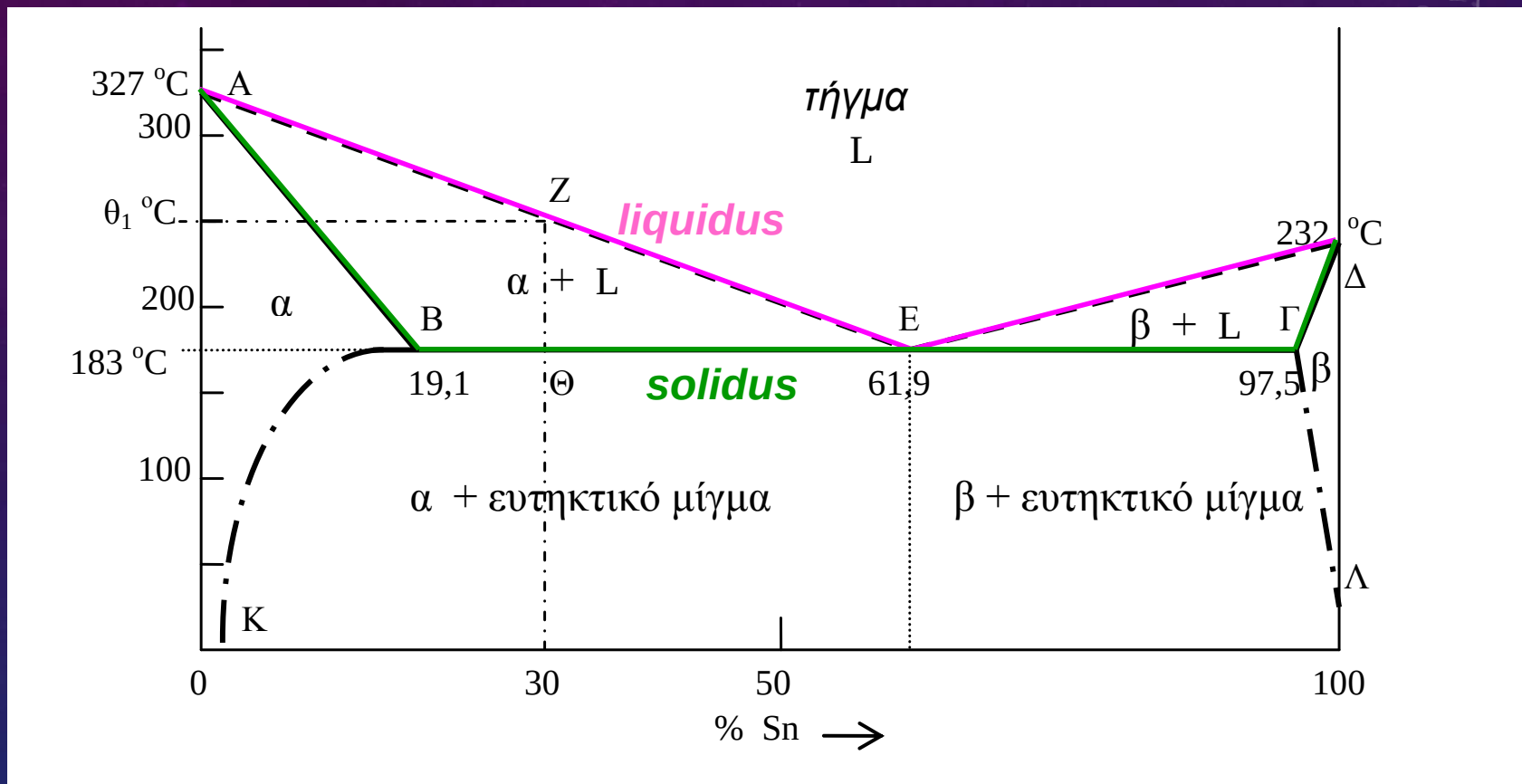


- Το λευκό χρώμα αντιστοιχεί σε καθαρό Cd
- Το μαύρο αντιστοιχεί σε καθαρό Zn.
- Οι γραμμωτοί κόκκοι αντιστοιχούν σε κράμα που έχει την ευτηκτική σύσταση (ευτηκτικό μίγμα) και διακρίνονται οι επάλληλες στρώσεις Cd (λευκό) και Zn (μαύρο).

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB

- Τα κράματα κασσιτέρου – μολύβδου αφορούν στην περίπτωση κατά την οποία δύο μέταλλα, όπως ο Sn και ο Pb, σχηματίζουν μίγμα στερεών φάσεων, οι οποίες αποτελούνται από στερεό διάλυμα.
- Τα μέταλλα αυτά είναι μερικώς αναμίξιμα σε στερεά κατάσταση, δηλαδή παρουσιάζουν αμοιβαία διαλυτότητα σε στερεά κατάσταση με όρια διαλυτότητας.
- Τα διαγράμματα αυτά είναι χαρακτηριστικά για όλα τα κράματα της κατηγορίας αυτής.

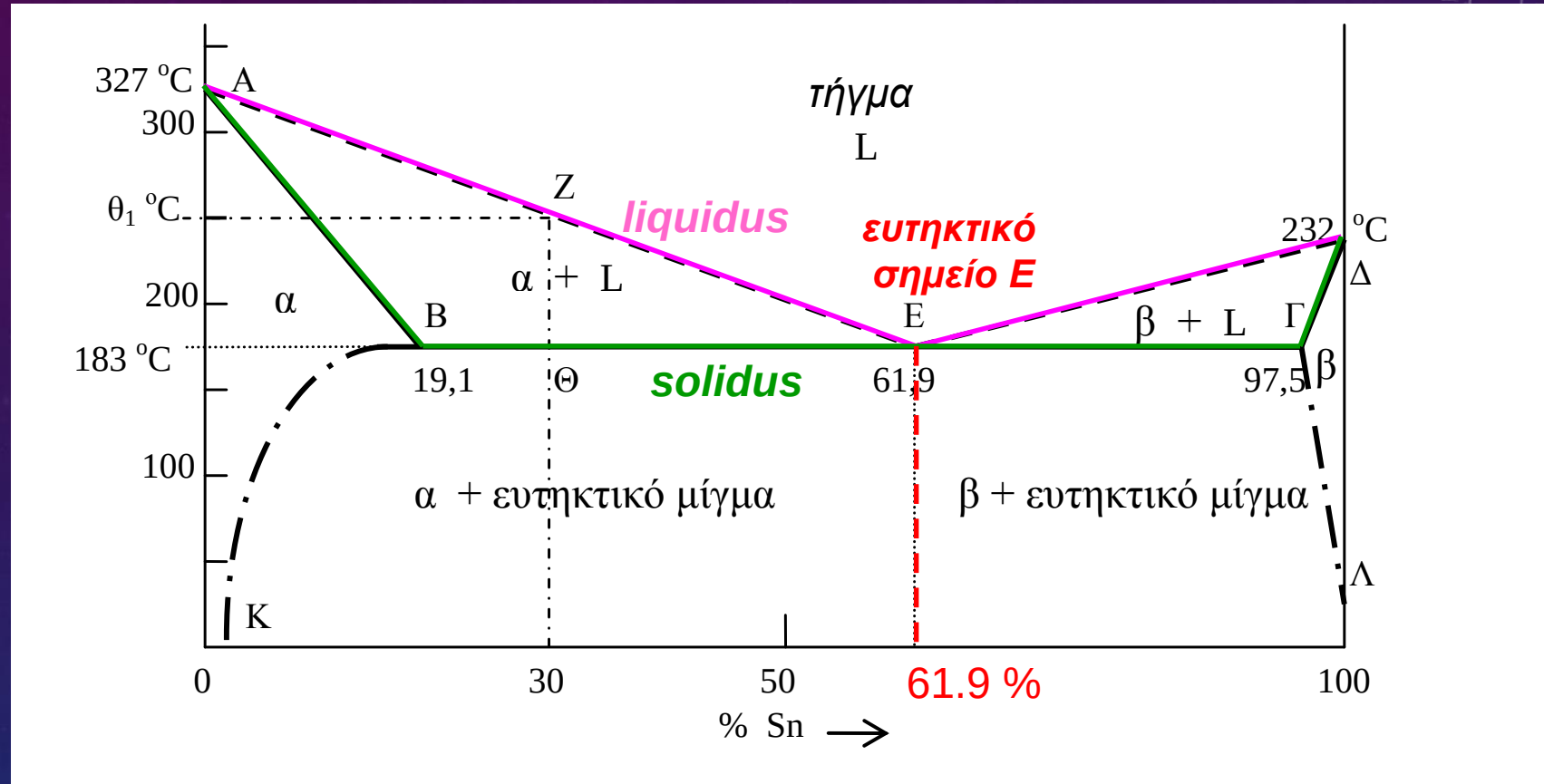
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB



α στερεή φάση (στερεό διάλυμα Sn σε Pb)

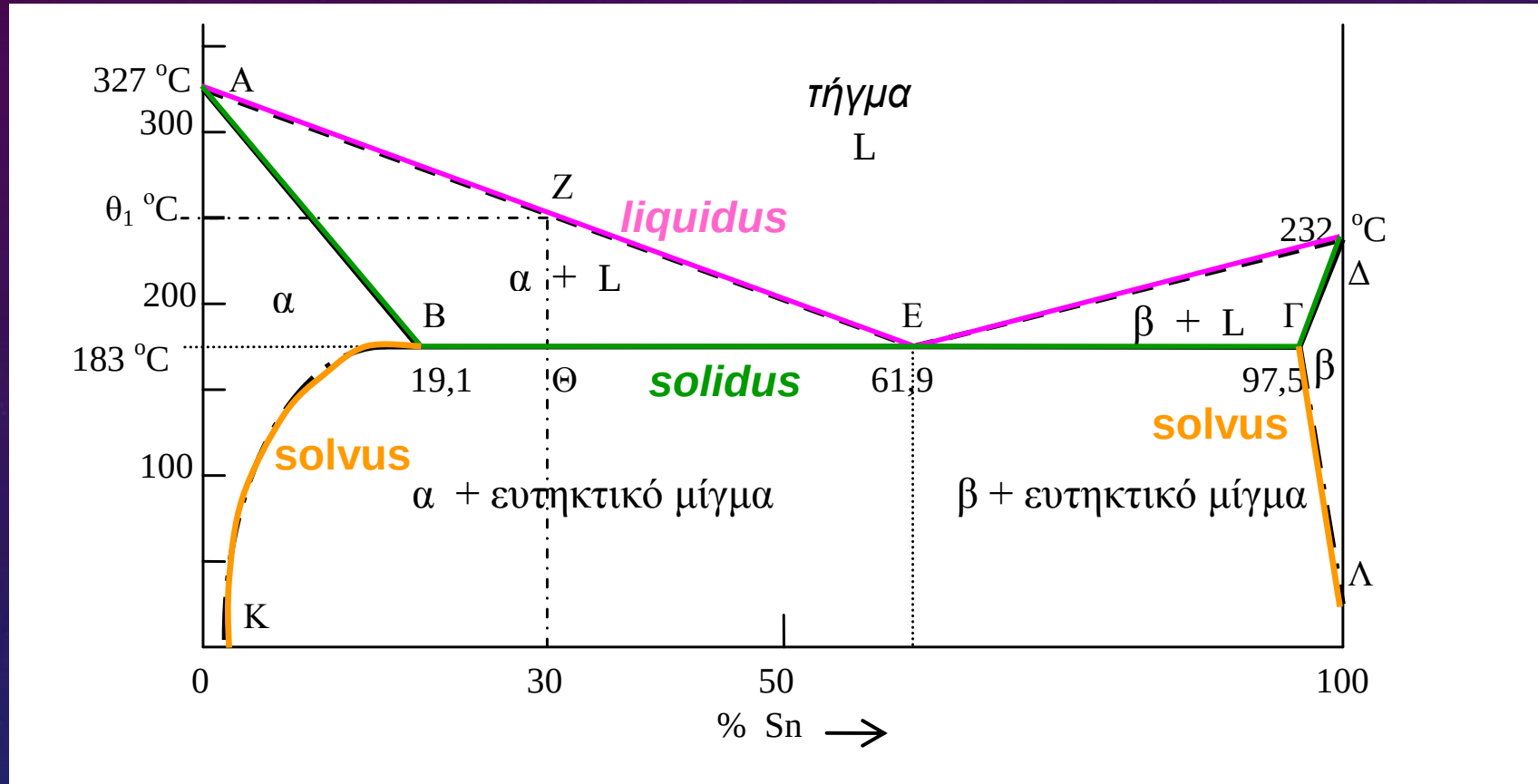
β στερεή φάση (στερεό διάλυμα Pb σε Sn)

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB



Το ευτηκτικό σημείο E αντιστοιχεί στην χαμηλότερη θερμοκρασία που μπορεί να υπάρξει το κράμα σε κατάσταση τήγματος και η αντίστοιχη % σύσταση αποτελεί την ευτηκτική σύσταση.

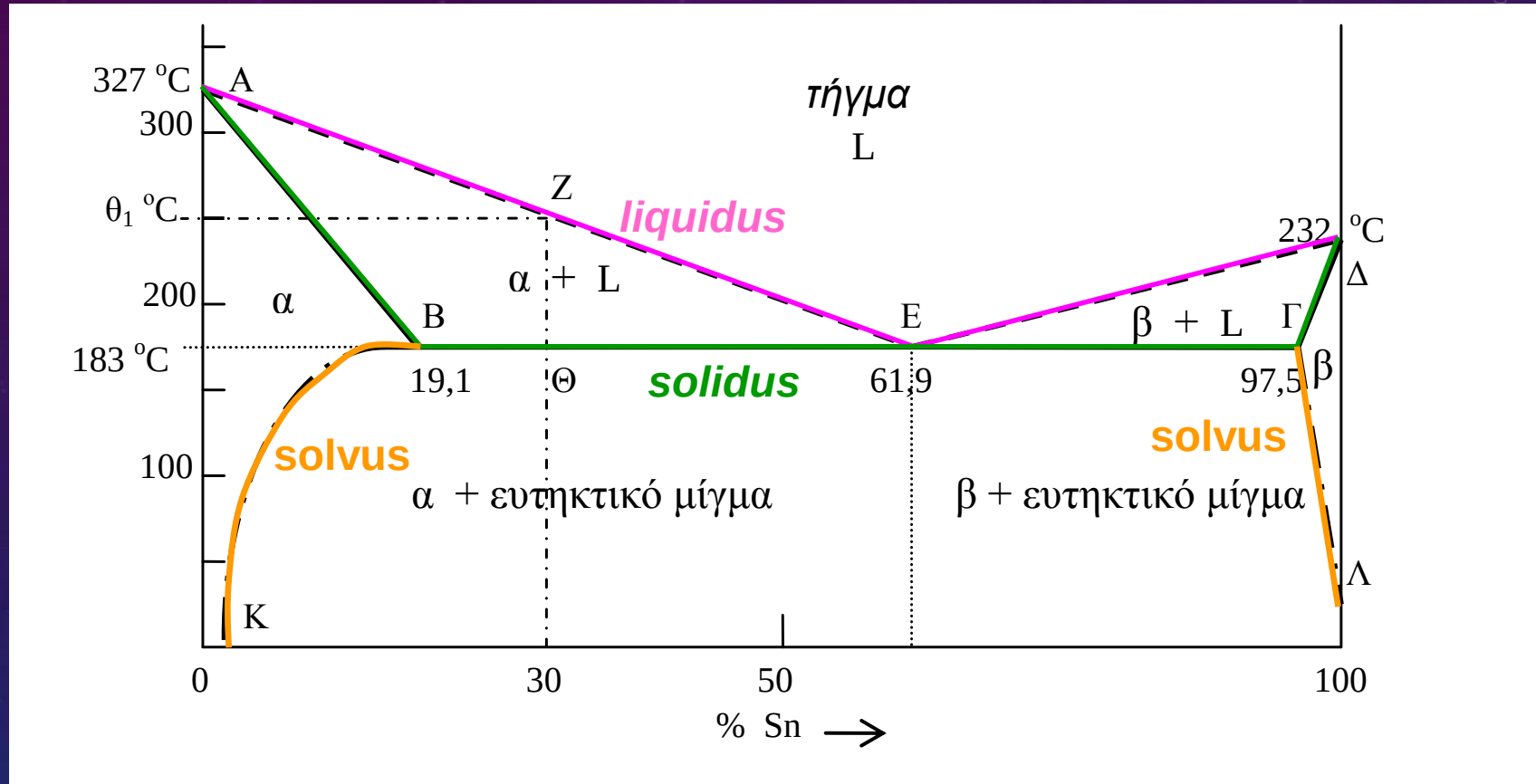
ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB



KB: διαλυτότητα σε στερεά κατάσταση του Sn μέσα σε Pb. Η μέγιστη διαλυτότητα εμφανίζεται στην ευτηκτική θερμοκρασία (183 °C) και είναι 19,1% σε Sn.

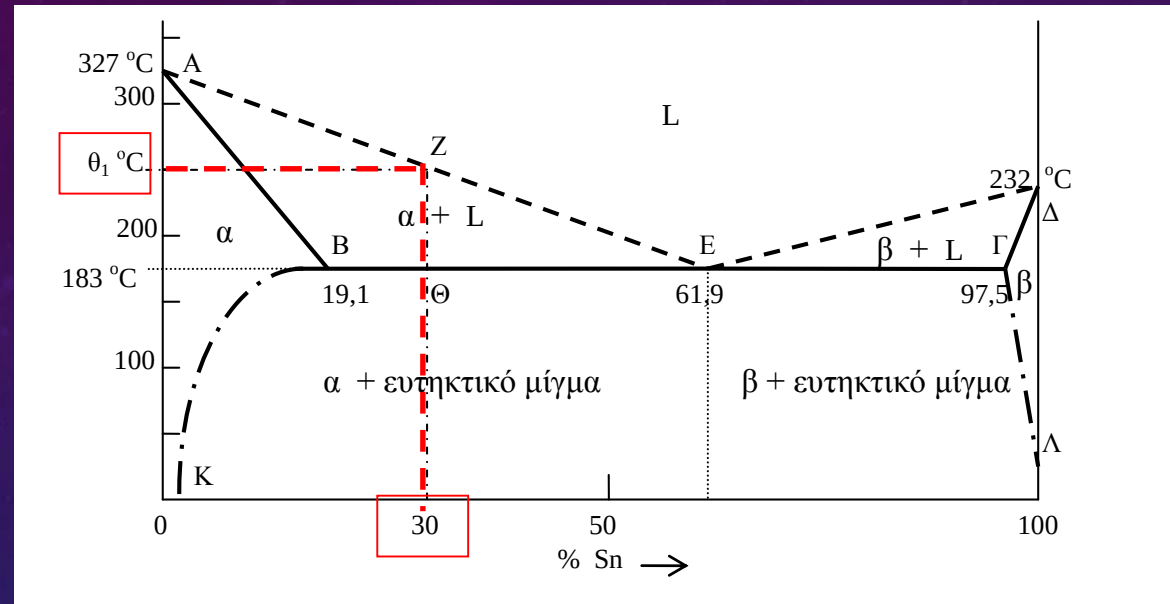
ΓΛ: διαλυτότητα σε στερεά κατάσταση του Pb μέσα σε Sn. Η μέγιστη διαλυτότητα εμφανίζεται στην ευτηκτική θερμοκρασία (183 °C) και είναι 2,5% σε Pb με 97,5% σε Sn.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB



- Οι γραμμές *liquidus*, *solidus* και *solvus* ορίζουν τα όρια των φάσεων.
- Οι περιοχές των στερεών διαλυμάτων (α , β) και του τήγματος (L) είναι **μονοφασικές**. Οι άλλες περιοχές του διαγράμματος είναι **διφασικές**.

ΔΙΑΓΡΑΜΜΑ ΦΑΣΕΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ SN - PB



Αν γνωρίζουμε την ποιοτική σύσταση ενός κράματος πχ. Sn-Pb, αλλά όχι την ποσοτική (% περιεκτικότητα), μπορούμε να την προσδιορίσουμε, εφόσον είναι διαθέσιμο το διάγραμμα φάσεων.

Κατασκευάζουμε την καμπύλη ψύξης του κράματος που θα έχει την μορφή της καμπύλης. Από το σημείο Z της καμπύλης προσδιορίζουμε την αντίστοιχη θερμοκρασία θ_1 .

Στη συνέχεια στο διάγραμμα φάσεων φέρουμε από το θ_1 ευθεία παράλληλη στον οριζόντιο άξονα και από το σημείο τομής της ευθείας με την liquidus (σημείο Z) προσδιορίζουμε την % σύσταση του κράματος.

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΕΥΤΗΚΤΙΚΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ

➤ Συγκολλήσεις

- **μαλακές συγκολλήσεις (soldering) $<450^{\circ}\text{C}$**
 - Pb-Sn
- **σκληρές συγκολλήσεις (brazing) $>450^{\circ}\text{C}$**
 - Ag-Cu ή Cu-Zn

➤ Κατασκευή ηλεκτρικών ασφαλειών

- Κράματα Bi, Pb, Cd και Sn

➤ Χυτοσίδηρος

- Fe - C