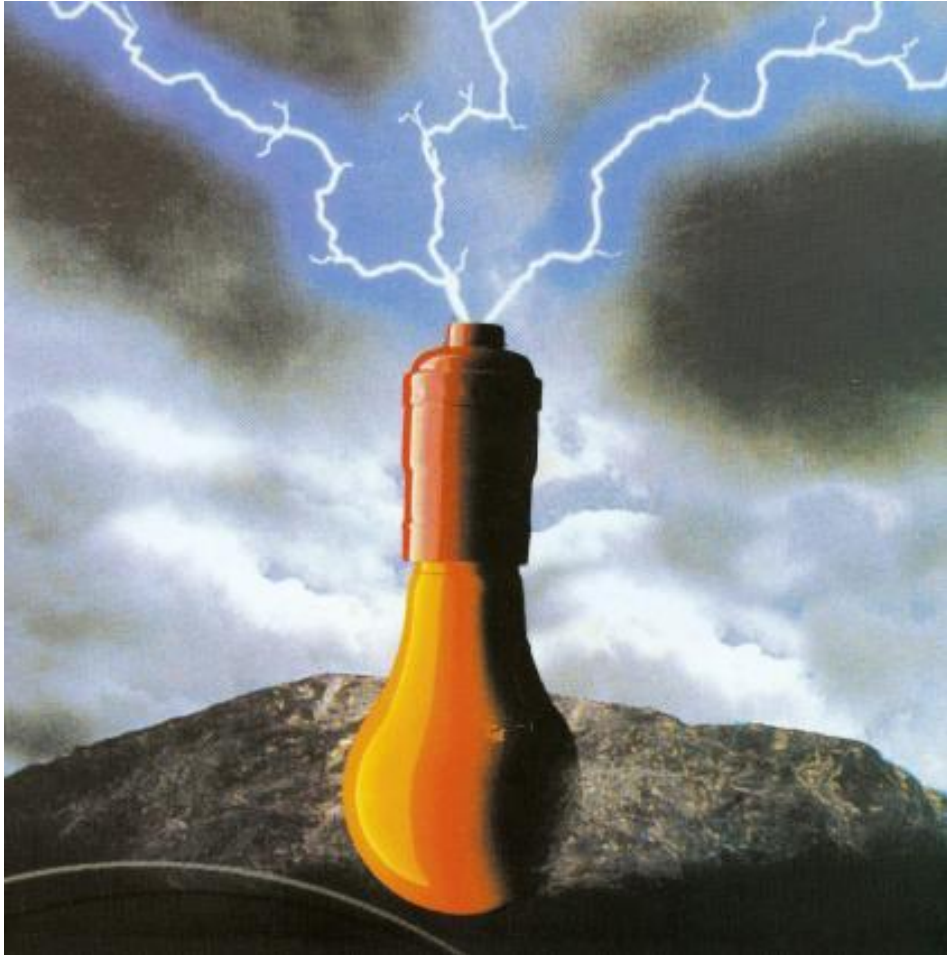


**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΕΘΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ**



ΦΥΣΙΚΗ

**ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ
Β΄ ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ**

Τόμος 1ος

**ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ
ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ**

ΦΥΣΙΚΗ

Β΄ ΤΑΞΗΣ ΓΕΝΙΚΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ
1ος τόμος

**ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ
ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ
«ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»**

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».

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

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Το κεφάλαιο 1 προέρχεται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Β΄ Τάξης Γενικού Λυκείου», ΟΕΔΒ 2010.

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**

**Ραγιαδάκης Χρήστος, πρόεδρος
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»

Το κεφάλαιο 2 προέρχεται από το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας Α΄ Τάξης Γενικού Λυκείου», ΟΕΔΒ 2010.

ΥΠΕΥΘΥΝΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗΣ

ΟΜΑΔΑΣ

Παναγιώτης Β. Κόκκοτας,

Καθηγητής της Διδακτικής των

**Φυσικών Επιστημών του
Πανεπιστημίου Αθηνών**

ΣΥΓΓΡΑΦΙΚΗ ΟΜΑΔΑ

**Ιωάννης Α. Βλάχος, Διδάκτορας,
Σχολικός Σύμβουλος του κλάδου
ΠΕ4**

**Ιωάννης Γ. Γραμματικάκης,
Επίκουρος Καθηγητής Φυσικής στο
Πανεπιστήμιο Αθηνών**

**Βασίλης Α. Καραπαναγιώτης,
Φυσικός, Καθηγητής Πειραματικού
Σχολείου Πανεπιστημίου Αθηνών**

**Περικλής Εμ. Περιστερόπουλος,
Φυσικός, Υποψήφιος Διδάκτορας,
Καθηγητής στο 3ο Λύκειο Βύρωνα**

**Γιώργος Β. Τιμοθέου, Φυσικός,
Λυκειάρχης στο 2ο Λυκείου Αγ.
Παρασκευής**

ΕΠΙΤΡΟΠΗ ΚΡΙΣΗΣ

**Φλυτζάνης Νικόλαος (Πρόεδρος),
Καθηγητής Τμήματος Φυσικής του
Πανεπιστημίου Κρήτης
Καλοψικάκης Εμμανουήλ,
Φυσικός, τ. Σχολικός Σύμβουλος
Ξενάκης Χρήστος, Δρ. Φυσικός,
Σχολικός Σύμβουλος Φθιώτιδος
Πάλλας Δήμος, Φυσικός,
Υποδιευθυντής 1ου Λυκείου Λαμίας
Στεφανίδης Κωνσταντίνος, Δρ.
Φυσικός, Σχολικός Σύμβουλος
Πειραιά**

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

**Θα θέλαμε να ευχαριστήσουμε τους
Καθηγητές της Φυσικής που μας
βοήθησαν στο έργο μας:**

**1. Την Σωτηρία Θεοδωρίδου για τη
συμβολή της στις Λύσεις των
Ασκήσεων, στις Περιλήψεις, στο
Ευρετήριο και στο Γλωσσάρι.**

- 2. Την Σοφία Ιωαννίδου για τη συμβολή της στη Λύση των ασκήσεων Α΄ και Β΄ Λυκείου.**
- 3. Τον Κώστα Ζαχαριάδη και την Ταραώ Μπουγά για τις εύστοχες παρατηρήσεις τους στο βιβλίο της Γ΄ Λυκείου Γενικής Παιδείας.**
- 4. Την Γεωργία Αγγελοπούλου για τις Ασκήσεις που πρότεινε να συμπεριληφθούν στα βιβλία.**
- 5. Την Μαρία Σωτηράκου για τη συμβολή της στο Ευρετήριο.**

Οι συγγραφείς ευχαριστούν τον Ιωάννη Βαγιωνάκη, Φυσικό, για τη συμβολή του στη συγγραφή ασκήσεων και ερωτήσεων, για τις παρατηρήσεις και υποδείξεις του, καθώς και για τη βοήθειά του στην επιμέλεια έκδοσης.

**Το κεφάλαιο 3,4 προέρχεται από
το βιβλίο «Φυσική Γενικής Παιδείας
Γ΄ Τάξης Γενικού Λυκείου», ΟΕΔΒ
2012**

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, πρόεδρος
Παιδαγωγικού Ινστιτούτου, τομέας
Φυσικών Επιστημών**

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

**Μαρίτα Κλειδωνάρη, φιλόλογος,
καθηγήτρια Λυκείου Αγίου
Στεφάνου**

ΠΡΟΣΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ ΓΙΑ
ΜΑΘΗΤΕΣ ΜΕ ΜΕΙΩΜΕΝΗ ΟΡΑΣΗ
Ομάδα Εργασίας Υπ. Παιδείας, Δια
Βίου Μάθησης και Θρησκευμάτων

ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ: Γελαστοπούλου Μαρία
(ΙΕΠ)

(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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Εισαγωγικό ένθετο

Όλοι είχαμε την εμπειρία ενός ηλεκτρικού «τινάγματος» όταν ακουμπήσαμε το αμάξιμα 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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
γυαλί, το ρετσίνι, το νάυλον, το
λάστιχο, η πορσελάνη, η μίκα κ.ά.
(πίνακας I).

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)
Αμίαντος (τριβή σε ύφασμα ή χαρτί)	Ελαστικό (τριβή σε ύφασμα)
	Μίκα (τριβή σε ξηρό μαλλί)

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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.

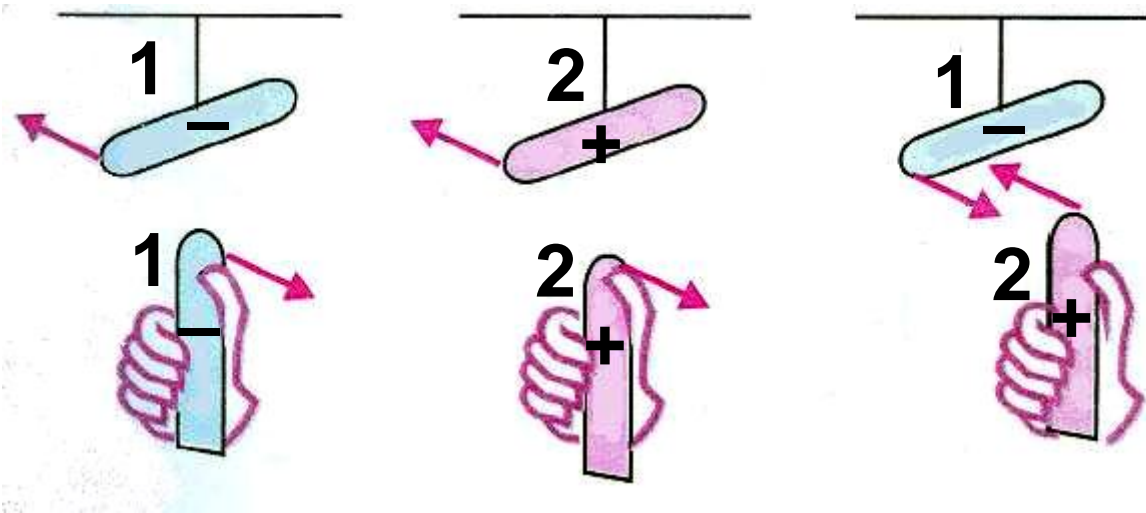
Η θετική και αρνητική ηλεκτρίση, αποδόθηκε στα θετικά και αρνητικά φορτία αντίστοιχα.

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).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 1.

1. Ράβδος εβονίτη

2. Γυάλινη ράβδος

(α) Τα ομώνυμα φορτία απωθούνται

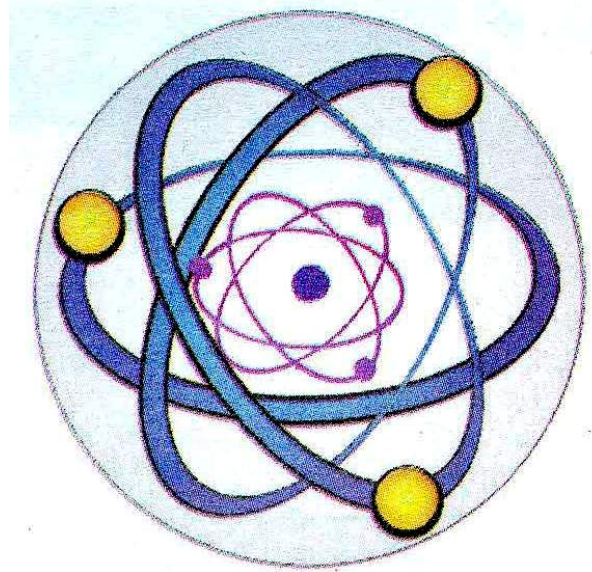
(β) Τα ετερόνυμα φορτία έλκονται

Δομή της ύλης - Το ηλεκτρόνιο

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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).



Εικ 2. Το άτομο

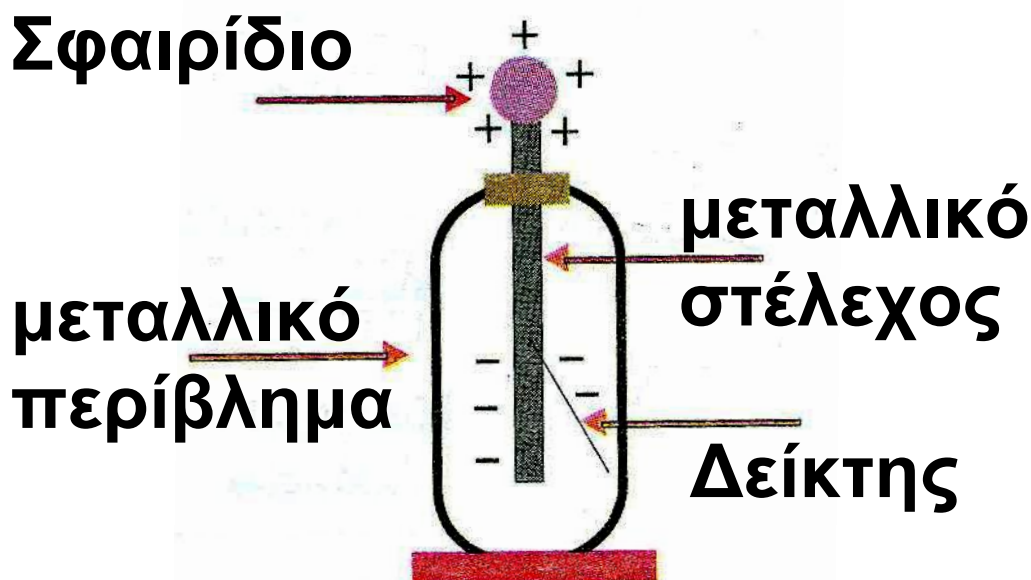
Κάθε άτομο περιέχει ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων για αυτό και είναι ηλεκτρικά ουδέτερο. Αν διαταραχθεί η ισορροπία αυτή, τότε λέμε ότι «ηλεκτρίζεται».

Τα πρωτόνια και τα νετρόνια του πυρήνα δεν είναι δυνατό να μετακινηθούν με απλές φυσικές μεθό-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
δους αντίθετα τα ηλεκτρόνια, είναι δυνατό να μετακινηθούν με απλές φυσικές μεθόδους, π.χ. με την τριβή ενός σώματος με κάποιο άλλο σώμα.

Το Ηλεκτροσκόπιο

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



Εικ. 3. Ηλεκτροσκόπιο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

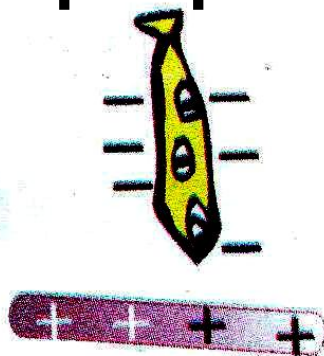
Τρόποι ηλέκτρισης

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^-).

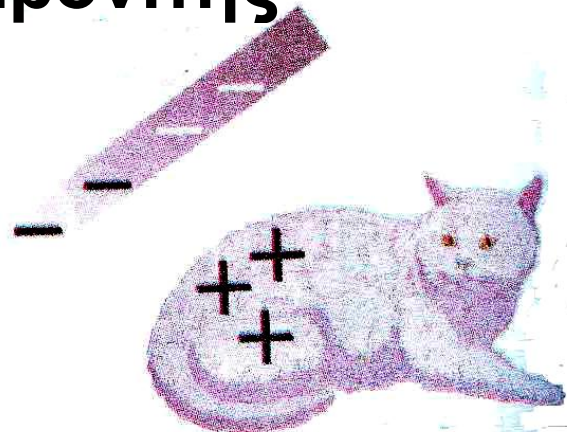
Αντίστοιχα, τριβή ράβδου από εβονίτη με τρίχωμα γάτας προκα-

Μεταξωτό
ύφασμα



Γυαλί

Εβονίτης



Τρίχωμα γάτας

Εικ. 4 Ηλέκτριση με τριβή

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
λεί 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 η ράβδος και ο δείκτης φορτίζονται αρνητικά ενώ το σφαιρίδιο θετικά (εικ. 5α).

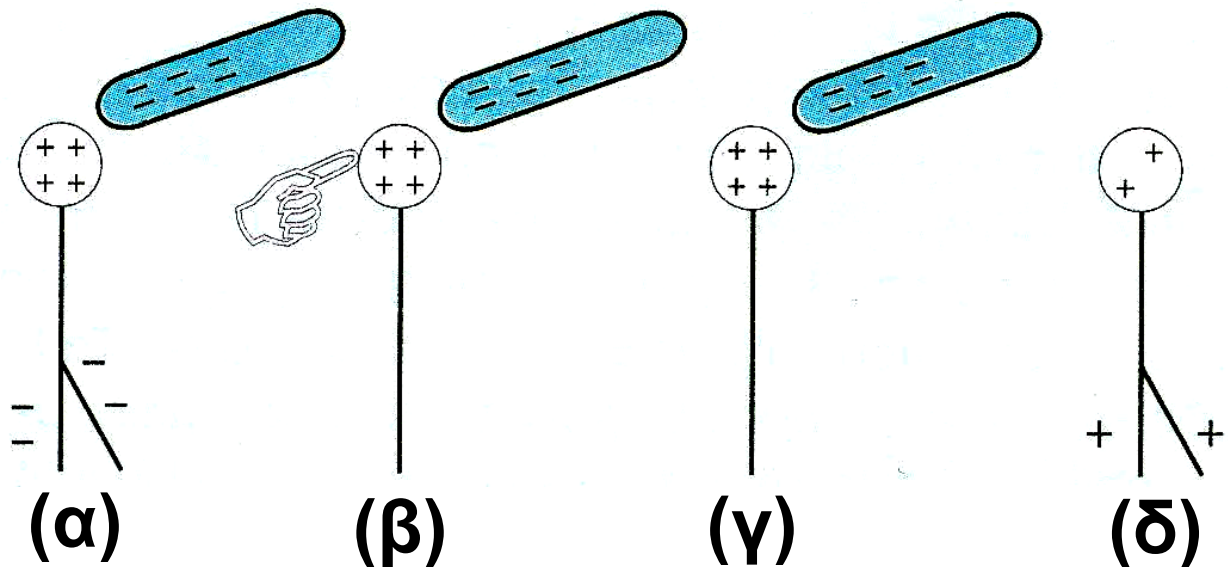
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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

γ. Μετά απομακρύνουμε το δάκτυλο 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'

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων αυτό, εξουδετέρωσαν μέρος του θετικού του φορτίου (εικ. 5δ).



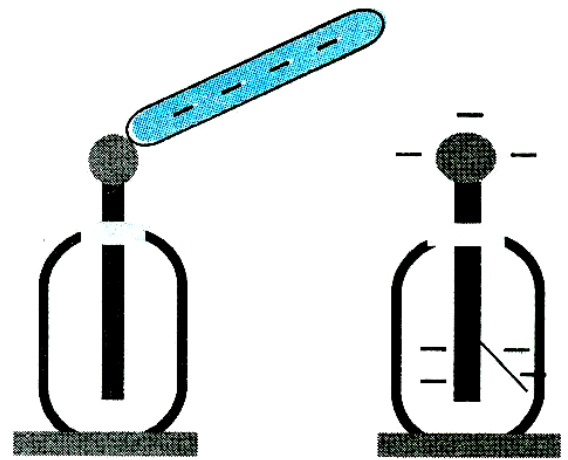
Εικ. 5 Ηλέκτριση με επαγωγή

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 εβο-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
νίτη μεταφέρονται στο ηλεκτροσκό-
πιο φορτίζοντας το αρνητικά (εικ.
6). Βλέπουμε λοιπόν, ότι ένα μέρος
του φορτίου της ράβδου μεταφέρ-
θηκε στο ηλεκτροσκόπιο κατά τη
διάρκεια της επαφής.

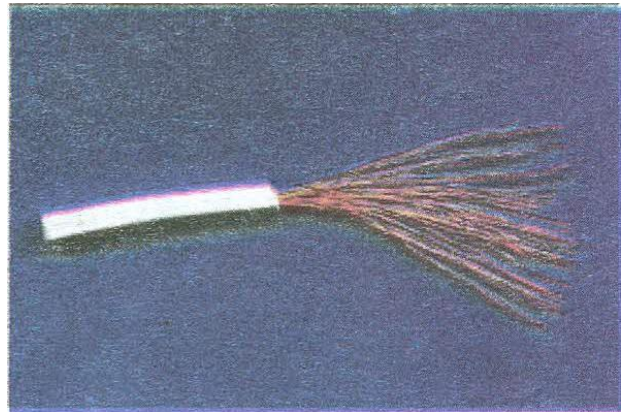


Εικ. 6. Ηλέκτριση
σώματος με επαφή.

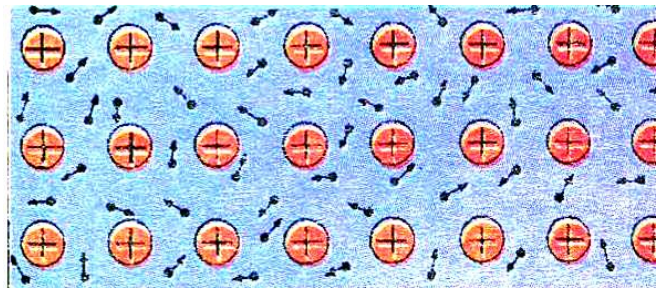
Αγωγοί - Μονωτές - Ηλεκτρικό κύκλωμα

α) Στην καθημερινή ζωή συμβαί-
νουν φαινόμενα, που προκαλού-
νται από κινούμενα ηλεκτρικά φορ-
τία. Στην κίνηση των ηλεκτρικών
φορτίων οφείλεται ο ηλεκτρικός
φωτισμός, η ηλεκτρική θέρμανση, η

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
κίνηση των ηλεκτρικών κινητήρων,
η λειτουργία του ραδιοφώνου, η
λειτουργία της τηλεόρασης, η λει-
τουργία των ηλεκτρονικών υπολο-
γιστών κ.ά. Με το σύνολο των φαι-
νομένων που προκαλούνται από
κινούμενα φορτία ασχολείται ο **Δυ-
ναμικός Ηλεκτρισμός.**



**Εικ. 7. Χάλκινο
σύρμα.**

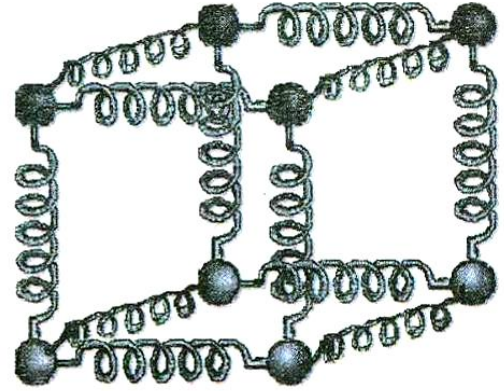


**Εικ. 8. Εσωτερικό
μεταλλικού αγω-
γού.**

Τα σώματα που επιτρέπουν τη μετακίνηση φορτίου μέσα από τη μάζα τους λέγονται **αγωγοί**. Αγωγοί είναι τα μέταλλα, οι ηλεκτρολυτικοί

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
αγωγοί, οι ημιαγωγοί, οι υπεραγω-
γοί, τα ιονισμένα αέρια, όπως και
όλα τα έμβια όντα.

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



Εικ. 9. Πλέγμα.

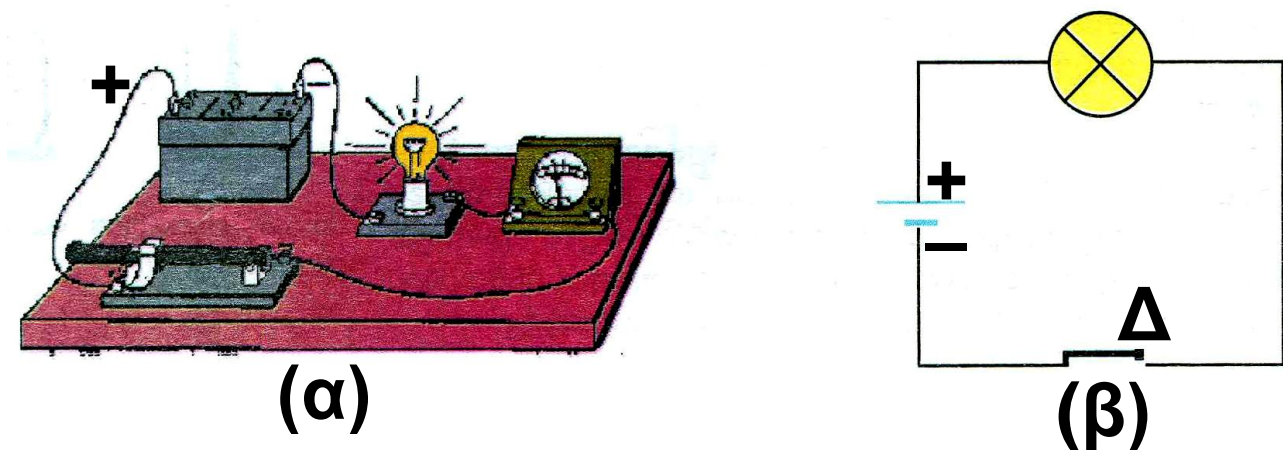
Ας δούμε τι γίνεται στους μεταλλικούς αγωγούς, που είναι οι συνηθέστεροι και έχουν μεγαλύτερη σχέση με την καθημερινή ζωή. Ένα τυπικό παράδειγμα μεταλλικού αγωγού είναι το χάλκινο σύρμα (εικ. 7), το οποίο υπάρχει μέσα στα καλώδια που χρησιμοποιούμε στις οικιακές συσκευές. Στο εσωτερικό ενός ουδέτερου μεταλλικού αγωγού

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων 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 κίνηση 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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων των θετικών ιόντων, που είναι τοποθετημένα σε καθορισμένες θέσεις καλείται πλέγμα (εικ. 9).

Η αγωγιμότητα των μετάλλων οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια.

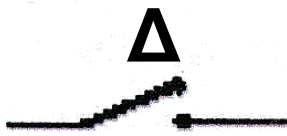
Στους μονωτές η μεγάλη πλειοψηφία των ηλεκτρονίων είναι δεσμία του πυρήνα τους. Υπάρχει περίπου ένα ελεύθερο ηλεκτρόνιο ανά 5 cm^3 .



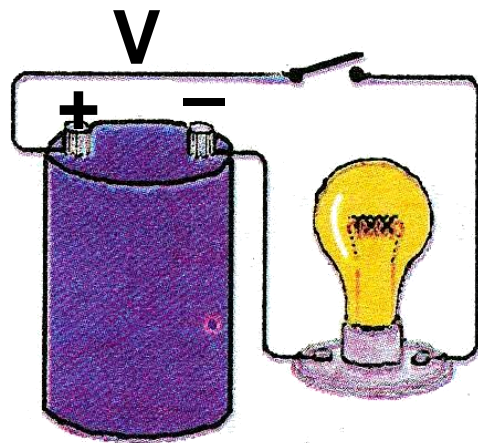
**Εικ. 10. Ηλεκτρικό κύκλωμα,
(α) Εργαστηριακή διάταξη
(β) Συμβολισμός**

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

β) Ηλεκτρικό κύκλωμα λέμε μια κλειστή αγώγιμη 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.



Εικ. 11. Συμβολισμός ανοικτού διακόπτη



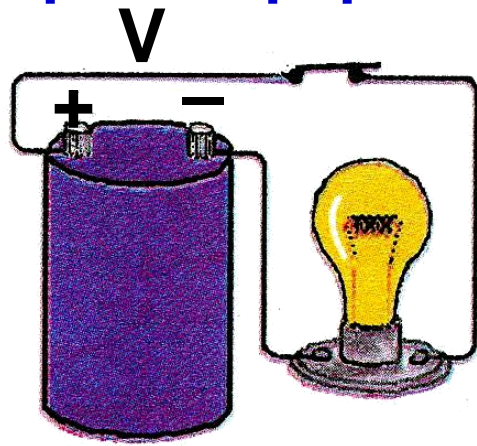
Εικ. 12. Ανοικτό κύκλωμα.

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 13. Συμβολισμός κλειστού διακόπτη



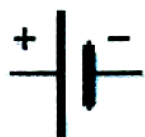
Εικ. 14. Κλειστό κύκλωμα.

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 εικ. 10.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Στον παρακάτω πίνακα υπάρχουν
τα σύμβολα των κυριότερων στοι-
χείων ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.



**Ηλεκτρική Πηγή
Συνεχούς Τάσης**



Διακόπτης Ανοιχτός



Διακόπτης Κλειστός



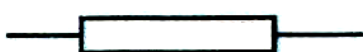
Γείωση



Λαμπτήρας



Αντιστάτης



Αμπερόμετρο



Βολτόμετρο

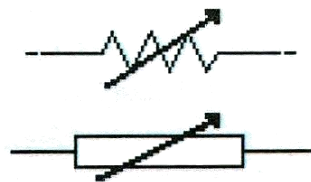
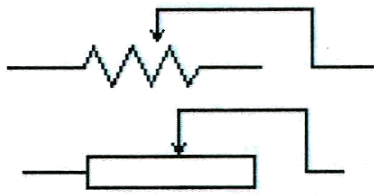


Πυκνωτής



Μεταβλητός Πυκνωτής

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Μεταβλητή
Αντίσταση



Ηλεκτρολυτική Συσκευή



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 στην Μαγνησία της Μικράς Ασίας ονομάστηκε μαγνητίτης. Η ιδιότητα του να έλκει τα σιδερένια αντικείμενα ονομάστηκε μαγνητισμός. Σήμερα γνωρίζουμε ότι το ορυκτό αυτό είναι το επιτεταρτοξείδιο του

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων σιδήρου F_3O_4 .

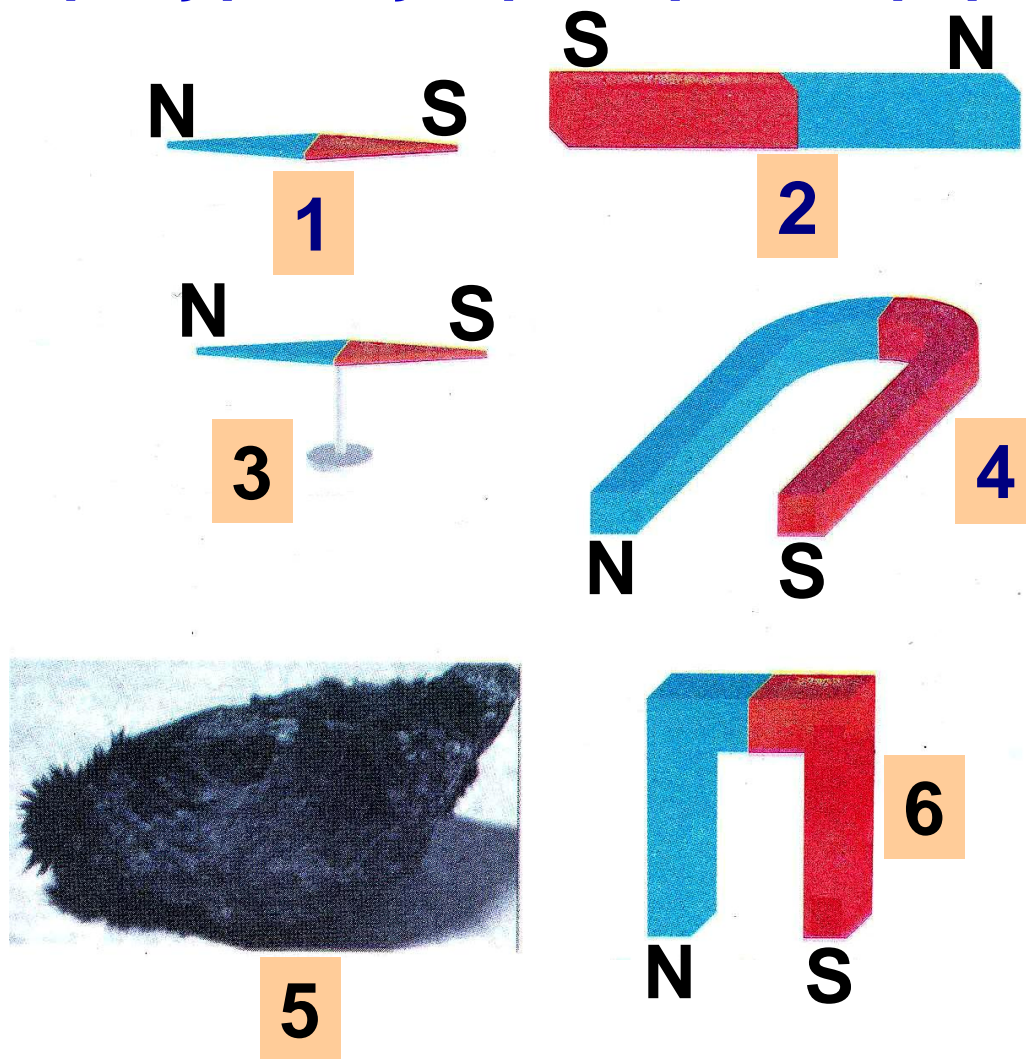
Έρευνες έχουν δείξει ότι ο μαγνήτης ασκεί δυνάμεις σε σώματα από σίδηρο, νικέλιο, κοβάλτιο ή κράματα των παραπάνω μετάλλων.

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 ανάμεσα τους παρεμβάλλεται ένα μη μαγνητίσιμο υλικό όπως π.χ. ξύλο.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



1. Μαγνητική βελόνα
2. Ραβδόμορφος μαγνήτης
3. Περιστρεφόμενη μαγνητική βελόνα
4. Πεταλοειδής μαγνήτης
5. Φυσικός μαγνήτης
6. Πεταλοειδής μαγνήτης σχήματος Π

Συνηθισμένες μορφές μαγνητών

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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) αποτε-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
λούν τις τέσσερις θεμελιώδεις δυνάμεις στη φύση.

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

Θα μάθουμε τι είναι το ηλεκτρικό πεδίο, πως περιγράφονται οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις με τη βοήθεια 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),

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

James Clerck Maxwell
1831 -1879. Σκωτσέζος
Φυσικός. Υπήρξε Κα-
θηγητής στο King's
College και αργότερα
στο Cambridge.



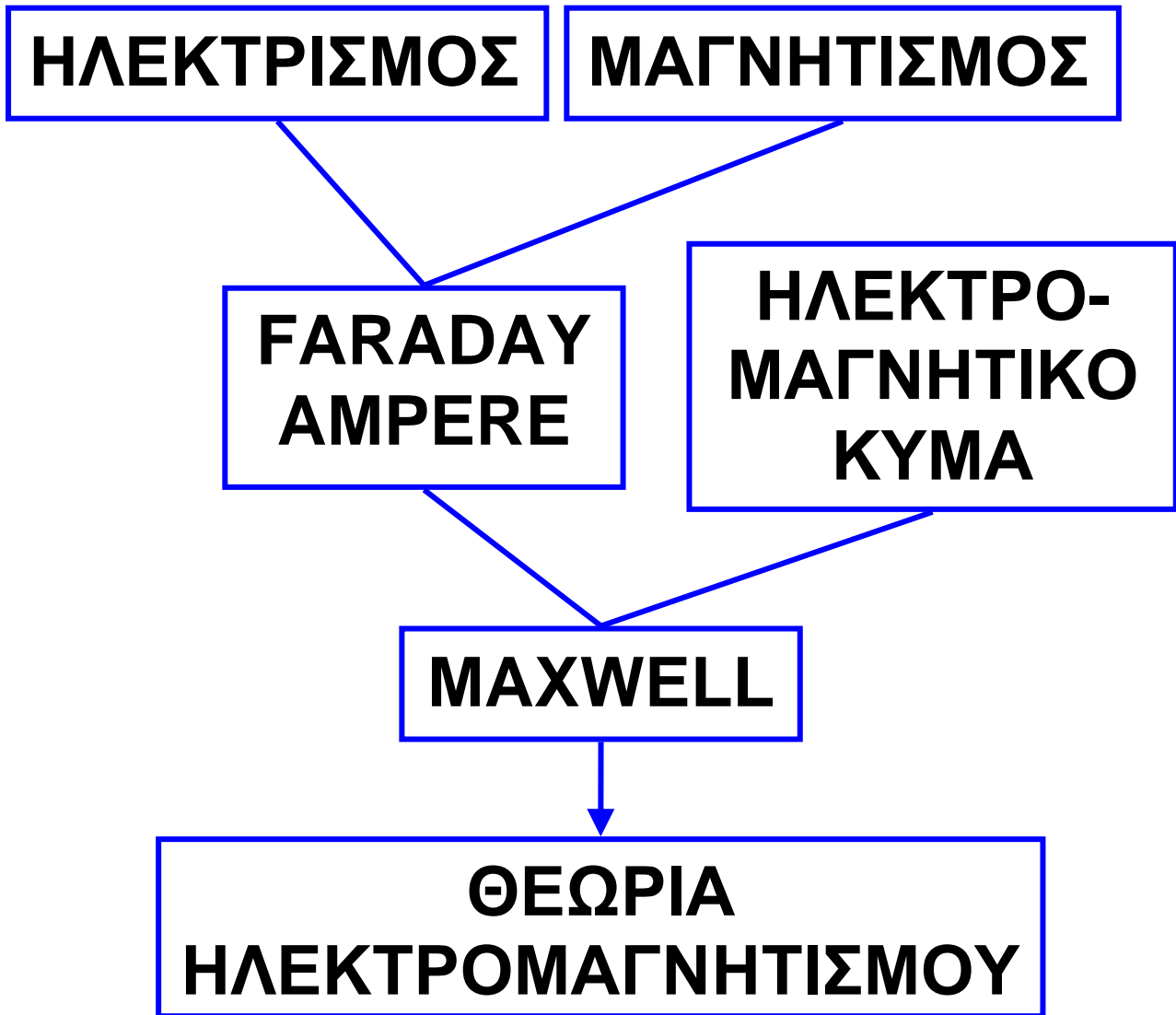
Διεύθυνσε ένα πλήρες
σύνολο νόμων για τα
ηλεκτρομαγνητικά φαι-
νόμενα και πέτυχε την ενοποίηση
ηλεκτρισμού-μαγνητισμού. Τη θεω-
ρία του δημοσίευσε το 1873 στο
ονομαστό βιβλίο του με τίτλο
«Treatise on Electricity and
Magnetism*».

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...».

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
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 Ampere (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 διάνοησης.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



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 όνομα του.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
«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».

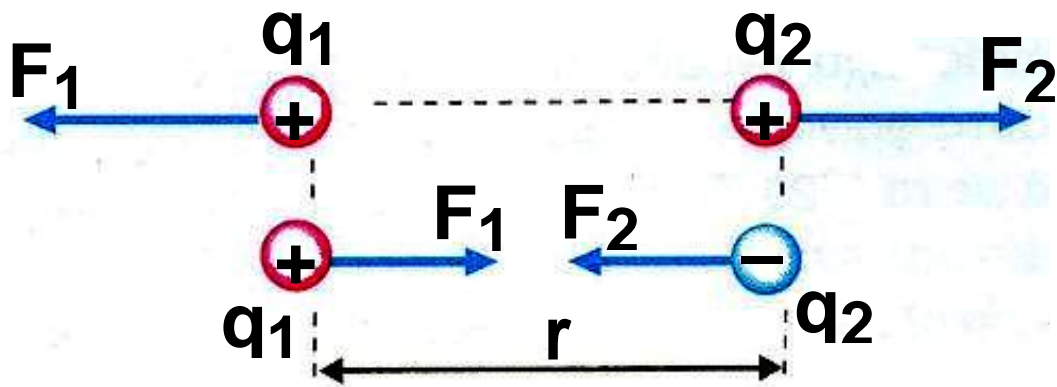
Το μέτρο αυτής της ηλεκτρικής δύναμης* δίνεται από την σχέση:

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

Η δύναμη Coulomb έχει:
Μέτρο: Υπολογίζεται από τη σχέση (1).

* Η δύναμη αυτή ονομάζεται και δύναμη Coulomb.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



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

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 .

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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 απόστασης τους (νόμος αντιστρόφου τετραγώνου).

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 κε-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων νό 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.:

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

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

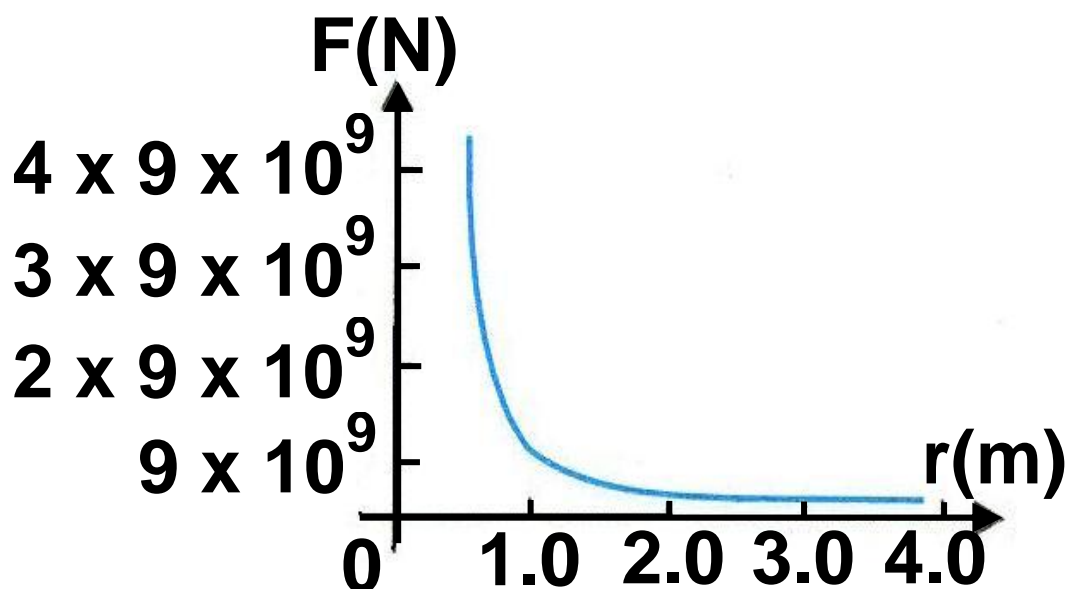
$$k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

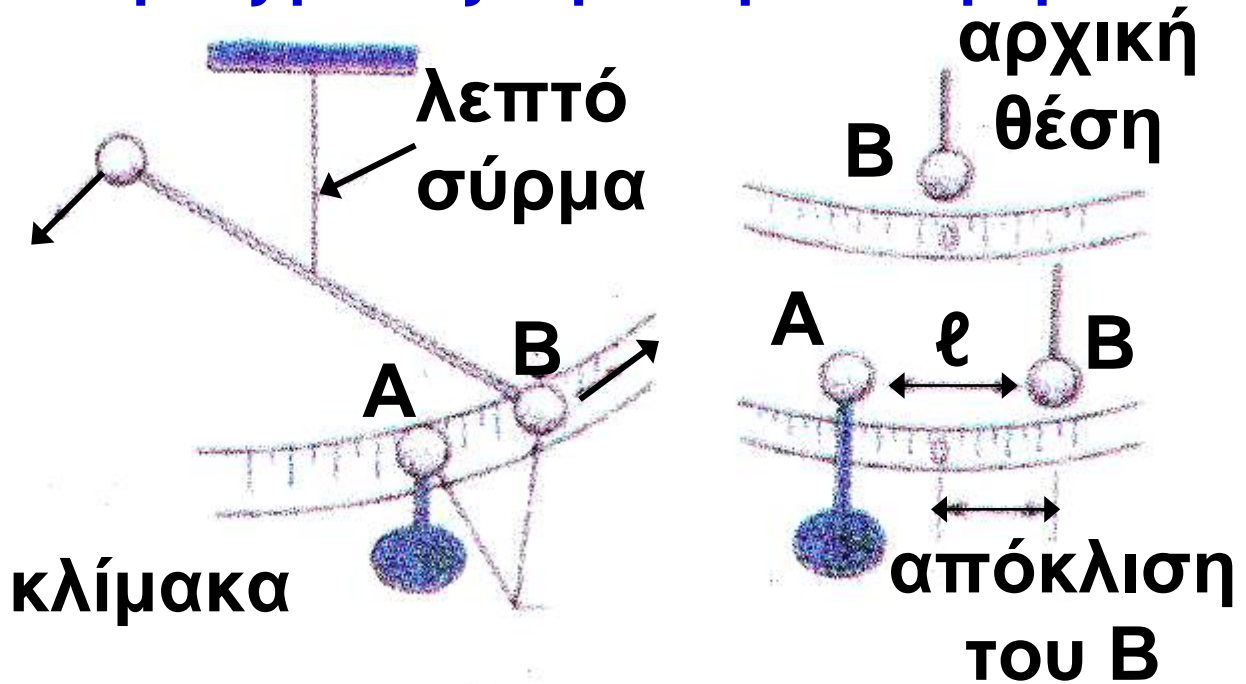
$$F = \text{σταθ.} \cdot \frac{1}{r^2} \quad (\text{εικ 2}).$$

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



Εικ. 1.1-2. Το διάγραμμα του μέτρου της δύναμης Coulomb ως συνάρτηση της απόστασης των φορτίων.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 1.1-3. Ο ζυγός στρέψης του Coulomb (αρχή λειτουργίας).

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:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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

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

$$q_p = +1,6 \cdot 10^{19} \text{ C}$$

$$\text{μάζα πρωτονίου } m_p = 1,7 \cdot 10^{27} \text{ kg}$$

φορτίο ηλεκτρονίου

$$q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

μάζα ηλεκτρονίου

$$m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$$

ηλεκτρική σταθερά

$$k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2,$$

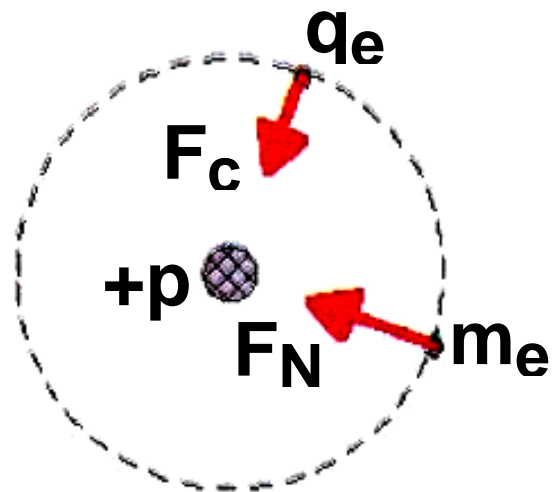
σταθερά παγκόσμιας έλξης

$$G = 6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{kg}^2 \text{ και}$$

ακτίνα τροχιάς του ηλεκτρονίου

$$r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m.}$$

Λύση



Εικ. 1.1-4. Το άτομο του Υδρογόνου

Η δύναμη Coulomb μεταξύ πρωτονίου-ηλεκτρονίου είναι:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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

Η δύναμη παγκόσμιας έλξης μεταξύ των μαζών πρωτονίου-ηλεκτρονίου είναι:

$$\begin{aligned} F_N &= G \frac{m_p \cdot m_e}{r^2} = 6,7 \cdot 10^{-11} \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Kg}^2} \cdot \\ &\cdot \frac{(1,7 \cdot 10^{-27} \text{Kg})(9,1 \cdot 10^{-31} \text{Kg})}{(5,3 \cdot 10^{-11} \text{m})^2} = \\ &= 3,7 \cdot 10^{-47} \text{ N} \end{aligned}$$

Άρα:

$$\frac{F_C}{F_N} = 2,2 \cdot 10^{+39}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Η δύναμη Coulomb είναι περίπου 10^{39} φορές μεγαλύτερη από τη δύναμη παγκόσμιας έλξης, γι' αυτό επικρατεί και οικοδομεί τον μικρόκοσμο.

Για τον υπολογισμό της υποθετικής μάζας m_p του πυρήνα εργαζόμαστε ως εξής:

$$F_N = F_C \quad \text{ή} \quad G \frac{m_p \cdot m_e}{r^2} = k \frac{q_p q_e}{r^2} \quad \text{ή}$$

$$m_p = \frac{k \cdot |q_p \cdot q_e|}{G \cdot m_e} \quad \text{ή}$$

$$m_p = \frac{9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2 \cdot (1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C})^2}{6,7 \cdot 10^{-11} \text{ Nm}^2/\text{Kg}^2 \cdot 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}}$$

$$\text{ή} \quad m_p = 3,8 \cdot 10^{12} \text{ Kg}$$

Δηλαδή η μάζα του πυρήνα θα έπρεπε να είναι δέκα χιλιάδες φορές μεγαλύτερη από τη μάζα ενός τάνκερ 380.000 τόνων!!!

1.2 Ηλεκτρικό πεδίο

* Συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε τον όρο «ηλεκτρικό πεδίο» αντί του ορθού «ηλεκτροστατικό πεδίο».

Όπως μάθαμε κάθε φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο φορτίο. Η δύναμη μεταξύ των φορτίων τείνει στο μηδέν όταν η απόστασή τους τείνει στο άπειρο. Επομένως, ένα ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο ηλεκτρικό φορτίο που θα βρεθεί στο χώρο γύρω από αυτό.

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε το χώρο μέσα στον οποίο όταν βρεθεί ηλεκτρικό φορτίο δέχεται ηλεκτροστατική δύναμη.

Για να αποδείξουμε πειραματικά την ύπαρξη του ηλεκτρικού πεδίου σε κάποιο σημείο, χρησιμοποιούμε ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο που

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
ονομάζουμε δοκιμαστικό φορτίο.
Αν το δοκιμαστικό φορτίο δεχτεί
ηλεκτρική δύναμη, υπάρχει ηλεκ-
τρικό πεδίο στο σημείο εκείνο.

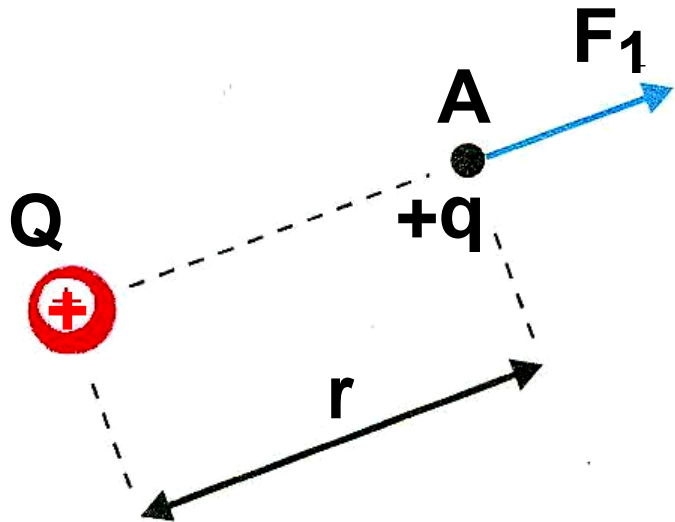
➔ Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Σε κάποιο σημείο του χώρου
θεωρούμε ακίνητο σημειακό ηλε-
κτρικό φορτίο $+Q$. Το φορτίο $+Q$
δημιουργεί σε κάθε σημείο του χώ-
ρου γύρω από αυτό, ηλεκτρικό πε-
δίο. Το φορτίο $+Q$ το ονομάζουμε
πηγή του πεδίου. Η δύναμη που
ασκείται από το φορτίο πηγή Q , σε
ένα δοκιμαστικό φορτίο q που βρί-
σκεται στη θέση (Α) (εικ. 5), είναι
ανάλογη των φορτίων Q και q . Από
το νόμο του Coulomb έχουμε:

$$F_1 = k \frac{|Q|}{r^2} \cdot |q|$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αν στην ίδια θέση Α που ήταν το q τοποθετήσουμε ένα άλλο δοκιμαστικό φορτίο $q' = 2q$, η δύναμη που δέχεται είναι:



Εικ. 1.2-5

$$F_2 = k \frac{|Q|}{r^2} \cdot |q'| = k \frac{|Q|}{r^2} \cdot 2|q|$$

Το συμπέρασμα είναι ότι η δύναμη που δέχεται το δοκιμαστικό φορτίο διπλασιάζεται όταν αυτό διπλασιασθεί.

Επομένως το πηλίκο $\frac{F}{|q|}$ της δύναμης προς το δοκιμαστικό φορτίο στη θέση Α είναι σταθερό. Το ίδιο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
συμβαίνει σε κάθε άλλη θέση του
χώρου γύρω από το φορτίο Q.

Επομένως για να εκφράσουμε
την ηλεκτρική επίδραση ενός φορ-
τίου Q στα διάφορα δοκιμαστικά
φορτία που τοποθετούνται σε συ-
γκεκριμένη θέση γύρω από το Q,
είναι περισσότερο χρήσιμο να την
εκφράσουμε μέσω ενός νέου φυσι-
κού μεγέθους που είναι ίσο με το
πηλίκιο $\frac{\vec{F}}{q}$ ονομάζεται ένταση και
ορίζεται ως εξής:

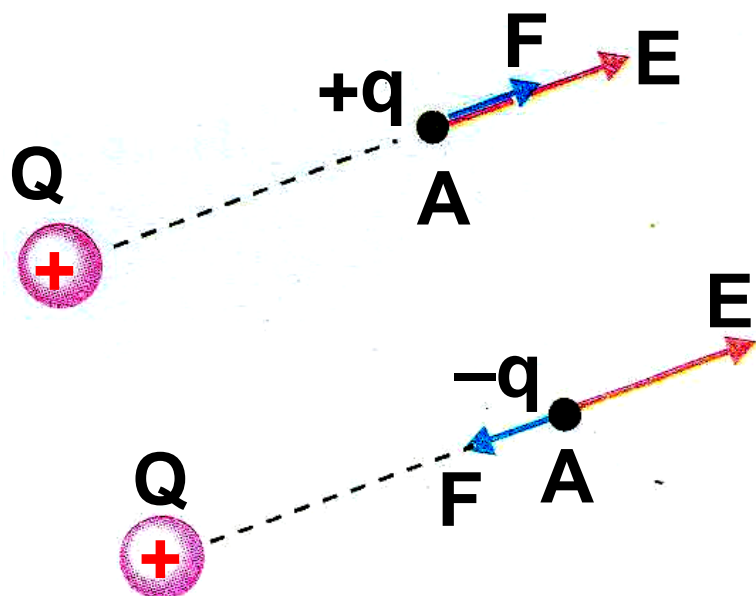
Ένταση \vec{E} σε σημείο ηλεκτρικού
πεδίου, ονομάζουμε το φυσικό
διανυσματικό μέγεθος που έχει
μέτρο ίσο με το πηλίκιο του μέ-
τρου της δύναμης που ασκείται σε
φορτίο q που βρίσκεται σ' αυτό το
σημείο προς το φορτίο αυτό και
κατεύθυνση την κατεύθυνση της

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων δύναμης, αν αυτή ασκείται σε θετικό φορτίο.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (2)$$

Μονάδα μέτρησης της έντασης στο S.I. είναι το 1 N/C.

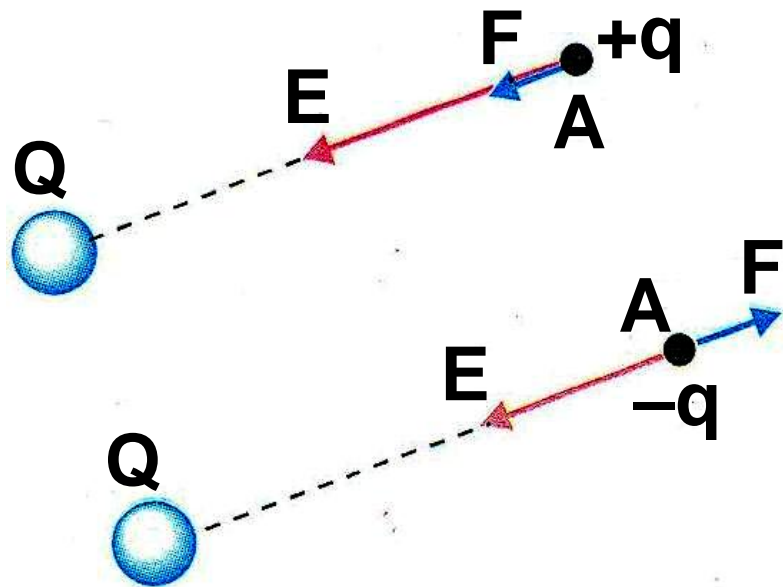
Αν το δοκιμαστικό φορτίο ήταν αρνητικό, η ένταση του πεδίου \vec{E} στη θέση A δεν θα άλλαζε κατεύθυνση και μέτρο, (εικ. 6, 7).



Εικ. 1.2-6.

Η ένταση του πεδίου που δημιουργεί ένα θετικό σημειακό φορτίο Q , «απομακρύνεται» από το φορτίο.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 1.2-7.

Η ένταση του πεδίου που δημιουργεί ένα αρνητικό σημειακό φορτίο Q , κατευθύνεται προς το φορτίο.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η ένταση έχει φορά προς το φορτίο Q αν αυτό είναι αρνητικό και αντίθετη, αν το φορτίο είναι θετικό, ανεξάρτητα από το είδος του δοκιμαστικού φορτίου q (εικ. 6,7).

Τι σημαίνει η έκφραση «Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στη θέση A έχει τιμή 10 N/C »;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Σημαίνει ότι, αν τοποθετηθεί στη θέση A του πεδίου δοκιμαστικό φορτίο 1C , η δύναμη που θα δεχτεί θα είναι 10 N και η φορά της θα είναι εκείνη που προσδιορίζεται από το φορτίο πηγή (εικ. 6,7).

Δηλαδή το μέτρο της έντασης σε κάποιο σημείου του πεδίου, μας δείχνει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο στο σημείο αυτό.

➔ Ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb

Ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb ονομάζουμε το πεδίο που δημιουργείται από ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q .

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

➔ Ένταση ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb

Με βάση την σχέση ορισμού της έντασης, το μέτρο της είναι:

$$E = \frac{F}{q} \quad (3)$$

μπορούμε να οδηγηθούμε σε μία «ειδική σχέση» η οποία ισχύει για το ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb.

Το δοκιμαστικό φορτίο q δέχεται δύναμη Coulomb λόγω του φορτίου Q , η οποία σύμφωνα με τη σχέση (1) είναι:

$$F = k \frac{|Q \cdot q|}{r^2}$$

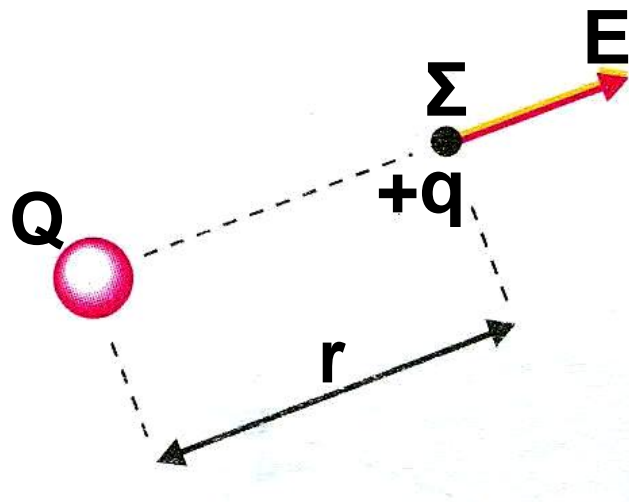
Επομένως λόγω της (3):

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$E_{(\Sigma)} = \frac{k \frac{|Q \cdot q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow (4)$$

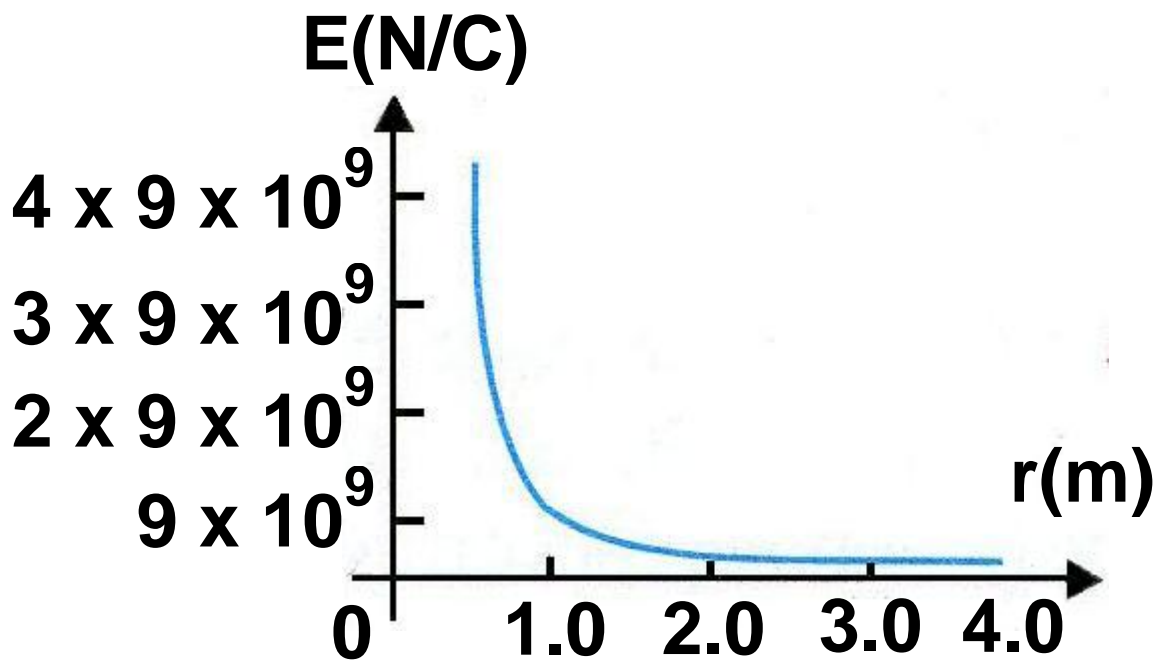
$$E_{(\Sigma)} = k \frac{|Q|}{r^2}$$

όπου $|Q|$ η απόλυτη τιμή του φορτίου που δημιουργεί το πεδίο και r η απόσταση μεταξύ του σημείου « Σ » και του φορτίου Q (εικ. 8).



Εικ. 1.2-8.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 3.1-9. Το μέτρο της έντασης ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb ως συνάρτηση της απόστασης r από το φορτίο Q .

Στον πίνακα (I) καταγράφεται η ένταση ηλεκτρικών πεδίων σε ενδιαφέρουσες περιπτώσεις:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Πίνακας (I)

Στην επιφάνεια ενός αστεριού Pulsar	10^{14}	N/C
Στην τροχιά που στρέφεται το e στο άτομο H	10^{11}	N/C
Κατά τη διάρκεια κεραυνού	10^4	N/C
Κοντά σε πομπό RADAR	10^3	N/C
Σε ραδιοφωνικό κύμα	10^{-1}	N/C
Ηλεκτρική εγκατάσταση σπιτιού	10^{-2}	N/C



Εικ. 1,2-10. Radar

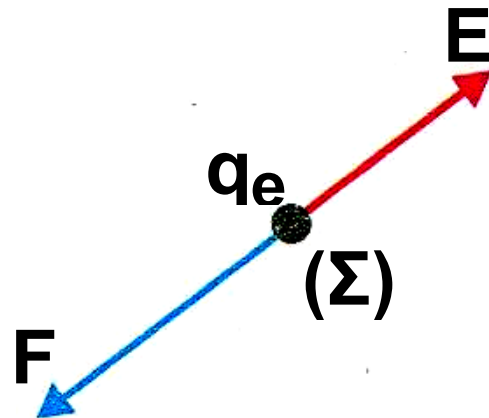
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Παράδειγμα 3

Ποια είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται σε σημείο «Σ» ηλεκτρικού πεδίου, στο οποίο η ένταση έχει μέτρο $E = 4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$; (εικ. 11).

Δίνεται: φορτίο ηλεκτρονίου
 $q = -1,6 \cdot 10^{19} \text{ C}$

Λύση



Εικ. 1.2-11.

$$E = \frac{F}{|q|} \Rightarrow F = |q_e| \cdot E \Rightarrow$$

$$F = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C} \cdot 4 \cdot 10^6 \text{ N/C} \Rightarrow$$

$$F = 6,4 \cdot 10^{-13} \text{ N.}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Η κατεύθυνση δύναμης φαίνεται στην εικόνα 11.

Παράδειγμα 4

Ένα θετικό φορτίο $q_1 = +4 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ βρίσκεται στη θέση $x = 0$ ημιάξονα Ox . Στη θέση $x_1 = 4 \text{ m}$ βρίσκεται ηλεκτρικό φορτίο $q_2 = +16 \cdot 10^{-9} \text{ C}$ (εικ. 12).

1. Να βρεθεί η ένταση του πεδίου που δημιουργείται από τα δύο φορτία:

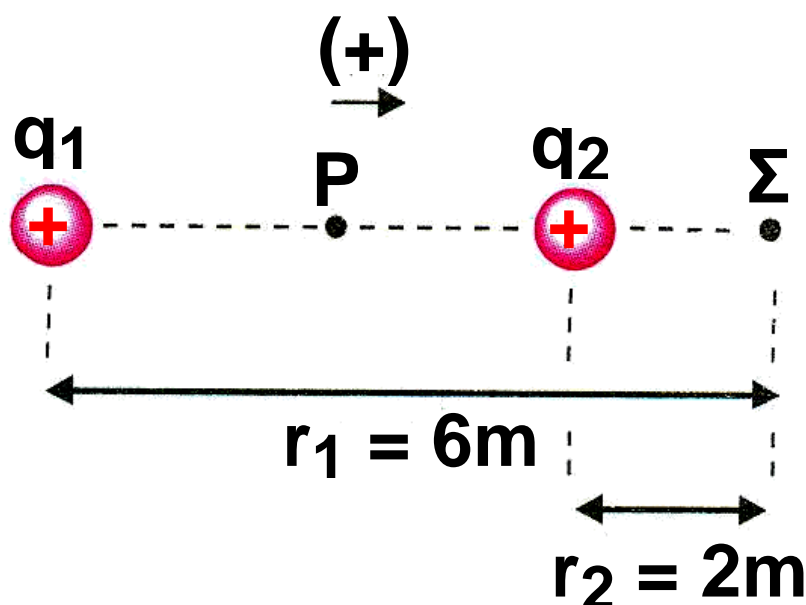
(α) Στο σημείο (Σ) που βρίσκεται στη θέση $x = 6 \text{ m}$.

(β) Στο σημείο (Ρ) που βρίσκεται στη θέση $x = 2 \text{ m}$.

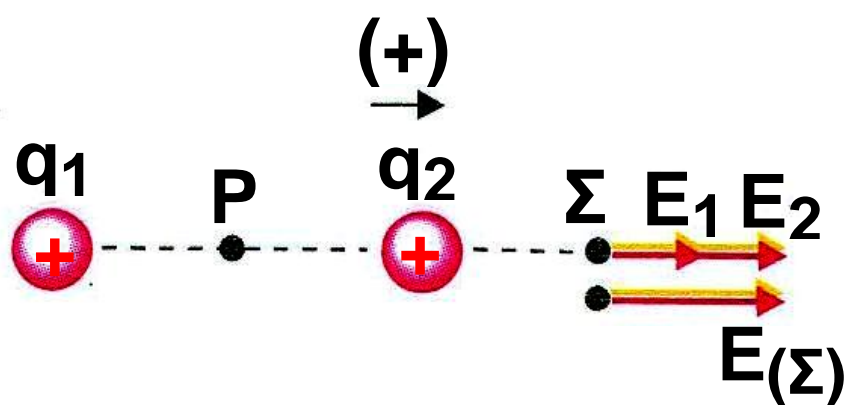
2. Σε ποιά θέση η ένταση του πεδίου έχει τιμή μηδέν;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Δίνεται: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$



Εικ 1.2-12.



Εικ 1.2-13.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Λύση

1. α) Στη θέση (Σ) οι εντάσεις \vec{E}_1 και \vec{E}_2 που οφείλονται στα φορτία q_1 και q_2 αντίστοιχα, είναι ομόρροπες και έχουν θετική φορά (εικ. 13).

$$E_{(\Sigma)} = E_1 + E_2 \quad (1)$$

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{r_1^2} =$$
$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(6\text{m})^2} = 1 \text{ N/C}$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{r_2^2} =$$
$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{16 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(8\text{m})^2} = 36 \text{ N/C}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

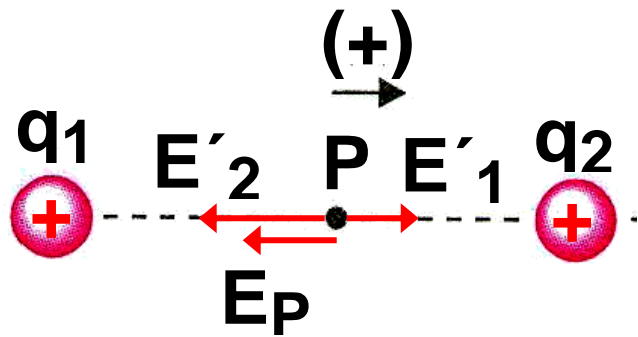
Από τη σχέση (1) έχουμε:

$E_{(\Sigma)} = 1 \text{ N/C} + 36 \text{ N/C} = 37 \text{ N/C}$ και την θετική κατεύθυνση,

(β) Στη θέση (P) $r'_1 = r'_2 = 2\text{m}$

$E_{(P)} = E'_1 - E'_2$ (2) επειδή οι εντάσεις είναι αντίθετης φοράς (εικ. 14).

Εικ. 1.2-14



$$E'_1 = k \frac{|q_1|}{r'^2_2}$$

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(2\text{m})^2} = 9 \text{ N/C}$$

$$E'_2 = k \frac{|q_2|}{r'^2_2}$$

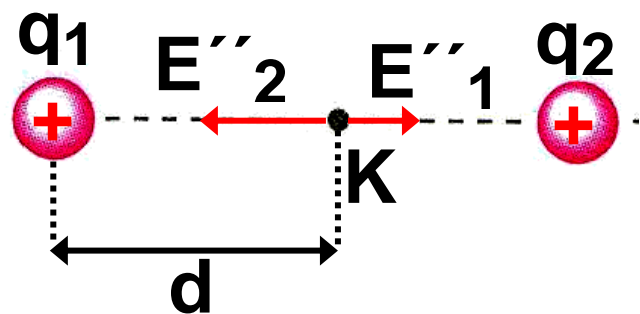
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{16 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{(2\text{m})^2} = 36 \text{ N/C}$$

Επομένως η ολική ένταση στη θέση (P) είναι:

$$E_{(P)} = 9\text{N/C} - 36\text{N/C} = -27 \text{ N/C}$$

Το πρόσημο (-) έχει φυσική σημασία και σημαίνει ότι η $\vec{E}_{(P)}$ έχει αρνητική κατεύθυνση, δηλαδή της έντασης \vec{E}'_2 .



Εικ. 1.2-15

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

2. Η ένταση του πεδίου είναι μηδέν σε σημείο (Κ) που βρίσκεται μεταξύ των φορτίων q_1 και q_2 , γιατί πρέπει οι δυο εντάσεις \vec{E}''_1 , και \vec{E}''_2 να είναι αντίθετες (εικ. 15). Έστω d η απόσταση του (Κ) από το φορτίο q_1 επομένως $x_1 - d$ η απόσταση του (Κ) από το φορτίο q_2 .

Επειδή οι εντάσεις θα έχουν ίσα μέτρα έχουμε:

$$\vec{E}''_1 = \vec{E}''_2 \quad \text{ή} \quad k \frac{|q_1|}{d^2} = k \frac{|q_2|}{(x_1 - d)^2} \quad \text{ή}$$
$$\left(\frac{x_1 - d}{d} \right)^2 = \frac{|q_2|}{|q_1|} \quad \text{ή} \quad \frac{x_1}{d} - 1 = \pm \sqrt{\frac{|q_2|}{|q_1|}}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$\frac{x_1}{d} = 1 \pm \sqrt{\frac{|q_2|}{|q_1|}} \quad \text{ή} \quad d = \frac{x_1}{1 \pm \sqrt{\frac{|q_2|}{|q_1|}}} \quad \text{ή}$$

$$d = \frac{4\text{m}}{1 \pm \sqrt{\frac{16 \cdot 10^{-9} \text{ C}}{4 \cdot 10^{-9} \text{ C}}}} \quad \text{ή}$$

$$d_1 = \frac{4}{3} \text{ m} \quad \text{και} \quad d_2 = -4\text{m}$$

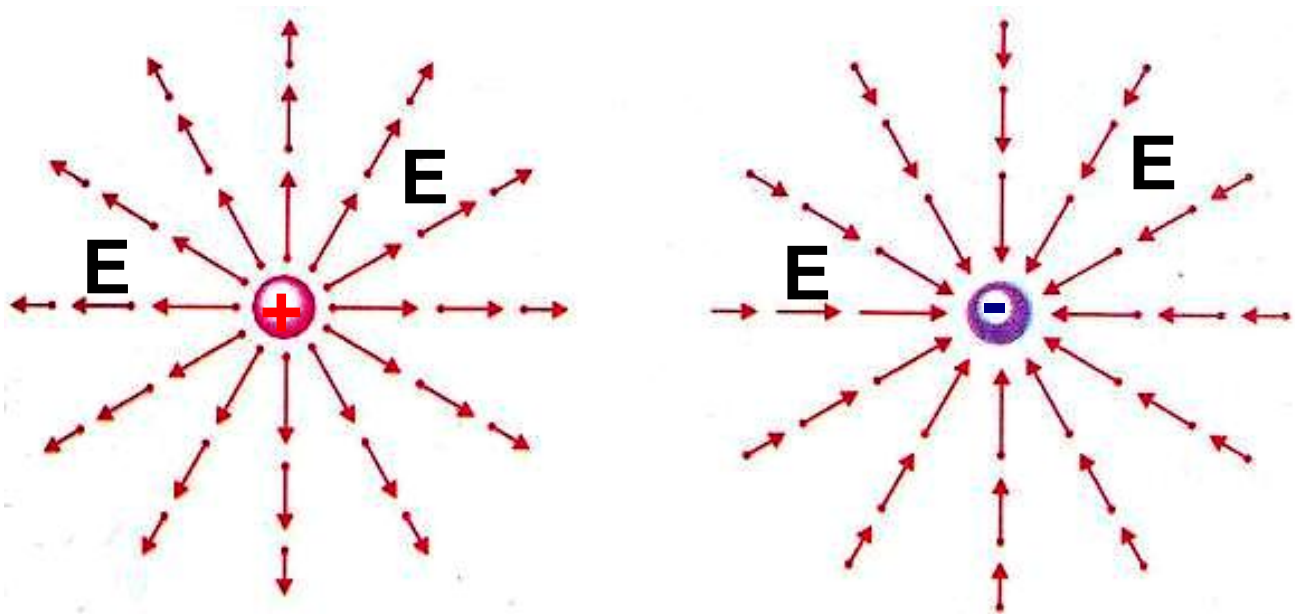
Άρα το ζητούμενο σημείο θα απέχει $d_1 = 4/3 \text{ m}$ από το φορτίο q_1 . Η λύση $d_2 = -4\text{m}$ απορρίπτεται, γιατί το σημείο K δε θα βρίσκεται μεταξύ των φορτίων q_1 και q_2 .

➔ Δυναμικές γραμμές

Όπως αναφέραμε, ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο. Η ένταση

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων του ηλεκτρικού πεδίου, διαφέρει από το ένα σημείο στο άλλο.

Για να αισθητοποιήσουμε το αόρατο πεδίο μέσω της έντασης, πρέπει να σχεδιάσουμε ένα διάνυσμα έντασης, για κάθε σημείο του χώρου γύρω από το φορτίο Q (εικ. 16).



Εικ. 1.2-16.

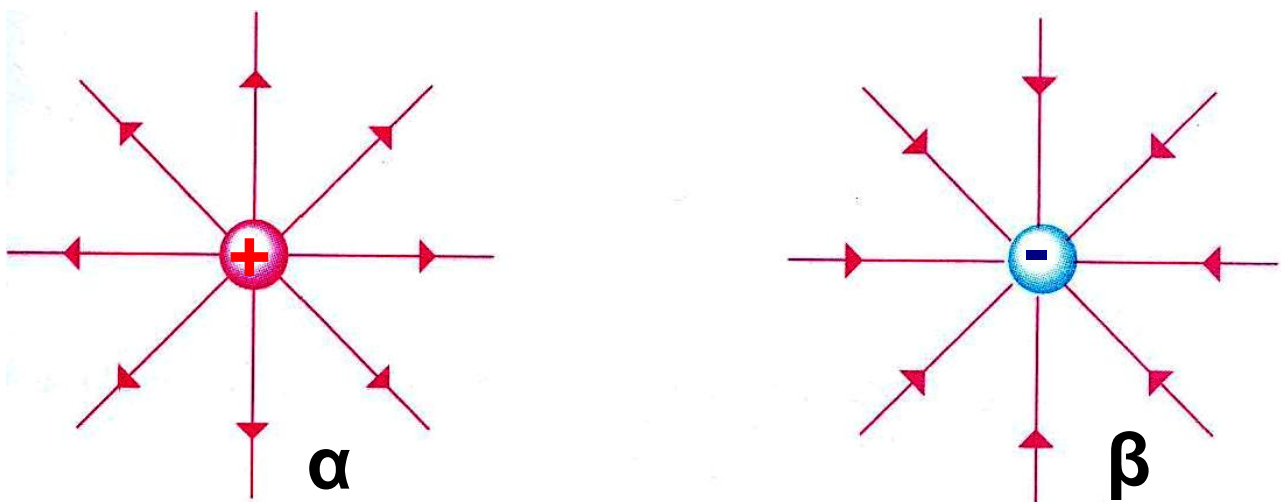
Διανύσματα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται γύρω από

(α) θετικό σημειακό φορτίο,

(β) αρνητικό σημειακό φορτίο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Επειδή είναι αδύνατο να σχεδιάσουμε άπειρα διανύσματα έντασης, μπορούμε να χαράξουμε αντιπροσωπευτικά μερικές γραμμές (εικ. 17).



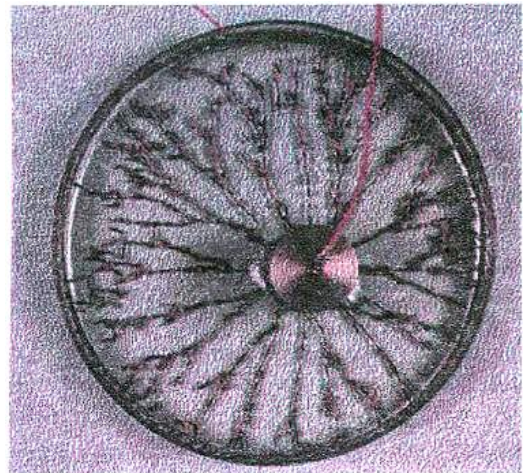
Εικ. 1.2-17. (α) Οι δυναμικές γραμμές αποκλίνουν και κατευθύνονται από το θετικό φορτίο προς το άπειρο.

(β) Οι δυναμικές γραμμές συγκλίνουν και κατευθύνονται προς το αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Οι γραμμές αυτές σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε η ένταση του

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων πεδίου να είναι εφαπτόμενη σε κάθε σημείο τους και ονομάζονται δυναμικές γραμμές.

Οι δυναμικές γραμμές ενός ηλεκτρικού πεδίου μπορούν να γίνουν ορατές, αν πραγματοποιήσουμε το εξής πείραμα.

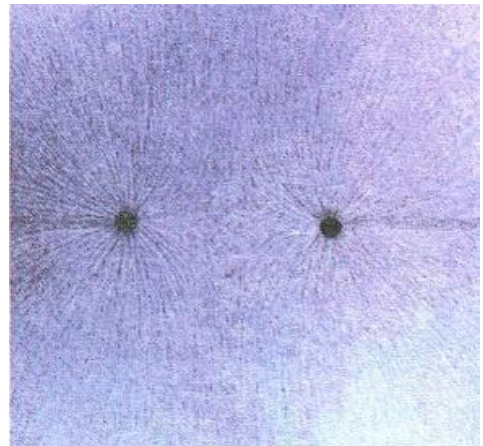


Εικ. 1.2-18.

Σε μία λεκάνη με μονωτικό υγρό (π.χ. καστορέλαιο) ρίχνουμε σπόρους χλόης ή σουσάμι οι οποίοι επιπλέουν. Στη συνέχεια τοποθετούμε με κατάλληλο τρόπο ένα μικρό φορτισμένο σώμα σε ένα σημείο του υγρού και διαπιστώνουμε

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
ότι οι σπόροι διατάσσονται όπως φαίνεται στην εικόνα 18.

Η μορφή αυτή, είναι ίδια με τη μορφή των δυναμικών γραμμών της εικόνας 17.



Εικ. 1.2-20.

Δυναμικές γραμμές πεδίου δύο ίσων αρνητικών φορτίων.

➔ **Ιδιότητες των δυναμικών γραμμών**

Οι δυναμικές γραμμές έχουν τις παρακάτω ιδιότητες:

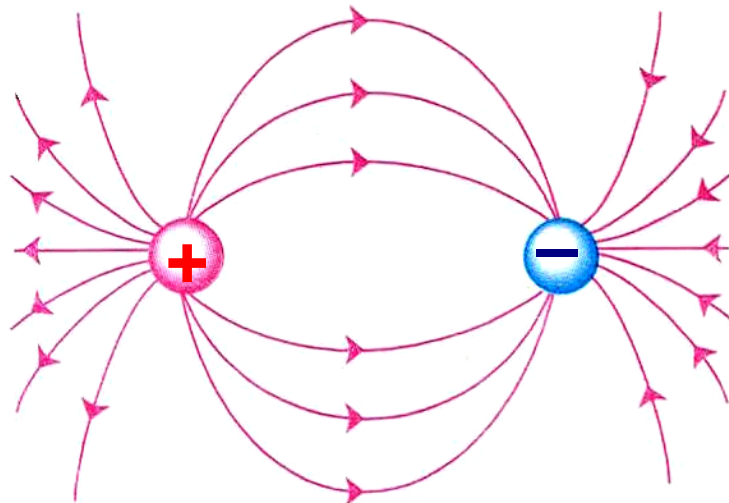
1. Απομακρύνονται από τα θετικά φορτία και κατευθύνονται προς τα αρνητικά, επομένως είναι ανοικτές.
2. Η ένταση του πεδίου έχει μεγαλύτερο μέτρο στις περιοχές του χώρου, όπου είναι πιο πυκνές (εικ. 22).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

3. Δεν τέμνονται.

➔ Διάφορες μορφές πεδίων

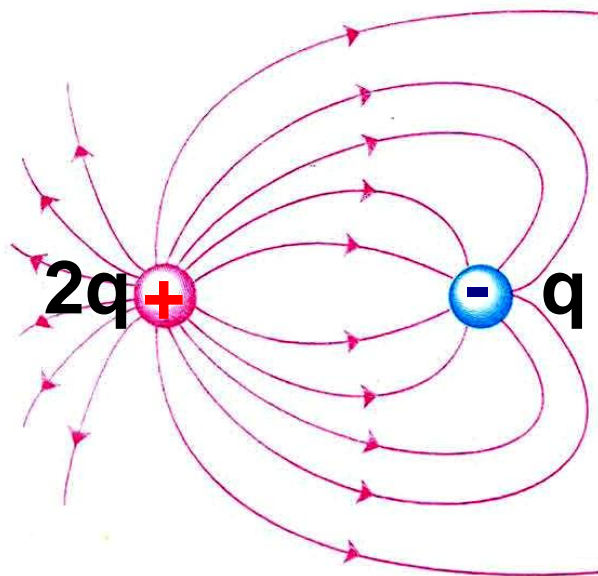
Ηλεκτρικά πεδία δημιουργούνται και από συστήματα δύο ή περισσότερων ηλεκτρικών φορτίων. Μερικές από τις απλούστερες μορφές τους φαίνονται σχεδιασμένες στις εικόνες 19, 21, 22.



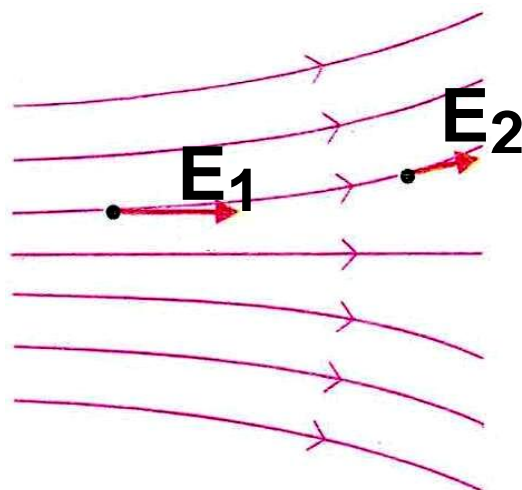
Εικ. 1.2.-19. Δυναμικές γραμμές πεδίου δύο αντίθετων φορτίων $+Q$ και $-Q$,

Τα πεδία που αντιστοιχούν στις εικόνες 18 έως 22, είναι πεδία που η ένταση τους μεταβάλλεται από ση-

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
μείο σε σημείο. Τα πεδία αυτά ονο-
μάζονται ανομοιογενή.**



**Εικ. 1.2.-21. Δυναμικές γραμμές πε-
δίου δύο φορτίων $+ 2q$ και $-q$.**



**Εικ. 1.2.-22. Μορφή
ανομοιογενούς πε-
δίου.**

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων **→ Ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο**

Ένα ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ομογενές όταν η ένταση του είναι η ίδια σε κάθε σημείο του.

Το πεδίο αυτό απεικονίζεται με τη βοήθεια δυναμικών γραμμών, οι οποίες είναι παράλληλες, ίδιας φοράς και ισαπέχουν (εικ. 23).

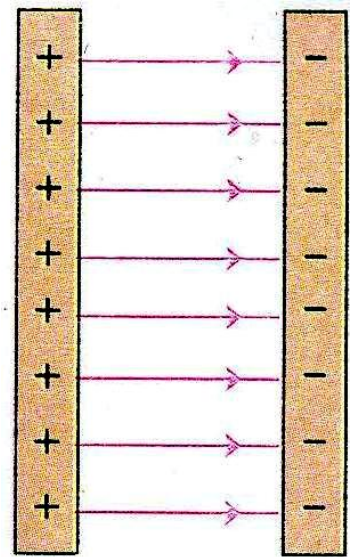
Σε ένα εργαστήριο η «κατασκευή» ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου είναι δυνατή, αν φορτίσουμε ένα σύστημα δύο όμοιων παράλληλων μεταλλικών πλακών με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία (εικ. 23). Το σύστημα αυτό ονομάζεται επίπεδος πυκνωτής και θα το μελετήσουμε στη παράγραφο 3.5.

Τα ηλεκτρικά πεδία που εμφανίζονται στη φύση είναι ανομοιογενή και έχουν ένταση, που σε κάθε σημείο του πεδίου είναι εν γένει,

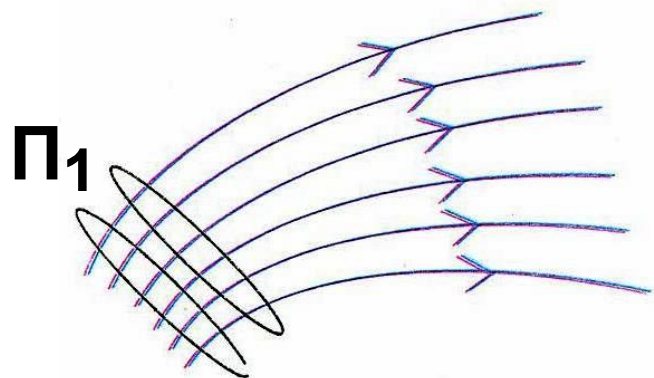
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων διαφορετικού μέτρου και κατεύθυνσης (εικ. 24).

Ένα τέτοιο πεδίο είναι δυνατόν κατά προσέγγιση να θεωρηθεί «τοπικά ομογενές» (εικ. 24 περιοχή Π_1).

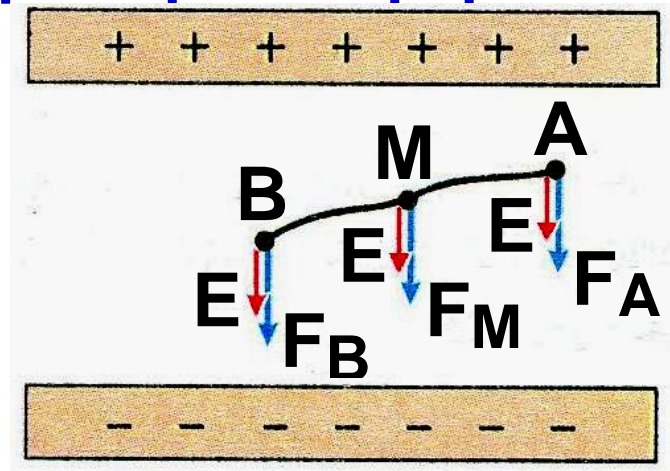
Εικ. 1.2.-23. Απεικόνιση ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου. Η ένταση του είναι σταθερή σε κάθε σημείο μεταξύ των πλακών.



Εικ. 1.2.-24. Στη περιοχή Π_1 μπορεί το ηλεκτρικό πεδίο να θεωρηθεί κατά προσέγγιση ομογενές.



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 1.2 -25. Οι δυνάμεις στις θέσεις A,B,M ομογενούς πεδίου σε θετικό φορτίο q είναι ίσες, όπως και σε κάθε άλλο σημείο του.

1.3 Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια

➔ Βαρυτικό πεδίο και βαρυτική δυναμική ενέργεια

Όπως γνωρίζουμε η βαρυτική δυναμική ενέργεια Γης-σώματος, είναι ιδιότητα του συστήματος των δύο σωμάτων.

Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στην ύπαρξη δυνάμεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των σωμάτων.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αν τα δύο σώματα βρεθούν σε άπειρη απόσταση το ένα ως προς το άλλο, τότε πρακτικά δεν ασκούνται δυνάμεις αλληλεπίδρασης και η δυναμική ενέργεια του συστήματος θεωρούμε ότι μηδενίζεται.

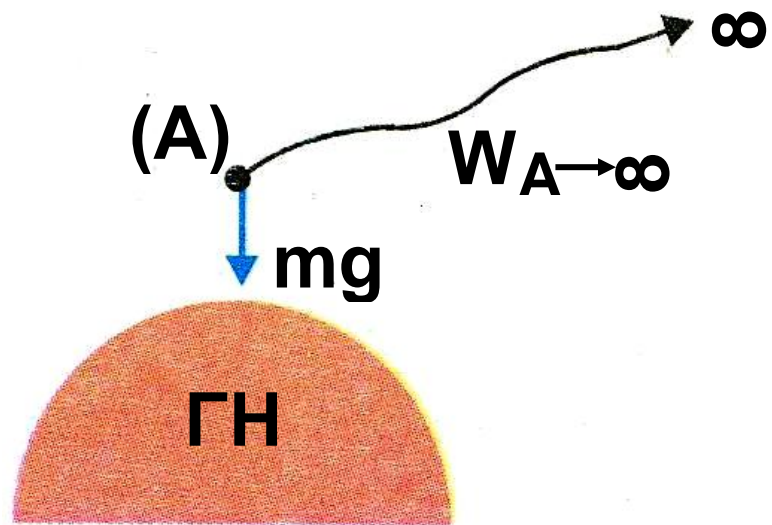
Η σχέση που συνδέει τη μεταβολή της δυναμικής ενέργειας συστήματος σωμάτων με το έργο των συντηρητικών δυνάμεων αλληλεπίδρασης, όπως π.χ. το βάρος είναι:

$$\begin{aligned}\Delta U &= -W \text{ ή} \\ U_{\text{ΤΕΛ}} - U_{\text{ΑΡΧ}} &= -W \text{ ή} \\ W &= -(U_{\text{ΤΕΛ}} - U_{\text{ΑΡΧ}})\end{aligned}\quad (5)$$

Κατά τη μετακίνηση μάζας m από τη θέση (Α) σε άπειρη απόσταση (πρακτικά σε απόσταση που η δύναμη αλληλεπίδρασης να μπορεί να θεωρηθεί αμελητέα), το έργο της

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
δύναμης του πεδίου $W_{A \rightarrow \infty}$ (εικ. 26)
σύμφωνα με τη σχέση (5) είναι:

$$W_{A \rightarrow \infty} = - (U_{\infty} - U_A)$$
$$\text{ή } W_{A \rightarrow \infty} = U_A - U_{\infty}$$



Εικ. 1.3 -26.

Επειδή όμως σε άπειρη απόσταση* η δυναμική ενέργεια του σώματος είναι $U_{\infty} = 0$ έχουμε:

$$U_{(A)} = W_{A \rightarrow \infty} \quad (6)$$

από τη σχέση (6) προκύπτει ότι η δυναμική ενέργεια του συστήματος στην αρχική θέση είναι ίση με το

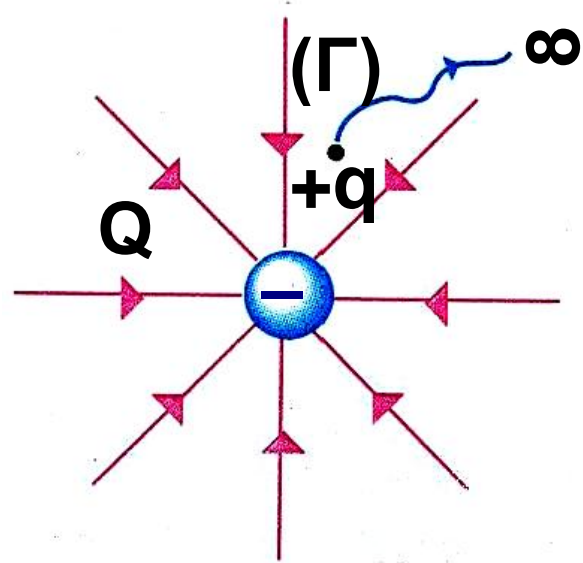
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
έργο της δύναμης του βαρυτικού πεδίου κατά τη μετακίνηση της μάζας από τη θέση (Α) στο άπειρο.

*Όταν αναφέρουμε άπειρη απόσταση, αυτή μπορεί να αντιστοιχεί σε απόσταση που για συνήθη φορτία μπορεί να είναι λίγα εκατοστά· δηλαδή ως άπειρη απόσταση θεωρούμε την απόσταση, στην οποία η δύναμη που δέχεται το δοκιμαστικό φορτίο, δεν είναι πρακτικά ανιχνεύσιμη.

➔ **Ηλεκτρικό πεδίο και δυναμική ενέργεια**

Έστω ακλόνητο αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο Q που δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Στη θέση (Γ) του πεδίου βρίσκεται θετικό δοκιμαστικό φορτίο q (εικ. 27). Επειδή οι ηλεκτροστατικές δυνάμεις είναι συ-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων ντηρητικές, κατ' αναλογία με το βαρυτικό πεδίο, η δυναμική ενέργεια του συστήματος των δύο φορτίων δίνεται από τη σχέση (6).



Εικ. 1.3 -27.

Ο υπολογισμός του έργου $W_{\Gamma \rightarrow \infty}$ δε γίνεται με απλά μαθηματικά, διότι υπάρχουν δυο δυσκολίες. Η πρώτη είναι ότι η δύναμη μεταβάλλεται με την απόσταση $\left(F = k \frac{|Qq|}{r^2} \right)$ και η δεύτερη ότι η μετατόπιση είναι απείρου μήκους.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Με τη χρήση όμως ανώτερων μαθηματικών αποδεικνύεται ότι το έργο είναι:

$$W_{\Gamma \rightarrow \infty} = k \frac{Q \cdot q}{r}$$

και λόγω της (6) η δυναμική ενέργεια του συστήματος των φορτίων στην αρχική θέση είναι:

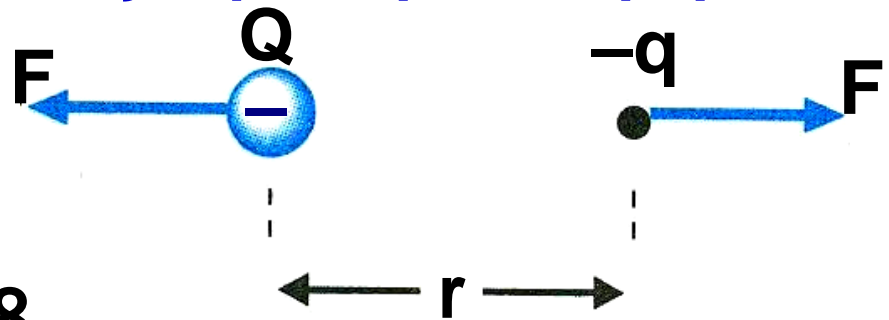
$$U_{(\Gamma)} = k \frac{Q \cdot q}{r} \quad (7)$$

όπου k η ηλεκτρική σταθερά και r η απόσταση μεταξύ των ηλεκτρικών φορτίων στην αρχική θέση.

Επειδή το φορτίο πηγή Q είναι ακλόνητο, θεωρούμε καταχρηστικά ότι η δυναμική ενέργεια του συστήματος ανήκει στο φορτίο q .

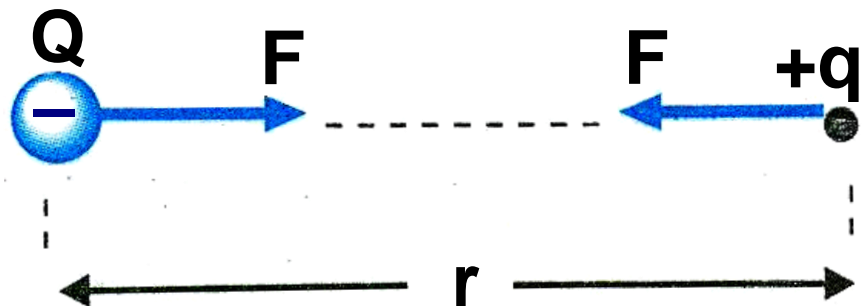
Δηλαδή θα λέμε ότι «η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη θέση « Γ » του πεδίου είναι η $U_{(\Gamma)}$ ».

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. 1.13-28.

Ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία. Η δυναμική ενέργεια U_F είναι θετική.



Εικ. 1.3.-29.

Ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία. Η δυναμική ενέργεια U_F είναι αρνητική.

Όπως προκύπτει από τη σχέση (7) το πρόσημο της δυναμικής ενέργειας του ηλεκτρικού φορτίου q στη θέση (Γ) μπορεί να είναι θετικό ή αρνητικό, αν τα φορτία Q, q είναι ομώνυμα ή ετερόνυμα αντίστοιχα. Ποιο είναι όμως το φυσικό περιε-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
χόμενο της θετικής ή αρνητικής δυναμικής ενέργειας;

Όταν έχουμε ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία, οι δυνάμεις που ασκούνται είναι απωθητικές (εικ. 28).

Επομένως, το έργο της δύναμης του πεδίου είναι παραγόμενο (θετικό) κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από τη θέση (Γ) στο άπειρο και η δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη θέση (Γ) είναι θετική. Αυτό σημαίνει ότι, το φορτίο q μπορεί να μετακινείται αυθόρμητα προς το άπειρο και η δυναμική του ενέργεια να ελαττώνεται.

Όταν έχουμε ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία, οι δυνάμεις που ασκούνται είναι ελκτικές (εικ. 29).

Επομένως, το έργο της δύναμης του πεδίου είναι καταναλισκόμενο (αρνητικό) κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από τη θέση (Γ) στο

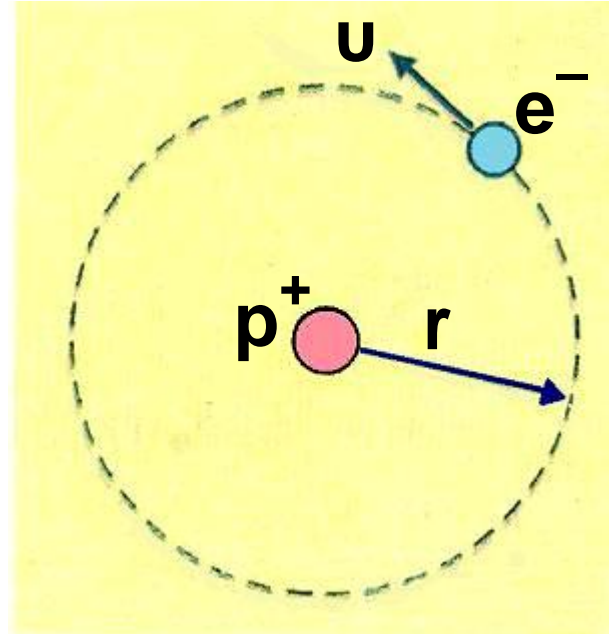
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
άπειρο και η δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη θέση (Γ) είναι αρνητική. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να προσφερθεί ενέργεια στο φορτίο q για να μετακινηθεί προς το άπειρο με αποτέλεσμα η δυναμική του ενέργεια να αυξάνεται.

Παράδειγμα 5

Να υπολογισθούν η δυναμική, η κινητική και η μηχανική ενέργεια του ηλεκτρονίου που περιστρέφεται στη στοιβάδα K του ατόμου του υδρογόνου. Δίνονται:
Το φορτίο του ηλεκτρονίου
 $q_e = -1,6 \cdot 10^{19} \text{ C},$
το φορτίο του πρωτονίου
 $q_p = -1,6 \cdot 10^{19} \text{ C},$
η ηλεκτρική σταθερά
 $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$
και η ακτίνα της τροχιάς του ηλεκτρονίου $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}.$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Λύση



Εικ. 1.3.-30.

Η δυναμική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση:

$$U_e = k \frac{Q_p \cdot q_e}{r} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{ή } U_e &= \\ &= 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{1,6 \cdot 10^{-9} \text{ C} (-1,6 \cdot 10^{-9} \text{ C})}{5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}} \end{aligned}$$

$$\text{ή } U_e \approx -4,350 \cdot 10^{-18} \text{ J} \quad (2)$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Η κινητική ενέργεια του ηλεκτρονίου δίνεται από τη σχέση:

$$K_e = \frac{1}{2} m_e \cdot v^2 \quad (3)$$

από την κυκλική κίνηση γνωρίζουμε ότι το ρόλο της αναγκαίας κεντρομόλου τον πραγματοποιεί η δύναμη Coulomb. Άρα:

$$F_c = \frac{mv^2}{r} \quad \text{ή} \quad k \frac{|q_p q_e|}{r^2} \quad \text{ή}$$

$$v = \sqrt{k \frac{|q_p q_e|}{m_e \cdot r}} \quad (4)$$

Από τη σχέση (3) λόγω της (4) έχουμε:

$$K_e = \frac{k |q_p q_e|}{2r} \quad \text{ή}$$
$$K_e = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(1,6 \cdot 10^{-9} \text{ C})^2}{2 \cdot 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$\text{ή } k_e = 2,175 \cdot 10^{-18} \text{ J}$$

Η μηχανική ενέργεια E_M είναι

$$E_M = K + U \text{ (6) επομένως:}$$

$$\begin{aligned} E_M &= K_e + U_e = \\ &+2,175 \cdot 10^{-18} \text{ J} - 4,350 \cdot 10^{-18} \text{ J} = \\ &-2,175 \cdot 10^{-18} \text{ J} \end{aligned}$$

Οι σχέσεις με τις οποίες συνδέονται οι παραπάνω ενέργειες είναι:

$$K = \frac{1}{2} |U| \quad \text{και} \quad E_M = -K$$

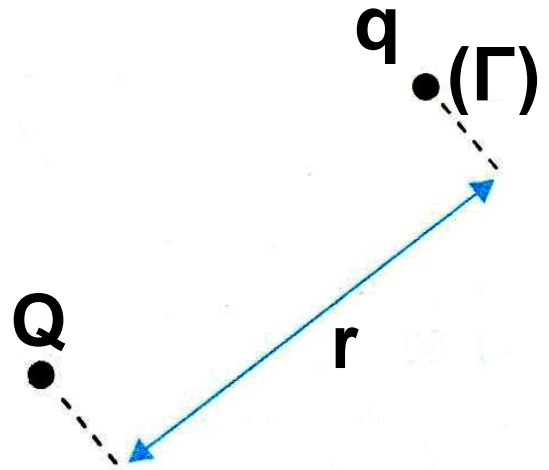
Επειδή η ενέργεια σε επίπεδο ατόμου είναι πολύ μικρής τιμής, χρησιμοποιούμε ως μονάδα μέτρησης (στη φυσική στοιχειωδών σωματιδίων) και το eV (electron volt) ηλεκτρονιοβόλτ:

$$1 \text{ eV} = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Joule.}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

1.4 Δυναμικό διαφορά δυναμικού

➔ Δυναμικό



Εικ. 1.4.-31.

Όπως είδαμε στην προηγούμενη παράγραφο η δυναμική ενέργεια δοκιμαστικού φορτίου q , στη θέση (Γ) που απέχει απόσταση r από φορτίο «πηγή» του πεδίου Q (εικ. 31) είναι:

$$U_1 = k \frac{Q}{r} q$$

Αν στη θέση (Γ) τοποθετήσουμε ένα άλλο δοκιμαστικό φορτίο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
 $q' = 2q$, η δυναμική του ενέργεια γίνεται:

$$U_2 = k \frac{Q}{r} 2q$$

Διαπιστώνουμε ότι $U_2 = 2U_1$ δηλαδή η δυναμική ενέργεια είναι ανάλογη του φορτίου q . Το πηλίκο της δυναμικής ενέργειας του φορτίου q προς το φορτίο αυτό είναι μία φυσική ποσότητα που έχει σταθερή τιμή ανεξάρτητη του φορτίου q στη συγκεκριμένη θέση (Γ) του πεδίου. Τη φυσική αυτή ποσότητα ονομάζουμε δυναμικό του πεδίου στη θέση (Γ) και συμβολίζεται V_Γ .

Δυναμικό σε μία θέση (Γ) ηλεκτρικού πεδίου, ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος, που είναι ίσο με το πηλίκο της δυναμικής ενέργειας φορτίου q στη θέση Γ προς το φορτίο αυτό.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma}}{q} \quad (8)$$

Μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο S.I. είναι το

$$1V = \frac{1J}{1C} \quad \left(1 \text{ Volt} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 C} \right)$$

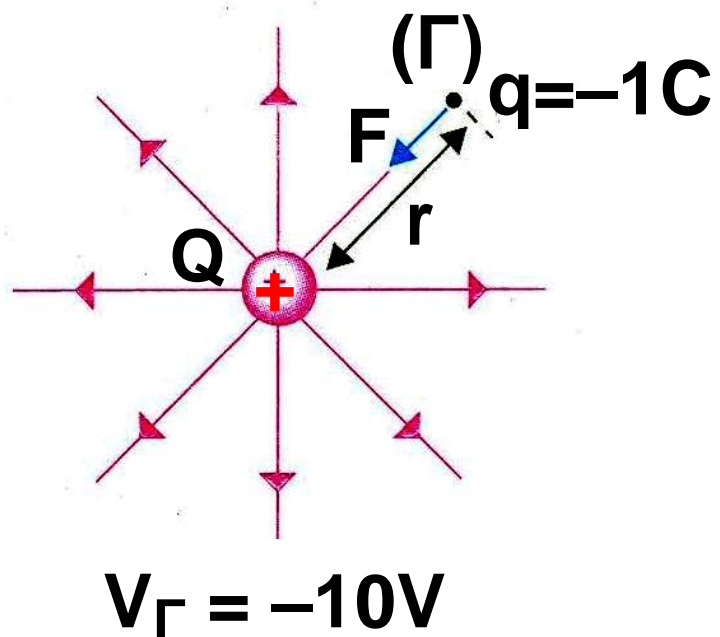
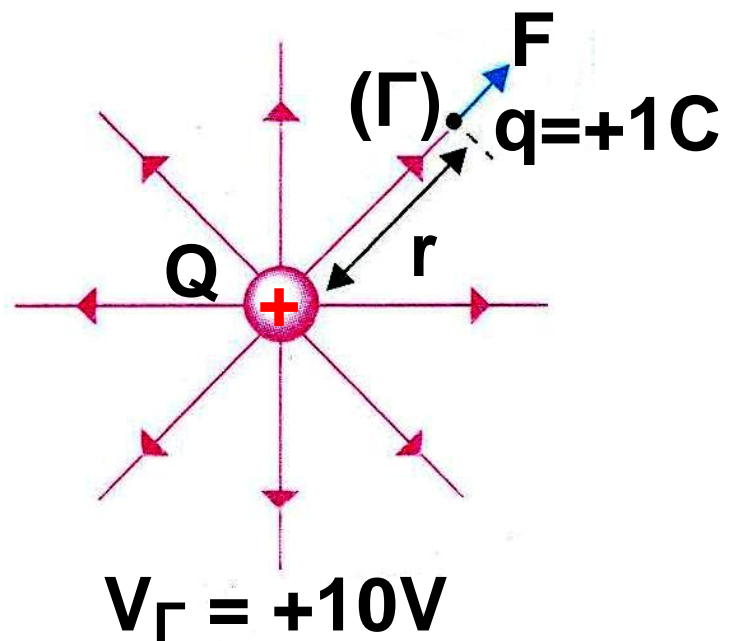
Επειδή $U_{\Gamma} = W_{\Gamma \rightarrow \infty}$ η σχέση (8) γράφεται:

$$V_{(\Gamma)} = \frac{W_{\Gamma \rightarrow \infty}}{q} \quad (9)$$

Τι σημαίνει λοιπόν ότι το δυναμικό σε μία θέση (Γ) του πεδίου είναι $V_{\Gamma} = +10V$;

Σημαίνει ότι, αν βρεθεί στη θέση (Γ) φορτίο δοκιμαστικό φορτίο $+1C$, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $+10J$ ή ισοδύναμα, αν βρεθεί στη θέση (Γ) δοκιμαστικό φορτίο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
-1C, θα έχει ηλεκτρική δυναμική
ενέργεια -10 J (εικ. 32).



Εικ. 1.4.32

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων ➔ Δυναμικό ηλεκτροστατικού πεδίου **Coulomb**

Με βάση τη σχέση ορισμού του φυσικού μεγέθους του δυναμικού:

$$V_{\Gamma} = \frac{U_{\Gamma}}{q}$$

και αντικαθιστώντας τη δυναμική ενέργεια φορτίου q στη θέση (Γ) με τη σχέση:

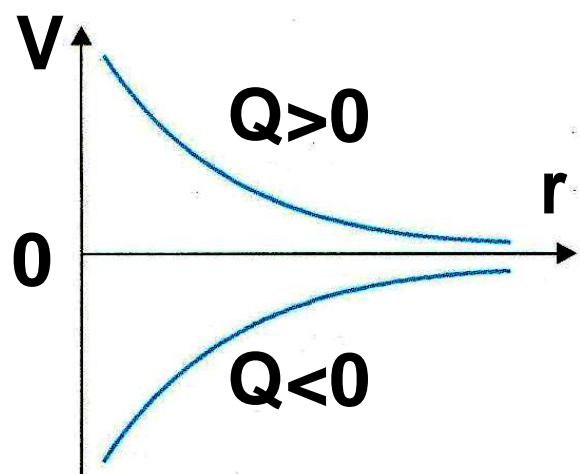
$$U_{\Gamma} = k \frac{Q \cdot q}{r}$$

έχουμε:

$$V_{\Gamma} = k \frac{Q}{r} \quad (10)$$

Εικ. 1.4.-33. Το δυναμικό V ως συνάρτηση της απόστασης r από θετικό

και από αρνητικό φορτίο πηγή O .



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Όπου Q το φορτίο που δημιουργεί το πεδίο και r η απόσταση μεταξύ του σημείου (Γ) και του φορτίου Q .

Παράδειγμα 6

Να βρεθεί το δυναμικό σε απόσταση

(α) 30 cm

(β) 60 cm

από ένα φορτίο πηγή $Q = -4\mu\text{C}$

2. Πόση δυναμική ενέργεια έχει φορτίο $q' = 2\mu\text{C}$ αν βρεθεί σε απόσταση 30 cm;

Δίνεται ότι: $1\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$ και

$k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

Λύση

1. Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V = k \frac{Q}{r}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Στην απόσταση των 30 cm το δυναμικό είναι:

$$V_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{3 \cdot 10^{-1} \text{ m}}$$
$$\text{ή } V_1 = -12 \cdot 10^4 \text{ V}$$

(β) Στην απόσταση των 60 cm το δυναμικό είναι:

$$V_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{-4 \cdot 10^{-6} \text{ C}}{6 \cdot 10^{-1} \text{ m}}$$
$$\text{ή } V_2 = -6 \cdot 10^4 \text{ V}$$

2. Η δυναμική ενέργεια του φορτίου q' υπολογίζεται από τη σχέση του δυναμικού:

$$V = \frac{U}{q'}$$

από την σχέση αυτή έχουμε:

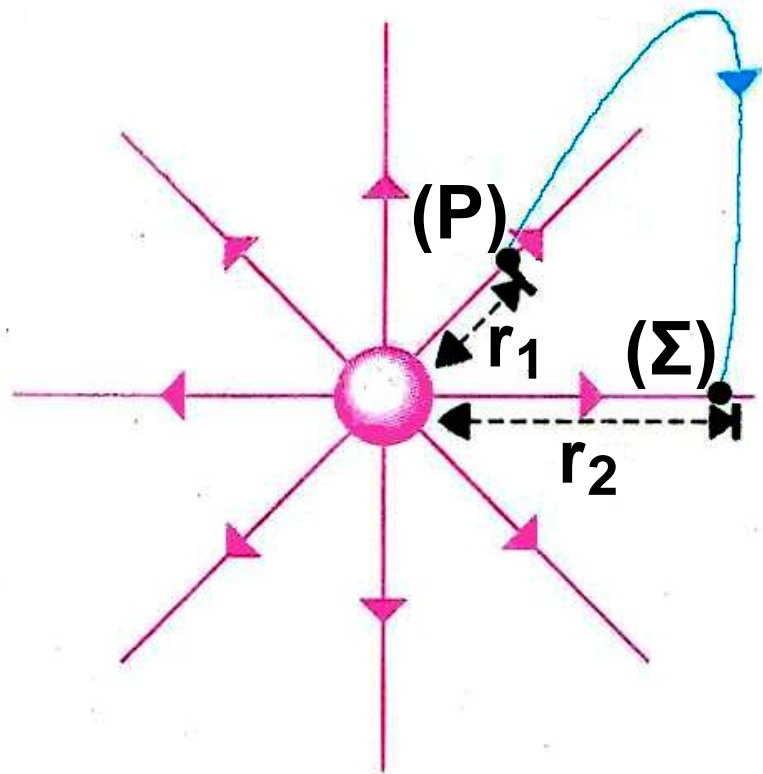
$$U = V \cdot q' \text{ ή}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$U = -12 \cdot 10^4 \text{ V} \cdot 2 \cdot 10^{-6} \text{ C} = -0,24 \text{ J}$$

Αυτό σημαίνει ότι κατά τη μετακίνηση φορτίου $2\mu\text{C}$ στο άπειρο, η δύναμη του πεδίου καταναλώνει έργο ίσο με $0,24 \text{ J}$.

➔ Διαφορά Δυναμικού



Εικ. 1.4.-34.

Έστω φορτίο πηγή Q και δοκιμαστικό φορτίο q , το οποίο μετακινείται από μία θέση (Σ) σε μία άλλη θέση (P) του πεδίου (εικ. 34).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Το φορτίο Q στις θέσεις (Σ) και (P) έχει δυναμική ενέργεια U_{Σ} και U_P αντίστοιχα. Τα δυναμικά στις θέσεις (Σ) και (P) είναι V_{Σ} και V_P αντίστοιχα.

Η διαφορά $V_{\Sigma}-V_P$ ονομάζεται **διαφορά δυναμικού** μεταξύ των σημείων (Σ) και (P) και συμβολίζεται $V_{\Sigma P}$ και είναι:

$$V_{\Sigma P} = V_{\Sigma}-V_P \quad \text{ή} \quad V_{\Sigma P} = \frac{U_{\Sigma}}{q} - \frac{U_P}{q} \quad \text{ή}$$

$$V_{\Sigma P} = \frac{U_{\Sigma}-U_P}{q} \quad (11)$$

Όπως έχουμε αναφέρει για το ηλεκτροστατικό πεδίο ισχύει:

$$W_{\Sigma \rightarrow P} = -\Delta U_{\Sigma P} = U_{\Sigma} - U_P$$

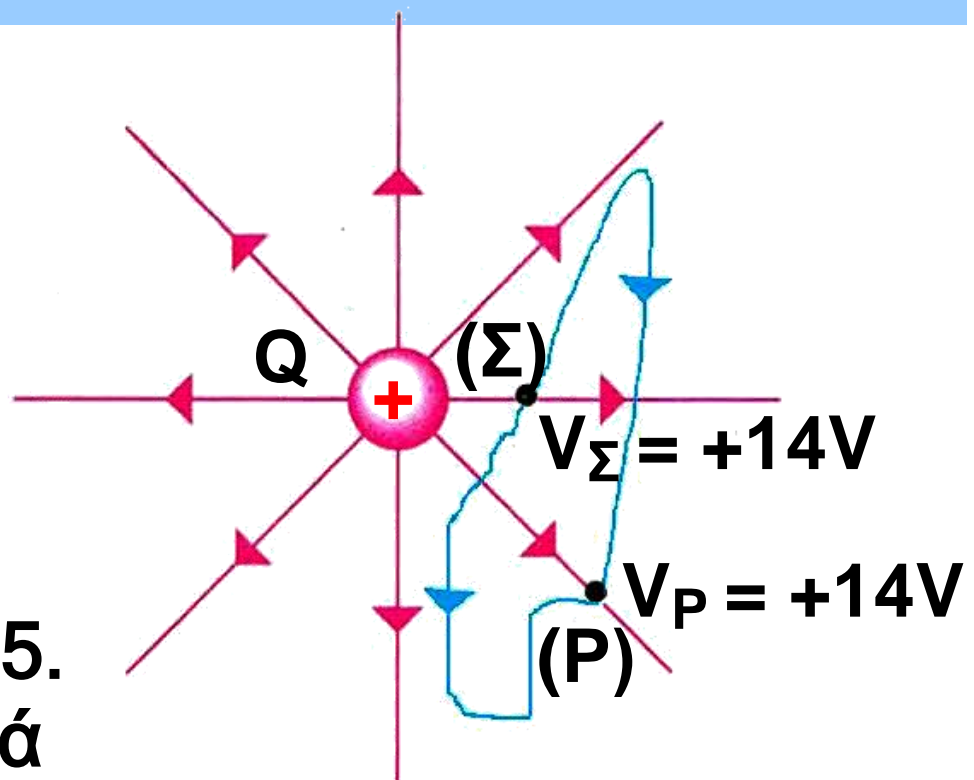
Επομένως, η σχέση (11) γίνεται **ισοδύναμα**:

$$V_{\Sigma P} = \frac{W_{\Sigma \rightarrow P}}{q}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων (Σ) και (P) ηλεκτρικού πεδίου ισούται με το πηλίκο του έργου της δύναμης του πεδίου κατά τη μεταφορά δοκιμαστικού φορτίου q από τη θέση (Σ) στη θέση (P), προς το φορτίο αυτό.

$$V_{\Sigma P} = \frac{W_{\Sigma \rightarrow P}}{q} \quad (12)$$



Εικ. 1.4.35.

Η διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ δυο σημείων Σ και P . $V_{\Sigma} - V_P$ ή $V_{\Sigma P} = +4V$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Η διαφορά δυναμικού επομένως μας δίνει: το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου ανά μονάδα φορτίου για τη μετακίνηση του από τη θέση (Σ) στη θέση (Ρ).

Έστω ότι δύο σημεία (Σ) και (Ρ) (εικ. 35) του ηλεκτροστατικού πεδίου, έχουν δυναμικά $V_{\Sigma} = +14\text{Volt}$ και $V_{\rho} = +10\text{Volt}$. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο σημείων είναι:

$$V_{\Sigma\rho} = V_{\Sigma} - V_{\rho} = 14\text{V} - 10\text{V} = 4\text{V}$$

Αυτό σημαίνει ότι, κατά τη μετακίνηση θετικού δοκιμαστικού φορτίου ενός Coulomb από τη θέση (Σ) στη θέση (Ρ), το έργο της δύναμης του πεδίου είναι +4J και η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του δοκιμαστικού φορτίου ελαττώθηκε κατά 4 J.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Παρατηρήσεις

1. Στην περίπτωση του πεδίου Coulomb η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων (Σ) και (P), υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{\Sigma P} = V_{\Sigma} - V_P = k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} \quad \text{ή}$$

$$V_{\Sigma P} = kQ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (13)$$

όπου r_1, r_2 οι αποστάσεις των σημείων (Σ) και (P) αντίστοιχα, από το φορτίο Q .

2. Από τη σχέση (12) έχουμε ότι:

$$W_{\Sigma \rightarrow P} = q \cdot V_{\Sigma P} \quad (14)$$

Η σχέση αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το έργο της δύναμης του πεδίου κατά τη μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου q

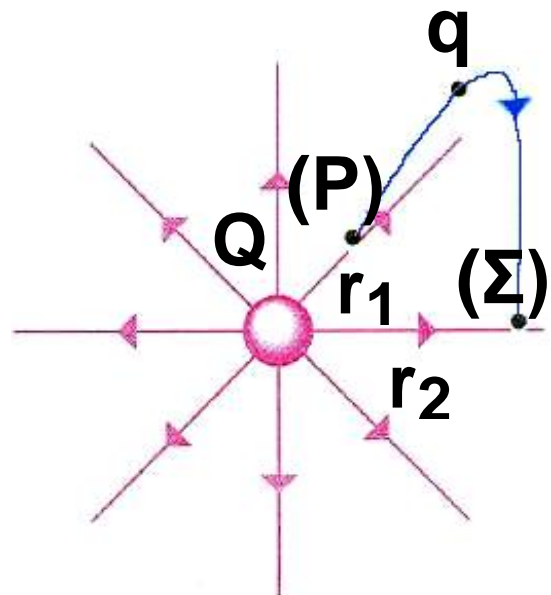
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων από το σημείο (Σ) σε σημείο (Ρ), των οποίων η διαφορά δυναμικού είναι $V_{\Sigma P}$.

Παράδειγμα 7

Δίνεται σημειακό ηλεκτρικό φορτίο $Q = +10^{-8} \text{ C}$ και δύο σημεία (Ρ) και (Σ) τα οποία απέχουν αποστάσεις $r_1 = 0,4 \text{ m}$ και $r_2 = 0,8 \text{ m}$ αντίστοιχα από το φορτίο Q (εικ. 6). Να βρεθούν:

(α) Η διαφορά δυναμικού $V_{\Sigma P}$ μεταξύ των σημείων (Ρ) και (Σ).

(β) Το έργο της δύναμης του πεδίου, όταν φορτίο $q = +4 \mu\text{C}$ μετακινηθεί από τη θέση (Ρ) στη θέση (Σ).



Εικ. 1.4.36

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
(γ) Ποια είναι η φυσική σημασία
του $W_{P\Sigma}$;**

Δίνεται ότι: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$

Λύση

**(α) Η διαφορά δυναμικού $V_{P\Sigma}$
υπολογίζεται από τη σχέση:**

$$V_{P\Sigma} = V_P - V_\Sigma \quad (1)$$

Από τη σχέση (1) έχουμε:

$$V_P = k \frac{Q}{r_1} \quad (2)$$

και

$$V_\Sigma = k \frac{Q}{r_2} \quad (3)$$

Η (1) λόγω των (2) και (3) γίνεται:

$$\begin{aligned} V_{P\Sigma} &= V_P - V_\Sigma = k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} = \\ &= kQ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad \text{ή} \end{aligned}$$

$$V_{P\Sigma} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot 10^{-8} \left(\frac{1}{0,4\text{m}} - \frac{1}{0,8\text{m}} \right)$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

= 112,5 Volts

(β) Το έργο της δύναμης υπολογίζεται από τη σχέση (14):

$$W_{P \rightarrow \Sigma} = q \cdot V_{P\Sigma} \text{ ή}$$

$$W_{P \rightarrow \Sigma} = 4 \cdot 10^{-6} \cdot 112,5V = 450 \text{ Joule}$$

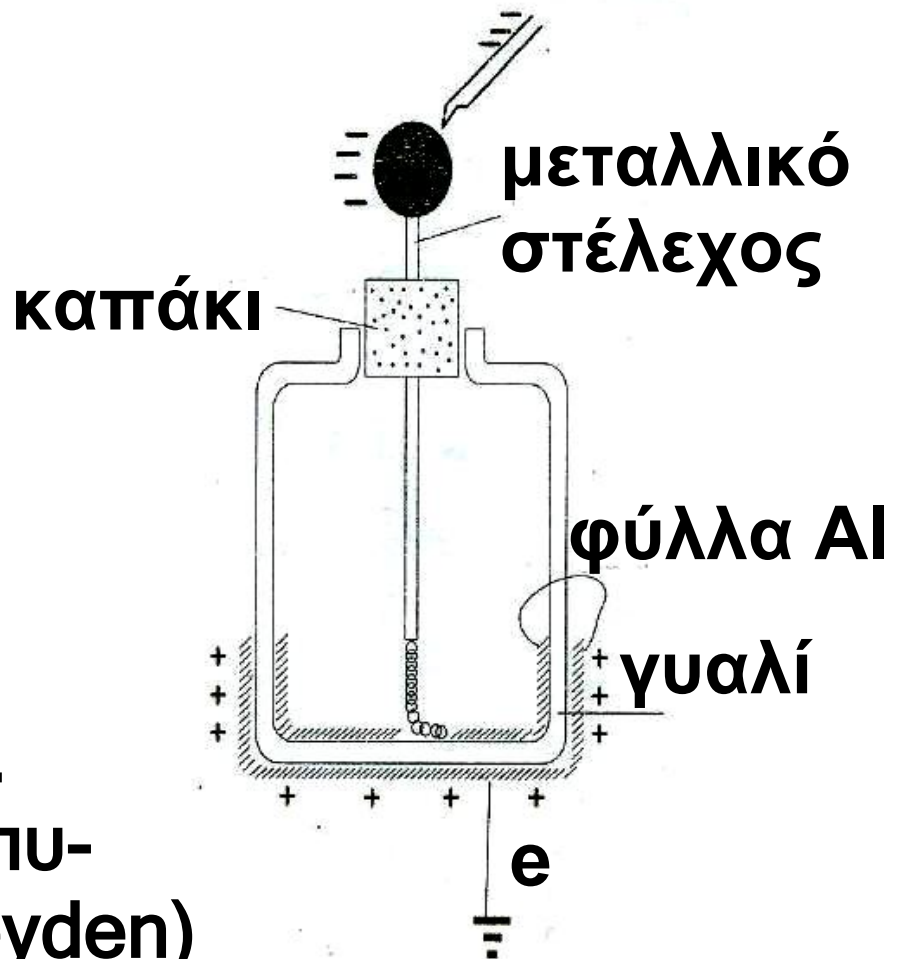
(γ) Το αποτέλεσμα της ερώτησης (β) σημαίνει ότι κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από το (Σ) στο (P), η δύναμη του πεδίου παράγει έργο ίσο με 450J ή ότι η δυναμική ενέργεια του φορτίου στη θέση (Σ) μειώθηκε κατά 450 Joule.

1.5

Πυκνωτές

Σ ε πολλές από τις συσκευές που χρησιμοποιούμε στην καθημερινή ζωή, όπως τα στερεοφωνικά συγκροτήματα, οι τηλεοράσεις, οι τηλεφωνικές συσκευές, οι ηλεκτρονικοί υπολογιστές, υπάρχει η ανάγκη να αποθηκεύεται κάποια

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



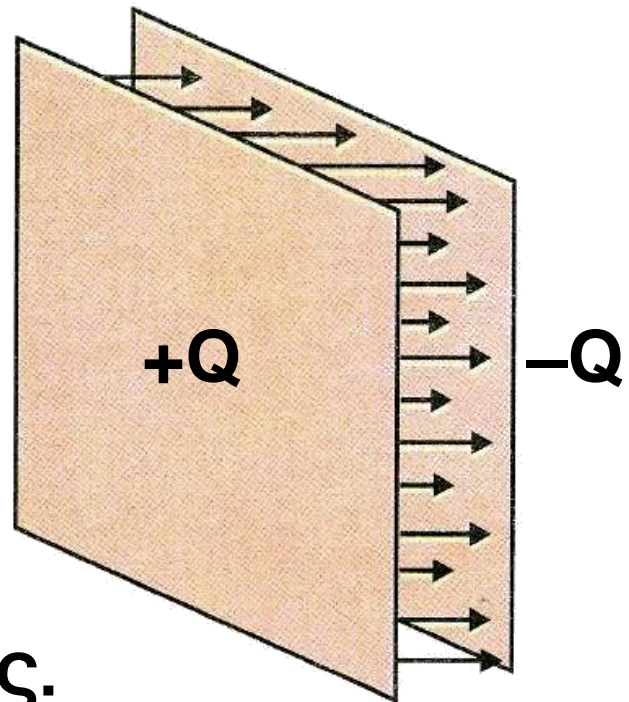
Εικ. 1.5-37.
Ο πρώτος πυκνωτής (Leyden)

ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου για ορισμένο χρονικό διάστημα και να χρησιμοποιείται την κατάλληλη χρονική στιγμή.

Η διάταξη με την οποία επιτυγχάνεται η αποθήκευση του ηλεκτρικού φορτίου είναι ο πυκνωτής.

Ο πυκνωτής είναι μία συσκευή που χρησιμεύει ως αποθήκη ηλεκτρικού φορτίου και επομένως

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
ηλεκτρικής ενέργειας. Αποτελείται
από δύο αγωγούς που διαχωρίζο-
νται από ένα μονωτικό υλικό.



Εικ. 1.5-38.
Επίπεδος πυκνωτής.

Ο πρώτος πυκνωτής κατασκευά-
στηκε στο Πανεπιστήμιο του
Leyden της Ολλανδίας το 1745 (εικ.
37).

Αποτελείται από ένα γυάλινο
δοχείο το οποίο έχει καλυφθεί εσω-
τερικά και εξωτερικά με λεπτά φύλ-
λα μετάλλου. Ένα κατακόρυφο με-
ταλλικό στέλεχος που περνά από

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
το στόμιο του δοχείου, έχει στο επάνω μέρος του ένα μεταλλικό σφαιρίδιο και είναι μονωμένο με κατάλληλο πώμα. Το κάτω άκρο του στελέχους μέσω μιας μεταλλικής αλυσίδας έρχεται σε επαφή με το εσωτερικό φύλλο του μετάλλου-αγωγού.

Εικ. 1.5-39.

Πυκνωτής εμπορίου.



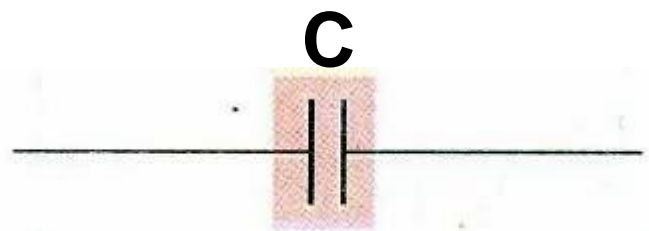
Οι δυο αγωγοί (φύλλα μετάλλου) εσωτερικός και εξωτερικός αποτελούν τον πυκνωτή. Αν με μια φορτισμένη ράβδο φορτίσουμε τον εσωτερικό αγωγό αρνητικά, τότε τα ηλεκτρόνια του εξωτερικού αγωγού απωθούμενα διαφεύγουν μέσω της γείωσης και ο αγωγός φορτίζεται θετικά. Διακόπτοντας την επαφή με

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
την ράβδο και τη γείωση έχουμε
ένα φορτισμένο πυκνωτή.**

➔ Επίπεδος πυκνωτής - Φόρτιση

**Τυπική μορφή πυκνωτή είναι ο
επίπεδος πυκνωτής. Αποτελείται
από δυο όμοια λεπτά και επίπεδα
μεταλλικά φύλλα (πλάκες), που βρί-
σκονται σε πολύ μικρή απόσταση
σε σχέση με τις διαστάσεις τους.**

**Τα δύο μεταλλικά φύλλα ονομά-
ζονται οπλισμοί του πυκνωτή (εικ.
38).**



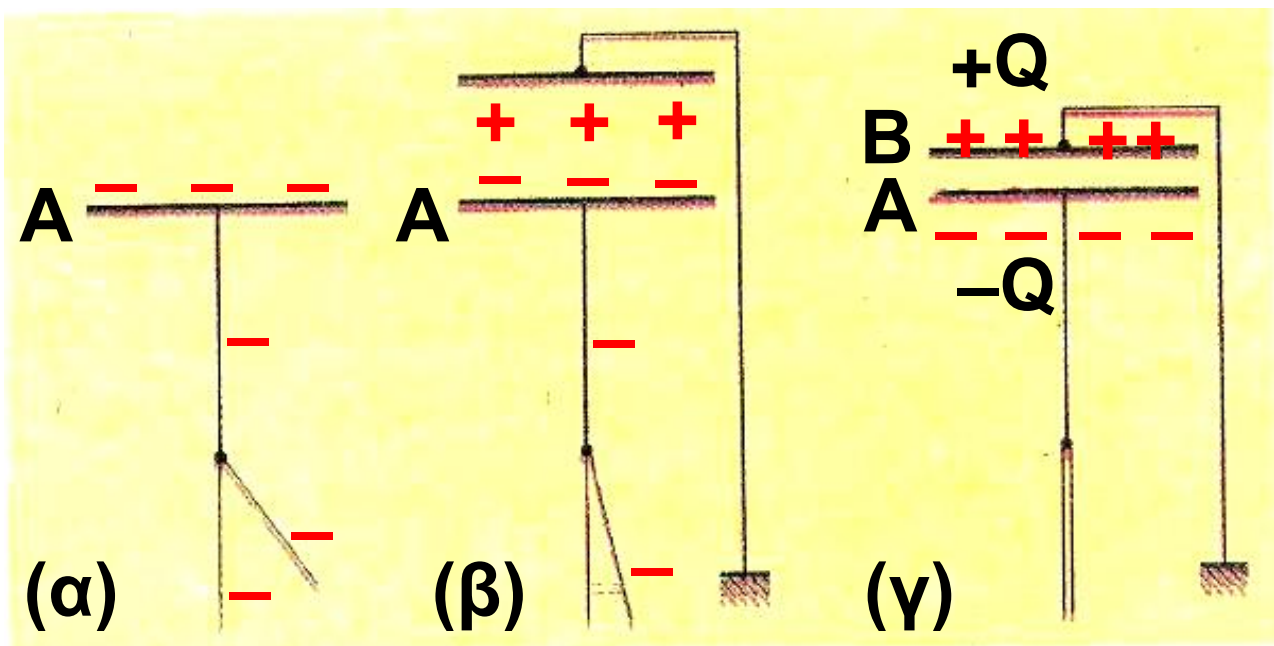
Εικ. 1.5-40.

Συμβολισμός του επίπεδου πυκνωτή.

**Ο επίπεδος πυκνωτής είναι η μό-
νη διάταξη με την οποία μπορούμε
να παράγουμε ομογενές ηλεκτρικό**

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων πεδίο φορτίζοντας τον, με τη παρακάτω διαδικασία.

Έστω μια επίπεδη μεταλλική πλάκα (A) η οποία έχει συνδεθεί με ένα ηλεκτροσκόπιο (εικ. 41), την οποία φορτίζουμε με αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο. Μία δεύτερη όμοια μεταλλική πλάκα (B), που είναι γειωμένη, τοποθετείται κοντά στην (A).

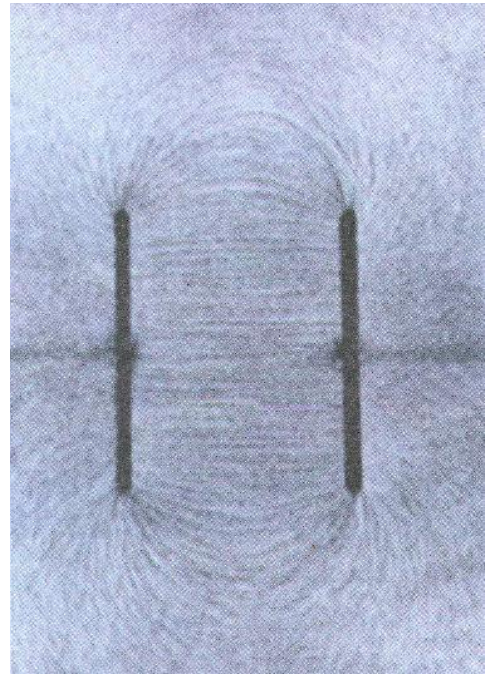


Εικ. 1.5-41.

Η πλάκα (B) αποκτά θετικό ηλεκτρικό φορτίο καθώς πλησιάζει την

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων (A), γιατί ελεύθερα ηλεκτρόνια της, απωθούμενα από τα ηλεκτρόνια της φορτισμένης πλάκας (A), φεύγουν προς τη Γη.

Εικ. 1.5-42. Φάσμα ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου.



Ταυτοχρόνως, καθώς η πλάκα (B) πλησιάζει την πλάκα (A), διαπιστώνουμε ότι η πλάκα (A) αποκτά όλο και μεγαλύτερο αρνητικό φορτίο. Η αύξηση του ηλεκτρικού φορτίου της πλάκας (A) αποδεικνύεται από το πλησίασμα των φύλλων του ηλεκτροσκοπίου (εικ. 41 β). Αυτό

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων οφείλεται στη μετακίνηση ελεύθερων ηλεκτρονίων από τα φύλλα του ηλεκτροσκοπίου και του στελέχους προς τη πλάκα (A), λόγω των ελκτικών δυνάμεων Coulomb, οι οποίες μεγαλώνουν, καθώς πλησιάζει η πλάκα (B).

Τελικά, οι δυο οπλισμοί αλληλεπιδρώντας αποκτούν αντίθετα ηλεκτρικά φορτία $+Q$ και $-Q$. Τότε λέμε ότι ο πυκνωτής είναι φορτισμένος. Η απόλυτη τιμή $|Q|$ του φορτίου ενός από τους δύο οπλισμούς του, λέγεται **φορτίο του πυκνωτή**. Λόγω της ανάπτυξης ηλεκτρικού φορτίου στους αγωγούς (A) και (B), εμφανίζεται σε κάθε έναν από αυτούς, δυναμικό V_A και V_B αντίστοιχα. Η διαφορά $V_A - V_B$ ή V_{AB} ή V ονομάζεται **διαφορά δυναμικού ή τάση του πυκνωτή**.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων → Χωρητικότητα πυκνωτή

Αν φορτίσουμε διαδοχικά έναν πυκνωτή, με φορτία Q , $2Q$, $3Q$ κ.λπ. αποδεικνύεται, ότι η τάση του γίνεται αντίστοιχα V , $2V$, $3V$ κ.λπ. Επομένως, το φορτίο και η τάση ενός πυκνωτή είναι μεγέθη ανάλογα. Το πηλίκο τους είναι χαρακτηριστικό μέγεθος του πυκνωτή, ονομάζεται, χωρητικότητα του πυκνωτή και συμβολίζεται με το γράμμα C .

Χωρητικότητα C ενός πυκνωτή ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που είναι ίσο με το πηλίκο του ηλεκτρικού φορτίου Q του πυκνωτή, προς την τάση V του πυκνωτή.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (15)$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Μονάδα χωρητικότητας στο S.I.
είναι το 1F. 1 Coulomb

$$(1 \text{ Farad} = \frac{1 \text{ Coulomb}}{1 \text{ Volt}}).$$

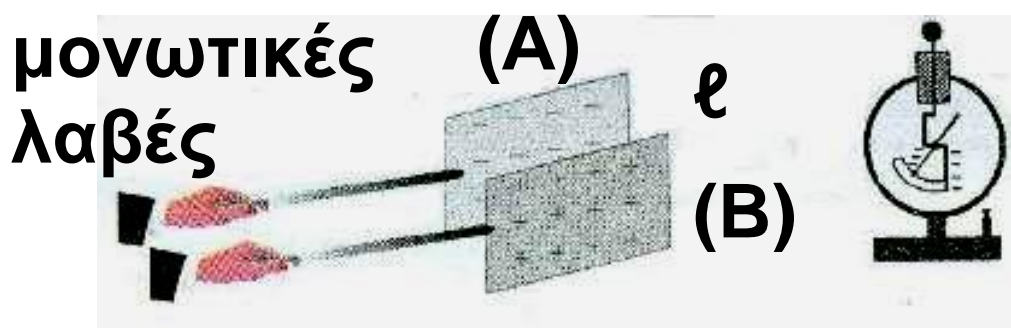
Πίνακας 1	
Υλικό	Διηλεκτρική σταθερά
κενό	1
αέρας	1,0005
νερό	80
χαρτί	3,5
μίκα	5,4
κεχριμπάρι	2,7
γυαλί	4,5
πορσελάνη	6,5
πολυαιθυλένιο	2,3

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ένα πολύ χρήσιμο μέγεθος,

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
γιατί μας πληροφορεί για το φορτίο
που μπορεί να αποθηκευτεί ανά
μονάδα τάσης μεταξύ των οπλι-
σμών του.

Η χωρητικότητα C ενός πυκνωτή
δεν εξαρτάται από το φορτίο και
την τάση του, αλλά εξαρτάται από
το σχήμα, τις διαστάσεις και την
απόσταση των οπλισμών του, κα-
θώς και από το μονωτή (διηλεκτρι-
κό) που παρεμβάλλεται μεταξύ των
οπλισμών του.

Ο ορισμός της χωρητικότητας
όπως δόθηκε από τη σχέση (15),
ισχύει για κάθε μορφής πυκνωτή.



Εικ. 1.5-43.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Πειραματικός έλεγχος της εξάρτησης της χωρητικότητας πυκνωτή από την απόσταση των οπλισμών του.

Ειδικά όμως για ένα επίπεδο πυκνωτή, όταν μεταξύ των οπλισμών του υπάρχει κενό ή αέρας, αποδεικνύεται ότι η χωρητικότητα του δίνεται από τη σχέση:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{\ell} \quad (16)$$

όπου ϵ_0 η απόλυτη διηλεκτρικά σταθερά του κενού:

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$, S το εμβαδόν οπλισμού και ℓ η απόσταση των οπλισμών του (εικ. 43).

Αν μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή υπάρχει κάποιο μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό) η χωρητικότητα του δίνεται από τη σχέση:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

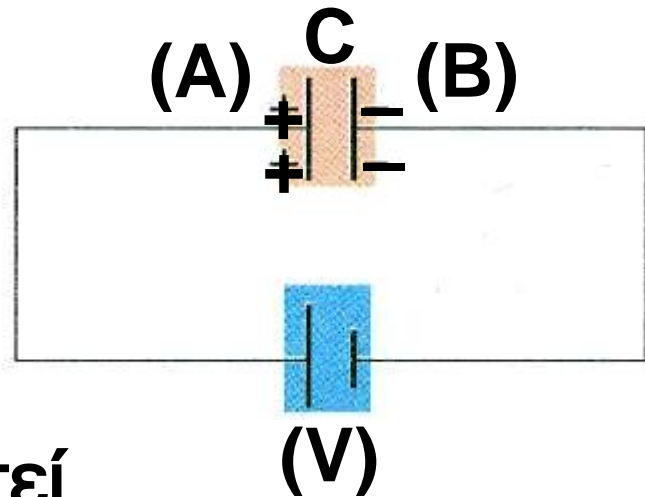
$$C = \epsilon \cdot \epsilon_0 \frac{S}{\ell}$$

όπου ϵ η σχετική διηλεκτρική σταθερά του μονωτικού υλικού που είναι καθαρός αριθμός και εξαρτάται από το μονωτικό υλικό (πίνακας I) ειδικά για το κενό ή τον αέρα είναι: $\epsilon = 1$.

➔ Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή

Στο εργαστήριο εκτελούμε την παρακάτω διαδικασία. Φορτίζουμε ένα πυκνωτή $C = (25.000 \mu\text{F})$ με συνεχή τάση $V = 12\text{V}$ (εικ. 44). Ο πυκνωτής συνδέεται μέσω διακόπτη με αντιστάτη αντίστασης $R = 100\Omega$ και με λαμπτήρα (με χαρακτηριστικά 6V και 60mA).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

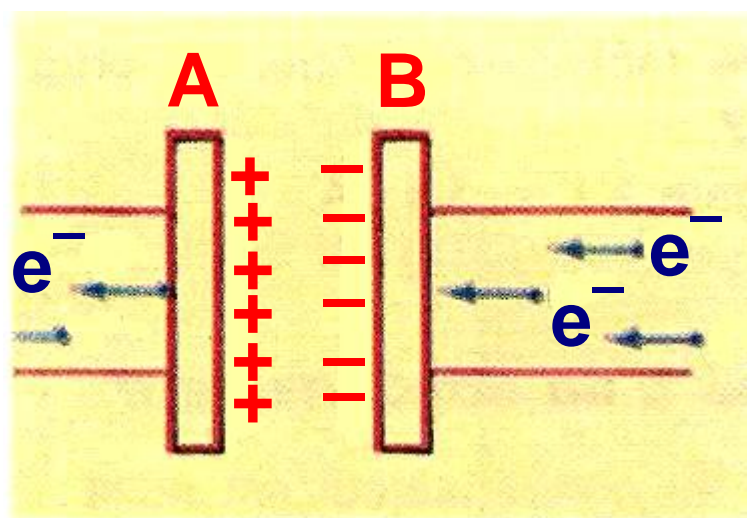


Εικ. 1.5-44.

Ένας πυκνωτής μπορεί να φορτιστεί μέσω μιας πηγής. Ηλεκτρόνια μεταφέρονται από τον οπλισμό A στον οπλισμό B, Όταν η τάση γίνει ίση με τη τάση της πηγής, ο πυκνωτής φορτίστηκε

Εικ. 1.5-45.

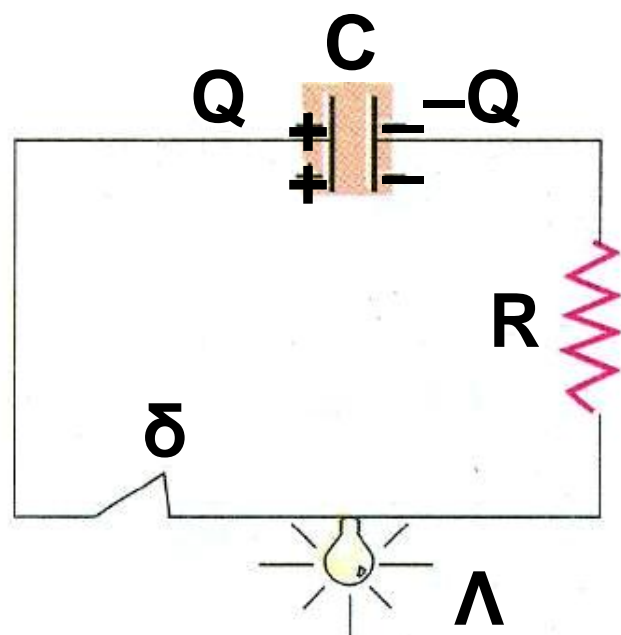
Κίνηση ηλεκτρονίων κατά τη φόρτιση πυκνωτή, μέσω ηλεκτρικής πηγής



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Κλείνουμε το διακόπτη και παρατηρούμε ότι ο λαμπτήρας αρχικά φωτοβολεί και γρήγορα σβήνει. Τη διαδικασία αυτή ονομάζουμε εκφόρτιση του πυκνωτή. (εικ. 46).

Από που προέρχεται η ενέργεια φωτοβολίας του λαμπτήρα; Επειδή δεν υπάρχει άλλο στοιχείο στο κύκλωμα εκτός από τον πυκνωτή, τον αντιστάτη και τον λαμπτήρα, η ενέργεια αυτή προέρχεται από το φορτισμένο πυκνωτή.



Εικ. 1.5-46.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Πως ο πυκνωτής απέκτησε αυτή την ενέργεια;

Ο πυκνωτής απέκτησε αυτή την ενέργεια κατά τη διαδικασία φόρτισής του. Αυτό συμβαίνει γιατί απαιτείται προσφορά ενέργειας για τη μεταφορά ηλεκτρικού φορτίου στους οπλισμούς του. Τα αντίθετα φορτία των δύο οπλισμών παρουσιάζουν αναλογία με ένα τεντωμένο ελατήριο.

Για τη παραμόρφωση ελατηρίου απαιτείται ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται σ' αυτό με μορφή ελαστικής δυναμικής ενέργειας. Το ελατήριο κατά την επαναφορά του στην αρχική του κατάσταση προσφέρει την αποθηκευμένη ενέργεια

Αντίστοιχα, για τη φόρτιση του πυκνωτή απαιτείται ενέργεια, η οποία αποθηκεύεται σ' αυτόν με μορφή ηλεκτρικής δυναμικής ενέρ-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων γειας. Ο πυκνωτής κατά την εκφόρτισή του προσφέρει την αποθηκευμένη σ' αυτόν ενέργεια.

Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του πυκνωτή δίνεται από τη σχέση:

$$U = \frac{Q \cdot V}{2} \quad (17)$$

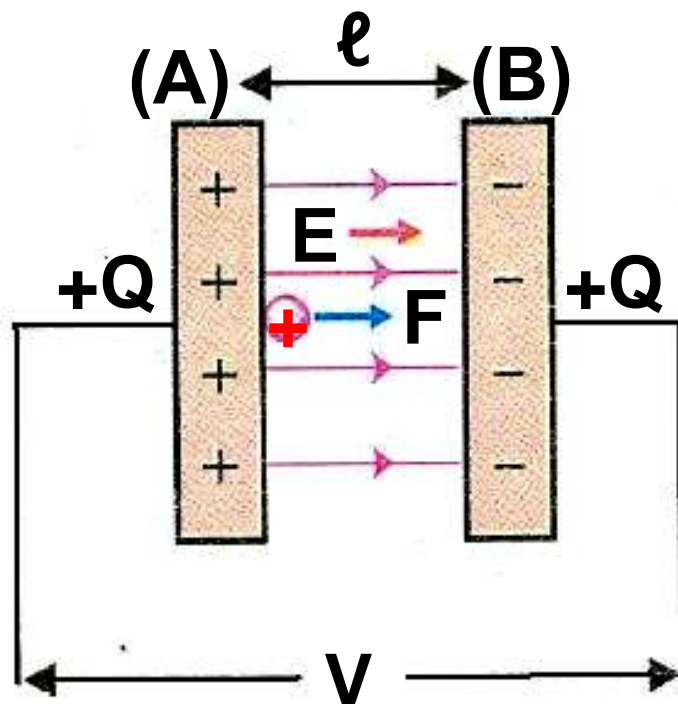
εάν χρησιμοποιήσουμε τη σχέση ορισμού $C = \frac{Q}{V}$, έχουμε και τις ισοδύναμες:

$$U = \frac{C \cdot V^2}{2} \quad \text{ή} \quad U = \frac{Q^2}{2C}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

➔ Σχέση μέτρου έντασης και διαφοράς δυναμικού σε ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο

Εικ. 1.5-47.



Διαθέτουμε ένα φορτισμένο πυκνωτή του οποίου η τάση είναι V και η απόσταση των οπλισμών του ℓ (εικ. 47).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Έστω ότι δοκιμαστικό φορτίο $+q$, αφήνεται αρχικά πολύ κοντά στον οπλισμό (A). Λόγω του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου, το φορτίο δέχεται δύναμη $F=E \cdot q$, και μετακινείται μέχρι τον οπλισμό (B). Κατά τη μετακίνηση, η δύναμη του πεδίου παράγει έργο:

$$W_{AB} = F \cdot \ell \quad \text{ή} \quad W_{AB} = E \cdot q \cdot \ell \quad (\text{I})$$

Το έργο αυτό μπορεί να υπολογισθεί από τη γνωστή μας σχέση (14):

$$W_{AB} = q \cdot V \quad (\text{II})$$

Επομένως, από τις (I) και (II) έχουμε:

$$E \cdot q \cdot \ell = q \cdot V \quad \text{ή}$$

$$E = \frac{V}{\ell} \quad (18)$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Από τη σχέση αυτή προκύπτει μια άλλη μονάδα μέτρησης της έντασης E του πεδίου: 1 V/m

Η μονάδα 1 V/m είναι ίση με την γνωστή μονάδα 1 N/C .

➔ Τύποι πυκνωτών

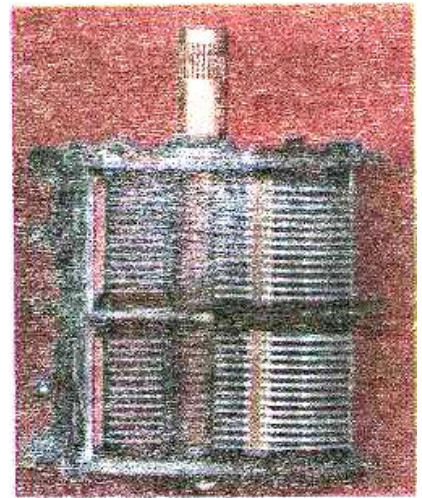
Οι συνηθέστερες μορφές πυκνωτών που χρησιμοποιούνται σε πρακτικές εφαρμογές είναι:

(α) Πυκνωτές αέρα

Οι πυκνωτές αυτοί αποτελούνται από δύο συστήματα μεταλλικών πλακών, που αντιστοιχούν στους δύο οπλισμούς του πυκνωτή. Οι πλάκες κάθε συστήματος είναι σε αγώγιμη σύνδεση και βρίσκονται η μία μέσα στην άλλη χωρίς να ακουμπούν μεταξύ τους. Αν το ένα σύστημα των μεταλλικών πλακών

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

είναι ακίνητο, ενώ το άλλο μπορεί να στρέφεται, τότε έχουμε ένα μεταβλητό πυκνωτή (εικ. 48). Η μεταβολή της χωρητικότητας του γίνεται με τη στροφή του κινητού οπλισμού, οπότε τα ελάσματα του μπαίνουν ή βγαίνουν μέσα στα ελάσματα του ακίνητου οπλισμού.



Εικ. 1.5-48.

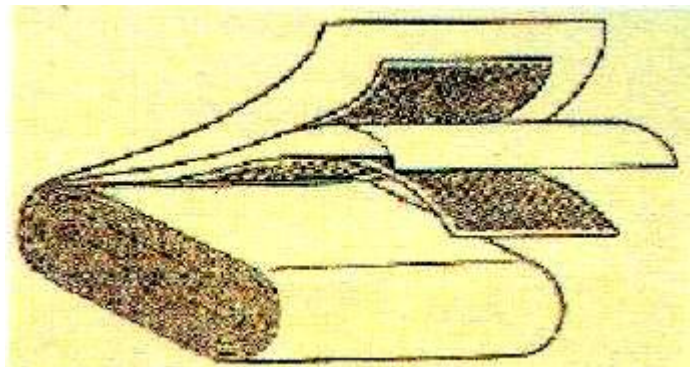
Μεταβλητός πυκνωτής

Οι χωρητικότητες τέτοιων πυκνωτών φθάνουν από 10-400pF και χρησιμοποιούνται σε ραδιοφωνικούς δέκτες. ($1\text{pF} = 10^{-12}\text{F}$)

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(β) Πυκνωτές με στερεά διηλεκτρικά

Οι οπλισμοί τους αποτελούνται από πολύ λεπτά μεταλλικά φύλλα, και μεταξύ τους παρεμβάλλονται λεπτά φύλλα διηλεκτρικού (όπως χαρτί, μίκα).



Εικ. 1.5-49.
Τύλιγμα πυκνωτή με στερεό διηλεκτρικό.

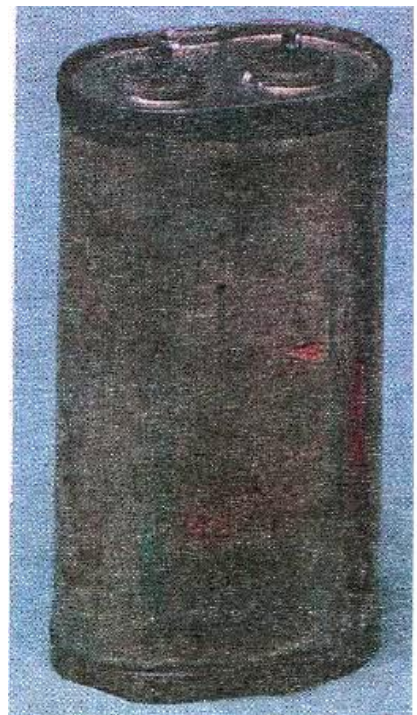
Τα λεπτά φύλλα του μετάλλου με το διηλεκτρικό τυλίγονται με τέτοιο τρόπο ώστε ο όγκος του πυκνωτή να είναι μικρός (εικ. 49).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Οι χωρητικότητες των πυκνωτών αυτών φθάνουν από 100 pF έως 1μF. (1μF = 10^{-6} F)

Χρησιμοποιούνται σε ηλεκτρονικές και ηλεκτρικές συσκευές.

(γ) Ηλεκτρολυτικοί πυκνωτές



Εικ. 1.5-50.
Ηλεκτρολυτικός
πυκνωτής.

Αποτελούνται από δύο μεταλλικά φύλλα που χωρίζονται με χαρτί που έχει εμπλουτιστεί με διάλυμα ηλεκτρολύτη. Οι πυκνωτές αυτοί έχουν πολύ μεγαλύτερες χωρητικό-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων τητες από τους προηγούμενους. Οι χωρητικότητες των πυκνωτών αυτών φθάνουν από 10-2000μF (εικ. 53).

Χρησιμοποιούνται στο κύκλωμα εκκίνησης ηλεκτρικών κινητήρων.

➔ **Ηλεκτροστατική μηχανή Wimshurst**

Όταν χρειαζόμαστε μεγάλες ποσότητες ηλεκτρικού φορτίου χρησιμοποιούμε τις ηλεκτροστατικές μηχανές.

Μια γνωστή ηλεκτροστατική μηχανή είναι και η μηχανή Wimshurst. Κατασκευάστηκε από τον Άγγλο μηχανικό James Wimshurst το 1883.

Η μηχανή αυτή χρησιμοποιείται στα περισσότερα σχολικά εργαστήρια φυσικής.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Η μηχανή με την περιστροφή των δύο δίσκων, αναπτύσσει αντίθετα ηλεκτρικά φορτία, τα οποία αποθηκεύονται σε δύο φιάλες-πυκνωτές (τύπου Leyden).



**Εικ. 1.5.51.
Μηχανή Wimshurst**

Οι δυο πυκνωτές είναι συνδεδεμένοι με δύο μεταλλικά στελέχη, που καταλήγουν σε δύο αγωγίμα σφαιρίδια. Τα σφαιρίδια καθώς λειτουργεί η μηχανή φορτίζονται με αντίθετα φορτία, όπως και οι πυκνωτές.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αν πλησιάσουμε τα δύο σφαιρίδια, για κατάλληλη τιμή της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ τους (από 15000-30000 V/cm), ξεσπά ηλεκτρικός σπινθήρας. Αυτό συμβαίνει γιατί ηλεκτρόνια του αρνητικά φορτισμένου σφαιριδίου οδηγούνται μέσω του αέρα προς το θετικά φορτισμένο, με αποτέλεσμα την εκφόρτιση του συστήματος.

Η εμφάνιση του σπινθήρα σημαίνει ότι κατά τη διάρκεια του φαινομένου, καταστράφηκε η «μονωτική συμπεριφορά» του ατμοσφαιρικού αέρα μεταξύ των δύο σφαιριδίων.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Σ' αυτή την ενότητα μάθαμε

Νόμος του Coulomb

$$F = k \frac{|Q_1 Q_2|}{r^2}$$

Ο νόμος του Coulomb

εκφράζει τη δύναμη μεταξύ των φορτίων Q_1 και Q_2 που βρίσκονται σε απόσταση r . Η διεύθυνση της δύναμης είναι συγγραμμική με την ευθεία που ενώνει τα σημειακά φορτία και είναι ελκτική αν τα φορτία είναι αντίθετα. Μονάδα μέτρησης του φορτίου (S.I.): 1C.

Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

$\vec{E} = \vec{F} / q$ Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου είναι το διανυσματικό μέγεθος

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
που δείχνει τη δύναμη που ασκείται
στη μονάδα του ηλεκτρικού φορ-
τίου, σε κάθε σημείο του πεδίου.
Μονάδα μέτρησης της έντασης
(S.I.): 1N/C .

Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

Ομογενές ονομάζεται το πεδίο που
σε κάθε σημείο του η ένταση του
είναι σταθερή.

Δυναμικές γραμμές

Δυναμικές γραμμές είναι οι νοητές
γραμμές, με τις οποίες σχεδιάζουμε
ένα ηλεκτρικό πεδίο. Σε κάθε ση-
μείο τους η ένταση είναι εφαπτόμε-
νη. Όσο πιο πυκνές είναι οι δυναμι-
κές γραμμές τόσο μεγαλύτερο είναι

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
το μέτρο της έντασης E στη συγκεκριμένη περιοχή.

Δυναμικό ηλεκτρικού πεδίου

$V_A = U_A / q$ Δυναμικό είναι το μέγεθος που εκφράζει ενέργεια ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου σε συγκεκριμένη θέση του πεδίου.

Μονάδα μέτρησης δυναμικού (S.I.):
1 V.

Διαφορά δυναμικού

$V_{AB} = U_{AB} / q$ Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B, είναι ίση με το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου ανά μονάδα ηλεκτρικού φορτίου, κατά τη μεταφορά του από το σημείο A στο ση-

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
μείο V ηλεκτρικού πεδίου που δημιου-
ργείται από ακίνητο και σημεια-
κό ηλεκτρικό φορτίο.**

Χωρητικότητα πυκνωτή

**$C = Q / V$ Η χωρητικότητα ενός πυ-
κνωτή εκφράζει το μέγιστο φορτίο
που μπορεί να αποκτήσει ο πυ-
κνωτής για συγκεκριμένη τάση με-
ταξύ των οπλισμών του (Χωρίς να
ξεσπά σπινθήρας). Στο εσωτερικό
του πυκνωτή δημιουργείται ομογε-
νές ηλεκτρικό πεδίο.**

Στρατηγική επίλυσης προβλημάτων

Για τον υπολογισμό των διανυσματικών μεγεθών δύναμης, έντασης δεν πρέπει να ξεχνάμε ότι πρέπει να υπολογίζονται: Μέτρο - Διεύθυνση - Φορά.

(I) Δύναμη Coulomb

(α) Αν ζητείται σε ένα πρόβλημα ο υπολογισμός της δύναμης που ασκείται από ένα φορτίο σε ένα άλλο φορτίο, εργαζόμαστε όπως επιβάλλει ο νόμος του Coulomb, προσδιορίζοντας τα διανυσματικά χαρακτηριστικά της.

(β) Αν ζητείται ο υπολογισμός της δύναμης που δέχεται ηλεκτρικό φορτίο από σύστημα δύο ή περισσότερων φορτίων, θα υπολογίσου-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
με τη δύναμη που οφείλεται σε κάθε ένα από τα φορτία αυτά και στη συνέχεια θα προσθέσουμε τις δυνάμεις διανυσματικά για να προσδιορίσουμε τελικά το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της συνισταμένης.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 + \dots$$

(II) Ένταση σε σημείο ηλεκτρικού πεδίου

(α) Αν ζητείται σε ένα πρόβλημα ο υπολογισμός της έντασης σε σημείο ηλεκτρικού πεδίου, την βρίσκουμε απλά εφαρμόζοντας τη σχέση ορισμού της $\vec{E} = \vec{F}/q$ ή αν πρόκειται για πεδίο που οφείλεται σε σημειακό φορτίο, πεδίο Coulomb, από την σχέση:

$$E = k \frac{|Q|}{r^2}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Η διεύθυνση και η φορά της, προσδιορίζεται από το είδος του φορτίου Q.

(β) Αν ζητείται ο υπολογισμός της έντασης σε σημείο (A) ηλεκτρικού πεδίου που οφείλεται σε δύο ή περισσότερα σημειακά φορτία, προσδιορίζουμε την ένταση του πεδίου που προκαλεί κάθε ένα φορτίο πηγή στο σημείο (A) και στη συνέχεια θα προσθέσουμε τις εντάσεις διανυσματικά για να προσδιορίσουμε τελικά το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της συνισταμένης.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$$

(III) Δυναμικό

Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος. Επομένως για τον υπολογισμό του αρκεί ο προσδιορισμός της αλγεβρικής του τιμής.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Εάν ζητείται σε ένα πρόβλημα να γίνει ο υπολογισμός του δυναμικού σε σημείο (A) ηλεκτρικού πεδίου, υπολογίζεται από τη σχέση ορισμού $V_A = U_A/q$ ή αν πρόκειται για πεδίο σημειακού ηλεκτρικού φορτίου υπολογίζεται και από τη

σχέση $V_A = k \frac{Q}{r}$ και η αλγεβρική

τιμή του αποτελέσματος είναι η ζητούμενη. (το φορτίο Q το αντικαθιστούμε με το πρόσημο του).

(β) Εάν ζητείται το δυναμικό σε σημείο πεδίου που οφείλεται σε δύο ή περισσότερα σημειακά φορτία - πηγές, προσδιορίζουμε το δυναμικό που προκαλεί στο σημείο κάθε φορτίο πηγή και στη συνέχεια προσθέτουμε αλγεβρικά τα δυναμικά αυτά.

$$\vec{V} = \vec{V}_1 + \vec{V}_2 + \vec{V}_3 + \dots$$

Πρόβλημα 1

Επίπεδος πυκνωτής έχει τετραγωνικούς οπλισμούς, πλευράς 10cm. Η απόσταση μεταξύ των οπλισμών του είναι $\ell = 1\text{mm}$. Να υπολογιστεί:

(α) Η χωρητικότητα του.

(β) Η ενέργεια που είναι αποθηκευμένη σ' αυτόν αν έχει φορτισθεί με φορτίο $Q = 1\mu\text{C}$.

Δίνεται $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{C}^2/\text{N} \cdot \text{m}^2$

Λύση

(α) Από τη σχέση (16) για τη χωρητικότητα έχουμε:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{\ell} = \left(8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{C}^2}{\text{Nm}^2} \right) \frac{(0,1\text{m})^2}{0,001\text{m}}$$
$$= 8,85 \cdot 10^{-11} \text{F}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
(β) Η ενέργεια του πυκνωτή από τη σχέση (17) είναι:

$$U = \frac{Q \cdot V}{2} = \frac{Q^2}{2C} = \frac{(10^{-6} \text{ C})^2}{2 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ F}} =$$
$$= 0,0056 \text{ J}$$

Πρόβλημα 2

Ένας πυκνωτής 90μF συνδέεται με μπαταρία 12V και φορτίζεται μέχρις ότου η τάση του να γίνει 12V. Πόσα ηλεκτρόνια μεταφέρθηκαν από τη μία πλάκα στην άλλη;

Δίνεται $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Λύση

Από τη σχέση ορισμού της χωρητικότητας σχέση (15) έχουμε:

$$Q = C V = (90 \cdot 10^{-6} \text{ F}) \cdot (12 \text{ V}) =$$
$$= 108 \cdot 10^{-5} \text{ C}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αυτό είναι το φορτίο σε κάθε ένα σπλισμό κατά απόλυτη τιμή. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων που συναποτελούν το φορτίο Q είναι:

$$n = \frac{Q}{|q_e|} = \frac{108 \cdot 10^{-5} \text{ C}}{1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}} = 67,5 \cdot 10^{14}$$

ηλεκτρόνια.

Πρόβλημα 3

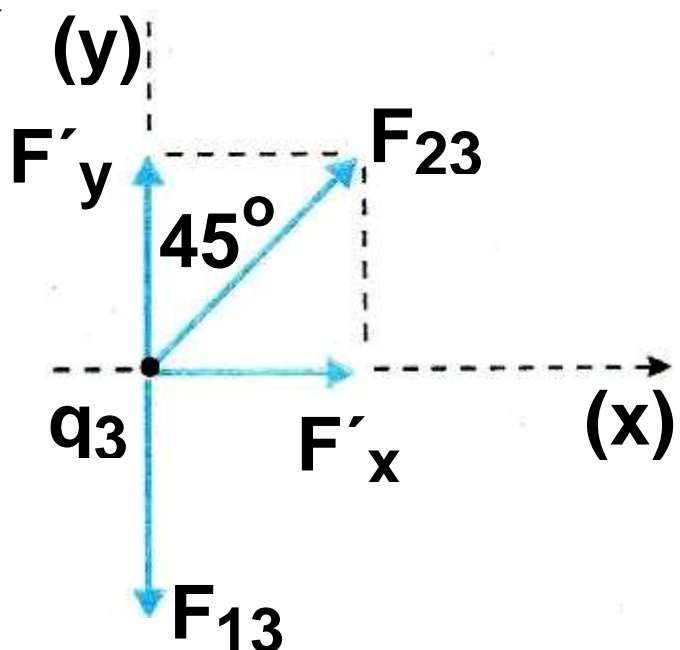
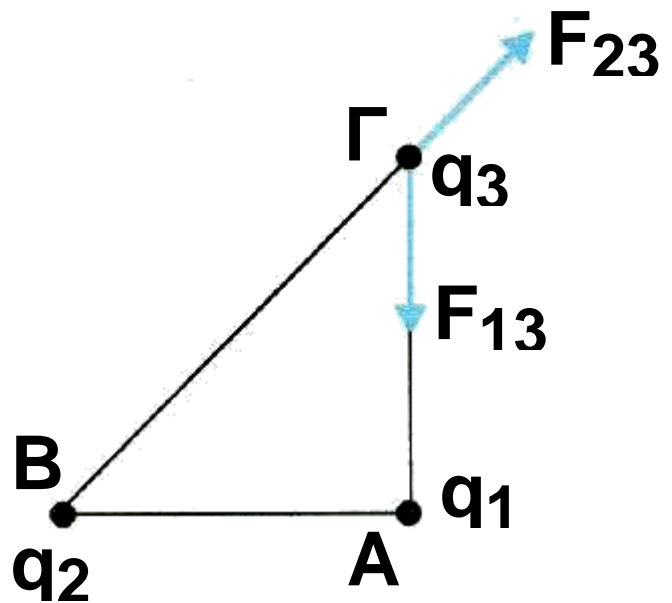
Τρία φορτία $q_1 = -15\mu\text{C}$, $q_2 = +15\mu\text{C}$ και $q_3 = +20\mu\text{C}$, βρίσκονται στις κορυφές Α, Β, Γ αντίστοιχα ενός ισοπλεύρου ορθογώνιου τριγώνου.

Να υπολογισθούν: (α) Η συνισταμένη δύναμη που δέχεται το φορτίο q_3 . (β) Η ένταση του πεδίου στο μέσο της M υποτεινουσας (ΒΓ).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Δίνονται $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$ και
 $(AB) = (AG) = 2\text{m}$.

Λύση

Για τον υπολογισμό της δύναμης F , που δέχεται το φορτίο q_3 , θα υπολογίσουμε τη δύναμη F_{13} που ασκεί το φορτίο q_1 στο φορτίο q_3 και την δύναμη F_{23} που ασκεί το φορτίο q_2 στο φορτίο q_3 .



Επειδή τα φορτία q_1 και q_3 είναι ετερόνυμα ενώ το q_2, q_3 ομώνυμα,

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
οι δυνάμεις F_{13} και F_{23} έχουν τις κατευθύνσεις που φαίνονται στο σχήμα της προηγούμενης σελίδας.

Τα μέτρα των δυνάμεων είναι:

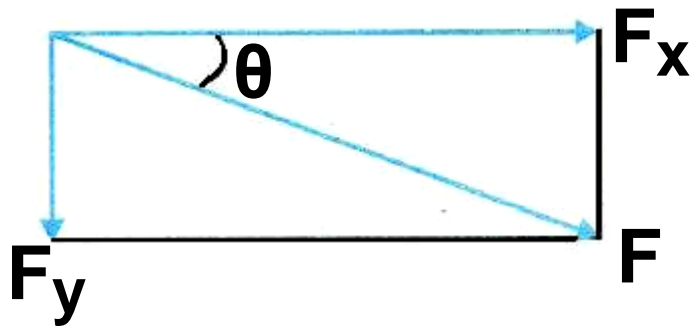
$$F_{1,3} = k \frac{|q_1 \cdot q_3|}{(ΑΓ)^2} =$$
$$9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{15 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(2\text{m})^2} \quad \text{ή}$$
$$F_{1,3} = 675 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Από το ορθογώνιο τρίγωνο προκύπτει: $ΒΓ^2 = ΑΒ^2 + ΑΓ^2 = 8\text{m}^2$

$$F_{2,3} = k \frac{|q_2 \cdot q_3|}{(ΒΓ)^2} =$$
$$9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \frac{15 \cdot 10^{-6} \text{C} \cdot 20 \cdot 10^{-6} \text{C}}{(8\text{m})^2} \quad \text{ή}$$
$$F_{2,3} = 337,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αναλύουμε την $F_{2,3}$ σε δύο συνιστώσες F'_x



και F'_y οι οποίες έχουν ίσα μέτρα, επειδή η δύναμη $F_{2,3}$ σχηματίζει γωνία 45° με την (ΑΓ).

$$F'_x = F'_y = F_{23} \sin 45^\circ =$$

$$= 337,5 \cdot 10^{-3} \text{ N} \frac{\sqrt{2}}{2} \approx 475 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Στη συνέχεια υπολογίζουμε την συνισταμένη των δυνάμεων στους άξονες x και y , F_x και F_y αντίστοιχα.

$$F_x = F'_x = 475 \cdot 10^{-3} \text{ N και}$$

$$F_y = F_{13} - F'_y = 675 \cdot 10^{-3} \text{ N} - 475 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$\text{ή } F_y = 200 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Η συνισταμένη των δυνάμεων F έχει μέτρο:

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} =$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$= \sqrt{(475 \cdot 10^{-3} \text{ N})^2 + (200 \cdot 10^{-3} \text{ N})^2}$$

$$F = 515,4 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Η διεύθυνση της δύναμης F είναι:

$$\varepsilon\varphi\theta = \frac{F_x}{F_y} = \frac{200 \cdot 10^{-3} \text{ N}}{475 \cdot 10^{-3} \text{ N}} = 0,42$$

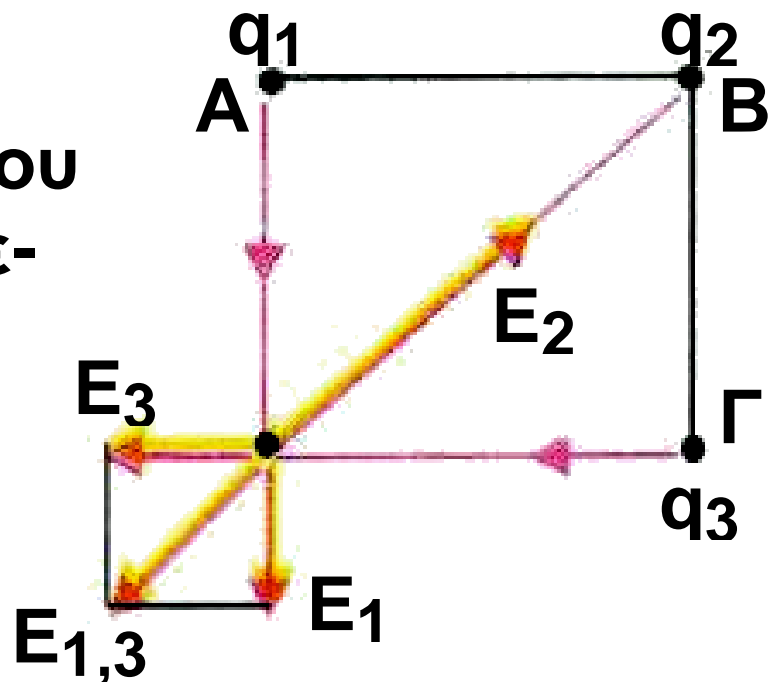
Πρόβλημα 4

Τρία ηλεκτρικά φορτία $q_1 = q_3 = \sqrt{2} \cdot 10^{-8} \text{ C}$ και $q_2 = -10^{-7} \text{ C}$, βρίσκονται στις τρεις κορυφές ενός τετραγώνου πλευράς $d = 3 \text{ m}$. Να βρεθούν:

(α) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται στην τέταρτη κορυφή.

(β) Το δυναμικό του πεδίου στην τέταρτη κορυφή.

(α) η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου στη κορυφή δ θα είναι ίση με την συνισταμένη των εντάσεων



ων που οφείλονται στα q_1, q_2, q_3 . Σχεδιάζουμε τις εντάσεις $\vec{E}_1, \vec{E}_2, \vec{E}_3$ που δημιουργούν τα φορτία q_1, q_2, q_3 αντίστοιχα. Η κατεύθυνση τους είναι η κατεύθυνση που προσδιορίζεται από τη φορά της αντίστοιχης δυναμικής γραμμής. ($A \rightarrow \Delta, \Delta \rightarrow B, \Gamma \rightarrow \Delta$ αντίστοιχα).

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Όπως γνωρίζουμε:

$$E_1 = k \frac{|q_1|}{d^2}, \quad E_3 = k \frac{|q_3|}{d^2}$$

$$\text{και επειδή } (BD)^2 = 2d^2$$

$$E_2 = k \frac{|q_2|}{2d^2}$$

Πρώτα βρίσκουμε τη συνισταμένη των \vec{E}_1 και \vec{E}_3 .

$$E_{1,3} = \sqrt{E_1^2 + E_3^2} = \sqrt{2E_1^2} = E_1\sqrt{2} =$$

$$= k \frac{|q_1|}{d^2} \sqrt{2} \quad \text{ή}$$

$$E_{1,3} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 10^{-8} \text{ C}}{(3\text{m})^2} \sqrt{2}$$

$$\text{ή } E_{1,3} = 20 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

η διεύθυνση είναι ίδια με τη διεύθυνση της διαγωνίου ΒΔ δηλαδή

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
σχηματίζει γωνία 45° με τις E_1 και E_3 .

Η E_2 είναι:

$$E_{1,3} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{10^{-7} \text{C}}{2(3\text{m})^2} = 50 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Η Διεύθυνση της E_2 είναι ίδια με την $E_{1,3}$ και η φορά αντίθετη. Επομένως, η συνισταμένη τους θα είναι:

$$\vec{E}_{\text{ολ}} = \vec{E}_{1,3} + \vec{E}_2$$

Η αλγεβρική τιμή της $\vec{E}_{\text{ολ}}$ είναι:

$$E_{\text{ολ}} = E_{1,3} - E_2 = 20 \frac{\text{N}}{\text{C}} - 50 \frac{\text{N}}{\text{C}} = -30 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

Δηλαδή η $\vec{E}_{\text{ολ}}$ θα έχει τη διεύθυνση και τη φορά της \vec{E}_2 .

(β) Το δυναμικό ως μονόμετρο μέγεθος στη θέση (Δ) υπολογίζεται άμεσα από το άθροισμα των δυναμικών που δημιουργούν τα

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

τρία φορτία στη θέση Δ: $V_{\Delta} =$

$V_1 + V_2 + V_3$.

Τα δυναμικά είναι:

$$V_1 = V_3 = k \frac{q_1}{d} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{\sqrt{2} \cdot 10^{-8} \text{C}}{3\text{m}}$$

$$\text{ή } V_1 = V_3 = 42,3 \text{ V}$$

και επειδή $(B\Delta) = d\sqrt{2}$ το V_2 είναι:

$$V_2 = k \frac{q_2}{(B\Delta)} = k \frac{q_2}{d\sqrt{2}}$$

ή

$$V_2 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{(-10^{-7} \text{C})}{3\sqrt{2}\text{m}} = -213,8 \text{ V}$$

Επομένως, το δυναμικό

$$V_{\Delta} = 42,3\text{V} + (-213,8)\text{V} + 42,3\text{V}$$

$$\text{ή } V_{\Delta} = -129,2 \text{ V}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

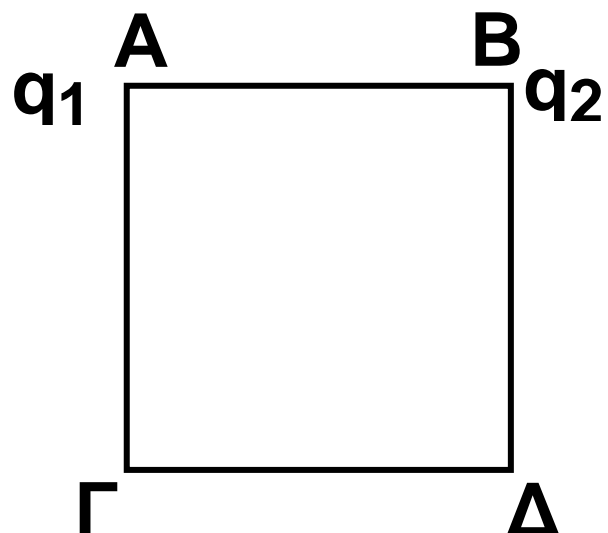
Πρόβλημα 5

Δίδονται δύο φορτία στις κορυφές A και B ενός τετραγώνου ΑΒΓΔ, $q_1 = 2 \cdot 10^{-7} \text{ C}$ και $q_2 = -10^{-7} \text{ C}$, πλευράς $d = 3 \text{ m}$. Να βρεθεί:

(α) Η διαφορά δυναμικού $V_{\Gamma\Delta}$ μεταξύ των σημείων Γ και Δ.

(β) Αν φορτίο $q = -10^{-6} \text{ C}$ μετακινηθεί από τη θέση (Γ) στη θέση (Δ), πόσο είναι το έργο της δύναμης του πεδίου κατά τη μετακίνηση αυτή;

Λύση



(α) Η διαφορά δυναμικού $V_{\Gamma\Delta}$ είναι:

$$V_{\Gamma\Delta} = V_{\Gamma} - V_{\Delta}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Υπολογίζουμε τα δυναμικά V_Γ και V_Δ .

$V_\Gamma = V_1 + V_2$ επομένως

$$V_\Gamma = k \frac{q_1}{(A\Gamma)} + k \frac{q_2}{(B\Gamma)}$$

και $(A\Gamma) = d\sqrt{2}$, $(B\Gamma) = d$

Επομένως:

$$V_\Gamma = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(2 \cdot 10^{-7} \text{C})}{3\sqrt{2} \text{m}} + \\ + 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-10^{-7} \text{C})}{3 \text{m}} \approx 125 \text{ V}$$

όμοια $V_\Delta = V_1 + V_2 = k \frac{q_1}{d} + k \frac{q_2}{B\Delta}$ ή

$$V_\Delta = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(2 \cdot 10^{-7} \text{C})}{3 \text{m}} + \\ + 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2} \frac{(-10^{-7} \text{C})}{3\sqrt{2} \text{m}} \approx 387 \text{ V}$$

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Επομένως: $V_{\Gamma\Delta} = V_{\Gamma} - V_{\Delta}$ ή

$$V_{\Delta} \approx 125V + (-387)V - 262V$$

(β) Όπως μάθαμε $V_{\Gamma\Delta} = \frac{W_{\Gamma \rightarrow \Delta}}{q}$ ή

$$W_{\Gamma \rightarrow \Delta} = V_{\Gamma\Delta} \cdot q$$

$$W_{\Gamma \rightarrow \Delta} = (-262V) \cdot (-10^{-6}C) =$$

$$-262 \cdot 10^{-6} \text{ Joule}$$

1. Τρίψτε ένα φουσκωμένο μπαλόνι σε ένα ύφασμα. Στη συνέχεια φέρτε σε επαφή το μπαλόνι με τον τοίχο. Το μπαλόνι «κολλά» στον τοίχο. Γιατί;

2. Τρίψτε το πλαστικό μέρος ενός στυλό στο πουκάμισο σας, για να το φορτίσετε. Στη συνέχεια ανοίξτε τη βρύση του νερού και πλησιάστε τη «φλέβα». Τι παρατηρείτε; Εξηγήστε το φαινόμενο.

**3. Ένα ηλεκτροσκόπιο μπορεί να χρησιμοποιηθεί, για να ανιχνεύει ηλεκτρικό φορτίο. Πλησιάζουμε μία αρνητικά φορτισμένη ράβδο στο σφαιρίδιο του ηλεκτροσκοπίου.
(α) Τι παρατηρείτε;**

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(β) Τι είδους φορτίο εμφανίζεται στο σφαιρίδιο;

(γ) Ποιο είναι το συνολικό φορτίο του ηλεκτροσκοπίου; (εξηγήστε)

(γ) Διπλασιαστούν και τα δύο φορτία.

4. α) Να διατυπώσετε το νόμο του Coulomb και να γράψετε την αντίστοιχη σχέση.

β) Ποιες οι μονάδες των μεγεθών που εμφανίζονται στη σχέση;

5. 2 Ποιες οι ομοιότητες και ποιες οι διαφορές ανάμεσα στο νόμο του Coulomb και το νόμο της παγκόσμιας έλξης;

6. Δυο όμοια ηλεκτρικά φορτία απέχουν σταθερή απόσταση. Ποιο θα είναι το αποτέλεσμα στη δύναμη Coulomb εάν:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Ένα από τα δυο φορτία διπλασιαστεί.

(β) Ένα φορτίο διπλασιαστεί και το άλλο υποδιπλασιαστεί.

7. Δυο ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία q_1 και q_2 έλκονται με δύναμη F , όταν η απόστασή τους είναι r . Να βρεθεί η απόσταση στην οποία πρέπει να τοποθετηθούν, ώστε η ελκτική δύναμη να γίνει:

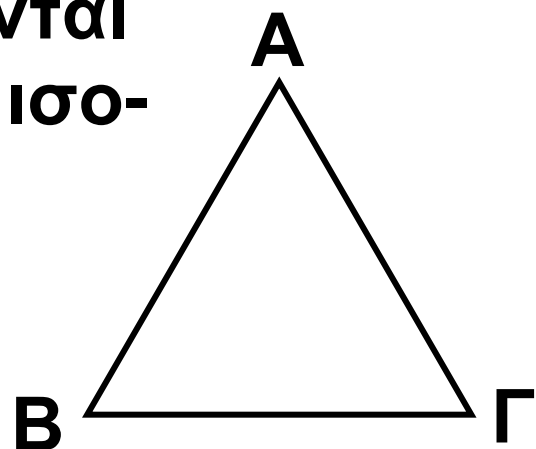
(α) $4F$

(β) $F/4$

8. Δίνονται τρία όμοια ηλεκτρικά φορτία που βρίσκονται στις κορυφές Α, Β, Γ ισοπλεύρου τριγώνου.

Ποια είναι η κατεύθυνση της δύναμης που δέχεται

το φορτίο της κορυφής (Α);



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

9. Δυο όμοια ηλεκτρικά φορτία είναι ακίνητα στις δύο διαγώνια απέναντι κορυφές τετραγώνου. Πού δέχεται μεγαλύτερη δύναμη ένα τρίτο φορτίο, στις δύο ελεύθερες κορυφές ή στο κέντρο του τετραγώνου;

10. Τι ονομάζουμε ένταση ηλεκτρικού πεδίου; Να γράψετε την αντίστοιχη σχέση.

11. Η μονάδα μέτρησης της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου είναι:
(α) C (β) N/m (γ) N/C (δ) J/C

12. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου:

Η ένταση E σε σημείο «Σ» ηλεκτρικού πεδίου που οφείλεται σε ηλεκτρικό φορτίο Q , έχει μέτρο που είναι.....του φορτίου Q

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων και.....ανάλογο της απόστασης του «Σ» από το.....πηγή. Η κατεύθυνση της έντασης στο «Σ» εξαρτάται από το..... του φορτίου Q.

13. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις με (Σ), αν είναι σωστή με (Λ) αν είναι λανθασμένη.

Η κατεύθυνση της έντασης E, σε ένα σημείο «Σ» ηλεκτρικού πεδίου.

(α) Είναι ανεξάρτητη της θέσης του σημείου «Σ»

(β) Είναι ανεξάρτητη της θέσης του σημείου «Σ» αν το πεδίο είναι ομογενές

(γ) Είναι ανεξάρτητη από δοκιμαστικό φορτίο που τοποθετείται στο σημείο «Σ».

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

14. Χαρακτηρίστε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις με (Σ) αν είναι σωστή, με (Λ) αν είναι λανθασμένη. Δοκιμαστικό φορτίο q τοποθετείται σε πεδίο που δημιουργεί σημειακό ηλεκτρικό φορτίο Q . Η δύναμη που δέχεται το φορτίο q :

(α) Έχει μέτρο που εξαρτάται από τη θέση του φορτίου q μέσα στο πεδίο

(β) Έχει τη διεύθυνση της αντίστοιχης δυναμικής γραμμής

(γ) Έχει μέτρο που παραμένει σταθερό, για κάθε σημείο που βρίσκεται πάνω σε (νοητή) σφαιρική επιφάνεια, με κέντρο το σημειακό φορτίο Q .

(δ) Έχει φορά που δεν εξαρτάται από τη φορά της έντασης του πεδίου

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

15. Δίνονται δύο ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία $Q_1 = 2Q_2$, στις θέσεις (A) και (B) όπως στο σχήμα.

(I) Το ηλεκτρικό πεδίο μηδενίζεται σε σημείο που βρίσκεται:



(α) Αριστερά του A.

(β) Δεξιά του B.

(γ) Μεταξύ A και B.

(II) Αν r_1 , και r_2 είναι οι αποστάσεις του σημείου μηδενισμού της έντασης, από τα φορτία Q_1 και Q_2

αντίστοιχα, ο λόγος $\frac{r_1}{r_2}$ είναι:

(α) $1/2$ (β) $2/1$ (γ) $1/\sqrt{2}$ (δ) $\sqrt{2}$

16. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Κάθε ηλεκτροστατικό πεδίο μπορεί να απεικονίζεται μέσω των
..... γραμμών.

Οι δυναμικές γραμμές είναι οι νοη-
τές γραμμές που σε κάθε σημείο
τους η.....του πεδίου είναι
εφαπτόμενη.

Οι δυναμικές γραμμές δεν
.....στο χώρο γύρω από τα φορ-
τία. Όπου οι δυναμικές γραμμές
είναι πιο πυκνές η ένταση του
πεδίου είναι.....

17. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις με (Σ) αν είναι σωστή με (Λ) αν είναι λανθασμένη. Κάθε ηλεκτροστατικό πεδίο παράστανεται από ένα πλήθος (νοητών) γραμμών οι οποίες:

(α) Δεν τέμνονται έξω από τα φορτία

(β) Είναι πάντοτε ευθύγραμμες

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
(γ) Έχουν πάντοτε φορά από τα θε-
τικά προς τα αρνητικά φορτία

18. Να σχεδιάσετε τις δυναμικές γραμμές ηλεκτροστατικού πεδίου που οφείλεται:

(α) Σε ένα αρνητικό φορτίο

(β) Σε δύο ίσα κατά απόλυτη τιμή και ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία.

19. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις με (Σ) αν είναι σωστή, με (Λ) αν είναι λανθασμένη. Ηλεκτρικό φορτίο q τοποθετείται μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο, που δημιουργείται μεταξύ δυο όμοιων παράλληλων και ετερόνυμα φορτισμένων πλακών.

Η δύναμη που δέχεται το φορτίο q :

(α) Εξαρτάται από τη θέση του φορτίου μέσα στο πεδίο.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(β) Έχει κατεύθυνση που εξαρτάται από το είδος του φορτίου q .

(γ) Έχει μέτρο σταθερό.

(δ) Έχει διεύθυνση παράλληλη προς τις πλάκες.

(ε) Έχει πάντοτε φορά από τη θετική πλάκα στην αρνητική.

20. Να σχεδιάσετε τις δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται, ανάμεσα σε δύο όμοιες παράλληλες μεταλλικές πλάκες, φορτισμένες με αντίθετα φορτία.

21. Αν το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο της προηγούμενης δραστηριότητας είναι κατακόρυφο και αρνητικά φορτισμένη σταγόνα λαδιού ισοροπεί μέσα σ' αυτό.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Να σχεδιάσετε τις δυνάμεις που δέχεται η σταγόνα,

(β) Να προσδιορίσετε το είδος του φορτίου κάθε πλάκας.

22. Θετικό σημειακό φορτίο Q , προκαλεί τη δημιουργία ηλεκτροστατικού πεδίου.

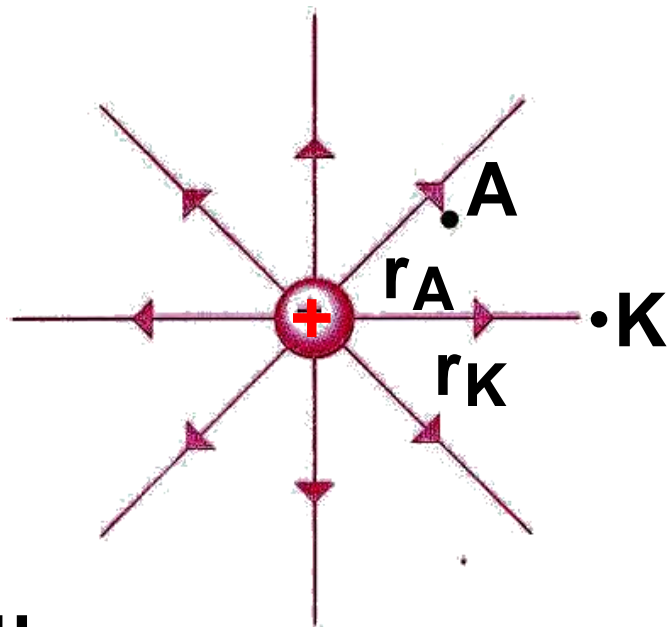
(α) Να σημειώσετε τη φορά των δυναμικών γραμμών.

(β) Να σχεδιάσετε το διάνυσμα

της έντασης E του πεδίου στα σημεία «Κ» και «Λ».

(γ) Να βρεθεί ο λόγος των μέτρων

εντάσεων του πεδίου $\frac{E_K}{E_\Lambda}$, αν:
 $r_K = 2r_\Lambda$.



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

23. Δίνεται το πεδίο του σχήματος

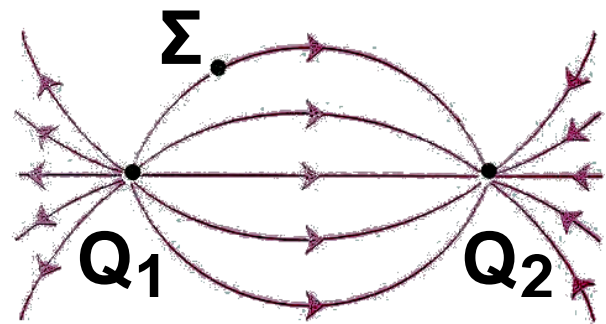
που οφείλεται στα σημειακά φορτία

Q_1, Q_2 .

(α) Ποιο είναι το

είδος των φορτίων Q_1, Q_2 ;

(β) Σχεδιάστε το διάνυσμα της έντασης του πεδίου στο σημείο Σ .



24. Δίδονται δυο ίσα θετικά φορτία

($Q_1 = Q_2$) και σημείο « Σ » της κά-

θετης στο μέσο « M » της απόστασης τους.

(α) Να υποδεί-

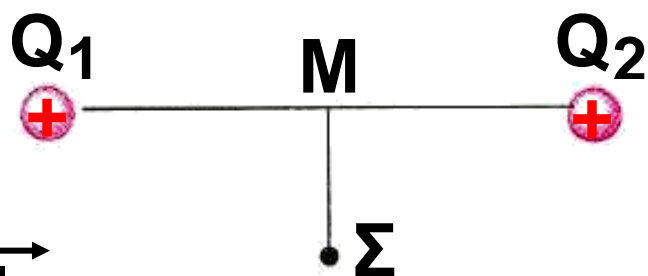
ξετε μέθοδο για

τη γραφική απει-

κόνιση της έντασης του πεδίου στη θέση « Σ ».

(β) Ποια είναι η κατεύθυνση του διανύσματος E ;

(γ) Ποια η κατεύθυνση της δύναμης που θα ασκηθεί, αν στη θέση « Σ »



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
τοποθετήσουμε αρνητικό δοκιμα-
στικό φορτίο q ;

25. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου:
Η δυναμική ενέργεια αποτελεί κοινή
ιδιότητα ενός.....ηλεκτρι-
κών φορτίων. Για την περίπτωση
αλληλεπίδρασης δύο ηλεκτρικών
φορτίων q_1 και q_2 , υπολογίζεται
από τη σχέση $U =$
Η μονάδα μέτρησης της δυναμικής
ενέργειας είναι το.....
Εάν το πρόσημο του αποτελέσμα-
τος είναι.....αυτό σημαίνει
ότι οι δυνάμεις Coulomb μεταξύ
των φορτίων είναι.....

26. Ποια από τις παρακάτω σχέσεις
δίνει τη δυναμική ενέργεια συστη-
ματος δυο σημειακών φορτίων Q_1 ,
 Q_2 ;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$(α) \quad k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \quad (β) \quad k \frac{Q_1}{r^2}$$

$$(γ) \quad k \frac{Q_1 Q_2}{r} \quad (δ) \quad k \frac{Q_2}{r^2}$$

27. Να γίνουν οι αντιστοιχίσεις

ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΔΥΟ ΦΟΡΤΙΩΝ

- Θετική δυναμική ενέργεια
- Αρνητική δυναμική ενέργεια
- Δυναμική ενέργεια ίση με το μηδέν

ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

- δυνάμεις ελκτικές
- άπειρη απόσταση
- μηδενική απόσταση
- ομόσημα φορτία

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

28. Χαρακτηρίστε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστή, με (Λ) αν είναι λανθασμένη. Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια δύο σημειακών φορτίων, είναι:

- (α) Αντίστροφα ανάλογη της μεταξύ τους απόστασης
- (β) Είναι μέγεθος διανυσματικό
- (γ) Είναι πάντοτε θετική
- (δ) Η μονάδα μέτρησης της είναι: 1J/C

29. Δοκιμαστικό φορτίο $+q$ τοποθετείται στη θέση « Σ » πεδίου, που δημιουργείται από ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο Q . Το έργο της δύναμης του πεδίου κατά τη μετακίνηση του φορτίου q από το (Σ) στο άπειρο είναι:

- (α) Ανάλογο του φορτίου q .

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(β) Ίσο με τη δυναμική ενέργεια του φορτίου q στη θέση «Σ».

(γ) Ανεξάρτητο της διαδρομής που θα ακολουθήσει το φορτίο q .

(δ) Είναι άπειρο αφού η διαδρομή έχει άπειρο μήκος.

30. Ακίνητο θετικό ηλεκτρικό φορτίο Q , δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Τοποθετούμε δοκιμαστικό φορτίο q σε σημείο (Σ) του πεδίου. Αν η δυναμική ενέργεια του φορτίου q είναι αρνητική αυτό σημαίνει ότι:

(α) Το φορτίο q είναι ομόσημο του Q

(β) Η δυνάμεις μεταξύ των φορτίων είναι ελκτικές

(γ) Για να μεταφερθεί το φορτίο q , από μεγάλη απόσταση στη θέση (Σ) απαιτείται να του προσφέρουμε ενέργεια

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

31. Να δώσετε τον ορισμό και την αντίστοιχη σχέση, για το δυναμικό σε σημείο ηλεκτροστατικού πεδίου.

32. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου:

Το δυναμικό είναι ένα φυσικό μέγεθος, που μας δείχνει την.....ενέργεια που έχει η.....του ηλεκτρικού φορτίου στη συγκεκριμένη θέση του πεδίου.

33. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου:

Η μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο S.I. είναι το..... Θα λέμε ότι το δυναμικό σε μια θέση του πεδίου είναι ίσο με 1....., αν φορτίο ίσο με.....στη θέση αυτή έχει δυναμιή ενέργεια ίση με 1.....

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

34. Χαρακτηρίστε κάθε μια από τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστή με Λ αν είναι λανθασμένη. Φορτίο πηγή Q παράγει ηλεκτροστατικό πεδίο. Όταν δίνεται η πληροφορία ότι «Το δυναμικό σε μια θέση «Σ» του ηλεκτρικού πεδίου είναι, $V_{\Sigma} = +10V$ », αυτό σημαίνει ότι:

(α) Η δυναμική ενέργεια δοκιμαστικού φορτίου είναι +10Joule

(β) Δοκιμαστικό φορτίο -1C στη θέση «Σ» περιέχει δυναμική ενέργεια -10J

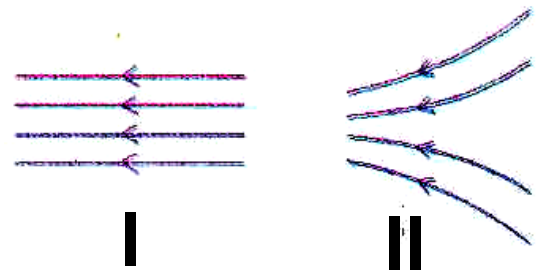
(γ) Δοκιμαστικό φορτίο +1C στη θέση «Σ» θα μετακινηθεί στο άπειρο από τη δύναμη του πεδίου

(δ) Το φορτίο πηγή είναι αρνητικό

35. Δίνεται ομογενές ηλεκτρικό πεδίο. Τοποθετούμε δοκιμαστικό

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
φορτίο $+q$ σε μία θέση του πεδίου.
Να αποδειχτεί ότι το φορτίο θα κινηθεί από σημεία υψηλότερου δυναμικού σε σημεία χαμηλότερου δυναμικού.

36. Τα σχήματα I και II αντιστοιχούν στις δυναμικές γραμμές δύο ηλεκτρικών πεδίων. Να δικαιολογήσετε τη συμφωνία ή τη διαφωνία σας με κάθε μια από τις παρακάτω απόψεις σημειώνοντας (X) αν συμφωνείτε:



(α) Σε όλες τις θέσεις καθενός πεδίου, η ένταση είναι σταθερή

(β) Καθώς κινούμαστε από αριστερά προς τα δεξιά η ένταση και των δύο πεδίων μειώνεται

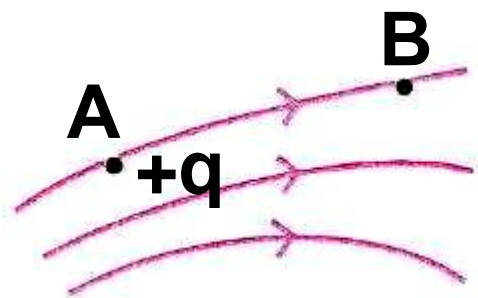
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(γ) Η ένταση του πεδίου (I) είναι σταθερή, ενώ η ένταση του πεδίου (II) αυξάνεται καθώς κινούμαστε προς τα αριστερά

δ) Και τα δύο πεδία προκύπτουν από αρνητικά φορτία στ' αριστερά και θετικά στα δεξιά

(ε) Το δυναμικό καθώς κινούμαστε προς τα αριστερά ελαττώνεται και στα δύο πεδία

37. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστή, με Λ αν είναι λανθασμένη. Θετικό φορτίο $+q$ μετακινείται από τη θέση «Α» στην «Β».



(α) Η κίνηση γίνεται κάτω από την επίδραση της δύναμης του πεδίου

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(β) Το φορτίο στη θέση Β έχει μικρότερη δυναμική ενέργεια σε σχέση με την Α.

(γ) Η δύναμη που του ασκείται στη θέση Β είναι μικρότερη από τη δύναμη στη θέση Α

(δ) Το δυναμικό στη θέση Α είναι μικρότερο από το δυναμικό στη θέση Β.

38. Να δώσετε τον ορισμό και την αντίστοιχη σχέση για τη διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων ηλεκτρικού πεδίου.

39. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου:

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο.....ηλεκτρικού πεδίου, μας δείχνει την.....της δυναμικής ενέργειας ανά ηλεκτρικού φορτίου.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

40. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου.

Η διαφορά δυναμικού είναι

..... φυσικό μέγεθος και έχει μονάδα μέτρησης το 1

..... Διαφορά δυναμικού ίση με 1 μας δείχνει ότι, η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας φορτίου + 1C μεταξύ των δύο θέσεων, είναι ίση με 1.....

41. Χαρακτηρίστε καθεμία από τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστή η Λ αν είναι λανθασμένη.

Η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B ηλεκτρικού πεδίου είναι $V_{AB} = -10V$. Αυτό σημαίνει ότι:

(α) Αν αφήσουμε με φορτίο +q στη θέση «A», αυτό θα μετακινηθεί από τη θέση «A» στην «B»

(β) Η διαφορά των δυναμικών $V_A - V_B$ είναι ίση με -10V.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(γ) Το δυναμικό $V_B > V_A$

(δ) Αν μετακινήσουμε φορτίο

$q = 1\text{C}$ από το «Α» στο «Β» η δυναμική του ενέργεια θα ελαττωθεί κατά 10 Joule

42. Τι ονομάζουμε χωρητικότητα ενός πυκνωτή;

43. Αν διπλασιάσουμε το φορτίο Q ενός φορτισμένου πυκνωτή, πόση θα γίνει η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο οπλισμών του;

44. Συμπληρώστε τα κενά του κειμένου.

Η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ένα φυσικό μέγεθος. Λέμε ότι η χωρητικότητα ενός πυκνωτή είναι ίση με 1 όταν ο πυκνωτής έχει φορτίο ίσο με 1 και η διαφορά δυνα-

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
μικρού μεταξύ των οπλισμών του
είναι ίση με 1.....**

**Εάν πυκνωτή χωρητικότητας C , τον
φορτίσουμε με φορτίο Q (χωρίς θα
ξεσπάσει σπινθήρας) τότε η ενέρ-
γεια που έχει αποκτήσει είναι ίση
με.....**

**45. Ποια από τις παρακάτω προτά-
σεις είναι σωστή;**

Ο πυκνωτής είναι:

**(α) Μία συσκευή που αποθηκεύει
ηλεκτρικά φορτία,**

**(β) Μία συσκευή που παράγει
ηλεκτρικά φορτία,**

(γ) Σύστημα δύο αγωγών σε επαφή.

**46. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις
παρακάτω προτάσεις με ναι σωστή
με Λ αν είναι λανθασμένη.**

Η χωρητικότητα πυκνωτή:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Είναι ανάλογη του ηλεκτρικού του φορτίου

(β) Είναι ανάλογη της διαφοράς δυναμικού, μεταξύ των οπλισμών του

(γ) Είναι ίση με το σταθερό πηλίκο του φορτίου του Q προς την διαφορά δυναμικού V των οπλισμών του

47. Χαρακτηρίστε κάθε μία από τις παρακάτω προτάσεις με Σ αν είναι σωστή, με Λ αν είναι λανθασμένη. Η χωρητικότητα επίπεδου πυκνωτή μεγαλώνει αν:

(α) Αυξήσουμε την απόσταση μεταξύ των οπλισμών του

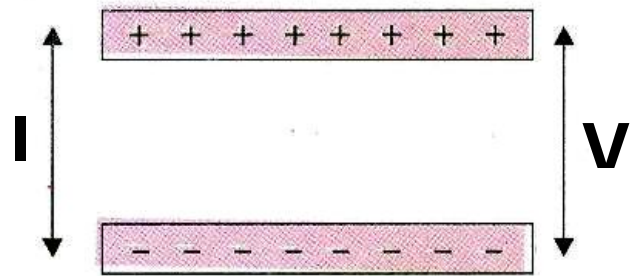
(β) Αυξήσουμε το εμβαδόν των οπλισμών του

(γ) Αυξήσουμε το εμβαδόν των οπλισμών του και και ελατ-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων τώσουμε την απόστασή τους

48. Δίνεται ο επίπεδος φορτισμένος πυκνωτής του σχήματος.

(α) Να σχεδιαστούν οι δυναμικές γραμμές του πεδίου του



(β) Αν διπλασιάσουμε το φορτίο του τι θα συμβεί με την ένταση, του ηλεκτρικού πεδίου;

(γ) Αν φορτίο $+q$ μετακινηθεί από τη θετική πλάκα στην αρνητική, τότε θα είναι μεγαλύτερο το έργο ηλεκτρικής δύναμης, όταν ο πυκνωτής έχει φορτίο Q ή $2Q$;

(δ) Πότε το φορτίο q έχει μεγαλύτερη δυναμική ενέργεια; Κοντά στη θετική πλάκα, στην αρνητική πλάκα ή στο μέσο της απόστασης;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
49. Να αποδειχτεί γραφικά (κατά ελεύθερη εκτίμηση), η σχέση τάσης - φορτίου σε άξονες V-Q για ένα πυκνωτή. Τι συμπέρασμα προκύπτει από το διάγραμμα, σχετικά με τη χωρητικότητα του πυκνωτή;

Προβλήματα

(α) Οι παρακάτω φυσικές ποσότητες, όπου χρειάζονται, θα θεωρούνται γνωστές:

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

$$q_p = |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{C},$$

$$m_e = 9 \cdot 10^{-31} \text{kg}$$

$$m_p = m_n = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{kg}$$

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

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

$$g = 9,81 \text{ m/s}^2$$

(β) Τα φορτία των προβλημάτων θα θεωρούνται σημειακά και ακίνητα (εκτός αν αναφέρεται διαφορετικά).

1. Να υπολογίσετε τον αριθμό των ηλεκτρονίων που συναποτελούν φορτίο ίσο με:

(α) $-1,6\text{C}$ (β) $-1,6\text{mC}$ (γ) $-1,6\mu\text{C}$ (δ) $-1,6\text{nC}$ (ε) $-1,6\text{pC}$

2. Δίνονται δύο σημειακά φορτία $-0,04 \mu\text{C}$. Να υπολογίσετε τη δύναμη που ασκείται από το ένα φορτίο στο άλλο, αν η απόστασή τους είναι:

(α) 3cm (β) 6 cm

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

3. Δυο μικρές φορτισμένες σφαίρες έχουν ίσα ηλεκτρικά φορτία

-0,02μC. Αν η δύναμη που ασκείται από τη μια σφαίρα στην άλλη έχει μέτρο $9 \cdot 10^{-3}$ N, να υπολογιστεί η απόσταση μεταξύ των σφαιρών.

4. Φορτίο $3 \cdot 10^{-9}$ C βρίσκεται σε απόσταση 2cm από φορτίο q. Το φορτίο q δέχεται ελκτική δύναμη, μέτρου $27 \cdot 10^{-5}$ N. Να βρεθεί το είδος και η ποσότητα του φορτίου q. Τα φορτία θεωρούνται σημειακά.

5. Δοκιμαστικό φορτίο +2μC τοποθετείται στο μέσο της απόστασης μεταξύ δύο φορτίων

$Q_1 = +6\mu\text{C}$ και $Q_2 = +4\mu\text{C}$, τα οποία απέχουν απόσταση 10cm. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται στο δοκιμαστικό φορτίο.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

6. Τρία φορτία $+2\mu\text{C}$, $-3\mu\text{C}$ και $-5\mu\text{C}$ τοποθετούνται πάνω σε ευθεία και στις θέσεις Α, Β, Γ αντίστοιχα. Αν οι αποστάσεις μεταξύ των φορτίων είναι $(\text{ΑΒ}) = 0,4\text{m}$ και $(\text{ΑΓ}) = 1,2\text{m}$, να βρεθεί η δύναμη που ασκείται στο φορτίο $-3\mu\text{C}$.

7. Να βρεθεί το μέτρο της έντασης ηλεκτροστατικού πεδίου, που δημιουργεί φορτίο $Q = -2\mu\text{C}$, σε απόσταση 3cm από αυτό.

8. Φορτίο $+4 \cdot 10^{-9}\text{C}$, δημιουργεί πεδίο έντασης μέτρου $3,6 \cdot 10^3\text{ N/C}$ σε απόσταση r από αυτό. Να βρεθεί η απόσταση r .

9. Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση 1cm από ηλεκτρικό φορτίο-πηγή, έχει μέτρο

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
 $36 \cdot 10^9 \text{ N/C}$. Να βρεθεί η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου.

10. Φορτίο $+9\mu\text{C}$ απέχει απόσταση 30 cm από άλλο φορτίο $+4\mu\text{C}$. Να βρεθεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, στο μέσο της μεταξύ τους απόστασης.

11. Δοκιμαστικό ηλεκτρικό φορτίο $q_1 = 2\mu\text{C}$, βρίσκεται στη θέση (Σ) ηλεκτρικού πεδίου και δέχεται $2 \cdot 10^{-3} \text{ N}$, κατά τη θετική κατεύθυνση του άξονα x . Να βρεθούν:
(α) Η ένταση του πεδίου στη θέση (Σ) .
(β) Η δύναμη που θα δεχτεί φορτίο $q_2 = -4\mu\text{C}$ στη θέση (Σ) .

12. Στα σημεία A και B ευθείας (ϵ) , που απέχουν απόσταση $d = 0,3\text{m}$,

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
τοποθετούμε φορτία $+2\mu\text{C}$ και $+8\mu\text{C}$
αντίστοιχα. α) Σε ποιο σημείο της
ευθείας η ένταση του πεδίου είναι
μηδέν; β) Σε ποιο σημείο της
ευθείας η ένταση μηδενίζεται αν το
φορτίο $+8\mu\text{C}$ αντικατασταθεί από
φορτίο $-8\mu\text{C}$.

13. Δύο ηλεκτρικά φορτία
βρίσκονται σε απόσταση $d = 6\text{m}$.
Αν τα φορτία είναι ίσα με: α) $+4\mu\text{C}$,
β) $-4\mu\text{C}$. Να υπολογιστεί, η ένταση
του πεδίου σε σημείο (Σ) της μεσο-
κάθετης στην απόσταση d , που
απέχει 3m από το μέσο της από-
στασης d .

14. Μικρός μεταλλικός δίσκος έχει
βάρος $32 \cdot 10^{-3}\text{N}$, και ισορροπεί σε
μικρό ύψος από την επιφάνεια της
Γης. Κοντά στην επιφάνεια της Γης
εμφανίζεται ηλεκτροστατικό πεδίο,

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων έντασης $E = 100 \text{ N/C}$, κατακόρυφο και με φορά προς τα κάτω. Να βρεθεί το είδος και η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που έχει ο δίσκος.

15. Δύο όμοια μεταλλικά σφαιρίδια, έχουν το καθένα βάρος $0,45 \text{ N}$ και είναι στερεωμένα στις άκρες δύο, ίσου μήκους, μεταξωτών νημάτων. Τα νήματα έχουν μήκος $0,20 \text{ m}$. Αν τα δύο σφαιρίδια έχουν ίσα φορτία, να βρεθεί το φορτίο καθενός, ώστε να ισορροπούν, με τα νήματα κάθετα μεταξύ τους.

16. Στις κορυφές ΑΒΓΔ τετραγώνου, πλευράς $0,1 \text{ m}$, τοποθετούνται αντίστοιχα τα φορτία: $+ 100\mu\text{C}$, $-200\mu\text{C}$, $+97\mu\text{C}$, $-196\mu\text{C}$. Να υπολογίσετε την ένταση του πεδίου στο κέντρο του τετραγώνου.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

17. Σωματίδια με μάζα $1,0 \cdot 10^{-5} \text{ kg}$, και φορτίο $+1 \mu\text{C}$ αφήνεται να κινηθεί σε ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο έντασης 12 N/C . Να βρεθούν:
α) Η μετατόπισή του μετά από χρόνο 1 s .

(β) Η κινητική του ενέργεια στο τέλος του πρώτου δευτερολέπτου της κίνησης.

(γ) Ποιες μετατροπές ενέργειας συνέβησαν;

18. Με βάση το προηγούμενο πρόβλημα και μετά από 1 s κίνησης, εφαρμόζουμε συγχρόνως και ένα αντίρροπο ομογενές ηλεκτρικό πεδίο. Να βρεθεί ποια θα έπρεπε να είναι η έντασή του, ώστε να μηδενιστεί η ταχύτητα του σωματιδίου μετά από 1 s .

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

19. Δυο ηλεκτρικά φορτία $+4\mu\text{C}$ και $-6\mu\text{C}$, βρίσκονται σε απόσταση $0,4\text{m}$. Να υπολογιστεί η δυναμική ενέργεια του συστήματος των φορτίων.

20. Το σύστημα δύο ηλεκτρικών φορτίων $+3\mu\text{C}$ και $+4\mu\text{C}$ περιέχει ενέργεια $0,27\text{ Joule}$. Να βρεθεί η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων.

21. Φορτίο–πηγή $+6\mu\text{C}$ δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Σε θέση που απέχει $0,3\text{ m}$ από το φορτίο τοποθετείται δοκιμαστικό φορτίο -6nC . Πόση είναι η δυναμική ενέργεια του δοκιμαστικού φορτίου;
($1\text{nC} = 10^{-9}\text{ C}$)

22. Να βρεθεί το δυναμικό σε απόσταση $0,9\text{ m}$ από φορτίο $+6\mu\text{C}$.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

23. Σε ποια απόσταση από φορτίο $+2\mu\text{C}$ το δυναμικό έχει τιμή $4 \cdot 10^4$ Volt;

24. Δοκιμαστικό φορτίο $+2\mu\text{C}$ τοποθετείται σε σημείο (Σ) ηλεκτρικού πεδίου. Αν το δυναμικό στη θέση (Σ) είναι -10V να βρείτε:

(α) Τη δυναμική ενέργεια του δοκιμαστικού φορτίου.

(β) Πόσο έργο πρέπει να προσφερθεί στο δοκιμαστικό φορτίο για να φθάσει στο άπειρο χωρίς ταχύτητα;

25. Δύο σημειακά φορτία $+2\mu\text{C}$ και $+18\mu\text{C}$ απέχουν απόσταση 16cm .

Να βρεθεί:

(α) Σε ποιο σημείο μηδενίζεται η ένταση του πεδίου.

(β) Το δυναμικό στη θέση μηδενισμού της έντασης.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

26. Ακίνητο σημειακό φορτίο $+2\mu\text{C}$, βρίσκεται σε σημείο «Σ».

(α) Να υπολογιστεί το δυναμικό σε απόσταση $r_1 = 2\text{m}$ και $r_2 = 4\text{m}$ από το (Σ).

(β) Αν σημειακό φορτίο $q = 1\mu\text{C}$ τοποθετηθεί σε απόσταση r_1 ποια η δυναμική του ενέργεια;

(γ) Αν το φορτίο $q = 2\mu\text{C}$ μετακινηθεί από τη θέση r_1 στη θέση r_2 , ποιο είναι το έργο της δύναμης του πεδίου; Το έργο αυτό εξαρτάται από τη διαδρομή που θα ακολουθήσει το φορτίο q ;

27. Στο μοντέλο του Bohr για το άτομο του υδρογόνου, τα ηλεκτρόνια μπορούν να περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα (πρωτόνιο) σε (επιτρεπόμενες) κυκλικές τροχιές. Αν μία τροχιά έχει ακτίνα $r = 8 \cdot 10^{-10}\text{m}$, να υπολογιστούν:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Η δυναμική

(β) Η κινητική

(γ) Η μηχανική

ενέργεια του ηλεκτρονίου στην τροχιά ακτίνας r_1 .

28. Τέσσερα ηλεκτρικά φορτία $+30\mu\text{C}$, $-60\mu\text{C}$, $+90\mu\text{C}$ και $-120\mu\text{C}$ βρίσκονται αντίστοιχα στις κορυφές Α, Β, Γ, Δ τετραγώνου, πλευράς $5\sqrt{2}$ m.

Να υπολογίσετε:

(α) Το δυναμικό στο μέσο «Μ» της πλευράς (ΑΒ).

(β) Το δυναμικό στο κέντρο του τετραγώνου «Κ».

(γ) Το έργο της δύναμης του πεδίου κατά τη μεταφορά φορτίου

$q = 10^{-9}$ C, από τη θέση «Μ» στη θέση «Κ». Ποιο είναι το φυσικό περιεχόμενο του έργου αυτού;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

29. Στο πρόβλημα 28 να υπολογιστεί το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου, κατά τη μετακίνηση φορτίου $+1\mu\text{C}$.

(α) Από τη θέση Μ στο άπειρο

(β) Από τη θέση Κ στο άπειρο

Ποιο συμπέρασμα βγάζετε σε κάθε μια περίπτωση;

30. Το σωματίδιο «α» έχει τη δομή

του ${}^4_2\text{He}^{++}$ δηλαδή αποτελείται από

δύο πρωτόνια και δύο νετρόνια

($m_p \cdot m_n$). Το σωματίδιο «α» επιταχύνεται, σε ομογενές ηλεκτρικό

πεδίο. Εάν το αφήσουμε ($u_0 = 0$), να επιταχυνθεί μεταξύ δύο σημείων Α, Β που έχουν διαφορά δυναμικού ίση με 12.000V , να βρεθεί ποια είναι η ταχύτητα του στο σημείο Β.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

31. Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας, νέφος στην επιφάνεια του προς τη Γη εμφανίζει φορτίο -25C . Στην επιφάνεια της Γης, δημιουργούνται από επαγωγή, θετικά φορτία. Όταν η διαφορά δυναμικού μεταξύ νέφους - Γης φθάσει τα $5 \cdot 10^7 \text{ V}$, ο ατμοσφαιρικός αέρας παύει για λίγο να λειτουργεί ως μονωτής και ξεσπά ηλεκτρική εκκένωση, κατά την οποία ηλεκτρόνια του νέφους κατευθύνονται προς τη Γη (κεραυνός).

(α) Πόση ηλεκτρική ενέργεια απελευθερώθηκε;

(β) Πόση είναι η μέση ισχύς που αποδίδεται, αν η διάρκεια του φαινομένου είναι 10^{-3} s ;

32. Πυκνωτής έχει χωρητικότητα $50\mu\text{F}$. Πόση διαφορά δυναμικού πρέπει να εφαρμοστεί μεταξύ

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων των δυο οπλισμών του πυκνωτή, για να αποκτήσει ηλεκτρικό φορτίο 10^{-3} C; Πόση ενέργεια έχει τότε ο πυκνωτής;

33. Δυο φύλλα αργιλίου έχουν διαστάσεις 10cm x 20cm, και απέχουν απόσταση 0,5 mm. Πόση είναι η χωρητικότητα του πυκνωτή;

34. Επίπεδος πυκνωτής έχει οπλισμούς με εμβαδόν 200 cm^2 ο καθένας. Εάν η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι $17,7 \cdot 10^{-11}$ F, πόση είναι η απόσταση μεταξύ των δύο οπλισμών του;

35. Ο κάθε οπλισμός ενός επίπεδου πυκνωτή έχει εμβαδόν $0,2 \text{ m}^2$, ενώ οι οπλισμοί του απέχουν 4mm. Να υπολογίσετε:

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

(α) Τη χωρητικότητα του πυκνωτή

(β) Το φορτίο που αποκτά ο πυκνωτής, αν φορτισθεί με τάση 200 V.

36. Ένας επίπεδος πυκνωτής, έχει χωρητικότητα $2\mu\text{F}$, απόσταση οπλισμών 2 cm, και έχει φορτιστεί με τάση 150 V. Στη συνέχεια απομακρύνουμε την πηγή φόρτισης και διπλασιάζουμε την απόσταση των οπλισμών του. Να υπολογιστούν οι τιμές πριν και μετά το διπλασιασμό:

(α) Της χωρητικότητας του πυκνωτή

(β) Της τάσης μεταξύ των οπλισμών του.

(γ) Της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.

(δ) Της ενέργειας του ηλεκτρικού πεδίου.

Πώς εξηγείται η μεταβολή της ενέργειας του πυκνωτή;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

37. Δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες απέχουν απόσταση $0,5 \text{ cm}$ και είναι συνδεδεμένες με διαφορά δυναμικού 80V . Να βρεθεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ αυτών.

38. Διαφορά δυναμικού 120 V εφαρμόζεται σε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες. Εάν το πεδίο που παράγεται μεταξύ των πλακών είναι 600 V/m , πόσο απέχουν οι δύο πλάκες;

39. Δύο μεταλλικές πλάκες συνδέθηκαν με μπαταρία $4,5 \text{ V}$. Πόσο έργο απαιτείται για να μεταφερθεί φορτίο $+4\mu\text{C}$

(α) Από την αρνητική στη θετική πλάκα;

(β) Από τη θετική στην αρνητική πλάκα;

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
Θεωρήστε την κινητική ενέργεια του φορτίου σταθερή.

41. Η ηλεκτρονική δέσμη στο σωλήνα μιας τηλεόρασης, αποτελείται από ηλεκτρόνια που επιταχύνονται από την κατάσταση ηρεμίας, μέσω διαφοράς δυναμικού περίπου 20.000V.

(α) Ποια είναι η κινητική ενέργεια που αποκτούν τα ηλεκτρόνια;

(β) Ποια είναι η ταχύτητα των ηλεκτρονίων;

42. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών ενός επίπεδου πυκνωτή είναι $5 \cdot 10^5$ V/m. Στο χώρο μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή, αιωρείται σταγόνα λαδιού που έχει βάρος $3,2 \cdot 10^{-13}$ N. Ποιο είναι το ηλεκτρικό φορτίο της σταγόνας;

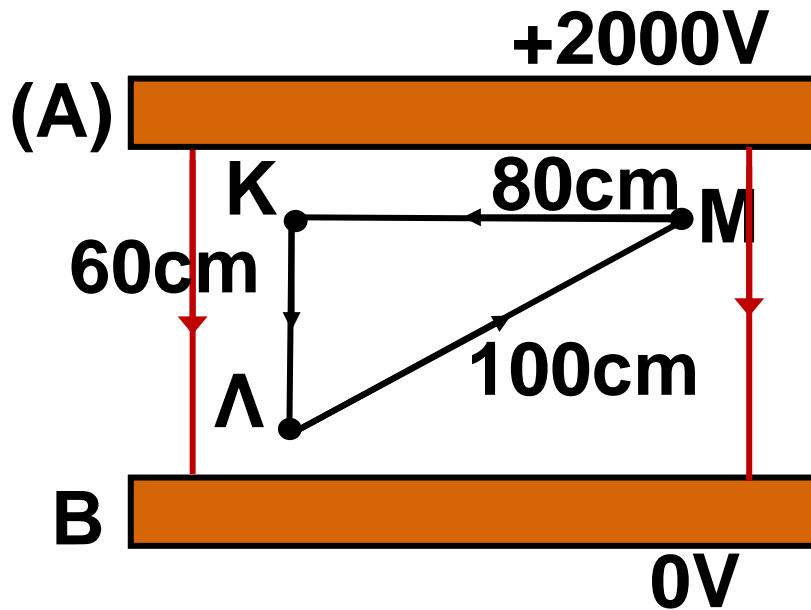
Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

43. Μικρή αγώγιμη σφαίρα, που έχει μάζα $2 \cdot 10^{-4}$ Kg και φορτίο $+6\mu\text{C}$, βρίσκεται στην άκρη κατακόρυφου μεταξωτού νήματος ανάμεσα στους κατακόρυφους οπλισμούς ενός πυκνωτή. Οι οπλισμοί του πυκνωτή απέχουν απόσταση 5cm. Με ποια τάση πρέπει να φορτιστεί ο πυκνωτής ώστε η σφαίρα να ισορροπεί σχηματίζοντας με τη κατακόρυφη, γωνία 30° (χωρίς να εφάπτεται στους οπλισμούς).

44. Δίνονται δύο σημεία Κ και Λ ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου. Η διαφορά δυναμικού $V_{\text{ΚΛ}} = 1000\text{V}$ Εάν η απόσταση των ΚΛ είναι 50 cm. Να υπολογισθούν:
(α) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου
(β) Το δυναμικό σημείο «Λ», εάν το δυναμικό στο «Κ» είναι $+200\text{V}$.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

45.



Οι οπλισμοί A και B του πυκνωτή του σχήματος, απέχουν απόσταση 100cm και η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δυο οπλισμών είναι 2.000V. Σημειακό φορτίο $+ 1\mu\text{C}$ τοποθετείται στη θέση «K» που απέχει απόσταση 20 cm από τον οπλισμό (A). Να βρείτε το έργο της δύναμης του πεδίου για τη μετακίνηση του φορτίου:

- α) $W_{K \rightarrow \Lambda}$ β) $W_{M \rightarrow K}$ γ) $W_{K \rightarrow \Lambda \rightarrow M \rightarrow K}$

Ένθετα

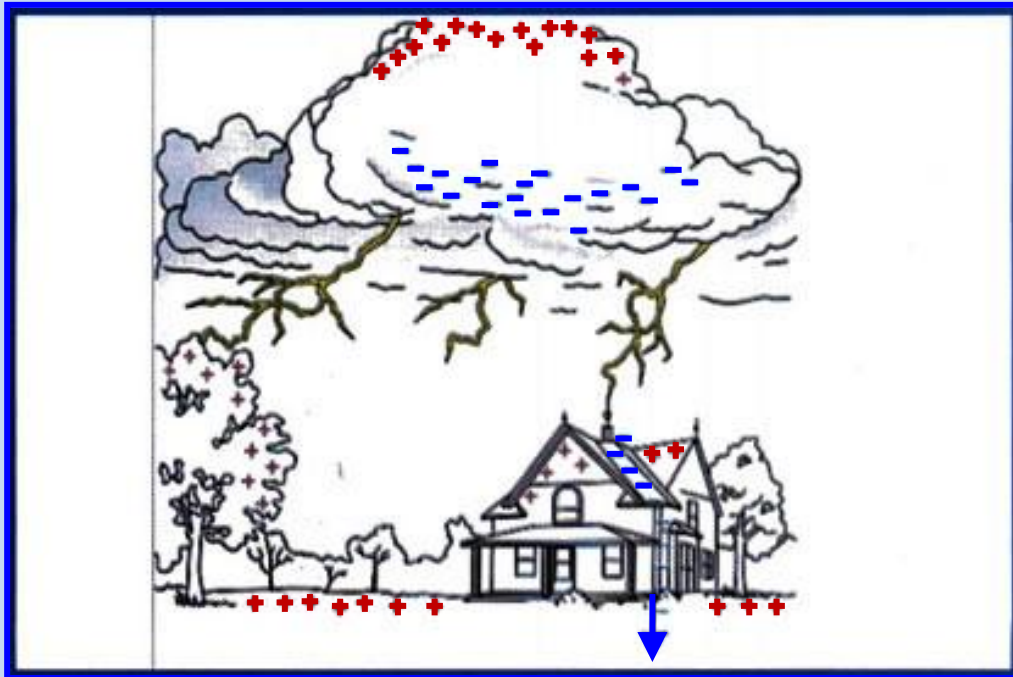
Κεραυνός

Κάθε ένας μας, έχει γίνει μάρτυρας των βίαιων φωτεινών φαινομένων που παράγονται κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας.

Έχουμε παρατηρήσει τις λάμπες που εμφανίζονται στο συννεφιασμένο ουρανό ή λάμπες που «ταξιδεύουν» προς τη Γη.

Τα φαινόμενα αυτά είναι ηλεκτροστατικά φαινόμενα.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Εικ. (Α). Η συσσώρευση φορτίου στην επιφάνεια του νέφους επάγει θετικό φορτίο στην επιφάνεια της Γης. (στην επόμενη σελίδα)

Κατά τη διάρκεια μιας καταιγίδας τα νέφη εμφανίζουν ηλεκτρικά φορτία με το κάτω μέρος τους φορτισμένο συνήθως αρνητικά και το επάνω θετικά (εικ. Α).

Το αρνητικό φορτίο που βρίσκεται στη βάση του νέφους δημιουργεί με επαγωγή θετικά φορτία στην επιφάνεια της Γης.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Επομένως, εμφανίζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο μεταξύ νέφους-Γης.

Ο ατμοσφαιρικός αέρας είναι ένας μονωτής (διηλεκτρικό) που εμποδίζει την κίνηση του ηλεκτρικού φορτίου. Εάν όμως η ένταση του πεδίου μεταξύ νέφους-Γης αποκτήσει μεγάλη τιμή (κοντά στα $5 \cdot 10^6$ V/m) ο ατμοσφαιρικός αέρας γίνεται αγώγιμος (για μερικά μs) με αποτέλεσμα τα ηλεκτρόνια που βρίσκονται στη βάση του νέφους να τον διαπερνούν, και να δημιουργείται ηλεκτρική εκκένωση.

Τα ηλεκτρόνια σχηματίζουν μια σφήνα, που ονομάζεται «οδηγός», και η οποία ακολουθώντας στρεβλή τροχιά κατευθύνεται προς τη γη, δημιουργώντας ισχυρότατα πεδία.

Όταν η μύτη του οδηγού φθάσει σε ύψος μερικών δεκάδων μέτρων από το έδαφος, η εκκένωση που

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
κατεβαίνει συναντά την ανερχόμενη
και κλείνει το κύκλωμα νέφους -
εδάφους.

Η ανερχόμενη προς το νέφος
εκκένωση, δημιουργεί ρεύμα
μεγάλης έντασης, 10.000 έως 20.000
A, το οποίο διαρκεί έως 0,01 ms. Το
ανερχόμενο ρεύμα είναι εκείνο που
δίνει τη φωτεινή αναλαμπή που
βλέπουμε σαν κεραυνό.

Η διαδρομή, που ακολούθησε
η ηλεκτρική εκκένωση έχει εξαιρε-
τικά υψηλή θερμοκρασία που φθά-
νει τα 30.000 K. Η πίεση που επι-
κρατεί στην περιοχή της εκκένωσης
δημιουργεί αρχικά ένα κρουστικό
κύμα το οποίο σταδιακά μετατρέπε-
ται στο ηχητικό, που ακούμε μετά
τη φωτεινή λάμψη.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Αλεξικέραυνο

Είναι ράβδοι αγωγιμες από χαλκό, οι οποίες τοποθετούνται σε υψηλά κτίρια και σε κατάλληλες θέσεις, εξέχουν σε ύψος της κατασκευής, και μέσω αγωγού συνδέονται με τη Γη.

Κατά τη διάρκεια ενός κεραυνού οι ακίδες των αλεξικέραυνων «έλκουν» λόγω του σχήματος τους και της θέσης όπου βρίσκονται, την ηλεκτρική εκκένωση και «οδηγούν» τα αρνητικά φορτία στο έδαφος, προστατεύοντας τη γύρω περιοχή από τον κεραυνό.

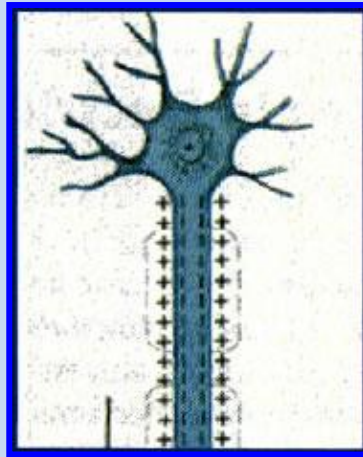
Πυκνωτές και ανθρωπινό σώμα

Το ανθρώπινο σώμα περιέχει εκατομμύρια επίπεδων πυκνωτών. Στα νευρικά κύτταρα οι μεμβράνες, λειτουργούν ως μονωτικό υλικό,

**Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
ξεχωρίζοντας θετικά και αρνητικά
ηλεκτρικά φορτία.**

**Οι νευρικές ωθήσεις, ταξιδεύουν
μεταξύ του εγκεφάλου μας και του
υπολοίπου σώματός μας μέσω
φόρτισης και εκφόρτισης αυτών
των μικροσκοπικών πυκνωτών.**

**«Πυκνωτές»
νευρικού
κυττάρου**



**Οι τυπικές τιμές της χωρητικότη-
τας και της διαφοράς δυναμικού
ενός από τους μικροπυκνωτές ενός
νευρικού κυττάρου αντιστοιχεί στη
χωρητικότητα ενός επίπεδου πυ-
κνωτή με εμβαδόν οπλισμού 1 m^2
και χωρητικότητα $0,01 \text{ F}$ που είναι
τεράστια, ενώ η τιμή της έντασης**

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων του πεδίου ενός νευρικού κυττάρου είναι της τάξης των 10^7 N/C!!

Βενιαμίν Φραγκλίνος

Ο Βενιαμίν Φραγκλίνος (1706 -1790), ήταν ο πρώτος Αμερικανός επιστήμονας που αναγνωρίστηκε διεθνώς. Το έργο του περιλαμβάνει μεταξύ των άλλων, τη διατύπωση μιας θεωρίας για την ηλεκτρική δράση στην οποία εξηγεί την παραγωγή και μετακίνηση φορτίου καθώς και τη φόρτιση με επαγωγή. Ασχολήθηκε επίσης με την ιδέα της ύπαρξης ενός ηλεκτρικού ρευστού και την αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου. Ήταν ο πρώτος που πρότεινε τους όρους θετικό και αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων



Το βασικό του όμως επίτευγμα ήταν η εφεύρεση του αλεξικέραυ-
νου.

Το 1749 ο Φραγκλίνος έκανε την υπόθεση ότι τα σύννεφα είναι ηλεκτρισμένα και ότι η αστραπή είναι μια ταχύτατη απελευθέρωση ηλεκτρικού ρευστού από τα σύννεφα. Καθώς μάλιστα ήταν απόλυτα πεισμένος ότι η αστραπή ήταν ένα ηλεκτρικό φαινόμενο, προειδοποιούσε στα κείμενά του τους αναγνώστες του ότι οι ψηλοί λόφοι, τα δένδρα και οι καμινάδες, ήταν ιδιαίτερα επικίνδυνοι, διότι δρούσαν σαν προεξοχές, -σαν ακίδες- και

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
μπορούσαν να προκαλέσουν εκφόρτιση των νεφών. Η δράση αυτών των ακίδων ήταν μία από τις πρώτες ανακαλύψεις του Φραγκλίνου, ο οποίος αν και αδυνατούσε να την εξηγήσει πίστευε ότι θα ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη στην ανθρωπότητα.

Εκτελώντας ο ίδιος μια σειρά πειραμάτων παρατήρησε και μια άλλη λειτουργία της ακίδας με τη χρήση του αλεξικέραυνου. Το αλεξικέραυνο εκτός του ότι προκαλούσε εκφόρτιση ενός νέφους, μπορούσε να οδηγήσει την αστραπή με ασφάλεια στο έδαφος.

Ο Φραγκλίνος προσπάθησε να εξηγήσει και την απώθηση ανάμεσα σε φορτισμένα σώματα. Για το σκοπό αυτό πρότεινε την ιδέα της «ηλεκτρικής ύλης» την οποία θεωρούσε ότι αποτελείται από μικρά σωματίδια ικανά να διεισδύσουν

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

στην κοινή ύλη, ακόμη και στα μέταλλα, χωρίς καμιά αισθητή αντίσταση. Η διαφορά ανάμεσα στην κοινή και στην ηλεκτρική ύλη, οφείλεται στην αμοιβαία έλξη των σωματιδίων της πρώτης και στην αμοιβαία άπωση των σωματιδίων της δεύτερης. Τα σωματίδια της ηλεκτρικής ύλης όμως έλκονται από την κοινή ύλη και σκορπίζονται μέσα σ' αυτή. Μ' άλλα λόγια η κοινή ύλη είναι ένα σφουγγάρι για το ηλεκτρικό ρευστό. Όταν όμως προστίθεται συνεχώς ηλεκτρική ύλη σ' ένα σώμα, τότε αυτή δεν μπορεί να μπει μέσα στο σώμα και συγκεντρώνεται στην επιφάνειά του, όπου και σχηματίζει μια ηλεκτρική «ατμόσφαιρα». Το σώμα τότε ηλεκτρίζεται. Ο Φραγκλίνος, με τη θεωρία αυτή της «ηλεκτρικής ατμόσφαιρας» κατάφερε να εξηγή-

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
σει την άπωση ανάμεσα στα θετικά,
φορτισμένα σώματα. Η θεωρία του
όμως δεν μπορούσε να ερμηνεύσει
την άπωση ανάμεσα στα αρνητικά
φορτισμένα σώματα.

Γενικώς, με τα πειράματά του
ο Φραγκλίνος απέδειξε ότι τα
ηλεκτρικά φαινόμενα δεν είναι
αποτελέσματα ανθρώπινων
τεχνασμάτων στο εργαστήριο, αλλά
αποτελούν μέρος των
δραστηριοτήτων της φύσης.

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

Περιεχόμενα 1ου τόμου

1 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ

1.1. ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΟ ΕΝΘΕΤΟ 12

1.1. Ο νόμος του Coulomb..... 37

1.2. Ηλεκτρικό πεδίο 51

1.3. Ηλεκτρική δυναμική
 ενέργεια 78

1.4.. Δυναμικό - διαφορά
 δυναμικού..... 90

1.5. Πυκνωτές..... 105

Σ' αυτή την ενότητα μάθαμε 130

Στρατηγική επίλυσης
προβλημάτων..... 134

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων	
Ερωτήσεις - Δραστηριότητες	152
Προβλήματα.....	178
Ένθετα.....	198

Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων
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΄).



Δυνάμεις μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων

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