

# Atomium - Βρυξέλλες



*Κυψελίδα Fe*

*Κλίμακα 1:165x10<sup>9</sup>*



# ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΣ ΔΕΣΜΟΣ



## Metals, Nonmetals, and Metalloids

H																	He
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	—	Uuq	—	—	—	—

metals

metalloids

nonmetals

Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr

## Μεταλλικός χαρακτήρας

- ❖ Μικρή ενέργεια ιοντισμού
- ❖ Μεγάλη σκληρότητα
- ❖ Ελατά και όλκιμα
- ❖ Υψηλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα
- ❖ Χαρακτηριστική λάμψη
- ❖ Υψηλά σημεία ζέσης και τήξης
- ❖ Μεγάλη πυκνότητα



- Μηχανική αντοχή – πλαστική παραμόρφωση
- Δυνατότητα συγκόλλησης
- Χύτευση - στερεοποίηση
- Δυνατότητα κραματοποίησης
- Δυνατότητα τροποποίησης των μηχανικών ιδιοτήτων με θερμικές και χημικές κατεργασίες.



304- 292 π.Χ



Σιδερένιες ράβδοι – σφυρηλάτηση

Πέτρινα υποστηλώματα – χυτός μπρούτζος

1887-1889

h: 300 m (324 m με την κεραία)

18000 μεταλλικά κομμάτια

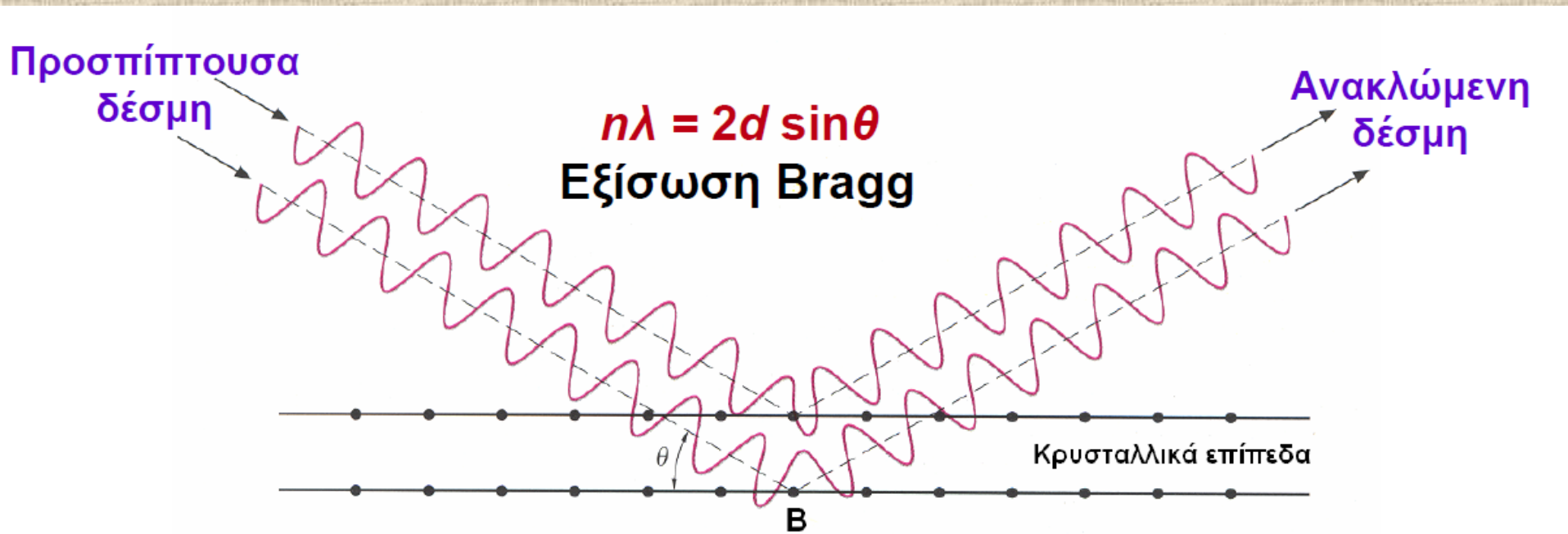
6300 tn χάλυβα (7700tn)





**Κρυσταλλικό στερεό : συμμετρική, επαναλαμβανόμενη  
διάταξη ατόμων, ιόντων ή μορίων**

Οι κρυσταλλικές δομές προσδιορίζονται με περίθλαση ακτίνων Χ



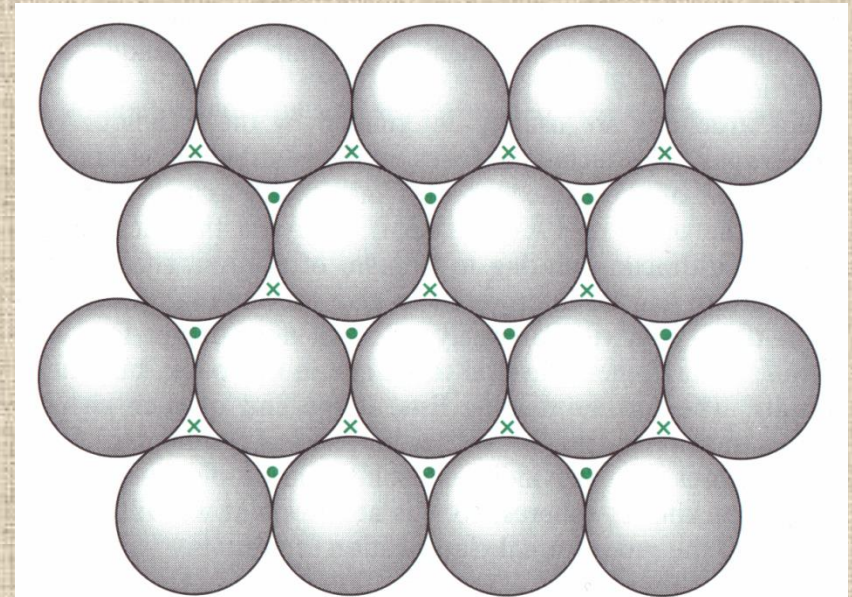
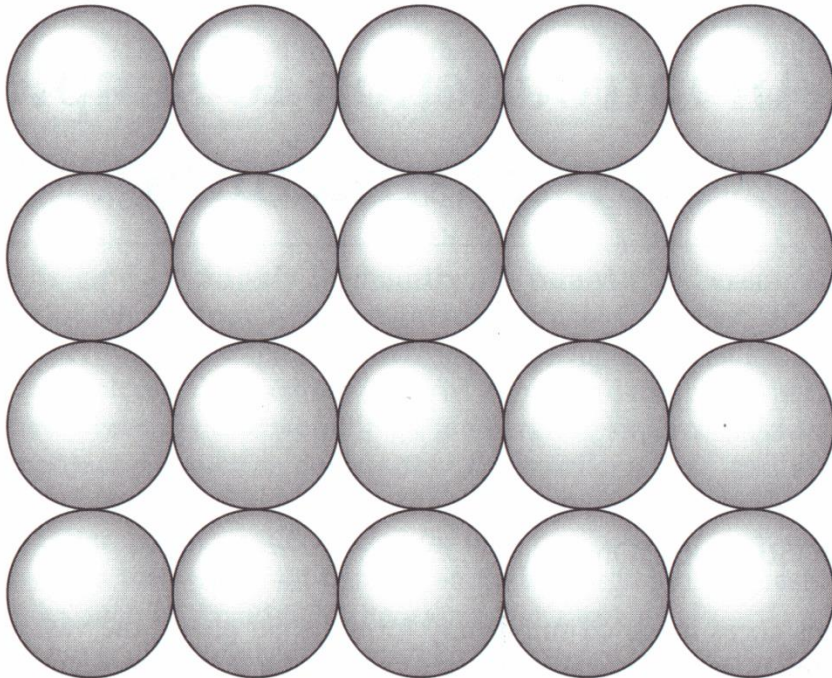
Περιγραφή κρυσταλλικών δομών μετάλλων: διάταξη συμπαγών σφαιρών

μεγάλη πυκνότητα → δομές πυκνοτάτης συσσώρευσης

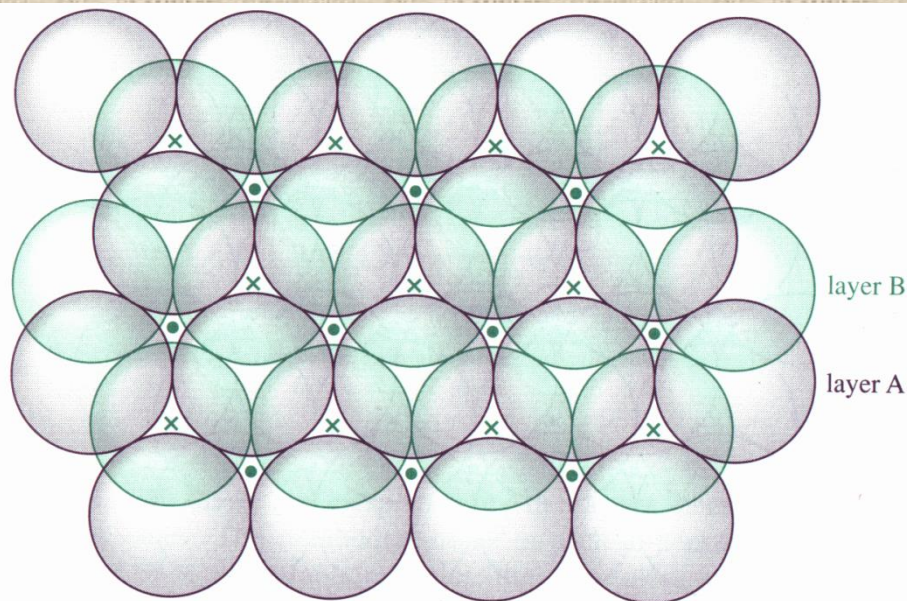
Βαρέα μέταλλα: πυκνότητα  $> 5\text{g/cm}^3$

Ελαφρότερο μέταλλο : Li  $0.534\text{g/cm}^3$

Βαρύτερο μέταλλο : Ir  $22.56\text{g/cm}^3$

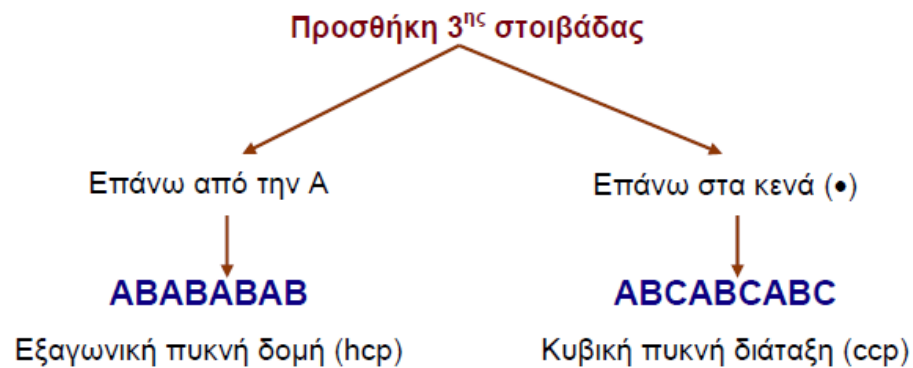






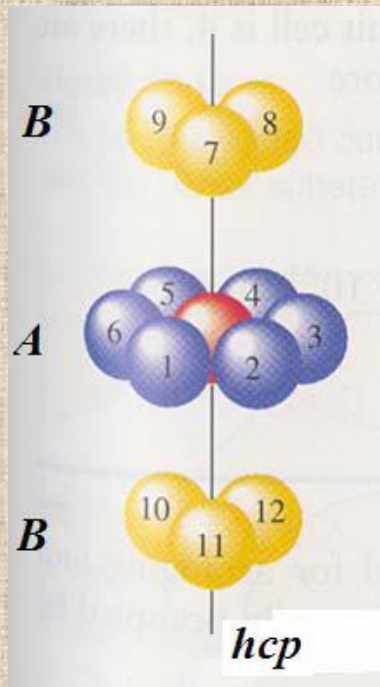
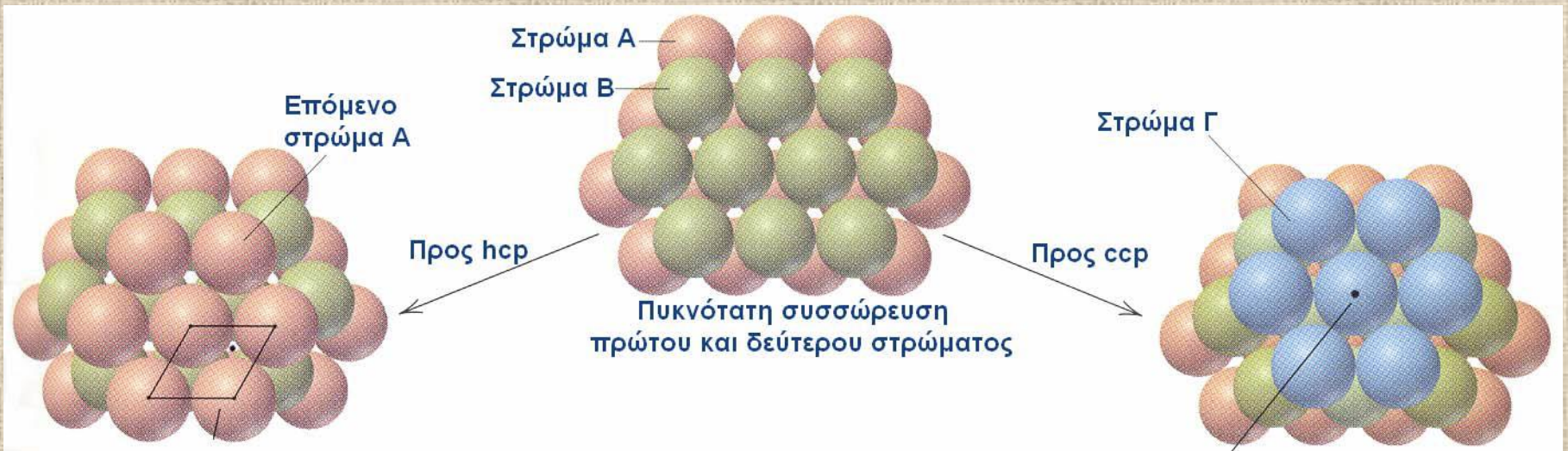
## Πυκνή διάταξη 2 στοιβάδων

## Δομές πυκνότητας συσώρευσης

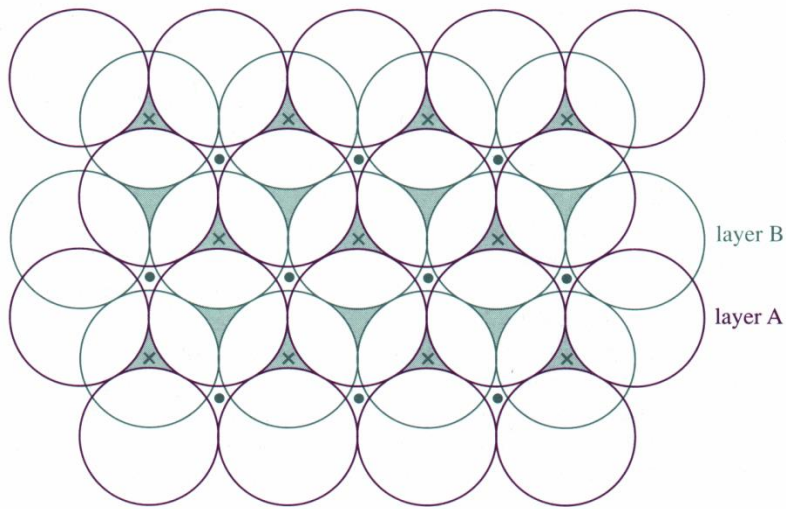


Πλήρωση χώρου 74%

Αριθμός ένταξης 12



Στις δομές πυκνότητας συσσώρευσης ο αριθμός ένταξης είναι **12**



x : ΤΕΤΡΑΕΔΡΙΚΕΣ ΟΠΕΣ

↓  
 ΠΕΡΙΚΛΕΙΟΝΤΑΙ ΑΠΟ 4 ΣΦΑΙΡΕΣ ΜΕ ΚΕΝΤΡΑ ΣΤΙΣ ΚΟΡΥΦΕΣ  
 ΤΕΤΡΑΕΔΡΟΥ

↓  
 ΓΙΑ n ΣΦΑΙΡΕΣ ΣΤΟ ΠΛΕΓΜΑ ΥΠΑΡΧΟΥΝ 2n ΤΕΤΡΑΕΔΡΙΚΕΣ ΟΠΕΣ

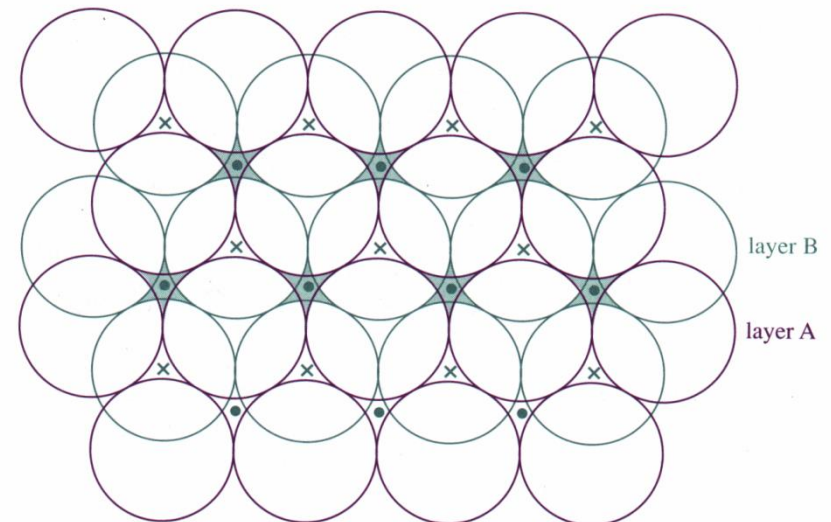
↓  
 ΑΚΤΙΝΑ ΣΦΑΙΡΑΣ: r ΑΚΤΙΝΑ ΟΠΗΣ: 0.225r

• : ΟΚΤΑΕΔΡΙΚΕΣ ΟΠΕΣ

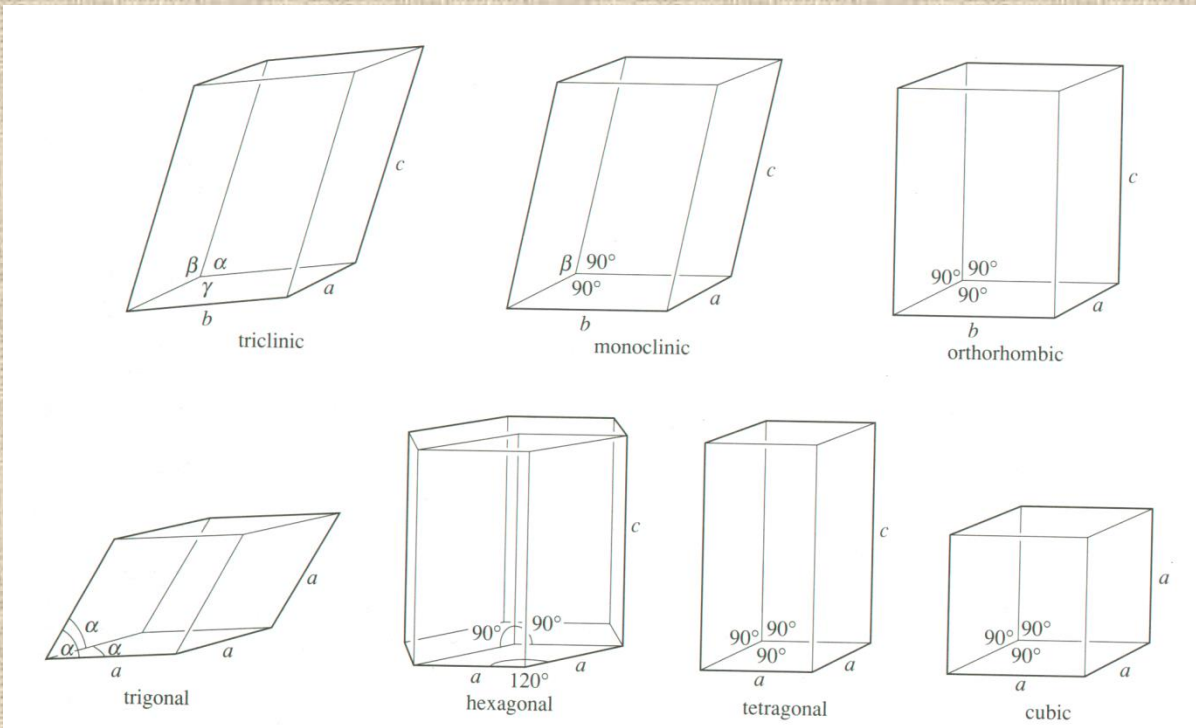
↓  
 ΠΕΡΙΚΛΕΙΟΝΤΑΙ ΑΠΟ 6 ΣΦΑΙΡΕΣ (3 ΣΤΗΝ ΕΠΑΝΩ ΣΤΟΙΒΑΔΑ, 3  
 ΣΤΗΝ ΚΑΤΩ)

↓  
 ΓΙΑ n ΣΦΑΙΡΕΣ ΣΤΟ ΠΛΕΓΜΑ ΥΠΑΡΧΟΥΝ n ΟΚΤΑΕΔΡΙΚΕΣ ΟΠΕΣ

↓  
 ΑΚΤΙΝΑ ΣΦΑΙΡΑΣ: r ΑΚΤΙΝΑ ΟΠΗΣ: 0.414r



# Μοναδιαίες κυψελίδες των 7 κρυσταλλικών συστημάτων



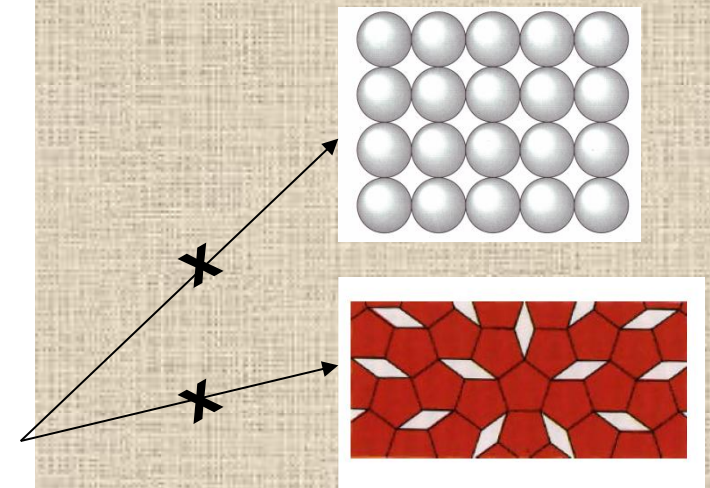
Ορίζονται με βάση

- 3 ευθύγραμμα τμήματα :
- 3 γωνίες :  $\alpha, \beta, \gamma$

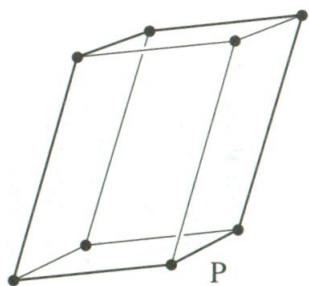
**Απαραίτητη προϋπόθεση**

επαναλαμβανόμενη διάταξη

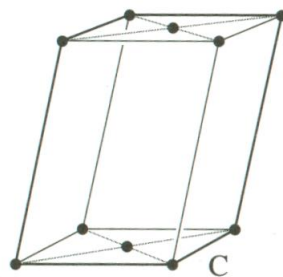
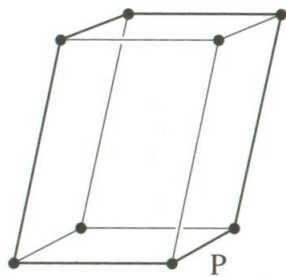
πλήρης κάλυψη χώρου



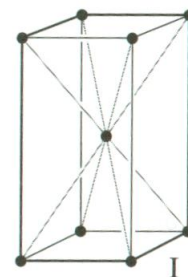
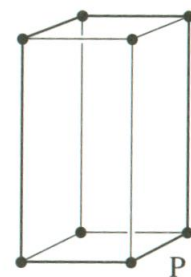
# Τα 14 πλέγματα Bravais



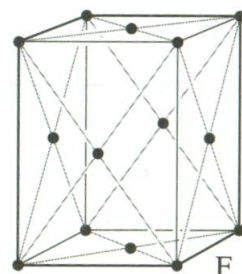
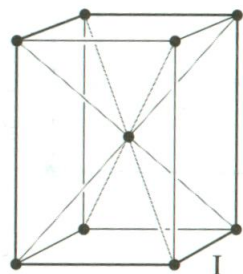
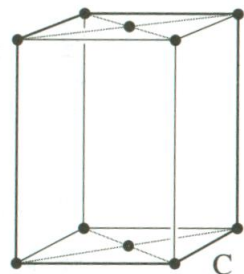
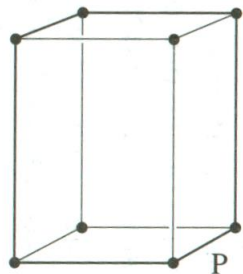
triclinic



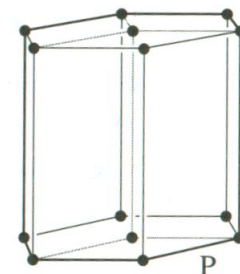
monoclinic



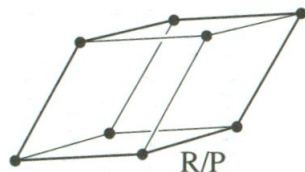
tetragonal



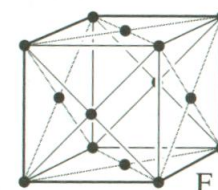
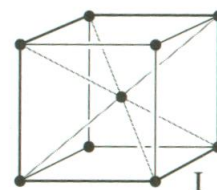
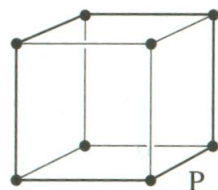
orthorhombic



hexagonal



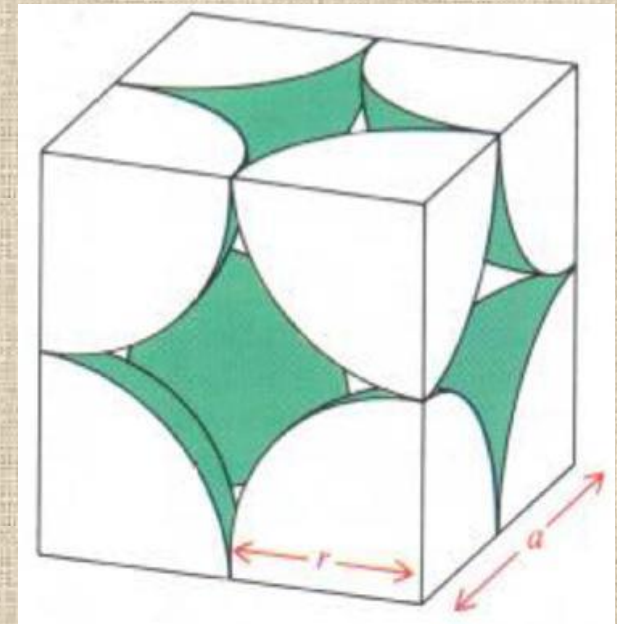
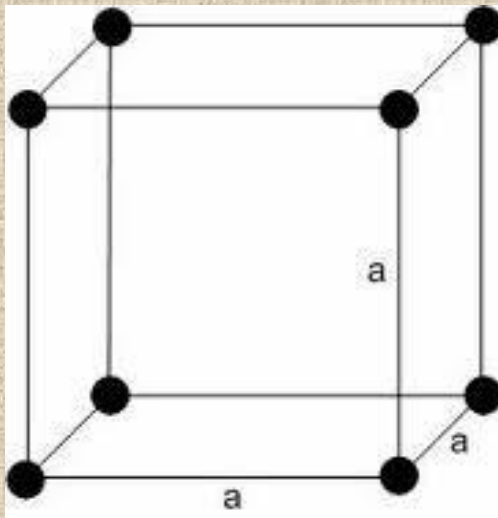
trigonal



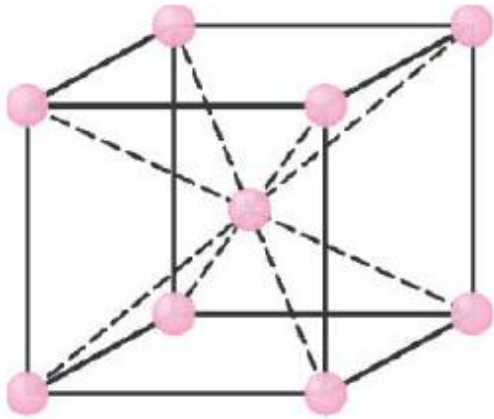
cubic



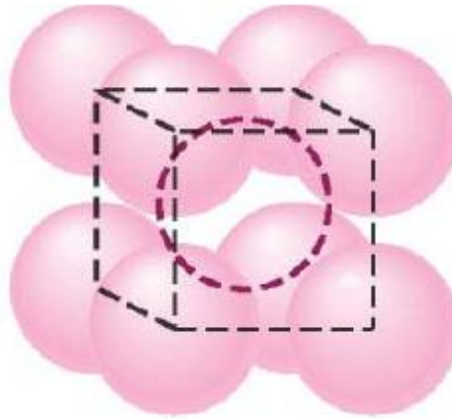
# Θεμελιώδης κυψελίδα



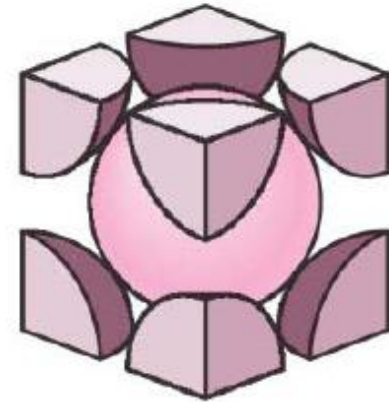
# Body-centered cubic (BCC)



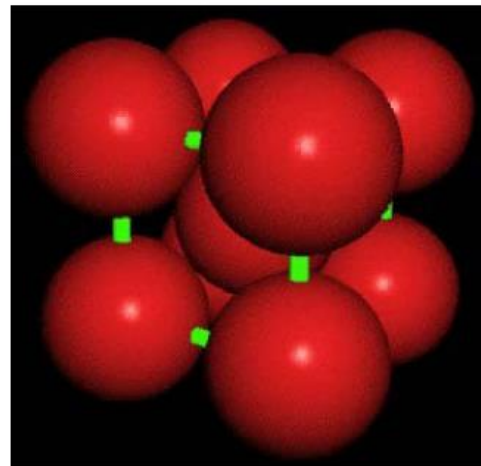
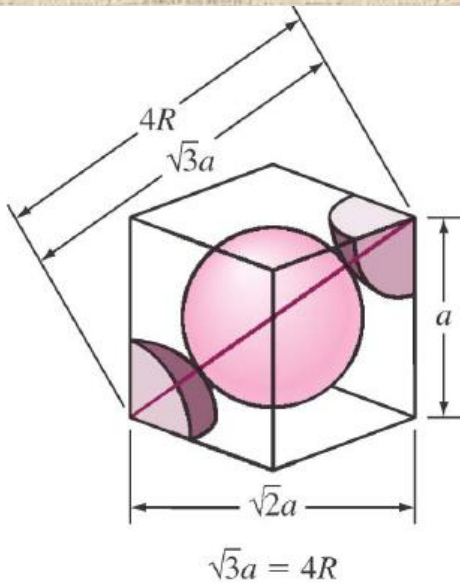
(a)



(b)



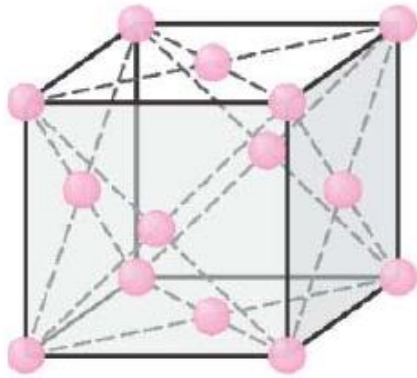
(c)



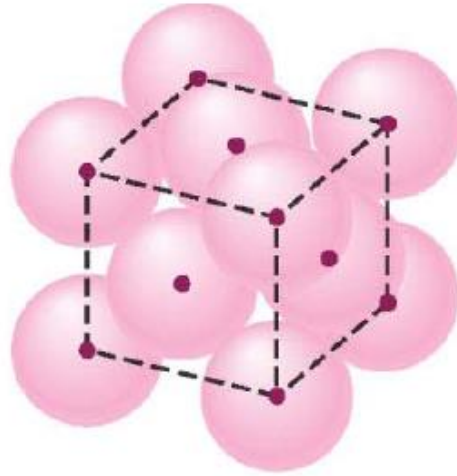
Μηχανική αντοχή

Fe

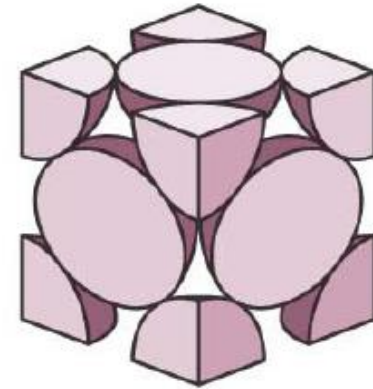
# Face-centered cubic (FCC)



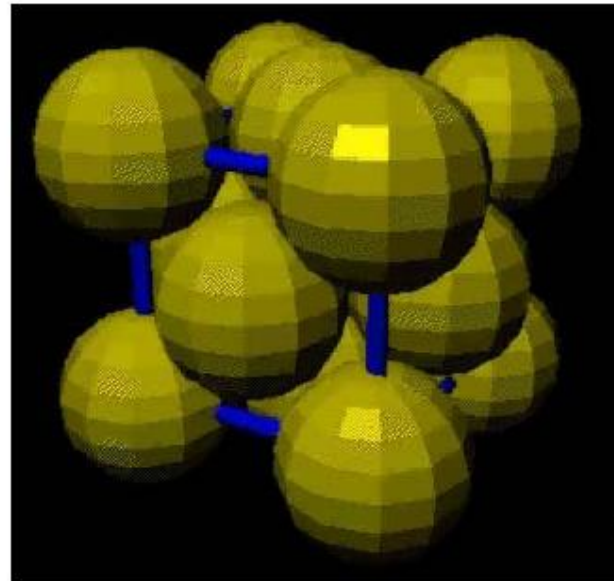
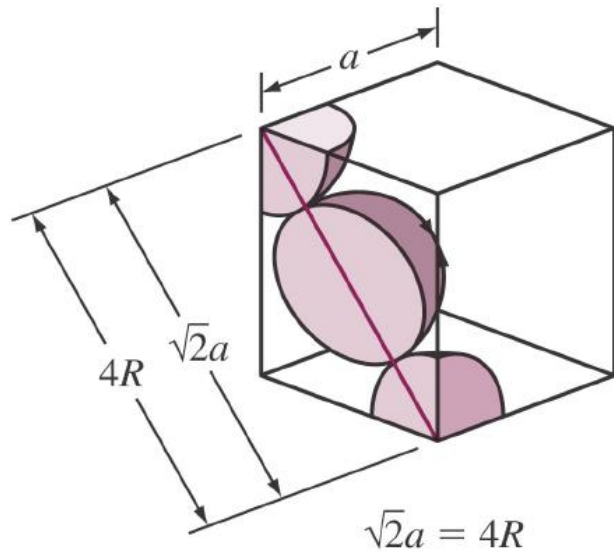
(a)



(b)



(c)

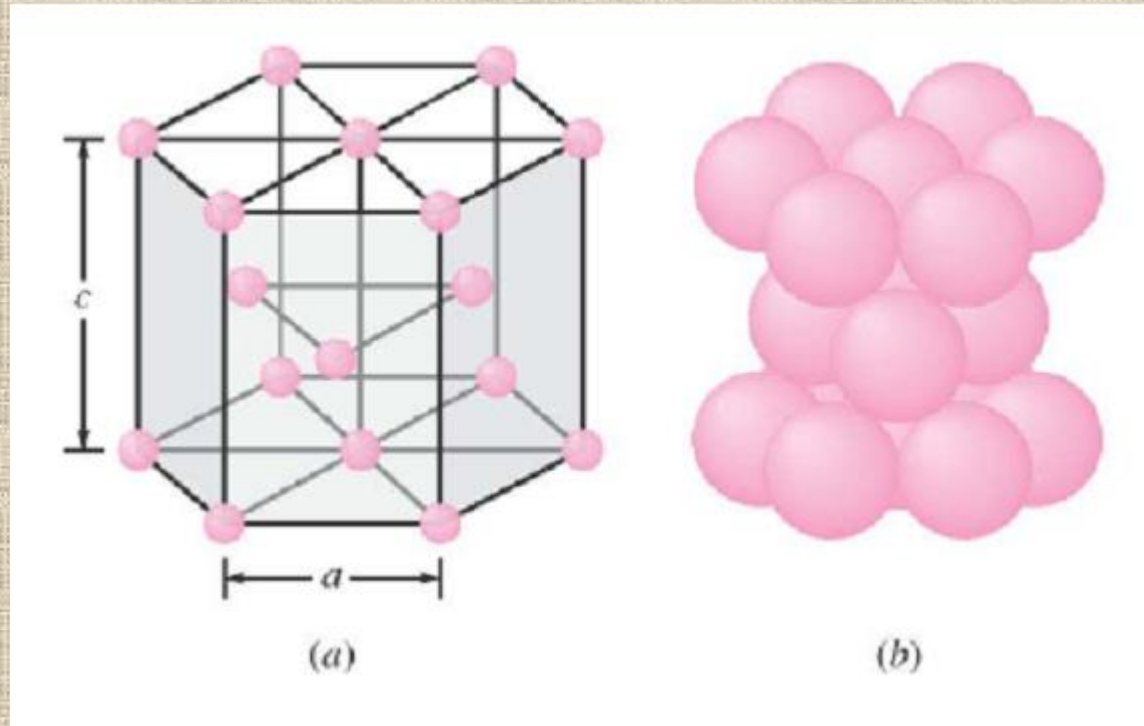


ελατότητα

Cu



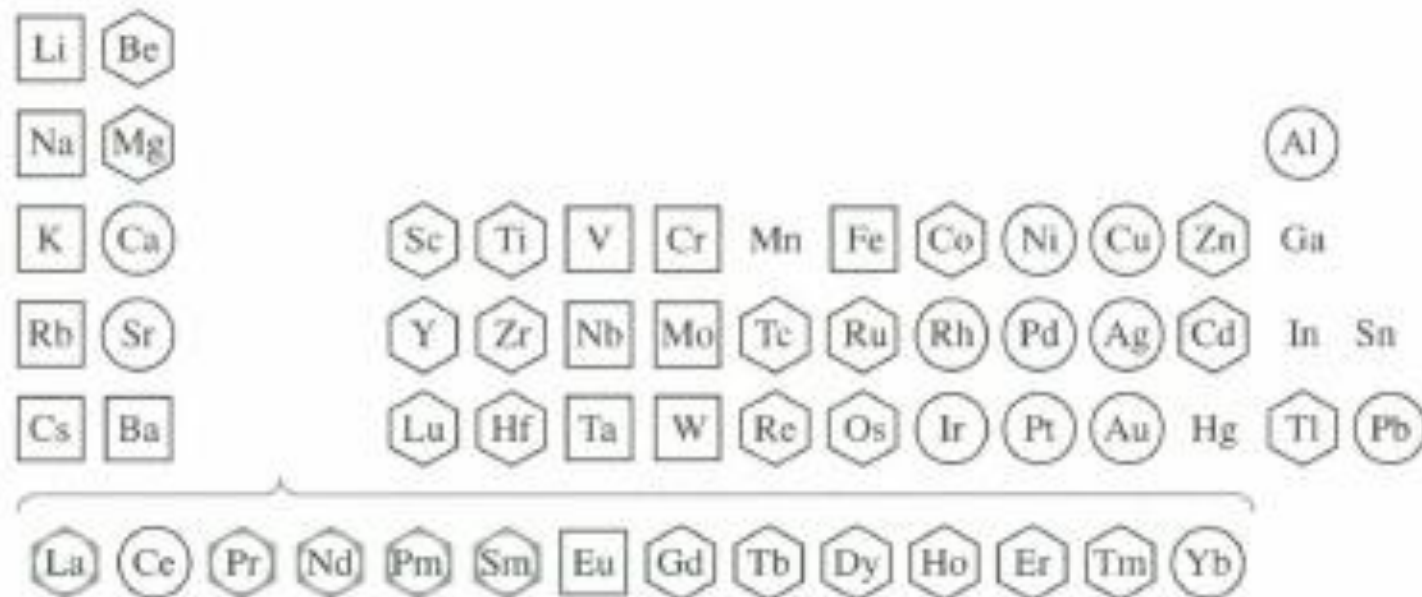
# Hexagonal close packed (HCP)



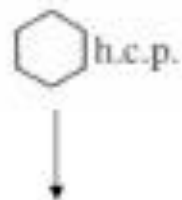
Μη σφυρηλατίσιμο

Zn

### Κατανομή των τύπων διάταξης των στοιβάδων στα μέταλλα



**ABC**



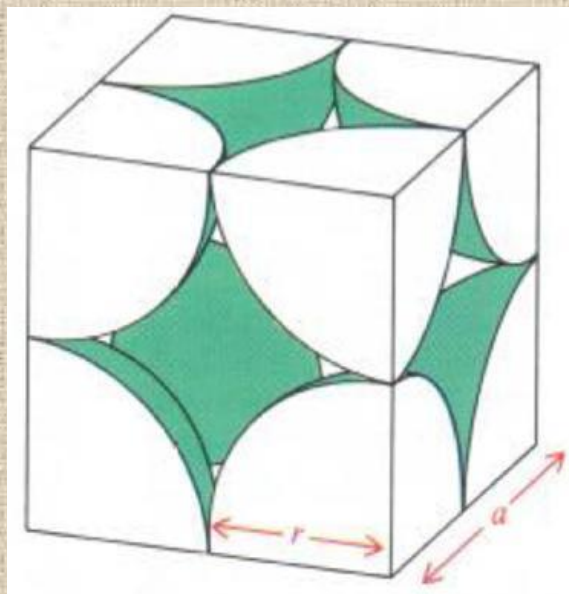
**AB**



**La,Pr,Nd,Pm : ABAC**

**Sm : ABACACBCB**

**Δείξτε ότι τα άτομα καταλαμβάνουν μόνο το 52.4% του όγκου σε μία απλή κυβική δομή στην οποία όλα τα άτομα είναι ίδια.**



**Η ατομική ακτίνα του Fe είναι  $1.24 \text{ \AA}$ . Να υπολογίσετε τις διαστάσεις των κυψελίδων στο BCC και FCC Fe.**

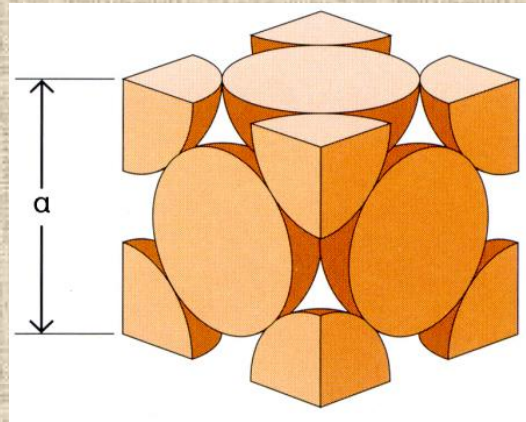
# ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΘΕΩΡΗΤΙΚΗΣ – ΠΕΙΡΑΜΑΤΙΚΗΣ ΠΥΚΝΟΤΗΤΑΣ

Ο Cu έχει ατομική ακτίνα **0.128 nm**

δομή **FCC**

A.B. **63.5 g/mole.**

Να υπολογισθεί η πυκνότητα του και να συγκριθεί με την τιμή που προσδιορίζεται πειραματικά (**8.94 g/cm<sup>3</sup>**).



Ο χρυσός σχηματίζει κυβικούς κρυστάλλους με ακμή 407.9 pm. Η πυκνότητα του μετάλλου είναι 19.3 g/cm<sup>3</sup>.

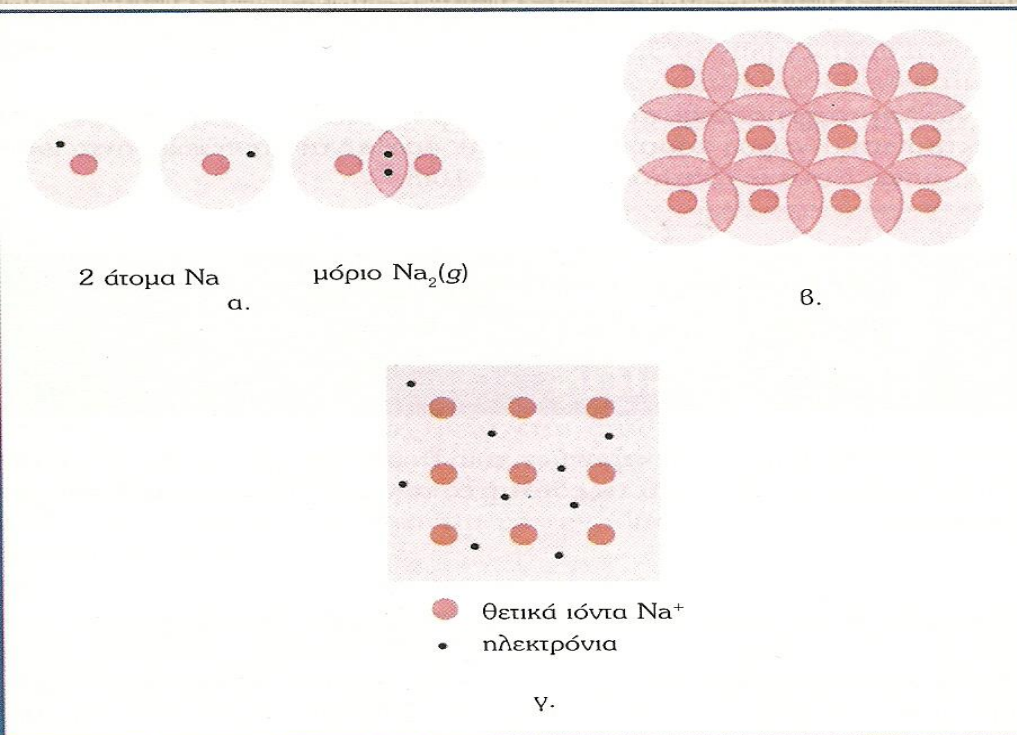
Να υπολογιστεί ο αριθμός των ατόμων χρυσού σε μια στοιχειώδη κυψελίδα. Ποιος είναι ο τύπος της στοιχειώδους κυψελίδας. Ατομικό βάρος Au: 196.97

Το λανθάνιο έχει δομή FCC ( $a=5.337 \text{ \AA}$ ) σε θερμοκρασία μικρότερη των 865 °C η οποία μετατρέπεται σε BCC ( $a=4.26 \text{ \AA}$ ) σε μεγαλύτερη θερμοκρασία.

Να υπολογίσετε τη μεταβολή όγκου κατά τη θέρμανση του στην παραπάνω θερμοκρασιακή περιοχή.

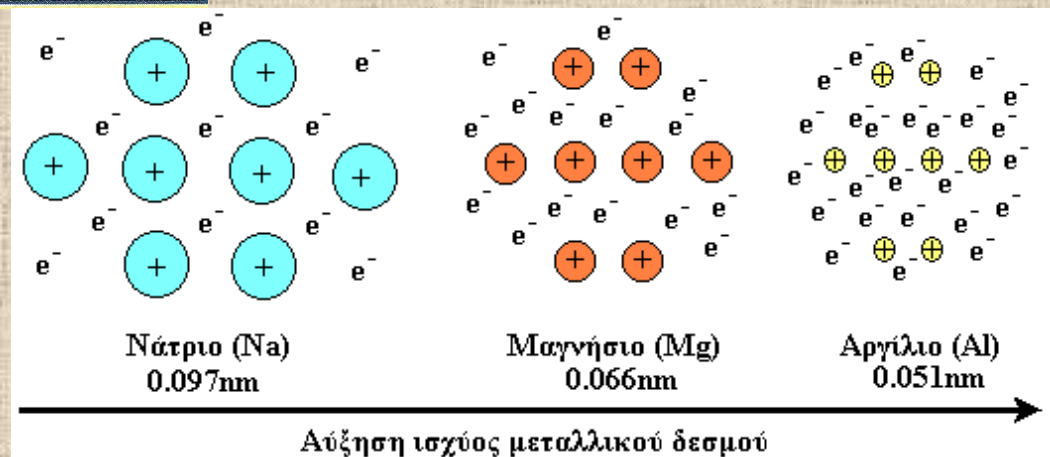
Παρατηρείται συστολή ή διαστολή του υλικού κατά τη θέρμανση;

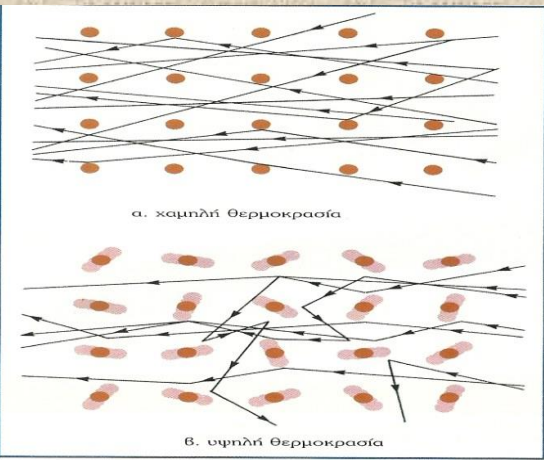
# Μεταλλικός Δεσμός – Θεωρία ελευθέρων ηλεκτρονίων



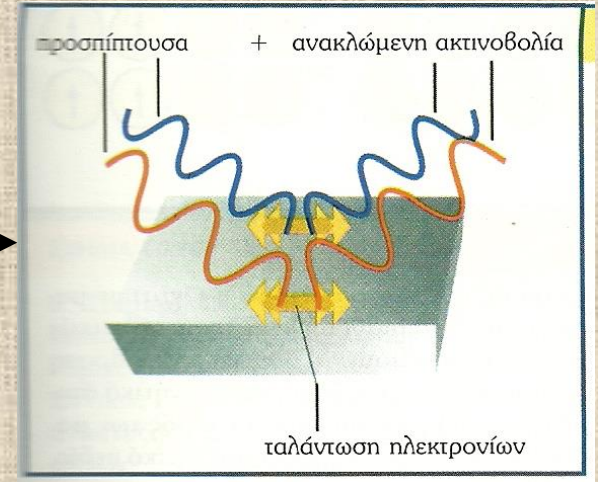
**Μεταλλικός δεσμός είναι η ελκτική δύναμη μεταξύ του ηλεκτρονιακού νέφους και των θετικών ιόντων του μετάλλου.**

**Η ισχύς του μεταλλικού δεσμού αυξάνει καθώς μειώνεται το μέγεθος του ατόμου και αυξάνει ο αριθμός των ηλεκτρονίων της στοιβάδας σθένους του μετάλλου**

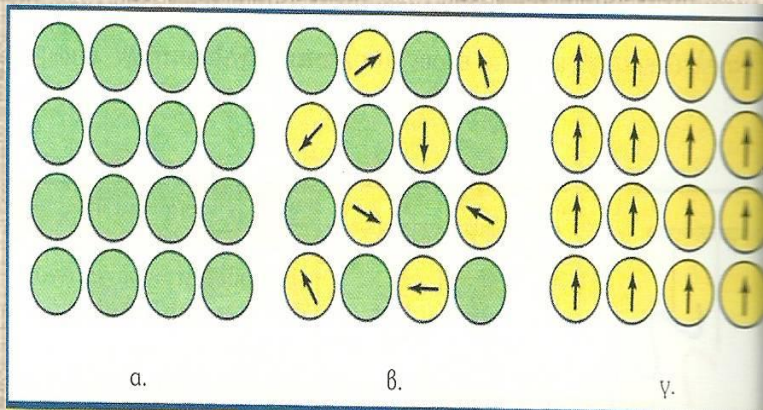




## Ηλεκτρική αγωγιμότητα

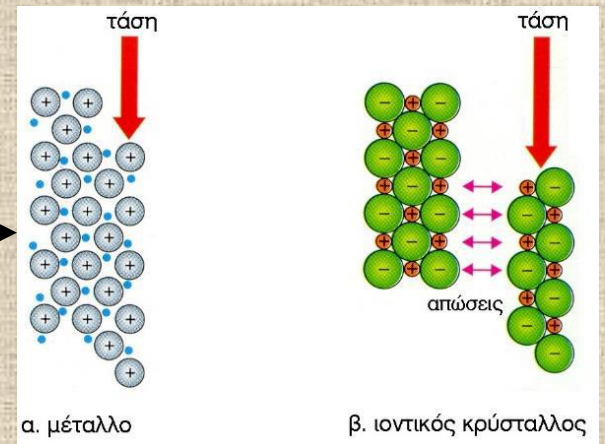


## Μεταλλική λάμψη



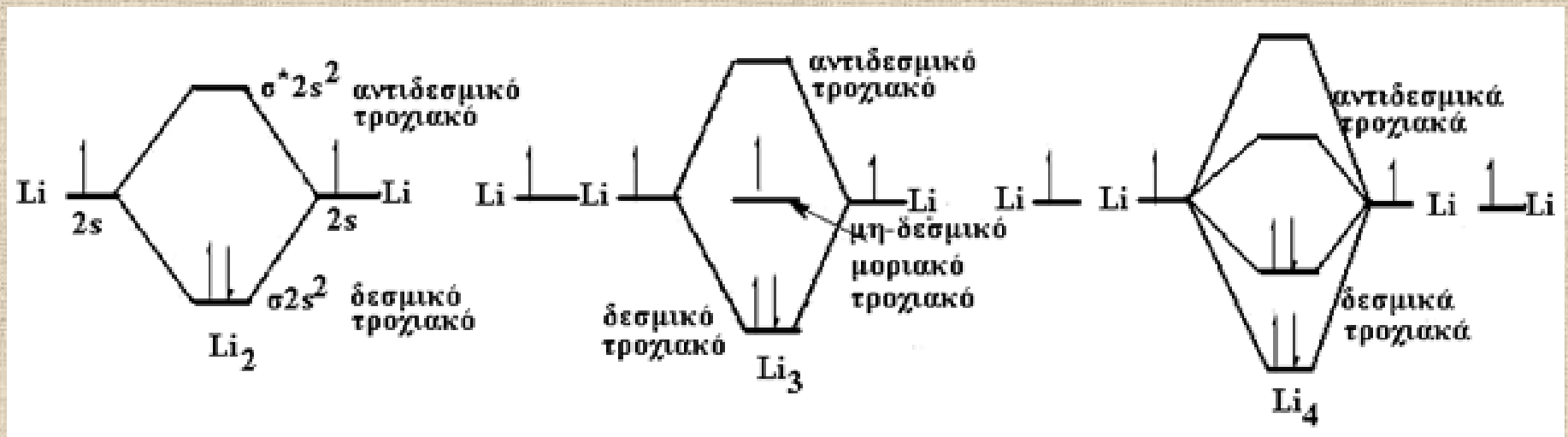
## Μαγνητικές ιδιότητες

## Ελατά και όλκιμα

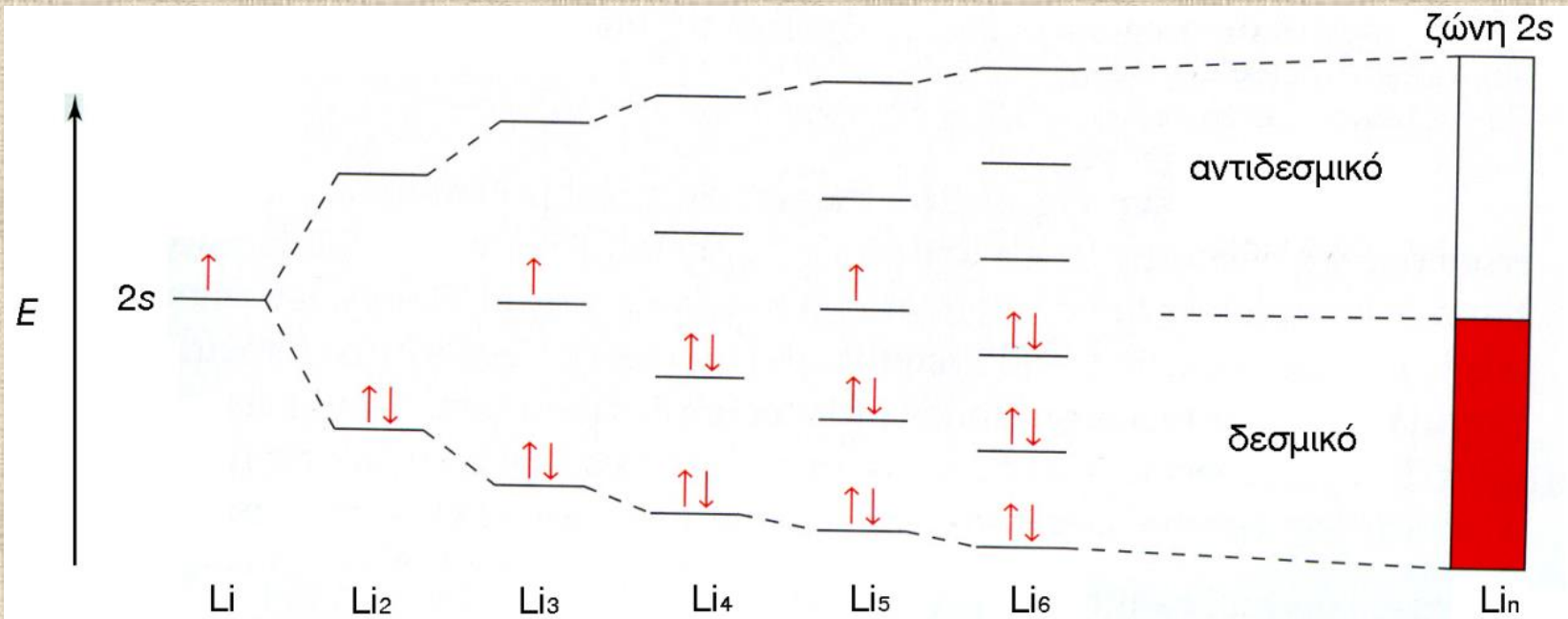


# ΚΒΑΝΤΟΜΗΧΑΝΙΚΗ ΘΕΩΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΔΕΣΜΟΥ

## ΘΕΩΡΙΑ ΖΩΝΩΝ







**N** άτομα  $\text{Li}_2$

**N** μοριακά τροχιακά

$E_{\min}$

in phase combination

$E_{\max}$

out of phase combination

**N-2** ενδιάμεσες ενεργειακές στάθμες

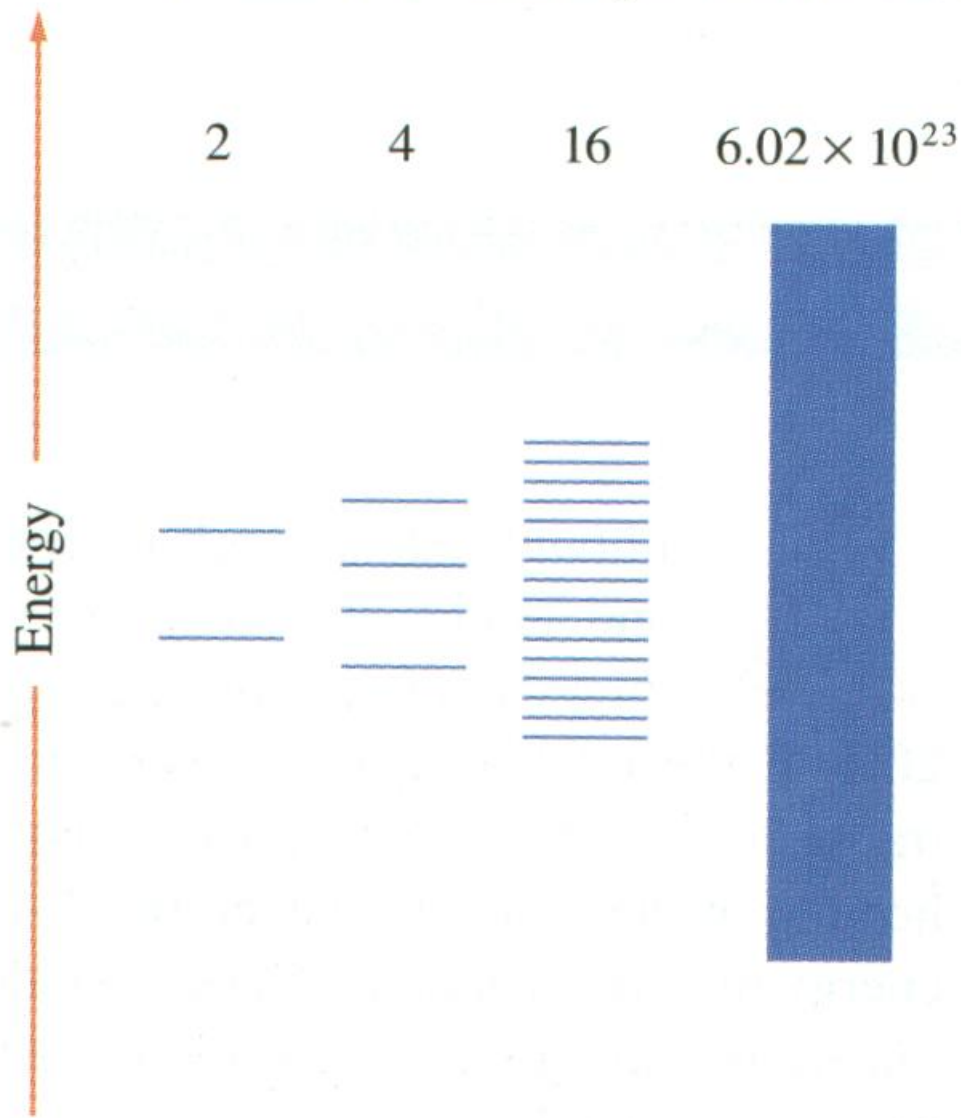
ατομα  $\cong 10^{20}$

μεταλλικός κρύσταλλος  $\longrightarrow$

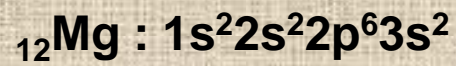
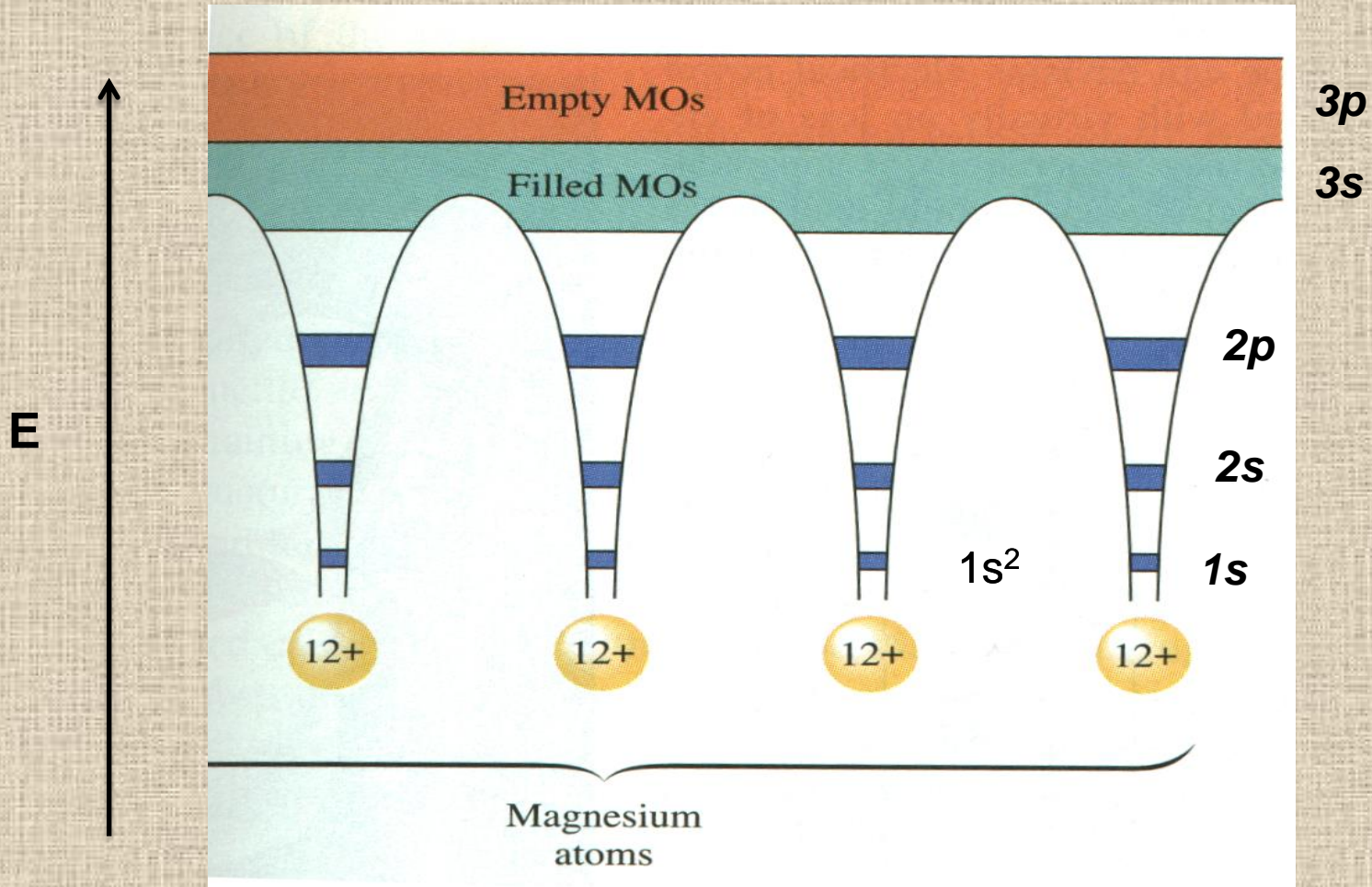
$E_{\max} - E_{\min} \cong 10^{-19} \text{ J}$

$\Delta E \cong 10^{-39} \text{ J}$

# Number of interacting atomic orbitals



# Ενεργειακές ζώνες στον κρύσταλλο Mg



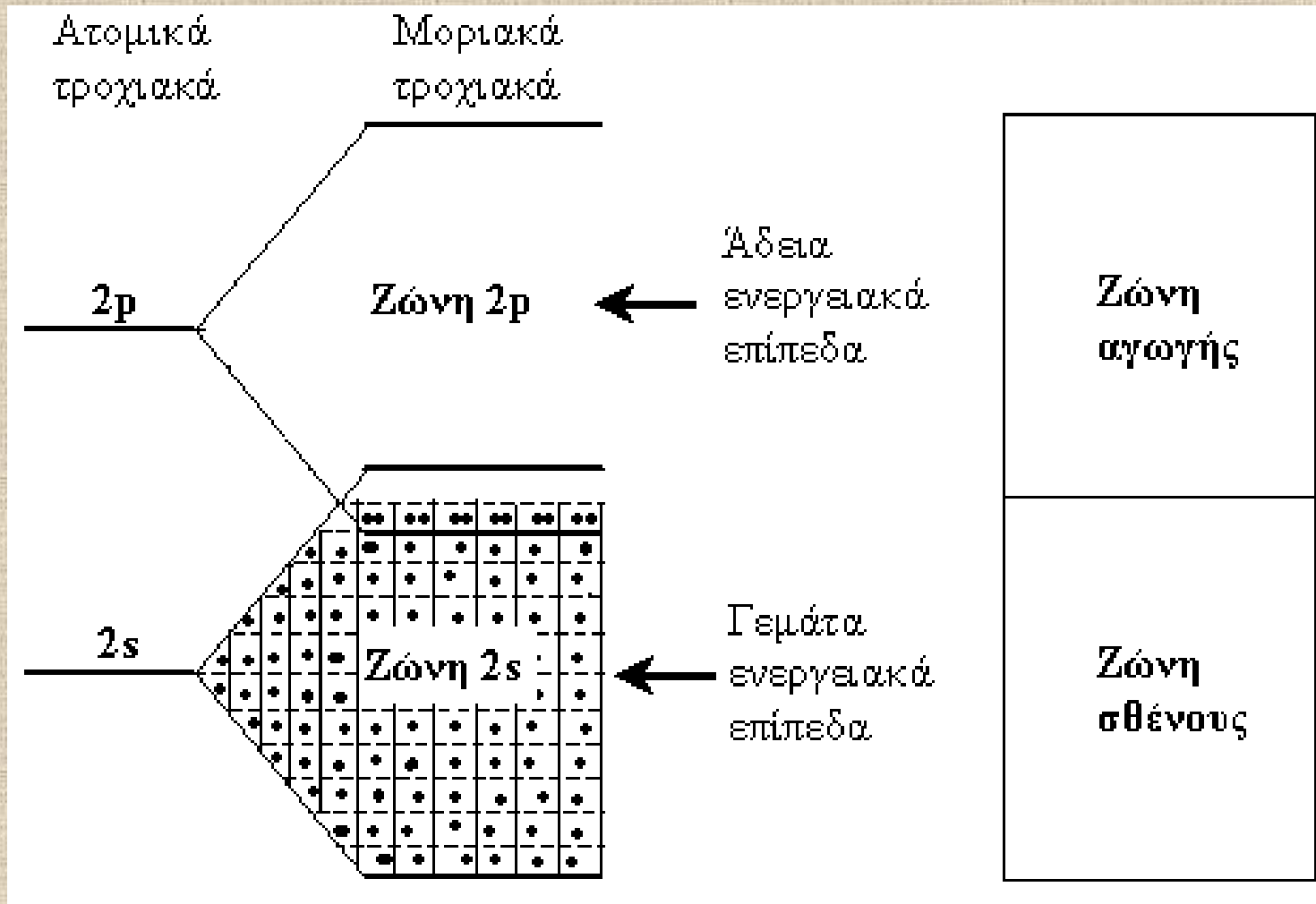
Το ενεργειακό πλάτος της ταινίας 2s για το Li είναι 1eV. Ποια είναι η διαφορά ενέργειας των ενεργειακών σταθμών μιας ταινίας 2s αν ο μεταλλικός κρύσταλλος περιέχει  $10^{23}$  άτομα.

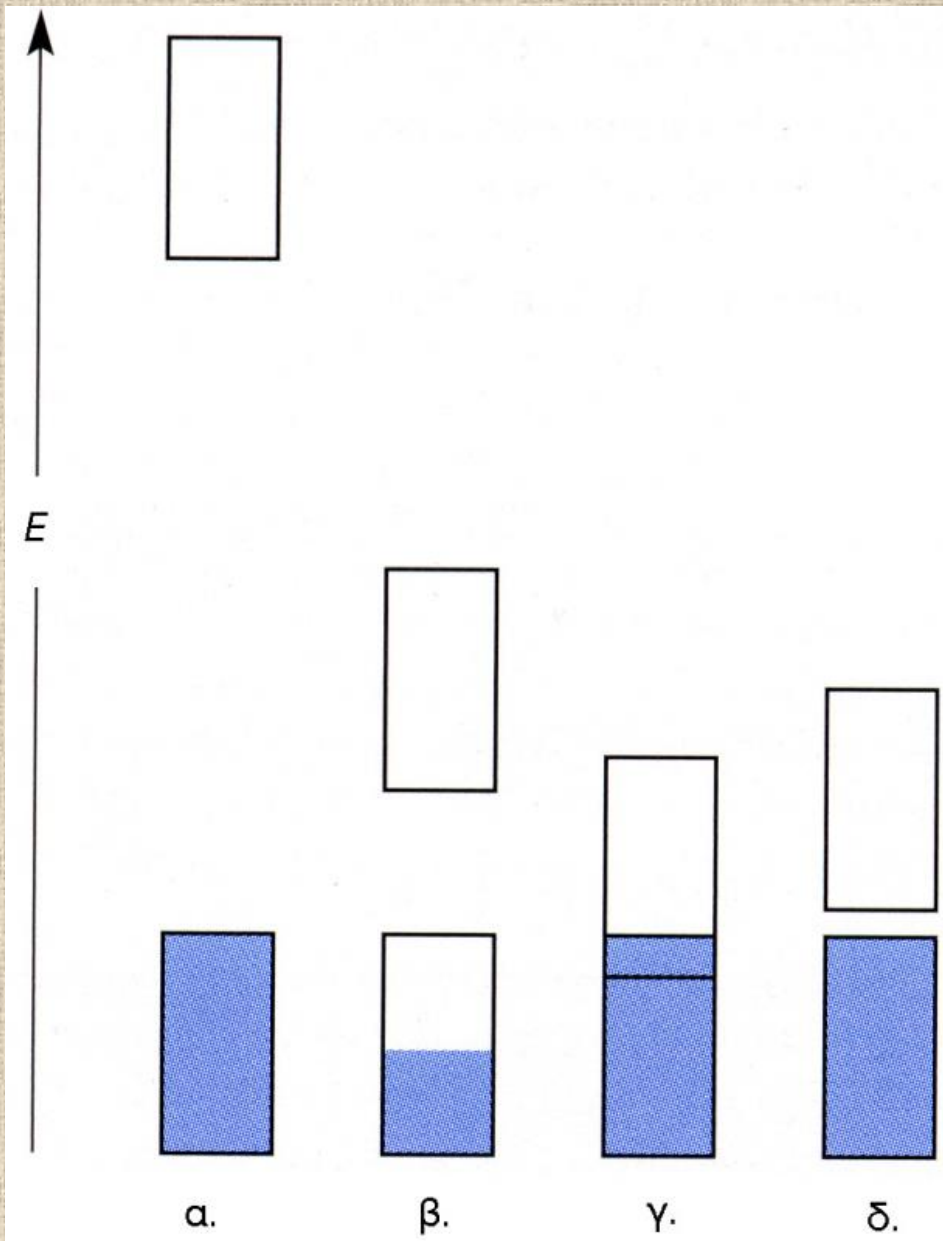
Πόσες ενεργειακές στάθμες υπάρχουν στην 3s ζώνη αγωγιμότητας σε ένα κρύσταλλο Na βάρους 26.8 mg; Πόσα ηλεκτρόνια υπάρχουν στη ζώνη αυτή;

Na:  $1s^2 2s^2 2p^6 3s^1$  ή [Ne]  $3s^1$

A.B. = 23 g/mol

# Σχηματισμός ζωνών στο μεταλλικό Be





Σχηματική ερμηνεία της ηλεκτρικής αγωγιμότητας υλικών με βάση τη θεωρία των ζωνών.

α. μονωτής,

β. και γ. μεταλλικός αγωγός,

δ. ημιαγωγός

Γιατί τα “απλά μέταλλα” (1<sup>η</sup> ομάδα, 2<sup>η</sup> ομάδα, Al)  
είναι καλοί αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος?

Metals, Nonmetals, and Metalloids																																																					
H																	He																																				
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																																				
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar	metals																																			
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																																				
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																																				
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																																				
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uuq	Uur	Uus	Uut	Uuq	Uuq																																				
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr								
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																								
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																								
<table border="1"> <tr> <td colspan="18">metalloids</td> </tr> <tr> <td colspan="18">nonmetals</td> </tr> </table>																		metalloids																		nonmetals																	
metalloids																																																					
nonmetals																																																					

Ηλεκτρονιακή δόμηση: ns np

Πυκνή κρυσταλλική δομή



Υψηλός αριθμός ένταξης



Μεγάλη αλληλεπικάλυψη τροχιακών

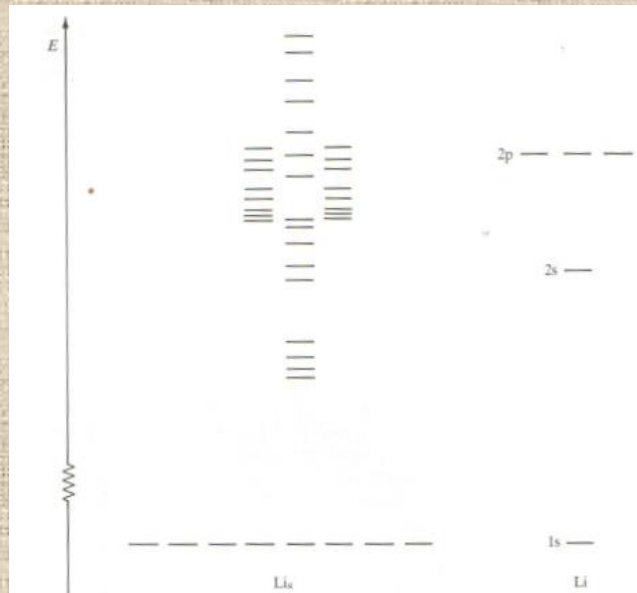


Ευρεία ζώνη ns και np

ns, np : παραπλήσιες ενέργειες



Ενιαία ζώνη ns/np



Για N άτομα



N ns τροχιακά

+

3N np τροχιακά



Σύνολο 4N τροχιακά



Υπάρχουν N, 2N ή 3N e



Πολλές κενές στάθμες



Εύκολη μετακίνηση e

Γιατί τα στοιχεία της 4<sup>ης</sup> ομάδας (C, Si, Ge) είναι ημιαγωγοί?

Metals, Nonmetals, and Metalloids																																													
H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq	Uuq																												
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

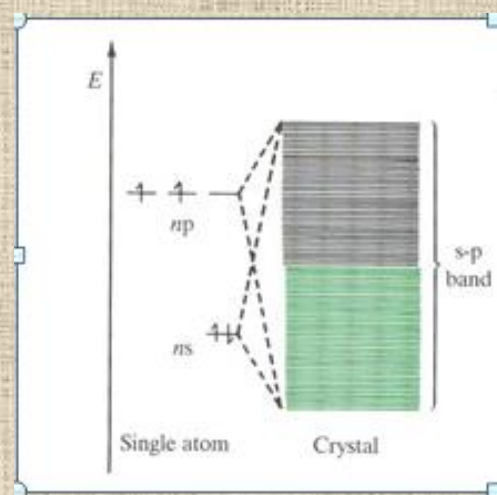
Για N άτομα υπάρχουν 4N ηλεκτρόνια

Πυκνή κρυσταλλική δομή

Ευρεία ζώνη ns και np

Ημιπλήρης ns/np ζώνη

Κάποια e δεν είναι δεσμικά



**σταθερότερη κατάσταση**

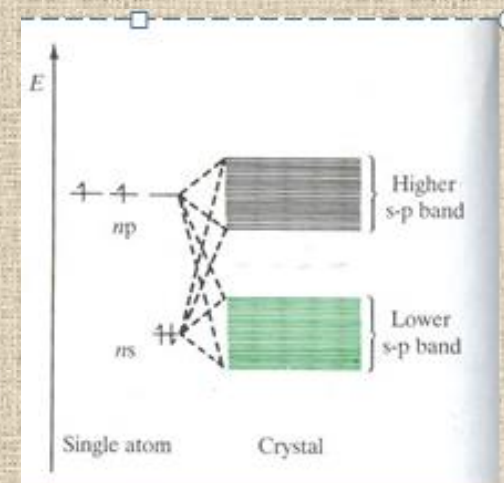
→

Τετραεδρική δομή

Διαχωρισμός ns και np

Πλήρης ns ζώνη

Όλα τα e είναι δεσμικά





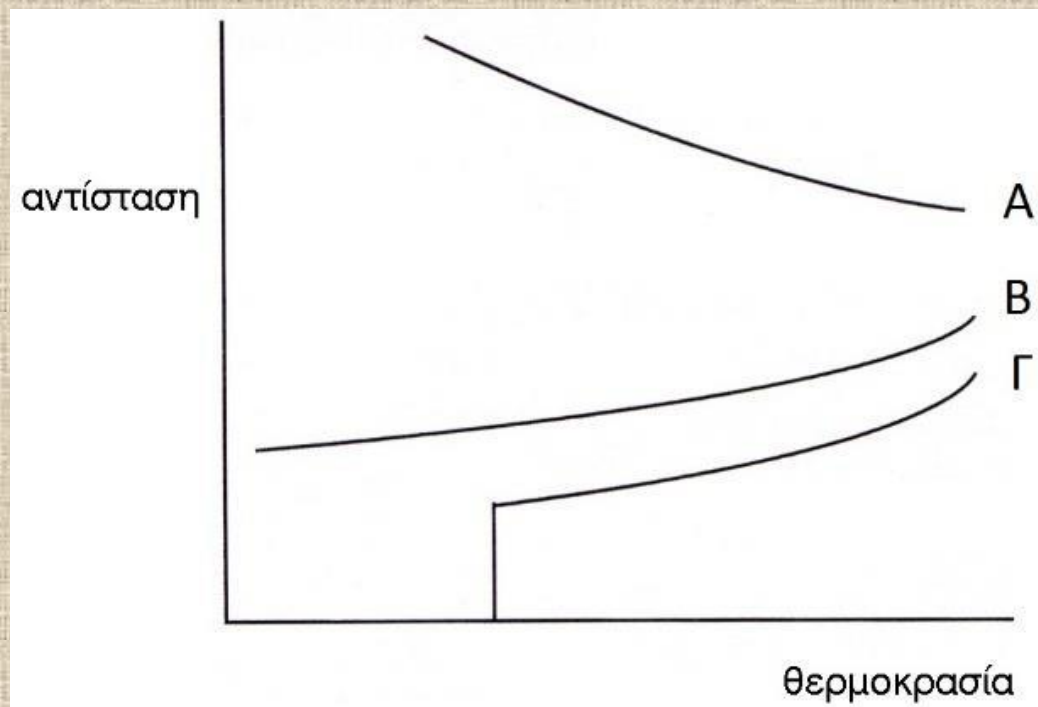
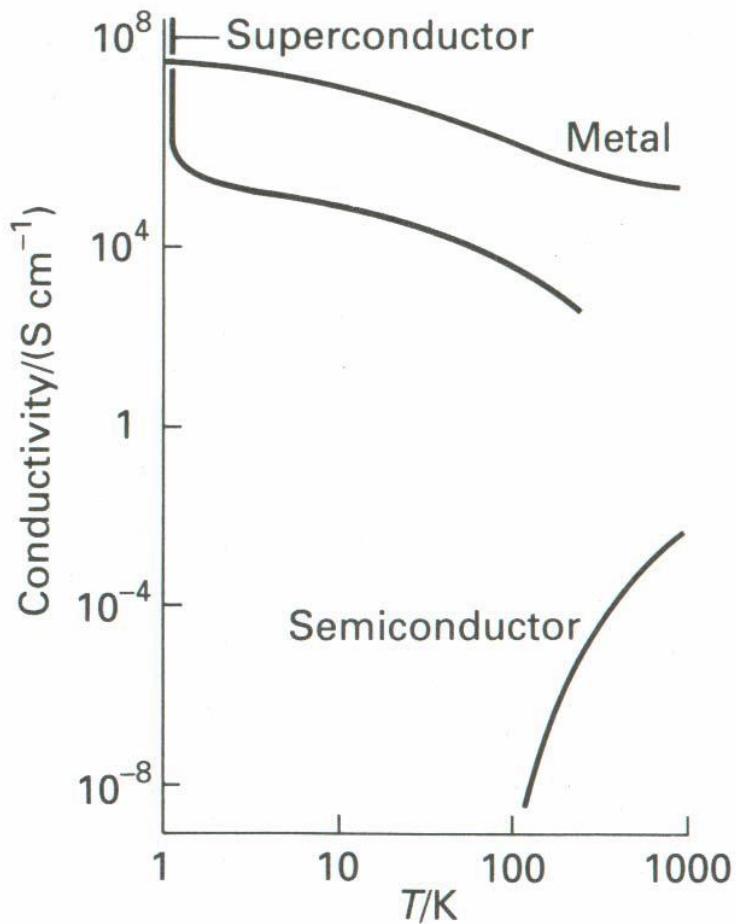
**Band gaps of Group IV elements**

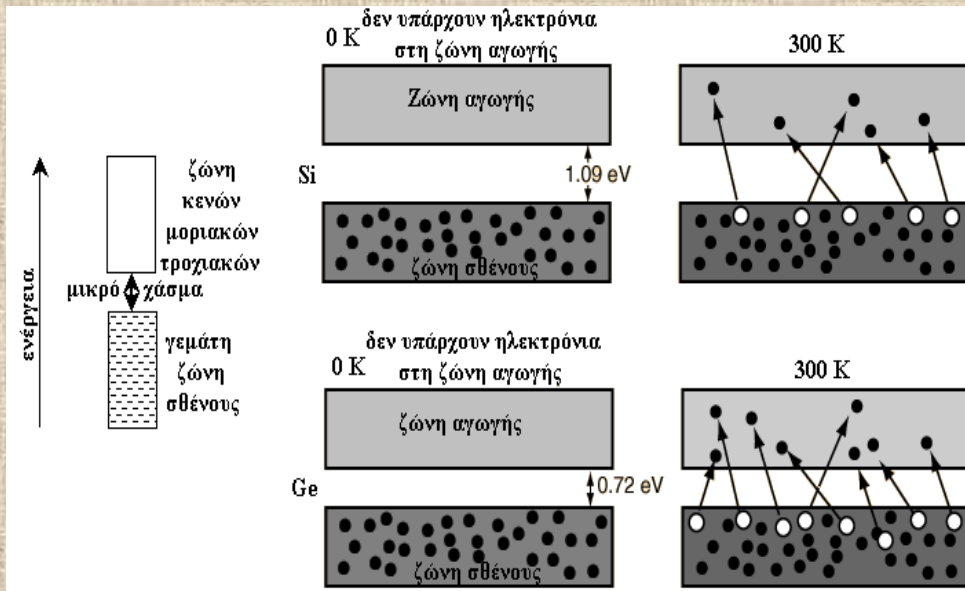
Element	Band Gap	Type of material
C (diamond)	6.0	Insulator
Si	1.1	Semiconductor
Ge	0.7	Semiconductor
Sn (T>13 °C)	0.1	Semiconductor
Sn (T<13 °C)	0	Metal
Pb	0	Metal

Element	C	Si	Ge
Conductivity (S/m)	$10^{-13}$	$1.56 \times 10^{-3}$	2.17

Silver	$6.30 \times 10^7$
Sea water	4.8
Drinking water	$5 \times 10^{-4}$ to $5 \times 10^{-2}$

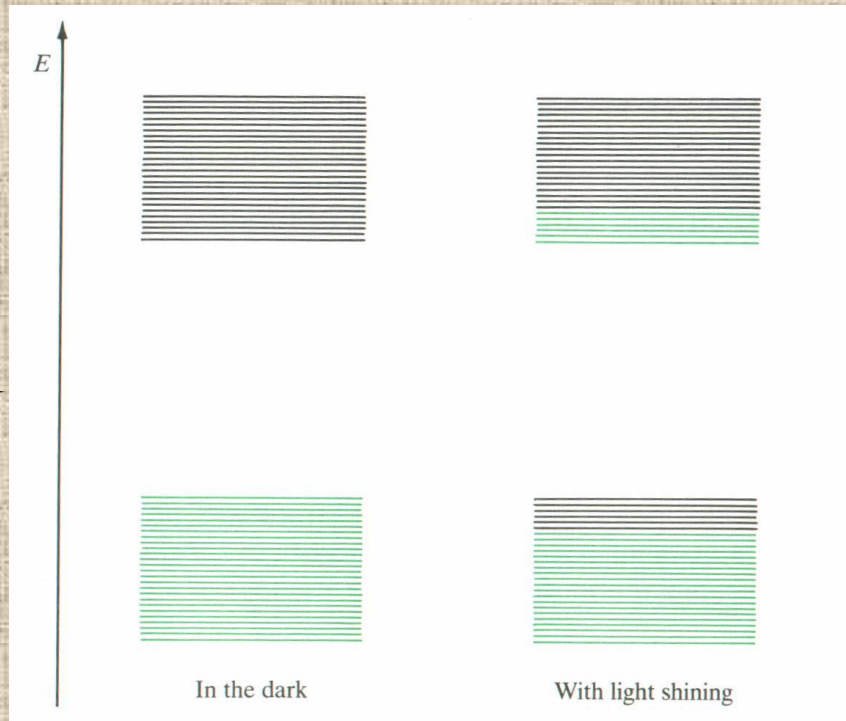
# Σχέση αγωγιμότητας - θερμοκρασίας





**Επίδραση θερμοκρασίας στην αγωγιμότητα ημιαγωγών**

**Επίδραση φωτεινής ακτινοβολίας στην αγωγιμότητα ημιαγωγών**



# Επίδραση προσμίξεων στην αγωγιμότητα

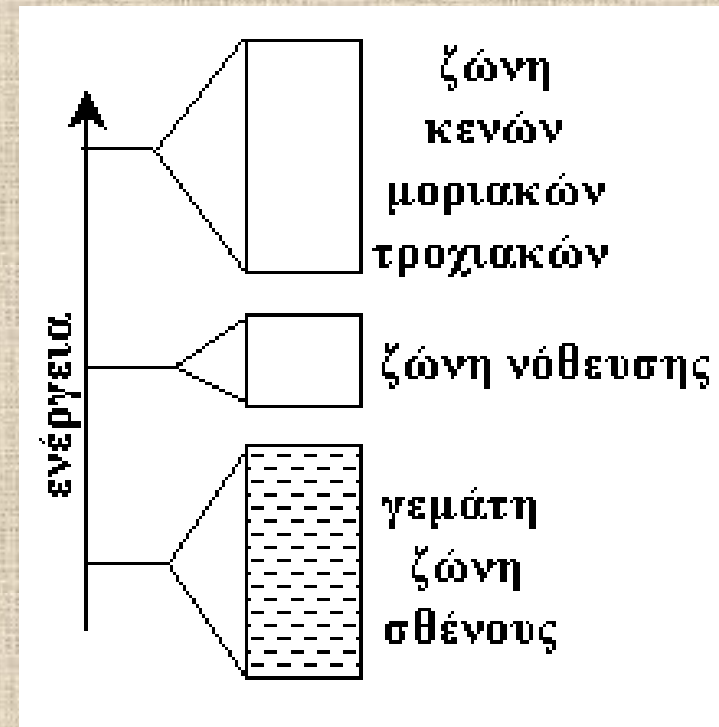
Ημιαγωγοί πρόσμιξης (doped semiconductors):  
δημιουργούνται από εισαγωγή κατάλληλων  
προσμίξεων

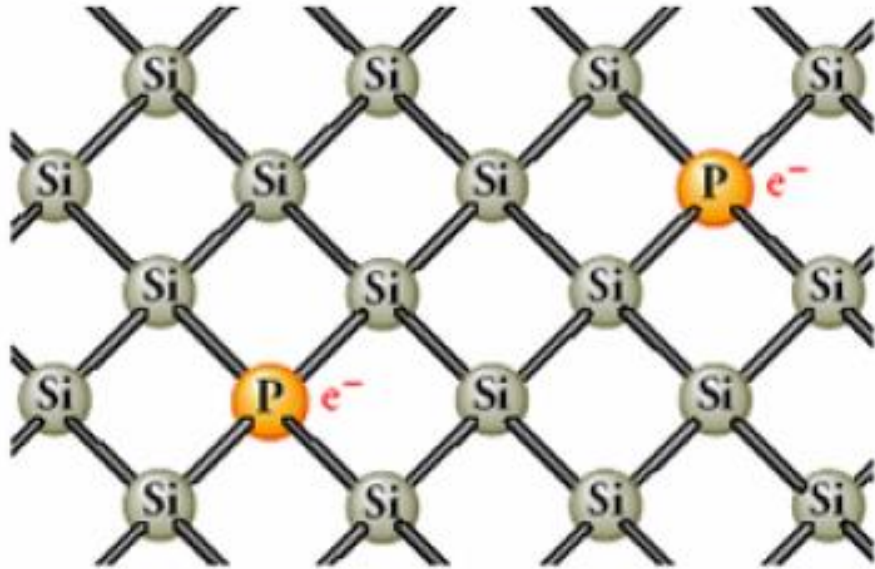


Η πρόσμιξη εισάγει τροχιακά ανάμεσα στις  
ζώνες σθένους και αγωγής



Διευκολύνεται η μετακίνηση ηλεκτρονίων

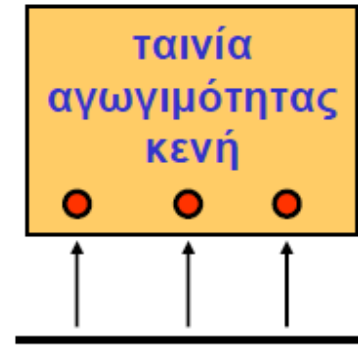




Ημιαγωγός τύπου *n*

$E$

Στάθμη δότη

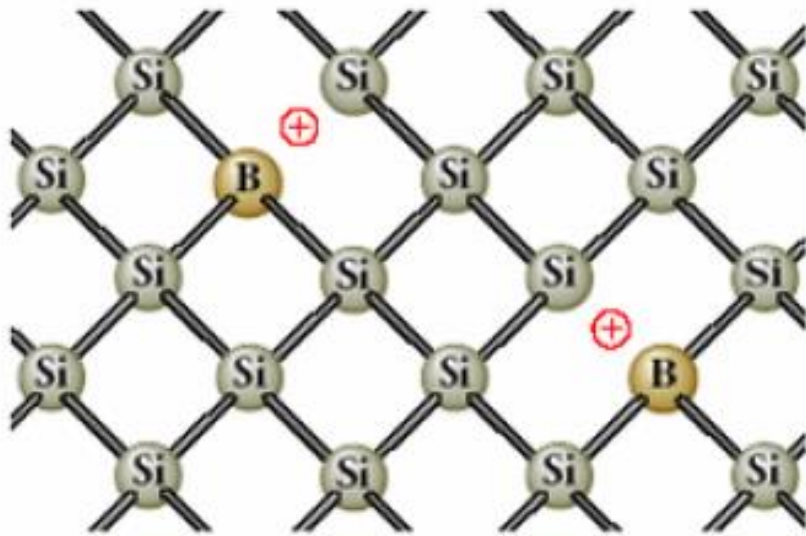


Ημιαγωγός τύπου *n*

Metals, Nonmetals, and Metalloids

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	—	Uuq	—	—	—	—																												
<table border="1"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

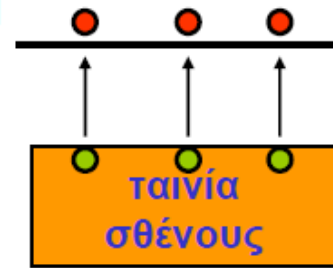
metals  
metalloids  
nonmetals



Ημιαγωγός τύπου p

ταινία  
αγωγιμότητας  
κενή

Στάθμη  
δέκτη



Ημιαγωγός τύπου p

Metals, Nonmetals, and Metalloids

H																	He																												
Li	Be											B	C	N	O	F	Ne																												
Na	Mg											Al	Si	P	S	Cl	Ar																												
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr																												
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe																												
Cs	Ba	La	Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn																												
Fr	Ra	Ac	Rf	Db	Sg	Bh	Hs	Mt	Ds	Rg	Uub	—	Uuq	—	—	—	—																												
<table border="1" style="width: 100%; text-align: center;"> <tr> <td>Ce</td><td>Pr</td><td>Nd</td><td>Pm</td><td>Sm</td><td>Eu</td><td>Gd</td><td>Tb</td><td>Dy</td><td>Ho</td><td>Er</td><td>Tm</td><td>Yb</td><td>Lu</td> </tr> <tr> <td>Th</td><td>Pa</td><td>U</td><td>Np</td><td>Pu</td><td>Am</td><td>Cm</td><td>Bk</td><td>Cf</td><td>Es</td><td>Fm</td><td>Md</td><td>No</td><td>Lr</td> </tr> </table>																		Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr
Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu																																
Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Es	Fm	Md	No	Lr																																

metals
  metalloids
  nonmetals

# Transistor

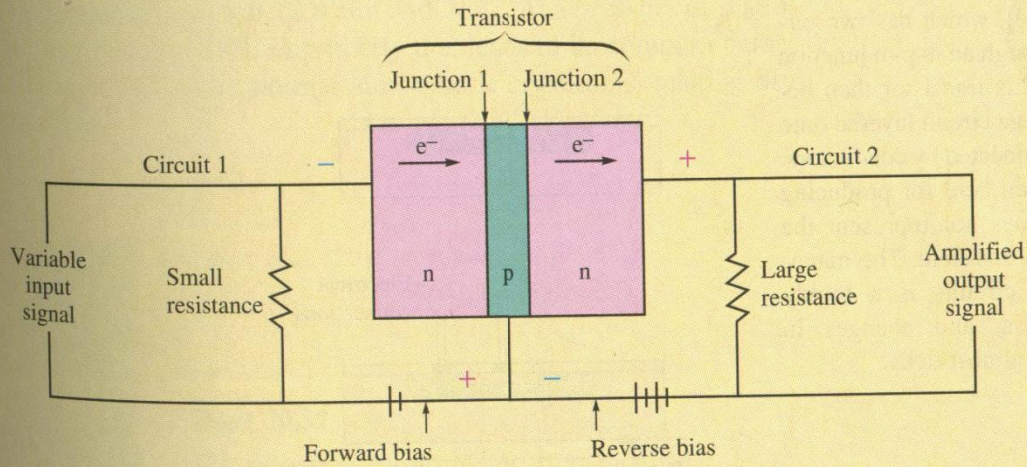
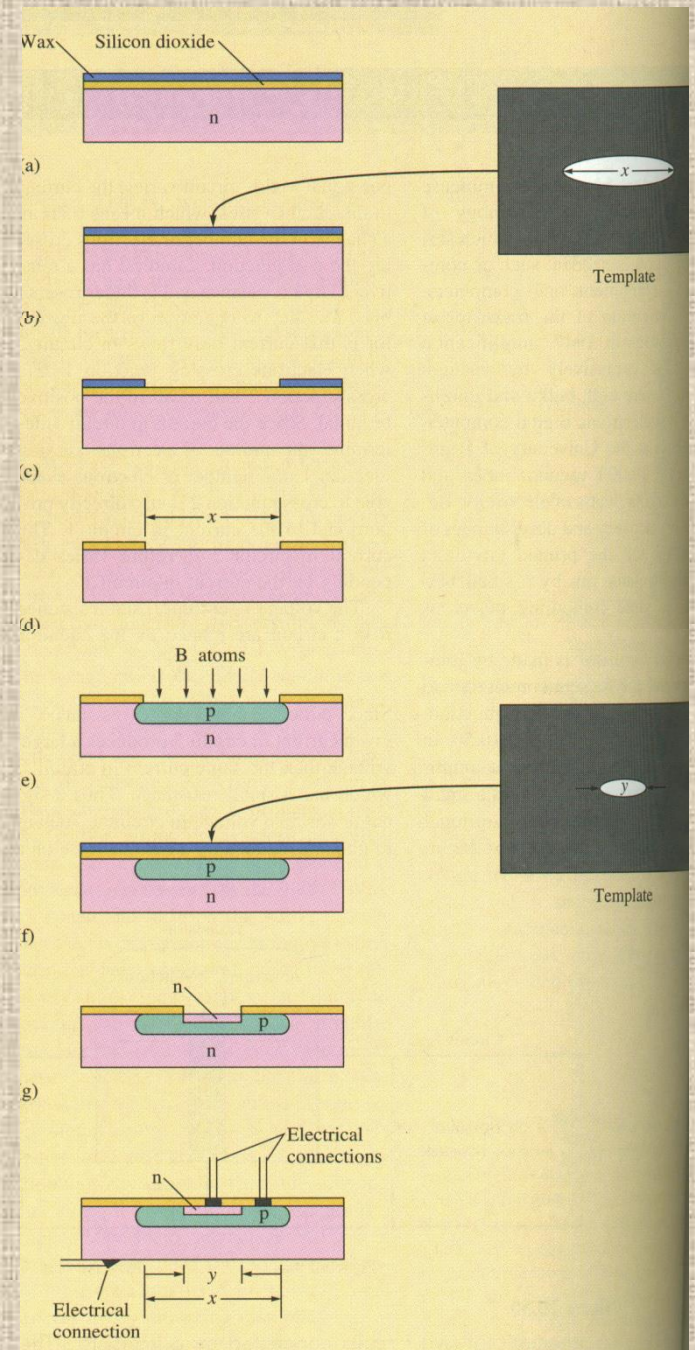
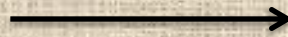


Figure 10.50

# Printed circuits



Πως χαρακτηρίζεται ο τύπος του ημιαγωγού που προκύπτει αν σε έναν κρύσταλλο Ge αντικατασταθούν μερικά άτομα Ge από άτομα i) Sb, ii) Ga. Δικαιολογήστε την απάντησή σας. Δίνονται οι ατομικοί αριθμοί:  $_{32}\text{Ge}$ ,  $_{31}\text{Ga}$  και  $_{51}\text{Sb}$ .

**IUPAC Periodic Table of the Elements**

1 <b>H</b> hydrogen (1.007, 1.009)																	18 <b>He</b> helium 4.003
3 <b>Li</b> lithium (6.938, 6.997)	4 <b>Be</b> beryllium 9.012											5 <b>B</b> boron (10.80, 10.83)	6 <b>C</b> carbon (12.00, 12.02)	7 <b>N</b> nitrogen (14.00, 14.01)	8 <b>O</b> oxygen (15.99, 16.00)	9 <b>F</b> fluorine 19.00	10 <b>Ne</b> neon 20.18
11 <b>Na</b> sodium 22.99	12 <b>Mg</b> magnesium (24.30, 24.31)											13 <b>Al</b> aluminum 26.98	14 <b>Si</b> silicon (28.08, 28.09)	15 <b>P</b> phosphorus 30.97	16 <b>S</b> sulfur (32.06, 32.08)	17 <b>Cl</b> chlorine (35.44, 35.46)	18 <b>Ar</b> argon 39.95
19 <b>K</b> potassium 39.10	20 <b>Ca</b> calcium 40.08	21 <b>Sc</b> scandium 44.96	22 <b>Ti</b> titanium 47.87	23 <b>V</b> vanadium 50.94	24 <b>Cr</b> chromium 52.00	25 <b>Mn</b> manganese 54.94	26 <b>Fe</b> iron 55.85	27 <b>Co</b> cobalt 58.93	28 <b>Ni</b> nickel 58.69	29 <b>Cu</b> copper 63.55	30 <b>Zn</b> zinc (65.382)	31 <b>Ga</b> gallium 69.72	32 <b>Ge</b> germanium 72.63	33 <b>As</b> arsenic 74.92	34 <b>Se</b> selenium 78.97	35 <b>Br</b> bromine (79.90, 79.91)	36 <b>Kr</b> krypton 83.80
37 <b>Rb</b> rubidium 85.47	38 <b>Sr</b> strontium 87.62	39 <b>Y</b> yttrium 88.91	40 <b>Zr</b> zirconium 91.22	41 <b>Nb</b> niobium 92.91	42 <b>Mo</b> molybdenum 95.95	43 <b>Tc</b> technetium	44 <b>Ru</b> ruthenium 101.1	45 <b>Rh</b> rhodium 102.9	46 <b>Pd</b> palladium 106.4	47 <b>Ag</b> silver 107.9	48 <b>Cd</b> cadmium 112.4	49 <b>In</b> indium 114.8	50 <b>Sn</b> tin 118.7	51 <b>Sb</b> antimony 121.8	52 <b>Te</b> tellurium 127.6	53 <b>I</b> iodine 126.9	54 <b>Xe</b> xenon 131.3
55 <b>Cs</b> caesium 132.9	56 <b>Ba</b> barium 137.3	57-71 lanthanoids	72 <b>Hf</b> hafnium 178.5	73 <b>Ta</b> tantalum 180.9	74 <b>W</b> tungsten 183.8	75 <b>Re</b> rhenium 186.2	76 <b>Os</b> osmium 190.2	77 <b>Ir</b> iridium 192.2	78 <b>Pt</b> platinum 195.1	79 <b>Au</b> gold 197.0	80 <b>Hg</b> mercury 200.6	81 <b>Tl</b> thallium (204.3, 204.4)	82 <b>Pb</b> lead 207.2	83 <b>Bi</b> bismuth 209.0	84 <b>Po</b> polonium	85 <b>At</b> astatine	86 <b>Rn</b> radon
87 <b>Fr</b> francium	88 <b>Ra</b> radium	89-103 actinoids	104 <b>Rf</b> rutherfordium	105 <b>Db</b> dubnium	106 <b>Sg</b> seaborgium	107 <b>Bh</b> bohrium	108 <b>Hs</b> hassium	109 <b>Mt</b> meitnerium	110 <b>Ds</b> darmstadtium	111 <b>Rg</b> roentgenium	112 <b>Cn</b> copernicium	113 <b>Uut</b> ununtrium	114 <b>Fl</b> flerovium	115 <b>Uup</b> ununpentium	116 <b>Lv</b> livermorium	117 <b>Uus</b> ununseptium	118 <b>Uuo</b> ununoctium



57 <b>La</b> lanthanum 138.9	58 <b>Ce</b> cerium 140.1	59 <b>Pr</b> praseodymium 140.9	60 <b>Nd</b> neodymium 144.2	61 <b>Pm</b> promethium	62 <b>Sm</b> samarium 150.4	63 <b>Eu</b> europium 152.0	64 <b>Gd</b> gadolinium 157.3	65 <b>Tb</b> terbium 158.9	66 <b>Dy</b> dysprosium 162.5	67 <b>Ho</b> holmium 164.9	68 <b>Er</b> erbium 167.3	69 <b>Tm</b> thulium 168.9	70 <b>Yb</b> ytterbium 173.0	71 <b>Lu</b> lutetium 175.0
89 <b>Ac</b> actinium	90 <b>Th</b> thorium 232.0	91 <b>Pa</b> protactinium 231.0	92 <b>U</b> uranium 238.0	93 <b>Np</b> neptunium	94 <b>Pu</b> plutonium	95 <b>Am</b> americium	96 <b>Cm</b> curium	97 <b>Bk</b> berkelium	98 <b>Cf</b> californium	99 <b>Es</b> einsteinium	100 <b>Fm</b> fermium	101 <b>Md</b> mendelevium	102 <b>No</b> nobelium	103 <b>Lr</b> lawrencium

For notes and updates to this table, see [www.iupac.org](http://www.iupac.org). This version is dated 8 January 2016.  
Copyright © 2016 IUPAC, the International Union of Pure and Applied Chemistry.