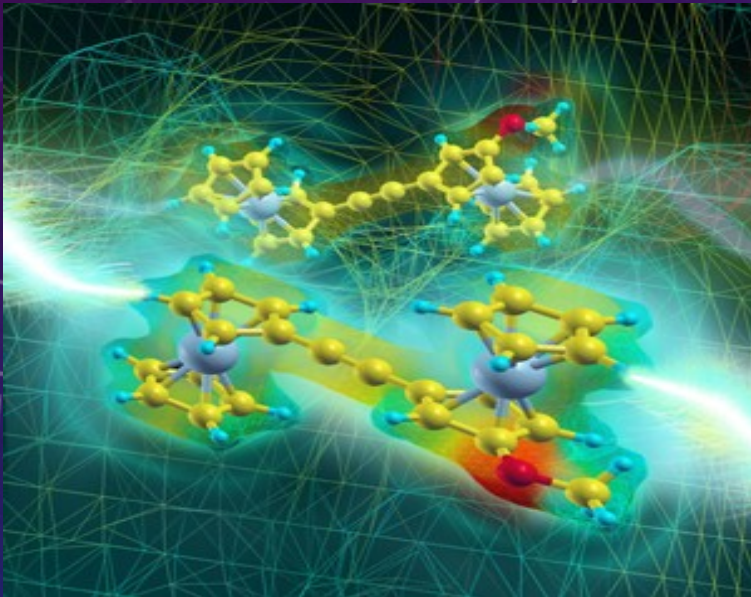


ΗΛΕΚΤΡΟΤΕΧΝΙΚΑ

Υλικά

3ο μέρος

Θεωρητική ανάλυση



μεταλλα

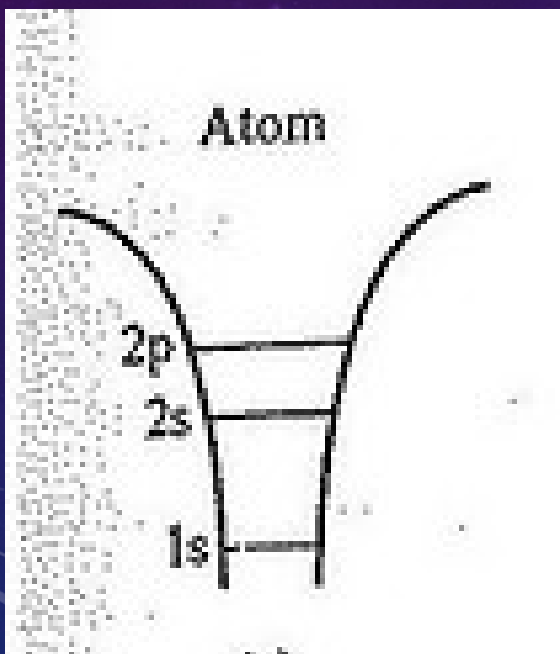
Έχουν κοινές φυσικές ιδιότητες που αποδεικνύεται πως είναι **αλληλένδετες** μεταξύ τους:

- Υψηλή φυσική αντοχή
- Υψηλή πυκνότητα
- Υψηλή ηλεκτρική και θερμική αγωγιμότητα
- Υψηλή ανακλαστικότητα στο ορατό

Τα μετάλλα περιέχουν μεγάλη συγκέντρωση σχεδόν ελεύθερων ηλεκτρονίων που είναι ελεύθερα να κινηθούν μέσα στον κρύσταλλο.

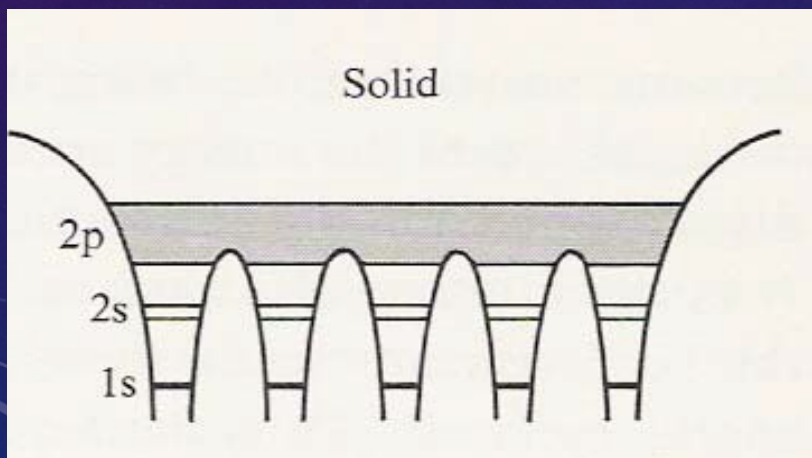
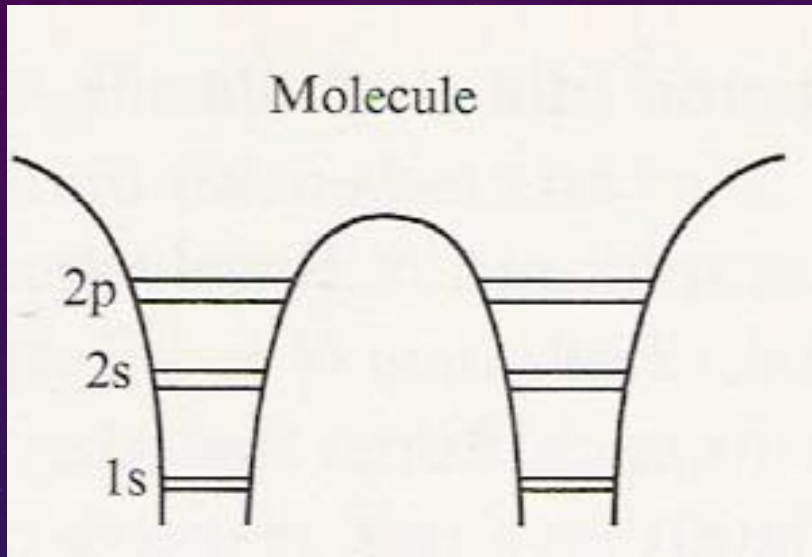
Εντοπισμένα και μη ατομικά τροχιακά

Τα στερεά σχηματίζονται από τη βαθμιαία προσέγγιση ελευθέρων ατόμων και οι ηλεκτρονικές καταστάσεις συγκροτούν ταινίες που προέρχονται από τις επιμέρους καταστάσεις των ελεύθερων ατόμων

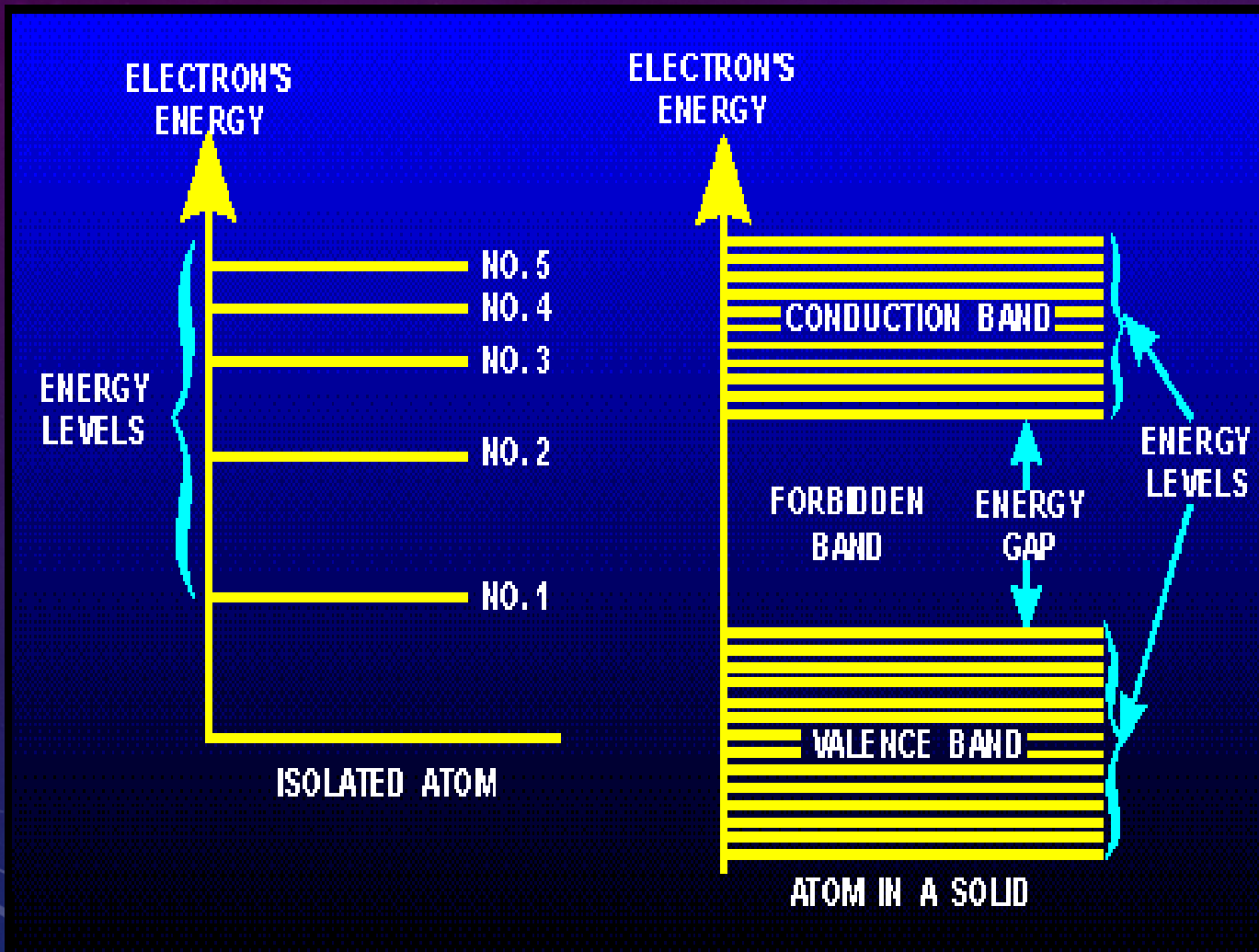


Το e στο άτομο: πηγάδι δυναμικού \rightarrow τα ατομικά τροχιακά είναι εντοπισμένα και φθίνουν εκθετικά αυξανόμενης της απόστασης από το μητρικό άτομο. Οι επιτρεπτές ενέργειες είναι διακριτές.

Εντοπισμένα και μη ατομικά τροχιακά



Εντοπισμένα και μη ατομικά τροχιακά



Τα **μοριακά τροχιακά**, που προκύπτουν από συμμετρικούς και αντισυμμετρικούς συνδυασμούς των ατομικών τροχιακών, δεν είναι εντοπισμένα & περιγράφουν ηλεκτρόνια που κινούνται μέσα στον κρύσταλλο.

Ηλεκτρόνια αγωγιμότητας

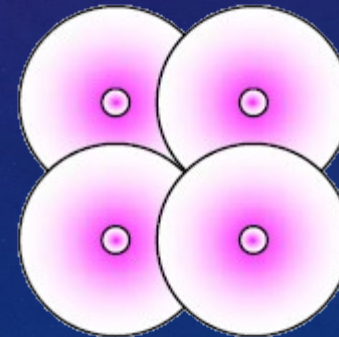
Τα ευκίνητα e που στα ελεύθερα άτομα είναι e σθένους, στα στερεά γίνονται e αγωγιμότητας

Παράδειγμα: Na με δομή bcc έχει 11 e :

- 10 e → τροχιακά Bohr
- 1 e σθένους → χημικές ιδιότητες

Στο Na υπάρχει υπερκάλυψη τροχιακών

- **τα e σθένους δεν είναι εντοπισμένα**
- μετατοπίζονται από άτομο σε άτομο
- ανήκουν σε ολόκληρο τον κρύσταλλο
- γίνονται e αγωγιμότητας
- άγουν το ρεύμα



Ηλεκτρόνια αγωγιμότητας



Το αεριο των ελευθερων ηλεκτρονιων (μοντελο drude)

Βασικές υποθέσεις:

- Τα θετικά μεταλλικά ιόντα κατανέμονται ομοιόμορφα στο στερεό δημιουργώντας ένα θετικά φορτισμένο υπόβαθρο που συμβάλλει στην ηλεκτρική ουδετερότητα και ασκεί μηδενικό πεδίο στα e .
- Το αέριο των e είναι φορτισμένο και έχει μεγάλη πυκνότητα $10^{29}e/m^3$ → Συμπεριφέρεται σαν πυκνό plasma
- Τα ηλεκτρόνια κινούνται ελεύθερα στο στερεό
- Δεν αλληλεπιδρούν με τα ιόντα ή άλλα e
- Υπόκεινται μόνον στο φράγμα δυναμικού της επιφάνειας
- Ενίοτε υφίστανται ανακλάσεις στην επιφάνεια

Το αεριο των ελευθερων ηλεκτρονιων (μοντελο drude)

Εξηγεί:

- Την ηλεκτρική αγωγιμότητα στα μέταλλα
- Τη θερμοκρασιακή εξάρτηση της ειδικής αντίστασης

Αποτυγχάνει:

- Θερμοχωρητικότητα των ηλεκτρονίων αγωγιμότητας

Το αεριο των ελευθερων ηλεκτρονιων (μοντελο drude)

Γιατί το e δεν αλληλεπιδρά με τα ιόντα;;;

Το e κινείται ταχύτατα στην γειτονία των ιόντων επομένως αλληλεπιδρά για μικρούς χρόνους και τον περισσότερο χρόνο βρίσκεται σε περιοχή όπου το δυναμικό είναι ασθενές.

Γιατί το e δεν αλληλεπιδρά με τα άλλα e ;;;

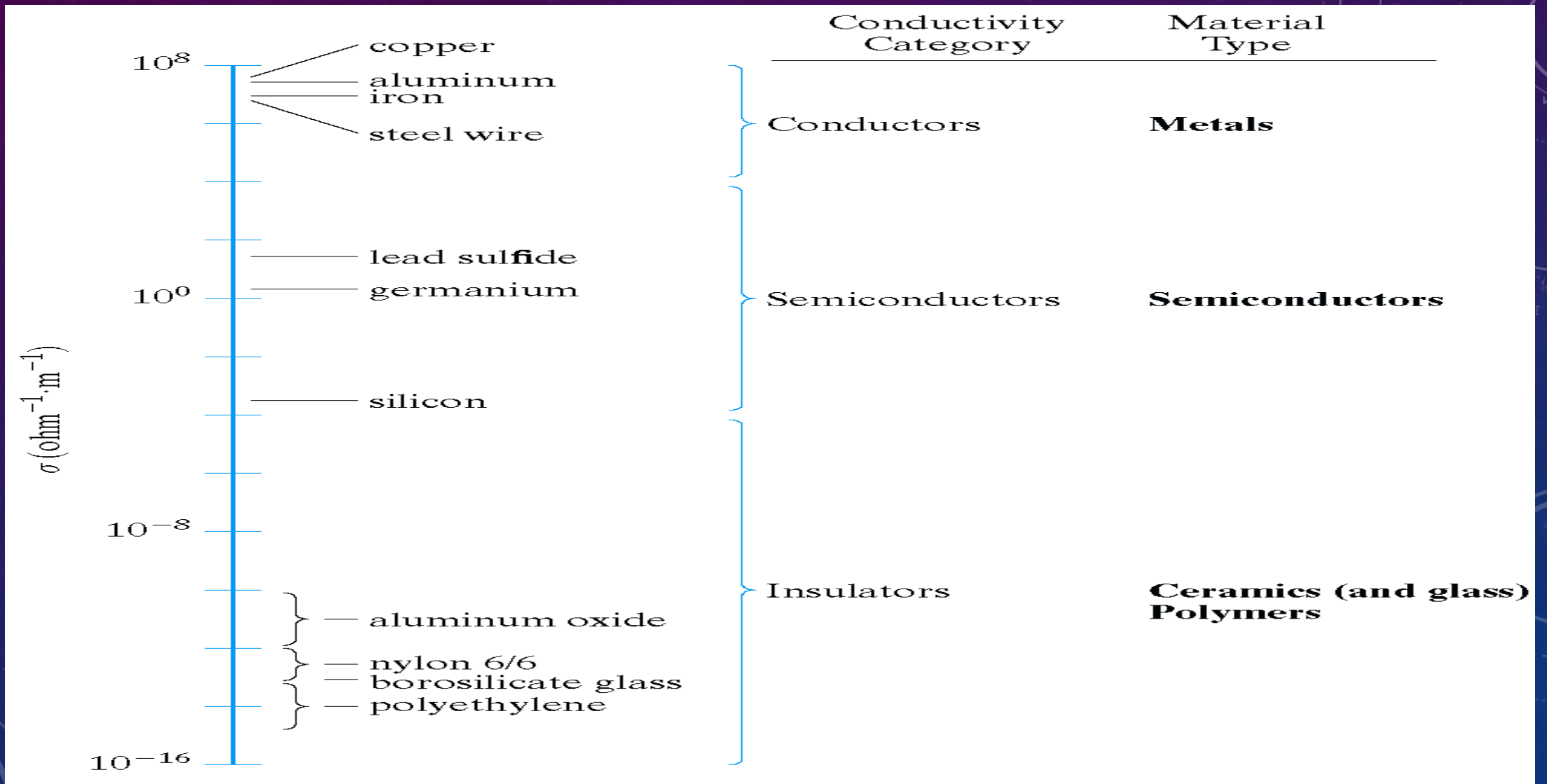
1. Από την απαγορευτική αρχή Pauli τα ηλεκτρόνια με $\uparrow\uparrow$ spin τείνουν να είναι απομακρυσμένα.
2. Τα e περιβάλλονται από μία σφαιρική περιοχή κενή άλλων e (οπή Fermi) με $r \cong 1 \text{ \AA}$ επομένως μικρή αλληλεπίδραση e .

Το αεριο των ελευθερων ηλεκτρονιων (μοντελο drude)

Αγωγιμότητα σ

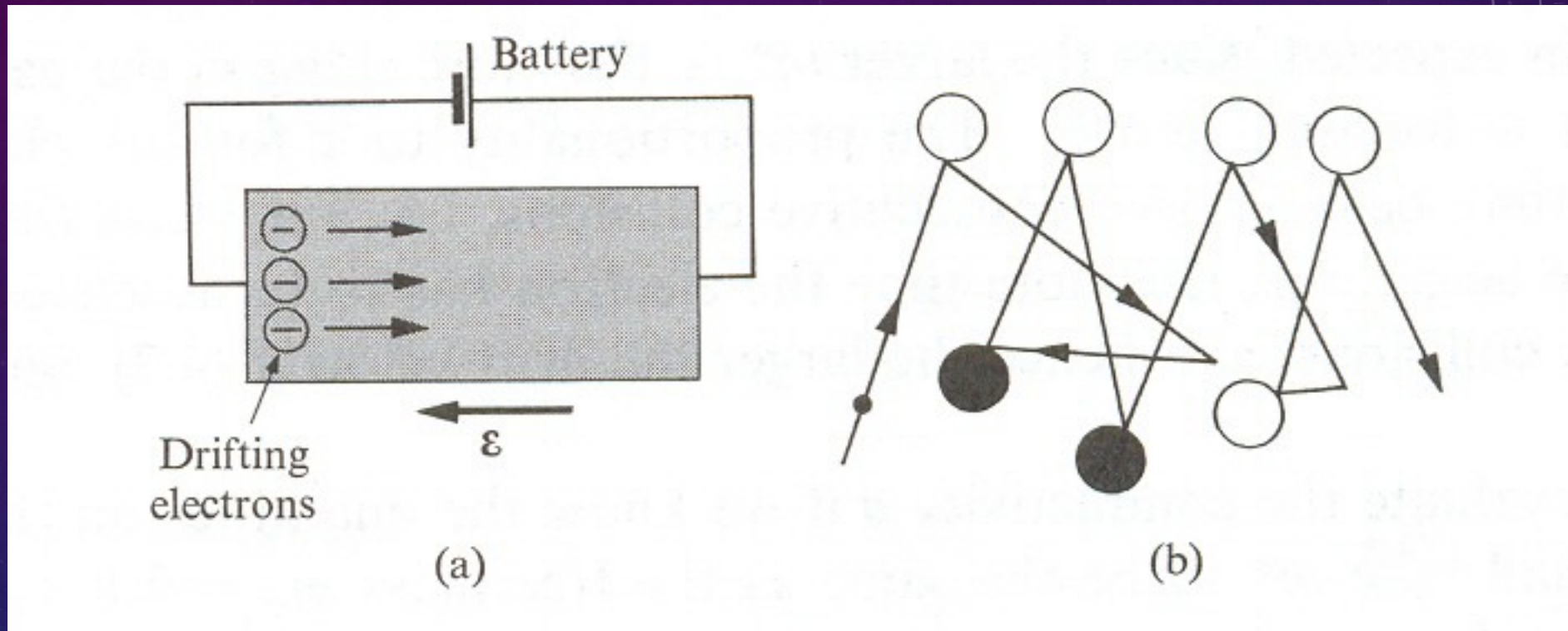


Αγωγιμότητα σ



Μέση ελεύθερη διαδρομή των φορέων



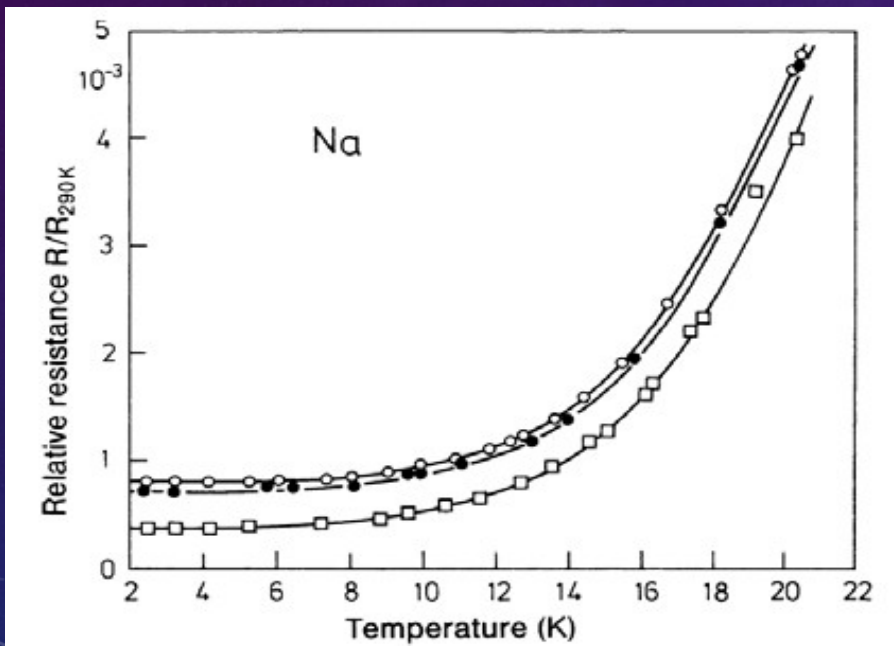


Σχόλιο : μείωση των σκεδάσεων \Leftrightarrow αύξηση του $I \Leftrightarrow$ αύξηση της αγωγιμότητας σ .

ειδική αντίσταση των μετάλλων



ειδική αντίσταση των μετάλλων



Η ειδική ηλεκτρική αντίσταση του Na συναρτήσεται της T (για 3 δείγματα με διαφορετική συγκέντρωση ατελειών). Για $T < 8$ K παρατηρείται μία θερμοκρασιακά ανεξάρτητη εναπομένουσα αντίσταση, που εξαρτάται από την συγκέντρωση ατελειών. Σε υψηλότερες θερμοκρασίες, κυριαρχεί η συνιστώσα που περιγράφεται από τον τύπο του Gruneisen (9.62), και για $T > 18$ K, η ρ_{ph} εξαρτάται γραμμικά από την T ($\rho_{ph} \sim T$).

Θερμωρητικότητα των ε Αγωγιμότητας



Μοντέλο Sommerfeld ή jellium model



Μοντέλο Sommerfeld ή jellium model

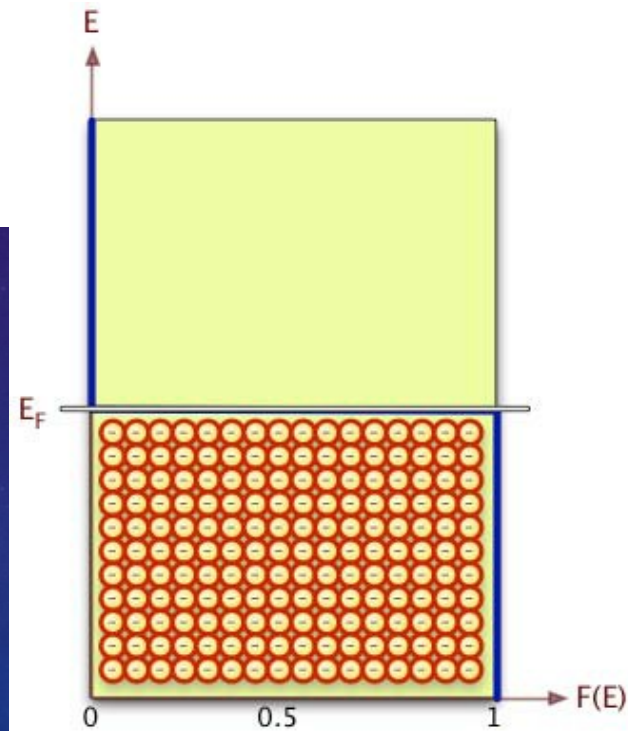
Εξηγεί:

- αγωγιμότητα πολυσθενών μετάλλων
- θετικό συντελεστή Hall

Αποτυγχάνει:

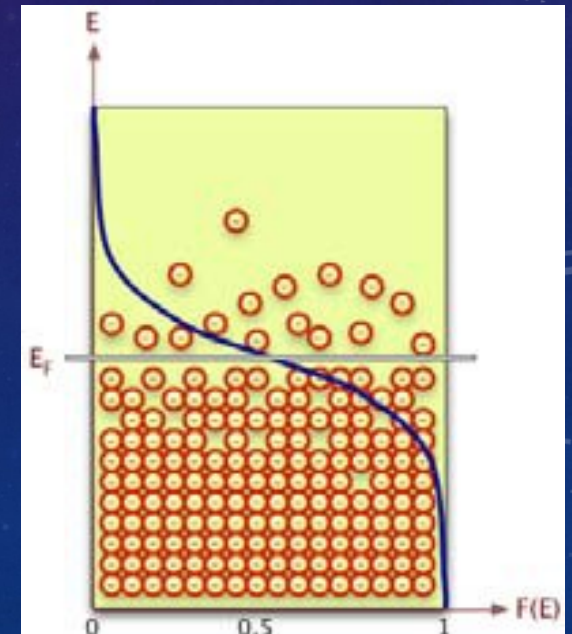
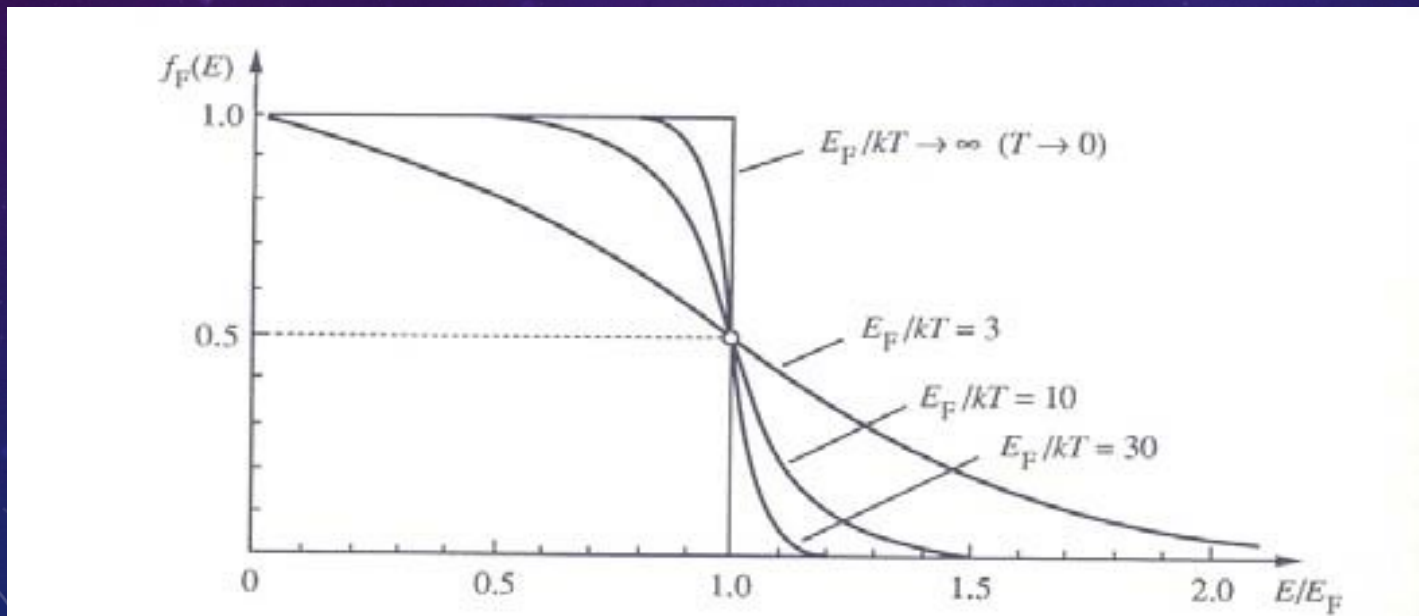
- Επίδραση του πλέγματος

Στατιστική fermi



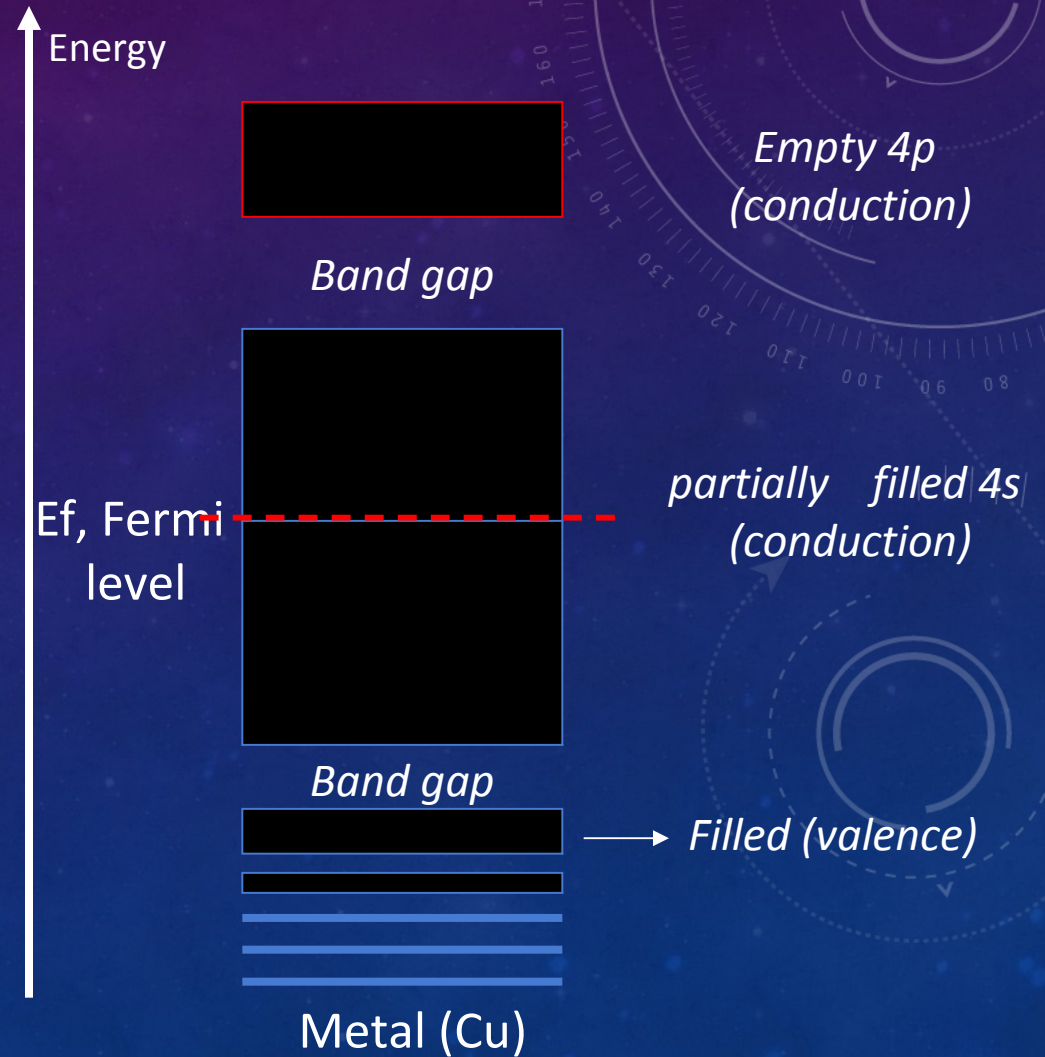
Στατιστική fermi

- Η $f(E)$ δίνει την πιθανότητα στάθμη ενέργειας E να είναι κατειλημμένη.
- Η ενέργεια της υψηλότερης κατειλημμένης στάθμης ονομάζεται ενέργεια Fermi ή στάθμη Fermi E_F .



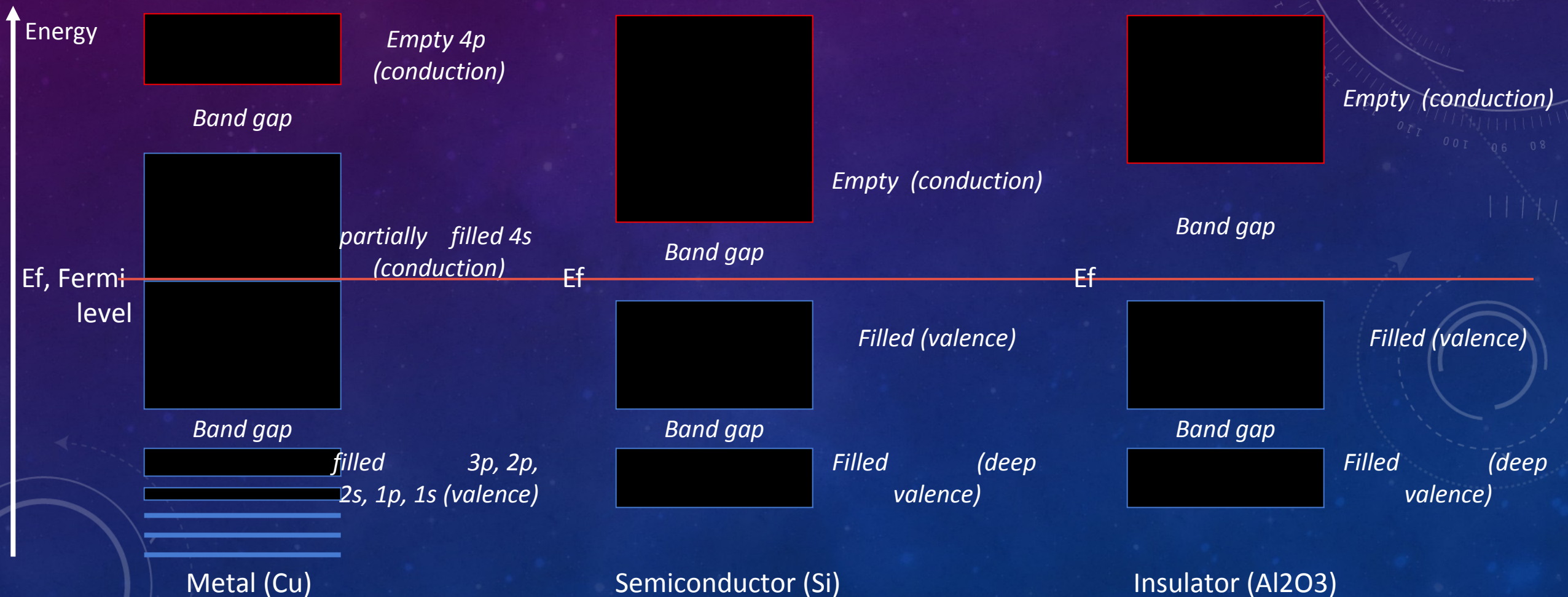
Στατιστική fermi

- Όταν $T > 0$ K τα μόνα e που μπορούν να απορροφήσουν ενέργεια είναι αυτά κοντά στην EF, $(E_F \pm kT)$ αφού μόνον αυτά μπορούν να ανεβούν σε υψηλότερες στάθμες χωρίς να παραβιάσουν την αρχή του Pauli.
- Όταν υπάρχει κενό (band gap) μεταξύ των γεμάτων και άδειων καταστάσεων το υλικό είναι είτε ημιαγωγός (semiconductor), είτε μονωτής (insulator)
- Όταν δεν υπάρχει κενό (band gap) μεταξύ των γεμάτων και άδειων καταστάσεων το υλικό είναι αγωγός (conductor)



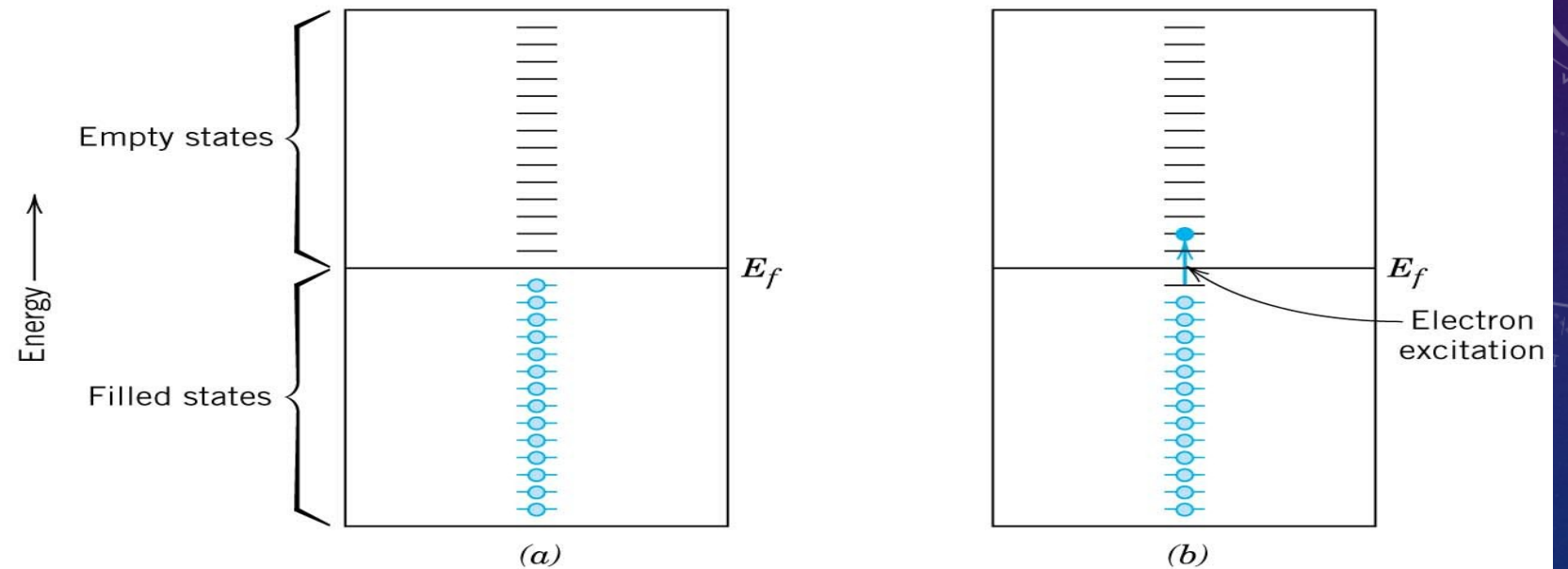
Στατιστική fermi

- Ημιαγωγοί και μονωτές έχουν πλήρης τις ζώνες σθένους και κενές τις ζώνες αγωγιμότητας με ένα κενό (bandgap) μεταξύ τους. Η στάθμη Fermi βρίσκεται μέσα στο κενό.
- Η διαφορά μεταξύ ημιαγωγών και μονωτών είναι η έκταση του κενού $< \text{or} > 2 \text{ eV}$, αντίστοιχα.



Στατιστική fermi

FIGURE 18.5 For a metal, occupancy of electron states (a) before and (b) after an electron excitation.



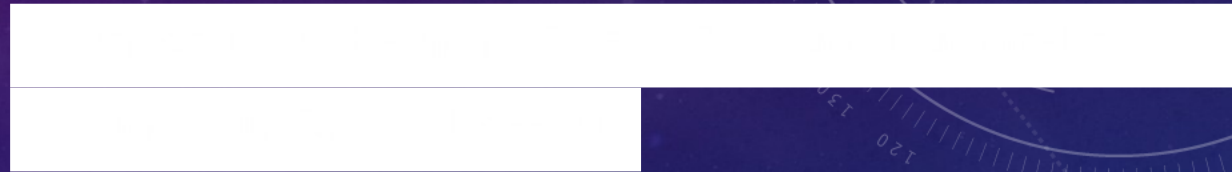
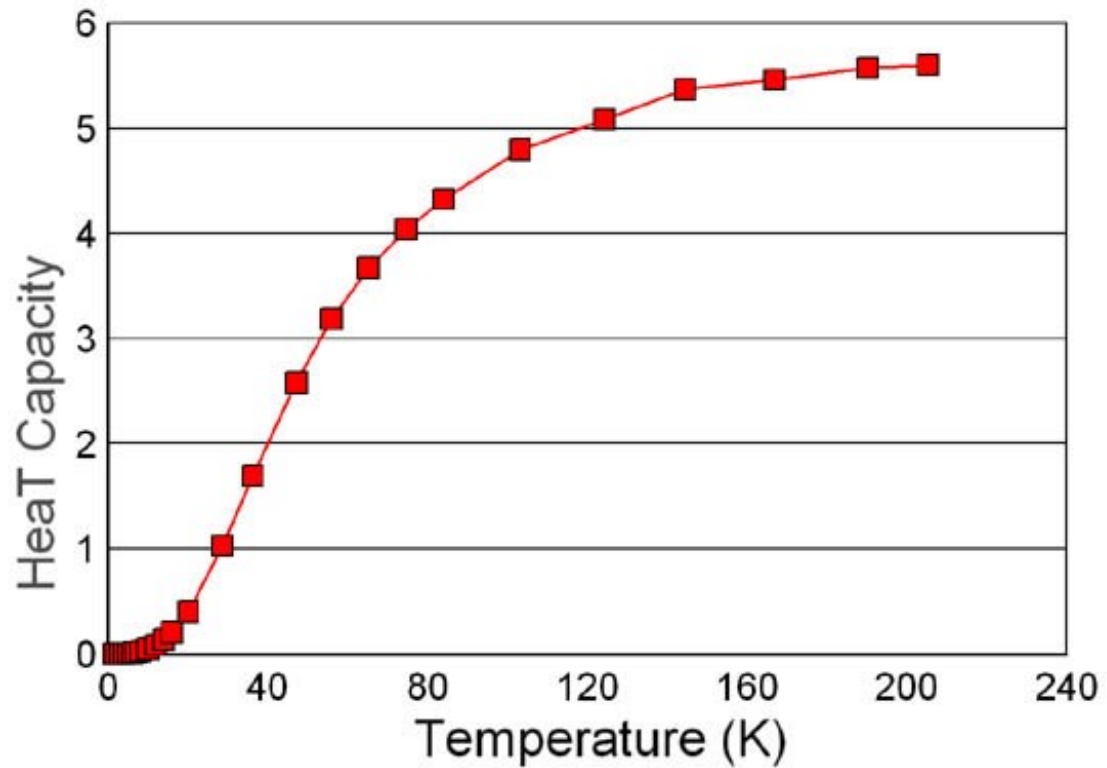
- Όταν το ηλεκτρόνιο μεταπηδήσει σε άλλη κατάσταση είτε πάνω την στάθμη Fermi η προηγούμενη θέση του μένει "κενή" και θεωρείται ως σπή.
- Η σπή συμπεριφέρεται ίδια με ένα ηλεκτρόνιο αλλά έχει αντίθετο φορτίο. Μπορεί να συνεισφέρει στην αγωγιμότητα

Στατιστική fermi



Πειραματικός προσδιορισμός θερμοχωρητικότητας

Heat Capacity of Silver



Θερμική αγωγιμότητα μετάλλων

Νόμος Wiedemann-Fraz : Ο λόγος της θερμικής προς της ηλεκτρική αγωγιμότητα ενός μετάλλου είναι ανάλογη της θερμοκρασίας.

