

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ**

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



ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

1ος τόμος

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Νικόλαος Αντωνίου, *Καθηγητής Πανεπιστημίου Αθηνών*
Παναγιώτης Δημητριάδης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός*
Β/θμιας Εκπ/σης
Κων/νος Καμπούρης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός Β/θμιας*
Εκπ/σης
Κων/νος Παπαμιχάλης, *Φυσικός Εκπαιδευτικός Β/θμιας*
Εκπ/σης
Λαμπρινή Παπατσίμπα, *Φυσικός Εκπαιδευτικός*
Β/θμιας Εκπ/σης

ΚΡΙΤΕΣ-ΑΞΙΟΛΟΓΗΤΕΣ

Κωνσταντίνος Κρίκος, *Σχολικός Σύμβουλος*
Πέτρος Περσεφόνης, *Αναπληρωτής Καθηγητής*
Πανεπιστημίου Πατρών(Τμήμα Φυσικής)
Γεώργιος Τουντουλίδης, *Φυσικός, Εκπαιδευτικός*
Β/θμιας Εκπ/σης

ΕΙΚΟΝΟΓΡΑΦΗΣΗ

Θεόφιλος Χατζητσομπάνης, *Μηχανικός ΕΜΠ,*
Εκπαιδευτικός

ΦΙΛΟΛΟΓΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Βασιλική Αναστασοπούλου, *Φιλόλογος*

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΟΥ ΜΑΘΗΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΟΥ ΥΠΟΕΡΓΟΥ ΚΑΤΑ ΤΗ ΣΥΓΓΡΑΦΗ

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

ΕΞΩΦΥΛΛΟ

Καραβούζης Σαράντης, *Ζωγράφος*

ΠΡΟΕΚΤΥΠΩΤΙΚΕΣ ΕΡΓΑΣΙΕΣ

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

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Νικόλαος Αντωνίου
Παναγιώτης Δημητριάδης
Κωνσταντίνος Καμπούρης
Κωνσταντίνος Παπαμιχάλης
Λαμπρινή Παπασιμπα

ΑΝΑΔΟΧΟΣ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ:

Ελληνικά Γράμματα

ΦΥΣΙΚΗ

Γ' ΓΥΜΝΑΣΙΟΥ

Τόμος 1ος

**Γ' Κ.Π.Σ. / ΕΠΕΑΕΚ II / Ενέργεια 2.2.1 / Κατηγορία
Πράξεων 2.2.1.α: «Αναμόρφωση των προγραμμάτων
σπουδών και συγγραφή νέων εκπαιδευτικών πακέτων»**

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Δημήτριος Γ. Βλάχος Ομότιμος Καθηγητής του Α.Π.Θ
Πρόεδρος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

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

Επιστημονικός Υπεύθυνος Έργου

Αντώνιος Σ. Μπομπέτσης

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου

Αναπληρωτής Επιστημ. Υπεύθ. Έργου

Γεώργιος Κ. Παληός

Σύμβουλος του Παιδαγωγ. Ινστιτούτου Ιγνάτιος Ε.

Χατζηευστρατίου Μόνιμος Πάρεδρος του Παιδαγ. Ινστιτ.

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

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

Ομάδα Εργασίας

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

Πρόλογος

Φίλε μαθητή και μαθήτριά 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 κατά-στροφών.

Ελπίζουμε ότι προσέρχεσαι 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 αποκομίσατε από τα μαθήματα της Φυσικής της Β' Γυμνασίου περισσότερες απορίες και ερωτήματα παρά ερμηνείες και απαντήσεις θα θέλαμε να σας επισημά- νουμε 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 ενίο- τε 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 Ταλαντώ- σεις, την Οπτική, τα Πυρηνικά φαινόμενα.

Η ενότητα του Ηλεκτρισμού αποτελείται από τρία κεφάλαια:

Κεφάλαιο 1: Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

Κεφάλαιο 2: Ηλεκτρικό ρεύμα

Κεφάλαιο 3: Ηλεκτρική ενέργεια

Η Ενότητα των ταλαντώσεων αποτελείται από δυο κεφάλαια:

Κεφάλαιο 4: Ταλαντώσεις

Κεφάλαιο 5: 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.

ΕΝΟΤΗΤΑ 1

ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Κεφάλαιο 1 : Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

Κεφάλαιο 2 : Ηλεκτρικό ρεύμα

Κεφάλαιο 3 : Ηλεκτρική ενέργεια



Από όλα τα φαινόμενα που μελετά η Φυσική, τα ηλεκτρικά επηρέασαν εντονότερα την καθημερινή ζωή των ανθρώπων από τις αρχές του 20ου αιώνα. Στην ενότητα αυτή θα μελετήσουμε τις ηλεκτρικές δυνάμεις, τον τρόπο που περιγράφονται και τα αποτελέσματα που προκαλούν. Θα διερευνήσουμε κάποια χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών δυνάμεων και τον τρόπο περιγραφής μέσω 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 την ποσοτική μελέτη του. Τέλος θα συνδέσουμε το ηλεκτρικό ρεύμα και την ηλεκτρική ενέργεια και θα περιγράψουμε μετασχηματισμούς της ηλεκτρικής ενέργειας σε ενέργεια άλλης μορφής.

μια μικρή ιστορία...

και δη τα των κεραυνών
πτώματα και τα θαυμαζόμενα
ηλέκτρων περί της έλξεως και
των Ηρακλείων λίθων...
τεθαυματουργημένα τω κατά
τρόπω ζητούντι φανήσεται.
(Τίμαιος 80B)



Μια μέρα με ξηρή ατμόσφαιρα ενώ η Ελένη - φοιτήτρια της Φιλοσοφικής Σχολής - χτένιζε 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 ασκούσαν οι μαγνήτες και το κεχριμπάρι καθώς και για το πόσο θαυμαστά θα φαινόταν όλα αυτά σε ένα προσεκτικό ερευνητή. Τότε παρατήρησε τις τρίχες των μαλλιών της να «κολλούν» πάνω στη χτένα και αναρωτήθηκε αν η έλξη στην οποία αναφερόταν ο Πλάτωνας είχε σχέση με αυτή που ασκούσε η χτένα στα μαλλιά της.

Στο κεφάλαιο αυτό:

- Θα μάθεις για τις ηλεκτρικές αλληλεπιδράσεις και θα τις συνδυάσεις με ένα νέο φυσικό μέγεθος: το ηλεκτρικό φορτίο
- Θα γνωρίσεις και θα ερμηνεύσεις τους τρόπους ηλέκτρισης 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 Μικρής Ασίας τον 6ο αιώνα π.Χ., παρατήρησε ότι το ήλεκτρο (κεχριμπάρι) αποκτούσε την ιδιότητα να έλκει από απόσταση ελαφρά αντικείμενα, όπως ξερά φύλλα, στάχια, πούμπουλα 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.

Εικόνα 1.1

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



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 1.2 **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.



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

Εικόνα 1.3

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



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;

Εικόνα 1.4

**Διάκριση ηλεκτρικής -
μαγνητικής δύναμης**

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



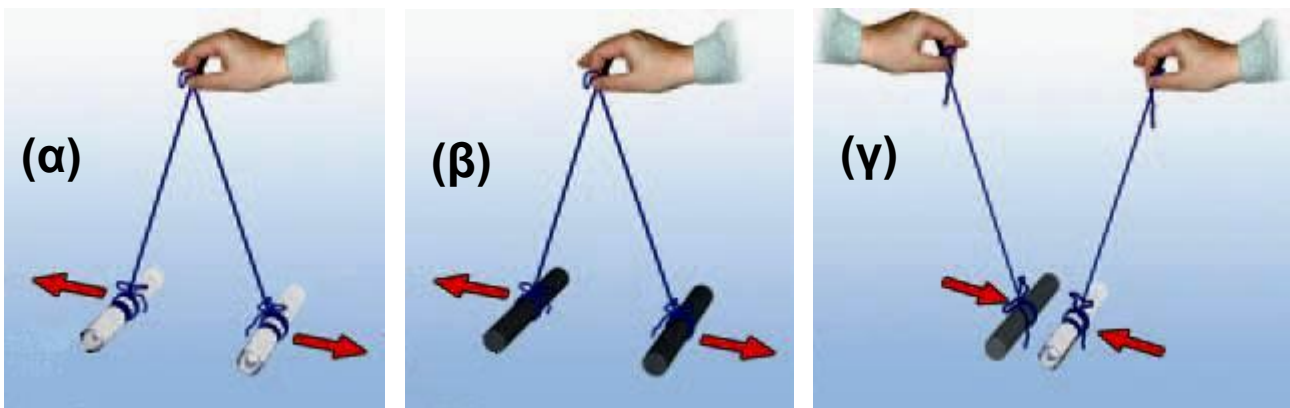
Αν πλησιάσουμε ένα μαγνήτη στο ηλεκτρικό εκκρεμές, θα διαπιστώσουμε ότι ο μαγνήτης δεν έλκει το ηλεκτρικό εκκρεμές. Ο μαγνήτης έλκει μόνον αντικείμενα που περιέχουν σίδηρο, κοβάλτιο ή νικέλιο, υλικά που ονομάζονται σιδηρομαγνητικά (εικόνα 1.4). Η ηλεκτρι-

κή 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;

Τρίψε 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).

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

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

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;

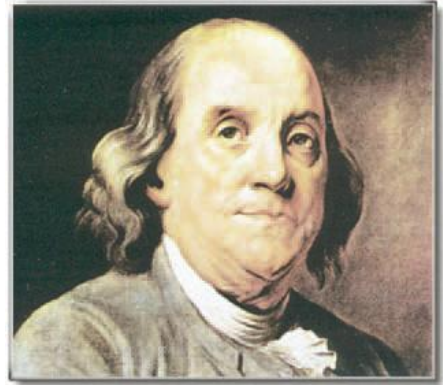
Για να εξηγήσουμε την προέλευση και τις ιδιότητες των ηλεκτρικών δυνάμεων, δεχόμαστε ότι η ύλη έχει μια ιδιότητα που τη συνδέουμε με ένα φυσικό μέγεθος: το **ηλεκτρικό φορτίο**. Όταν δύο σώματα έχουν ηλεκτρικό φορτίο, τότε αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικές δυνάμεις και λέμε ότι είναι **ηλεκτρικά φορτισμένα**.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

Εικόνα 1.6

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



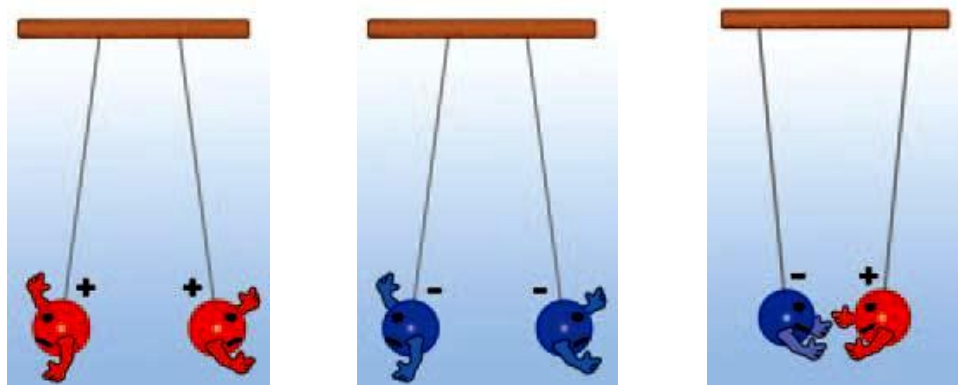
Έζησε στην Αμερική και ήταν συγγραφέας, φυσικός και πολιτικός. Ως φυσικός έγινε γνωστός για τις μελέτες και τα πειράματά του σχετικά με τον ηλεκτρισμό. Εφηύρε το αλεξικέραυνο. Ως πολιτικός συνέβαλε σημαντικά στην ανεξαρτησία των Ηνωμένων Πολιτειών Αμερικής και στη διαμόρφωση του Αμερικανικού Συντάγματος.

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).

Πώς μετράμε το ηλεκτρικό φορτίο

Τρίψε ελαφρά στις σελίδες του βιβλίου σου ένα πλαστικό χάρακα και πλησιάσέ 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.



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.

Εικόνα 1.8

Μια εξαιρετικά ευαίσθητη τεχνική για τη λήψη δακτυλικών αποτυπωμάτων στηρίζεται στο γεγονός ότι τα ανόμοια 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.



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.

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.

Εικόνα 1.9 **Το Κουλόμπ στην καθημερινή μας Ζωή**

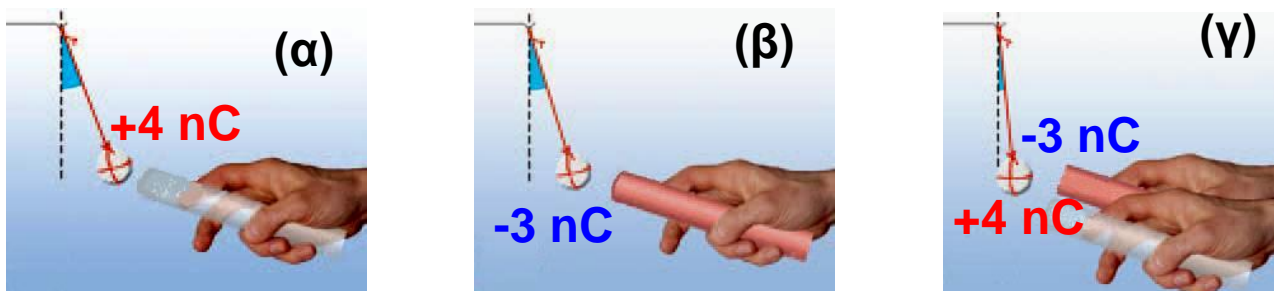
Σπινθήρες όπως αυτός που δημιουργείται μεταξύ των σφαιρών της εικόνας μεταφέρουν από τη μία στην άλλη ποσότητα φορτίου μικρότερη από ένα εκατομμυριοστό του C ($1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$). Τρίβοντας ένα αντικείμενο συνηθισμένων διαστάσεων αυτό δεν μπορεί να αποκτήσει, σε κάθε τετραγωνικό εκατοστό της επιφάνειάς 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.

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 μC (ένα μικροκουλόμπ) με $1 \mu\text{C} = 10^{-6}$ C ή
το 1 nC (ένα νανοκουλόμπ) με $1 \text{nC} = 10^{-9}$ C.



Εικόνα 1.10

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

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: $q = +3$ nC. Αντίθετα η πλαστική ράβδος αποκτά αρνητικό φορτίο. Αν το φορτίο της q είναι 3 nC, γράφουμε: $q = -3$ 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 Νέοζηλανδός 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:



Εικόνα 1.11

Πλανητικό σύστημα και άτομο

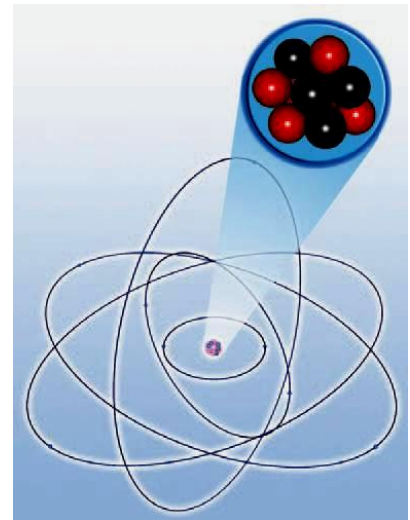
Είδαμε στη Β' τάξη ότι η αδράνεια είναι ιδιότητα της ύλης και μέτρο της αδράνειας είναι η **μάζα**. Ο ήλιος και η γη έχουν **μάζα**. Αλληλεπιδρούν με βαρυτικές **δυνάμεις**. Τα ηλεκτρόνια και ο πυρήνας έχουν **ηλεκτρικό φορτίο**. Αλληλεπιδρούν με **ηλεκτρικές δυνάμεις**. Πολλές φορές λέμε ότι το άτομο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

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**.

Εικόνα 1.12

Το πλανητικό πρότυπο του ατόμου.



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

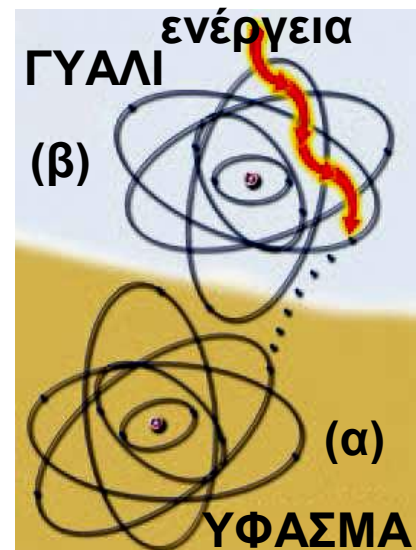
Πώς εξηγείται η φόρτιση των σωμάτων με βάση τη μικροσκοπική δομή της ύλης;

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

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.



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

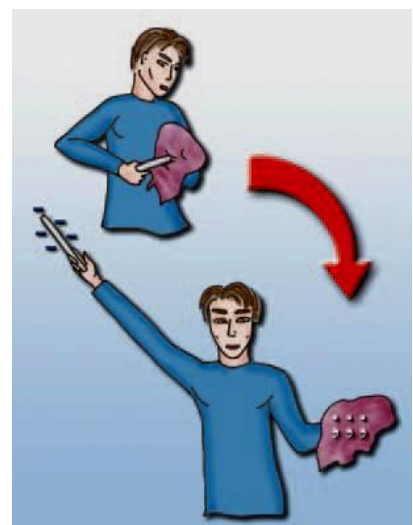
να μπορέσουν τα ηλεκτρόνια να υπερνικήσουν την έλξη των πυρήνων (εικόνα 1.13). Ενέργεια στα ηλεκτρόνια των ατόμων προσφέρεται με ποικίλους τρόπους, όπως για παράδειγμα με τριβή, με την επίδραση ακτινοβολίας κ.λπ. Επειδή στο εσωτερικό των ατόμων υπάρχουν σωματίδια με δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου (πρωτόνια 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.

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.



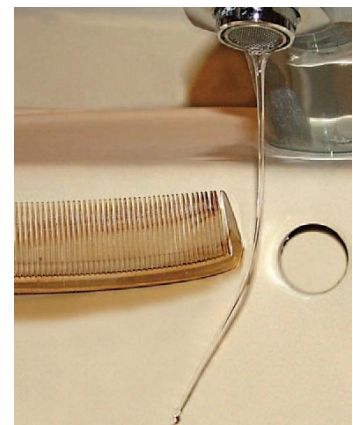
Κάθε ηλεκτρικά φορτισμένο σώμα έχει περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων. Ένα ηλεκτρόνιο δεν είναι δυνατόν να διαιρεθεί. Συνεπώς το ηλεκτρικό φορτίο κάθε φορτισμένου σώματος είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους φορτίου του ηλεκτρονίου (ή του αντίθετου φορτίου του πρωτονίου). Το ηλεκτρικό φορτίο εμφανίζεται 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.

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).

1.4 Τρόποι ηλέκτρισης και η μικροσκοπική ερμηνεία

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.



Στην καθημερινή μας ζωή μπορούμε να παρατηρήσουμε πολλά φαινόμενα που οφείλονται στην ηλέκτριση των σωμάτων που μας περιβάλλουν (εικόνα 1.15). Αν τρίψεις το περιτύλιγμα μιας καραμέλας, αυτό κολλά στα δάχτυλά σου. Αν τρίψεις ένα μπαλόني 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 ηλέκτρισης 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

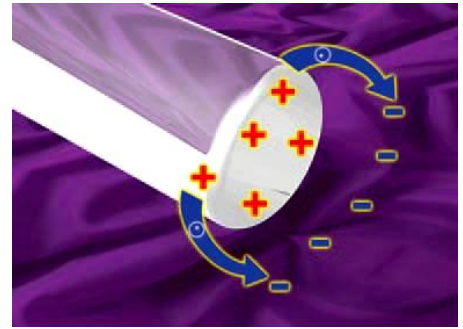
Όταν τρίβεις μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα, η ράβδος αποκτά θετικό φορτίο, ενώ το ύφασμα αρνητικό.

Πώς ερμηνεύεται η ηλέκτριση 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;

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.



- | | | |
|-------------------|--------------------|-----------|
| 1. Αμίαντος | 2. Γούνα κουνελιού | 3. Γυαλί |
| 4. Μαλλί | 5. Γούνα γάτας | 6. Μετάξι |
| 7. Δέρμα ανθρώπου | 8. Βαμβάκι | |
| 9. Ξύλο | 10. Κεχριμπάρι | 11. Θείο |
| 12. Καουτσούκ | 13. Πλαστικό | |

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.

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

Ηλέκτριση με επαφή

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

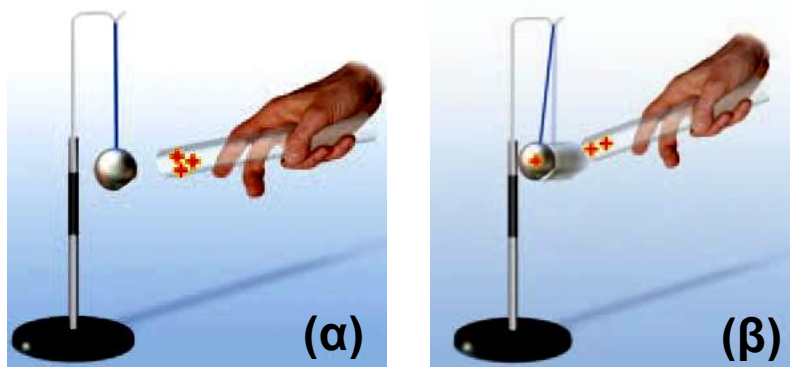
Εικόνα 1.17

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. Ακολουθώς οι δύο άνθρωποι πλησιάζουν τα δάχτυλά τους. Μεταξύ των δαχτύλων ξεσπά 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.



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).

Πώς ερμηνεύεται η ηλέκτριση ενός σώματος με επαφή; Αν το φορτισμένο σώμα έχει αρνητικό φορτίο, τότε, όπως είδαμε, έχει πλεόνασμα 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.

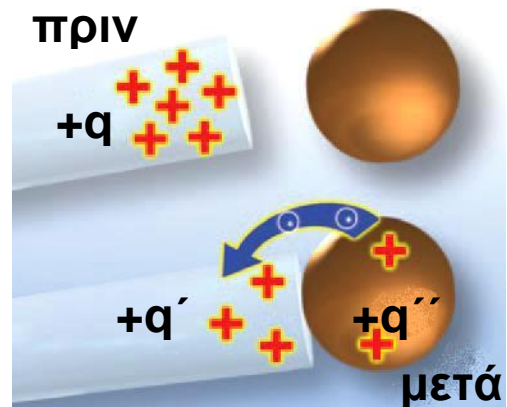
Κατά την ηλέκτριση με επαφή ισχύει η αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου: Το άθροισμα των φορτίων που αποκτούν τα δύο σώματα τελικά είναι ίσο με το φορτίο που αρχικά είχε το ένα (εικόνες 1.19, 1.20).

Εικόνα 1.19

Μια αρχή διατήρησης

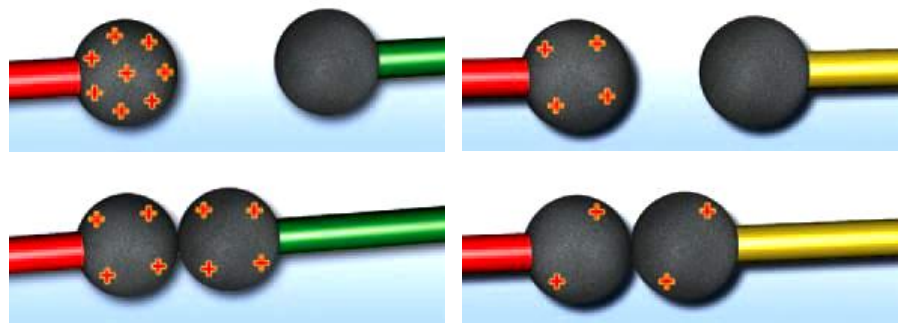
Κατά τη φόρτιση με επαφή έχουμε μετακίνηση ηλεκτρονίων από το σώμα που έχει περίσσεια προς το αφόρτιστο ή από το αφόρτιστο προς το σώμα που έχει έλλειμμα.

Αρχή διατήρησης ηλεκτρικού φορτίου: $q = q' + q''$



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).



Εικόνα 1.20

Διαμοιρασμός

φορτίου της σφαίρας

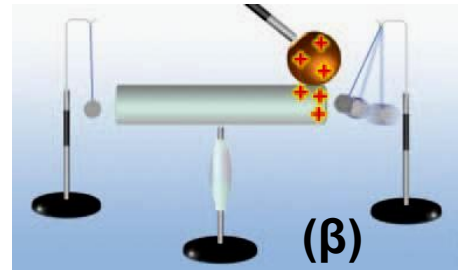
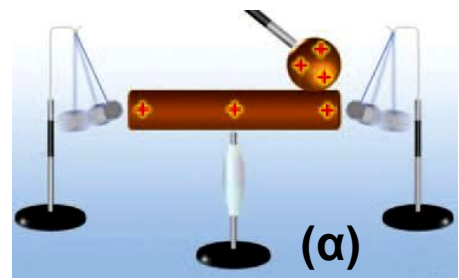
Την ηλέκτριση με επαφή τη χρησιμοποιούμε όταν θέλουμε να διαμοιράσουμε το ηλεκτρικό φορτίο μεταξύ σωμάτων. Περιγράψε τη διαδικασία που παριστάνεται στις εικόνες 1.20. Ποια βασική αρχή της φυσικής θα χρησιμοποιήσεις για να εξηγήσεις τον τρόπο διαμοιρασμού του φορτίου που παριστάνεται σ' αυτές;

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).

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.



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 φορτίσαμε ονομάζονται **ηλεκτρικοί μονωτές**.

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

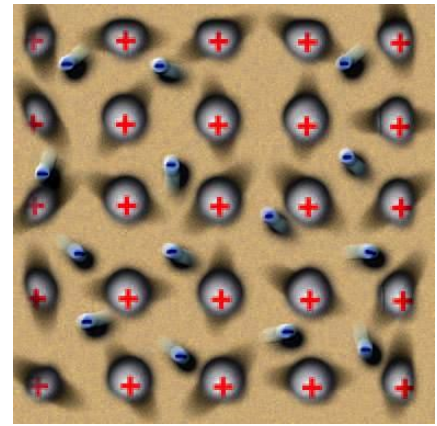
Γιατί τα μέταλλα συμπεριφέρονται ως ηλεκτρικοί αγωγοί;

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).

Εικόνα 1.22

Ο μικρόκοσμος ενός μεταλλικού αγωγού

Υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια και θετικά ιόντα που σχηματίζουν πλέγμα.



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 δεν είναι δυνατή η μετακίνηση ηλε-

κτρονίων από άλλες περιοχές του μονωτή προς την περιοχή της φόρτισης.

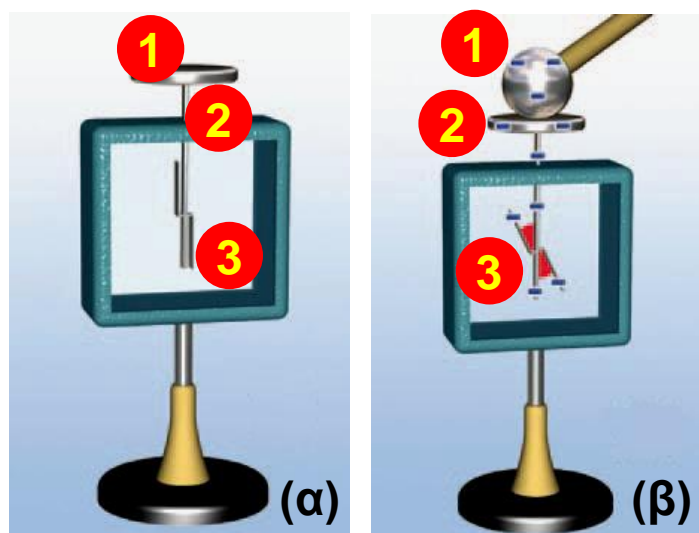
Πείραμα: Τα πρότυπα ελέγχονται, επαληθεύονται ή διαψεύδονται.

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.

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.

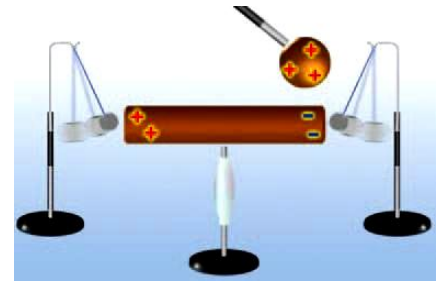
Όταν συνδέουμε το δίσκο του ηλεκτροσκοπίου με αφόρτιστο σώμα, τα δύο φύλλα του ισορροπούν το ένα δίπλα στο άλλο.

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 ηλεκτρο-

σκόπιο, 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).

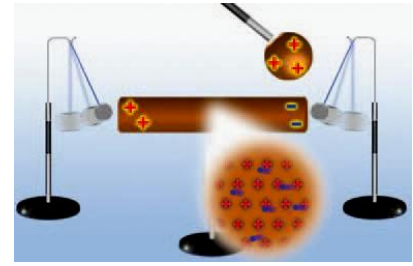
Αν απομακρύνεις τη φορτισμένη σφαίρα, θα παρατηρήσεις ότι η ράβδος παύει να έλκει τα σφαιρίδια του ηλεκτροσκοπίου. Συμπεραίνεις ότι η μεταλλική ράβδος μένει ηλεκτρισμένη όσο η φορτισμένη σφαίρα βρίσκεται κοντά της. Η παρουσία της σφαίρας προκαλεί διαχωρισμό των θετικών από τα αρνητικά φορτία στη ράβδο. 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.

Εικόνα 1.25

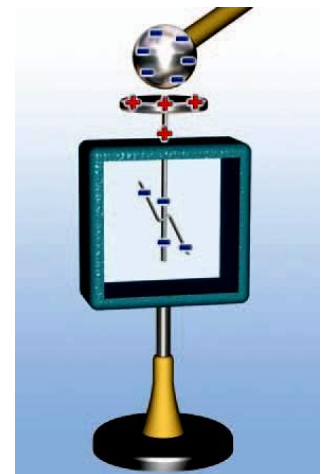
Η παρουσία της θετικά φορτισμένης σφαίρας προκαλεί τη μετακίνηση ηλεκτρονίων από το ένα άκρο της μεταλλικής ράβδου στο άλλο. Αν απομακρύνουμε τη σφαίρα, τα ηλεκτρόνια επιστρέφουν στο άκρο όπου βρίσκονταν αρχικά και η ράβδος επανέρχεται στην αρχική της κατάσταση.



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

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.



Όταν απομακρύνουμε τη φορτισμένη σφαίρα από το άκρο A της ράβδου, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που είχαν μετακινηθεί προς αυτό έλκονται προς το θετικά φορτισμένο άκρο B. 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 κομματάκια χαρτί (εικόνα 1.27) ή μια φλέβα νερού, γιατί ένα φορτισμένο μπαλόνι κολλάει στον τοίχο κ.λπ.

Εικόνα 1.27

Η φορτισμένη χτένα έλκει τα ουδέτερα κομματάκια χαρτιού.



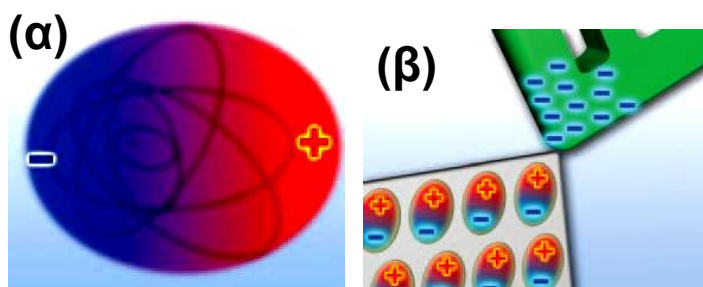
Πώς όμως μπορούμε να ερμηνεύσουμε το γεγονός ότι η φορτισμένη χτένα έλκει τα κομματάκια από χαρτί που είναι ουδέτερα ή ότι το φορτισμένο μπαλόνι έλκεται από τον ουδέτερο τοίχο;

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.28α).

Ο προσανατολισμός των ατόμων ή των μορίων με τον παραπάνω τρόπο στο εσωτερικό του μονωτή έχει ως αποτέλεσμα στο 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 ουδέτερος τοίχος έλκει το φορτισμένο μπαλόνι.



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 σωμάτια 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;

1.5 Νόμος του Κουλόμπ

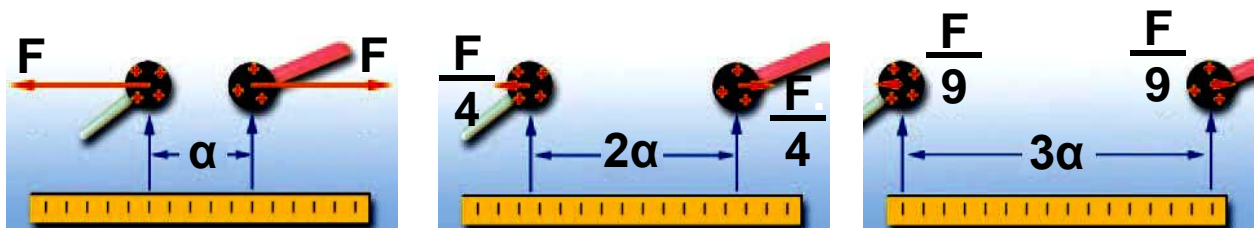
Η μελέτη της φύσης είναι προσπάθεια δίχως τέλος. Συνεχώς ο άνθρωπος θέτει ερωτήματα, κάνει παρατηρήσεις, διατυπώνει υποθέσεις, ελέγχει την ορθότητα των υποθέσεών του με τη βοήθεια του πειράματος και καταλήγει σε συμπεράσματα. Ακολουθώντας την παραπάνω ερευνητική διαδικασία ο Γάλλος φυσικός Σαρλ Κουλόμπ (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;

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

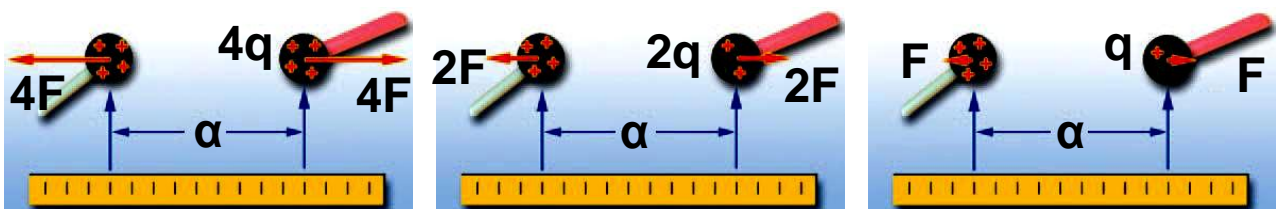
Το μέτρο της δύναμης σε απόσταση α είναι F , σε απόσταση 2α είναι $F/4 = F/2^2$ και σε απόσταση 3α είναι $F/9 = F/3^2$.

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 τριπλασιάζονταν, 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.



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.

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 γινόμενο 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).

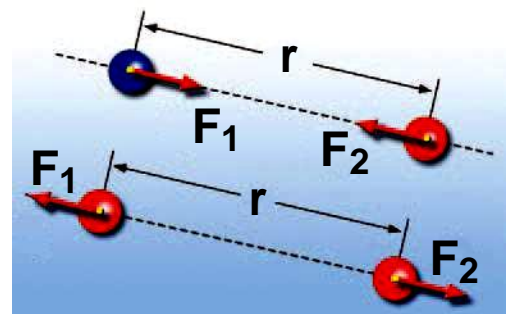
Εικόνα 1.32

Τα αντίθετα έλκονται και τα όμοια απωθούνται

Η ηλεκτρική δύναμη είναι

διανυσματικό μέγεθος: έχει διεύ-

θυνση και φορά. Η διεύθυνσή της βρίσκεται στην ευθεία που συνδέει τα δύο σημειακά φορτία. Η δύναμη έχει φορά προς το άλλο φορτίο (ελκτική δύναμη) όταν τα φορτία είναι αντίθετα και αντίθετη (απωστική δύναμη) όταν τα φορτία είναι όμοια.

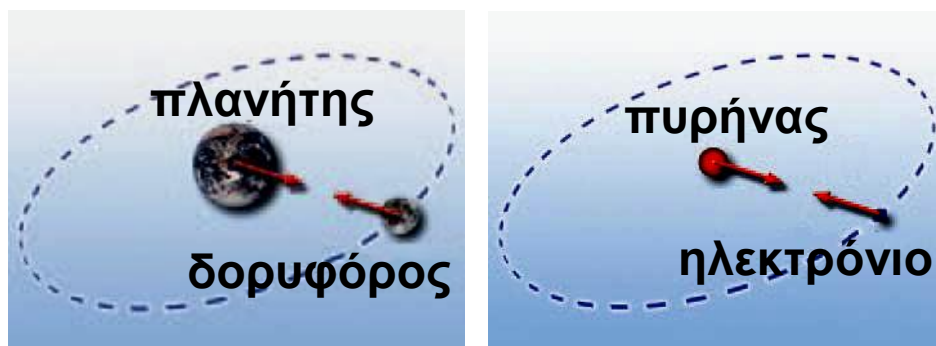


Σύμφωνα με το νόμο του Κουλόμπ η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε δύο σημειακά φορτία του 1 C που βρίσκονται σε απόσταση 1 m είναι ίση με 9

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 σώματα 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).



Εικόνα 1.33

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

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 αλουμι-

νόχαρτο (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.

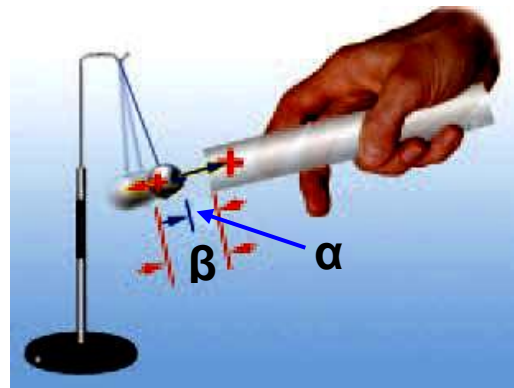
1.6 Το ηλεκτρικό πεδίο

Μάθαμε 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.

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

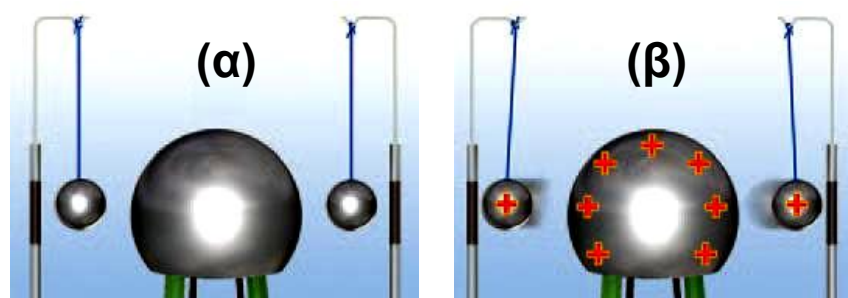
Μάικλ Φαραντέι
(Faraday, 1791-1867)



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

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 Graaft φέρνουμε ηλεκτρικά εκκρεμή.



Εικόνα 1.36

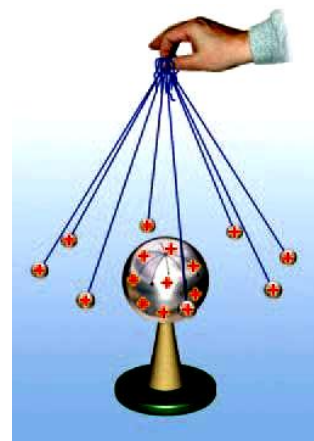
(α) Η αφόρτιστη σφαίρα δεν ασκεί δύναμη στα αφόρτιστα σφαιρίδια. (β) Η θετικά φορτισμένη σφαίρα ασκεί απωστική δύναμη στα θετικά φορτισμένα σφαιρίδια.

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 ηλεκτρικές 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).

Εικόνα 1.37

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



Γενικά μια 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.

α. Γύρω από κάθε φορτισμένο σώμα δημιουργείται ένα ηλεκτρικό πεδίο.

β. 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 φορτι-

σμένο 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).

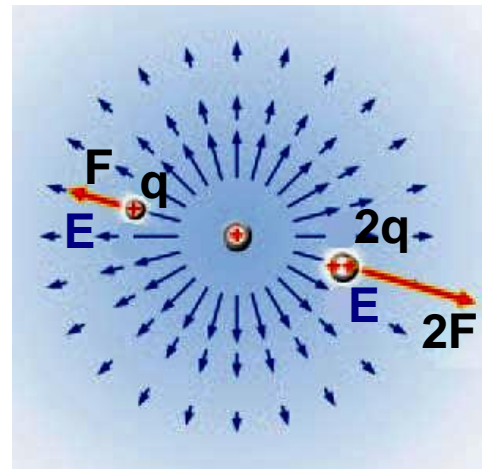
Περιγραφή του ηλεκτρικού πεδίου

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.

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.



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).

Γύρω από τους έμβιους οργανισμούς δημιουργούνται

ηλεκτρικά πεδία¹ που οφείλονται στη λειτουργία των μυών τους. Οι καρχαρίες διαθέτουν κύτταρα ηλεκτρικά ευαίσθητα τα οποία τους δίνουν τη δυνατότητα να εντοπίζουν τα θύματά τους ανιχνεύοντας τα πολύ ασθενή πεδία τους.



1.

- 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 δημιουργία ηλεκτρικών πεδίων από διάφορα ανθρώπινα όργανα.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.3.**ΗΛΕΚΤΡΙΚΑ ΠΕΔΙΑ ΚΑΙ ΟΙ ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΠΟΥ ΑΣΚΟΥΝ**

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

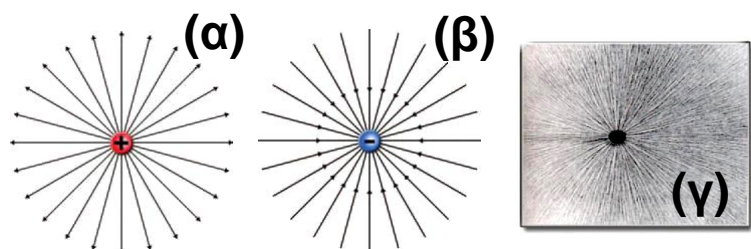
Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές

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 δυνα-

μικρών 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**.

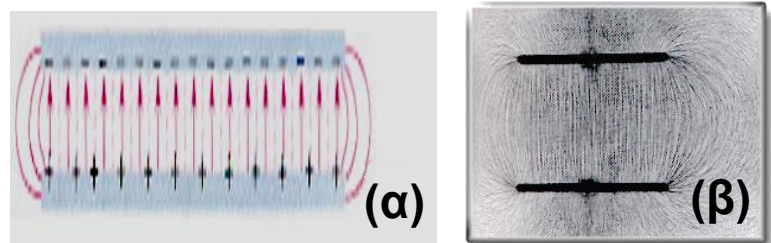
Όστε, αν γνωρίζουμε τη μορφή των δυναμικών γραμμών, μπορούμε να προσδιορίσουμε τη διεύθυνση της ηλεκτρικής δύναμης. Παρατηρώντας επίσης πόσο πυκνές ή αραιές είναι οι δυναμικές γραμμές μπορούμε να εκτιμήσουμε πόσο ισχυρή ή ασθενής είναι η ηλεκτρική δύναμη. Επομένως, για να προσδιορίσουμε την ηλεκτρική 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).



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.

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 μεταξωτών κλωστών τοποθετημένων σε καστορέλαιο.

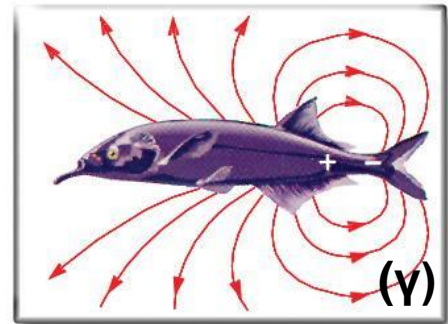
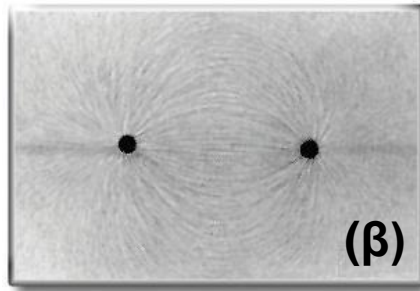
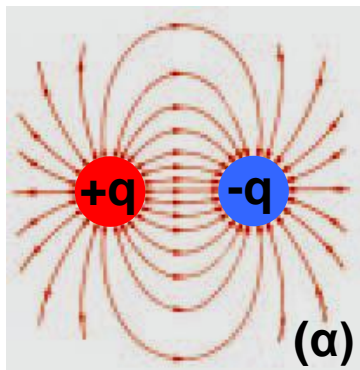
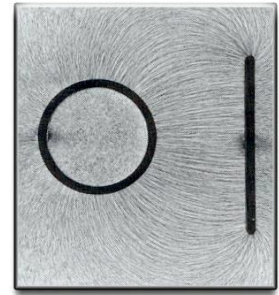
Ηλεκτρική θωράκιση

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.



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.

Κεραυνός και ηλεκτρική θωράκιση

Το αμάξωμα ενός αυτοκινήτου είναι μεταλλικό. Επομένως **θωρακίζει¹** 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.



1.

Σκέψου και σχεδίασε την αντιστοιχία του αυτοκινήτου με την εικόνα 1.41. Εξήγησε αυτό που συμβαίνει. Μπορείς να αναφέρεις άλλες εφαρμογές της ηλεκτρικής θωράκισης;

Ηλεκτρικό πεδίο και ενέργεια

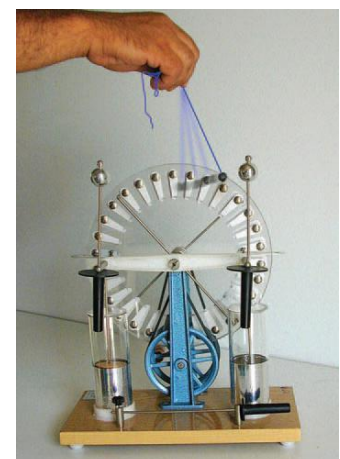
Θέτουμε σε λειτουργία μια ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst (μηχανή η οποία προμηθεύει ηλεκτρικά φορτία) οπότε οι δύο μεταλλικές σφαίρες (πόλοι) φορτίζονται και η μια αποκτά θετικό φορτίο, ενώ η άλλη αρνητικό. Πλησιάζουμε το θετικά φορτισμένο σφαιρίδιο ενός ηλεκτρικού εκκρεμούς στον επίσης θετικά φορτισμένο 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.

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.



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

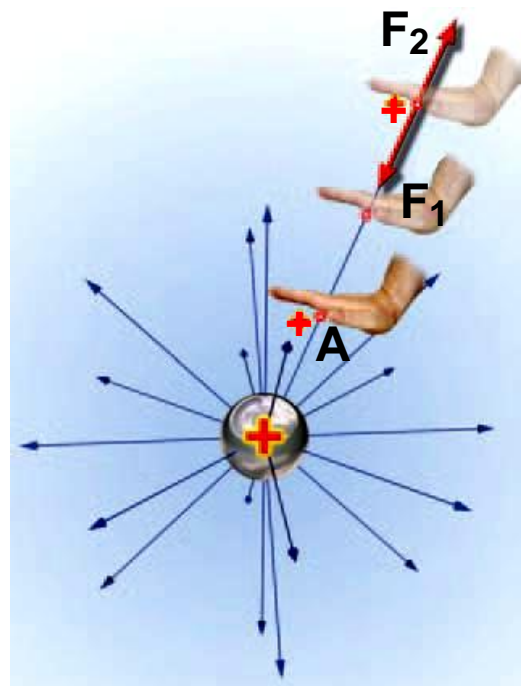
Από ποια μορφή ενέργειας προέκυψε λοιπόν η κινητική ενέργεια του σφαιριδίου;

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).

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 τοποθετήσουμε στη σφαίρα, τότε αυξάνεται το φορτίο της σφαίρας καθώς και η δυναμική της ενέργεια.



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

ερωτήσεις

► 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

β. έχουν το ίδιο ηλεκτρικό φορτίο

γ. έχουν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία δ. είναι λιγότερα από τα νετρόνια

B. Η φόρτιση με τριβή επιτυγχάνεται με μεταφορά

α. μόνο πρωτονίων

β. μόνο ηλεκτρονίων

γ. και πρωτονίων και 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)

β. μερικά χιλιοστά του Κουλόμπ (C) γ. μερικά εκατομμυριοστά 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.

B. Δύο μονωμένες μεταλλικές σφαίρες έχουν φορτία 2 μC και 3 μC 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 μC και 2 μC , β. 1 μC και 4 μC ,
γ. 5 μC και 1 μC , δ. 3 μC και 3 μC .

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 ηλέκτρισης και η μικροσκοπική ερμηνεία τους

12. Οι έννοιες ηλέκτριση 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 54 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 ομοιότητές τους.

22. Τρίβεις ένα μπαλόني με μάλλινο ύφασμα και το πλησιάζεις σε ένα τοίχο. Παρατηρείς ότι το μπαλόني 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 $4 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ ». 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.

α. Το σφαιρίδιο είναι φορτισμένο και βρίσκεται μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο που έχει δημιουργηθεί μεταξύ των πόλων της μηχανής.

β. Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του σφαιριδίου μετατρέπεται σε κινητική.

γ. Το σφαιρίδιο κινείται γιατί πάνω του ασκείται το βάρος του και η δύναμη από το νήμα του εκκρεμούς (τάση του νήματος).

δ. Η ηλεκτρική 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

ασκήσεις

Ο Νόμος του Κουλόμπ και το ηλεκτρικό πεδίο

1. 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;

2. Τα κέντρα δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών απέχουν 24 cm . Οι σφαίρες έλκονται με δύναμη της οποίας το μέτρο είναι $0,036 \text{ N}$. Σε πόση απόσταση πρέπει να τοποθετηθούν οι σφαίρες ώστε η δύναμη με την οποία έλκονται να γίνει $0,004 \text{ N}$;

3. Μικρή χάλκινη σφαίρα έχει φορτίο $+3,2 \mu\text{C}$. Η χάλκινη σφαίρα απωθεί μια επίσης φορτισμένη σιδερένια σφαίρα με δύναμη μέτρου $6,4 \text{ N}$. Πόσα ηλεκτρόνια πρέπει να μεταφερθούν από τη χάλκινη σφαίρα ώστε η δύναμη να γίνει $3,2 \text{ N}$;

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: Πέταξε ένα χαρταετό, στον οποίο είχε στερεώσει μια μικρή μυτερή μεταλλική ράβδο. Είχε δέσει τη ράβδο με την άκρη του σπάγκου του αετού. Στο άλλο άκρο του σπάγκου έδεσε ένα μεταλλικό κλειδί και ένα κομμάτι μεταξωτού κορδονιού από το οποίο κρατούσε το χαρταετό. Ο Φραγκλίνος φρόντισε να στέκεται κάτω από ένα υπόστεγο ώστε το μεταξωτό κορδόνι να παραμένει στεγνό κατά τη διάρκεια της καταιγίδας. Μόλις τα σύννεφα της καταιγίδας συγκεντρώθηκαν στον ουρανό ο μικρός βοηθός του Φραγκλίνου πλησίασε με προσοχή το δάχτυλό του στο κλειδί. Τότε ένας σπινθήρας ξεπήδησε από το κλειδί στο δάχτυλό του.

Πως προκλήθηκε ο σπινθήρας;
Τι ανακάλυψε ο Φραγκλίνος με αυτό το ιστορικό πείραμα;



Στο κεφάλαιο αυτό:

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

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ

Συσκευές όπως ο ηλεκτρικός λαμπτήρας, ο ηλεκτρικός ανεμιστήρας, ο ηλεκτρικός θερμοσίφωνα, 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.

Εικόνα 2.1

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



Οι φυσικοί αναζητώντας την ερμηνεία όλων των φαινόμενων 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

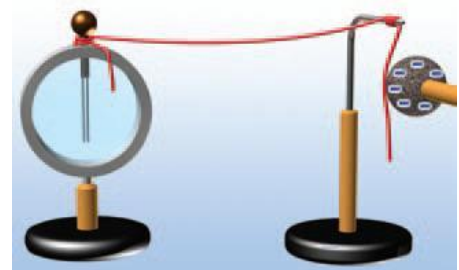
Έχουμε ήδη δει ότι οι διάφοροι τρόποι ηλεκτρίσης ερμηνεύονται με βάση την κίνηση ηλεκτρονίων. Στη συνέχεια θα διερευνήσουμε εάν είναι δυνατή η κίνηση των ηλεκτρονίων ή γενικότερα φορτισμένων σωματιδίων σε ορισμένη κατεύθυνση μέσα στα υλικά σώματα.

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).

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.



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



Εικόνα 2.4

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

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.

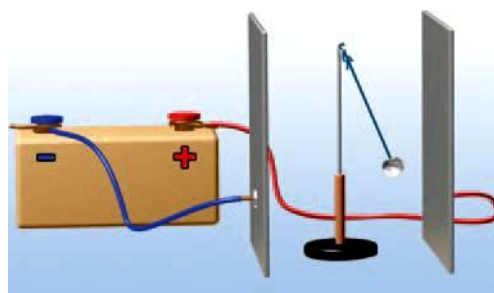
Ηλεκτρική πηγή και ηλεκτρικό ρεύμα

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.

Εικόνα 2.5

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



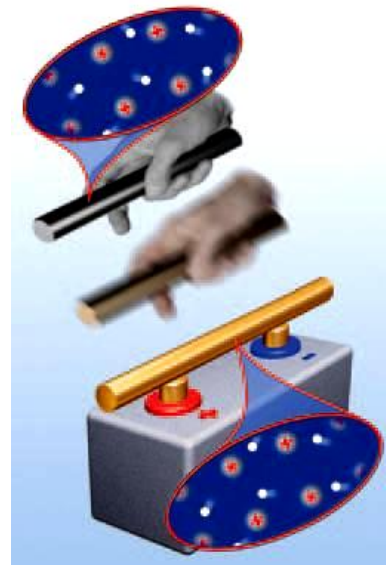
Τι συμβαίνει στο εσωτερικό μεταλλικού σύρματος όταν αυτό συνδεθεί με μια μπαταρία;

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.

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.



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;

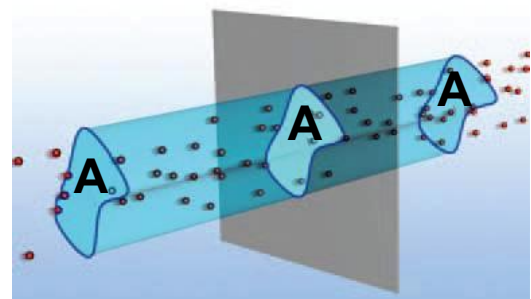
Όπως είδαμε, το ηλεκτρικό ρεύμα είναι η προσανατολισμένη κίνηση των ηλεκτρονίων κατά μήκος των μεταλλικών αγωγών. Συνδέουμε το πόσο ισχυρό ή ασθενές είναι το ηλεκτρικό ρεύμα που διαρρέει το λαμπτήρα με τον αριθμό των ηλεκτρονίων που διέρχονται από μια διατομή του σύρματος του στη μονάδα του χρόνου. Πώς 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).

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 .



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:

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

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)**.

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

$$1 \text{ Coulomb} = 1 \text{ Ampere} \cdot 1 \text{ second}$$

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

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

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

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

Εικόνα 2.8

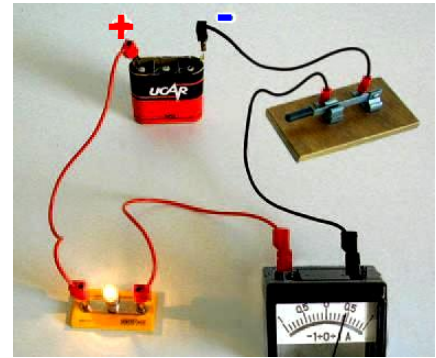
Ανάλογα με το μέγεθος της έντασης του ηλεκτρικού ρεύματος που θέλουμε να μετρήσουμε και την ακρίβεια της μέτρησης που επιθυμούμε χρησιμοποιούμε και τον κατάλληλο τύπο αμπερόμετρου.



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.

Εικόνα 2.9

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



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).



Εικόνα 2.10

Πραγματική και συμβατική φορά ηλεκτρικού ρεύματος.

Αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος

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

- **Θερμικά αποτελέσματα:** Το ηλεκτρικό ρεύμα προκαλεί τη θέρμανση των σωμάτων τα οποία διαρρέει. Συσκευές που λειτουργούν με βάση τα θερμικά αποτελέσματα του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ο θερμοσίφωνας, η ηλεκτρική κουζίνα, οι θερμοσυσσωρευτές.
- **Ηλεκτρομαγνητικά αποτελέσματα:** Οι αγωγοί τους οποίους διαρρέει ηλεκτρικό ρεύμα δημιουργούν γύρω τους μαγνητικά πεδία. Έτσι μπορούν και αλληλεπιδρούν με σιδερένια υλικά, μαγνήτες ή και μεταξύ τους, ασκώντας μαγνητικές δυνάμεις. Στα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα στηρίζεται η λειτουργία των ηλεκτρομαγνητικών γερανών, οι αυτόματοι διακόπτες, οι κεφαλές εγγραφής ήχου και εικόνας, καθώς και η κίνηση των

τρένων μαγνητικής ανύψωσης κ.λπ. Στα ίδια φαινόμενα στηρίζεται η κατασκευή των ηλεκτροκινητήρων, με τους οποίους κινούνται τα ηλεκτρικά τρένα και λεωφορεία, λειτουργούν τα ηλεκτρικά ψυγεία, ο εκκινητής (μίζα) του αυτοκινήτου κ.λπ.

- **Χημικά αποτελέσματα:** Όταν ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται διαμέσου χημικών ουσιών, προκαλεί χημικές μεταβολές. Εκμεταλλευόμαστε 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).

Τα ιπτάμενα τρένα

Τα τρένα, όπως αυτό της φωτογραφίας, αιωρούνται πάνω από τις ράγες.

Μπορούν να αναπτύσσουν ταχύτητα μεγαλύτερη από 300 χιλιόμετρα την ώρα.



2.2 Ηλεκτρικό κύκλωμα

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

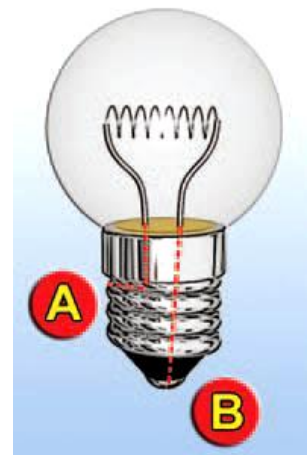
Κλειστό και ανοιχτό ηλεκτρικό κύκλωμα

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

Εικόνα 2.11

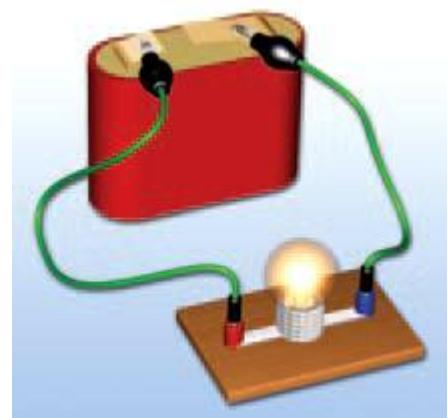
Λαμπτήρας πυράκτωσης

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

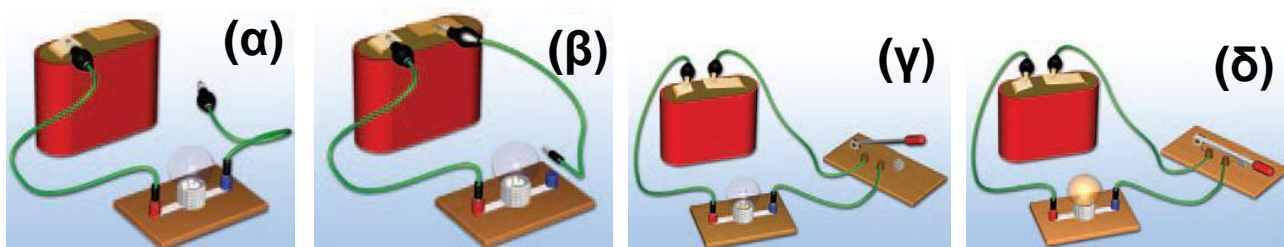


Εικόνα 2.12

Τρόπος σύνδεσης του λαμπτήρα με την μπαταρία ώστε να φωτοβολεί.



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).



Εικόνα 2.13

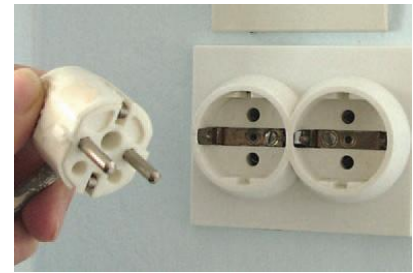
(α), (β), (γ) Ανοιχτό κύκλωμα. (δ) Κλειστό κύκλωμα.

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

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

Εικόνα 2.14

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



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 απόκαλούμε **ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος**.

Εικόνα 2.15

Μπαταρία αυτοκινήτου

Η χημική ενέργεια που περιέχεται στην μπαταρία μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



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 (εικόνες 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.

Εικόνα 2.16

Ηλεκτρική γεννήτρια

Σε μια ηλεκτρική γεννήτρια η κινητική ενέργεια μετατρέπεται σε ηλεκτρική.



Εικόνα 2.17

Φωτοστοιχεία σε διαστημικό σταθμό.



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.

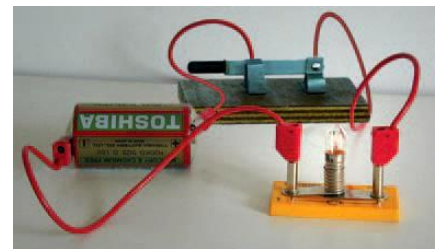
Με ποιο φυσικό μέγεθος συνδέεται η τάση της μπαταρίας;

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.

Εικόνα 2.18

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



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:

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

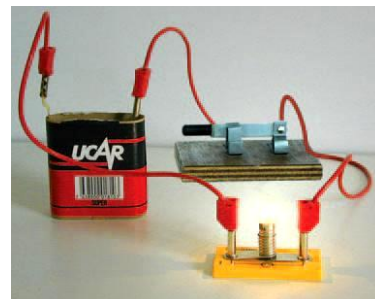
Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής τάσης (διαφοράς δυναμικού) στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων (S.I.) ονομάζεται Volt (1 V) και ορίζεται ως:

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

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).

Εικόνα 2.19.

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



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

Εικόνα 2.20

Αλεσάντρο Βόλτα (Volta)(1745-1827)

Ιταλός φυσικός που εφηύρε την ηλεκτρική στήλη, μια συνδεσμολογία από μπαταρίες. Στην εικόνα πίνακας ζωγραφικής με τον Βόλτα να επιδεικνύει στο Ναπολέοντα Βονα-πάρτη 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.



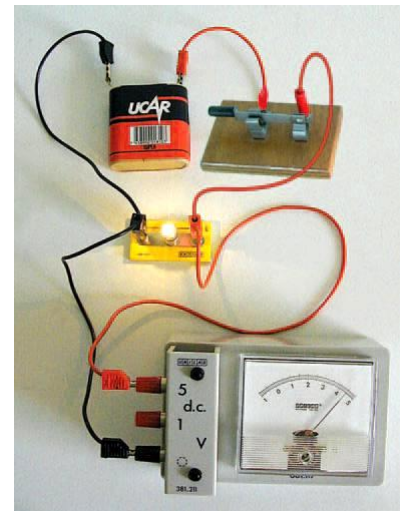
Διαφορά δυναμικού στα άκρα καταναλωτή

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;

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.



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:

α. ενός καταναλωτή είναι μηδέν όταν από αυτόν δεν διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα και

β. μιας μπαταρίας είναι διαφορετική από το μηδέν είτε διέρχεται από αυτή ηλεκτρικό ρεύμα είτε όχι.

Ταχύτητα των ηλεκτρονίων στο ηλεκτρικό κύκλωμα

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

στην πραγματικότητα ταξιδεύει διαμέσου των καλωδίων σύνδεσης με την ταχύτητα του φωτός. Με αυτή την ταχύτητα δεν κινούνται τα ηλεκτρόνια αλλά διαδίδεται το ηλεκτρικό πεδίο που προκαλεί την προσανατολισμένη κίνησή τους. Η ταχύτητα της προσανατολισμένης κίνησης των ηλεκτρονίων σ' έναν αγωγό τον οποίο διαρρέει 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.

Πρόλευση των ηλεκτρονίων σ' ένα κύκλωμα

Σ' ένα κατάστημα 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.

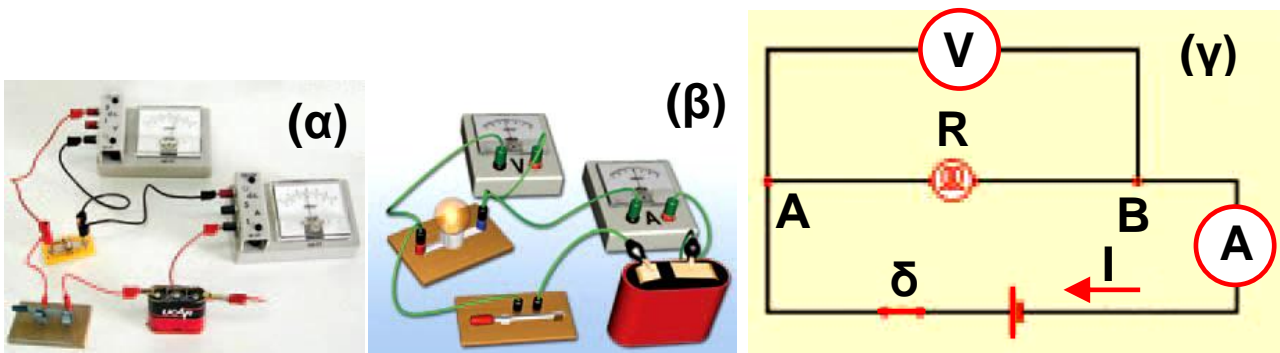


Εικόνα 2.22

Σχηματική αναπαράσταση των βασικών στοιχείων του κυκλώματος.

- | | |
|---------------------------|--------------------|
| 1. Αγωγός χωρίς αντίσταση | 2. Αντιστάτης |
| 3. Διακόπτης | 4. Ροοστάτης |
| 5. Πηγή | 6. Γείωση |
| 7. Δεν υπάρχει σύνδεση | 8. Υπάρχει σύνδεση |
| 9. Λαμπτήρας | 10. Βολτόμετρο |
| 11. Αμπερόμετρο | 12. Ασφάλεια |

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



Εικόνα 2.23

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα

(α) Φωτογραφία κυκλώματος.

(β) Καλλιτεχνική αναπαράσταση.

(γ) Σχηματική αναπαράσταση.

2.3 Ηλεκτρικά δίπολα

Εικόνα 2.24

Ηλεκτρικά δίπολα

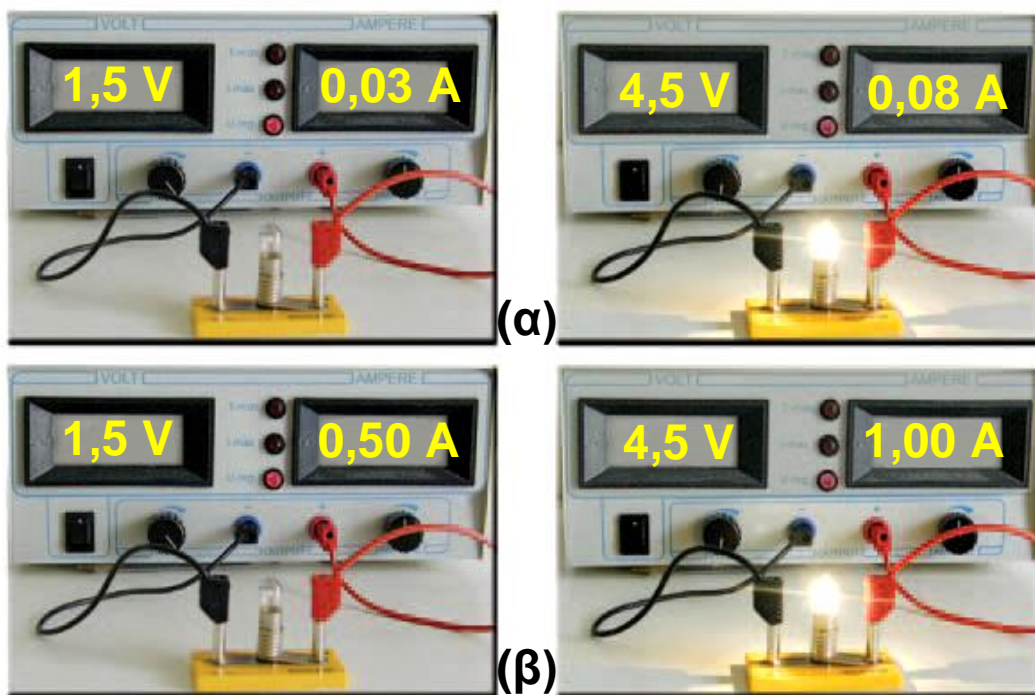
Κάθε ηλεκτρικό δίπολο: (α) έχει δύο άκρα και (β) μετατρέπει την ενέργεια του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει σε ενέργεια άλλης μορφής.



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 εικόνα 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.



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.

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 Ω μ (1 Ohm). Η αντίσταση είναι παράγωγο μέγεθος και η μονάδα της εκφράζεται με τη βοήθεια της σχέσης 2.4:

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

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».



Στην ηλεκτρολογία και στην ηλεκτρονική χρησιμοποιούνται και πολλαπλάσια του Ωμ: το κιλο-ωμ ($1 \text{ K}\Omega = 10^3 \Omega$) και το μεγα-ωμ ($1 \text{ M}\Omega = 10^6 \Omega$). 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 διαρρέει. Πρόκειται για τους απλούς αγωγούς που θα τους μελετήσουμε στην επόμενη παράγραφο.

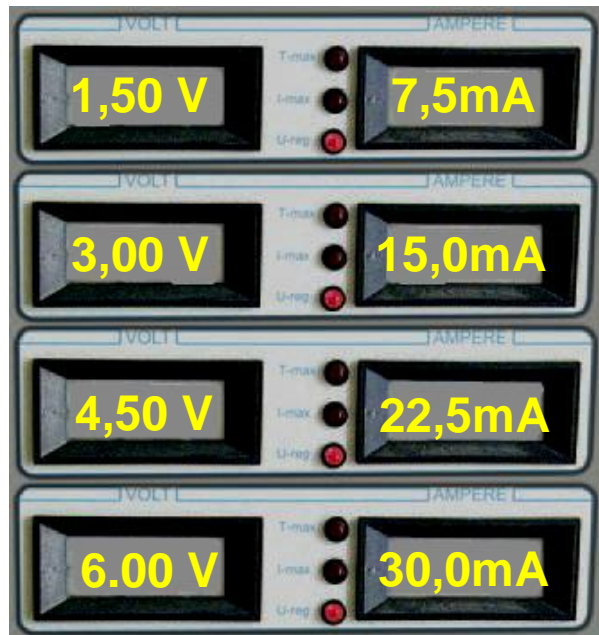
Νόμος του Ωμ

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 ηλε-

κτρικού ρεύματος που διαρρέει τον αγωγό με ένα αμπερόμετρο (εικόνα 2.27).



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

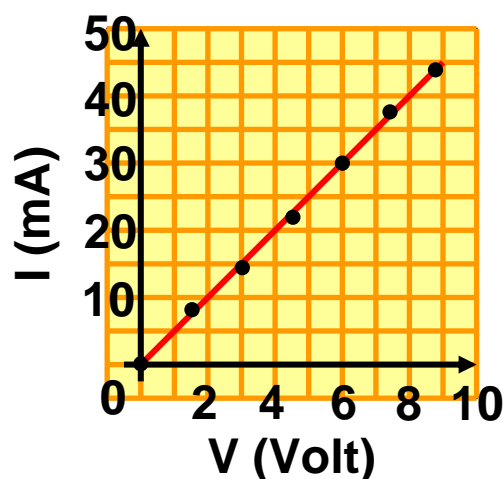
V (Volt)	I (mA)	$R = \frac{V}{I}$ $\left(\frac{\text{Volt}}{I} = \Omega\right)$
0	0	-
1,5	7,5	200
3,0	15,0	200
4,5	22,5	200
6,5	30,0	200
7,5	37,5	200
9,0	45,0	200

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 την τάση V που εφαρμόζουμε στα άκρα του (εικόνα 2.28).

Εικόνα 2.28

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



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 αντιστοιχών 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 2.29

Γκέοργκ Σιμόν Ωμ
(1787-1854)

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



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

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

Δηλαδή μπορούμε να πούμε ότι:

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

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

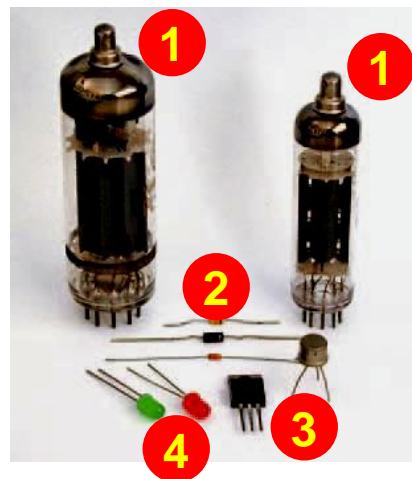
Ισχύει ο νόμος του Ωμ για κάθε ηλεκτρικό δίπολο;

Ας επαναλάβουμε το πείραμα της εικόνας 2.27, αλλά αυτή τη φορά στη θέση του μεταλλικού αγωγού ας τοποθετήσουμε μια κρυσταλλοδίοδο ή ένα λαμπτήρα

νέου (λαμπτήρας φωτεινών διαφημίσεων). Οι κρυσταλλοδιόδοι, οι ηλεκτρονικές λυχνίες και τα τρανζίστορ (εικόνα 2.30) είναι διατάξεις που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των ηλεκτρονικών συσκευών, όπως ραδιόφωνα, υπολογιστές, τηλεοράσεις κ.λπ.

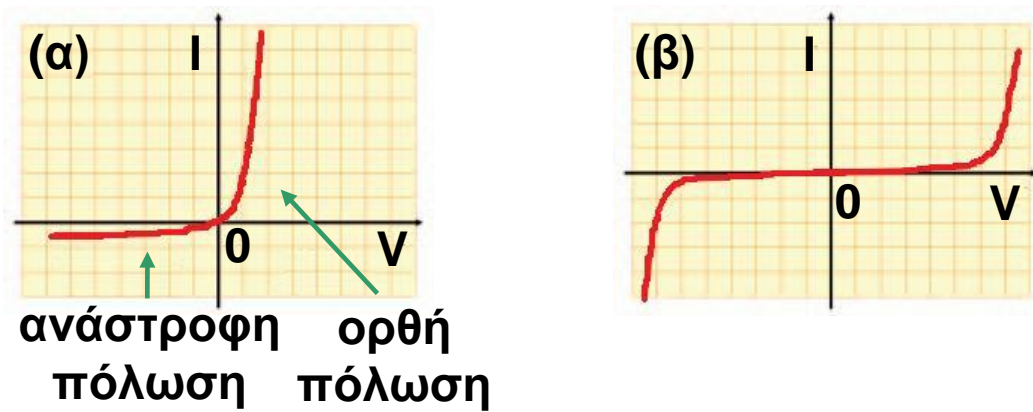
Εικόνα 2.30

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



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

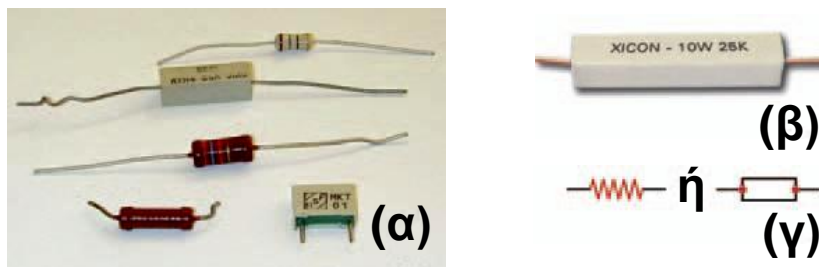
Αντίθετα οι μεταλλικοί αγωγοί, εφόσον διατηρούμε τη θερμοκρασία τους σταθερή, συμπεριφέρονται σύμφωνα με το νόμο του $\Omega\mu$. Δηλαδή η αντίστασή τους δεν μεταβάλλεται με την τάση που εφαρμόζεται στα άκρα τους. Γενικά με τον όρο αντιστάτη χαρακτηρίζουμε κάθε δίπολο που ικανοποιεί το νόμο του $\Omega\mu$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



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.

Οι αντιστάτες έχουν μια επιπλέον ιδιότητα: μετατρέπουν εξ ολοκλήρου την ηλεκτρική ενέργεια σε θερμική. Τη μετατροπή αυτή θα τη μελετήσουμε σε επόμενο κεφάλαιο.



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.

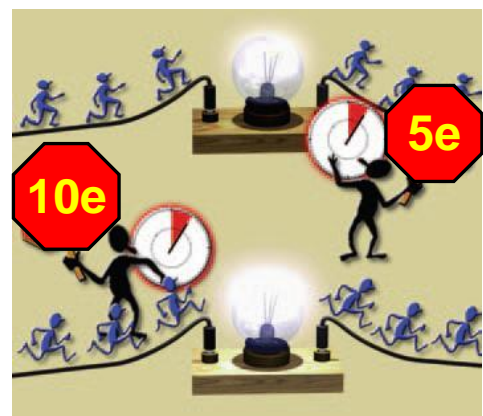
Νόμος του Ωμ και μικρόκοσμος

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

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

Εικόνα 2.33

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



Μικροσκοπική ερμηνεία της αντίστασης ενός μεταλλικού αγωγού

Στα άκρα δύο αντιστατών με διαφορετικές αντιστάσεις εφαρμόζουμε την ίδια τάση V (αίτιο). Σύμφωνα με

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

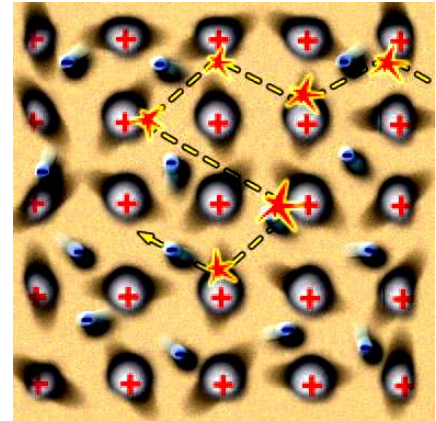
Ποια είναι η προέλευση της αντίστασης ενός αγωγού;

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

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

Εικόνα 2.34

Η ταχύτητα των ελεύθερων ηλεκτρονίων του μεταλλικού αγωγού μεταξύ των διαδοχικών συγκρούσεων αυξάνεται εξαιτίας της δύναμης που τους ασκεί το ηλεκτρικό πεδίο. Κατά τη σύγκρουση 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.

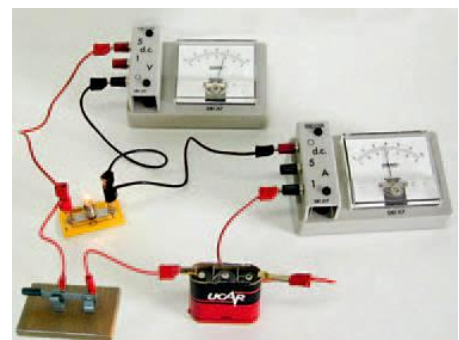
Δραστηριότητα

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;

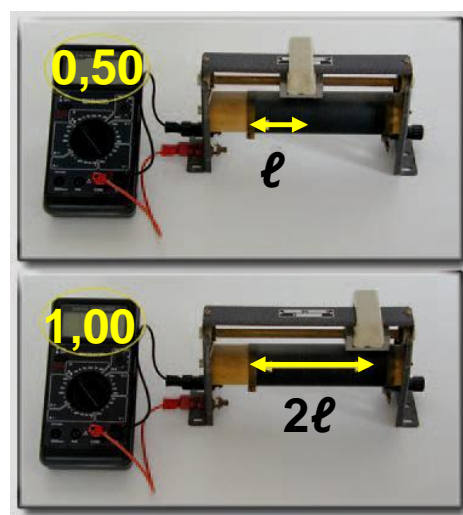
2.4 Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση του αγωγού

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

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

Εικόνα 2.35

Η αντίσταση ενός σύρματος είναι ανάλογη του μήκους του.

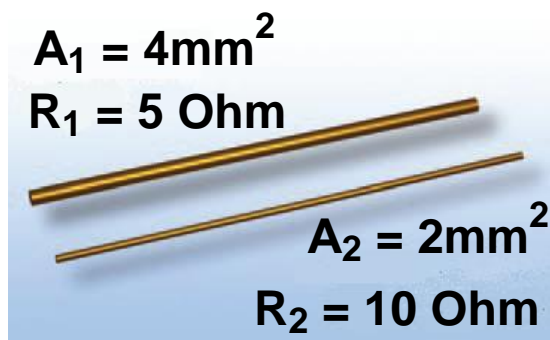


Εξάρτηση από το μήκος

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

Εικόνα 2.36

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



Εικόνα 2.37

Η αντίσταση των αγωγών αυξάνεται με τη θερμοκρασία.

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.

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 Ω μ 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;

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 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 $100^\circ C$ 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 $0^\circ C$ 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 $1/273^\circ C$.

Υπάρχουν ωστόσο αγωγοί από ορισμένα κράματα, όπως η конσταντάνη (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.

ΠΙΝΑΚΑΣ 2.2	
ΕΙΔΙΚΕΣ ΑΝΤΙΣΤΑΣΕΙΣ	
Υλικό	Ειδική αντίσταση $\Omega \cdot m$
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}

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

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

όπου το R_0 είναι η αντίσταση σε $0^{\circ} C$ και R_{θ} η αντίσταση σε κάποια θερμοκρασία θ .

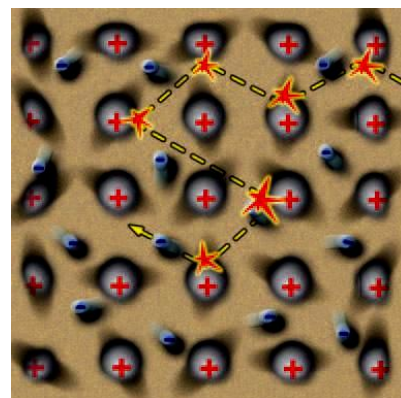
Πώς ερμηνεύεται η εξάρτηση της αντίστασης από τη θερμοκρασία;

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.

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.



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 απο-

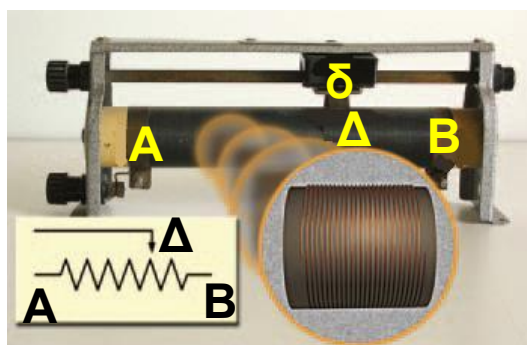
τελείται από ένα συρμάτινο αγωγό αρκετά μεγάλου μήκους, που είναι τυλιγμένος γύρω από ένα μονωτικό κύλινδρο. Κατά μήκος της επιφάνειας του κυλίνδρου μπορεί να μετακινείται, παραμένοντας σε αγώγιμη επαφή με τον αγωγό, ένας μεταλλικός δρομέας με μονωτική χειρολαβή (εικόνα 2.39).

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.



Πώς εξηγείται η λειτουργία του ροοστάτη;

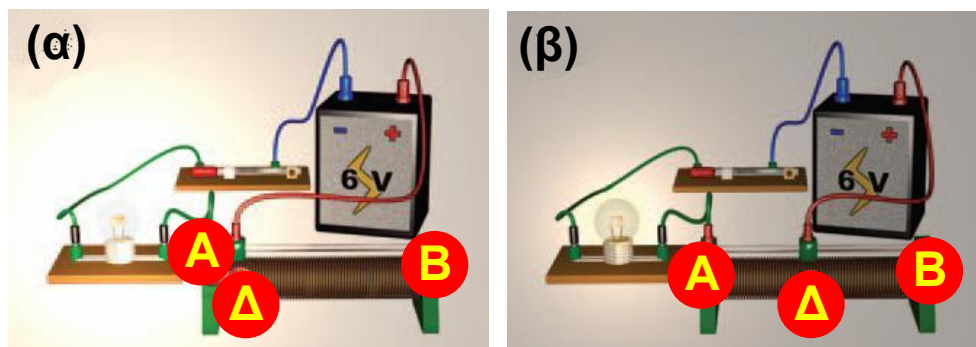
Στο κύκλωμα που εικονίζεται στην εικόνα 2.40α συνδέουμε ένα ροοστάτη (εικόνα 2.40β). Το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται μόνο από το τμήμα ΑΔ του αγωγού του ροοστάτη. Αν μετακινήσουμε το δρομέα δ προς το άκρο Β, το μήκος ΑΔ του αγωγού που περιλαμβάνεται στο κύκλωμα αυξάνεται. Όμως με την αύξηση του μήκους του 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 A του ροοστάτη.

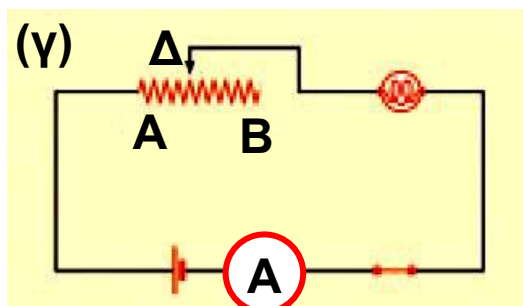


Εικόνα 2.40

(α) Κύκλωμα λαμπτήρα.

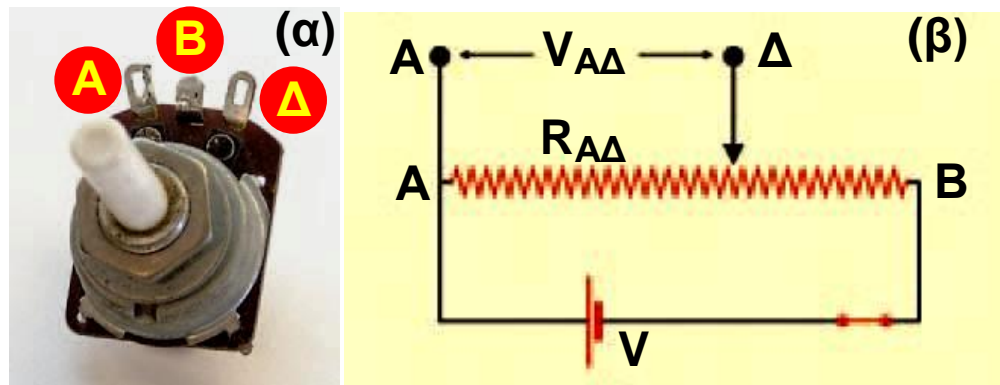
(β) Κύκλωμα λαμπτήρα με ροοστάτη.

(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.



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 A 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).



Εικόνα 2.41

(α) Ένας διακόπτης, ροοστάτης.

(β) Σχηματική αναπαράσταση του κυκλώματος του ποτενσιόμετρου.

Πώς το ποτενσιόμετρο διαιρεί την τάση

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

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

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

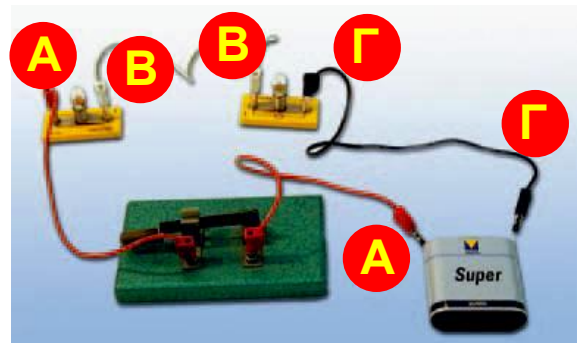
2.5 Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

Κύκλωμα σύνδεσης 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.



Εικόνα 2.42

Οι λαμπτήρες συνδέονται σε σειρά.

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

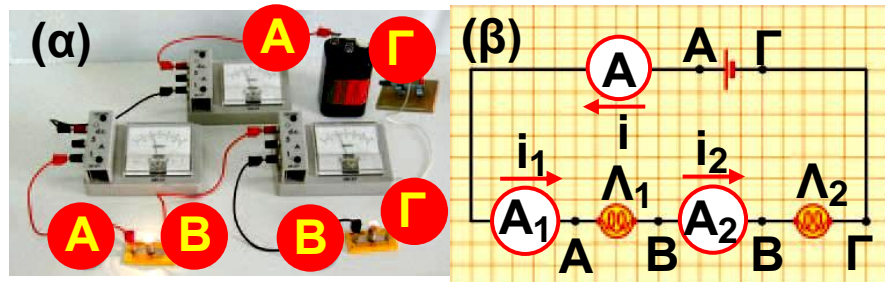
διέρχεται ηλεκτρικό ρεύμα ίδιας έντασης. Με άλλα λόγια σε ένα κύκλωμα σειράς η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος είναι ίδια σε όλα τα σημεία του ή συμβολικά:

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

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

Εικόνα 2.43

(α) Στο κύκλωμα παρεμβάλλουμε 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.

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 αριθμός 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.

Δραστηριότητα

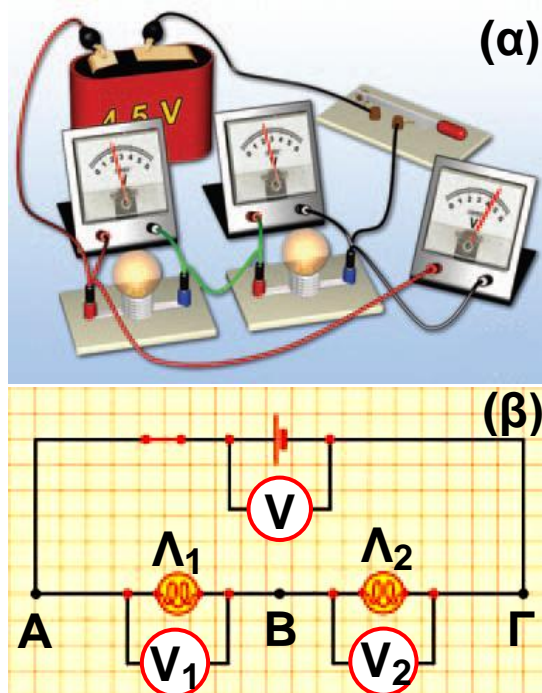
Λαμπάκια σε σειρά

- ▶ Πάρε μια μπαταρία των 4,5 Volt και δύο λαμπάκια των 2,5 Volt.
- ▶ Τοποθέτησε τα λαμπάκια σε δύο λυχνιολαβές και σύνδεσέ τα σε σειρά με την μπαταρία. Τα λαμπάκια ανάβουν.

- ▶ Τι προβλέπεις ότι θα συμβεί αν συνδέσεις το ένα λαμπάκι με τους πόλους της μπαταρίας;
- ▶ Κάνε τη σύνδεση για να επιβεβαιώσεις την πρόβλεψή σου.
- ▶ Ερμήνευσε το φαινόμενο.

Εικόνα 2.44

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



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

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

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

Η παραπάνω σχέση είναι αποτέλεσμα μιας από τις βασικότερες αρχές της φυσικής: της αρχής διατήρησης της ενέργειας. Είδαμε ότι η μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας ενός ηλεκτρικού φορτίου που κινείται μεταξύ δύο σημείων ενός κυκλώματος εκφράζεται από την

τάση μεταξύ των σημείων. Έτσι καθώς τα ηλεκτρόνια κινούνται από το Γ προς το Α (εικόνα 2.44β), η ηλεκτρική τους ενέργεια μεταβάλλεται. Η παραπάνω μεταβολή εκφράζεται από την $V_{ΑΓ}$. Η συνολική μεταβολή της ηλεκτρικής ενέργειας των ηλεκτρονίων θα είναι ίση με το άθροισμα των μεταβολών κατά τη διέλευσή τους από το Γ προς το Β και από το Β προς το Α, δηλαδή κατά τη διέλευσή τους από κάθε λαμπτήρα. Συμβολικά μπορούμε να γράψουμε:

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

Κύκλωμα σε παράλληλη σύνδεση

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

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

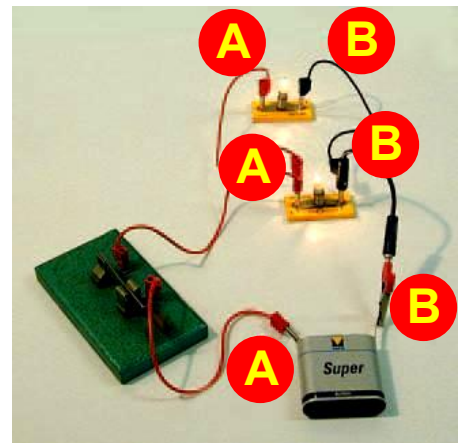
Σε ένα τέτοιο κύκλωμα συνδέουμε κατάλληλα βολτόμετρα και αμπερόμετρα ώστε να μετράμε τις τάσεις

στα άκρα των λαμπτήρων καθώς και τις εντάσεις των ρευμάτων που τους διαρρέουν (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). Ωστε ισχύει:

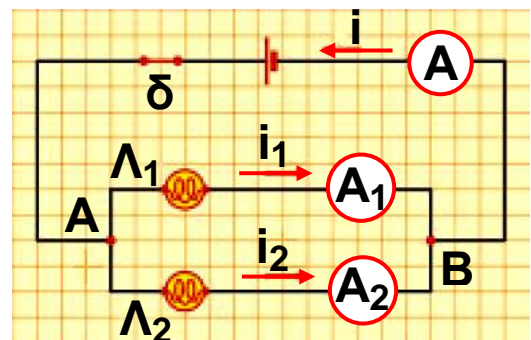
$$I = I_1 + I_2 \quad (2.13)$$



Εικόνα 2.45
Παράλληλη σύνδεση δύο λαμπτήρων.

Πώς θα μπορούσαμε να ερμηνεύσουμε την παρατήρησή μας αυτή;

Εικόνα 2.46
Σχηματική αναπαράσταση κυκλώματος παράλληλης σύνδεσης της εικόνας 2.45 με αμπερόμετρα.



Γνωρίζουμε ότι το ηλεκτρικό ρεύμα είναι κίνηση φορτισμένων σωματιδίων κατά μήκος των αγωγών του

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

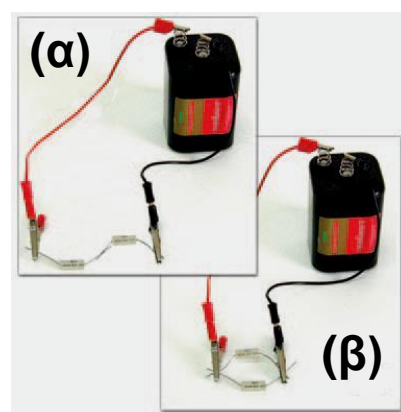
Σύνδεση αντιστατών

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

Εικόνα 2.47

(α) Αντιστάτες σε σειρά: τους διαρρέει το ίδιο ρεύμα.

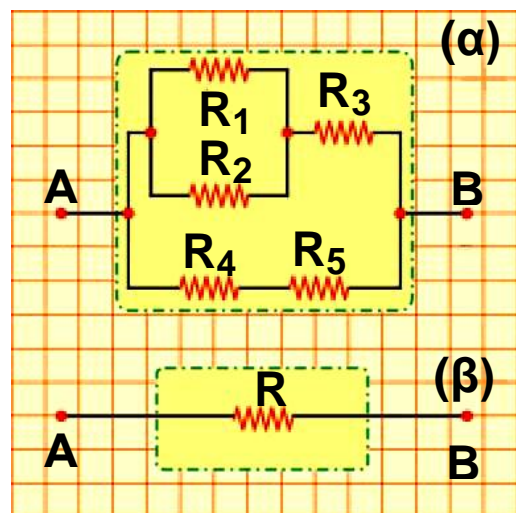
(β) Αντιστάτες σε παράλληλη σύνδεση: έχουν την ίδια τάση.



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).

Εικόνα 2.48

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



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

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

όπου V είναι η διαφορά δυναμικού που εφαρμόζουμε στα άκρα του συστήματος των αντιστατών και I η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που το διαρρέει (εικόνα 2.48β). Βέβαια ο νόμος του Ωμ μπορεί να εφαρμοστεί χωριστά και για κάθε μεμονωμένο αντιστάτη. Θα υπολογίσουμε την ισοδύναμη αντίσταση στις δύο απλούστερες όσο και θεμελιώδεις συνδέσεις αντιστατών: στην παράλληλη και στην κατά σειρά σύνδεση.

Σύνδεση δύο αντιστατών σε σειρά

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

$$V_{AB} = V_{AG} + V_{GB} \quad (2.15)$$

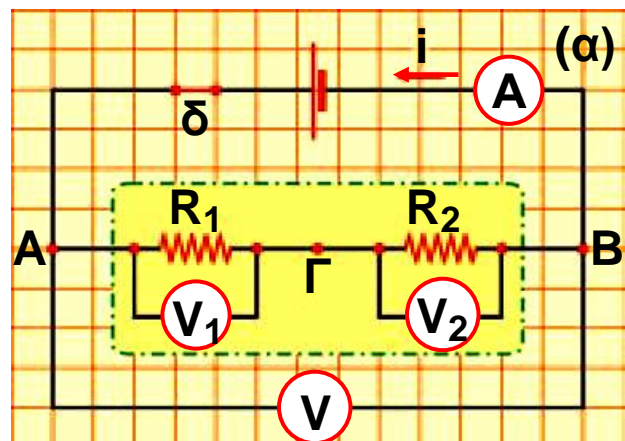
Συμβολίζουμε με R_1 και R_2 τις αντιστάσεις των δύο αντιστατών και εφαρμόζουμε το νόμο του $\Omega\mu$ σε κάθε αντιστάτη:

$$V_{AG} = I \cdot R_1 \quad (2.16)$$

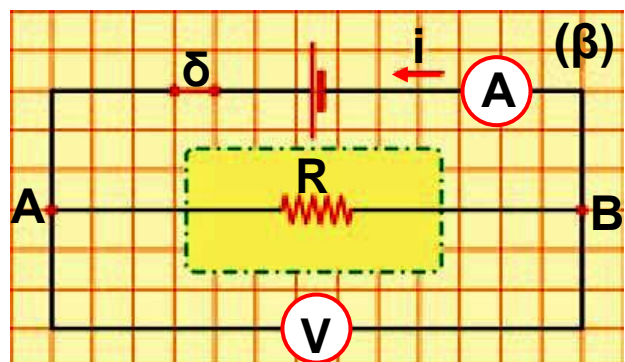
$$V_{GB} = I \cdot R_2 \quad (2.17)$$

Εικόνα 2.49

(α) Αντιστάτες συνδεδεμένοι σε σειρά.



(β) Η ισοδύναμη αντίσταση.



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 $\Omega\mu$, έχουμε:

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

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

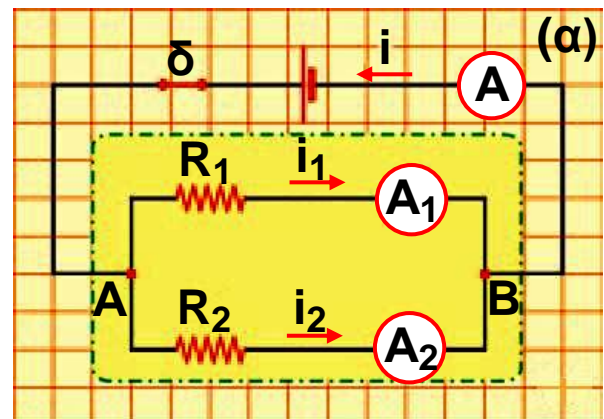
$$I \cdot R = I \cdot R_1 + I \cdot R_2 \quad \text{ή}$$

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

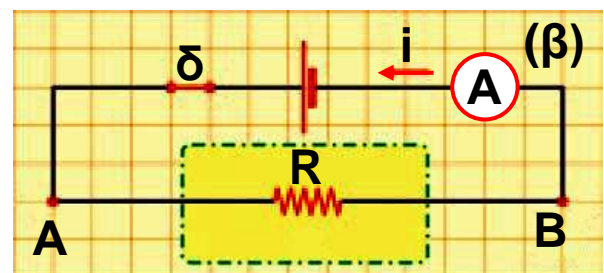
Η σχέση (2.19) δηλώνει ότι η ισοδύναμη αντίσταση δύο ή περισσότερων αντιστατών που συνδέονται σε σειρά είναι ίση με το άθροισμα των αντιστάσεων τους. Όσο περισσότεροι αντιστάτες προστίθενται σ' ένα κύκλωμα σειράς τόσο η ισοδύναμη αντίσταση αυξάνεται.

Εικόνα 2.50

(α) Αντιστάτες συνδεδεμένοι παράλληλα.



(β) Η ισοδύναμη αντίσταση.



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 βοή-

θεια των αμπερόμετρων A , A_1 και A_2 διαπιστώνουμε ότι:

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

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

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

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:

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

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \quad (2.22)$$

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.

Δραστηριότητα

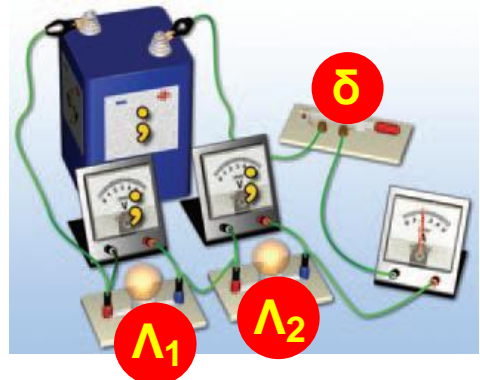
Λαμπήρες σε παράλληλη σύνδεση

- ▶ 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.

Παράδειγμα 2.1

Στους πόλους ηλεκτρικής πηγής συνδέεις δύο λαμπτήρες Λ_1 και Λ_2 σε σειρά. Κλείνεις το διακόπτη δ , οπότε παρατηρείς ότι η ένδειξη του αμπερόμετρου γίνεται $0,2 \text{ A}$. Αν γνωρίζεις ότι οι αντιστάσεις των λαμπτήρων είναι 20Ω και 40Ω 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	Αντίσταση του Λ_1 : $R_1 = 20 \Omega$ Αντίσταση του Λ_2 : $R_2 = 40 \Omega$ Ένταση του ρεύματος που διαρρέει το κύκλωμα: $I = 0,2 \text{ A}$
Ζητούμενα	Τάση Λ_1 : V_1 Τάση Λ_2 : V_2 Τάση στα άκρα του κυκλώματος: V Ισοδύναμη αντίσταση: R
Βασική εξίσωση	Νόμος του $\Omega\mu$ $V = I \cdot R$ $V = V_1 + V_2$

Λύση

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

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

Βήμα 3:

Διαπιστώνουμε τους τρόπους σύνδεσης των αντιστατών.

Οι R_1 και R_2 συνδέονται σε σειρά. Από τους δύο αντιστάτες διέρχεται το ίδιο ηλεκτρικό ρεύμα έντασης $I=0,2 \text{ A}$.

Εφαρμόζουμε για κάθε καταναλωτή τη βασική εξίσωση:

Λαμπτήρας 1

$$V_1 = I \cdot R_1, V_1 = (0,2 \text{ A}) \cdot (20 \ \Omega) = 4 \text{ V}, \text{ \u0394}\text{στε: } V_1 = 4 \text{ V}$$

Λαμπτήρας 2

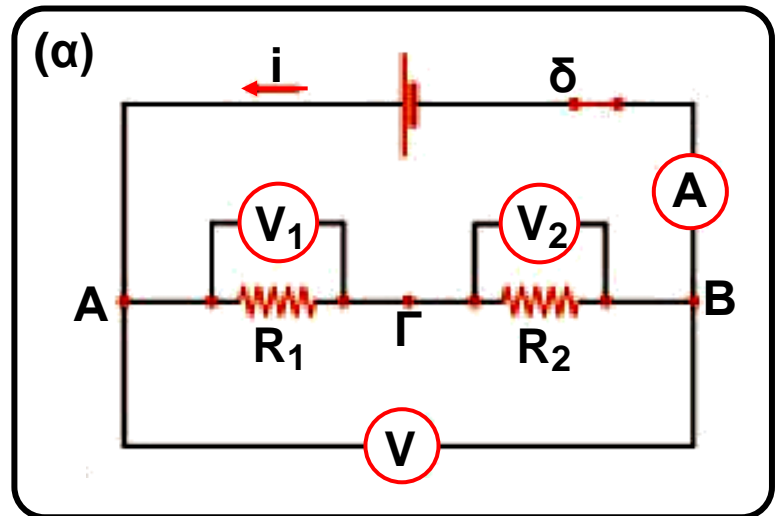
$$V_2 = I \cdot R_2, V_2 = (0,2 \text{ A}) \cdot (40 \ \Omega) = 8 \text{ V}, \text{ \u0394}\text{στε: } V_2 = 8 \text{ V}$$

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 αντίσταση τους δίνεται από τη σχέση:

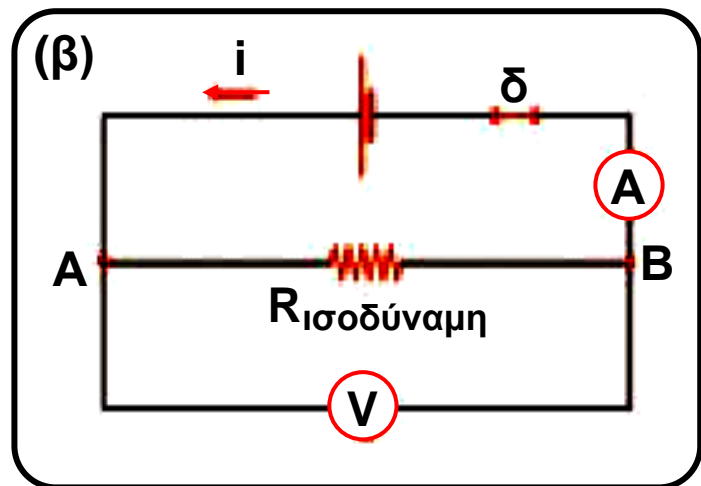
$$R_{\text{ισο}\delta} = R_1 + R_2 \quad \text{\u0394}\text{ \u0394}$$

$$R_{\text{ισο}\delta} = (20 \ \Omega) + (40 \ \Omega) = 60 \ \Omega \quad \text{\u0394}\text{στε: } R_{\text{ισο}\delta} = 60 \ \Omega.$$

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



Εικόνα α



Εικόνα β

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} :

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

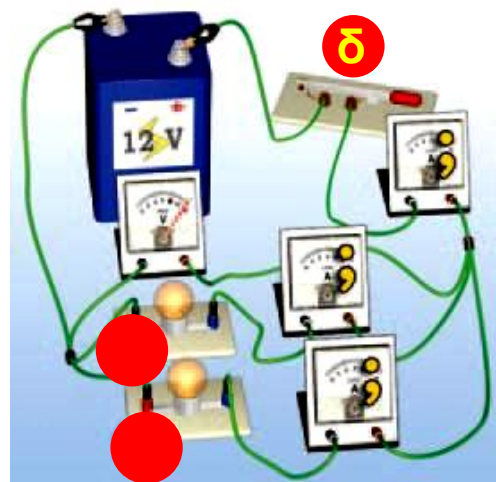
2. Από το ισοδύναμο κύκλωμα: Εφαρμόζουμε το νόμο του Ω για την ισοδύναμη αντίσταση:

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

Παράδειγμα 2.2

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

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



Δεδομένα

Αντίσταση του Λ_1 : $R_1 = 20 \Omega$

Αντίσταση του Λ_2 : $R_2 = 40 \Omega$

Τάση στα άκρα AB του κυκλώματος: $V = 12 \text{ V}$

Ζητούμενα	<p>Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον Λ_1: I_1</p> <p>Ένταση ρεύματος που διαρρέει τον Λ_2: I_2</p> <p>Ένταση του ρεύματος που διαρρέει την ισοδύναμη αντίσταση: R</p>
Βασική εξίσωση	<p>Νόμος του $\Omega\mu$</p> $I = \frac{V}{R}, \quad I = I_1 + I_2$

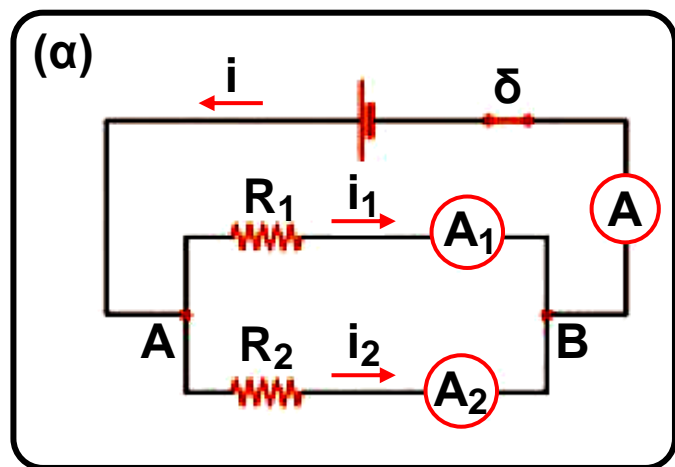
Λύση

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

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

Βήμα 3: Διαπιστώνουμε τους τρόπους σύνδεσης των αντιστατών.

Οι R_1 και R_2 συνδέονται παράλληλα. Στα άκρα τους Α, Β υπάρχει κοινή τάση που είναι ίση με την τάση των πόλων της πηγής (V). Εφαρμόζουμε για κάθε αντιστάτη τη βασική εξίσωση:



Εικόνα α

Λαμπτήρας 1

$$I_1 = \frac{V}{R_1}, \quad I_1 = \frac{12 \text{ V}}{20 \ \Omega} \quad \text{Ώστε } I_1 = 0,6 \text{ A}$$

Λαμπτήρας 2

$$I_2 = \frac{V}{R_2}, \quad I_2 = \frac{12 \text{ V}}{60 \ \Omega} \quad \text{Ώστε } I_2 = 0,2 \text{ A}$$

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

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

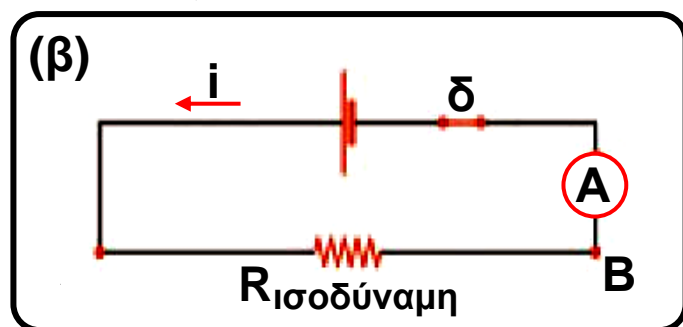
Οι αντιστάτες R_1 και R_2 είναι συνδεδεμένοι

παράλληλα. Επομένως η ισοδύναμη αντίστασή τους δίνεται από τη σχέση:

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

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

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



Εικόνα β

► Χρησιμοποίησε και εφάρμοσε τις έννοιες που έμαθες:

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

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

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

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

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

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

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

ενώ το θερμοστοιχείο τηενέργεια σε ηλεκτρική.

ε. Ονομάζουμε ηλεκτρική ή διαφορά ($V_{\text{πηγής}}$) μεταξύ των δύο πόλων μιας ηλεκτρικής πηγής το πηλίκο της ($E_{\text{ηλεκτρική}}$) 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:

α. Ηλεκτρική (R) ενός ηλεκτρικού διπόλου ονομάζεται το πηλίκο της (V) που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου προς την (I) του που το διαρρέει:

$R = \frac{\dots\dots\dots}{\dots\dots}$. Η μονάδα αντίστασης στο Διεθνές Σύστημα

Μονάδων είναι το ($1 \dots\dots$).

β. Η αντίσταση του μεταλλικού αγωγού προέρχεται από τις των ελεύθερων ηλεκτρονίων με τα του μετάλλου.

γ. 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

δ. Κάθε δίπολο που ικανοποιεί το νόμο του Ωμ ονομάζεται και έχει την ιδιότητα να μετατρέπει εξ ολοκλήρου τηνενέργεια σε

ε. Η αντίσταση ενός μεταλλικού σύρματος σταθερής διατομής σε όλο το μήκος του: i) είναι του του (ℓ), του εμβαδού (A) της διατομής του, ii) εξαρτάται από το του από το οποίο είναι κατασκευασμένο το σύρμα και από τη του αγωγού.

στ. Όταν ο μεταβλητός αντιστάτης χρησιμοποιείται για να ρυθμίζουμε την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει μια συσκευή ονομάζεται , ενώ για να ρυθμίζουμε την ηλεκτρική τάση που εφαρμόζεται στους πόλους της ονομάζεται

Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων

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

α. 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

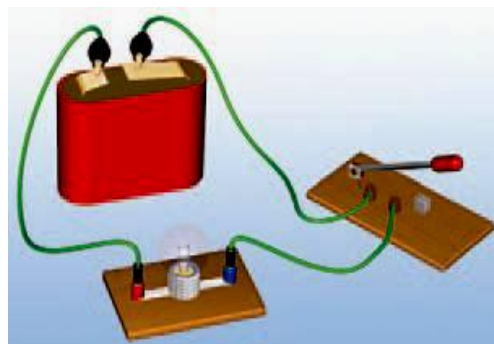
β. Η ένταση (I) του ολικού ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει ένα κύκλωμα δύο λαμπτήρων συνδεδεμένων παράλληλα είναι ίση με το των (I_1 και I_2) των που διαρρέουν τους δύο

λαμπτήρες. Αυτό είναι αποτέλεσμα της αρχής
του

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

Ηλεκτρικό ρεύμα και ηλεκτρικό κύκλωμα

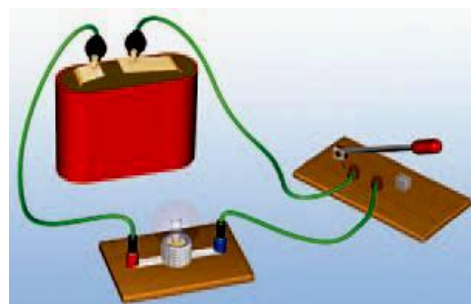
4. Να πραγματοποιήσεις το κύκλωμα που παριστάνεται στην διπλανή εικόνα. Ζωγράφισε στο τετράδιό σου τη σχηματική του αναπαράσταση. Να περιγράψεις τι θα συμβεί μετά το κλείσιμο του διακόπτη χρησιμοποιώντας τις έννοιες «ηλεκτρική τάση», «ηλεκτρικό ρεύμα», «ηλεκτρικό κύκλωμα», «ηλεκτρικό πεδίο», «ελεύθερα 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.

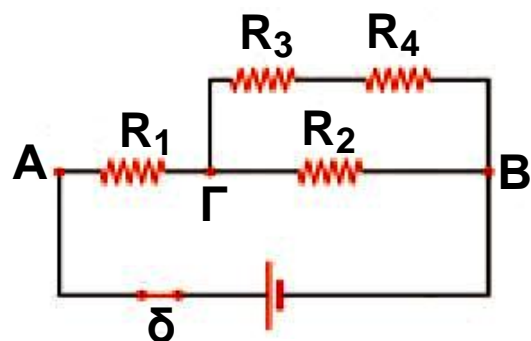
στ. Δεν μεταβάλλεται αν διπλασιάσουμε συγχρόνως το μήκος του αγωγού και το εμβαδόν της διατομής του. Να αιτιολογήσεις περιληπτικά τις απαντήσεις σου.

8. Η αντίσταση ενός αγωγού διπλασιάζεται όταν διπλασιάζουμε την ηλεκτρική τάση στα άκρα του. Υπακούει ο αγωγός αυτός στο νόμο του $\Omega\mu$; 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 λαμπτή-

ρες 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 $320 \mu\text{A}$. 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 τετράδιο 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 αυτοκίνητου - παιχνιδιού υπακούει στο νόμο του Ωμ. Πραγματοποιεί το κύκλωμα της διπλανής εικόνας. Μεταβάλλει την τάση που εφαρμόζεται στους πόλους του διπόλου



ΠΙΝΑΚΑΣ Α1	
Τάση (Volt)	Ένταση (mA)
2	30
4	40
6	35
8	47
10	61

(κινητήρα) και με ένα αμπερόμετρο μετρά την ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που τον διαρρέει. Καταγράφει

τα αποτελέσματα των μετρήσεων του στον πίνακα Α1. Ποιο τρόπο επεξεργασίας των δεδομένων του πίνακα θα πρότεινες στο μαθητή προκειμένου να απαντήσει στο ερώτημά του; Αιτιολόγησε την πρότασή σου.

6. Ένα σύρμα από χρωμονικελίνη έχει μήκος 47,1 m και διάμετρο 2 mm. Να υπολογίσεις την αντίσταση του σύρματος της χρωμονικελίνης λαμβάνοντας υπόψη τα δεδομένα του πίνακα 2.2 της σελίδας 50.

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

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 $V = 6 \text{ V}$.

Να υπολογίσεις:

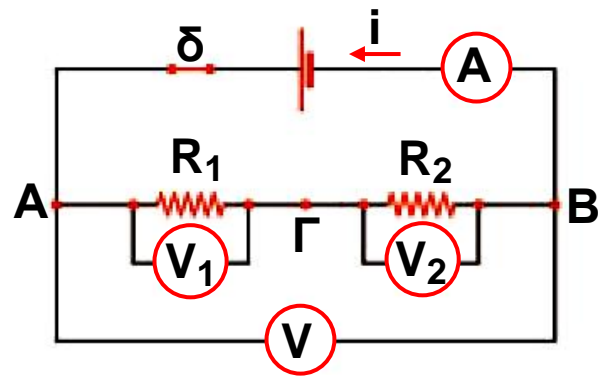
α. την ισοδύναμη αντίσταση του κυκλώματος καθώς και

την ένδειξη του αμπερομέτρου

β. την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_1

γ. την ένταση του ρεύματος που διαρρέει τον αντιστάτη R_2

δ. τις ενδείξεις των βολτομέτρων V_1 και V_2 .

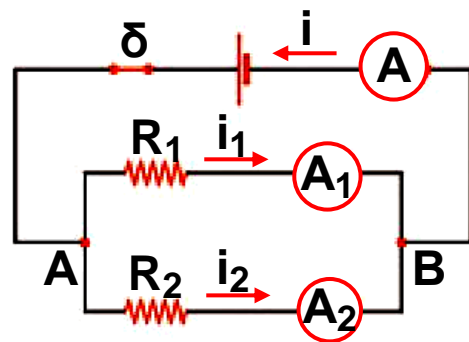


10. Διαθέτουμε μια μπαταρία, ένα αμπερόμετρο, δύο αντιστάτες αντιστάσεων $R_1 = 60 \Omega$ και $R_2 = 30 \Omega$ και καλώδια. Πραγματοποιούμε το κύκλωμα της διπλανής εικόνας. Μετά το κλείσιμο του διακόπτη η ένδειξη του αμπερομέτρου είναι $I = 0,3 \text{ A}$.

α. Πόση είναι η ισοδύναμη αντίσταση του συστήματος των δύο αντιστατών;

β. Υπολόγισε την τάση στα άκρα του συστήματος των δύο αντιστατών και στους πόλους της πηγής.

γ. Πόση είναι η ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος που διαρρέει κάθε αντιστάτη;



ΠΕΡΙΛΗΨΗ

- Η προσανατολισμένη κίνηση των ελεύθερων ηλεκτρονίων κατά μήκος ενός μεταλλικού σύρματος ονομάζεται ηλεκτρικό ρεύμα. Για να προκαλέσουμε ηλεκτρικό ρεύμα, πρέπει στα άκρα του σύρματος να συνδέσουμε τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής οπότε στο εσωτερικό του δημιουργείται ηλεκτρικό πεδίο.
- Το ηλεκτρικό ρεύμα μεταφέρει ηλεκτρική ενέργεια. Η ενέργεια αυτή μετατρέπεται σε ενέργεια άλλων μορφών, όταν το ηλεκτρικό ρεύμα διέρχεται από τους ηλεκτρικούς καταναλωτές (λαμπτήρες, κινητήρες, κ.λπ.).
- Ένταση του ηλεκτρικού ρεύματος ονομάζεται το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου που μεταφέρουν τα φορτισμένα σωματίδια κατά τη διέλευσή τους από μια διατομή του αγωγού προς το αντίστοιχο χρονικό διάστημα (π.χ. σε ένα δευτερόλεπτο).
- Διαφορά δυναμικού ή ηλεκτρική τάση ονομάζεται το πηλίκο που έχει ως αριθμητή την ηλεκτρική ενέργεια που μεταφέρεται προς (ή από) ηλεκτρόνια και παρονομαστή 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

Περιεχόμενα 1ου τόμου

Πρόλογος	7
----------------	---

ΕΝΟΤΗΤΑ 1 ΗΛΕΚΤΡΙΣΜΟΣ

Κεφάλαιο 1. Ηλεκτρική δύναμη και φορτίο

ΑΠΟ ΤΟ ΚΕΧΡΙΜΠΑΡΙ ΣΤΟΝ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ

ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΗ	12
------------------	----

1.1. Γνωριμία με την ηλεκτρική δύναμη	13
---	----

1.2. Το ηλεκτρικό φορτίο	16
--------------------------------	----

1.3. Το ηλεκτρικό φορτίο στο εσωτερικό του ατόμου .	21
---	----

1.4. Τρόποι ηλέκτρισης και η μικροσκοπική ερμηνεία	26
---	----

1.5. Νόμος του Κουλόμπ.....	40
-----------------------------	----

1.6. Το ηλεκτρικό πεδίο	45
-------------------------------	----

Κεφάλαιο 2. Ηλεκτρικό ρεύμα

ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΡΕΥΜΑ ΚΑΙ ΣΥΓΧΡΟΝΟΣ

ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΣ	70
------------------	----

2.1. Το ηλεκτρικό ρεύμα	71
-------------------------------	----

2.2. Ηλεκτρικό κύκλωμα.....	80
-----------------------------	----

2.3. Ηλεκτρικά δίπολα.....	91
----------------------------	----

2.4. Παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η αντίσταση αγωγού	103
--	-----

2.5. Εφαρμογές αρχών διατήρησης στη μελέτη απλών ηλεκτρικών κυκλωμάτων.....	112
--	-----

Με απόφαση της Ελληνικής Κυβέρνησης τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου και του Λυκείου τυπώνονται από τον Οργανισμό Εκδόσεως Διδακτικών Βιβλίων και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν βιβλιόσημο προς απόδειξη της γνησιότητάς τους. Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δε φέρει βιβλιόσημο, θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7, του Νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946, 108, Α΄).



Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου.

