



ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι

Ενότητα 2: Ένωση ρη

Χατζόπουλος Αλκιβιάδης

Τμήμα Ηλεκτρολόγων Μηχανικών και Μηχ. Υπολογιστών



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Άδειες Χρήσης

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό υπόκειται σε άδειες χρήσης Creative Commons.
- Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

- Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στα πλαίσια του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα.
- Το έργο «Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.
- Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



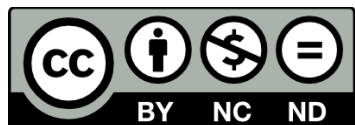
Σχεδιασμός ενοτήτων:

- 1. Ημιαγωγική δίοδος
- 2. Ένωση pn
- 3. Τρανζίστορ FET
- 4. Πόλωση των FET - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 5. Ενισχυτές με FET
- 6. Διπολικό τρανζίστορ (BJT)
- 7. Πόλωση των BJT - Ισοδύναμα κυκλώματα
- 8. Ενισχυτές με διπολικά τρανζίστορ
- 9. Ενισχυτές με ενεργό φορτίο
- 10. Κατασκευή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων





ΕΝΩΣΗ ρη



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
επένδυση στην κοινωνία της γνώσης

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
πρόγραμμα για την ανάπτυξη
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Περιεχόμενα ενότητας

1. Εισαγωγή – αγωγιμότητα υλικών (διαφ. 5-12)
2. Προσμίξεις και επίδρασή τους στην αγωγιμότητα (διαφ. 13- 20)
3. Φαινόμενα κατά την ισορροπία της επαφής και σε συνθήκες πόλωσης (διαφ. 21- 28)
4. Χωρητικότητες και διάσπαση (διαφ. 29-30)



Κρυσταλλικοί δεσμοί (1/2)

Μέταλλα

(ελευθέρα ηλεκτρόνια, υψηλή αγωγιμότητα)

Ιονικοί κρύσταλλοι

(αγωγιμότητα με κίνηση ιόντων \Rightarrow μικρή)

Μοριακοί κρύσταλλοι

(δυνάμεις Van der Waals, μονωτές ή διηλεκτρικά)

Ομοιοπολικοί κρύσταλλοι

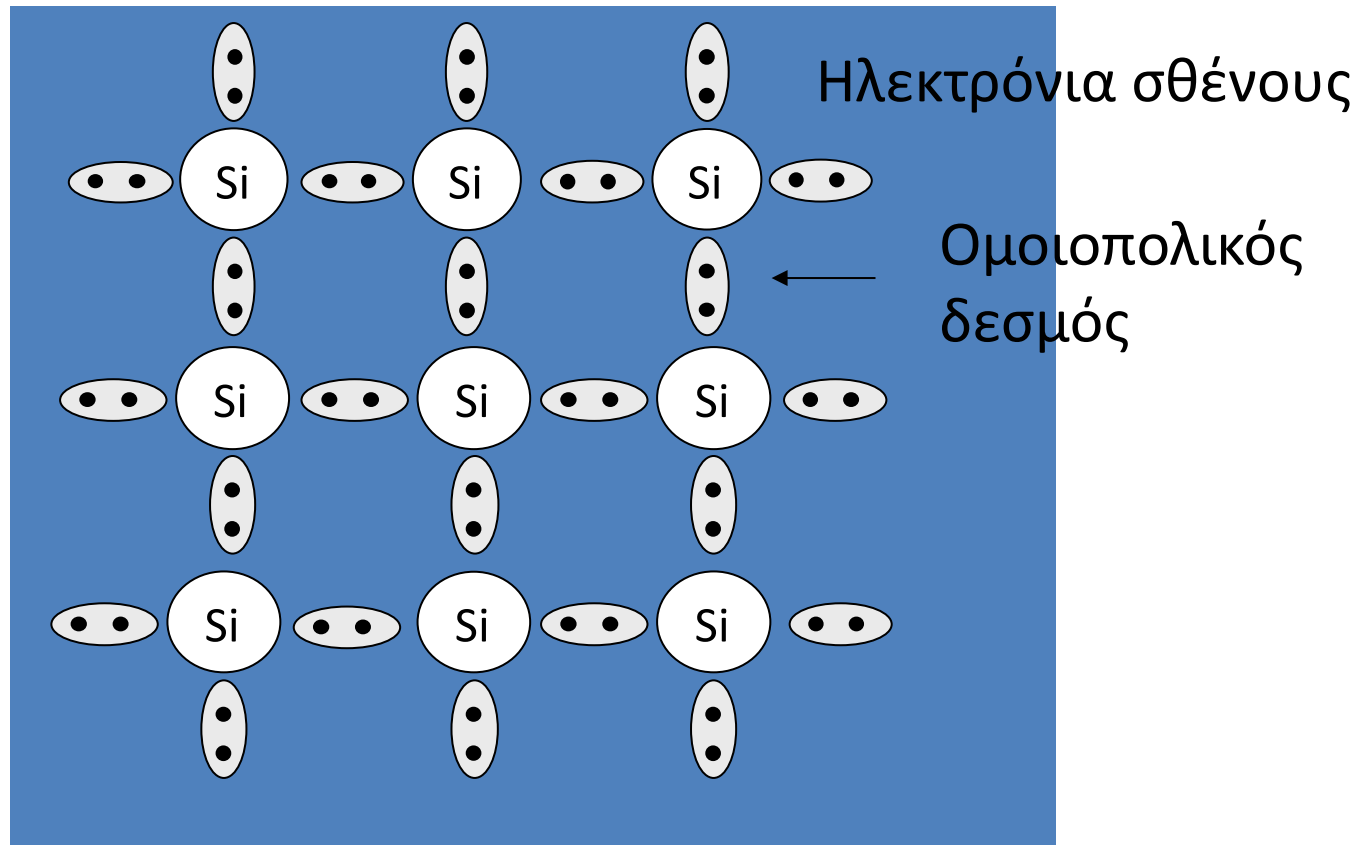
(Ομοιοπολικοί δεσμοί, ελάχιστη αγωγιμότητα)



Κρυσταλλικοί δεσμοί (2/2)

Κρυσταλλική δομή πυριτίου

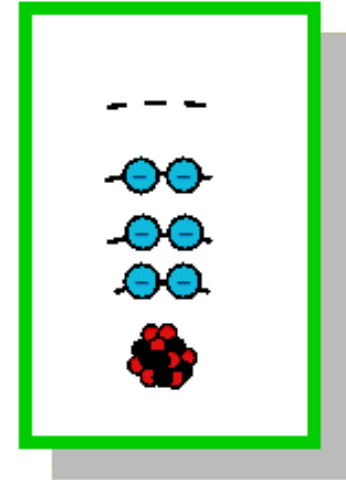
(τετρασθενή άτομα)



Ενεργειακές στάθμες

Εξίσωση Schroedinger \Rightarrow

$$\nabla^2 \Psi(r) = - (2 m (E-V)/h^2) \Psi(r)$$



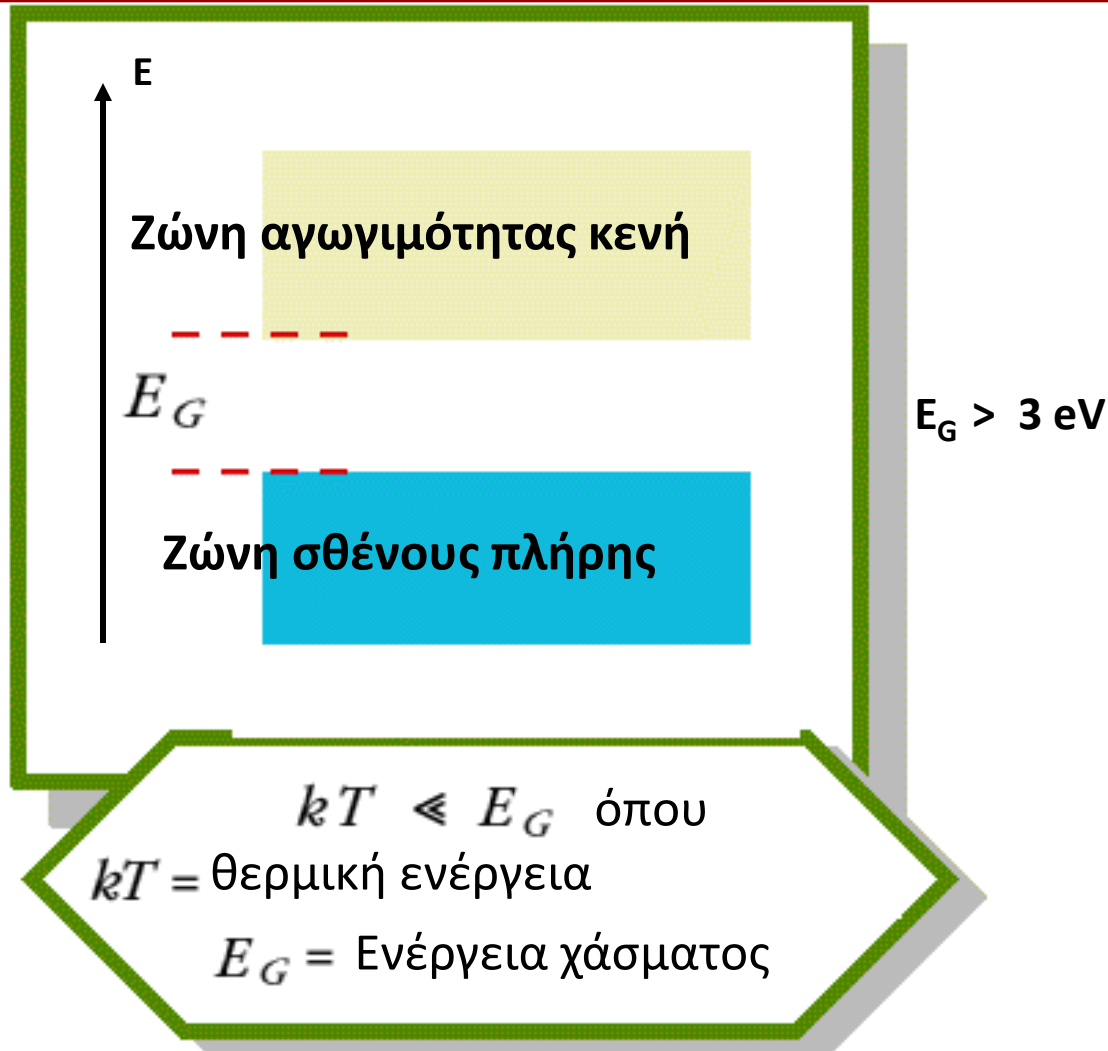
Ενεργειακές ζώνες

Απαγορευτική αρχή Pauli \Rightarrow

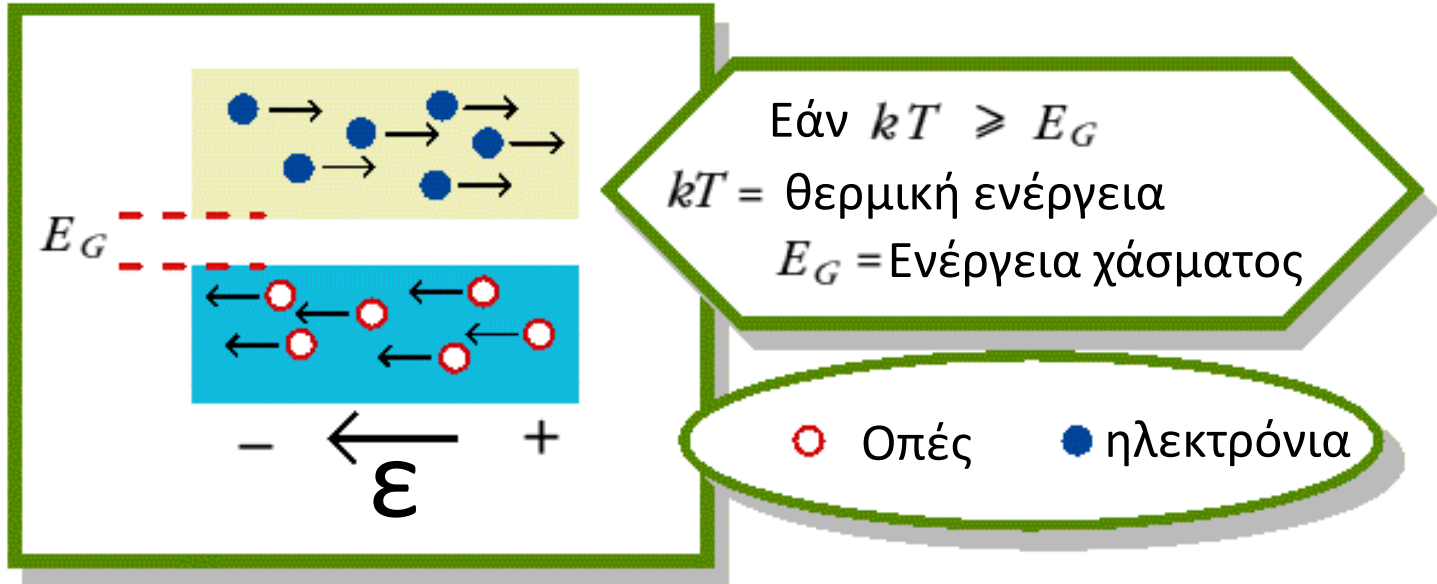
ύπαρξη ενεργειακής ζώνης για κάθε κύριο κβαντικό αριθμό



Μονωτές



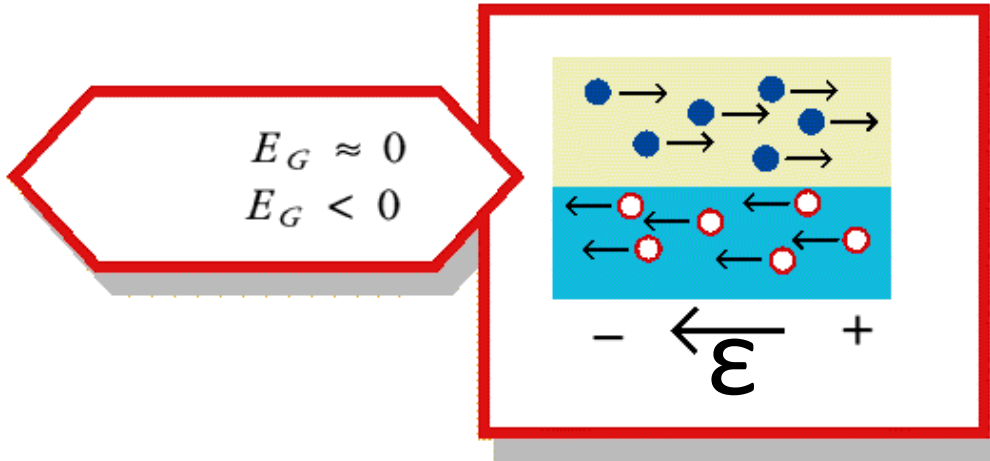
Καλοί αγωγοί



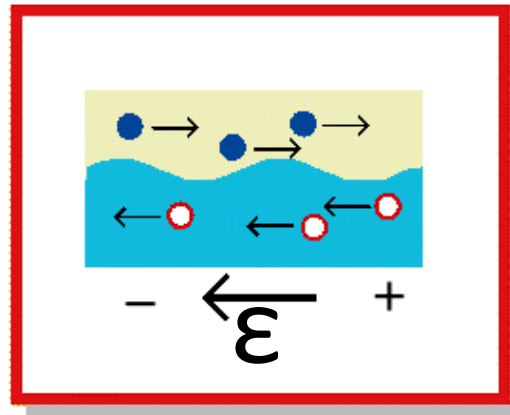
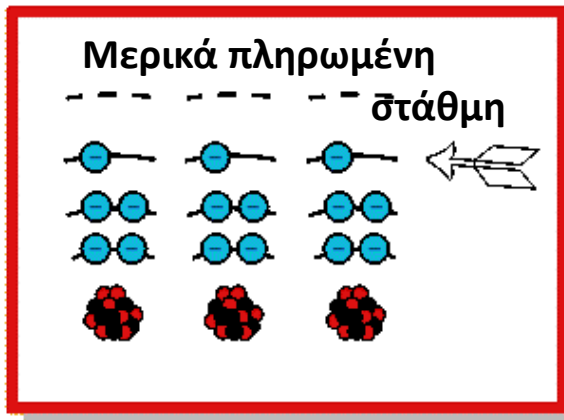
Σε μερικά υλικά η ενέργεια του χάσματος είναι μικρότερη από τη θερμική ενέργεια ανά σωματίδιο. Τυχαίες θερμικές κινήσεις μετακινούν τα ηλεκτρόνια στη ζώνη αγωγιμότητας. Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να μετακινηθούν υπό την επίδραση του ηλεκτρικού ρεύματος, όπως επίσης και οι οπές που μένουν στη ζώνη σθένους.



Μέταλλα



Οι ζώνες αγωγιμότητας και σθένους εφάπτονται ή επικαλύπτονται.

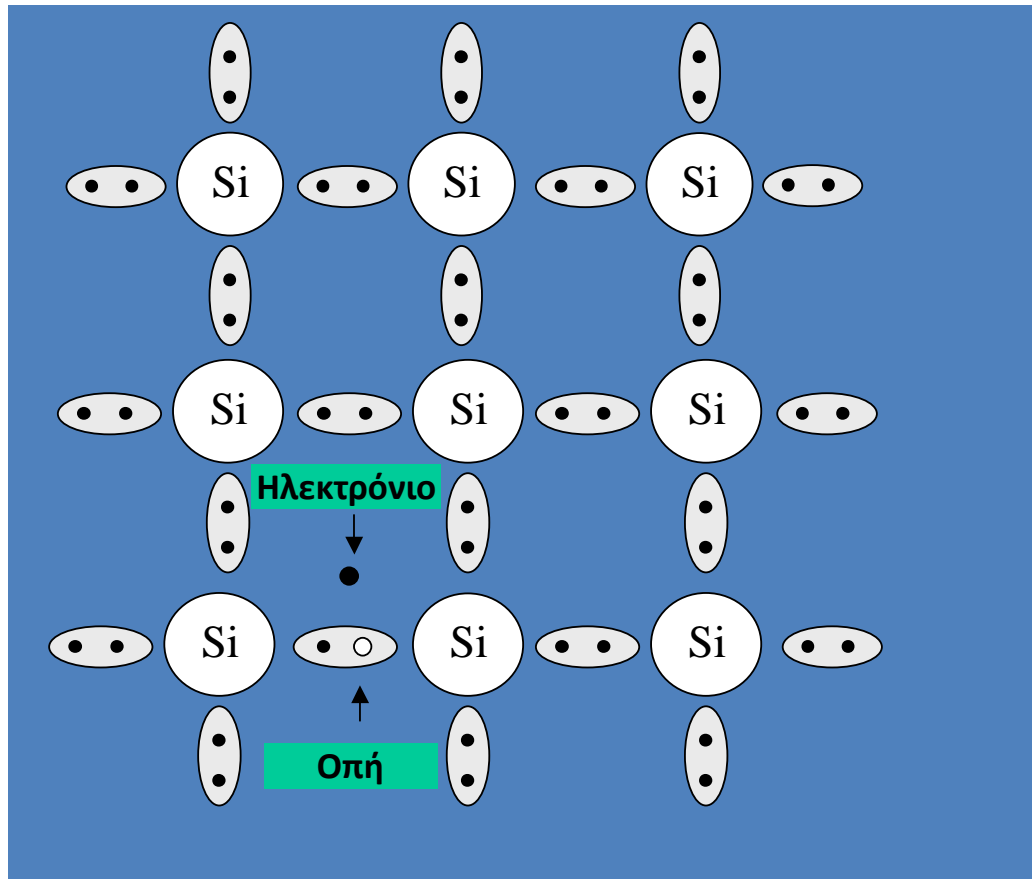


Υλικά με μερικά πληρωμένα στάθμη επιτρέπουν την κίνηση των ηλεκτρονίων πολύ εύκολα χωρίς να απαιτείται αλλαγή της στάθμης.



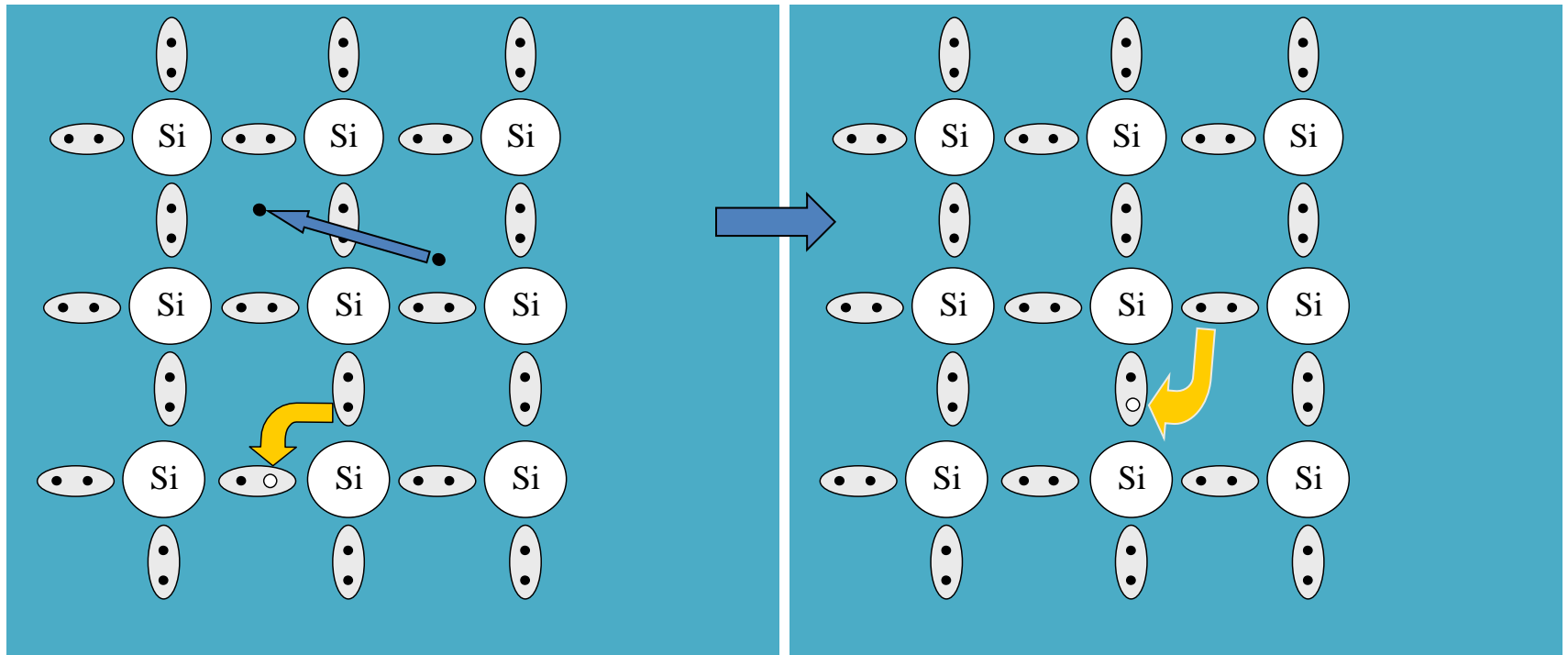
Κρύσταλλος πυριτίου

Φορείς του ηλεκτρικού ρεύματος: ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΑ και ΟΠΕΣ

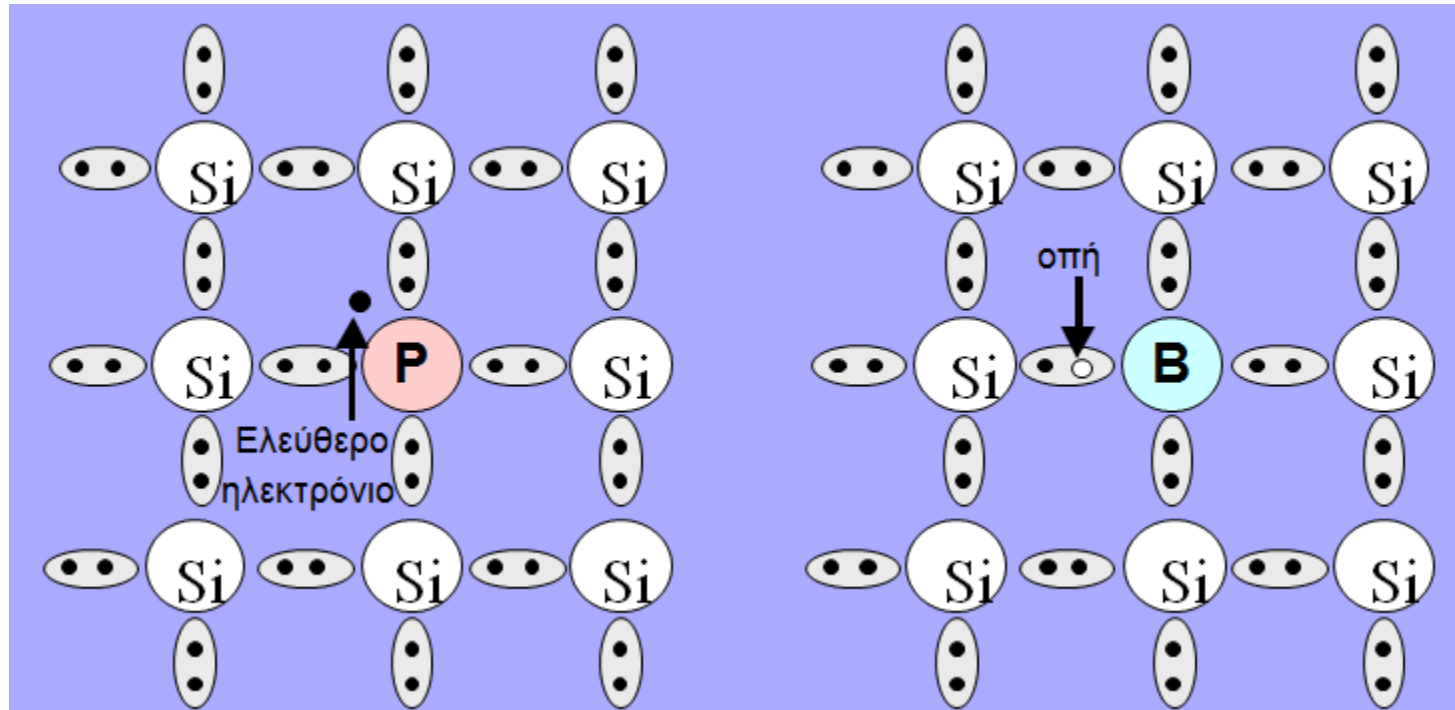


Κίνηση ηλεκτρονίων και οπών

- Τα ηλεκτρόνια κινούνται πιο εύκολα από τις οπές.
- Οι οπές κινούνται «έμμεσα».



Εισαγωγή προσμίξεων (Doping)



Συγκέντρωση ηλεκτρονίων

$$n = n_i + N_D$$

Συγκέντρωση οπών

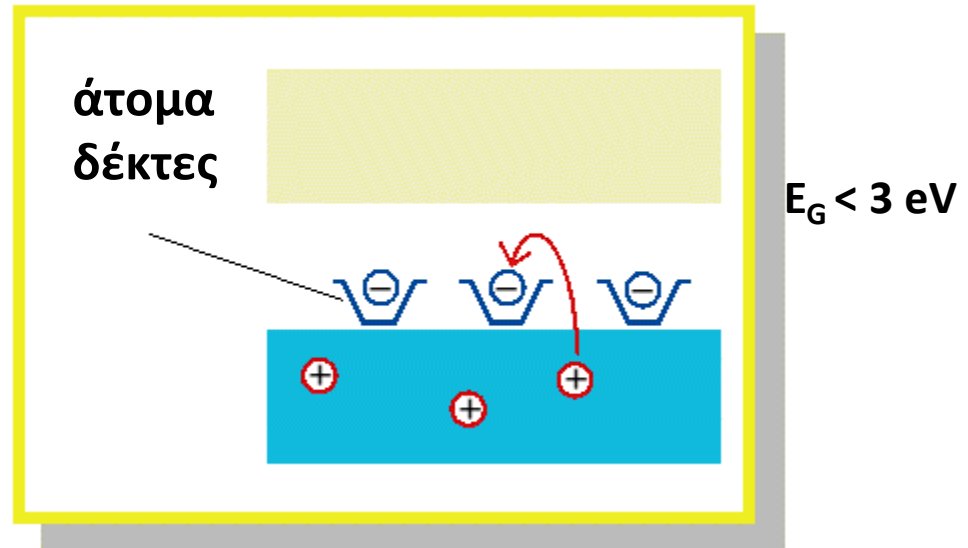
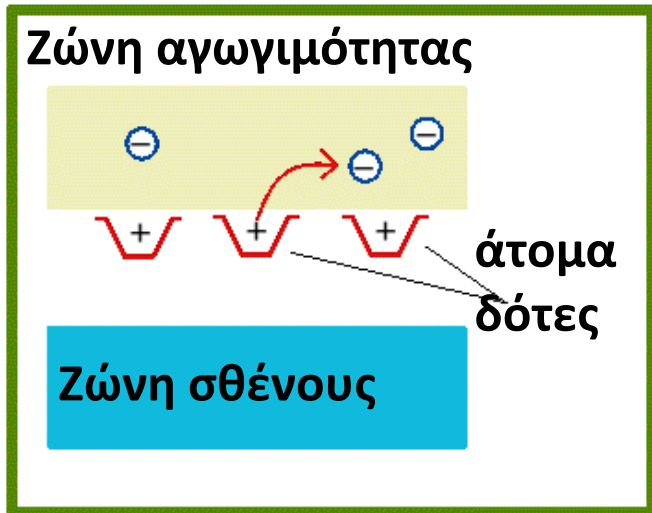
$$p = p_i + N_A$$

Φορείς μειονότητας και πλειονότητας.



Ημιαγωγοί

Οι καθαροί (αμιγείς) ημιαγωγοί συμπεριφέρονται σαν μονωτές.



Με την εισαγωγή προσμίξεων στους ημιαγωγούς δημιουργούμε ενεργειακές στάθμες μέσα στην απαγορευμένη ζώνη.

- Κοντά στη ζώνη σθένους \Rightarrow ΑΠΟΔΕΚΤΕΣ (p - τύπου)
- Κοντά στη ζώνη αγωγιμότητας \Rightarrow ΔΟΤΕΣ (n - τύπου)



Αγωγιμότητα και κινητικότητα (ή ευκινησία)

Ειδική αγωγιμότητα: $\sigma = J/E$

Πυκνότητα ρεύματος: $J = n|q|v$ ($q = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Μέση ταχύτητα ολίσθησης: $v = \mu E$

Άρα : $\sigma = n|q|\mu$

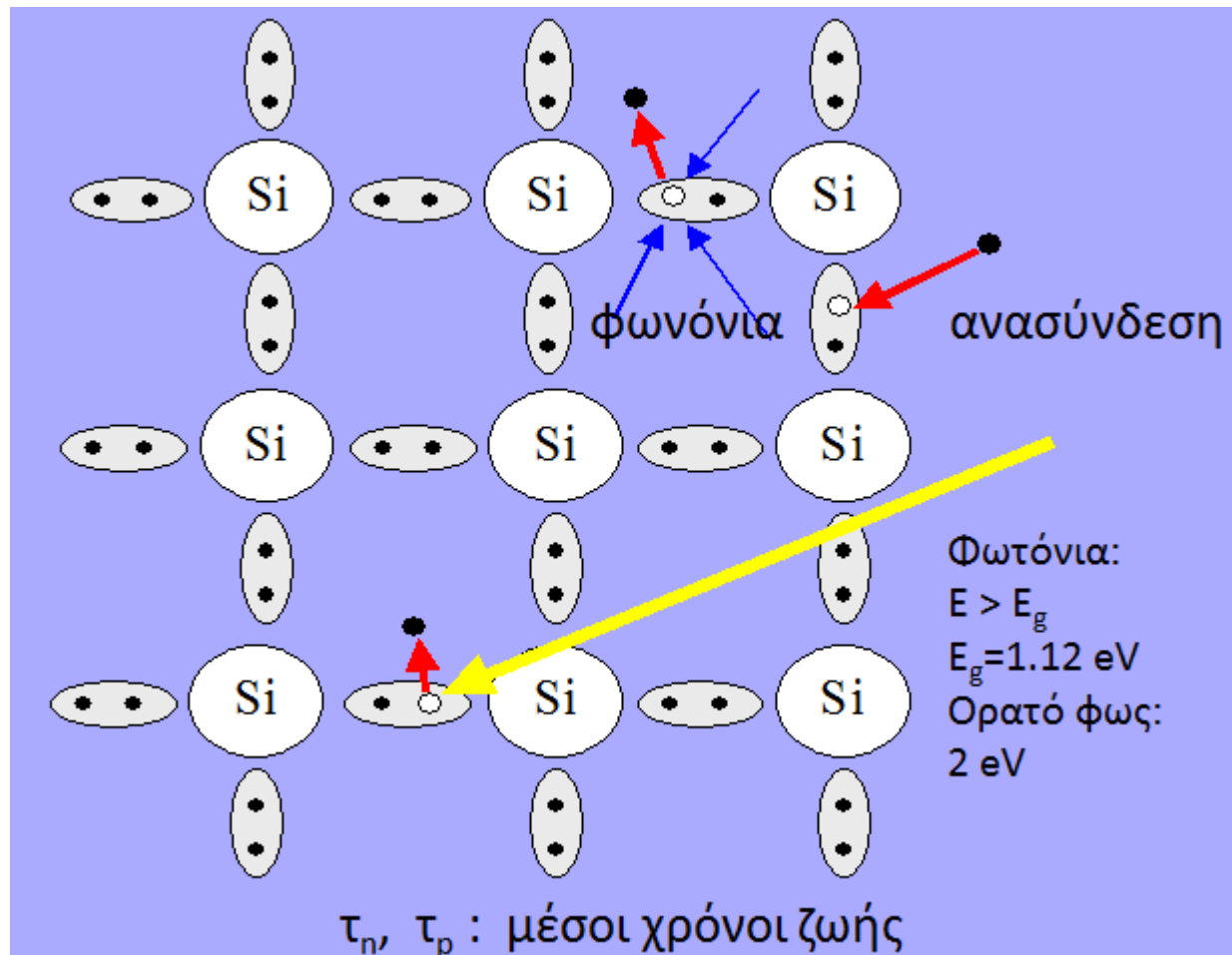
Σε ημιαγωγό : $\sigma = (n\mu_n + p\mu_p) q$

n-τύπου : $\sigma \approx N_D \mu_n q$

p-τύπου : $\sigma \approx N_A \mu_p q$

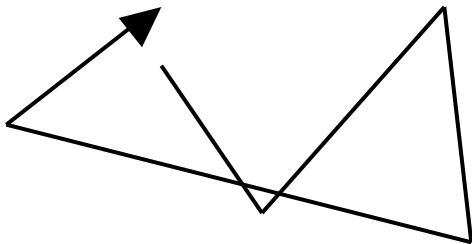


Γέννηση και ανασύνδεση φορέων



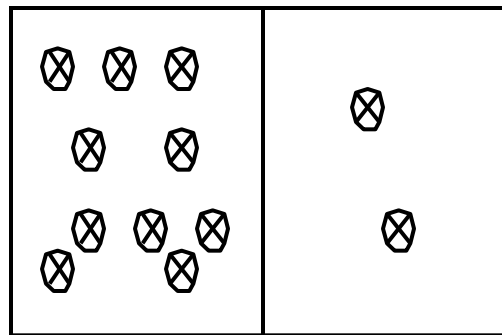
Μηχανισμοί μεταφοράς φορτίων

Τυχαία κίνηση



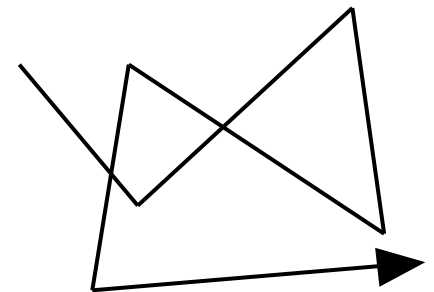
Διάχυση

Καθαρή ροή →



Ολίσθηση

Καθαρή ροή →



Ηλεκτρικό πεδίο



Ρεύμα διάχυσης και ρεύμα ολίσθησης

Πυκνότητα Ρεύματος Διάχυσης (A/cm²)

$$J_n = qD_n \frac{dn}{dx} \qquad J_p = -qD_p \frac{dp}{dx}$$

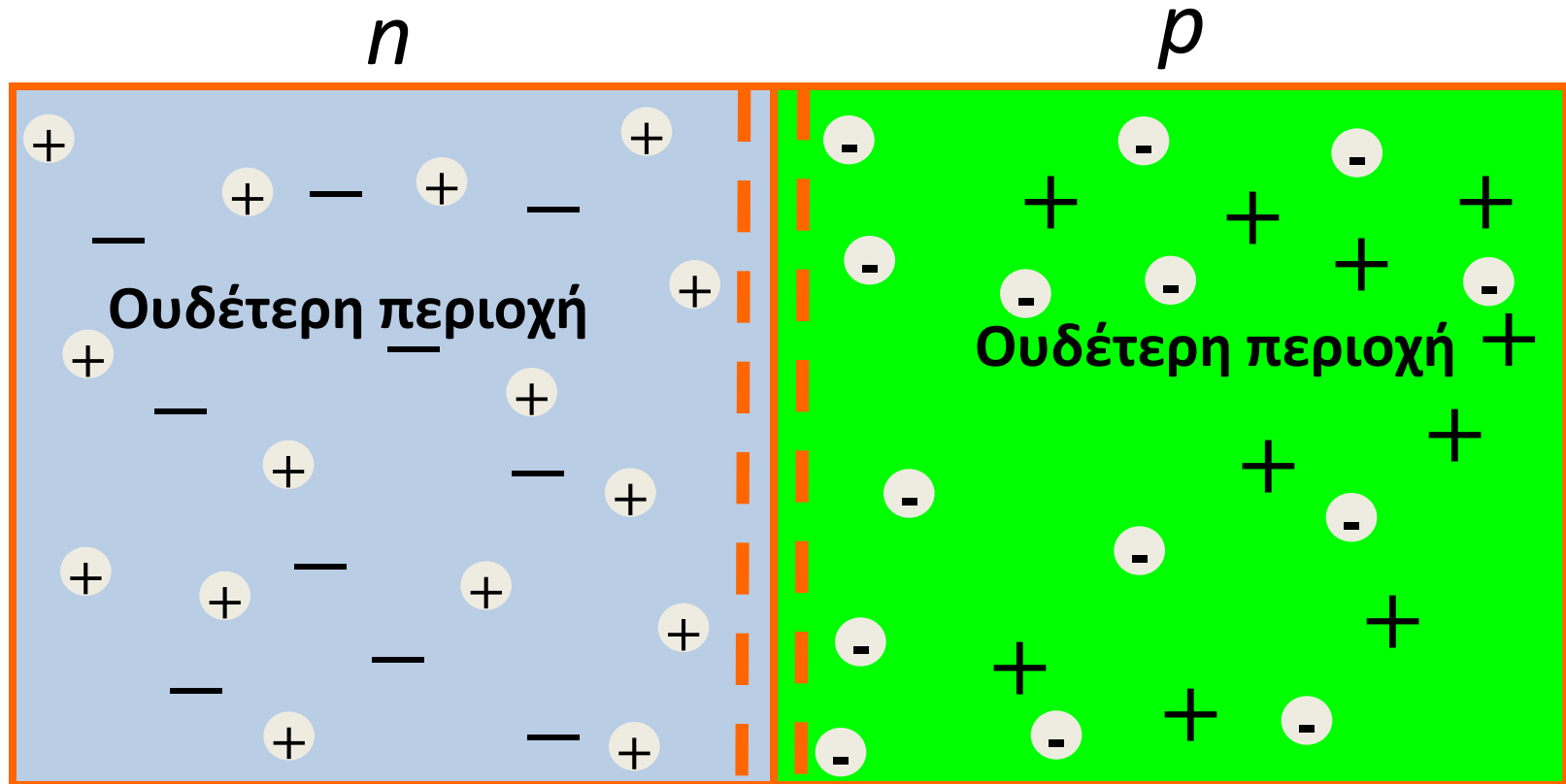
$$L_n = (D_n \tau_n)^{1/2} \qquad L_p = (D_p \tau_p)^{1/2}$$

Πυκνότητα Ρεύματος Ολίσθησης (A/cm²)

$$J_n = -q\mu_n n E \qquad J_p = -q\mu_p p E$$

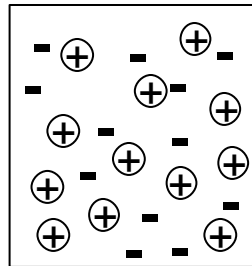


Η επαφή pn (1/2)

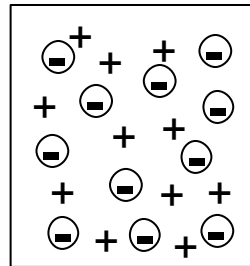


Η επαφή pn (2/2)

n-τύπου



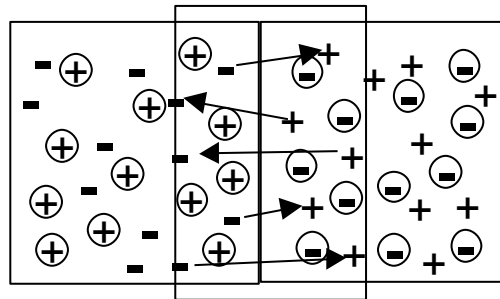
p-τύπου



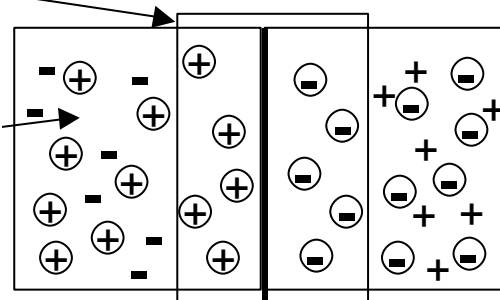
Δημιουργία επαφής

Ανασύνδεση φορέων
Δημιουργία της ΠΦΧ

Περιοχή αραίωσης -
απουσία ελεύθερων
φορέων



Ουδέτερη
περιοχή - ύπαρξη
ελεύθερων
φορέων

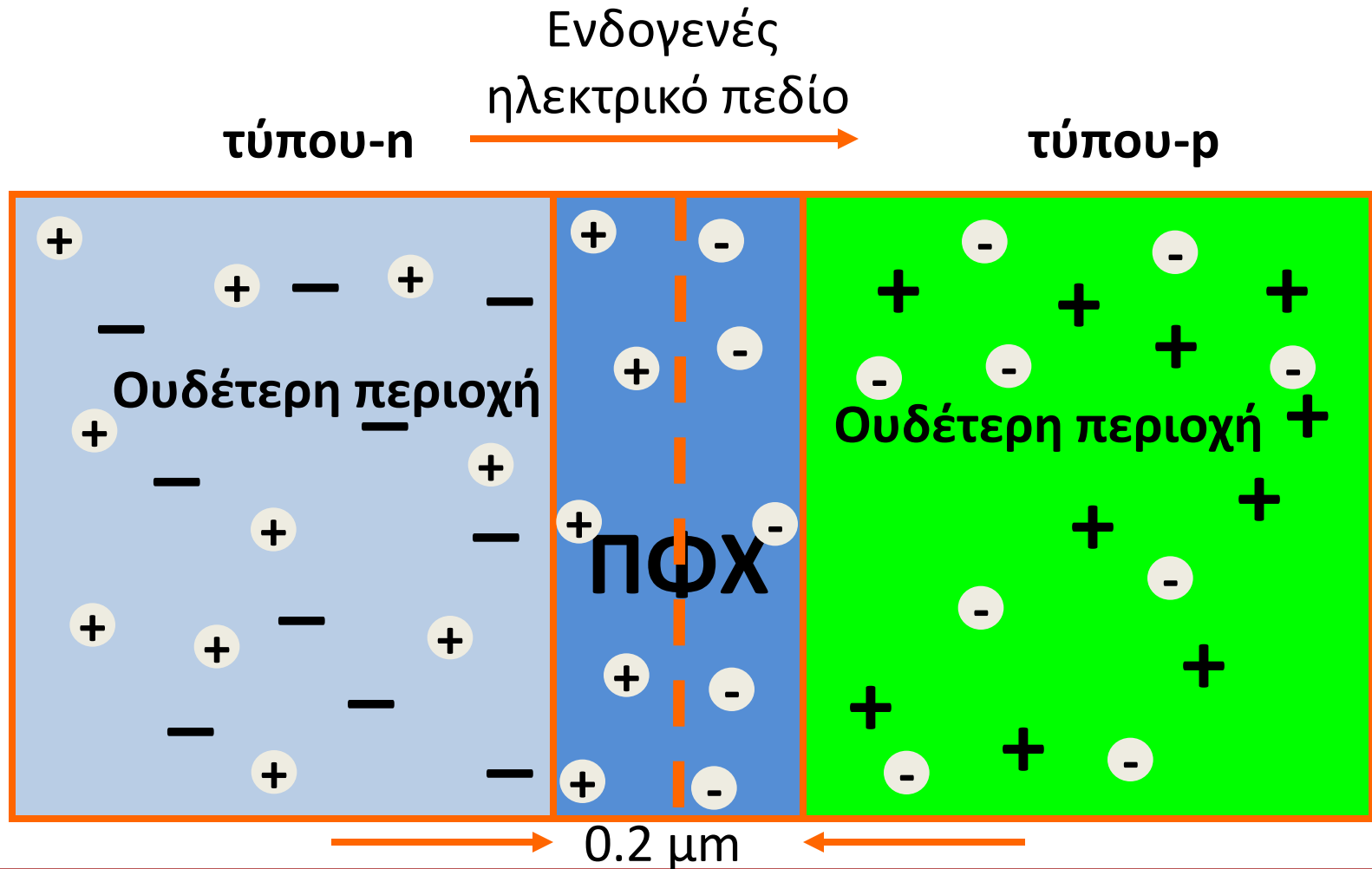


Ηλεκτρικό πεδίο →

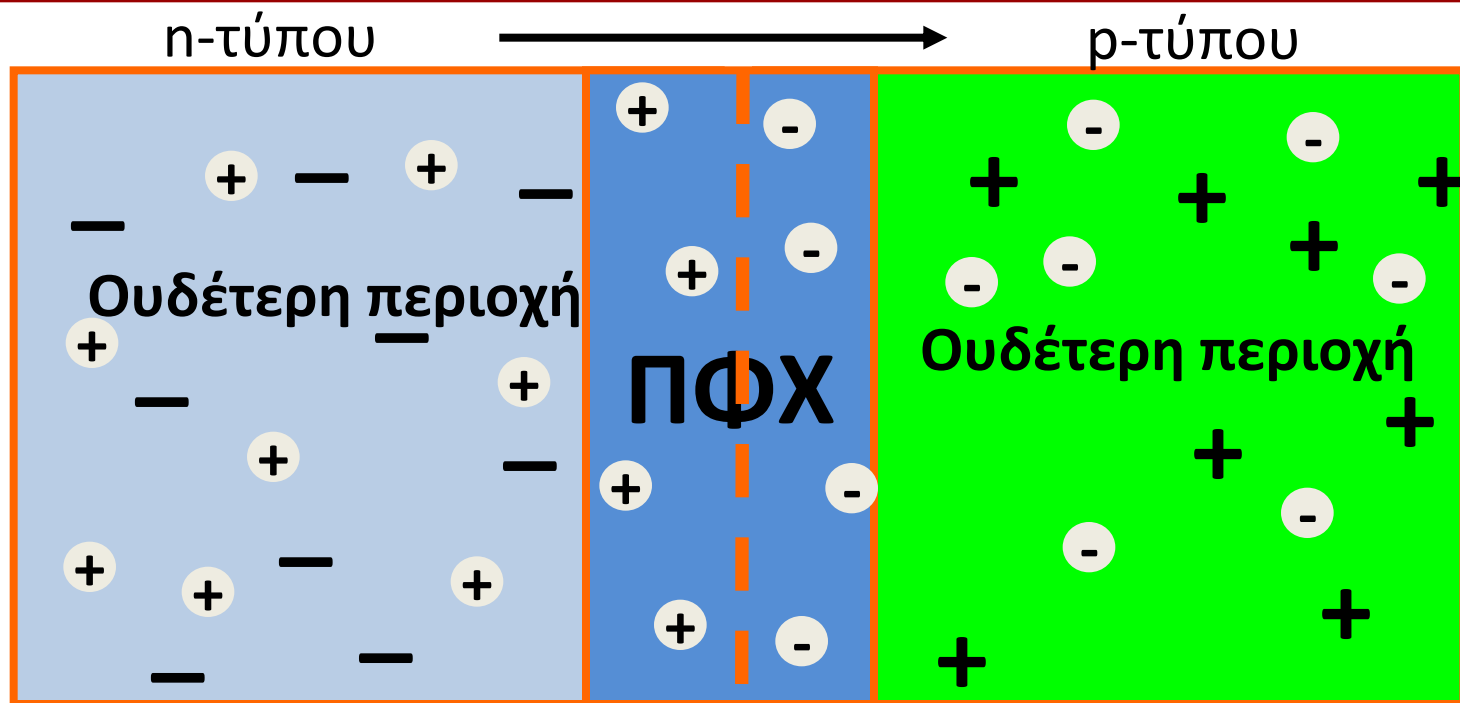
Το ηλεκτρικό πεδίο εξισορροπεί τη «δύναμη» της διάχυσης



Επαφή p-n σε ισορροπία



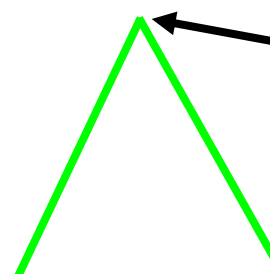
Ένταση ηλεκτρικού πεδίου



\vec{E}

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

$E = 0$

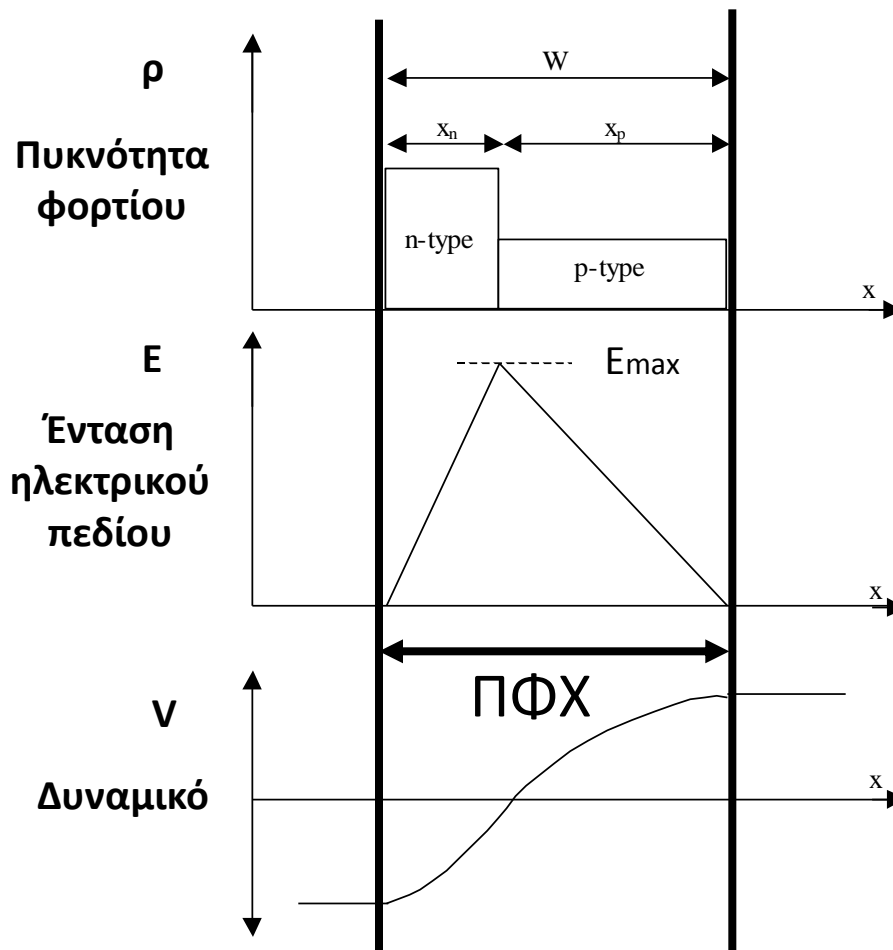


$E = E_{max}$

$E = 0$



Ηλεκτρικό πεδίο και ηλεκτροστατικό δυναμικό



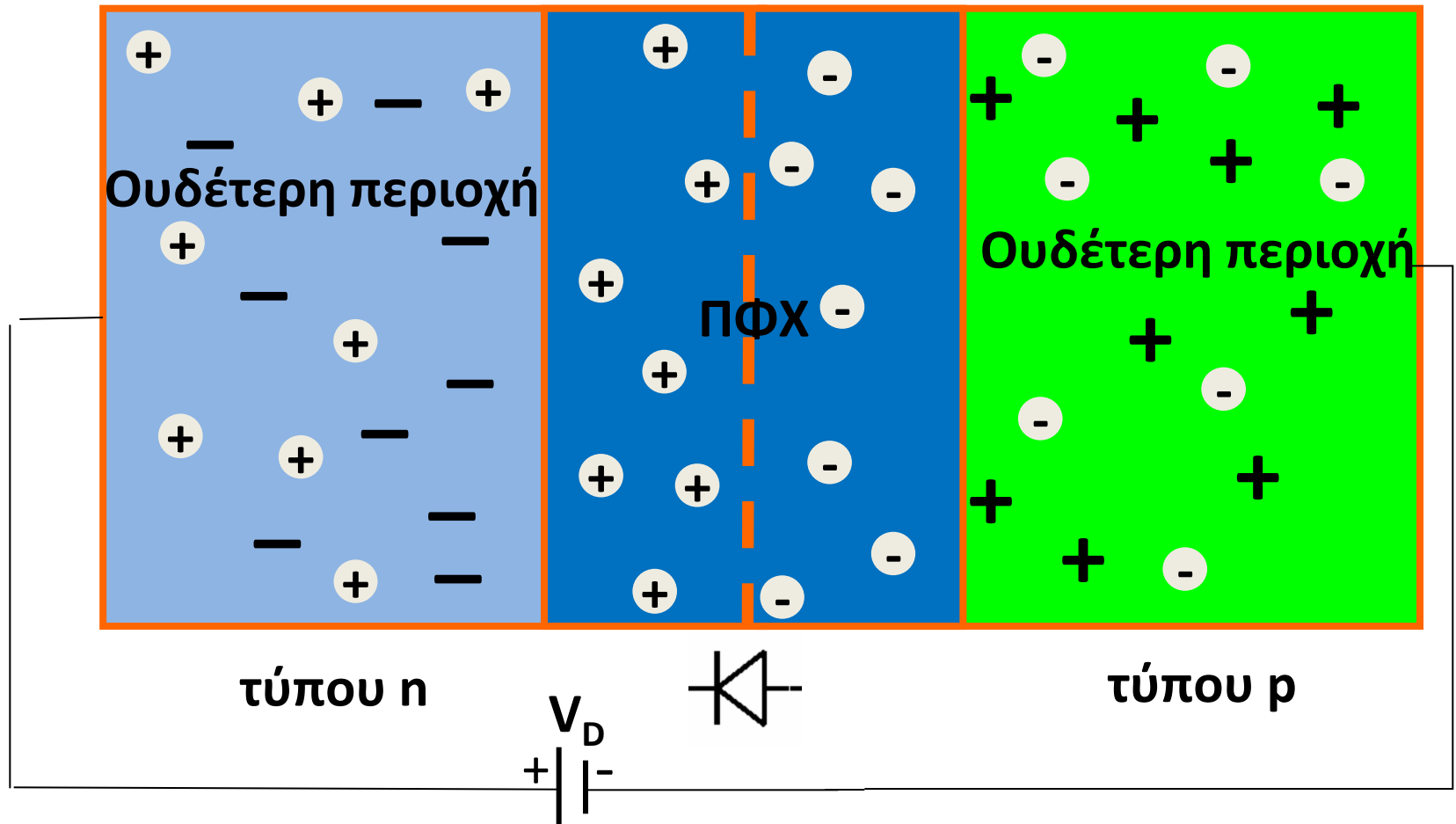
Φράγμα Δυναμικού

$$V = - \int_{x_0}^x E \, dx$$



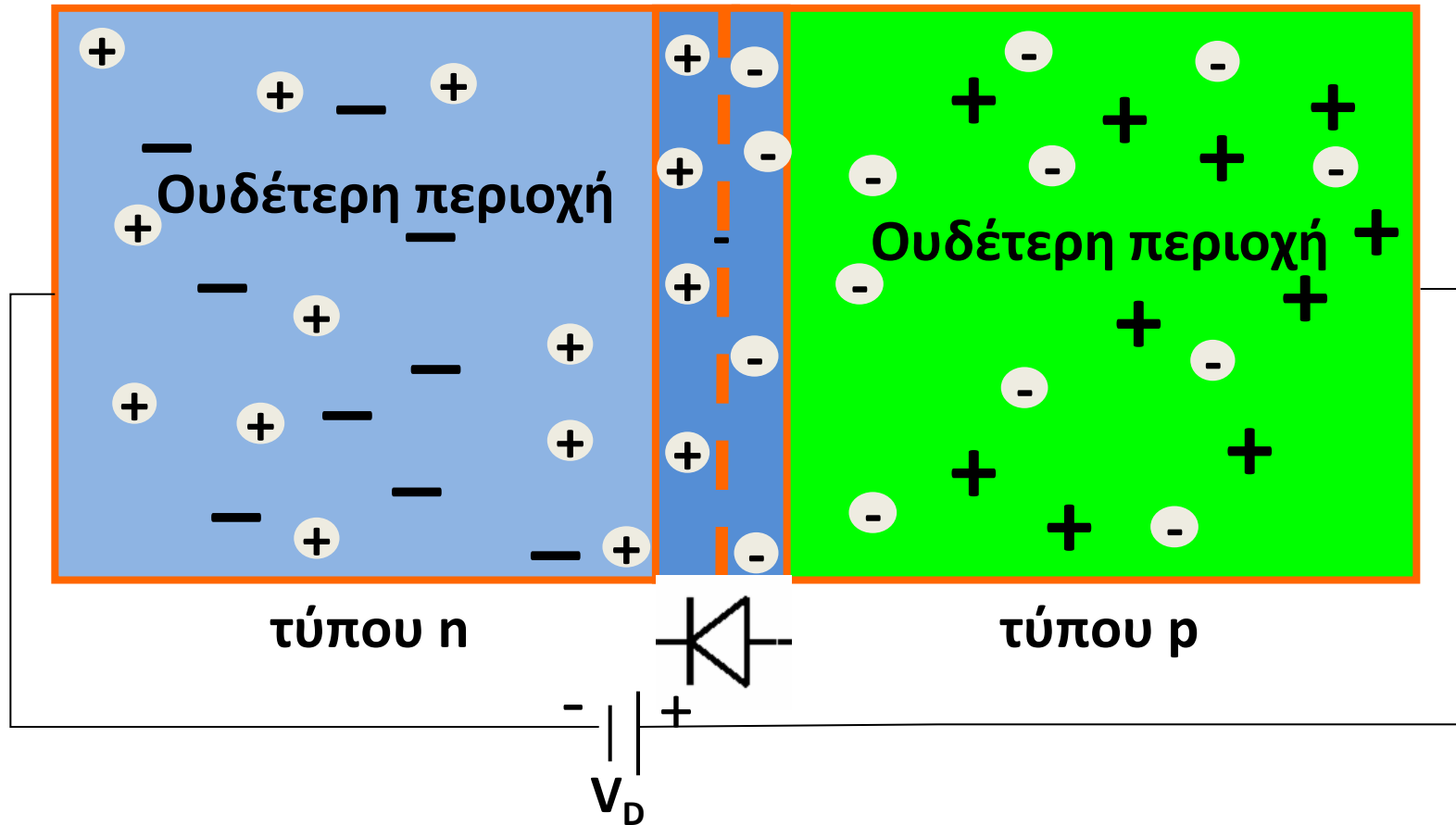
Ανάστροφη πόλωση

Διεύρυνση της περιοχής φορτίων χώρου
Το ρεύμα που ρέει είναι αμελητέο



Ορθή πόλωση

Μείωση της περιοχής φορτίων χώρου
Ροή μεγάλων ρευμάτων



Χαρακτηριστική ρεύματος-τάσης της διόδου

$$I_D = I_S \left(e^{\frac{V_D}{nV_T}} - 1 \right)$$

$$I_S = Aqn_i^2 \left(\frac{D_p}{L_p N_D} + \frac{D_n}{L_n N_A} \right)$$

A εμβαδόν επαφής

$$V_T = kT/q = 26 \text{ mV (για } T = 300 \text{ }^\circ\text{K)} \quad [\text{Θερμική τάση}]$$



Χωρητικότητες της διόδου

Χωρητικότητα περιοχής
αραίωσης ή φορτίου χώρου

$$C_t = \frac{dQ_t}{dV} = \frac{C_o}{(1 - V/V_C)^k}$$

Μεγαλύτερη ανάστροφη τάση \Rightarrow μικρότερη χωρητικότητα περιοχής
αραίωσης

Χωρητικότητα διάχυσης

$$C_d = \frac{dQ_d}{dV} = \tau \frac{I_D}{nV_T}$$

Αύξηση πυκνότητας φορέων μειονότητας κοντά
στην ένωση (εκτός περιοχής αραίωσης).

Σε ορθή πόλωση έχει τιμές στην τάξη nF, ενώ η χωρητικότητα
περιοχής αραίωσης είναι αμελητέα.

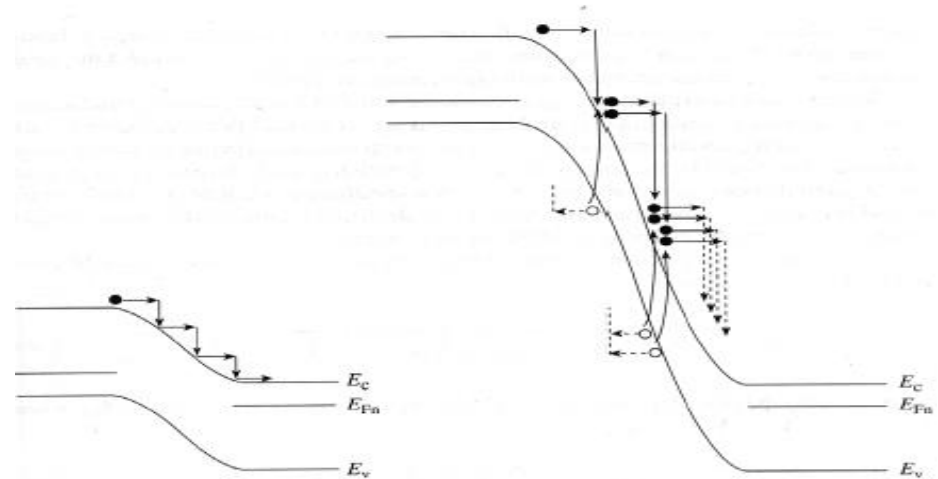


Μηχανισμοί διάσπασης της επαφής

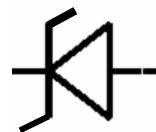
Φαινόμενο Χιονοστιβάδας

$$|V_{BR}| > 6E_G/q$$

Ροή πολύ μεγάλου ρεύματος
με πολλαπλασιασμό χιονοστιβάδας



Φαινόμενο Zener



Ταυτόχρονη κατάλυση των
ομοιοπολικών δεσμών



Σημείωμα Αναφοράς

Copyright Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης, Χατζόπουλος
Αλκιβιάδης. «ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ Ι, Ένωση ρη». Έκδοση: 1.0. Θεσσαλονίκη 2015.
Διαθέσιμο από τη δικτυακή διεύθυνση:
http://opencourses.auth.gr/eclass_courses.



Σημείωμα Αδειοδότησης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά - Μη Εμπορική Χρήση - Όχι Παράγωγα Έργα 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Εξαιρούνται τα αυτοτελή έργα τρίτων π.χ. φωτογραφίες, διαγράμματα κ.λ.π., τα οποία εμπεριέχονται σε αυτό και τα οποία αναφέρονται μαζί με τους όρους χρήσης τους στο «Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων».



Ο δικαιούχος μπορεί να παρέχει στον αδειοδόχο ξεχωριστή άδεια να χρησιμοποιεί το έργο για εμπορική χρήση, εφόσον αυτό του ζητηθεί.

Ως **Μη Εμπορική** ορίζεται η χρήση:

- που δεν περιλαμβάνει άμεσο ή έμμεσο οικονομικό όφελος από την χρήση του έργου, για το διανομέα του έργου και αδειοδόχο
- που δεν περιλαμβάνει οικονομική συναλλαγή ως προϋπόθεση για τη χρήση ή πρόσβαση στο έργο
- που δεν προσπορίζει στο διανομέα του έργου και αδειοδόχο έμμεσο οικονομικό όφελος (π.χ. διαφημίσεις) από την προβολή του έργου σε διαδικτυακό τόπο

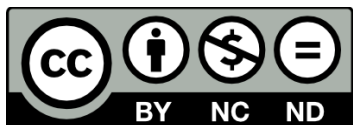
[1] <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>





Τέλος ενότητας

Επεξεργασία: Σβάρνα Κωνσταντίνα
Θεσσαλονίκη, χειμερινό εξάμηνο 2014-2015





ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ
ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Σημειώματα

Διατήρηση Σημειωμάτων

Οποιαδήποτε αναπαραγωγή ή διασκευή του υλικού θα πρέπει να συμπεριλαμβάνει:

- το Σημείωμα Αναφοράς
- το Σημείωμα Αδειοδότησης
- τη δήλωση Διατήρησης Σημειωμάτων
- το Σημείωμα Χρήσης Έργων Τρίτων (εφόσον υπάρχει)

μαζί με τους συνοδευόμενους υπερσυνδέσμους.

