

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

ΦΥΣΙΚΗ



Β΄ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Γενικής Παιδείας

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Φυσική

Γενικής Παιδείας

Β΄ ΤΑΞΗ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

Νίκος Αλεξάκης
Σταύρος Αμπατζής
Γιώργος Γκονγκούσης
Βαγγέλης Κουντούρης
Νίκος Μοσχοβίτης
Σάββας Οβαδίας
Κλεομένης Πετρόχειλος

Μενέλαος Σαμπράκος
Αργύρης Ψαλίδας
Πέτρος Γεωργακάκος
Αθανάσιος Σκαλωμένος
Νικόλαος Σφαρνάς
Ιωάννης Χριστακόπουλος

Η συγγραφή και η επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

Το κεφάλαιο 1 προέρχεται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Β' τάξης Γενικού Λυκείου», ΙΤΥΕ «Διόφαντος» 2013

Το κεφάλαιο 2 προέρχεται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Α' τάξης Γενικού Λυκείου», ΙΤΥΕ «Διόφαντος» 2013

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

Αλεξάκης Νίκος, Msc φυσικός, καθηγητής 5ου Λυκείου Κορυδαλλού

Αμπατζής Σταύρος, Δρ φυσικός, καθηγητής Γενναδείου Σχολής

Γκουγκούσης Γιώργος, φυσικός, ιδιοκτήτης - διευθυντής φροντιστηρίου

Κουντούρης Βαγγέλης, φυσικός, καθηγητής 1ου Γυμνασίου Ιλίου

Μοσχοβίτης Νίκος, φυσικός, καθηγητής εκπ/ρίων Κωστέα - Γείτονα

Οβαδίας Σάββας, φυσικός, καθηγητής Λυκείου Ν. Αρτάκης

Πετρόχειλος Κλεομένης, φυσικός, καθηγητής Αμερικανικού Κολλεγίου

Σαμπράκος Μενέλαος, φυσικός, ιδιοκτήτης - διευθυντής φροντιστηρίου

Ψαλίδας Αργύρης, Δρ φυσικός, καθηγητής Κολλεγίου Αθηνών

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗΣ ΟΜΑΔΑΣ

Πετρόχειλος Κλεομένης, φυσικός, καθηγητής Αμερικανικού Κολλεγίου

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΕΝΘΕΤΑ

Καζαντζή Μαρία, φυσικός, καθηγήτρια β/θμιας εκπαίδευσης

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ

Ραγιαδάκος Χρήστος, πάρεδρος στον τομέα Φυσικών Επιστημών του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Χριστοδούλου Ειρήνη, φιλόλογος

ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΕΝΤΥΠΟΥ

ΚΑΙ ΚΑΛΛΙΤΕΧΝΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Παπαζαχαροπούλου Μαρία

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Γαβριηλίδου Δανάη

ΜΑΚΕΤΤΑ ΕΞΩΦΥΛΛΟΥ:

«ΑΦΟΙ ΠΕΡΓΑΜΑΛΗ»

Τα κεφάλαια 3 και 4 προέρχονται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Γ' τάξης Γενικού Λυκείου», ΙΤΥΕ «Διόφαντος» 2013

ΟΜΑΔΑ ΣΥΓΓΡΑΦΗΣ

Πέτρος Γεωργακάκος, φυσικός, καθηγητής 3ου Λυκείου Ηλιούπολης

Αθανάσιος Σκαλωμένος, φυσικός, καθηγητής 1ου Λυκείου Ζωγράφου

Νικόλαος Σφαρνάς, φυσικός, καθηγητής 56ου Λυκείου Αθηνών

Ιωάννης Χριστακόπουλος, φυσικός, καθηγητής του Ε.Π.Λ. Νέας Φιλαδέλφειας «Μίλτος Κουντουράς»

ΟΜΑΔΑ ΚΡΙΣΗΣ

Ευάγγελος Κούκλης, φυσικός, καθηγητής 6ου Λυκείου Ζωγράφου

Σπύρος Τζαμαρίας, φυσικός στοιχειωδών σωματιδίων. Κύριος ερευνητής Ε.Κ.Ε.Φ.Ε. «Δημόκριτος»

Χρήστος Χρονόπουλος, φυσικός, καθηγητής 4ου Λυκείου Αμαρουσίου

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΣΤΟ ΠΛΑΙΣΙΟ

ΤΟΥ ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟΥ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟΥ

Χρήστος Δούκας, πάρεδρος Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, τομέας Φυσικών Επιστημών

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Μαιρίτα Κλειδωνάρη, φιλόλογος, καθηγήτρια Λυκείου Αγίου Στεφάνου

Επιθυμούμε από τη θέση αυτή να ευχαριστήσουμε: την Ένωση Ελλήνων Φυσικών, τον καθηγητή του Πανεπιστημίου Αθηνών κ. Αθανάσιο Λαχανά, το Παιδαγωγικό Ινστιτούτο, τους συναδέλφους Γιώργο Σουβατζόγλου, Χρήστο Κωνσταντάκο, Γιάννη Γιαμάκη και Άγγελο Ελευθερίου και όλους τους συναδέλφους, για τις χρήσιμες παρατηρήσεις τους κατά τη διάρκεια της συγγραφής και την πολύμορφη βοήθεια που μας προσέφεραν.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας, η οποία δημιουργήθηκε με χρηματοδότηση από το ΕΣΠΑ / ΕΠ «Εκπαίδευση & Διά Βίου Μάθηση» / Πράξη «ΣΤΗΡΙΖΩ».



Ευρωπαϊκή Ένωση
Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο



ΕΠΙΧΕΙΡΗΣΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΣΗ ΚΑΙ ΔΙΑ ΒΙΟΥ ΜΑΘΗΣΗ
ανάπτυξη στην κοινωνία της γνώσης
ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ & ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ, ΠΟΛΙΤΙΣΜΟΥ & ΑΘΛΗΤΙΣΜΟΥ
ΕΙΔΙΚΗ ΥΠΗΡΕΣΙΑ ΔΙΑΧΕΙΡΙΣΗΣ

Με τη συγχρηματοδότηση της Ελλάδας και της Ευρωπαϊκής Ένωσης



ΕΣΠΑ
2007-2013
Πρόγραμμα για τη γνώση
ΕΥΡΩΠΑΪΚΟ ΚΟΙΝΩΝΙΚΟ ΤΑΜΕΙΟ

Οι αλλαγές που ενσωματώθηκαν στην παρούσα έκδοση έγιναν με βάση τις διορθώσεις του Ινστιτούτου Εκπαιδευτικής Πολιτικής.

Περιεχόμενα

1	Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων	
	Εισαγωγικό ένθετο	5
1.1	Ο νόμος του Coulomb	13
1.2	Ηλεκτρικό πεδίο	17
1.3	Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια	23
1.4	Δυναμικό - Διαφορά δυναμικού	26
1.5	Πυκνωτές	30

	Σ' αυτή την ενότητα μάθαμε	36
	Στρατηγική επίλυσης προβλημάτων	37
	Ερωτήσεις - Δραστηριότητες	43
	Προβλήματα	51
	Ένθετο: Κεραυνός	57
	Ένθετο: Αλεξικέραυνο	58
	Ένθετο: Πυκνωτές και ανθρώπινο σώμα	58
	Ένθετο: Βενιαμίν Φραγκλίνος	58

2	Συνεχές ηλεκτρικό ρεύμα	
2.1	Ηλεκτρικές πηγές	63
2.2	Ηλεκτρικό ρεύμα	63
2.3	Κανόνες του Kirchhoff	68
2.4	Αντίσταση (ωμική) - Αντιστάτης	72
2.5	Συνδεσμολογία αντιστατών (αντιστάσεων)	80
2.6	Ρυθμιστική (μεταβλητή) αντίσταση	86
2.7	Ενέργεια και ισχύς του ηλεκτρικού ρεύματος	88
2.8	Ηλεκτρεγερτική δύναμη (ΗΕΔ) πηγής	96
2.9	Νόμος του Ohm για κλειστό κύκλωμα	98
2.10	Αποδέκτες	102
2.11	Δίοδος	102

	Περίληψη	108
	Στρατηγική επίλυσης προβλημάτων	111
	Λυμένα προβλήματα	113
	Ερωτήσεις - Δραστηριότητες	119
	Προβλήματα	129
	Ένθετο: Α. Ηλεκτρική εγκατάσταση σπιτιού ηλεκτρικές συσκευές	135
	Ένθετο: Β. Οι ημιαγωγοί στη ζωή μας	140

3	Το Φως	
3.1	Η φύση του φωτός	147
3.2	Η ταχύτητα του φωτός	150
3.3	Μήκος κύματος και συχνότητα του φωτός κατά τη διάδοση του	152
3.4	Ανάλυση λευκού φωτός και χρώματα	154
3.5	Πόλωση του φωτός	159

	Ελεύθερο ανάγνωσμα	167
	Δραστηριότητα	169
	Σύνοψη 3ου κεφαλαίου	170
	Ερωτήσεις	171
	Ασκήσεις και προβλήματα	173

4	Ατομικά φαινόμενα	
4.1	Ενέργεια του Ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου	177
4.2	Διακριτές ενεργειακές στάθμες	185
4.3	Μηχανισμός παραγωγής και απορρόφησης φωτονίων	187
4.4	Ακτίνες Χ	190

	Σύνοψη 4ου κεφαλαίου	196
	Ερωτήσεις	197
	Ασκήσεις και προβλήματα	200
	Αιτιοκρατία και κβαντομηχανική	202

(1 ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ)



- 1.1 Ο νόμος του Coulomb
- 1.2 Ηλεκτρικό πεδίο - Ένταση - Δυναμικές γραμμές
- 1.3 Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια
- 1.4 Δυναμικό - Διαφορά δυναμικού
- 1.5 Πυκνωτές

Εισαγωγικό ένθετο

Όλοι είχαμε την εμπειρία ενός ηλεκτρικού «τινάγματος» όταν ακουμπήσαμε το αμάξωμα ενός αυτοκινήτου, ή όταν σηκωθήκαμε από μια πλαστική καρέκλα, ή όταν αγγίξαμε την οθόνη ενός υπολογιστή.

Τα παραπάνω φαινόμενα και πολλά άλλα οφείλονται σε στατικά (ακίνητα) ηλεκτρικά φορτία, που συγκεντρώθηκαν σε κάποια περιοχή των σωμάτων που ηλεκτρίσθηκαν.

Εξάλλου για πολλούς αιώνες ήταν γνωστή η ιδιότητα του ήλεκτρου να έλκει ελαφρά αντικείμενα, αφού το τρίψουμε σε ένα κομμάτι ύφασμα.

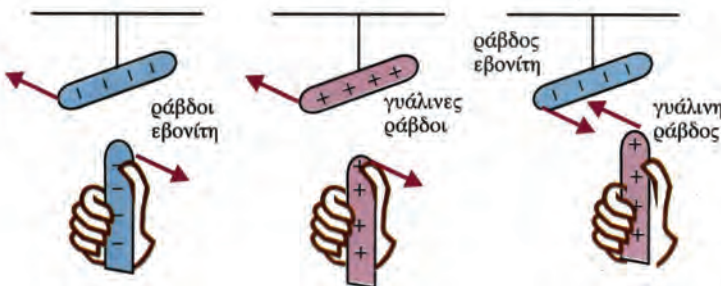
Διαπιστώθηκε με πειράματα ότι την ιδιότητα αυτή αποκτούν και άλλα σώματα, όπως ο εβονίτης, το γυαλί, το ρετσίνι, το νάυλον, το λάστιχο, η πορσελάνη, η μίκα κ.ά. (πίνακας I).

Τα ηλεκτρισμένα σώματα χωρίζονται σε δύο ομάδες. Εκείνα που εμφανίζουν συμπεριφορά όμοια με την ηλεκτρισμένη ράβδο γυαλιού ονομάστηκαν θετικά ηλεκτρισμένα, και εκείνα που εμφανίζουν συμπεριφορά όμοια με την ηλεκτρισμένη ράβδο εβονίτη ονομάστηκαν αρνητικά ηλεκτρισμένα.

Η θετική και αρνητική ηλεκτρίση αποδόθηκε στα θετικά και αρνητικά φορτία αντίστοιχα.

Δύο θετικά ή δύο αρνητικά φορτία ονομάζονται ομώνυμα φορτία. Ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο ονομάζονται ετερόνυμα φορτία.

Οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ φορτισμένων σωμάτων μπορεί να είναι ελκτικές ή απωστικές (Εικ. 1).



Εικόνα 1. (α) Τα ομώνυμα φορτία απωθούνται. (β) Τα ετερόνυμα φορτία έλκονται.

Δομή της ύλης - Το ηλεκτρόνιο

Όλα τα σώματα αποτελούνται από άτομα. Το μοντέλο που θα χρησιμοποιούμε για τα άτομα οικοδομείται από έναν πυρήνα, ο οποίος περιέχει τα πρωτόνια που έχουν όλα το ίδιο θετικό ηλεκτρικό φορτίο και τα νετρόνια που είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.

ΟΜΑΔΑ Α	ΟΜΑΔΑ Β
Γυαλί (τριβή σε μετάξι ή ύφασμα)	Κεχριμπάρι (τριβή σε ύφασμα)
Μίκα (τριβή σε ύφασμα)	Κομμάτι θείου (τριβή σε μαλλί ή γούνα)
Αμιάντος (τριβή σε ύφασμα ή χαρτί)	Ελαστικό (τριβή σε ύφασμα)
	Μίκα (τριβή σε ξηρό μαλλί)

Πίνακας I: Ο Β. Franklin ονόμασε τα υλικά της ομάδας (Α) θετικά ηλεκτρισμένα και τα υλικά της ομάδας (Β) αρνητικά ηλεκτρισμένα.

Γύρω από τον πυρήνα περιστρέφονται τα ηλεκτρόνια. Κάθε ηλεκτρόνιο έχει αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο που είναι κατά απόλυτη τιμή ίσο με το θετικό φορτίο του πρωτονίου. Το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι η **μικρότερη ποσότητα αρνητικού ηλεκτρικού φορτίου** που εμφανίζεται ελεύθερη στη φύση (Εικ. 2).

Κάθε άτομο περιέχει ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων, γι' αυτό και είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Αν διαταραχθεί η ισορροπία αυτή, τότε λέμε ότι «*ηλεκτρίζεται*».

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια του πυρήνα **δεν είναι δυνατό να μετακινηθούν** με απλές φυσικές μεθόδους, αντίθετα τα ηλεκτρόνια είναι δυνατό να μετακινηθούν με απλές φυσικές μεθόδους, π.χ. με την τριβή ενός σώματος με κάποιο άλλο σώμα.



Το άτομο.
Εικόνα 2.

Το ηλεκτροσκόπιο

Το ηλεκτροσκόπιο είναι όργανο που χρησιμοποιείται στα εργαστήρια για την ανίχνευση του ηλεκτρικού φορτίου.

Η μορφή που συνήθως χρησιμοποιείται είναι το ηλεκτροσκόπιο με δείκτη (Εικ. 3). Αποτελείται από μία μεταλλική ράβδο, που στο πάνω άκρο της οποίας είναι στερεωμένο ένα μεταλλικό σφαιρίδιο. Στο μέσο της μεταλλικής ράβδου υπάρχει ένας μεταλλικός δείκτης (συνήθως φύλλο αλουμινίου).

Το σύστημα βρίσκεται μέσα σε μεταλλικό κουτί.

Όταν η μεταλλική ράβδος με το δείκτη φορτισθούν, απωθούνται λόγω του ομόσημου φορτίου τους. Όσο μεγαλύτερο είναι το ηλεκτρικό φορτίο τόσο μεγαλύτερη είναι η γωνία που σχηματίζεται μεταξύ ράβδου και δείκτη.



Ηλεκτροσκόπιο.
Εικόνα 3.

Τρόποι ηλέκτρισης

1. Με τριβή

Αν τρίψουμε μια ράβδο γυαλιού με ένα μεταξωτό ύφασμα, τότε ηλεκτρόνια της ράβδου μεταφέρονται στο ύφασμα. Η ράβδος έχει αποκτήσει θετικό ηλεκτρικό φορτίο (έλλειμμα e^-), ενώ το ύφασμα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο (πλεόνασμα e^-).

Αντίστοιχα, τριβή ράβδου από εβονίτη με τρίχωμα γάτας προκαλεί μετακίνηση ηλεκτρονίων από το τρίχωμα στον εβονίτη. Έχουμε λοιπόν φόρτιση του εβονίτη με αρνητικό φορτίο (πλεόνασμα ηλεκτρονίων) και φόρτιση του τριχώματος με θετικό φορτίο (έλλειμμα ηλεκτρονίων) (Εικ. 4).

2. Με επαγωγή

α. Πλησιάζουμε μία αρνητικά φορτισμένη ράβδο στο σφαιρίδιο ηλεκτροσκοπίου. Ο δείκτης αποκλίνει από την αρχική κατακόρυφη θέση του.

Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια (σφαιριδίου - ράβδου - δείκτη) απωθούνται προς τη μεταλλική ράβδο και το δείκτη, οπότε



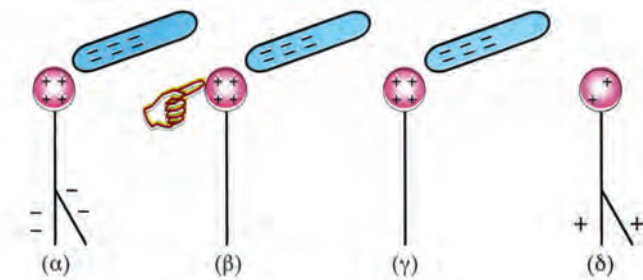
Ηλέκτριση με τριβή.
Εικόνα 4.

η ράβδος και ο δείκτης φορτίζονται αρνητικά ενώ το σφαιρίδιο θετικά (Εικ. 5α).

β. Στη συνέχεια ακουμπάμε με το δάκτυλό μας το σφαιρίδιο του ηλεκτροσκοπίου. Ο δείκτης επανέρχεται στην αρχική του θέση. Αυτό συμβαίνει γιατί τα ηλεκτρόνια μέσω του σώματός μας μεταφέρονται στη γη. Το σφαιρίδιο παραμένει φορτισμένο θετικά (Εικ. 5β).

γ. Μετά απομακρύνουμε το δάκτυλό μας από το σφαιρίδιο. Παρατηρούμε ότι το σύστημα παραμένει αμετάβλητο (Εικ. 5γ).

δ. Τέλος, απομακρύνουμε και τη ράβδο από το σφαιρίδιο. Ο δείκτης αποκλίνει από την αρχική κατακόρυφη θέση του. Αυτό συμβαίνει γιατί ηλεκτρόνια της ράβδου και του δείκτη μεταφέρονται στο σφαιρίδιο, οπότε η ράβδος και ο δείκτης φορτίζονται θετικά. Το σφαιρίδιο παραμένει θετικά φορτισμένο, γιατί τα ηλεκτρόνια που μεταφέρθηκαν σ' αυτό εξουδετέρωσαν μέρος του θετικού του φορτίου (Εικ.5δ).

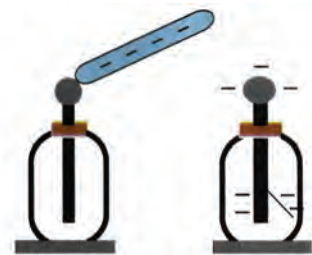


Εικόνα 5. Ηλέκτριση με επαγωγή.

3. Με επαφή

Αρνητικά φορτισμένη ράβδος εβονίτη έρχεται σε επαφή με το σφαιρίδιο αρχικά αφόρτιστου ηλεκτροσκοπίου και στη συνέχεια απομακρύνεται.

Παρατηρούμε ότι ο δείκτης αποκλίνει από την αρχική κατακόρυφη θέση του. Αυτό συμβαίνει γιατί ηλεκτρόνια από τη ράβδο του εβονίτη μεταφέρονται στο ηλεκτροσκόπιο φορτίζοντάς το αρνητικά (Εικ. 6). Βλέπουμε λοιπόν ότι ένα μέρος του φορτίου της ράβδου μεταφέρθηκε στο ηλεκτροσκόπιο κατά τη διάρκεια της επαφής.



Ηλέκτριση σώματος με επαφή.
Εικόνα 6.

Αγωγοί - Μονωτές - Ηλεκτρικό κύκλωμα

α) Στην καθημερινή ζωή συμβαίνουν φαινόμενα που προκαλούνται από κινούμενα ηλεκτρικά φορτία. Στην κίνηση των ηλεκτρικών φορτίων οφείλεται ο ηλεκτρικός φωτισμός, η ηλεκτρική θέρμανση, η κίνηση των ηλεκτρικών κινητήρων, η λειτουργία του ραδιοφώνου, η λειτουργία της τηλεόρασης, η λειτουργία των ηλεκτρονικών υπολογιστών κ.ά. Με το σύνολο των φαινομένων που προκαλούνται από κινούμενα φορτία ασχολείται ο **Δυναμικός Ηλεκτρισμός**.

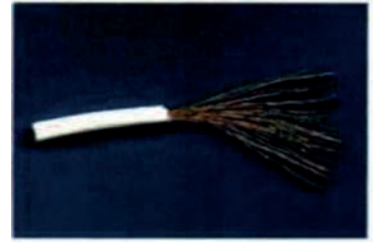
Τα σώματα που επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίου μέσα από τη μάζα τους λέγονται **αγωγοί**. Αγωγοί είναι τα μέταλλα, οι ηλεκτρολυτικοί αγωγοί, οι ημιαγωγοί, οι υπεραγωγοί, τα ιονισμένα αέρια, όπως και όλα τα έμβια όντα.

Τα σώματα που δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίου μέσα από τη μάζα τους λέγονται **μονωτές**. Μονωτές είναι το ξύλο, το γυαλί, το πλαστικό, το χαρτί, το καουτσούκ, τα κεραμικά, το λάστιχο κ.ά.

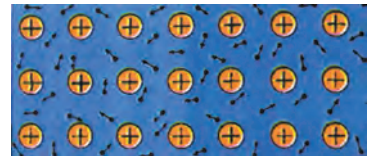
Ας δούμε τι γίνεται στους μεταλλικούς αγωγούς, που είναι οι συνηθέστεροι και έχουν μεγαλύτερη σχέση με την καθημερινή ζωή. Ένα τυπικό παράδειγμα μεταλλικού αγωγού είναι το χάλκινο σύρμα (Εικ. 7), το οποίο υπάρχει μέσα στα καλώδια που χρησιμοποιούμε στις οικιακές συσκευές. Στο εσωτερικό ενός ουδέτερου μεταλλικού αγωγού υπάρχει μεγάλος αριθμός (περίπου $10^{23}/\text{cm}^3$) ελευθέρων ηλεκτρονίων και θετικών ιόντων. Τα **ελεύθερα ηλεκτρόνια** είναι ηλεκτρόνια που ξέφυγαν από την έλξη του πυρήνα και κινούνται άτακτα προς όλες τις κατευθύνσεις με ταχύτητες της τάξης των km/s (Εικ. 8). Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια αποτελούν ένα είδος «ηλεκτρονικού αερίου», γιατί η κίνησή τους μοιάζει με την κίνηση των μορίων ενός αερίου. Τα **θετικά ιόντα** είναι τα ιόντα που προέκυψαν από τα άτομα του μετάλλου, επειδή τους ξέφυγαν τα ηλεκτρόνια. Τα θετικά ιόντα ταλαντώνονται γύρω από καθορισμένες θέσεις προς όλες τις κατευθύνσεις, με πλάτος που αυξάνεται με τη θερμοκρασία. Τα θετικά ιόντα συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρές δυνάμεις, όμοιες με εκείνες ενός ελατηρίου. Το σύνολο των θετικών ιόντων που είναι τοποθετημένα σε καθορισμένες θέσεις καλείται **πλέγμα** (Εικ. 9).

Η **αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια**.

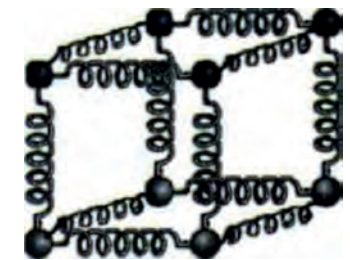
Στους μονωτές η μεγάλη πλειοψηφία των ηλεκτρονίων είναι δέσμη του πυρήνα τους. Υπάρχει περίπου ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ανά 5 cm^3 .



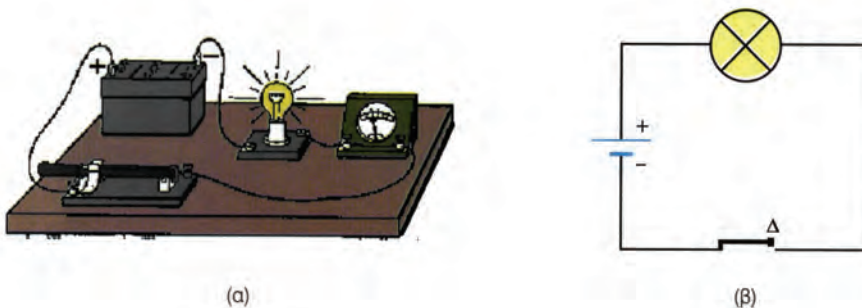
Χάλκινο σύρμα.
Εικόνα 7.



Εσωτερικό μεταλλικού αγωγού.
Εικόνα 8.



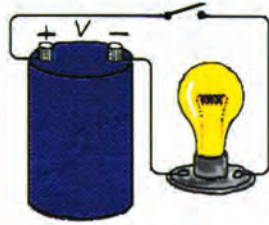
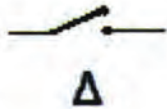
Πλέγμα.
Εικόνα 9.



Εικόνα 10. Ηλεκτρικό κύκλωμα. (α) Εργαστηριακή διάταξη. (β) Συμβολισμός.

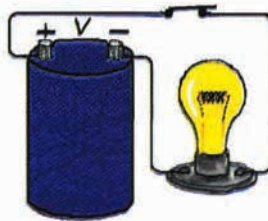
β) **Ηλεκτρικό κύκλωμα** λέμε μια κλειστή αγωγίμη διαδρομή, από την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα. Η διάταξη της εικόνας 10, η οποία αποτελείται από μια ηλεκτρική πηγή, ένα διακόπτη Δ, ένα αμπερόμετρο και ένα λαμπτήρα Λ, είναι ένα απλό ηλεκτρικό κύκλωμα.

9 Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικόνα 11. Συμβολισμός ανοικτού διακόπτη. Εικόνα 12. Ανοικτό κύκλωμα.

Όταν ο διακόπτης Δ είναι ανοικτός (Εικ. 11), το κύκλωμα λέγεται **ανοικτό κύκλωμα** και δε διαρρέεται από ρεύμα (Εικ. 12).







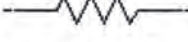

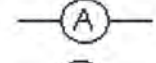



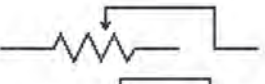
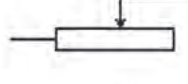
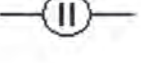



Εικόνα 13. Συμβολισμός κλειστού διακόπτη. Εικόνα 14. Κλειστό κύκλωμα.

Όταν ο διακόπτης Δ είναι κλειστός (Εικ. 13), το κύκλωμα λέγεται **κλειστό κύκλωμα** και διαρρέεται από ρεύμα (Εικ. 14).

Συμβολισμοί σε ηλεκτρικό κύκλωμα

Για να παραστήσουμε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα στο χαρτί μας, χρησιμοποιούμε σύμβολα για τα στοιχεία που το αποτελούν. Αυτό κάναμε και στο κύκλωμα της [εικόνας 10](#). Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν τα σύμβολα των κυριότερων στοιχείων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

	Ηλεκτρική Πηγή Συνεχούς Τάσης
	Διακόπτης Ανοικτός
	Διακόπτης Κλειστός
	Γείωση
	Λαμπτήρας
	
	Αντιστάτης
	
	Αμπερόμετρο
	Βολτόμετρο
	Πυκνωτής
	Μεταβλητός Πυκνωτής
	Μεταβλητή Αντίσταση
	
	Ηλεκτρολυτική Συσσκευή
	Δίοδος

Μαγνήτες

Οι Έλληνες και οι Κινέζοι ήξεραν από την αρχαιότητα (περίπου από τον 6^ο π.Χ. αιώνα) ένα ορυκτό που είχε την ιδιότητα να έλκει διάφορα σιδερένια αντικείμενα, όπως καρφιά, βελόνες και ρινίσματα σιδήρου. Το ορυκτό αυτό που είχε βρεθεί στη Μαγνησία της Μικράς Ασίας ονομάστηκε μαγνητίτης. Η ιδιότητά του να έλκει τα σιδερένια αντικείμενα ονομάστηκε μαγνητισμός. Σήμερα γνωρίζουμε ότι το ορυκτό αυτό είναι το επιτεταρτοξείδιο του σιδήρου F_3O_4 .

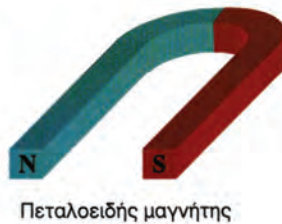
Έρευνες έχουν δείξει ότι ο μαγνήτης ασκεί δυνάμεις σε σώματα από σίδηρο, νικέλιο, κοβάλτιο ή κράματα των παραπάνω μετάλλων.

Ο Μαγνητίτης είναι φυσικός μαγνήτης. Συνήθως όμως χρησιμοποιούμε τεχνητούς μαγνήτες που έχουν κατάλληλο σχήμα ανάλογα με τη χρήση για την οποία προορίζονται, π.χ. ράβδου (ραβδοειδής), πετάλου (πεταλοειδής), δίσκου, δακτυλίου ή βελόνας.

Αν φέρουμε κοντά σε ένα μαγνήτη αντικείμενα από μαγνητίσιμο υλικό τότε μετατρέπονται και αυτά σε μαγνήτες.

Αυτό μπορεί να συμβεί ακόμα και αν ανάμεσά τους παρεμβάλλεται ένα μη μαγνητίσιμο υλικό, όπως π.χ. ξύλο.

Ορισμένα υλικά, όπως π.χ. ο χάλυβας, όταν μαγνητιστούν γίνονται μόνιμοι μαγνήτες, διατηρούν δηλαδή το μαγνητισμό τους για πολύ χρόνο, ενώ άλλα υλικά, όπως π.χ. ο μαλακός σίδηρος, διατηρούν το μαγνητισμό τους προσωρινά.



Φυσικός μαγνήτης



Συνηθισμένες μορφές μαγνητών

Κάθε άνθρωπος έχει παρατηρήσει κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας το φαινόμενο της δημιουργίας ενός κεραυνού που διαρκεί μερικά εκατομμυριοστά του δευτερολέπτου. Όταν περπατάμε σ' ένα χαλί μπορεί να αισθανθούμε ένα ελαφρύ τίναγμα που προκαλεί ένας ηλεκτρικός σπινθήρας. Τα δύο αυτά φαινόμενα, παρά τη διαφορά ως προς την κλίμακα που εκδηλώνονται, προκαλούνται από την ίδια αιτία. Η αιτία αυτή είναι οι δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων.

Σήμερα η ηλεκτρομαγνητική δύναμη αποτελεί μία από τις θεμελιώδεις δυνάμεις, η οποία μαζί με τις βαρυτικές (που έχετε διδαχθεί) και τις ασθενείς και ισχυρές πυρηνικές (που θα διδαχθούν στην επόμενη τάξη) αποτελούν τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις στη φύση.

Σ' αυτήν την ενότητα θα μάθουμε για τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ ακίνητων ηλεκτρικών φορτίων και πώς αυτές υπολογίζονται μέσω του νόμου του Coulomb.

Θα μάθουμε τι είναι το ηλεκτρικό πεδίο, πώς περιγράφονται οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις με τη βοήθειά του, καθώς επίσης και τα χαρακτηριστικά του.

Τέλος, θα μελετήσουμε τις αποθήκες ηλεκτρικού φορτίου και ενέργειας που ονομάζονται πυκνωτές, τη μορφή του πεδίου στο εσωτερικό τους και τη χρησιμότητά τους.

(1.1) Ο νόμος του Coulomb

Η μελέτη των αλληλεπιδράσεων μεταξύ φορτισμένων σωμάτων ξεκινά από τον Έλληνα Θαλή το Μιλήσιο (600 π.Χ.), ο οποίος τρίβοντας το ήλεκτρο (κεχριμπάρι) με ξηρό ύφασμα παρατήρησε ότι αυτό μπορεί να έλκει μικρά αντικείμενα, όπως μικρά κομμάτια χαρτιού. Γι' αυτό το φαινόμενο ονομάστηκε **ηλεκτρισμός**.

Παράλληλα παρατηρήθηκε η ιδιότητα που έχουν κάποια πετρώματα (Μαγνησία γη) να έλκουν τα σιδερένια αντικείμενα. Το φαινόμενο αυτό αντίστοιχα ονομάστηκε **Μαγνητισμός**.

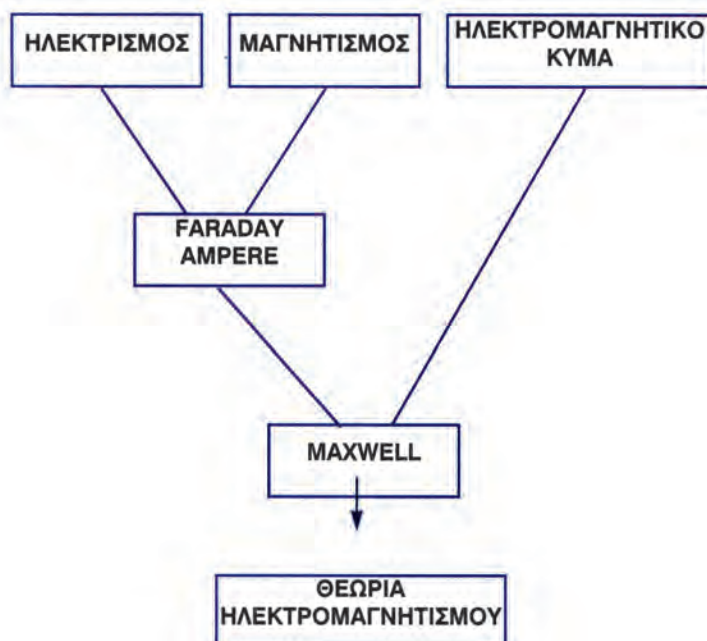
Τα δυο αυτά φαινόμενα θεωρούνταν ανεξάρτητα και μελετήθηκαν χωριστά ως το 1820. Τότε ο Δανός Hans Christian Oersted (1777-1851) διαπίστωσε πειραματικά ότι υπάρχει σχέση μεταξύ των δύο φαινομένων. Ακολούθησε πλήθος ερευνητών που μελέτησαν τη σχέση αυτή.

Κυριότεροι από τους ερευνητές ήταν ο Michael Faraday (1791-1867), ο Marie Ampère (1775-1836) και ο James Clerk Maxwell (1831-1879). Ο J.C. Maxwell μετά από μελέτες έφτασε στο συμπέρασμα ότι και το φως είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα. Ο Maxwell με τέσσερις εξισώσεις του (1864) ολοκλήρωσε τη θεωρία του ηλεκτρομαγνητισμού. Η ενοποίηση ηλεκτρισμού-μαγνητισμού (θεωρία ηλεκτρομαγνητισμού), που αποτυπώνεται στο παρακάτω διάγραμμα, αποτέλεσε ένα από τα μεγαλύτερα επιτεύγματα της ανθρώπινης διανόησης.



James Clerck Maxell, 1831-1879. Σκωτσέζος Φυσικός. Υπήρξε Καθηγητής στο King's College και αργότερα στο Cambridge. Διατύπωσε ένα πλήρες σύνολο νόμων για τα ηλεκτρομαγνητικά φαινόμενα και πέτυχε την ενοποίηση ηλεκτρισμού-μαγνητισμού. Τη θεωρία του δημοσίευσε το 1873 στο ονομαστό βιβλίο του με τίτλο «Treatise on Electricity and Magnetism».

Ο Γερμανός φυσικός I. Boltzmann αναφερόμενος στις εξισώσεις του Maxwell παρέθεσε μια γραμμή από το έργο του Goëtte «τις γραμμές αυτές τις έγραψε ένας θεός...».

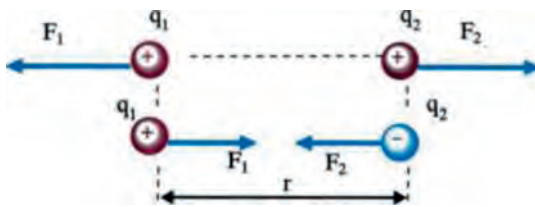


Ο Charles Augustin Coulomb το 1784, μετά από μία σειρά πειραμάτων, κατάφερε να μετρήσει τις δυνάμεις που αναπτύσσονται μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων. Τα συμπεράσματα διατύπωσε με τον παρακάτω νόμο που φέρει το όνομά του.

«Κάθε σημειακό ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο. Το μέτρο της δύναμης είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων που αλληλεπιδρούν και αντίστροφα ανάλογο με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης».

Το μέτρο αυτής της ηλεκτρικής δύναμης* δίνεται από τη σχέση:

$$F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (1)$$



Εικόνα 1.1-1. (α) Δυνάμεις απωθητικές. (β) Δυνάμεις ελκτικές.

Η δύναμη Coulomb έχει:

Μέτρο: Υπολογίζεται από τη σχέση (1).

Διεύθυνση: Τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία**, που είναι και φορέας της.

Φορά: Οι δυνάμεις Coulomb είναι ελκτικές για ετερόνυμα και απωστικές για ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία.

Σημείο εφαρμογής: Τα σημειακά φορτία q_1 και q_2 .

Η μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου στο S.I. είναι το 1C (1 Coulomb).

Η σταθερά k ονομάζεται ηλεκτρική σταθερά και εξαρτάται από το σύστημα μονάδων και το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα ηλεκτρικά φορτία.

Όταν τα ηλεκτρικά φορτία που αλληλεπιδρούν βρίσκονται στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα, η σταθερά k δίνεται από τη σχέση:

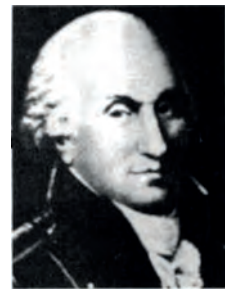
$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

όπου ϵ_0 μία φυσική σταθερά που ονομάζεται απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού και έχει τιμή στο S.I.:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$$

* Η δύναμη αυτή ονομάζεται και δύναμη Coulomb.

** Στη συνέχεια, όταν χρησιμοποιούμε τον όρο φορτίο, θα εννοούμε σημειακό ηλεκτρικό φορτίο, δηλαδή το φορτίο που φέρει ένα σώμα που θεωρείται σημειακό αντικείμενο.



Charles Augustin de Coulomb, 1736-1806. Γάλλος Φυσικός. Υπήρξε μηχανικός του γαλλικού στρατού. Με το ζυγό στρέψης που εφεύρε, απέδειξε ότι η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών είναι αντίστροφα ανάλογη του τετραγώνου της απόστασής τους (νόμος αντιστρόφου τετραγώνου).

Επομένως η σταθερά k έχει τιμή στο S.I. κατά προσέγγιση:

$$k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

Ο νόμος του Coulomb ακολουθεί το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου, όπως και ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, δηλαδή:

$$F = \text{σταθ.} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (\text{Εικ. 2})$$

Ο Coulomb το 1785 χρησιμοποιώντας τον ομώνυμο «ζυγό στρέψης του Coulomb» επιβεβαίωσε το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου (Εικ. 3).

Παράδειγμα 1

Δυο μικρά σώματα έχουν φορτία $q_1 = +2\mu\text{C}$ και $q_2 = -2\mu\text{C}$. Τα σώματα απέχουν 2m. Να υπολογισθεί το μέτρο της ελκτικής δύναμης που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο.

Λύση

Το μέτρο της δύναμης είναι:

$$F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{2 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(2\text{m})^2} = 9 \cdot 10^{-3} \text{N}$$

Παράδειγμα 2

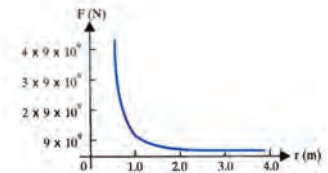
Να υπολογισθεί η δύναμη Coulomb που ασκείται μεταξύ πρωτονίου-ηλεκτρονίου στο άτομο του υδρογόνου και να συγκριθεί με τη δύναμη παγκόσμιας έλξης που ασκείται μεταξύ τους. Πόση θα έπρεπε να είναι η μάζα του πυρήνα, ώστε οι δύο δυνάμεις να είναι ίσου μέτρου;

Δίδονται: φορτίο πρωτονίου $q_p = +1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
 μάζα πρωτονίου $m_p = 1,7 \cdot 10^{-27} \text{kg}$
 φορτίο ηλεκτρονίου $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{C}$
 μάζα ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{kg}$
 ηλεκτρική σταθερά $k = 9 \cdot 10^9 \text{Nm}^2/\text{C}^2$
 σταθερά παγκόσμιας έλξης $G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{Nm}^2/\text{kg}^2$ και
 ακτίνα τροχιάς του ηλεκτρονίου $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{m}$.

Λύση

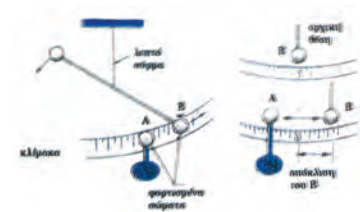
Η δύναμη Coulomb μεταξύ πρωτονίου-ηλεκτρονίου είναι:

$$F_c = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(1,6 \cdot 10^{-19} \text{C})(1,6 \cdot 10^{-19} \text{C})}{(5,3 \cdot 10^{-11} \text{m})^2} = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{N}$$



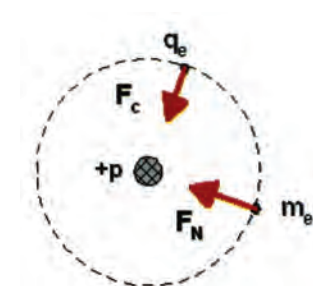
Το διάγραμμα του μέτρου της δύναμης Coulomb ως συνάρτηση της απόστασης των φορτίων.

Εικόνα 1.1-2.



Ο ζυγός στρέψης του Coulomb (αρχή λειτουργίας).

Εικόνα 1.1-3.



Το άτομο του Υδρογόνου.

Εικόνα 1.1-4.