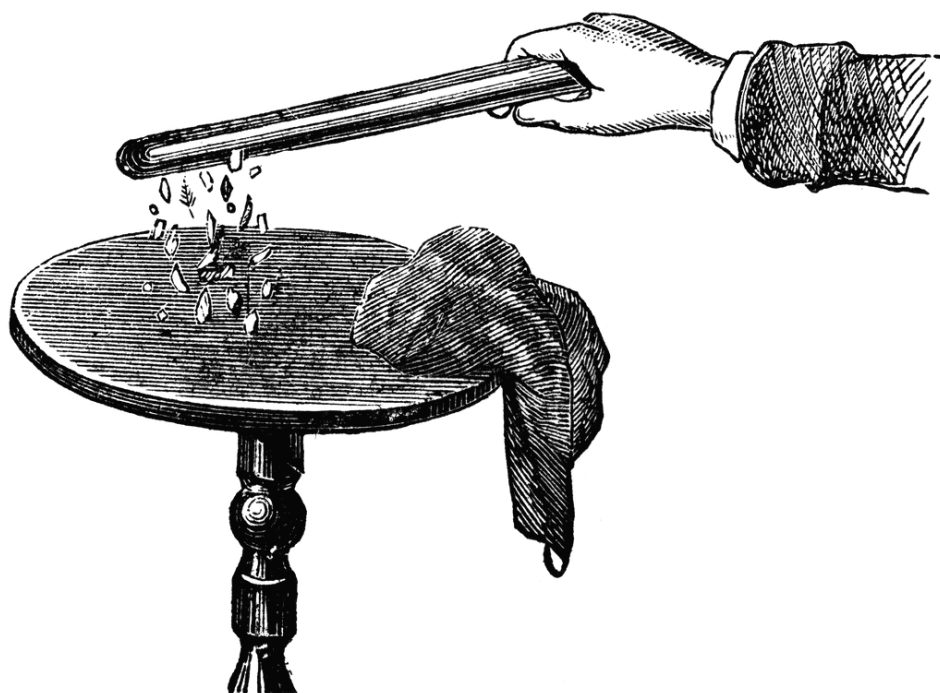


Φυσική

Β' Λυκείου γενικής παιδείας
1^ο Κεφάλαιο



ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ
ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΑ ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΑ ΦΑΙΝΟΜΕΝΑ.

Η προέλευση της ονομασίας ηλεκτρισμός

Τον 6^ο αιώνα π.χ. οι αρχαίοι Έλληνες ανακάλυψαν ότι το ήλεκτρο (κεχριμπάρι), όταν τριβόταν με ένα κομμάτι ύφασμα, αποκτούσε μια παράξενη ιδιότητα να έλκει μικρά, ελαφριά αντικείμενα, όπως τρίχες, μικρά φτερά, πούπουλα, ξερά φύλλα κτλ.

Αυτή η παράξενη ιδιότητα που αποκτούσε το ήλεκτρο μετά από τριβή ονομάστηκε **ηλεκτρισμός**.

Ηλεκτρισμένα σώματα και ηλέκτριση.

Διαπιστώθηκε πειραματικά ότι η ίδια παράξενη ιδιότητα του ήλεκτρου εκδηλώνεται και σε άλλα σώματα, όπως το γυαλί, το θειάφι, το πλαστικό κτλ.

Όλα τα υλικά τα οποία, όταν τα τρίψουμε με μάλλινο ύφασμα, συμπεριφέρονται όπως το ήλεκτρο, θα λέγονται **ηλεκτρισμένα**.

Η διαδικασία με την οποία ένα σώμα ηλεκτρίζεται λέγεται **ηλέκτριση**.

Θετικά και αρνητικά ηλεκτρισμένα σώματα.

Αν τρίψουμε σε μεταξωτό ύφασμα δύο γυάλινες ράβδους και τις πλησιάσουμε μεταξύ τους, θα παρατηρήσουμε ότι απωθούνται.

Αν όμως τρίψουμε σε μεταξωτό ύφασμα μια γυάλινη ράβδο και σε μάλλινο ύφασμα μια ράβδο από εβονίτη (είδος πλαστικού) και τις πλησιάσουμε μεταξύ τους, θα παρατηρήσουμε ότι οι δύο ράβδοι έλκονται.

Από τα παραπάνω απλά πειράματα διαπιστώνουμε ότι υπάρχουν δύο διαφορετικές καταστάσεις των ηλεκτρισμένων σωμάτων. Συμβατικά, για να δείξουμε τις καταστάσεις αυτές, θεωρούμε:

☞ **Θετικά ηλεκτρισμένα** τα σώματα που εμφανίζουν όμοια συμπεριφορά με την ηλεκτρισμένη ράβδο γυαλιού.

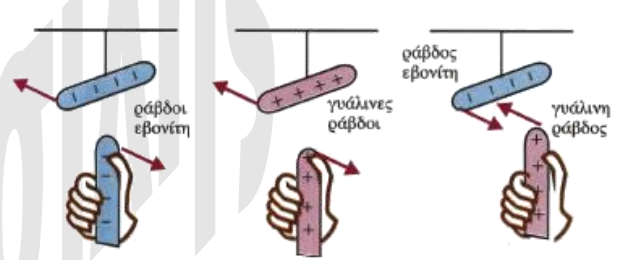
☞ **Αρνητικά ηλεκτρισμένα** τα σώματα που εμφανίζουν όμοια συμπεριφορά με την ηλεκτρισμένη ράβδο εβονίτη.

Είδη δυνάμεων μεταξύ των ηλεκτρισμένων σωμάτων.

Σύμφωνα με όσα είδαμε παραπάνω, οι δυνάμεις που εμφανίζονται μεταξύ των ηλεκτρισμένων σωμάτων μπορεί να είναι είτε **ελκτικές** είτε **απωστικές**.

Τι είναι το ηλεκτρικό φορτίο.

Για να μπορέσουμε να εξηγήσουμε την ιδιότητα των ηλεκτρισμένων σωμάτων, ορίσαμε ένα καινούριο μονόμετρο φυσικό μέγεθος, το **ηλεκτρικό φορτίο**, το οποίο συμβολίζεται με Q ή q .



Σύμφωνα με τα παραδείγματα που εξετάσαμε προηγουμένως, υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικού φορτίου:

- ☞ Αυτό που εμφανίζεται στο γυαλί, όταν το τρίψουμε με μεταξωτό ύφασμα, και το οποίο ονομάζουμε **θετικό (+Q)**.
- ☞ Αυτό που εμφανίζεται στον εβονίτη, όταν τον τρίψουμε με μάλλινο ύφασμα, και το οποίο ονομάζουμε **αρνητικό (-Q)**.

Μονάδα μέτρησης του ηλεκτρικού φορτίου στο διεθνές σύστημα μονάδων (S.I.) είναι το 1 C (κουλόμπ).

Επειδή το 1 C είναι πολύ μεγάλη μονάδα μέτρησης ηλεκτρικού φορτίου, συχνά χρησιμοποιούμε μικρότερες μονάδες μέτρησης του φορτίου, οι οποίες είναι:

$1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$

$1 \text{ }\mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$

$1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$

$1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$

- ☞ Δύο θετικά ή αρνητικά ηλεκτρικά φορτία ονομάζονται **ομώνυμα φορτία**.
- ☞ Ένα θετικό και ένα αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο ονομάζονται **ετερόνυμα φορτία**.

Άρα οι δυνάμεις μεταξύ ομώνυμων φορτίων είναι **απωστικές** και οι δυνάμεις μεταξύ ετερόνυμων φορτίων είναι **ελκτικές**.

Ποιες είναι οι δύο βασικές ιδιότητες του ηλεκτρικού φορτίου;

Για το ηλεκτρικό φορτίο ισχύουν δύο σημαντικές ιδιότητες:

1. Η αρχή διατήρησης του φορτίου.

Σε ένα απομονωμένο ηλεκτρικό σύστημα το αλγεβρικό αθροισμάτων ηλεκτρικών φορτίων παραμένει σταθερό όσες μεταβολές και αν συμβούν μέσα στο σύστημα αυτό.

Σύμφωνα με την αρχή αυτή, το φορτίο ούτε δημιουργείται ούτε καταστρέφεται, παρά μόνο μεταφέρεται από ένα σώμα σε ένα άλλο σώμα.

2. Το ηλεκτρικό φορτίο είναι κβαντισμένο.

Αυτό σημαίνει ότι μια ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου Q δεν μπορεί να έχει οποιαδήποτε τιμή αλλά μόνο συγκεκριμένη τιμή. Οι τιμές που μπορεί να πάρει το ηλεκτρικό φορτίο είναι ακέραια πολλαπλάσια ενός στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου (e), δηλαδή ισχύει: $Q = N \cdot |e|$ όπου N ακέραιος θετικός αριθμός.

Το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο έχει τιμή ίση με $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ C.

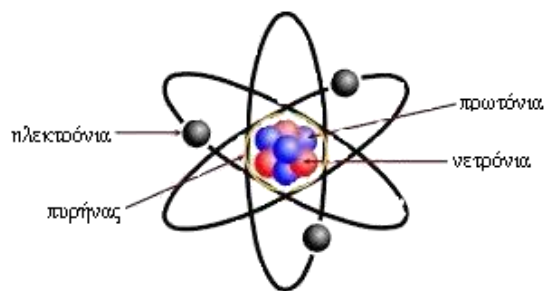
Ο ηλεκτρισμός και η δομή της ύλης.

Τα σώματα που συναντάμε στη φύση αποτελούνται από άτομα τα οποία είναι συνδεδεμένα μεταξύ τους.

Κάθε άτομο αποτελείται από έναν πυρήνα μέσα στον οποίο βρίσκονται τα πρωτόνια, που έχουν θετικό ηλεκτρικό φορτίο, και τα νετρόνια, που είναι ηλεκτρικά ουδέτερα.

Γύρω από τον πυρήνα περιστρέφονται τα ηλεκτρόνια, που έχουν αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο και μάλιστα το φορτίο του κάθε ηλεκτρονίου είναι κατ' απόλυτη τιμή ίσο με το φορτίο του πρωτονίου.

Όταν ένα άτομο είναι ηλεκτρικά ουδέτερο, έχει ίσο αριθμό πρωτονίων και ηλεκτρονίων.



Αν για κάποιο λόγο διαταραχτεί η ισορροπία ανάμεσα στα πρωτόνια και στα ηλεκτρόνια, το άτομο «ηλεκτρίζεται». Επειδή τα πρωτόνια του πυρήνα δεν μπορούν να μετακινηθούν, αυτό που μπορεί να συμβεί είναι:

☞ Είτε από το άτομο **να φύγουν ηλεκτρόνια**, οπότε τα πρωτόνια θα είναι περισσότερα και το άτομο φορτίζεται **θετικά**.

☞ Είτε στο άτομο **να έρθουν ηλεκτρόνια**, οπότε τα πρωτόνια θα είναι λιγότερα και το άτομο φορτίζεται **αρνητικά**.

Συμπέρασμα: Αν από ένα ηλεκτρικά ουδέτερο σώμα αφαιρεθούν ή προστεθούν ηλεκτρόνια, το σώμα θα είναι θετικά ή αρνητικά ηλεκτρισμένο αντίστοιχα.

Το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που έχει παρατηρηθεί στη φύση σε ελεύθερη μορφή. Η ποσότητα αυτή είναι γνωστή ως **στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο**.

Το ηλεκτροσκόπιο και η λειτουργία του.

Για να μπορούμε να διαπιστώσουμε αν ένα σώμα είναι ηλεκτρισμένο ή όχι, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε κατάλληλο όργανο. Το όργανο που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση του ηλεκτρικού φορτίου είναι το **ηλεκτροσκόπιο**.



Το ηλεκτροσκόπιο αποτελείται από ένα γυάλινο δοχείο που στηρίζεται σε μια μονωτική βάση και από ένα μεταλλικό στέλεχος. Στην κορυφή του μεταλλικού στελέχους βρίσκεται μια μεταλλική σφαίρα Σ και στο κάτω άκρο του υπάρχουν δύο λεπτά μεταλλικά φύλλα από τα οποία το ένα είναι ακλόνητο και το άλλο μπορεί να κινείται (δείκτης).

Όταν φέρουμε σε επαφή ένα φορτισμένο σώμα με τη μεταλλική σφαίρα Σ , τότε τα δύο λεπτά μεταλλικά φύλλα του ηλεκτροσκοπίου που βρίσκονται στο εσωτερικό του αποκτούν ίδιο φορτίο, με αποτέλεσμα να απωθούνται μεταξύ τους.

Τρόποι ηλεκτρίσης ενός σώματος

Η ηλεκτρίση ενός σώματος μπορεί να πραγματοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

1. Ηλεκτρίση με τριβή.
2. Ηλεκτρίση με επαφή.
3. Ηλεκτρίση με επαγωγή.

Ερμηνεία ηλεκτρίσης με τριβή

Είδαμε ότι, όταν τρίβουμε μια γυάλινη ράβδο με μεταξωτό ύφασμα, τότε η ράβδος φορτίζεται θετικά. Αυτό σημαίνει ότι από τη γυάλινη ράβδο φεύγουν ηλεκτρόνια τα οποία μεταφέρονται στο ύφασμα. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα το μεταξωτό ύφασμα να φορτίζεται αρνητικά.

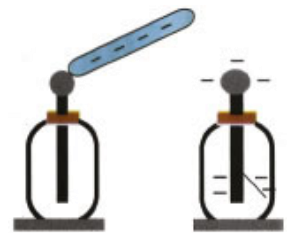


Συμπέρασμα

Κατά την ηλεκτρίση με τριβή τα δύο σώματα αποκτούν κατ' απόλυτη τιμή ίσα φορτία αλλά ετερόνυμα.

Ερμηνεία ηλεκτρίσης με επαφή

Φέρνουμε σε επαφή μια φορτισμένη ράβδο εβονίτη με τη μεταλλική σφαίρα Σ ενός ηλεκτροσκοπίου. Όπως ξέρουμε, η φορτισμένη ράβδος εβονίτη έχει αρνητικό φορτίο. Όταν λοιπόν τη φέρουμε σε επαφή με τη μεταλλική σφαίρα του ηλεκτροσκοπίου, ένα μέρος των ηλεκτρονίων της μεταφέρονται στο μεταλλικό στέλεχος του ηλεκτροσκοπίου, με αποτέλεσμα το μεταλλικό στέλεχος να φορτίζεται αρνητικά.

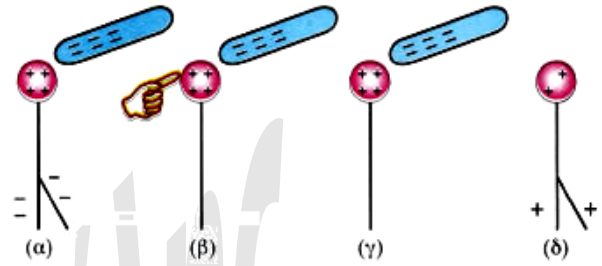


Συμπέρασμα: Κατά την ηλεκτρίση με επαφή τα δύο σώματα αποκτούν ομόνυμα φορτία.

Ερμηνεία ηλεκτρίσης με επαγωγή

Τα στάδια της ηλεκτρίσης ενός σώματος με επαγωγή είναι:

1. Πλησιάζουμε μια φορτισμένη ράβδο από εβονίτη σε μια αφόρτιστη μεταλλική σφαίρα. Τότε τα ελεύθερα ηλεκτρόνια της σφαίρας θα μετακινηθούν προς τα μεταλλικά ελάσματα, γιατί απωθούνται έλκονται από αυτή.



2. Συνδέουμε το άλλο άκρο της σφαίρας με το έδαφος μέσω π.χ. του χεριού μας. Τότε στη σφαίρα φεύγουν ηλεκτρόνια προς τη γη.

3. Απομακρύνουμε τη γείωση.

4. Απομακρύνουμε, τέλος, την αρνητικά φορτισμένη ράβδο.

Η σφαίρα πλέον έχει ηλεκτριστεί με θετικό φορτίο.

Συμπέρασμα: Κατά την ηλέκτριση με επαγωγή το φορτισμένο σώμα διατηρεί το φορτίο του, ενώ το αφόρτιστο σώμα αποκτά ετερόνυμο φορτίο σε σχέση με το φορτίο του φορτισμένου σώματος.

Αγωγοί και μονωτές.

Όλα τα υλικά δεν επιτρέπουν την κίνηση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους. Διακρίνουμε λοιπόν τα υλικά στις εξής κατηγορίες:

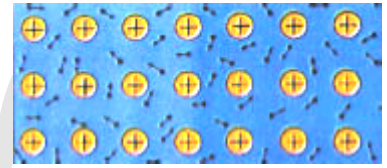
☞ **Αγωγοί:** Πρόκειται για τα υλικά που επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα από τη μάζα τους. Αγωγοί είναι τα μέταλλα, οι ηλεκτρολύτες, το ανθρώπινο σώμα κτλ.

☞ **Μονωτές:** Πρόκειται για τα υλικά που δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικών φορτίων μέσα από τη μάζα τους. Μονωτές είναι το ξύλο, το γυαλί, το πλαστικό, το χαρτί, το καουτσούκ κτλ.

Παρατήρηση: Εκτός από τους αγωγούς και τους μονωτές, υπάρχει ακόμη μια κατηγορία υλικών που εμφανίζουν ενδιάμεση συμπεριφορά. Τα υλικά αυτά ονομάζονται **ημιαγωγοί** και ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό τους άλλοτε επιτρέπουν και άλλοτε δεν επιτρέπουν τη μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.

Ηλεκτρική αγωγιμότητα; Πού οφείλεται η ηλεκτρική αγωγιμότητα στα μέταλλα;

Με τον όρο «ηλεκτρική αγωγιμότητα» εννοούμε την ικανότητα που έχουν ορισμένα σώματα να επιτρέπουν την κίνηση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.



Στην περίπτωση των μετάλλων, που είναι οι πιο συνηθισμένοι αγωγοί, η ηλεκτρική αγωγιμότητα οφείλεται στα **ελεύθερα ηλεκτρόνια**.

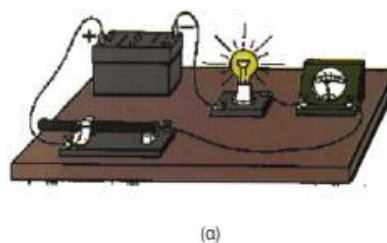
Τα ελεύθερα ηλεκτρόνια είναι τα ηλεκτρόνια της εξωτερικής στιβάδας των ατόμων, τα οποία έχουν ξεφύγει από την έλξη του πυρήνα και κινούνται ελεύθερα ανάμεσα στα άτομα και σε όλη την έκταση του μετάλλου με ταχύτητες που πλησιάζουν τα 1.000 km/s.

Το ηλεκτρικό ρεύμα.

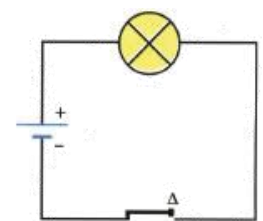
Όταν συνδέσουμε τα άκρα ενός μεταλλικού αγωγού με μια μπαταρία, τα ελεύθερα ηλεκτρόνια που υπάρχουν μέσα στον αγωγό αναγκάζονται να κινηθούν προς μία ορισμένη κατεύθυνση. Όπως θα δούμε και σε επόμενη ενότητα, στην περίπτωση αυτή λέμε ότι το κύκλωμα διαρρέεται από ηλεκτρικό ρεύμα.

Τι είναι το ηλεκτρικό κύκλωμα. Πότε ένα ηλεκτρικό κύκλωμα λέγεται ανοικτό και πότε κλειστό.

Για να μπορέσει να λειτουργήσει μια ηλεκτρική συσκευή (για παράδειγμα, μια λάμπα), θα πρέπει να τη συνδέσουμε με τους πόλους μιας ηλεκτρικής πηγής (για παράδειγμα, με τους πόλους μιας μπαταρίας). Δημιουργούμε με τον τρόπο αυτό ένα ηλεκτρικό κύκλωμα.



(α)



(β)

☞ Το ηλεκτρικό κύκλωμα είναι μια κλειστή αγωγή διαδρομή από την οποία διέρχεται το ηλεκτρικό ρεύμα.

Ένα ηλεκτρικό κύκλωμα περιλαμβάνει:

1. Μία ή περισσότερες ηλεκτρικές πηγές (π.χ. μπαταρία).
2. Μία ή περισσότερες συσκευές που λέγονται καταναλωτές.

3. Ένα διακόπτη που χρησιμοποιείται για τη λειτουργία ή όχι του κυκλώματος.

4. Καλώδια (αγωγούς) που χρησιμοποιούνται για να συνδεθούν μεταξύ τους όλα τα στοιχεία.

Ένα τέτοιο ηλεκτρικό κύκλωμα φαίνεται στο διπλανό σχήμα.

☞ Όταν ο διακόπτης σε ένα κύκλωμα είναι ανοικτός, το κύκλωμα δε διαρρέεται από ρεύμα και ονομάζεται **ανοικτό**.

☞ Όταν ο διακόπτης σε ένα κύκλωμα είναι κλειστός, το κύκλωμα διαρρέεται από ρεύμα και ονομάζεται **κλειστό**.

Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

Ο νόμος του Coulomb αναφέρεται σε δύο ηλεκτρικά φορτία και ορίζεται ως:

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.

Δηλαδή η μαθηματική σχέση είναι η: $F = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$ η σταθερά αναλογίας k εξαρτάται

- α.** από τη φύση του υλικού μέσου, που βρίσκονται τα φορτία και
- β.** το σύστημα μονάδων.

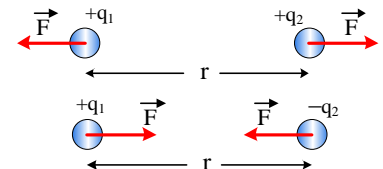
Η δύναμη Coulomb έχει:

Μέτρο που υπολογίζεται από τη σχέση $F = \frac{k |q_1 q_2|}{r^2}$

Διεύθυνση, τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία, που είναι και φορέας της.

Φορά, ανάλογα με το είδος των φορτίων δηλαδή είναι ελκτικές για ετερόνυμα και απωστικές για ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία.

Σημείο εφαρμογής, τα σημειακά φορτία q_1 και q_2 .



Ο νόμος του Coulomb ισχύει με τις εξής προϋποθέσεις:

- α.** Τα φορτία να είναι σημειακά ή να έχουν σφαιρική κατανομή του φορτίου τους, οπότε το φορτίο θεωρείται συγκεντρωμένο στο κέντρο της σφαίρας.
- β.** Τα φορτία να είναι ακίνητα (μερικές φορές έχουμε φορτία σε κίνηση αλλά θεωρούμε ότι είναι ακίνητα στιγμιαία και χρησιμοποιούμε το νόμο του Coulomb ως έχει)

γ. Να βρίσκονται μέσα στο ίδιο διηλεκτρικό περιβάλλον (ισότροπο μέσο π.χ. στον αέρα).

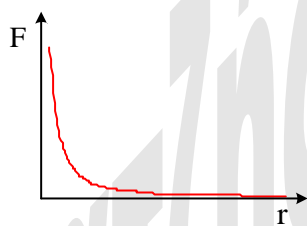
Οι δυνάμεις Coulomb είναι:

α. Κεντρικές δυνάμεις, δηλαδή έχουν φορέα, την ευθεία που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία.

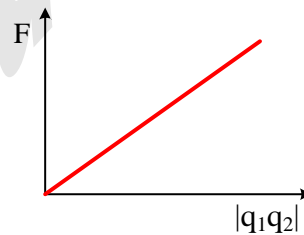
β. Συντηρητικές δηλαδή το έργο τους δεν εξαρτάται από την διαδρομή

γ. Ακολουθούν το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου, αφού είναι ανάλογες του $\frac{1}{r^2}$.

Γραφικές παραστάσεις της δύναμης Coulomb σε σχέση με την απόσταση και του μέτρου του γινομένου των φορτίων



Δύναμη Coulomb - απόσταση



Δύναμη Coulomb – γινόμενο φορτίων

Η αριθμητική τιμή της σταθεράς k που εισέρχεται στο νόμο του Coulomb εξαρτάται:

1. Από το υλικό μέσα στο οποίο βρίσκονται τα δύο φορτία.

Η δύναμη Coulomb που αναπτύσσεται ανάμεσα σε δύο φορτία q_1 και q_2 τα οποία απέχουν απόσταση r και βρίσκονται στο κενό (ή στον αέρα) έχει διαφορετικό μέτρο από τη δύναμη Coulomb που θα αναπτυσσόταν αν τα δύο φορτία q_1 και q_2 βρίσκονταν μέσα σε κάποιο μονωτικό υλικό και απείχαν την ίδια απόσταση r .

2. Από την επιλογή του συστήματος μονάδων.

Όταν χρησιμοποιήσουμε ως σύστημα μονάδων το διεθνές σύστημα (S.I.) και τα φορτία βρίσκονται στο κενό ή στον αέρα, η τιμή της σταθεράς k είναι ίση με $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Μία άλλη δύναμη που έχει παρόμοια χαρακτηριστικά με την δύναμη Coulomb είναι η δύναμη της βαρύτητας. ας δούμε τις ομοιότητες και τις διαφορές μεταξύ τους

Ομοιότητες

- 1.** Το μέτρο της δύναμης της παγκόσμιας έλξης $F = \frac{G m_1 m_2}{r^2}$ και της δύναμης μεταξύ ηλεκτρικών φορτίων (δύναμη Coulomb) είναι ανάλογο του γινομένου των μαζών ή των φορτίων αντίστοιχα.
- 2.** Και στους δύο νόμους το μέτρο της δύναμης είναι αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης μεταξύ των μαζών ή των φορτίων.
- 3.** Και η δύναμη παγκόσμιας έλξης και η δύναμη Coulomb έχουν τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τις μάζες ή τα φορτία αντίστοιχα (κεντρικές δυνάμεις).
- 4.** Οι σταθερές και των δύο νόμων εξαρτώνται από το σύστημα μονάδων.

Διαφορές

- 1.** Οι δυνάμεις μεταξύ μαζών είναι πάντοτε ελκτικές, ενώ οι δυνάμεις μεταξύ φορτίων μπορεί να είναι ελκτικές ή απωστικές.
- 2.** Η σταθερά του νόμου του Coulomb εξαρτάται και από το μονωτικό υλικό που παρεμβάλλεται μεταξύ των δύο φορτίων, ενώ για την αντίστοιχη σταθερά του νόμου της παγκόσμιας έλξης δεν ισχύει κάτι ανάλογο.

ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΓΙΑ ΤΗΝ ΛΥΣΗ ΤΩΝ ΑΣΚΗΣΕΩΝ

Υπολογισμός της ηλεκτρικής δύναμης που αναπτύσσεται ανάμεσα σε δύο ηλεκτρικά φορτία.

ΑΠΛΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΟΥ ΝΟΜΟΥ ΤΟΥ COULOMB

Όταν εφαρμόζουμε το νόμο του Coulomb, πρέπει να λαμβάνουμε υπόψη:

1. Τα φορτία στο νόμο του Coulomb τα αντικαθιστούμε αφού τα μετατρέψουμε σε C.

Για τις μετατροπές θυμίζουμε ότι ισχύει: $1 \text{ mC} = 10^{-3} \text{ C}$, $1 \mu\text{C} = 10^{-6} \text{ C}$, $1 \text{ nC} = 10^{-9} \text{ C}$ και $1 \text{ pC} = 10^{-12} \text{ C}$.

2. Η απόσταση r αντικαθίσταται αφού μετατραπεί σε m.

Για τις μετατροπές θυμίζουμε ότι ισχύει: $1 \text{ mm} = 10^{-3} \text{ m}$, $1 \text{ cm} = 10^{-2} \text{ m}$, $1 \text{ dm} = 10^{-1} \text{ m}$.

3. Προσοχή! Το είδος των ηλεκτρικών φορτίων δεν επηρεάζει το αποτέλεσμα για το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης αλλά μόνο για την κατεύθυνση της.

Παράδειγμα 1. Δύο σημειακά ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 2 \mu\text{C}$ και $q_2 = -3 \mu\text{C}$ βρίσκονται σε απόσταση $r = 30 \text{ cm}$. Να υπολογίσετε:

α. Το μέτρο της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσεται μεταξύ τους.

β. Την απόσταση στην οποία θα έπρεπε να βρίσκονται τα δύο φορτία, ώστε η μεταξύ τους ελκτική δύναμη να έχει μέτρο $2,4 \text{ N}$.

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

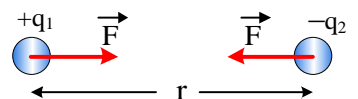
Λύση

α. Αρχικά μετατρέπουμε όλες τις μονάδες στο S.I.

Είναι: $q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$, $q_2 = -3 \mu\text{C} = -3 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ και $r = 30 \text{ cm} = 30 \cdot 10^{-2} \text{ m} = 3 \cdot 10^{-1} \text{ m}$.

Το μέτρο της ελκτικής δύναμης που αναπτύσσεται ανάμεσα στα φορτία q_1 και q_2

είναι:



$$F = \frac{k |q_1 q_2|}{r^2} \Rightarrow F = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{(3 \cdot 10^{-1})^2} \Rightarrow F = \frac{9 \cdot 2 \cdot 3 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow F = 6 \cdot 10^{-1} \text{ N} \Rightarrow F = 0,6 \text{ N}$$

β. Η απόσταση r' στην οποία θα έπρεπε να βρεθούν τα φορτία q_1 και q_2 , ώστε η ελκτική δύναμη που ασκείται μεταξύ τους να είναι $F' = 2,4 \text{ N}$, είναι:

$$F' = \frac{k|q_1q_2|}{r'^2} \Rightarrow r'^2 = \frac{k|q_1q_2|}{F'} \Rightarrow r'^2 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 3 \cdot 10^{-6}}{2,4} \Rightarrow r'^2 = 22,5 \cdot 10^{-3} \Rightarrow r^2 = 225 \cdot 10^{-4} \Rightarrow$$

$$r = 15 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Υπολογισμός της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται σε σημειακό φορτίο από δύο ή περισσότερα φορτία, όταν όλα τα φορτία βρίσκονται πάνω σε ευθεία.

Τα βήματα που ακολουθούμε είναι:

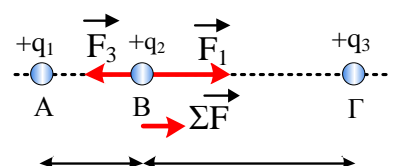
1. Φτιάχνουμε το σχήμα προσεκτικά σημειώνοντας τις αποστάσεις ανάμεσα στο φορτίο q , για το οποίο θέλουμε να υπολογίσουμε τη δύναμη που του ασκείται, και στα υπόλοιπα φορτία.
2. Σχεδιάζουμε καθεμία από τις δυνάμεις που ασκούνται στο φορτίο q από τα υπόλοιπα φορτία.
3. Υπολογίζουμε το μέτρο της κάθε δύναμης εφαρμόζοντας όσες φορές χρειαστεί το νόμο του Coulomb.
4. Οι δυνάμεις που ασκούνται στο φορτίο q θα είναι συγγραμμικές. Ανάλογα με την κατεύθυνση των δυνάμεων ορίζουμε αυθαίρετα μία φορά ως θετική και προσθέτουμε ή αφαιρούμε για να βρούμε το μέτρο της συνισταμένης δύναμης που θα ασκείται στο φορτίο q .
5. Δείχνουμε στο σχήμα την κατεύθυνση της συνισταμένης δύναμης που ασκείται στο φορτίο q .

Δεν ξεχνάμε ότι η δύναμη είναι διανυσματικό μέγεθος οπότε πρέπει πάντα το σύμβολο F να συνοδεύεται από διάνυσμα \vec{F} (π.χ. στα σχήματα), ενώ "σκέτο" το σύμβολο F χρησιμοποιείται όταν μιλάμε για το μέτρο (τιμή) του διανύσματος.

Παράδειγμα 2. Τρία σημειακά ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 2 \mu\text{C}$, $q_2 = 4 \mu\text{C}$ και $q_3 = 5 \mu\text{C}$ βρίσκονται ακλόνητα στα σημεία A, B και Γ αντίστοιχα μιας ευθείας. Οι αποστάσεις μεταξύ των φορτίων είναι $AB = 0,3 \text{ m}$ και $A\Gamma = 0,8 \text{ m}$. Να υπολογίσετε τη δύναμη που ασκείται στο φορτίο q_2 . Δίνεται: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Λύση

Η κατεύθυνση των δυνάμεων που ασκούνται στο φορτίο q_2 από τα υπόλοιπα φορτία φαίνεται στο σχήμα.



☞ Η δύναμη \vec{F}_1 , που ασκείται στο φορτίο q_2 από το φορτίο q_1 είναι απωστική. Το μέτρο της είναι:

$$F_1 = \frac{k|q_1q_2|}{(AB)^2} \Rightarrow F_1 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2 \cdot 10^{-6} \cdot 4 \cdot 10^{-6}}{0,09} \Rightarrow F_1 = \frac{9 \cdot 2 \cdot 4 \cdot 10^{-3}}{9 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow F_1 = 8 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

☞ Η δύναμη \vec{F}_3 , που ασκείται στο φορτίο q_2 από το φορτίο q_3 , είναι απωστική. Το μέτρο της είναι:

$$F_3 = \frac{k|q_2q_3|}{(B\Gamma)^2} \Rightarrow F_3 = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{0,25} \Rightarrow F_3 = \frac{9 \cdot 4 \cdot 5}{25 \cdot 10^{-2}} \cdot 10^{-3} \Rightarrow F_3 = 7,2 \cdot 10^{-1} \text{ N}$$

Οι δυνάμεις \vec{F}_1 και \vec{F}_3 είναι αντίρροπες. Η συνισταμένη δύναμη $\Sigma\vec{F}$, που ασκείται στο φορτίο q_2 , έχει κατεύθυνση την κατεύθυνση της δύναμης \vec{F}_1 και μέτρο: $\Sigma F = F_1 - F_3 = 0,8 - 0,72 \Rightarrow \Sigma F = 0,08 \text{ N}$

Εύρεση του σημείου ισορροπίας ηλεκτρικού φορτίου.

Όταν ένα φορτίο ισορροπεί, η συνισταμένη των δυνάμεων που ασκούνται σε αυτό είναι ίση με το μηδέν ($\Sigma\vec{F} = 0$). Τα βήματα που ακολουθούμε στην περίπτωση κατά την οποία το σημειακό φορτίο που ισορροπεί δέχεται δύο δυνάμεις από τα φορτία q_1 και q_2 που βρίσκονται στα σημεία A και B αντίστοιχα μιας ευθείας (ε) είναι:

1. Βρίσκουμε ποιο είναι το πιθανό σημείο ισορροπίας. Το σημείο αυτό θα βρίσκεται πάνω στην ευθεία (ε), γιατί σε οποιοδήποτε άλλο σημείο εκτός ευθείας και αν τοποθετηθεί το σημειακό φορτίο θα δέχεται μη συγγραμμικές δυνάμεις.

Για το σημείο ισορροπίας ισχύει:

- ☞ Αν τα φορτία q_1 και q_2 είναι ομώνυμα, το σημείο ισορροπίας θα βρίσκεται **ανάμεσα** στα σημεία A και B.
- ☞ Αν τα φορτία q_1 και q_2 είναι ετερόνυμα, το σημείο ισορροπίας θα βρίσκεται στις προεκτάσεις του ευθύγραμμου τμήματος AB.

2. Θέτουμε Σ το σημείο ισορροπίας, τοποθετώντας το πιο κοντά στο φορτίο που έχει κατ' απόλυτη τιμή τη μικρότερη τιμή φορτίου.

3. Σημειώνουμε στο σχήμα τις αποστάσεις του σημείου ισορροπίας από τα φορτία q_1 και q_2 .

4. Εφαρμόζουμε τη σχέση $\Sigma \vec{F} = 0$ αντικαθιστώντας τις δυνάμεις \vec{F}_1 και \vec{F}_2 από το νόμο του Coulomb.

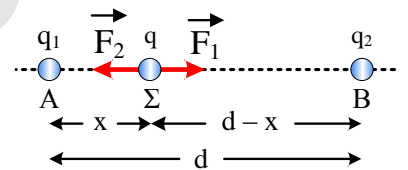
Παράδειγμα 3. Δύο σημειακά ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 1 \mu\text{C}$ και $q_2 = 16 \mu\text{C}$ βρίσκονται ακλόνητα στα σημεία A και B αντίστοιχα μιας ευθείας (ϵ), τα οποία απέχουν απόσταση $d = 15 \text{ cm}$.

α. Να βρείτε σε ποιο σημείο θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα σημειακό φορτίο q ώστε να ισορροπεί.

β. Να κάνετε το ίδιο στην περίπτωση που $q_1 = -1 \mu\text{C}$ και $q_2 = 16 \mu\text{C}$

Λύση

α. Επειδή τα φορτία q_1 και q_2 είναι ομώνυμα, το σημείο ισορροπίας Σ θα βρίσκεται πάνω στην ευθεία (ϵ) και ανάμεσα στα σημεία A και B. Μάλιστα το σημείο ισορροπίας Σ θα βρίσκεται πιο κοντά στο φορτίο q_1 .



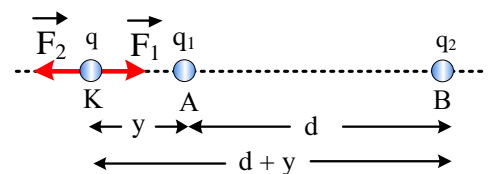
Θέτουμε $A\Sigma = x$ την απόσταση του σημείου Σ από το σημείο A, οπότε η απόσταση $B\Sigma$ θα είναι ίση με $B\Sigma = d - x$. Το φορτίο q , που τοποθετείται στο σημείο Σ , ισορροπεί. Επομένως:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{k |q_1 q|}{x^2} = \frac{k |q_2 q|}{(d-x)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{x^2} = \frac{|q_2|}{(d-x)^2} \Rightarrow \frac{10^{-6}}{x^2} = \frac{16 \cdot 10^{-6}}{(d-x)^2} \Rightarrow (d-x)^2 = 16x^2$$

$$\Rightarrow d - x = 4x \Rightarrow d = 5x \Rightarrow x = 3 \text{ cm}$$

Δηλαδή το σημείο ισορροπίας απέχει 3 cm από το σημείο A.

β. Τώρα έχουμε ετερόσημα φορτία άρα το σημείο ισορροπίας θα βρίσκεται πάνω στην ευθεία που ενώνει τα φορτία q_1 και q_2 αλλά εκτός αυτών. Έστω K το σημείο ισορροπίας του φορτίου q , το οποίο



θα βρίσκεται προς την μεριά του απολύτως μικρότερου φορτίου δηλαδή προς το q_1 . Επομένως:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \Rightarrow F_1 = F_2 \Rightarrow \frac{k |q_1 q|}{y^2} = \frac{k |q_2 q|}{(d+y)^2} \Rightarrow \frac{|q_1|}{y^2} = \frac{|q_2|}{(d+y)^2} \Rightarrow \frac{10^{-6}}{y^2} = \frac{16 \cdot 10^{-6}}{(d+y)^2} \Rightarrow$$

$$(d+y)^2 = 16y^2 \Rightarrow d+y = 4y \Rightarrow d = 3y \Rightarrow y = 5 \text{ cm}$$

Δηλαδή το σημείο ισορροπίας απέχει 5 cm από το σημείο A.

Υπολογισμός της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται σε σημειακό φορτίο από δύο ή περισσότερα φορτία, όταν όλα τα φορτία δε βρίσκονται πάνω σε ευθεία.

Στην περίπτωση αυτή, οι δυνάμεις που ασκούνται στο φορτίο q δεν είναι συγγραμμικές.

1. Εφαρμόζουμε τα βήματα 1 - 3 της 2^{ης} μεθοδολογίας.

2. Υπολογίζουμε το μέτρο της συνισταμένης δύναμης που δέχεται το φορτίο q ως εξής:

☞ Αν οι δυνάμεις που ασκούνται στο φορτίο q είναι κάθετες, εφαρμόζουμε το πυθαγόρειο θεώρημα. Ισχύει:

$$\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} .$$

☞ Αν οι δυνάμεις που ασκούνται στο φορτίο q σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία φ , εφαρμόζουμε τη σχέση:

$$\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\varphi}$$

3. Βρίσκουμε την κατεύθυνση της δύναμης $\Sigma \vec{F}$ υπολογίζοντας την εφαπτομένη κάποιας γωνίας.

Παράδειγμα 4. Στις κορυφές B και Γ ενός ορθογώνιου τριγώνου ABΓ ($A = 90^\circ$) βρίσκονται ακλόνητα δύο σημειακά φορτία $q_1 = 4 \mu\text{C}$ και $q_2 = -3 \mu\text{C}$ αντίστοιχα. Τα μήκη των πλευρών του τριγώνου είναι $AB = 2 \text{ cm}$ και $AG = 3 \text{ cm}$. Να υπολογίσετε την ολική δύναμη που ασκείται σε φορτίο $q = 1 \mu\text{C}$ που βρίσκεται τοποθετημένο στην κορυφή A του τριγώνου. Δίνεται: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$.

Λύση

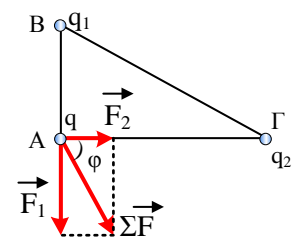
Η κατεύθυνση των δυνάμεων που ασκούνται στο φορτίο q από τα υπόλοιπα φορτία φαίνεται στο σχήμα.

☞ Η δύναμη \vec{F}_1 , που ασκείται στο φορτίο q από το φορτίο q_1 , είναι απωστική. Το

$$\text{μέτρο της είναι: } F_1 = \frac{k|q_1q|}{(AB)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{4 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_1 = 9 \cdot 10 \text{ N} \Rightarrow F_1 = 90 \text{ N}$$

☞ Η δύναμη \vec{F}_2 , που ασκείται στο φορτίο q από το φορτίο q_2 , είναι ελκτική. Το μέτρο της είναι:

$$F_2 = \frac{k|q_2q|}{(AG)^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{9 \cdot 10^{-4}} \Rightarrow F_2 = 3 \cdot 10 \text{ N} \Rightarrow F_2 = 30 \text{ N}$$



Οι δυνάμεις \vec{F}_1 και \vec{F}_2 είναι κάθετες. Το μέτρο της συνισταμένης δύναμης $\Sigma\vec{F}$, που ασκείται στο φορτίο q , υπολογίζεται από το πυθαγόρειο θεώρημα.

$$\text{Είναι: } \Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} \Rightarrow \Sigma F = \sqrt{90^2 + 30^2} \Rightarrow \Sigma F = \sqrt{30^2(3^2 + 1^2)} \Rightarrow \Sigma F = 30\sqrt{10} \text{ N}$$

Η δύναμη $\Sigma\vec{F}$ σχηματίζει γωνία φ με τη δύναμη \vec{F}_2 τέτοια ώστε: $\varepsilon\varphi\varphi = \frac{F_1}{F_2} \Rightarrow \varepsilon\varphi\varphi = \frac{90}{30} \Rightarrow \varepsilon\varphi\varphi = 3$

Παράδειγμα 5. Στις διαδοχικές κορυφές A, B και Γ ενός τετραγώνου πλευράς $a = 1 \text{ m}$ έχουν τοποθετηθεί τα σημειακά φορτία $q_1 = -3 \mu\text{C}$, $q_2 = 2\sqrt{2} \mu\text{C}$ και $q_3 = -3 \mu\text{C}$ αντίστοιχα. Να υπολογίσετε την ολική δύναμη που ασκείται σε φορτίο $q = +1 \mu\text{C}$ που βρίσκεται τοποθετημένο στην κορυφή Δ του τετραγώνου.

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

Λύση

Η κατεύθυνση των δυνάμεων που ασκούνται στο φορτίο q από τα υπόλοιπα φορτία φαίνεται στο σχήμα.

☞ Η δύναμη \vec{F}_1 , που ασκείται στο φορτίο q από το φορτίο q_1 είναι ελκτική. Το μέτρο της είναι:

$$F_1 = \frac{k|q_1q|}{\alpha^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{1} \Rightarrow F_1 = 27 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

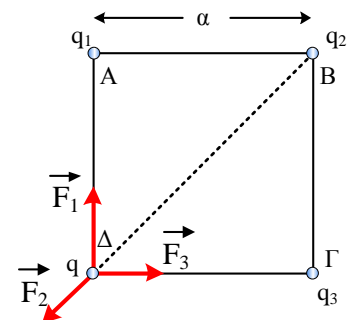
☞ Η δύναμη \vec{F}_2 , που ασκείται στο φορτίο q από το φορτίο q_2 , είναι απωστική. Η απόσταση r υπολογίζεται εφαρμόζοντας το πυθαγόρειο θεώρημα. Είναι: $\alpha^2 + \alpha^2 = r^2 \Rightarrow r^2 = 2\alpha^2 \Rightarrow r = \sqrt{2}\alpha \Rightarrow r = \sqrt{2} \text{ m}$

Το μέτρο της δύναμης \vec{F}_2 είναι:

$$F_2 = \frac{k|q_2q|}{r^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 2\sqrt{2} \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{2} \Rightarrow F_2 = 9\sqrt{2} \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

☞ Η δύναμη \vec{F}_3 , που ασκείται στο φορτίο q από το φορτίο q_3 , είναι ελκτική. Το μέτρο της είναι:

$$F_3 = \frac{k|q_3q|}{\alpha^2} = \frac{9 \cdot 10^9 \cdot 3 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 10^{-6}}{1} \Rightarrow F_3 = 13,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$



Επιλέγουμε στη συνέχεια τους δύο κάθετους άξονες που φαίνονται στο σχήμα και αναλύουμε τη δύναμη \vec{F}_2 στις συνιστώσες \vec{F}_{2x} και \vec{F}_{2y} .

Είναι:

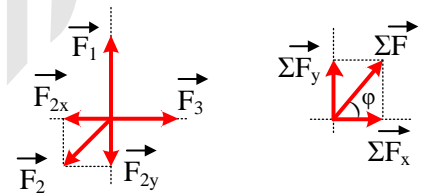
$$F_{2x} = F_2 \sigma \nu 45 \Rightarrow F_{2x} = 9\sqrt{2} \cdot 10^{-3} \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow F_{2x} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

$$F_{2y} = F_2 \eta \mu 45 \Rightarrow F_{2y} = 9\sqrt{2} \cdot 10^{-3} \frac{\sqrt{2}}{2} \Rightarrow F_{2y} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Η συνισταμένη δύναμη $\Sigma \vec{F}_x$ στον άξονα x έχει κατεύθυνση που

φαίνεται στο σχήμα και μέτρο:

$$\Sigma F_x = F_3 - F_{2x} = 13,5 \cdot 10^{-3} - 9 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \Sigma F_x = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$



Η συνισταμένη δύναμη $\Sigma \vec{F}_y$ στον άξονα y έχει κατεύθυνση που φαίνεται στο σχήμα και μέτρο:

$$\Sigma F_y = F_1 - F_{2y} = 13,5 \cdot 10^{-3} - 9 \cdot 10^{-3} \Rightarrow \Sigma F_y = 4,5 \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Οι δυνάμεις $\Sigma \vec{F}_x$ και $\Sigma \vec{F}_y$ είναι κάθετες. Το μέτρο της συνισταμένης δύναμης $\Sigma \vec{F}$, που ασκείται στο φορτίο q, υπολογίζεται από το πυθαγόρειο θεώρημα. Είναι:

$$\Sigma F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} \Rightarrow \Sigma F = \sqrt{(4,5 \cdot 10^{-3})^2 + (4,5 \cdot 10^{-3})^2} \Rightarrow \Sigma F = \sqrt{2(4,5 \cdot 10^{-3})^2} \Rightarrow \Sigma F = 4,5\sqrt{2} \cdot 10^{-3} \text{ N}$$

Η δύναμη ΣF σχηματίζει γωνία φ με τη δύναμη ΣF_x τέτοια ώστε: $\epsilon \phi \phi = \frac{\Sigma F_y}{\Sigma F_x} = \frac{4,5 \cdot 10^{-3}}{4,5 \cdot 10^{-3}} = 1 \Rightarrow \phi = 45^\circ$

Μελέτη ισορροπίας ηλεκτρισμένων σωμάτων, όταν ενεργούν και άλλες δυνάμεις εκτός από την ηλεκτρική.

Όταν μελετάμε την ισορροπία ηλεκτρισμένων σωμάτων, τα βήματα που ακολουθούμε είναι:

1. Κατασκευάζουμε κατάλληλο σχήμα όπου σημειώνουμε όλες τις δυνάμεις που ασκούνται.
2. Επιλέγουμε δύο κάθετους άξονες και αναλύουμε όποιες δυνάμεις χρειάζεται.
3. Εφαρμόζουμε τη συνθήκη ισορροπίας για κάθε άξονα χωριστά. Ισχύει: $\Sigma \vec{F}_x = 0$ και $\Sigma \vec{F}_y = 0$.

4. Από την εφαρμογή των παραπάνω σχέσεων προσδιορίζουμε όλα τα ζητούμενα.

Παράδειγμα 6. Δύο ίσες μικρές σφαίρες, μάζας $m = 30\sqrt{3}$ g η καθεμία, κρέμονται από το ίδιο σημείο με δύο λεπτά μονωτικά νήματα μήκους ℓ . Φορτίζουμε τις δύο σφαίρες με το ίδιο φορτίο $q = 2 \mu\text{C}$, οπότε παρατηρούμε ότι οι δύο σφαίρες ισορροπούν όταν τα νήματα σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία 120° .

Να βρείτε την απόσταση που ισορροπούν οι δύο μικρές σφαίρες και το μήκος ℓ του κάθε νήματος.

Δίνονται: $k = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{C}^2$ και $g = 10 \text{ m/s}^2$.

Λύση

Οι δυνάμεις που ασκούνται σε κάθε σφαίρα είναι το βάρος της \vec{w} , η τάση του νήματος \vec{T} και η απωστική δύναμη Coulomb \vec{F} .

Επιλέγουμε τους δύο κάθετους άξονες που φαίνονται στο

σχήμα και αναλύουμε την τάση του νήματος \vec{T} στις συνιστώσες \vec{T}_x και \vec{T}_y . Είναι:

$$T_x = T \sin 30^\circ \text{ και } T_y = T \cos 30^\circ,$$

Αφού η σφαίρα ισορροπεί, για κάθε άξονα θα ισχύει:

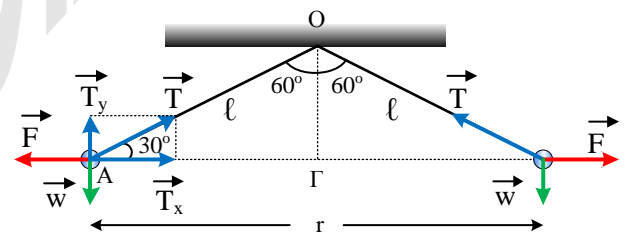
$$\left. \begin{aligned} \Sigma \vec{F}_y = 0 &\Rightarrow w = T_y \Rightarrow w = T \cos 30^\circ \\ \Sigma \vec{F}_x = 0 &\Rightarrow F = T_x \Rightarrow F = T \sin 30^\circ \end{aligned} \right\} \xrightarrow[\text{κατά μέλη}]{\text{Διαιρώ}} \frac{w}{F} = \varepsilon\phi 30^\circ \Rightarrow F = \frac{w}{\varepsilon\phi 30^\circ} \Rightarrow F = \frac{mg}{\varepsilon\phi 30^\circ} \Rightarrow F = \frac{30\sqrt{3} \cdot 10^{-3} \cdot 10}{\frac{\sqrt{3}}{2}}$$

$\Rightarrow \mathbf{F = 0,9 \text{ N}}$

Το μέτρο της δύναμης Coulomb F είναι $F = \frac{k|qq|}{r^2}$. Άρα η απόσταση r στην οποία βρίσκονται οι δύο φορτισμένες σφαίρες είναι:

$$F = \frac{k|qq|}{r^2} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{kq^2}{F}} \Rightarrow r = \sqrt{\frac{9 \cdot 10^9 \cdot 4 \cdot 10^{-12}}{0,9}} \Rightarrow r = \sqrt{40 \cdot 10^{-3}} \Rightarrow r = \sqrt{4 \cdot 10^{-2}} \Rightarrow r = 2 \cdot 10^{-1} \text{ m}$$

Το μήκος ℓ του νήματος υπολογίζεται από το τρίγωνο ΟΑΓ. Είναι:



$$\eta\mu 60 = \frac{r}{l} \Rightarrow l = \frac{r}{2\eta\mu 60} \Rightarrow l = \frac{0,2}{2 \cdot \frac{\sqrt{3}}{2}} \Rightarrow l = \frac{0,2\sqrt{3}}{3} \text{ m}$$

ΔΟΥΚΑΤΖΗΣ ΒΑΣΙΛΗΣ