ΦΥΣΙΚΗ: ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ

Ε.Ε. 2023-2024

Διδάσκοντες: Σ. ΚΟΣΙΩΝΗΣ, Ε. ΠΑΣΠΑΛΑΚΗΣ, και Ι. ΘΑΝΟΠΟΥΛΟΣ

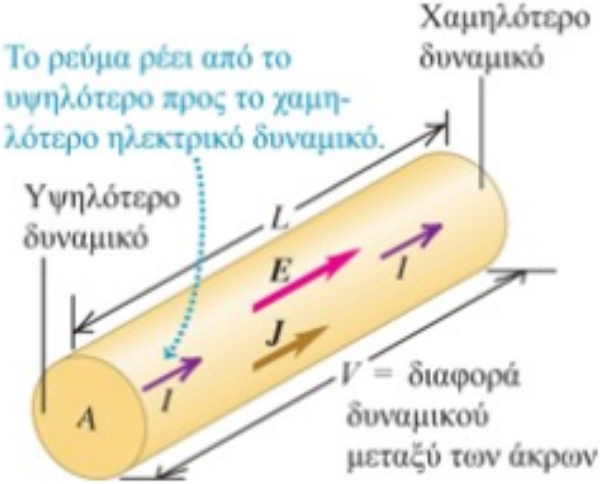

SEARS & ZEMANSKY
ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΑΚΗ
ΦΥΣΙΚΗ με Σύγχρονη Φυσική
4η ΕΛΛΗΝΙΚΗ ΕΚΔΟΣΗ
ΜΕ QR CODE ΒΙΝΤΕΟ ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΔΙΑΦΑΝΕΙΕΣ ΔΙΔΑΣΚΑΛΙΑΣ
Τόμος Β
ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΣΜΟΣ
ΟΠΤΙΚΗ - ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΦΥΣΙΚΗ
YOUNG και FREEDMAN
ΑΠΟΔΟΣΗ – ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ
Θ.Η. Αλεξόπουλος
Ι.Α. Αρβανιτίδης
Α.Α. Αργυρίου
Ε.Α. Δρης
Η.Σ. Ζουμπούλης
Η.Κ. Κατσούφης
Γ.Α. Κουρούκλης
Κ.Ε. Παρασκευαΐδης
Μ.Ν. Πιζάνιας
Ι.Π. Ρίζος
Θ.Ν. Τομαράς
Κ. Χριστοδουλίδης
ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΠΑΠΑΖΗΣΗ

Αντίσταση

Για έναν αγωγό, ο οποίος έχει ειδική αντίσταση ρ, η πυκνότητα ρεύματος $\boldsymbol{J}$ σε κάποιο σημείο στο οποίο το ηλεκτρικό πεδίο είναι $\boldsymbol{E}$ δίνεται από την Εξ. (25.5), η οποία μπορεί να γραφεί ως

$$\boldsymbol{E} = \rho \boldsymbol{J} \tag{25.7}$$

25.7 Αγωγός με ομοιόμορφη διατομή. Η πυκνότητα ρεύματος είναι ομοιόμορφη πάνω σε κάθε διατομή και το ηλεκτρικό πεδίο είναι το ίδιο (σταθερό) κατά μήκος του αγωγού.



Το πηλίκο V προς I για έναν συγκεκριμένο αγωγό καλείται **αντίσταση** του R:

$$R = \frac{V}{I} \tag{25.9}$$

Αντίσταση του αγωγού $R = \dfrac{\rho L}{A}$ (25.10)
- ρ: Ειδική αντίσταση του υλικού του αγωγού
- L: Μήκος του αγωγού
- A: Εμβαδόν διατομής του αγωγού

Συνήθως η παρακάτω εξίσωση λέγεται νόμος του Ohm:

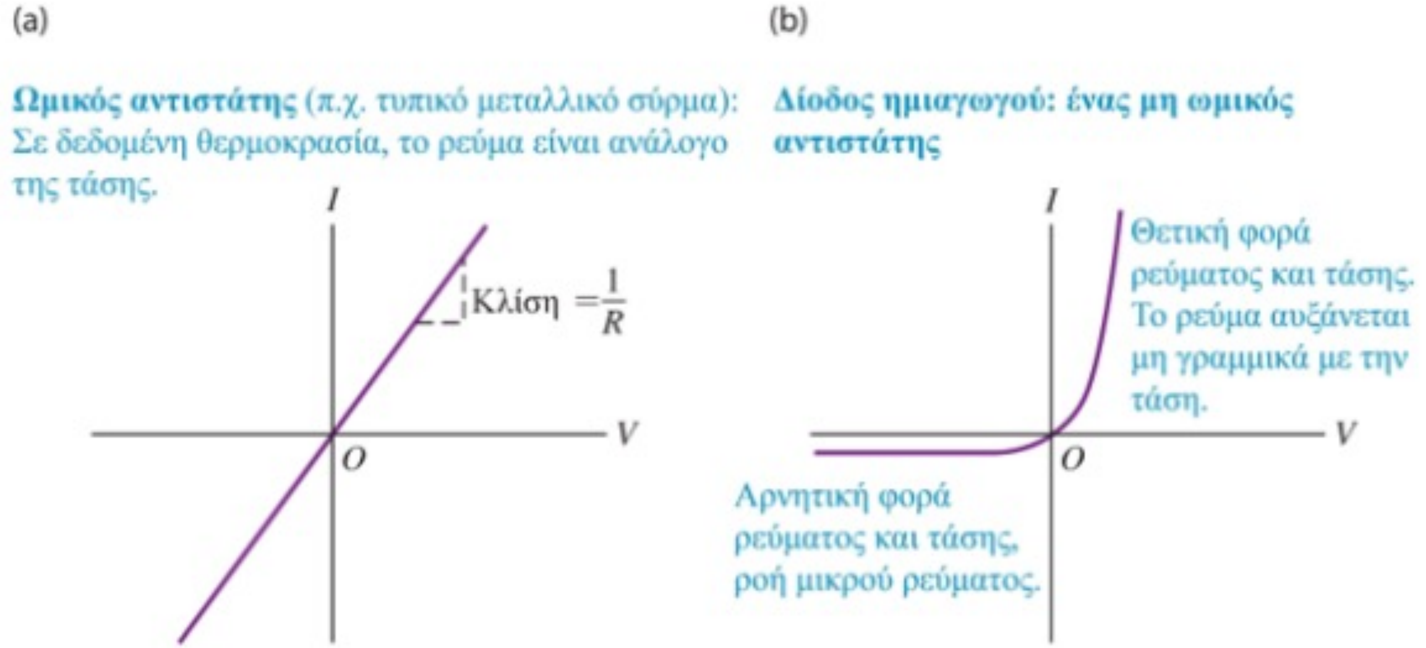
Σχέση μεταξύ τάσης, ρεύματος και αντίστασης: $V = IR$ (25.11)
- V: Τάση στα άκρα του αγωγού
- R: Αντίσταση του αγωγού
- I: Ρεύμα του αγωγού

Εντούτοις, είναι σημαντικό να κατανοηθεί πως η πραγματική σημασία του νόμου του Ohm είναι ότι (για μερικά υλικά) το V είναι ευθέως ανάλογο του I και το J του E. Η Εξ. (25.9) ή η Εξ. (25.11) *ορίζει* την αντίσταση R *για κάθε* αγωγό, αλλά μόνο αν το R είναι σταθερό είναι σωστό να πούμε ότι αυτή η σχέση είναι ο νόμος του Ohm.

Αντιστάτες

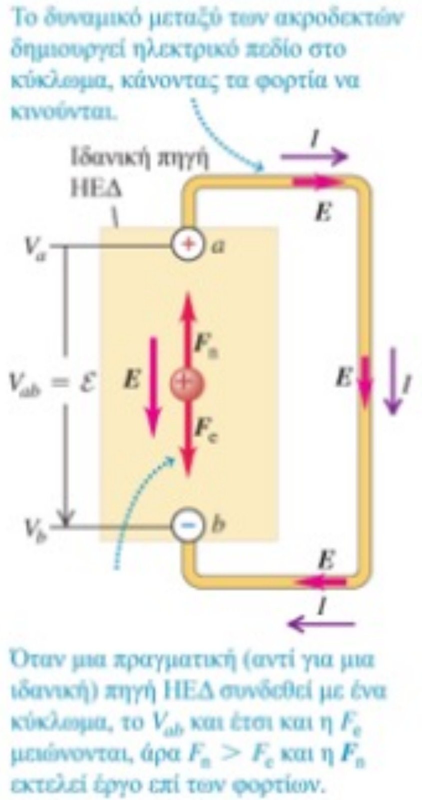
Ένα στοιχείο κυκλώματος, το οποίο έχει καθορισμένη τιμή αντίστασης, καλείται **αντιστάτης** (ή **ωμική αντίσταση** ή και **αντίσταση**).

25.10 Σχέση ρεύματος-τάσης για δύο διατάξεις. Μόνο στην περίπτωση αντιστάτη που υπακούει στον νόμο του Ohm όπως στην περίπτωση (a) το ρεύμα I είναι ανάλογο προς την τάση V.



ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

25.14 Σχηματικό διάγραμμα μιας ιδανικής πηγής ΗΕΔ σε πλήρες (κλειστό) κύκλωμα. Η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου $\boldsymbol{F}_e = q\boldsymbol{E}$ και η μη ηλεκτροστατική δύναμη $\boldsymbol{F}_n$ δείχνονται για θετικό φορτίο q. Το ρεύμα έχει φορά από το a προς το b στο εξωτερικό κύκλωμα και από το b προς το a στο εσωτερικό της πηγής.



Εσωτερική αντίσταση

25.15 Η ΗΕΔ μιας μπαταρίας –δηλαδή η πολική τάση όταν δεν είναι συνδεδεμένη με οτιδήποτε– είναι 12 V. Όμως, επειδή η μπαταρία έχει εσωτερική αντίσταση, η πολική της τάση είναι μικρότερη από 12 V όταν παρέχει ρεύμα σε μια λάμπα.

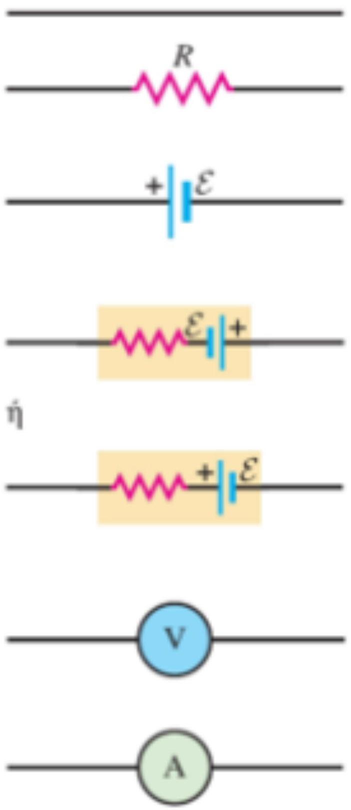
Πολική τάση, πηγή με εσωτερική αντίσταση (ΗΕΔ της πηγής; Ρεύμα διά της πηγής; Εσωτερική αντίσταση)

$$V_{ab} = \mathcal{E} - Ir \qquad (25.15)$$

$$\mathcal{E} - Ir = IR \quad \text{ή} \quad I = \frac{\mathcal{E}}{R + r} \quad \text{(ρεύμα για πηγή με εσωτερική αντίσταση)} \qquad (25.16)$$

ΗΛΕΚΤΡΕΓΕΡΤΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

ΠΙΝΑΚΑΣ 25.4 **Σύμβολα Σχηματικών Διαγραμμάτων Κυκλωμάτων**



Αγωγός με αμελητέα αντίσταση

Αντιστάτης

Πηγή ΗΕΔ (πάντοτε η μακρύτερη γραμμή της πηγής συμβολίζει τον θετικό ακροδέκτη, συνήθως ο ακροδέκτης με το υψηλότερο δυναμικό)

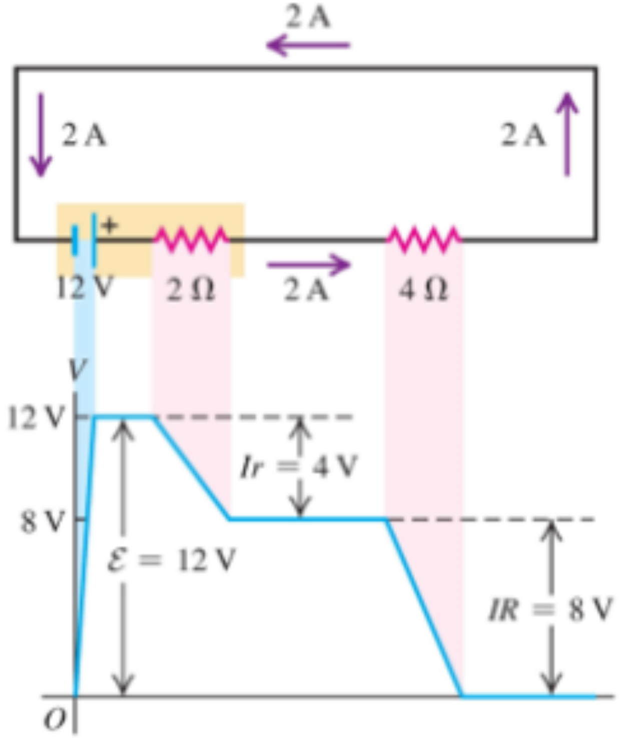
Πηγή ΗΕΔ με εσωτερική αντίσταση r (το r μπορεί να τοποθετηθεί με οποιαδήποτε πλευρά)

Βολτόμετρο (μετρά τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των ακροδεκτών του)

Αμπερόμετρο (μετρά το ρεύμα που το διαρρέει)

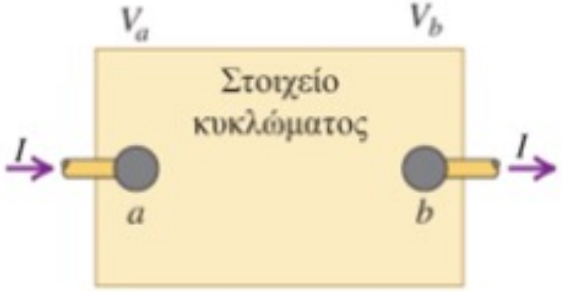
Μεταβολές δυναμικού κατά μήκος κυκλώματος

25.20 Αυξήσεις και μειώσεις δυναμικού σε ένα κύκλωμα.



ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΙΣΧΥΣ ΣΕ ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ

25.21 Η ισχύς εισόδου στο στοιχείο κυκλώματος μεταξύ των a και b είναι $P = (V_a - V_b)I = V_{ab}I$.



Ισχύς που παρέχεται στο ή εξάγεται από στοιχείο κυκλώματος $P = V_{ab}I$ Τάση κατά μήκος του στοιχείου κυκλώματος, Ρεύμα στο στοιχείο κυκλώματος (25.17)

Ισχύς εισόδου σε ωμική αντίσταση

Ισχύς που παρέχεται σε αντιστάτη $P = V_{ab}I = I^2R = \frac{V_{ab}^2}{R}$ Τάση κατά μήκος του αντιστάτη, Ρεύμα στον αντιστάτη, Αντίσταση του αντιστάτη (25.18)

ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΑΓΩΓΙΜΟΤΗΤΑΣ ΣΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

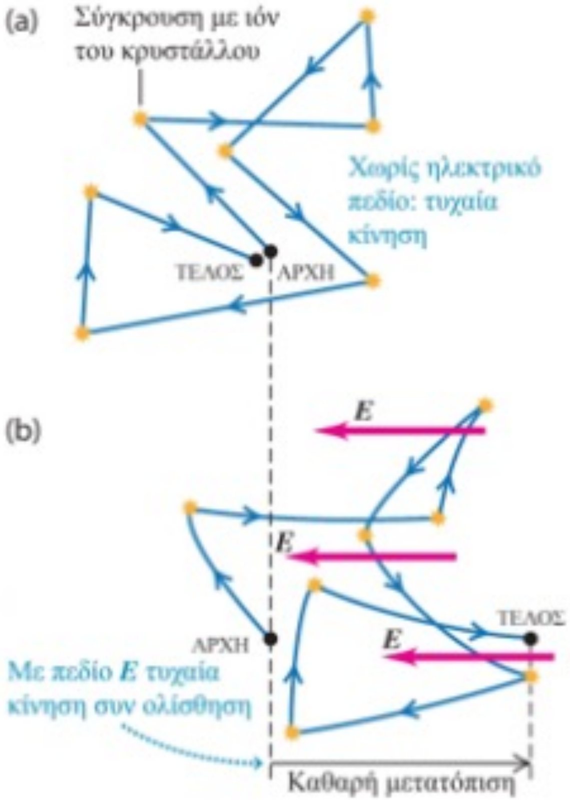
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} = \frac{q\vec{E}}{m}$$

$$\vec{v} = \vec{v}_0 + \vec{a}\tau$$

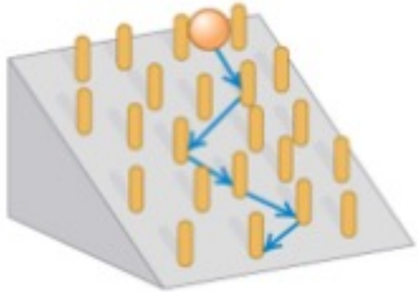
$$(\vec{v}_0)_{av} = 0.$$

$$\vec{v}_{av} = \vec{a}\tau = \frac{q\tau}{m}\vec{E}$$

25.26 Τυχαίες κινήσεις ηλεκτρονίων μέσα σε μεταλλικό κρύσταλλο (a) με μηδενικό ηλεκτρικό πεδίο, και (b) με ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί ολίσθηση. Οι καμπυλώσεις των τροχιών έχουν σχεδιαστεί υπερβολικά μεγάλες.



25.27 Η κίνηση μιας μπάλας, που κυλίεται προς τα κάτω σε κεκλιμένο επίπεδο και συγκρούεται κατά τη διαδρομή της με πασσάλους, είναι ανάλογη προς την κίνηση ενός ηλεκτρονίου σε μεταλλικό αγωγό παρουσία ηλεκτρικού πεδίου.



$$\rho = \frac{E}{J} \qquad (25.21) \quad \text{(ορισμός ειδικής αντίστασης)}$$

$$J = nq v_d \qquad (25.22) \quad \text{(πυκνότητα ρεύματος)}$$

$$v_d = \text{ταχύτητα ολίσθησης} = \frac{q\tau}{m}E$$

$$J = nqv_d = \frac{nq^2\tau}{m}E$$

$$\rho = \frac{m}{ne^2\tau} \qquad (25.24)$$

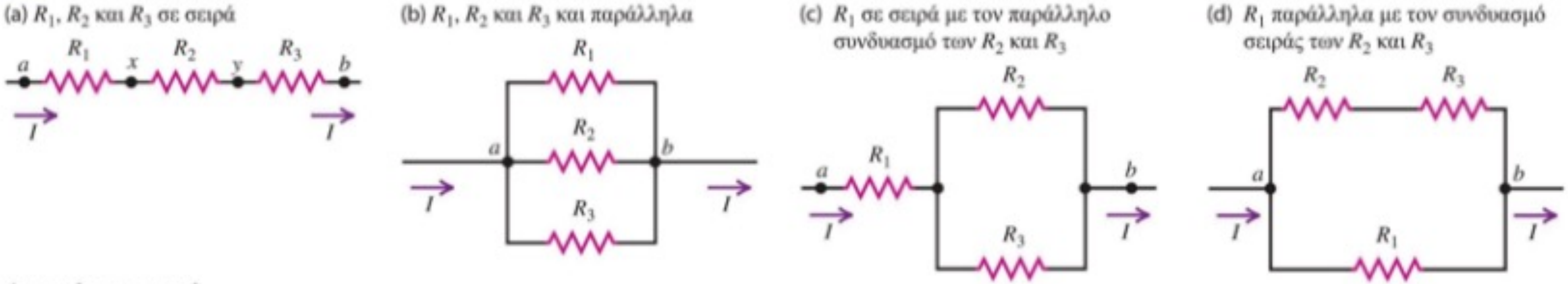
Ειδική αντίσταση του μετάλλου — ρ
Μάζα ηλεκτρονίου — m
Μέσος χρόνος μεταξύ συγκρούσεων — τ
Πλήθος ελεύθερων ηλεκτρονίων ανά μονάδα όγκου — n
Μέτρο του φορτίου του ηλεκτρονίου — e

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 26

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ ΣΥΝΕΧΟΥΣ ΡΕΥΜΑΤΟΣ

ΑΝΤΙΣΤΑΤΕΣ ΣΕ ΣΕΙΡΑ ΚΑΙ ΠΑΡΑΛΛΗΛΑ

26.1 Τέσσερις διαφορετικοί τρόποι σύνδεσης τριών αντιστατών.



Αντιστάτες σε σειρά

Αντιστάτες σε σειρά:

$$R_{eq} = R_1 + R_2 + R_3 + \cdots \tag{26.1}$$

Ισοδύναμη αντίσταση σε συνδυασμό σειράς — Αντιστάσεις των επιμέρους αντιστατών

Η ισοδύναμη αντίσταση οποιουδήποτε αριθμού αντιστατών σε σειρά ισούται με το άθροισμα των επιμέρους αντιστάσεών τους. Η ισοδύναμη αντίσταση είναι *μεγαλύτερη από* οποιαδήποτε από τις επιμέρους αντιστάσεις.

Αντιστάτες παράλληλα

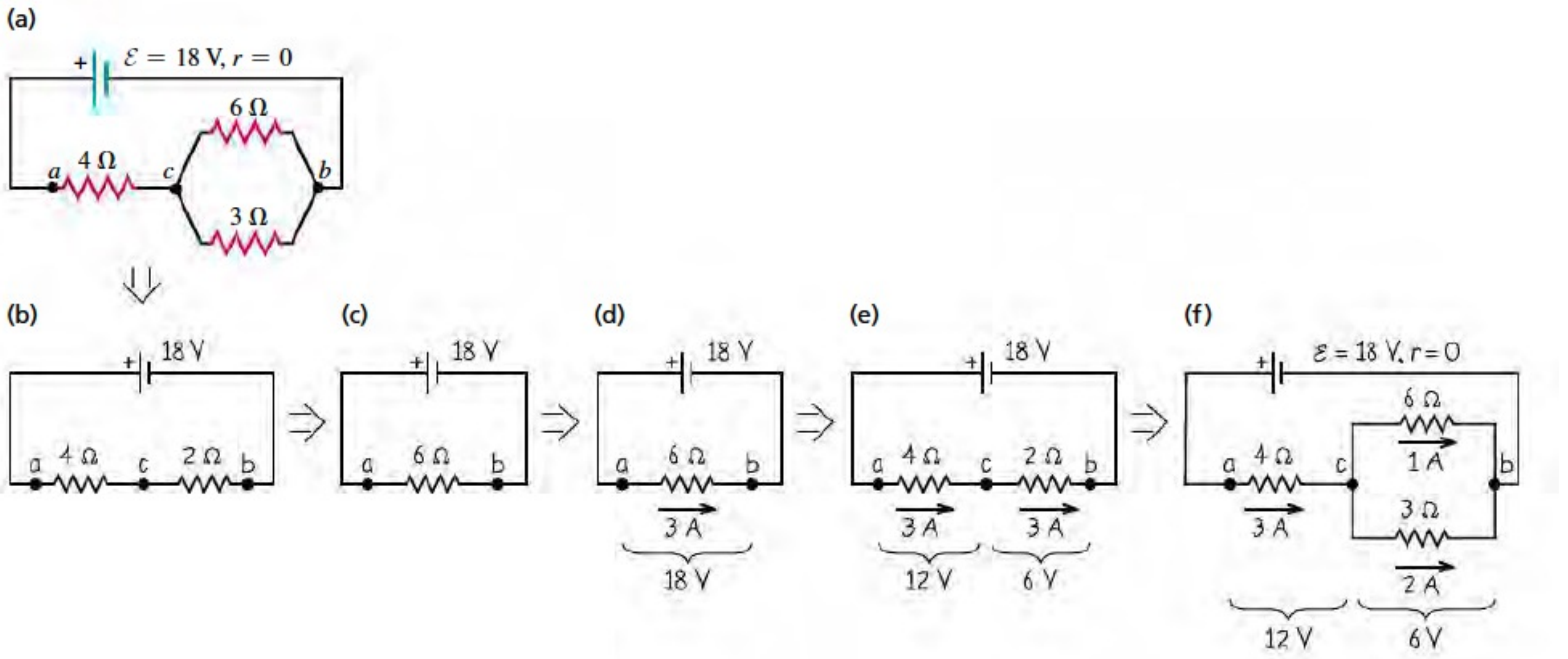
Αντιστάτες παράλληλα:

$$\frac{1}{R_{eq}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \cdots \tag{26.2}$$

Ισοδύναμη αντίσταση παράλληλου συνδυασμού — Αντιστάσεις των επιμέρους αντιστατών

Το αντίστροφο της ισοδύναμης αντίστασης ενός συνδυασμού αντιστατών παράλληλα συνδεδεμένων ισούται με το άθροισμα των αντίστροφων των επιμέρους αντιστάσεών τους. Η ισοδύναμη αντίσταση είναι πάντα μικρότερη από καθεμιά από τις επιμέρους αντιστάσεις.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ



(a)
$\mathcal{E}$ = 18 V, r = 0
6 Ω
4 Ω
3 Ω
a
c
b
(b)
18 V
a 4 Ω c 2 Ω b
(c)
18 V
a 6 Ω b
(d)
18 V
a 6 Ω b
3 A
18 V
(e)
18 V
a 4 Ω c 2 Ω b
3 A
3 A
12 V
6 V
(f)
$\mathcal{E}$ = 18 V, r = 0
6 Ω
1 A
a 4 Ω c
b
3 A
3 Ω
2 A
12 V
6 V

ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF

Κανόνας των κόμβων του Kirchhoff (ισχύει για κάθε κόμβο):

Το άθροισμα των ρευμάτων σε οποιονδήποτε κόμβο…

$$\sum I = 0 \qquad (26.5)$$

… ισούται με μηδέν.

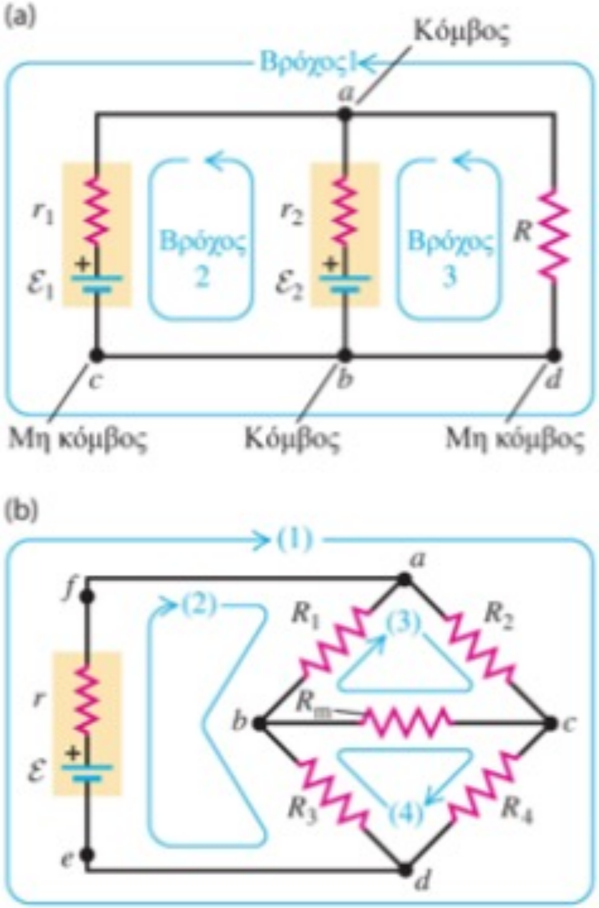
Κανόνας των βρόχων του Kirchhoff (ισχύει για κάθε κλειστό βρόχο):

Το άθροισμα των διαφορών δυναμικού κατά μήκος οποιουδήποτε βρόχου…

$$\sum V = 0 \qquad (26.6)$$

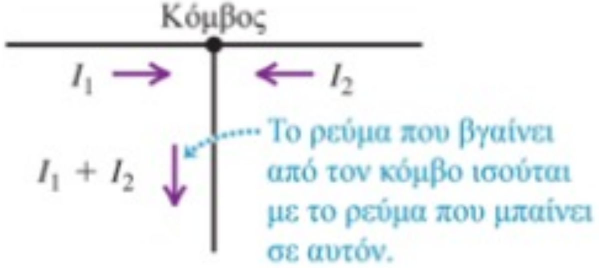
… ισούται με μηδέν.

26.6 Δύο δικτυώματα που δεν μπορούν να αναχθούν σε απλούς συνδυασμούς αντιστατών σε σειρά και παράλληλα.



ΚΑΝΟΝΕΣ ΤΟΥ KIRCHHOFF

(a) Κανόνας των κόμβων του Kirchhoff



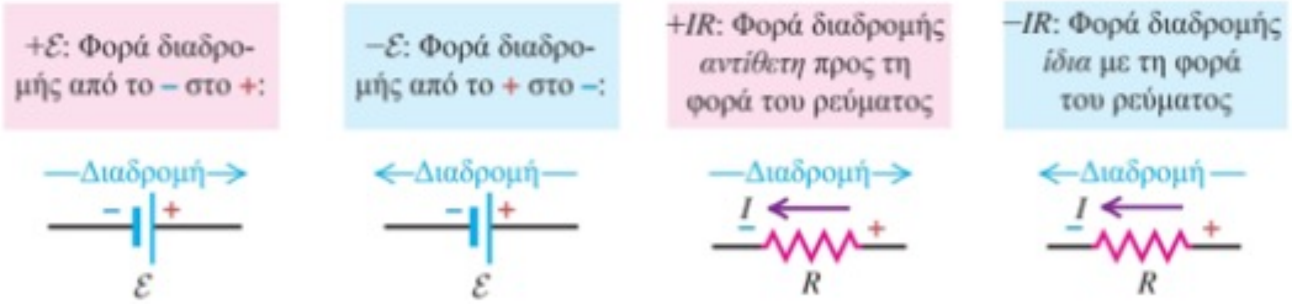
(b) Αναλογία υδροσωλήνα

26.7 Ο κανόνας των κόμβων του Kirchhoff αναφέρει ότι όσο ρεύμα εισέρχεται σε έναν κόμβο τόσο εξέρχεται από αυτόν.

Συμβάσεις προσήμου για τον κανόνα των βρόχων

26.8 Χρησιμοποιήστε αυτές τις συμβάσεις προσήμου όταν εφαρμόζετε τον κανόνα των βρόχων του Kirchhoff. Σε κάθε τμήμα του σχήματος, «φορά διαδρομής» είναι η φορά που κινούμαστε κατά μήκος του βρόχου, η οποία δεν είναι υποχρεωτικά η φορά του ρεύματος.

(a) Συμβάσεις προσήμου για ΗΕΔ (emf) (b) Συμβάσεις προσήμου για αντιστάτες



ΛΥΣΗ Υπάρχει μόνο ένας βρόχος, άρα δεν χρειαζόμαστε τον κανόνα του Kirchhoff για τους κόμβους. Για να χρησιμοποιήσουμε τον κανόνα των βρόχων, πρώτα καθορίζουμε μια υποθετική φορά για το ρεύμα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Στη συνέχεια αρχίζουμε από το a και κινούμαστε αντίθετα προς τους δείκτες του ρολογιού, προσθέτουμε αυξήσεις και μειώσεις δυναμικού και εξισώνουμε το άθροισμα με μηδέν. Η εξίσωση που προκύπτει είναι

$$-I(4\ \Omega) - 4\ \text{V} - I(7\ \Omega) + 12\ \text{V} - I(2\ \Omega) - I(3\ \Omega) = 0.$$

Λύνοντας ως προς I, βρίσκουμε

$$8\ \text{V} = I(16\ \Omega), \qquad \text{και} \qquad I = 0{,}5\ \text{A}.$$

Το I που προκύπτει είναι θετικό, άρα η επιλογή που κάναμε για τη φορά είναι σωστή. Σαν άσκηση υποθέστε την αντίθετη φορά για το I· τότε θα βρείτε $I = -0{,}5$ A, που δείχνει ότι το ρεύμα έχει αντίθετη φορά από αυτήν που υποθέσαμε.

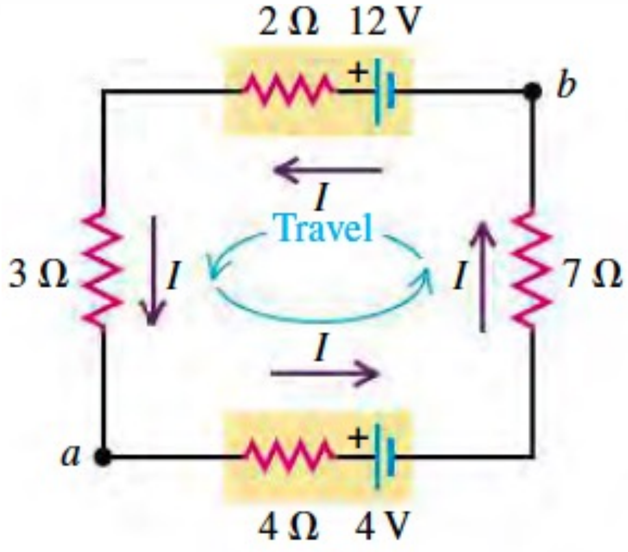
Για να βρούμε το V_{ab}, το δυναμικό του a ως προς το b, αρχίζουμε από το b και κινούμαστε προς το a, προσθέτοντας τις μεταβολές δυναμικού. Υπάρχουν δύο δυνατοί δρόμοι από το b στο a· ακολουθώντας πρώτα τον κάτω δρόμο, βρίσκουμε

$$V_{ab} = (0{,}5\ \text{A})\,(7\ \Omega) + 4\ \text{V} + (0{,}5\ \text{A})\,(4\ \Omega) = 9{,}5\ \text{V}.$$

Το a βρίσκεται σε υψηλότερο δυναμικό από το b κατά 9,5 V. Όλοι οι όροι αυτού του αθροίσματος είναι θετικοί διότι ο καθένας αντιστοιχεί σε *αύξηση* του δυναμικού καθώς οδεύουμε από το b προς το a. Αν ακολουθήσουμε τον πάνω δρόμο, η προκύπτουσα εξίσωση είναι

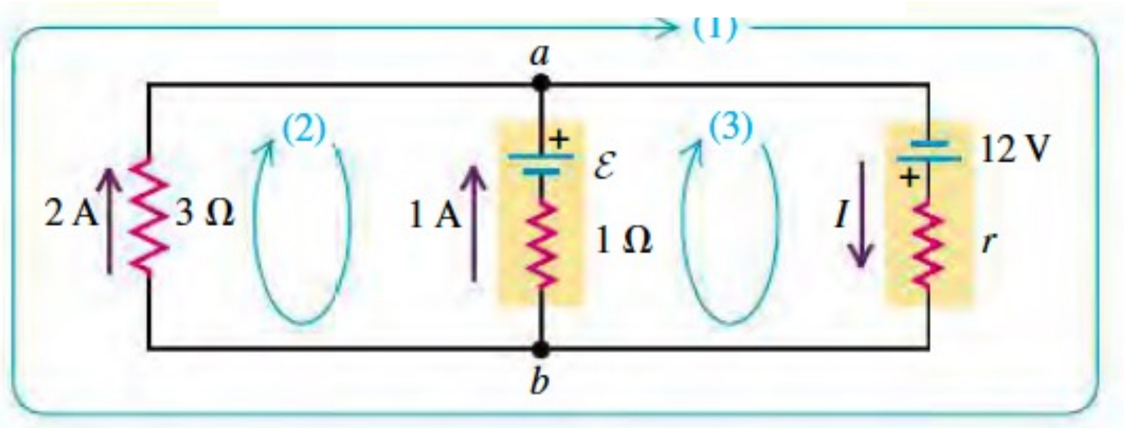
$$V_{ab} = 12\ \text{V} - (0{,}5\ \text{A})\,(2\ \Omega) - (0{,}5\ \text{A})\,(3\ \Omega) = 9{,}5\ \text{V}.$$

Εδώ οι όροι IR είναι αρνητικοί διότι η διαδρομή μας είναι κατά τη φορά του ρεύματος, με μειώσεις δυναμικού κατά τη διέλευσή μας δια των αντιστατών. Το αποτέλεσμα είναι το ίδιο όπως και για τον κάτω δρόμο, όπως άλλωστε και πρέπει να είναι: η ολική μεταβολή δυναμικού κατά μήκος του πλήρους βρόχου πρέπει να είναι μηδενική. Και στις δύο περιπτώσεις οι αυξήσεις δυναμικού θεωρήθηκαν θετικές και οι μειώσεις του αρνητικές.



Φόρτιση μπαταρίας

Κόμβος (a) $-I + 1\text{ A} + 2\text{ A} = 0 \qquad I = 3\text{ A}$



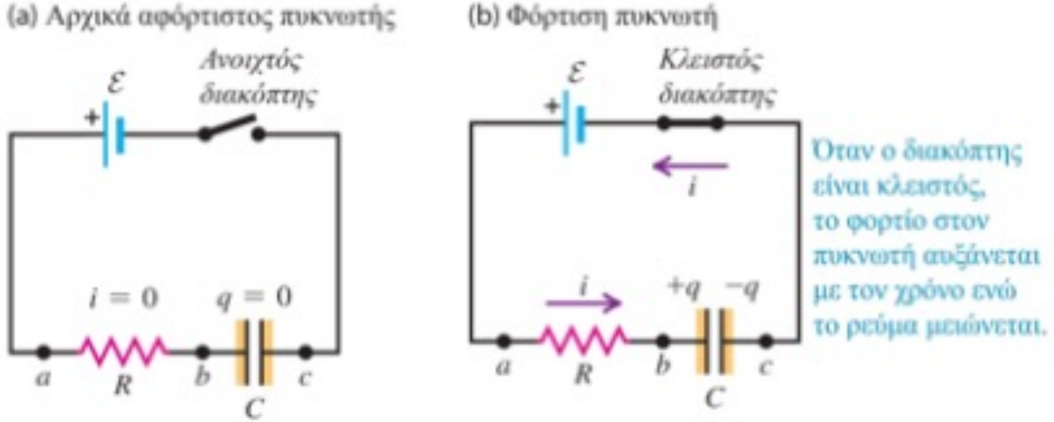
Βρόγχος (1) $12\text{ V} - (3\text{ A})r - (2\text{ A})(3\ \Omega) = 0 \qquad r = 2\ \Omega$

Βρόγχος (2) $-\mathcal{E} + (1\text{ A})(1\ \Omega) - (2\text{ A})(3\ \Omega) = 0 \qquad \mathcal{E} = -5\text{ V}$

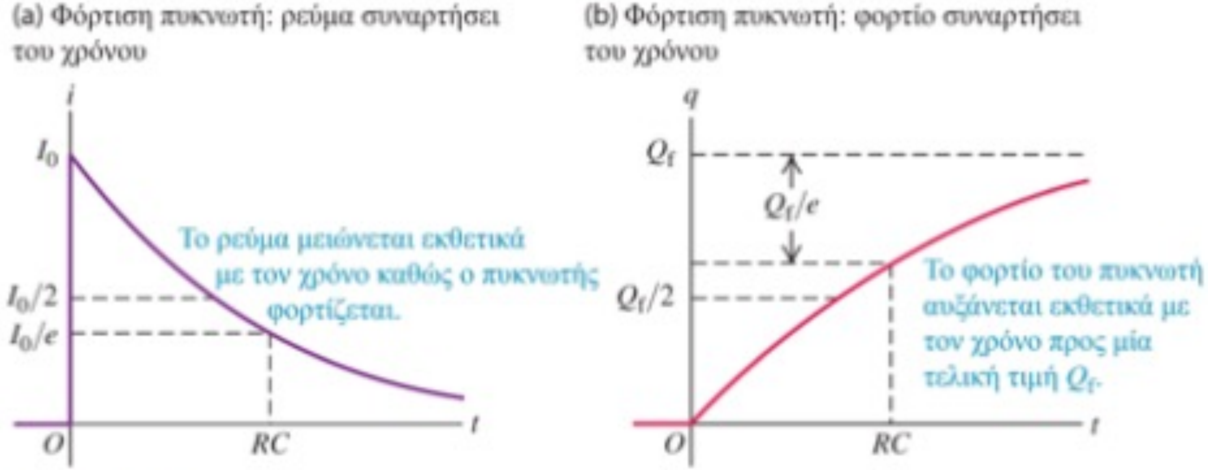
https://videos.papazissi.gr/EX26_4/

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ *R-C*: ΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

26.20 Φόρτιση πυκνωτή. (a) Μόλις πριν από το κλείσιμο του διακόπτη, το φορτίο q είναι μηδέν. (b) Όταν κλείσει ο διακόπτης (για $t = 0$), το ρεύμα πηδά από 0 σε $\mathcal{E}/R$. Καθώς περνάει ο χρόνος, το q πλησιάζει το Q_f και το ρεύμα i πλησιάζει το μηδέν.



26.21 Το ρεύμα i και το φορτίο του πυκνωτή q ως συναρτήσεις του χρόνου για το κύκλωμα του Σχ. 26.20. Το αρχικό ρεύμα είναι I_0 και το αρχικό φορτίο του πυκνωτή είναι μηδέν. Το ρεύμα πλησιάζει ασυμπτωτικά το μηδέν και το φορτίο του πυκνωτή πλησιάζει ασυμπτωτικά την τελική τιμή Q_f.



$$\tau = RC.$$

σταθερά χρόνου ή **χρόνος χαλάρωσης,**

Κύκλωμα *R-C*, φόρτιση πυκνωτή:

$$q = C\mathcal{E}(1 - e^{-t/RC}) = Q_f(1 - e^{-t/RC}) \quad (26.12)$$

Φορτίο πυκνωτή, Χωρητικότητα, Τελικό φορτίο πυκνωτή $= C\mathcal{E}$, ΗΕΔ μπαταρίας, Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη, Αντίσταση

Το στιγμιαίο ρεύμα i είναι η παράγωγος της 26.12 ως προς τον χρόνο.

Κύκλωμα *R-C*, φόρτιση πυκνωτή:

$$i = \frac{dq}{dt} = \frac{\mathcal{E}}{R}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \quad (26.13)$$

Ρεύμα, ΗΕΔ μπαταρίας, Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη, Αρχικό ρεύμα $= \mathcal{E}/R$, Ρυθμός μεταβολής φορτίου του πυκνωτή, Αντίσταση, Χωρητικότητα

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Ένας αντιστάτης με αντίσταση $R = 10$ MΩ συνδέεται σε σειρά με πυκνωτή χωρητικότητας 1 μF και συσσωρευτή με ΗΕΔ 12,0 V. Τη στιγμή $t = 0$ ο πυκνωτής είναι αφόρτιστος. a) Πόση είναι η σταθερά χρόνου του κυκλώματος; b) Τι κλάσμα του τελικού φορτίου βρίσκεται στους οπλισμούς του πυκνωτή τη χρονική στιγμή $t = 46$ s; c) Τι κλάσμα του αρχικού ρεύματος παραμένει όταν $t = 46$ s;

ΛΥΣΗ a) Η σταθερά χρόνου είναι

$$\tau = RC = (10 \times 10^6\ \Omega)(10^{-6}\ \text{F}) = 10\ \text{s}$$

b) Το κλάσμα του τελικού φορτίου που παραμένει είναι η ποσότητα q/Q_f:

$$\frac{q}{Q_f} = 1 - e^{-t/RC} = 1 - e^{-(46\ \text{s})/(10\ \text{s})} = 0{,}99.$$

Ο πυκνωτής είναι κατά 99 % φορτισμένος μετά από χρόνο ίσο με $4{,}6RC$, ή μετά από 4,6 σταθερές χρόνου.

c)

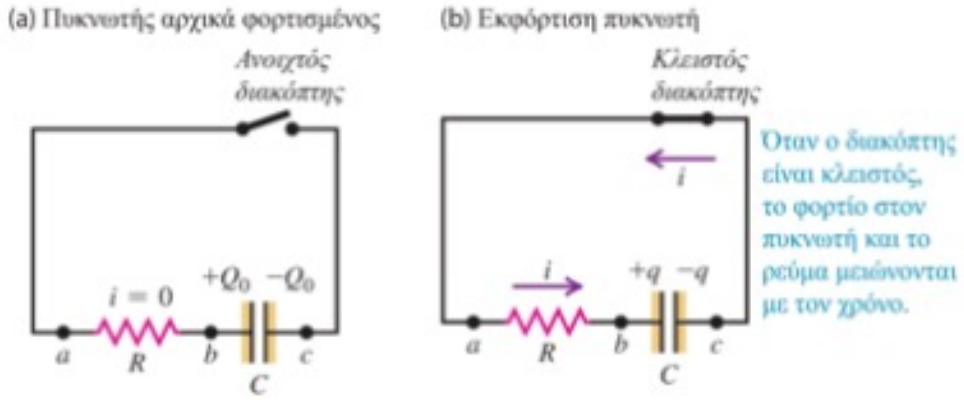
$$\frac{i}{I_0} = e^{-4{,}6} = 0{,}010.$$

Μετά από 4,6 σταθερές χρόνου το ρεύμα μειώθηκε στο 1,0 % της αρχικής του τιμής.

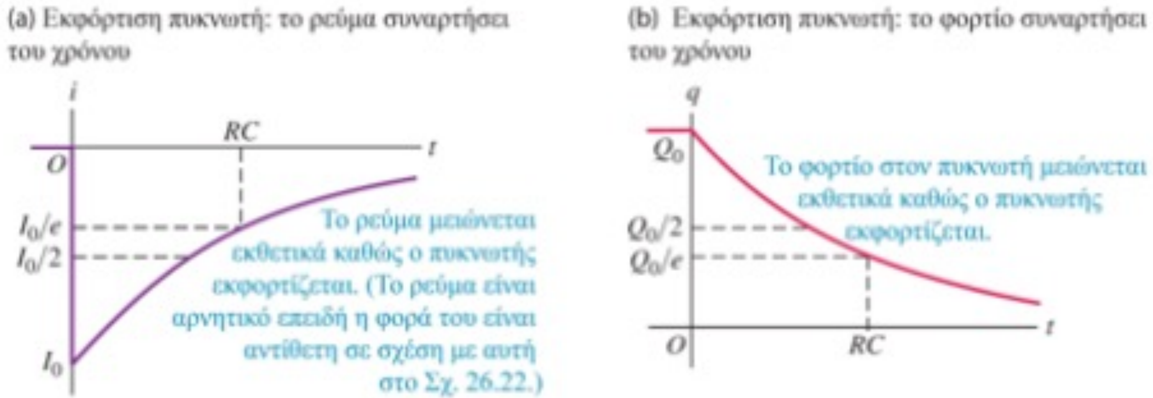
https://videos.papazissi.gr/EX26_12/

ΚΥΚΛΩΜΑΤΑ *R-C*: ΕΚΦΟΡΤΙΣΗ ΠΥΚΝΩΤΗ

26.22 Εκφόρτιση πυκνωτή.
(a) Πριν κλείσει ο διακόπτης τη στιγμή $t = 0$, το φορτίο του πυκνωτή είναι Q_0 και το ρεύμα είναι μηδέν.
(b) Τη στιγμή t, μετά το κλείσιμο του διακόπτη, το φορτίο του πυκνωτή είναι q και το ρεύμα είναι i. Η φορά του ρεύματος είναι αντίθετη προς τη φορά που φαίνεται στο σχήμα· το i είναι αρνητικό. Μετά από πολύ χρόνο, τα q και i τείνουν στο μηδέν.



26.23 Ρεύμα i και φορτίο πυκνωτή q συναρτήσει του χρόνου για το κύκλωμα στο Σχ. 26.22. Το αρχικό ρεύμα είναι I_0 και το αρχικό φορτίο πυκνωτή είναι Q_0. Και τα δύο τείνουν ασυμπτωτικά στο μηδέν.



Κύκλωμα *R-C*, εκφόρτιση πυκνωτή:

$$\underbrace{q}_{\text{Φορτίο πυκνωτή}} = \underbrace{Q_0}_{\text{Αρχικό φορτίο πυκνωτή}} e^{-t/RC} \qquad (26.16)$$

Φορτίο πυκνωτή · Αρχικό φορτίο πυκνωτή, · Χωρητικότητα · Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη · Αντίσταση

Το στιγμιαίο ρεύμα i είναι η παράγωγος ως προς τον χρόνο αυτής της έκφρασης του φορτίου:

Κύκλωμα *R-C*, εκφόρτιση πυκνωτή:

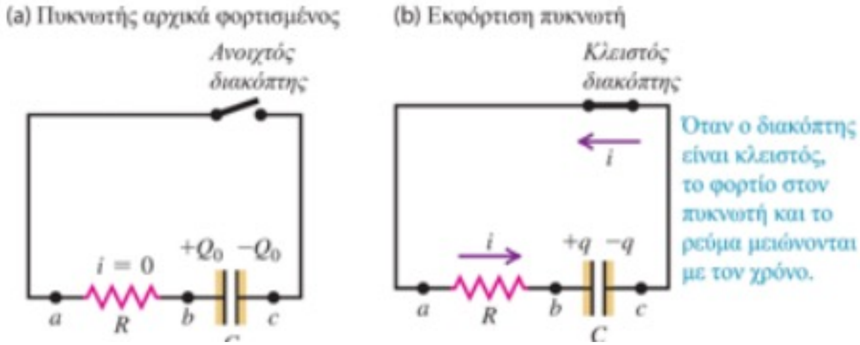
$$i = \frac{dq}{dt} = -\frac{Q_0}{RC}e^{-t/RC} = I_0 e^{-t/RC} \qquad (26.17)$$

Ρεύμα · Αρχικό φορτίο πυκνωτή · Χωρητικότητα · Χρόνος από κλείσιμο διακόπτη · Ρυθμός μεταβολής φορτίου του πυκνωτή · Αντίσταση · Αρχικό ρεύμα $= -Q_0/RC$

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Αρχικό φορτίο

$5.0\ \mu C$



Τη στιγμή t=0 κλείνουμε τον διακόπτη.
α) ποιά στιγμή το φορτίο θα είναι 0,50 μC ?
β) ποιό είναι το ρεύμα αυτήν την στιγμή?

αντίσταση $R = 10\ M\Omega$ πυκνωτή χωρητικότητας $1\ \mu F$ $RC = \tau = 10\ s.$

α) $$t = -RC \ln \frac{q}{Q_0} = -(10\ s) \ln \frac{0.50\ \mu C}{5.0\ \mu C} = 23\ s = 2.3\tau$$

β) $$i = -\frac{Q_0}{RC} e^{-t/RC} = -\frac{5.0 \times 10^{-6}\ C}{10\ s} e^{-2.3} = -5.0 \times 10^{-8}\ A$$

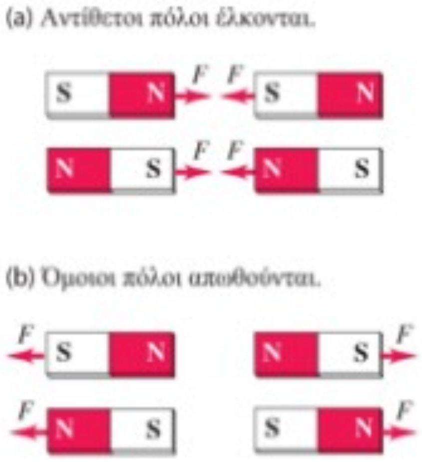
https://videos.papazissi.gr/EX26_13/

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 27

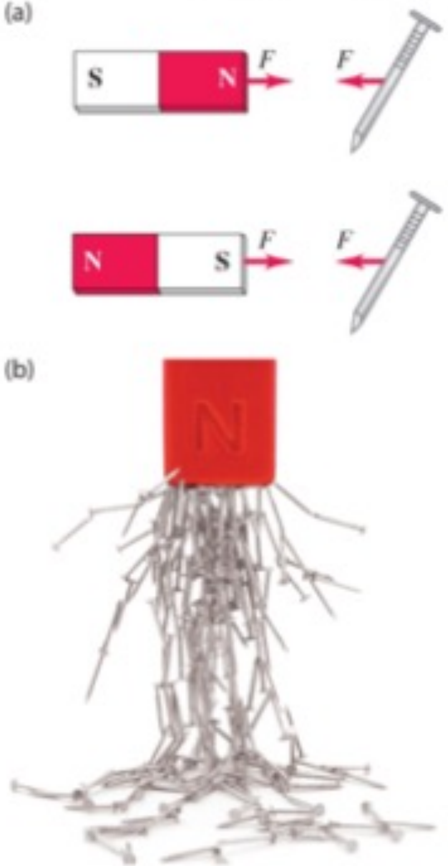
ΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΠΕΔΙΟ
ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΕΣ ΔΥΝΑΜΕΙΣ

Μαγνητισμός - Μαγνητικά φαινόμενα

27.1 (a) Δύο ραβδόμορφοι μαγνήτες έλκονται όταν οι αντίθετοι πόλοι (N και S ή S και N) είναι ο ένας κοντά στον άλλο. (b) Οι ραβδόμορφοι μαγνήτες αλληλοαπωθούνται όταν οι όμοιοι πόλοι (N και N ή S και S) είναι ο ένας κοντά στον άλλο.



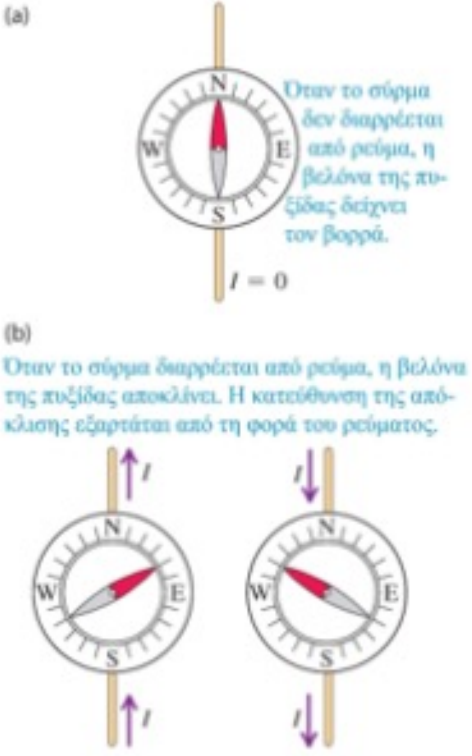
27.2 (a) Και οι δύο πόλοι ενός ραβδόμορφου μαγνήτη έλκουν ένα μη μαγνητισμένο αντικείμενο που περιέχει σίδηρο, όπως ένα καρφί. (b) Ένα παράδειγμα του φαινομένου από την πραγματική ζωή.



27.4 Τομή ενός ραβδόμορφου μαγνήτη. Καθένα από τα δύο κομμάτια έχει έναν βόρειο και έναν νότιο πόλο, ακόμη και όταν τα δύο κομμάτια έχουν διαφορετικά μεγέθη. (Όσο πιο μικρό είναι το κομμάτι, τόσο πιο ασθενής είναι ο μαγνητισμός του.)

Πείραμα του Oersted

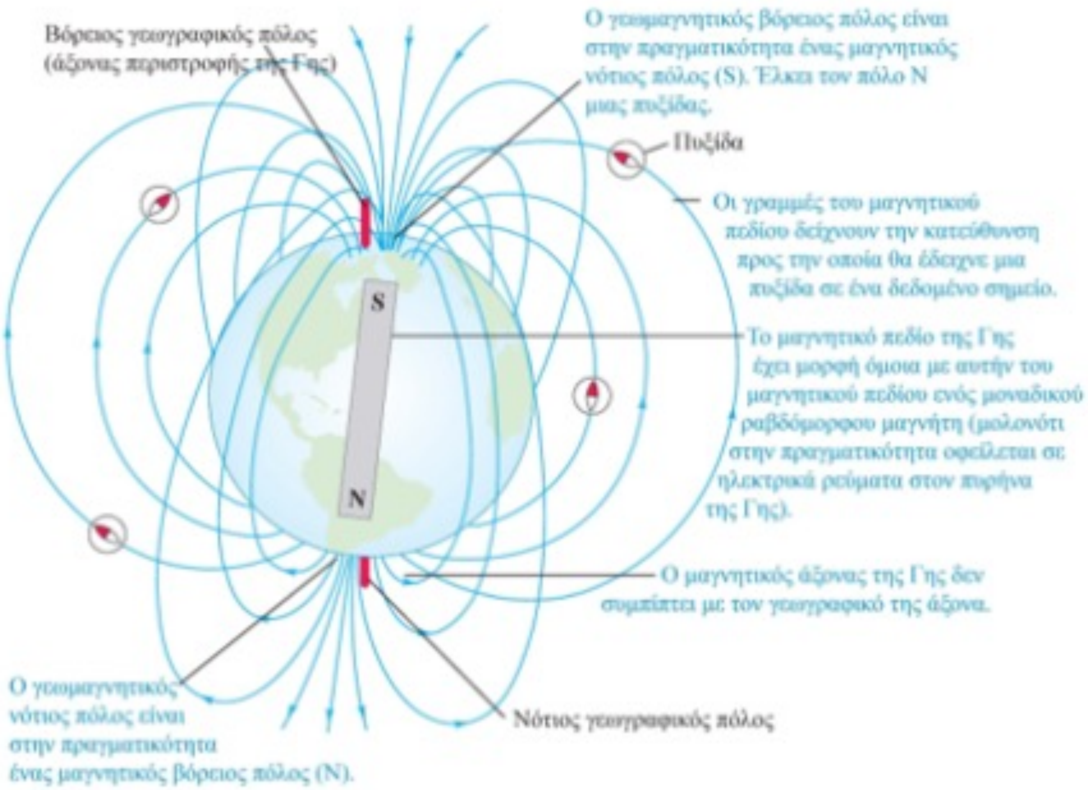
27.5 Στο πείραμα του Oersted μια πυξίδα τοποθετείται ακριβώς πάνω από ένα οριζόντιο σύρμα (εδώ φαίνεται σε κάτοψη).



Ένα κινούμενο φορτίο ή ένα ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ένα **μαγνητικό πεδίο** στον περιβάλλοντα χώρο (επιπροσθέτως του *ηλεκτρικού* του πεδίου).

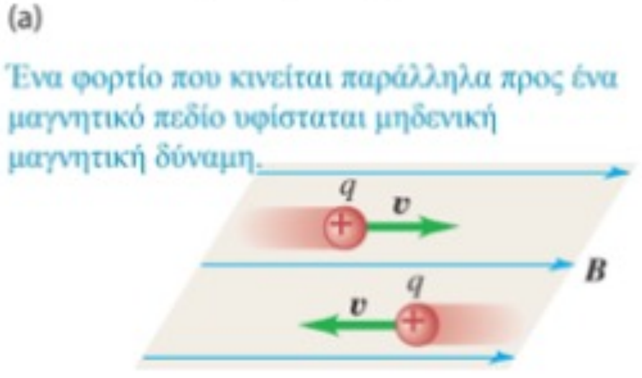
Σχέδιο του μαγνητικού πεδίου της Γης

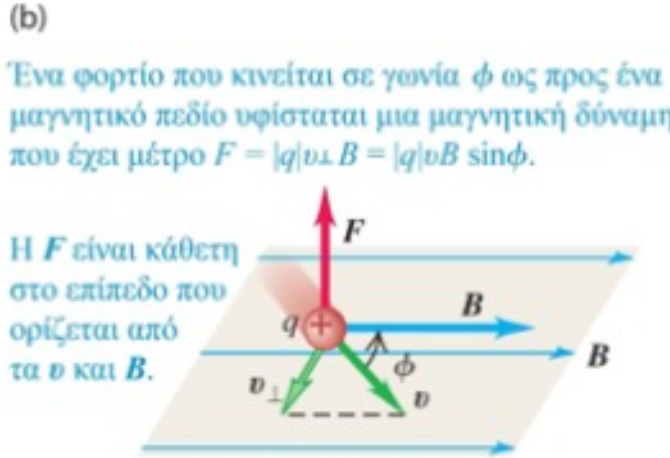
27.3 Ένα σχεδιάγραμμα του μαγνητικού πεδίου της Γης. Το πεδίο, που παράγεται από ρεύματα στον τετηγμένο πυρήνα της Γης, μεταβάλλεται με τον χρόνο· γεωλογική μαρτυρία δείχνει ότι υφίσταται πλήρη αντιστροφή κατεύθυνσης σε κανονικά διαστήματα των 10^4 έως 10^6 ετών.



Μαγνητικές δυνάμεις σε κινούμενα φορτία

27.6 Η μαγνητική δύναμη $\boldsymbol{F}$ που ασκείται πάνω σε ένα θετικό φορτίο q το οποίο κινείται με ταχύτητα $\boldsymbol{v}$ είναι κάθετη τόσο στη $\boldsymbol{v}$ όσο και στο μαγνητικό πεδίο $\boldsymbol{B}$. Για δεδομένες τιμές των μέτρων της ταχύτητας, v, και του μαγνητικού πεδίου, B, η δύναμη είναι μέγιστη όταν τα $\boldsymbol{v}$ και $\boldsymbol{B}$ είναι κάθετα μεταξύ τους.





Το ακριβές όνομα του μεγέθους **B** είναι *μαγνητική επαγωγή* ή/και δευτερευόντως *πυκνότητα μαγνητικής ροής*. Στην πράξη όμως έχει επικρατήσει η ονομασία **μαγνητικό πεδίο B**

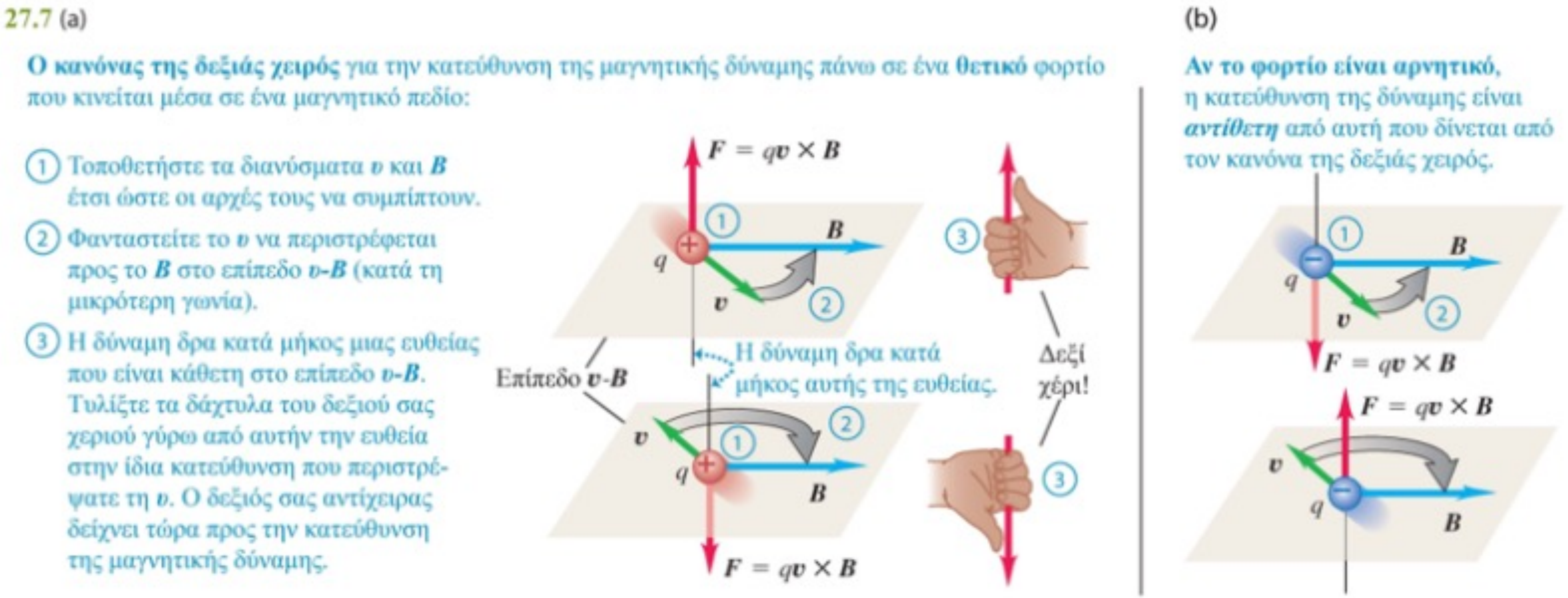
$$F = |q|v_{\perp}B = |q|vB\sin\phi \qquad (27.1)$$

Φορτίο σωματίου

Μαγνητική δύναμη πάνω σε κινούμενο φορτισμένο σωμάτιο $\rightarrow \boldsymbol{F} = q\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} \leftarrow$ Μαγνητικό πεδίο $\qquad$ (27.2)

Ταχύτητα σωματίου

Κατεύθυνση της μαγνητικής δύναμης πάνω σε κινούμενο φορτισμένο σωμάτιο



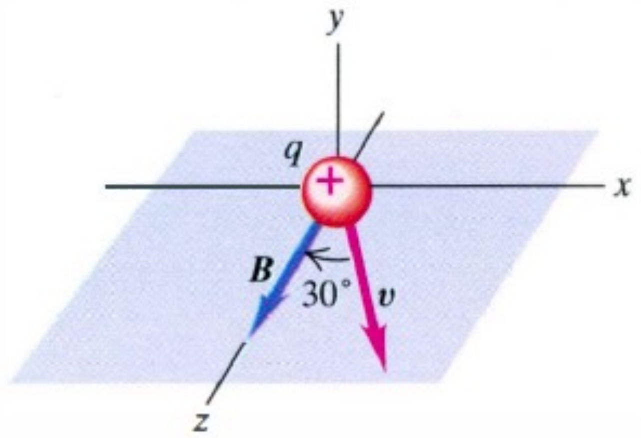
$$1 \text{ τέσλα} = 1 \text{ tesla} = 1\ \text{T} = 1\ \text{N/A} \cdot \text{m}$$

Μια άλλη μονάδα του B, το γκάους (**gauss**, $1\ \text{G} = 10^{-4}\ \text{T}$), χρησιμοποιείται επίσης συχνά.

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Μια δέσμη πρωτονίων κινείται μέσα σε ομογενές μαγνητικό πεδίο μέτρου 2,0 T, που έχει την κατεύθυνση του άξονα των θετικών z, όπως στο Σχ. 28–7. Τα πρωτόνια έχουν ταχύτητα με μέτρο $3{,}0 \times 10^5$ m/s και κινούνται στο επίπεδο xz σε κατεύθυνση που σχηματίζει γωνία 30° με τον άξονα των θετικών z. Να υπολογιστεί η δύναμη που ασκείται πάνω σε ένα πρωτόνιο (για το οποίο $q = 1{,}6 \times 10^{-19}$ C).

ΛΥΣΗ Ο κανόνας του δεξιού χεριού δείχνει ότι η κατεύθυνση της δύναμης είναι αυτή του άξονα των αρνητικών y.



28–7 Οι κατευθύνσεις των $\boldsymbol{v}$ και $\boldsymbol{B}$ για μια δέσμη πρωτονίων.

Έτσι έχουμε

$$
\begin{aligned}
F &= qvB \sin\phi \\
&= (1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C})(3{,}0 \times 10^5\ \text{m/s})(2{,}0\ \text{T})(\sin 30^\circ) \\
&= 4{,}8 \times 10^{-14}\ \text{N}.
\end{aligned}
$$

Εναλλακτικά, στη γλώσσα των διανυσμάτων,

$$\boldsymbol{v} = (3 \times 10^5\ \text{m/s})[(\sin 30^\circ)\boldsymbol{i} + (\cos 30^\circ)\boldsymbol{k}],$$

$$\boldsymbol{B} = (2{,}0\ \text{T})\,\boldsymbol{k},$$

$$
\begin{aligned}
\boldsymbol{F} &= q\boldsymbol{v} \times \boldsymbol{B} \\
&= (1{,}6 \times 10^{-19}\ \text{C})(3 \times 10^5\ \text{m/s})[(\sin 30^\circ)\boldsymbol{i} + \\
&\quad (\cos 30^\circ)\boldsymbol{k}] \times (2{,}0\ \text{T})\boldsymbol{k} \\
&= (-4{,}8 \times 10^{-14}\ \text{N})\boldsymbol{j}
\end{aligned}
$$

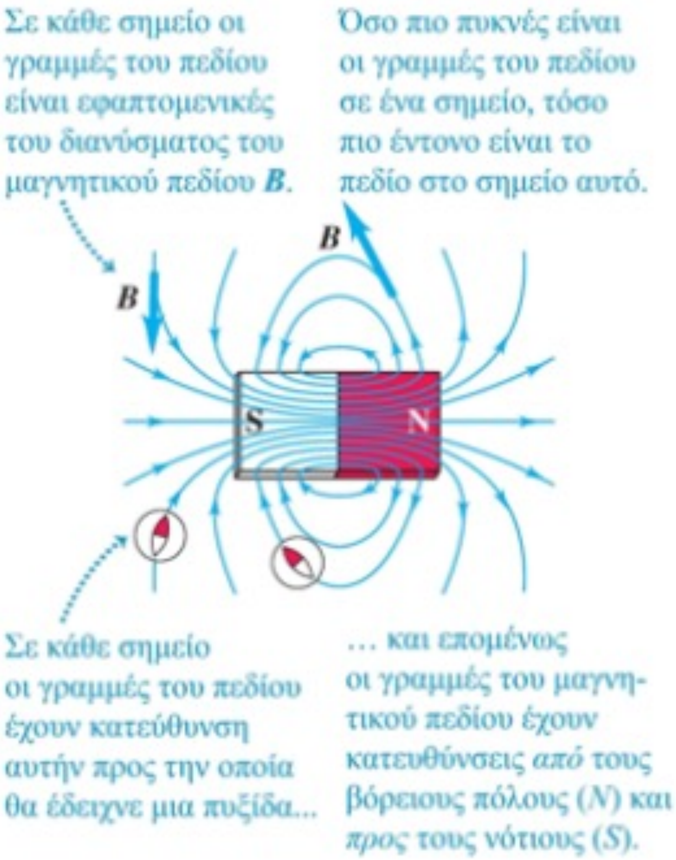
(επειδή $\boldsymbol{i} \times \boldsymbol{k} = -\boldsymbol{j}$ και $\boldsymbol{k} \times \boldsymbol{k} = \boldsymbol{0}$).

Αν η δέσμη αποτελείται από *ηλεκτρόνια* αντί από πρωτόνια, το φορτίο είναι αρνητικό ($q = -1{,}6 \times 10^{-19}$ C), και η κατεύθυνση της δύναμης αντιστρέφεται. Η δύναμη έχει τώρα την κατεύθυνση του άξονα των *θετικών y*· το μέτρο της δύναμης είναι, όπως και πριν, $F = 4{,}8 \times 10^{-14}$ N.

https://videos.papazissi.gr/EX27_1/

ΓΡΑΜΜΕΣ ΤΟΥ ΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ ΚΑΙ ΜΑΓΝΗΤΙΚΗ ΡΟΗ

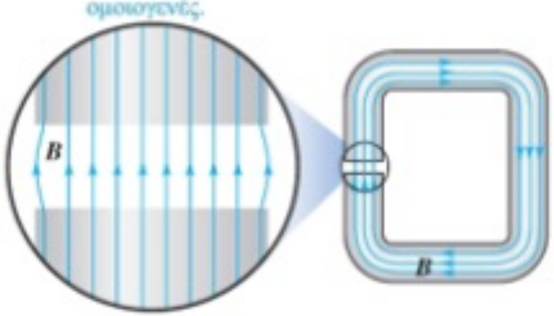
27.11 Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου ενός μόνιμου μαγνήτη. Παρατηρήστε ότι οι γραμμές διαπερνούν το εσωτερικό του μαγνήτη.



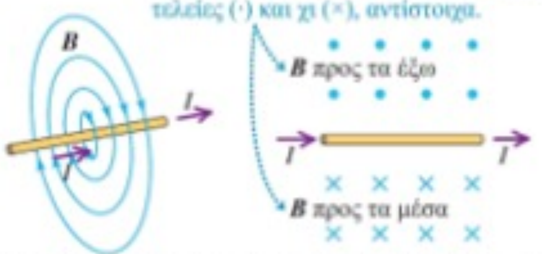
27.12 Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου *δεν* είναι «γραμμές δύναμης».

Οι γραμμές του μαγνητικού πεδίου που παράγονται από μερικές κοινές πηγές μαγνητικού πεδίου

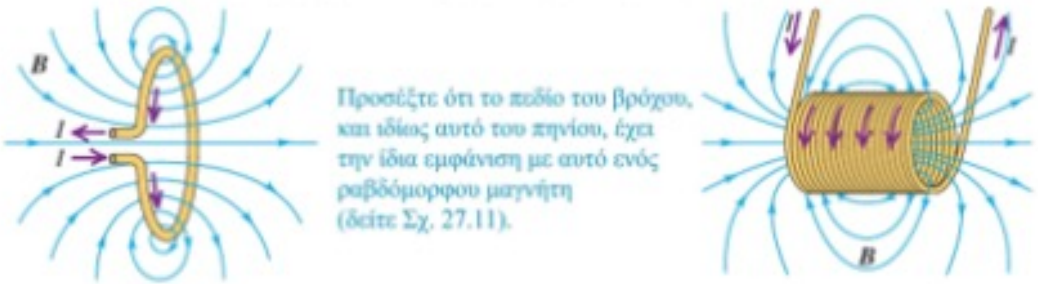
27.13 (a) Το μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη με σχήμα C



(b) Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου ρευματοφόρου αγωγού

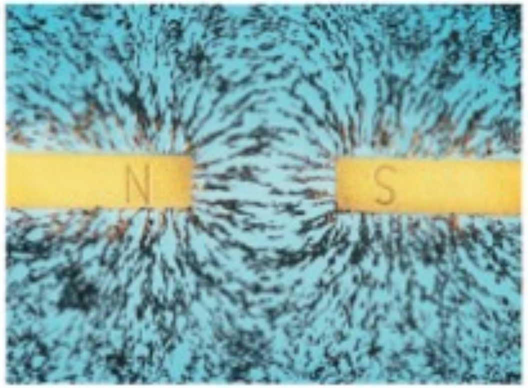


(c) Τα μαγνητικά πεδία ενός ρευματοφόρου βρόχου και ενός ρευματοφόρου πηνίου (σωληνοειδούς)

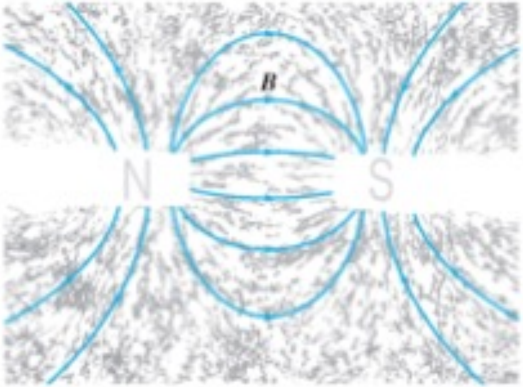


27.14 (a) Σαν μικρές βελόνες πυξίδων, τα ρινίσματα του σιδήρου προσανατολίζονται εφαπτομενικά προς τις γραμμές του μαγνητικού πεδίου. (b) Σχεδίαση των γραμμών του πεδίου για την κατάσταση που φαίνεται στο (a).

(a)

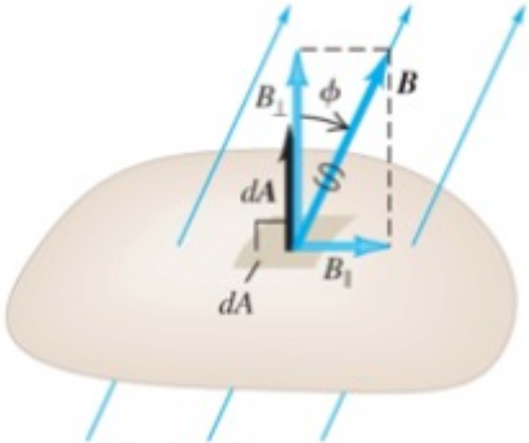


(b)



Μαγνητική ροή και ο νόμος του Gauss για τον μαγνητισμό

27.15 Η μαγνητική ροή μέσα από ένα στοιχείο επιφάνειας με εμβαδόν dA ορίζεται ως $d\Phi_B = B_\perp dA$.



$$d\Phi_B = B_\perp dA = B\cos\phi \, dA = \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{A} \qquad (27.5)$$

Η *ολική* μαγνητική ροή μέσα από την επιφάνεια ισούται με το άθροισμα των συνεισφορών από όλα τα στοιχεία επιφάνειας:

Μέτρο του διανύσματος $\boldsymbol{B}$ του μαγνητικού πεδίου

Συνιστώσα του $\boldsymbol{B}$ κάθετα στην επιφάνεια

Η μαγνητική ροή μέσα από μια επιφάνεια

$$\Phi_B = \int B\cos\phi \, \underbrace{dA}_{\text{Στοιχείο εμβαδού της επιφάνειας}} = \int B_\perp \, \underbrace{dA}_{\text{Στοιχείο εμβαδού της επιφάνειας}} = \int \boldsymbol{B} \cdot \underbrace{d\boldsymbol{A}}_{\text{Διανυσματικό στοιχείο εμβαδού της επιφάνειας}} \qquad (27.6)$$

Η γωνία ανάμεσα στο $\boldsymbol{B}$ και την κάθετη στην επιφάνεια

Επίσης, 1 T = 1 N/A · m, οπότε $\qquad 1\ \text{Wb} = 1\ \text{T} \cdot \text{m}^2 = 1\ \text{N} \cdot \text{m/A}$

Ο νόμος του Gauss για τον Μαγνητισμό:

$$\overbrace{\oint \boldsymbol{B} \cdot d\boldsymbol{A}}^{\text{Η ολική μαγνητική ροή μέσα από οποιαδήποτε κλειστή επιφάνεια...}} = 0 \quad \text{... ισούται με μηδέν.} \qquad (27.8)$$

διότι δεν υπάρχουν μαγνητικά μονόπολα, κατ' αναλογία προς τα ηλεκτρικά φορτία.