

Ενότητα 1

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Κεφάλαιο 1- Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

Το βασικότερο φυσικό μέγεθος για τη μελέτη του ηλεκτρισμού είναι το **ηλεκτρικό φορτίο** το οποίο έχει μονάδα μέτρησης στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI) το **1C** (Coulomb).

Σε πολλά παραδείγματα παρατηρούμε ότι **ετερώνυμα** φορτία (δηλ. ένα θετικό και ένα αρνητικό) **έλκονται** και **ομώνυμα** (δηλ. και τα δύο θετικά ή και τα δύο αρνητικά) **απωθούνται**.

Τα φορτισμένα σώματα λέμε ότι έχουν **θετικό** ή **αρνητικό** φορτίο.

Για να καταλάβουμε τον ηλεκτρισμό πρέπει να εξετάσουμε τον **μικρόκοσμο**. Γνωρίζουμε πως όλα τα υλικά αποτελούνται από μόρια, που με τη σειρά τους αποτελούνται από άτομα. Πώς μοιάζουν όμως τα άτομα αυτά;

Μπορούμε να φανταστούμε το άτομο ως εξής: ο **πυρήνας** είναι μια μεγάλη (αναλογικά!) σφαίρα με **θετικό** φορτίο. Γύρω από τον πυρήνα περιστρέφονται τα **ηλεκτρόνια**, τα οποία έχουν αρνητικό φορτίο. Ένα ηλεκτρόνιο έχει φορτίο $-1,6 \times 10^{-19}C$. Επίσης, ο πυρήνας αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια. Τα πρωτόνια έχουν φορτίο $+1,6 \times 10^{-19}C$. Τα νετρόνια είναι **ηλεκτρικά ουδέτερα**.

Το **φαινόμενο της κβάντωσης** με απλά λόγια λέει ότι, αφού το μικρότερο φορτίο (θετικό ή αρνητικό) είναι αυτό του ηλεκτρονίου, κάθε φορτισμένο σώμα έχει φορτίο ίσο με **ακέραιες** φορές το φορτίο του ηλεκτρονίου. Στη γλώσσα των μαθηματικών,

$$Q = N \times q_e,$$

όπου q_e το φορτίο του ηλεκτρονίου και $N=0,1,2,-1,-2...$

Μία ακόμα πολύ σημαντική αρχή είναι η **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου**. Αυτή λέει ότι το συνολικό φορτίο στο σύμπαν διατηρείται σταθερό. Επομένως, κάθε φορά που ένα σώμα φορτίζεται θετικά, ένα άλλο φορτίζεται αρνητικά και το αντίστροφο.

Πώς όμως φορτίζονται τα σώματα; Χονδρικά μπορούμε να χωρίσουμε τους τρόπους φόρτισης σε 3 κατηγορίες: **ηλέκτριση με επαφή**, **ηλέκτριση με τριβή** και **ηλέκτριση με επαγωγή**. Λόγω του μεγέθους τους, τα ηλεκτρόνια είναι τα μόνα που μπορούν στην πράξη να “ξεφύγουν” από την τροχιά τους και να “μεταπηδήσουν” από ένα σώμα σε ένα άλλο. Ένα σώμα του οποίου τα άτομα έχουν **αποβάλλει** ηλεκτρόνια θα έχει λοιπόν **θετικό** φορτίο, επομένως το σώμα με το οποίο γίνεται η τριβή ή επαφή αντίστοιχα θα έχει **αρνητικό** φορτίο από τα επιπλέον ηλεκτρόνια που έχει προσλάβει.

Προηγουμένως κάναμε λόγο για ηλεκτρόνια που “μεταπηδούν” από ένα υλικό σε ένα άλλο. Προφανώς αυτό δεν είναι εξίσου εύκολο να συμβεί σε κάθε υλικό. Ακόμα και αν συμβεί, τα ηλεκτρόνια θα “σκοπιστούν” σε όλο το χώρο του υλικού ή θα παραμείνουν στο σημείο που ήρθε σε επαφή με το άλλο

υλικό;

Η ερώτηση αυτή μας επιτρέπει να χωρίσουμε τα υλικά σε δύο κυρίες κατηγορίες:

Τα υλικά που επιτρέπουν το διασκορπισμό του ηλεκτρικού φορτίου σε όλη τους την έκταση ονομάζονται **αγωγοί**. Τα υλικά στα οποία το ηλεκτρικό φορτίο παραμένει όλο στην περιοχή που φορτίσαμε ονομάζονται **μονωτές**.

Η **ηλεκτρική δύναμη** είναι η δύναμη που προκαλούν τα ηλεκτρικά φορτία. Για να την καταλάβουμε, πρέπει να δώσουμε πρώτα έναν ορισμό: αυτόν του σημειακού φορτίου.

Σημειακά φορτία ονομάζονται:

- Οι φορτισμένες σφαίρες
- Φορτισμένα σώματα τα οποία είναι τόσο μικρά, ή τόσο μακριά το ένα από το άλλο, ώστε να “φαίνονται” σαν μικρές σφαίρες.

Η εξήγηση για τα παραπάνω είναι μη εξεταστέα, ωστόσο πληροφοριακά μπορούμε να αναφέρουμε ότι η λογική είναι η εξής: *πρέπει να μπορούμε να θεωρήσουμε με μεγάλη ακρίβεια το σώμα ένα σημείο, μία κουκίδα. Αυτό φυσικά ισχύει για μικρά σώματα, ή σώματα που είναι μακριά το ένα από το άλλο, αλλά γιατί και για σφαίρες; Η απάντηση είναι, επειδή η σφαίρα είναι το μόνο σχήμα που έχει το ίδιο μήκος σε κάθε διάσταση (όσο ύψος, τόσο πλάτος, και τόσο βάθος έχει). Έτσι, οι διαστάσεις της σφαίρας δεν παίζουν ρόλο. Σε άλλα σώματα, π.χ. κυλίνδρους, αν τους φέρουμε αρκετά κοντά, ο νόμος του Coulomb παύει να ισχύει.*

Με αυτά κατά νου, είμαστε σε θέση να διατυπώσουμε το **νόμο του Coulomb**:

Το **μέτρο** της ηλεκτρικής **δύναμης (F)** με την οποία αλληλεπιδρούν δύο **σημειακά φορτία** (q_1, q_2) είναι **ανάλογο** του **γινομένου** των φορτίων και **αντιστρόφως ανάλογο** του **τετραγώνου** της μεταξύ τους **απόστασης (r)**.

Στη γλώσσα των μαθηματικών ο ν. Coulomb γράφεται:

$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Παρατηρήσεις:

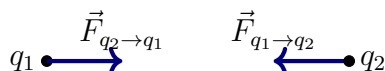
α) Το K ονομάζεται σταθερά αναλογίας: ο ν. Coulomb μιλά για *αναλογίες* και όχι *ισότητες*. Το να πει κάποιος ότι δύο ποσά A και B είναι ανάλογα σημαίνει ότι υπάρχει κάποιο νούμερο K, ώστε $A = K \cdot B$. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής δύναμης, η σταθερά αναλογίας (που γενικά εξαρτάται από το υλικό) έχει τιμή:

$$K = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$$

για το **κενό** στο διεθνές σύστημα μονάδων (SI).

β) Ο ν. Coulomb μιλά για το μέτρο της δύναμης, όχι την κατεύθυνσή της. Και αυτή όμως μπορεί εύκολα

να βρεθεί. Η σχετική απόδειξη δεν ανήκει στην ύλη αυτού του μαθήματος, αλλά η δύναμη μεταξύ δύο σημειακών φορτίων έχει την κατεύθυνση του σχήματος:



στην περίπτωση που τα δύο φορτία είναι ετερόνυμα και την κατεύθυνση του σχήματος:



στην περίπτωση που τα φορτία είναι ομώνυμα. Αναφέρουμε πληροφοριακά μία ακόμα ενδιαφέρουσα έννοια: το **ηλεκτρικό πεδίο** είναι ένας άλλος, πληρέστερος τρόπος να περιγράψουμε τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ φορτισμένων σωμάτων. Ο μόνος τρόπος να αντιληφθούμε την ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου είναι να τοποθετήσουμε μέσα σε αυτό ένα φορτισμένο σώμα. Το ηλεκτρικό πεδίο χαρακτηρίζεται από την ένταση E , η οποία ισούται με τη δύναμη ανά μονάδα φορτίου, δηλαδή $E = \frac{F}{q}$.

Ασκήσεις

1.

- α) Αναφέρετε την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.
β) Είναι δυνατόν να υπάρχει στη φύση ηλεκτρικό φορτίο ίσο με:

- i) $2 \times 10^{-19}C$;
ii) $0,8 \times 10^{-19}C$;
iii) $-3,2 \times 10^{-19}C$;
iv) $-3,4 \times 10^{-19}C$;

2.

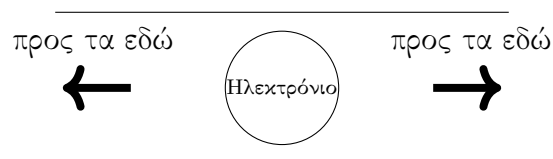
Η δύναμη μεταξύ δύο σημειακών φορτίων είναι F_0 . Πόση θα γίνει η δύναμη αν:

- α) Διπλασιάσουμε το ένα από τα δύο φορτία;
β) Διπλασιάσουμε την απόσταση μεταξύ των φορτίων;
γ) Διπλασιάσουμε ταυτόχρονα και τα δύο φορτία;
δ) Διπλασιάσουμε ταυτόχρονα και τα δύο φορτία, αλλά και την απόσταση μεταξύ τους;

Κεφάλαιο 2- Ηλεκτρικό ρεύμα

Ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζουμε την **προσανατολισμένη** κίνηση ηλεκτρονίων και γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων.

Θα εξετάσουμε τον ορισμό αυτό κάπως “ανάποδα”, από το τέλος προς την αρχή. Αρχικά, τα φορτισμένα σωματίδια εκτός των ηλεκτρονίων δε θα μας απασχολήσουν για αυτό το μάθημα. Η προσανατολισμένη κίνηση είναι κίνηση προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Προφανώς, αυτό δημιουργεί ένα ερώτημα: προς ποια; Σε ένα καλώδιο, λόγω χάρη, υπάρχουν δύο προφανείς κατευθύνσεις για να κινηθούν τα ηλεκτρόνια:



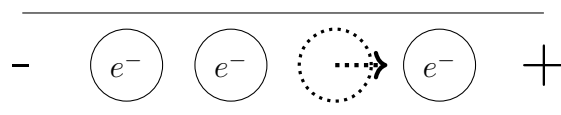
Θα γυρίσουμε σύντομα σε αυτό, αφού πρώτα προσθέσουμε στο οπλοστάσιό μας μερικά μεγέθη που θα μας βοηθήσουν να μελετήσουμε το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ηλεκτρική πηγή: Αν και είναι δύσκολο να εξηγήσει κανείς τι είναι η ηλεκτρική πηγή, έχουμε πολλά παραδείγματα στην καθημερινή μας ζωή- με πρώτο και απλούστερο τη μπαταρία. Για τώρα λοιπόν θα θεωρήσουμε τον όρο ηλεκτρική πηγή συνώνυμο της λέξης **μπαταρία**.

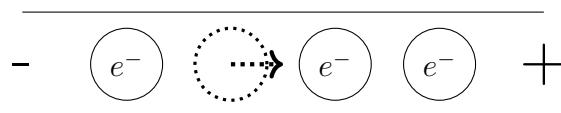
Κάθε μπαταρία έχει δύο περιοχές που ονομάζονται **πόλοι**. Αυτές οι περιοχές είναι αντίθετα φορτισμένες (ο ένας πόλος λέγεται **θετικός** και ο άλλος **αρνητικός**).

Ας δούμε τι θα συμβεί αν συνδέσουμε ένα καλώδιο με τους πόλους μίας μπαταρίας. Τα καλώδια αποτελούνται συνήθως από μέταλλα, τα οποία έχουν την εξής ιδιότητα: κάποια ηλεκτρόνια είναι “χαλαρά” συνδεδεμένα με τους πυρήνες, και μπορούν σχετικά εύκολα να διαφύγουν. Τα ηλεκτρόνια αυτά ονομάζονται **ελεύθερα**. Παράδειγμα τέτοιου υλικού είναι ο χαλκός.

Αν συνδέσουμε το καλώδιο όπως στο παρακάτω σχήμα παίρνουμε μία τέτοια διάταξη (προφανώς πολύ χονδρικά):



Το ηλεκτρόνιο που βρίσκεται πλησιέστερα στο θετικό πόλο ξεκίνησε να κινείται προς αυτόν, αφού τα ετερώνυμα έλκονται. Έτσι, όμως, το ηλεκτρόνιο αριστερά από αυτό (το κεντρικό στην εικόνα μας) έχει ακριβώς αριστερά του ένα αρνητικό φορτίο και ακριβώς δεξιά του... Τίποτα! Αφού τα ομόνυμα απωθούνται, θα κινηθεί και αυτό προς τα δεξιά. Το σχήμα λοιπόν μοιάζει κάπως έτσι:



Είναι φανερό πως αυτό συνεχίζεται, και καταλήγει σε όλα τα ηλεκτρόνια να κινούνται προς τα δεξιά. Αυτή η προσανατολισμένη κίνηση είναι το **ηλεκτρικό ρεύμα**.

Η **ένταση** του ηλεκτρικού ρεύματος, I ορίζεται ως το πηλίκο του φορτίου που διαπερνά μία διατομή του αγωγού στη μονάδα του χρόνου, δηλαδή στη γλώσσα των μαθηματικών $I = \frac{q}{t}$. Μετριέται σε A (Ampère) και εκφράζει πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηλεκτρικό ρεύμα. Ο λόγος που επιλέγουμε αυτό το μέγεθος είναι ότι είναι σίγουρα πιο πρακτικό από το να μετράμε τα (πάρα πολλά) ηλεκτρόνια που περνούν από μία διατομή του αγωγού, και ομοίως την ταχύτητά τους (η οποία, περιέργως, είναι τρομακτικά μικρή!). Την ένταση μπορούμε να τη μετρήσουμε εύκολα με όργανα που ονομάζονται **αμπερόμετρα**.

Με βάση όσα έχουμε πει παραπάνω είναι σαφές ότι τα ηλεκτρόνια θα κινούνται προς την αντίθετη κατεύθυνση, εάν συνδέαμε αντίθετα το καλώδιο στους πόλους της πηγής. Έτσι, καταλαβαίνουμε ότι η ένταση I μπορεί να πάρει και αρνητικές τιμές- απλώς χρειαζόμαστε μία σύμβαση για το ποια είναι η θετική φορά.

Επίσης, έγινε σαφές ότι τα ηλεκτρόνια κινούνται από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο. Αυτή είναι η μία και μοναδική **πραγματική** φορά των ηλεκτρονίων. Για καθαρά ιστορικούς λόγους αναφέρουμε και την **συμβατική** φορά, η οποία είναι ακριβώς η ανάποδη: από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο. Μία διάταξη από “δρόμους” μέσα στους οποίους μπορούν να κινούνται τα ηλεκτρόνια ονομάζεται **κύκλωμα**. Όταν υπάρχει “δρόμος” που να συνδέει το θετικό και τον αρνητικό πόλο της πηγής, το κύκλωμα δουλεύει και αποκαλείται **κλειστό** (παρότι η καθημερινότητα μας ωθεί συχνά στο να το χαρακτηρίσουμε “ανοικτό”). Όταν δεν υπάρχει τέτοιος δρόμος, π.χ. στη διάταξη του παρακάτω σχήματος, το κύκλωμα αποκαλείται **ανοικτό**.



Επίσης, κατά σύμβαση, σχεδιάζουμε μεγαλύτερη τη γραμμή που αντιστοιχεί στο **θετικό** πόλο της πηγής.

Καλώδια διαφορετικών υλικών θα έχουν άλλα περισσότερα και άλλα λιγότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Χρειαζόμαστε λοιπόν ένα μέγεθος που να μας λέει πόσο “αποτελεσματική” είναι μία πηγή, ανεξαρτήτως του φορτίου που διαρρέει τα καλώδια στο κύκλωμά της. Το μέγεθος αυτό ονομάζεται **ηλεκτρική τάση** ή **διαφορά δυναμικού**. Μαθηματικά ορίζεται ως:

$$V = \frac{E}{q},$$

όπου E η ενέργεια, και μετριέται σε V (Volt), με $1V = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Coulomb}}$.

Πράγματι, μεταξύ των πόλων κάθε πηγής υπάρχει διαφορά δυναμικού- όχι όμως μόνο εκεί. Οι διαφορές

συσκευές που συνδέουμε στο κύκλωμα, οι λεγόμενοι **καταναλωτές** (λαμπτήρες, μοτέρ κ.α.) μεταξύ της εισόδου και της εξόδου τους (βλ. σχήμα παρακάτω) έχουν μία διαφορά δυναμικού, την οποία μετράμε με **βολτόμετρα**.

Για οποιαδήποτε συσκευή, χρειαζόμαστε ένα μέγεθος το οποίο να περιγράφει πόσο αυτή “δυσκολεύει” τα ηλεκτρόνια να περάσουν από μέσα της, όταν τη συνδέσουμε σε ένα κύκλωμα. Το μέγεθος αυτό το ονομάζουμε **αντίσταση** και το ορίζουμε ως εξής:

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

Η μονάδα μέτρησης της αντίστασης είναι το 1Ω (Ohm). Ισχύει $1\Omega = \frac{1V}{1A}$. Μία συσκευή της οποίας η αντίσταση (για δεδομένη θερμοκρασία) είναι σταθερή ονομάζεται **αντιστάτης**. Η αντίσταση μπορεί να μετρηθεί με τα λεγόμενα **ωμόμετρα**.



Στην εικόνα βλέπουμε μία προσομοίωση του εσωτερικού ενός αντιστάτη. Μόρια διαφόρων σχημάτων και μεγεθών είναι τόσο πυκνά διατεταγμένα, που τα ηλεκτρόνια συγκρούονται με αυτά και αλλάζουν συνεχώς πορεία- με αποτέλεσμα να αργούν να διασχίσουν τον αντιστάτη, δηλαδή να μειώνεται η ένταση του ρεύματος. Η προσομοίωση κατασκευάστηκε στο Python Google Colaboratory και αποτελεί randomised output. Δεν είναι υπό κλίμακα.

Ο **νόμος του Ohm** (ο οποίος ισχύει μόνο για αντιστάτες!) είναι ο εξής: Η **ένταση** του ρεύματος I που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη της **διαφοράς δυναμικού** V που εφαρμόζεται στα άκρα του. Ο συντελεστής αναλογίας είναι $\frac{1}{R}$, όπου R η αντίσταση. Μαθηματικά, ο νόμος γράφεται

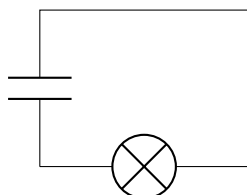
$$I = \frac{V}{R}$$

ή ισοδύναμα

$$V = IR$$

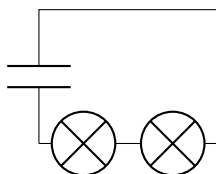
Είναι σημαντικό να καταλάβουμε το νόημα αυτού του νόμου: το R (ακριβέστερα το $\frac{1}{R}$) είναι **σταθερά** αναλογίας (όπως το K στο νόμο του Coulomb). Αν η συσκευή που μελετούσαμε δεν ήταν αντιστάτης το R δε θα ήταν σταθερό και έτσι η συσκευή δε θα ακολουθούσε το νόμο του Ohm.

Όταν πραγματοποιούμε ένα κύκλωμα με μία μόνο συσκευή και την πηγή, τα πράγματα είναι απλά: συνδέουμε τον ένα πόλο της πηγής με τον ένα πόλο της συσκευής και έπειτα τον άλλο πόλο της συσκευής με τον εναπομείναντα πόλο της πηγής, κάπως έτσι:

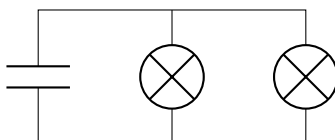


(Σημείωση: στα κυκλώματα που θα παρουσιαστούν στη συνέχεια, όπως και στο παραπάνω, οι δύο πόλοι της πηγής έχουν σχεδιαστεί να έχουν ίδιο μήκος λόγω έλλειψης καλύτερης αναπαράστασης. Καλό είναι, με ένα μολύβι ή στυλό, να επεκταθεί λίγο ο ένας από τους δύο.)

Όταν όμως θελήσουμε να συνδέσουμε δύο (και πάνω) συσκευές στο ίδιο κύκλωμα, αντιμετωπίζουμε ένα δίλημμα. Να τις συνδέσουμε έτσι:



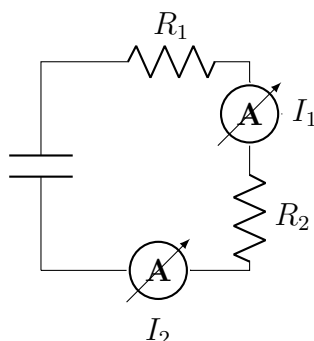
ή έτσι:



Η σύνδεση που παρουσιάζεται στην πρώτη εικόνα ονομάζεται **σύνδεση σε σειρά**, ενώ η σύνδεση της δεύτερης εικόνας ονομάζεται **παράλληλη σύνδεση**. Θα τις μελετήσουμε ξεχωριστά. Για να προσεγγίσουμε όσο καλύτερα γίνεται το πείραμα, θα τοποθετούμε αμπερόμετρα και βολτόμετρα στα σημεία όπου υπολογίζουμε την ένταση και την τάση αντίστοιχα. Αναφέρουμε, αν και θα το αιτιολογήσουμε αργότερα με λογικά επιχειρήματα, ότι το **αμπερόμετρο** συνδέεται **σε σειρά** με το κύκλωμα και το **βολτόμετρο** συνδέεται **παράλληλα** με το κύκλωμα.

Σύνδεση σε σειρά

Παρατηρούμε ότι, όταν οι λάμπες (δηλαδή, γενικότερα, οι αντιστάτες) είναι συνδεδεμένες σε σειρά, υπάρχει μόνο ένας “δρόμος” για να κινηθούν τα ηλεκτρόνια. Επομένως η **ένταση** του ηλεκτρικού ρεύματος θα είναι σε κάθε σημείο η **ίδια**. Αν βάλουμε, λόγου χάρη, αμπερόμετρα σε οποιοσδήποτε δύο θέσεις του παρακάτω σχήματος:



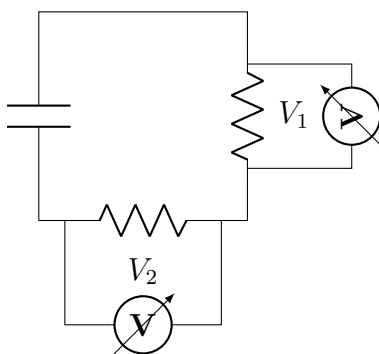
Θα ισχύει:

$$I_1 = I_2 = I$$

δηλαδή το ρεύμα σε οποιοδήποτε σημείο του κυκλώματος έχει την ίδια ένταση I .

Μία ακόμα σημαντική παρατήρηση που μπορούμε εδώ να κάνουμε είναι ότι για να μετρήσουμε το ρεύμα, συνδέσαμε τα αμπερόμετρα **σε σειρά**. Αυτό επειδή δε θέλουμε να δώσουμε στο ρεύμα ένα διαφορετικό “μονοπάτι”, αφού αυτό θα μας έδινε λάθος αποτελέσματα.

Στις τάσεις όμως, ισχύει το ανάποδο: Θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων μίας λάμπας. Εάν συνδέσουμε το βολτόμετρο σε σειρά, θα δούμε 0- το οποίο φυσικά είναι λάθος. Το βολτόμετρο λοιπόν πρέπει να συνδέεται **παράλληλα**.



Πειραματικά αποδεικνύεται ότι ισχύει:

$$V_{ολ} = V_{\pi} = V_1 + V_2$$

Δηλαδή η συνολική τάση, η διαφορά δυναμικού στα άκρα της πηγής, ισούται με το **άθροισμα** των διαφορών δυναμικού στα άκρα των αντιστατών, που είναι συνδεδεμένοι σε σειρά.

Μία τελευταία ερώτηση που μπορούμε να θέσουμε είναι: πόση είναι η συνολική αντίσταση; Πιο σωστά

διατυπωμένη, η ερώτηση λέει: Αν ήταν να αντικαταστήσουμε τις αντιστάσεις αυτές με μία και μοναδική, **ισοδύναμη** αντίσταση, πόση θα ήταν αυτή; Απάντηση:

$$R_{ισοδ} = R_1 + R_2$$

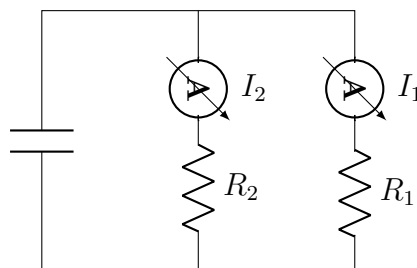
Απόδειξη:

Από νόμο Ohm: $V = IR \Rightarrow V_1 + V_2 = I_1R_1 + I_2R_2$. Όμως αφού $V_1 + V_2 = V_{\pi}$, $I_1R_1 + I_2R_2 = IR$. Μα, $I_1 = I_2 = I$. Άρα $R_1 + R_2 = R$.

Παράλληλη σύνδεση

Αρχικά, γιατί να θέλαμε να συνδέσουμε συσκευές παράλληλα; Μία ματιά στο κύκλωμα της σύνδεσης σε σειρά δείχνει ότι, αν διακοπεί, όλες οι συσκευές σταματούν να λειτουργούν. Αντίθετα στην παράλληλη σύνδεση επιτρέπεται να ανοίξουμε ένα διακόπτη, διακόπτοντας τη λειτουργία σε μερικές συσκευές ενώ άλλες συνεχίζουν να λειτουργούν.

Αν τοποθετήσουμε τα νοητά μας αμπερόμετρα σε ένα κύκλωμα παράλληλης σύνδεσης, όπως στο σχήμα:



θα διαπιστώσουμε ότι

$$I = I_1 + I_2$$

Δηλαδή η ολική ένταση του ρεύματος δίνεται ως το **άθροισμα** των επιμέρους εντάσεων. Πώς εξηγείται αυτό; Θυμηθείτε ότι στη σύνδεση σε σειρά τα ηλεκτρόνια είχαν ένα και μόνο “δρόμο” για να ακολουθήσουν, συνεπώς η ένταση ήταν παντού ίδια. Τώρα, τα ηλεκτρόνια “χωρίζονται”, με κάποια (τα περισσότερα) να ακολουθούν τον “ευκολότερο” δρόμο (αυτόν με τη μικρότερη αντίσταση) ενώ κάποια (λιγότερα) ακολουθούν τον άλλο.

Εάν τοποθετούσαμε και βολτόμετρα, θα βλέπαμε ότι:

$$V_1 = V_2 = V_{\pi}$$

Το πιο ενδιαφέρον ερώτημα είναι το εξής: αν θέλαμε, όπως στο κύκλωμα σε σειρά, να αντικαταστήσουμε τις αντιστάσεις αυτές με μία, ισοδύναμη αντίσταση, ποια θα ήταν αυτή;

Αποδεικνύεται, μέσα από πειράματα, ότι:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

Ασκήσεις

1. Ένας άλλος τύπος για την ισοδύναμη αντίσταση στην παράλληλη σύνδεση είναι:

$$R_{ισοδ} = \frac{R_1 \cdot R_2}{R_1 + R_2}$$

Δοκιμάστε να τον αποδείξετε, με αφετηρία τον τύπο $\frac{1}{R_{ισοδ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$

2. Μπαταρία τάσης 18V συνδέεται σε σειρά με αντιστάτες $R_1 = 4\Omega$ και $R_2 = 2\Omega$.

α) Υπολογίστε την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος.

β) Υπολογίστε την ένταση του ηλ. ρεύματος.

Επαναλάβετε τα ερωτήματα α) και β) στην περίπτωση παράλληλης σύνδεσης.

3. α) Βρείτε την ισοδύναμη αντίσταση σε ένα κύκλωμα με 2 παράλληλα συνδεδεμένους αντιστάτες R_1 και R_2 , με $R_1 = R_2 = 2\Omega$.

β) Το ίδιο για 3 παράλληλα συνδεδεμένους αντιστάτες.

γ) Μπορείτε (χωρίς να κάνετε τον υπολογισμό) να βρείτε την ισοδύναμη αντίσταση σε ένα ίδιο κύκλωμα 7 αντιστατών;

Κεφάλαιο 3- Ηλεκτρική ενέργεια

Όταν μέσα από έναν αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται “**φαινόμενο Τζάουλ (Joule)**”. Η μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια άλλων μορφών ευθύνεται για τα διάφορα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Αυτά περιλαμβάνουν:

- Θερμικά αποτελέσματα (π.χ. φαινόμενο Joule)
- Χημικά αποτελέσματα
- Μαγνητικά αποτελέσματα
- Μηχανικά αποτελέσματα
- Βιολογικά αποτελέσματα

Στη συνέχεια θα εξετάσουμε μερικές τεχνικές υπολογισμού της ηλεκτρικής ενέργειας.

Στο κεφάλαιο 2 ορίσαμε την ηλεκτρική τάση (διαφορά δυναμικού) ως $V = \frac{E}{q}$, όπου E η ηλεκτρική ενέργεια. Γράφοντας τη σχέση αυτή ως προς E έχουμε: $E = V \cdot q$, όμως το ηλεκτρικό φορτίο

έχουμε ήδη δει ότι δεν είναι πρακτικό μέγεθος στα πειράματα. Αν εκμεταλλευτούμε έναν ακόμα ορισμό, συγκεκριμένα τον $I = \frac{q}{t}$, τον οποίο μπορούμε να λύσουμε ως προς q ($q = I \cdot t$) παίρνουμε:

$$E = V \cdot I \cdot t$$

Ο παραπάνω τύπος είναι πολύ πρακτικός για τον υπολογισμό της ενέργειας, όταν είναι γνωστά τα V και I . Αν τώρα γνωρίζουμε μόνο το 1 εξ αυτών, π.χ. το V , καθώς και την αντίσταση R , μπορούμε να γράψουμε: $I = \frac{V}{R}$ (από ν. Ohm), συνεπώς:

$$E = \frac{V^2}{R}t$$

Εντελώς όμοια, “απαλοϊφροντας” το V , μπορούμε να γράψουμε την ενέργεια ως:

$$E = I^2 R t$$

που βεβαίως είναι πιο πρακτικό όταν γνωρίζουμε τα I και R .

Σε όλους τους παραπάνω τύπους υπάρχει φυσικά ο χρόνος t , αφού η ενέργεια που παράγει ή καταναλώνει ένα κύκλωμα εξαρτάται από το χρόνο για τον οποίο αυτό λειτουργεί. Ένα νέο μέγεθος, το οποίο θα μας βοηθήσει να περιγράψουμε την *αποδοτικότητα* ενός κυκλώματος, δηλαδή την ενέργεια που αυτό παράγει ή καταναλώνει *στη μονάδα του χρόνου* είναι η **ισχύς** P . Αυτή την ορίζουμε ως:

$$P = \frac{E}{t}$$

και, όπως είναι λογικό, μπορούμε να τη βρούμε με όλους τους παραπάνω τύπους, “διαιρεμένους με t ”:

$$P = VI = \frac{V^2}{R} = I^2 R$$

Ασκήσεις

1.

Τρεις ηλεκτρολόγοι διαφωνούν για το τι θα συμβεί στην ηλεκτρική ισχύ μιας συσκευής (αντιστάτη) αν διπλασιάσουμε την τάση. Ο πρώτος λέει ότι, αφού $P=IV$, η ισχύς επίσης θα διπλασιαστεί. Ο δεύτερος λέει ότι, αφού $P = \frac{V^2}{R}$, η ισχύς θα τετραπλασιαστεί. Ο τρίτος λέει ότι, εφόσον $P = I^2 R$, η ισχύς θα παραμείνει ίδια.

Ποιος έχει δίκιο και γιατί;

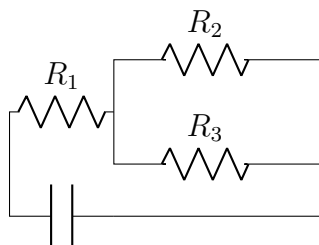
2.

Η τιμή της κιλοβατώρας είναι 5€. Ένα πληντύριο ρούχων έχει ισχύ κανονικής λειτουργίας 880W.

α) Πόσο θα κοστίσει το ρεύμα για τη λειτουργία του πληντυρίου, εάν αυτό χρησιμοποιείται 1 ώρα την ημέρα, για 15 ημέρες;

β) Ποια είναι η ένταση του ρεύματος, αν η τάση κανονικής λειτουργίας είναι 220V;

3. (Θέμα 9 από τον Πανελλήνιο διαγωνισμό της ΕΕΦ- 2021)



Για το κύκλωμα του σχήματος δίνεται ότι $R_3 = 2R_1$, καθώς και ότι η ισχύς που δαπανάται στον R_1 είναι διπλάσια από αυτή που δαπανάται στον R_2 . Ποια είναι η σχέση που συνδέει την ισχύ που δαπανάται στους αντιστάτες R_1 και R_3 ;

- a) $P_3 = 4,5P_1$ b) $P_3 = 2P_1$ c) $P_1 = 9P_3$ d) $P_1 = 2P_3$

Πίνακας δυνάμεων του 10

10^{-12}	πίκο (p)
10^{-9}	νάνο (n)
10^{-6}	μίκρο (μ)
10^{-3}	μίλι (m)
10^3	κίλο (k)
10^6	μέγχα (M)
10^9	γκίγκχα (G)
10^{12}	τέρα (T)