

# Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8



### 8.1 Μετατροπή της ηλεκτρικής ενέργειας σε θερμική



Εικόνα 8.1

Όταν οι ηλεκτρικές συσκευές διαρρέονται από ρεύμα, θερμαίνονται.

Κάθε αγωγός που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνεται.

Όταν ένας κοινός λαμπτήρας πυρακτώσεως λειτουργεί για αρκετό χρόνο θερμαίνεται. Αν θέσουμε σε λειτουργία μια ηλεκτρική κουζίνα, τότε η εστία της θερμαίνεται. Οι ηλεκτρικές θερμάστρες, οι κουζίνες και οι θερμοσίφωνες θερμαίνονται, όταν οι αντιστάτες που περιέχουν διαρρέονται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Γενικά, όταν ένας αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό το μελέτησε πρώτος ο Άγγλος φυσικός Τζάουλ (James Joule), και γι' αυτό ονομάζεται «**φαινόμενο Joule** (Τζάουλ)».

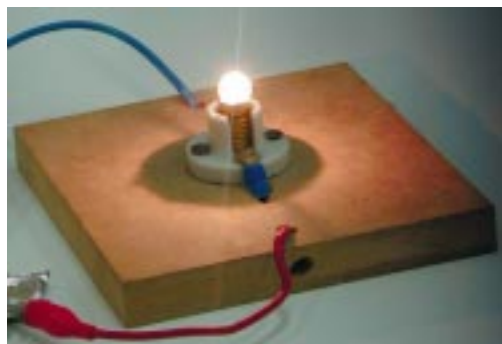
Όπως είδαμε στη φυσική της Β' Γυμνασίου, αύξηση της θερμοκρασίας του αντιστάτη σημαίνει και αύξηση της θερμικής του ενέργειας. Εφόσον ο αντιστάτης βρίσκεται σε περιβάλλον μικρότερης θερμοκρασίας, θερμότητα από τον αντιστάτη θα μεταφέρεται στο περιβάλλον του.

*Ποια είναι η προέλευση αυτής της θερμότητας;*

Γνωρίζουμε ότι η θερμότητα είναι μια μορφή ενέργειας που μεταφέρεται από ένα σώμα σε άλλο, λόγω διαφοράς θερμοκρασίας. Γνωρίζουμε επίσης ότι η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν. Μπορεί μόνο να μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, έτσι ώστε το συνολικό ποσό της να διατηρείται αμετάβλητο. Από την άλλη μεριά, τα εμπειρικά δεδομένα μας λένε ότι όταν ένας αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, τότε αυξάνεται η θερμική του ενέργεια. Επομένως θα πρέπει να δεχθούμε ότι η θερμική αυτή ενέργεια προέρχεται από το ηλεκτρικό ρεύμα.

Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια, που την ονομάζουμε «**ηλεκτρική ενέργεια**». Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται στον αντιστάτη σε θερμική.

Λόγω της αύξησης της θερμικής ενέργειας (άρα και της θερμοκρασίας) του αντιστάτη μεταφέρεται θερμότητα απ'



Εικόνα 8.2

Όσο χρόνο το λαμπάκι διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, μεταφέρεται θερμότητα από αυτό προς το περιβάλλον του.

αυτόν προς το περιβάλλον του. Έτσι η αιτία της μεταφοράς θερμότητας από έναν αντιστάτη προς το περιβάλλον του, είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει.

Το ερώτημα που αναδύεται αμέσως μετά από αυτή τη διαπίστωση, είναι:

*Ποια σχέση συνδέει το αίτιο με το αποτέλεσμα; Με ποιο τρόπο σχετίζεται το ποσό θερμότητας που προέρχεται από έναν αντιστάτη με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει;*

Για να ανακαλύψουμε τη σχέση που ζητάμε καταφεύγουμε πάλι στο πείραμα. Βυθίζουμε έναν αντιστάτη R σε νερό ορισμένης μάζας. Συνδέουμε τα άκρα του με πηγή ηλεκτρικού ρεύματος (εικόνα 8.3). Κλείνοντας τον διακόπτη, ο αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται από τον αντιστάτη R σε θερμική. Η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το νερό τώρα έχει χαμηλότερη θερμοκρασία από τον αντιστάτη. Θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό. Η θερμοκρασία του νερού ανεβαίνει. Με τη βοήθεια του θερμόμετρου καταγράφουμε την άνοδο της θερμοκρασίας ( $\Delta\theta$ ) του νερού για ορισμένο χρονικό διάστημα ( $\Delta t$ ).

Μπορούμε να υπολογίσουμε το ποσό της θερμότητας ( $Q$ ), που μεταφέρθηκε από τον αντιστάτη στο νερό στο χρονικό διάστημα  $\Delta t$ , με τη βοήθεια της εξίσωσης της θερμιδομετρίας (Θερμότητα – Φυσική Β' Γυμνασίου):

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$$

όπου:  $c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (ειδική θερμότητα του νερού),

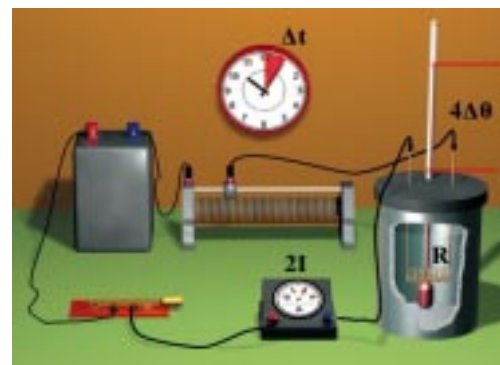
**m:** η μάζα του νερού που περιέχεται στο θερμικά μονωμένο δοχείο (kg).

**$\Delta\theta$ :** η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού ( $^\circ\text{C}$ )

Μεταβάλλουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη με τη βοήθεια του ροοστάτη. Καταγράφουμε, για το ίδιο πάντα χρονικό διάστημα, τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού ( $\Delta\theta$ ). Υπολογίζουμε τη θερμότητα που μεταφέρθηκε από τον αντιστάτη στο νερό στο ίδιο χρονικό διάστημα.

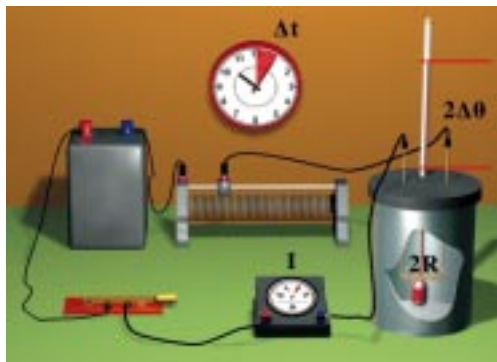
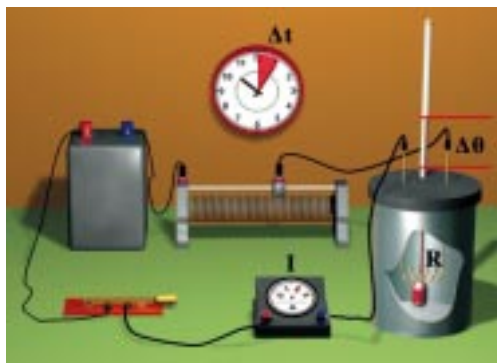
Από τα πειραματικά δεδομένα, που προκύπτουν διαπιστώνουμε ότι:

Όταν διπλασιάζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ( $2 \cdot I$ ), στον ίδιο χρόνο, μεταφέρεται από τον ίδιο αντιστάτη τετραπλάσιο ποσό θερμότητας ( $4 \cdot Q = 2^2 \cdot Q$ ) στο νερό. Όταν την τριπλασιάζουμε ( $3 \cdot I$ ), το ποσό της θερμότη-



**Εικόνα 8.3**

Όταν ο αντιστάτης διαρρέεται από ρεύμα διπλάσιας έντασης μεταφέρεται στο νερό τετραπλάσιο ποσό θερμότητας προκαλώντας αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του.



**Εικόνα 8.4**

Από τον αντιστάτη διπλάσιας αντίστασης, που διαρρέεται από ρεύμα ίδιας έντασης, στο ίδιο χρονικό διάστημα, μεταφέρεται στο νερό διπλάσιο ποσό θερμότητας.

τας που μεταφέρεται εννιαπλασιάζεται ( $9 \cdot Q = 3^2 \cdot Q$ ), κοκ.

**Συμπεραίνουμε ότι το ποσό της θερμότητας ( $Q$ ) που προέρχεται από έναν αντιστάτη, είναι ανάλογο του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.**

Παρατήρησε ότι στο πείραμα που περιγράψαμε (εικόνα 8.3), για διάφορες τιμές της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, μετράμε τα αντίστοιχα ποσά της θερμότητας που προέρχονται από τον ίδιο πάντα αντιστάτη και για ορισμένο (σταθερό) χρονικό διάστημα. Είναι, επομένως, πολύ πιθανό να σου έχουν ήδη δημιουργηθεί δύο ερωτήματα:

I. Πώς μεταβάλλεται το ποσό θερμότητας που προέρχεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με την αντίστασή του, αν διατηρήσουμε το χρόνο διέλευσης και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερά;

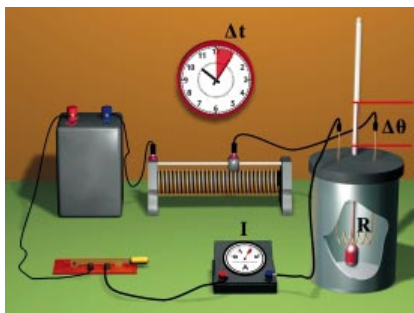
II. Πώς μεταβάλλεται το ποσό θερμότητας που προέρχεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από αυτόν, όταν διατηρούμε την ένταση και την αντίστασή του σταθερά;

Χρησιμοποιώντας αντιστάτες με διαφορετική τιμή αντίστασης και μεταβάλλοντας το χρονικό διάστημα της μέτρησης μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πειράματα (εικόνες 8.3, 8.4, 8.5) που δίνουν απάντηση σε κάθε ένα από τα ερωτήματά μας.

Τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν, μας οδηγούν στα αντίστοιχα δύο συμπεράσματα:

I. Το ποσό της θερμότητας που προέρχεται από έναν αντιστάτη, όταν ο χρόνος διέλευσης και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος διατηρούνται σταθερά, είναι ανάλογο της αντίστασής του.

II. Το ποσό της θερμότητας που προέρχεται από έναν αντιστάτη, όταν η αντίστασή του και η ένταση του ηλεκτρι-



**Εικόνα 8.5**

Όταν ο αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης για διπλάσιο χρονικό διάστημα, το ποσό της θερμότητας, που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό, διπλασιάζεται.



κού ρεύματος που τον διαρρέει διατηρούνται σταθερά, είναι ανάλογο του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος απ' αυτόν.

Ας συνοψίσουμε τα συμπεράσματα που διαμορφώσαμε από όλες τις πειραματικές δραστηριότητες, που περιγράψαμε, καταλήγοντας στη διατύπωση ενός φυσικού νόμου:

**Το ποσό της θερμότητας  $Q$  που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη, αντίστασης  $R$ , προς το περιβάλλον σε χρόνο  $t$  όταν αυτός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης  $I$ , είναι:**

**(α) ανάλογο του τετραγώνου της έντασης  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.**

**(β) ανάλογο της αντίστασης  $R$  του αντιστάτη**

**(γ) ανάλογο του χρόνου  $t$ , διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από τον αντιστάτη**

Η μαθηματική έκφραση του φυσικού νόμου, που μόλις διατυπώσαμε είναι, ως συνήθως, η μαθηματική σχέση μεταξύ των συμβόλων ( $Q$ ,  $I$ ,  $R$  και  $t$ ), που αναπαριστούν τα αντίστοιχα φυσικά μεγέθη:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

όπου όλα τα μεγέθη μετριοούνται σε μονάδες του S.I. Δηλαδή, η θερμότητα  $Q$  σε Joule, η ένταση του ρεύματος  $I$  σε A, η αντίσταση  $R$  σε  $\Omega$  και ο χρόνος  $t$  σε s.

Ο παραπάνω νόμος που αναλύει και περιγράφει το φαινόμενο Τζάουλ διατυπώθηκε αρχικά από τον Τζάουλ. Έτσι, ονομάστηκε «**νόμος του Τζάουλ**».

## Ερμηνεία του φαινομένου Τζάουλ

Γιατί η θερμοκρασία ενός μεταλλικού αγωγού που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, αυξάνεται; Με ποιο μηχανισμό η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται από τον αγωγό σε θερμική, που μεταφέρεται στο περιβάλλον του;

Για να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο Joule, θα κάνουμε, όπως συνήθως, μια κατάδυση στο μικρόκοσμο. Στη δομή της ύλης, από την οποία αποτελείται ένας μεταλλικός αγωγός. Ας προσπαθήσουμε λοιπόν, να περιγράψουμε στο μικροσκοπικό επίπεδο, όλους τους πρωταγωνιστές της παράστασης που ονομάζουμε «φαινόμενο Joule».

- **Ο μεταλλικός αγωγός** (για παράδειγμα ένα σύρμα από χαλκό): Αποτελείται από ένα πλέγμα ιόντων χαλκού, που κάνουν μικρές ταλαντώσεις σε τυχαίες διευθύνσεις, γύρω από εντελώς συγκεκριμένες θέσεις (άτακτη κίνηση) (εικό-



Εικόνα 8.6

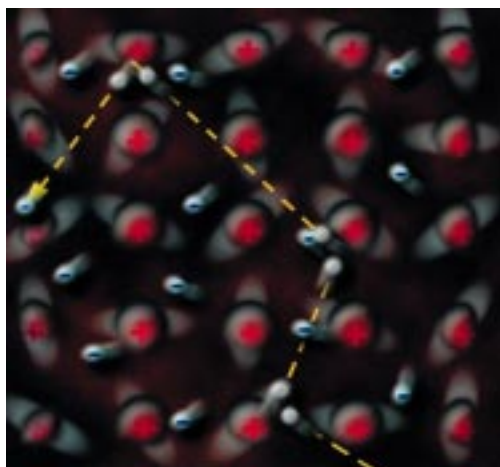
Γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμικής ενέργειας αντιστάτη σε συνάρτηση με: (α) την ένταση του ρεύματος, (β) την αντίσταση και (γ) το χρόνο διέλευσης του ρεύματος.



Εικόνα 8.7

James Joule (1818 – 1889)

Άγγλος φυσικός, ζυθοποιός στο επάγγελμα. Ασχολήθηκε με έρευνες που αφορούσαν την ενέργεια και τις μετατροπές της. Με τα περίφημα πειράματά του, έδειξε ότι σε κάθε μεταβολή, η ολική ενέργεια διατηρείται σταθερή.



**Εικόνα 8.8**

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα ιόντα. Ενέργεια μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια στα ιόντα. Αυξάνεται η θερμική ενέργεια των ηλεκτρονίων και των ιόντων του σύρματος, με αποτέλεσμα την άνοδο της θερμοκρασίας του υλικού.



**Εικόνα 8.9**

Τομή λαμπτήρα πυρακτώσεως.

να 8.8). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου κινούνται χαοτικά (τυχαία προς κάθε κατεύθυνση) σε όλη την έκταση του σύρματος. Κατά την κίνησή τους αλληλεπιδρούν συχνά με τα ιόντα.

- **Η θερμοκρασία του μετάλλου:** σχετίζεται κυρίως με την κινητική των ιόντων του, λόγω της άτακτης κίνησης τους. Η ενέργεια αυτή ονομάζεται *θερμική ενέργεια του μετάλλου*. Όσο πιο έντονη είναι η άτακτη κίνηση των ιόντων, τόσο μεγαλύτερη είναι η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του μετάλλου (Θερμότητα – Φυσική Β΄ Γυμνασίου).
- **Το ηλεκτρικό ρεύμα:** Προκαλείται από μια διαφορά δυναμικού που εφαρμόζουμε στα άκρα του σύρματος. Τότε, μέσα στο σύρμα αναπτύσσεται ένα ηλεκτρικό πεδίο, που ασκεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ηλεκτρικές δυνάμεις. Αυτές τα αναγκάζουν, εκτός από την άτακτη κίνηση τους, να μετατοπίζονται και κατά μήκος του σύρματος. Έτσι, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αποκτούν, μια πρόσθετη κινητική ενέργεια.

Καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται, αλληλεπιδρούν, όπως είπαμε, με τα ιόντα του πλέγματος. Τότε, όπως συμβαίνει και με δύο μπάλες του μπιλιάρδου, ένα μέρος της πρόσθετης κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα ιόντα, με αποτέλεσμα η άτακτη κίνηση (ταλάντωση) των ιόντων γίνεται εντονότερη. Ταυτόχρονα, οι δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου επιταχύνουν εκ νέου τα ελεύθερα ηλεκτρόνια και αναπληρώνουν την κινητική τους ενέργεια. Έτσι, συνολικά η χαοτική κίνηση των σωματιδίων του υλικού γίνεται εντονότερη. Η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του αυξάνονται.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του μετάλλου σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντός του, έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το σύρμα προς το περιβάλλον του. Τη θερμότητα αυτή μετρήσαμε στο σχετικό πείραμα της εικόνας 8.3, κατά τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

## Εφαρμογές του φαινομένου Τζάουλ

### 1. Λαμπτήρας πυρακτώσεως.

Αν θερμάνουμε ένα μεταλλικό σύρμα και η θερμοκρασία του ανέβει μερικές εκατοντάδες ή χιλιάδες βαθμούς Κελσίου, τότε το σύρμα φωτοβολεί. Εκμεταλλευόμαστε αυτό το φαινόμενο, σε συνδυασμό με το φαινόμενο Joule, στην κατασκευή των λαμπτήρων πυρακτώσεως:

Διοχετεύουμε ηλεκτρικό ρεύμα μέσα από ένα δύστηκτο μεταλλικό σύρμα. Τότε, η θερμοκρασία του σύρματος ανε-

βαίνει. Ρυθμίζοντας κατάλληλα την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει το σύρμα, μπορούμε να πετύχουμε τέτοια τιμή της θερμοκρασίας του, ώστε να φωτοβολεί.

Σε τόσο υψηλές θερμοκρασίες το υλικό του σύρματος αντιδρά χημικά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα την οξείδωση και τη διάλυσή του. Για να αποφύγουμε τέτοιες, ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις, τοποθετούμε το σύρμα σε χώρο όπου υπάρχει αδρανές αέριο ή σε χώρο κενό από αέρα, που περιβάλλεται από γυάλινο περίβλημα (εικόνα 8.9).

Η θερμοκρασία του σύρματος ανεβαίνει σε αρκετά υψηλή τιμή (περίπου στους 2.000 °C) και μπορεί να προκαλέσει την τήξη του μετάλλου. Γι' αυτό, το σύρμα κατασκευάζεται από δύστηκτα μέταλλα, όπως είναι, για παράδειγμα το βολφράμιο.

## 2. Ηλεκτρική κουζίνα.

Η θερμότητα που προέρχεται από την ηλεκτρική κουζίνα ή τον ηλεκτρικό θερμοσίφωνα, οφείλεται στο φαινόμενο Joule. Η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται σε θερμική από έναν ή περισσότερους αντιστάτες, που περιέχουν οι συσκευές αυτές. Η θερμοκρασία τους αυξάνεται, οπότε θερμότητα μεταφέρεται προς το περιβάλλον και το μαγειρικό σκεύος.

## 3. Τηκόμενη ασφάλεια.

Είναι πιθανό, λόγω βλάβης μιας συσκευής ή από ένα τυχαίο γεγονός, οι δύο πόλοι μιας ηλεκτρικής πηγής να συνδεθούν μεταξύ τους με αγωγό πολύ μικρής αντίστασης. Μια τέτοια σύνδεση, συχνά ονομάζεται *βραχυκύκλωμα*. Τότε, σύμφωνα με το νόμο του Ohm,

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

αφού η αντίσταση (R) του αγωγού είναι πολύ μικρή, η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που θα περάσει απ' αυτόν θα είναι πολύ μεγάλη.

Γνωρίζουμε όμως, ότι το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική στον αγωγό, είναι ανάλογο του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, που τον διαρρέει (νόμος του Joule). Είναι επομένως πολύ πιθανό η θερμοκρασία του αγωγού να ανέβει τόσο πολύ, ώστε να προκληθεί τήξη του αγωγού και καταστροφή της συσκευής.

Για να προστατέψουμε τις συσκευές από ένα τέτοιο εν-



Εικόνα 8.10

Στην ηλεκτρική κουζίνα η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετατρέπεται σε θερμική.



Εικόνα 8.11

Σχηματική τομή ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα. Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια του αντιστάτη. Η θερμοκρασία του ανεβαίνει, με αποτέλεσμα να μεταφέρεται από αυτόν προς το νερό θερμότητα.



Εικόνα 8.12

Η τηκόμενη ασφάλεια είναι ένας αντιστάτης που συνδέεται σε σειρά με τη συσκευή που θέλουμε να προστατεύσουμε. Όταν η ένταση του ρεύματος ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, ο αντιστάτης λιώνει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται.



### Βραχυκύκλωμα

- Από ένα σφουγγαράκι για κατσαρόλες με αποσολύσυμα, ξεχώρισε δυο σύρματα.
- Ένωσε τους πόλους μιας μπαταρίας 4,5V με αυτά
- Τι παρατηρείς;
- Πως το ερμηνεύεις;

δεχόμενο, χρησιμοποιούμε τις ηλεκτρικές ασφάλειες. Υπάρχουν πολλών ειδών ηλεκτρικές ασφάλειες, που έχουν διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Η λειτουργία των τηχομένων ασφαλειών στηρίζεται στο φαινόμενο Joule, και η κατασκευή τους είναι εξαιρετικά απλή: Αποτελούνται από έναν αντιστάτη κατασκευασμένο από εύτηκτο μέταλλο. Όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, η άνοδος της θερμοκρασίας του, προκαλεί την τήξη του μετάλλου. Έτσι, το κύκλωμα ανοίγει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται.

Η σύνδεση της ασφάλειας στο κύκλωμα γίνεται πάντοτε σε σειρά με τη συσκευή που θέλουμε να προστατέψουμε. Σε κάθε ασφάλεια αναφέρεται η μέγιστη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να τη διαρρέει, χωρίς να προκληθεί τήξη του αντιστάτη που περιέχει.

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 1

Μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο, όπου υπάρχει νερό μάζας  $m = 0,2\text{Kg}$ , τοποθετούμε έναν αντιστάτη αντίστασης  $R = 8,4\Omega$ . Ο αντιστάτης συνδέεται με ηλεκτρική πηγή μέσω αμπερομέτρου. Κλείνουμε το διακόπτη και παρατηρούμε ότι η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι  $I = 2\text{A}$ . Αναδεύουμε το νερό διαρκώς.

Με ένα χρονόμετρο μετράμε το χρόνο θέρμανσης του νερού. Τη χρονική στιγμή  $t = 0$ ,



η ένδειξη του θερμομέτρου είναι  $18^\circ\text{C}$ . Ποια θα είναι η ένδειξη του θερμομέτρου τη χρονική στιγμή  $t = 2\text{min}$ ;

Η ειδική θερμότητα του νερού είναι  $c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

### Δεδομένα

Μάζα νερού:  $m = 0,2\text{Kg}$

Αντίσταση αντιστάτη:  $R = 8,4\Omega$ .

Ένταση ρεύματος:  $I = 2\text{A}$

Χρονική διάρκεια θέρμανσης νερού:

$\Delta t = 2\text{min}$

Ειδική θερμότητα του νερού

είναι:  $c = 4200 \frac{\text{J}}{\text{kg} \cdot ^\circ\text{C}}$

Αρχική θερμοκρασία νερού:

$\theta_{\text{αρχικό}} = 18^\circ\text{C}$

### Ζητούμενα

Τελική θερμοκρασία του νερού  
 $\theta_{\text{τελική}}$

### Βασικές σχέσεις

A.  $Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta$

B.  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$

### Λύση

**A.** Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται στον αντιστάτη σε θερμική και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νερό με τη μορφή θερμότητας. Έτσι, η θερμότητα που μεταφέρεται στο νερό είναι:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t \quad \text{ή} \quad Q = 2^2 \cdot 8,4 \cdot 120\text{J} \quad \text{ή} \quad Q = 4.032\text{J}$$

**B.** Η θερμότητα ( $Q$ ) που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας του νε-



ρού  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ . Η μεταβολή της θερμοκρασίας σχετίζεται με τη θερμότητα που την προκαλεί μέσω της εξίσωσης της θερμιδομετρίας:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta \quad \Delta\theta = \frac{Q}{c \cdot m} \quad \Delta\theta = \frac{4032}{4200 \cdot 0,2} ^\circ\text{C} = 4,8^\circ\text{C} \quad \Delta\theta = 4,8^\circ\text{C}$$

Έτσι η τελική θερμοκρασία του νερού είναι:

$$\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta \quad \text{ή} \quad \theta_2 = 18^\circ\text{C} + 4,8^\circ\text{C} \quad \text{ή} \quad \theta_2 = 22,8^\circ\text{C}$$

## 8.2 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

### Ηλεκτρικές συσκευές

Κάθε ηλεκτρική συσκευή ή μηχανή, που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα μετατρέπει την ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα, σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Για παράδειγμα, ο αντιστάτης μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική, σε μηχανική ενέργεια. Ο ηλεκτρικός συσσωρευτής που χρησιμοποιούμε στα αυτοκίνητα, και οι επαναφορτιζόμενες μπαταρίες, κατά τη φόρτισή τους μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε χημική. Ο λαμπτήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική και φωτεινή κ.λ.π.

Παρατήρησε ότι όλες αυτές οι ηλεκτρικές συσκευές παρουσιάζουν ένα κοινό χαρακτηριστικό, που είναι ανεξάρτητο του τρόπου κατασκευής και λειτουργίας τους:

Κάθε ηλεκτρική συσκευή έχει δύο πόλους (άκρα) με τους οποίους συνδέεται σε κάποιο ηλεκτρικό κύκλωμα ή απ' ευθείας με μια ηλεκτρική πηγή. Όταν η συσκευή μετασχηματίζει ηλεκτρική ενέργεια και τη μετατρέπει σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής, τότε διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, που έχει μια ένταση  $I$  και στους πόλους (άκρα) της υπάρχει μια διαφορά δυναμικού  $V$  (εικόνα 8.13).

Έτσι, για παράδειγμα, στη διάταξη της εικόνας 8.14, όταν ο κινητήρας περιστρέφεται και ανυψώνει ένα βαρίδι, μετατρέπει ένα μέρος της ενέργειας που μεταφέρεται σ' αυτόν από το ηλεκτρικό ρεύμα, σε μηχανική. Το υπόλοιπο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμότητα, λόγω του φαινομένου Joule.

Τότε, διαπιστώνουμε ότι ο κινητήρας διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$ , που τη μετράμε με το αμπερό-



**Εικόνα 8.13.**

Κάθε ηλεκτρική συσκευή μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής. Για να λειτουργήσει, συνδέεται σε ηλεκτρικό κύκλωμα μέσω των δύο πόλων της, A και B. Η συσκευή διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I$  και μεταξύ των πόλων της υπάρχει διαφορά δυναμικού  $V$



μετρο (A), και στα άκρα του υπάρχει τάση V, που τη μετράμε με το βολτόμετρο (V).

### Ενέργεια που μετατρέπει μια ηλεκτρική συσκευή

Πόση είναι η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που «καταναλώνει» μια συσκευή και τη μετατρέπει σε ενέργεια άλλων μορφών; Ή, με διαφορετική διατύπωση, πόση είναι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια ηλεκτρική συσκευή;

Είδαμε ότι κάθε ηλεκτρική συσκευή που μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια, διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα και στα άκρα της εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού (V).

Κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τη συσκευή, μετακινούνται φορτισμένα σωματίδια (ηλεκτρόνια) από το ένα άκρο της στο άλλο. Σε χρόνο t, το φορτίο που μεταφέρεται από τα φορτισμένα σωματίδια είναι:

$$q = I \cdot t,$$

όπου I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

Γνωρίζουμε όμως (παράγραφος 7.1), ότι κατά τη μετακίνηση ενός φορτίου q μεταξύ δύο σημείων που έχουν διαφορά δυναμικού V η μεταβολή της ηλεκτρικής του ενέργειας είναι ανάλογη του q και της V:

$$E_{\eta\lambda} = q \cdot V$$

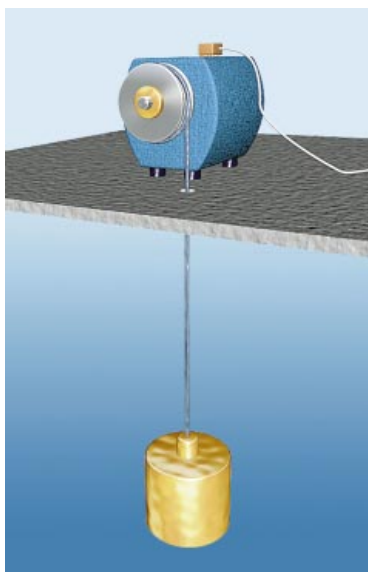
Από τις δύο αυτές σχέσεις προκύπτει ότι η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στην ηλεκτρική συσκευή είναι:

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

όπου V είναι η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα (πόλους) της συσκευής, I είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει και t είναι ο χρόνος λειτουργίας της.

Πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση αυτή ισχύει για κάθε είδος ηλεκτρικής συσκευής, που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Έτσι, μπορούμε να την εφαρμόσουμε σε κινητήρα, αντιστάτη, μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, λαμπτήρα κλπ.

Η μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και κάθε μορφής ενέργειας, στο S.I. είναι το ένα Joule. Σύμφωνα με την προηγούμενη σχέση, η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώ-



**Εικόνα 8.14**

Ο κινητήρας ανυψώνοντας το βαρίδι, μετατρέπει ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας σε μηχανική.

νει σε ένα δευτερόλεπτο μια συσκευή που διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1A, και μεταξύ των άκρων της υπάρχει τάση 1V, είναι:

$$E_{\eta\lambda} = (1 \text{ V}) \cdot (1 \text{ A}) \cdot (1 \text{ s}) = 1 \text{ J}$$

Όστε ένα ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1A, που διαρρέει επί 1s μια ηλεκτρική συσκευή, στα άκρα της οποίας η μετρούμενη τάση είναι 1V, μεταφέρει σ' αυτήν ενέργεια 1J.

## Η ισχύς που «καταναλώνει» μια ηλεκτρική συσκευή

Στις πρακτικές εφαρμογές δεν μας ενδιαφέρει μόνον πόση ενέργεια μετατρέπει μια συσκευή ή μηχανή, αλλά και ο χρόνος μέσα στον οποίο συμβαίνει αυτό. Έτσι λοιπόν, στο αντίστοιχο κεφάλαιο της Μηχανικής, ορίσαμε την έννοια της ισχύος.

Η ισχύς (P) είναι το ποσό της ενέργειας (E) που μετατρέπει (παράγει, καταναλώνει) ή μεταφέρει μια μηχανή (ή, γενικότερα, συσκευή) προς το αντίστοιχο (απαιτούμενο) χρονικό διάστημα (t).

Στη γλώσσα των μαθηματικών γράφουμε:

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

Γνωρίσαμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια ( $E_{\eta\lambda}$ ) που μεταφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια ηλεκτρική συσκευή, μέσα σε χρόνο t, είναι:

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

όπου V είναι η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της συσκευής και I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

Επομένως, σύμφωνα με τον ορισμό της ισχύος, η ηλεκτρική ισχύς που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια ηλεκτρική συσκευή είναι:

$$P_{\eta\lambda} = \frac{E_{\eta\lambda}}{t} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t} = V \cdot I$$

Δηλαδή:

$$P_{\eta\lambda} = V \cdot I$$

Όστε, η ηλεκτρική ισχύς που «καταναλώνει» μια, οποιαδήποτε, ηλεκτρική συσκευή, είναι ίση με το γινόμενο της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει επί τη διαφορά δυναμικού που υπάρχει στους πόλους της.

Έτσι, για παράδειγμα, αν στα άκρα μιας ηλεκτρικής συ-



### Ηλεκτρικός κινητήρας

Συναρμολογούμε το κύκλωμα που εικονίζεται στην εικόνα 8.14. Με τη βοήθεια ηλεκτρικού κινητήρα ανυψώνουμε ένα βαρίδι κατά ορισμένο ύψος.

Σημειώνουμε:

- Τις ενδείξεις των οργάνων μέτρησης.
- Το χρόνο που απαιτήθηκε για τη μετακίνηση του βαριδιού.

Μετακινούμε το δρομέα του ροοστάτη και αυξάνουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, που διαρρέει τον κινητήρα. Ανυψώνουμε το ίδιο βαρίδι κατά το ίδιο ύψος.

Πώς μεταβλήθηκε τότε, καθένα από τα ακόλουθα μεγέθη;

- Η τάση στα άκρα του κινητήρα.
- Η μεταβολή της μηχανικής ενέργειας του βαριδιού.
- Ο χρόνος που απαιτήθηκε για τη μετακίνησή του.
- Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που μετατράπηκε σε μηχανική.
- Η ηλεκτρική ενέργεια που αποδόθηκε συνολικά στον κινητήρα.
- Η ηλεκτρική ισχύς που αποδόθηκε στον κινητήρα.

σκευής εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού  $V = 1\text{V}$  και μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I = 1\text{A}$ , τότε η ηλεκτρική ισχύς που καταναλώνει είναι:

$$P_{\eta\lambda} = (1\text{V}) \cdot (1\text{A}) = 1\text{W}$$

Με άλλα λόγια, ένα ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $1\text{A}$ , που διαρρέει μια συσκευή στα άκρα της οποίας υπάρχει διαφορά δυναμικού  $1\text{V}$ , μεταφέρει σ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ  $1\text{W}$ . Αν η συσκευή αυτή είναι ένας κινητήρας, που μετατρέπει σχεδόν ολόκληρη την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική, μπορούμε να τον χρησιμοποιήσουμε για να ανυψώσουμε ένα μήλο  $100\text{g}$  σε ύψος  $1\text{m}$ , μέσα σε ένα δευτερόλεπτο.



**Εικόνα 8.15**

Σε κάθε ηλεκτρική συσκευή αναγράφεται η ισχύς που μετατρέπει ή “καταναλώνει” καθώς και η διαφορά δυναμικού που πρέπει να εφαρμόζεται στα άκρα της για να αποδίδει την παραπάνω ισχύ.



### **Ηλεκτρική ενέργεια και ισχύς που μετατρέπει ένας αντιστάτης**

Στον αντιστάτη η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται εξ ολοκλήρου σε θερμική ενέργεια του υλικού του αντιστάτη και στη συνέχεια μεταφέρεται με τη μορφή θερμότητας προς το περιβάλλον του. Το ποσό της θερμότητας  $Q$ , που μεταφέρεται από τον αντιστάτη προς το περιβάλλον του είναι, επομένως, ίσο με την ηλεκτρική ενέργεια ( $E_{\eta\lambda}$ ) που “καταναλώνει”, στον ίδιο χρόνο:

$$Q = E_{\eta\lambda}$$

Γνωρίζουμε ότι η ηλεκτρική ενέργεια που “καταναλώνει” μια, οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή, άρα και ο αντιστάτης, δίνεται από τη σχέση:

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

όπου  $V$  η τάση στα άκρα του,  $I$  η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει και  $t$  ο χρόνος διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος απ' αυτόν.

Γνωρίζουμε όμως, ότι στην περίπτωση του αντιστάτη, η τάση  $V$  και η ένταση  $I$  σχετίζονται μεταξύ τους μέσω του νόμου του  $\Omega\mu$ . [**Προσοχή:** Ο νόμος του  $\Omega\mu$  ισχύει **μόνο** για αντιστάτες. Για παράδειγμα, η τάση των άκρων ενός κινητήρα που περιστρέφεται, δεν σχετίζεται μέσω του νόμου του  $\Omega\mu$  με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει].

Δηλαδή:

$$V = I \cdot R$$

όπου  $R$  η αντίσταση του αντιστάτη.

Οι τρεις προηγούμενες εξισώσεις μας οδηγούν στη:

$$Q = I^2 \cdot R \cdot t$$

που είναι η γνωστή μας μαθηματική διατύπωση του νόμου του Τζάουλ.

Βλέπουμε, δηλαδή, ότι ο νόμος του Τζάουλ προκύπτει ως μια ειδική περίπτωση της γενικής σχέσης:

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

η οποία εφαρμόζεται σε κάθε ηλεκτρική συσκευή. Ο νόμος του Τζάουλ προέκυψε απ' αυτήν σε συνδυασμό με το νόμο του  $\Omega\mu$ , μόνο για την περίπτωση του αντιστάτη. Γιατί μόνο στους αντιστάτες μπορούμε να εφαρμόσουμε το νόμο του  $\Omega\mu$ .

## ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 2

Με τη βοήθεια ενός ηλεκτρικού κινητήρα ανυψώνουμε μια πέτρα βάρους  $w = 10\text{N}$  σε ύψος  $h = 0,9\text{m}$ . Στα άκρα του έχουμε εφαρμόσει διαφορά δυναμικού  $V = 5\text{V}$ , όποτε με ένα αμπερόμετρο διαπιστώνουμε ότι διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $I = 1\text{A}$ . Η ανύψωση της πέτρας διήρκεσε χρονικό διάστημα  $\Delta t = 2\text{s}$ .

- α. Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στον κινητήρα;
- β. Πόση είναι η δυναμική ενέργεια που απέκτησε η πέτρα;
- γ. Πόσο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατράπηκε σε θερμική ενέργεια;
- δ. Πόση είναι η απόδοση του κινητήρα;

### Δεδομένα

$$V = 5\text{V}$$

$$I = 1\text{A}$$

$$t = 2\text{s}$$

$$w = 10\text{N}$$

$$h = 0,9\text{m}$$

### Ζητούμενα

$$E_{\eta\lambda}$$

$$E_{\delta\upsilon\nu}$$

$$Q$$

$$\alpha$$

### Βασικές σχέσεις

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

$$E_{\delta\upsilon\nu} = B \cdot h$$

Διατήρηση της ενέργειας

### Λύση

**A.** Η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα είναι:

$$E_{\eta\lambda} = V \cdot I \cdot t$$

$$E_{\eta\lambda} = (5\text{V}) \cdot (1\text{A}) \cdot (2\text{s}) = 10\text{J}$$

$$\text{Ώστε: } E_{\eta\lambda} = 10\text{J}$$

**B.** Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρθηκε στον κινητήρα, μετατράπηκε σε μηχανική ενέργεια της πέτρας. Η μηχανική ενέργεια που απέκτησε η πέτρα είναι ίση με τη δυναμική ενέργεια που έχει στη νέα της θέση:

$$E_{\mu\chi} = E_{\delta\upsilon\nu} = B \cdot h = (10\text{N}) \cdot (0,9\text{m}) \quad \text{ή} \quad E_{\delta\upsilon\nu} = 9\text{J}$$

$$\text{Ώστε: } E_{\mu\chi} = 9\text{J}$$

**Γ.** Η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα, μετατρέπεται αφ' ενός σε μηχανική και αφ' ετέρου σε θερμική. Η θερμότητα οφείλεται στο φαινόμενο Joule και στις τριβές που υπάρχουν στα κινούμενα μέρη της διάταξης.

Από την αρχή διατήρησης της ενέργειας έχουμε:

$$E_{\eta\lambda} = E_{\mu\chi} + Q \quad \text{ή} \quad Q = E_{\eta\lambda} - E_{\mu\chi} \quad \text{ή} \quad Q = (10\text{J}) - (9\text{J}) = 1\text{J}$$

$$\text{Ώστε: } Q = 1\text{J}$$

**Δ.** Η απόδοση ενός κινητήρα ορίζεται ως το πηλίκο της μηχανικής ενέργειας που αποδίδεται απ' αυτόν, προς την μεταφερόμενη σ' αυτόν ηλεκτρική ενέργεια, στον ίδιο χρόνο. Συνήθως, εκφράζεται ως ποσοστό, επί τοις εκατό, της ηλεκτρικής ενέργειας που αποδίδεται στον κινητήρα:

$$\alpha = \frac{E_{\mu\chi}}{E_{\eta\lambda}} \quad \alpha = \frac{9\text{J}}{10\text{J}} \quad \alpha = 0,9$$

$$\text{Ώστε: } \alpha = 90\%$$



## ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

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

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





1. Όταν ένας αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του ..... Ένα ποσό ..... μεταφέρεται απ' αυτόν προς το ..... του. Το ποσό αυτό είναι ανάλογο του ..... του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.
2. Όταν ένας μεταλλικός αγωγός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από, ένα μέρος της ..... ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα ..... του μεταλλικού πλέγματος. Η ..... των ελεύθερων ηλεκτρονίων μειώνεται προσωρινά. Όμως, οι δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου τα ....., και αναπληρώνουν την ενέργειά τους. Η хаοτική κίνηση όλων των σωματιδίων του υλικού γίνεται ..... Η ..... ενέργεια του υλικού και η ..... του αυξάνονται.
3. Κάθε συσκευή που μετατρέπει την ..... σε ενέργεια άλλης μορφής, ονομάζεται ηλεκτρικός καταναλωτής. Η ..... ενέργεια που μεταφέρει το ..... σ' έναν ηλεκτρικό καταναλωτή είναι ανάλογη της ..... του, της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στα άκρα του καταναλωτή και του ..... που λειτουργεί.

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




4. Βυθίζουμε έναν αντιστάτη από χαλκό σε νερό, που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο. Ο αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, την ένταση του οποίου ρυθμίζουμε με έναν ροοστάτη. Όταν ο αντιστάτης διαρρέεται από ρεύμα έντασης 1A, η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται από τους 20°C στους 22°C σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού.

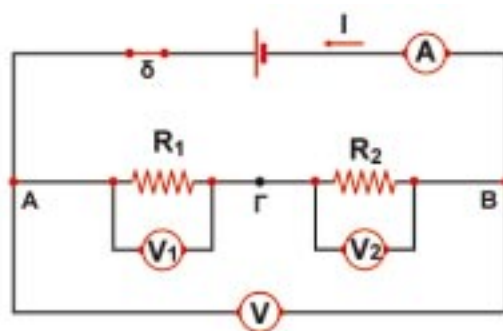





- α) Σε χρονικό διάστημα δύο λεπτών η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται από τους 20°C στους 28°C.
  - β) Μετακινώντας τη θέση του δρομέα στον ροοστάτη μεταβάλλουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε 2A, τότε σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται από τους 20°C στους 24°C.
  - γ) Αν αντικαταστήσουμε τον αντιστάτη με άλλον διπλάσιας αντίστασης και ρυθμίσουμε τον ροοστάτη έτσι ώστε η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει να είναι 1A, σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού μεταβάλλεται από τους 20°C στους 24°C.
  - δ) Αν με τον αρχικό αντιστάτη, ρυθμίσουμε την ένταση στα 0,5A και θερμάνουμε το νερό για δύο λεπτά, η θερμοκρασία του θα μεταβληθεί από τους 20°C στους 24°C.
5. Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός μεταλλικού αγωγού, όταν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, οφείλεται:
    - α) Στην αύξηση της κινητικής ενέργειας μόνον των ελεύθερων ηλεκτρονίων του.
    - β) Στην αύξηση της κινητικής ενέργειας μόνον των ιόντων του μεταλλικού πλέγματος.

- γ) Στην προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων του.
- δ) Στην αύξηση της χαοτικής κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων του και των ιόντων του μεταλλικού πλέγματος.
6. Στους πόλους ενός ηλεκτρικού κινητήρα εφαρμόζεται ηλεκτρική τάση 5V, οπότε διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 0,1A. Ο κινητήρας περιστρέφεται και ανυψώνει μια πέτρα.
- α) Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας είναι 0,5W.
- β) Στον κινητήρα μεταφέρεται ηλεκτρική ισχύς 0,5W.
- γ) Ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται στον κινητήρα, μετατρέπεται σε θερμικές απώλειες, λόγω του φαινομένου Joule.
- δ) Κάθε δευτερόλεπτο 0,5J ηλεκτρικής ενέργειας, που μεταφέρονται από το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα, μετατρέπονται σε θερμότητα.
- ε) Η μηχανική ενέργεια που αποδίδει ο κινητήρας σε ένα λεπτό, είναι μικρότερη των 30J.
- **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν.**
7. Συνδέουμε τους πόλους μιας μπαταρίας με τα άκρα ενός αντιστάτη. Βυθίζουμε τον αντιστάτη σε νερό που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο. Περιγράψε τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν στη διάταξη.
8.  Ένας αντιστάτης διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα ορισμένης έντασης για χρονικό διάστημα δύο λεπτών. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σ' αυτόν σε θερμική είναι 30J. Αν διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα διπλάσιας έντασης, ποιο είναι το αντίστοιχο ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική σε ένα λεπτό;
9. Με ποιο τρόπο προστατεύεται μια ηλεκτρική συσκευή με τη βοήθεια μιας τηκόμενης ασφάλειας;
10.  Στους πόλους ενός κινητήρα εφαρμόζουμε διαφορά δυναμικού, οπότε διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Ο κινητήρας περιστρέφεται και με τη βοήθεια ενός σκοινιού ανυψώνει σώμα ορισμένου βάρους. Περιγράψε τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία του κινητήρα.
11. Σε ηλεκτρικό καταναλωτή αναγράφονται, από τον κατασκευαστή, οι ενδείξεις «12V, 30W». Τι σημαίνει αυτή η πληροφορία; Αν εφαρμόσουμε στους πόλους του καταναλωτή τάση 12V, πόση θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα τον διαρρέει;
12.  Μπορεί ένας κινητήρας να αποδίδει μηχανική ισχύ μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σ' αυτόν; Εξήγησε.
13.  Τρεις ηλεκτρικές συσκευές, ένας αντιστάτης, ένας κινητήρας και ένας συσσωρευτής, έχουν χαρακτηριστικά λειτουργίας (12V, 6W), (12V, 30W) και (12V, 24W), αντίστοιχα. Πώς πρέπει να τις συνδέσουμε με πηγή σταθερής τάσης 12V, ώστε να λειτουργήσουν σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή τους; Πόση είναι η ολική ηλεκτρική ισχύς που παρέχει τότε η ηλεκτρική πηγή και στις τρεις συσκευές;

## Α Σ Κ Η Σ Ε Ι Σ

1. Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής σταθερής τάσης 6V, συνδέουμε αντιστάτη αντίστασης 6Ω, σε σειρά με αμπερόμετρο. Αν υποθέσουμε ότι το αμπερόμετρο δεν επηρεάζει την λειτουργία του κυκλώματος τότε
  - α) Σχεδίασε το κύκλωμα.
  - β) Ποια είναι η ένδειξη του αμπερομέτρου;
  - γ) Ποιο είναι το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη προς το περιβάλλον του σε χρόνο δύο λεπτών;
  - δ) Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδει η πηγή στο κύκλωμα, στον ίδιο χρόνο;
  - ε)  Αν αντικαταστήσουμε τον αντιστάτη με έναν άλλο που έχει τη μισή αντίσταση, σε πόσο χρόνο θα παραχθεί απ' αυτόν το ίδιο ποσό θερμότητας;
  - στ) Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδει η ηλεκτρική πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο, σε κάθε μια από τις δύο περιπτώσεις;
  
2. Συνδέουμε αντιστάτη αντίστασης  $R = 12\Omega$  με ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης  $U = 6V$  και τον βυθίζουμε σε νερό μάζας 0,1kg, που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο. Η αρχική θερμοκρασία του νερού είναι  $18^\circ C$ .
  - α) Κάνε τη σχηματική αναπαράσταση της διάταξης που χρησιμοποιούμε
  - β) Υπολόγισε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.
  - γ)  Σε πόσο χρόνο η θερμοκρασία του νερού θα μεταβληθεί από τους  $20^\circ C$  στους  $23^\circ C$ ; Η ειδική θερμότητα του νερού είναι  $c = 4200 \frac{J}{kg \cdot ^\circ C}$
  
3.  Ο αντιστάτης ηλεκτρικού θερμοσίφωνα έχει αντίσταση  $40\Omega$  και διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 5A. Το 70% του ποσού της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον, απορροφάται από το νερό μάζας 10kg, που περιέχει ο θερμοσίφοντας, και αυξάνει τη θερμοκρασία του. Υπολόγισε:
  - α) Την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στο θερμοσίφωνα σε χρόνο 2 min.
  - β) Τη μεταβολή της θερμικής ενέργειας του νερού στον ίδιο χρόνο.
  - γ) Τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού στον ίδιο χρόνο. Η ειδική θερμότητα του νερού είναι  $4200 J/kg \cdot ^\circ C$ .
  
4. Στο κύκλωμα της διπλανής εικόνας οι δύο αντιστάτες έχουν αντιστάσεις  $R_1 = 20\Omega$  και  $R_2 = 40\Omega$ , αντίστοιχα μόλις κλείσουμε τον διακόπτη η ένδειξη του βολτόμετρου είναι 12V. (το αμπερόμετρο δεν επηρεάζει τη λειτουργία του κυκλώματος).
  - α) Ποια θα είναι τότε η ένδειξη του αμπερομέτρου;
  - β) Υπολόγισε το ποσό της θερμότητας που από κάθε αντιστάτη στο περιβάλλον σε δύο λεπτά.
  - γ) Υπολόγισε την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα, στον ίδιο χρόνο;



- δ) Υπολόγισε την παραγόμενη θερμότητα ανά δευτερόλεπτο σε κάθε αντιστάτη;
- ε) Υπολόγισε την ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο.
5.  Συνδέουμε τους πόλους κινητήρα με ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης 12V, οπότε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει είναι 2A. Ο κινητήρας αποδίδει σε ένα λεπτό μηχανική ενέργεια 1000J.
- α) Υπολόγισε την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα.
- β) Υπολόγισε την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα, σε χρόνο ενός λεπτού.
- γ) Υπολόγισε το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από τον κινητήρα στο περιβάλλον του, στον ίδιο χρόνο.
- δ) Υπολόγισε την απόδοση του κινητήρα.
6.  Κινητήρας, σύμφωνα με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του, όταν λειτουργεί υπό τάση 120V, μπορεί να μεταφερθεί σ' αυτόν ηλεκτρική ισχύς 600W. Τότε, το 80% της ηλεκτρικής ισχύος, μετατρέπεται από τον κινητήρα σε μηχανική ισχύ. Όταν ο κινητήρας λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες, υπολόγισε:
- α) Την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στον κινητήρα όταν λειτουργεί επί δέκα λεπτά.
- β) Την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.
- γ) Τη μηχανική ισχύ που αποδίδει.
- δ) Τη μηχανική ενέργεια που αποδίδει σε δέκα λεπτά λειτουργίας.
- ε) Το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρεται στο περιβάλλον του με τη μορφή θερμότητας κάθε δευτερόλεπτο.
- στ) Το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα και μεταφέρεται στο περιβάλλον του, σε δέκα λεπτά λειτουργίας.
7.  Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί σ' έναν αντιστάτη αντίστασης 100Ω, χωρίς να καεί, είναι 4W.
- α) Υπολόγισε τη μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να τον διαρρέει.
- β) Υπολόγισε τη μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής τάσης που μπορούμε να εφαρμόσουμε στα άκρα του. Ποιο είναι τότε, το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του σε χρόνο δύο λεπτών;
- γ) Αν εφαρμόσουμε στα άκρα του τάση 10V, πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει; Πόση ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται απ' αυτόν σε θερμότητα ανά δευτερόλεπτο; Πόση θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του σε χρόνο δύο λεπτών; Σύγκρινε την τιμή αυτή με την αντίστοιχη του ερωτήματος (β).



## Περίληψη κεφαλαίου 8: Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ενέργεια

- Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει μεταλλικό αγωγό, η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει μετατρέπεται σε θερμική. Η θερμοκρασία του αγωγού αυξάνεται και θερμότητα μεταφέρεται απ' αυτόν προς το περιβάλλον του.
- Το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη προς το περιβάλλον του, όταν αυτός διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα, είναι ανάλογο: του τετραγώνου της έντασης του ρεύματος, της αντίστασης του αντιστάτη και του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος. Ο νόμος αυτός είναι γνωστός ως «νόμος του Τζάουλ».
- Κάθε ηλεκτρική συσκευή, που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής, για να λειτουργήσει πρέπει να εφαρμόσουμε στους πόλους της ηλεκτρική τάση. Τότε διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα. Η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που μετατρέπει η συσκευή, είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης των πόλων της, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει και του χρόνου λειτουργίας της.

### Β Α Σ Ι Κ Ο Ι   Ο Ρ Ο Ι

Θερμική ενέργεια

Θερμοκρασία

Θερμότητα.

Ηλεκτρική ενέργεια

Μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας