

• μια μικρή ιστορία

Τον Ιούνιο του 1752, κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος πραγματοποίησε ένα πείραμα: Πέταξε ένα καρταστό, στον οποίο είχε σταρεώσει μια μικρή μυταρή μεταλλική ράβδο. Είχε δέσει τη ράβδο με την άκρη του σπάγκου του αετού. Στο άλλο άκρο του σπάγκου έδεσε ένα μεταλλικό κλειδί και ένα κομμάτι μεταξωτού κορδονιού από το οποίο κρατούσε το καρταστό.

Ο Φραγκλίνος φρόντισε να στέκεται κάτω από ένα υπόστεγο ώστε το μεταξωτό κορδόνι να παραμένει στεγνό κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Μόλις τα σύννεφα της καταιγίδας συγκεντρώθηκαν στον ουρανό ο μικρός βοηθός του Φραγκλίνου πλησίασε με προσοχή το δάκτυλο του στο κλειδί. Τότε ένας σπινθήρας ξειπήδησε από το κλειδί στο δάκτυλό του.

Πώς προκλήθηκε ο σπινθήρας;

Τι ανακάλυψε ο Φραγκλίνος με αυτό το ιστορικό πείραμα;



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις τι είναι ηλεκτρικό ρεύμα και πως σχετίζεται με το ηλεκτρικό φορτίο και το ηλεκτρικό πεδίο.
- Θα μάθεις για τους αγωγούς και τους μονωτές του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Θα γνωρίσεις τι είναι ηλεκτρικό κύκλωμα και θα μάθεις να χειρίζεσαι απλά ηλεκτρικά κυκλώματα.
- Θα ορίσεις την αντίσταση ενός αγωγού και θα διερευνήσεις τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ

Συσκευές όπως ο ηλεκτρικός λαμπτήρας, ο ηλεκτρικός ανεμιστήρας, ο ηλεκτρικός θερμοσίφοντας, το ηλεκτρικό ψυγείο, η τηλεόραση, ο ηλεκτρονικός υπολογιστής, το ηλεκτρικό τρένο, το φωτοτυπικό μηχάνημα, ο ηλεκτρομαγνητικός γερανός έχουν ένα κοινό χαρακτηριστικό: για να λειτουργήσουν, πρέπει να τις διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 2.1).

Τι εννοούμε όμως με τον όρο ηλεκτρικό ρεύμα;

Με την εμπειρία μας διαπιστώνουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κοινή αιτία λειτουργίας μιας πολύ μεγάλης κατηγορίας συσκευών που χρησιμοποιούνται στην καθημερινή μας ζωή.

Οι φυσικοί αναζητώντας την ερμηνεία όλων των φαινομένων τα οποία προκαλούνται από το ηλεκτρικό ρεύμα οδηγήθηκαν στον μικρόκοσμο και τη δομή της ύλης. Συνέδεσαν το ηλεκτρικό ρεύμα με τις θεμελιώδεις έννοιες του ηλεκτρισμού: το **φορτίο** και το **ηλεκτρικό πεδίο**. Το ηλεκτρικό ρεύμα και τα αποτελέσματά του περιγράφονται και ερμηνεύονται από την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων μέσα σε ηλεκτρικά πεδία.



Εικόνα 2.1

Για να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές, πρέπει να τις διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα.

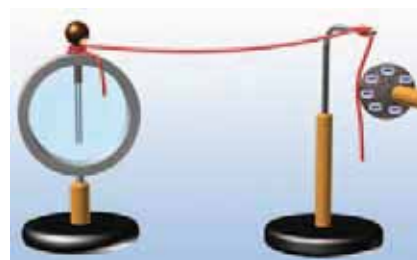
2.1 Το ηλεκτρικό ρεύμα

Έχουμε ήδη δει ότι οι διάφοροι τρόποι ηλέκτρισης ερμηνεύονται με βάση την κίνηση ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια θα διερευνήσουμε εάν είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων σε ορισμένη κατεύθυνση μέσα στα υλικά σώματα.

Αγωγοί, μονωτές και ηλεκτρικό ρεύμα

Συνδέουμε το ένα άκρο πλαστικού νήματος με το στέλεχος ενός ηλεκτροσκοπίου και αγγίζουμε το άλλο άκρο με μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου μένουν κλειστά (εικόνα 2.2). Αντικαθιστούμε το νήμα με ένα μεταλλικό σύρμα και επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο πείραμα. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ανοίγουν (εικόνα 2.3).

Γιατί συμβαίνει αυτό; Τα ηλεκτρόνια από τη σφαίρα κινούνται μέσα στο σύρμα και φθάνουν στο ηλεκτροσκόπιο. Το ηλεκτρο-



Εικόνα 2.2

Αγγίζουμε το άκρο του πλαστικού νήματος με μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα: τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου μένουν κλειστά.



Εικόνα 2.3

Αγγίζουμε το άκρο του σύρματος με μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα: τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου απωθούνται και ανοίγουν.



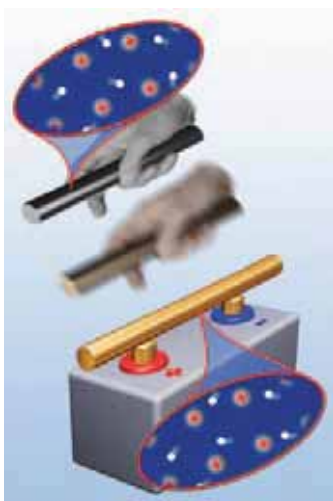
Εικόνα 2.4

Η ευκολία κίνησης των ηλεκτρονίων αυξάνεται από τους μονωτές προς τους αγωγούς.



Εικόνα 2.5

Μεταξύ του θετικού και του αρνητικού πόλου κάθε ηλεκτρικής πηγής δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο.



Εικόνα 2.6

Ο μικρόκοσμος ενός μεταλλικού αγωγού

α) Τα θετικά ιόντα κινούνται τυχαία γύρω από συγκεκριμένες θέσεις. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται επίσης τυχαία σε όλο το χώρο του μετάλλου. β) Όταν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια εκτελούν προσανατολισμένη κίνηση.

σκόπιο φορτίζεται και τα φύλλα του ανοίγουν. Αντίθετα μέσα στο πλαστικό δεν κινούνται ηλεκτρόνια. **Ονομάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων ή γενικότερα των φορτισμένων σωματιδίων.**

Γενικά σ' έναν αγωγό είναι δυνατόν να δημιουργηθεί προσανατολισμένη κίνηση, δηλαδή κίνηση προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση φορτισμένων σωματιδίων, ενώ κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει στους μονωτές. Στους μεταλλικούς αγωγούς τα σωματίδια που εκτελούν την προσανατολισμένη κίνηση είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Λέμε τότε ότι ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον αγωγό.

Τα ηλεκτρόνια δεν κινούνται με την ίδια ευκολία σε όλους τους αγωγούς, για παράδειγμα, σ' ένα χάλκινο σύρμα κινούνται ευκολότερα απ' ό,τι σ' ένα σιδερένιο σύρμα ίδιων διαστάσεων. Λέμε ότι ο χαλκός είναι καλύτερος αγωγός από το σίδηρο. Στην πραγματικότητα ακόμα και μέσα στους μονωτές τα ηλεκτρόνια κινούνται αλλά με πολύ μεγαλύτερη δυσκολία απ' όση στους αγωγούς (εικόνα 2.4). Το γεγονός αυτό οφείλεται στο ότι οι μονωτές διαθέτουν ελάχιστα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

Ορισμένα υλικά, όπως για παράδειγμα το πυρίτιο και το γερμάνιο, κάτω από ορισμένες συνθήκες συμπεριφέρονται άλλοτε ως αγωγοί και άλλοτε ως μονωτές. Αυτά τα υλικά τα ονομάζουμε ημιαγωγούς.

Ηλεκτρική πηγή και ηλεκτρικό ρεύμα

Πώς δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα σε ένα μεταλλικό αγωγό; Ηλεκτρικό ρεύμα μπορούμε εύκολα να προκαλέσουμε με τη βοήθεια μιας μπαταρίας. Για να κατανοήσουμε πώς μπορούμε να το επιτύχουμε, ας μελετήσουμε προσεκτικά μια μπαταρία.

Σε κάθε **ηλεκτρική πηγή** υπάρχουν δύο αντίθετα ηλεκτρισμένες περιοχές τις οποίες ονομάζουμε **ηλεκτρικούς πόλους**. Συνδέουμε κάθε πόλο μιας ισχυρής ηλεκτρικής πηγής με μια μεταλλική πλάκα και μεταξύ των πλάκων τοποθετούμε ένα ηλεκτρικό εκκρεμές. Παρατηρούμε ότι το σφαιρίδιο του αποκλίνει (εικόνα 2.5). Διαπιστώνουμε ότι μεταξύ των πόλων της ηλεκτρικής πηγής δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο.

Τι συμβαίνει στο εσωτερικό μεταλλικού σύρματος όταν αυτό συνδεθεί με μια μπαταρία;

Γνωρίσαμε στο προηγούμενο κεφάλαιο ότι στο εσωτερικό ενός **μεταλλικού αγωγού** υπάρχουν θετικά ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται τυχαία προς κάθε κατεύθυνση, ενώ τα ιόντα πάλλονται γύρω από καθορισμένες θέσεις.

Συνδέουμε τους δύο πόλους μιας μπαταρίας με σύρμα. Τότε **στο εσωτερικό του σύρματος δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο, οπότε στα ελεύθερα ηλεκτρόνιά του ασκείται ηλεκτρική δύναμη**. Η κίνησή τους προσανατολίζεται από την κατεύθυνση της δύναμης. Έτσι αυτά κινούνται από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο και στο μεταλλικό αγωγό εμφανίζεται προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρονίων, δηλαδή ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 2.6). Η μπαταρία είναι μια ηλεκτρική πηγή.

Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

Συνδέεις διαδοχικά ένα λαμπτήρα με μια καινούργια μπαταρία και μια ακριβώς ίδια αλλά πολυκαιρισμένη. Στην πρώτη περίπτωση ο λαμπτήρας φωτοβολεί πολύ πιο έντονα απ' ό,τι στη δεύτερη. Λέμε ότι στην πρώτη περίπτωση ισχυρότερο ρεύμα διαρρέει το λαμπτήρα. Στη δεύτερη φωτοβολεί αμυδρά και λέμε ότι ασθενέστερο ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει το λαμπτήρα.

Πώς όμως θα μπορούσαμε να προσδιορίσουμε αν ένας αγωγός διαρρέεται από ισχυρότερο ή ασθενέστερο ηλεκτρικό ρεύμα σε σχέση με κάποιον άλλο;

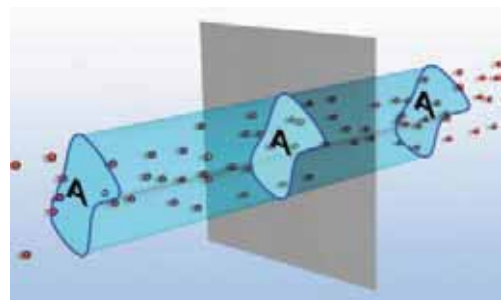
Όπως είδαμε, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος των μεταλλικών αγωγών. Συνδέουμε το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το λαμπτήρα με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από μια διατομή του σύρματός του στη μονάδα του χρόνου. Πώς θα μπορούσαμε όμως να μετρήσουμε τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από το λαμπτήρα σε ορισμένο χρόνο;

Αντί να μετρήσουμε τον αριθμό των ηλεκτρονίων, αρκεί να μετρήσουμε το ολικό φορτίο που μεταφέρουν καθώς κινούνται κατά μήκος ενός αγωγού. Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια διέρχονται από μια κάθετη διατομή (ή απλά διατομή) του αγωγού σε ορισμένο χρόνο, τόσο περισσότερο φορτίο θα περνάει από αυτήν και τόσο ισχυρότερο θα είναι το ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 2.7).

Ορίζουμε την ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ως το φορτίο (q) που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού σε χρονικό διάστημα (t) προς το χρονικό διάστημα.

Στη γλώσσα των μαθηματικών η παραπάνω σχέση γράφεται ως εξής:

$$I = \frac{q}{t} \quad (2.1)$$



Εικόνα 2.7

Ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον αγωγό

Μια δέσμη από αρνητικά φορτία διέρχονται από την κάθετη διατομή A του αγωγού. Σε χρονικό διάστημα t από τη διατομή διέρχεται συνολικό φορτίο q.

Φυσική και καθημερινή ζωή και Τεχνολογία



Ισχυρά ρεύματα

Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος τόσο εντονότερα φαινόμενα προκαλεί.

Ισχυρά ρεύματα χρησιμοποιούνται στους ηλεκτρικούς φούρνους για τήξη δύσσηκτων υλικών, στους μεγάλης ισχύος ηλεκτρικούς κινητήρες για την πραγματοποίηση κάποιων χημικών αντιδράσεων σε βιομηχανική κλίμακα, όπως συμβαίνει στην παραγωγή του αλουμινίου κ.λπ.

Ο κεραυνός είναι παράδειγμα φυσικού φαινομένου κατά τη διάρκεια του οποίου αναπτύσσονται πολύ ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα, μικρής όμως χρονικής διάρκειας.

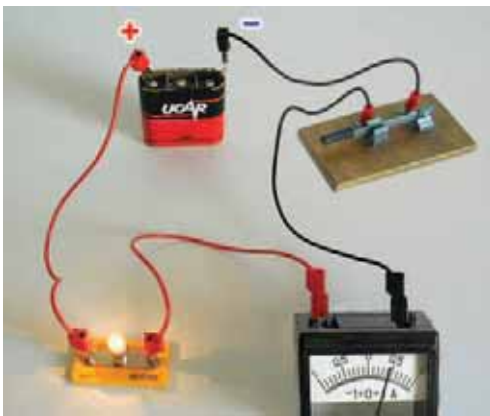
Μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος

Στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι **θεμελιώδες μέγεθος** και μονάδα μέτρησής της είναι το **1 Ampere (1 A) (Αμπέρ)**.



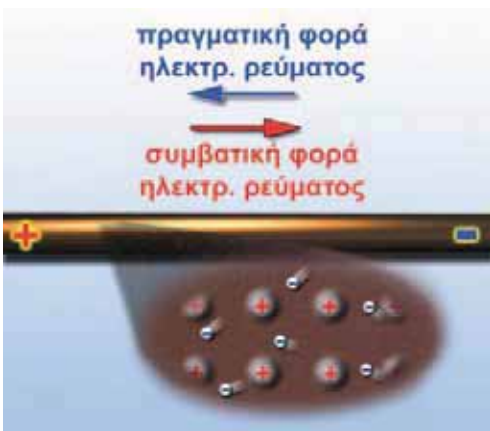
Εικόνα 2.8

Ανάλογα με το μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε και την ακρίβεια της μέτρησης που επιθυμούμε χρησιμοποιούμε και τον κατάλληλο τύπο αμπερόμετρου.



Εικόνα 2.9

Το αμπερόμετρο συνδέεται σε σειρά με το αγωγό (λαμπτήρα) στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση του ρεύματος.



Εικόνα 2.10

Πραγματική και συμβατική φορά ηλεκτρικού ρεύματος.

Η σχέση που συνδέει το 1 A με τη μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου 1 C όπως προκύπτει από την (1) είναι:

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ second} \text{ ή } 1 \text{ C} = 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}$$

Ένα Coulomb είναι το φορτίο που διέρχεται κάθε δευτερόλεπτο από μια διατομή ενός αγωγού που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 Ampere.

Σε ηλεκτρονικές διατάξεις που διαρρέονται από ρεύματα μικρής έντασης ως μονάδες μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος χρησιμοποιούμε υποπολλαπλάσια του αμπέρ όπως το μιλιμπέρ ($1 \text{ mA} = 10^{-3} \text{ A}$) και το μικροαμπέρ ($1 \mu\text{A} = 10^{-6} \text{ A}$). Για ρεύματα μεγάλης έντασης χρησιμοποιούμε πολλαπλάσια του αμπέρ, π.χ. το κιλοαμπέρ ($1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$).

Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για να μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζονται **αμπερόμετρα** (εικόνα 2.8). Κάθε αμπερόμετρο έχει δύο ακροδέκτες με τους οποίους συνδέεται με την μπαταρία και τους αγωγούς.

Για να μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από έναν αγωγό, παρεμβάλλουμε το αμπερόμετρο, έτσι ώστε το προς μέτρηση ρεύμα να διέλθει μέσα από αυτό (εικόνα 2.9). Αυτός ο τρόπος σύνδεσης του οργάνου λέγεται **σύνδεση σε σειρά**. Τα σύγχρονα αμπερόμετρα είναι ενσωματωμένα σε όργανα πολλαπλής χρήσης που ονομάζονται **πολύμετρα**. Με το πολύμετρο μπορούμε να μετράμε και άλλα μεγέθη, όπως ηλεκτρική τάση και αντίσταση.

Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

Υπάρχουν αμπερόμετρα που έχουν το 0 στο μέσο της κλίμακας (εικόνα 2.9). Συνδέουμε ένα τέτοιο αμπερόμετρο σ' ένα κύκλωμα. Η βελόνα αποκλίνει προς κάποια κατεύθυνση. Αν αντιστρέψουμε τους πόλους της πηγής, η βελόνα αποκλίνει προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το ηλεκτρικό ρεύμα έχει ορισμένη φορά. Κάθε φορά η απόκλιση της βελόνας δείχνει τη φορά του ρεύματος. *Πώς συνδέεται αυτή η φορά με τη φορά της προσανατολισμένης κίνησης των φορτισμένων σωματιδίων;*

Γνωρίζουμε ότι τα μόνα φορτισμένα σωματίδια που μπορούν να κινηθούν ελεύθερα και προς κάθε κατεύθυνση στο εσωτερικό των μεταλλικών αγωγών είναι τα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Επειδή τα ηλεκτρόνια είναι αρνητικά φορτισμένα, θα κινούνται από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο της μπαταρίας. Η φορά κίνησης των ηλεκτρονίων σ' ένα μεταλλικό αγωγό είναι η πραγματική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ωστόσο, αν στο εσωτερικό των αγωγών κινούνταν θετικά φορτισμένα σωματίδια, η κίνησή τους θα ήταν από το θετικό πόλο της πηγής προς τον αρνητικό. Έχει επικρατήσει, για ιστορικούς λόγους, να θεωρούμε ότι η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος ταυτίζεται με τη φορά κίνησης φανταστικών θετικών φορτίων που κινούνται κατά μήκος των αγωγών. Η φορά κίνησης των θετικών φορτίων σ' έναν αγωγό ονομάζεται **συμβατική** φορά του ηλεκτρικού ρεύματος (εικόνα 2.10).

Αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η κοινή αιτία πολλών φαινομένων και σ' αυτό στηρίζεται η λειτουργία δεκάδων συσκευών που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή. Μπορούμε να κατατάξουμε τα φαινόμενα που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα στις ακόλουθες κατηγορίες.

- **Θερμικά αποτελέσματα:** Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί τη θέρμανση των σωμάτων τα οποία διαρρέει. Συσκευές που λειτουργούν με βάση τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο θερμοσίφωνας, η ηλεκτρική κουζίνα, οι θερμοσυσσωρευτές.
- **Ηλεκτρομαγνητικά αποτελέσματα:** Οι αγωγοί τους οποίους διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργούν γύρω τους μαγνητικά πεδία. Έτσι μπορούν και αλληλεπιδρούν με σιδερένια υλικά, μαγνήτες ή και μεταξύ τους, ασκώντας μαγνητικές δυνάμεις. Στα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στηρίζεται η λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών γερανών, οι αυτόματοι διακόπτες, οι κεφαλές εγγραφής ήχου και εικόνας, καθώς και η κίνηση των τρένων μαγνητικής ανύψωσης κ.λπ. Στα ίδια φαινόμενα στηρίζεται η κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων, με τους οποίους κινούνται τα ηλεκτρικά τρένα και λεωφορεία, λειτουργούν τα ηλεκτρικά ψυγεία, ο εκκινητής (μίζα) του αυτοκινήτου κ.λπ.
- **Χημικά αποτελέσματα:** Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται διαμέσου χημικών ουσιών, προκαλεί χημικές μεταβολές. Εκμεταλλευόμεστε τα χημικά φαινόμενα που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα στην κατασκευή των ηλεκτρικών μπαταριών, των συσσωρευτών ηλεκτρικής ενέργειας, στην παρασκευή χημικών στοιχείων, όπως νατρίου, υδρογόνου, αλουμινίου κ.λπ.
- **Φωτεινά αποτελέσματα:** Σε κάποιες περιπτώσεις το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί την εκπομπή φωτός είτε λόγω αύξησης της θερμοκρασίας (λαμπτήρας πυράκτωσης) είτε λόγω της διέλευσής του από αέρια (λαμπτήρας φθορισμού).

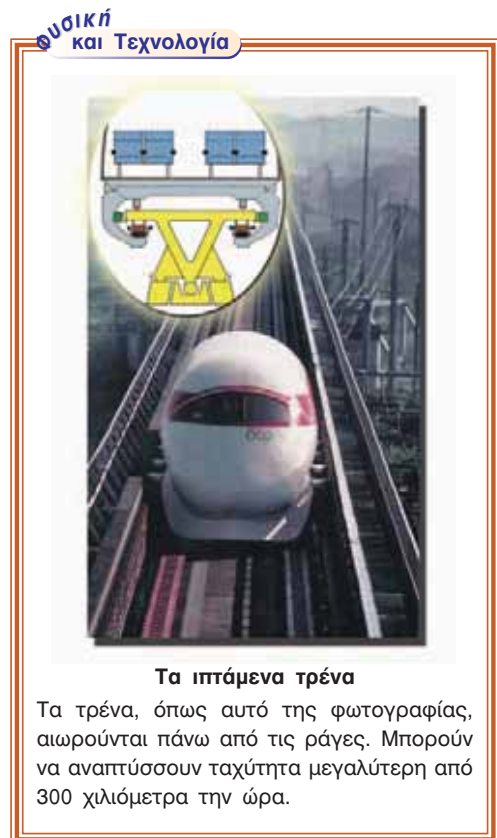
2.2

Ηλεκτρικό κύκλωμα

Κάθε διάταξη που αποτελείται από κλειστούς αγωγίμους «δρόμους», μέσω των οποίων μπορεί να διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται **ηλεκτρικό κύκλωμα**.

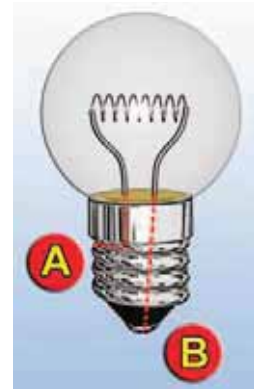
Κλειστό και ανοικτό ηλεκτρικό κύκλωμα

Παρατηρώντας μια μπαταρία, τα ηλεκτρονικά σου παιχνίδια, τον ηλεκτρικό ανεμιστήρα, ένα λαμπτήρα ή οποιαδήποτε άλλη ηλεκτρική συσκευή θα διαπιστώσεις ότι έχουν δύο άκρα (πόλους) (εικόνα 2.11). Σύνδεσε με σύρμα τα άκρα μιας μπαταρίας με τα άκρα ενός λαμπτήρα (εικόνα 2.12), παρατήρησε ότι τότε ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Μέσα στο σύρμα και στο λαμπτήρα κινούνται ηλεκτρόνια με κατεύθυνση από τον αρνητικό προς το θετικό πόλο της μπαταρίας. Επίσης κινούνται μέσα στην μπαταρία με κατεύθυνση από το θετικό προς τον αρνητικό πόλο της. Δηλαδή τα ηλεκτρό-



Τα ιπτάμενα τρένα

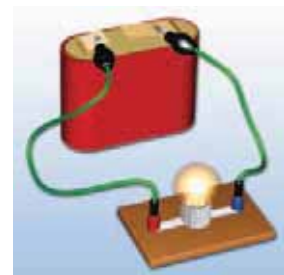
Τα τρένα, όπως αυτό της φωτογραφίας, αιωρούνται πάνω από τις ράγες. Μπορούν να αναπτύσσουν ταχύτητα μεγαλύτερη από 300 χιλιόμετρα την ώρα.



Εικόνα 2.11

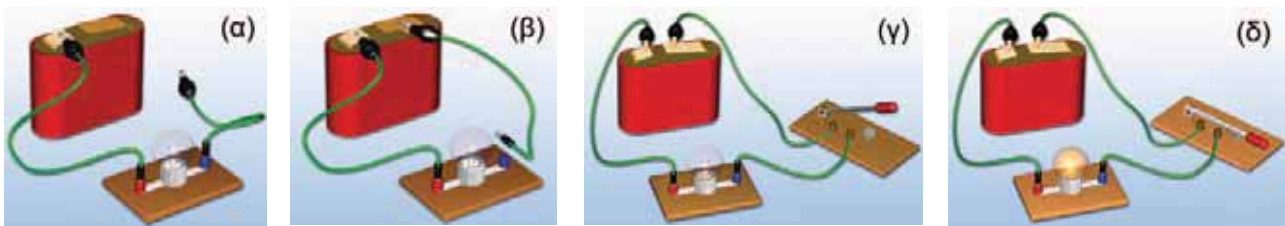
Λαμπτήρας πυράκτωσης

Ο λαμπτήρας έχει δύο άκρα, το Α και το Β.



Εικόνα 2.12

Τρόπος σύνδεσης του λαμπτήρα με την μπαταρία ώστε να φωτοβολεί.



Εικόνα 2.13

(α), (β), (γ) Ανοιχτό κύκλωμα. (δ) Κλειστό κύκλωμα.



Εικόνα 2.14

Κάθε ηλεκτρική συσκευή έχει δύο άκρα. Η πρίζα θεωρείται ως ηλεκτρική πηγή.



Εικόνα 2.15

Μπαταρία αυτοκινήτου

Η χημική ενέργεια που περιέχεται στην μπαταρία μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



Εικόνα 2.16

Ηλεκτρική γεννήτρια

Σε μια ηλεκτρική γεννήτρια η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

να ακολουθούν μια κλειστή διαδρομή. Στην περίπτωση αυτή λέμε ότι διαθέτουμε ένα **κλειστό κύκλωμα ηλεκτρικού ρεύματος**.

Όταν αποσυνδέσεις το σύρμα από τον ένα πόλο της μπαταρίας ή από το ένα άκρο του λαμπτήρα, παρατηρείς ότι ο λαμπτήρας σβήνει (εικόνα 2.13α, β). Σε αυτή την περίπτωση μεταξύ του ελεύθερου άκρου του σύρματος και του πόλου της μπαταρίας ή του άκρου του λαμπτήρα παρεμβάλλεται αέρας ο οποίος είναι μονωτής. Τα ηλεκτρόνια δεν μπορούν να κινηθούν μέσα σ' αυτόν, με συνέπεια και η κίνησή τους μέσα στο λαμπτήρα και την μπαταρία να σταματά. Το κύκλωμα ονομάζεται **ανοιχτό**. Από ένα ανοιχτό ηλεκτρικό κύκλωμα δεν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Ένα ανοιχτό κύκλωμα μετατρέπεται εύκολα σε κλειστό και αντίστροφα με τη βοήθεια ενός **διακόπτη** (εικόνα 2.13γ, δ). Για να φωτοβολεί ο λαμπτήρας, πρέπει το κύκλωμα να μη διακόπτεται σε κανένα σημείο του (εικόνα 2.13δ).

Όταν λοιπόν το σύρμα του λαμπτήρα κοπεί, το κύκλωμα είναι πλέον ανοιχτό. Ο λαμπτήρας έχει «καεί» και πρέπει να τον αντικαταστήσουμε.

Πολλές φορές ανάμεσα στην ηλεκτρική πηγή και στον αγωγό τον οποίο διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα είναι δυνατόν να υπάρχει μεγάλη απόσταση, για παράδειγμα, η γεννήτρια-πηγή να βρίσκεται στην Πτολεμαΐδα και ο αγωγός στην Αθήνα. Σ' αυτές τις περιπτώσεις, για να απλοποιήσουμε τη μελέτη του κυκλώματος, μπορούμε να θεωρήσουμε το ρευματοδότη (πρίζα) ως πηγή (εικόνα 2.14).

Ηλεκτρική πηγή και ενέργεια

Είδαμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι προσανατολισμένη κίνηση φορτισμένων σωματιδίων. Τα φορτισμένα σωματίδια κινούνται με την επίδραση της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από την πηγή. Η δύναμη αυτή παράγει έργο. Το έργο αυτής της δύναμης εκφράζει την ενέργεια που μεταφέρεται από την πηγή στα κινούμενα φορτία. Την ενέργεια αυτή την αποκαλούμε **ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος**.

Από πού προέρχεται η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος; Προέρχεται από την πηγή που θέτει σε κίνηση τα ηλεκτρόνια του μεταλλικού αγωγού.

Κάθε συσκευή στην οποία μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ονομάζεται **πηγή ηλεκτρικής ενέργειας** ή απλώς ηλεκτρική πηγή. Βεβαίως σε μια ηλεκτρική πηγή δεν παράγεται ενέργεια από το μηδέν. Απλώς μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική. Η μορφή της ενέργειας που μετατρέπεται σε ηλεκτρική εξαρτάται από το είδος της ηλεκτρικής πηγής. Έτσι

σ' ένα ηλεκτρικό στοιχείο (κοινή μπαταρία) ή σ' ένα συσσωρευτή (μπαταρία αυτοκινήτου) χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική, ενώ σε μια γεννήτρια κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική (εικόνας 2.15, 2.16). Άλλες ηλεκτρικές πηγές είναι το φωτοστοιχείο και το θερμοστοιχείο. Σ' ένα φωτοστοιχείο (εικόνα 2.17) ενέργεια της ακτινοβολίας μετατρέπεται σε ηλεκτρική, ενώ σ' ένα θερμοστοιχείο θερμική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Η διαφορά δυναμικού στο ηλεκτρικό κύκλωμα

Οι φορητές ηλεκτρικές συσκευές όπως φακοί, ραδιόφωνα, βιντεοκάμερες κ.λπ. για να λειτουργήσουν χρειάζεται να συνδεθούν με μια μπαταρία. Το βασικό χαρακτηριστικό μιας μπαταρίας, αλλά και κάθε ηλεκτρικής πηγής είναι η τάση. Όταν αγοράζεις μια μπαταρία ζητάς να έχει τάση 1,5 V ή 4,5 V ή 9 V ανάλογα με τη συσκευή που θέλεις να τροφοδοτήσεις. Όλοι γνωρίζουμε ότι η τάση στο ρευματοδότη (πρίζα) του σπιτιού μας είναι 220 V.

Με ποιο φυσικό μέγεθος συνδέεται η τάση της μπαταρίας;

Διαφορά δυναμικού στους πόλους πηγής

Συναρμολογούμε ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα με μια μπαταρία, ένα διακόπτη και ένα λαμπάκι (εικόνα 2.18). Η ηλεκτρική πηγή (μπαταρία) δημιουργεί μέσα στο σύρμα ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο προκαλεί ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το σύρμα του λαμπτήρα. Η φωτεινή ενέργεια του λαμπτήρα προέρχεται από την ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος, δηλαδή την ενέργεια των κινούμενων ηλεκτρονίων που με τη σειρά της προέρχεται από την μπαταρία.

Ονομάζουμε **ηλεκτρική τάση ή διαφορά δυναμικού** ($V_{πηγής}$) **μεταξύ των δύο πόλων μιας ηλεκτρικής πηγής το πηλίκο της ενέργειας που προσφέρεται από την πηγή σε ηλεκτρόνια ($E_{ηλεκτρική}$) συνολικού φορτίου (q) όταν διέρχονται από αυτήν προς το φορτίο q ή στη γλώσσα των μαθηματικών:**

$$V_{πηγής} = \frac{E_{ηλεκτρική}}{q} \quad (2.2)$$

Επομένως η ενέργεια που προσφέρει η πηγή στα ηλεκτρόνια δίδεται από τη σχέση:

$$E_{ηλεκτρική} = (V_{πηγής}) \cdot q$$

Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης (διαφοράς δυναμικού) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) ονομάζεται Volt (1 V) και ορίζεται ως:

$$1 \text{ Volt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ Coulomb}} \quad \text{ή} \quad 1 \text{ V} = \frac{1 \text{ J}}{1 \text{ C}}$$

Για παράδειγμα, αν συνδέσεις διαδοχικά ένα λαμπάκι με τα άκρα μιας μπαταρίας 1,5 V (εικόνα 2.18) και μιας μπαταρίας 4,5 V, θα παρατηρήσεις ότι στη δεύτερη περίπτωση το λαμπάκι φωτοβολεί πιο έντονα (εικόνα 2.19).

Πώς θα μπορούσαμε να περιγράψουμε αυτό που συμβαίνει χρησιμοποιώντας την έννοια της τάσης στους πόλους της πηγής;

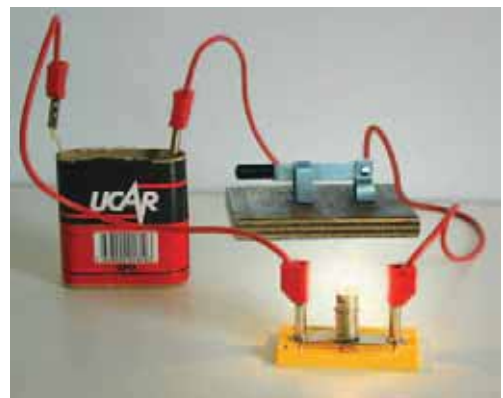
Στη δεύτερη περίπτωση, που παριστάνεται στην εικόνα 2.19, η τάση στους πόλους της μπαταρίας είναι μεγαλύτερη. Συμπεραί-



Εικόνα 2.17
Φωτοστοιχεία σε διαστημικό σταθμό.



Εικόνα 2.18
Όταν συνδέσουμε τα άκρα μιας μπαταρίας με ένα λαμπτήρα, ο λαμπτήρας φωτοβολεί.



Εικόνα 2.19.
Όταν ο λαμπτήρας συνδέεται με μπαταρία μεγαλύτερης τάσης, φωτοβολεί εντονότερα.

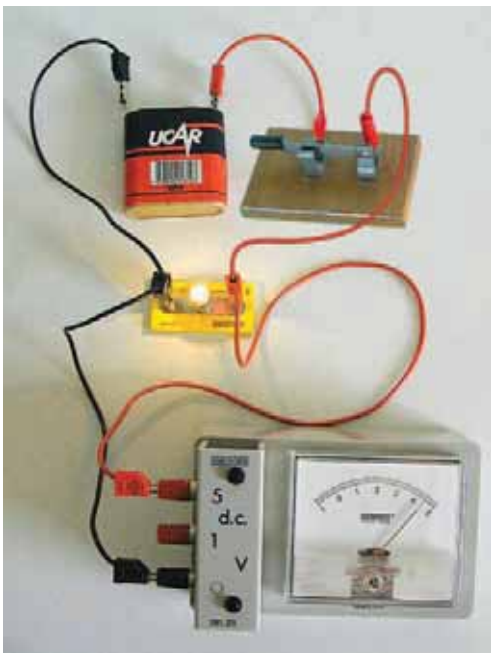
Φυσική και Ιστορία



Εικόνα 2.20

Αλεσάντρο Βόλτα (Volta) (1745–1827)

Ιταλός φυσικός που εφάρμοξε την ηλεκτρική στήλη, μια συνδεδεμένη αλυσίδα από μπαταρίες. Στην εικόνα πίνακας ζωγραφικής με τον Βόλτα να επιδεικνύει στο Ναπολέοντα Βοναπάρτη την ηλεκτρική στήλη. Μερικά χρόνια αργότερα ο Βόλτα χάρισε στον Φαραντέι μια παρόμοια στήλη. Προς τιμήν του δόθηκε η ονομασία Volt στη μονάδα της διαφοράς δυναμικού.



Εικόνα 2.21

Η ένδειξη του βολτόμετρου μετράει την τάση στα άκρα του λαμπτήρα. Η πηγή και ο λαμπτήρας έχουν κοινά άκρα (συνδέονται παράλληλα). Η τάση στους πόλους της πηγής είναι ίδια με την τάση στα άκρα του λαμπτήρα.

νομε ότι τα ηλεκτρόνια αποκτούν περισσότερη ενέργεια, επομένως η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που μεταφέρεται στο λαμπάκι είναι μεγαλύτερη, οπότε και φωτοβολεί εντονότερα.

Διαφορά δυναμικού στα άκρα καταναλωτή

Καθώς τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από ένα λαμπτήρα, ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική και φωτεινή. Ο λαμπτήρας, όπως και κάθε συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, ονομάζεται μετατροπέας ή **καταναλωτής**.

Πώς θα μπορούσαμε να μετρήσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα σε έναν καταναλωτή;

Γι' αυτό το λόγο ορίζουμε ένα φυσικό μέγεθος που το ονομάζουμε **ηλεκτρική τάση** ή **διαφορά δυναμικού**.

Ονομάζουμε ηλεκτρική τάση ή διαφορά δυναμικού (V) μεταξύ των δύο άκρων του καταναλωτή το πηλίκο της ενέργειας που μεταφέρουν στον καταναλωτή ηλεκτρόνια συνολικού φορτίου q όταν διέρχονται από αυτόν προς το φορτίο q ή στη γλώσσα των μαθηματικών:

$$V = \frac{E_{\text{ηλεκτρική}}}{q} \tag{2.3}$$

Τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων ενός στοιχείου του κυκλώματος, π.χ. μπαταρίας, λαμπτήρα, κινητήρα κ.λπ., τη μετράμε με τη βοήθεια ενός **βολτόμετρου**. Τα άκρα του βολτόμετρου συνδέονται με τα άκρα του στοιχείου στα οποία θέλουμε να μετρήσουμε τη διαφορά δυναμικού. Λέμε ότι το βολτόμετρο συνδέεται **παράλληλα** με το στοιχείο (εικόνα 2.21). Τα σύγχρονα βολτόμετρα είναι ενσωματωμένα στα πολύμετρα.

Στο κύκλωμα της εικόνας 2.21, αν ανοίξουμε το διακόπτη, το λαμπάκι παύει να φωτοβολεί. Η ένδειξη του βολτόμετρου που συνδέεται με τα άκρα του λαμπτήρα μηδενίζεται. Η ηλεκτρική τάση στα άκρα ενός λαμπτήρα οφείλεται στην ύπαρξη του ηλεκτρικού πεδίου μέσα στο σύρμα του λαμπτήρα. Όσο πιο ισχυρό είναι το ηλεκτρικό πεδίο μέσα στο σύρμα του λαμπτήρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η ηλεκτρική τάση στα άκρα του. Όταν πάψει να υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο στο εσωτερικό του σύρματος, από τον λαμπτήρα δεν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα και η τάση στα άκρα του μηδενίζεται. Αντίθετα αν συνδέσουμε το βολτόμετρο με τους πόλους της πηγής, παρατηρούμε ότι η ένδειξή του εξακολουθεί να είναι 4,5 V. Εύκολα μπορούμε να συμπεράνουμε ότι η τάση στα άκρα:

- α. ενός καταναλωτή είναι μηδέν όταν από αυτόν δεν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα και
- β. μιας μπαταρίας είναι διαφορετική από το μηδέν είτε διέρχεται από αυτή ηλεκτρικό ρεύμα είτε όχι.

Ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό κύκλωμα

Όταν πιέζεις το διακόπτη του φωτιστικού το κύκλωμα κλείνει και οι λαμπτήρες του φωτιστικού φωτοβολούν αμέσως. Όταν τηλεφωνείς σ' ένα φίλο σου το ηλεκτρικό σήμα που μεταφέρει τη φωνή σου ταξιδεύει μέσω των τηλεφωνικών καλωδίων και φθάνει σχεδόν ακαριαία στη συσκευή του φίλου σου. Το σήμα αυτό

στην πραγματικότητα ταξιδεύει διαμέσου των καλωδίων σύνδεσης με την ταχύτητα του φωτός. Με αυτή την ταχύτητα δεν κινούνται τα ηλεκτρόνια αλλά διαδίδεται το ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί την προσανατολισμένη κίνησή τους. Η ταχύτητα της προσανατολισμένης κίνησης των ηλεκτρονίων σ' έναν αγωγό τον οποίο διαρέει ηλεκτρικό ρεύμα είναι μερικά εκατοστά του χιλιοστού το δευτερόλεπτο, δηλαδή μικρότερη και από την ταχύτητα ενός σαλιγκαριού. Ένα ηλεκτρόνιο, για να διατρέξει ένα σύρμα μήκους ενός μέτρου, θα χρειαζόταν χρόνο περίπου τριών ωρών.

Προέλευση των ηλεκτρονίων σ' ένα κύκλωμα

Σ' ένα κατάσταση μπορείτε να αγοράσετε ένα σωλήνα νερού που βέβαια δεν περιέχει νερό. Αλλά δεν μπορείτε να αγοράσετε ένα κομμάτι σύρμα που να μην περιέχει ηλεκτρόνια. Η πηγή των ηλεκτρονίων σ' ένα κύκλωμα είναι το ίδιο το υλικό κατασκευής του αγωγού και όχι οι ηλεκτρικές πηγές ή οι πρίζες όπως πιστεύουν πολλοί άνθρωποι. Όταν κλείνετε το διακόπτη στο κύκλωμα της εικόνας 2.18, η ενέργεια που προσφέρεται από την πηγή προκαλεί την κίνηση των ηλεκτρονίων που προϋπάρχουν στο σύρμα του λαμπτήρα. Ο ρόλος της πηγής δεν είναι να προσφέρει ηλεκτρόνια στον αγωγό που συνδέεται στους πόλους της. Η πηγή θέτει απλώς σε προσανατολισμένη κίνηση τα ηλεκτρόνια που προϋπάρχουν στον αγωγό. Οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας, όπως η Δ.Ε.Η., δεν πωλούν ηλεκτρόνια ή ηλεκτρικό ρεύμα. Πωλούν **ενέργεια**. Οι συσκευές που εσείς χρησιμοποιείτε προμηθεύουν τα ηλεκτρόνια.

Το ηλεκτρικό κύκλωμα και οι αναπαραστάσεις του

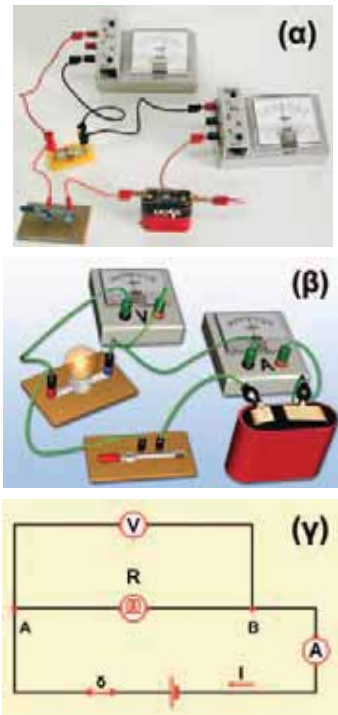
Τα ηλεκτρικά κυκλώματα που αναφέραμε προηγουμένως τα περιγράψαμε με λέξεις, φωτογραφίες (εικόνα 2.21) ή καλλιτεχνικές αναπαραστάσεις (εικόνα 2.13). Πολλές φορές όμως χρησιμοποιούμε σχηματικά διαγράμματα των κυκλωμάτων, όπου τα στοιχεία του κυκλώματος απεικονίζονται με συγκεκριμένα σύμβολα. Μερικά από αυτά παριστάνονται στην εικόνα 2.22.

Μια φωτογραφία, ένα καλλιτεχνικό σχέδιο και ένα σχηματικό διάγραμμα του ίδιου κυκλώματος αναπαριστώνται στην εικόνα 2.23. Στις απεικονίσεις των κυκλωμάτων η φορά του ρεύματος είναι η συμβατική. Αυτή η φορά, όπως είδαμε, είναι αντίθετη με τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς.



Εικόνα 2.22

Σχηματική αναπαράσταση των βασικών στοιχείων του κυκλώματος.



Εικόνα 2.23

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα

(α) Φωτογραφία κυκλώματος. (β) Καλλιτεχνική αναπαράσταση. (γ) Σχηματική αναπαράσταση.

2.3 Ηλεκτρικά δίπολα

Είδαμε ότι όλες οι ηλεκτρικές συσκευές που χρησιμοποιούμε (μπαταρίες, λαμπτήρες, οικιακές ηλεκτρικές συσκευές κ.λπ.) διαθέτουν **δύο άκρα (πόλους)** με τα οποία συνδέονται στο ηλεκτρικό κύκλωμα. Οι ίδιες οι συσκευές ονομάζονται **ηλεκτρικά δίπολα** (εικόνα 2.24). Όταν στα άκρα ενός ηλεκτρικού διπόλου εφαρμόσουμε μια ηλεκτρική τάση V , τότε από το δίπολο θα διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I . Αν αλλάξουμε την τιμή της τάσης V , θα μεταβληθεί και η ένταση I . Ο τρόπος που μεταβάλλεται η ένταση του ρεύματος του διπόλου όταν μεταβάλλουμε την τάση στους πόλους του εξαρτάται από το δίπολο. Για παράδειγμα, στην εικό-



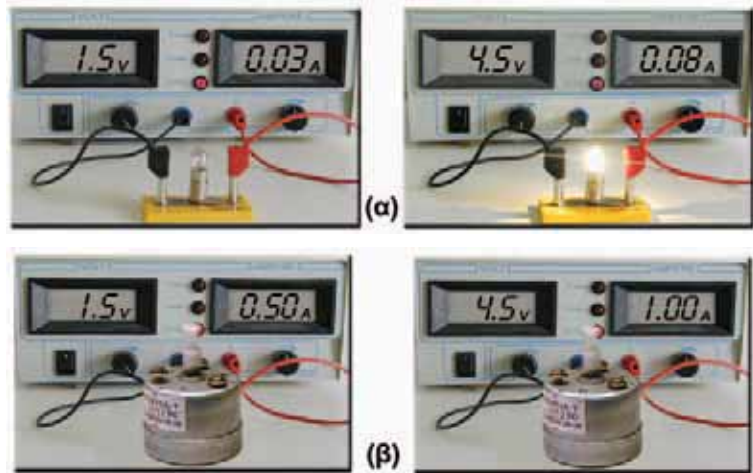
Εικόνα 2.24

Ηλεκτρικά δίπολα

Κάθε ηλεκτρικό δίπολο: (α) έχει δύο άκρα και (β) μετατρέπει την ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρέει σε ενέργεια άλλης μορφής.

Εικόνα 2.25 ▶

Όταν μεταβάλλεται η τάση που εφαρμόζουμε στους πόλους ενός διπόλου, μεταβάλλεται και η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει. (α) Όταν τριπλασιάσουμε την τάση που εφαρμόζουμε στο λαμπάκι, η ένταση του ρεύματος που το διαρρέει σχεδόν τριπλασιάζεται. (β) Αν τριπλασιάσουμε την τάση που εφαρμόζουμε σ' ένα κινητήρα, η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει διπλασιάζεται.



να 2.25 παριστάνεται η μεταβολή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος ως προς την εφαρμοζόμενη τάση σε ένα λαμπτήρα (εικόνα 2.25α) και σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα (εικόνα 2.25β).

Στη συνέχεια θα μελετήσουμε τη σχέση ανάμεσα στην τάση που εφαρμόζεται στα άκρα ενός διπόλου και την ένταση του ρεύματος που το διαρρέει.

Αντίσταση του διπόλου

Για να μπορούμε να εκτιμούμε το μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος (I) που διέρχεται από ένα δίπολο όταν εφαρμόζεται στους πόλους του ηλεκτρική τάση ορισμένης τιμής (V), ορίζουμε ένα φυσικό μέγεθος που το ονομάζουμε **ηλεκτρική αντίσταση** του διπόλου (τη συμβολίζουμε με το γράμμα R).

Ηλεκτρική αντίσταση ενός ηλεκτρικού διπόλου ονομάζεται το πηλίκο της ηλεκτρικής τάσης (V) που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου προς την ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.4)$$

Η μονάδα αντίστασης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το Ωμ (1 Ohm). Η αντίσταση είναι παράγωγο μέγεθος και η μονάδα της εκφράζεται με τη βοήθεια της σχέσης 2.4:

$$1 \text{ Ohm} = \frac{1 \text{ Volt}}{1 \text{ Ampere}} \quad \text{ή} \quad 1 \Omega = \frac{1 \text{ V}}{1 \text{ A}}$$

Στην ηλεκτρολογία και στην ηλεκτρονική χρησιμοποιούνται και πολλαπλάσια του Ωμ: το κιλο-ωμ (1 KΩ=10³ Ω) και το μεγα-ωμ (1 MΩ=10⁶ Ω). Η μέτρηση της αντίστασης μπορεί να πραγματοποιηθεί με όργανα που ονομάζονται ωμόμετρα (εικόνα 2.26). Συνήθως τα ωμόμετρα είναι ενσωματωμένα στα πολύμετρα.

Γενικά η αντίσταση ενός ηλεκτρικού διπόλου μεταβάλλεται με την εφαρμοζόμενη τάση. Υπάρχει ωστόσο μια κατηγορία διπόλων που ονομάζονται **αντιστάτες**, για τους οποίους η αντίσταση R είναι σταθερή, δηλαδή ανεξάρτητη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα τους και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τους



Εικόνα 2.26

Μπορούμε να μετρήσουμε την αντίσταση ενός διπόλου με όργανα που κυκλοφορούν στο εμπόριο και ονομάζονται «ωμόμετρα». Τα ωμόμετρα συνήθως είναι τμήματα οργάνων με πολλές δυνατότητες μέτρησης έντασης, τάσης, αντίστασης κ.λπ., που είναι γνωστά ως «πολύμετρα».

διαρρέει. Πρόκειται για τους απλούς αγωγούς που θα τους μελετήσουμε στην επόμενη παράγραφο.

Νόμος του Ωμ

Το απλούστερο ίσως δίπολο που μπορούμε να μελετήσουμε είναι ένας μεταλλικός αγωγός, ένα μεταλλικό σύρμα. Όταν στα άκρα (πόλους) του σύρματος εφαρμόζουμε ηλεκτρική τάση, τότε από το σύρμα διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Ποια είναι η ποσοτική σχέση που συνδέει την ηλεκτρική τάση με την ένταση του ρεύματος που προκαλεί σε έναν αγωγό; Πώς δηλαδή μεταβάλλεται η τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό όταν μεταβάλλουμε τη διαφορά δυναμικού που εφαρμόζουμε στα άκρα του;

Για να απαντήσουμε στις ερωτήσεις μας, θα καταφύγουμε πάλι στο πείραμα. Μεταβάλλουμε τις τιμές ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα ενός μεταλλικού αγωγού. Μετράμε την τάση στα άκρα του αγωγού με ένα βολτόμετρο και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό με ένα αμπερόμετρο (εικόνα 2.27).

Τα αποτελέσματα των μετρήσεών μας καταγράφονται στον πίνακα 2.1. Στην τρίτη στήλη του πίνακα υπολογίζουμε το πηλίκο της τάσης προς την αντίστοιχη ένταση του ρεύματος, δηλαδή την αντίσταση του αγωγού.

Στη συνέχεια με τη βοήθεια των τιμών της τάσης και της έντασης που λαμβάνουμε από τον πίνακα 2.1 κατασκευάζουμε το διάγραμμα της έντασης (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό σε συνάρτηση με τη τάση V που εφαρμόζουμε στα άκρα του (εικόνα 2.28).

Παρατηρούμε ότι το διάγραμμα της έντασης (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό σε συνάρτηση με την ηλεκτρική τάση (V) που την προκαλεί είναι μια ευθεία που διέρχεται από το μηδέν. Επομένως τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα, δηλαδή ο λόγος τους διατηρείται σταθερός. Το γεγονός αυτό μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε και από την τρίτη στήλη του πίνακα 2.1, όπου έχουμε υπολογίσει τους λόγους των αντίστοιχων τιμών τάσης-έντασης (V/I). Παρατήρησε ότι όλοι αυτοί οι λόγοι έχουν την ίδια τιμή. Όστε η αντίσταση R του μεταλλικού αγωγού είναι σταθερή, ανεξάρτητη της τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα του, δηλαδή ένας μεταλλικός αγωγός είναι αντιστάτης.

Η γενίκευση πειραματικών δεδομένων παρόμοιων με τα προηγούμενα οδήγησε το Γερμανό φυσικό Ωμ (Ohm) στη διατύπωση ενός νόμου που είναι γνωστός ως νόμος του Ωμ:

Η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα μεταλλικό αγωγό είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού (V) που εφαρμόζεται στα άκρα του.

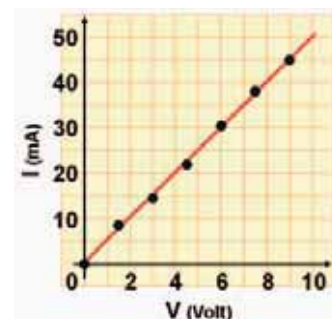
Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού είναι ανεξάρτητη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.



Εικόνα 2.27

Αν αυξήσουμε την τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του αγωγού, τότε η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει μεγαλώνει.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.1		
ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕ ΟΤΙ ΓΙΑ ΚΑΘΕ ΖΕΥΓΟΣ ΤΙΜΩΝ Ο ΛΟΓΟΣ V/I ΕΧΕΙ ΤΗΝ ΙΔΙΑ ΤΙΜΗ		
V (Volt)	I (mA)	$R = \frac{V}{I}$ $(\frac{\text{Volt}}{\text{A}} = \Omega)$
0	0	-
1,5	7,5	200
3,0	15,0	200
4,5	22,5	200
6,5	30,0	200
7,5	37,5	200
9,0	45,0	200



Εικόνα 2.28

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (αποτελεσμα) και η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του (αιτία) είναι μεγέθη ανάλογα.



Εικόνα 2.29

Γκέοργκ Σιμόν Ωμ (1787-1854)

Γερμανός φυσικός που διατύπωσε το νόμο που συνδέει την τάση και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό.

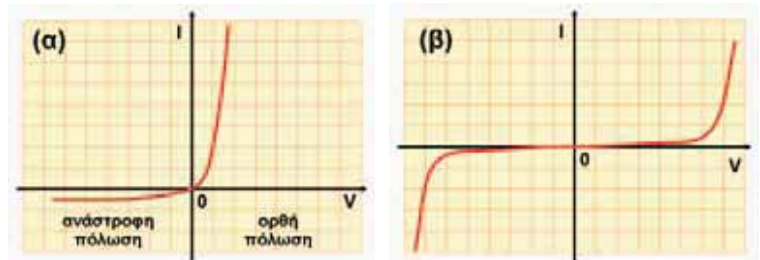


Εικόνα 2.30

Η ηλεκτρονική λυχνία (1), η κρυσταλλοδιόδος (2), το τρανζίστορ (3) και η φωτιοδιόδος (LED) (4) δεν συμπεριφέρονται όπως ένας μεταλλικός αγωγός.

Εικόνα 2.31 ▶

Απεικόνιση των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει (α) μια κρυσταλλοδιόδο και (β) ένα λαμπτήρα νέου, σε σχέση με την τάση που εφαρμόζουμε κάθε φορά στα άκρα τους. Παρατήρησε ότι γι' αυτά τα δίπολα δεν ισχύει ο νόμος του Ωμ.

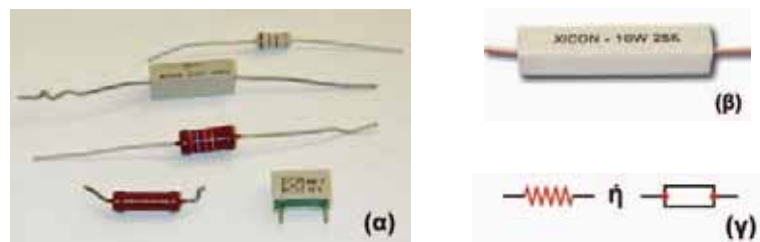


Αντίθετα οι μεταλλικοί αγωγοί, εφόσον διατηρούμε τη θερμοκρασία τους σταθερή, συμπεριφέρονται σύμφωνα με το νόμο του Ωμ. Δηλαδή η αντίστασή τους δεν μεταβάλλεται με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Γενικά με τον όρο **αντιστάτη** χαρακτηρίζουμε κάθε δίπολο που ικανοποιεί το νόμο του Ωμ (εικόνα 2.32).

Εικόνα 2.32 ▶

Αντιστάτες

(α) Διάφοροι τύποι αντιστατών. (β) Ένας αντιστάτης χαρακτηρίζεται από τη μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει χωρίς να καταστραφεί. (γ) Στο σχεδιασμό ενός κυκλώματος οι αντιστάτες παριστάνονται με τα σύμβολα που φαίνονται στην εικόνα.



Οι αντιστάτες έχουν μια επιπλέον ιδιότητα: μετατρέπουν εξ ολο-

Έτσι αν η σχέση 2.4 λυθεί ως προς το I προκύπτει:

$$I = \frac{1}{R} \cdot V \quad \text{ή} \quad V = I \cdot R \quad (2.5)$$

Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι:

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού με σταθερά αναλογίας το 1/R.

Η σχέση αυτή αποτελεί τη μαθηματική έκφραση του νόμου του Ωμ. Η γραφική της παράσταση είναι μια ευθεία που διέρχεται από το μηδέν, όπως η εικονιζόμενη στην εικόνα 2.28.

Ισχύει ο νόμος του Ωμ για κάθε ηλεκτρικό δίπολο;

Ας επαναλάβουμε το πείραμα της εικόνας 2.27, αλλά αυτή τη φορά στη θέση του μεταλλικού αγωγού ας τοποθετήσουμε μια κρυσταλλοδιόδο ή ένα λαμπτήρα νέου (λαμπτήρας φωτεινών διαφημίσεων). Οι κρυσταλλοδιόδοι, οι ηλεκτρονικές λυχνίες και τα τρανζίστορ (εικόνα 2.30) είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ραδιόφωνα, υπολογιστές, τηλεοράσεις κ.λπ.

Μεταβάλλοντας την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα της κρυσταλλοδιόδου ή του λαμπτήρα νέου, παρατηρούμε ότι η ένταση του ρεύματος που τα διαρρέει δεν είναι ανάλογη με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους (εικόνα 2.31). Δηλαδή, αν και τα παραπάνω δίπολα επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, εντούτοις δεν ακολουθούν το νόμο του Ωμ. **Η αντίστασή τους μεταβάλλεται με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα τους.** Το ίδιο επίσης παρατηρείται και στους ηλεκτρικούς κινητήρες (εικόνα 2.25β).

κλήρου την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Τη μετατροπή αυτή θα τη μελετήσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.

Νόμος του Ωμ και μικρόκοσμος

Πώς εξηγείται ότι, όταν αυξάνεται η τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα ενός αγωγού, αυξάνεται και η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει;

Για να απαντήσουμε στο παραπάνω ερώτημα, θα αξιοποιήσουμε την εικόνα (πρότυπο) που έχουμε δημιουργήσει για το ηλεκτρικό ρεύμα ως ένα σύνολο κινούμενων προς μια ορισμένη κατεύθυνση ηλεκτρονίων. Μεγάλη τάση σημαίνει ότι τα ηλεκτρόνια αποκτούν μεγαλύτερη κινητική ενέργεια και άρα κινούνται με μεγαλύτερη ταχύτητα. Όσο όμως μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων τόσο περισσότερα θα περνάνε από μια διατομή του αγωγού σε ορισμένο χρόνο και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ένταση του ρεύματος (εικόνα 2.33). Αυτό μπορούμε να το καταλάβουμε καλύτερα αν θυμηθούμε και το αναλογικό πρότυπο για το ηλεκτρικό ρεύμα: όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα των αυτοκινήτων που κινούνται προς μια κατεύθυνση σ' έναν αυτοκινητόδρομο τόσο περισσότερα θα διέρχονται από ένα συγκεκριμένο σημείο του δρόμου.

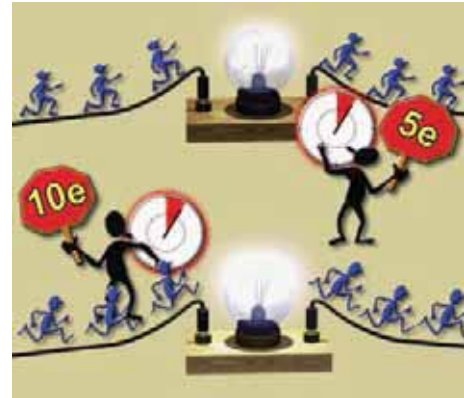
Μικροσκοπική ερμηνεία της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού

Στα άκρα δύο αντιστατών με διαφορετικές αντιστάσεις εφαρμόζουμε την ίδια τάση V (αίτιο). Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ από τον αντιστάτη με τη μικρότερη αντίσταση θα διέρχεται μεγαλύτερης έντασης ηλεκτρικό ρεύμα (αποτέλεσμα) απ' ό,τι από τον αντιστάτη που έχει τη μεγαλύτερη αντίσταση. Από τον αγωγό μεγαλύτερης αντίστασης διέρχεται μικρότερος αριθμός ηλεκτρονίων στο ίδιο χρονικό διάστημα. Μπορούμε να πούμε ότι αυτός ο αγωγός δυσκολεύει περισσότερο την κίνηση των ηλεκτρονίων. Δηλαδή η αντίσταση είναι ένα μέτρο της δυσκολίας που προβάλλει ένας αγωγός στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτόν.

Ποια είναι η προέλευση της αντίστασης ενός αγωγού;

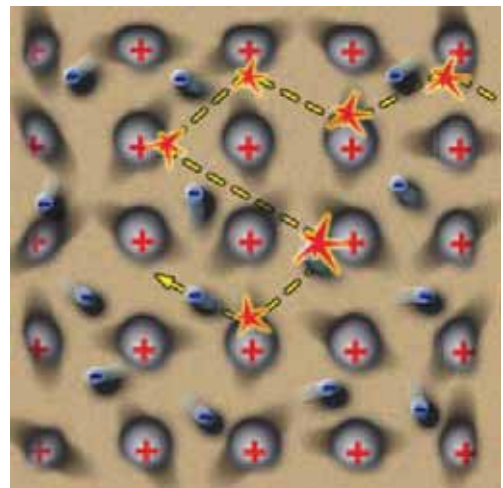
Την απάντηση θα την αναζητήσουμε στη γνωστή μας πλέον μικροσκοπική περιγραφή ενός μεταλλικού αγωγού και του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.

Στην παράγραφο 2.1 ονομάσαμε ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει ένα μεταλλικό σύρμα την προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του. Όταν στα άκρα του σύρματος εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού, στο εσωτερικό του δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το πεδίο αυτό ασκεί ηλεκτρικές δυνάμεις στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου, οι οποίες προκαλούν αύξηση της ταχύτητάς τους κατά μήκος του σύρματος. Όμως κατά την κίνησή τους τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα ιόντα του μετάλλου τα οποία ταλαντώνονται γύρω από ορισμένες σταθερές θέσεις. Σε κάθε τέτοια σύγκρουση ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου μεταφέρεται στο ιόν. Έτσι η ταχύτητα του ηλεκτρονίου μειώνεται. Αμέσως μετά τη σύγκρουση, η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου προκαλεί εκ νέου αύξηση της ταχύτητας του ηλεκτρονίου μέχρι την επόμενη σύγκρουση, οπότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία (εικόνα 2.34).



Εικόνα 2.33

Μεγαλύτερη ένταση ρεύματος σημαίνει ότι στον ίδιο χρόνο και από τον ίδιο αγωγό διέρχεται μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων.



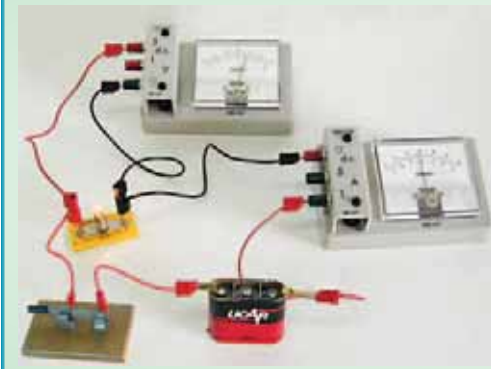
Εικόνα 2.34

Η ταχύτητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων του μεταλλικού αγωγού μεταξύ των διαδοχικών συγκρούσεων αυξάνεται εξαιτίας της δύναμης που τους ασκεί το ηλεκτρικό πεδίο. Κατά τη σύγκρουσή τους με τα ιόντα του μετάλλου, αυτή μειώνεται στιγμιαία. Ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας μεταφέρεται στα ιόντα.

Τελικά όλα τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται με μια σταθερή μέση ταχύτητα κατά μήκος του σύρματος. Αυτή η «συλλογική» κίνηση συνιστά το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το σύρμα.

Όστε κάθε μεταλλικός αγωγός «αντιστέκεται» στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτόν. **Η αντίσταση του μεταλλικού αγωγού προέρχεται από τις συγκρούσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα ιόντα του μετάλλου.**

Δραστηριότητα



Νόμος του Ωμ

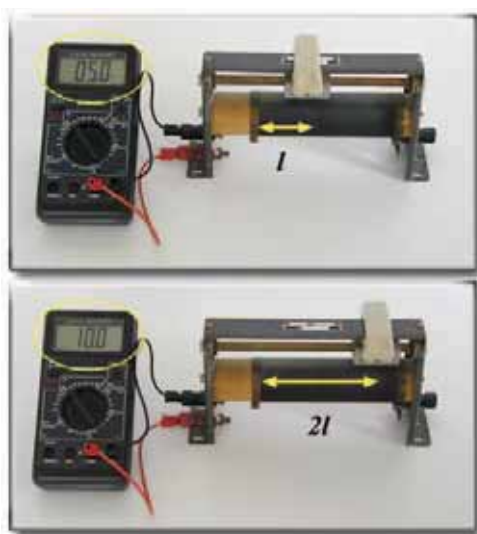
Διαθέτεις ένα βολτόμετρο, ένα αμπερόμετρο, δύο μπαταρίες 1,5 V και 4,5 V, ένα λαμπάκι και καλώδια.

- Συναρμολόγησε το κύκλωμα της εικόνας χρησιμοποιώντας διαδοχικά τις δύο μπαταρίες.
- Εφάρμοσε τον ορισμό της αντίστασης και υπολόγισε την αντίσταση του λαμπτήρα με βάση τις ενδείξεις των οργάνων σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις.
- Σύγκρινε τις τιμές που υπολόγισες. Σκέψου τις προϋποθέσεις για να ισχύει ο νόμος του Ωμ σε ένα μεταλλικό αγωγό. Ισχύουν στην παραπάνω περίπτωση; Μπορείς να ερμηνεύσεις τα αποτελέσματα των πειραμάτων σου;

2.4 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αγωγού

Από ποιους παράγοντες εξαρτάται η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος; Για να απαντήσουμε στο παραπάνω ερώτημα θα ακολουθήσουμε τα βήματα της επιστημονικής μεθόδου. Αρχικά θα διατυπώσουμε τις υποθέσεις μας. Φαίνεται λογικό να υποθέσουμε ότι η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος εξαρτάται από το υλικό από το οποίο είναι φτιαγμένο, από τις διαστάσεις του, δηλαδή το μήκος και το εμβαδόν της διατομής του, καθώς και τη θερμοκρασία του.

Στη συνέχεια θα καταφύγουμε στο πείραμα προκειμένου να επιβεβαιώσουμε ή να διαψεύσουμε τις υποθέσεις μας. Θα μετρήσουμε την αντίσταση διάφορων συρμάτων μεταβάλλοντας κάθε φορά έναν από τους παράγοντες από τους οποίους υποθέσαμε ότι εξαρτάται η αντίσταση του σύρματος, ενώ διατηρούμε τους υπόλοιπους σταθερούς. Δηλαδή θα μετρήσουμε τις αντιστάσεις συρμάτων από διαφορετικά υλικά με διαφορετικά μήκη και διατομές και σε διαφορετικές θερμοκρασίες.



Εικόνα 2.35

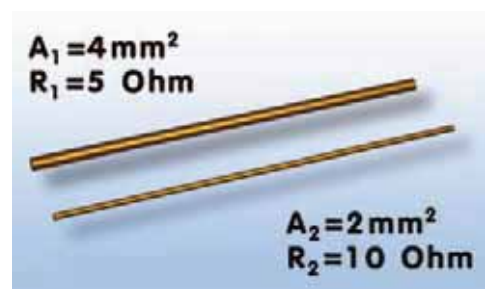
Η αντίσταση ενός σύρματος είναι ανάλογη του μήκους του.

Εξάρτηση από το μήκος

Στο πείραμα της εικόνας 2.35 χρησιμοποιούμε σύρματα από το ίδιο μέταλλο, με την ίδια διατομή αλλά με διαφορετικό μήκος. Με το ωμόμετρο μετράμε την αντίστασή τους. Διαπιστώνουμε ότι τα σύρματα με διπλάσιο ή τριπλάσιο μήκος έχουν διπλάσια ή τριπλάσια αντίσταση αντίστοιχα. Συμπεραίνουμε ότι η αντίσταση είναι ανάλογη του μήκους των συρμάτων.

Εξάρτηση από το εμβαδόν διατομής

Στη συνέχεια χρησιμοποιούμε αγωγούς που είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό και έχουν το ίδιο μήκος αλλά διαφορετικό εμβαδόν διατομής. Με το ωμόμετρο μετράμε την αντίστασή τους. Διαπιστώνουμε ότι το σύρμα με διπλάσια διατομή έχει τη μισή αντίσταση (εικόνα 2.36). Συμπεραίνουμε ότι η αντίσταση είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού διατομής των συρμάτων.



Εικόνα 2.36

Η αντίσταση ενός σύρματος είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού (A) της διατομής του.

Εξάρτηση από το είδος του υλικού

Χρησιμοποιούμε δύο σύρματα με το ίδιο μήκος και εμβαδόν διατομής που είναι κατασκευασμένα το ένα από χαλκό και το άλλο από αλουμίνιο. Διαπιστώνουμε ότι το χάλκινο σύρμα έχει μικρότερη αντίσταση από το αλουμινένιο. Συμπεραίνουμε ότι η αντίσταση εξαρτάται και από το είδος του υλικού.

Εξάρτηση από τη θερμοκρασία

Θέλουμε να μελετήσουμε πειραματικά τη μεταβολή της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού που βρίσκεται σ' ένα λαμππάκι πυράκτωσης σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του. Χρησιμοποιούμε μια διάταξη όπως αυτή που εικονίζεται στην εικόνα 2.37. Ο μεταλλικός αγωγός είναι βυθισμένος μέσα σε νερό του οποίου μπορούμε να μεταβάλλουμε τη θερμοκρασία με μια θερμαντική εστία και να τη μετράμε με ένα θερμόμετρο. Για κάθε τιμή της θερμοκρασίας μετράμε την αντίσταση του αγωγού με ένα ωμόμετρο. Διαπιστώνουμε ότι γενικά η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Η μελέτη των αποτελεσμάτων αυτών των πειραμάτων μάς οδηγεί στο συμπέρασμα ότι η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος σταθερής διατομής σε όλο το μήκος του:

- είναι ανάλογη του μήκους του (ℓ),
- είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού (A) της διατομής του,
- εξαρτάται από το είδος του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σύρμα και
- εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αγωγού.

Οι παραπάνω προτάσεις μπορούν να εκφραστούν με τη μαθηματική σχέση:

$$R = \rho \cdot \frac{\ell}{A} \quad (2.6)$$

όπου R είναι η αντίσταση του αγωγού, A το εμβαδόν της διατομής του και ℓ το μήκος του.

Ο συντελεστής αναλογίας ρ ονομάζεται **ειδική αντίσταση** του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός. Όπως προκύπτει από τη σχέση 2.6, όταν η αντίσταση μετριέται σε Ω , το μήκος σε m και το εμβαδόν σε m^2 , τότε η ειδική αντίσταση μετριέται σε $\Omega \cdot m$. Όσο μικρότερη είναι η ειδική αντίσταση ενός υλικού, τόσο καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος είναι.

Έτσι, για παράδειγμα, σε θερμοκρασία $20^\circ C$ βρέθηκε ότι ο



Εικόνα 2.37

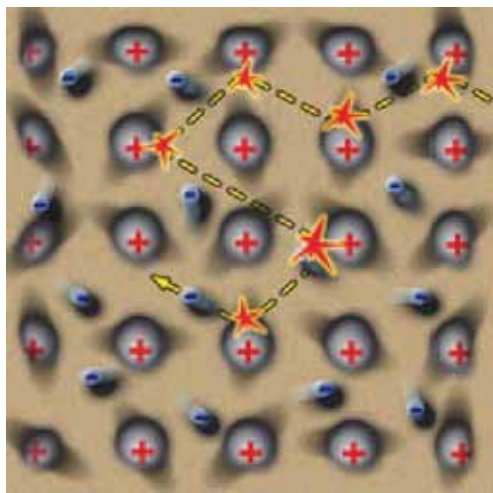
Η αντίσταση των αγωγών αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Δραστηριότητα

Η αντίσταση που έχει το λαμπάκι

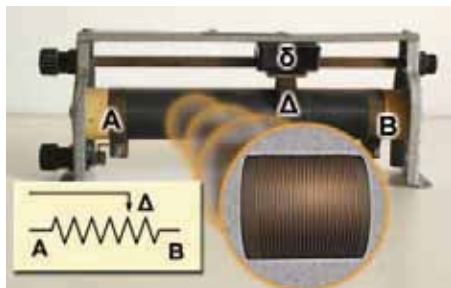
- ▶ Με τη βοήθεια ενός πολύμετρου μέτρησε την αντίσταση που έχει ένα λαμπάκι.
- ▶ Σύνδεσε το λαμπάκι με μια κατάλληλη μπαταρία ώστε να φωτοβολήσει.
- ▶ Χρησιμοποιώντας το πολύμετρο μέτρησε την τάση και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το λαμπάκι. Χρησιμοποίησε το νόμο του Ωm και υπολόγισε την αντίστασή του.
- ▶ Σύγκρινε την τιμή που υπολόγισες παραπάνω με αυτή που μέτρησες με το πολύμετρο.
- ▶ Μπορείς να ερμηνεύσεις το αποτέλεσμα της σύγκρισης;

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2	
ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ	
Υλικό	Ειδική αντίσταση Ω·m
Αγωγοί	
Άργυρος	$1,47 \times 10^{-8}$
Χαλκός	$1,72 \times 10^{-8}$
Αργίλιο	$2,63 \times 10^{-8}$
Χάλυβας	20×10^{-8}
Χρωμονικελίνη	100×10^{-8}
Ημιαγωγοί	
Άνθρακας	$3,5 \times 10^{-5}$
Πυρίτιο	2.300
Μονωτές	
Νερό	2×10^5
Ξύλο	$10^8 - 10^{11}$
Γυαλί	$10^{10} - 10^{14}$
PVC	10^{14}



Εικόνα 2.38

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μεταλλικού αγωγού κατά την κίνησή τους συγκρούονται με τα ιόντα του μετάλλου. Όσο εντονότερες είναι οι ταλαντώσεις των ιόντων τόσο πιο συχνές είναι οι συγκρούσεις.



Εικόνα 2.39

Ο ροοστάτης και η σχηματική του αναπαράσταση

α) Μετακινώντας το δρομέα δ μεταβάλλουμε το μήκος του αντιστάτη (ΑΔ) και άρα την αντίστασή του. β) Σχηματική αναπαράσταση του ροοστάτη.

χαλκός έχει μικρότερη ειδική αντίσταση από το αλουμίνιο. Επομένως ο χαλκός είναι καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος από το αλουμίνιο. Η τιμή της ειδικής αντίστασης εξαρτάται από τη θερμοκρασία του αγωγού. Αυξάνεται όταν μεγαλώνει η θερμοκρασία (εικόνα 2.37). Σε μικρή περιοχή θερμοκρασιών (μέχρι 100°C περίπου) η ειδική αντίσταση αυξάνεται σύμφωνα με τη σχέση:

$$\rho_{\theta} = \rho_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta) \quad (2.7)$$

όπου το ρ_0 είναι η ειδική αντίσταση σε 0 °C και ρ_{θ} η ειδική αντίσταση σε κάποια θερμοκρασία θ . Ο παράγοντας α ονομάζεται **θερμικός συντελεστής ειδικής αντίστασης**. Για τα περισσότερα καθαρά μέταλλα ο συντελεστής α έχει τιμή 1/273°C.

Υπάρχουν ωστόσο αγωγοί από ορισμένα κράματα, όπως η κονσταντάνη (κράμα χαλκού και νικελίου), που η ειδική τους αντίσταση είναι σχεδόν ανεξάρτητη της θερμοκρασίας. Από τα κράματα αυτά κατασκευάζονται εξαρτήματα ηλεκτρικών οργάνων ακριβείας, των οποίων η λειτουργία δεν πρέπει να επηρεάζεται από μεταβολές της θερμοκρασίας. Αντίθετα με τους αγωγούς η ειδική αντίσταση των ημιαγωγών ελαττώνεται με τη θερμοκρασία.

Εφόσον η ειδική αντίσταση αυξάνεται με τη θερμοκρασία, επομένως και η αντίσταση του σύρματος αυξάνεται με τη θερμοκρασία σύμφωνα με τη σχέση

$$R_{\theta} = R_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta), \quad (2.8)$$

όπου το R_0 είναι η αντίσταση σε 0°C και R_{θ} η αντίσταση σε κάποια θερμοκρασία θ .

Πώς ερμηνεύεται η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία;

Για να ερμηνεύσουμε την εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία, θα καταφύγουμε στο μικρόκοσμο του μετάλλου. Θυμηθείτε ότι η αντίσταση των μετάλλων οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα ιόντα που ταλαντώνονται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους (εικόνα 2.38) Γνωρίζετε όμως από το κεφάλαιο της θερμότητας ότι, όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία του μετάλλου, οι κινήσεις των ιόντων του γίνονται εντονότερες. Όσο εντονότερες είναι οι ταλαντώσεις των ιόντων τόσο πιο συχνές είναι οι συγκρούσεις των ηλεκτρονίων με αυτά και επομένως τόσο μεγαλύτερη η αντίσταση του αγωγού.

Μεταβλητός αντιστάτης

Ο μεταβλητός αντιστάτης είναι ένας αντιστάτης του οποίου την αντίσταση μπορούμε να μεταβάλλουμε μετακινώντας ένα δρομέα ή περιστρέφοντας ένα κουμπί (εικόνα 2.39). Τον συνδέουμε κατάλληλα σ' ένα κύκλωμα για να ρυθμίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει μια συσκευή ή την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα μιας συσκευής. Στην πρώτη περίπτωση ονομάζεται **ροοστάτης** και στη δεύτερη **ποτενσιόμετρο**.

Πώς λειτουργεί ένας ροοστάτης;

Η λειτουργία του ροοστάτη στηρίζεται στην εξάρτηση της αντίστασης ενός αγωγού από το μήκος του. Ο ροοστάτης που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο αποτελείται από ένα συρμάτινο αγωγό αρκετά μεγάλου μήκους, που είναι τυλιγμένος γύρω από ένα μονωτικό κύλινδρο. Κατά μήκος της επιφάνειας του κυλίνδρου μπορεί να μετακινείται, παραμένοντας σε αγώγιμη επαφή με τον αγωγό, ένας μεταλλικός δρομέας με μονωτική χειρολαβή (εικόνα 2.39).

Πώς εξηγείται η λειτουργία του ροοστάτη;

Στο κύκλωμα που εικονίζεται στην εικόνα 2.40α συνδέουμε ένα ροοστάτη (εικόνα 2.40β). Το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μόνο από το τμήμα ΑΔ του αγωγού του ροοστάτη. Αν μετακινήσουμε το δρομέα δ προς το άκρο Β, το μήκος ΑΔ του αγωγού που περιλαμβάνεται στο κύκλωμα αυξάνεται. Όμως με την αύξηση του μήκους του αγωγού αυξάνεται και η αντίστασή του γιατί, όπως μάθαμε, τα δύο αυτά μεγέθη είναι ανάλογα.

Τότε σύμφωνα με το νόμο του Ωμ:

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

Εφόσον η τάση στα άκρα του ροοστάτη διατηρείται σταθερή, η αύξηση της αντίστασης R προκαλεί μείωση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα και επομένως και της φωτοβολίας του λαμπτήρα (εικόνα 2.40β). Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και με τη χρήση του αμπερόμετρου Α (εικόνα 2.40γ). Το αντίθετο αποτέλεσμα θα παρατηρήσουμε εάν μετακινήσουμε το δρομέα δ προς το άκρο Α του ροοστάτη.

Πώς λειτουργεί το ποτενσιόμετρο

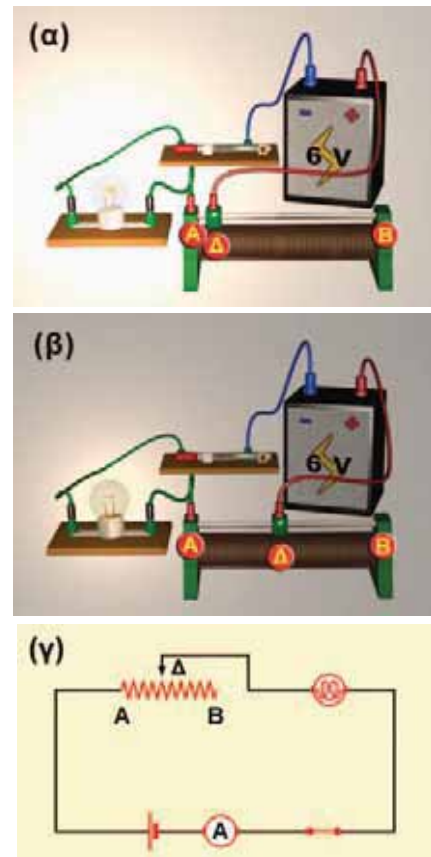
Στην εικόνα 2.41 φαίνεται η σύνδεση ενός μεταβλητού αντίστατη ώστε να λειτουργεί ως ποτενσιόμετρο. Σε συνδυασμό με μια ηλεκτρική πηγή το ποτενσιόμετρο παρέχει μια επιθυμητή τάση (ένα κλάσμα της τάσης της πηγής) στο άκρο μιας συσκευής που συνδέεται μεταξύ των σημείων Α και Δ. Το ποτενσιόμετρο είναι πολύ χρήσιμο. Όταν στρέφεις το κουμπί της έντασης του ήχου σ' ένα ραδιόφωνο, στερεοφωνικό ή ενισχυτή, μετακινείς απλώς το δρομέα ενός ποτενσιόμετρου (εικόνα 2.41α).

Πώς το ποτενσιόμετρο διαιρεί την τάση

Μετακινώντας το δρομέα αυξάνουμε το μήκος και άρα την αντίσταση R_{AD} μεταξύ των Α και Δ (εικόνα 2.41β). Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ η τάση V μεταξύ των Α και Δ είναι ανάλογη με την R_{AD} :

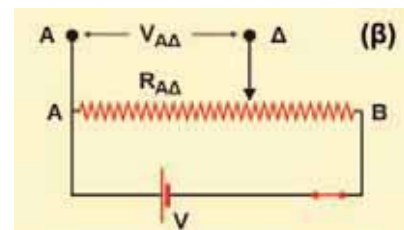
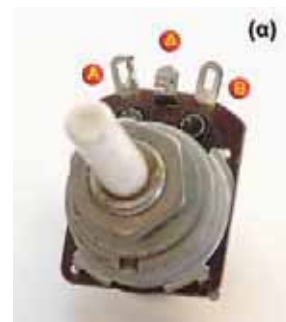
$$V_{AD} = I \cdot R_{AD} \tag{2.9}$$

Αν συνδέσουμε μεταξύ των Α και Δ μια συσκευή από την οποία διέρχεται ρεύμα μικρής έντασης, τότε αυτή η τάση εφαρμόζεται και στα άκρα της συσκευής.



Εικόνα 2.40

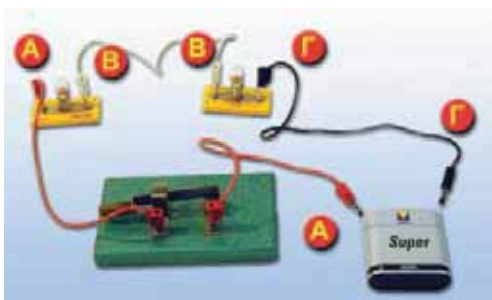
(α) Κύκλωμα λαμπτήρα. (β) Κύκλωμα λαμπτήρα με ροοστάτη. (γ) Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος. Μετακινώντας το δρομέα Δ μπορούμε να μεταβάλλουμε την αντίσταση του ροοστάτη, επομένως και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα.



Εικόνα 2.41

(α) Ένας διακόπτης, ροοστάτης. (β) Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος του ποτενσιόμετρου.

2.5 Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων



Εικόνα 2.42
Οι λαμπτήρες συνδέονται σε σειρά.

Κύκλωμα σύνδεσης σε σειρά

Συνδέουμε δύο λαμπτήρες (καταναλωτές) με το ένα άκρο τους (Β), ενώ τα άλλα άκρα τους (Α και Γ) τα συνδέουμε με τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής (εικόνα 2.42). Μια τέτοια σύνδεση λέγεται σύνδεση καταναλωτών σε σειρά. Όταν κλείσουμε το διακόπτη, ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει αμέσως και τους δυο λαμπτήρες. Όπως έχουμε ήδη πει, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση ηλεκτρικών φορτίων. Τα φορτία δεν συσσωρεύονται ούτε εξαφανίζονται, απλώς κινούνται διαμέσου των καλωδίων και των λαμπτήρων.

Τα ηλεκτρόνια σε όλα τα σημεία του κυκλώματος αρχίζουν να κινούνται σχεδόν ακαριαία από τη στιγμή που κλείνουμε το διακόπτη. Κάποια ηλεκτρόνια εισέρχονται στην πηγή από τον αρνητικό πόλο της και κάποια εξέρχονται από το θετικό και κάποια άλλα κινούνται διαμέσου των συρμάτων των λαμπτήρων και των καλωδίων σύνδεσης. Τελικά όλα τα ηλεκτρόνια κινούνται σε κλειστή διαδρομή σε όλο το κύκλωμα.

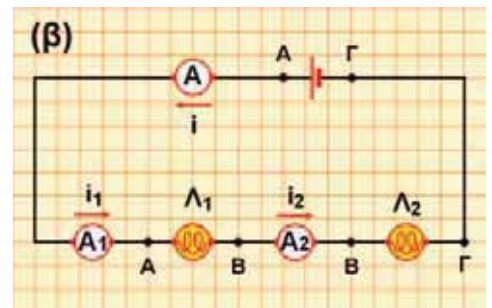
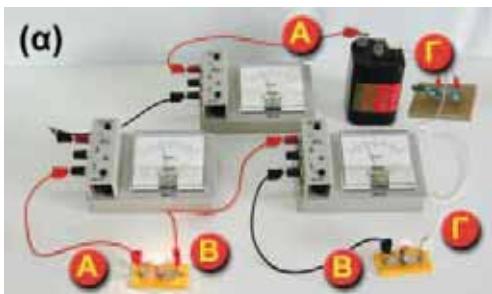
Μια διακοπή σ' ένα σημείο του κυκλώματος σταματά τη ροή των ηλεκτρονίων. Τότε το κύκλωμα ονομάζεται ανοιχτό. Η ροή των ηλεκτρονίων μπορεί να διακοπεί αν ανοίξουμε το διακόπτη ή αν καεί το σύρμα σε έναν από τους λαμπτήρες, οπότε σβήνουν και οι δυο. Αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα ενός κυκλώματος σύνδεσης καταναλωτών σε σειρά. Αν μια συσκευή δεν λειτουργεί, το ρεύμα διακόπτεται σε ολόκληρο το κύκλωμα και δεν θα λειτουργεί καμία συσκευή. Ένα τέτοιο παράδειγμα είναι κάποια χριστουγεννιάτικα λαμπάκια που συνδέονται σε σειρά. Αν «καεί» το ένα, το ρεύμα διακόπτεται και δεν ανάβει κανένα.

Στην εικόνα 2.43α και 2.43β παριστάνεται κύκλωμα στο οποίο έχουμε συνδέσει με κατάλληλο τρόπο τα αμπερόμετρα σε διάφορες θέσεις έτσι ώστε να μετράμε την ένταση του ρεύματος που διέρχεται από τους καταναλωτές (λαμπτήρες). Διαπιστώνουμε ότι από όλους διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης. Με άλλα λόγια σε ένα κύκλωμα σειράς η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ίδια σε όλα τα σημεία του ή συμβολικά:

$$I = I_1 = I_2 \tag{2.10}$$

Με ποιο τρόπο θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

Είδαμε ότι μια βασική αρχή της φυσικής είναι η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου. **Τα ηλεκτρόνια δεν παράγονται, δεν καταστρέφονται ούτε και συσσωρεύονται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος.** Αυτό σημαίνει ότι σε ορισμένο χρόνο ο αριθ-



Εικόνα 2.43
(α) Στο κύκλωμα παρεβάλλουμε τα αμπερόμετρα σε σειρά για να μετρήσουμε τις εντάσεις των ρευμάτων που διαρρέουν τους λαμπτήρες και την πηγή. (β) Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος της εικόνας.

μός των ηλεκτρονίων, δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο που περνάει από κάθε διατομή των αγωγών του κυκλώματος, είναι ο ίδιος. Συνεπώς η ένταση του ρεύματος είναι η ίδια.

Στη συνέχεια συνδέοντας με κατάλληλο τρόπο τρία βολτόμετρα (εικόνα 2.44α) στα άκρα των καταναλωτών στα άκρα του κυκλώματος μετράμε τις τάσεις στα άκρα τους. Παρατηρούμε ότι η τάση $V_{ΑΓ}$ στα άκρα του κυκλώματος ισούται με το άθροισμα των τάσεων $V_{ΑΒ}$ και $V_{ΒΓ}$ στα άκρα κάθε λάμπας (εικόνα 2.44β) ή συμβολικά:

$$V_{ΑΓ} = V_{ΑΒ} + V_{ΒΓ} \quad (2.11)$$

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

Η παραπάνω σχέση είναι αποτέλεσμα μιας από τις βασικότερες αρχές της φυσικής: της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Είδαμε ότι η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας ενός ηλεκτρικού φορτίου που κινείται μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος εκφράζεται από την τάση μεταξύ των σημείων. Έτσι καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται από το Γ προς το Α (εικόνα 2.44β), η ηλεκτρική τους ενέργεια μεταβάλλεται. Η παραπάνω μεταβολή εκφράζεται από την $V_{ΑΓ}$. Η συνολική μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρονίων θα είναι ίση με το άθροισμα των μεταβολών κατά τη διέλευσή τους από το Γ προς το Β και από το Β προς το Α, δηλαδή κατά τη διέλευσή τους από κάθε λαμπτήρα. Συμβολικά μπορούμε να γράψουμε:

$$\Delta E_{ΓΑ} = \Delta E_{ΓΒ} + \Delta E_{ΒΑ} \quad (2.12)$$

Κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση

Τα περισσότερα κυκλώματα κατασκευάζονται έτσι ώστε οι ηλεκτρικές συσκευές να λειτουργούν ανεξάρτητα η μια από την άλλη. Για παράδειγμα, στο σπίτι μας ένας λαμπτήρας μπορεί να φωτοβολεί ή όχι χωρίς να επηρεάζει τη λειτουργία των άλλων λαμπτήρων ή ηλεκτρικών συσκευών. Αυτό συμβαίνει επειδή οι συσκευές δεν συνδέονται σε σειρά αλλά παράλληλα η μια με την άλλη.

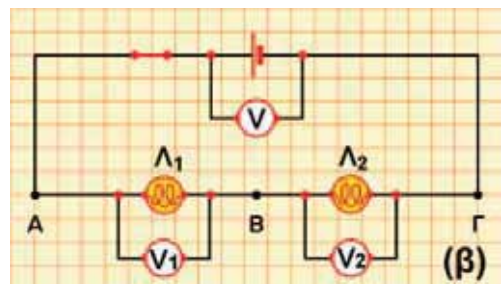
Η εικόνα 2.45 δείχνει δύο λαμπτήρες που συνδέονται στα άκρα Α και Β ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Αυτό είναι ένα παράδειγμα απλού κυκλώματος καταναλωτών σε παράλληλη σύνδεση. Κάθε λαμπτήρας έχει το δικό του κλάδο από τον ένα πόλο της μπαταρίας στον άλλο. Υπάρχουν δύο χωριστοί δρόμοι για το ρεύμα. Έτσι, σε αντίθεση με ένα κύκλωμα σειράς, από τους δύο λαμπτήρες διέρχονται διαφορετικά ηλεκτρόνια. Το κύκλωμα είναι κλειστό ανεξάρτητα από το εάν λειτουργεί ο ένας ή και οι δύο λαμπτήρες. Η διακοπή σε έναν οποιοδήποτε κλάδο δεν διακόπτει την κίνηση των ηλεκτρονίων στους άλλους κλάδους, με αποτέλεσμα κάθε συσκευή να λειτουργεί ανεξάρτητα από τις άλλες.

Σε ένα τέτοιο κύκλωμα συνδέουμε κατάλληλα βολτόμετρα και αμπερόμετρα ώστε να μετράμε τις τάσεις στα άκρα των λαμπτήρων καθώς και τις εντάσεις των ρευμάτων που τους διαρρέουν

Δραστηριότητα

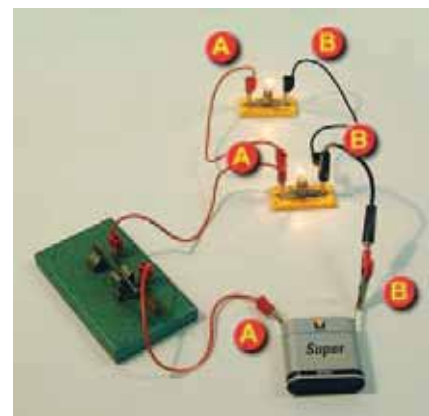
Λαμπάκια σε σειρά

- ▶ Πάρε μια μπαταρία των 4,5 Volt και δύο λαμπάκια των 2,5 Volt.
- ▶ Τοποθέτησε τα λαμπάκια σε δύο λυχνιολαβές και σύνδεσέ τα σε σειρά με την μπαταρία. Τα λαμπάκια ανάβουν.
- ▶ Τι προβλέπεις ότι θα συμβεί αν συνδέσεις το ένα λαμπάκι με τους πόλους της μπαταρίας;
- ▶ Κάνε τη σύνδεση για να επιβεβαιώσεις την πρόβλεψή σου.
- ▶ Ερμήνευσε το φαινόμενο.



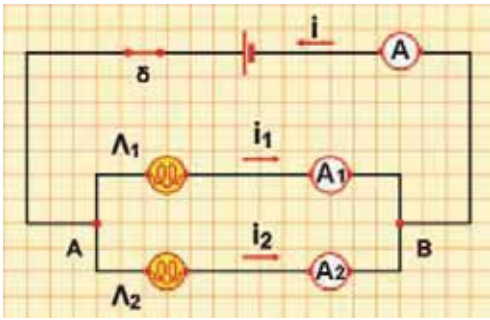
Εικόνα 2.44

(α) Στο κύκλωμα παρεμβάλλουμε τα βολτόμετρα παράλληλα για να μετρήσουμε τις τάσεις στα άκρα των λαμπτήρων, καθώς και στα άκρα του κυκλώματος. (β) Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος με τα βολτόμετρα.



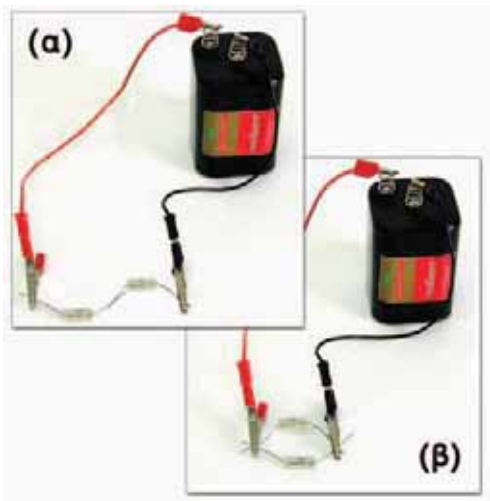
Εικόνα 2.45

Παράλληλη σύνδεση δύο λαμπτήρων.



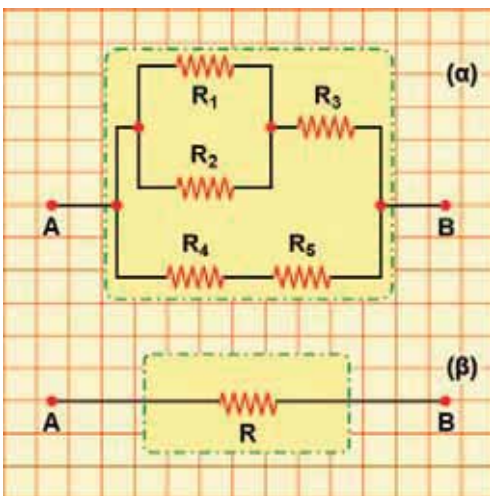
Εικόνα 2.46

Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος παράλληλης σύνδεσης της εικόνας 2.45 με αμπερόμετρα.



Εικόνα 2.47

(α) Αντιστάτες σε σειρά: τους διαρρέει το ίδιο ρεύμα. (β) Αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση: έχουν την ίδια τάση.



Εικόνα 2.48

Ένα σύστημα αντιστατών παρουσιάζει δύο άκρα (πόλους) με τα οποία συνδέεται με το υπόλοιπο κύκλωμα.

(εικόνα 2.46). Διαπιστώνουμε ότι:

- α. Στα άκρα των λαμπτήρων εφαρμόζεται η ίδια διαφορά δυναμικού που είναι ίση με τη διαφορά δυναμικού της πηγής (V_{AB}).
- β. Η ένταση (I) του ολικού ηλεκτρικού ρεύματος που μετράει το αμπερόμετρο A είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων (I_1 και I_2) των ρευμάτων που διαρρέουν τους δύο λαμπτήρες και μετρώνται από τα αμπερόμετρα A_1 και A_2 αντίστοιχα (εικόνα 2.46). Όστε ισχύει:

$$I = I_1 + I_2 \quad (2.13)$$

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κίνηση φορτισμένων σωματιδίων κατά μήκος των αγωγών του κυκλώματος. Επίσης γνωρίζουμε ότι το φορτίο διατηρείται. Όσα φορτισμένα σωματίδια διέρχονται σε ορισμένο χρόνο από το σημείο A τόσα και περνούν συνολικά προς τους δύο λαμπτήρες στον ίδιο χρόνο. Μπορούμε επομένως να συμπεράνουμε ότι η ένταση (I) του ολικού ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το σύστημα είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων (I_1 και I_2) των ρευμάτων που διαρρέουν τους δύο λαμπτήρες.

Σύνδεση αντιστατών

Σε ένα κύκλωμα συνήθως υπάρχουν περισσότεροι από ένας αντιστάτες συνδεδεμένοι με διάφορους τρόπους. Αν διαθέτουμε δύο αντιστάτες R_1 και R_2 , τότε μπορούμε να τους συνδέσουμε μόνο με δύο διαφορετικούς μεταξύ τους τρόπους: σε σειρά (εικόνα 2.47α) και παράλληλα (εικόνα 2.47β).

Όσο μεγαλύτερος είναι ο αριθμός των αντιστατών που διαθέτουμε τόσο περισσότεροι είναι και οι τρόποι με τους οποίους μπορούμε να τους συνδέσουμε (εικόνα 2.48). Γενικά ονομάζουμε *σύστημα* (συνδεσμολογία) *αντιστατών* ένα σύνολο αντιστατών που τους έχουμε συνδέσει με οποιονδήποτε τρόπο. Ένα απλό σύστημα αντιστατών εμφανίζει πάντοτε δύο άκρα (A και B) στα οποία μπορούμε να εφαρμόσουμε την ηλεκτρική τάση (εικόνα 2.48α).

Αν στα άκρα του συστήματος των αντιστατών εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού V , τότε απ' αυτό θα διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I . Ας υποθέσουμε τώρα ότι βρίσκουμε έναν αντιστάτη αντίστασης R τέτοιον ώστε, αν στα άκρα του εφαρμόσουμε την ίδια τάση V , να διέλθει απ' αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης I (εικόνα 2.48β). Τότε η αντίσταση R ονομάζεται **ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος (συνδεσμολογίας)**. Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, η ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος ικανοποιεί τη σχέση:

$$R = \frac{V}{I} \quad (2.14)$$

όπου V είναι η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζουμε στα άκρα του συστήματος των αντιστατών και I η ένταση του ηλεκτρικού

ρεύματος που το διαρρέει (εικόνα 2.48β). Βέβαια ο νόμος του Ωμ μπορεί να εφαρμοστεί χωριστά και για κάθε μεμονωμένο αντιστάτη. Θα υπολογίσουμε την ισοδύναμη αντίσταση στις δύο απλούστερες όσο και θεμελιώδεις συνδέσεις αντιστατών: στην παράλληλη και στην κατά σειρά σύνδεση.

Σύνδεση δύο αντιστατών σε σειρά

Οι αντιστάτες συνδέονται όπως φαίνεται στην εικόνα 2.49α. Και από τους δύο διέρχεται το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης I , το οποίο το μετράμε με το αμπερόμετρο. Με τη βοήθεια των βολτόμετρων μπορούμε να επιβεβαιώσουμε ότι η διαφορά δυναμικού στα άκρα A και B του συστήματος είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων που μετράμε στα άκρα κάθε αντιστάτη:

$$V_{AB} = V_{AΓ} + V_{ΓB} \tag{2.15}$$

Συμβολίζουμε με R_1 και R_2 τις αντιστάσεις των δύο αντιστατών και εφαρμόζουμε το νόμο του Ωμ σε κάθε αντιστάτη:

$$V_{AΓ} = I \cdot R_1 \tag{2.16}$$

$$V_{ΓB} = I \cdot R_2 \tag{2.17}$$

Η ισοδύναμη αντίσταση (R) του συστήματος των δύο αντιστατών είναι η αντίσταση ενός αντιστάτη από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης I , εφόσον στα άκρα του εφαρμόσουμε τάση ίση με την ολική τάση V_{AB} του συστήματος (εικόνα 2.49β). Έτσι, αν εφαρμόσουμε πάλι το νόμο του Ωμ, έχουμε:

$$V_{AB} = I \cdot R \tag{2.18}$$

Αντικαθιστούμε τις τάσεις V_{AB} , $V_{AΓ}$ και $V_{ΓB}$ στη σχέση (2.15) με βάση τις σχέσεις (2.16), (2.17) και (2.18), οπότε προκύπτει ότι:

$$I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 \quad \text{ή} \\ R = R_1 + R_2 \tag{2.19}$$

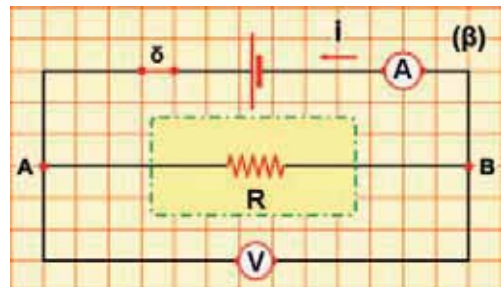
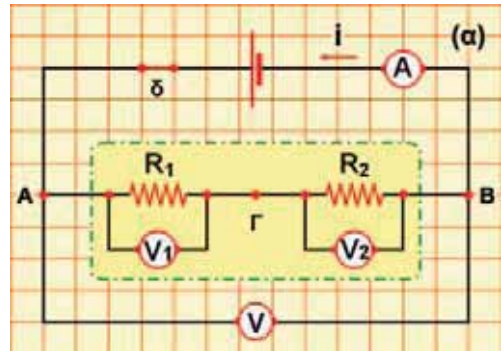
Η σχέση (2.19) δηλώνει ότι η **ισοδύναμη αντίσταση δύο ή περισσότερων αντιστατών που συνδέονται σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεών τους**. Όσο περισσότεροι αντιστάτες προστίθενται σ' ένα κύκλωμα σειράς τόσο η ισοδύναμη αντίσταση αυξάνεται.

Παράλληλη σύνδεση αντιστατών

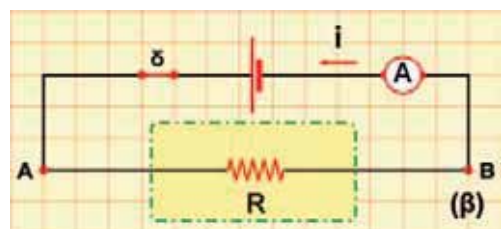
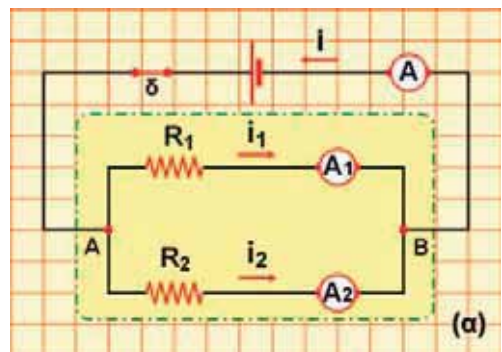
Τώρα οι αντιστάτες συνδέονται όπως δείχνει η εικόνα 2.50α. Παρατηρούμε ότι στα άκρα τους εφαρμόζεται η ίδια διαφορά δυναμικού, που είναι ίση με τη διαφορά δυναμικού του συστήματος (V_{AB}). Με τη βοήθεια των αμπερόμετρων A, A₁ και A₂ διαπιστώνουμε ότι:

$$I = I_1 + I_2 \tag{2.20}$$

Εφαρμόζουμε πάλι το νόμο του Ωμ για κάθε αντιστάτη χωρι-



Εικόνα 2.49 (α) Αντιστάτες συνδεδεμένοι σε σειρά. (β) Η ισοδύναμη αντίσταση.



Εικόνα 2.50 (α) Αντιστάτες συνδεδεμένοι παράλληλα. (β) Η ισοδύναμη αντίσταση.

Δραστηριότητα

Λαμπτήρες σε παράλληλη σύνδεση

- ▶ Σύνδεσε στους πόλους μπαταρίας 4,5 Volt ένα λαμπάκι 3,6 Volt. Το λαμπάκι φωτοβολεί έντονα.
- ▶ Τι προβλέπεις ότι θα συμβεί στη φωτοβολία του λαμπτήρα αν συνδέσεις παράλληλα και ένα δεύτερο ίδιο λαμπάκι;
- ▶ Κάνε τη σύνδεση για να επιβεβαιώσεις την πρόβλεψή σου.
- ▶ Ερμήνευσε το φαινόμενο που παρατήρησες.

στά, καθώς και για έναν αντιστάτη με αντίσταση ίση με την ισοδύναμη αντίσταση (R) του συστήματος των δύο αντιστατών:

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}, \quad I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}, \quad I = \frac{V_{AB}}{R} \quad (2.21)$$

Από τις σχέσεις (2.21) προκύπτει ότι όσο μικρότερη είναι η αντίσταση ενός κλάδου τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος που διέρχεται από αυτόν. Αντικαθιστούμε τις εντάσεις των ρευμάτων στη σχέση (2.20) από τις σχέσεις (2.21), οπότε προκύπτει ότι:

$$\frac{V_{AB}}{R} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2} \quad (7) \quad \text{ή} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.22)$$

Από τη σχέση (2.22) προκύπτει ότι, αν οι δύο αντιστάτες είναι ίδιοι, τότε η ισοδύναμη αντίσταση ισούται με το μισό της καθεμιάς. Συνεπώς όσο ο αριθμός των αντιστατών αυξάνεται η ισοδύναμη αντίσταση ελαττώνεται και είναι μικρότερη από καθεμιά από τις αντιστάσεις των αντιστατών που συνδέονται παράλληλα.

Παράδειγμα 2.1

Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνδέεις δύο λαμπτήρες Λ_1 και Λ_2 σε σειρά. Κλείνεις το διακόπτη δ , οπότε παρατηρείς ότι η ένδειξη του αμπερόμετρου γίνεται 0,2 A. Αν γνωρίζεις ότι οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι 20 Ω και 40 Ω αντίστοιχα, μπορείς:

- α) να προβλέψεις τις ενδείξεις V_1 και V_2 και V των βολτόμετρων;
- β) να υπολογίσεις την ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο λαμπτήρων;



Δεδομένα	Ζητούμενα	Βασική εξίσωση
Αντίσταση του Λ_1 : $R_1=20 \Omega$ Αντίσταση του Λ_2 : $R_2=40 \Omega$ Ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα: $I=0,2 \text{ A}$	Τάση Λ_1 : V_1 Τάση Λ_2 : V_2 Τάση στα άκρα του κυκλώματος: V Ισοδύναμη αντίσταση: R	Νόμος του Ωμ $V = I \cdot R$ $V = V_1 + V_2$

Λύση

Βήμα 1: Κατασκευάζουμε τη συμβολική αναπαράσταση του κυκλώματος (εικόνα α).

Βήμα 2: Σημειώνουμε τα άκρα-ακροδέκτες των αντιστατών (ΑΓ, ΓΒ και ΑΒ αντίστοιχα) και των πηγών (εικόνα α).

Βήμα 3: Διαπιστώνουμε τους τρόπους σύνδεσης των αντιστατών. Οι R_1 και R_2 συνδέονται σε σειρά.

Από τους δύο αντιστάτες διέρχεται το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I=0,2 \text{ A}$. Εφαρμόζουμε για κάθε καταναλωτή τη βασική εξίσωση:

Λαμπτήρας 1

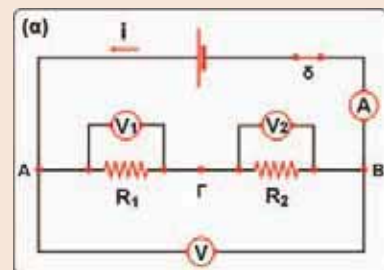
$$V_1 = I \cdot R_1, \quad V_1 = (0,2 \text{ A}) \cdot (20 \Omega) = 4 \text{ V},$$

Ωστε: $V_1 = 4 \text{ V}$

Λαμπτήρας 2

$$V_2 = I \cdot R_2, \quad V_2 = (0,2 \text{ A}) \cdot (40 \Omega) = 8 \text{ V},$$

Ωστε: $V_2 = 8 \text{ V}$



Εικόνα α

Βήμα 4: Κατασκευάζουμε τη συμβολική αναπαράσταση του ισοδύναμου κυκλώματος (εικόνα β). Οι αντιστάτες R_1 και R_2 είναι συνδεδεμένοι σε σειρά. Επομένως η ισοδύναμη αντίστασή τους δίνεται από τη σχέση:

$$R_{\text{ισοδ}} = R_1 + R_2 \quad \text{ή} \quad R_{\text{ισοδ}} = (20 \, \Omega) + (40 \, \Omega) = 60 \, \Omega \quad \text{Ώστε: } R_{\text{ισοδ}} = 60 \, \Omega.$$

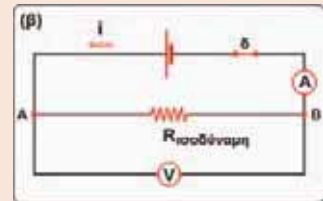
Σημείωση: Μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της πηγής (V) με δύο διαφορετικούς τρόπους:

1. Από το αρχικό κύκλωμα: Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων A και B (V_{AB}) ισούται με το άθροισμα των διαφορών δυναμικού V_{AG} και V_{GB} :

$$V_{AB} = V_{AG} + V_{GB} \quad \text{ή} \quad V_{AB} = (4 \, \text{V}) + (8 \, \text{V}) \quad \text{ή} \quad V_{AB} = 12 \, \text{V}.$$

2. Από το ισοδύναμο κύκλωμα: Εφαρμόζουμε το νόμο του Ωμ για την ισοδύναμη αντίσταση:

$$V_{AB} = I \cdot R_{\text{ισοδ}} \quad \text{ή} \quad V_{AB} = (0,2 \, \text{A}) \cdot (60 \, \Omega) \quad \text{ή} \quad V_{AB} = 12 \, \text{V}.$$

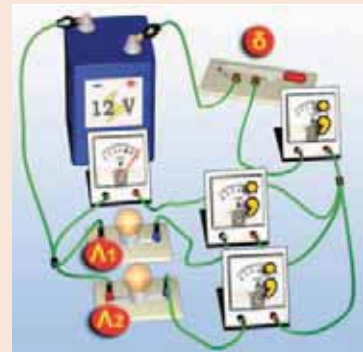


Εικόνα (β)

Παράδειγμα 2.2

Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνδέουμε δύο λαμπτήρες Λ_1 και Λ_2 σε παράλληλη σύνδεση. Κλείνουμε το διακόπτη δ , οπότε παρατηρούμε ότι η ένδειξη V του βολτόμετρου γίνεται 12 V. Αν γνωρίζεις ότι οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι 20 Ω και 40 Ω αντίστοιχα, μπορείς:

- α) να προβλέψεις τις ενδείξεις I_1 , I_2 και I των αμπερόμετρων;
- β) να υπολογίσεις την ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο λαμπτήρων;



Δεδομένα	Ζητούμενα	Βασική εξίσωση
Αντίσταση του Λ_1 : $R_1 = 20 \, \Omega$	Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον Λ_1 : I_1	Νόμος του Ωμ
Αντίσταση του Λ_2 : $R_2 = 40 \, \Omega$	Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον Λ_2 : I_2	$I = \frac{V}{R}$
Τάση στα άκρα AB του κυκλώματος: $V = 12 \, \text{V}$	Ένταση του ρεύματος που διαρρέει την ισοδύναμη αντίσταση: R	$I = I_1 + I_2$

Λύση

Βήμα 1: Κατασκευάζουμε τη συμβολική αναπαράσταση του κυκλώματος (εικόνα α).

Βήμα 2: Σημειώνουμε τα άκρα-ακροδέκτες των αντιστατών και των πηγών AG, GB και AB αντίστοιχα (εικόνα α).

Βήμα 3: Διαπιστώνουμε τους τρόπους σύνδεσης των αντιστατών. Οι R_1 και R_2 συνδέονται παράλληλα.

Στα άκρα τους A, B υπάρχει κοινή τάση που είναι ίση με την τάση των πόλων της πηγής (V).

Εφαρμόζουμε για κάθε αντιστάτη τη βασική εξίσωση:

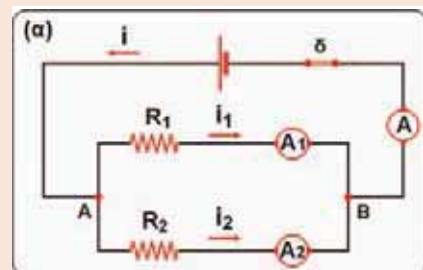
Λαμπτήρας 1
 $I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_1 = \frac{12 \, \text{V}}{20 \, \Omega}$

Λαμπτήρας 2
 $I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_2 = \frac{12 \, \text{V}}{60 \, \Omega}$

Ώστε: $I_1 = 0,6 \, \text{A}$

Ώστε: $I_2 = 0,2 \, \text{A}$

Από τη βασική σχέση $I = I_1 + I_2$ υπολογίζουμε την ένταση $I = 0,6 \, \text{A} + 0,2 \, \text{A}$. Ώστε $I = 0,8 \, \text{A}$



Εικόνα (α)

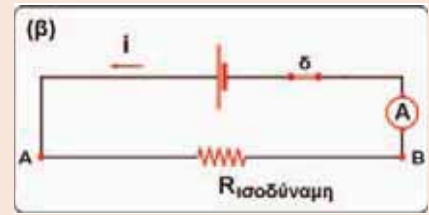
Βήμα 4: Κατασκευάζουμε τη συμβολική αναπαράσταση του ισοδύναμου κυκλώματος (εικόνα β).

Οι αντιστάτες R_1 και R_2 είναι συνδεδεμένοι παράλληλα. Επομένως η ισοδύναμη αντίστασή τους δίνεται από τη σχέση:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{R} = \frac{1}{20\Omega} + \frac{1}{60\Omega} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{R} = \frac{60\Omega + 20\Omega}{(20\Omega) \cdot (60\Omega)} \quad \text{ή} \quad R = 15\Omega.$$

Σημείωση: Μπορούμε να υπολογίσουμε την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος από τον ορισμό της.

$$R = \frac{V_{AB}}{I} \quad \text{ή} \quad R = \frac{12V}{0,8} \quad \text{Ωστε } R = 15\Omega.$$



Εικόνα (β)

Ερωτήσεις

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

► **Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:**

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

1. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Την κίνηση των ή γενικότερα των σωματιδίων την ονομάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα.

β. Ορίζουμε την (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ως το πηλίκο του (q) που διέρχεται από μια του αγωγού σε (t) προς το

Στη γλώσσα των μαθηματικών $I = \frac{q}{t}$. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι μέγεθος και μονάδα μέτρησής της στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για να μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζονται

γ. Κάθε διάταξη που αποτελείται από αγωγίσιμους «δρόμους», μέσω των οποίων μπορεί να διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται

δ. Κάθε συσκευή στην οποία μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ονομάζεται ενέργειας. Το ηλεκτρικό στοιχείο (μπαταρία) ή ο συσσωρευτής (μπαταρία αυτοκινήτου) μετατρέπει την ενέργεια σε ηλεκτρική. Η γεννήτρια μετατρέπει τη ενέργεια σε ηλεκτρική. Το φωτοστοιχείο μετατρέπει την ενέργεια της σε ηλεκτρική, ενώ το θερμοστοιχείο τη ενέργεια σε ηλεκτρική.

ε. Ονομάζουμε ηλεκτρική ή διαφορά ($V_{πηγής}$) μεταξύ των δύο πόλων μιας ηλεκτρικής πηγής το πηλίκο της ($E_{ηλεκτρική}$) που προσφέρεται από την πηγή σε ηλεκτρόνια συνολικού (q) όταν διέρχονται από αυτήν προς το Ονομάζουμε τάση ή διαφορά μεταξύ των δύο άκρων του καταναλωτή, το πηλίκο της που μεταφέρουν στον καταναλωτή ηλεκτρόνια συνολικού όταν διέρχονται από αυτόν προς το

Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

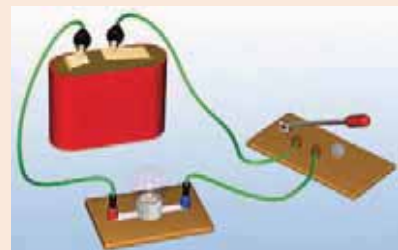
2. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
- Ηλεκτρική (R) ενός ηλεκτρικού διπόλου ονομάζεται το πηλίκο της (V) που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου προς την (I) του που το διαρρέει: $R = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots\dots}$. Η μονάδα αντίστασης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι το (1).
 - Η αντίσταση του μεταλλικού αγωγού προέρχεται από τις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα του μετάλλου.
 - Η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα μεταλλικό αγωγό είναι της διαφοράς δυναμικού (V) που εφαρμόζεται στα άκρα του με σταθερά αναλογίας το
 - Κάθε δίπολο που ικανοποιεί το νόμο του Ωμ ονομάζεται και έχει την ιδιότητα να μετατρέπει εξ ολοκλήρου την ενέργεια σε
 - Η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος σταθερής διατομής σε όλο το μήκος του: i) είναι του του (ℓ), του εμβαδού (A) της διατομής του, ii) εξαρτάται από το του από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σύρμα και από τη του αγωγού.
- στ. Όταν ο μεταβλητός αντιστάτης χρησιμοποιείται για να ρυθμίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει μια συσκευή ονομάζεται, ενώ για να ρυθμίζουμε την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στους πόλους της ονομάζεται

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

3. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
- Η τάση V_{AF} στα άκρα του κυκλώματος δύο λαμπτήρων συνδεδεμένων σε σειρά ισούται με το των τάσεων V_{AB} και V_{BF} στα άκρα κάθε λαμπτήρα. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αρχής της
 - Η ένταση (I) του ολικού ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα δύο λαμπτήρων συνδεδεμένων παράλληλα είναι ίση με το των (I_1 και I_2) των που διαρρέουν τους δύο λαμπτήρες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αρχής του

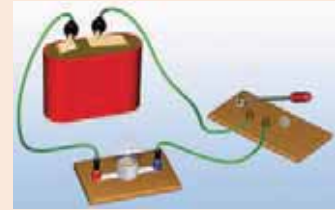
► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:**
Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

4. Να πραγματοποιήσεις το κύκλωμα που παριστάνεται στη διπλανή εικόνα. Ζωγράφισε στο τετράδιό σου τη σχηματική του αναπαράσταση. Να περιγράψεις τι θα συμβεί μετά το κλείσιμο του διακόπτη χρησιμοποιώντας τις έννοιες «ηλεκτρική τάση», «ηλεκτρικό ρεύμα», «ηλεκτρικό κύκλωμα», «ηλεκτρικό πεδίο», «ελεύθερα ηλεκτρόνια».
5. Διαθέτεις μια μπαταρία, ένα λαμπτήρα, ένα αμπερόμετρο, ένα βολτόμετρο, ένα διακόπτη και καλώδια. Πραγματοποίησε ένα κύκλωμα τέτοιο ώστε όταν κλείνεις το διακόπτη, ο λαμπτήρας να φωτοβολεί, ενώ το αμπερόμετρο να δείχνει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το λαμπτήρα και το βολτόμετρο την ηλεκτρική τάση στα άκρα του. Να σχεδιάσεις τη σχηματική αναπαράσταση του παραπάνω κυκλώματος καθώς και τη συμβατική φορά του ρεύματος.



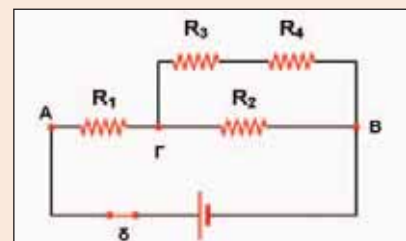
Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

6. Να κατασκευάσεις το κύκλωμα που παριστάνεται στη διπλανή εικόνα. Αν κλείσεις το διακόπτη, τι περιμένεις να συμβεί; Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.
- Στο εσωτερικό του μεταλλικού σύρματος του λαμπτήρα έχει δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο.
 - Κατά μήκος του σύρματος κινούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια που παράγονται από την μπαταρία.
 - Κατά μήκος του σύρματος κινούνται τα θετικά ιόντα του μετάλλου από το οποίο έχει κατασκευαστεί το σύρμα του λαμπτήρα.
 - Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μεταλλικού σύρματος αλληλεπιδρούν με τα ιόντα του μετάλλου και μεταφέρουν σ' αυτά ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας.
 - Η ενέργεια που μεταφέρεται συνολικά στα ιόντα του σύρματος από κάθε ηλεκτρόνιο που κινείται από το ένα άκρο του λαμπτήρα στο άλλο είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του.
7. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.
 Η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού:
- Μεγαλώνει όταν αυξάνουμε την τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του, ενώ η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή.
 - Μεγαλώνει όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία του, ενώ η ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του παραμένει σταθερή.
 - Μεγαλώνει όταν αυξάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει, ενώ η θερμοκρασία του διατηρείται σταθερή.
 - Είναι ίση με το πηλίκο της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό προς την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του.
 - Εξαρτάται από το υλικό του αγωγού.
- στ. Δεν μεταβάλλεται αν διπλασιάσουμε συγχρόνως το μήκος του αγωγού και το εμβαδόν της διατομής του. Να αιτιολογήσεις περιληπτικά τις απαντήσεις σου.
8. Η αντίσταση ενός αγωγού διπλασιάζεται όταν διπλασιάζουμε την ηλεκτρική τάση στα άκρα του. Υπακούει ο αγωγός αυτός στο νόμο του Ωμ; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.
9. Δύο αντιστάτες έχουν ίδιο μήκος και εμβαδόν διατομής και βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Ωστόσο παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση. Πώς εξηγείς το φαινόμενο αυτό;



Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

10. Στη διπλανή εικόνα βλέπεις τη σχηματική αναπαράσταση ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Να σχεδιάσεις τη φορά του ρεύματος που διέρχεται από κάθε αντιστάτη. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.
- Οι αντιστάτες R_1 και R_2 συνδέονται σε σειρά.
 - Οι αντιστάτες R_2 και R_3 συνδέονται παράλληλα.
 - Οι αντιστάτες R_3 και R_4 συνδέονται σε σειρά.
 - Ο αντιστάτης R_2 συνδέεται παράλληλα με τον ισοδύναμο αντιστάτη των R_3 και R_4 .
 - Ο αντιστάτης R_1 συνδέεται σε σειρά με τον ισοδύναμο αντιστάτη των R_2 , R_3 και R_4 .



- στ. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 είναι ίση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον R_2 .
- ζ. Η τάση στα άκρα του R_2 είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών R_3 και R_4 .
- η. Τα ηλεκτρικά ρεύματα που διαρρέουν τις R_3 και R_4 έχουν ίσες εντάσεις.
- θ. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον R_1 είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες R_2 και R_3 .
- ι. Η τάση στους πόλους της πηγής (Α, Β) είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών R_1 και R_2 .

Να αιτιολογήσεις περιληπτικά τις επιλογές σου.

11. Διαθέτεις δύο λαμπτήρες διαφορετικών αντιστάσεων, R_1 και R_2 , μια μπαταρία και καλώδια. Να πραγματοποιήσεις ένα κύκλωμα έτσι ώστε να διαρρέει τους λαμπτήρες το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα. Πώς θα μεταβληθεί η φωτοβολία κάθε λαμπτήρα αν συνδέσουμε (βραχυκυκλώσουμε) τα άκρα ενός εξ αυτών με ένα χοντρό καλώδιο αμελητέας αντίστασης; Πώς μπορείς να εξηγήσεις το φαινόμενο αυτό; Σε κάθε περίπτωση να σχεδιάσεις τη σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος.
12. Διαθέτεις δύο λαμπτήρες διαφορετικών αντιστάσεων R_1 και R_2 , μια μπαταρία και καλώδια. Να πραγματοποιήσεις ένα κύκλωμα έτσι ώστε στους δύο λαμπτήρες να εφαρμόζεται η ίδια διαφορά δυναμικού. Πώς θα μεταβληθεί η φωτοβολία κάθε λαμπτήρα αν συνδέσουμε (βραχυκυκλώσουμε) τα άκρα ενός εξ αυτών με ένα χοντρό καλώδιο αμελητέας αντίστασης; Πώς θα μεταβληθεί στην περίπτωση αυτή το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει την πηγή; Πώς μπορείς να εξηγήσεις το φαινόμενο αυτό; Σε κάθε περίπτωση σχεδίασε τη σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος.

Ασκήσεις

ασκήσεις

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

- Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος στην οθόνη ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή είναι 320 μA . Πόσα ηλεκτρόνια «χτυπούν» την επιφάνεια της οθόνης του υπολογιστή κάθε δευτερόλεπτο; Το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο είναι $e=1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$.
- Ένας λαμπτήρας συνδέεται, με τη βοήθεια καλωδίων, σε σειρά με ένα αμπερόμετρο και μια μπαταρία και φωτοβολεί. Η ηλεκτρική τάση στους πόλους της μπαταρίας είναι 9 V. Η ένδειξη του αμπερόμετρου είναι $I=1,5 \text{ A}$.
 - Πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από μια διατομή του σύρματος του λαμπτήρα ανά δευτερόλεπτο;
 - Πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από την μπαταρία ανά δευτερόλεπτο;
 - Πόση είναι η χημική ενέργεια της μπαταρίας που μετατρέπεται σε ισοδύναμη ηλεκτρική ανά δευτερόλεπτο;
- Ένα μοτοποδήλατο και ένα Ι.Χ. αυτοκίνητο χρησιμοποιούν και τα δυο μπαταρίες ίδιας τάσης 12 V, οι οποίες μπορούν να διακινήσουν διαφορετική ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Αν υποθέσουμε ότι η μπαταρία του μοτοποδηλάτου μπορεί να διακινήσει φορτίο 4 kC και του αυτοκινήτου 30 kC, να υπολογίσεις το μέγιστο ποσό ενέργειας που μπορεί κάθε μπαταρία να προσφέρει.

Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

- Ένας αντιστάτης έχει αντίσταση 50 Ω . Συνδέουμε τα άκρα του αντιστάτη με τους πόλους μιας μπαταρίας. Στους πόλους της μπαταρίας συνδέουμε και ένα βολτόμετρο. Η ένδειξη του βολτόμετρου είναι 5 V.
 - Να αναπαραστήσεις στο τετράδιό σου τη σχηματική αναπαράσταση του αντίστοιχου κυκλώματος.
 - Να σχεδιάσεις την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει την πηγή.

5. Ένας μαθητής ενδιαφέρεται να διαπιστώσει αν ο ηλεκτρικός κινητήρας ενός αυτοκινήτου-παιχνιδιού υπακούει στο νόμο του Ωμ. Πραγματοποιεί το κύκλωμα της διπλανής εικόνας. Μεταβάλλει την τάση που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου (κινητήρα) και με ένα αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει. Καταγράφει τα αποτελέσματα των μετρήσεών του στον πίνακα Α1. Ποιο τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων του πίνακα θα προτείνεις στο μαθητή προκειμένου να απαντήσει στο ερώτημά του; Αιτιολόγησε την πρότασή σου.
6. Ένα σύρμα από χρωμονικελίνη έχει μήκος 47,1 m και διάμετρο 2 mm. Να υπολογίσεις την αντίσταση του σύρματος της χρωμονικελίνης λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του πίνακα 2.2 της σελίδας 50.
7. Πρόκειται να συνδέσεις ένα μικρόφωνο το οποίο έχει αντίσταση 4 Ω με το στερεοφωνικό σου συγκρότημα που βρίσκεται σε απόσταση 15 m από αυτό. Η αντίσταση των καλωδίων που θα χρησιμοποιήσεις για τη σύνδεση δεν θέλεις να ξεπερνά τα 0,25 Ω. Υπολόγισε τη διάμετρο του χάλκινου σύρματος που θα χρησιμοποιήσεις για τη σύνδεση, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για την ειδική αντίσταση του χαλκού από τον πίνακα 2.2 της σελίδας 50.

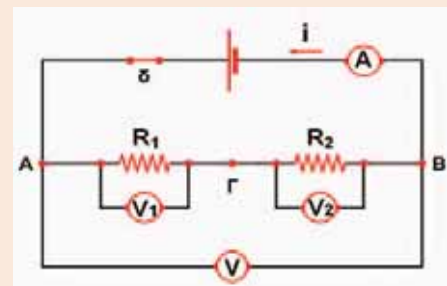


ΠΙΝΑΚΑΣ Α1

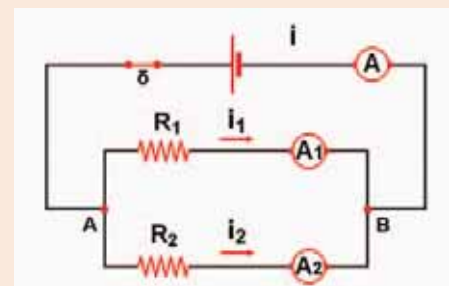
Τάση (Volt)	Ένταση (mA)
2	30
4	40
6	35
8	47
10	61

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

8. Στα άκρα ενός καλωδίου με σύρμα από χρωμονικελίνη συνδέουμε τους πόλους μιας μπαταρίας. Ρεύμα έντασης 1 mA διαρρέει το καλώδιο. Κόβουμε το καλώδιο στη μέση, συγκολλούμε τα άκρα των κομματιών και στα άκρα της συστοιχίας συνδέουμε τους πόλους της ίδιας της μπαταρίας. Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη μπαταρία σ' αυτή τη περίπτωση;
9. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα αμπερόμετρο, τρία βολτόμετρα, δύο αντιστάτες αντιστάσεων $R_1=40\ \Omega$ και $R_2=60\ \Omega$, καθώς και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα η σχηματική αναπαράσταση του οποίου παρουσιάζεται στη διπλανή εικόνα. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη δ η ένδειξη του βολτόμετρου είναι $V=6\ V$. Να υπολογίσεις:
 - α. την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος καθώς και την ένδειξη του αμπερομέτρου
 - β. την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1
 - γ. την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_2
 - δ. τις ένδειξεις των βολτομέτρων V_1 και V_2 .



10. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα αμπερόμετρο, δύο αντιστάτες αντιστάσεων $R_1=60\ \Omega$ και $R_2=30\ \Omega$ και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα της διπλανής εικόνας. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι $I=0,3\ A$.
 - α. Πόση είναι η ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών;
 - β. Υπολόγισε την τάση στα άκρα του συστήματος των δύο αντιστατών και στους πόλους της πηγής.
 - γ. Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει κάθε αντιστάτη;



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- ❑ Η προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά μήκος ενός μεταλλικού σύρματος ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα. Για να προκαλέσουμε ηλεκτρικό ρεύμα, πρέπει στα άκρα του σύρματος να συνδέσουμε τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής οπότε στο εσωτερικό του δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο.
- ❑ Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια άλλων μορφών, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τους ηλεκτρικούς καταναλωτές (λαμπτήρες, κινητήρες, κ.λπ.).
- ❑ Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου που μεταφέρουν τα φορτισμένα σωματίδια κατά τη διέλευσή τους από μια διατομή του αγωγού προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (π.χ. σε ένα δευτερόλεπτο).
- ❑ Διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση ονομάζεται το πηλίκο που έχει ως αριθμητή την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται προς (ή από) ηλεκτρόνια και παρανομαστή το συνολικό φορτίο (q) των ηλεκτρονίων.
- ❑ Το πηλίκο της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα ενός αγωγού προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν ονομάζεται αντίσταση του αγωγού.
- ❑ Η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών, εφόσον η θερμοκρασία τους διατηρείται σταθερή, δεν εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα τους και από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από τους αγωγούς. Οι αγωγοί αυτοί ονομάζονται αντιστάτες.
- ❑ Για τους αντιστάτες ισχύει ο νόμος του Ωμ: η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογη με την τάση που την προκαλεί.
- ❑ Η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού εξαρτάται από το μήκος, το εμβαδόν διατομής, το υλικό και τη θερμοκρασία του.
- ❑ Με μια μεταβλητή αντίσταση μπορούμε να μεταβάλλουμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει μια συσκευή οπότε ονομάζεται ροοστάτης ή την ηλεκτρική τάση στα άκρα της συσκευής οπότε ονομάζεται ποντενσιόμετρο.
- ❑ Σε ένα κύκλωμα σε σύνδεση σειράς από όλα τα στοιχεία του διέρχεται το ίδιο ρεύμα ως αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης του φορτίου. Η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων που εφαρμόζεται σε κάθε στοιχείο του ως αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης της ενέργειας.
- ❑ Σε ένα κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση σε όλα τα στοιχεία του εφαρμόζεται η ίδια τάση. Το ολικό ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το κύκλωμα είναι ίσο με το άθροισμα των εντάσεων που διέρχεται από κάθε στοιχείο του ως αποτέλεσμα της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ηλεκτρικό ρεύμα	Ηλεκτρικό δίπολο	Ηλεκτρικό κύκλωμα σύνδεσης σε σειρά
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος	Αντίσταση αγωγού	Ηλεκτρικό κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση
Φορά ηλεκτρικού ρεύματος	Ροοστάτης	Αντιστάτης
Ηλεκτρικό κύκλωμα	Ποτενσιόμετρο	Σύνδεση αντιστατών
Διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση		