

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ



ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ	Νικόλαος Αντωνίου , Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών Παναγιώτης Δημητριάδης , Φυσικός, Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Κωνσταντίνος Καμπούρης , Φυσικός, Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης , Φυσικός, Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης Λαμπρινή Παπασιμπα , Φυσικός, Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ	Κωνσταντίνος Κρίκος , Σχολικός Σύμβουλος Πέτρος Περσεφόνης , Αναπληρωτής Καθηγητής Πανεπιστημίου Πατρών (Τμήμα Φυσικής) Γεώργιος Τουντουλίδης , Φυσικός, Εκπαιδευτικός Δευτεροβάθμιας Εκπαίδευσης
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 Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
ΕΞΩΦΥΛΛΟ	Καραβούζης Σαράντης , Ζωγράφος
ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ	ΑΦΟΙ Ν. ΠΑΠΠΑ & ΣΙΑ Α.Ε.Β.Ε. , Ανώνυμος Εκδοτική & Εκτυπωτική Εταιρεία

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»

Πράξη με τίτλο: ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ
Δημήτριος Γ. Βλάχος
Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ.
Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
«Συγγραφή νέων βιβλίων και παραγωγή υποστηρικτικού εκπαιδευτικού υλικού με βάση το ΔΕΠΠΣ και τα ΑΠΣ για το Γυμνάσιο»

Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου
Αντώνιος Σ. Μπομπέτης
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
Γεώργιος Κ. Παληός
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Αναπληρωτές Επιστημονικοί Υπεύθυνοι Έργου
Ιγνάτιος Ε. Χατζηευστρατίου
Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
Γεώργιος Χαρ. Πολύζος
Πάρεδρος Ε.Θ. του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

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

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

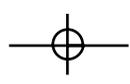
Νικόλαος Αντωνίου, Παναγιώτης Δημητριάδης, Κωνσταντίνος Καμπούρης,
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης, Λαμπρινή Παπατσιμπα

ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ: 

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' Γυμνασίου

ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΚΔΟΣΕΩΣ ΔΙΔΑΚΤΙΚΩΝ ΒΙΒΛΙΩΝ
ΑΘΗΝΑ



Περιεχόμενα

Πρόλογος.....	7
---------------	---

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Κεφάλαιο 1. Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΧΡΙΜΠΑΡΙ ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ	11
1.1. Γνωριμία με την ηλεκτρική δύναμη.....	11
1.2. Το ηλεκτρικό φορτίο.....	12
1.3. Το ηλεκτρονικό φορτίο στο εσωτερικό του ατόμου.....	15
1.4. Τρόποι ηλεκτρίσης και η μικροσκοπική ερμηνεία	16
1.5. Νόμος του Κουλόμπ	22
1.6. Το ηλεκτρικό πεδίο.....	24

Κεφάλαιο 2. Ηλεκτρικό ρεύμα

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ	35
2.1. Το ηλεκτρικό ρεύμα	35
2.2. Ηλεκτρικό κύκλωμα.....	39
2.3. Ηλεκτρικά δίπολα	43
2.4. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αγωγού.....	48
2.5. Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων	52

Κεφάλαιο 3. Ηλεκτρική ενέργεια

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΗ ΖΩΗ	65
3.1. Θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	65
3.2. Χημικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	72
3.3. Μαγνητικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος	73
3.4. Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια	76
3.5. Βιολογικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος.....	78
3.6. Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος.....	79

ΕΝΟΤΗΤΑ 2 ΜΗΧΑΝΙΚΑ ΚΥΜΑΤΑ – ΤΑΛΑΝΤΩΣΕΙΣ

Κεφάλαιο 4. Ταλαντώσεις

ΠΕΡΙΟΔΙΚΕΣ ΚΙΝΗΣΕΙΣ	89
4.1. Ταλαντώσεις.....	89
4.2. Μεγέθη που χαρακτηρίζουν μια ταλάντωση	91
4.3. Ενέργεια και ταλάντωση.....	92

Κεφάλαιο 5. Μηχανικά κύματα

Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΤΑΞΙΔΕΥΕΙ	98
5.1. Μηχανικά κύματα.....	98
5.2. Κύμα και ενέργεια.....	100
5.3. Χαρακτηριστικά μεγέθη του κύματος	101
5.4. Ήχος	104
5.5. Υποκειμενικά χαρακτηριστικά του ήχου	106

ΕΝΟΤΗΤΑ 3 ΟΠΤΙΚΗ

Κεφάλαιο 6. Φύση και διάδοση του φωτός

ΦΩΣ: ΑΠΟ ΤΗ ΜΥΘΟΛΟΓΙΑ ΣΤΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	115
6.1. Φως: όραση και ενέργεια.....	115
6.2. Διάδοση του φωτός	118

Κεφάλαιο 7. Ανάκλαση του φωτός

ΤΟ ΦΩΣ ΕΠΙΣΤΡΕΦΕΙ	128
7.1. Ανάκλαση του φωτός	128
7.2. Εικόνες σε καθρέφτες: είδωλα	131
7.3. Προσδιορισμός ειδώλου σε κοίλους και κυρτούς καθρέφτες	134

Κεφάλαιο 8. Διάθλαση του φωτός

8.1. Διάθλαση του φωτός	141
8.2. Εφαρμογές της διάθλασης του φωτός	144
8.3. Ανάλυση του φωτός	147
8.4. Το χρώμα	148

Κεφάλαιο 9. Φακοί και οπτικά όργανα

ΦΑΚΟΙ: Η ΟΡΑΣΗ ΜΑΣ ΣΤΟ ΜΙΚΡΟΚΟΣΜΟ ΚΑΙ ΤΟ ΜΕΓΑΛΟΚΟΣΜΟ	155
9.1. Συγκλίνοντες και αποκλίνοντες φακοί.....	156
9.2. Είδωλα φακών	157
9.3. Οπτικά όργανα και το μάτι	159

ΕΝΟΤΗΤΑ 4 ΠΥΡΗΝΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ – ΠΥΡΗΝΑΣ

Κεφάλαιο 10. Ο ατομικός πυρήνας

ΠΥΡΗΝΑΣ ΤΟΥ ΑΤΟΜΟΥ: Ο ΕΝΕΡΓΕΙΑΚΟΣ ΓΙΓΑΝΤΑΣ	167
10.1. Περιγραφή του πυρήνα	167
10.2. Ραδιενέργεια	169
10.3. Βιολογική δράση της ακτινοβολίας	172

Κεφάλαιο 11. Πυρηνικές αντιδράσεις

ΠΥΡΗΝΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ: ΕΛΙΞΙΡΙΟ ΣΩΤΗΡΙΑΣ Ή ΟΛΕΘΡΟΥ ΓΙΑ ΤΗΝ ΑΝΘΡΩΠΟΤΗΤΑ; ..	177
11.1. Ενέργεια και πυρηνικές αντιδράσεις.....	177
11.2. Πυρηνική σχάση	178
11.3. Πυρηνική σύντηξη	180

Πρόλογος

Φίλε μαθητή και μαθήτρια στον πρόλογο του βιβλίου Φυσικής της Β' Γυμνασίου σε προσκαλέσαμε στο ξεκίνημα ενός οδοιπορικού στη «χώρα» της Φυσικής Επιστήμης. Οδοιπορικού, με πολλές αναβάσεις, οι οποίες αποτελούν κατακτήσεις του νου και του πολιτισμού αλλά και με δύσβατους δρόμους που γεννούν νέα ερωτηματικά και νέες προκλήσεις για περισσότερη αναζήτηση κι γνώση.

Ελπίζουμε ότι μετά τα μαθήματα της Φυσικής στην Β' Γυμνασίου έχεις κατανοήσει τη σημασία που έχει για τον άνθρωπο η σωστή ερμηνεία της δομής και της λειτουργίας της φυσικής πραγματικότητας με βάση την επιστημονική μέθοδο και τους κανόνες που στηρίζονται στο “μέτρο” και τον “ορθό” λόγο. Σήμερα μάλιστα που οι κίνδυνοι από τη κακή χρήση της τεχνολογίας συσσωρεύονται, που ο πλανήτης μας απειλείται, από την υπερθέρμανση και την αλλαγή κλίματος, γίνεται ολοφάνερο ότι η επιστημονική γνώση είναι ο μόνος ασφαλής οδηγός που μπορεί να υπαγορεύσει σωστές πολιτικές αποφάσεις των κοινωνιών για ανακοπή των καταστροφών.

Ελπίζουμε ότι προσέρχεται στα μαθήματα της Φυσικής της Γ' Γυμνασίου με μεγάλο ενδιαφέρον για τη συνέχεια και μερικοί από εσάς μάλιστα έχετε ήδη αισθανθεί ότι το “οδοιπορικό” αυτό της Επιστήμης που ξεκινήσατε, θα επιθυμούσατε να το συνεχίσετε σε όλη σας τη ζωή. Αυτό το “σκίρτημα” όταν συνοδεύεται από καλές επιδόσεις στο σχολείο, οι παιδαγωγοί το ονομάζουν “κλίση προς την επιστήμη” η οποία πρέπει να καλλιεργηθεί με περισσότερη μελέτη και συνεργασία με τους καθηγητές σας.

Ιδιαίτερα απευθυνόμενοι σε όσους από εσάς αποκομίσσατε από τα μαθήματα της Φυσικής της Β' Γυμνασίου περισσότερες απορίες και ερωτήματα παρά ερμηνείες και απαντήσεις θα θέλαμε να σας επισημάνουμε ότι δεν πρέπει να απογοητεύεστε γιατί είναι συστατικό της οικοδόμησης της γνώσης, η συνεχής διατύπωση ερωτημάτων και αμφιβολιών. Στη πρόοδο της επιστήμης έχουν μεγαλύτερη αξία τα σημαντικά ερωτήματα παρά οι προσωρινές ερμηνείες οι οποίες ενίοτε ανατρέπονται από την εξέλιξη της ίδιας της επιστήμης.

Σε καλούμε να εντείνεις τη προσπάθειά σου στη συνέχεια των μαθημάτων της Φυσικής της Γ' Γυμνασίου, σε αυτόν τον ανεπανάληπτο διάλογο της Φύσης με τον Άνθρωπο που σου προσφέρει το Σχολείο.

Στο βιβλίο Φυσικής της Γ' Γυμνασίου ακολουθήσαμε τις ίδιες βασικές αρχές και έννοιες που υιοθετήσαμε στο βιβλίο της Β' Γυμνασίου όπως:

- Την έννοια του φυσικού συστήματος
- Την αρχή διατήρησης της ενέργειας
- Το πρότυπο της δομής της ύλης
- Τη σχέση μικροσκοπικών και μακροσκοπικών φαινομένων

Το βιβλίο της φυσικής της Γ' Γυμνασίου αποτελείται από τέσσερις ενότητες: τον Ηλεκτρισμό, τις Ταλαντώσεις, την Οπτική, τα Πυρηνικά φαινόμενα.

Η ενότητα του Ηλεκτρισμού αποτελείται τρία κεφάλαια:

Κεφάλαιο1: Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

Κεφάλαιο2: Ηλεκτρικό ρεύμα

Κεφάλαιο 3: Ηλεκτρική ενέργεια

Η Ενότητα των ταλαντώσεων αποτελείται από δυο κεφάλαια:

Κεφάλαιο 4: Ταλαντώσεις

Κεφάλαιο5: Μηχανικά κύματα

Η Ενότητα της Οπτικής αποτελείται από τέσσερα κεφάλαια:

Κεφάλαιο 6: Φύση και διάδοση του φωτός

Κεφάλαιο 7: Ανάκλαση του φωτός

Κεφάλαιο 8: Διάθλαση του φωτός

Κεφάλαιο 9: Φακοί και Οπτικά όργανα

Η Ενότητα των Πυρηνικών Φαινομένων αποτελείται από 2 κεφάλαια:

Κεφάλαιο 10: Ο ατομικός πυρήνας

Κεφάλαιο 11: Πυρηνικές αντιδράσεις

Ελπίζουμε ότι ολοκληρώνοντας τη μελέτη της Φυσικής στο Γυμνάσιο να έχεις αντιληφθεί τη Φυσική ως μια γοητευτική διαδικασία που σου ανοίγει ένα νέο παράθυρο στον κόσμο που σε περιβάλλει και να έχεις αποκτήσει ως σκεπτόμενος άνθρωπος εμπιστοσύνη στις διεργασίες του νου που έχουν αποκορύφωμα την Επιστημονική Σκέψη. Ζούμε σε μια εποχή όπου ο παραλογισμός και η αμετροέπεια έχουν αρχίσει συστηματικά να υποσκάπτουν τον ορθολογισμό και την αρετή του μέτρου. Για να αντισταθείς στη νέα αυτή απειλή, σε καλούμε να έχεις ως πρότυπο την διαύγεια και την αυστηρότητα του επιστημονικού επιχειρήματος όπως αυτό αναδεικνύεται στη διδασκαλία των φυσικών επιστημών και να χειρίζεσαι όλα τα ερωτήματα που προκύπτουν στη ζωή σου με την ίδια σύνεση όπως και στην επιστήμη.

Στη διάρκεια της συγγραφής του βιβλίου είχαμε τη μεγάλη χαρά να συζητήσουμε με τον κ. Παύλο Λυκούδη πρώην κοσμήτορα και Ομότιμο καθηγητή της Σχολής Πυρηνικής τεχνολογίας του Πανεπιστημίου Purdue των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και λάβαμε υπόψη μας τις παρατηρήσεις του, τα σχόλια και τις προτάσεις του οι οποίες έχουν συμβάλει στη βελτίωση της ποιότητας του βιβλίου. Επίσης στάθηκαν πολύτιμες για μας οι προτάσεις του για ορισμένα διαθεματικά σχέδια εργασίας.

Οι συγγραφείς

Το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο εκφράζει τις ευχαριστίες του στον Ζωγράφο Σαράντη Καλαβρούζο για την ευγενική προσφορά του στη διαμόρφωση του εξωφύλλου.

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Ενότητα 1

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : Ηλεκτρικό ρεύμα

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : Ηλεκτρική ενέργεια



Από όλα τα φαινόμενα που μελετά η Φυσική, τα ηλεκτρικά κυριεύουν προνομιούχα την καθημερινή ζωή των ανθρώπων από τις αρχές του 20^{ου} αιώνα.

Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τις ηλεκτρικές δυνάμεις, τον τρόπο που περιγράφονται και τα αποτελέσματά που προκαλούν. Θα διαρεονήσουμε κάποια χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών δυνάμεων και τον τρόπο περιγραφής μέσα μιας ιδιότητας της ύλης του ηλεκτρικού φορτίου.

Θα διαπιστώσουμε ότι οι ηλεκτρικές δυνάμεις προκαλούν προσανατολισμένη κίνηση φορτισμένων σωματιδίων, το ηλεκτρικό ρεύμα και θα εισάγουμε κατάλληλα μεγέθη για τη ποσοτική μελέτη του.

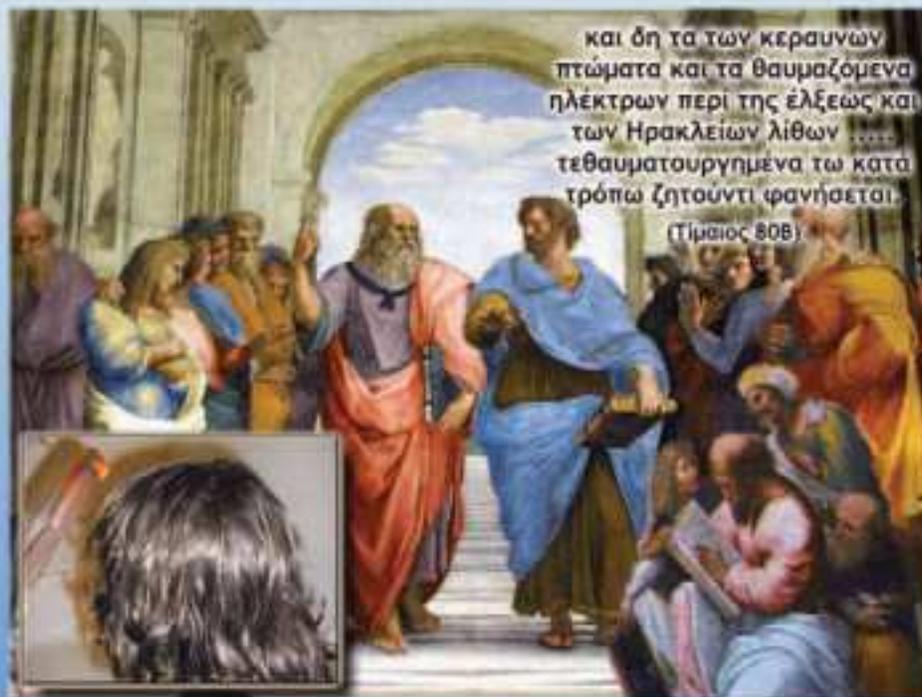
Τέλος θα συνδέσουμε το ηλεκτρικό ρεύμα με την ηλεκτρική ενέργεια και θα περιγράψουμε μετασχηματισμούς της ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής.

ο μια μικρή ιστορία

Μια ημέρα με ζερή ατμόσφαιρα ενώ η Ελένη -φοιτήτρια της Φιλοσοφικής Σχολής- κτένιζε τα μακριά και πυκνά μαλλιά της προσπαθούσε να θυμηθεί το αρχαίο κείμενο, που είχε αναφέρει ο καθηγητής της την προηγούμενη μέρα.

Το κείμενο ήταν από τον Τίμαιο, έναν από τους «διαλόγους» του Πλάτωνα, και μιλούσε για την έλξη που ασκούνται οι μαγνήτες και το κεραμημάρι παιδί και για το πόσο θαυραστά πράγματα θα φαινόταν όλα αυτά σε ένα προσεκτικό κρευνητή.

Τότε παρατήρησε τις τρίχες των μαλλιών της να “καλλούν” πάνω στη κτένα και αναρωτήθηκε αν η έλξη στην οποία αναφέρονταν ο Πλάτωνας είχε σχέση με αυτή που ασκούσε η κτένα στα μαλλιά της.



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις για τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις και θα τις συνδέσεις με ένα νέο φυσικό μέγεθος: το ηλεκτρικό φορτίο.
- Θα γνωρίσεις και θα ερμηνεύσεις τους τρόπους ηλεκτρονίας των σωμάτων.
- Θα διερευνήσεις τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική δύναμη.
- Θα γνωρίσεις την έννοια του ηλεκτρικού πεδίου.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΗ ΚΑΙ ΦΟΡΤΙΟ

ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΧΡΙΜΠΑΡΙ ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ

Ο ηλεκτρισμός ήταν γνωστός από την αρχαιότητα. Ο Θαλής ο Μιλήσιος, σπουδαίος φυσικός φιλόσοφος και μαθηματικός που έζησε στην Ιωνία της Μικράς Ασίας τον 6ο αιώνα π.Χ., παρατήρησε ότι το **ήλεκτρο** (κεχριμπάρι) αποκτούσε την ιδιότητα να έλκει από απόσταση ελαφρά αντικείμενα, όπως ξερά φύλλα, στάχια, πούπουλα και κλωστές, όταν το έτριβε με μάλλινο ύφασμα (εικόνα 1.1). Τα φαινόμενα αυτά ονομάστηκαν «ηλεκτρικά» από το όνομα του ήλεκτρου. Ο Θαλής περιέγραψε για πρώτη φορά στην ιστορία τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις.

Το 16ο αιώνα ο Γουίλιαμ Γκίλμπερτ (William Gilbert), φυσικός και γιατρός που έζησε στην Αγγλία (εικόνα 1.2), άρχισε να μελετά συστηματικά τα ηλεκτρικά φαινόμενα. Με τον Γκίλμπερτ αρχίζει ουσιαστικά η ιστορία του ηλεκτρισμού. Μια ιστορία που συνδέεται άμεσα με μερικά από τα πιο μεγαλειώδη τεχνολογικά επιτεύγματα του σύγχρονου πολιτισμού.



Εικόνα 1.1

Τα μικρά χαρτάκια έλκονται από το κεχριμπάρι που προηγουμένως το έχουμε τρίψει με ένα κομμάτι μάλλινου υφάσματος.

1.1 Γνωριμία με την ηλεκτρική δύναμη

Έχεις παρατηρήσει ότι πολλές φορές οι τρίχες έλκονται από την χτένα καθώς χτενίζεις τα στεγνά μαλλιά σου;

Τρίψε δυνατά ένα πλαστικό χάρακα ανάμεσα στα φύλλα του βιβλίου σου. Στη συνέχεια πλησίασε τον σε μικρά χαρτάκια. Θα παρατηρήσεις ότι ο χάρακας τον οποίο έτριψες έλκει τα χαρτάκια, δηλαδή ασκεί δύναμη σ' αυτά.

Σώματα, όπως ο πλαστικός χάρακας ή το ήλεκτρο, που αποκτούν την ιδιότητα να ασκούν δύναμη σε ελαφρά αντικείμενα, όταν τα τρίψουμε με κάποιο άλλο σώμα, λέμε ότι είναι **ηλεκτρισμένα**. Η δύναμη που ασκείται μεταξύ των ηλεκτρισμένων σωμάτων ονομάζεται **ηλεκτρική**.

Πώς μπορούμε να διαπιστώσουμε αν ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο;

Για να ελέγξουμε αν ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο, χρησιμοποιούμε το **ηλεκτρικό εκκρεμές**. Μπορείς εύκολα να κατασκευάσεις ένα ηλεκτρικό εκκρεμές. Κρέμασε ένα ελαφρύ αντικείμενο (μικρό μπαλάκι από φελιζόλ ή χαρτί) σε μια κλωστή. Πλησίασε το σώμα που θέλεις να ελέγξεις αν είναι ηλεκτρισμένο στο μπα-

Φυσική και Ιστορία



Εικόνα 1.2

Γουίλιαμ Γκίλμπερτ (1540-1643)

Ήταν γιατρός της βασίλισσας της Αγγλίας Ελισάβετ και υπήρξε πρωτοπόρος στις έρευνες για το μαγνητισμό και τον ηλεκτρισμό. Ήταν ο πρώτος που χρησιμοποίησε τους όρους «ηλεκτρική έλξη», «ηλεκτρική δύναμη», «ηλεκτρικός πόλος», γι' αυτό και από πολλούς θεωρείται ο πατέρας του ηλεκτρισμού.



Εικόνα 1.3

Ο χάρακας έλκει το σφαιρίδιο του εκκρεμούς. Συμπεραίνουμε ότι ο χάρακας είναι ηλεκτρισμένος.



Εικόνα 1.4

Διάκριση ηλεκτρικής-μαγνητικής δύναμης

Πλησιάζουμε διαδοχικά ένα μαγνήτη σε σιδερένιους συνδετήρες και σε ηλεκτρικό εκκρεμές. Ο μαγνήτης έλκει μόνο τους συνδετήρες.

λάκι του εκκρεμούς (εικόνα 1.3). Αν το σώμα έλκει το μπαλάκι, τότε το σώμα είναι ηλεκτρισμένο.

Παρατήρησε ότι ο ηλεκτρισμένος χάρακας έλκει το μπαλάκι του εκκρεμούς χωρίς να έρχεται σε επαφή μαζί του. Η ηλεκτρική δύναμη που ασκεί ο χάρακας στο μπαλάκι δρα από απόσταση. Συνεπώς **οι ηλεκτρικές δυνάμεις ασκούνται από απόσταση.**

Ένας μαγνήτης ασκεί ηλεκτρική δύναμη;

Αν πλησιάσουμε ένα μαγνήτη στο ηλεκτρικό εκκρεμές, θα διαπιστώσουμε ότι ο μαγνήτης δεν έλκει το ηλεκτρικό εκκρεμές. Ο μαγνήτης έλκει μόνον αντικείμενα που περιέχουν σίδηρο, κοβάλτιο ή νικέλιο, υλικά που ονομάζονται σιδηρομαγνητικά (εικόνα 1.4). **Η ηλεκτρική δύναμη ασκείται σε διαφορετικά σώματα από ό,τι η μαγνητική.**

Οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι πάντοτε ελκτικές;

Διαπιστώσαμε ότι ένα ηλεκτρισμένο σώμα ασκεί ελκτική ηλεκτρική δύναμη σε ένα άλλο. Όμως αυτό συμβαίνει πάντοτε;

Τρίψτε δύο γυάλινες ράβδους με μεταξωτό ύφασμα. Αν τις πλησιάσεις, θα παρατηρήσεις ότι απωθούνται (εικόνα 1.5α). Το ίδιο θα συμβεί αν πλησιάσεις δύο πλαστικές ράβδους ή λουρίδες που έχεις τρίψει με μάλλινο ύφασμα (εικόνα 1.5β). Αν όμως τρίψεις μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα και μια πλαστική με μάλλινο και στη συνέχεια τις πλησιάσεις, θα δεις ότι οι δύο ράβδοι έλκονται (εικόνα 1.5γ).

Εικόνα 1.5

(α, β), Οι όμοια ηλεκτρισμένες ράβδοι απωθούνται, ενώ οι διαφορετικά ηλεκτρισμένες ράβδοι έλκονται (γ).



ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1		
Υλικό φορτισμένης ράβδου	Γυαλί	Πλαστικό
Γυαλί	άπωση	έλξη
Πλαστικό	έλξη	άπωση

Συμπεραίνουμε λοιπόν ότι **οι ηλεκτρικές δυνάμεις με τις οποίες αλληλεπιδρούν δύο ηλεκτρισμένα σώματα άλλοτε είναι ελκτικές και άλλοτε απωστικές** (πίνακας 1.1).

1.2 Το ηλεκτρικό φορτίο

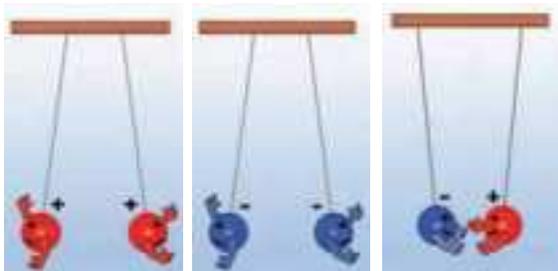
Τι προκαλεί τις ηλεκτρικές δυνάμεις; Τι συμβαίνει στον πλαστικό χάρακα, στη γυάλινη ράβδο ή στο κεχριμπάρι όταν τα τρίβουμε με το χαρτί ή το ύφασμα και ηλεκτρίζονται;

Για να εξηγήσουμε την προέλευση και τις ιδιότητες των ηλεκτρικών δυνάμεων, δεχόμαστε ότι η ύλη έχει μια ιδιότητα που τη συνδέουμε με ένα φυσικό μέγεθος: το **ηλεκτρικό φορτίο**. Όταν δύο σώματα έχουν ηλεκτρικό φορτίο, τότε αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικές δυνάμεις και λέμε ότι είναι ηλεκτρικά **φορτισμένα**. Το ηλεκτρικό φορτίο συμβολίζεται με το γράμμα q ή Q .

Λέμε λοιπόν ότι οι γυάλινες ή πλαστικές ράβδοι, μετά την τριβή τους με ύφασμα, αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή είναι ηλεκτρικά φορτισμένες. Ωστόσο είδαμε ότι δύο φορτισμένα σώματα, όπως οι παραπάνω ράβδοι, άλλοτε **έλκονται** και άλλοτε **απωθούνται** (εικόνα 1.5). Το γεγονός αυτό μας αναγκάζει να δεχθούμε ότι **υπάρχουν τουλάχιστον δύο διαφορετικά είδη φορτίου**.

Όταν δύο (ή περισσότερα) ηλεκτρικά φορτισμένα σώματα **απωθούνται** μεταξύ τους, τότε λέμε ότι έχουν **φορτίο ίδιου είδους** (ή ότι είναι όμοια φορτισμένα). Ενώ, όταν **έλκονται** μεταξύ τους, λέμε ότι έχουν **φορτία διαφορετικού είδους** (ή ότι είναι αντίθετα φορτισμένα).

Γενικά όλα τα φορτισμένα σώματα μπορούμε να τα χωρίσουμε σε δύο ομάδες: α) αυτά που είναι όμοια φορτισμένα με τη γυάλινη ράβδο που τρίψαμε με μεταξωτό ύφασμα (απωθούνται από αυτή) και β) αυτά που είναι όμοια φορτισμένα με την πλαστική ράβδο που τρίψαμε με μάλλινο ύφασμα (απωθούνται από αυτή). Ο Αμερικανός πολιτικός και φυσικός Β. Φραγκλίνος (εικόνα 1.6) πρότεινε τα σώματα που ανήκουν στην πρώτη ομάδα να τα ονομάζουμε **θετικά φορτισμένα** και να λέμε ότι έχουν **θετικό φορτίο**. Αυτά δε που ανήκουν στη δεύτερη ομάδα να τα ονομάζουμε **αρνητικά φορτισμένα** και να λέμε ότι έχουν **αρνητικό φορτίο** (εικόνα 1.7).



Εικόνα 1.7

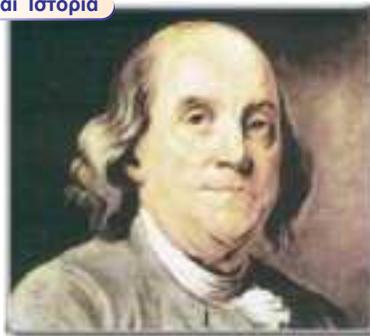
Μεταξύ σωμάτων που είναι φορτισμένα με το **ίδιο είδος φορτίου** ασκούνται **απωστικές δυνάμεις**, ενώ μεταξύ σωμάτων με **διαφορετικό είδος φορτίου** ασκούνται **ελκτικές δυνάμεις**.

Πώς μετράμε το ηλεκτρικό φορτίο

Τρίψε ελαφρά στις σελίδες του βιβλίου σου ένα πλαστικό χάρακα και πλησίασέ τον σε ένα ηλεκτρικό εκκρεμές. Θα παρατηρήσεις ότι το εκκρεμές έλκεται από αυτόν τον χάρακα και αποκλίνει. Ο φορτισμένος χάρακας ασκεί ηλεκτρική δύναμη στο εκκρεμές. Τρίψε εντονότερα το χάρακα στις σελίδες του ίδιου βιβλίου και πλησίασέ τον πάλι στο εκκρεμές, στη ίδια απόσταση απ' αυτό. Παρατήρησε ότι τώρα το εκκρεμές αποκλίνει πολύ περισσότερο. Η ηλεκτρική δύναμη που ασκεί ο χάρακας στο εκκρεμές είναι τώρα μεγαλύτερη.

Σε τι διαφέρει το πρώτο από το δεύτερο πείραμα; Η μοναδική διαφορά τους είναι η διαδικασία που ακολουθήσαμε για να φορτίσουμε το χάρακα (τον τρίψαμε εντονότερα στο ίδιο βιβλίο). Δεχόμαστε λοιπόν ότι στο δεύτερο πείραμα ο χάρακας απέκτησε περισσότερο φορτίο. Αποδίδουμε την ισχυρότερη έλξη στην αντίστοιχη αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου του χάρακα.

Φυσική και Ιστορία



Εικόνα 1.6

Ένας φυσικός στην πολιτική ή ένα πολιτικός στη φυσική; **Βενιαμίν Φραγκλίνος (1706–1790)**

Έζησε στην Αμερική και ήταν συγγραφέας, φυσικός και πολιτικός. Ως φυσικός έγινε γνωστός για τις μελέτες και τα πειράματά του σχετικά με τον ηλεκτρισμό. Εφηύρε το αλεξικέραυνο. Ως πολιτικός συνέβαλε σημαντικά στην ανεξαρτησία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και στη διαμόρφωση του Αμερικανικού Συντάγματος.

Φυσική και καθημερινή ζωή και Βιολογία



Εικόνα 1.8

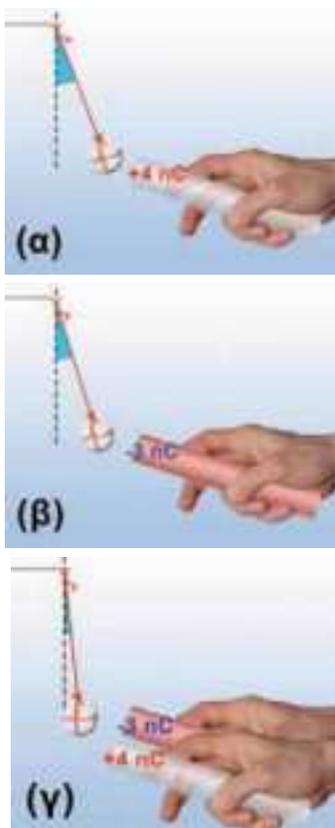
Μια εξαιρετικά ευαίσθητη τεχνική για τη λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων στηρίζεται στο γεγονός ότι τα ονόμοια φορτισμένα σώματα έλκονται. Έτσι τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια του χαρτονομίσματος προσκολλώνται στις θετικά φορτισμένες πρωτεΐνες των δακτύλων που παραμένουν στο χαρτονόμισμα κάθε φορά που το αγγίζουμε.



Εικόνα 1.9

Το Κουλόμπ στην καθημερινή μας ζωή

Σπινθήρες όπως αυτός που δημιουργείται μεταξύ των σφαιρών της εικόνας μεταφέρουν από τη μία στην άλλη ποσότητα φορτίου μικρότερη από ένα εκατομμυριοστό του C ($1 \mu\text{C}=10^{-6} \text{ C}$). Τρίβοντας ένα αντικείμενο συνθιτισμένων διαστάσεων αυτό δεν μπορεί να αποκτήσει, σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό της επιφανείας του, ποσότητα φορτίου μεγαλύτερη από 1 δισεκατομμυριοστό του C ($1 \text{ nC}=10^{-9} \text{ C}$). Αν σε μια επιφάνεια συγκεντρωθεί ποσότητα φορτίου μεγαλύτερη από την παραπάνω, τότε το φορτίο μεταφέρεται στον περιβάλλοντα αέρα και έτσι δημιουργούνται σπινθήρες σαν αυτόν που παριστάνεται στην εικόνα.



Εικόνα 1.10

Το συνολικό φορτίο των δύο ράβδων (α, β) είναι μικρότερο από τις καθεμιάς χωριστά (γ).

Γενικά δεχόμαστε ότι η ηλεκτρική δύναμη που ασκεί (ή ασκείται σε) ένα φορτισμένο σώμα είναι ανάλογη του ηλεκτρικού φορτίου του.

Σύμφωνα με την παραδοχή αυτή μπορούμε να συγκρίνουμε, άρα και να μετρήσουμε, τα φορτία δύο σωμάτων μετρώντας τις ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούν σε ένα τρίτο σώμα κάτω από τις ίδιες συνθήκες (από την ίδια απόσταση και μέσα στο ίδιο υλικό μέσο, για παράδειγμα τον αέρα).

Η μονάδα του ηλεκτρικού φορτίου στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) ονομάζεται **Κουλόμπ** (Coulomb), προς τιμήν του Γάλλου φυσικού Κουλόμπ ο οποίος μελέτησε τις ιδιότητες των ηλεκτρικών δυνάμεων μεταξύ των φορτισμένων σωμάτων. Συμβολίζεται με το γράμμα C.

Το 1 C είναι πολύ μεγάλη μονάδα φορτίου. Αν μπορούσαμε να φορτίσουμε δύο μικρές σφαίρες με 1 C την καθεμιά και τις τοποθετούσαμε έτσι ώστε τα κέντρα τους να απέχουν ένα μέτρο, τότε η ηλεκτρική δύναμη που θα ασκούσε η μια στην άλλη θα ήταν 10^9 N (σχεδόν ένα εκατομμύριο φορές μεγαλύτερη από το βάρος ενός ενήλικα)!! Γι' αυτό στις εφαρμογές χρησιμοποιούμε υποπολλαπλάσια του 1 C:

το $1 \mu\text{C}$ (ένα μικροκουλόμπ) με $1 \mu\text{C}=10^{-6} \text{ C}$ ή

το 1 nC (ένα νανοκουλόμπ) με $1 \text{ nC}=10^{-9} \text{ C}$.

Μια γυάλινη ράβδος ή μια πλαστική ταινία που τις φορτίζουμε με τριβή αποκτούν φορτίο μερικά δισεκατομμυριοστά του Κουλόμπ, δηλαδή μερικά nC (εικόνα 1.9). Η γυάλινη ράβδος που έχουμε τρίψει με μεταξωτό ύφασμα αποκτά θετικό φορτίο. Έτσι, αν για παράδειγμα το φορτίο q της ράβδου είναι 3 nC, γράφουμε: $q=+3 \text{ nC}$. Αντίθετα η πλαστική ράβδος αποκτά αρνητικό φορτίο. Αν το φορτίο της q είναι 3 nC, γράφουμε: $q=-3 \text{ nC}$.

Πώς μπορούμε να υπολογίσουμε το συνολικό φορτίο δύο ή περισσότερων σωμάτων;

Πλησίασε στο ηλεκτρικό εκκρεμές διαδοχικά μια φορτισμένη γυάλινη και μια πλαστική ράβδο (εικόνες 1.10α, 1.10β). Στη συνέχεια κράτησέ τις κοντά και πλησίασέ τις πάλι στο εκκρεμές. Θα παρατηρήσεις ότι τώρα η απόκλιση του εκκρεμούς είναι πολύ μικρότερη (εικόνα 1.10γ). Οι δύο ράβδοι μαζί συμπεριφέρονται σαν να έχουν μικρότερο φορτίο απ' ό,τι η καθεμία χωριστά. Έτσι λοιπόν το ολικό φορτίο των ράβδων είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων τους. Αν για παράδειγμα η μια έχει φορτίο $q_1=+4 \text{ nC}$ και η άλλη $q_2=-3 \text{ nC}$, τότε το ολικό φορτίο και των δύο μαζί είναι:

$$q=q_1+q_2=(+4 \text{ nC})+(-3 \text{ nC})=1 \text{ nC}$$

Γενικά το ολικό φορτίο δύο ή περισσότερων φορτισμένων σωμάτων ισούται με το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων τους.

Όταν το συνολικό φορτίο ενός ή περισσότερων σωμάτων είναι ίσο με το μηδέν, τότε το σώμα ή το σύνολο των σωμάτων ονομάζεται **ηλεκτρικά ουδέτερο**.

1.3 Το ηλεκτρικό φορτίο στο εσωτερικό του ατόμου

Η σύγχρονη «ατομική θεωρία» άρχισε να αναπτύσσεται στις αρχές του 19ου αιώνα. Σύμφωνα με αυτήν τα υλικά σώματα αποτελούνται από μικροσκοπικά σωματίδια που ονομάζονται άτομα.

Η δομή του ατόμου

Από τα μέσα του 19ου και μέχρι τις αρχές του 20ού αιώνα πραγματοποιήθηκαν πολλά πειράματα, από τα οποία προέκυψε ότι το άτομο αποτελείται από άλλα απλούστερα σωματίδια. Σπουδαίοι φυσικοί των αρχών του 20ού αιώνα όπως ο Νεοζηλανδός Έρνεστ Ράδερφορντ (Ernest Rutherford) και ο Δανός Νήλς Μπορ (Niels Bohr) κατέληξαν στην περιγραφή του ατόμου μέσω ενός **προτύπου** (εικόνα 1.11), σύμφωνα με το οποίο:

1. Κάθε άτομο αποτελείται από έναν **πυρήνα** γύρω από τον οποίο περιφέρονται τα **ηλεκτρόνια** (εικόνα 1.12). **Ο πυρήνας και τα ηλεκτρόνια είναι φορτισμένα σωματίδια: Ο πυρήνας έχει θετικό φορτίο, ενώ κάθε ηλεκτρόνιο αρνητικό.** Έτσι ο πυρήνας έλκει κάθε ηλεκτρόνιο, ενώ τα ηλεκτρόνια απωθούνται μεταξύ τους.
2. Όλα τα ηλεκτρόνια είναι όμοια. Έχουν την ίδια μάζα και το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο.
3. Οι πυρήνες είναι σύνθετα σωματίδια (εικόνα 1.12). Αποτελούνται από **πρωτόνια** και **νετρόνια**. Το πρωτόνιο και το νετρόνιο έχουν σχεδόν ίσες μάζες. Όμως το πρωτόνιο είναι θετικά φορτισμένο, ενώ το νετρόνιο δεν έχει φορτίο, δηλαδή είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Όλα τα πρωτόνια είναι πανομοιότυπα. Έχουν την ίδια μάζα και το ίδιο φορτίο.
4. **Το πρωτόνιο και το ηλεκτρόνιο έχουν αντίθετα φορτία ακριβώς ίδιου όμως μεγέθους:** το φορτίο του πρωτονίου είναι $+1,6 \times 10^{-19}$ C, ενώ του ηλεκτρονίου είναι $-1,6 \times 10^{-19}$ C. **Τα φορτία του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου είναι τα πιο μικρά φορτία που έχουν παρατηρηθεί ελεύθερα στη φύση.**
5. Ο αριθμός των πρωτονίων του ατόμου είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων του. Επομένως το ολικό φορτίο του ατόμου είναι ίσο με το μηδέν. **Ωστε τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.** Ωστόσο σε πολλές περιπτώσεις, όπως για παράδειγμα συμβαίνει στην ηλεκτρίση των σωμάτων με τριβή, είναι δυνατόν ένα άτομο να αποβάλει ένα ή δύο ηλεκτρόνια. Τότε παύει να είναι ηλεκτρικά ουδέτερο και ονομάζεται **ιόν**.

Πώς τα σώματα αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο

Πώς εξηγείται η φόρτιση των σωμάτων με βάση τη μικροσκοπική δομή της ύλης;

Τα σώματα αποτελούνται από άτομα, τα οποία είναι ηλεκτρικά ουδέτερα. Έτσι τα σώματα είναι και αυτά ηλεκτρικά ουδέτερα.

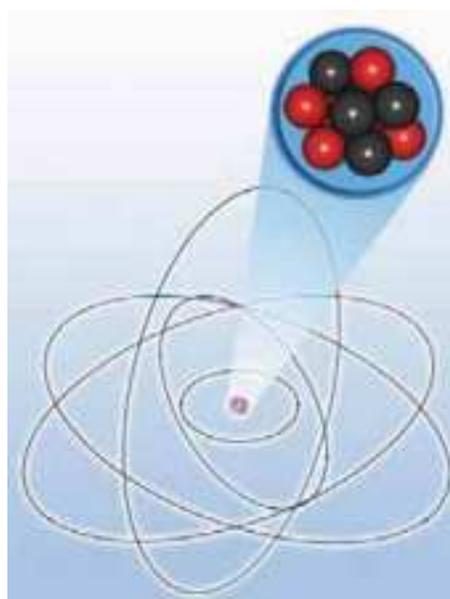
Είναι όμως δυνατόν ένα σώμα να προσλάβει ή να αποβάλει ηλεκτρόνια. Στην περίπτωση που το σώμα έχει προσλάβει ηλεκτρόνια αποκτά πλεόνασμα ηλεκτρονίων, οπότε παύει να είναι ηλε-



Εικόνα 1.11

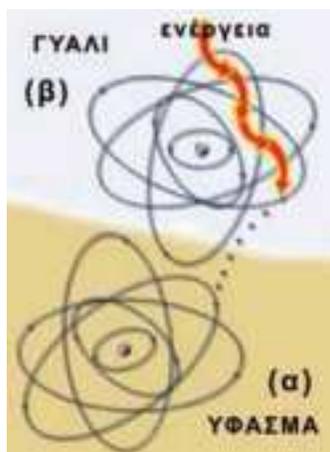
Πλανητικό σύστημα και άτομο

Είδαμε στη Β' τάξη ότι η αδράνεια είναι ιδιότητα της ύλης και μέτρο της αδράνειας είναι η μάζα. Ο ήλιος και η γη έχουν μάζα. Αλληλεπιδρούν με βαρυτικές δυνάμεις. Τα ηλεκτρόνια και ο πυρήνας έχουν ηλεκτρικό φορτίο. Αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικές δυνάμεις. Πολλές φορές λέμε ότι το άτομο μοιάζει με το πλανητικό μας σύστημα.



Εικόνα 1.12

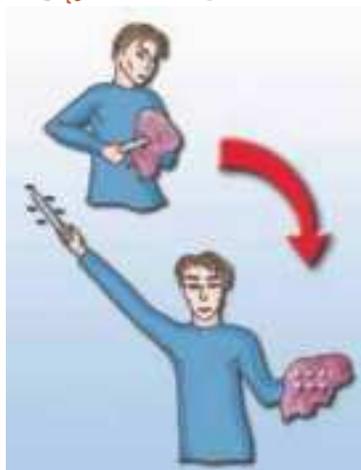
Το πλανητικό πρότυπο του ατόμου.



Εικόνα 1.13

Τα ηλεκτρόνια από τα άτομα των μορίων του γυαλιού απορροφούν ενέργεια και απομακρύνονται από αυτό· έτσι στα άτομα των μορίων του γυαλιού δημιουργείται έλλειμμα ηλεκτρονίων. Το γυαλί αποκτά θετικό φορτίο. Το ύφασμα προσλαμβάνει αυτά τα ηλεκτρόνια και έτσι αποκτά περίσσεια ηλεκτρονίων. Το ύφασμα φορτίζεται αρνητικά.

Ακόνισε το μυαλό σου



Εικόνα 1.14

Από τη γούνα ηλεκτρόνια μεταφέρονται στη ράβδο. Η ράβδος αποκτά πλεόνασμα ηλεκτρονίων, δηλαδή φορτίζεται αρνητικά. Το φορτίο που αποκτά η ράβδος είναι $q = -20 \text{ nC}$. Η γούνα φορτίζεται; Αν ναι, πόση ποσότητα φορτίου αποκτά; Αιτιολόγησε την απάντησή σου.

Φυσική και Μαθηματικά

Αν γνωρίζετε ότι το 1 C είναι το φορτίο που έχουν $6,24 \cdot 10^{18}$ ηλεκτρόνια, να υπολογίσετε το φορτίο ενός ηλεκτρονίου (στοιχειώδες φορτίο).

κτρικά ουδέτερο και αποκτά αρνητικό φορτίο (εικόνα 1.13α). Αν έχει αποβάλλει ηλεκτρόνια, τότε έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων, οπότε υπερσχύει το θετικό φορτίο των πρωτονίων και το σώμα έχει ολικό φορτίο θετικό (εικόνα 1.13β).

Η φόρτιση των σωμάτων γίνεται με μεταφορά ηλεκτρονίων. Τα πρωτόνια δεν μπορούν να μετακινηθούν εύκολα γιατί έχουν μεγάλη μάζα και επιπλέον βρίσκονται παγιδευμένα στο εσωτερικό των πυρήνων των ατόμων.

Η απόσπαση ηλεκτρονίων από τα άτομα ενός σώματος απαιτεί την προσφορά ενέργειας, έτσι ώστε να μπορέσουν τα ηλεκτρόνια να υπερνικήσουν την έλξη των πυρήνων (εικόνα 1.13). Ενέργεια στα ηλεκτρόνια των ατόμων προσφέρεται με ποικίλους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τριβή, με την επίδραση ακτινοβολίας κ.λπ. Επειδή στο εσωτερικό των ατόμων υπάρχουν σωματίδια με δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου (πρωτόνια και ηλεκτρόνια), γι' αυτό στη φύση εμφανίζονται μόνο δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου (θετικά και αρνητικά).

Δύο σημαντικές ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου

Η φόρτιση των σωμάτων οφείλεται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων. Τα ηλεκτρόνια ούτε παράγονται ούτε καταστρέφονται. Απλώς μεταφέρονται. Επομένως ο συνολικός αριθμός των ηλεκτρονίων δεν μεταβάλλεται, με αποτέλεσμα **σε οποιαδήποτε διαδικασία**, είτε αυτή συμβαίνει στο μικρόκοσμο είτε στο μακρόκοσμο, **το ολικό φορτίο να διατηρείται σταθερό**. Η αρχή αυτή είναι γνωστή ως αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου. Η **αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου**, είναι από τις πιο σημαντικές αρχές της σύγχρονης φυσικής όπως, και η αρχή διατήρησης της ενέργειας.

Κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα έχει περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων. Ένα ηλεκτρόνιο δεν είναι δυνατόν να διαιρεθεί. Συνεπώς το ηλεκτρικό φορτίο κάθε φορτισμένου σώματος είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους φορτίου του ηλεκτρονίου (ή του αντίθετου φορτίου του πρωτονίου). Το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζεται σε «πακετάκια» τα οποία ονομάζουμε **κβάντα** και αυτή του την ιδιότητα την ονομάζουμε **κβάντωση**. Σκέψου ότι κβαντωμένο είναι και οποιοδήποτε χρηματικό ποσό έχεις στο πορτοφόλι σου αφού υπάρχει μόνο ως ακέραιο πολλαπλάσιο του λεπτού που είναι το κβάντο του χρήματος.

1.4

Τρόποι ηλεκτρίσης και η μικροσκοπική ερμηνεία

Στην καθημερινή μας ζωή μπορούμε να παρατηρήσουμε πολλά φαινόμενα που οφείλονται στην ηλεκτρίση των σωμάτων που μας περιβάλλουν (εικόνα 1.15). Αν τρίψεις το περιτύλιγμα μιας καραμέλας, αυτό κολλά στα δάχτυλά σου. Αν τρίψεις ένα μπαλόνι πάνω στο μάλλινο πουλόβερ σου, αυτό μπορεί να κολλήσει σε έναν κατακόρυφο τοίχο. Όταν βγαίνεις από το αυτοκίνητο έχοντας τρίψει τα ρούχα σου στο κάθισμα και μετά πιάσεις το μεταλλικό χερούλι της πόρτας, μπορεί να αισθανθείς ένα τίναγμα. Ο

κεραυνός και η αστραπή είναι και αυτά αποτελέσματα ηλεκτρίσης και οφείλονται στη συγκέντρωση μεγάλης ποσότητας ηλεκτρικού φορτίου στα σύννεφα.

Στη συνέχεια θα περιγράψουμε τα φαινόμενα της **ηλέκτρισης ενός σώματος με τριβή**, με **επαφή** και με **επαγωγή** και θα τα ερμηνεύσουμε με βάση το μοντέλο της μικροσκοπικής δομής της ύλης.

Ηλέκτριση με τριβή

Όταν τρίβεις μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα, η ράβδος αποκτά θετικό φορτίο, ενώ το ύφασμα αρνητικό.

Πώς ερμηνεύεται η ηλεκτρίση της ράβδου με τριβή;

Στα άτομα άλλα ηλεκτρόνια βρίσκονται κοντά στον πυρήνα και άλλα πιο μακριά του. Όσο πιο μακριά από τον πυρήνα βρίσκεται ένα ηλεκτρόνιο, τόσο μικρότερη είναι η δύναμη που του ασκεί ο πυρήνας και επομένως τόσο λιγότερη ενέργεια απαιτείται για να αποσπαστεί από το άτομο. Τα πιο απομακρυσμένα από τον πυρήνα ηλεκτρόνια θα τα λέμε **εξωτερικά ηλεκτρόνια**. Είναι αυτά που μπορούν να αποσπαστούν σχετικά εύκολα από το άτομο.

Όταν τρίβεις τη γυάλινη ράβδο στο μεταξωτό ύφασμα, εξωτερικά ηλεκτρόνια από άτομα του γυαλιού μετακινούνται στο ύφασμα (εικόνα 1.16). Έτσι η γυάλινη ράβδος φορτίζεται θετικά και το ύφασμα αρνητικά. *Γιατί δεν συμβαίνει το αντίθετο; Γιατί δεν μετακινούνται εξωτερικά ηλεκτρόνια από το ύφασμα στο γυαλί;*

Τα άτομα διαφορετικών υλικών είναι διαφορετικά μεταξύ τους. Τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων του υφάσματος συγκρατούνται με ισχυρότερες δυνάμεις απ' ό,τι εκείνα του γυαλιού. Έτσι απαιτείται λιγότερη ενέργεια για να φύγουν ηλεκτρόνια από το γυαλί προς το ύφασμα απ' ό,τι αντίστροφα.

Στον πίνακα 1.2 έχουν ταξινομηθεί τα υλικά ανάλογα με το είδος του φορτίου που αποκτούν όταν τα τρίβουμε μεταξύ τους. Καθένα από αυτά, αν το τρίψουμε με κάποιο από τα επόμενά του, αποκτά θετικό φορτίο, ενώ το άλλο αρνητικό.



Εικόνα 1.15

Μια μέρα που ο ατμοσφαιρικός αέρας δεν έχει υγρασία, αν πλησιάσω τη χτένα που χτένισα τα στεγνά μαλλιά μου στη φλέβα του νερού παρατηρώ ότι η χτένα έλκει τη φλέβα.



Εικόνα 1.16

Όταν τρίβεις μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα, ηλεκτρόνια μετακινούνται από τη ράβδο στο ύφασμα. Τώρα η ράβδος έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων και το ύφασμα περίσσεια. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που απέβαλε η ράβδος είναι ίσος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που προσέλαβε το ύφασμα. Το φορτίο της ράβδου είναι ίσο και αντίθετο με το φορτίο του υφάσματος.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.2	
Η παρακάτω σειρά επιτρέπει τον προσδιορισμό του είδους του φορτίου που αποκτούν τα διάφορα υλικά κατά την τριβή μεταξύ τους.	
Αριαντός	Κόβρα
Κουνελιού	Γυαλί
Μαλλί	Γούνα γάτας
Βαμβάκι	Δέρμα ανθρώπου
Μετάξι	Ξύλο
Κεχριμπάρι	Γείο
Καουτσούκ	Πλαστικό

Φυσική
και Ιστορία



Εικόνα 1.17
Θετικά και αρνητικά φορτία

Οι δύο άνθρωποι στέκονται σε πλάκες κεριού. Ο ένας τρίβει τη γυάλινη ράβδο, που αποκτά θετικό φορτίο, ενώ ο ίδιος φορτίζεται αρνητικά. Στη συνέχεια με αυτή τη ράβδο ακουμπάει τον άλλον. Ο δεύτερος αποκτά από επαφή θετικό φορτίο. Ακολουθώντας οι δύο άνθρωποι πλησιάζουν τα δάχτυλά τους. Μεταξύ των δαχτύλων εκσπία ηλεκτρικός σπινθήρας. Οι άνθρωποι τώρα δεν είναι φορτισμένοι. Με πειράματα σαν αυτά ο Φραγκλίνος κατέληξε στα συμπεράσματά του για την προέλευση και το είδος των ηλεκτρικών φορτίων.

Κατά την ηλέκτριση με τριβή λόγω της ισχύος της αρχής διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου προκύπτει ότι **τα δύο σώματα που τριβονται αποκτούν ίσα και αντίθετα φορτία** (εικόνα 1.16).

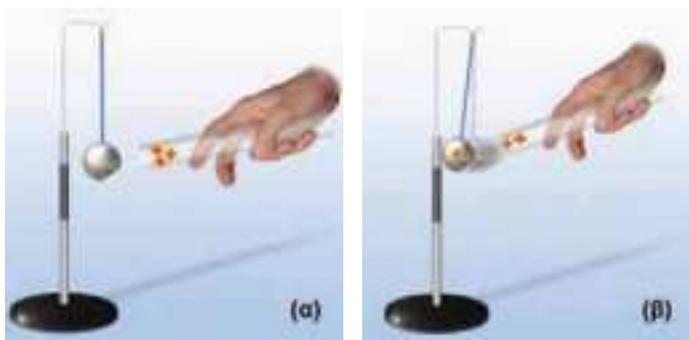
Ηλέκτριση με επαφή

Όταν αγγίζουμε με ένα φορτισμένο σώμα ένα άλλο ηλεκτρικά ουδέτερο, το δεύτερο αποκτά φορτίο ίδιου είδους με το φορτισμένο (εικόνες 1.17, 1.18).

Πώς ερμηνεύεται η ηλέκτριση ενός σώματος με επαφή; Αν το φορτισμένο σώμα έχει αρνητικό φορτίο, τότε, όπως είδαμε, έχει πλεονασμα ηλεκτρονίων. Όταν έρχεται σε επαφή με το αφόρτιστο μερικά από τα πλεονάζοντα ηλεκτρόνια, επειδή απωθούνται μεταξύ τους, μετακινούνται προς το δεύτερο σώμα και έτσι φορτίζεται και αυτό αρνητικά.

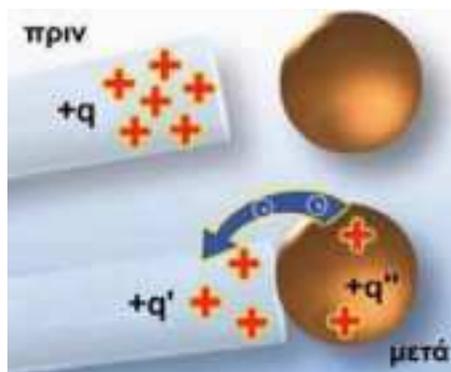
Αν το φορτισμένο σώμα έχει θετικό φορτίο, τότε έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων. Κατά την επαφή των δύο σωμάτων μερικά ηλεκτρόνια του ουδέτερου σώματος μετακινούνται προς το θετικά φορτισμένο σώμα. Έτσι έχει τώρα και αυτό έλλειμμα ηλεκτρονίων οπότε φορτίζεται θετικά.

Κατά την ηλέκτριση με επαφή ισχύει η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου: **Το άθροισμα των φορτίων που αποκτούν τα δύο σώματα τελικά είναι ίσο με το φορτίο που αρχικά είχε το ένα** (εικόνες 1.19, 1.20).



Εικόνα 1.18

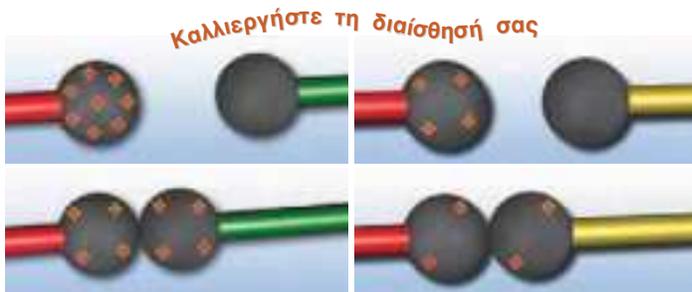
Φορτίζουμε την αρχικά ουδέτερη σφαίρα φέρνοντάς τη σε επαφή με τη θετικά φορτισμένη γυάλινη ράβδο (α). Η σφαίρα αποκτά θετικό φορτίο και στη συνέχεια απωθείται από τη ράβδο (β).



Εικόνα 1.19

Μια αρχή διατήρησης

Κατά τη φόρτιση με επαφή έχουμε μετακίνηση ηλεκτρονίων από το σώμα που έχει περίσσεια προς το αφόρτιστο ή από το αφόρτιστο προς το σώμα που έχει έλλειμμα. **Αρχή διατήρησης ηλεκτρικού φορτίου: $q = q' + q''$**



Εικόνα 1.20

Διαμοιρασμός φορτίου της σφαίρας

Την ηλέκτριση με επαφή τη χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να διαμοιράσουμε το ηλεκτρικό φορτίο μεταξύ σωμάτων. Περιγράψτε τη διαδικασία που παριστάνεται στις εικόνες 1.20. **Ποια βασική αρχή της φυσικής θα χρησιμοποιήσεις για να εξηγήσεις τον τρόπο διαμοιρασμού του φορτίου που παριστάνεται σ' αυτές;**

Αγωγοί και μονωτές

Φόρτισε με τριβή ή με επαφή μια περιοχή ενός μεταλλικού σώματος. Χρησιμοποιώντας ένα ηλεκτρικό εκκρεμές θα διαπιστώσεις ότι το φορτίο έχει διαχυθεί σε όλη την επιφάνεια του σώματος (εικόνα 1.21α).

Κάνε το ίδιο με μια γυάλινη ή πλαστική ράβδο. Τώρα το εκκρεμές δείχνει ότι το φορτίο είναι εντοπισμένο μόνο στην περιοχή της ράβδου που φόρτισες. Οι άλλες περιοχές της ράβδου παραμένουν αφόρτιστες (εικόνα 1.21β).

Τα σώματα που επιτρέπουν το διασκορπισμό του ηλεκτρικού φορτίου σε όλη τους την έκταση ονομάζονται ηλεκτρικοί **αγωγοί**. Αντίθετα τα σώματα στα οποία το φορτίο δεν διασκορπίζεται, αλλά παραμένει εντοπισμένο στην περιοχή του σώματος που φόρτισαμε ονομάζονται ηλεκτρικοί **μονωτές**.

Όλα τα μέταλλα είναι αγωγοί. Ο σίδηρος, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο υδράργυρος, ο μόλυβδος είναι μέταλλα. Είναι όλα τους αγωγά υλικά.

Γιατί τα μέταλλα συμπεριφέρονται ως ηλεκτρικοί αγωγοί;

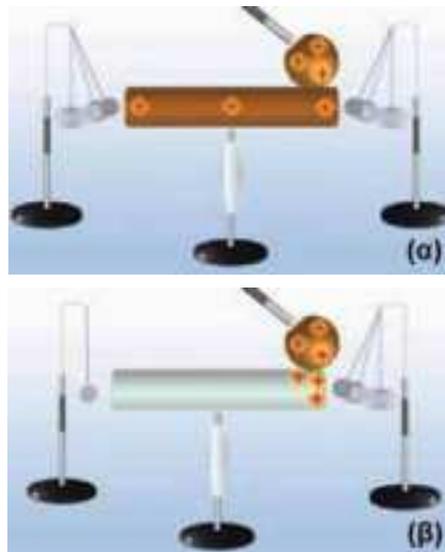
Σ' ένα μέταλλο, τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων συγκρατούνται τόσο χαλαρά από τους πυρήνες ώστε διαφεύγουν και κινούνται ελεύθερα σε όλη την έκταση του μετάλλου. Γι' αυτό ονομάζονται **ελεύθερα ηλεκτρόνια**. Τα άτομα του μετάλλου, αφού έχουν χάσει τα εξωτερικά τους ηλεκτρόνια, έχουν αποκτήσει θετικό φορτίο. Έχουν μετατραπεί σε **θετικά ιόντα**. Τα θετικά ιόντα, αντίθετα με τα ελεύθερα ηλεκτρόνια, έχουν μεγάλη μάζα και δεν μπορούν να κινηθούν ελεύθερα. Κάνουν μικρές κινήσεις γύρω από συγκεκριμένες θέσεις. Οι θέσεις γύρω από τις οποίες κινούνται τα ιόντα του μετάλλου σχηματίζουν ένα πλέγμα (εικόνα 1.22).

Σ' ένα αφόρτιστο μεταλλικό σώμα το ολικό αρνητικό φορτίο των ελεύθερων ηλεκτρονίων του είναι ίδιο με το ολικό θετικό φορτίο των θετικών ιόντων του, με αποτέλεσμα **ο μεταλλικός αγωγός να είναι ηλεκτρικά ουδέτερος**. Αν προσληφθούν ή αποβληθούν ηλεκτρόνια από μια περιοχή του μεταλλικού αγωγού, τότε λόγω της τυχαίας κίνησης των ελεύθερων ηλεκτρονίων αυτό το πλεόνασμα ή το έλλειμμα θα κατανεμηθεί ομοιόμορφα σε όλη την έκταση του αγωγού.

Το πλαστικό, το γυαλί, το καουτσούκ, ο εβονίτης, η πορσελάνη, το κερί, το ξύλο και το καθαρό νερό είναι παραδείγματα μονωτικών υλικών. Ο ξηρός αέρας είναι μονωτής, ενώ ο υγρός αέρας είναι αγωγός. Γι' αυτό και ένα φορτισμένο σώμα εκφορτίζεται προς το περιβάλλον μέσω του υγρού αέρα.

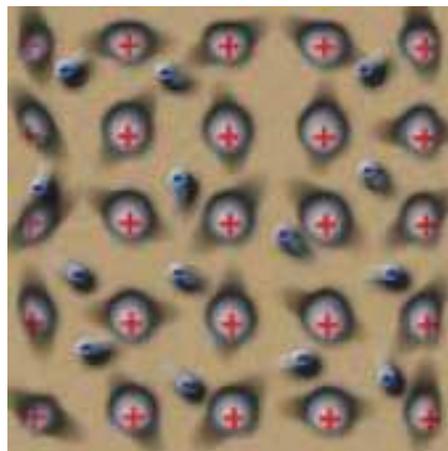
Πώς ερμηνεύεται η συμπεριφορά των μονωτών κατά την ηλεκτρισή τους;

Στους μονωτές τα εξωτερικά ηλεκτρόνια των ατόμων συγκρατούνται ισχυρά από τους πυρήνες. Έτσι δεν μπορούν να μεταφέρονται εύκολα από τη μια περιοχή του σώματος στην άλλη. Αν προσληφθούν ηλεκτρόνια, αυτά θα παραμείνουν παγιδευμένα από τα άτομα στην περιοχή της φόρτισης. Αν αποβληθούν, το έλλειμμα των ηλεκτρονίων θα παραμείνει πάλι εντοπισμένο, αφού



Εικόνα 1.21

(α) Φόρτιση με επαφή μιας μεταλλικής ράβδου. Η ράβδος φορτίζεται σε όλη της την επιφάνεια. (β) Φόρτιση με επαφή μιας πλαστικής ράβδου. Φορτίζεται μόνο η περιοχή που ήρθε σε επαφή με τη φορτισμένη σφαίρα.



Εικόνα 1.22

Ο μικρόκοσμος ενός μεταλλικού αγωγού
Υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα που σχηματίζουν πλέγμα.

Φυσική και επιστημονική μεθοδολογία

Πείραμα: Τα πρότυπα ελέγχονται, επαληθεύονται ή διαψεύδονται.

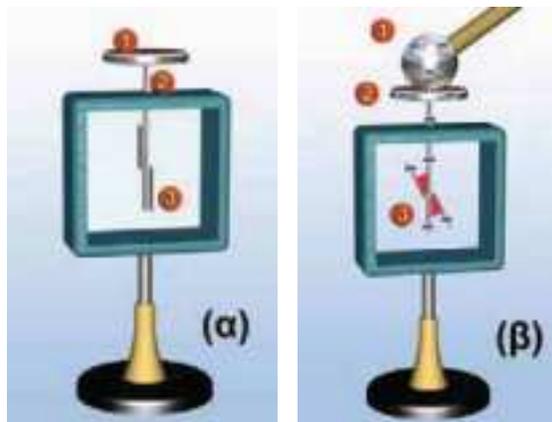
Πώς μπορούμε να ελέγξουμε πειραματικά αν πράγματι υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια στο εσωτερικό των μετάλλων;

Γνωρίζουμε από τον πρώτο νόμο του Νεύτωνα ότι, όταν ένα αυτοκίνητο σταματά απότομα, τινάζομαστε προς τα εμπρός. Με παρόμοιο τρόπο, όταν μια μεταλλική ράβδος η οποία κινείται με μεγάλη ταχύτητα σταματήσει απότομα, το μπροστινό μέρος της φορτίζεται αρνητικά και το πίσω θετικά. Δηλαδή στο μπροστινό μέρος της ράβδου συγκεντρώνονται τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, ενώ στο πίσω μέρος μένουν τα θετικά. Άρα μέσα σε ένα μέταλλο ελεύθερα να κινηθούν είναι τα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια, δηλαδή τα ηλεκτρόνια. Η διεξαγωγή ενός πειράματος που βασίζεται στις προηγούμενες σκέψεις είναι πολύ δύσκολη. Πραγματοποιήθηκε ωστόσο από τους Αμερικανούς φυσικούς Tolman και Stewart το 1916.

δεν είναι δυνατή η μετακίνηση ηλεκτρονίων από άλλες περιοχές του μονωτή προς την περιοχή της φόρτισης.

Ανίχνευση του ηλεκτρικού φορτίου – Το ηλεκτροσκόπιο

Για την ανίχνευση του ηλεκτρικού φορτίου και τη μελέτη της ηλεκτρίσης στο εργαστήριο χρησιμοποιούμε όργανα τα οποία ονομάζονται **ηλεκτροσκόπια**. Το ηλεκτρικό εκκρεμές είναι ένα παράδειγμα ηλεκτροσκοπίου. Ένα άλλο είδος είναι το ηλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα. Αυτό αποτελείται από ένα σταθερό μεταλλικό δίσκο (1), από ένα μεταλλικό στέλεχος (2) και από ένα ή δύο κινητά ελαφρά μεταλλικά ελάσματα (3) (εικόνα 1.23α).

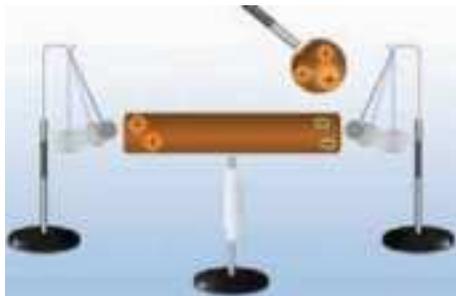


Εικόνα 1.23

(α) Τα μέρη ενός ηλεκτροσκοπίου: 1. Μεταλλικός δίσκος ή σφαίρα. 2. Μεταλλικό στέλεχος. 3. «Φύλλα του ηλεκτροσκοπίου». Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου βρίσκονται σε χώρο που περιβάλλεται από γυαλί και μονωτικό υλικό. Μπορείς να σκεφθείς γιατί; (β) Ηλέκτριση του ηλεκτροσκοπίου με επαφή. Το ηλεκτροσκόπιο φορτίζεται.

Όταν συνδέουμε το δίσκο του ηλεκτροσκοπίου με αφόρτιστο σώμα, τα δύο φύλλα του ισορροπούν το ένα δίπλα στο άλλο.

Όταν φέρουμε σε επαφή το δίσκο με φορτισμένο σώμα, τότε το ηλεκτροσκόπιο αποκτά φορτίο ίδιου είδους με το φορτίο του σώματος. Το φορτίο αυτό διαχέεται σε όλη την έκταση του μεταλλικού στελέχους του ηλεκτροσκοπίου και στα μεταλλικά φύλλα του. Τα φύλλα τώρα αποκτούν φορτίο ίδιου είδους με το στέλεχος και απωθούνται από αυτό. Έτσι παρατηρούμε ότι τα φύλλα αποκλίνουν από την αρχική τους θέση και σχηματίζουν γωνία με το ακίνητο στέλεχος (εικόνα 1.23β). Το μέγεθος της γωνίας αυτής είναι ένα μέτρο της ποσότητας του φορτίου που έχει μεταφερθεί στο ηλεκτροσκόπιο, άρα και του φορτίου του σώματος: μεγαλύτερη γωνία σημαίνει περισσότερο φορτίο.



Εικόνα 1.24

Η παρουσία της φορτισμένης σφαίρας προκαλεί το διαχωρισμό των θετικών από τα αρνητικά φορτία στη ράβδο.

Ηλέκτριση με επαγωγή

Πλησίασε μια θετικά φορτισμένη σφαίρα στο άκρο μιας μεταλλικής μη ηλεκτρισμένης ράβδου. Με τη βοήθεια ηλεκτροσκοπίου διαπιστώνεις ότι και τα δύο άκρα της ράβδου αποκτούν ηλεκτρικό φορτίο. Το άκρο που είναι πλησιέστερα στη σφαίρα φορτίζεται αρνητικά και το άλλο θετικά (εικόνα 1.24).

Αν απομακρύνεις τη φορτισμένη σφαίρα, θα παρατηρήσεις ότι η ράβδος παύει να έλκει τα σφαιρίδια του ηλεκτροσκοπίου. Συμπε-

φαινείς ότι η μεταλλική ράβδος μένει ηλεκτρισμένη όσο η φορτισμένη σφαίρα βρίσκεται κοντά της. Η παρουσία της σφαίρας προκαλεί **διαχωρισμό των θετικών από τα αρνητικά φορτία στη ράβδο**. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ηλέκτριση με επαγωγή**. Η ράβδος όμως **δεν έχει συνολικά ηλεκτρικό φορτίο**. Λέμε λοιπόν ότι η μεταλλική ράβδος είναι **ηλεκτρισμένη**, ενώ δεν είναι **φορτισμένη**.

Πώς θα ερμηνεύσουμε το φαινόμενο;

Θυμήσου ότι στα μέταλλα υπάρχουν τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που μπορούν να κινούνται προς κάθε κατεύθυνση και τα θετικά ιόντα που βρίσκονται σε συγκεκριμένες θέσεις.

Καθώς πλησιάζουμε στο άκρο Α της μεταλλικής ράβδου τη φορτισμένη σφαίρα, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια του μετάλλου της ράβδου έλκονται και κινούνται προς το άκρο Α. Τα θετικά ιόντα δεν μετακινούνται. Τότε όμως στο άκρο Α της ράβδου θα έχουμε πλεόνασμα ελεύθερων ηλεκτρονίων, οπότε φορτίζεται αρνητικά. Αντίθετα, από το άκρο Β έχει μετακινηθεί σημαντικός αριθμός ηλεκτρονίων και πλεονάζει το θετικό φορτίο των ιόντων: Το άκρο Α έχει φορτιστεί θετικά (εικόνα 1.25). Η ράβδος είναι ηλεκτρισμένη.

Όταν απομακρύνουμε τη φορτισμένη σφαίρα από το άκρο Α της ράβδου, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που είχαν μετακινηθεί προς αυτό έλκονται προς το θετικά φορτισμένο άκρο Β. Κατανέμονται πάλι ομοιόμορφα, ώστε το φορτίο σε κάθε περιοχή της ράβδου να είναι μηδέν. Γι' αυτό παρατηρούμε ότι τα άκρα της ράβδου δεν έλκουν το μπαλάκι του ηλεκτροσκοπίου. Η ράβδος δεν είναι πλέον ηλεκτρισμένη.

Όλα τα μεταλλικά αντικείμενα μπορούν να ηλεκτριστούν με επαγωγή (εικόνα 1.26).

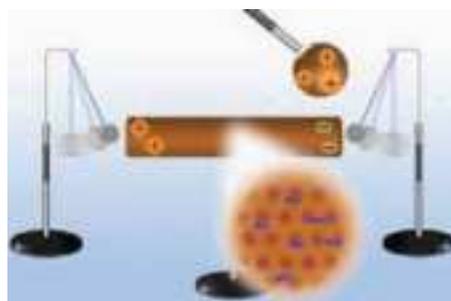
Ηλέκτριση μονωτών με επαγωγή

Με επαγωγή ηλεκτρίζονται τόσο οι αγωγοί όσο και οι μονωτές. Έτσι εξηγείται γιατί μία φορτισμένη χτένα έλκει μικρά κομμάτια χαρτί (εικόνα 1.27) ή μια φλέβα νερού, γιατί ένα φορτισμένο μπαλόνι κολλάει στον τοίχο κ.λπ.

Πώς όμως μπορούμε να ερμηνεύσουμε το γεγονός ότι η φορτισμένη χτένα έλκει τα κομματάκια από χαρτί που είναι ουδέτερα ή ότι το φορτισμένο μπαλόνι έλκεται από τον ουδέτερο τοίχο;

Για να δώσουμε απάντηση στο παραπάνω ερώτημα, θα καταφύγουμε στο εσωτερικό της ύλης: στη δομή του ατόμου. Όπως είδαμε, τα ηλεκτρόνια στα άτομα των μονωτών πολύ δύσκολα απομακρύνονται από αυτά. Όταν πλησιάσουμε μια αρνητικά φορτισμένη χτένα σ' ένα μονωτή, για παράδειγμα στα κομματάκια από χαρτί, αυτή απωθεί τα ηλεκτρόνια των ατόμων, αλλά δεν μπορεί να τα απομακρύνει από αυτά. Έτσι τα αναγκάζει να βρίσκονται τον περισσότερο χρόνο στην περιοχή του ατόμου που βρίσκεται σε μεγαλύτερη απόσταση από τη χτένα. Το άτομο ή το μόριο φαίνεται τώρα από τη μία άκρη του θετικά φορτισμένο και από την άλλη αρνητικά. Τότε λέμε ότι είναι **πολωμένο** (εικόνα 1.28α).

Ο προσανατολισμός των ατόμων ή των μορίων με τον παραπάνω τρόπο στο εσωτερικό του μονωτή έχει ως αποτέλεσμα στα



Εικόνα 1.25

Η παρουσία της θετικά φορτισμένης σφαίρας προκαλεί τη μετακίνηση ηλεκτρονίων από το ένα άκρο της μεταλλικής ράβδου στο άλλο. Αν απομακρύνουμε τη σφαίρα, τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στο άκρο όπου βρίσκονταν αρχικά και η ράβδος επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση.



Εικόνα 1.26

Ηλέκτριση του ηλεκτροσκοπίου με επαγωγή. Το συνολικό φορτίο του ηλεκτροσκοπίου είναι μηδέν. **Μπορείς να προβλέψεις τι θα συμβεί αν απομακρύνεις τη σφαίρα;** Ερμήνευσε το φαινόμενο.



Εικόνα 1.27

Η φορτισμένη χτένα έλκει τα ουδέτερα κομματάκια χαρτιού.

Εικόνα 1.28 ▶

(α) Τα ηλεκτρόνια του ατόμου μετατοπίζονται προς τη μία κατεύθυνση. Το άτομο φαίνεται να έχει το ένα άκρο του θετικά φορτισμένο και το άλλο αρνητικά. β) Τα πολωμένα σωματίδια προσανατολίζονται ώστε προς τη πλευρά του φορτισμένου σώματος να βρίσκεται το αντίθετα φορτισμένο άκρο της.

Δραστηριότητα

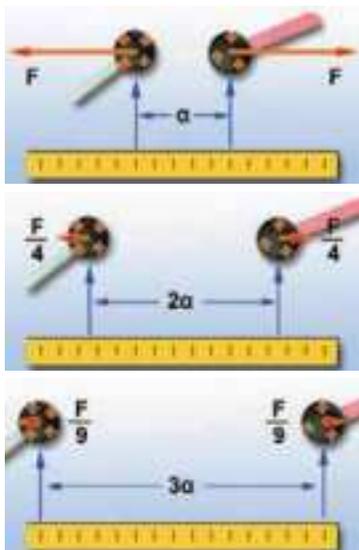
Τρίψε ένα μπαλόνι με μάλλινο ύφασμα και πλησιάσέ το σ' ένα τοίχο.
Τι παρατηρείς αρχικά και τελικά;
Με βάση τους τρόπους ηλεκτρίσης μπορείς να ερμηνεύσεις όλο το φαινόμενο;



Εικόνα 1.29

Σαρλ Κουλόμπ (Coulomb, 1736-1806)

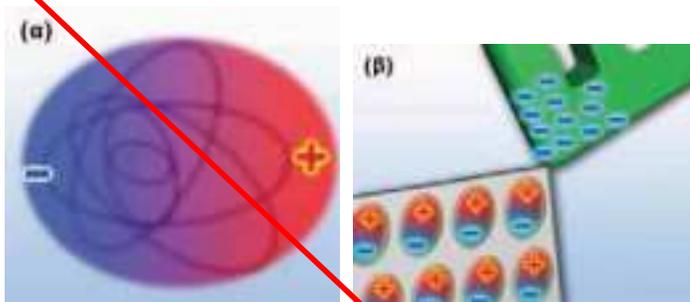
Γάλλος στρατιωτικός ο οποίος εγκατέλειψε τη στρατιωτική του σταδιοδρομία για να αφοσιωθεί στην επιστημονική έρευνα. Έθεσε τις πειραματικές βάσεις του μαγνητισμού και του στατικού ηλεκτρισμού.



Εικόνα 1.30

Δύναμη Κουλόμπ και απόσταση

Το μέτρο της δύναμης σε απόσταση a είναι F , σε απόσταση $2a$ είναι $F/4=F/2^2$ και σε απόσταση $3a$ είναι $F/9=F/3^2$.



ένα άκρο του (το πλησιέστερο στη χτένα) να εμφανίζεται θετικό φορτίο και στο άλλο άκρο αρνητικό (εικόνα 1.28β).

Αν απομακρύνουμε τη χτένα, τα άτομα ή τα μόρια επανέρχονται στην αρχική τους κατάσταση και τότε ο μονωτής παύει να είναι ηλεκτρισμένος. Με αυτό τον τρόπο μπορούμε να ερμηνεύσουμε πώς η φορτισμένη χτένα που παριστάνεται στην εικόνα 1.27 έλκει τα ουδέτερα κομματάκια από χαρτί ή ο ουδέτερος τοίχος έλκει το φορτισμένο μπαλόνι.

1.5 Νόμος του Κουλόμπ

Η μελέτη της φύσης είναι προσπάθεια δίχως τέλος. Συνεχώς ο άνθρωπος θέτει ερωτήματα, κάνει παρατηρήσεις, διατυπώνει υποθέσεις, ελέγχει την ορθότητα των υποθέσεών του με τη βοήθεια του πειράματος και καταλήγει σε συμπεράσματα. Ακολουθώντας την παραπάνω ερευνητική διαδικασία ο Γάλλος φυσικός Σαρλ Κουλόμπ (Charles Coulomb) (εικόνα 1.29) μελέτησε τα χαρακτηριστικά της ηλεκτρικής δύναμης και κατάφερε να απαντήσει στο ερώτημα:

Από ποια μεγέθη και πώς εξαρτάται το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται από ένα φορτισμένο σώμα σε ένα άλλο;

Ηλεκτρική δύναμη και απόσταση

Μπορεί κανείς να διαπιστώσει κάνοντας απλές παρατηρήσεις ότι, όταν αυξάνεται η απόσταση μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων, η ηλεκτρική δύναμη εξασθενεί. Ωστόσο ο Κουλόμπ δεν περιορίστηκε σε απλές παρατηρήσεις. Κατάφερε να κάνει ακριβείς μετρήσεις και να διατυπώσει τη σχέση ανάμεσα στην ηλεκτρική δύναμη με την οποία αλληλεπιδρούν δύο μικρές φορτισμένες σφαίρες και στην απόσταση μεταξύ των κέντρων τους.

Ο Κουλόμπ, διατηρώντας το φορτίο των μικρών σφαιρών σταθερό, διαπίστωσε ότι, όταν διπλασίαζε τη μεταξύ τους απόσταση, η ηλεκτρική δύναμη υποτετραπλασιαζόταν. Όταν η απόσταση των σφαιρών τριπλασιάζονται, η ηλεκτρική δύναμη γινόταν εννέα φορές μικρότερη κ.ο.κ. (εικόνα 1.30).

Δηλαδή η ηλεκτρική δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασης μεταξύ των μικρών σφαιρών.

Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

Ο Κουλόμπ προσπάθησε επίσης να δώσει απάντηση στο ερώτημα πώς επηρεάζει το φορτίο κάθε σφαίρας την ηλεκτρική δύναμη. Είδαμε προηγουμένως ότι όσο λιγότερο φορτίο έχουν οι σφαίρες τόσο μικρότερη είναι η ηλεκτρική δύναμη. Μάλιστα όταν οι δύο σφαίρες δεν είναι φορτισμένες, δεν ασκείται ηλεκτρική δύναμη. Ο Κουλόμπ ωστόσο και σε τούτη την περίπτωση δεν περιορίστηκε στην ποιοτική παρατήρηση.

Αφήνοντας λοιπόν κάθε φορά το μισό φορτίο σε μια φορτισμένη σφαίρα την τοποθετούσε στην ίδια απόσταση από μια άλλη φορτισμένη σφαίρα και μετρούσε την ηλεκτρική δύναμη (εικόνα 1.31).

Βρήκε έτσι ότι, όταν υποδιπλασίαζε το φορτίο της μιας σφαίρας, η δύναμη επίσης υποδιπλασιαζόταν. Όταν υποτριπλασίαζε το φορτίο, η δύναμη υποτριπλασιαζόταν κ.ο.κ. Συμπέρανε λοιπόν ότι **η ηλεκτρική δύναμη είναι ανάλογη με το ηλεκτρικό φορτίο κάθε σφαίρας και επομένως με το γινόμενό τους όταν η απόσταση των σφαιρών είναι σταθερή.**

Τα συμπεράσματα του Κουλόμπ τα ονομάζουμε νόμο του Κουλόμπ για την ηλεκτρική δύναμη. Ισχύουν για φορτισμένα σώματα των οποίων οι διαστάσεις είναι πολύ μικρές σε σχέση με τη μεταξύ τους απόσταση ή για φορτισμένες σφαίρες. Τα σώματα αυτά ονομάζονται και σημειακά φορτία. Έτσι συνοψίζοντας τα συμπεράσματα μπορούμε να διατυπώσουμε το **νόμο του Κουλόμπ** ως εξής:

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

Στη γλώσσα των Μαθηματικών γράφουμε:

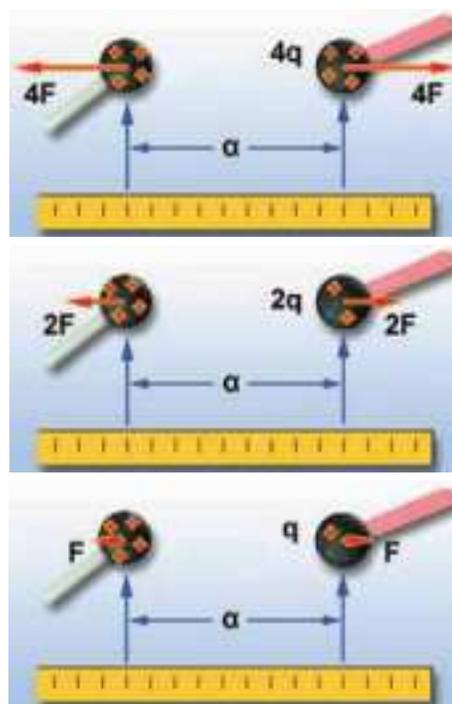
$$F = K \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$$

Το K είναι μια σταθερά αναλογίας. Η τιμή της εξαρτάται από το υλικό μέσα στο οποίο βρίσκονται τα φορτισμένα σώματα και από το σύστημα των μονάδων που χρησιμοποιούμε. Η τιμή της στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων για το κενό και κατά προσέγγιση για τον αέρα είναι:

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

Τα διανύσματα που παριστάνουν τις δυνάμεις που ασκούνται από το ένα φορτίο στο άλλο βρίσκονται στην ευθεία που συνδέει τα δύο φορτία. Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα για τη δράση-αντίδραση, που μάθαμε στην προηγούμενη τάξη, οι δύο αυτές δυνάμεις έχουν αντίθετη φορά και ίσα μέτρα (εικόνα 1.32).

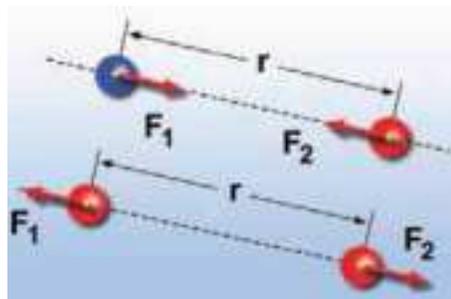
Σύμφωνα με το νόμο του Κουλόμπ η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε δύο σημειακά φορτία του 1 C που βρίσκονται σε απόσταση 1 m είναι ίση με 9 δισεκατομμύρια N. Αυτή η δύναμη είναι μεγαλύτερη από το δεκαπλάσιο του βάρους ενός πολεμικού πλοίου. Προφανώς το C είναι πολύ μεγάλη μονάδα φορτίου και τέτοια συνολικά φορτία δεν εμφανίζονται στα φαινόμενα της καθημερινής ζωής. Επιπλέον τα περισσότερα σώμα-



Εικόνα 1.31

Δύναμη Κουλόμπ και φορτίο

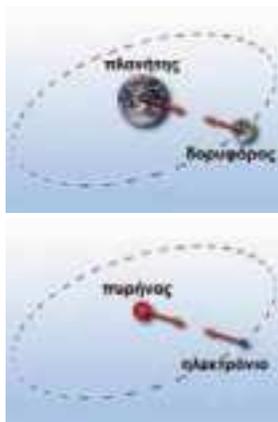
Αν η απόσταση μεταξύ των σημειακών φορτίων δεν μεταβάλλεται και υποδιπλασιάσουμε το ένα από τα δύο, η δύναμη υποδιπλασιάζεται.



Εικόνα 1.32

Τα αντίθετα έλκονται και τα όμοια απωθούνται

Η ηλεκτρική δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος: έχει διεύθυνση και φορά. Η διεύθυνσή της βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει τα δύο σημειακά φορτία. Η δύναμη έχει φορά προς το άλλο φορτίο (έλκτική δύναμη) όταν τα φορτία είναι αντίθετα και αντίθετη (απωστική δύναμη) όταν τα φορτία είναι όμοια.



Εικόνα 1.33

Στον κόσμο των πλανητών, των αστερών και των γαλαξιών κυριαρχούν οι βαρυτικές δυνάμεις. Στον κόσμο των ατόμων και των μορίων κυριαρχούν οι ηλεκτρικές δυνάμεις.



Εικόνα 1.34

Το μπαλάκι ηλεκτρίζεται από επαγωγή

Η απόσταση από τη ράβδο του θετικά φορτισμένου τμήματος της μπάλας είναι μεγαλύτερη από την απόσταση του αρνητικά φορτισμένου τμήματος. Η ελκτική δύναμη είναι μεγαλύτερη της απωστικής.



Εικόνα 1.35

Μάικλ Φαραντέι (Faraday, 1791-1867)

Άγγλος φυσικός. Ένας από τους θεμελιωτές του ηλεκτρομαγνητισμού και ίσως ο πιο σημαντικός πειραματικός φυσικός του 19ου αιώνα. Εισήγαγε τις έννοιες του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου, καθώς και των δυναμικών γραμμών.

Εικόνα 1.36

(α) Η αφόρτιστη σφαίρα δεν ασκεί δύναμη στα αφόρτιστα σφαιρίδια.
(β) Η θετικά φορτισμένη σφαίρα ασκεί απωστική δύναμη στα θετικά φορτισμένα σφαιρίδια.

τα έχουν σχεδόν ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων, οπότε το συνολικό φορτίο τους είναι μικρό.

Από την άλλη μεριά όμως οι ηλεκτρικές δυνάμεις παίζουν κυρίαρχο ρόλο στο σχηματισμό των ατόμων, των μορίων από τα άτομα, των κρυστάλλων και επομένως στις χημικές αντιδράσεις και τα βιολογικά φαινόμενα.

Αντίθετα, τα ουράνια σώματα έχουν ολικό φορτίο ίσο με το μηδέν. Έτσι οι κινήσεις τους προσδιορίζονται από τις βαρυτικές δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ τους (εικόνα 1.33).

Έλξη μεταξύ φορτισμένου και ουδέτερου σώματος

Με τη βοήθεια του νόμου του Κουλόμπ μπορούμε να κατανοήσουμε γιατί ένα φορτισμένο σώμα έλκει ένα ουδέτερο. Όταν πλησιάζουμε μια θετικά φορτισμένη γυάλινη ράβδο σε ένα ουδέτερο μπαλάκι από αλουμινοχαρτό (εικόνα 1.34), το μπαλάκι ηλεκτρίζεται με επαγωγή. Η περιοχή της μπάλας κοντά στη ράβδο φορτίζεται αρνητικά και έλκεται από αυτήν, ενώ η περιοχή μακριά από τη ράβδο φορτίζεται θετικά και απωθείται. Επειδή η ράβδος βρίσκεται πλησιέστερα στην αρνητικά φορτισμένη περιοχή παρά στη θετικά φορτισμένη, η ελκτική δύναμη είναι μεγαλύτερη από την απωστική και επομένως το μπαλάκι έλκεται από τη ράβδο.

1.6 Το ηλεκτρικό πεδίο

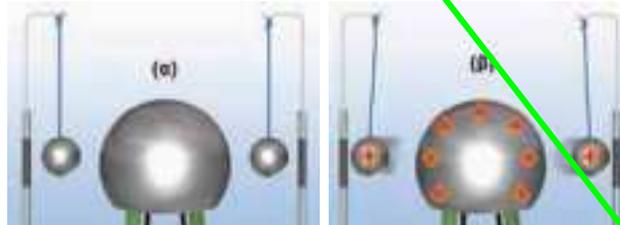
Μάθουμε ότι η ηλεκτρική δύναμη δρα από απόσταση χωρίς να μεσολαβεί κάποιο υλικό μέσο μεταξύ των φορτισμένων σωμάτων. Το ίδιο συμβαίνει με τη μαγνητική και τη βαρυτική δύναμη. Ο Άγγλος φυσικός Μάικλ Φαραντέι (εικόνα 1.35), για να περιγράψει τις αλληλεπιδράσεις των σωμάτων από απόσταση, επινόησε την έννοια του πεδίου δυνάμεων.

Ηλεκτρική δύναμη και πεδίο

Η ηλεκτρική δύναμη δρα από απόσταση. Μεταξύ δύο φορτισμένων αντικειμένων αναπτύσσονται ηλεκτρικές δυνάμεις χωρίς να μεσολαβεί κανένα υλικό μέσο. Για παράδειγμα, στο χώρο που είναι κοντά στη σφαίρα μιας ηλεκτροστατικής μηχανής (συσκευή με τη βοήθεια της οποίας μπορούμε να φορτίσουμε ηλεκτρικά μια σφαίρα) Van der Graaf φέρνουμε ηλεκτρικά εκκρεμή.

Όταν η σφαίρα της μηχανής και τα σφαιρίδια στα ηλεκτρικά εκκρεμή φορτιστούν, τότε στα σφαιρίδια ασκείται ηλεκτρική δύναμη (εικόνα 1.36).

Στο χώρο γύρω από ένα φορτισμένο σώμα ασκούνται ηλε-



κτρικές δυνάμεις. Φαίνεται ότι ο χώρος γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα αποκτά την εξής ιδιότητα: «Σε κάθε φορτισμένο σώμα που τοποθετείται σε αυτόν ασκείται ηλεκτρική δύναμη». Λέμε τότε ότι στο χώρο υπάρχει **ηλεκτρικό πεδίο** (εικόνα 1.37).

Γενικά **μία περιοχή του χώρου ονομάζεται ηλεκτρικό πεδίο, αν ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε φορτισμένο σώμα που φέρνουμε μέσα σ' αυτή.**

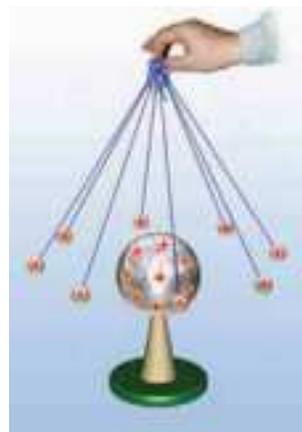
Με την εισαγωγή της έννοιας του ηλεκτρικού πεδίου η άσκηση της ηλεκτρικής δύναμης περιγράφεται ως διαδικασία δύο βημάτων.

- Γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο.
- Τα φορτισμένα σώματα αλληλεπιδρούν μέσω των ηλεκτρικών πεδίων που δημιουργούν.

Για παράδειγμα ο πυρήνας δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτρικό πεδίο που ασκεί ηλεκτρική δύναμη στα ηλεκτρόνια του ατόμου. Αντίστοιχα τα ηλεκτρόνια δημιουργούν ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο των ηλεκτρονίων ασκεί ηλεκτρική δύναμη στον πυρήνα.

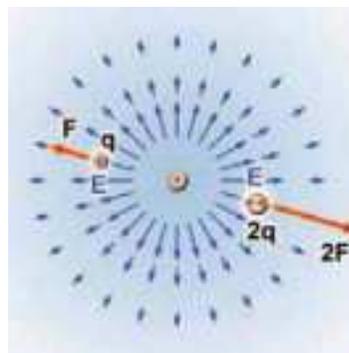
Πώς θα διαπιστώσουμε αν σε μια περιοχή του χώρου υπάρχει (ή όχι) ηλεκτρικό πεδίο;

Αρκεί να τοποθετήσουμε στην περιοχή αυτή ένα μικρό φορτισμένο σώμα, για παράδειγμα το φορτισμένο σωματίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς). Αν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο, τότε στο φορτισμένο σώμα θα ασκηθούν δυνάμεις που θα το εκτρέψουν από την αρχική θέση ισορροπίας του (εικόνα 1.37).



Εικόνα 1.37

Γύρω από τη φορτισμένη σφαίρα δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Το ηλεκτρικό πεδίο ασκεί δυνάμεις στα φορτισμένα σφαιρίδια.



Εικόνα 1.38

Μια αναπαράσταση του ηλεκτρικού πεδίου ενός σημειακού φορτίου μέσω των διανυσμάτων της δύναμης και της έντασης. Τα μπλε βέλη παριστάνουν την ένταση και τα κόκκινα τη δύναμη. Το μήκος των διανυσμάτων παριστάνει το μέτρο της έντασης.

Περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου

Πώς μπορούμε να περιγράψουμε ένα ηλεκτρικό πεδίο;

Ένας τρόπος είναι μέσω της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί στα φορτία που βρίσκονται μέσα σ' αυτό. Το μειονέκτημα αυτού του τρόπου είναι ότι η δύναμη αυτή εξαρτάται από το φορτίο. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο που φέρνουμε σ' ένα σημείο του πεδίου τόσο μεγαλύτερη είναι και η δύναμη που ασκεί το πεδίο σ' αυτό. Αν αλλάξει το φορτίο, αλλάζει και η δύναμη. Για να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα αυτό, αναζητούμε τρόπους περιγραφής ανεξάρτητους από το φορτίο στο οποίο ασκείται η δύναμη. Ένας πρώτος τρόπος είναι η περιγραφή μέσω του μεγέθους που λέγεται **ένταση του ηλεκτρικού πεδίου**. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου συνδέεται με τη δύναμη που ασκείται από το πεδίο σε θετικό ηλεκτρικό φορτίο 1 C και τη συμβολίζουμε με το E (εικόνα 1.38).

- Μπορείς να σκεφθείς γιατί κατά τη λειτουργία των μυών δημιουργούνται γύρω τους ηλεκτρικά πεδία;
- Η καρδιά είναι ένας από τους σημαντικότερους μύες του ανθρώπινου σώματος. Κατά τη λειτουργία της δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο. Αναζήτησε πληροφορίες γι' αυτό το ηλεκτρικό πεδίο και να το συνδέσεις με το ηλεκτροκαρδιογράφημα.
- Αναζήτησε και άλλες ιατρικές εξετάσεις που να στηρίζονται στη λειτουργία ηλεκτρικών πεδίων από διάφορα ανθρώπινα όργανα.

Φυσική και Βιολογία και Ιατρική

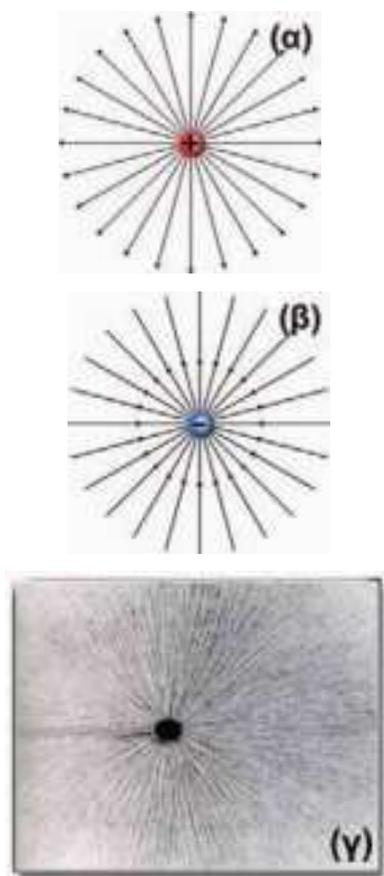


Γύρω από τους έμβιους οργανισμούς δημιουργούνται **ηλεκτρικά πεδία** που οφείλονται στη λειτουργία των μυών τους. Οι καρδιές διαθέτουν κύτταρα ηλεκτρικά ευαίσθητα τα οποία τους δίνουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν τα θύματά τους ανιχνεύοντας τα πολύ ασθενή πεδία τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3

ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝ

Πηγή ηλεκτρικού πεδίου	Δύναμη σε N που ασκείται σε φορτίο 1 C, N/C	Πηγή ηλεκτρικού πεδίου	Δύναμη σε N που ασκείται σε φορτίο 1 C, N/C
Ενδοαστρική ακτινοβολία	$3 \cdot 10^{-6}$	Ηλιακό φως	10^3
Ηλεκτρικά καλώδια σπιτιού	10^{-2}	Ατμόσφαιρα (καταιγίδα)	10^4
Ραδιοκύματα	10^{-1}	Μηχανή Van der Graaff	$2 \cdot 10^6$
Κέντρο ενός δωματίου	3	Ο αέρας γίνεται αγωγός	$3 \cdot 10^6$
Εσωτερικό λαμπτήρα φθορισμού	10	Σωλήνας παραγωγής ακτίνων X	$5 \cdot 10^6$
30 cm από ηλεκτρικό ρολόι	15	Κυτταρική μεμβράνη	10^7
30 cm από στερεοφωνικό	90	Εσωτερικό ατόμου υδρογόνου	$6 \cdot 10^{11}$
Δέσμη λέιζερ	10^2	Επιφάνεια ενός παλλόμενου αστέρα	10^{14}
Ατμόσφαιρα (καλοκαιρία)	150	Επιφάνεια πυρήνα ουρανίου	$2 \cdot 10^{21}$
30 cm από ηλεκτρική κουβέρτα	250		



Εικόνα 1.39

Δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από ένα σημειακό φορτίο (α) θετικό και (β) αρνητικό. Παρατήρησε ότι οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από τα θετικά φορτία και καταλήγουν στα αρνητικά. (γ) Οι δυναμικές γραμμές είναι δυνατόν να αισθητοποιηθούν με λεπτές μεταξωτές κλωστές τοποθετημένες μέσα σε καστορέλαιο.

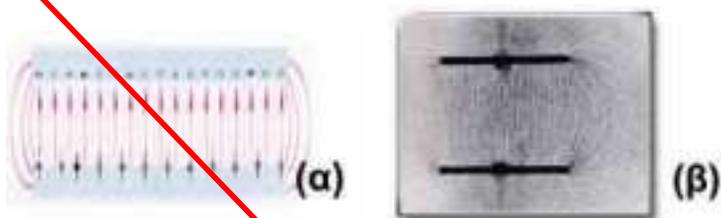
Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές

Η περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου στην εικόνα 1.38 είναι δύσκολη και δύσχρηστη. Ο Φαραντέι (Faraday) εισήγαγε έναν πιο εύκολο τρόπο περιγραφής του ηλεκτρικού πεδίου, μέσω των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών, ο οποίος χρησιμοποιείται ακόμη και σήμερα.

Μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο ελαφρά αντικείμενα, για παράδειγμα λεπτές μεταξωτές κλωστές, διατάσσονται σε γραμμές κατά τη διεύθυνση της δύναμης που ασκείται πάνω τους (εικόνα 1.39γ). Όπου συγκεντρώνονται περισσότερες κλωστές, εκεί η ηλεκτρική δύναμη είναι ισχυρότερη και οι γραμμές είναι πυκνότερες. Επειδή αυτές οι γραμμές δείχνουν τη διεύθυνση και το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης, τις ονομάζουμε **δυναμικές γραμμές** του ηλεκτρικού πεδίου.

Ωστε, αν γνωρίζουμε τη μορφή των δυναμικών γραμμών, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη διεύθυνση της ηλεκτρικής δύναμης. Παρατηρώντας επίσης πόσο πυκνές ή αραιές είναι οι δυναμικές γραμμές μπορούμε να εκτιμήσουμε πόσο ισχυρή ή ασθενής είναι η ηλεκτρική δύναμη. Επομένως, για να προσδιορίσουμε την ηλεκτρική δύναμη, δεν είναι απαραίτητο να γνωρίζουμε από ποιο σώμα ή από ποια σώματα ασκείται («πηγές του πεδίου»). Αρκεί να γνωρίζουμε τη μορφή των δυναμικών γραμμών, δηλαδή ποια είναι η διεύθυνσή τους και πόσο πυκνές είναι (εικόνα 1.39α, β).

Στην εικόνα 1.40 παριστάνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο χώρο μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων παράλληλων μεταλλικών πλακών. Ένα τέτοιο σύστημα ονομάζεται *επίπεδος πυκνωτής*. Παρατηρήστε ότι με εξαίρεση την περιοχή των άκρων οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες, παράλληλες και ισαπέχουσες. Ένα τέτοιο πεδίο έχει σταθερή ένταση και λέμε ότι είναι **ομογενές**. Το ομογενές πεδίο ασκεί την ίδια δύναμη σε ένα ηλεκτρικό φορτίο σε οποιοδήποτε σημείο του και αν το τοποθετήσουμε.



◀ Εικόνα 1.40

(α) Σχηματική αναπαράσταση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου ενός επίπεδου πυκνωτή, (β) Αισθητοποίηση των δυναμικών γραμμών του ηλεκτρικού πεδίου επιπέδου πυκνωτή με τη βοήθεια λεπτών μετα ξωτών κλωστών τοποθετημένων σε καστορέλαιο.

Ηλεκτρική θωράκιση

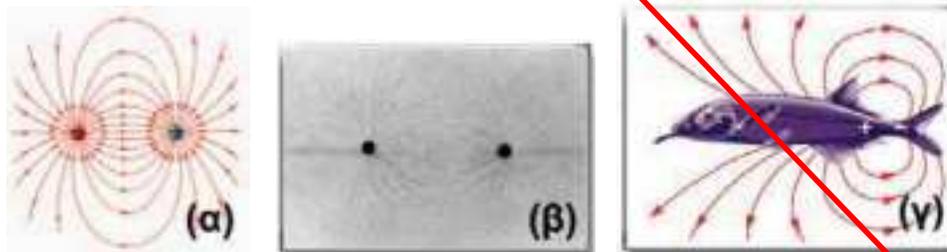
Στην εικόνα 1.41 παριστάνονται οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο χώρο μεταξύ μιας φορτισμένης πλάκας και ενός αντίθετα φορτισμένου μεταλλικού κυλίνδρου. Παρατηρήστε ότι στο εσωτερικό του μεταλλικού κυλίνδρου οι κλωστές δεν διατάσσονται, γεγονός που σημαίνει ότι δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό συμβαίνει γενικά στο εσωτερικό των αγωγών. Λέμε ότι οι αγωγοί **θωρακίζουν** τον εσωτερικό τους χώρο από τα ηλεκτρικά πεδία που υπάρχουν στον εξωτερικό χώρο.



Εικόνα 1.41
Ηλεκτρική θωράκιση

Στο εσωτερικό του μεταλλικού κυλίνδρου δεν υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο.

Φυσική και Βιολογία



Δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από δύο αντίθετα φορτία (κόκκινο και μπλε):

(α) Συμβολική αναπαράσταση.

(β) Αισθητοποίηση από μεταξωτές κλωστές σε καστορέλαιο.

(γ) Μερικά ζώα παράγουν ένα τέτοιο πεδίο ώστε μέσω αυτού να ανιχνεύουν κοντινά αντικείμενα.

Φυσική και καθημερινή ζωή και Τεχνολογία



Κεραυνός και ηλεκτρική θωράκιση

Το αμάξωμα ενός αυτοκινήτου είναι μεταλλικό. Επομένως **θωρακίζει** το εσωτερικό του από τα εξωτερικά ηλεκτρικά πεδία. Έτσι όταν ένας κεραυνός πλήττει το αυτοκίνητο, ενώ στο εξωτερικό χώρο υπάρχει ένα ισχυρότατο ηλεκτρικό πεδίο, στο εσωτερικό δεν υπάρχει πεδίο, οπότε οι επιβάτες δεν κινδυνεύουν.

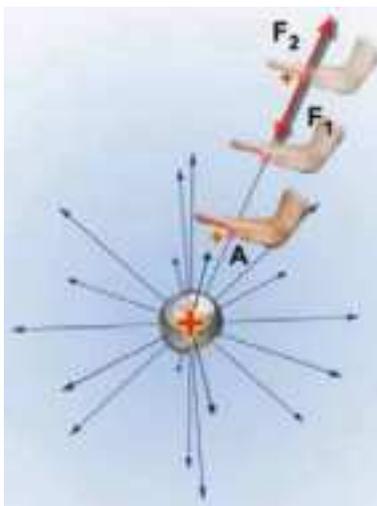
Σκέψου και σχεδίασε την αντιστοιχία του αυτοκινήτου με την εικόνα 1.41. Εξήγησε αυτό που συμβαίνει.

Μπορείς να αναφέρεις άλλες εφαρμογές της ηλεκτρικής θωράκισης;



Εικόνα 1.42

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



Εικόνα 1.43

Για να πλησιάσουμε το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο στην επίσης θετικά φορτισμένη σφαίρα, ασκούμε δύναμη F_1 ίση και αντίθετη της απωστικής δύναμης F_2 που ασκεί η σφαίρα στο σφαιρίδιο. (α) Η δύναμη F_1 παράγει έργο που είναι ίσο με τη δυναμική ηλεκτρική ενέργεια που έχει το σφαιρίδιο στη θέση Α. (β) Αν το σφαιρίδιο το τοποθετήσουμε στη σφαίρα, τότε αυξάνεται το φορτίο της σφαίρας καθώς και η δυναμική της ενέργεια.

Ηλεκτρικό πεδίο και ενέργεια

Θέτουμε σε λειτουργία μια ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst (μηχανή η οποία προμηθεύει ηλεκτρικά φορτία) οπότε οι δύο μεταλλικές σφαίρες (πόλοι) φορτίζονται και η μια αποκτά θετικό φορτίο, ενώ η άλλη αρνητικό. Πλησιάζουμε το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς στον επίσης θετικά φορτισμένο πόλο της μηχανής (εικόνα 1.42). Παρατηρούμε ότι κινείται από τον ένα πόλο της μηχανής προς τον άλλο.

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

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

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

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

Αφού το φορτισμένο σφαιρίδιο βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, ασκείται σ' αυτό ηλεκτρική δύναμη. Επομένως έχει δυναμική ενέργεια που την ονομάζουμε **ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**. Ποια είναι όμως η προέλευση της ενέργειας του σφαιριδίου;

Ας θυμηθούμε ότι, για να ανυψώσουμε ένα σώμα στο βαρυτικό πεδίο της γης, ασκούμε δύναμη. Το έργο αυτής της δύναμης είναι ίσο με τη δυναμική ενέργεια που αποκτά το σώμα. Παρόμοια, για να πλησιάσουμε το φορτισμένο σφαιρίδιο στον όμοια φορτισμένο πόλο της μηχανής, απαιτείται να ασκήσουμε δύναμη. Το έργο αυτής της δύναμης είναι ίσο με την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια που αποκτά το σφαιρίδιο σε κάποιο σημείο του πεδίου (εικόνα 1.43).

Ένα φορτισμένο σώμα δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο στο χώρο που το περιβάλλει. Για να φορτιστεί όμως το σώμα, θα πρέπει να μεταφερθεί σ' αυτό ορισμένη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου. Αν τρίψουμε ένα μπαλόνι με μάλλινο ύφασμα, τότε το μπαλόνι φορτίζεται αρνητικά λόγω της μεταφοράς ηλεκτρονίων από το ύφασμα. Τα ηλεκτρόνια όμως που μεταφέρονται αρχικά στο μπαλόνι ασκούν απωστικές δυνάμεις στα νέα ηλεκτρόνια που έρχονται να προστεθούν σ' αυτό. Για να υπερνικηθούν αυτές οι δυνάμεις, θα πρέπει να ασκηθούν στα ηλεκτρόνια και εξωτερικές δυνάμεις, για παράδειγμα μέσω της τριβής. Μέσω του έργου αυτών των δυνάμεων προσφέρεται ενέργεια στα ηλεκτρόνια.

Τι γίνεται αυτή η ενέργεια;

Αποθηκεύεται ως ηλεκτρική δυναμική ενέργεια στο φορτισμένο σώμα ή με άλλα λόγια στο ηλεκτρικό πεδίο που αυτό δημιουργεί.

Ερωτήσεις

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

▶ Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Ηλεκτρική δύναμη και ηλεκτρικό φορτίο

1. Να σχηματίσεις προτάσεις χρησιμοποιώντας τις έννοιες: ηλεκτρισμένο σώμα, ηλεκτρική δύναμη, ηλεκτρικό εκκρεμές, ηλεκτρικό φορτίο.
2. Να περιγράψεις δύο φαινόμενα που προκαλούνται από ηλεκτρισμένα σώματα.
3. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
 - α. Μεταξύ δύο φορτισμένων σωμάτων ασκείται είτε δύναμη είτε δύναμη. Δύο φορτισμένα σώματα αλληλεπιδρούν χωρίς να βρίσκονται απαραίτητα σε μεταξύ τους. Η ηλεκτρική δύναμη δρα από
 - β. Στη φύση εμφανίζονται δύο είδη φορτισμένων σωμάτων, τα και τα φορτισμένα. Δύο φορτισμένα σώματα απωθούνται, ενώ δύο φορτισμένα σώματα έλκονται.
4. Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση:
 - A. Τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα γιατί αποτελούνται από ίσους αριθμούς πρωτονίων και ηλεκτρονίων που

α. δεν έχουν ηλεκτρικό φορτίο	γ. έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία
β. έχουν το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο	δ. είναι λιγότερα από τα νετρόνια
 - B. Η φόρτιση με τριβή επιτυγχάνεται με μεταφορά

α. μόνο πρωτονίων	γ. και πρωτονίων και ηλεκτρονίων
β. μόνο ηλεκτρονίων	δ. μόνο νετρονίων
 - Γ. Τρίβουμε ισχυρά μια ράβδο από εβονίτη με ένα μεταξωτό ή μάλλινο ύφασμα. Το φορτίο που θα αποκτήσει η ράβδος είναι:

α. μερικά Κουλόμπ (C)	γ. μερικά εκατομμυριοστά του Κουλόμπ (C)
β. μερικά χιλιοστά του Κουλόμπ (C)	δ. μερικά δισεκατομμυριοστά του Κουλόμπ (C)

Τρόποι ηλεκτρίσης και η μικροσκοπική ερμηνεία τους

5. Να περιγράψεις δύο ηλεκτρικά φαινόμενα και να τα συνδέσεις με τους τρόπους ηλεκτρίσης.
6. Ποια όργανα ονομάζονται ηλεκτροσκόπια; Να περιγράψεις τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται ένα ηλεκτροσκόπιο με κινητά φύλλα.
7. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
 - α. Όταν τρίβουμε δύο ουδέτερα σώματα μετακινούνται από το ένα στο άλλο και τα σώματα φορτίζονται Όταν αγγίξουμε με ένα σώμα ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σώμα, τότε αυτό φορτίζεται με είδος φορτίου.
 - β. Όταν ένα υλικό φορτίζεται με επαφή σε όλη του την έκταση το ονομάζουμε, ενώ όταν φορτίζεται μόνο τοπικά το ονομάζουμε Το πλαστικό και το γυαλί είναι, ενώ τα μέταλλα είναι Οι επιτρέπουν την κίνηση των φορτισμένων σωματιδίων στο εσωτερικό τους, ενώ οι όχι.
8. Στις παρακάτω ερωτήσεις να κυκλώσεις το γράμμα που αντιστοιχεί στη σωστή απάντηση:
 - A. Τρίβουμε μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα. Η ράβδος φορτίζεται θετικά διότι:

α. πήρε φορτισμένα σωματίδια από την ατμόσφαιρα
β. μεταφέρθηκαν πρωτόνια από το ύφασμα στη ράβδο
γ. μεταφέρθηκαν ηλεκτρόνια από τη ράβδο στο ύφασμα
δ. τα ηλεκτρόνια της ράβδου μετατράπηκαν λόγω της τριβής σε πρωτόνια.

Β. Δύο μονωμένες μεταλλικές σφαίρες έχουν φορτία $2 \mu\text{C}$ και $3 \mu\text{C}$ αντίστοιχα. Τις φέρνουμε σε επαφή και τις απομακρύνουμε, προσέχοντας να παραμένουν ηλεκτρικά απομονωμένες από το περιβάλλον τους. Με βάση την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου μετά την επαφή τους οι σφαίρες έχουν φορτία αντίστοιχα:

α. $2 \mu\text{C}$ και $2 \mu\text{C}$, β. $1 \mu\text{C}$ και $4 \mu\text{C}$, γ. $5 \mu\text{C}$ και $1 \mu\text{C}$, δ. $3 \mu\text{C}$ και $3 \mu\text{C}$.

9. Τι εννοούμε με τη φράση: «Το συνολικό φορτίο διατηρείται σταθερό»; Να χρησιμοποιήσεις σχετικά παραδείγματα.
10. Τι εννοούμε με τη φράση: «Το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζεται σε κβάντα»; Να χρησιμοποιήσεις σχετικά παραδείγματα.

Ο Νόμος του Κουλόμπ και το ηλεκτρικό πεδίο

11. Να συμπληρώσεις τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
- α. Σύμφωνα με το νόμο του Κουλόμπ το μέτρο της δύναμης που προκύπτει από την αλληλεπίδραση δύο σημειακών φορτίων είναι του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του της μεταξύ τους απόστασης. Τα διανύσματα που παριστάνουν τις δυνάμεις βρίσκονται στην που τα συνδέει.
- β. Όταν σ' ένα χώρο ασκούνται λέμε ότι στο χώρο υπάρχει ένα δυνάμεων. Γύρω από ένα σώμα που έχει ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει πεδίο.
- γ. Όταν σ' ένα πεδίο οι δυναμικές γραμμές είναι ευθείες παράλληλες και ισαπέχουσες το πεδίο έχει ένταση και λέμε ότι είναι Στο εσωτερικό των αγωγών δεν υπάρχει πεδίο. Λέμε ότι οι αγωγοί τον εσωτερικό τους χώρο από τα ηλεκτρικά πεδία που υπάρχουν στον εξωτερικό.
12. Δύο θετικά φορτισμένες σφαίρες τοποθετούνται σε μια ορισμένη απόσταση μεταξύ τους. Να χαρακτηρίσεις με Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.
- α. Οι ηλεκτρικές δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ των σφαιρών είναι απωστικές.
- β. Το μέτρο της δύναμης που ασκεί η πρώτη σφαίρα στη δεύτερη είναι ίσο με το μέτρο της δύναμης που ασκεί η δεύτερη στην πρώτη.
- γ. Όταν αυξήσουμε την απόσταση μεταξύ των σφαιρών, οι δυνάμεις αυξάνονται.
- δ. Όταν μειώσουμε την απόσταση των σφαιρών στο μισό, οι δυνάμεις τετραπλασιάζονται.
- ε. Όταν διπλασιάσουμε τις αποστάσεις των σφαιρών, οι δυνάμεις παραμένουν σταθερές.
- στ. Όταν διπλασιάσουμε το φορτίο της μιας σφαίρας, οι δυνάμεις διπλασιάζονται.
- ζ. Όταν διπλασιάσουμε το φορτίο και των δύο σφαιρών, οι δυνάμεις τετραπλασιάζονται.
13. Πλησίασε μια φορτισμένη ράβδο σε μικρά σφαιρίδια από φελιζόλ που είναι αφόρτιστα. Τα σφαιρίδια έλκονται από τη ράβδο. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις το φαινόμενο αυτό συνδυάζοντας: α) τις ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου, β) το μηχανισμό ηλεκτρίσης με επαγωγή και γ) το νόμο του Κουλόμπ.
14. Με ποιους τρόπους μπορούμε να περιγράψουμε το φαινόμενο της αλληλεπίδρασης δύο φορτισμένων σωμάτων;
15. Ποιες πληροφορίες μπορείς να πάρεις για ένα ηλεκτρικό πεδίο αν γνωρίζεις τη μορφή των δυναμικών του γραμμών; Με ποιο τρόπο μπορείς να αντλήσεις αυτές τις πληροφορίες;
- **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν: Ηλεκτρική δύναμη και ηλεκτρικό φορτίο**
1. Πώς μπορείς να κατασκευάσεις ένα ηλεκτρικό εκκρεμές; Σε τι θα σου χρησιμεύσει;
2. Πώς μπορείς να διαπιστώσεις αν η ηλεκτρική δύναμη είναι ίδια ή διαφορετική από τη μαγνητική; Ποιο είναι το αποτέλεσμα της έρευνας;

3. Πόσα είδη ηλεκτρικών φορτίων υπάρχουν στη φύση; Με ποια επιχειρήματα θα μπορούσες να πείσεις κάποιον για την ορθότητα της απάντησής σου;
4. Σε μια εφημερίδα διαβάζεις ότι ένας επιστήμονας ανακάλυψε κάποιο υλικό το οποίο μετά από τριβή έλκει και τις δύο διαφορετικές ράβδους τις εικόνες 1.5. Πώς θα σχολίαζες αυτή την ανακοίνωση;
5. Πού βασίζεται η μέτρηση του ηλεκτρικού φορτίου που έχει ένα φορτισμένο σώμα;
6. Πώς ονομάζονται τα διαφορετικά είδη ηλεκτρικών φορτίων; Η ονομασία εκφράζει κάποιο χαρακτηριστικό του ηλεκτρικού φορτίου;
7. Ποια είναι η σχέση ανάμεσα στο ηλεκτρικό φορτίο των πρωτονίων και των ηλεκτρονίων; Γιατί τα άτομα είναι ηλεκτρικά ουδέτερα;
8. Διαθέτεις μια γυάλινη ράβδο που την έχεις φορτίσει με μεταξωτό ύφασμα. Πώς θα βρεις αν ένα άγνωστο φορτισμένο σώμα είναι θετικά ή αρνητικά φορτισμένο;
9. Ποια είναι η μονάδα φορτίου στο S.I.; Πώς συνδέεται με το φορτίο ενός ηλεκτρονίου;
10. Πώς σχετίζεται το ηλεκτρικό φορτίο ενός σώματος με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που μετακινήθηκαν από ή προς αυτό;
11. Τα σώματα Α, Β, Γ και Δ είναι φορτισμένα. Το Α έλκεται από το Β, το Β έλκεται από το Γ, ενώ τα Γ και Δ απωθούνται μεταξύ τους. Αν γνωρίζουμε ότι το Δ είναι θετικά φορτισμένο, να βρεις το είδος ηλεκτρικού φορτίου των υπολοίπων σωμάτων.

Τρόποι ηλεκτρίσης και η μικροσκοπική ερμηνεία τους

12. Οι έννοιες ηλεκτρίση και φόρτιση είναι ταυτόσημες ή διαφορετικές; Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.
13. Ένα αντικείμενο φορτίζεται αρνητικά. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις αυτό το φαινόμενο θεωρώντας ότι η φόρτιση οφείλεται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων. Με ανάλογο τρόπο ερμήνευσε τη διαδικασία με την οποία αποκτά θετικό φορτίο.
14. Τρίβεις μεταξύ τους δύο σώματα Α και Β οπότε τα σώματα φορτίζονται. Τι θα έπρεπε να γνωρίζεις για να προβλέψεις ποιο σώμα θα αποκτήσει θετικό και ποιο αρνητικό φορτίο;
15. Χρησιμοποίησε τον πίνακα 1.2 της σελίδας 17 και προσδιόρισε το είδος του φορτίου που αποκτά μια γυάλινη ράβδος αν την τρίψεις με ύφασμα από α) αμίαντο και β) μετάξι; Να εξηγήσεις το συμπέρασμά σου.
16. Με μια πλαστική σακούλα τρίβεις μια μεταλλική σφαίρα. Διαπιστώνεις ότι η σφαίρα φορτίστηκε θετικά. Ποιο είναι το είδος του ηλεκτρικού φορτίου που απέκτησε η σακούλα μετά την τριβή; Πώς ερμηνεύεις το φαινόμενο αυτό;
17. Διαθέτεις δύο ίδιες μεταλλικές σφαίρες. Η μία έχει θετικό φορτίο $+10 \mu\text{C}$ και η άλλη είναι ουδέτερη. Τις φέρνεις σε επαφή μεταξύ τους και στη συνέχεια τις απομακρύνεις. α) Ποιο είναι το είδος και η ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου κάθε σφαίρας μετά την επαφή τους; β) Να δικαιολογήσεις την απάντησή σου.
18. Με ένα αρνητικά φορτισμένο αντικείμενο αγγίζεις το δίσκο ενός ηλεκτροσκοπίου. Τι θα παρατηρήσεις στα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου; Πώς εξηγείς αυτό που συμβαίνει;
19. Πλησιάζεις στο στέλεχος ενός ηλεκτροσκοπίου, χωρίς να το ακουμπήσεις, μια θετικά φορτισμένη ράβδο. Παρατηρείς ότι τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου ανοίγουν. Προσπάθησε να ερμηνεύσεις αυτό το φαινόμενο. Τι θα παρατηρούσες στην περίπτωση που η ράβδος ήταν αρνητικά φορτισμένη; Εξήγησέ το.
20. Σύνδεσε το μεταλλικό δίσκο ενός ηλεκτροσκοπίου με το έδαφος μέσω ενός σύρματος και πλησίασε στο δίσκο μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα. Τι θα παρατηρήσεις και πώς το εξηγείς; Τι θα συμβεί αν απομακρύνεις τη σφαίρα α) με το σύρμα συνδεδεμένο; β) αφού αποσυνδέσεις το σύρμα από το ηλεκτροσκόπιο; Εξήγησέ το. Με βάση το παραπάνω πείραμα μπορείς να συμπεράνεις αν ένας αγωγός είναι δυνατόν να φορτιστεί με επαγωγή ή όχι;
21. Μια φορτισμένη χτένα έλκει μικρά κομμάτια χαρτί ή μια λεπτή φλέβα νερού. Να ερμηνεύσεις τα δύο φαινόμενα επισημαίνοντας τις ομοιοτητές τους.

22. Τρίβεις ένα μπαλόνι με μάλλινο ύφασμα και το πλησιάζεις σε ένα τοίχο. Παρατηρείς ότι το μπαλόνι αρχικά κολλάει στον τοίχο, αλλά μετά από λίγο πέφτει. Εξήγησε με βάση τους τρόπους ηλεκτρίσης όλη τη διαδικασία.
23. Ένας φοιτητής στο εργαστήριο της βιολογίας ισχυρίστηκε ότι: «Το φορτίο ενός φορτισμένου μορίου μετά από μέτρηση προέκυψε ότι είναι $4 \cdot 10^{-19}$ C». Μπορείς να αποδείξεις ότι η πρόταση αυτή δεν μπορεί να είναι αληθής;
24. Με βάση το γεγονός ότι η φόρτιση των σωμάτων οφείλεται σε μετακίνηση ηλεκτρονίων πώς θα ερμηνεύσεις α) τη διατήρηση και β) την κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου;

Ο Νόμος του Κουλόμπ και το ηλεκτρικό πεδίο

25. Με ποιο τρόπο μπορείς να συμπεράνεις αν σ' ένα χώρο υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο όταν διαθέτεις ένα ηλεκτρικό εκκρεμές του οποίου το σφαιρίδιο είναι ηλεκτρικά φορτισμένο;
26. Να σχεδιάσεις ποιοτικά τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στο χώρο μεταξύ δύο αντίθετα φορτισμένων παράλληλων μεταλλικών πλακών.
27. Στο ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται γύρω από ένα φορτισμένο σώμα αποθηκεύεται ενέργεια. Ποια είναι η προέλευση αυτής της ενέργειας;
28. Φέρνεις σε επαφή το σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς με τον ένα πόλο μιας μηχανής Wimshurst (εικόνα 1.42). Παρατηρείς ότι το σφαιρίδιο κινείται από τον ένα πόλο της μηχανής στον άλλο. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές; Να τεκμηριώσεις την επιλογή σου.
- Το σφαιρίδιο είναι φορτισμένο και βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των πόλων της μηχανής.
 - Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του σφαιριδίου μετατρέπεται σε κινητική.
 - Το σφαιρίδιο κινείται γιατί πάνω του ασκείται το βάρος του και η δύναμη από το νήμα του εκκρεμούς (τάση του νήματος).
 - Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του σφαιριδίου είναι ίση με το έργο της δύναμης που ασκείται στο σφαιρίδιο για να πλησιάσει στον όμοια φορτισμένο πόλο της μηχανής.

Ασκήσεις

ασκησεις

Ο Νόμος του Κουλόμπ και το ηλεκτρικό πεδίο

- Δύο μεταλλικές σφαίρες Α και Β είναι φορτισμένες με φορτία $-1 \mu\text{C}$ και $+4 \mu\text{C}$ αντίστοιχα. Τα κέντρα τους βρίσκονται σε απόσταση 2 m. Να υπολογίσεις και να σχεδιάσεις (σε κοινό σχήμα) τη δύναμη που ασκεί η μία σφαίρα στην άλλη. Μπορείς να συνδέσεις αυτό που σχεδίασες με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα που διδάχτηκες στην προηγούμενη τάξη;
- Τα κέντρα δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών απέχουν 24 cm. Οι σφαίρες έλκονται με δύναμη της οποίας το μέτρο είναι 0,036 N. Σε πόση απόσταση πρέπει να τοποθετηθούν οι σφαίρες ώστε η δύναμη με την οποία έλκονται να γίνει 0,004 N;
- Μικρή χάλκινη σφαίρα έχει φορτίο $+3,2 \mu\text{C}$. Η χάλκινη σφαίρα απωθεί μια επίσης φορτισμένη σιδηρένια σφαίρα με δύναμη μέτρου 6,4 N. Πόσα ηλεκτρόνια πρέπει να μεταφερθούν από τη χάλκινη σφαίρα ώστε η δύναμη να γίνει 3,2 N;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- ❑ Οι ηλεκτρικές δυνάμεις των σωμάτων περιγράφονται με την έννοια του ηλεκτρικού φορτίου.
- ❑ Οι ηλεκτρικές δυνάμεις είναι είτε ελκτικές είτε απωστικές. Στη φύση υπάρχουν μόνο δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων: το θετικό και το αρνητικό. Τα όμοια φορτισμένα σώματα απωθούνται μεταξύ τους, ενώ τα αντίθετα έλκονται.
- ❑ Τα άτομα αποτελούνται από τον πυρήνα και από ηλεκτρόνια. Στον πυρήνα υπάρχουν πρωτόνια τα οποία έχουν θετικό φορτίο. Το ηλεκτρόνιο έχει αρνητικό φορτίο ίσου μέτρου με του πρωτονίου. Το θετικά φορτισμένο σώμα έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων, ενώ το αρνητικά φορτισμένο σώμα περίσσεια. Στο ηλεκτρικά ουδέτερο σώμα ο αριθμός των πρωτονίων ισούται με τον αριθμό των ηλεκτρονίων.
- ❑ Τα σώματα ηλεκτρίζονται με τρεις τρόπους: τριβή, επαφή, επαγωγή. Όσο περισσότερα ηλεκτρόνια προστεθούν ή αφαιρεθούν από ένα ουδέτερο σώμα τόσο περισσότερο φορτίο λέμε ότι αυτό αποκτά.
- ❑ Σε κάθε φυσική διαδικασία το συνολικό ηλεκτρικό φορτίο διατηρείται σταθερό.
- ❑ Το ηλεκτρικό φορτίο κάθε σώματος εμφανίζεται πάντοτε ως πολλαπλάσιο του στοιχειώδους φορτίου του πρωτονίου ή του ηλεκτρονίου.
- ❑ Η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται μεταξύ δύο σημειακών φορτίων έχει μέτρο που είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης.
- ❑ Μια περιοχή του χώρου ονομάζεται ηλεκτρικό πεδίο, αν ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις σε κάθε φορτισμένο σώμα που φέρνουμε μέσα σ' αυτήν. Το ηλεκτρικό πεδίο περιγράφεται με τις δυναμικές γραμμές.
- ❑ Κάθε φορτισμένο σωματίδιο που βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο έχει δυναμική ενέργεια.

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

Ηλεκτρική δύναμη	Ηλέκτριση με επαφή	Ηλέκτριση με επαγωγή
Ηλεκτρικό φορτίο	Πρωτόνιο	Ηλεκτρικό πεδίο
Ηλεκτρισμένο σώμα	Ηλεκτρόνιο	Δυναμικές γραμμές
Φορτισμένο σώμα	Ιόν	Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια
Ηλέκτριση με τριβή	Ελεύθερα ηλεκτρόνια	

• μια μικρή ιστορία

Τον Ιούνιο του 1752, κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, ο Βενιαμίν Φραγκλίνος πραγματοποίησε ένα πείραμα: Πήταξε ένα καρτακό, στον οποίο είχε στερεώσει μια μικρή μυτερή μεταλλική ράβδο. Έιχε θέσει τη ράβδο με την άκρη του σπύγκου του κετού. Στο άλλο άκρο του σπύγκου έθεσε ένα μεταλλικό κλειδί και ένα κομμάτι μεταξωτού κορδονιού από το οποίο χρυσόσει το καρτακό.

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

Πώς προκλήθηκε ο σπινθήρας;

Τι ανακάλυψε ο Φραγκλίνος με αυτό το ιστορικό πείραμα;



Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθετε τι είναι ηλεκτρικό ρεύμα και πώς σχετίζεται με το ηλεκτρικό φορτίο και το ηλεκτρικό πεδίο.
- Θα μάθετε για τους αγωγούς και τους μονωτές του ηλεκτρικού ρεύματος.
- Θα γνωρίσετε τι είναι ηλεκτρικό κύκλωμα και θα μάθετε να κερτίζετε απλό ηλεκτρικό κύκλωμα.
- Θα ορίσετε την αντίσταση ενός αγωγού και θα διερευνήσετε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται.

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ

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

Τι εννοούμε όμως με τον όρο ηλεκτρικό ρεύμα;

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

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

2.1 Το ηλεκτρικό ρεύμα

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

Αγωγοί, μονωτές και ηλεκτρικό ρεύμα

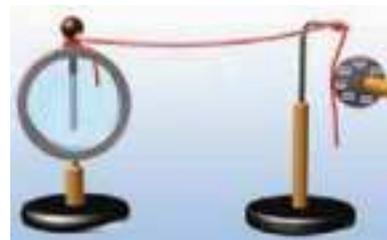
Συνδέουμε το ένα άκρο πλαστικού νήματος με το στέλεχος ενός ηλεκτροσκοπίου και αγγίζουμε το άλλο άκρο με μια αρνητικά φορτισμένη σφαίρα. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου μένουν κλειστά (εικόνα 2.2). Αντικαθιστούμε το νήμα με ένα μεταλλικό σύρμα και επαναλαμβάνουμε το προηγούμενο πείραμα. Τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου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

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



Εικόνα 2.1

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



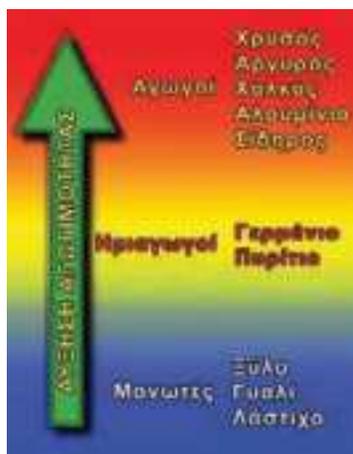
Εικόνα 2.2

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



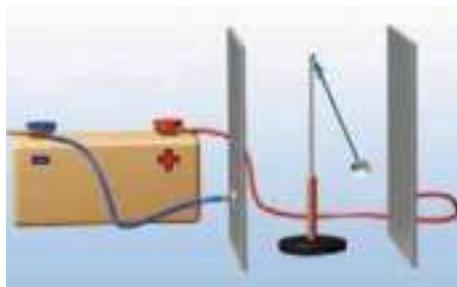
Εικόνα 2.3

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



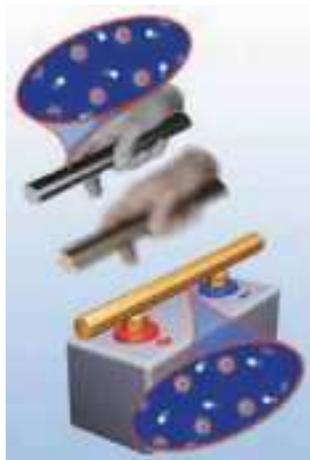
Εικόνα 2.4

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



Εικόνα 2.5

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



Εικόνα 2.6

Ο μικρόκοσμος ενός μεταλλικού αγωγού

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

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

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

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

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

Ηλεκτρική πηγή και ηλεκτρικό ρεύμα

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

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

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

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

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

Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος

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

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

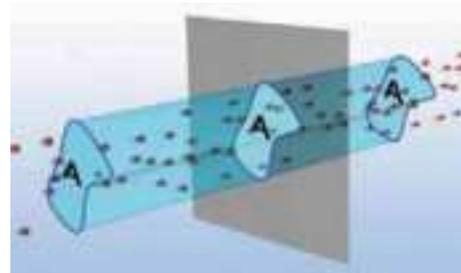
Όπως είδαμε, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος των μεταλλικών αγωγών. Συνδέουμε το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το λαμπτήρα με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από μια διατομή του σύρματός του στη μονάδα του χρόνου. *Πώς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

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

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

Στη γλώσσα των μαθηματικών η παραπάνω σχέση γράφεται ως εξής:

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



Εικόνα 2.7

Ηλεκτρικό ρεύμα διαρρέει τον αγωγό

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

Φυσική και καθημερινή ζωή και Τεχνολογία



Ισχυρά ρεύματα

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

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

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

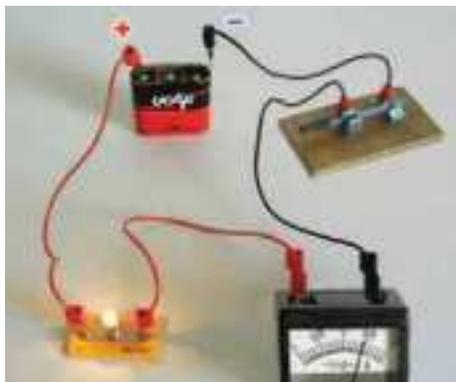
Μονάδα της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος

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



Εικόνα 2.8

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



Εικόνα 2.9

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



Εικόνα 2.10

Πραγματική και συμβατική φορά ηλεκτρικού ρεύματος.

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

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

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

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

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

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

Η φορά του ηλεκτρικού ρεύματος

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

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

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

Αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

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

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

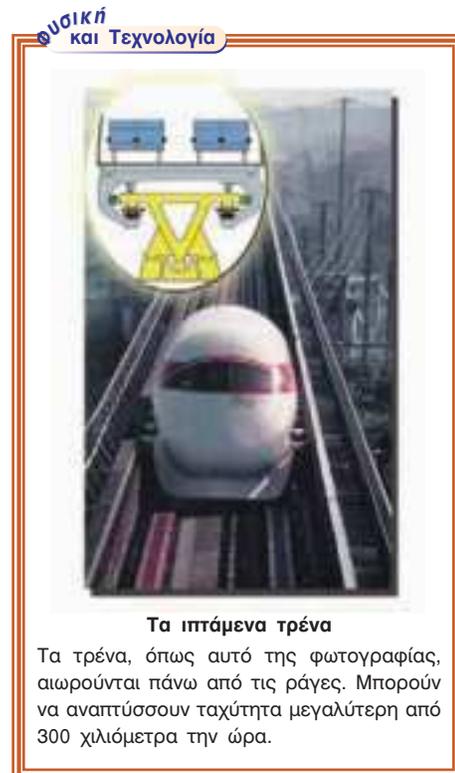
2.2

Ηλεκτρικό κύκλωμα

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

Κλειστό και ανοιχτό ηλεκτρικό κύκλωμα

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



Τα ιπτάμενα τρένα

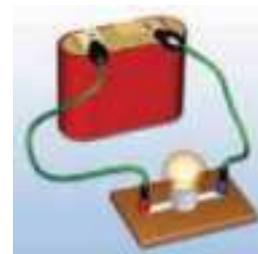
Τα τρένα, όπως αυτό της φωτογραφίας, αιωρούνται πάνω από τις ράγες. Μπορούν να αναπτύξουν ταχύτητα μεγαλύτερη από 300 χιλιόμετρα την ώρα.



Εικόνα 2.11

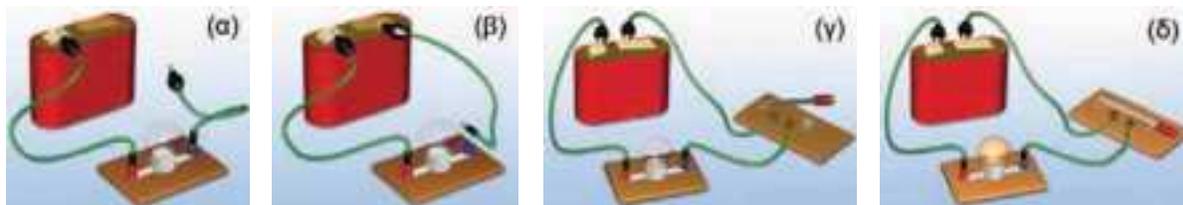
Λαμπτήρας πυράκτωσης

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



Εικόνα 2.12

Τρόπος σύνδεσης του λαμπτήρα με την μπαταρία ώστε να φωτοβολεί.



Εικόνα 2.13

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



Εικόνα 2.14

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



Εικόνα 2.15

Μπαταρία αυτοκινήτου

Η χημική ενέργεια που περιέχεται στην μπαταρία μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



Εικόνα 2.16

Ηλεκτρική γεννήτρια

Σε μια ηλεκτρική γεννήτρια η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

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

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

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

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

Ηλεκτρική πηγή και ενέργεια

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

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

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

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

Η διαφορά δυναμικού στο ηλεκτρικό κύκλωμα

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

Με ποιο φυσικό μέγεθος συνδέεται η τάση της μπαταρίας;

Διαφορά δυναμικού στους πόλους πηγής

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

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

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

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

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

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

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

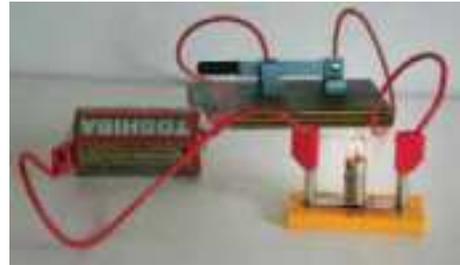
Για παράδειγμα, αν συνδέσεις διαδοχικά ένα λαμπάκι με τα άκρα μιας μπαταρίας 1,5 V (εικόνα 2.18) και μιας μπαταρίας 4,5 V, θα παρατηρήσεις ότι στη δεύτερη περίπτωση το λαμπάκι φωτοβολεί πιο έντονα (εικόνα 2.19).

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

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



Εικόνα 2.17
Φωτοστοιχεία σε διαστημικό σταθμό.



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



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

Φυσική
και Ιστορία

Εικόνα 2.20

Αλεσάντρο Βόλτα (Volta) (1745–1827)

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



Εικόνα 2.21

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

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

Διαφορά δυναμικού στα άκρα καταναλωτή

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

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

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

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

$$V = \frac{E_{\text{ηλεκτρική}}}{q} \quad (2.3)$$

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

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

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

Ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό κύκλωμα

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

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

Προέλευση των ηλεκτρονίων σ' ένα κύκλωμα

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

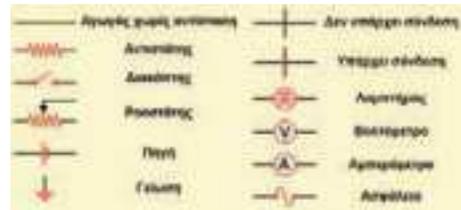
Το ηλεκτρικό κύκλωμα και οι αναπαραστάσεις του

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

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

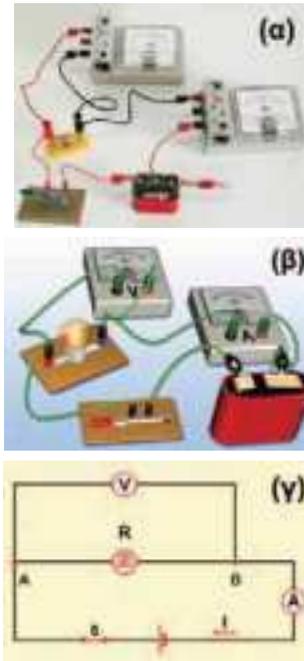
2.3 Ηλεκτρικά δίπολα

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



Εικόνα 2.22

Σχηματική αναπαράσταση των βασικών στοιχείων του κυκλώματος.



Εικόνα 2.23

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα

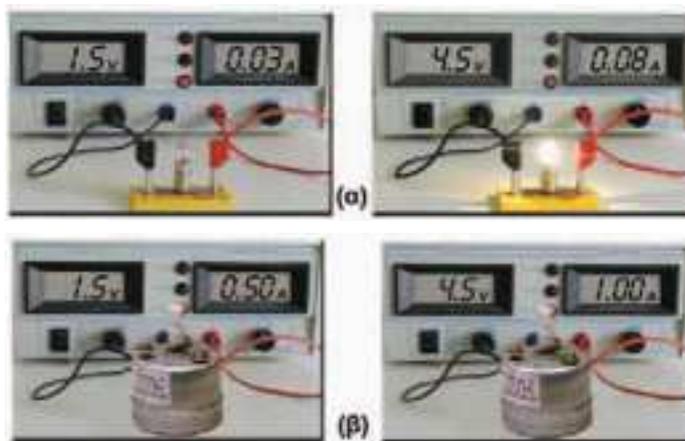
(α) Φωτογραφία κυκλώματος. (β) Καλλιτεχνική αναπαράσταση. (γ) Σχηματική αναπαράσταση.



Εικόνα 2.24

Ηλεκτρικά δίπολα

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



Εικόνα 2.25 ▶

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

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

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

Αντίσταση του διπόλου

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

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

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

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

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

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

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



Εικόνα 2.26

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

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

Νόμος του Ωμ

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

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

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

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

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

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

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

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

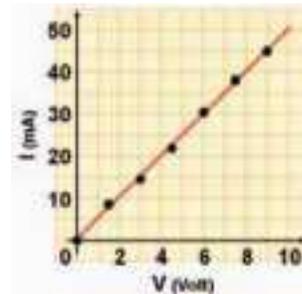
Σύμφωνα με το νόμο του Ωμ, η αντίσταση ενός μεταλλικού αγωγού είναι ανεξάρτητη της ηλεκτρικής τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του και της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.



Εικόνα 2.27

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

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



Εικόνα 2.28

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



Εικόνα 2.29

Γκέοργκ Σιμόν Ωμ (1787-1854)

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



Εικόνα 2.30

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

Εικόνα 2.31 ▶

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

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

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

Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι:

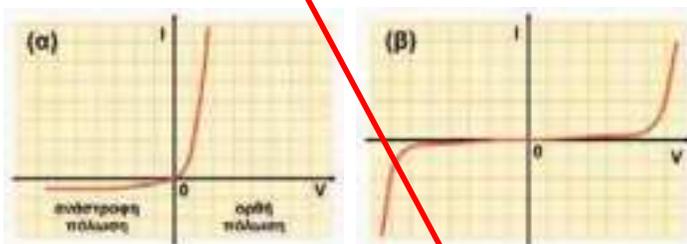
Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό είναι ανάλογη της τάσης που εφαρμόζεται στα άκρα του αγωγού με σταθερά αναλογίας το 1/R.

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

Ισχύει ο νόμος του Ωμ για κάθε ηλεκτρικό δίπολο;

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

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

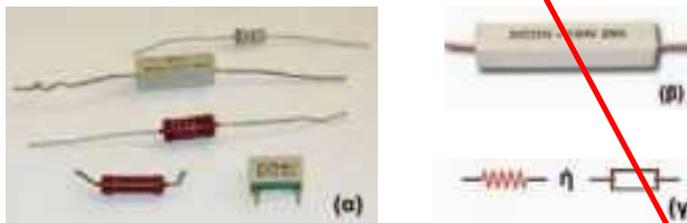


Αντίθετα οι μεταλλικοί αγωγοί, εφόσον διατηρούμε τη θερμοκρασία τους σταθερή, συμπεριφέρονται σύμφωνα με το νόμο του Ωμ. Δηλαδή η αντίστασή τους δεν μεταβάλλεται με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Γενικά με τον όρο **αντιστάτη** χαρακτηρίζουμε κάθε δίπολο που ικανοποιεί το νόμο του Ωμ (εικόνα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

Εικόνα 2.32 ▶

Αντιστάτες

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



Οι αντιστάτες έχουν μια επιπλέον ιδιότητα: μετατρέπουν εξ ολοκλήρου την ηλεκτρική ενέργεια που περνάει από αυτούς σε θερμότητα.

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

Νόμος του Ωμ και μικρόκοσμος

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

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

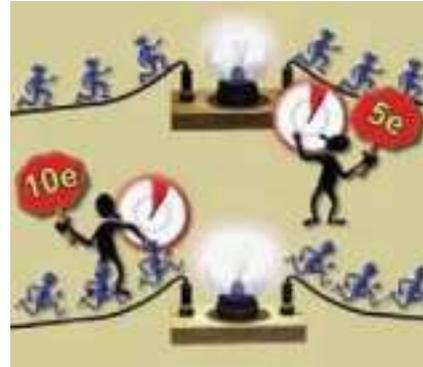
Μικροσκοπική ερμηνεία της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού

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

Ποια είναι η προέλευση της αντίστασης ενός αγωγού;

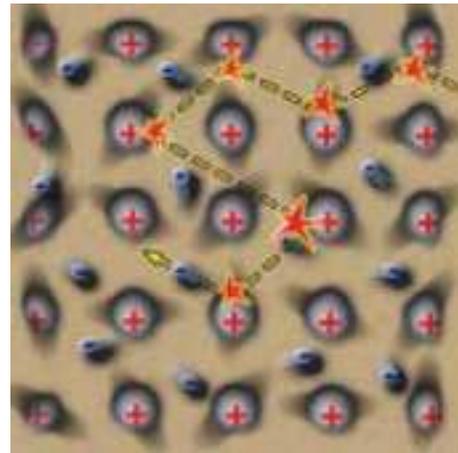
Την απάντηση θα την αναζητήσουμε στη γνωστή μας πλέον μικροσκοπική περιγραφή ενός μεταλλικού αγωγού και του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει.

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



Εικόνα 2.33

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



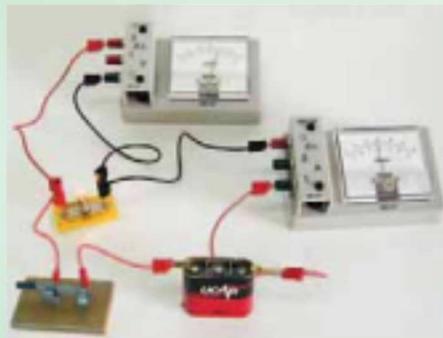
Εικόνα 2.34

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

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

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

Δραστηριότητα



Νόμος του Ωμ

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

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

2.4

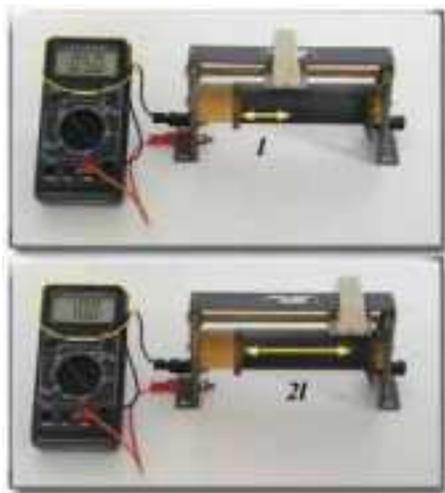
Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση ενός αγωγού

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

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

Εξάρτηση από το μήκος

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



Εικόνα 2.35

Η αντίσταση ενός σύρματος είναι ανάλογη του μήκους του.

Εξάρτηση από το εμβαδόν διατομής

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

Εξάρτηση από το είδος του υλικού

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

Εξάρτηση από τη θερμοκρασία

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

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

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

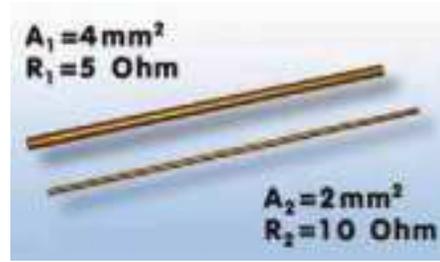
Οι παραπάνω προτάσεις μπορούν να εκφραστούν με τη μαθηματική σχέση:

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

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

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

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



Εικόνα 2.36

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



Εικόνα 2.37

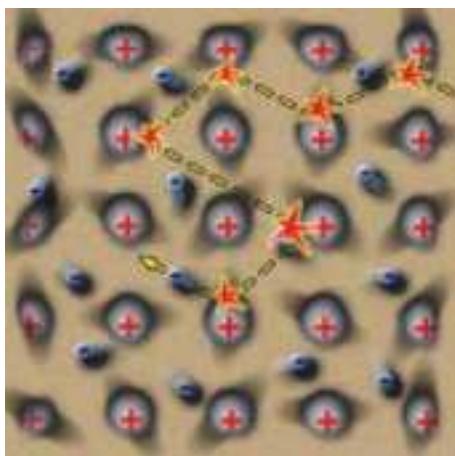
Η αντίσταση των αγωγών αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

Δραστηριότητα

Η αντίσταση που έχει το λαμπάκι

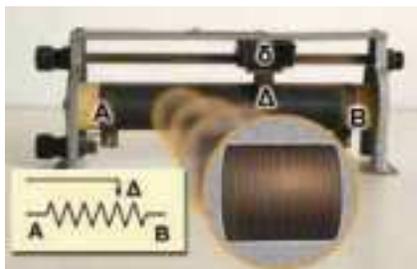
- ▶ Με τη βοήθεια ενός πολύμετρου μέτρησε την αντίσταση που έχει ένα λαμπάκι.
- ▶ Σύνδεσε το λαμπάκι με μια κατάλληλη μπαταρία ώστε να φωτοβολήσει.
- ▶ Χρησιμοποιώντας το πολύμετρο μέτρησε την τάση και την ένταση του ρεύματος που διαρρέει το λαμπάκι. Χρησιμοποίησε το νόμο του Ωμ και υπολόγισε την αντίστασή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

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



Εικόνα 2.38

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



Εικόνα 2.39

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

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

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

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

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

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

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

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

Πώς ερμηνεύεται η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία;

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

Μεταβλητός αντιστάτης

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

Πώς λειτουργεί ένας ροοστάτης;

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

Πώς εξηγείται η λειτουργία του ροοστάτη;

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

Τότε σύμφωνα με το νόμο του Ωμ:

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

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

Πώς λειτουργεί το ποτενσιόμετρο

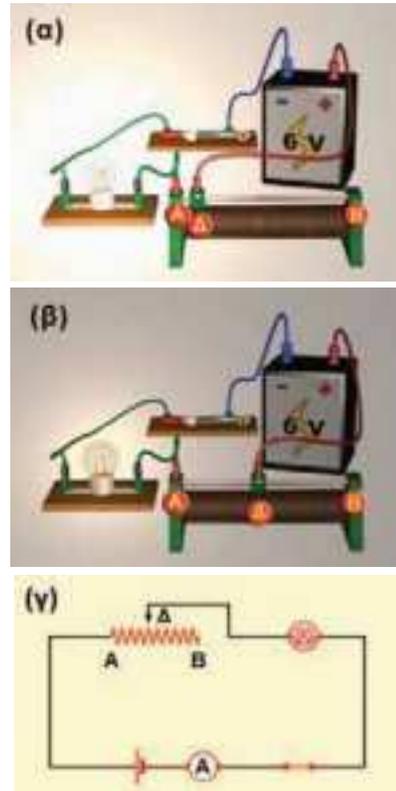
Στην εικόνα 2.41 φαίνεται η σύνδεση ενός μεταβλητού αντιστάτη ώστε να λειτουργεί ως ποτενσιόμετρο. Σε συνδυασμό με μια ηλεκτρική πηγή το ποτενσιόμετρο παρέχει μια επιθυμητή τάση (ένα κλάσμα της τάσης της πηγής) στο άκρο μιας συσκευής που συνδέεται μεταξύ των σημείων Α και Δ. Το ποτενσιόμετρο είναι πολύ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

Πώς το ποτενσιόμετρο διαιρεί την τάση

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

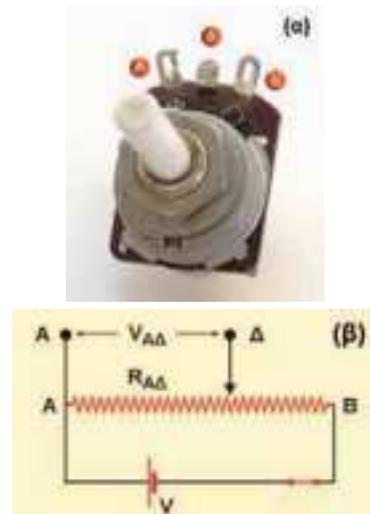
$$V_{ΑΔ} = I \cdot R_{ΑΔ} \quad (2.9)$$

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



Εικόνα 2.40

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

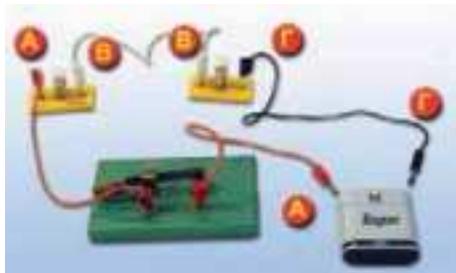


Εικόνα 2.41

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

2.5

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Κύκλωμα σύνδεσης σε σειρά

Εικόνα 2.42
Οι λαμπτήρες συνδέονται σε σειρά.

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

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

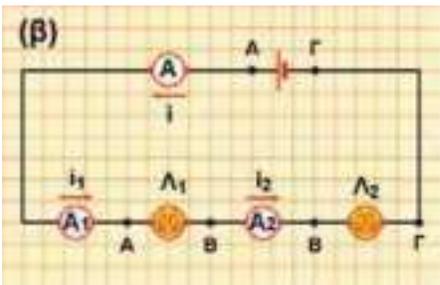
Μια διακοπή σ' ένα σημείο του κυκλώματος σταματά τη ροή των ηλεκτρονίων. Τότε το κύκλωμα ονομάζεται ανοιχτό. Η ροή των ηλεκτρονίων μπορεί να διακοπεί αν ανοίξουμε το διακόπτη ή αν καεί το σύρμα σε έναν από τους λαμπτήρες, οπότε σβήνουν και οι δυο. Αυτό είναι και το κύριο μειονέκτημα ενός κυκλώματος σύνδεσης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

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

$$I = I_1 = I_2 \quad (2.10)$$

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

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



Εικόνα 2.43

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

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

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

$$V_{AG} = V_{AB} + V_{BG} \quad (2.11)$$

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

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

$$\Delta E_{\Gamma A} = \Delta E_{\Gamma B} + \Delta E_{B A} \quad (2.12)$$

Κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση

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

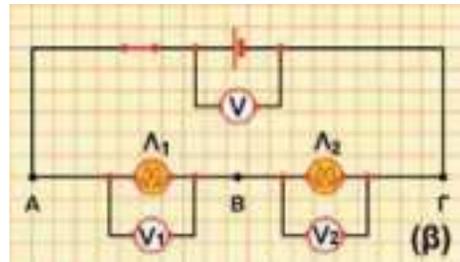
Η εικόνα 2.45 δείχνει δύο λαμπτήρες που συνδέονται στα άκρα Α και Β ενός ηλεκτρικού κυκλώματος. Αυτό είναι ένα παράδειγμα απλού κυκλώματος καταναλωτών σε παράλληλη σύνδεση. Κάθε λαμπτήρας έχει το δικό του κλάδο από τον ένα πόλο της μπαταρίας στον άλλο. Υπάρχουν δύο χωριστοί δρόμοι για το ρεύμα. Έτσι,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

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

Δραστηριότητα

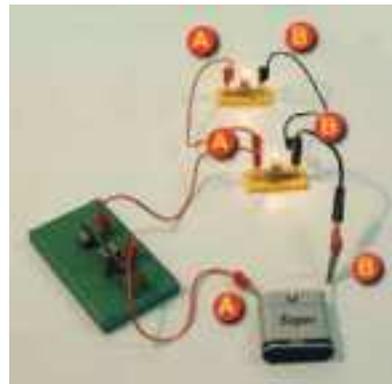
Λαμπάκια σε σειρά

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



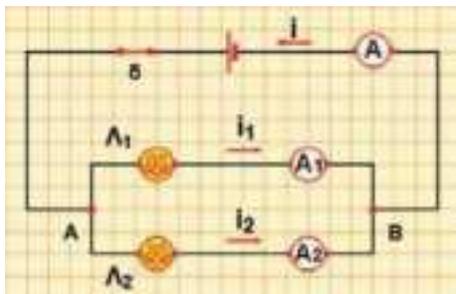
Εικόνα 2.44

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



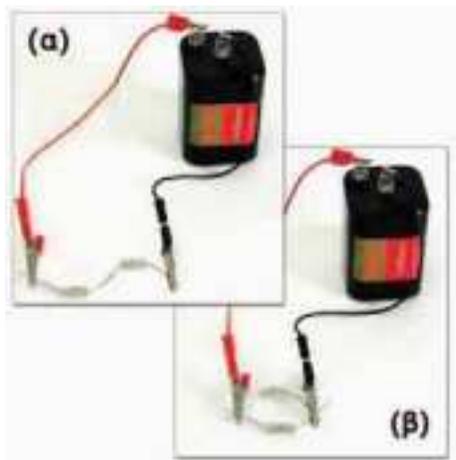
Εικόνα 2.45

Παράλληλη σύνδεση δύο λαμπτήρων.



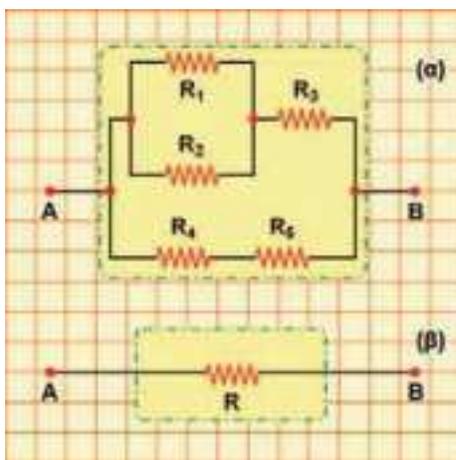
Εικόνα 2.46

Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος παράλληλης σύνδεσης της εικόνας 2.45 με αμπερόμετρα.



Εικόνα 2.47

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



Εικόνα 2.48

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

Εικόνα 2.46). Διαπιστώνουμε ότι:

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

$$I = I_1 + I_2 \tag{2.13}$$

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

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

Σύνδεση αντιστατών

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

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

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

$$R = \frac{V}{I} \tag{2.14}$$

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

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

Σύνδεση δύο αντιστατών σε σειρά

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

$$V_{AB} = V_{AΓ} + V_{ΓB} \quad (2.15)$$

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

$$V_{AΓ} = I \cdot R_1 \quad (2.16)$$

$$V_{ΓB} = I \cdot R_2 \quad (2.17)$$

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

$$V_{AB} = I \cdot R \quad (2.18)$$

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

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

$$R = R_1 + R_2 \quad (2.19)$$

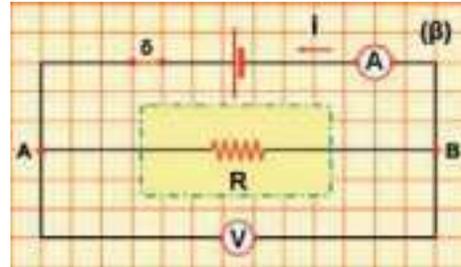
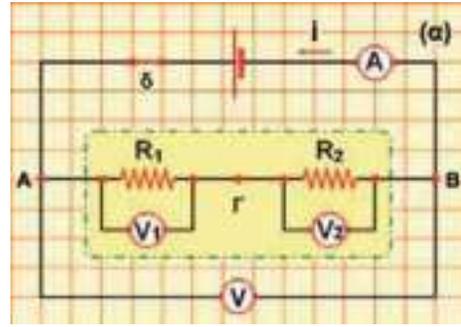
Η σχέση (2.19) δηλώνει ότι η **ισοδύναμη αντίσταση δύο ή περισσότερων αντιστατών που συνδέονται σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεών τους**. Όσο περισσότεροι αντιστάτες προστίθενται σ' ένα κύκλωμα σειράς τόσο η ισοδύναμη αντίσταση αυξάνεται.

Παράλληλη σύνδεση αντιστατών

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

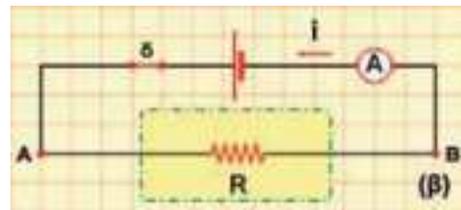
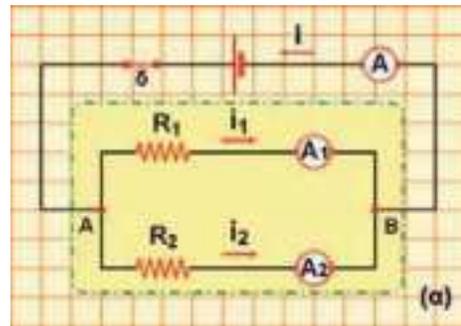
$$I = I_1 + I_2 \quad (2.20)$$

Εφαρμόζουμε πάλι το νόμο του Ωμ για κάθε αντιστάτη χωρι-



Εικόνα 2.49

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



Εικόνα 2.50

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

Δραστηριότητα

Λαμπτήρες σε παράλληλη σύνδεση

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

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

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

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

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

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

Παράδειγμα 2.1

Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνδέεις δύο λαμπτήρες L_1 και L_2 σε σειρά. Κλείνεις το διακόπτη δ, οπότε παρατηρείς ότι η ένδειξη του αμπερόμετρου γίνεται 0,2 A. Αν γνωρίζεις ότι οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι 20 Ω και 40 Ω αντίστοιχα, μπορείς:

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



Δεδομένα	Ζητούμενα	Βασική εξίσωση
Αντίσταση του L_1 : $R_1=20 \Omega$	Τάση L_1 : V_1	Νόμος του Ωμ
Αντίσταση του L_2 : $R_2=40 \Omega$	Τάση L_2 : V_2	$V = I \cdot R$
Ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα: $I=0,2 \text{ A}$	Τάση στα άκρα του κυκλώματος: V	$V = V_1 + V_2$
	Ισοδύναμη αντίσταση: R	

Λύση

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

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

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

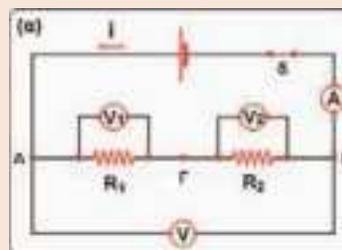
Από τους δύο αντιστάτες διέρχεται το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I=0,2 \text{ A}$. Εφαρμόζουμε για κάθε καταναλωτή τη βασική εξίσωση:

Λαμπτήρας 1

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

Λαμπτήρας 2

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



Εικόνα α

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

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

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

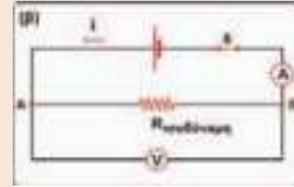
Σημείωση: Μπορούμε να υπολογίσουμε τη διαφορά δυναμικού μεταξύ των πόλων της πηγής (V) με δύο διαφορετικούς τρόπους:

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

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

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

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

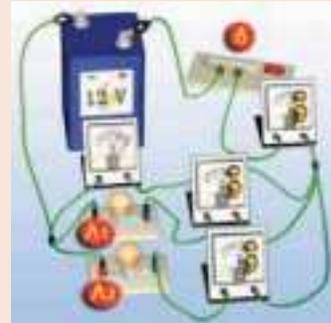


Εικόνα (β)

Παράδειγμα 2.2

Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνδέουμε δύο λαμπτήρες L_1 και L_2 σε παράλληλη σύνδεση. Κλείνουμε το διακόπτη δ, οπότε παρατηρούμε ότι η ένδειξη V του βολτόμετρου γίνεται 12 V. Αν γνωρίζεις ότι οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι 20 Ω και 40 Ω αντίστοιχα, μπορείς:

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



Δεδομένα

Αντίσταση του L_1 : $R_1 = 20 \, \Omega$
 Αντίσταση του L_2 : $R_2 = 40 \, \Omega$
 Τάση στα άκρα AB του κυκλώματος: $V = 12 \, \text{V}$

Ζητούμενα

Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον L_1 : I_1
 Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον L_2 : I_2
 Ένταση του ρεύματος που διαρρέει την ισοδύναμη αντίσταση: R

Βασική εξίσωση

Νόμος του Ωμ

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

$$I = I_1 + I_2$$

Λύση

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

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

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

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

Εφαρμόζουμε για κάθε αντιστάτη τη βασική εξίσωση:

Λαμπτήρας 1

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

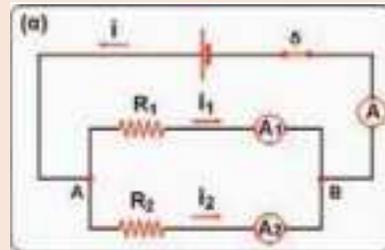
Ώστε: $I_1 = 0,6 \, \text{A}$

Λαμπτήρας 2

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

Ώστε: $I_2 = 0,2 \, \text{A}$

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



Εικόνα (α)

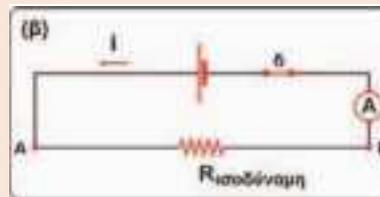
Βήμα 4: Κατασκευάζουμε τη συμβολική αναπαράσταση του ισοδύναμου κυκλώματος (εικόνα β).

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

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

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

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



Εικόνα (β)

Ερωτήσεις

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

- Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
 - Την κίνηση των ή γενικότερα των σωματιδίων την ονομάζουμε ηλεκτρικό ρεύμα.
 - Ορίζουμε την (I) του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει έναν αγωγό ως το πηλίκο του (q) που διέρχεται από μια του αγωγού σε (t) προς το

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

 - Κάθε διάταξη που αποτελείται από αγωγίμους «δρόμους», μέσω των οποίων μπορεί να διέλθει ηλεκτρικό ρεύμα ονομάζεται
 - Κάθε συσκευή στην οποία μια μορφή ενέργειας μετατρέπεται σε ηλεκτρική ονομάζεται ενέργειας. Το ηλεκτρικό στοιχείο (μπαταρία) ή ο συσσωρευτής (μπαταρία αυτοκινήτου) μετατρέπει την ενέργεια σε ηλεκτρική. Η γεννήτρια μετατρέπει τη ενέργεια σε ηλεκτρική. Το φωτοστοιχείο μετατρέπει την ενέργεια της σε ηλεκτρική, ενώ το θερμοστοιχείο τη ενέργεια σε ηλεκτρική.
 - Ονομάζουμε ηλεκτρική ή διαφορά ($V_{πηγής}$) μεταξύ των δύο πόλων μιας ηλεκτρικής πηγής το πηλίκο της ($E_{ηλεκτρική}$) που προσφέρεται από την πηγή σε ηλεκτρόνια συνολικού (q) όταν διέρχονται από αυτήν προς το Ονομάζουμε τάση ή διαφορά μεταξύ των δύο άκρων του καταναλωτή, το πηλίκο της που μεταφέρουν στον καταναλωτή ηλεκτρόνια συνολικού όταν διέρχονται από αυτόν προς το

Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

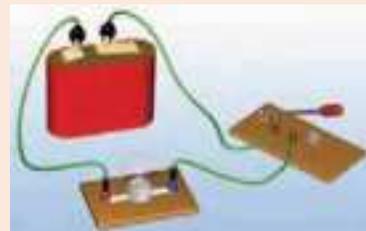
2. Συμπλήρωσε τις λέξεις που λείπουν από το παρακάτω κείμενο έτσι ώστε οι προτάσεις που προκύπτουν να είναι επιστημονικά ορθές:
- Ηλεκτρική (R) ενός ηλεκτρικού διπόλου ονομάζεται το πηλίκο της (V) που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου προς την (I) του που το διαρρέει: $R = \frac{\dots}{\dots}$. Η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

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

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

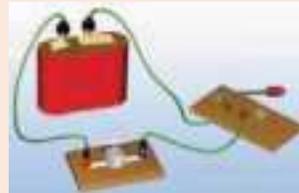
► **Εφάρμοσε τις γνώσεις σου και γράψε τεκμηριωμένες απαντήσεις στις ερωτήσεις που ακολουθούν:**
Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

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

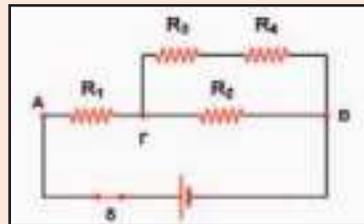


Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

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

**Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων**

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



στ. Η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1 είναι ίση με την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον R_2 .

ζ. Η τάση στα άκρα του R_2 είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών R_3 και R_4 .

η. Τα ηλεκτρικά ρεύματα που διαρρέουν τις R_3 και R_4 έχουν ίσες εντάσεις.

θ. Η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον R_1 είναι ίση με το άθροισμα των εντάσεων των ρευμάτων που διαρρέουν τους αντιστάτες R_2 και R_3 .

ι. Η τάση στους πόλους της πηγής (A, B) είναι ίση με το άθροισμα των τάσεων στα άκρα των αντιστατών R_1 και R_2 .

Να αιτιολογήσεις περιληπτικά τις επιλογές σου.

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

Ασκήσεις

ασκήσεις

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

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

Ηλεκτρικά δίπολα και αντίσταση ενός αγωγού

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

5. Ένας μαθητής ενδιαφέρεται να διαπιστώσει αν ο ηλεκτρικός κινητήρας ενός αυτοκινήτου-παιχνιδιού υπακούει στο νόμο του Ωμ. Πραγματοποιεί το κύκλωμα της διπλανής εικόνας. Μεταβάλλει την τάση που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου (κινητήρα) και με ένα αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει. Καταγράφει τα αποτελέσματα των μετρήσεών του στον πίνακα Α1. Ποιο τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων του πίνακα θα προτείνες στο μαθητή προκειμένου να απαντήσει στο ερώτημά του; Αιτιολόγησε την πρότασή σου.



ΠΙΝΑΚΑΣ Α1

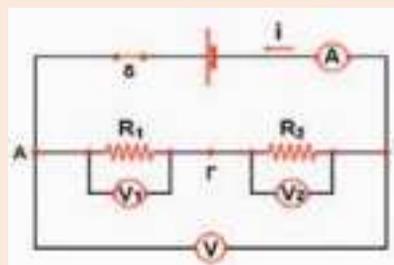
Τάση (Volt)	Ένταση (mA)
2	30
4	40
6	35
8	47
10	61

6. Ένα σύρμα από χρωμονικελίνη έχει μήκος 47,1 m και διάμετρο 2 mm. Να υπολογίσεις την αντίσταση του σύρματος της χρωμονικελίνης λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του πίνακα 2.2 της σελίδας 50.
7. Πρόκειται να συνδέσεις ένα μικρόφωνο το οποίο έχει αντίσταση 4 Ω με το στερεοφωνικό σου συγκρότημα που βρίσκεται σε απόσταση 15 m από αυτό. Η αντίσταση των καλωδίων που θα χρησιμοποιήσεις για τη σύνδεση δεν θέλεις να ξεπερνά τα 0,25 Ω. Υπολόγισε τη διάμετρο του χάλκινου σύρματος που θα χρησιμοποιήσεις για τη σύνδεση, λαμβάνοντας υπόψη τις τιμές για την ειδική αντίσταση του χαλκού από τον πίνακα 2.2 της σελίδας 50.

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

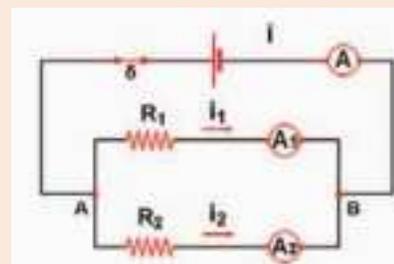
8. Στα άκρα ενός καλωδίου με σύρμα από χρωμονικελίνη συνδέουμε τους πόλους μιας μπαταρίας. Ρεύμα έντασης 1 mA διαρρέει το καλώδιο. Κόβουμε το καλώδιο στη μέση, συγκολλούμε τα άκρα των κομματιών και στα άκρα της συστοιχίας συνδέουμε τους πόλους της ίδιας της μπαταρίας. Πόση είναι η ένταση του ρεύματος που διαρρέει τη μπαταρία σ' αυτή τη περίπτωση;

9. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα αμπερόμετρο, τρία βολτόμετρα, δύο αντιστάτες αντιστάσεων $R_1=40\ \Omega$ και $R_2=60\ \Omega$, καθώς και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα η σχηματική αναπαράσταση του οποίου παρουσιάζεται στη διπλανή εικόνα. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη δ η ένδειξη του βολτόμετρου είναι $V=6\ V$. Να υπολογίσεις:



- την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος καθώς και την ένδειξη του αμπερομέτρου
- την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1
- την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_2
- τις ένδειξεις των βολτομέτρων V_1 και V_2 .

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



- Πόση είναι η ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών;
- Υπολόγισε την τάση στα άκρα του συστήματος των δύο αντιστατών και στους πόλους της πηγής.
- Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει κάθε αντιστάτη;

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

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

ΒΑΣΙΚΟΙ ΟΡΟΙ

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

ο μια μικρή ιστορία

Μια κρίσιμη ημέρα 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 πέφτει πυλώνας της ΔΕΗ που μεταφέρουν ηλεκτρική ενέργεια στην Κεφαλονιά κατέρρευσε. Οι πυλώνας ήταν συνδεδεμένοι με υποβρύχιο καλώδιο, το οποίο παρέχει ενέργεια από την Κωλλήνη μέσω της Ζακύνθου.

Για αρκετές ημέρες το νησί παρέμενε 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 ζωή μας από αυτό. Αναρωτήθηκε πώς 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 πώς εφαρμόζουμε τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού για να μετατρέψουμε την ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική και το αντίστροφο.
- Θα μάθεις να υπολογίζεις την ηλεκτρική ενέργεια και την ισχύ που μια ηλεκτρική συσκευή μετασχηματίζει σε άλλες μορφές ενέργειας ή ισχύος.

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

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 κεφάλαιο 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 3.1

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



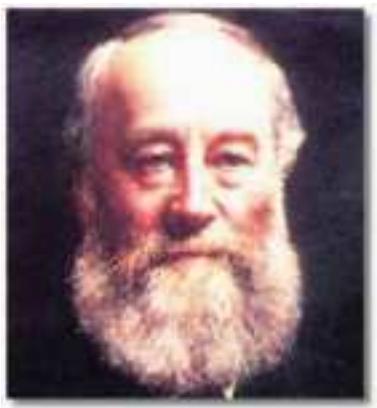
Εικόνα 3.2

Όταν από τις ηλεκτρικές συσκευές διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, θερμαίνονται.



Εικόνα 3.3

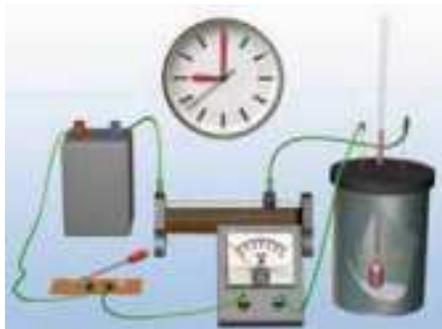
Όσο χρόνο από το λαμπάκι διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα, μεταφέρεται θερμότητα από αυτό προς το περιβάλλον του.



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.



Εικόνα 3.5

Πειραματική διάταξη για τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

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 περιβάλλοντός 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.

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

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 ενέργεια. 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.**

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 περιβάλλον 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:

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

Διατηρώντας το χρονικό διάστημα Δt σταθερό και χρησιμοποιώντας 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 3.1A). 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.

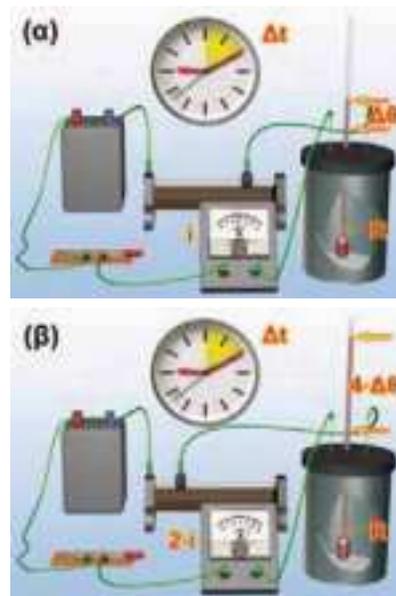
II. Πώς μεταβάλλεται η ποσότητα **θερμότητας** που μεταφέρεται από έναν αντιστάτη σε συνάρτηση με την **αντίστασή** του, αν διατηρήσουμε το χρόνο διέλευσης και την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος σταθερά;

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 αντίσταση 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:

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).

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).



Εικόνα 3.6

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



Εικόνα 3.7

Από τον αντιστάτη διπλάσιας αντίστασης, από τον οποίο διέρχεται ρεύμα ίδιας έντασης στο ίδιο χρονικό διάστημα, μεταφέρεται στο νερό διπλάσια ποσότητα θερμότητας.

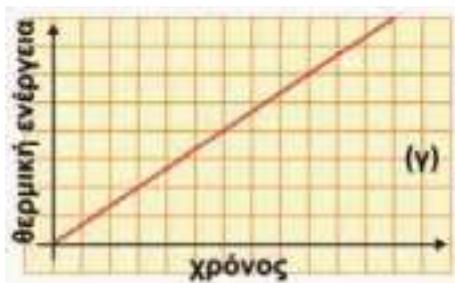
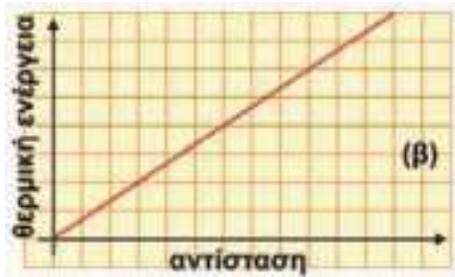


Εικόνα 3.8

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

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

3.1Α	ΣΤΑΘΕΡΟ R, Δt	3.1Β	ΣΤΑΘΕΡΟ I, Δt	3.1Γ	ΣΤΑΘΕΡΟ I, R
Ένταση ρεύματος	Μεταβολή θερμοκρασίας	Αντίσταση	Μεταβολή θερμοκρασίας	Χρονικό διάστημα	Μεταβολή θερμοκρασίας
I	Δθ	R	Δθ	Δt	Δθ
2·I	4·Δθ	2·R	2·Δθ	2·Δt	2·Δθ



Εικόνα 3.9

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.

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:

$$E_{\text{ηλεκτρική}} = V \cdot q \tag{3.1}$$

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:

$$Q = (I \cdot R) \cdot (I \cdot t) \text{ ή } Q = I^2 \cdot R \cdot t \tag{3.2}$$

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 Ω 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.

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 διέρχε-

ται 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) αποτελείται 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.

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 μπυλιάρδου, 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 θερμική ενέργεια και η θερμοκρασία του αυξάνονται.

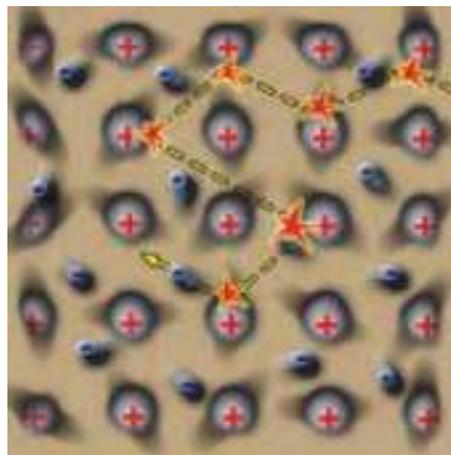
Η αύξηση της θερμοκρασίας του μετάλλου σε σχέση με τη θερμοκρασία του περιβάλλοντός του έχει ως αποτέλεσμα τη μεταφορά θερμότητας από το σύρμα προς το περιβάλλον του. Τη θερμότητα αυτή μετρήσαμε στο σχετικό πείραμα που περιγράφεται στην εικόνα 3.5 κατά τη μελέτη του φαινομένου Τζάουλ.

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



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.



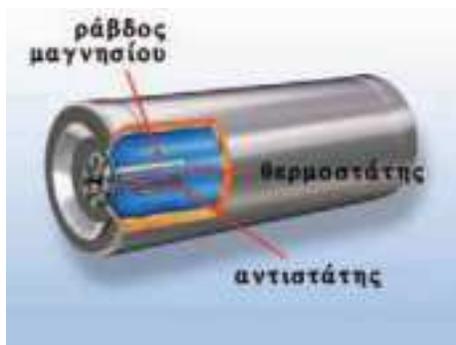
Εικόνα 3.11

Τομή λαμπτήρα πυρακτώσεως.



Εικόνα 3.12

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



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 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.

μετατρέπεται σε φωτεινή. Στο παραπάνω φαινόμενο, σε συνδυασμό με το φαινόμενο Τζάουλ, στηρίζεται η κατασκευή των λαμπτήρων πυρακτώσεως.

Στα άκρα ενός μεταλλικού σύρματος εφαρμόζουμε κατάλληλη τάση έτσι ώστε το ηλεκτρικό ρεύμα που διέρχεται από αυτό να προκαλεί 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°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 περιβλήμα (εικόνα 3.11).

2. Ηλεκτρική κουζίνα και ηλεκτρικός θερμοσίφωνα

Η ηλεκτρική κουζίνα ή ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνα αποτελούνται από έναν ή περισσότερους αντιστάτες (εικόνας 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 $\Omega I = \frac{V}{R}$ 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.

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 προκληθεί 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.

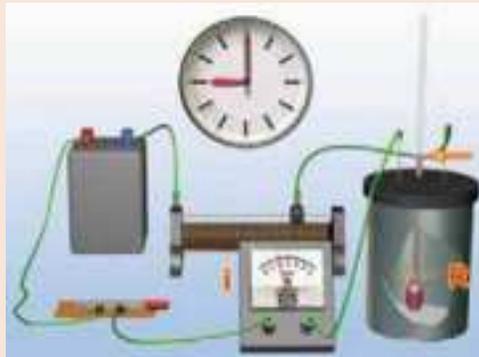
Δραστηριότητα

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°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	Ζητούμενα	Βασικές εξισώσεις
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: $\theta_1=18^\circ\text{C}$	Τελική θερμοκρασία του νερού: θ_2	Νόμος θερμιδομετρίας: $Q=c \cdot m \cdot \Delta\theta$ Νόμος του Joule: $Q=I^2 \cdot R \cdot t$

Λύση

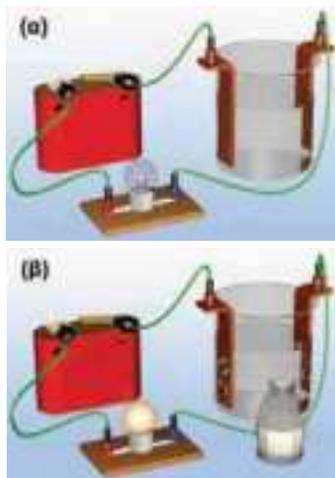
Βήμα 1: Περιγραφή της διαδικασίας: Η ηλεκτρική ενέργεια μετατρέπεται στον αντιστάτη σε θερμική και στη συνέχεια μεταφέρεται στο νερό με τη μορφή θερμότητας και προκαλεί μεταβολή της θερμοκρασίας του νερού: $\Delta\theta=\theta_2-\theta_1$.

Βήμα 2: Εφαρμογή των νόμων που περιγράφουν τη διαδικασία:

Νόμος του Joule: $Q=I^2 \cdot R \cdot t$ ή $Q=2^2 \cdot 8,4 \cdot 120 \text{ J}$ ή **$Q=4.032 \text{ J}$**

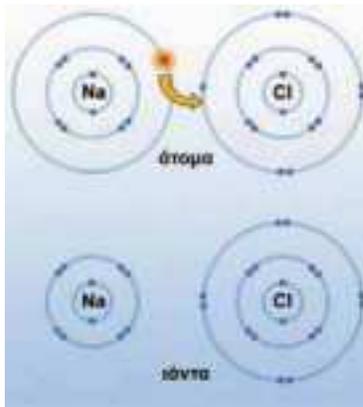
Εξίσωση της θερμιδομετρίας: $Q=c \cdot m \cdot \Delta\theta$, $\Delta\theta = \frac{Q}{c \cdot m}$, $\Delta\theta = \frac{4032}{4200 \cdot 0,2} \text{ }^\circ\text{C} = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}$, ή $\Delta\theta = 4,8 \text{ }^\circ\text{C}$

Έτσι η τελική θερμοκρασία του νερού είναι: $\theta_2=\theta_1 + \Delta\theta$ ή $\theta_2=18^\circ\text{C} + 4,8^\circ\text{C}$ ή **$\theta_2=22,8^\circ\text{C}$**



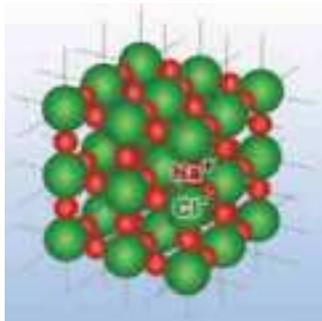
Εικόνα 3.15

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



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.



Εικόνα 3.17

Κρύσταλλοι χλωριούχου νατρίου.

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.

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 **ηλεκτρολύτες**.

Γιατί τα ηλεκτρολυτικά διαλύματα είναι αγωγοί

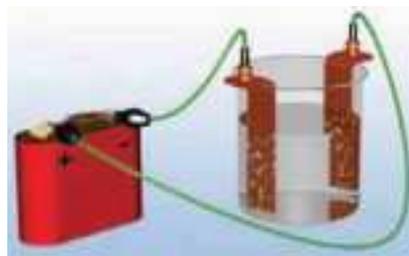
Όταν δύο άτομα πλησιάσουν αρκετά μεταξύ τους, είναι δυνατόν ηλεκτρόνια της εξωτερικής τροχιάς του ενός να μετακινηθούν στην εξωτερική τροχιά του άλλου (εικόνα 3.16). Τότε το ένα άτομο μετατρέπεται σε θετικό ιόν και το άλλο σε αρνητικό. Μεταξύ των ιόντων αναπτύσσεται ισχυρή ηλεκτρική ελκτική δύναμη. Με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

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

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 ηλεκτρόδια 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.



Εικόνα 3.18

Από το διάλυμα του χλωριούχου νατρίου διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα. Στα ηλεκτρόδια συμβαίνουν χημικές μεταβολές. Η ηλεκτρική ενέργεια μετασχηματίζεται σε χημική.

Φυσική και Χημεία και Τεχνολογία

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 περιγραφούν 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 βορρανότου (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 3.19

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.

Φυσική
και Ιστορία



Εικόνα 3.20

Χανς Κρίστιαν Έρστεντ (Ørsted, 1777-1851)

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

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.

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



Ποιο γενικότερο συμπέρασμα προκύπτει από το πείραμα του Έρστεντ;

Το ηλεκτρικό ρεύμα, δηλαδή τα κινούμενα ηλεκτρικά φορτία, δημιουργούν το μαγνητικό πεδίο. Έλκικά ένα φορτίο που κινείται δημιουργεί τόσο ηλεκτρικό όσο και μαγνητικό πεδίο. Δηλαδή δεν υπάρχουν μαγνητικά φορτία αλλά μόνο ηλεκτρικά τα οποία δημιουργούν τόσο το ηλεκτρικό όσο και το μαγνητικό πεδίο.

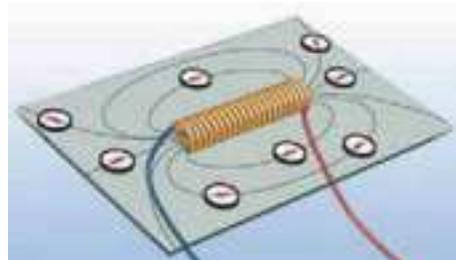


Εικόνα 3.22

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 ριζίσματα 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).



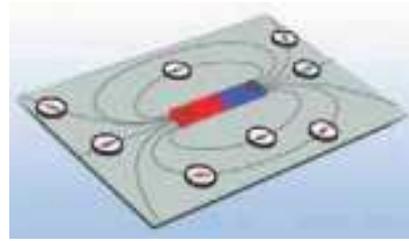
Εικόνα 3.23

Το μαγνητικό πεδίο ενός πηνίου. Παρατήρησε 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**.

Η μορφή των γραμμών του μαγνητικού πεδίου του ηλεκτρο

μαγνήτη 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).



Εικόνα 3.24

Το μαγνητικό πεδίο ενός ευθύγραμμου μαγνήτη.

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

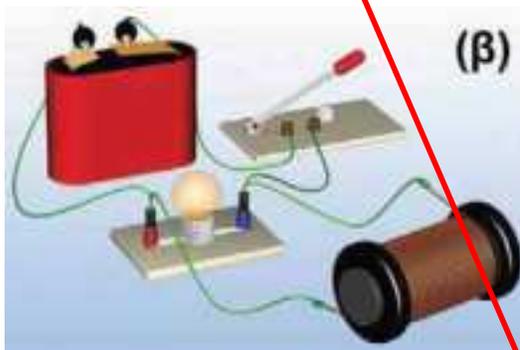
Ενέργεια μαγνητικού πεδίου

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.



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

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



Εικόνα 3.25

- ▲ (α) Ο διακόπτης είναι κλειστός.
- ⚡ (β) Μόλις ανοίξουμε το διακόπτη: η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη στο μαγνητικό πεδίο του πηνίου μετατρέπεται σε ηλεκτρική και προκαλεί τη σύντομη φωτοβολία του λαμπτήρα.



Φυσική
και Ιστορία

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 «Νεύτωνας 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.



Εικόνα 3.27

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

Φυσική
και Ιστορία

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

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.

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 ηλεκτρικό 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.

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.

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

Η ηλεκτρική γεννήτρια

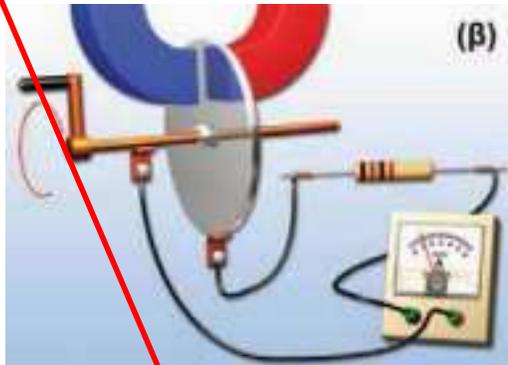
Ο ηλεκτρικός κινητήρας μετατρέπει την ηλεκτρική ενέργεια σε κινητική. Είναι δυνατόν να συμβεί και η αντίστροφη μετατροπή, δηλαδή η κινητική ενέργεια να μετατραπεί σε ηλεκτρική και με ποιο τρόπο;

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.



Εικόνα 3.29

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



Εικόνα 3.30

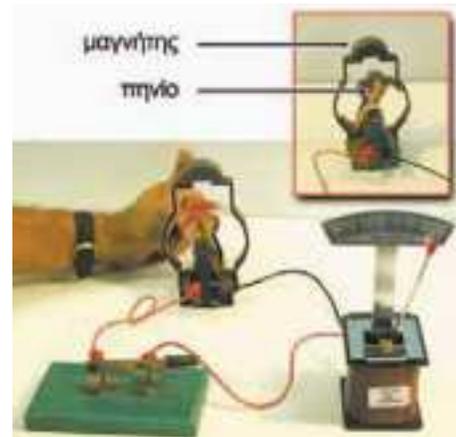
(α) Η πρώτη γεννήτρια όπως την κατασκεύασε ο Μ. Φαραντέυ. (β) Σχηματική αναπαράσταση της γεννήτριας του Φαραντέυ (δυναμό).

Τελικά το 1831 ανακάλυψε ότι, αν περιστρέφει ένα μεταλλικό δίσκο ανάμεσα στους πόλους ενός μαγνήτη, τότε από το κύκλωμα στο οποίο συνδεόνταν ο δίσκος διέρχονταν ηλεκτρικό ρεύμα (εικόνα 3.30α, β). Η κινητική ενέργεια του δίσκου μετατρέπεται σε ηλεκτρική.

Η ανακάλυψη του Φαραντέυ οδήγησε στην εφεύρεση των ηλεκτρογεννητριών (εικόνα 3.31). Οι ηλεκτρογεννήτριες είναι συσκευές που μετατρέπουν την κινητική ενέργεια σε ηλεκτρική.

**Εικόνα 3.31 ▶
Ηλεκτρογεννήτρια**

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



Φυσική
και Κοινωνία

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').

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. 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 διάρκεια 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, γοήτευαν και ενέπνευσαν δε πολλούς νέους ανθρώπους. Η παράδοση αυτή των διαλέξεων διατηρείται μέχρι σήμερα.

Δραστηριότητα**Μέτρηση την αντίσταση του σώματός σου**

- ▶ Πάρε ένα πολύμετρο και μετράτρεψέ 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;

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 αγωγίμο 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 μυες 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

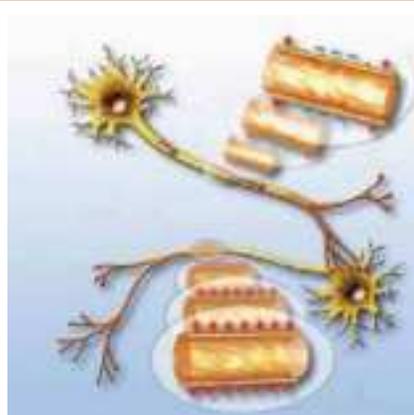
νόμο του Ωμ προκύπτει ότι τάση 220 V προκαλεί ρεύμα έντασης 0,011 A ή 11 mA. Κάτω από ορισμένες προϋποθέσεις, ακόμη και μικρές τάσεις της τάξης των 10 V μπορεί να είναι επικίνδυνες. Όλες οι ηλεκτρικές συσκευές και τα κυκλώματα πρέπει να αντιμετωπίζονται με ιδιαίτερη προσοχή.

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.

Φυσική και Βιολογία

Νευρικό ερέθισμα και ηλεκτρισμός

- 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.



Διάδοση ενός νευρικού ερεθίσματος κατά μήκος του νευρικού άξονα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2	
ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΩΝ ΑΛΛΟΙΩΣΕΩΝ ΚΑΙ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ ΠΟΥ ΥΦΙΣΤΑΤΑΙ Ο ΑΝΘΡΩΠΙΝΟΣ ΟΡΓΑΝΙΣΜΟΣ ΕΞΑΡΤΑΤΑΙ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΝΤΑΣΗ ΤΟΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΟΥ ΡΕΥΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΤΟΙ ΔΙΑΡΡΕΙ	
Ένταση ρεύματος	Αποτελέσματα
0-1 mA	Δεν είναι αισθητά
1-8 mA	Ελάχιστα αισθητά - ακίνδυνα
8-15 mA	Οδυνηρό - προκαλεί σύσπαση των μυών
10-20 mA	Πολύ οδυνηρό. Προκαλεί σύσπαση των μυών και δεν μπορούμε να απομακρυνθούμε από το σημείο επαφής.
20-50 mA	Προκαλεί παράλυση των μυών και συμπτώματα ασφυξίας
50-100 mA	Προσβάλλει την καρδιά και επιφέρει το θάνατο

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 ενέρ-



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.

Δραστηριότητα

Ηλεκτρική και μηχανική ενέργεια



- ▶ Συναρμολόγησε το κύκλωμα που εικονίζεται στην παραπάνω 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:

Ηλεκτρική ενέργεια που αποδόθηκε στον κινητήρα	Δυναμική ενέργεια βαριδίου	Ηλεκτρική ισχύς του κινητήρα	Μηχανική ισχύς

- ▶ 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 μέγεθη μεταβλήθηκαν ως αποτέλεσμα της μετακίνησης του δρομέα;

γιας που μεταφέρεται σ' αυτόν από το ηλεκτρικό ρεύμα. Το υπόλοιπο μέρος της ηλεκτρικής ενέργειας μετατρέπεται σε θερμική λόγω του φαινομένου Τζάουλ και της τριβής.

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:

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

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 ηλεκτρικής 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:

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

Όστε ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 1 A μεταφέρει σε μια ηλεκτρική συσκευή ενέργεια ίση με 1 J όταν τη διαρρέει επί 1 s και η τάση που εφαρμόζεται στα άκρα της είναι 1 V.

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, δηλαδή μας ενδιαφέρει η ισχύς της συσκευής.

Γνωρίζουμε ότι η ισχύς (P) είναι η ποσότητα 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:

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

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 $V=1$ Volt και μετρήσουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος $I=1$ 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 A που διαρρέει μια συσκευή στα άκρα της οποίας εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 1 V μεταφέρει σ' αυτήν ηλεκτρική ισχύ 1 W. Αν η συσκευή αυτή είναι ένας κινητήρας που μετατρέπει σχεδόν ολόκληρη την ηλεκτρική ισχύ σε μηχανική μπορεί να ανυψώσει ένα μήλο 100 g σε ύψος 1 m σε χρόνο ενός δευτερόλεπτου.

Κατανάλωση της ηλεκτρικής ενέργειας

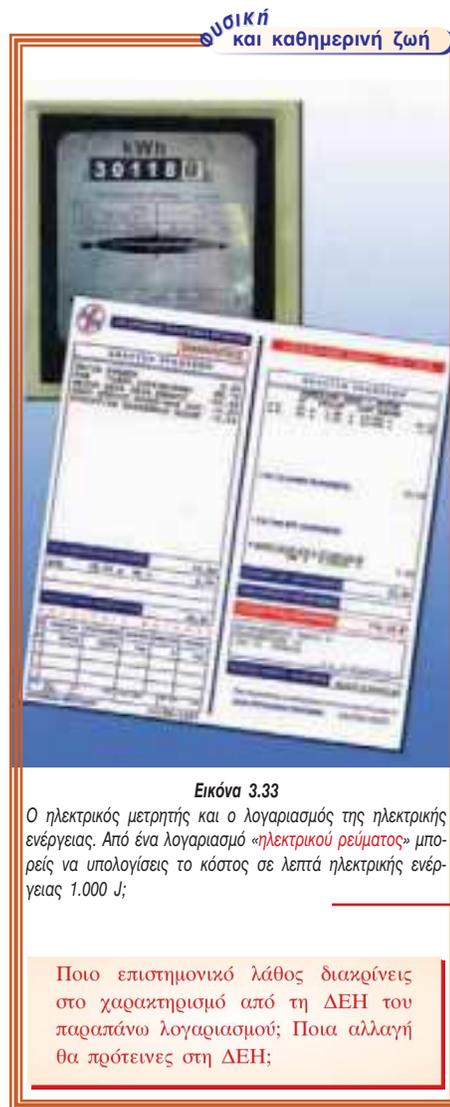
Για να λειτουργήσουν οι ηλεκτρικές συσκευές που υπάρχουν στο σπίτι μας χρειάζονται ενέργεια. Ποιος παρέχει αυτή την ενέργεια;

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:

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

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 kW·h). Μια κιλοβατώρα είναι ίση με την ενέργεια που καταναλώνεται από μια συσκευή ισχύος 1 kW (1000 W) όταν λειτουργεί για μια ώρα. Ένας λαμπτήρας ισχύος 100 W όταν λειτουργεί για 10 ώρες καταναλώνει ενέργεια 1 kWh. Παραδείγματα ισχύος κάποιων ηλεκτρικών συσκευών ως παρουσιάζονται στον παρακάτω πίνακα.



Εικόνα 3.33

Ο ηλεκτρικός μετρητής και ο λογαριασμός της ηλεκτρικής ενέργειας. Από ένα λογαριασμό «ηλεκτρικού ρεύματος» μπορείτε να υπολογίσετε το κόστος σε λεπτά ηλεκτρικής ενέργειας 1.000 J;

Ποιο επιστημονικό λάθος διακρίνετε στο χαρακτηρισμό από τη ΔΕΗ του παραπάνω λογαριασμού; Ποια αλλαγή θα πρότεινες στη ΔΕΗ;

- Οι μετασχηματισμοί ενέργειας έχουν κόστος και επιβαρύνουν το περιβάλλον: Μείωσε τη χρήση της ηλεκτρικής ενέργειας.**
Στον παρακάτω πίνακα 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).

Συσκευή	Ισχύς σε W	Εκτίμηση χρόνου λειτουργίας σε h ανά ημέρα	Ενέργεια	Ημερήσιο κόστος	Τετράμηνο κόστος
Συμβατικοί λαμπτήρες (σύνολο φωτισμού σπιτιού)	600				
Ηλεκτρική κουζίνα	1.500				
Θερμοσίφωνα	2.500				
Τηλεόραση	500				
Ηλεκτρικό ψυγείο	150				
Ηλεκτρικό πλυντήριο	3.500				

- Σκέψου ποιες από τις συσκευές θα ήταν δυνατόν να λειτουργούν για μικρότερο χρονικό διάστημα ή με ποιον άλλο τρόπο θα ήταν δυνατόν να μειωθεί η ποσότητα ηλεκτρικής ενέργειας που απαιτείται για τις ανάγκες της οικογένειάς σου.
- Υπολόγισε την ποσότητα ενέργειας που μπορεί να εξοικονομηθεί, καθώς και το οικονομικό όφελος που θα προκύψει.

Ερωτήσεις

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ

- ▶ **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 αύξηση αυτή συνδέεται με αύξηση της ενέργειας του αντιστάτη. Επιπλέον όταν η του αντιστάτη γίνεται μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία του περιβάλλοντος, τότε ενέργεια (.....) θα μεταφέρεται από τον αντιστάτη στο περιβάλλον του. Η ενέργεια αυτή προέρχεται από την ενέργεια.
 - β. Η αύξηση της ενέργειας ενός αντιστάτη αντίστασης R, όταν από αυτόν διέρχεται σταθερής έντασης (I) και επομένως η ποσότητα της Q που μεταφέρεται από αυτόν προς το περιβάλλον σε χρονικό διάστημα t είναι i) του του ηλεκτρικού ρεύματος (I) που διαρρέει τον αντιστάτη, ii) της (R) του αντιστάτη και iii) του (t) του ηλεκτρικού ρεύματος από τον αντιστάτη.
 - γ. Όταν από ένα μεταλλικό αγωγό διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ένα μέρος της ενέργειας των ελεύθερων ηλεκτρονίων μεταφέρεται 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 περιεχόμενό 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 ρεύμα έντασης 1 A, η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20°C στους 22°C σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού.

α. Σε χρονικό διάστημα δύο λεπτών η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20°C στους 28°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°C στους 24°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 A, σε χρονικό διάστημα μισού λεπτού η θερμοκρασία του νερού αυξάνεται από τους 20°C στους 24°C.

δ. Αν με τον αρχικό αντιστάτη ρυθμίσουμε την ένταση στα 0,5 A και θερμάνουμε το νερό για δύο λεπτά, η θερμοκρασία του θα αυξηθεί από τους 20°C στους 24°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 Σ τις προτάσεις των οποίων το περιεχόμενο είναι επιστημονικά ορθό και με Λ αυτές που το περιεχόμενό τους είναι επιστημονικά λανθασμένο.
Στους πόλους ενός ηλεκτρικού κινητήρα εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού 5 V, οπότε από αυτόν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα έντασης 0,1 A. Ο κινητήρας περιστρέφεται και κινεί ένα αυτοκινητάκι:
 - α. Η μηχανική ισχύς που αποδίδει ο κινητήρας είναι 0,5 W.
 - β. Στον κινητήρα μεταφέρεται ηλεκτρική ισχύς 0,5 W.
 - γ. Ένα μέρος της ηλεκτρικής ισχύος που μεταφέρεται στον κινητήρα μετατρέπεται σε θερμικές απώλειες λόγω του φαινομένου Τζάουλ.
 - δ. Κάθε δευτερόλεπτο 0,5 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 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 θάλαμο 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

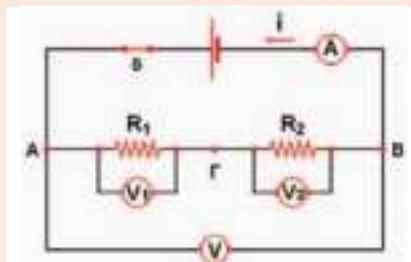
ασκήσεις

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 εφαρμόσουμε στους πόλους του καταναλωτή τάση 12 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 V, 6 W), (12 V, 30 W) και (12 V, 24 W) αντίστοιχα. Πώς πρέπει να τις συνδέσουμε με πηγή σταθερής τάσης 12 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 V συνδέουμε αντιστάτη αντίστασης 6 Ω 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°C .
- Na σχεδιάσεις τη σχηματική αναπαράσταση της διάταξης που θα χρησιμοποιήσεις για να θερμάνεις το νερό.
 - Na υπολογίσεις την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη.
 - Σε πόσο χρόνο η θερμοκρασία του νερού θα μεταβληθεί από τους 15°C στους 25°C ;
5. Ηλεκτρικός θερμοσίφωνας (εικόνα 3.13, σελ. 70) περιέχει νερό μάζας $10\ \text{kg}$, έχει αντιστάτη αντίστασης $60\ \Omega$, ενώ το ηλεκτρικό ρεύμα που τον διαρρέει έχει ένταση $4\ \text{A}$.
- Με βάση τα παραπάνω δεδομένα να υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται στο θερμοσίφωνα σε χρόνο $2\ \text{min}$.
 - 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 $2\ \text{min}$.
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 $12\ \text{V}$.
- Ποια θα είναι τότε η ένδειξη του αμπερόμετρου;
 - Na υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από κάθε αντιστάτη στο περιβάλλον σε δύο λεπτά.
 - Na υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που παρέχει η πηγή στο κύκλωμα στον ίδιο χρόνο.
 - Na υπολογίσεις την παραγόμενη θερμότητα ανά δευτερόλεπτο σε κάθε αντιστάτη.
 - Na 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.
- Na σχεδιάσεις το αντίστοιχο κύκλωμα.
 - 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.
 - 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.
 - 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 $1.000\ \text{J}$.
- Na υπολογίσεις την ηλεκτρική ισχύ που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα.
 - Na υπολογίσεις την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρει το ηλεκτρικό ρεύμα στον κινητήρα σε χρόνο ενός λεπτού.
 - Na υπολογίσεις την ποσότητα της θερμότητας που μεταφέρεται από τον κινητήρα στο περιβάλλον στον ίδιο χρόνο.
 - Na 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 και μεταφέρεται στο περιβάλλον σε δέκα λεπτά λειτουργίας.
10. Η μέγιστη ηλεκτρική ισχύς που μπορεί να μεταφερθεί σ' έναν αντιστάτη αντίστασης 100Ω , χωρίς να καεί, είναι 4 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 V , 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 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
 Θερμοκρασία
 Θερμότητα

Ηλεκτρική ισχύς
 Ηλεκτρική ενέργεια

Ηλεκτροκινητήρας
 Ηλεκτρογεννήτρια