

## ΕΝΟΤΗΤΑ 3

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7** Το πλεκτρικό ρεύμα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8** Το πλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9** Ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 10** Το φαινόμενο της επαγωγής και το εναλλασσόμενο ρεύμα

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 11** Γεννήτριες και κινητήρες

**ΚΕΦΑΛΑΙΟ 12** Παραγωγή και μεταφορά της πλεκτρικής ενέργειας

## Ηλεκτρομαγνητισμός



Οι ηλεκτρικές συσκευές, οι συσκευές που λειτουργούν με ηλεκτρικό ρεύμα, κυριαρχούν στη ζωή μας. Σ' αυτή την ενότητα μελετάμε το ηλεκτρικό ρεύμα, τα θερμικά και μαγνητικά του αποτελέσματα καθώς και τον τρόπο «παραγωγής» και μεταφοράς της ηλεκτρικής ενέργειας.

Αρχικά ορίζουμε το ηλεκτρικό ρεύμα και το συνδέουμε με την ηλεκτρική ενέργεια.

Η εισαγωγή των εννοιών της ηλεκτρικής τάσης, της έντασης ηλεκτρικού ρεύματος, της αντίστασης αγωγών και η διατύπωση της μεταξύ τους σχέσης μας δίδει τη δυνατότητα της μελέτης απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων.

Στη συνέχεια μελετούμε τα θερμικά φαινόμενα που προκαλούνται κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από μεταλλικό αγωγό.

Ακολουθεί η σύνδεση του ηλεκτρισμού με τον μαγνητισμό με αναφορά στις ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις και στη δημιουργία ηλεκτρικής τάσης και ρεύματος από μαγνητικό πεδίο. Τέλος περιγράφονται δυο βασικές εφαρμογές: οι ηλεκτροκινητήρες και οι γεννήτριες.

## Εισαγωγή



Εικόνα 7α

Γυρίζοντας το κλειδί κλείνουμε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα. Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί την περιστροφή ενός ηλεκτρικού κινητήρα (μίζα), που ξεκινά τη λειτουργία της μηχανής του αυτοκινήτου.



Εικόνα 7β

Το φράγμα του Λάδωνα στην Πελοπόννησο.

Έχεις εμπειρία από ηλεκτρικά κυκλώματα;

Κάθε μέρα ανάβεις κάποιο φως, «ανοίγεις» το ραδιόφωνο ή την τηλεόραση, χειρίζεσαι έναν ανελκυστήρα ή βλέπεις να γυρίζει κάποιος το κλειδί για να αρχίσει να λειτουργεί η μηχανή του αυτοκινήτου. Σε κάθε μια από τις παραπάνω περιπτώσεις «κλείνεται» ένα ηλεκτρικό κύκλωμα, οπότε δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα που μεταφέρει ενέργεια.

Από όλες τις μορφές ενέργειας η ηλεκτρική ενέργεια επηρέασε περισσότερο τον σύγχρονο πολιτισμό. Τα σπουδαιότερα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η δυνατότητα της εύκολης μεταφοράς της σε μεγάλες αποστάσεις και η δυνατότητα μετατροπής της σε άλλες μορφές ενέργειας. Τα μεγάλα αποθέματα της ενέργειας που υπάρχουν στη φύση, όπως στους ποταμούς, ή στα κοιτάσματα λιγνίτη, βρίσκονται εκατοντάδες χιλιόμετρα μακριά από τις πόλεις. Η χρησιμότητά τους για τα αστικά κέντρα και τα εργοστάσια θα ήταν αμελητέα αν δεν ήταν δυνατή η εύκολη μεταφορά αυτής της ενέργειας. Η μεταφορά **της ηλεκτρικής ενέργειας** επιτυγχάνεται με **το ηλεκτρικό ρεύμα** που διαρρέει ένα κλειστό **ηλεκτρικό κύκλωμα**.

Την έννοια του ηλεκτρικού ρεύματος καθώς και τις έννοιες που συνδέονται με αυτό, όπως του **ηλεκτρικού φορτίου** και του **ηλεκτρικού πεδίου**, τις γνωρίσαμε ήδη στην προηγούμενη τάξη. Στις ενότητες που ακολουθούν θα περιγράψουμε και θα αναλύσουμε φαινόμενα που προκαλούνται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Στις απειράθμες, όσο και εκπληκτικές εφαρμογές τους στην καθημερινή ζωή, οφείλεται σε μεγάλο βαθμό η βελτίωση του βιοτικού επιπέδου του σύγχρονου ανθρώπου. Γεννήτριες, κινητήρες, επικοινωνίες, κλιματισμός, υπολογιστές, ρομπότ, μικροχειρουργική και γενικά, ολόκληρη η σύγχρονη τεχνολογία αναδύθηκαν από τους νόμους της Φυσικής και τις διατάξεις, στις οποίες θα επικεντρώσουμε τη μελέτη μας.

# Το ηλεκτρικό ρεύμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7



## Ηλεκτρικό φορτίο και πλεκτρικό πεδίο

Το **φορτίο** είναι ένα μονόμετρο φυσικό μέγεθος που χαρακτηρίζει τα φορτισμένα σωματίδια της ύλης, όπως για παράδειγμα τα ηλεκτρόνια και τα πρωτόνια. Το φορτίο ενός σώματος μπορεί να είναι θετικό (όπως του πρωτονίου), αρνητικό (όπως του ηλεκτρρονίου), ή μηδέν όπως ενός ουδέτερου ατόμου. Το συνολικό φορτίο ενός σώματος είναι ίσο με το (αλγεβρικό) άθροισμα των φορτίων των σωματιδίων που περιέχει.

Οι ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις, δηλαδή οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των φορτισμένων σωματιδίων, περιγράφονται με τη βοήθεια της έννοιας του **ηλεκτρικού πεδίου**.

Όταν ένα φορτισμένο σωματίδιο βρεθεί σε μια περιοχή του χώρου, στην οποία υπάρχει ένα ηλεκτρικό πεδίο, τότε ασκείται από το πεδίο στο σωματίδιο μια ηλεκτρική δύναμη. Η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται από το πεδίο στο σωματίδιο είναι ανάλογη του φορτίου του σωματιδίου.

## Αγωγοί – Μονωτές – Ήμιαγωγοί

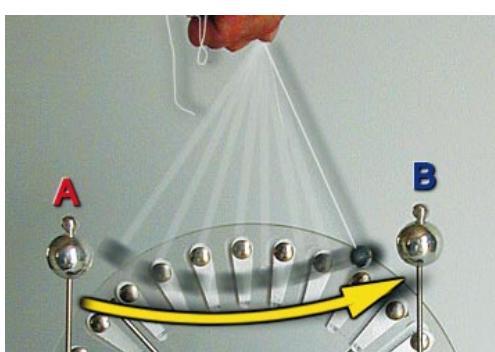
Πολλά από τα σώματα που παρατηρούμε στο καθημερινό μας περιβάλλον, επιτρέπουν την κίνηση φορτισμένων σωματιδίων διαμέσου του υλικού τους και ονομάζονται **αγωγοί**. Στους **μεταλλικούς αγωγούς** (χαλκό, αλουμίνιο, άργυρο κ.λ.π.), τα φορτισμένα σωματίδια που κινούνται είναι τα **ελεύθερα ηλεκτρόνια** που περιέχουν. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια μπορούν να κινούνται προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, μέσα στο μεταλλικό αγωγό. Αντίθετα, στους **μονωτές** μια τέτοια κίνηση δεν είναι δυνατή. Τέλος, σε μια τρίτη κατηγορία σωμάτων, στους **ήμιαγωγούς**, θα μάθουμε ότι η διέλευση φορτισμένων σωματιδίων εξαρτάται σημαντικά από εξωγενείς παράγοντες: τη θερμοκρασία, την ακτινοβολία ή ακόμα και από τον τρόπο κατασκευής των συγκεκριμένων σωμάτων.

## 7.1 Κίνηση φορτισμένου σωματιδίου μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο – Η έννοια της διαφοράς δυναμικού.



Εικόνα 7.1

Το φορτισμένο σωματίδιο βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, που δημιουργείται μεταξύ των πόλων της μηχανής Wimshurst. Το σωματίδιο κινείται κάτω από τη δράση της ηλεκτρικής δύναμης.



Εικόνα 7.2

Η ηλεκτρική δύναμική ενέργεια του σφαιριδίου μετατρέπεται σε κινητική. Μεταξύ των πόλων της μηχανής υπάρχει διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση).

Φέρνουμε σε επαφή τον ένα πόλο της μηχανής Wimshurst με το σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εικρεμούς και στη συνέχεια θέτουμε σε λειτουργία τη μηχανή (εικόνα 7.1). Το σφαιρίδιο φορτίζεται. Τότε, παρατηρούμε ότι κινείται από τον ένα πόλο της μηχανής προς τον άλλο.

Πως θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε αυτό το φαινόμενο χρησιμοποιώντας τις έννοιες της ενέργειας και του ηλεκτρικού πεδίου;

Μεταξύ των δύο πόλων της μηχανής Wimshurst δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Το φορτισμένο σφαιρίδιο του εκκρεμούς βρίσκεται μέσα σ' αυτό. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη στο φορτισμένο σφαιρίδιο. Το φορτισμένο σφαιρίδιο κινείται. Επομένως, αποκτά κινητική ενέργεια.

Γνωρίζουμε όμως ότι η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν, αλλά μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη.

Από ποια μορφή ενέργειας προέκυψε, λοιπόν, η κινητική ενέργεια του σφαιριδίου;

Αφού το φορτισμένο σφαιρίδιο βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, ασκείται σ' αυτό ηλεκτρική δύναμη. Επομένως έχει δυναμική ενέργεια που την ονομάζουμε **ηλεκτρική ενέργεια**. Κατά τη μετακίνησή του σφαιριδίου από τον ένα πόλο της Wimshurst στον άλλο, η ηλεκτρική δύναμική ενέργεια μετατράπηκε σε κινητική.

Το πηλίκο της μεταβολής της ηλεκτρικής ενέργειας του φορτισμένου σφαιριδίου προς το συνολικό του φορτίο (δηλαδή η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου) ονομάζεται **διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση** μεταξύ των δύο πόλων της μηχανής.

Γενικά η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο σημείων A και B έχει σαν αποτέλεσμα την κίνηση του φορτισμένου σωματιδίου από το ένα σημείο, όπου το αφήνουμε, στο άλλο.

Στη γλώσσα των μαθηματικών συμβόλων, γράφουμε:

$$V_{AB} = \frac{\Delta E_{\text{ηλ}}}{q}$$

Όπου:

με  $V_{AB}$  συμβολίζουμε την ηλεκτρική τάση μεταξύ δύο σημείων του πεδίου, όπως οι δύο πόλοι A και B (εικόνα 7.2).

$\Delta E_{\text{ηλ}}$ , είναι η διαφορά της ηλεκτρικής ενέργειας που έχει το σωματίδιο όταν βρίσκεται στο σημείο A, μείον την ηλεκτρική

ενέργεια που έχει όταν φτάνει στο σημείο B, η οποία είναι το συνολικό φορτίο του σωματιδίου, που μετακινήθηκε.

Η μονάδα της ηλεκτρικής τάσης στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) είναι το 1 Volt (1V). Σύμφωνα με τον προηγούμενο ορισμό, ισχύει:

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

$$1J = (1V) \cdot (1C)$$

η τελευταία σχέση, εκφράζει ότι:

«Η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας φορτισμένων σωματιδίων που έχουν συνολικό φορτίο 1 C, κατά την κίνηση τους μεταξύ δύο σημείων με διαφορά δυναμικού 1 V, είναι ίση με 1 J.»

Με αντίστοιχο τρόπο, μπορούμε να περιγράψουμε την κίνηση οποιουδήποτε φορτισμένου σωματιδίου και να ορίσουμε την ηλεκτρική τάση, μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού πεδίου, που δημιουργείται από μια μπαταρία σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.

Για παράδειγμα συνδέουμε διαδοχικά ένα λαμπτάκι με τα άκρα μιας μπαταρίας 1.5 V και μιας 4.5 V. Παρατηρούμε ότι στη δεύτερη περίπτωση το λαμπτάκι φωτοβολεί πιο έντονα.

Πως θα μπορούσαμε να περιγράψουμε αυτό που συμβαίνει;

Μέσα στο σύρμα του λαμπτήρα δημιουργείται, από τη μπαταρία, ηλεκτρικό πεδίο. Στα ελεύθερα ηλεκτρόνια του σύρματος ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις. Επομένως τα ηλεκτρόνια έχουν ηλεκτρική (δυναμική) ενέργεια. Με την επίδραση των δυνάμεων τα ηλεκτρόνια κινούνται και αποκτούν κινητική ενέργεια, μέρος της οποίας μετατρέπεται σε φωτεινή.

Από πού όμως προέρχεται η ηλεκτρική ενέργεια των ελεύθερων ηλεκτρονίων;

Η ηλεκτρική ενέργεια των ηλεκτρονίων οφείλεται στις δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτά από το ηλεκτρικό πεδίο που παράγει η μπαταρία. Επομένως η ηλεκτρική ενέργεια προσφέρεται στα ηλεκτρόνια από την μπαταρία.

Πόση ενέργεια προσφέρεται σε κάθε ηλεκτρόνιο από τη μπαταρία;

Σύμφωνα με τον ορισμό της διαφοράς δυναμικού θα είναι:

$$E = (\Delta V_{\text{πόλους}}) \cdot (\text{Φορτίο του ηλεκτρονίου})$$

Έτσι, στο δεύτερο κύκλωμα, που παριστάνεται στην ει-



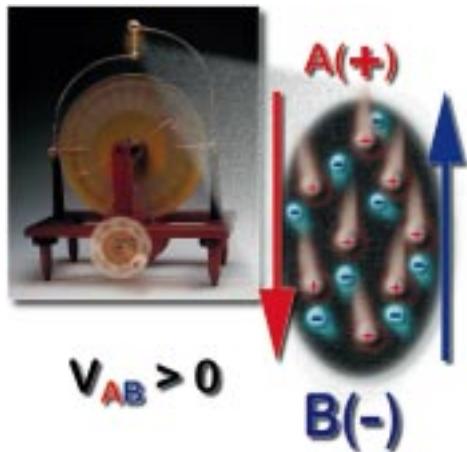
**Εικόνα 7.3**

Αλέξανδρος Βόλτα (1745 - 1827) Ιταλός φυσικός που εφεύρε την ηλεκτρική στήλη. Η ονομασία Volt στη μονάδα της διαφοράς δυναμικού δόθηκε προς τιμή του.



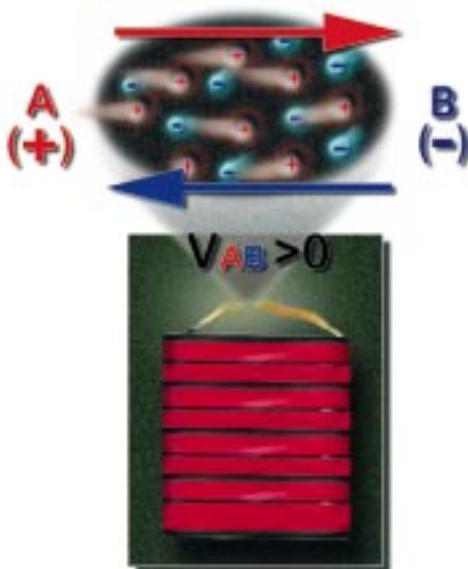
**Εικόνα 7.4**

Όταν ο λαμπτήρας συνδέεται με μπαταρία υψηλότερης τάσης φωτοβολεί εντονότερα.



**Εικόνα 7.5**

Μεταξύ των πόλων της μηχανής δημιουργείται σπινθήρας. Τα θετικά φορτισμένα σωματίδια κινούνται από τον θετικό προς τον αρνητικό πόλο. Τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια κινούνται αντίστροφα.



**Εικόνα 7.6**

Κίνηση φορτισμένων σωματιδίων μεταξύ δύο πόλων με διαφορά δυναμικού  $V_{AB} > 0$ .

κόνα 7.4, η τάση στα άκρα του λαμπτήρα είναι μεγαλύτερη και τα ηλεκτρόνια αποκτούν περισσότερη ενέργεια. Επομένως η φωτεινή ενέργεια είναι μεγαλύτερη και η φωτοβολία του λαμπτήρα εντονότερη.

Τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος, τη μετράμε με τη βοήθεια οργάνων, που ονομάζονται **βολτόμετρα**.

Ο πόλος Α της μηχανής Wimshurst, του πειράματος της εικόνας 7.2 είναι θετικά φορτισμένος, ενώ ο Β αρνητικά. Λέμε ότι η διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$ , είναι θετική, ενώ η  $V_{BA}$ , αρνητική:

$$V_{BA} = -V_{AB}$$

Γενικά, μια διαφορά δυναμικού μπορεί να είναι θετική, αρνητική ή μηδέν.

Το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο του εκκρεμούς (εικόνα 7.2) κινείται από τον θετικό πόλο Α, προς τον αρνητικό πόλο Β. Δηλαδή η διαφορά δυναμικού μεταξύ της αρχικής και της τελικής του θέσης είναι θετική. Το αντίστροφο θα συμβεί αν αφήσουμε ένα αρνητικά φορτισμένο σωματίδιο να κινηθεί από τον πόλο Β προς τον Α (εικόνα 7.5).

Παρόμοια σε ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα τα θετικά φορτισμένα σωματίδια κινούνται από το θετικό προς τον αρνητικό πόλο της μπαταρίας, ενώ τα αρνητικά από τον αρνητικό προς τον θετικό πόλο (εικόνα 7.6).

### ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ

Φορτισμένα σωματίδια κινούνται μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού κυκλώματος Α και Β. Μεταξύ των δύο σημείων επικρατεί διαφορά δυναμικού (τάση)  $V_{AB} = 4V$ .

**Α.** Αν το συνολικό φορτίο που μετακινήθηκε είναι  $Q = 5C$ , πόση είναι η συνολική μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας.

**Β.** Σε πόσο ύψος θα μπορούσαμε να ανυψώσουμε μια πέτρα μάζας  $2Kg$  αν μπορούσαμε να μετατρέψουμε ολόκληρο το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική;

<p><b>Δεδομένα</b></p> <p>Διαφορά δυναμικού (τάση): <math>V_{AB} = 4 \text{ V}</math></p> <p>Φορτίο: <math>Q = 5 \text{ C}</math></p> <p>Μάζα πέτρας: <math>m = 2 \text{ kg}</math></p> <p>Επιτάχυνση της βαρύτητας: <math>g = 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}</math></p>	<p><b>Ζητούμενα</b></p> <p>A. Μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας: <math>\Delta E_{\text{ηλεκτρ.}}</math></p> <p>B: Ύψος που ανυψώνεται η πέτρα: <math>h</math></p> <p><b>Βασικές σχέσεις</b></p> <p>A. <math>V_{AB} = \frac{\Delta E_{\eta\lambda}}{Q}</math></p> <p>B. <math>U_{\text{Δυναμική}} = m \cdot g \cdot h</math></p>	<p><b>Λύση</b></p> <p><b>A.</b></p> $V_{AB} = \frac{\Delta E_{\eta\lambda}}{Q} \quad \text{ή} \quad \Delta E_{\text{ηλεκτρική}} = V_{AB} \cdot Q \quad \text{ή}$ $\Delta E_{\text{ηλεκτρική}} = 4\text{V} \cdot 5\text{C} \quad \text{ή} \quad \Delta E_{\text{ηλεκτρική}} = 20\text{J}$ <p><b>B.</b></p> <p>Όλη η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται στην πέτρα και μετατρέπεται σε δυναμική της πέτρας.</p> $U_{\text{δυναμική}} = \Delta E_{\text{ηλεκτρική}}$ $m \cdot g \cdot h = \Delta E_{\text{ηλεκτρική}} \quad \text{ή} \quad h = \frac{\Delta E_{\text{ηλεκτρική}}}{m \cdot g} \quad \text{ή}$ $h = \frac{20\text{J}}{2\text{kg} \cdot 10 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}} \quad \text{ή} \quad h = 1\text{m}$
--	---	---

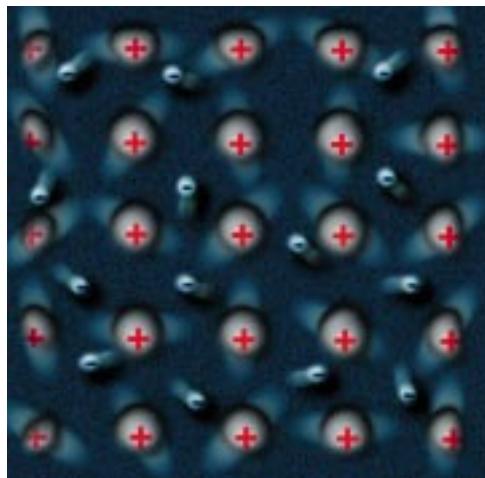
## 7.2 Το ηλεκτρικό ρεύμα

Συνδέουμε τα άκρα ενός λαμπτήρα με τους πόλους μιας μπαταρίας. Τότε δημιουργείται ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και το λαμπάκι φωτοβολεί.

Ας θυμηθούμε πως ερμηνεύουμε αυτό το φαινόμενο. Στο εσωτερικό ενός μετάλλου, όπως το σύρμα του λαμπτήρα και των καλωδίων σύνδεσης, υπάρχουν θετικά ιόντα και ελεύθερα ηλεκτρόνια. Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια κινούνται τυχαία προς κάθε κατεύθυνση ενώ τα θετικά ιόντα πάλλονται γύρω από κανονικά διατεταγμένες θέσεις (εικόνα 7.7).

Από την άλλη μεριά, οι πόλοι της πηγής είναι δυο αντίθετα φορτισμένες περιοχές. Όταν λοιπόν οι πόλοι συνδεθούν με το σύρμα των καλωδίων και του λαμπτήρα, δημιουργείται στο εσωτερικό του αγωγού ένα ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δύναμη στα ελεύθερα ηλεκτρόνια που τα αναγκάζει να κινηθούν κατά μήκος του σύρματος.

**Η προσανατολισμένη κίνηση των φορτισμένων σωμάτιδίων (στην περίπτωση μας των ηλεκτρονίων) λέγεται ηλεκτρικό ρεύμα.**



**Εικόνα 7.7**

Ο μικρόκοσμος ενός μεταλλικού αγωγού.

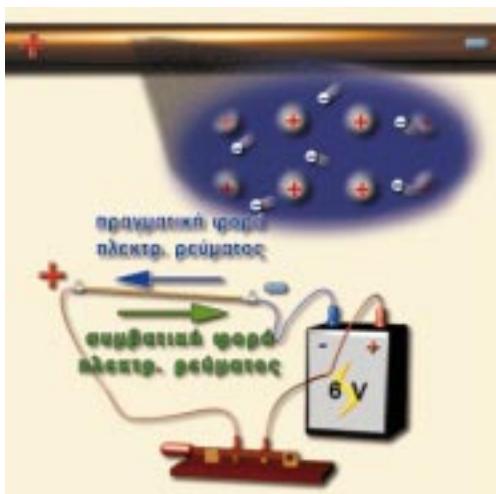
## Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

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 ηλεκτρικό κύκλωμα είναι η πραγματική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

Ωστόσο αν στο εσωτερικό των αγωγών κινούνταν θετικά φορτισμένα σωματίδια, η κίνηση τους θα ήταν από τον 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' ένα ηλεκτρικό κύκλωμα ονομάζεται συμβατική φορά του ηλεκτρικού ρεύματος.

Στο ηλεκτρικό ρεύμα οφείλεται μια πληθώρα φαινομένων και η λειτουργία δεκάδων συσκευών, που συναντάμε στην καθημερινή μας ζωή. Μπορούμε να κατατάξουμε τα φαινόμενα που προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα σε κατηγορίες:

- Θερμικά φαινόμενα: Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί θέρμανση των σωμάτων. Ο θερμοσίφωνας, η ηλεκτρική κουζίνα, οι θερμοσυσσωρευτές είναι παραδείγματα θερμικών συσκευών.
- Ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα: Οι μεταλλικοί αγωγοί που διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα παράγουν γύρω τους μαγνητικά πεδία. Έτσι, μπορούν και αλληλεπιδρούν με μαγνήτες ή και μεταξύ τους, αναπτύσσοντας μαγνητικές δυνάμεις. Στα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στηρίζεται η κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων, με τους οποίους κινούνται τα ηλεκτρικά τρένα και λεωφορεία, λειτουργούν τα ηλεκτρικά ψυγεία, η μίζα του αυτοκινήτου κλπ. Στα ίδια φαινόμενα στηρίζεται και η κίνηση των ηλεκτρομαγνητικών τρένων, η λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών γερανών, οι αυτόματοι διακόπτες, οι κεφαλές εγγραφής ήχου και εικόνας κλπ.
- Χημικά φαινόμενα: Η ηλεκτρόλυση π.χ. του καυστικού νατρίου, η λειτουργία των συσσωρευτών των αυτοκινήτων και των ηλεκτρικών μπαταριών (συστοιχίες), ανήκουν σ' αυτήν την κατηγορία φαινομένων. Το ηλεκτρικό ρεύμα, όταν διέρχεται μέσα από κάθε παρόμοια διάταξη, προκαλεί χημικές αντιδράσεις.



**Εικόνα 7.8**  
Πραγματική και συμβατική φορά ηλεκτρικού ρεύματος.



### Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

- Σύνδεση τους πόλους μικρού κινητήρα με τους πόλους μπαταρίας.
- Παρατήρηση τη φορά περιστροφής του κινητήρα (του ρότορα).
- Άλλαξη την πολικότητα της πηγής.
- Παρατήρηση πάλι τη φορά περιστροφής του κινητήρα (του ρότορα).
- Σχεδίαση στο χαρτί σου το κύκλωμα και σημείωση σε κάθε περίπτωση τη συμβατική φορά του ρεύματος.
- Που αποδίδεις τη διαφορά των παρατηρήσεων σου στην πρώτη και στη δεύτερη περίπτωση;

## Η διαφορά δυναμικού στο ηλεκτρικό κύκλωμα

Ας συναρμολογήσουμε πάλι το κύκλωμα με τη μπαταρία και το λαμπάκι. Κατά μήκος του σύρματος του λαμπτήρα, των καλωδίων καθώς και μέσα από τη μπαταρία συμβαίνει προσανατολισμένη κίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων. Δηλαδή το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα. Όπως είδαμε η ενέργεια αυτή προσφέρεται από την μπαταρία στα ηλεκτρόνια και είναι ανάλογη με τη διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ των πόλων της. Η τάση  $\Delta V$ , στους πόλους της πηγής είναι η αιτία δημιουργίας του ηλεκτρικού ρεύματος στο κύκλωμα.

Καθώς τα ηλεκτρόνια περνούν μέσα από το λαμπάκι, η ενέργεια τους μειώνεται, γιατί ένα μέρος της μετατρέπεται σε θερμική και φωτεινή ενέργεια. Η μείωσης της ενέργειας των ηλεκτρονίων είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού, (ηλεκτρικής τάσης  $\Delta V$ ), που εφαρμόζεται στα άκρα του λαμπτήρα. Το λαμπάκι, όπως και κάθε συσκευή που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, ονομάζεται καταναλωτής (ή μετατροπέας).

Ωστε η διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση  $\Delta V$ ), που εφαρμόζεται στα άκρα ενός καταναλωτή, προκαλεί το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει. Η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος, που μετατρέπεται από τον καταναλωτή σε ενέργεια άλλης μορφής είναι ανάλογη της τάσης  $\Delta V$ .

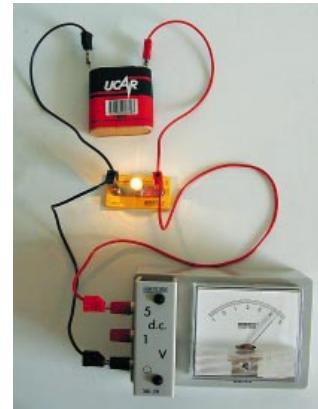
Τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των άκρων ενός στοιχείου, π.χ. μπαταρία, λαμπάκι, κινητήρα, κλπ. τη μετράμε με τη βοήθεια ενός βολτόμετρου, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.9.



### Σύνδεση ηλεκτρικών πηγών

Έχουμε δύο όμοιες μπαταρίες. Αν συνδέσουμε τον θετικό πόλο της μιας με τον αρνητικό πόλο της άλλης λέμε ότι οι μπαταρίες συνδέονται σε σειρά. Με ένα βολτόμετρο μετράμε την τάση στα άκρα της συνδεσμολογίας. Παρατηρούμε ότι είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων των δύο μπαταριών (εικόνα 7.10).

Αν οι δύο όμοιες μπαταρίες συνδεθούν παράλληλα, όπως φαίνεται στην εικόνα 7.11, τότε η τάση στα άκρα της συνδεσμολογίας, είναι ίση με την τάση κάθε μπαταρίας.



Εικόνα 7.9

Η ένδειξη του βολτόμετρου μετράει την τάση στα άκρα του λαμπτήρα.



### Σύνδεση μπαταριών και ενέργεια

Πάρε δύο μπαταρίες των 1,5 V

**A.** Σύνδεσε το θετικό πόλο της μιας με τον αρνητικό πόλο της άλλης.

Στη συνέχεια συνδέσετε τα άκρα των μπαταριών με ένα βολτόμετρο.

Κατάγραψε την ένδειξη του βολτόμετρου.

**B.** Συνέδεσε τους θετικούς πόλους των μπαταριών μαζί και τους αρνητικούς πόλους μαζί (παράλληλη σύνδεση). Με ένα βολτόμετρο μέτρησε την τάση στα άκρα της συνδεσμολογίας.

Κατάγραψε την ένδειξη του βολτόμετρου και σύγκρινε τη με την προηγούμενη.

**Γ.** Πάρε τρία όμοια λαμπάκια και σύνδεσε τα διαδοχικά με:

- Μια μπαταρία 1,5 V.
- Δύο μπαταρίες των 1.5 V συνδεδεμένες σε σειρά.
- Δύο μπαταρίες των 1.5 V συνδεδεμένες παράλληλα.

Σύγκρινε τις φωτοβολίες των λαμπτήρων. Τι συμπεραίνεις και πως το εξηγείς;

## Η έννοια της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος.

Είδαμε ότι αν συνδέσουμε ένα λαμπάκι, διαδοχικά με δύο διαφορετικές μπαταρίες, τότε, το λαμπάκι φωτοβολεί πιο έντονα όταν συνδεθεί με τη μπαταρία που έχει μεγαλύτερη τάση. Η έντονη φωτοβολία του λαμπτήρα οφείλεται στο γεγονός ότι στη δεύτερη περίπτωση τα κινούμενα ηλεκτρόνια δηλαδή το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει μεγαλύτερο ποσό ενέργειας. Λέμε τότε ότι το λαμπάκι διαρρέεται από ισχυρότερο ηλεκτρικό ρεύμα.

Από τι εξαρτάται η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που μεταφέρεται στο λαμπάκι;

Γνωρίζουμε ήδη ότι η ενέργεια αυτή είναι ίση με τη συνολική μείωση της ενέργειας των ηλεκτρονίων που περνούν από το ένα άκρο του λαμπτήρα στο άλλο. Επομένως όσο περισσότερα ελεύθερα ηλεκτρόνια διέρχονται από τον λαμπτήρα σε ορισμένο χρόνο, τόσο μεγαλύτερη θα είναι η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται σ' αυτόν.

Από την άλλη, η ενέργεια κάθε ηλεκτρονίου καθορίζεται από την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του λαμπτήρα.

Ωστε η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που μεταφέρεται στο λαμπάκι εξαρτάται από την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα του και από τον αριθμό των ελεύθερων ηλεκτρονίων που διέρχονται από αυτό σε ορισμένο χρόνο.

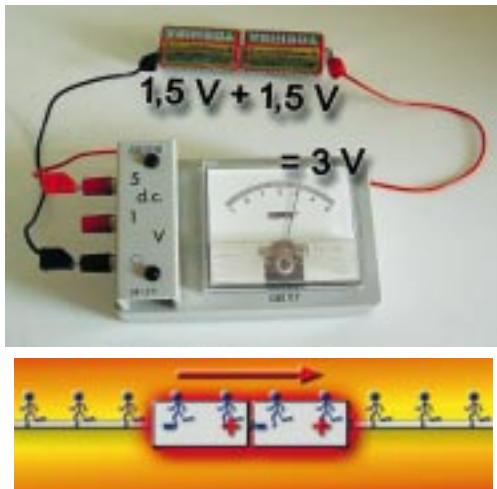
Πως θα μπορούσαμε όμως να μετρήσουμε τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από το λαμπτήρα σε ορισμένο χρόνο;

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.

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

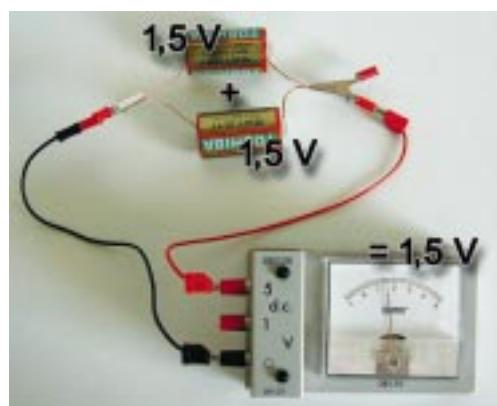
Στη γλώσσα των μαθηματικών συμβόλων :

$$I = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$



Εικόνα 7.10

Σύνδεση δύο ηλεκτρικών στοιχείων (μπαταριών) σε σειρά.



Εικόνα 7.11

Παράλληλη σύνδεση δύο όμοιων μπαταριών.

Όπου:

με Ι συμβολίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος,  
Δq το φορτίο που διέρχεται από μια διατομή του αγωγού  
σε χρονικό διάστημα Δt.

Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού ρεύματος στο Διεθνές σύστημα μονάδων είναι το 1Ampere (1A). Σύμφωνα με τον προηγούμενο ορισμό ισχύει:

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

Η σχέση αυτή δηλώνει ότι, αν ένας αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1Ampere τότε από μια διατομή του διέρχεται κάθε δευτερόλεπτο φορτίο ίσο με ένα Coulomb.

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

Για ρεύματα μεγάλης έντασης χρησιμοποιούμε πολλαπλάσια του Αμπέρ, το Κιλοαμπέρ ( $1 \text{ kA} = 10^3 \text{ A}$ ).

Τα όργανα που χρησιμοποιούμε για να μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, ονομάζονται αμπερόμετρα (εικόνα 7.12). Κάθε αμπερόμετρο έχει δυο ακροδέκτες με τους οποίους συνδέεται με το υπόλοιπο κύκλωμα.

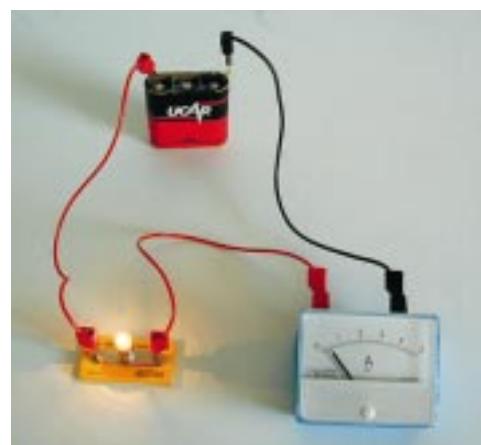
Για να μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από έναν αγωγό, παρεμβάλλουμε το αμπερόμετρο, έτσι ώστε το προς μέτρηση ρεύμα να διέλθει μέσα από αυτό (εικόνα 7.13).

Η λειτουργία των αμπερόμετρων στηρίζεται στα μαγνητικά ή στα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος.



Εικόνα 7.12

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 αμπερομέτρου.



Εικόνα 7.13

Το αμπερόμετρο συνδέεται σε σειρά με το κύκλωμα στο οποίο θέλουμε να μετρήσουμε την ένταση του ρεύματος.



#### Φακός: ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα

- Πάρε ένα φακό
- Σχεδίασε το ηλεκτρικό κύκλωμα του.
- Ποια είναι η τάση λειτουργίας του;
- Ποια είναι τα χαρακτηριστικά του λαμπτήρα του;
- Πως λειτουργεί ο διακόπτης του;
- Πως είναι συνδεδεμένες οι μπαταρίες του;





**Ένα παράδειγμα από την καθημερινή ζωή:  
«Η ένταση του κυκλοφοριακού ρεύματος  
σε αυτοκινητόδρομο»**

Ας μελετήσουμε ένα ανάλογο παράδειγμα από την καθημερινή μας εμπειρία, για να καταλάβουμε πώς περίπου σκέψης θα έχουμε για την ένταση του κυκλοφοριακού ρεύματος σε αυτοκινητόδρομο.



Τι θα κάνουμε αν μας ζητήσουν να υπολογίσουμε και να συγκρίνουμε το «κυκλοφοριακό ρεύμα των αυτοκινήτων» σε δύο ορισμένα σημεία δύο λεωφόρων, στις 6.00 το πρωί της ίδιας ημέρας;

Μια εύλογη διαδικασία, που μπορούμε εύκολα να πραγματοποιήσουμε, είναι η ακόλουθη:

Σε κάθε σημείο στήνεται ένας παρατηρητής, για ένα μικρό χρονικό διάστημα γύρω από τις 6.00 π.μ. Για παράδειγμα, από τις 5.55 έως τις 6.05, ο ένας και από τις 5.57 έως τις 6.03, ο άλλος. Κάθε παρατηρητής μετράει τον αριθμό των αυτοκινήτων που πέρασαν από μπροστά του, μέσα στο χρόνο που διήρκεσε η παρατήρησή του.

Διαιρούμε τον αριθμό των αυτοκινήτων που μέτρησε κάθε παρατηρητής με τον αντίστοιχο χρόνο και βρίσκουμε τον αριθμό των αυτοκινήτων ανά λεπτό, που διέρχονται από τα συγκεκριμένα σημεία της κάθε λεωφόρου.

Έστω ότι:

Ο πρώτος, στα δέκα λεπτά που διήρκεσε η παρατήρησή του, μέτρησε 150 αυτοκίνητα.

Ο δεύτερος, στα έξι λεπτά που διήρκεσε η παρατήρησή του μέτρησε 144 αυτοκίνητα.

Τότε, η «ένταση του κυκλοφοριακού ρεύματος» στην πρώτη λεωφόρο είναι:

$$\frac{150 \text{ αυτοκίνητα}}{10 \text{ λεπτά}} = \frac{15 \text{ αυτοκίνητα}}{1 \text{ λεπτό}}$$

ενώ στη δεύτερη:

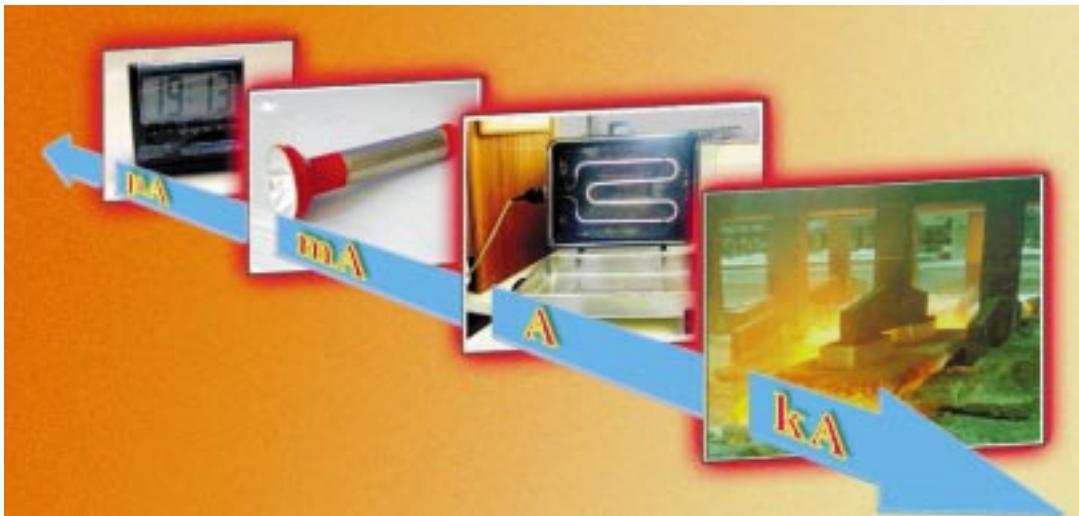
$$\frac{144 \text{ αυτοκίνητα}}{6 \text{ λεπτά}} = \frac{24 \text{ αυτοκίνητα}}{1 \text{ λεπτό}}$$

Ωστε για να υπολογίσουμε και να συγκρίνουμε με ακρίβεια «το ρεύμα των αυτοκινήτων» κάθε λεωφόρου, προσδιορίζαμε ένα μέγεθος: την ένταση του κυκλοφοριακού ρεύματος, που μας πληροφορεί πόσα αυτοκίνητα διέρχονται από μια κάθετη τομή της λεωφόρου κάθε λεπτό. Ισούται με το πηλίκο του αριθμού των αυτοκινήτων που διέρχονται από τη συγκεκριμένη τομή, προς τον αντίστοιχο χρόνο μέτρησης:

ένταση κυκλοφ. ρεύμ. =  $\frac{\text{αριθμ. αυτοκ. που πέρασαν από μία κάθετη τομή του δρόμου σε χρον. Διάστημα Δt}}{\text{χρονικό διάστημα μέτρησης (Δt)}}$



### Από τα μικροαμπέρ στα κιλοαμπέρ Μια μεγάλη περιοχή ρευμάτων



Η σύγχρονη τεχνολογία χρησιμοποιεί μια μεγάλη περιοχή εντάσεων ηλεκτρικού ρεύματος που διαφέρει μεγαλώνει. Τόσο στις περιοχές ρευμάτων με πολύ μικρή ένταση (ασθενή ρεύματα), όσο και σε περιοχές με πολύ μεγάλη ένταση (ισχυρά ρεύματα) η περιοχή αυτή συνεχώς διευρύνεται.

Η ένταση που διαρρέει ένα στοιχείο του ηλεκτρονικού κυκλώματος δεν είναι παρά μερικά μικροαμπέρ (μΑ), ενώ εκείνη που διαρρέει τις διατάξεις ηλεκτρόλυσης για την παραγωγή του αλουμινίου μπορεί να ξεπεράσει και τα εκατό κιλοαμπέρ (ΚΑ).



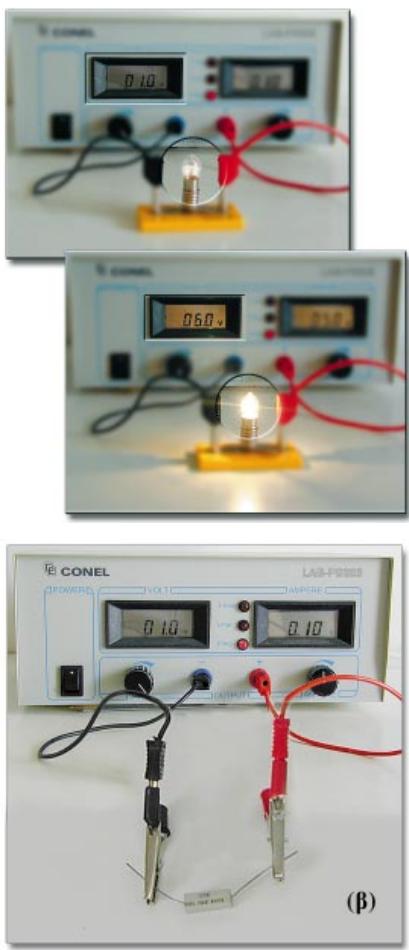
#### Ασθενή ρεύματα

Η ένταση των ασθενών ρευμάτων δεν υπερβαίνει τι μερικές δεκάδες μιλιαμπέρ. Με τέτοια ρεύματα λειτουργούν το ραδιόφωνο, η τηλεόραση, το τηλέφωνο, όπως και ένας υπολογιστής τσέπης ή ένα ηλεκτρονικό ρολόι.

#### Ισχυρά ρεύματα

Όσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος τόσο εντονότερα φαινόμενα προκαλεί. Ισχυρά ρεύματα χρησιμοποιούνται στα ηλεκτρικούς φούρνους, για τήξη δύστηκτων υλικών, στους μεγάλης ισχύος ηλεκτρικούς κινητήρες, για την πραγματοποίηση κάποιων χημικών αντιδράσεων σε βιομηχανική κλίμακα, κλπ. Ο κεραυνός είναι παραδειγματικό φαινόμενο κατά τη διάρκεια του οποίου αναπτύσσονται πολύ ισχυρά ηλεκτρικά ρεύματα, μικρής όμως χρονικής διάρκειας.





**Εικόνα 7.15**

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

**Πίνακας 7.1**

V (Volt)	I (mA)	$\frac{V}{I}$ Volt A
0	0	–
1,5	7,5	200
3,0	15,0	200
4,5	22,5	200
6,0	30,0	200
7,5	37,5	200
9,0	45,0	200

Παρατήρησε ότι για κάθε ζεύγος τιμών ο λόγος  $\frac{V}{I}$  έχει την ίδια τιμή.

### 7.3 Ο νόμος του Ωμ - Αντίσταση

Συναρμολογούμε πάλι δύο κυκλώματα, με όμοια λαμπάκια, που συνδέονται με δυο διαφορετικές μπαταρίες ή ηλεκτρικές πηγές. Μετράμε με ένα βολτόμετρο την τάση και με ένα αμπερόμετρο την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κάθε λαμπάκι. Διαπιστώνουμε ότι το λαμπάκι που συνδέεται με τη μπαταρία μεγαλύτερης τάσης φωτοβολεί πιο έντονα. Η τάση στα άκρα του είναι μεγαλύτερη και διαρρέεται από ρεύμα μεγαλύτερης έντασης (εικόνα 7.15α).

Με πειράματα όπως αυτό, διαπιστώσαμε ότι: Αν στα άκρα ενός αγωγού (για παράδειγμα μεταλλικού σύρματος) εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση), τότε ο αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η εφαρμοζόμενη τάση είναι το αίτιο και το ρεύμα που διαρρέει τον αγωγό, είναι το αποτέλεσμα.

Ποια είναι όμως η **ποσοτική σχέση**, που συνδέει την ηλεκτρική τάση (αίτιο) με την ένταση του ρεύματος (αποτέλεσμα), 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 πρέπει να καταφύγουμε πάλι στο πείραμα (εικόνα 7.15β). Μεταβάλλουμε τις τιμές ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα ενός αγωγού. Μετράμε την τάση στα άκρα του αγωγού με ένα βολτόμετρο και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει τον αγωγό, με ένα αμπερόμετρο.

Τα αποτελέσματα των μετρήσεων μας καταγράφονται στον πίνακα 7.1. Στην τρίτη στήλη του πίνακα υπολογίζουμε το πηλίκο της τάσης προς την ένταση του ρεύματος

Στη συνέχεια με τη βοήθεια των τιμών της τάσης και της έντασης που λαμβάνουμε από τον πίνακα 7.1 κατασκευάζουμε τη γραφική παράσταση της τάσης σαν συνάρτηση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό (εικόνα 7.16).

Παρατηρούμε ότι η γραφική παράσταση 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: ο λόγος τους διατηρείται σταθερός. Το γεγονός αυτό μπορούμε να το επιβεβαιώσουμε και από την τρίτη στήλη του πίνακα 7.1, όπου έχουμε υπο-

λογίσει τους λόγους των αντιστοίχων τιμών τάσης – έντασης  $(\frac{V}{I})$ . Παρατήρησε ότι όλοι αυτοί οι λόγοι έχουν την ίδια τιμή.

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

**Η ένταση ( $I$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό, είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού ( $V$ ) που εφαρμόζεται στα άκρα του.**

Γιατί όμως, 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 ένα σημείο του αγωγού σε ορισμένο χρόνο και συνεπώς τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος. Αυτό μπορούμε να το καταλάβουμε καλλίτερα αν θυμηθούμε και το αναλογικό πρότυπο για το ηλεκτρικό ρεύμα: Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα των αυτοκινήτων τόσο περισσότερα θα διέρχονται από ένα φανάρι.

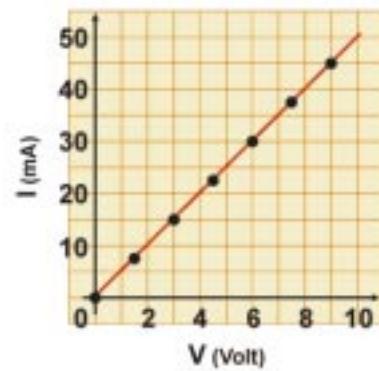
## Η αντίσταση ενός αγωγού

Το πηλίκο της ηλεκτρικής τάσης ( $V$ ) μεταξύ των άκρων ενός αγωγού προς την ένταση ( $I$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει, ονομάζεται **αντίσταση του αγωγού**. Η αντίσταση ενός αγωγού συμβολίζεται με το γράμμα  $R$ .

Στη γλώσσα των μαθηματικών συμβόλων, γράφουμε:

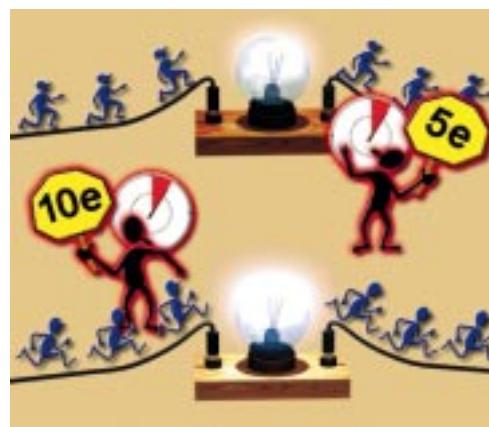
$$R = \frac{V}{I}$$

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



Εικόνα 7.16

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



Εικόνα 7.17

Μεγαλύτερη ένταση ρεύματος σημαίνει: Στον ίδιο χρόνο και από τον ίδιο αγωγό διέρχεται μεγαλύτερος αριθμός ηλεκτρονίων.



Εικόνα 7.18

Μπορούμε να μετρήσουμε την αντίσταση ενός αγωγού, χωρίς απαιτήσεις μεγάλης ακρίβειας, με όργανα που κυκλοφορούν στο εμπόριο και ονομάζονται «ωμόμετρα». Τα ωμόμετρα συνήθως είναι τμήματα οργάνων με πολλές δυνατότητες μέτρησης, έντασης, τάσης, αντίστασης, κλπ, που είναι γνωστά ως «πολύμετρα».



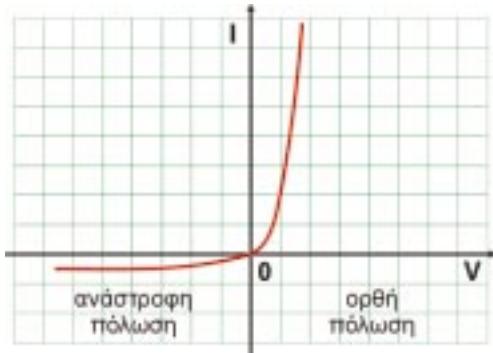
**Εικόνα 7.19**

Γερμανός Φυσικός που διατύπωσε τον νόμο που συνδέει την τάση και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό.



**Εικόνα 7.20**

Η ηλεκτρονική λυχνία, η κρυσταλλοδίοδος και το τρανζίστορ δεν συμπεριφέρονται όπως ένας μεταλλικός αγωγός.



**Εικόνα 7.21**

Απεικόνιση των τιμών της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει την κρυσταλλοδίοδο, σε σχέση με την τάση που εφαρμόζουμε κάθε φορά στα άκρα της.

Έτσι, αν η προηγούμενη σχέση λυθεί ως προς το I προκύπτει:

$$I = \frac{1}{R} \cdot V$$

Δηλαδή, μπορούμε να πούμε ότι:

Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη τα τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού με σταθερά αναλογίας το  $\frac{1}{R}$ .

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 7.16

Η αντίσταση είναι ένα καινούργιο φυσικό μέγεθος. Στο διεθνές σύστημα μονάδων, η μονάδα αντίστασης ονομάζεται Ohm ( $1\Omega$ ).

Από τη σχέση  $R = \frac{V}{I}$ , με την οποία ορίσαμε την αντίσταση, προκύπτει η μονάδα της αντίστασης, το ένα  $\Omega$  ( $1\Omega$ ):

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

από την τελευταία σχέση προκύπτει ότι αντίσταση ίση με  $1\Omega$  έχει κάθε αγωγός, ο οποίος διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $1\text{ A}$ , όταν στα άκρα του εφαρμόζεται τάση  $1\text{ V}$ .

Πολλαπλάσια του  $\Omega$ , που χρησιμοποιούνται συνήθως, είναι το  $1\text{ k}\Omega$  (κίλοωμ) και το  $1\text{ M}\Omega$  (μέγαωμ).  $1\text{ k}\Omega = 10^3\Omega$  και  $1\text{ M}\Omega = 10^6\Omega$ .

Είναι ο νόμος του  $\Omega$  μένας γενικός νόμος της φύσης; Δηλαδή ισχύει για όλα τα σώματα που άγουν το ηλεκτρικό ρεύμα;

Ας επαναλάβουμε το πείραμα της εικόνας 7.15β αλλά αυτή τη φορά στη θέση του αντιστάτη ας τοποθετήσουμε μια κρυσταλλοδίοδο.

Οι κρυσταλλοδίοδοι, οι ηλεκτρονικές λυχνίες και τα τρανζίστορ (εικόνα 7.20) είναι διατάξιεις, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ραδιόφωνα, υπολογιστές, τηλεοράσεις κ.λ.π.

Μεταβάλλοντας την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα της κρυσταλλοδίοδου, παρατηρούμε ότι η ένταση του ρεύματος που την διαρρέει δεν είναι ανάλογη με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της (σχήμα 7.21). Δηλαδή αν και οι παραπάνω διατάξιεις επιτρέπουν τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος, εν τούτοις δεν ακολουθούν το νόμο του  $\Omega$ . Η αντίστασή τους μεταβάλλεται με την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα τους.

Αντίθετα, οι μεταλλικοί αγωγοί, εφόσον διατηρούμε τη θερμοκρασία τους σταθερή, συμπεριφέρονται σε πολύ καλή προσέγγιση σύμφωνα με το νόμο του Ωμ. Η αντίστασή τους δε μεταβάλλεται με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους.

Θα χρησιμοποιούμε τον όρο **αντιστάτη** για να χαρακτηρίζουμε κάθε αγωγό που ικανοποιεί το νόμο του Ωμ. Αυτό σημαίνει ότι η αντίσταση ενός αντιστάτη είναι σταθερή. Δηλαδή, ανεξάρτητη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει. Οι αντιστάτες έχουν μια επιπλέον ιδιότητα: Μετατρέπουν εξ ολοκλήρου την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Τη μετατροπή αυτή θα τη μελετήσουμε αναλυτικά σε επόμενο κεφάλαιο.

### Μικροσκοπική ερμηνεία της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού

Παίρνουμε δύο αντιστάτες που έχουν διαφορετικές αντίστασεις. Στα άκρα του καθενός εφαρμόζουμε την ίδια τάση V. Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ ο αντιστάτης με τη μικρότερη αντίσταση θα διαρρέεται από ρεύμα μεγαλύτερης έντασης, απ' ότι ο αντιστάτης που έχει μεγαλύτερη αντίσταση. Δηλαδή το ίδιο αίτιο (η κοινή τάση) προκαλεί αποτελέσματα (ηλεκτρικό ρεύμα) διαφορετικής έντασης, όταν εφαρμόζεται σε αγωγούς διαφορετικών αντιστάσεων. Μπορούμε να πούμε ότι η αντίσταση είναι ένα μέτρο της δυσκολίας που προβάλλει ένας αγωγός στη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσω αυτού.

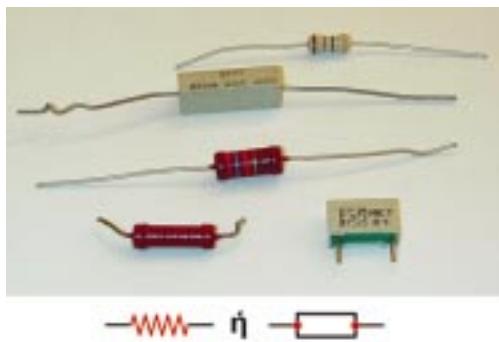
*Ποια είναι η προέλευση της αντίστασης ενός αγωγού;*

Για να απαντήσουμε, θα ανατρέξουμε στη γνωστή μας, πλέον, μικροσκοπική περιγραφή ενός μεταλλικού αγωγού και του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.

Θυμήσου ότι το ηλεκτρικό ρεύμα, που διαρρέει ένα μεταλλικό σύρμα, είναι η 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, που τα επιταχύνουν κατά μήκος του σύρματος.

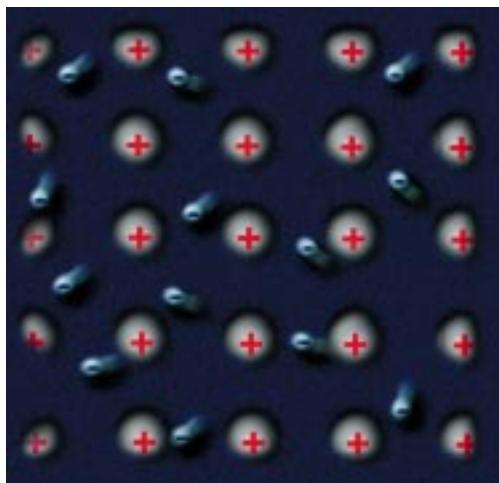
Κατά την κίνησή τους, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα ιόντα του μετάλλου, που ταλαντώνονται γύρω από ορισμένες, σταθερές θέσεις. Σε κάθε τέτοια σύγκρου-



Εικόνα 7.22

Στο σχεδιασμό ενός κυκλώματος, οι αντιστάτες παριστάνονται με το σύμβολο που φαίνεται στην εικόνα.

Τα χαρακτηριστικά ενός αντιστάτη είναι η αντίστασή του και η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, που μπορεί να τον διαρρέει χωρίς να καταστραφεί.



Εικόνα 7.23

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μεταλλικού αγωγού επιταχύνονται από τη δύναμη που τους ασκεί το ηλεκτρικό πεδίο. Κατά την κίνησή τους συγκρούονται με τα άτομα του μετάλλου, οπότε μειώνεται, στιγμιαία, η ταχύτητά τους.

ση, ένα μέρος της κινητικής ενέργειας του ηλεκτρονίου μεταφέρεται στο ιόν. Έτσι, η ταχύτητά του ηλεκτρονίου μειώνεται. Αμέσως μετά τη σύγκρουση, ωστόσο, η δύναμη του ηλεκτρικού πεδίου, το επιταχύνει εκ νέου. Η ταχύτητα του ηλεκτρονίου αυξάνεται πάλι, μέχρι την επόμενη σύγκρουση, οπότε επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία (εικόνα 7.23).

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

Ωστε κάθε μεταλλικός αγωγός «αντιστέκεται» στη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από αυτόν. Η αντίστασή του προέρχεται από τις συγκρούσεις των ελευθέρων ηλεκτρονίων με τα ιόντα του μετάλλου.



### **Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αγωγού**

Ο Ωμ υποψιάστηκε ότι η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος εξαρτάται από το μήκος του, το εμβαδόν της διατομής του, τη θερμοκρασία του και το υλικό του.

Για να επιβεβαιώσει ή να διαψεύσει τις υποθέσεις του κατέφυγε στο πείραμα. Μέτρησε τις αντιστάσεις συρμάτων με διαφορετικά μήκη και διατομές, σε διαφορετικές θερμοκρασίες και από διαφορετικά υλικά. Κάθε φορά μετέβαλε μόνον τον έναν από τους παράγοντες που ήθελε να ελέγξει, διατηρώντας του υπόλοιπους σταθερούς (εικόνες 7.24 και 7.25).

Η μελέτη των αποτελεσμάτων αυτών των πειραμάτων τον οδήγησαν 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 τη θερμοκρασία του αγωγού και
- εξαρτάται από το είδος του υλικού, από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σύρμα.

Οι παραπάνω προτάσεις μπορούν να εκφρασθούν με τη μαθηματική σχέση:

$$R = \rho \cdot \frac{L}{A}$$

όπου  $R$  παριστάνει την αντίσταση του αγωγού. Α το εμβαδόν της διατομής του και  $L$  το μήκος του .

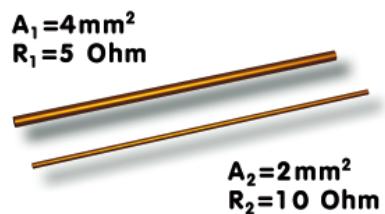


**Εικόνα 7.24**

Διατηρούμε σταθερή την τάση στα άκρα του αγωγού. Μεταβάλλουμε το μήκος του ( $L$ ), μετακινώντας το δρομέα. Με το Ωμόμετρο μετρούμε την αντίσταση του. Διαπιστώνουμε ότι είναι ανάλογη του μήκους του.

Ο συντελεστής αναλογίας ρ ονομάζεται ειδική αντίσταση του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένος ο αγωγός. Η τιμή της εξαρτάται από το είδος του υλικού και από τη θερμοκρασία του. Όπως προκύπτει από την παραπάνω σχέση, όταν η αντίσταση μετριέται σε  $\Omega$ , 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°C βρέθηκε ότι ο χαλκός έχει μικρότερη ειδική αντίσταση από το αλουμίνιο. Επομένως ο χαλκός είναι καλύτερος αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος από το αλουμίνιο.



**Εικόνα 7.25**

Οι αγωγοί α και β έχουν το ίδιο μήκος και είναι κατασκευασμένοι από το ίδιο υλικό. Έχουν, όμως διαφορετικό εμβαδόν διατομής. Εφαρμόζουμε στα άκρα τους την ίδια τάση. Υπολογίζουμε τις αντιστάσεις τους. Συμπεραίνουμε ότι η αντίσταση ενός αγωγού είναι αντιστρόφως ανάλογη του εμβαδού (A) της διατομής του.



#### Η αντίσταση που έχει το λαμπάκι

- Με τη βοήθεια ενός πολύμετρου μέτρησε την αντίσταση που έχει το λαμπάκι.
- Σύνδεσε το λαμπάκι με μια κατάλληλη μπαταρία ώστε να φωτοβολίζει.
- Χρησιμοποιώντας το πολύμετρο μέτρησε την τάση και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το λαμπάκι.
- Χρησιμοποίησε τον νόμο του  $\Omega m$  και υπολόγισε την αντίσταση του λαμπτήρα.
- Σύγκρινε την τιμή που υπολόγισες παραπάνω με αυτή που μέτρησες με το πολύμετρο.
- Ερμήνευσε το αποτέλεσμα της σύγκρισης.

#### ΠΙΝΑΚΑΣ ΕΙΔΙΚΩΝ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΩΝ

ΥΛΙΚΟ	ΕΙΔΙΚΗ ΑΝΤΙΣΤΑΣΗ $\Omega \cdot m$
<b>Αγωγοί</b>	
Άργυρος	$1.47 \times 10^{-8}$
Χαλκός	$1.72 \times 10^{-8}$
Αργύλιο	$2.63 \times 10^{-8}$
Χάλυβας	$20 \times 10^{-8}$
Χρωμονικελίνη	$20 \times 10^{-8}$
<b>Μονωτές</b>	
Άνθρακας	$3.5 \times 10^{-5}$
Πυρίτιο	2300
Νερό	$2 \times 10^5$
Ξύλο	$108 \times 10^{11}$
Γυαλί	$1010 \times 10^{14}$
PVC	$10^{14}$

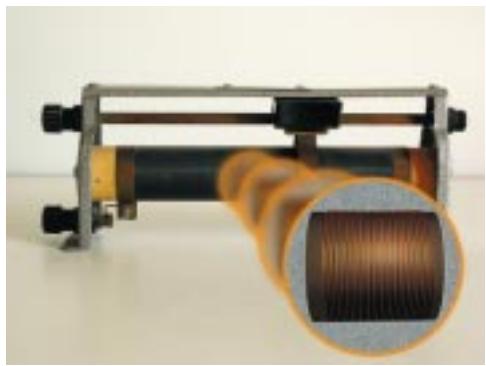


#### Νόμος του $\Omega m$

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 κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις.
- Σύγκρινε τις τιμές που υπολόγισες. Ισχύει ο νόμος του  $\Omega m$ ; Μπορείς να ερμηνεύσεις τις μετρήσεις σου;



**Εικόνα 7.26**

Ροοστάτης.

Μετακινώντας το δρομέα, μεταβάλλουμε το μήκος του αντιστάτη και άρα την αντίσταση του.



**Εικόνα 7.27**  
Συμβολική αναπαράσταση  
στοιχείων κυκλωμάτων.

### Ροοστάτης

Ο ροοστάτης είναι ένας αντιστάτης, του οποίου την αντίσταση μπορούμε να μεταβάλλουμε, μετακινώντας ένα δρομέα, ή περιστρέφοντας ένα κουμπί (εικόνα 7.26). Τον χρησιμοποιούμε για να μεταβάλλουμε και να ρυθμίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα.

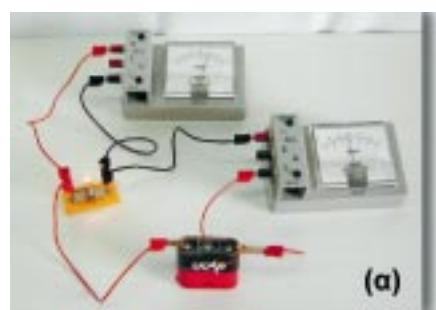
Πώς λειτουργεί ένας ροοστάτης;

Όπως ήδη γνωρίζουμε η αντίσταση ενός αγωγού μεταβάλλεται όταν μεταβληθεί το μήκος του. Στο φαινόμενο αυτό στηρίζεται η λειτουργία του ροοστάτη. Ο ροοστάτης που χρησιμοποιούμε στο εργαστήριο αποτελείται από ένα συρμάτινο αγωγό αρκετά μεγάλου μήκους, που είναι τυλιγμένος γύρω από έναν 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 7.26).

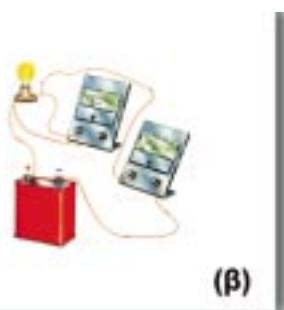
### Συμβολική αναπαράσταση ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα μπορούμε να το περιγράψουμε με λέξεις. Μπορούμε επίσης να χρησιμοποιήσουμε φωτογραφίες ή καλλιτεχνικά σχήματα των τμημάτων του. Συνήθως όμως σχεδιάζουμε ένα σχηματικό διάγραμμα του κυκλώματος χρησιμοποιώντας καθορισμένα σύμβολα για τα στοιχεία του κυκλώματος. Μερικά από τα σύμβολα δείχνονται στην εικόνα 7.27.

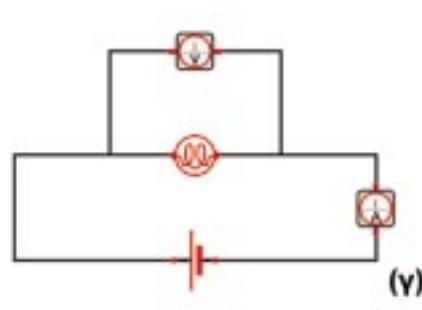
Μια φωτογραφία, ένα καλλιτεχνικό σχέδιο και ένα σχηματικό διάγραμμα του ιδίου κυκλώματος δείχνονται στην εικόνα 7.28. Στις απεικονίσεις των κυκλωμάτων συνήθως θεωρούμε την συμβατική φορά του ρεύματος. Αυτή η φορά όπως είδαμε είναι αντίθετη με τη φορά κίνησης των ηλεκτρονίων στους μεταλλικούς αγωγούς.



(α)



(β)



(γ)

**Εικόνα 7.28**

α. Φωτογραφία απλού ηλεκτρικού κυκλώματος, β. Καλλιτεχνική αναπαράσταση, γ. Σχηματική αναπαράσταση.

Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος και ηλεκτρική τάση σ' ένα κύκλωμα σειράς - Μια εφαρμογή των αρχών διατήρησης.

Συνδέουμε δυο λαμπτήρες (καταναλωτές) με το ένα άκρο τους, ενώ τα άλλα άκρα τους τα συνδέουμε με τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής (εικόνα 7.29α, β). Μια τέτοια σύνδεση λέγεται σύνδεση καταναλωτών σε σειρά. Συνδέουμε κατάλληλα τα αμπερόμετρα και μετράμε την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τους καταναλωτές (λαμπτήρες). Διαπιστώνουμε ότι διαρρέονται από 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:

$$I = I_1 = I_2$$

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

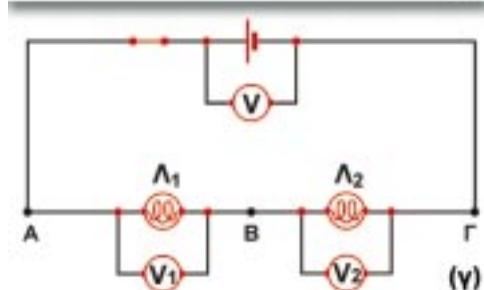
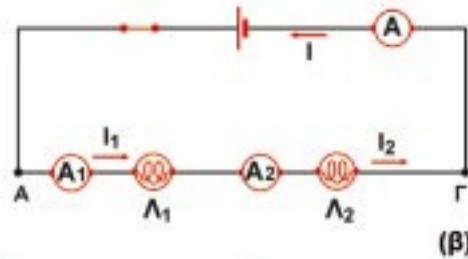
Μια βασική αρχή τα Φυσικής είναι η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου. Τα ηλεκτρόνια δεν παράγονται, δεν καταστρέφονται ούτε και συσσωρεύονται σε κάποιο σημείο του κυκλώματος. Αυτό σημαίνει ότι σε ορισμένο χρόνο, ο αριθμός των ηλεκτρονίων δηλαδή το ηλεκτρικό φορτίο που περνάει από κάθε σημείο του κυκλώματος είναι το ίδιο. Συνεπώς η ένταση του ρεύματος είναι η ίδια.

Στη συνέχεια συνδέοντας κατάλληλα τα βολτόμετρα (εικόνα 7.29γ), μετράμε την τάση στα άκρα των καταναλωτών και την τάση στα άκρα του κυκλώματος. Διαπιστώνουμε ότι η τάση  $U_{AG}$  στα άκρα του κυκλώματος ισούται με το άθροισμα των τάσεων  $U_{AB}$  και  $U_{BG}$  στα άκρα κάθε λάμπας ή συμβολικά:

$$U_{AG} = U_{AB} + U_{BG}$$

Πως θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρηση μας αυτή;

Όπως γνωρίζουμε, η αρχή διατήρησης της ενέργειας είναι μια από τις βασικότερες αρχές της Φυσικής. Είδαμε ότι η τάση μεταξύ δυο σημείων ενός κυκλώματος εκφράζει τη μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας ενός φορτίου καθώς αυτό κινείται μεταξύ των δυο σημείων του κυκλώματος. Έτσι καθώς το ηλεκτρόνιο μετακινείται μεταξύ των Α και Γ θα μεταβάλλεται η ηλεκτρική του ενέργεια κατά ένα ποσό ανάλογο της  $U_{AG}$ . Η συνολική μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας του ηλεκτρονίου θα είναι ίση με το άθροισμα των μεταβολών κατά τη διέλευση του μεταξύ των σημείων Α, Β και Γ δηλα-



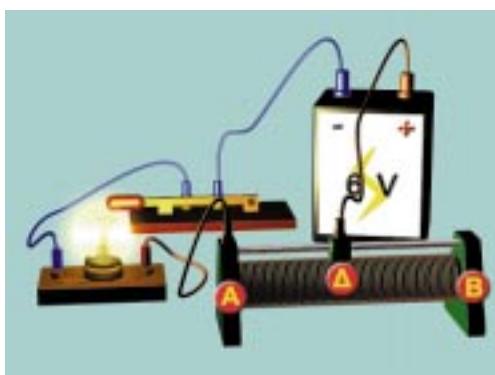
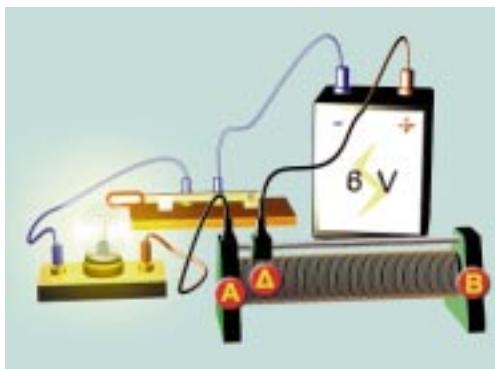
Εικόνα 7.29

- α. Φωτογραφία διάταξης.
- β. Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος με αμπερόμετρα.
- γ. Σχηματική αναπαράσταση κτκλώματος με βολτόμετρα.



Εικόνα 7.30

Στοιχεία ενός κυκλώματος.



**Εικόνα 7.31**

Μετακινώντας το δρομέα  $\Delta$ , μπορούμε να μεταβάλλουμε την αντίσταση του ροοστάτη, επομένως και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει το κύκλωμα.



#### Απλή κατασκευή ροοστάτη

Πάρε μια μύτη μολυβιού HB No2, μήκους 10 - 20 cm, ένα λαμπάκι 1,5 Volt. Σύνδεσε με καλώδια στη σειρά, τη μπαταρία, το λαμπτάκι και τη μύτη.

Σύρε την άκρη ενός καλωδίου, που συνδέει τη μύτη με το κύκλωμα, από το ένα άκρο της προς το άλλο.

Παρατήρησε τη μεταβολή της φωτοβολίας του λαμπτήρα για τις διάφορες θέσεις του καλωδίου.

Εξήγηση:

δή κατά τη διέλευση του από κάθε λαμπτήρα.

Πώς εξηγείται η λειτουργία του ροοστάτη;

Στο κύκλωμα που εικονίζεται στην εικόνα 7.31, έχουμε συνδέσει και ένα ροοστάτη. Το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μόνον από το τμήμα ΑΔ του αγωγού του ροοστάτη. Αν μετακινήσουμε το δρομέα  $\Delta$  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:

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

(και εφ' όσον η τάση στα άκρα του ροοστάτη διατηρείται σταθερή) η αύξηση της αντίστασης  $R$  προκαλεί μείωση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει το κύκλωμα. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται με τη χρήση του αμπερομέτρου Α. Το αντίθετο αποτέλεσμα θα παρατηρήσουμε, εάν μετακινήσουμε το δρομέα  $\Delta$  προς το άκρο Α του ροοστάτη.

#### Σύνδεση αντιστατών

Σε ένα κύκλωμα συνήθως υπάρχουν περισσότεροι από ένας αντιστάτης, συνδεδεμένοι με διάφορους τρόπους. Το πλήθος των τρόπων με τους οποίους μπορούμε να τους συνδέσουμε, αυξάνει με τον αριθμό των αντιστατών που διαθέτουμε.

Αν διαθέτουμε δύο αντιστάτες,  $R_1$  και  $R_2$ , τότε μπορούμε να τους συνδέσουμε μόνον με δύο, διαφορετικούς μεταξύ τους τρόπους: Σε σειρά και παράλληλα (εικόνα 7.32).

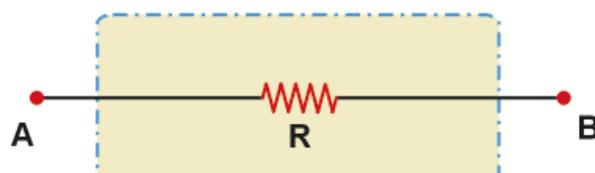
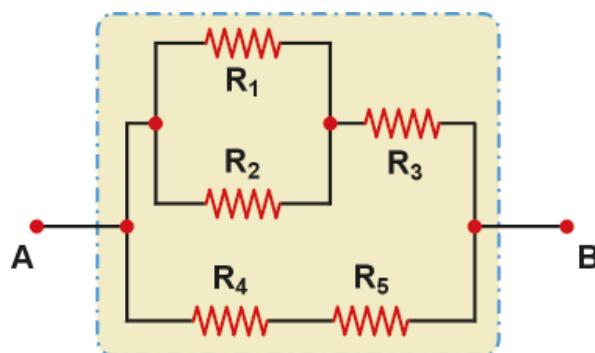
Γενικά, ονομάζουμε σύστημα αντιστατών ένα σύνολο αντιστατών που τους έχουμε συνδέσει με κάποιο, οποιονδήποτε τρόπο. Ένα απλό σύστημα εμφανίζει πάντοτε δύο άκρα, στα οποία μπορούμε να εφαρμόζουμε ηλεκτρικές τάσεις (εικόνα 7.33).

Αν στα άκρα του συστήματος, εφαρμόσουμε μια διαφορά δυναμικού  $V$ , τότε απ' αυτό θα διέλθει ένα ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ . Ας υποθέσουμε τώρα, ότι βρίσκουμε έναν αντιστάτη αντίστασης  $R$  τέτοιον ώστε, αν στα άκρα του εφαρμόσουμε την δια τάση  $V$ , θα διέλθει απ' αυτόν ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης  $I$ . Τότε, η αντίσταση  $R$  ονομάζεται **ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος**. Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, η ισοδύναμη αντίσταση του συστήμα-

τος ικανοποιεί την σχέση:

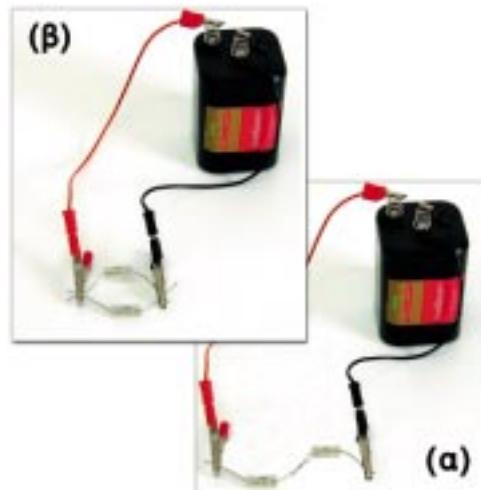
$$R = \frac{V}{I}$$

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 7.33).



**Εικόνα 7.33**

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



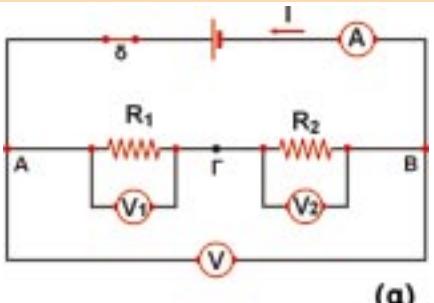
**Εικόνα 7.32**

- α) Αντιστάτες σε σειρά. Διαρρέονται από το ίδιο ρεύμα
- β) Αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση, έχουν την ίδια τάση.

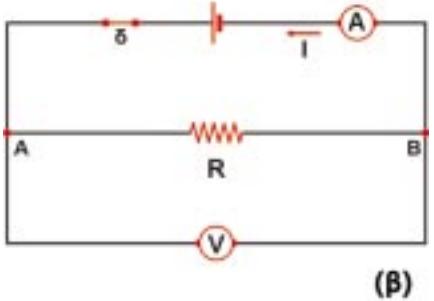


#### Αντιστάτες σε σειρά

- 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 τη μπαταρία. Τα λαμπάκια ανάβουν.
  - Τι προβλέπεις να συμβεί αν συνδέσεις το ένα λαμπάκι με τους πόλους της μπαταρίας;
  - Κάνε τη σύνδεση για να επιβεβαιώσεις τη πρόβλεψη σου.
- Ερμήνευσε το φαινόμενο.



(a)



(b)

Εικόνα 7.34

- α. Αντιστάτες συνδεδεμένοι σε σειρά  
β. Η ισοδύναμη αντίσταση.



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 7.34. Διαφέρονται από το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ , που μετράμε με το αμπερόμετρο. Με τη βοήθεια των βολτομέτρων, 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 καθενός αντιστάτη:

$$V_{AB} = V_{A\Gamma} + V_{\Gamma B} \quad (1)$$

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

$$V_{A\Gamma} = I \cdot R_1 \quad (2)$$

$$V_{\Gamma B} = I \cdot R_2 \quad (3)$$

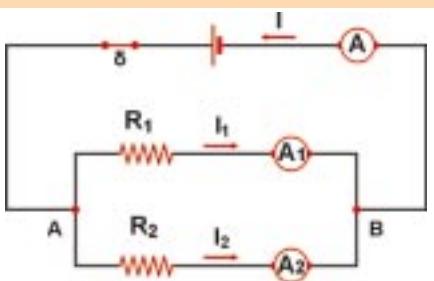
Η ισοδύναμη αντίσταση ( $R$ ) του συστήματος των δύο αντιστατών είναι η αντίσταση ενός αντιστάτη, ο οποίος θα διαφέρεται από ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης  $I$ , εφ' όσον στα άκρα του εφαρμόσουμε τάση ίση με την ολική τάση  $V_{AB}$  του συστήματος (εικόνα 7.32 και 33). Έτσι, αν εφαρμόσουμε πάλι το νόμο του Ohm, έχουμε:

$$V_{AB} = I \cdot R \quad (4)$$

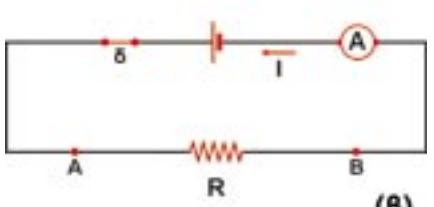
Αντικαθιστούμε τις τάσεις  $V_{AB}$ ,  $V_{A\Gamma}$  και  $V_{\Gamma B}$  στη σχέση (1), με βάση τις σχέσεις (2), (3) και (4), οπότε προκύπτει ότι:

$$\begin{aligned} I \cdot R &= I \cdot R_1 + I \cdot R_2 \quad \text{ή} \\ R &= R_1 + R_2 \end{aligned}$$

Η τελευταία σχέση δηλώνει ότι η ισοδύναμη αντίσταση δύο αντιστατών, που συνδέονται στη σειρά, είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεών τους.



(a)



(b)

Εικόνα 7.35

- α. Αντιστάτες συνδεδεμένοι παράλληλα  
β. Η ισοδύναμη αντίσταση.

**Παράλληλη σύνδεση αντιστατών.**

Τώρα οι αντιστάτες συνδέονται όπως δείχνει η εικόνα 7.35. Παρατηρούμε ότι στα άκρα τους εφαρμόζεται η ίδια διαφορά δυναμικού, που είναι ίση με τη διαφορά δυναμικού του συστήματος ( $V_{AB}$ ).

Ποια είναι η σχέση των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες με την ένταση του ολικού ρεύματος που διαρρέει το σύστημα;

Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κίνηση φορτισμένων σωματιδίων κατά μήκος των αγωγών του κυκλώματος. Επίσης γνωρίζουμε ότι το φορτίο διατηρείται, έτσι όσα φορτισμένα σωματίδια φτάνουν σε ορισμένο χρόνο στο σημείο Α τόσα και περνούν συνολικά προς τους δύο αντιστάτες, στον ίδιο χρόνο. Μπορούμε επομένως, να προβλέψουμε ότι η ένταση ( $I$ ) του ολικού ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει το σύστημα, είναι ίσο με το άθροισμα των εντάσεων ( $I_1$  και  $I_2$ ) των ρευμάτων που διαρρέουν τους δύο αντιστάτες. Με τη βοήθεια των αμπερομέτρων  $A$ ,  $A_1$  και  $A_2$  έχουμε τη δυνατότητα να επιβεβαιώσουμε την πρόβλεψή μας.

Όστε ισχύει:

$$I = I_1 + I_2 \quad (5)$$

Εφαρμόζουμε πάλι το νόμο του Ωμ για κάθε αντιστάτη χωριστά, καθώς και για έναν αντιστάτη με αντίσταση ίση με την ισοδύναμη αντίσταση ( $R$ ) του συστήματος των δύο αντιστατών:

$$I_1 = \frac{V_{AB}}{R_1}$$

$$I_2 = \frac{V_{AB}}{R_2}$$

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

Αντικαθιστούμε τις εντάσεις των ρευμάτων, στη σχέση (5), με τα ίσα τους, οπότε προκύπτει ότι:

$$\frac{V_{AB}}{R} = \frac{V_{AB}}{R_1} + \frac{V_{AB}}{R_2}$$

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

Η τελευταία σχέση δηλώνει ότι η αντίστροφη τιμή της ισοδύναμης αντίστασης δύο αντιστατών που συνδέονται παράλληλα, ισούται με το άθροισμα των αντίστροφων τιμών των αντιστάσεων τους. Λύνουμε την εξίσωση αυτή ως προς την αντίσταση  $R$  και καταλήγουμε στην έκφραση:

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



Σύνδεσε στους πόλους μπαταρίας 4,5Volt, ένα λαμπάκι 3,6Volt.

Το λαμπάκι φωτοβολεί έντονα.

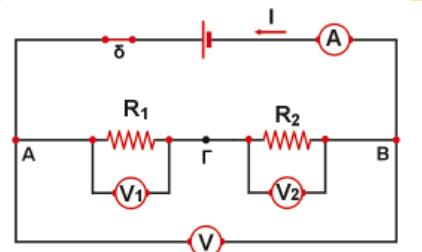
Τι προβλέπεις να συμβεί στη φωτοβολία του λαμπτήρα αν συνδέσεις παράλληλα και ένα δεύτερο ίδιο λαμπάκι;

Κάνε τη σύνδεση για να επιβεβαιώσεις την πρόβλεψη σου.

Ερμήνευσε το φαινόμενο που παρατήρησες.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Στο κύκλωμα που εικονίζεται στην διπλανή εικόνα, η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $0,2\text{A}$ . Οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι  $R_1 = 20\Omega$  και  $R_2 = 40\Omega$ , αντίστοιχα. Η αντίσταση του αμπερομέτρου είναι αμελητέα και η παρουσία των βολτομέτρων δεν επηρεάζει τη λειτουργία του κυκλώματος.



Θέλουμε να υπολογίσουμε:

α. Την ηλεκτρική τάση που υπάρχει στα άκρα καθενός αντιστάτη.

β. Την ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών.

γ. Τη διαφορά δυναμικού ( $V$ ) μεταξύ των πόλων της πηγής.

**Δεδομένα**

$$I = 0.2 \text{ A}$$

$$R_1 = 20\Omega$$

$$R_2 = 40\Omega$$

**Ζητούμενα**

$$V_{AB}$$

$$V_{BG}$$

$$V$$

**Βασική εξίσωση**

$$\text{Νόμος του } \Omega\text{μ}: I = \frac{V}{R}$$

**Λύση**

**A.**

- Οι δύο αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  είναι συνδεδεμένοι στη σειρά. Επομένως η ισοδύναμη αντίστασή τους δίνεται από τη σχέση:

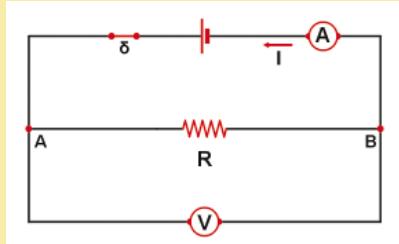
$$R_{\text{ισοδ}} = R_1 + R_2$$

$$R_{\text{ισοδ}} = (20\Omega) + (40\Omega) = 60\Omega \quad \text{Όστε: } R_{\text{ισοδ}} = 60\Omega$$

**Γ.**

- Εφαρμόζουμε το νόμο του Ohm για την ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών: Σύμφωνα με τον ορισμό της, ισούται με το πηλίκο της τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα του συστήματος (που είναι η τάση στους πόλους της πηγής), προς την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το σύστημα ( $I$ ):

$$R_{\text{ισοδ}} = \frac{V_{AG}}{I}, \quad \text{όπου: } V_{AG} = V$$



Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει ότι:  $V = I \cdot R_{\text{ισοδ}}$  ή  $V = (0,2\text{A}) \cdot 60\Omega = 12\text{V}$  ή  $V = 12\text{Volt}$

**Σημείωση:** Μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της πηγής ( $V$ ) και με διαφορετικό τρόπο:

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των σημείων  $A$  και  $G$  ( $V_{AG}$ ) ισούται με το άθροισμα των διαφορών δυναμικού  $V_{AB}$  και  $V_{BG}$ :

$$\text{Όστε: } V_{AG} = V_{AB} + V_{BG} \quad \text{ή} \quad V_{AG} = (4\text{V}) + (8\text{V}) \quad \text{ή} \quad V_{AG} = 12\text{V}$$

$$\text{Όστε: } V = V_{AG} = 12\text{V}$$

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Στο κύκλωμα που εικονίζεται στην διπλανή εικόνα, η διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της πηγής είναι  $V = 12V$ . Οι αντιστάσεις των αντιστατών είναι  $R_1 = 20\Omega$  και  $R_2 = 60\Omega$ , αντίστοιχα. Η παρουσία των βολτόμετρων δεν επηρεάζει αισθητά τη λειτουργία του κυκλώματος.

Θέλουμε να υπολογίσουμε:

α. Την ένταση ( $I_1$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_1$  καθώς και την ένταση ( $I_2$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_2$ .

β. Την ένδειξη του αμπερομέτρου.

γ. Την ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών.

### Δεδομένα

$$V = 12V$$

$$R_1 = 20\Omega$$

$$R_2 = 60\Omega$$

### Ζητούμενα

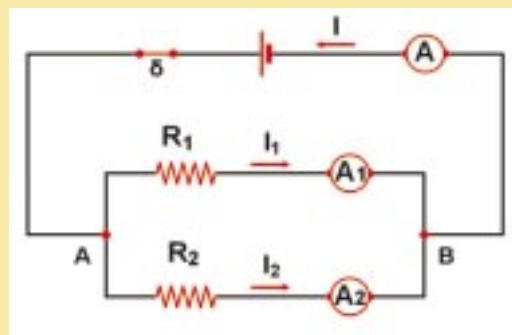
$$I_1, I_2, I$$

$$R_{\text{ισοδύναμη}}$$

### Βασικές εξισώσεις

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

$$I = I_1 + I_2$$



### Λύση

#### A.

- Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  συνδέονται παράλληλα. Στα άκρα τους υπάρχει κοινή τάση, που είναι ίση με την τάση των πόλων της πηγής ( $V$ ).
- Εφαρμόζουμε το νόμο του Ohm στους αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$ :

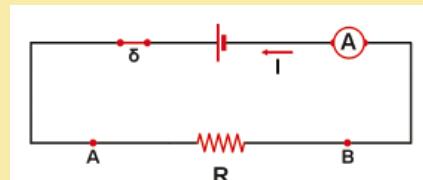
$$I_1 = \frac{V}{R_1} \quad \text{ή} \quad I_1 = \frac{(12V)}{(20\Omega)} = 0,6A \quad I_2 = \frac{V}{R_2} \quad \text{ή} \quad I_2 = 0,2A \quad \text{'Ωστε: } I_1 = 0,6 \text{ A} \quad \text{και} \quad I_2 = 0,2 \text{ A}$$

- Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το σύστημα των δύο παράλληλα συνδεδεμένων αντιστατών. Ισούται με το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους δύο αντιστάτες:

$$I = I_1 + I_2 \Rightarrow I = (0,6A) + (0,2A) = 0,8 \text{ A} \quad \text{'Ωστε: } I = 0,8 \text{ A}$$

#### Γ.

- Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, η ισοδύναμη αντίσταση είναι ίση με το λόγο της τάσης που υπάρχει στα άκρα του συστήματος των αντιστατών προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει:



$$R_{\text{ισοδ}} = \frac{V}{I} \quad \text{ή} \quad R_{\text{ισοδ}} = \frac{(12V)}{(0,8A)} = 15\Omega \quad \text{'Ωστε: } R_{\text{ισοδ}} = 15\Omega$$

Σημείωση: Αφού οι αντιστάτες συνδέονται παράλληλα, μπορούμε να υπολογίσουμε την ισοδύναμη αντίστασή τους και με εφαρμογή της σχέσης:

$$\frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{1}{(20\Omega)} + \frac{4}{(60\Omega)} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{3+1}{(60\Omega)} \quad \text{ή}$$

$$\frac{1}{R_{\text{ισοδ}}} = \frac{4}{(60\Omega)} \quad \text{ή} \quad R_{\text{ισοδ}} = \frac{(60\Omega)}{4} \quad \text{ή} \quad R_{\text{ισοδ}} = 15\Omega$$



## Κατάδυση στη Φυσική

**Πώς μεταβάλλεται η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού με τη θερμοκρασία του;**

Θέλουμε να μελετήσουμε πειραματικά τη μεταβολή της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού που βρίσκεται σ' έναν λαμπτήρα πυράκτωσης, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία του. Χρησιμοποιούμε μια διάταξη όπως αυτή που εικονίζεται στο διπλανό σχήμα: 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 όργανο που μετράει απ' ευθείας την αντίσταση του αγωγού και ονομάζεται αωμόμετρο. Διαπιστώνουμε ότι γενικά, η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Αυτό σημαίνει ότι η ειδική αντίσταση των μετάλλων αυξάνεται όταν αυξάνεται η θερμοκρασία τους.



**Πώς θα ερμηνεύσουμε το φαινόμενο αυτό;**

Θυμήσου ότι η αντίσταση οφείλεται στις αλληλεπιδράσεις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα ιόντα των μετάλλων, που ταλαντώνται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους. 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. Γνωρίζεις όμως από το κεφάλαιο της θερμότητας ότι όταν αυξάνουμε τη θερμοκρασία του μετάλλου, οι κινήσεις των ιόντων του γίνονται εντονότερες, οπότε, σύμφωνα με την προηγούμενη πρόταση, η αντίστασή του αυξάνεται.



Υπάρχουν, ωστόσο αντιστάτες από ορισμένα κράματα, όπως η κονσταντάνη (κράμα χαλκού – νικελίου), που η αντίσταση τους δεν εξαρτάται από τη θερμοκρασία.

Σ' αυτά τα υλικά η ειδική 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.



## Υπεραγωγιμότητα

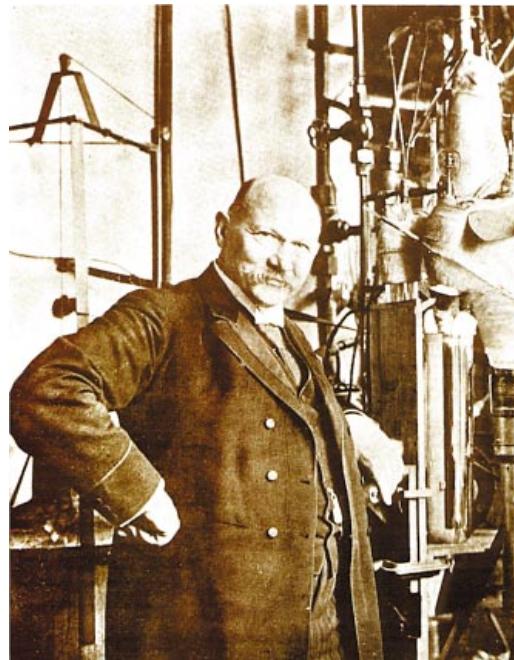
Είδαμε ότι όταν ελαττώνουμε τη θερμοκρασία ενός αγωγού, η αντίστασή του μειώνεται. Σε ορισμένα υλικά, ωστόσο, παρουσιάζεται ένα παράξενο, όσο και εξαιρετικά ενδιαφέρον φαινόμενο: Όταν η θερμοκρασία πέσει κάτω από μια ορισμένη τιμή, που είναι χαρακτηριστική για κάθε υλικό, η αντίστασή του σχεδόν μηδενίζεται. Τότε, το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον αγωγό χωρίς να συναντά σχεδόν καμιά αντίσταση και επομένως χωρίς να παρατηρείται μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική ή, όπως συνήθως λέμε, χωρίς ενεργειακές απώλειες. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **υπεραγωγιμότητα**.

Η υπεραγωγιμότητα ανακαλύφθηκε το 1911 από τον Ολλανδό Onnes. Ο Onnes μόλις είχε αναπτύξει μια τεχνική υγροποίησης του στοιχείου Ήλιου, το οποίο έχει σημείο βρασμού (και υγροποίησης)  $-269^{\circ}\text{C}$  σε ατμοσφαιρική πίεση. Μετρώντας την αντίσταση του υδραργύρου σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες, παρατήρησε ότι κάτω από τους  $-269^{\circ}\text{C}$  η αντίσταση του ξαφνικά μηδενίζεται. Η θερμοκρασία αυτή στην οποία το υλικό μετατρέπεται σε υπεραγώγιμο λέγεται κρίσιμη και συμβολίζεται με Θc. Τα επόμενα 75 χρόνια η μεγαλύτερη Θc που επιτεύχθηκε ήταν περίπου  $-253^{\circ}\text{C}$ . Αυτό σήμαινε ότι για να γίνει ένα υλικό υπεραγώγιμο θα πρέπει να βρίσκεται μέσα σε υγρό ήλιο που είναι ακριβό και δυσεύρετο, ή σε υγρό υδρογόνο που είναι εκρηκτικό και επομένως επικίνδυνο.

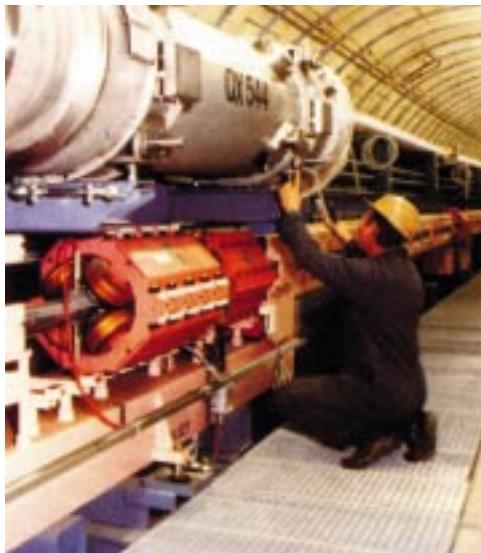
Όμως το 1987 βρέθηκε ένα πολύπλοκο οξείδιο μετάλλων με Θc μεγαλύτερη από  $-196^{\circ}\text{C}$  που είναι το σημείο υγροποίησης του φτηνού και ασφαλούς αζώτου. Είχε αρχίσει ένας αγώνας δρόμου για την ανακάλυψη υπεραγώγιμων υλικών «υψηλών θερμοκρασιών» με τελικό στόχο την επίτευξη της υπεραγωγιμότητας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Ο αγώνας για την επίτευξη υπεραγώγιμων υλικών σε υψηλότερες θερμοκρασίες συνεχίζεται. Μέχρι σήμερα έχουμε πετύχει να παρασκευάσουμε υλικά που η Θc να είναι  $-23^{\circ}\text{C}$ .

Η ερμηνεία του φαινομένου της υπεραγωγιμότητας είναι περίπλοκη και μπορεί να δοθεί μόνο στα πλαίσια της Κβαντικής Θεωρίας.

Η αξιοποίηση των υπεραγώγιμων υλικών σε τεχνολογικές εφαρμογές είναι πολύπλευρη και πολλά υποσχόμενη. Ξεκινά από την κατασκευή ηλεκτρονικών υπολογιστών απίστευτης ταχύτητας και φτάνει στην παραγωγή οχημάτων που θα μπορούν να κινούνται με σχεδόν μηδενικές απώλειες ενέρ-



Ο Onnes μπροστά στη συσκευή σχηματισμού υγρού ήλιου, που κατασκεύασε



γειας. Ήδη οι υπεραγώγιμοι μαγνήτες χρησιμοποιούνται σε επιταχυντές σωματιδίων (συσκευές που στο εσωτερικό τους επιταχύνονται σωματίδια οι ταχύτητες των οποίων προσεγγίζουν την ταχύτητα του φωτός) και σε τρένα, που βρίσκονται ακόμη σε πειραματικό στάδιο εφαρμογής και τα οποία θα μπορούν να αναπτύσσουν ταχύτητες 500 Km/h. Γι' αυτό, η μελέτη του φαινομένου της υπεραγωγιμότητας αποτελεί σήμερα μια έρευνα αιχμής σε πολλά πανεπιστήμια και ερευνητικά ιδρύματα του κόσμου.

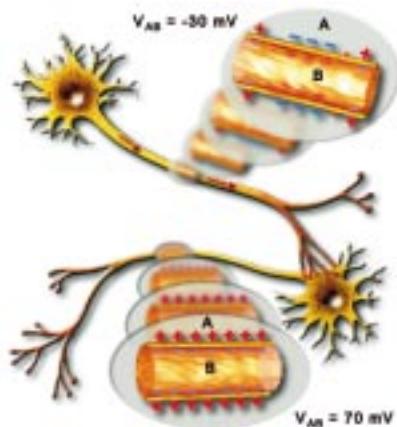


### Βιολογικές επιδράσεις του ηλεκτρικού ρεύματος

Διαφορές δυναμικού και ηλεκτρικά ρεύματα παιζουν βασικό ρόλο στη λειτουργία του νευρικού συστήματος του ανθρώπου. Η διάδοση των νευρικών ερεθισμάτων πραγματοποιείται μέσω ηλεκτρικών παλμών. Οι παλμοί διαδίδονται κατά μήκος του άξονα του νευρικού κυττάρου που περιέχει αγώγιμο υγρό (ηλεκτρολύτη). Έτσι ο άξονας συμπεριφέρεται σαν μπαταρία με διαφορά δυναμικού περίπου 1,1V.

Η ηλεκτρική φύση της διάδοσης των νευρικών ερεθισμάτων είναι κυρίως υπεύθυνη για τη μεγάλη ευαισθησία του σώματος στο ηλεκτρικό ρεύμα και τους κίνδυνους που προέρχονται από αυτό. Οι κίνδυνοι αυτοί είναι τριών ειδών: εγκαύματα από θέρμανση του σώματος, τραυματισμός από συσπάσεις των μυών και παρέμβαση στη λειτουργία του νευρικού συστήματος.

Το είδος της βιολογικής επίδρασης εξαρτάται βασικά από την τιμή της έντασης του ρεύματος. Ρεύματα με ένταση έως 0,1A είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν ουσιαστική θέρμανση του σώματος. Ακόμη όμως και ρεύματα 0,02A μέσα από το χέρι ή το πόδι μπορεί να προκαλέσουν ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και αρκετό πόνο. Τότε λέμε ότι το άτομο έπαθε ηλεκτροπληξία. Ρεύματα της τάξης 0,1A μπορούν να προκαλέσουν θάνατο επειδή παρεμβαίνουν στο νευρικό σύστημα που ρυθμίζει ζωτικές λειτουργίες όπως η λειτουργία της καρδιάς και των πνευμόνων.



Μερικές φορές οι γιατροί διαβιβάζουν ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από το ανθρώπινο σώμα για θεραπευτικούς σκοπούς (ηλεκτροσόκ).

Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος ποικίλει στα διάφορα μέρη του. Τα υγρά του σώματος είναι αγωγοί, λόγω της ύπαρξης ιόντων σ' αυτά ενώ η αντίσταση του δέρματος είναι σχετικά υψηλή (περίπου  $500\text{K}\Omega$ , για πολύ ξηρό δέρμα). Με αντίσταση  $1\text{K}\Omega$  από το νόμο του Ohm προκύπτει ότι τάση  $100\text{V}$  προκαλεί ρεύμα έντασης  $0,1\text{A}$ . Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, ακόμη και μικρές τάσεις της τάξης των  $10\text{V}$  μπορεί να είναι επικίνδυνες. Όλες οι ηλεκτρικές αυσκευές και τα κυκλώματα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.



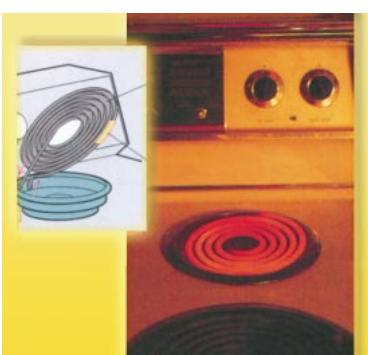
### Αντιστάτες

Όλα τα στοιχεία των ηλεκτρικών κυκλωμάτων, πηγές και καταναλωτές, έχουν κάποια ηλεκτρική αντίσταση.

Αντιστάτες χρησιμοποιούνται για την παροχή μεγάλων ποσοτήτων θερμότητας ή φωτός. Ανάλογα με τη χρήση τους οι αντιστάτες παρουσιάζουν ποικίλες τιμές αντίστασης.

Σύμφωνα με το νόμο του Ohm για σταθερή τάση, όπως η τάση του δικτύου της ΔΕΗ που ισούται με  $220\text{V}$ , όσο μικρότερη είναι η αντίσταση ενός αγωγού τόσο μεγαλύτερη είναι η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει.

Το λεπτό νήμα από βιολφράμιο ενός λαμπτήρα πυράκτωσης έχει αντίσταση περίπου  $500\Omega$ . Όταν διαρρέεται από ρεύμα η θερμοκρασία του νήματος φθάνει τους  $2500^\circ\text{C}$  περίπου οπότε το νήμα πυρακτώνεται και φωτοβολεί.



Το θερμαντικό στοιχείο σε μια ηλεκτρική κουζίνα έχει μια αντίσταση περίπου  $30\Omega$  και φθάνει σε θερμοκρασία  $400^\circ\text{C}$ . Στην ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης τα ηλεκτρόδια έχουν πολύ χαμηλή αντίσταση, γύρω στο  $0,1\Omega$ , οπότε η ένταση του ρεύματος είναι μερικά KA. Η ηλεκτροσυγκόλληση αντίστασης χρησιμοποιείται ευρέως στη βιομηχανία. Σ' ένα αυτοκίνητο μπορεί να έχουμε μέχρι και  $10.000$  ηλεκτροσυγκολλήσεις.

## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

**Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες.**

**Συμπλήρωσε τα κενά, στις προτάσεις που ακολουθούν.**

1. Ένα φορτισμένο σωματίδιο κινείται από τον ένα πόλο μιας μηχανής Wimshurst, στον άλλο. Το σωματίδιο αποκτά ..... που προέρχεται από αντίστοιχη μεταβολή της ηλεκτρικής του ενέργειας. Η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας του σωματιδίου είναι ανάλογη του ..... και της ..... μεταξύ των δύο πόλων της μηχανής.
2. Συνδέουμε, με καλώδια, τις άκρες ενός λαμπτήρα με τους πόλους μιας μπαταρίας. Έτσι, έχει σχηματιστεί ένα ηλεκτρικό ..... Ο λαμπτήρας, η μπαταρία και τα καλώδια διαρρέονται από ..... Απαραίτητη προϋπόθεση γι' αυτό, είναι μεταξύ των πόλων της μπαταρίας να υπάρχει .....
3. Η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος οφείλεται στις ..... των ελεύθερων ηλεκτρονίων του με τα ..... του μετάλλου. Κατά τις ..... αυτές, ένα μέρος της ..... των ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα ..... Από την άλλη μεριά, πάνω στα ηλεκτρόνια ασκείται ..... που τα επιταχύνει. Τελικά, αποκτούν μια σταθερή ..... με την οποία κινούνται κατά μήκος του σύρματος.
4. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αντιστάτη είναι ..... της τάσης που εφαρμόζουμε στα ..... του, εφ' όσον η ..... του διατηρείται σταθερή. Το σταθερό πηλίκο της εφαρμόζόμενης τάσης προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που προκαλεί, ονομάζεται ..... του αντιστάτη. Ο νόμος αυτός δεν ισχύει για κάθε αγωγό. Σε πολλούς αγωγούς η ..... τους εξαρτάται από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τους διαρρέει.

**Διάλεξε την ή τις σωστές από τις απαντήσεις που προτείνονται. Τεκμηρίωσε τις επιλογές σου.**

5. Φέρνουμε σε επαφή το σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς με τον ένα πόλο μιας μηχανής Wimshurst (εικόνα 7.2). Παρατηρούμε ότι το σφαιρίδιο κινείται από τον ένα πόλο της μηχανής στον άλλο.
  - α) Το σφαιρίδιο είναι φορτισμένο και βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των πόλων της μηχανής.
  - β.) Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του σφαιρίδιου μετατρέπεται σε κινητική.
  - γ) Το σφαιρίδιο κινείται γιατί πάνω του ασκείται το βάρος του και η δύναμη από το νήμα του εκκρεμούς (τάση του νήματος).
  - δ) Η ηλεκτρική τάση (διαφορά δυναμικού) μεταξύ των πόλων της μηχανής είναι ίση με μηδέν.
  - ε) Αν αυξήσουμε την διαφορά δυναμικού (ηλεκτρική τάση) μεταξύ των πόλων της μηχανής, η κινητική ενέργεια που αποκτά το σφαιρίδιο γίνεται μεγαλύτερη.
- 6 Συνδέουμε τα άκρα ενός λαμπτήρα με τους πόλους μιας μπαταρίας. Παρατηρούμε ότι ο λαμπτήρας φωτοβολεί.

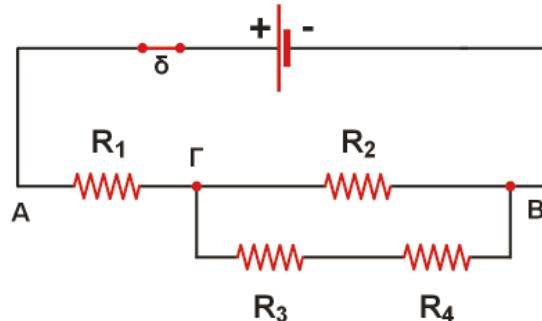
- α) Στο εσωτερικό του μεταλλικού σύρματος του λαμπτήρα έχει δημιουργηθεί ένα ηλεκτρικό πεδίο.  
 β) Κατά μήκος του σύρματος κινούνται ελεύθερα ηλεκτρόνια που παράγονται από την μπαταρία.  
 γ) Κατά μήκος του σύρματος κινούνται τα θετικά ιόντα του μετάλλου, από το οποίο έχει κατασκευαστεί το σύρμα του λαμπτήρα.  
 δ) Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μεταλλικού σύρματος αλληλεπιδρούν με τα ιόντα του μετάλλου και μεταφέρουν σ' αυτά ένα μέρος της κινητικής τους ενέργειας.  
 ε) Η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας κάθε ηλεκτρονίου που κινείται από το ένα άκρο του λαμπτήρα στο άλλο, είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του.

7. Η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού:

- α) Αυξάνεται όταν αυξάνουμε την ηλεκτρική τάση στα άκρα του και διατηρούμε τη θερμοκρασία του σταθερή.  
 β) Αυξάνεται όταν διατηρούμε σταθερή την ηλεκτρική τάση στα άκρα του και αυξάνουμε τη θερμοκρασία του.  
 γ) Αυξάνεται όταν διατηρούμε τη θερμοκρασία του σταθερή και αυξάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.  
 δ) Είναι ίση με το πηλίκο της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό προς την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα του.  
 ε) Εξαρτάται από το υλικό του αγωγού.  
 σ) Δεν μεταβάλλεται αν διπλασιάσουμε το μήκος του αγωγού και το εμβαδόν της διατομής του.

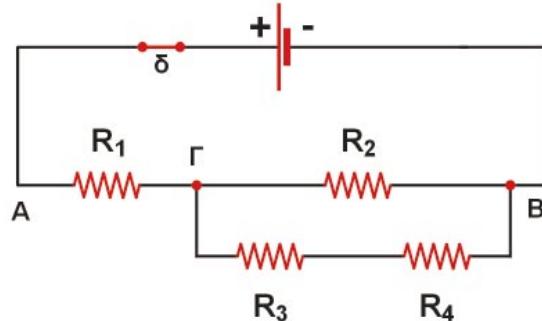
8. Παρατήρησε το κύκλωμα που παριστάνει η διπλανή εικόνα.

- α) Οι αντιστάτες  $R_1$  και  $R_2$  συνδέονται σε σειρά.  
 β) Οι αντιστάτες  $R_2$  και  $R_3$  συνδέονται παράλληλα.  
 γ) Οι αντιστάτες  $R_3$  και  $R_4$  συνδέονται σε σειρά.  
 δ) Ο αντιστάτης  $R_2$  συνδέεται παράλληλα με τον ισοδύναμο αντιστάτη των  $R_3$  και  $R_4$ .  
 ε) Ο αντιστάτης  $R_1$  συνδέεται σε σειρά με τον ισοδύναμο αντιστάτη των  $R_2$ ,  $R_3$  και  $R_4$ .



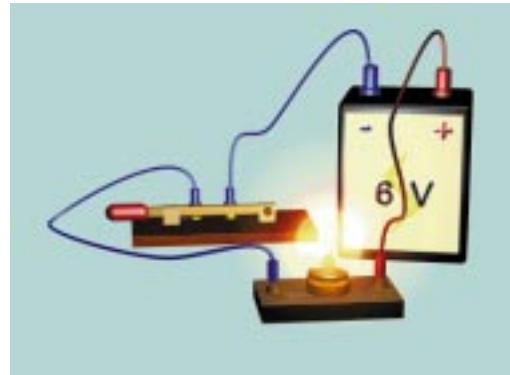
9. Παρατήρησε το κύκλωμα που παριστάνει η διπλανή εικόνα.

- α) Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_1$  είναι ίση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον  $R_2$ .  
 β.) Η τάση στα άκρα του  $R_2$  είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών  $R_3$  και  $R_4$ .  
 γ) Οι  $R_3$  και  $R_4$  διαρρέονται από ρεύματα ίδιας έντασης.  
 δ) 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  $R_3$ .  
 ε) Η τάση στους πόλους της πηγής είναι (A, B) είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών  $R_1$  και  $R_2$ .



**Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν.**

10. Χρησιμοποίησε τις έννοιες: «Ηλεκτρική τάση», «ηλεκτρικό ρεύμα», «ηλεκτρικό κύκλωμα», «ηλεκτρικό πεδίο», «ελεύθερα ηλεκτρόνια», για να περιγράψεις τα ηλεκτρικά φαινόμενα που συμβαίνουν μετά το κλείσιμο του διακόπτη στο διπλανό κύκλωμα.



11. Διαθέτεις μια μπαταρία, ένα λαμπτήρα, ένα αμπερόμετρο, ένα βολτόμετρο, ένα διακόπτη και καλώδια. Χρησιμοποίησε τα σχήματα που τα συμβολίζουν και σχεδίασε ένα κύκλωμα, τέτοιο ώστε:
- α) όταν κλείνουμε το διακόπτη, ο λαμπτήρας να φωτοβολεί,
  - β) το αμπερόμετρο να μας δείχνει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το λαμπτήρα,
  - γ) το βολτόμετρο να μας δείχνει την ηλεκτρική τάση των πόλων της μπαταρίας.

12. Η αντίσταση ενός αγωγού διπλασιάζεται όταν διπλασιάζουμε την ηλεκτρική τάση στα άκρα του. Υπάκουει ο αγωγός αυτός στο νόμο του Ohm; Εξήγησε.

13. Δύο αντιστάτες έχουν ίδιο μήκος και εμβαδόν διατομής και βρίσκονται στην ίδια θερμοκρασία. Ωστόσο, παρουσιάζουν διαφορετική αντίσταση. Πώς εξηγείται το φαινόμενο αυτό; Ποια είναι η μικροσκοπική του ερμηνεία;

14. Διαθέτεις δύο λαμπτήρες διαφορετικών αντιστάσεων,  $R_1$  και  $R_2$ , μια μπαταρία και καλώδια. Σχεδίασε ένα κύκλωμα έτσι ώστε οι λαμπτήρες να διαρρέονται από 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; Εξήγησε.

15. Διαθέτεις δύο λαμπτήρες διαφορετικών αντιστάσεων,  $R_1$  και  $R_2$ , μια μπαταρία και καλώδια. Σχεδίασε ένα κύκλωμα έτσι ώστε τα άκρα των δύο λαμπτήρων να έχουν την 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; Εξήγησε.

## ΑΣΚΗΣΕΙΣ

1. 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  $5V$ . Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $I = 1,6A$ .

- α) Πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από μια διατομή του σύρματος του λαμπτήρα κάθε δευτερόλεπτο;
- β) Πόσο ηλεκτρικό φορτίο διέρχεται από μια διατομή ενός καλωδίου του κυκλώματος ανά δευτερόλεπτο;
- γ) Πόσα ηλεκτρόνια διέρχονται από μια διατομή του σύρματος του λαμπτήρα ανά δευτερόλεπτο;
- δ) Πόσα ηλεκτρόνια διέρχονται από μια διατομή ενός καλωδίου του κυκλώματος ανά δευτερόλεπτο;
- ε) Πόση είναι η χημική ενέργεια της μπαταρίας που μετατρέπεται σε ισοδύναμη ηλεκτρική, κάθε δευτερόλεπτο;

Το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο είναι  $e = 1,6 \times 10^{-19} C$ .

2. Μια μπαταρία συνδέεται με τα άκρα ενός κινητήρα, έτσι ώστε ο κινητήρας να περιστρέφεται. Με τη βοήθεια ενός αμπερομέτρου μετράμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος του κυκλώματος. Με ένα βολτόμετρο μετράμε την τάση στους πόλους της μπαταρίας.

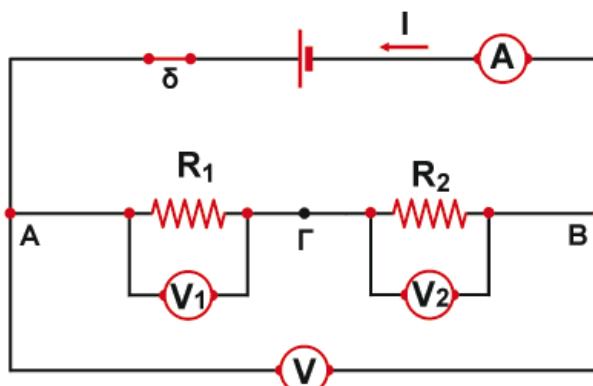
- α) Να σχεδιάσεις το αντίστοιχο κύκλωμα.
- β) Αν η ένδειξη του αμπερομέτρου παραμένει σταθερή και ίση με  $I = 0,5A$ , υπολόγισε το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχεται από τη μπαταρία και από τον κινητήρα σε χρονικό διάστημα ενός λεπτού.
- γ) Αν η ένδειξη του βολτομέτρου παραμένει σταθερή και είναι ίση με  $6V$ , υπολόγισε το ποσό της χημικής ενέργειας της μπαταρίας που μετατράπηκε σε ηλεκτρική, στο ίδιο χρονικό διάστημα.
- δ) Αν γνωρίζεις ότι σχεδόν όλη η ενέργεια που προσδίδει η μπαταρία στο κύκλωμα μετατρέπεται σε μηχανική ενέργεια στον κινητήρα, θα ήταν δυνατόν να χρησιμοποιήσουμε τον κινητήρα για να ανυψώσουμε μια πέτρα μάζας  $1kg$  σε ύψος  $15 m$ ; ( $g = 10m/s^2$ ).

3. Ένας αντιστάτης έχει αντίσταση  $50\Omega$ . Συνδέουμε τα άκρα του αντιστάτη με τους πόλους μιας μπαταρίας. Στους πόλους της μπαταρίας συνδέουμε και ένα βολτόμετρο. Η ένδειξη του βολτομέτρου είναι  $5V$ .

- α) Να σχεδιάσεις το αντίστοιχο κύκλωμα, χρησιμοποιώντας τα κατάλληλα σύμβολα.
- β) Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη;
- γ) Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει την πηγή;
- δ) Κάτω από ποια προϋπόθεση, η παρουσία του βολτομέτρου δεν επηρεάζει την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα; Πότε συμβαίνει αυτό;

4. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα (ιδανικό) αμπερόμετρο, δύο αντιστάτες αντιστάσεων  $R_1 = 20\Omega$  και  $R_2 = 30\Omega$  και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα τα διπλανής εικόνας. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη η ένδειξη του βολτόμετρου είναι  $V = 3 V$

- α) Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_1$ ;
- β) Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη  $R_2$ ;



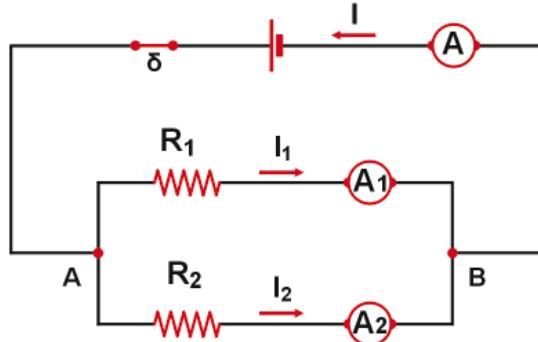
γ) Ποια είναι η ένδειξη του βολτόμετρου; δ. Ποια είναι η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος;

5. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα (ιδανικό) αμπερόμετρο, δύο αντιστάτες αντιστάσεων  $R_1 = 60\Omega$  και  $R_2 = 30\Omega$  και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα τα διπλανής εικόνας. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $I = 0,3A$ .

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;



6. Ένας μαθητής διαθέτει μια πηγή σταθερής τάσης  $12V$ , έναν αντιστάτη αντίστασης  $10\Omega$ , ένα αμπερόμετρο και καλώδια. Συνδέει σε σειρά με την πηγή το αμπερόμετρο και τον αντιστάτη. Η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $1A$ .

α) Σχεδίασε το κύκλωμα που συναρμολόγησε ο μαθητής.

β) Με βάση τα δεδομένα του και υποθέτοντας ότι όλα τα όργανα λειτουργούν σωστά, ο μαθητής κατέληξε στο συμπέρασμα ότι το αμπερόμετρο έχει αντίσταση. Πώς διαμόρφωσε αυτό το συμπέρασμα;

γ) Πόση είναι η αντίσταση του αμπερομέτρου;

δ) Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το αμπερόμετρο και πόση η ηλεκτρική τάση στα άκρα του;

ε) Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη και πόση η τάση στα άκρα του;

στ) Πόση είναι η ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος;

7. Ένας μαθητής εφαρμόζει διάφορες τάσεις στα άκρα ενός δίπολου και με ένα αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει. Όταν εφαρμόζει τάση  $2V$ , η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $30mA$ . Όταν εφαρμόζει τάση  $4V$ , η ένταση που μετρά είναι  $40mA$ . Τέλος, όταν εφαρμόζει τάση  $6V$ , η μετρούμενη ένταση είναι  $35mA$ . Υπακούει το δίπολο στον νόμο του Ohm; Εξήγησε.

8. Ένας μαθητής εφάρμοσε διάφορες τάσεις στα άκρα ενός σύρματος από άγνωστο υλικό και μέτρησε την ένταση του αντίστοιχου ηλεκτρικού ρεύματος που κάθε φορά προκαλούσε. Κατέγραψε τα αποτελέσματα των μετρήσεών του στο διπλανό πίνακα.

α) Υπολόγισε την αντίσταση του σύρματος για κάθε μέτρηση και συμπλήρωσε την Τρίτη στήλη του πίνακα.

β) Κάνε τη γραφική παράσταση της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη τάση, με βάση τις πειραματικές τιμές του πίνακα.

γ) Υπακούει το σύρμα στον νόμο του Ohm; Εξήγησε. Αν

Τάση (Volt)	Ένταση (mA)	Αντίσταση ( $\Omega$ )
0	0	
2	12	
4	25	
6	35	
8	47	
10	61	

ναι, πόση είναι η τιμή της αντίστασης του σύρματος που προκύπτει από τα πειραματικά δεδομένα;

δ) Κάνε τη γραφική παράσταση της αντίστασης του σύρματος σε συνάρτηση με την εφαρμοζόμενη τάση, με βάση τις πειραματικές του πίνακα. Συμφωνεί αυτή η γραφική παράσταση με τα προηγούμενα συμπεράσματά σου; Εξήγησε.

## Περίληψη κεφαλαίου 7: Το ηλεκτρικό ρεύμα

- Κάθε φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο, έχει δυναμική ενέργεια. Όταν το σωματίδιο μεταφερθεί από ένα σημείο του πεδίου σε άλλο, η δυναμική του ενέργεια μεταβάλλεται. Η μεταβολή της είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού μεταξύ των δυο σημείων του πεδίου και του ηλεκτρικού φορτίου του σωματιδίου.
- Η προσανατολισμένη, συλλογική κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων, κατά μήκος ενός μεταλλικού σύρματος ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα. Για να προκαλέσουμε ηλεκτρικό ρεύμα, πρέπει στα άκρα του σύρματος να εφαρμόσουμε ηλεκτρική τάση, που προέρχεται από μια ηλεκτρική πηγή.
- Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια άλλων μορφών, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τους ηλεκτρικούς καταναλωτές (λαμπτήρες, κινητήρες, κλπ).
- 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 τον αντίστοιχο χρόνο (π.χ. σε ένα δευτερόλεπτο).
- Το πηλίκο της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζουμε στα άκρα ενός αγωγού, προς την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει, ονομάζεται αντίσταση του αγωγού.
- Η αντίσταση των μεταλλικών αγωγών, εφ' όσον η θερμοκρασία τους διατηρείται σταθερή, δεν εξαρτάται από την τάση που εφαρμόζουμε στα άκρα τους και από την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τους διαρρέει. Οι αγωγοί αυτοί ονομάζονται αντιστάτες.
- Για τους αντιστάτες ισχύει ο νόμος του Ohm: Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ανάλογη με την τάση που την προκαλεί.

## ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια  
Μεταβολή ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας  
φορτισμένου σωματιδίου  
Διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση  
Ηλεκτρικό ρεύμα

Φορά ηλεκτρικού ρεύματος  
Ένταση ηλεκτρικού ρεύματος  
Αντίσταση αγωγού  
Αντιστάτης  
Σύνδεση αντιστατών