

**(1) ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΦΟΡΤΙΟ** ή απλά **φορτίο** [Σύμβολο: Q, q και μονάδα(SI): 1Coulomb (1C)]

Είναι ιδιότητα της ύλης που αποδίδεται στο πρωτόνιο, (**θετικό**), και στο ηλεκτρόνιο, (**αρνητικό**), και είναι υπεύθυνο για όλα τα ηλεκτρικά φαινόμενα. Το φορτίο ενός σώματος, ως φυσικό μέγεθος, **ορίζεται** με τον τύπο:  $Q=(N_{\text{πρωτ.}} - N_{\text{ηλεκτ.}}) \cdot e$ , όπου  $e=1,6 \cdot 10^{-19}\text{C} = q_{\text{πρωτ}} = |q_{\text{ηλεκτ}}|$ . Είναι μέγεθος “**κβαντισμένο**”, δηλαδή μπορεί να υπάρξει μόνο σε **ακέραια** πολλαπλάσια μίας στοιχειώδους (ελάχιστης) ποσότητας, του e.

**(2) ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ** (τα φορτία θεωρούνται σημειακά και ακλόνητα)

**α. Περιγραφή των ηλεκτροστατικών φαινομένων με την “δράση από απόσταση”.**

Δύο φορτία Q και q, σε απόσταση r αλληλεπιδρούν με κεντρικές **δυνάμεις**, ελκτικές εάν τα φορτία είναι ετερόσημα και απωστικές εάν είναι ομόσημα, το μέτρο των οποίων δίνεται από το

$$F = k \cdot \frac{|q| \cdot |Q|}{r^2}$$

**νόμο του Coulomb**: , ενώ το σύστημα των δύο φορτίων έχει **δυναμική ενέργεια** (μονάδα(SI): 1Joule, 1J) που **ορίζεται** ως το έργο της μεταξύ τους δύναμης για την μεταφορά των

$$U = k \cdot \frac{q \cdot Q}{r}$$

δύο φορτίων από την αρχική τους απόσταση r σε άπειρη απόσταση και ισούται με :

[Ακριβέστερα η δυναμική ενέργεια ορίζεται ως  $W_{F_{\text{απόστ.}}: q \rightarrow \infty} = -\Delta U = U_{\text{αρχ.}} - U_{\text{τελ.}}$ ]

**β. Περιγραφή των ηλεκτροστατικών φαινομένων με το “ηλεκτρικό πεδίο”.**

Είναι ο χώρος μέσα στον οποίο κάθε φορτισμένο σώμα δέχεται ηλεκτρικές δυνάμεις. Προέρχεται από την παρουσία κάποιου φορτίου – πηγής. Αντίστοιχα με την **δύναμη** και την **δυναμική ενέργεια** η γλώσσα του πεδίου χρησιμοποιεί τις έννοιες της **έντασης** και του **δυναμικού**.

Η **ένταση**, σε ένα σημείο M ενός πεδίου, (μονάδα(SI): 1N/C ή το 1V/m) **ορίζεται** ως η δύναμη

$$E_M = \frac{F}{q}$$

που δέχεται η μονάδα υποθέματος (φορτίου) στο σημείο M του πεδίου: , είναι **διανυσματικό** μέγεθος με φορά και διεύθυνση που καθορίζεται από το είδος του πεδίου. Το **δυναμικό**, σε ένα σημείο M ενός πεδίου, (μονάδα(SI): 1Volt, 1V) ορίζεται ως το έργο της δύναμης του πεδίου, για την μεταφορά της μονάδας του υποθέματος (φορτίου) από το σημείο M έως το

$$V_M = \frac{W_{qM \rightarrow \infty}}{q}$$

άπειρο: και είναι **μονόμετρο** μέγεθος.

**ΠΡΟΣΟΧΗ!!!:** Οι δύο αυτές έννοιες αναφέρονται σε κάθε σημείο του πεδίου ανεξάρτητα από την ύπαρξη ή όχι φορτίου στο σημείο αυτό, ενώ οι έννοιες της δύναμης και της δυναμικής ενέργειας προϋποθέτουν την ύπαρξη δύο φορτίων. Οι έννοιες **πηγή** και **υπόθεμα** δεν είναι αυστηρά προσδιορίσιμες αλλά μπορούν να αποδοθούν σε οποιοδήποτε από τα δύο φορτία.

**γ.** Ένα τρίτο εργαλείο για την περιγραφή ενός πεδίου είναι οι **δυναμικές γραμμές**, οι οποίες ορίζονται ως οι **φανταστικές** γραμμές, σε κάθε σημείο των οποίων, είναι εφαπτόμενο το διάνυσμα της έντασης του πεδίου στο σημείο αυτό. Οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από θετικά και καταλήγουν σε αρνητικά φορτία, είναι επομένως ανοικτές (για ένα φορτίο) ή κλειστές γραμμές (για δύο φορτία). Η πυκνότητά τους είναι μέτρο της έντασης του πεδίου. Από κάθε σημείο ενός πεδίου περνάει μία και μόνο μία δυναμική γραμμή.

**δ. Ειδικές περιπτώσεις πεδίων**

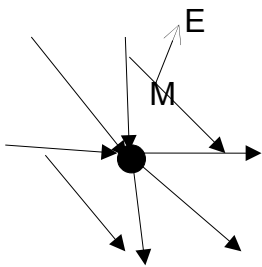
• **Πεδίο Coulomb:** Είναι το πεδίο του ακλόνητου σημειακού φορτίου Q. Η ένταση και το δυναμικό σε κάθε σημείο του πεδίου αυτού δίνονται από τις σχέσεις:

$$E = k \cdot \frac{|Q|}{r^2}, \text{ με κατεύθυνση από το M προς το Q αν } Q < 0 \text{ και αντίθετα αν } Q > 0, \text{ και } V = k \cdot \frac{Q}{r},$$

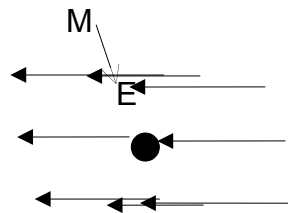
θετικό αν  $Q > 0$  και αρνητικό αν  $Q < 0$ . Αν  $Q > 0$  (σχ. α), οι δυναμικές γραμμές - ευθείες - ξεκινούν από το Q, ενώ αν  $Q < 0$  (σχ.β) κατευθύνονται προς αυτό.

• **Ομογενές πεδίο (σχ. γ):** Είναι το πεδίο σε κάθε σημείο του οποίου και σε κάθε χρονική στιγμή η **ένταση** είναι **σταθερή** κατά **μέτρο** και **κατεύθυνση**. Για την ένταση και το δυναμικό του ομογενούς πεδίου ισχύουν οι γενικοί τύποι που δόθηκαν παραπάνω στο εδάφιο β, ενώ μεταξύ έντασης του πεδίου και διαφοράς δυναμικού μεταξύ οποιονδήποτε δύο σημείων του που απέχουν απόσταση d ισχύει η σχέση:  $E=V/d$ . Οι δυναμικές γραμμές του ομογενούς πεδίου είναι ευθείες παράλληλες και ισαπέχουσες, με φορά από θετικά προς αρνητικά φορτία. Ομογενές είναι το

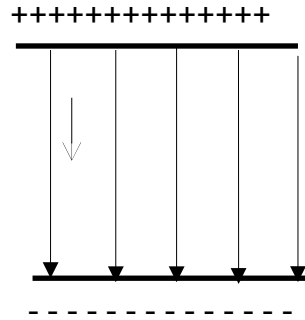
πεδίο που σχηματίζεται μεταξύ δύο παράλληλων, αγωγίμων και αντίθετα φορτισμένων (+/-Q) πλακών.



σχ. α



σχ. β



σχ. γ

### ε. Η σχέση των δύο περιγραφών

• Εάν γνωρίζουμε την ένταση και το δυναμικό σε κάποιο σημείο M ενός πεδίου, τότε εάν τοποθετηθεί στο M ένα φορτίο q:

→ θα δεχτεί δύναμη F το μέτρο της οποίας δίνεται από την σχέση  $F = |q| \cdot E_M$  και η φορά της είναι: της E, εάν  $q > 0$  και αντίθετη της E, εάν  $q < 0$ , ενώ

→ το σύστημα θα διαθέτει δυναμική ενέργεια  $U = q \cdot V_M$ , θετική αν  $q, V_M$  ομόσημα και αρνητική αν  $q, V_M$  ετερόσημα.

• Αν A και B δύο σημεία ενός πεδίου, η διαφορά δυναμικού  $V_{AB} = V_A - V_B$ , ορίζεται ως το έργο της δύναμης του πεδίου για την μεταφορά της μονάδας του φορτίου από το A στο B. Ταυτόχρονα κατά την μεταβολή αυτή αλλάζει η δυναμική ενέργεια του συστήματος (του φορτίου εντός του πεδίου). Ισχύουν οι σχέσεις:  $W_{qA \rightarrow B} = -\Delta U = U_A - U_B = q \cdot V_A - q \cdot V_B = q \cdot V_{AB} = -W_{qB \rightarrow A}$

### (3) ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

**α. Περιγραφή:** Πρόκειται για την προσανατολισμένη κίνηση των **ελευθέρων ηλεκτρονίων** των μεταλλικών αγωγών (ή των ιόντων αν πρόκειται για υγρά ή αέρια) εξαιτίας κάποιας διαφοράς δυναμικού, που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού. Απαραίτητες προϋποθέσεις για την ύπαρξη ηλεκτρικού ρεύματος είναι η ύπαρξη φορέων (ελευθέρων ηλεκτρονίων ή ιόντων), το κλειστό κύκλωμα και η παρουσία πηγής σε αυτό. Η πηγή **δεν παρέχει ηλεκτρόνια στο κύκλωμα**, αλλά δημιουργεί στο εσωτερικό ενός μεταλλικού αγωγού ένα ηλεκτρικό πεδίο, συνεπώς, τα **ήδη υπάρχοντα** ελεύθερα ηλεκτρόνια δέχονται ηλεκτρικές δυνάμεις, αντίρροπες της κατεύθυνσης του ηλεκτρικού πεδίου, εξαιτίας των οποίων τίθενται σε κίνηση. Με άλλα λόγια η πηγή προσφέρει στα ελεύθερα ηλεκτρόνια την απαραίτητη ενέργεια. Η πηγή είναι ένας μετατροπέας ενέργειας από κάποια μορφή ( π.χ. χημική αν πρόκειται για μπαταρία, κινητική αν πρόκειται για γεννήτρια κ.λ.π.) σε ηλεκτρική. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια είναι το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου και προσφέρεται στα ηλεκτρόνια ως κινητική ενέργεια.

#### β. Βασικά μεγέθη

• Χαρακτηριστικά μεγέθη μίας πηγής είναι η **εσωτερική αντίσταση** της πηγής r και η **ηλεκτρεγερτική δύναμη** της πηγής (ΗΕΔ), (μονάδα(SI): 1Volt, 1V) που **ορίζεται** ως η ανά μονάδα φορτίου παρεχόμενη ενέργεια στο σύνολο ενός κυκλώματος (εξωτερικές αντιστάσεις /

$$\varepsilon = \frac{W_{\text{ολική}}}{q}$$

εσωτερική αντίσταση της πηγής). Το πηλίκο της ΗΕΔ προς την r ισούται με το **ρεύμα βραχυκυκλώσεως** της πηγής ( $I_B$ ).

• Η ποσότητα του φορτίου που διέρχεται στη μονάδα του χρόνου από μία διατομή ενός

$$I = \frac{Q}{t} = \frac{N \cdot e}{t}$$

αγωγού **ορίζεται** ως η **ένταση** του ηλεκτρικού ρεύματος: (μονάδα(SI): 1Ampere, 1A)

**ΣΗΜΕΙΩΣΗ:** Η φορά των ηλεκτρονίων είναι η **πραγματική** φορά του ηλεκτρικού ρεύματος, ωστόσο για ιστορικούς λόγους χρησιμοποιούμε την **συμβατική** φορά του ηλεκτρικού ρεύματος που είναι αντίθετη (από τον θετικό στον αρνητικό πόλο της πηγής στο εξωτερικό κύκλωμα).

- Κατά την προσανατολισμένη τους κίνηση τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συναντούν δυσκολία στη διέλευση τους μέσω του αγωγού, η οποία οφείλεται στις συγκρούσεις με τα ιόντα του αγωγού και εξαρτάται από το είδος του υλικού ( $\rho_0, \alpha$ ), τη θερμοκρασία ( $\theta$ ) και τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του αγωγού ( $\ell, S$ ). Μέτρο αυτής της δυσκολίας είναι η **αντίσταση**  $R$  (μονάδα(SI):

$$R = [\rho_0 \cdot (1 + \alpha\theta)] \cdot \frac{\ell}{S} = \rho \cdot \frac{\ell}{S} = R_0 \cdot (1 + \alpha\theta)$$

1Ohm, 1Ω) του αγωγού:  $R = \frac{V}{I}$ . Η αντίσταση ενός αγωγού **ορίζεται** ως το πηλίκο της τάσης (διαφοράς δυναμικού) στα άκρα του αγωγού προς την ένταση

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

του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό:

**ΠΡΟΣΟΧΗ!!!:** Ο ορισμός της αντίστασης είναι **γενικός** και καλύπτει όλες τις περιπτώσεις αγωγών. Η σχέση  $R=V/I$  δε σημαίνει ότι η αντίσταση είναι ανάλογη της τάσης και αντιστρόφως ανάλογη της έντασης, αλλά ότι ισούται με το πηλίκο τους, που μόνο στην ειδική περίπτωση του **μεταλλικού αγωγού σταθερής θερμοκρασίας** είναι σταθερό.

**γ. Σχέσεις μεταξύ των βασικών μεγεθών** (αναφέρεται σε απλό ηλεκτρικό κύκλωμα με πηγή ( $\varepsilon, r$ ) και καταναλωτές ισοδύναμης αντίστασης  $R_{\text{εξωτ.}}$ , με ιδανικά καλώδια ( $R=0$ ))

- Για το σύνολο του ηλεκτρικού κυκλώματος ισχύουν:

$$I_{\text{ολ.}} = \frac{\varepsilon}{R_{\text{εξωτ.}} + r}$$

Νόμος του Ohm:

Τάση (διαφορά δυναμικού) στους πόλους της πηγής:  $V_{\text{πολ.}} = \varepsilon - Ir = IR_{\text{εξωτ.}}$

$$W = \varepsilon \cdot I \cdot t = I_{\text{ολ.}}^2 (R + r)t = \frac{\varepsilon^2}{R + r} t$$

Ενέργεια που η πηγή προσφέρει στο κύκλωμα:

Ισχύς της ηλεκτρικής ενέργειας που η πηγή προσφέρει στο κύκλωμα:

$$P = \frac{W}{t} = \varepsilon \cdot I_{\text{ολ.}} = I_{\text{ολ.}}^2 (R + r) = \frac{\varepsilon^2}{R + r} \quad (\text{μονάδα(SI): 1Watt, 1W})$$

- Για κάποιο παθητικό τμήμα (καταναλωτή) AB ενός κυκλώματος, αντίστασης  $R$  ισχύουν:

$$I = \frac{V_{AB}}{R}$$

Νόμος του Ohm:

Τάση (διαφορά δυναμικού) στα A και B:  $V_{AB} = IR$

$$W = V_{AB} \cdot I \cdot t = I^2 R t = \frac{V_{AB}^2}{R} t$$

Ενέργεια που η πηγή προσφέρει στο τμήμα AB:  $= Q$  (θερμότητα/v.Joule)

$$P = V_{AB} \cdot I = I^2 R = \frac{V_{AB}^2}{R}$$

Ισχύς της ηλεκτρικής ενέργειας που η πηγή προσφέρει στο κύκλωμα:

Η ηλεκτρική ενέργεια (δυναμική), που η πηγή προσφέρει σε ένα τέτοιο κύκλωμα μετατρέπεται αποκλειστικά σε θερμότητα στους αντιστάτες του εξωτερικού κυκλώματος (έστω  $R_{\text{εξ.}} = R$ ) και στην εσωτερική αντίσταση της πηγής  $r$ , λόγω συγκρούσεων των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα ιόντα του αγωγού (φαινόμενο Joule):  $W = Q_R + Q_r = I^2 \cdot R \cdot t + I^2 \cdot r \cdot t$ .

#### δ. Συνδεσμολογία αντιστατών

**σειράς:** οι αντιστάτες συνδέονται ώστε να έχουν ανά δύο ένα κοινό άκρο

κοινό  $I$ , άθροιση τάσεων (2<sup>ος</sup> κανόνας Kirchhoff) και  $R_{\text{ισοδ.}} = R_1 + R_2 + \dots$

**παράλληλη:** οι αντιστάτες συνδέονται ώστε να έχουν κοινά και τα δύο τους άκρα

$$\frac{1}{R_{\text{ισοδ.}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots$$

κοινή τάση, άθροιση εντάσεων (1<sup>ος</sup> κανόνας Kirchhoff) και

#### (4) ΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Το αναβόσβημα ενός λαμπτήρα ή το στιγμιαίο τίναγμα όταν αγγίζουμε την πόρτα ενός αυτοκινήτου (ηλεκτρικά φαινόμενα) μοιάζουν πολύ διαφορετικά από το μαγνητάκι που κολλάμε στο ψυγείο (μαγνητικά φαινόμενα). Ωστόσο μία πρώτη, πιο προσεκτική ματιά αποκαλύπτει τα παρακάτω:

→ Ομοιότητες: δύο είδη υποθεμάτων (+/- και B/N), αλληλεπιδράσεις κοινής κατεύθυνσης (ομόσημα / ετερόσημα), περιγραφή με κοινές έννοιες (πεδίο/ ένταση /δυν. γραμμές/ ενέργεια)

→ Διαφορές: οι μαγνητικοί πόλοι δεν απομονώνονται, οι μαγνητικές δυν. γραμμές είναι μόνο κλειστές και όχι ανοικτές

Η σχέση των δύο ομάδων φαινομένων γίνεται ακόμη πιο σαφής με τις εξής παρατηρήσεις:

**α.** Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί μαγνητικό πεδίο, ισοδυναμεί δηλαδή με μαγνήτη (φαιν. Oersted)

**β.** Οι μαγνήτες ασκούν δυνάμεις στους ρευματοφόρους αγωγούς (δύναμη Laplace)

**γ.** Η κίνηση ενός μεταλλικού αγωγού εντός του πεδίου ενός μαγνήτη δημιουργεί ΗΕΔ (Faraday)

Ακόμη παρατηρούμε ότι:

**α'.** Τα ακλόνητα ηλεκτρικά φορτία δεν μπορούν να δημιουργήσουν μαγνητικό πεδίο

**β'.** Ένας αγωγός που δεν διαρρέεται από ρεύμα δεν δέχεται δυνάμεις από έναν μαγνήτη

**γ'.** Δεν εμφανίζεται ΗΕΔ στα άκρα ενός ακίνητου αγωγού ακόμη και εντός μαγνητικού πεδίου

Θα έλεγε κανείς ότι η διαφορά των δύο ομάδων φαινομένων έγκειται στην κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων/ ηλεκτρονίων. Αν όμως αναλογιστούμε ότι δεν υπάρχουν ακίνητες δομικές μονάδες στην ύλη τότε οι δύο συμπεριφορές είναι αξεχώριστες (π.χ είναι δύσκολο να φανταστούμε την ύλη δίχως μαγνητικές ιδιότητες από την στιγμή που η υπεύθυνη για την μαγνητική συμπεριφορά ιδιοπεριστροφή (spin) των ηλεκτρονίων είναι εγγενές χαρακτηριστικό της ύλης). Πράγματι όπως θα φανεί σε αυτό το κεφάλαιο οι δύο ομάδες φαινομένων εντάσσονται στο πλαίσιο μίας θεωρίας του ηλεκτρομαγνητισμού, η τεκμηρίωση του οποίου ολοκληρώθηκε με το έργο του Maxwell στα 1864.