

**ΦΥΣΙΚΗ**  
**Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**  
**3ος τόμος**

**Γ' Κ.Π.Σ. / ΕΠΕΑΕΚ II / Ενέργεια 2.2.1 /  
Κατηγορία Πράξεων 2.2.1.α:**

**«Αναμόρφωση των προγραμμάτων  
σπουδών και συγγραφή νέων  
εκπαιδευτικών πακέτων»**

**ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

**Δημήτριος Γ. Βλάχος**

**Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ**

***Πρόεδρος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Πράξη με τίτλο: «Συγγραφή νέων  
βιβλίων και παραγωγή υποστηρικτικού  
εκπαιδευτικού υλικού με βάση το  
ΔΕΠΠΣ και τα ΑΠΣ για το Γυμνάσιο»**

**Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου**

**Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης**

***Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Αναπληρωτής Επιστημ. Υπεύθ. Έργου**

**Γεώργιος Κ. Παληός**

***Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου***

**Ιγνάτιος Ε. Χατζηευστρατίου**

***Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγ. Ινστιτ.***

**Έργο συγχρηματοδοτούμενο 75% από  
το Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο και  
25% από εθνικούς πόρους.**

## ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

**Νικόλαος Αντωνίου, Καθηγητής**  
**Πανεπιστημίου Αθηνών**

**Παναγιώτης Δημητριάδης, Φυσικός**  
**Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης**

**Κων/νος Καμπούρης, Φυσικός**  
**Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης**

**Κων/νος Παπαμιχάλης, Φυσικός**  
**Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης**

**Λαμπρινή Παπασιμπα, Φυσικός**  
**Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης**

## ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

**Κωνσταντίνος Κρίκος, Σχολικός**  
**Σύμβουλος**

**Πέτρος Περσεφόνης, Αναπληρωτής**  
**Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών**  
**(Τμήμα Φυσικής)**

**Γεώργιος Τουντουλίδης, Φυσικός,**  
**Εκπαιδευτικός Β/θμιας Εκπ/σης**

**ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ**

**Θεόφιλος Χατζητσομπάνης,  
*Μηχανικός ΕΜΠ, Εκπαιδευτικός***

**ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ**

**Βασιλική Αναστασοπούλου,  
*Φιλολόγος***

**ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ**

**ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ**

**ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ**

**Γεώργιος Κ. Παληός,  
*Σύμβουλος του Π.Ι.***

**ΕΞΩΦΥΛΛΟ**

**Καραβούζης Σαράντης, Ζωγράφος**

**ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ**

**ΑΦΟΙ Ν. ΠΑΠΠΑ & ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε.,  
*Ανώνυμος Εκδοτ. & Εκτυπ. Εταιρεία***

**ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ  
ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ**

***Ομάδα Εργασίας  
Αποφ. 16158/6-11-06 και  
75142/Γ6/11-7-07 ΥΠΕΠΘ***

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ,  
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ  
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ  
ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ**

**Νικόλαος Αντωνίου  
Παναγιώτης Δημητριάδης  
Κωνσταντίνος Καμπούρης  
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης  
Λαμπρινή Παπασιμπα**

**ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:**

**Ελληνικά Γράμματα**

**ΦΥΣΙΚΗ**

**Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ**

**Τόμος 3ος**



## μια μικρή ιστορία...

Μια κρύα μέρα του Ιανουαρίου του 2006, η Σοφία πληροφορήθηκε από την τηλεόραση ότι στην Κεφαλονιά, όπου ζούσε η γιαγιά της, προκλήθηκαν μεγάλες καταστροφές από μια σφοδρή καταιγίδα.

Ο δημοσιογράφος που έκανε το ρεπορτάζ, ανέφερε ότι μετά από σφοδρή και παρατεταμένη καταιγίδα πέντε πυλώνες της ΔΕΗ που μετέφεραν ηλεκτρική ενέργεια στην Κεφαλονιά κατέρρευσαν. Οι πυλώνες ήταν συνδεδεμένοι με υποβρύχιο καλώδιο, το οποίο παρείχε ενέργεια από την Κυλλήνη μέσω της Ζακύνθου.

Για αρκετές μέρες το νησί παρέμεινε χωρίς ηλεκτρικό ρεύμα. Οι κάτοικοι βρέθηκαν σε πολύ δύσκολη

θέση. Δε μπορούσαν να θερμάνουν τα σπίτια τους, να μαγειρέψουν, να συντηρήσουν τα τρόφιμά τους, να δουν τηλεόραση κλπ.

Η Σοφία σκέφτηκε πόσο σπουδαίο είναι το ηλεκτρικό ρεύμα και πόσο πολύ εξαρτάται η ζωή μας από αυτό. Αναρωτήθηκε πως είναι δυνατόν το ηλεκτρικό ρεύμα να προκαλεί τη λειτουργία σε τόσες πολλές, αλλά και τόσο διαφορετικές μεταξύ τους συσκευές, που χρησιμοποιούμε καθημερινά.



**Στο κεφάλαιο αυτό:**

- Θα συσχετίσεις το ηλεκτρικό ρεύμα με τη μεταφορά και τις μετατροπές της ενέργειας.
- Θα μελετήσεις τα θερμικά φαινόμενα που προκαλούνται κατά τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος από έναν αντιστάτη και θα γνωρίσεις τις εφαρμογές τους.
- Θα μάθεις ότι τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα είναι αλληλένδετα και πως εφαρμόζουμε τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού για να μετατρέψουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική και το αντίστροφο.
- Θα μάθεις να υπολογίζεις την ηλεκτρική ενέργεια και την ισχύ που μια ηλεκτρική συσκευή μετασχηματίζει σε άλλες μορφές ενέργειας.

## ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

### ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΖΩΗ

Κάθε μέρα κλείνεις ένα διακόπτη για να θέσεις σε λειτουργία ένα λαμπτήρα, 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 καθεμιά από τις παραπάνω περιπτώσεις ένα ανοικτό ηλεκτρικό κύκλωμα μετατρέπεται σε κλειστό, οπότε διέρχεται από αυτό ηλεκτρικό ρεύμα που μεταφέρει ενέργεια.

Από όλες τις μορφές ενέργειας αυτή που επηρέασε περισσότερο το σύγχρονο πολιτισμό είναι η ηλεκτρική ενέργεια. Τα σπουδαιό-

**τερα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής ενέργειας είναι η εύκολη μεταφορά της σε μεγάλες αποστάσεις και η μετατροπή της σε άλλες μορφές ενέργειας.**

### **Εικόνα 3.1**

**Το ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει αγωγούς μήκους πολλών χιλιομέτρων και μεταφέρει την ηλεκτρική ενέργεια από τους τόπους «παραγωγής» στους τόπους «κατανάλωσης».**



**Τα μεγάλα αποθέματα της ενέργειας που υπάρχουν στη φύση, όπως στους ποταμούς (δυναμική) ή στα κοιτάσματα λιγνίτη (χημική),**

**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 μετατροπή και η εύκολη μεταφορά αυτής της ενέργειας. Η μεταφορά της ηλεκτρικής ενέργειας επιτυγχάνεται με το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει ένα κλειστό ηλεκτρικό κύκλωμα (εικόνα 3.1).**

**Στις ηλεκτρικές συσκευές (καταναλωτές) η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε άλλες μορφές ενέργειας, όπως θερμική, χημική, μηχανική, ενέργεια μαγνητικού πεδίου. Ανάλογα με τη μορφή ενέργειας στην οποία μετατρέπεται η ηλεκτρική τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος διακρίνονται σε θερμικά, χημικά, μηχανικά, φωτεινά, μαγνητικά κ.λπ. Σε αυτό το κεφά-**

λαιο θα μελετήσουμε τα αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος σε σύνδεση με τις αντίστοιχες ενεργειακές μετατροπές.

### 3.1 Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

*Κάθε συσκευή από την οποία διέρχεται 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 από τους αντιστάτες τους διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 3.2).

## Εικόνα 3.2

Όταν από τις ηλεκτρικές συσκευές διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνονται.

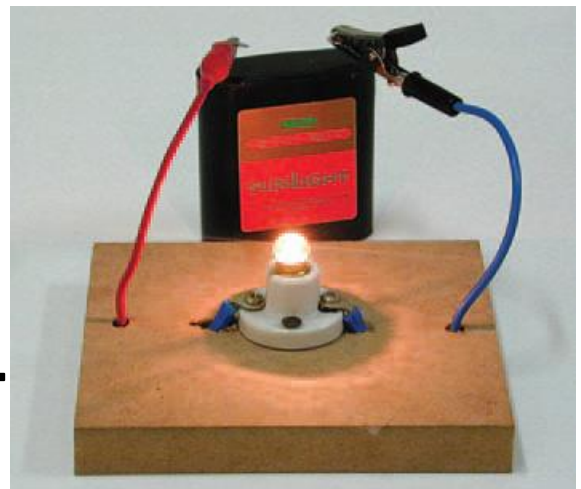


Γενικά, όταν από έναν αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται. Το φαινόμενο αυτό το μελέτησε πρώτος ο Άγγλος φυσικός Τζάουλ (Joule), και γι' αυτό ονομάζεται «φαινόμενο Τζάουλ». Γνωρίζουμε ότι αύξηση της θερμοκρασίας του αντιστάτη συνδέεται με αύξηση της θερμικής του ενέργειας. Επιπλέον όταν η θερμοκρασία του αντιστάτη γίνεται μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του, ενέργεια (θερμότητα) θα μεταφέρεται από

τον αντιστάτη σε αυτό (εικόνα 3.3). Αν όλη η επιπλέον (ηλεκτρική) ενέργεια μεταφέρεται στο περιβάλλον, τότε η θερμοκρασία του αντιστάτη διατηρείται σταθερή. Η ενέργεια δεν παράγεται από το μηδέν. Μετατρέπεται από τη μια μορφή στην άλλη, έτσι ώστε η συνολική ποσότητά της να διατηρείται σταθερή.

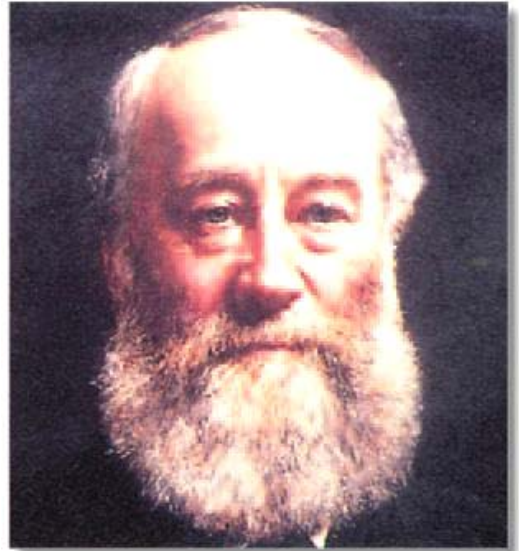
### **Εικόνα 3.3**

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



*Από πού προέρχεται η θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον;*

## **Εικόνα 3.4** **Τζέιμς Τζάουλ** **(Joule, 1818-1889)**

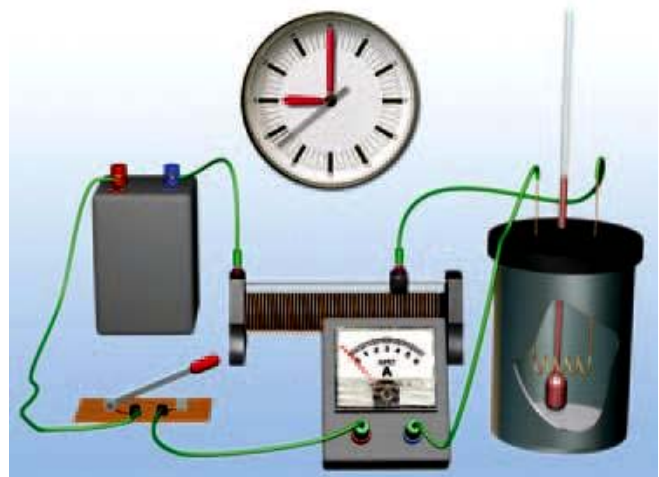


Άγγλος φυσικός, ζυθοποιός στο επάγγελμα. Ασχολήθηκε με έρευνες που αφορούσαν την ενέργεια και τις μετατροπές της. Με τα περίφημα πειράματά του έδειξε ότι σε κάθε μεταβολή η ολική ενέργεια διατηρείται σταθερή.

Είδαμε προηγούμενα ότι η θερμική ενέργεια ενός αντιστάτη αυξάνεται, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Είναι φανερό ότι η προέλευση αυτής της ενέργειας συνδέεται με την ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα την οποία ονομάσαμε ηλεκτρική ενέρ-

γεια. Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι στον αντιστάτη ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική. Επομένως η θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του προέρχεται από την ηλεκτρική ενέργεια.

**Εικόνα 3.5**  
Πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.



### ***Πειραματική μελέτη του φαινομένου Τζάουλ***

Με τη βοήθεια του πειράματος θα μελετήσουμε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη στο περιβάλ-

λον του. Γι' αυτό το λόγο σε δοχείο με θερμικά μονωμένα τοιχώματα προσθέτουμε νερό μάζας  $m$ . Στο νερό βυθίζουμε αντιστάτη  $R$  τα άκρα του οποίου τα συνδέουμε με ηλεκτρική πηγή (εικόνα 3.5). Κλείνουμε το διακόπτη, οπότε δημιουργείται ένα κλειστό κύκλωμα και από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα.

Αρχικά η θερμοκρασία του αντιστάτη είναι ίση με τη θερμοκρασία του νερού. Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η θερμοκρασία του αυξάνεται και γίνεται μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του νερού. Τότε θερμότητα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό και η θερμοκρασία του αυξάνεται.

*Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται στο νερό;*

Γνωρίζουμε ότι η ποσότητα θερμότητας ( $Q$ ) που μεταφέρεται σ' ένα σώμα για ορισμένο χρονικό διάστημα ( $t$ ) συνδέεται με τη μάζα ( $m$ ) του σώματος και τη μεταβολή της θερμοκρασίας του ( $\Delta\theta$ ). Μπορούμε να υπολογίσουμε την παραπάνω ποσότητα με τη βοήθεια της εξίσωσης της θερμιδομετρίας:

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

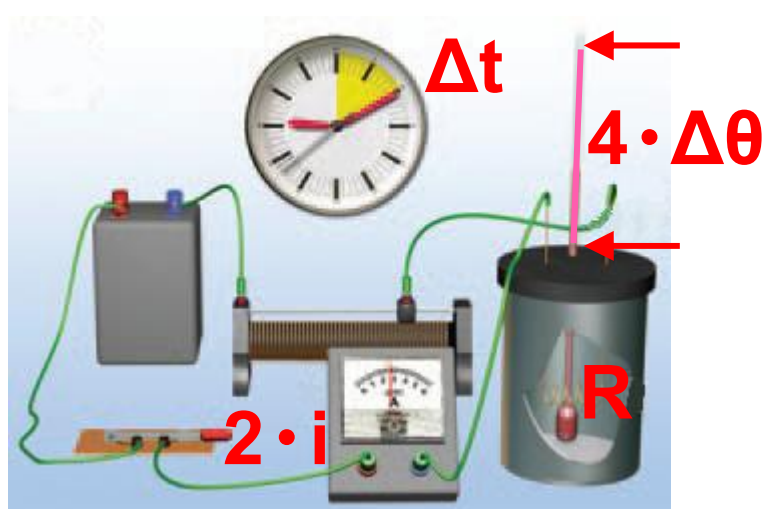
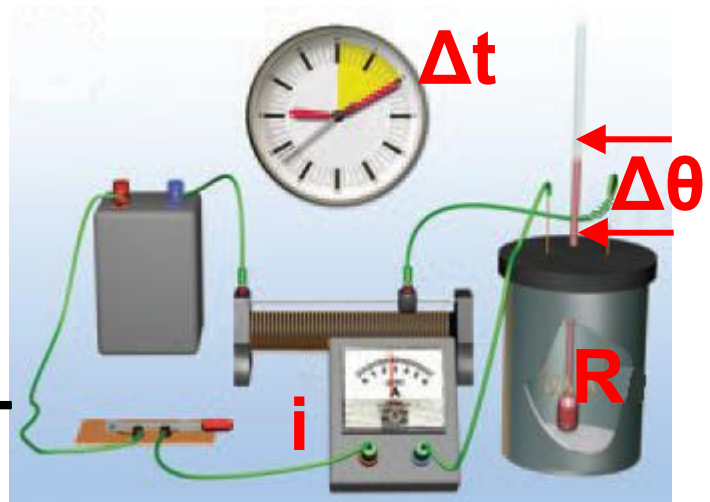
όπου  $c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$  (ειδική

θερμότητα του νερού),  $m$  η μάζα του νερού σε kg και  $\Delta\theta$  η μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού ( $^\circ\text{C}$ ).

Την άνοδο της θερμοκρασίας του νερού τη μετράμε με τη βοήθεια ενός θερμόμετρου. Στη συνέχεια θα προσπαθήσουμε να απαντήσουμε στα παρακάτω ερωτήματα:

### Εικόνα 3.6

Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα διπλάσιας έντασης μεταφέρεται στο νερό τετραπλάσια ποσότητα θερμότητας προκαλώντας αντίστοιχη αύξηση της θερμοκρασίας του.



*1. Με ποιο τρόπο σχετίζεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη με την ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει;*

Διατηρώντας το χρονικό διάστημα  $\Delta t$  σταθερό και χρησιμοποιώ-

ντας πάντα τον ίδιο αντιστάτη  $R$  καταγράφουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας ( $\Delta\theta$ ) του νερού για διάφορες τιμές της έντασης του ρεύματος  $I$  που διαρρέει τον αντιστάτη (πίνακας 3.1Α). Την ένταση του ρεύματος  $I$  τη ρυθμίζουμε με τη βοήθεια ενός ροοστάτη (εικόνα 3.6). Από τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν διαπιστώνουμε ότι:

Όταν διπλασιάζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη ( $2 \cdot I$ ), η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από αυτόν τετραπλασιάζεται ( $4 \cdot Q = 2^2 \cdot Q$ ). Όταν την τριπλασιάζουμε ( $3 \cdot I$ ), το ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται εννιπλασιάζεται ( $9 \cdot Q = 3^2 \cdot Q$ ) κ.ο.κ.

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι η ποσότητα της θερμότητας ( $Q$ ) που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη

είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν.

**II. Πώς μεταβάλλεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με την αντίστασή του, αν διατηρήσουμε το χρόνο διέλευσης και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερά;**

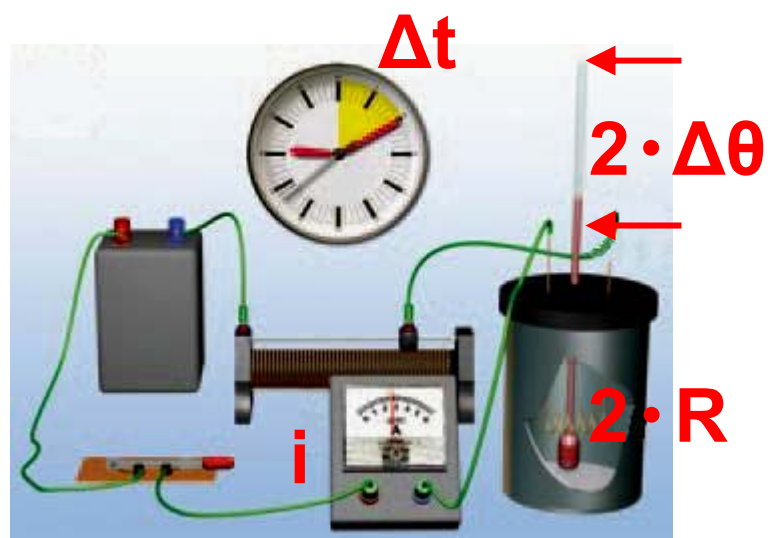
**III. Πώς μεταβάλλεται η ποσότητα θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με το χρόνο διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από αυτόν, όταν διατηρούμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος και την αντίστασή σταθερά;**

Χρησιμοποιώντας αντιστάτες με διαφορετική τιμή αντίστασης ή μεταβάλλοντας το χρονικό διάστημα της μέτρησης μπορούμε να πραγματοποιήσουμε πειράματα (εικόνες

3.7, 3.8). Καταγράφουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού (πίνακας 3.1B και 3.1Γ). Τα πειραματικά δεδομένα που προκύπτουν μας οδηγούν σε δύο αντίστοιχα συμπεράσματα:

### Εικόνα 3.7

Από τον αντιστάτη διπλάσιας αντίστασης, από τον οποίο διέρχεται



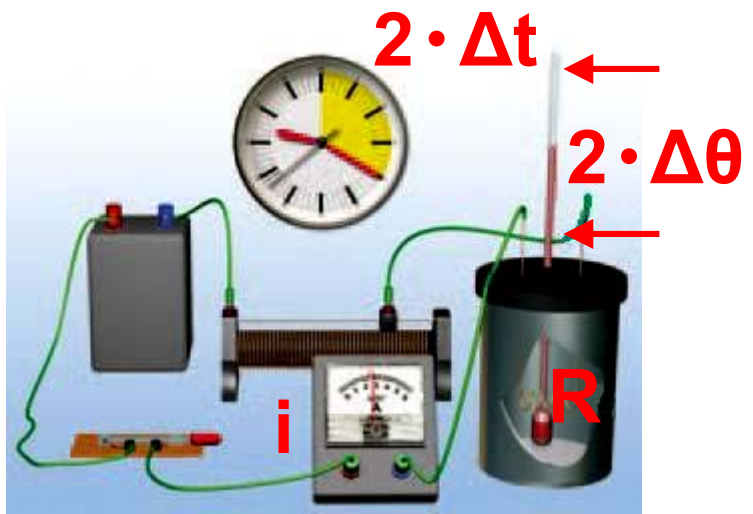
ται ρεύμα ίδιας έντασης στο ίδιο χρονικό διάστημα, μεταφέρεται στο νερό διπλάσια ποσότητα θερμότητας.

Όταν ο χρόνος διέλευσης και η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος διατηρούνται σταθερά, η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη είναι ανάλογη

της αντίστασής του (εικόνα 3.7, πίνακας 3.1B).

### Εικόνα 3.8

Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα στα-



θερής έντασης για διπλάσιο χρονικό διάστημα, το ποσό της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο νερό διπλασιάζεται.

Σε έναν αντιστάτη με σταθερή αντίσταση και όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει διατηρείται σταθερή η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από αυτόν είναι ανάλογη του χρόνου διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος (εικόνα 3.8, πίνακας 3.1Γ).

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

### 3.1 Α ΣΤΑΘΕΡΟ R, $\Delta t$

**Ένταση  
ρεύματος**

**Μεταβολή  
θερμοκρασίας**

I

$\Delta\theta$

$2 \cdot I$

$4 \cdot \Delta\theta$

### 3.1 Β ΣΤΑΘΕΡΟ I, $\Delta t$

**Αντίσταση**

**Μεταβολή  
θερμοκρασίας**

R

$\Delta\theta$

$2 \cdot R$

$4 \cdot \Delta\theta$

### 3.1 Γ ΣΤΑΘΕΡΟ I, R

**Χρονικό  
Διάστημα**

**Μεταβολή  
θερμοκρασίας**

$\Delta t$

$\Delta\theta$

$2 \cdot \Delta t$

$2 \cdot \Delta\theta$

## ***Νόμος του Τζάουλ***

Αν συνοψίσουμε τα συμπεράσματα που διαμορφώσαμε από

όλες τις πειραματικές δραστηριότητες που περιγράψαμε, καταλήγουμε σ' ένα φυσικό νόμο ο οποίος αρχικά διατυπώθηκε από τον Τζάουλ και γι' αυτό ονομάστηκε νόμος του Τζάουλ:

Η μεταβολή της θερμικής ενέργειας ενός αντιστάτη αντίστασης  $R$ , όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα σταθερής έντασης  $I$  και επομένως η ποσότητα της θερμότητας  $Q$  που μεταφέρεται από αυτόν προς το περιβάλλον σε χρονικό διάστημα  $t$  είναι:

- α. ανάλογη του τετραγώνου της έντασης  $I$  του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη,
- β. ανάλογη της αντίστασης  $R$  του αντιστάτη,

**γ. ανάλογη του χρόνου  $t$  διέλευσης του ηλεκτρικού ρεύματος από τον αντιστάτη.**

***Με ποια μαθηματική σχέση συνδέονται τα παραπάνω φυσικά μεγέθη: θερμότητα που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον ( $Q$ ), ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη ( $I$ ), αντίσταση ( $R$ ) και χρόνος ( $t$ );***

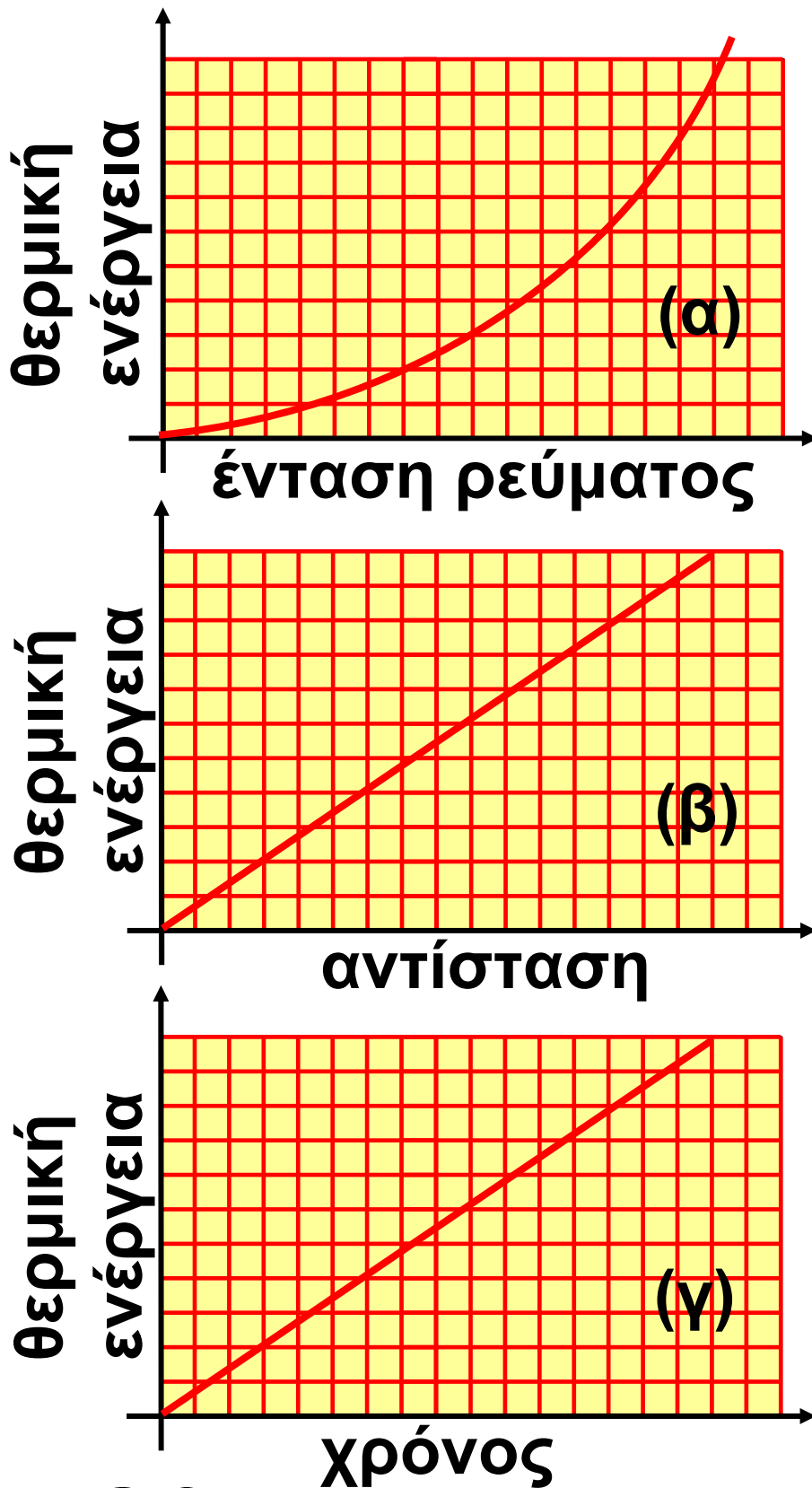
**Για να απαντήσουμε θα πρέπει να σκεφτούμε την προέλευση της παραπάνω ποσότητας θερμότητας. Είδαμε προηγουμένως ότι αυτή προέρχεται από την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρουν τα ηλεκτρόνια στον αντιστάτη η οποία σύμφωνα με την 2.3 δίδεται από τη σχέση:**

$$E_{\text{ηλεκτρική}} = V \cdot q \quad (3.1)$$

Αν υποθέσουμε ότι τελικά η ηλεκτρική ενέργεια μεταφέρεται με μορφή θερμότητας στο περιβάλλον, θα ισχύει  $Q = E_{\text{ηλεκτρική}}$ , και λαμβάνοντας υπόψη το νόμο του Ωμ και τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος η σχέση 3.1 μετασχηματίζεται σε:

$$\begin{aligned} Q &= (I \cdot R) \cdot (I \cdot t) && \text{ή} \\ Q &= I^2 \cdot R \cdot t && (3.2) \end{aligned}$$

όπου όλα τα μεγέθη μετριοούνται σε μονάδες του S.I., δηλαδή η θερμότητα  $Q$  σε J (Τζάουλ), η ένταση του ρεύματος  $I$  σε A, η αντίσταση  $R$  σε  $\Omega$  και ο χρόνος  $t$  σε s. Στην εικόνα 3.9 παρουσιάζονται οι γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμικής ενέργειας σε συνάρτηση με τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.



**Εικόνα 3.9**

Γραφικές παραστάσεις της μεταβολής της θερμικής ενέργειας αντι-

στάτη σε συνάρτησε με (α) την ένταση του ρεύματος, (β) την αντίσταση και (γ) το χρόνο διέλευσης του ρεύματος.

### ***Ερμηνεία του φαινομένου Τζάουλ***

***Πώς θα ερμηνεύσουμε τη μεταβολή της θερμοκρασίας ενός μεταλλικού αγωγού από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα; Με ποιο μηχανισμό η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από τον αγωγό μετατρέπεται σε θερμική και μεταφέρεται στο περιβάλλον του;***

**Για να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο Τζάουλ, θα χρησιμοποιήσουμε την εικόνα που έχουμε διαμορφώσει για τη δομή της ύλης και ειδικότερα για το μικρόκοσμο ενός μεταλλικού αγωγού:**

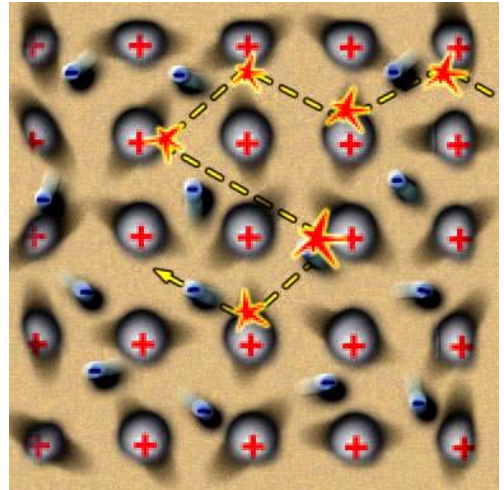
**Ο μεταλλικός αγωγός (για παράδειγμα ένα σύρμα από χαλκό) απο-**

τελείται από ένα πλέγμα ιόντων χαλκού που κάνουν μικρές ταλαντώσεις σε τυχαίες διευθύνσεις γύρω από συγκεκριμένες θέσεις (άτακτη κίνηση) (εικόνα 3.10). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου κινούνται τυχαία προς κάθε κατεύθυνση σε όλη την έκταση του σύρματος. Κατά την κίνησή τους αλληλεπιδρούν συχνά με κάποια από τα ιόντα.

Η θερμοκρασία του μετάλλου σχετίζεται με την κινητική ενέργεια κυρίως των ιόντων του, λόγω της άτακτης κίνησής τους. Στο κεφάλαιο της θερμότητας τη συνολική αυτή ενέργεια την ονομάσαμε θερμική ενέργεια του μετάλλου. Όσο πιο έντονη είναι η άτακτη κίνηση των ιόντων, τόσο μεγαλύτερη είναι και η θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του μετάλλου.

### **Εικόνα 3.10**

Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια συγκρούονται με τα ιόντα. Ενέργεια μεταφέρεται από τα ηλεκτρόνια στα ιόντα. Αυξάνεται η κινητική ενέργεια των ιόντων του σύρματος με αποτέλεσμα την αύξηση της θερμικής ενέργειας και της θερμοκρασίας του υλικού.



Το ηλεκτρικό ρεύμα συνδέεται με την προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος του σύρματος. Όταν τα άκρα του σύρματος συνδέονται με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής, τότε στο εσωτερικό του δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί στα ελεύθερα ηλεκτρόνια ηλεκτρικές δυνάμεις. Αυτές οι δυνάμεις τα αναγκάζουν,

**εκτός από την άτακτη κίνησή τους, να μετατοπίζονται και κατά μήκος του σύρματος και επιπλέον προκαλούν και αύξηση της κινητικής τους ενέργειας.**

**Καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται, αλληλεπιδρούν με κάποια από τα ιόντα του πλέγματος. Τότε, όπως συμβαίνει και με δύο μπάλες του μπιλιάρδου, ένα μέρος της κινητικής ενέργειας των ηλεκτρονίων μεταφέρεται στα ιόντα, με αποτέλεσμα η άτακτη κίνηση (ταλάντωση) των ιόντων να γίνεται εντονότερη. Ταυτόχρονα οι δυνάμεις του ηλεκτρικού πεδίου προκαλούν εκ νέου αύξηση της ταχύτητας των ελεύθερων ηλεκτρονίων και αναπληρώνουν την απώλεια της κινητικής τους ενέργειας. Έτσι συνολικά η άτακτη κίνηση των σωματιδίων του υλικού γίνεται εντονότερη. Η θερμι-**

κή ενέργεια και η θερμοκρασία του αυξάνονται.

Η αύξηση της θερμοκρασίας του μετάλλου σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος του έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το σύρμα προς το περιβάλλον του. Τη θερμότητα αυτή μετρήσαμε στο σχετικό πείραμα που παριστάνεται στην εικόνα 3.5 κατά τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

### ***Εφαρμογές του φαινομένου Τζάουλ***

Η λειτουργία πολλών συσκευών τις οποίες χρησιμοποιούμε στην καθημερινή μας ζωή βασίζεται στο φαινόμενο Τζάουλ. Μερικές από αυτές παρουσιάζονται στη συνέχεια:

## ***1. Λαμπτήρας πυρακτώσεως***

Αν η θερμοκρασία ενός μεταλλικού σύρματος αυξηθεί αρκετά, τότε το σύρμα φωτοβολεί. Ένα μέρος της θερμικής ενέργειας μετατρέπεται σε φωτεινή. Στο παραπάνω φαινόμενο, σε συνδυασμό με το φαινόμενο Τζάουλ, στηρίζεται η κατασκευή των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

**Εικόνα 3.11**  
Τομή λαμπτήρα  
πυρακτώσεως.



Στα άκρα ενός μεταλλικού σύρματος εφαρμόζουμε κατάλληλη τάση έτσι ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από αυτό να προκα-

λεί τέτοια αύξηση στην τιμή της θερμοκρασίας του σύρματος ώστε αυτό να φωτοβολεί. Η θερμοκρασία του σύρματος ανεβαίνει σε αρκετά υψηλή τιμή (περίπου στους  $2.000^{\circ}\text{C}$ ) ώστε μπορεί να προκαλέσει την τήξη του μετάλλου. Γι' αυτό το σύρμα κατασκευάζεται από δύστηκτα μέταλλα, όπως το βολφράμιο. Επιπλέον οι τόσο υψηλές θερμοκρασίες του υλικού του σύρματος έχουν ως αποτέλεσμα αυτό να οξειδώνεται, δηλαδή να αντιδρά χημικά με το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, με αποτέλεσμα να διαλύεται. 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 3.11).

## **Εικόνα 3.12**

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



## ***2. Ηλεκτρική κουζίνα και ηλεκτρικός θερμοσίφωνα***

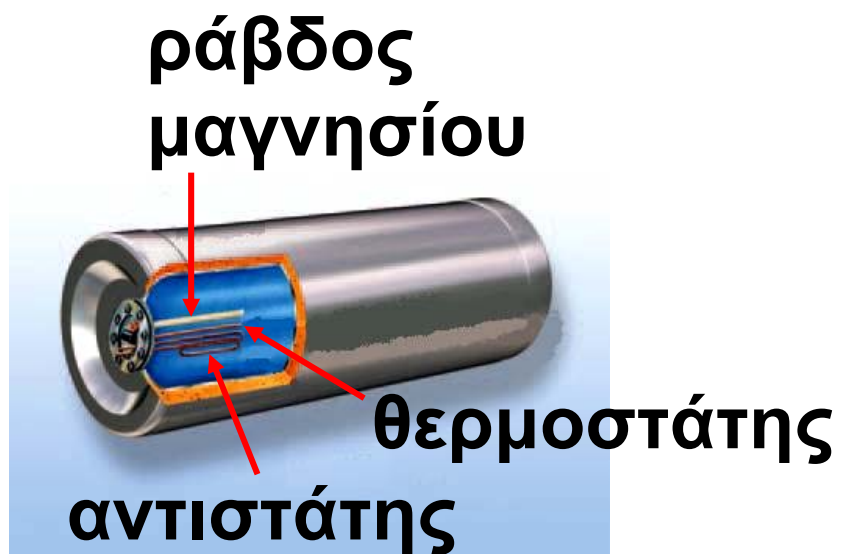
Η ηλεκτρική κουζίνα ή ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνα αποτελούνται από έναν ή περισσότερους αντιστάτες (εικόνες 3.12, 3.13). Όταν από αυτούς διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, θερμότητα μεταφέρεται προς το μαγειρικό σκεύος ή το νερό αντίστοιχα.

## ***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 Ωμ  $I = \frac{V}{R}$  και αφού η αντίσταση (R) του αγωγού είναι πολύ μικρή, η ένταση (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που θα περάσει απ' αυτόν θα είναι πολύ μεγάλη.

**Εικόνα 3.13**  
Σχηματική τομή ενός ηλεκτρικού θερμοσίφωνα.



Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε θερμική ενέργεια στον αντιστάτη. Η θερμοκρασία του ανεβαίνει, με αποτέλεσμα από αυτόν να μεταφέρεται θερμότητα προς το νερό.

### **Εικόνα 3.14**

Η τηκόμενη ασφάλεια είναι ένας αντιστάτης που συνδέεται σε σει-



ρά με τη συσκευή που θέλουμε να προστατεύσουμε. Όταν η ένταση του ρεύματος ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, ο αντιστάτης λειώνει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται.

Γνωρίζουμε όμως ότι η ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική σ' έναν αγωγό είναι ανάλογη του τετραγώνου της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν (νόμος του Τζάουλ). Είναι επομένως πολύ πιθανό η θερμοκρασία των εσωτερικών αγωγών της συσκευής να ανέβει τόσο πολύ ώστε να προκλη-

**θεί τήξη τους και καταστροφή της συσκευής.**

**Για να προστατέψουμε τις συσκευές από ένα τέτοιο ενδεχόμενο, χρησιμοποιούμε τις ηλεκτρικές ασφάλειες. Υπάρχουν πολλών ειδών ηλεκτρικές ασφάλειες που έχουν διαφορετικές αρχές λειτουργίας. Η λειτουργία των τηκόμενων ασφαλειών στηρίζεται στο φαινόμενο Τζάουλ και η κατασκευή τους είναι εξαιρετικά απλή: αποτελούνται από έναν αντιστάτη κατασκευασμένο από εύτηκτο μέταλλο. Όταν η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διέρχεται από αυτόν ξεπεράσει μια ορισμένη τιμή, η άνοδος της θερμοκρασίας του προκαλεί την τήξη του μετάλλου. Έτσι το κύκλωμα ανοίγει και το ηλεκτρικό ρεύμα διακόπτεται (εικόνα 3.14).**

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.

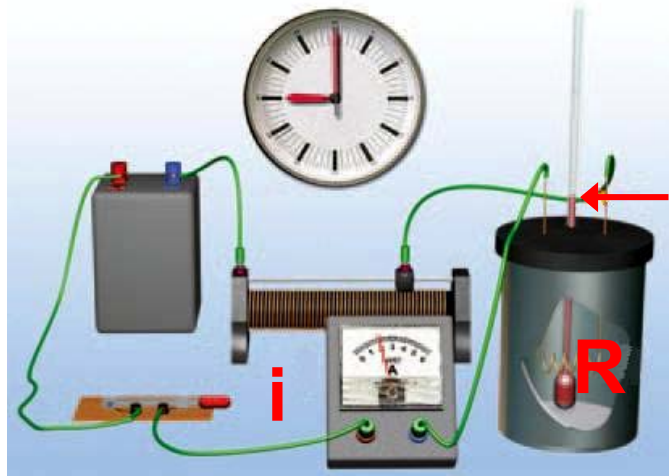
## Δραστηριότητα

### Βραχυκύκλωμα

- ▶ Από ένα σφουγγαράκι για κατσαρόλες με ατσαλόσυρμα ξεχώρισε δύο σύρματα.
- ▶ Ένωσε τους πόλους μιας μπαταρίας 4,5 V με αυτά.
- ▶ Τι παρατηρείς και πώς το ερμηνεύεις;

### **Παράδειγμα 3.1**

Πραγματοποίησε τη διάταξη της διπλανής εικόνας. Στο δοχείο με τα θερμικά μονωμένα τοιχώματα,



ρίξε νερό μάζας  $m = 0,2 \text{ kg}$ . Στο νερό βύθισε έναν αντιστάτη αντίστασης  $R = 8,4 \Omega$ . Κλείσε το διακόπτη και κατάγραψε την ένδειξη του αμπερόμετρου:  $I = 2 \text{ A}$ . Τη χρονική στιγμή  $t = 0$ , η ένδειξη του θερμόμετρου είναι  $18^\circ \text{C}$ . Μπορείς να προβλέψεις την ένδειξη του θερμόμετρου τη χρονική στιγμή  $t = 2 \text{ min}$ ; Η ειδική θερμότητα του νερού είναι:

$$c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ \text{C}}$$

## Δεδομένα

Μάζα νερού:  $m = 0,2 \text{ Kg}$

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

Ένταση ρεύματος:  $I = 2 \text{ A}$

Χρονική διάρκεια θέρμανσης νερού:  $t = 2 \text{ min}$

Ειδική θερμότητα του νερού:

$$c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

Αρχική θερμοκρασία νερού:

$$\theta_1 = 18 \ ^\circ\text{C}$$

## Ζητούμενα

Τελική θερμοκρασία νερού:  $\theta_2$

## Βασικές εξισώσεις

Νόμος θερμιδομετρίας:

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

Νόμος του Joule:  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$

## Λύση

**Βήμα 1:** Περιγραφή της διαδικασίας: Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέ-

πεται στον αντιστάτη σε θερμική και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νερό με τη μορφή θερμότητας και προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού:  $\Delta\theta = \theta_2 - \theta_1$ .

**Βήμα 2:** Εφαρμογή των νόμων που περιγράφουν τη διαδικασία:

Νόμος του Joule:  $Q = I^2 \cdot R \cdot t$  ή

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

Εξίσωση της θερμιδομετρίας:

$$Q = c \cdot m \cdot \Delta\theta, \quad \Delta\theta = \frac{Q}{c \cdot m},$$

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

$$\Delta\theta = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

Έτσι η τελική θερμοκρασία του

νερού είναι:  $\theta_2 = \theta_1 + \Delta\theta$  ή

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

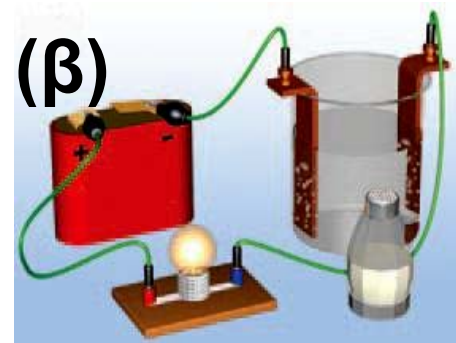
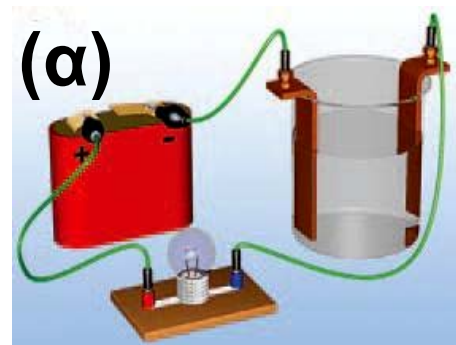
$$\theta_2 = 22,8 \text{ }^\circ\text{C}$$

## 3.2 Χημικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Είδαμε ότι, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από μεταλλικούς αγωγούς, προκαλεί θερμικά αποτελέσματα. Ας εξετάσουμε τι συμβαίνει σ' ένα υγρό.

### *Εικόνα 3.15*

(α) Το καθαρό νερό δεν είναι αγωγός. (β) Αντίθετα το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου (αλάτι) επιτρέπει τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος.

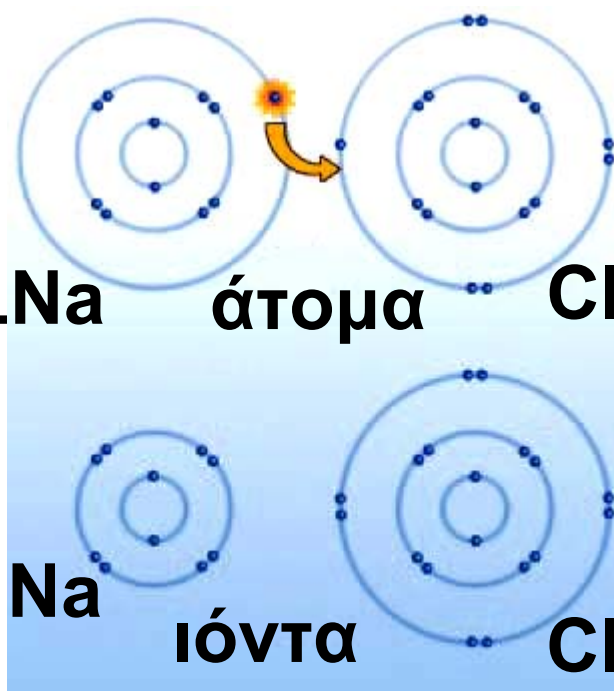


Αυτό μπορούμε να το διαπιστώσουμε εύκολα. Συνδέουμε μια μπαταρία με ένα λαμπάκι έτσι ώστε το λαμπάκι να ανάβει. Κατόπιν σε

**κάποιο σημείο κόβουμε το σύρμα σύνδεσης και βυθίζουμε τα ελεύθερα άκρα του σε ένα δοχείο με καθαρό νερό. Τα άκρα που συνδέονται με το θετικό και τον αρνητικό πόλο της πηγής λέγονται θετικό και αρνητικό ηλεκτρόδιο αντίστοιχα. Παρατηρούμε ότι το λαμπάκι δεν ανάβει. Συμπεραίνουμε ότι το καθαρό νερό δεν είναι αγωγός του ηλεκτρικού ρεύματος. Αν διαλύσουμε αλάτι σε νερό και επαναλάβουμε το προηγούμενο πείραμα, παρατηρούμε ότι το λαμπάκι ανάβει (εικόνα 3.15). Την ίδια συμπεριφορά παρουσιάζουν τα υδατικά διαλύματα ουσιών που ονομάζονται ηλεκτρολύτες και συνήθως είναι οξέα, βάσεις και άλατα. Τα διαλύματα αυτά ονομάζονται και ηλεκτρολυτικά.**

### ***Εικόνα 3.16***

Ένα ηλεκτρόνιο μετακινείται από το άτομο του νατρίου στο άτομο του χλωρίου. Έτσι σχηματίζεται ένα θετικό ιόν νατρίου και ένα αρνητικό ιόν χλωρίου.



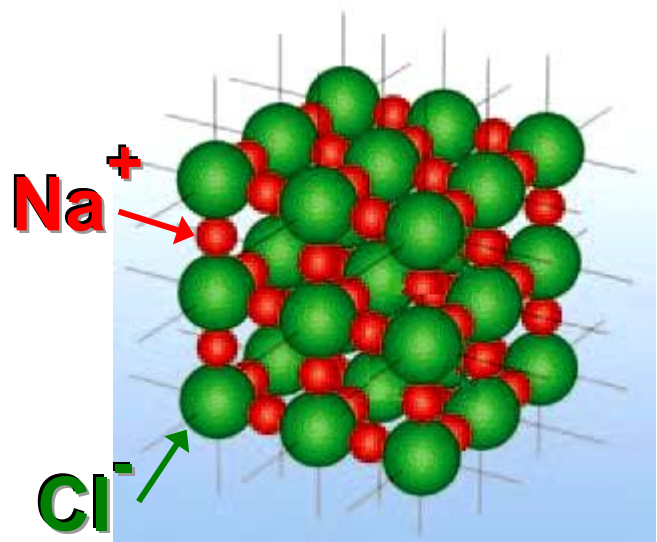
### ***Γιατί τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι αγωγοί***

Όταν δύο άτομα πλησιάσουν αρκετά μεταξύ τους, είναι δυνατόν ηλεκτρόνια της εξωτερικής τροχιάς του ενός να μετακινηθούν στην εξωτερική τροχιά του άλλου (εικόνα 3.16). Τότε το ένα άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και το άλλο σε αρνητικό. Μεταξύ των ιόντων αναπτύσσεται ισχυρή ηλεκτρική ελκτική δύναμη.

Με αυτό τον τρόπο ιόντα νατρίου και χλωρίου συγκρατούνται μεταξύ τους στο χλωριούχο νάτριο (μαγειρικό αλάτι). Επειδή η αλληλεπίδραση μεταξύ ιόντων είναι ισχυρή, σε συνηθισμένη θερμοκρασία οι ιοντικές ενώσεις είναι στερεά και σχηματίζουν κρυστάλλους (εικόνα 3.17). Στις στερεές ιοντικές ενώσεις τα ιόντα δεν έχουν τη δυνατότητα να κινούνται ελεύθερα και επομένως οι ενώσεις αυτές δεν είναι αγωγοί του ηλεκτρικού ρεύματος. Όταν όμως το χλωριούχο νάτριο διαλύεται σε νερό, μόρια νερού παρεμβάλλονται μεταξύ των ιόντων του. Η μεταξύ τους αλληλεπίδραση εξασθενεί οπότε ο κρύσταλλος καταστρέφεται και τα ιόντα του χλωρίου και του νατρίου μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο διάλυμα. Στο πείραμα που παριστάνεται στην

**εικόνα 3.15** τα θετικά ιόντα του νατρίου έλκονται από το αρνητικό ηλεκτρόδιο και τα αρνητικά ιόντα του χλωρίου από το θετικό. Οι ελκτικές δυνάμεις προκαλούν κίνηση των ιόντων προς τα ηλεκτρόδια και στο διάλυμα δημιουργείται ηλεκτρικό ρεύμα.

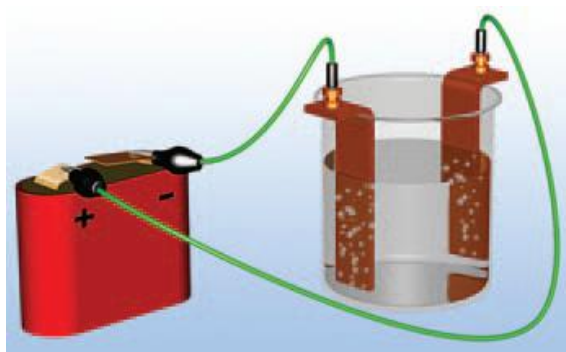
**Εικόνα 3.17**  
Κρύσταλλοι χλωριούχου νατρίου.



Σε άλλα ηλεκτρολυτικά διαλύματα, όπως των οξέων, τα θετικά και τα αρνητικά ιόντα δεν προϋπάρχουν, αλλά δημιουργούνται ως αποτέλεσμα της διάλυσής τους στο νερό.

### **Εικόνα 3.18**

Από το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου



διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στα ηλεκτρόδια συμβαίνουν χημικές μεταβολές. Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε χημική.

### ***Ηλεκτρόλυση***

Συγχρόνως με τη διέλευση ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου, χημικές μεταβολές συμβαίνουν στην επιφάνεια των ηλεκτροδίων. Παρατηρούμε ότι φυσαλίδες αερίου εμφανίζονται στο αρνητικό ηλεκτρόδιο, ενώ το διάλυμα κοντά στο θετικό ηλεκτρόδιο θολώνει (εικόνα 3.18). Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται ηλεκτρόλυση. Κατά την ηλεκτρόλυση πάνω ή γύρω από τα ηλεκτρό-

δια πραγματοποιούνται χημικές αντιδράσεις κατά τις οποίες σχηματίζονται διάφορα στοιχεία ή χημικές ενώσεις στα οποία αποθηκεύεται χημική ενέργεια. Από πού προήλθε αυτή η ενέργεια; Αιτία της ηλεκτρόλυσης είναι η διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος από το ηλεκτρολυτικό διάλυμα. Κατά την ηλεκτρόλυση, για παράδειγμα στην επαναφόρτιση μιας μπαταρίας αυτοκινήτου, η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται σε χημική. Η αντίθετη μετατροπή συμβαίνει βέβαια όταν η μπαταρία λειτουργεί ως ηλεκτρική πηγή.

### **Παραγωγή αλουμινίου με ηλεκτρόλυση**

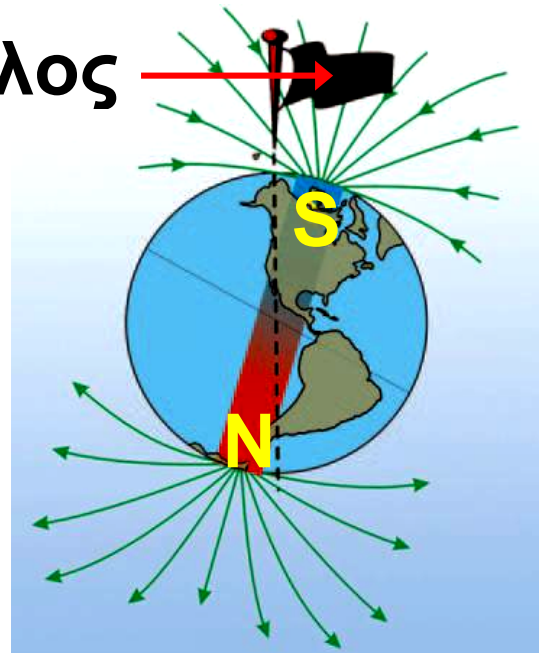
Η ηλεκτρόλυση χρησιμοποιείται για την εξαγωγή μετάλλων από μεταλλεύματα. Το αλουμίνιο είναι ένα γνωστό μέταλλο που παράγεται με

ηλεκτρόλυση της αλουμίνας. Σήμερα το αλουμίνιο είναι ένα μέταλλο που χρησιμοποιείται ευρέως, όμως πριν από την έναρξη της παραγωγής του με ηλεκτρόλυση το 1886 ήταν πολύ πιο ακριβό από το χρυσάφι!

### 3.3 Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

Όλοι θα έχετε παρατηρήσει ότι οι μαγνήτες έλκουν σιδερένια αντικείμενα όπως καρφίτσες, συνδετήρες, ρινίσματα κ.ά. Λέμε ότι οι μαγνήτες ασκούν ελκτικές μαγνητικές δυνάμεις σε σιδηρομαγνητικά υλικά. Οι μαγνητικές δυνάμεις ανάμεσα σε δύο μαγνήτες μπορεί να είναι είτε ελκτικές είτε απωστικές. Αντίστοιχα με τις ηλεκτρικές και οι μαγνητικές δυνάμεις είναι δυνατόν να περιγρα-

**Β. Πόλος**



### **Εικόνα 3.19**

Το μαγνητικό πεδίο της γης μοιάζει με αυτό ενός τεράστιου ευθύγραμμου μαγνήτη του οποίου ο νότιος πόλος βρίσκεται κοντά στο βόρειο γεωγραφικό πόλο της γης.

φούν με χρήση της έννοιας του μαγνητικού πεδίου. **Μαγνητικό πεδίο** ονομάζεται ο χώρος στον οποίο ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις. Και η γη ασκεί μαγνητικές δυνάμεις, δηλαδή στο χώρο γύρω από τη γη υπάρχει μαγνητικό πεδίο. Αυτό το μαγνητικό πεδίο προσανατολίζει μια μαγνητική βελόνα τοποθετημένη σε κατακόρυφο

άξονα στη διεύθυνση βορρά-νότου (εικόνα 3.19).

### ***Ηλεκτρισμός και μαγνητισμός***

Μέχρι το 1820 τα ηλεκτρικά φαινόμενα θεωρούνταν διαφορετικά από τα μαγνητικά. Τότε ο Δανός καθηγητής φυσικής Έρστεντ (εικόνα 3.20) εκτελώντας μπροστά σε φοιτητές πειράματα επίδειξης ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων πραγματοποίησε, μάλλον τυχαία, μια σημαντική ανακάλυψη: το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί μαγνητικά φαινόμενα. Ο δρόμος για την ενοποίηση των ηλεκτρικών και των μαγνητικών φαινομένων είχε ανοίξει.

Λίγο αργότερα ο Γάλλος φυσικός Αμπέρ (εικόνα 3.26) ισχυρίστηκε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι το αίτιο κάθε μαγνητικού φαινομένου. Ο Σκωτσέζος φυσικός Μάξγουελ

ενσωμάτωσε αυτή την άποψη στη θεωρία του για τον ηλεκτρομαγνητισμό και ο Αϊνστάιν εμβάθυνε στην ερμηνεία της στο πλαίσιο της θεωρίας της σχετικότητας.

**Εικόνα 3.20**  
**Χανς Κρίστιαν**  
**Έροστεντ (Oersted,**  
**1777-1851)**



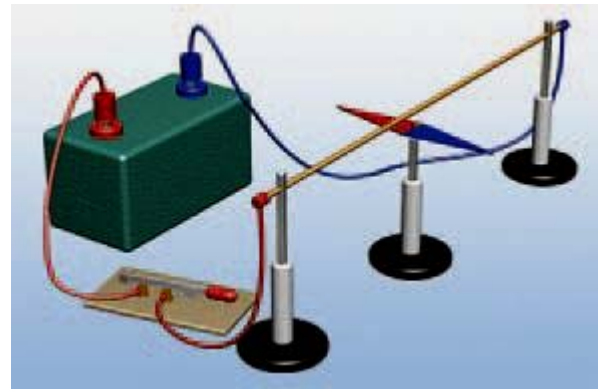
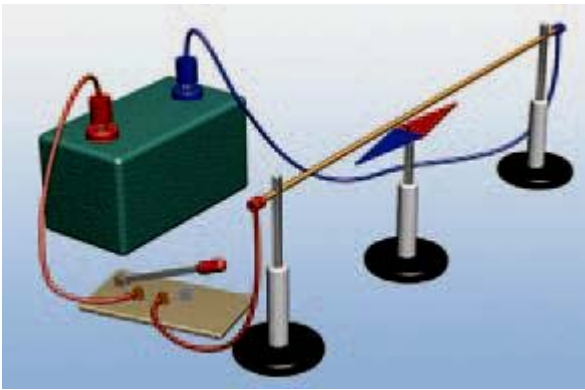
Καθηγητής φυσικής στην Κοπεγχάγη που με το περίφημο πείραμά του άνοιξε τους ορίζοντες για τη μελέτη του ηλεκτρομαγνητισμού.

Από αυτές τις παρατηρήσεις και τις ιδέες προέκυψαν σημαντικές εφαρμογές, όπως ο ηλεκτρομαγνήτης. Ηλεκτρομαγνήτες υπάρχουν σε ηλεκτρικές και ηλεκτρονικές συ-

σκευές: στον ηλεκτρομαγνητικό γερανό, στο ηλεκτρομαγνητικό τρένο, στις συσκευές αναπαραγωγής ήχου και εικόνας, στους ηλεκτρονικούς υπολογιστές κ.ά.

### ***Το πείραμα του Έρστεντ***

Αν τοποθετήσουμε μια μαγνητική βελόνα κοντά σ' ένα ευθύγραμμο σύρμα από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η βελόνα αποκλίνει (εικόνα 3.21). Όταν διακοπεί το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από το σύρμα, η βελόνα επανέρχεται στην αρχική της θέση. Συμπεραίνουμε ότι, όταν από έναν αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, αυτός ασκεί μαγνητική δύναμη. Δηλαδή δημιουργεί γύρω του ένα μαγνητικό πεδίο.



### **Εικόνα 3.21**

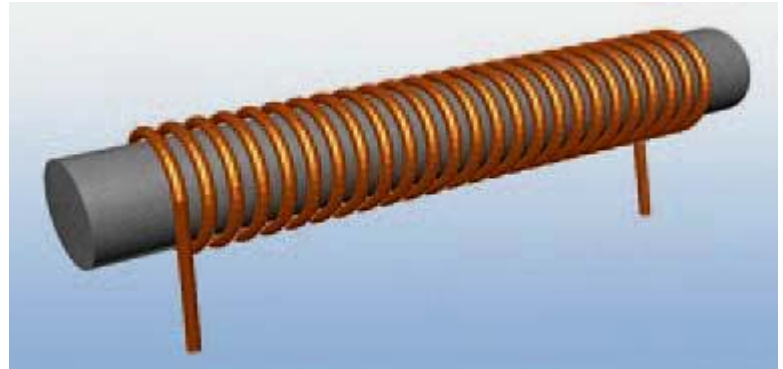
Όταν ο διακόπτης είναι ανοιχτός, η βελόνα είναι παράλληλη με το σύρμα (έχει την κατεύθυνση βορράς - νότος). Όταν κλείσουμε το διακόπτη, η βελόνα στρέφεται σχεδόν κάθετα στο σύρμα.

*Ποιο γενικότερο συμπέρασμα προκύπτει από το πείραμα του Έρστεντ;*

Το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή τα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία, δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Τελικά ένα φορτίο που κινείται δημιουργεί τόσο ηλεκτρικό όσο και μαγνητικό πεδίο. Δηλαδή δεν υπάρ-

χουν μαγνητικά φορτία αλλά μόνο ηλεκτρικά τα οποία δημιουργούν τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μαγνητικό πεδίο.

**Εικόνα 3.22**  
Σωληνοειδές  
ή πηνίο.



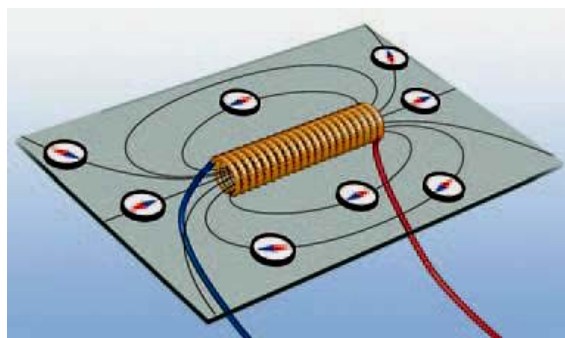
### ***Ο ηλεκτρομαγνήτης***

Αν θέλουμε να αυξήσουμε τη μαγνητική δύναμη που ασκεί ένας ρευματοφόρος αγωγός, χρησιμοποιούμε πολλούς αγωγούς μαζί, για παράδειγμα κυκλικούς. Αυτό μπορούμε εύκολα να το επιτύχουμε τυλίγοντας σύρμα σ' ένα μονωμένο κύλινδρο (εικόνα 3.22). Κάθε παρόμοια διάταξη ονομάζεται σωληνοειδές ή πηνίο. Όταν από το σύρμα

διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, μέσα και έξω από το πηνίο δημιουργείται ισχυρό μαγνητικό πεδίο. Αν τότε πλησιάσουμε ρινίσματα σιδήρου, παρατηρούμε ότι τα έλκει όπως ένας φυσικός μαγνήτης. Επιπλέον παρατηρούμε ότι, αν πλησιάσουμε μια μαγνητική βελόνα, το ένα άκρο του πηνίου έλκει το βόρειο πόλο της βελόνας, ενώ το άλλο το νότιο πόλο (εικόνα 3.23).

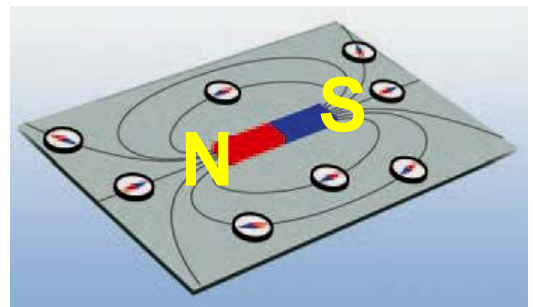
### Εικόνα 3.23

Το μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου. Παρα-



τήρησε ότι οι δυναμικές του γραμμές είναι κλειστές και περιβάλλουν τις σπείρες του πηνίου. Στο εσωτερικό του πηνίου το πεδίο είναι ομογενές.

**Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι: Κάθε πηνίο από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα συμπεριφέρεται ως μαγνήτης. Γι' αυτό ονομάζεται και ηλεκτρομαγνήτης.**



### **Εικόνα 3.24**

**Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη.**

**Η μορφή των γραμμών του μαγνητικού πεδίου του ηλεκτρομαγνήτη είναι παρόμοια με του ραβδόμορφου μαγνήτη. Πράγματι, σκορπίζοντας ρινίσματα σιδήρου γύρω από ένα πηνίο από το οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, διαπιστώνουμε ότι στον εξωτερικό του χώρο διατάσσονται όπως και στο πεδίο ενός ραβδόμορφου μαγνήτη (εικόνες 3.23 και 3.24).**

Στο εσωτερικό του πηνίου οι γραμμές του πεδίου είναι παράλληλες μεταξύ τους και πολύ πιο πυκνές απ' ό,τι στο εξωτερικό. Επομένως στο εσωτερικό ενός πηνίου ασκούνται μαγνητικές δυνάμεις πολύ πιο ισχυρές απ' ό,τι στο εξωτερικό του.

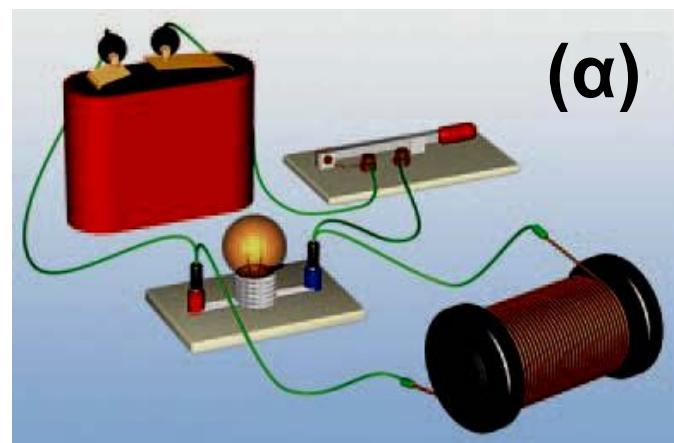
### ***Ενέργεια μαγνητικού πεδίου***

Αν συνδέσουμε ένα πηνίο και ένα λαμπτήρα με τους πόλους μιας μπαταρίας, με τον τρόπο που δείχνει η εικόνα 3.25α, τότε αφενός μεν στο πηνίο δημιουργείται μαγνητικό πεδίο, αφετέρου δε ο λαμπτήρας φωτοβολεί. Όταν ανοίξουμε το διακόπτη η μπαταρία αποσυνδέεται, ο λαμπτήρας σβήνει και το μαγνητικό πεδίο εξαφανίζεται. Ωστόσο αυτό δε συμβαίνει αμέσως: Παρατηρούμε ότι ο λαμπτήρας φωτοβολεί για

λίγο και μετά την αποσύνδεση της μπαταρίας (εικόνα 3.25β). Όσο η μπαταρία είναι συνδεδεμένη στο κύκλωμα, χημική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

### Εικόνα 3.25

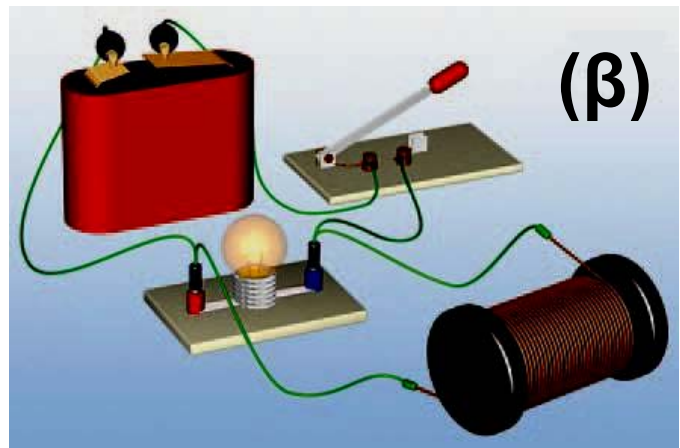
(α) Ο διακόπτης είναι κλειστός.



*Ποια είναι η προέλευση της ηλεκτρικής ενέργειας που προκάλεσε τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα μετά την αποσύνδεση της μπαταρίας;*

### Εικόνα 3.25

(β) Μόλις ανοίξουμε το διακό-



πτη: η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική και προκαλεί τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα.



Για να ερμηνεύσουμε το φαινόμενο αυτό πρέπει να δεχτούμε ότι στο μαγνητικό πεδίο αποθηκεύεται ενέργεια που προήλθε από την ηλεκτρική ενέργεια (εικόνα 3.25α). Μετά την αποσύνδεση της μπατα-

ρίας η ενέργεια του μαγνητικού πεδίου του πηνίου μετατράπηκε σε ηλεκτρική και προκάλεσε τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα (εικόνα 3.25β).

### **Εικόνα 3.26** **Αντρέ Μαρί Αμπέρ** **(1775-1836)**



Γάλλος φυσικός και μαθηματικός. Με έναυσμα την προσπάθειά του να ερμηνεύσει το πείραμα του Έρστεντ, έθεσε τα θεωρητικά θεμέλια του ηλεκτρομαγνητισμού. Γι' αυτό και αποκαλείται και «Νεύτωνα του ηλεκτρομαγνητισμού». Για να ελέγξει τη θεωρία του, έκανε ο ίδιος μια σειρά από πρωτότυπα πειράματα, εισάγοντας μεθόδους που ακόμα και σήμερα χρησιμοποιούνται στη σύγχρονη πειραματική Φυσική.

## ***Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στους ρευματοφόρους αγωγούς***

Γνωρίζουμε ότι κάθε μαγνήτης δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Δύο μαγνήτες αλληλεπιδρούν μεταξύ τους με δυνάμεις που ασκούνται σ' αυτούς μέσω των μαγνητικών τους πεδίων. Είδαμε επίσης, σύμφωνα με το πείραμα του Έρστεντ, ότι ένας αγωγός από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί γύρω του μαγνητικό πεδίο. Συμπεριφέρεται δηλαδή όπως ένας μόνιμος μαγνήτης.

Ο Αντρέ Αμπέρ (εικόνα 3.26) διατύπωσε πρώτος την πρόβλεψη ότι, αν τοποθετήσουμε ένα ρευματοφόρο αγωγό μέσα σε μαγνητικό πεδίο, θα του ασκηθεί μαγνητική δύναμη. Για να επιβεβαιώσουμε ή να διαψεύσουμε την υπόθεση του

**Αμπέρ, θα καταφύγουμε πάλι στο πείραμα.**

***Εικόνα 3.27***

Το σύρμα εκτρέπεται από την αρχική θέση ισορροπίας όταν από αυτό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στο σύρμα.



Ένα ευθύγραμμο σύρμα τοποθετείται ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη (εικόνα 3.27). Συνδέουμε τα άκρα του σύρματος με τους πόλους ηλεκτρικής πηγής και κλείνουμε το διακόπτη. Παρατηρούμε ότι το σύρμα εκτρέπεται από την αρχική θέση του. Συμπεραίνουμε ότι στο σύρμα ασκείται δύναμη από το μαγνητικό πεδίο.

**Έτσι λοιπόν επιβεβαιώνουμε την αρχική μας πρόβλεψη: Όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και τον διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα, τότε το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη στον αγωγό.**

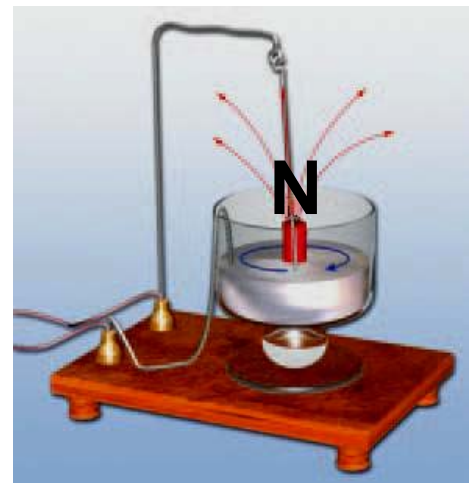
### **3.4 Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια**

**Πολλές φορές θα έχεις παίξει με ηλεκτρικά αυτοκινητάκια. Κλείνεις το διακόπτη και το αυτοκινητάκι αρχίζει να κινείται. Το καλοκαίρι, όταν ζεσταίνεσαι, κλείνεις το διακόπτη και τα πτερύγια του ανεμιστήρα αρχίζουν να περιστρέφονται. Και στις δύο παραπάνω περιπτώσεις όταν κλείνεις το διακόπτη κλείνει ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο εσωτερικό της συσκευής, οπότε απ' αυτή διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Το ηλε-**

κτρικό ρεύμα προκαλεί την κίνηση του αυτοκινήτου ή των πτερυγίων του ανεμιστήρα. Σ' αυτή την περίπτωση λέμε ότι η ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος μετασχηματίζεται σε κινητική ενέργεια του αυτοκινήτου ή των πτερυγίων.

### **Εικόνα 3.28** **Κινητήρας του** **Φαραντέυ**

Από τον αγωγό διέρχεται ρεύμα. Το κύκλωμα κλείνει με τη βοήθεια του υδραργύρου (Hg) που είναι τοποθετημένος στο ποτήρι. Στο κέντρο τοποθετείται κατάλληλα ένας ευθύγραμμος μαγνήτης. Ο μαγνήτης ασκεί δύναμη στον αγωγό. Ο αγωγός περιστρέφεται γύρω από τον πόλο του μαγνήτη



Οι συσκευές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική ονομάζονται ηλεκτρικοί κινητήρες (εικόνα 3.28).

### ***Ο ηλεκτρικός κινητήρας***

Αν συνδέσουμε μια μπαταρία με έναν κινητήρα, το κινούμενο μέρος του κινητήρα περιστρέφεται. Ο πρώτος ηλεκτρικός κινητήρας επινοήθηκε και κατασκευάστηκε από τον Άγγλο φυσικό Μ. Φαραντέυ το 1821. Όπως είδαμε, το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη σ' ένα ρευματοφόρο αγωγό. Ο Φαραντέυ, αξιοποιώντας αυτό το γεγονός, κατάφερε να προκαλέσει την περιστροφή ενός ρευματοφόρου σύρματος μέσα σε μαγνητικό πεδίο (εικόνα 3.28). Το πείραμα εντυπωσίασε τόσο τον ίδιο όσο και τους συγχρόνους του.

### ***Εικόνα 3.29***

Η λειτουργία πολλών μέσων μεταφοράς στηρίζεται σε μηχανές που μετατρέπουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.



Οι ηλεκτροκινητήρες αποτέλεσαν τη βάση για την κατασκευή δεκάδων νέων μηχανημάτων που έδωσαν μεγάλη ανάπτυξη στη βιομηχανία, καθώς και νέων μεταφορικών μέσων. Το ηλεκτρικό αυτοκινητάκι, το ηλεκτρικό πλυντήριο ρούχων, το μίξερ, τα τρόλεϊ και τα ηλεκτρικά τρένα, το ηλεκτρικό ψυγείο και η μίζα του αυτοκινήτου λειτουργούν με ηλεκτρικούς κινητήρες (εικόνα 3.29).

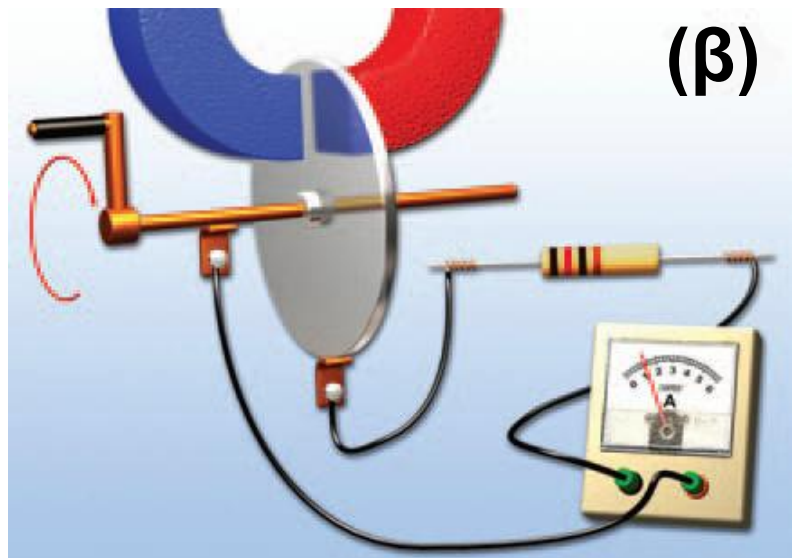
## ***Η ηλεκτρική γεννήτρια***

**Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Είναι δυνατόν να συμβεί και η αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή η κινητική ενέργεια να μετατραπεί σε ηλεκτρική και με ποιο τρόπο;**

**Η απάντηση στο παραπάνω ερώτημα διερευνήθηκε από πολλούς φυσικούς στις αρχές του 19ου αιώνα. Ο Μ. Φαραντέυ υπήρξε ένας από αυτούς και προκειμένου να απαντήσει στο ερώτημα πραγματοποίησε πολλά πειράματα. Σε κάποια από αυτά μετακινούσε μαγνήτες κοντά σε πηνία (αγωγούς). Για πολλά χρόνια οι παρατηρήσεις του δεν τον οδήγησαν στην απάντηση του ερωτήματος. Παρ' όλα αυτά συνέχιζε να πειραματίζεται.**

**Τελικά το 1831 ανακάλυψε ότι, αν περιέστρεφε ένα μεταλλικό δίσκο**

ανάμεσα στους πόλους ενός μα-  
γνήτη, τότε από το κύκλωμα στο  
οποίο συνδέονταν ο δίσκος διερ-  
χόταν ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα  
3.30α, β). Η κινητική ενέργεια του  
δίσκου μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



### ***Εικόνα 3.30***

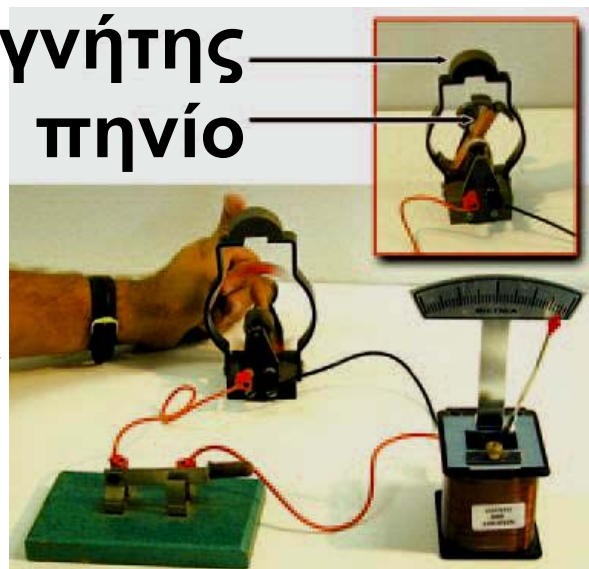
(α) Η πρώτη γεννήτρια όπως την  
κατασκεύασε ο Μ. Φαραντέυ.

(β) Σχηματική αναπαράσταση της  
γεννήτριας του Φαραντέυ (δυναμό).

Η ανακάλυψη του Φαραντέυ οδή-  
γησε στην εφεύρεση των ηλεκτρο-  
γεννητριών (εικόνα 3.31). Οι ηλε-

ΚΤΡΟΓΕΝΝΗΤΡΙΕΣ είναι συσκευές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

μαγνήτης  
πηνίο



### ***Εικόνα 3.31***

### ***Ηλεκτρογεννήτρια***

Το πηνίο τοποθετείται μεταξύ των πόλων του μαγνήτη και προκαλείται η περιστροφή του. Από το πηνίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Γιγάντιες γεννήτριες που λειτουργούν με παρόμοιο τρόπο χρησιμοποιούνται από τη ΔΕΗ.

**Οι επιστημονικές κατακτήσεις ως κοινωνικό αγαθό**

**Ο Φαραντέυ θεωρούσε ότι οι κατακτήσεις της επιστήμης έπρεπε να γίνουν κτήμα όλων των ανθρώπων,**

**κυρίως των παιδιών και όχι μόνο της επιστημονικής κοινότητας.**

**Ο Φαραντέυ (Faraday) ενώ δίνει διάλεξη τα Χριστούγεννα του 1856 στην**



**αίθουσα διαλέξεων του Βασιλικού Ιδρύματος. Τη διάλεξη παρακολουθούν και μέλη της βασιλικής οικογένειας μεταξύ των οποίων βρίσκεται και ο πρίγκιπας της Ουαλίας (ο μελλοντικός Εδουάρδος Ζ').**

**Γι' αυτό και όταν έγινε Διευθυντής του Βασιλικού Ιδρύματος θέσπισε μια σειρά διαλέξεων που απευθύνονταν στο ευρύ κοινό και πραγματοποιούνταν από επιστήμονες του ιδρύματος κάθε Παρασκευή βράδυ. Επιπλέον καθιέρωσε κατά τη διάρ-**

κεια των Χριστουγέννων κάθε έτους μια σειρά εκλαϊκευμένων διαλέξεων που απευθύνονταν σε παιδιά. Ο Φαραντέυ αφιέρωνε πολύ χρόνο και κόπο για την προετοιμασία αυτών των διαλέξεων οι οποίες και έμειναν ιστορικές, γοήτευσαν και ενέπνευσαν δε πολλούς νέους ανθρώπους. Η παράδοση αυτή των διαλέξεων διατηρείται μέχρι σήμερα.

### **3.5 Βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος**

Διαφορές δυναμικού και ηλεκτρικά ρεύματα παίζουν 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 1,1 V.**

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

**Το είδος της βιολογικής επίδρασης εξαρτάται κυρίως από την τιμή της έντασης του ρεύματος. Ρεύματα με ένταση 0,1 A είναι πολύ μικρά για να προκαλέσουν ουσιαστική θέρμανση του σώματος. Ακόμη**

όμως και ρεύματα 0,02 A μέσα από το χέρι ή το πόδι μπορεί να προκαλέσουν ισχυρές μυϊκές συσπάσεις και αρκετό πόνο. Το χειρότερο είναι ότι, όταν ο άνθρωπος βρίσκεται σε επαφή με το ρευματοφόρο αγωγό, οι μύες του βρίσκονται σε συνεχή σύσπαση και επομένως δεν μπορεί να αποσπαστεί από αυτόν. Τότε λέμε ότι το άτομο έπαθε ηλεκτροπληξία. Ρεύματα της τάξης 0,1 A μπορούν να προκαλέσουν θάνατο επειδή παρεμβαίνουν στο νευρικό σύστημα που ρυθμίζει ζωτικές λειτουργίες όπως η λειτουργία της καρδιάς (πίνακας 3.2).

Η αντίσταση του ανθρώπινου σώματος ποικίλλει στα διάφορα μέρη του. Τα υγρά του σώματος είναι αγωγοί λόγω της ύπαρξης ιόντων. Η αντίσταση του δέρματος είναι σχετικά υψηλή, εξαρτάται από τη

φυσική του κατάσταση (χοντρό-λεπτό, σκληρό-μαλακό, υγρό-ξηρό κ.λπ.) και κυμαίνεται από 1,5 kΩ για πολύ υγρό έως 100 kΩ για πολύ ξηρό δέρμα. Με αντίσταση 20 kΩ από το νόμο του Ωμ προκύπτει ότι τάση 220 V προκαλεί ρεύμα έντασης 0,011 A ή 11 mA. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, ακόμη και μικρές τάσεις της τάξης των 10 V μπορεί να είναι επικίνδυνες. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές και τα κυκλώματα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.

Η ηλεκτρική τάση των 220 V που χρησιμοποιούμε στην οικιακή κατανάλωση είναι εξαιρετικά επικίνδυνη. Η επαφή με γυμνά, μη μονωμένα καλώδια μπορεί να προκαλέσει το θάνατο μέσα σε λίγα δευτερόλεπτα. Γενικά η επαφή με τάσεις πάνω

από 40 V πρέπει να θεωρούνται επικίνδυνες.

## Δραστηριότητα

**Μέτρησε την αντίσταση του σώματός σου**

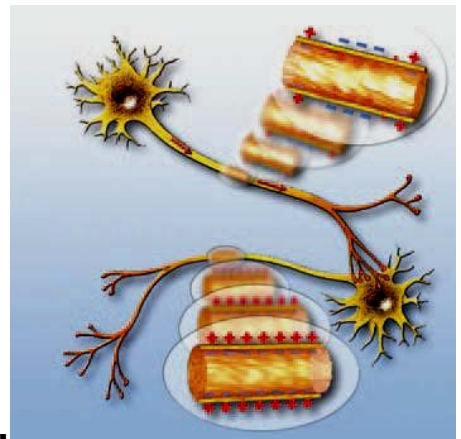
- ▶ Πάρε ένα πολύμετρο και μετάτρεψέ το σε ωμόμετρο.
- ▶ Κράτησε με τα δάχτυλά σου τις άκρες των καλωδίων σύνδεσής του.
- ▶ Πόση είναι η αντίστασή σου;
- ▶ Βρέξε τα δάχτυλά σου και μέτρησε ξανά την αντίστασή σου.
- ▶ Υπολόγισε το ρεύμα που θα διαρρέει το σώμα σου και στις δύο περιπτώσεις αν συνδεθείς με τάση 220 Volt.



► Μπορείς τώρα να δικαιολογήσεις γιατί το ρεύμα που διέρχεται από το σώμα σου όταν το δέρμα σου είναι υγρό (έχει μεγαλύτερη ένταση και συνεπώς) είναι πιο επικίνδυνο;

## Νευρικό ερέθισμα και ηλεκτρισμός

Διάδοση ενός νευρικού ερεθίσματος κατά μήκος του νευρικού άξονα.



α. Σε ένα νευρώνα, ο οποίος δεν βρίσκεται σε διέγερση, η κυτταρική μεμβράνη είναι στο εξωτερικό θετικά φορτισμένη, ενώ στο εσωτερικό αρνητικά. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ εσωτερικού και εξωτερικού είναι περίπου 0,1 V.

β. Όταν στο άκρο του νευρώνα δημιουργηθεί ένας ερεθισμός, τότε

ξεκινά μια σειρά χημικών αντιδράσεων που έχει ως τελικό αποτέλεσμα να φορτίζεται αρνητικά το εξωτερικό της κυτταρικής μεμβράνης και θετικά το εσωτερικό, δηλαδή τοπικά έχουμε αντιστροφή της πολικότητας. Έτσι δημιουργείται μια νευρική ώση και ξεκινά η διάδοση του νευρικού ερεθίσματος.

γ. Στη συνέχεια η νευρική ώση προκαλεί μια ίδια μεταβολή στο γειτονικό τμήμα του νευρώνα, ενώ το προηγούμενο επανέρχεται στην αρχική του κατάσταση.

δ. Με αυτό το τρόπο η νευρική ώση ταξιδεύει από το ένα άκρο του νευρώνα στο άλλο ως ένα κύμα τοπικών ηλεκτρικών μεταβολών.

## ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2

**ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΤΟΝ ΔΙΑΡΡΕΙ**

<b>Ένταση ρεύματος</b>	<b>Αποτελέσματα</b>
<b>0 - 1 mA</b>	<b>Δεν είναι αισθητά</b>
<b>1 - 8 mA</b>	<b>Ελάχιστα αισθητά - ακίνδυνα</b>
<b>8 - 15 mA</b>	<b>Οδυνηρό - προκαλεί σύσπαση των μυών</b>
<b>10 - 20 mA</b>	<b>Πολύ οδυνηρό. Προκαλεί σύσπαση των μυών και δεν μπορούμε να απομακρυνθούμε από το σημείο επαφής.</b>

<b>20 - 50 mA</b>	<b>Προκαλεί παράλυση των μυών και συμπτώματα ασφυξίας</b>
<b>50 - 100 mA</b>	<b>Προσβάλλει την καρδιά και επιφέρει το θάνατο</b>

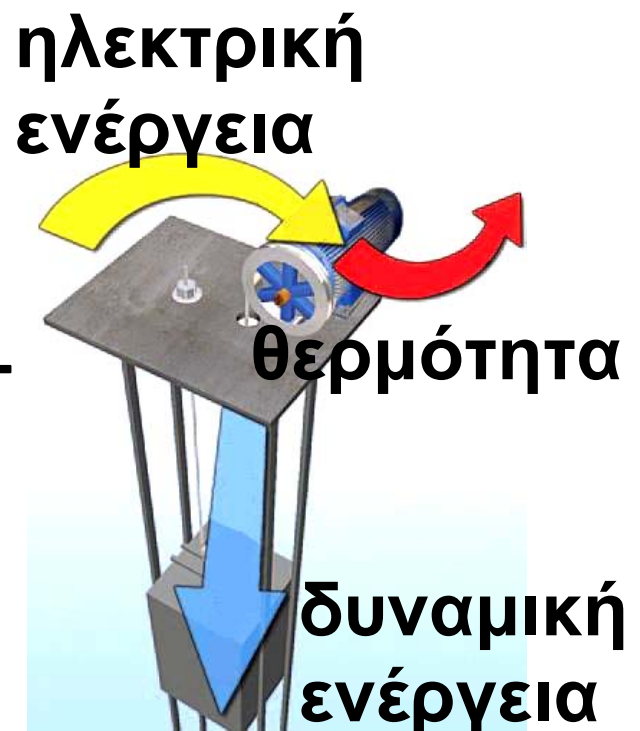
### **3.6 Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος**

Το ηλεκτρικό ρεύμα όταν διαρρέει οποιαδήποτε συσκευή ή μηχανή μεταφέρει σ' αυτή ενέργεια η οποία μετατρέπεται σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Έτσι, για παράδειγμα, στη διάταξη της εικόνας 3.32, όταν ο κινητήρας περιστρέφεται και ανυψώνει ένα βαρίδι, μετατρέπει σε μηχανική ένα μέρος της ενέργειας που μεταφέρεται σ' αυτόν από το ηλεκτρικό ρεύμα. Το υπόλοιπο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική

λόγω του φαινομένου Τζάουλ και της τριβής.

### Εικόνα 3.32

Ένα μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μεταφέρεται από τον κινητήρα στο βαρίδι και μετατρέπεται σε δυναμική. Το υπόλοιπο μετασχηματίζεται σε θερμική στον κινητήρα λόγω του φαινομένου Τζάουλ και των τριβών που ασκούνται στα κινούμενα μέρη.



***Ενέργεια που μετατρέπει μια ηλεκτρική συσκευή***

***Πόση είναι η συνολική ηλεκτρική ενέργεια που «καταναλώνει» μια***

**συσκευή και τη μετατρέπει σε ενέργεια άλλων μορφών;**

**Είδαμε (σχέση 2.3) ότι η ενέργεια που προσφέρεται από το ηλεκτρικό ρεύμα σε έναν ηλεκτρικό καταναλωτή δίνεται από τη σχέση  $E_{\eta\lambda} = q \cdot V$ . Αν λάβουμε υπόψη τον ορισμό της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος, προκύπτει:**

$$E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\rho\iota\kappa\eta} = V \cdot (I \cdot t) \quad \acute{\eta}$$

$$E_{\eta\lambda\epsilon\kappa\tau\rho\rho\iota\kappa\eta} = V \cdot I \cdot t \quad (3.3)$$

**δηλαδή η ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σε μια συσκευή είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού ( $V$ ) που εφαρμόζεται στα άκρα (πόλους) της συσκευής, της έντασης ( $I$ ) του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει και του χρόνου λειτουργίας της ( $t$ ).**

**Πρέπει να σημειώσουμε ότι η σχέση 3.3 ισχύει για κάθε είδος ηλε-**

κτρικής συσκευής που μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια κάποιας άλλης μορφής. Έτσι μπορούμε να την εφαρμόσουμε σε κινητήρα, αντιστάτη, μια επαναφορτιζόμενη μπαταρία, λαμπτήρα κ.λπ.

Η μονάδα ηλεκτρικής ενέργειας, όπως και κάθε μορφής ενέργειας, στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) είναι το ένα Τζάουλ (1 J).

Αν στη σχέση 3.3 αντικαταστήσουμε  $V=1\text{ V}$ ,  $I = 1\text{ A}$  και  $t = 1\text{ s}$  μπορούμε να υπολογίσουμε την ηλεκτρική ενέργεια που «καταναλώνει / μετασχηματίζει σε ένα δευτερόλεπτο μια συσκευή από την οποία διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A και μεταξύ των άκρων της εφαρμόζεται τάση 1 V:

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

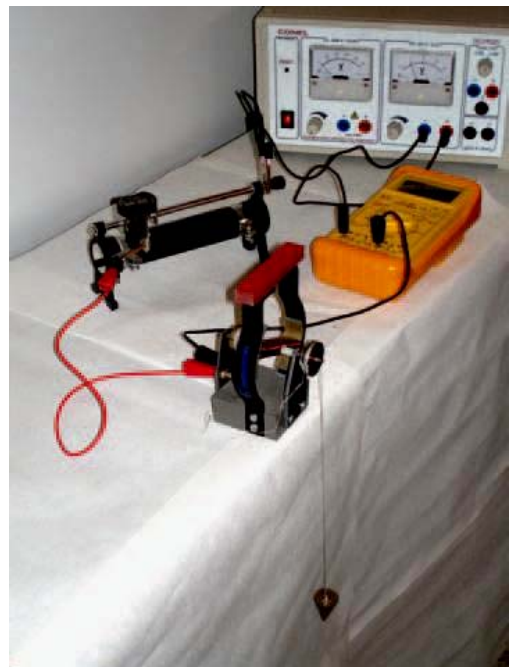
Ωστε ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A μεταφέρει σε μια ηλεκτρική συ-

σκευή ενέργεια ίση με 1 J όταν τη διαρρέει επί 1 s και η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της είναι 1 V.

## Δραστηριότητα

### Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια

► Συναρμολόγησε το κύκλωμα που εικονίζεται στην διπλανή εικόνα. Με τη βοήθεια ηλεκτρικού κινητήρα ανυψώνεται ένα βαρίδι κατά ορισμένο ύψος. Συμπλήρωσε τους πίνακες:



**Σημειώνουμε:**

Ένδειξη βολτόμετρου (V)	Ένδειξη αμπερόμετρου (I)	Μάζα βαριδίου (m)	Χρόνος ανύψωσης (t)

## **Υπολογίζουμε:**

<b>Ηλεκτρι- κή ενέρ- γεια που αποδό- θηκε στον κινητήρα</b>	<b>Δυνα- μική ενέρ- γεια βαρι- δίου</b>	<b>Ηλεκτρι- κή ισχύς του κινη- τήρα</b>	<b>Μηχα- νική ισχύς</b>

▶ Σύγκρινε το αποτέλεσμα της πρώτης και της δεύτερης στήλης. Είναι σύμφωνο με την αρχή διατήρησης της ενέργειας;

Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

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

▶ Συμπλήρωσε τους ίδιους πίνακες.

► Σύγκρινε τα αποτελέσματα. Ποια φυσικά μεγέθη μεταβλήθηκαν ως αποτέλεσμα της μετακίνησης του δρομέα;

### ***Η ισχύς που «καταναλώνει» μια ηλεκτρική συσκευή***

Στις πρακτικές εφαρμογές δεν μας ενδιαφέρει μόνον πόση ενέργεια μετατρέπεται μια συσκευή ή μηχανή, αλλά και ο χρόνος μέσα στον οποίο συμβαίνει αυτό, δηλαδή μας ενδιαφέρει η ισχύς της συσκευής.

Γνωρίζουμε ότι η ισχύς ( $P$ ) είναι η ποσότητα της ενέργειας ( $E$ ) που μετατρέπεται («παράγει», «καταναλώνει») ή μεταφέρει μια μηχανή (ή, γενικότερα, συσκευή) προς το αντίστοιχο (απαιτούμενο) χρονικό διάστημα ( $t$ ). Στη γλώσσα των Μαθηματικών γράφουμε:

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

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

$$P_{\eta\lambda} = \frac{E_{\eta\lambda}}{t} .$$
 Αν αντικαταστήσουμε

την ηλεκτρική ενέργεια από τη σχέση

3.3 λαμβάνουμε  $P_{\eta\lambda} = \frac{V \cdot I \cdot t}{t}$   
δηλαδή

$$P_{\eta\lambda} = V \cdot I \quad (3.4)$$

Όστε η ηλεκτρική ισχύς που «καταναλώνει»/μετασχηματίζει μια οποιαδήποτε ηλεκτρική συσκευή είναι ίση με το γινόμενο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στους πόλους της επί την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

Έτσι, για παράδειγμα, αν στα άκρα μιας ηλεκτρικής συσκευής εφαρμόσουμε διαφορά δυναμικού  $V = 1 \text{ Volt}$  και μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος  $I = 1 \text{ A}$ , τότε σύμφωνα με τη σχέση 3.3 η ηλεκτρική ισχύς που μετατρέπεται 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 εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού  $1 \text{ V}$  μεταφέρει σ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ  $1 \text{ W}$ . Αν η συσκευή αυτή είναι ένας κινητήρας που μετατρέπεται σχεδόν ολόκληρη την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική μπορεί να ανυψώσει ένα μήλο  $100 \text{ g}$  σε ύψος  $1 \text{ m}$  σε χρόνο ενός δευτερόλεπτου.

## ***Κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας***

***Για να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν στο σπίτι μας χρειάζονται ενέργεια.***

***Ποιος παρέχει αυτή την ενέργεια;***

**Η ενέργεια παρέχεται από εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας όπως η ΔΕΗ. Η ενέργεια όμως στοιχίζει. Κάπου στο εξωτερικό μέρος του σπιτιού μας υπάρχει ένας ηλεκτρικός μετρητής σαν αυτόν που απεικονίζεται στην εικόνα 3.33. Ο ηλεκτρικός μετρητής μετράει τη συνολική ηλεκτρική ενέργεια που προσφέρεται από τη ΔΕΗ στις ηλεκτρικές συσκευές του σπιτιού μας. Ο λογαριασμός της ΔΕΗ αντιστοιχεί στο κόστος της ηλεκτρικής ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για τη λειτουργία των συσκευών και όχι στην ισχύ τους.**

Βέβαια η ηλεκτρική ενέργεια που καταναλώνει μια συσκευή ισούται με το γινόμενο της ισχύος της συσκευής επί το χρόνο λειτουργίας της, δηλαδή:

$$E_{\eta\lambda} = P_{\eta\lambda} \cdot t$$

kWh  
30118.5

### ***Εικόνα 3.33***

Ο ηλεκτρικός μετρητής και ο λογαριασμός της ηλεκτρικής ενέργειας. Από ένα λογαριασμό «ηλεκτρικού

ρεύματος»<sup>1</sup> μπορείς να υπολογίσεις το κόστος σε λεπτά ηλεκτρικής ενέργειας 1.000 J;

**1.** Ποιο επιστημονικό λάθος διακρίνεις στο χαρακτηρισμό από



## **τη ΔΕΗ του παραπάνω λογαριασμού; Ποια αλλαγή θα πρότεινες στη ΔΕΗ;**

**Αν η ισχύς μετράται σε  $W$  και ο χρόνος σε  $s$ , τότε η ενέργεια υπολογίζεται σε  $J$ . Όμως το Τζάουλ είναι μια μικρή ποσότητα ενέργειας. Γι' αυτό το λόγο οι εταιρείες ηλεκτρικής ενέργειας μετρούν την ενέργεια που παρέχουν σε μια άλλη μονάδα που λέγεται κιλοβατώρα (συμβολικά:  $1 \text{ kW} \cdot \text{h}$ ). Μια κιλοβατώρα είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή ισχύος  $1 \text{ kW}$  ( $1000 \text{ W}$ ) όταν λειτουργεί για μια ώρα. Ένας λαμπτήρας ισχύος  $100 \text{ W}$  όταν λειτουργεί για  $10$  ώρες καταναλώνει ενέργεια  $1 \text{ kWh}$ . Παραδείγματα ισχύος κάποιων ηλεκτρικών συσκευών παρουσιάζονται στους πίνακες των επόμενων σελίδων.**

<b>Συσκευή</b>	<b>Συμβατικοί λαμπτήρες (σύνολο φωτισμού σπιτιού)</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>600</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα Ενέργεια Ημερήσιο κόστος Τετράμηνο κόστος</b>	

<b>Συσκευή</b>	<b>Ηλεκτρική κουζίνα</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>1500</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα</b>	
<b>Ενέργεια Ημερήσιο κόστος Τετράμηνο κόστος</b>	

<b>Συσκευή</b>	<b>Θερμοσίφωνας</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>2.500</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα</b>	
<b>Ενέργεια Ημερήσιο κόστος</b>	
<b>Τετράμηνο κόστος</b>	

<b>Συσκευή</b>	<b>Τηλεόραση</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>500</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα</b>	
<b>Ενέργεια Ημερήσιο κόστος Τετράμηνο κόστος</b>	

<b>Συσκευή</b>	<b>Ηλεκτρικό ψυγείο</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>150</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα</b>	
<b>Ενέργεια Ημερήσιο κόστος Τετράμηνο κόστος</b>	

<b>Συσκευή</b>	<b>Ηλεκτρικό πλυντήριο</b>
<b>Ισχύς σε W</b>	<b>3.500</b>
<b>Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα Ενέργεια Ημερήσιο κόστος Τετράμηνο κόστος</b>	

**Οι μετασχηματισμοί ενέργειας έχουν κόστος και επιβαρύνουν το περιβάλλον: Μείωσε τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.**

**Στους πίνακες των προηγούμενων σελίδων δίνεται μια σειρά συσκευών που χρησιμοποιούνται καθημερινά στο σπίτι σου με τις αντίστοιχες ισχύες,**

**- Κάνε μια εκτίμηση για το χρόνο σε ώρες που λειτουργεί κάθε συσκευή κάθε μέρα,**

**- Υπολόγισε την ενέργεια που απαιτείται για τη λειτουργία της,**

**- Υπολόγισε το κόστος λειτουργίας για τέσσερις μήνες (χρονικό διάστημα που υπολογίζει και η ΔΕΗ την παρεχόμενη ενέργεια),**

**- Σκέψου ποιες από τις συσκευές θα ήταν δυνατόν να λειτουργούν για μικρότερο χρονικό διάστημα η με**

**ποιον άλλο τρόπο θα ήταν δυνατόν να μειωθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες της οικογένειας σου.**

**- Υπολόγισε την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί, καθώς και το οικονομικό όφελος που θα προκύψει.**

**Ερωτήσεις**

**ερωτήσεις**

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

## **Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος**

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

**α. Όταν από έναν αντιστάτη διέρχεται ..... η**

θερμοκρασία του ..... Η αύξη-  
ση αυτή συνδέεται με αύξηση της  
..... ενέργειας του  
αντιστάτη. Επιπλέον όταν η  
..... του αντιστάτη γίνε-  
ται μεγαλύτερη από τη θερμοκρα-  
σία του περιβάλλοντος, τότε ενέρ-  
γεια (.....) θα μεταφέρεται  
από τον αντιστάτη στο περιβάλλον  
του. Η ενέργεια αυτή προέρχεται  
από την ..... ενέργεια.  
Η αύξηση της ..... ενέργειας  
ενός αντιστάτη αντίστασης  $R$ , όταν  
από αυτόν διέρχεται .....  
..... σταθερής έντασης ( $I$ )  
και επομένως η ποσότητα της  
.....  $Q$  που μεταφέ-  
ρεται από αυτόν προς το περιβάλ-  
λον σε χρονικό διάστημα  $t$  είναι  
.....  $i$ ) του .....  
..... του ηλεκτρι-  
κού ρεύματος ( $I$ ) που διαρρέει τον

αντιστάτη, ii) της.....  
(R) του αντιστάτη και iii) του  
..... (t) ..... του ηλεκ-  
τρικού ρεύματος από τον αντιστά-  
τη.

γ. Όταν από ένα μεταλλικό αγωγό  
διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ένα  
μέρος της ..... ενέργειας των  
ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταφέρε-  
ται στα ..... του μεταλλικού  
πλέγματος. Η άτακτη κίνηση όλων  
των δομικών λίθων του αγωγού  
γίνεται ..... Η .....  
ενέργεια του αγωγού και η  
..... του αυξάνονται. Η  
..... ενέργεια των ελεύθερων  
ηλεκτρονίων μειώνεται προσωρινά.  
Όμως, οι δυνάμεις του ηλεκτρικού  
πεδίου προκαλούν εκ νέου  
..... της ταχύτητάς τους  
και αναπληρώνουν την .....  
ενέργειά τους.

# Χημικά, μαγνητικά και βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος. Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια

**2.** Συμπλήρωσε τις προτάσεις ώστε να είναι επιστημονικά ορθές:

α. Αιτία της ηλεκτρόλυσης είναι η διέλευση του ..... από το ..... διάλυμα. Κατά την ηλεκτρόλυση η ..... ενέργεια μετατρέπεται σε .....

β. Το ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργεί ..... πεδίο. Στο πεδίο αυτό ..... ενέργεια η οποία προέρχεται από την ..... ενέργεια. Όταν ένας αγωγός βρίσκεται μέσα σε μαγνητικό πεδίο και τον διαρρέει ..... ρεύμα, τότε το πεδίο ασκεί ..... στον αγωγό.

γ. Οι ηλεκτροκινητήρες είναι μηχανές που μετατρέπουν την ..... ενέργεια σε .....ενέργεια. Η λειτουργία τους στηρίζεται στο ότι το ..... ασκεί δύναμη σ' έναν αγωγό από τον οποίο διέρχεται .....

δ. Οι γεννήτριες είναι μηχανές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε .....

## Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος

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

Το ηλεκτρικό ρεύμα όταν διαρρέει οποιαδήποτε συσκευή ή μηχανή μεταφέρει σ' αυτή ..... η οποία είναι ανάλογη της .....

.....(V) που εφαρμόζεται στα άκρα (πόλους) της συσκευής, της .....(I) του ..... που τη διαρρέει και του .....(t). Η ενέργεια αυτή .....σε ενέργεια άλλης μορφής.

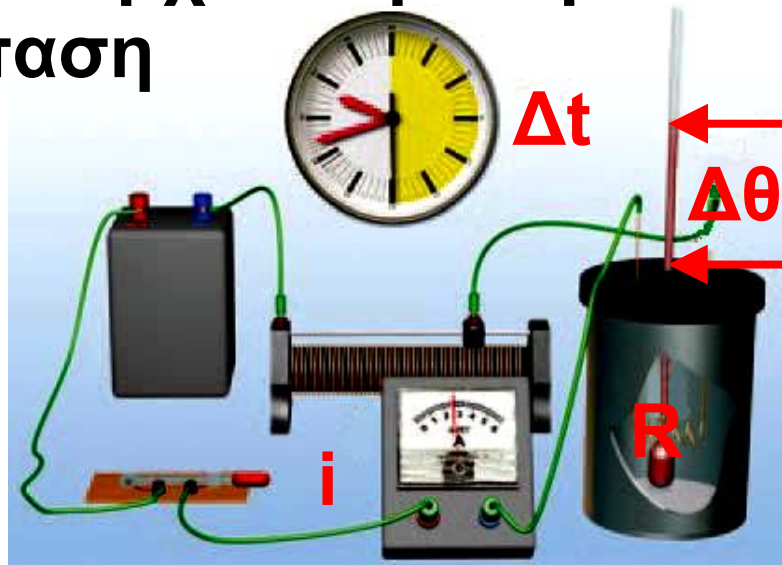
► Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:

## Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

4. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

i. Βυθίζουμε έναν αντιστάτη από χαλκό σε νερό που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο. Από

τον αντιστάτη διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, την ένταση του οποίου ρυθμίζουμε με ένα ροοστάτη. Όταν από τον αντιστάτη διέρχεται



ται ρεύμα έντασης 1 A, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  στους  $22\text{ }^{\circ}\text{C}$  σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού.

α. Σε χρονικό διάστημα δύο λεπτών η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  στους  $28\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

β. Αν μετακινήσουμε το δρομέα του ροοστάτη και αυξήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σε 2 A, τότε σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  στους  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

γ. Αν αντικαταστήσουμε τον αντιστάτη με άλλον διπλάσιας αντίστασης και ρυθμίσουμε το ροοστάτη έτσι ώστε η ένταση του ρεύματος που τον διαρρέει να είναι  $1\text{ A}$ , σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  στους  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

δ. Αν με τον αρχικό αντιστάτη ρυθμίσουμε την ένταση στα  $0,5\text{ A}$  και θερμάνουμε το νερό για δύο λεπτά, η θερμοκρασία του θα αυξηθεί από τους  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$  στους  $24\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

ii. Η αύξηση της θερμοκρασίας ενός μεταλλικού αγωγού, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, οφείλεται τελικά:

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 κινητικής ενέργειας λόγω της άτακτης κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων του και των ιόντων του μεταλλικού πλέγματος.**

**5. Ηλεκτρικό ρεύμα ορισμένης έντασης διαρρέει αντιστάτη για χρονικό διάστημα δύο λεπτών. Το ποσό της ηλεκτρικής ενέργειας που ο αντιστάτης μετατρέπει σε θερμική είναι 30 J. Αν διπλασιαστεί η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος, ποια είναι η αντίστοιχη ποσότητα της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμική σε ένα λεπτό;**

**6.** Με ποιο τρόπο προστατεύεται μια ηλεκτρική συσκευή με τη βοήθεια μιας τηκόμενης ασφάλειας;

## **Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος**

**7.** Να χαρακτηρίσεις με  $\Sigma$  τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με  $\Lambda$  αυτές που το περιεχόμενο τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.

Στους πόλους ενός ηλεκτρικού κινητήρα εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού  $5\text{ V}$ , οπότε από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα έντασης  $0,1\text{ A}$ . Ο κινητήρας περιστρέφεται και κινεί ένα αυτοκινητάκι:

α. Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας είναι  $0,5\text{ W}$ .

β. Στον κινητήρα μεταφέρεται ηλεκτρική ισχύς  $0,5\text{ W}$ .

γ. Ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται στον κινητήρα

μετατρέπεται σε θερμικές απώλειες λόγω του φαινομένου Τζάουλ.

δ. Κάθε δευτερόλεπτο  $0,5 \text{ J}$  ηλεκτρικής ενέργειας που μεταφέρονται από το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα μετατρέπονται σε θερμική ενέργεια.

ε. Η μηχανική ενέργεια που αποδίδει ο κινητήρας σε ένα λεπτό είναι μικρότερη των  $30 \text{ J}$ .

**8.** Να περιγράψεις τις μετατροπές ή μεταφορές ενέργειας που συμβαίνουν σε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα που αποτελείται από μια μπαταρία και έναν αντιστάτη ο οποίος είναι βυθισμένος σε νερό που βρίσκεται μέσα σε θερμικά μονωμένο δοχείο.

**9.** Να περιγράψεις τις μετατροπές ενέργειας που συμβαίνουν κατά τη λειτουργία του κινητήρα ενός ανελκυστήρα καθώς ανυψώνει το θάλα-

μο από τον 1ο στον 5ο όροφο μιας πολυκατοικίας.

10. Μπορεί ένας κινητήρας να αποδίδει μηχανική ισχύ μεγαλύτερη από την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα σ' αυτόν; Να αιτιολογήσεις την απάντησή σου.

## Ασκήσεις

## ασκήσεις

*Για όλες τις ασκήσεις δίνεται η ειδική θερμότητα του νερού:*

$$c = 4.200 \frac{\text{J}}{\text{Kg} \cdot ^\circ\text{C}}$$

## Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

1. Σε ηλεκτρικό καταναλωτή αναγράφονται από τον κατασκευαστή οι ενδείξεις «12 V, 30 W». Τι σημαίνει αυτή η πληροφορία; Αν εφαρ-

μόσουμε στους πόλους του καταναλωτή τάση  $12\text{ V}$ , πόση θα είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που θα τον διαρρέει;

**2.** Τρεις ηλεκτρικές συσκευές, ένας αντιστάτης, ένας κινητήρας και ένας συσσωρευτής έχουν χαρακτηριστικά λειτουργίας ( $12\text{ V}$ ,  $6\text{ W}$ ), ( $12\text{ V}$ ,  $30\text{ W}$ ) και ( $12\text{ V}$ ,  $24\text{ W}$ ) αντίστοιχα. Πώς πρέπει να τις συνδέσουμε με πηγή σταθερής τάσης  $12\text{ V}$ , 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;

**3.** Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής σταθερής τάσης  $6\text{ V}$  συνδέουμε αντιστάτη αντίστασης  $6\ \Omega$  σε σειρά με αμπερόμετρο. α. Σχεδίασε το κύκλωμα. β. Ποια είναι η ένδειξη

του αμπερόμετρου; γ. Ποια είναι η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη προς το περιβάλλον 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 η ίδια ποσότητα θερμότητας; στ. Πόση είναι η ηλεκτρική ενέργεια που προσδίδει η ηλεκτρική πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο, σε καθεμία από τις δύο περιπτώσεις;

**4.** Διαθέτεις έναν αντιστάτη αντίστασης  $R = 12 \Omega$ , μια ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης  $V = 6 \text{ V}$ , καλώδια σύνδεσης, διακόπτη και ένα θερμικά μονωμένο δοχείο που περιέχει

νερό μάζας  $0,1 \text{ kg}$  αρχικής θερμοκρασίας  $18 \text{ }^\circ\text{C}$ .

α. Να σχεδιάσεις τη σχηματική αναπαράσταση της διάταξης που θα χρησιμοποιήσεις για να θερμάνεις το νερό.

β. Να υπολογίσεις την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.

γ. Σε πόσο χρόνο η θερμοκρασία του νερού θα μεταβληθεί από τους  $15 \text{ }^\circ\text{C}$  στους  $25 \text{ }^\circ\text{C}$ ;

**5.** Ηλεκτρικός θερμοσίφωνα (εικόνα 3.13, σελ. 38) περιέχει νερό μάζας  $10 \text{ kg}$ , έχει αντιστάτη αντίστασης  $60 \text{ } \Omega$ , ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει έχει ένταση  $4 \text{ A}$ .

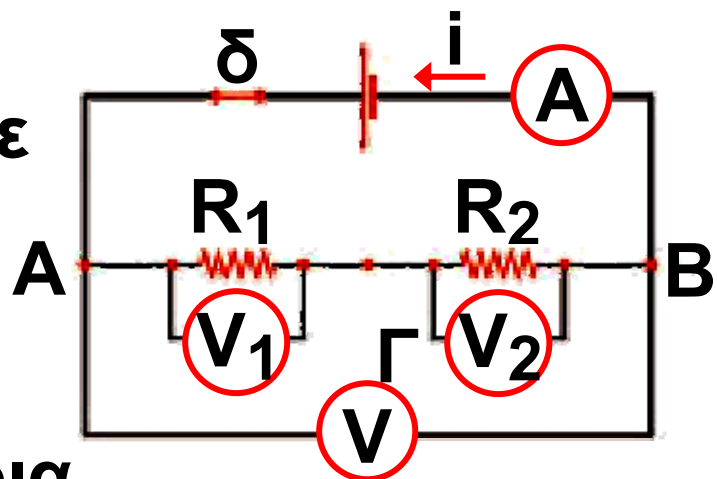
α. Με βάση τα παραπάνω δεδομένα να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στο θερμοσίφωνα σε χρόνο  $2 \text{ min}$ .

β. Αν γνωρίζεις ότι το 70% του ποσού της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον απορροφάται από το νερό του θερμοσίφωνα, να υπολογίσεις την αύξηση της θερμικής ενέργειας και της θερμοκρασίας του νερού στα 2 min.

6. Στο κύκλωμα της διπλανής εικόνας οι δύο αντιστάτες έχουν αντιστάσεις  $R_1=20\ \Omega$  και  $R_2=40\ \Omega$  αντίστοιχα.

Μόλις κλείσουμε το διακόπτη, η ένδειξη του βολτόμετρου είναι 12 V. α. Ποια

θα είναι τότε η ένδειξη του αμπερόμετρου; β. Να υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από κάθε αντιστάτη στο



περιβάλλον σε δύο λεπτά. γ. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα στον ίδιο χρόνο. δ. Να υπολογίσεις την παραγόμενη θερμότητα ανά δευτερόλεπτο σε κάθε αντιστάτη. ε. Να υπολογίσεις την ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα ανά δευτερόλεπτο.

## **Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος**

**7.** Μια μπαταρία συνδέεται με τα άκρα ενός κινητήρα, έτσι ώστε ο κινητήρας να περιστρέφεται. Με τη βοήθεια ενός αμπερόμετρου 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 αμπερόμετρου παραμένει σταθερή και ίση με  $I = 0,5 \text{ A}$ , να υπολογίσεις το ηλεκτρικό φορτίο που διέρχεται από την μπαταρία και από τον κινητήρα σε χρονικό διάστημα ενός λεπτού.

γ. Αν η ένδειξη του βολτόμετρου παραμένει σταθερή και είναι ίση με  $6 \text{ V}$ , να υπολογίσεις την ποσότητα 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  $1 \text{ kg}$  σε ύψος  $15 \text{ m}$ ; ( $g = 10 \text{ m/s}^2$ )

**8.** Συνδέουμε τους πόλους κινητήρα με ηλεκτρική πηγή σταθερής τάσης  $12\text{ V}$ , οπότε η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει είναι  $2\text{ A}$ . Ο κινητήρας αποδίδει σε ένα λεπτό μηχανική ενέργεια  $1.000\text{ J}$ .

α. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα.

β. Να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα σε χρόνο ενός λεπτού.

γ. Να υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον κινητήρα στο περιβάλλον στον ίδιο χρόνο.

δ. Να υπολογίσεις την απόδοση του κινητήρα.

**9.** Σε κινητήρα που λειτουργεί υπό τάση  $120\text{ V}$  μπορεί να μεταφερθεί ηλεκτρική ισχύς  $600\text{ W}$ , σύμφωνα

με τις προδιαγραφές του κατασκευαστή του. Τότε το 80% της ηλεκτρικής ισχύος μετατρέπεται από τον κινητήρα σε μηχανική ισχύ.

Όταν ο κινητήρας λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες, να υπολογίσεις:

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 με τη μορφή θερμότητας κάθε δευτερόλεπτο.

στ. Το μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας που μετατρέπεται σε θερμότητα.

τητα και μεταφέρεται στο περιβάλλον σε δέκα λεπτά λειτουργίας.

**10.** Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί σ' έναν αντιστάτη αντίστασης  $100 \Omega$ , χωρίς να καεί, είναι  $4 \text{ W}$ .

α. Να υπολογίσεις τη μέγιστη τιμή του ηλεκτρικού ρεύματος που μπορεί να τον διαρρέει.

β. Να υπολογίσεις τη μέγιστη τιμή της ηλεκτρικής τάσης που μπορούμε να εφαρμόσουμε στα άκρα του. Ποια είναι τότε η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του σε χρόνο δύο λεπτών;

γ. Αν εφαρμόσουμε στα άκρα του τάση  $10 \text{ V}$ , πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει; Πόση ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται απ' αυτόν σε θερμότητα ανά δευτερόλεπτο; Πόση θερμότη-

τα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον σε χρόνο δύο λεπτών; Σύγκρινε την τιμή αυτή με την αντίστοιχη του ερωτήματος (β).

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

□ Όταν από ένα μεταλλικό αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, η ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει μετατρέπεται σε θερμική. Η θερμοκρασία του αγωγού αυξάνεται και θερμότητα μεταφέρεται απ' αυτόν στο περιβάλλον.

□ Η ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη στο περιβάλλον, όταν από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, είναι ανάλογη: 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».**

**□ Κατά τη διέλευση του ηλεκτρικού ρεύματος μέσα από τους ηλεκτρολύτες η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε χημική.**

**□ Γύρω από έναν αγωγό που τον διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργείται μαγνητικό πεδίο. Το μαγνητικό πεδίο έχει ενέργεια και μπορεί να προκαλέσει ηλεκτρικά φαινόμενα.**

**□ Το μαγνητικό πεδίο ασκεί δύναμη σε κάθε αγωγό από τον οποίο διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα όταν αυτός βρίσκεται μέσα στο πεδίο. Το φαινόμενο αυτό το εκμεταλλευόμαστε για την κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων. Οι ηλεκτροκινητήρες μετασχηματίζουν την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική.**

□ Κάθε ηλεκτρική συσκευή μετασχηματίζει ηλεκτρική ενέργεια σε ενέργεια άλλης μορφής. Η συνολική ποσότητα της ενέργειας που μετασχηματίζει είναι ανάλογη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα της, της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει, καθώς και του χρόνου λειτουργίας της.

□ Η ηλεκτρική ισχύς που μετασχηματίζει μια ηλεκτρική συσκευή είναι ίση με το γινόμενο της διαφοράς δυναμικού που εφαρμόζεται στους πόλους της επί την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τη διαρρέει.

## **ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ**

Θερμική ενέργεια | Ηλεκτρική ισχύς  
| Ηλεκτροκινητήρας | Θερμοκρασία  
| Ηλεκτρική ενέργεια | Ηλεκτρο-  
γεννήτρια | Θερμότητα |



# Περιεχόμενα 3ου τόμου

## ΕΝΟΤΗΤΑ 1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

### Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρική ενέργεια

<b>ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΖΩΗ .....</b>	<b>10</b>
<b>3.1. Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος .....</b>	<b>13</b>
<b>3.2. Χημικά αποτελέσματα του ηλε- κτρικού ρεύματος .....</b>	<b>45</b>
<b>3.3. Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος .....</b>	<b>52</b>
<b>3.4. Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια .....</b>	<b>67</b>
<b>3.5. Βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος .....</b>	<b>75</b>
<b>3.6. Ενέργεια και ισχύς του ηλε- κτρικού ρεύματος .....</b>	<b>83</b>

**Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').**

**Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας, Θρησκευμάτων και Αθλητισμού / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.**