

Ηλεκτρισμός και μαγνητισμός

Κλάδος της Φυσικής που μελετάει τα ηλεκτρικά και τα μαγνητικά φαινόμενα.

- Όλα (σχεδόν) τα φαινόμενα που αντιλαμβανόμαστε με τις αισθήσεις μας είναι αποτέλεσμα “ηλεκτρομαγνητικών” δυνάμεων (σε ατομικό επίπεδο).
- Οι ενδοατομικές και ενδομοριακές δυνάμεις στις οποίες οφείλεται ο σχηματισμός των στερεών και των υγρών, είναι κατά βάση ηλεκτρικές.
- Η λειτουργία (σχεδόν) όλων των σύγχρονων συσκευών που χρησιμοποιούμε καθημερινά καθορίζεται από τους νόμους του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού.

Ηλεκτρισμός και μαγνητισμός – Μερικά ιστορικά στοιχεία

- Κινέζοι: Από κινέζικα έγγραφα προκύπτει ότι το φαινόμενο του μαγνητισμού είχε παρατηρηθεί από το 2000 π.Χ. (Χρήση μαγνητικής πυξίδας).
- Έλληνες: Παρατήρηση ηλεκτρικών και μαγνητικών φαινομένων από το ~700 π.Χ. (Θαλής ο Μιλήσιος 624-546 π.Χ. : πειράματα με κεχριμπάρι (ήλεκτρο) και μαγνητίτη, δηλαδή οξειδίου του σιδήρου που απαντούσε στη Μαγνησία).
- 1600: Ο William Gilbert έδειξε ότι ηλεκτρικά φαινόμενα δεν περιορίζονταν μόνο στο κεχριμπάρι. Μελέτησε τις μαγνητικές ιδιότητες της Γης.
- **1785:** Χρησιμοποιώντας παρατηρήσεις και πειραματικά δεδομένα ο Charles Coulomb επιβεβαίωσε ότι η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο φορτισμένων σωματιδίων υπακούει στον νόμο του αντίστροφου τετραγώνου.
- **1873:** Ο James Clerk Maxwell ενοποίησε τους κλάδους της φυσικής που ασχολούνται με τη μελέτη του ηλεκτρισμού και του μαγνητισμού και διατύπωσε τους νόμους του ηλεκτρομαγνητισμού.

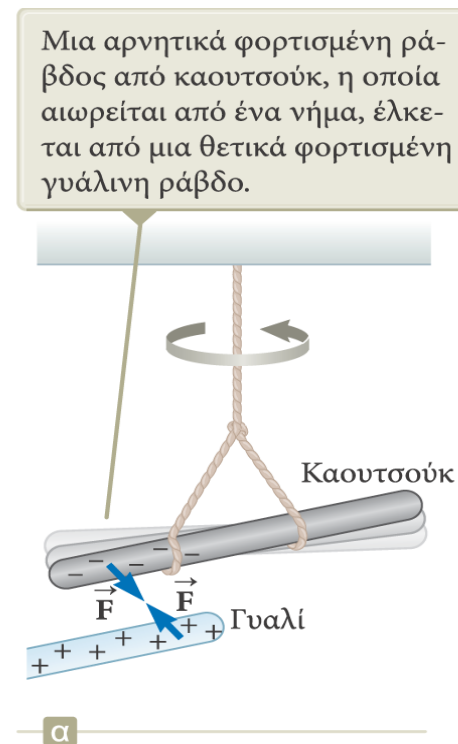
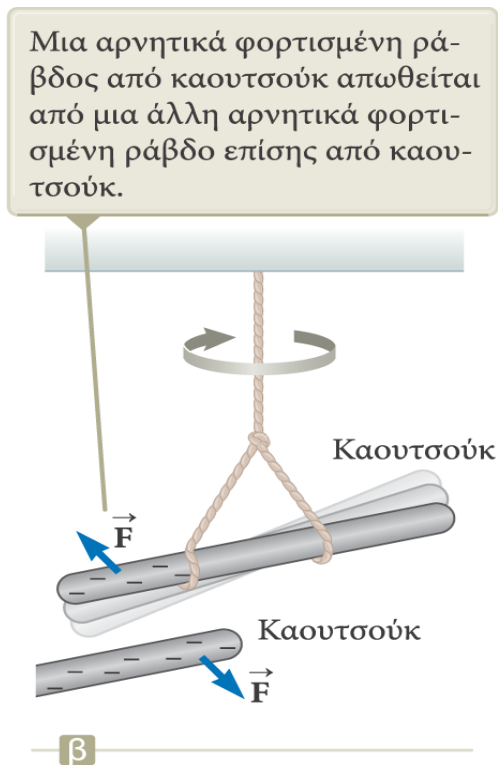
Η ηλεκτρομαγνητική δύναμη που αναπτύσσεται μεταξύ φορτισμένων σωματιδίων είναι μία από τις θεμελιώδεις δυνάμεις της φύσης.

Ηλεκτρικά φορτία, ηλεκτρικές δυνάμεις και πεδία

Ηλεκτρικά φορτία

Λέμε ότι δύο σώματα είναι “ηλεκτρικά φορτισμένα”, δηλαδή ότι “έχουν “ηλεκτρικό φορτίο” όταν μεταξύ των σωμάτων ασκούνται ηλεκτρικές δυνάμεις (όταν είναι ακίνητα).

- Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων: Το **θετικό** και το **αρνητικό** (Β. Φρανκλίνος).
- Αρνητικό φορτίο φέρει το ηλεκτρόνιο. Θετικό φορτίο φέρει το πρωτόνιο.
- Τα περισσότερα σώματα στη φύση είναι ηλεκτρικά ουδέτερα (περιέχουν το ίδιο “ποσό” θετικού και αρνητικού φορτίου).
- Τα ομόσημα φορτία απωθούνται, ενώ τα ετερόσημα φορτία έλκονται.

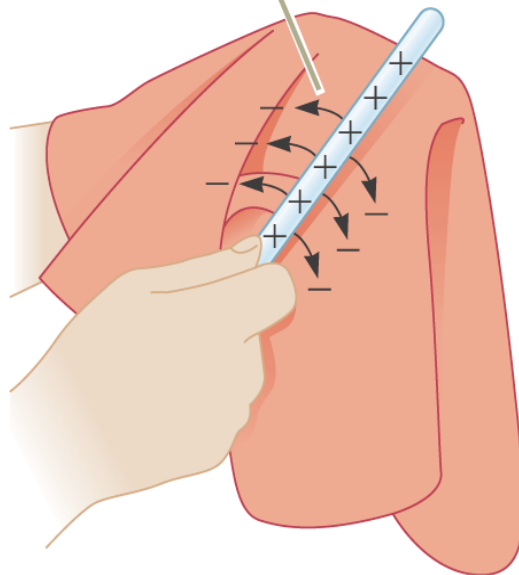


Αρχή διατήρησης ηλεκτρικού φορτίου

Σε ένα απομονωμένο σύστημα, το ηλεκτρικό φορτίο διατηρείται, πάντα.

Για παράδειγμα, όταν τρίβουμε ένα σώμα σε ένα άλλο, δεν δημιουργείται φορτίο. Η ηλεκτρίση οφείλεται στη μεταφορά φορτίου από το ένα σώμα στο άλλο.

Λόγω της διατήρησης του φορτίου, κάθε ηλεκτρόνιο προσθέτει αρνητικό φορτίο στο μεταξωτό ύφασμα και προσδίδει στη γυάλινη ράβδο ισότιμο θετικό φορτίο.



Κβάντωση του ηλεκτρικού φορτίου

“ **q** ” (Q) είναι το τυποποιημένο σύμβολο που χρησιμοποιείται για το ηλεκτρικό φορτίο.

Μονάδα φορτίου (SI): 1 Coulomb (φορτίο που διαρρέει ένα αγωγό στη μονάδα του χρόνου όταν η ένταση του ρεύματος είναι 1 A).

Το ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει σε μορφή διακριτών «πακέτων».

(R. Millikan αρχές του 20ου αιώνα)

$$q = \pm Ne$$

- Το **q** μπορεί να είναι θετικός ή αρνητικός αριθμός.
- Το **N** είναι ακέραιος (θετικός) αριθμός.
- **e** είναι το στοιχειώδες φορτίο ($|e| = 1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$)

Για το ηλεκτρόνιο: $q = -e$, για το πρωτόνιο: $q = +e$, για το νετρόνιο και το άτομο (εν γένει): $q=0$

Ηλεκτρικοί αγωγοί

- Ηλεκτρικοί αγωγοί ονομάζονται τα υλικά στα οποία κάποια από τα ηλεκτρόνια είναι ελεύθερα.
- “Ελεύθερα” ονομάζουμε εκείνα τα ηλεκτρόνια που δεν είναι δεσμευμένα στα άτομα (συνήθως ηλεκτρόνια της εξωτερικής στοιβάδας).
- Τα ηλεκτρόνια αυτά μπορούν να κινούνται με σχετική ελευθερία μέσα στο υλικό (καθιστώντας το υλικό “ηλεκτρικό αγωγό”).
- Καλοί αγωγοί είναι, για παράδειγμα, ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο άργυρος και ο χρυσός.
- Όταν ένας καλός αγωγός φορτιστεί σε μια μικρή περιοχή του, τότε το φορτίο κατανέμεται άμεσα σε ολόκληρη την επιφάνειά του.

Ηλεκτρικοί μονωτές

- Ηλεκτρικοί μονωτές ονομάζονται τα υλικά στα οποία όλα τα ηλεκτρόνια είναι δεσμευμένα στα άτομα.
- Επομένως, δεν υπάρχουν ελεύθερα ηλεκτρόνια που να μπορούν να κινούνται ελεύθερα μέσα στο υλικό.
- Μονωτές είναι, για παράδειγμα, το γυαλί, το καουτσούκ, και το ξύλο.
- Όταν ένας μονωτής φορτιστεί σε μια μικρή περιοχή του, τότε το φορτίο δεν μπορεί να κατανεμηθεί σε άλλα σημεία του υλικού.

Ημιαγωγοί

- Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ημιαγωγών είναι ενδιάμεσες εκείνων των αγωγών και των μονωτών.
- Παραδείγματα ημιαγώγιμων υλικών είναι το πυρίτιο και το γερμάνιο.
- Ημιαγωγοί από τέτοια υλικά χρησιμοποιούνται συνήθως στην κατασκευή ηλεκτρονικών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων (τσιπ).
- Οι ηλεκτρικές ιδιότητες των ημιαγωγών μπορούν να τροποποιηθούν με την προσθήκη ελεγχόμενων ποσοτήτων ορισμένων ατόμων.

Νόμος του Coulomb: Νόμος που περιγράφει τη δύναμη μεταξύ δύο “σημειακών”, ακίνητων φορτίων.

Ο όρος **σημειακό φορτίο** αναφέρεται σε ένα σωματίδιο μηδενικού μεγέθους που φέρει ηλεκτρικό φορτίο.

Η μοντελοποίηση των ηλεκτρονίων και των πρωτονίων ως σημειακών φορτίων μας επιτρέπει να περιγράψουμε ικανοποιητικά την ηλεκτρική συμπεριφορά τους.

Το ηλεκτρικό πεδίο

- Η ηλεκτρική δύναμη είναι δύναμη πεδίου (η έννοια του πεδίου στον ηλεκτρισμό προτάθηκε από τον Faraday).
- Οι δυνάμεις πεδίου ασκούνται εξ αποστάσεως. Υφίστανται ακόμα και όταν δεν υπάρχει φυσική επαφή μεταξύ των σωμάτων.
- Στον χώρο γύρω από ένα φορτισμένο σώμα υπάρχει ηλεκτρικό πεδίο. Αυτό το φορτισμένο σώμα είναι το **φορτίο-πηγή** (του πεδίου).
Όταν σε αυτό το ηλεκτρικό πεδίο εισέλθει ένα άλλο φορτισμένο σώμα, το **δοκιμαστικό φορτίο**, τότε ασκείται ηλεκτρική δύναμη σε αυτό.
- Η ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου είναι ιδιότητα του φορτίου-πηγής. Δηλαδή το πεδίο υφίσταται ανεξάρτητα της παρουσίας του δοκιμαστικού φορτίου. Το δοκιμαστικό φορτίο μας επιτρέπει να ανιχνεύσουμε το ηλεκτρικό πεδίο.

Το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργούν πολλά φορτία

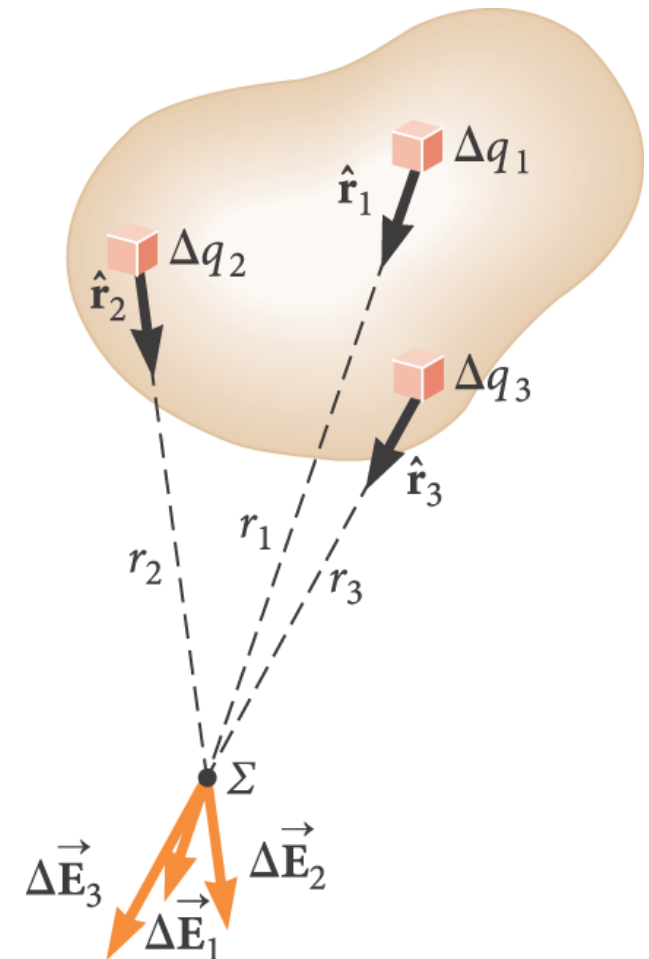
Το συνολικό ηλεκτρικό πεδίο, το οποίο δημιουργεί μια ομάδα φορτίων-πηγών σε οποιοδήποτε σημείο Σ , ισούται με το διανυσματικό άθροισμα των ηλεκτρικών πεδίων όλων των φορτίων (αρχή της επαλληλίας).

Μεθοδολογία:

Διαιρούμε την κατανομή φορτίου σε στοιχειώδη φορτία, καθένα από τα οποία έχει φορτίο Δq .

Υπολογίζουμε το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργεί ένα από αυτά τα στοιχειώδη φορτία στο σημείο Σ .

Υπολογίζουμε το συνολικό πεδίο αθροίζοντας τις συνεισφορές όλων των στοιχειωδών φορτίων.



Πυκνότητα φορτίου

Χωρική πυκνότητα φορτίου, ρ $\equiv$ πυκνότητα ανά μονάδα όγκου με μονάδες C/m³.

Επιφανειακή πυκνότητα φορτίου, σ $\equiv$ πυκνότητα ανά μονάδα επιφάνειας με μονάδες C/m²

Γραμμική πυκνότητα φορτίου, λ $\equiv$ πυκνότητα ανά μονάδα μήκους με μονάδες C/m

Αν το φορτίο είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο σε όγκο, επιφάνεια ή μήκος, τότε: $\rho = Q / V$, $\sigma = Q / A$, $\lambda = Q / \ell$

Αν το φορτίο δεν είναι ομοιόμορφα κατανεμημένο στον όγκο, την επιφάνεια ή κατά το μήκος του σώματος, τότε $\rho(x,y,z)=dq/dV$, $\sigma(x,y)=dq/dA$, $\lambda(x)=dq/d\ell$

Οι παραπάνω σχέσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τον υπολογισμό της ποσότητας του στοιχειώδους φορτίου, dq , σε οποιοδήποτε φορτισμένο σώμα, είτε η κατανομή φορτίου είναι ομοιόμορφη είτε όχι.

Γραμμές ηλεκτρικού πεδίου

Η σχεδίαση γραμμών που έχουν την ίδια κατεύθυνση με το ηλεκτρικό πεδίο (**γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου ή δυναμικές γραμμές**) είναι ένας εξυπηρετικός τρόπος αναπαράστασης της μορφής του ηλεκτρικού πεδίου.

ΚΑΝΟΝΕΣ ΓΙΑ ΤΗ ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΜΙΚΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

- 1) Ο φορέας του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου εφάπτεται στη γραμμή του ηλεκτρικού πεδίου σε κάθε σημείο της, επομένως
- 2) Οι δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται ποτέ.
- 3) Η κατεύθυνση της γραμμής είναι ίδια με εκείνη του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου.
- 4) Το πλήθος των γραμμών ανά μονάδα επιφάνειας που διέρχονται από μια επιφάνεια κάθετη σε αυτές είναι ανάλογο του μέτρου του ηλεκτρικού πεδίου σε αυτή την περιοχή.

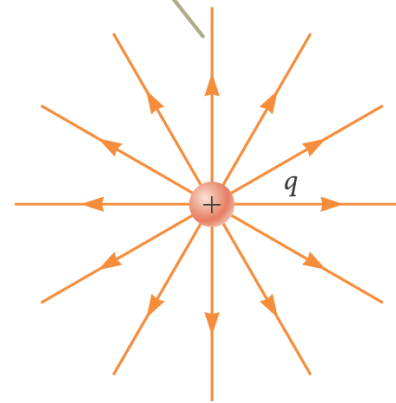
Γραμμές ηλεκτρικού πεδίου – Ηλεκτρικό μονόπολο

Οι γραμμές του πεδίου κατευθύνονται ακτινικά προς τα έξω σε κάθε διεύθυνση (στον τριδιάστατο χώρο, η κατανομή είναι σφαιρική).

Θετικό μονόπολο: οι γραμμές απομακρύνονται από το φορτίο.

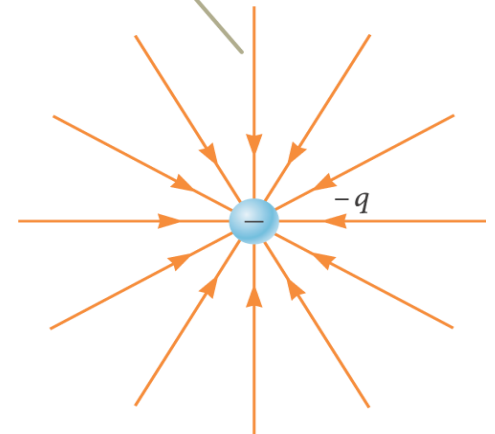
Αρνητικό μονόπολο: οι γραμμές συγκλίνουν σ' αυτό.

Για θετικό σημειακό φορτίο, οι γραμμές του πεδίου έχουν ακτινική κατεύθυνση μακριά από το φορτίο.



α

Για αρνητικό σημειακό φορτίο, οι γραμμές του πεδίου έχουν ακτινική κατεύθυνση προς το φορτίο.



β

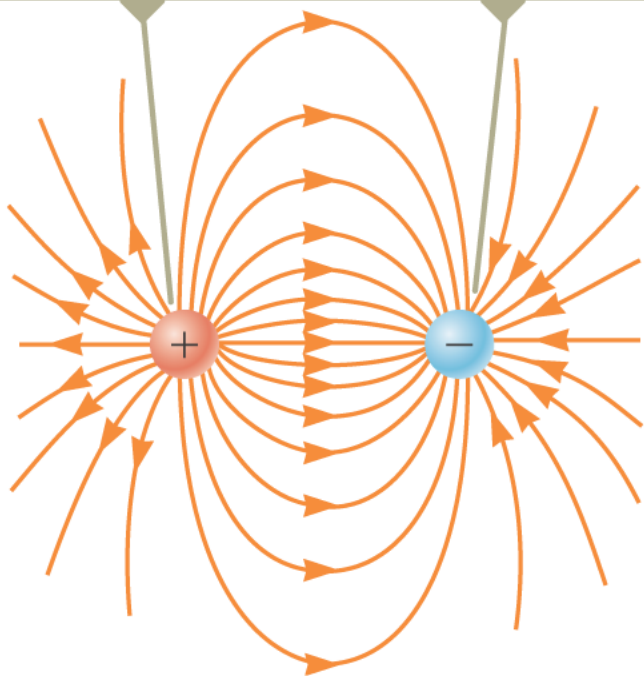
Οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από θετικά φορτία και καταληγούν σε αρνητικά (αν υπάρχουν) ή στο άπειρο (όταν υπάρχει πλεονάζον φορτίο).

Οι δυναμικές γραμμές δεν σταματούν και δεν κόβονται ποτέ (το ηλεκτρικό πεδίο είναι συνέχες και υπάρχει σε όλο το χώρο).

Οι δυναμικές γραμμές είναι πεπερασμένες σε αριθμό (αναγκαστικά) αλλά το πεδίο ΔΕΝ είναι κβαντισμένο. Ο αριθμός των γραμμών ανά επιφάνεια (κάθετη σε αυτές) είναι **ενδεικτικός** του μέτρου της έντασης του πεδίου, που, εν γένει, μπορεί να πάρει την οποιαδήποτε τιμή σε κάθε σημείο του χώρου.

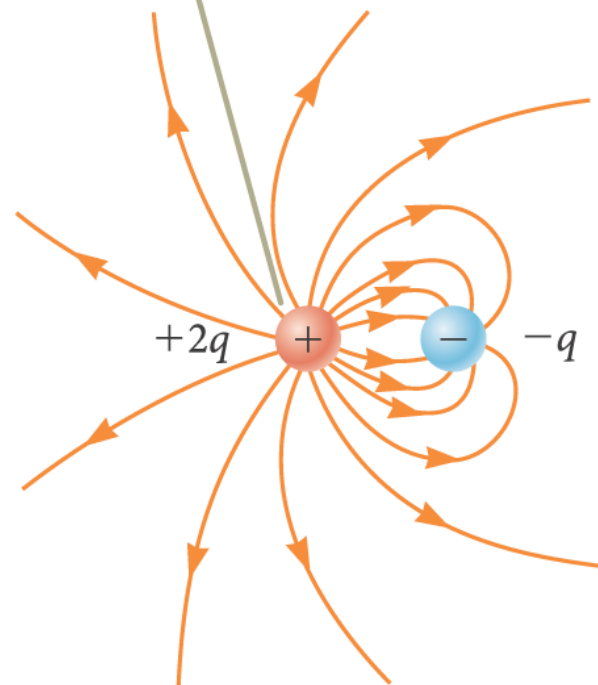
Γραμμές ηλεκτρικού πεδίου – Ηλεκτρικό δίπολο

Το πλήθος των γραμμών του πεδίου που ξεκινούν από το θετικό φορτίο είναι ίσο με το πλήθος των γραμμών που καταλήγουν στο αρνητικό φορτίο.



Τα φορτία είναι ίσα και ετερόσημα.

Οι μισές γραμμές που ξεκινούν από το $+2q$ καταλήγουν στο $-q$ και οι άλλες μισές καταλήγουν στο άπειρο.



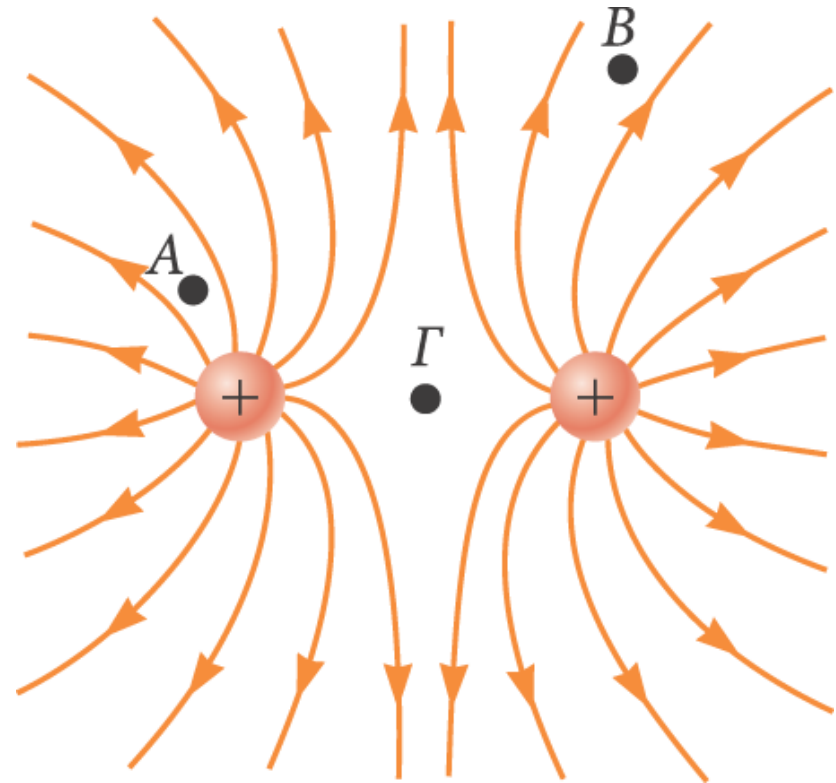
Το θετικό φορτίο έχει διπλάσια τιμή από το αρνητικό φορτίο. Σε μεγάλη απόσταση, το πεδίο είναι περίπου ίσο με εκείνο ενός σημειακού φορτίου με τιμή $+q$.

Ομόσημα φορτία

Επειδή τα φορτία είναι ίσα, από καθένα τους ξεκινά ίδιο πλήθος γραμμών.

Επειδή δεν υπάρχουν αρνητικά φορτία, οι γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου εκτείνονται έως το άπειρο.

Σε μεγάλη απόσταση, το πεδίο είναι περίπου ίσο με εκείνο ενός σημειακού φορτίου με τιμή $2q$.



Γενική Περίπτωση

Η πυκνότητα των γραμμών του πεδίου που διέρχονται από την επιφάνεια A είναι μεγαλύτερη από την πυκνότητα των γραμμών του πεδίου που διέρχονται από την επιφάνεια B.

ΑΡΑ: Το μέτρο του ηλεκτρικού πεδίου είναι μεγαλύτερο στην επιφάνεια A απ' ό,τι στην B.

Σε κάθε σημείο, οι γραμμές του πεδίου δείχνουν προς διαφορετική κατεύθυνση.

ΑΡΑ: Το πεδίο δεν είναι ομογενές.

