

Φ3.1 (1.2) Ηλεκτρικό πεδίο: Εισαγωγή

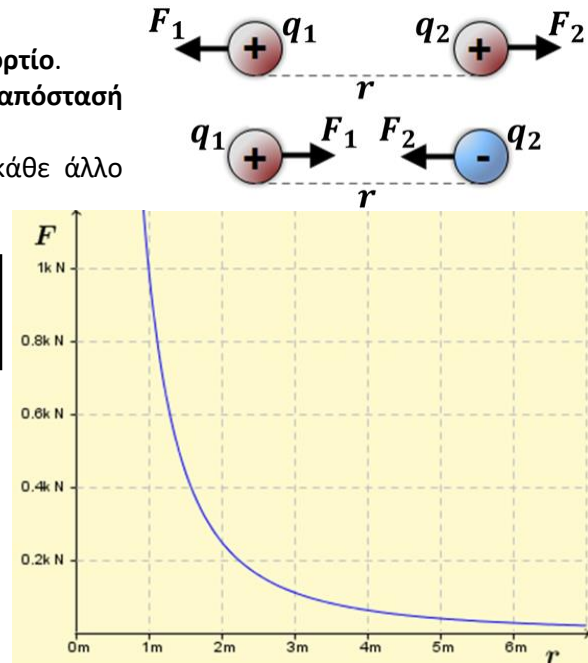
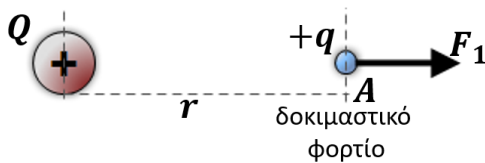
Είδαμε ότι **κάθε φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο φορτίο**.

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 ονομάζουμε **δοκιμαστικό φορτίο**.



Αν το **δοκιμαστικό φορτίο** δεχτεί **ηλεκτρική δύναμη**, υπάρχει **ηλεκτρικό πεδίο** στο σημείο εκείνο. Συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε τον όρο «**ηλεκτρικό πεδίο**» αντί του ορθού όρου «**ηλεκτροστατικό πεδίο**».

Φ3.2 (1.2) Ένταση ηλεκτρικού πεδίου

Σε κάποιο σημείο του **χώρου** θεωρούμε **ακίνητο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο** $+Q$. Το φορτίο $+Q$ δημιουργεί σε κάθε σημείο του χώρου γύρω από αυτό, **ηλεκτρικό πεδίο**.

Το φορτίο $+Q$ το ονομάζουμε **πηγή του πεδίου**.

Από το **νόμο του Coulomb** έχουμε:

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

Αν στην ίδια θέση A που ήταν το q τοποθετήσουμε ένα άλλο **δοκιμαστικό φορτίο** $q' = 2 \cdot q$ η δύναμη που δέχεται είναι:

$$F_2 = k \cdot \frac{|Q \cdot q'|}{r^2} = k \cdot \frac{|Q|}{r^2} \cdot 2 \cdot |q| \Rightarrow F_2 = 2F_1$$

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

Επομένως το **πηλίκιο** $\frac{F}{|q|}$ της δύναμης προς το δοκιμαστικό φορτίο στη θέση A είναι **σταθερό**. Το ίδιο συμβαίνει σε **κάθε άλλη θέση του χώρου** γύρω από το φορτίο Q .

Επομένως είναι περισσότερο χρήσιμο η ηλεκτρική επίδραση ενός φορτίου Q στα διάφορα **δοκιμαστικά φορτία** q που τοποθετούνται σε συγκεκριμένη θέση γύρω από το Q , να εκφραστεί μέσω ενός **νέου φυσικού μεγέθους** ίσου με:

$$\frac{\vec{F}}{q}$$

Ένταση $\vec{E}$ σε **σημείο ηλεκτρικού πεδίου**, ονομάζουμε το φυσικό **διανυσματικό μέγεθος** που έχει μέτρο ίσο με το **πηλίκιο** του μέτρου της **δύναμης** που ασκείται σε **φορτίο q** που βρίσκεται σ' αυτό το σημείο προς το φορτίο αυτό και κατεύθυνση την **κατεύθυνση της δύναμης**, αν αυτή ασκείται σε **θετικό φορτίο**:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

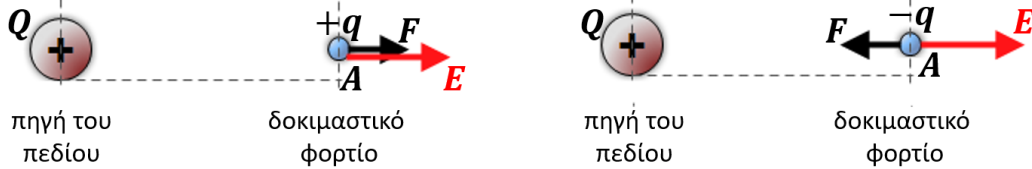


Μονάδα μέτρησης της έντασης στο S.I. είναι το 1N/C .

Ένταση 10N/C του ηλεκτρικού πεδίου στη θέση Α σημαίνει ότι, αν τοποθετηθεί στη θέση Α του πεδίου δοκιμαστικό φορτίο 1C , η δύναμη που θα δεχτεί θα είναι 10N .

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

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



Η **ένταση** του πεδίου που δημιουργεί ένα **αρνητικό σημειακό φορτίο** Q , «**κατευθύνεται**» προς το φορτίο:

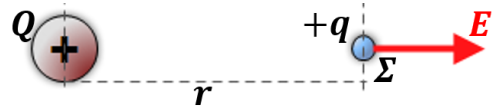


Φ3.3 (1.2) Ένταση ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb

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

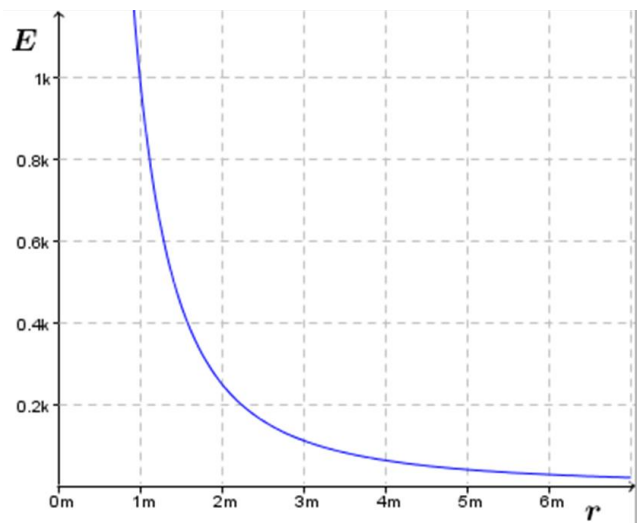
Μία «ειδική σχέση» ισχύει για το **ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb**:

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



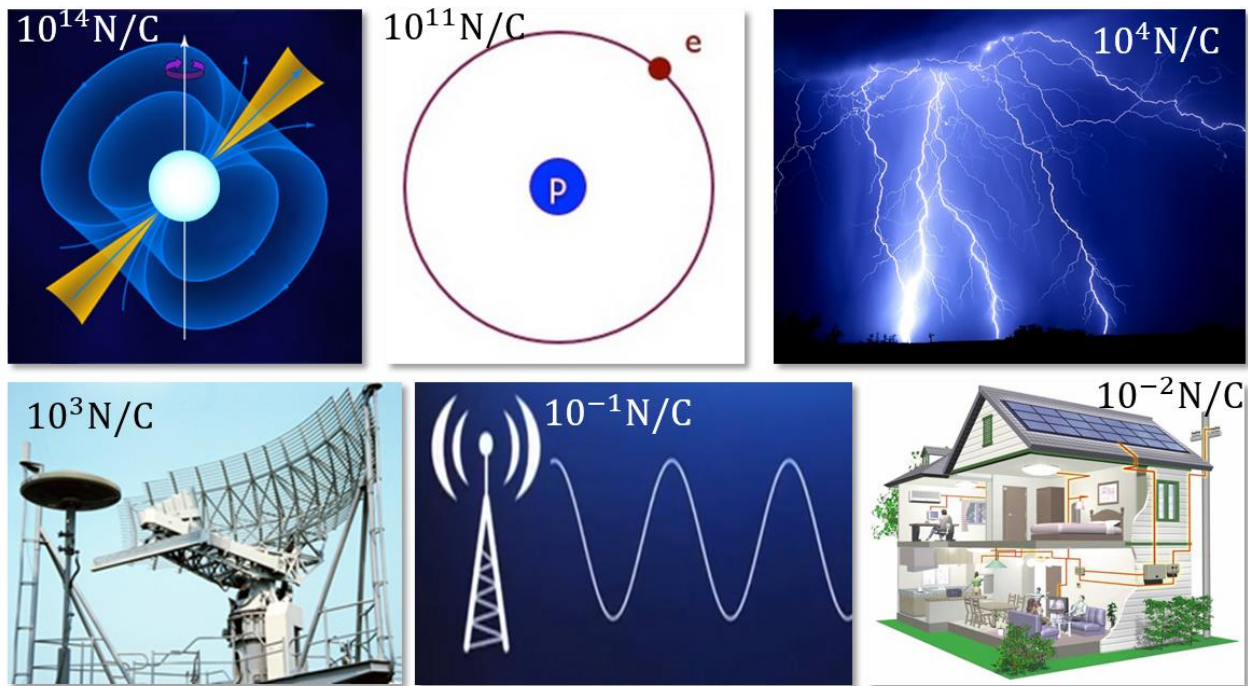
Στην εικόνα δεξιά φαίνεται το διάγραμμα του μέτρου της έντασης **ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb** ως συνάρτηση της απόστασης r από το φορτίο Q :

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



Ένταση ηλεκτρικών πεδίων σε ενδιαφέρουσες περιπτώσεις:

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



Φ3.Παράδειγμα #1: Ποια είναι η δύναμη που ασκείται σε ένα ηλεκτρόνιο το οποίο βρίσκεται σε σημείο Σ ηλεκτρικού πεδίου, στο οποίο η ένταση έχει μέτρο $E = 4 \cdot 10^6 \text{ N/C}$;

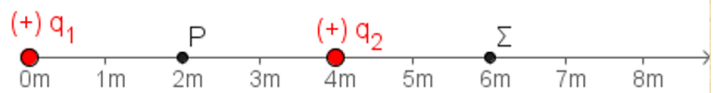
Δίνεται: φορτίο ηλεκτρονίου $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:



$$E = \frac{F}{|q|} \Rightarrow F = E \cdot |q_e| = 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 4 \cdot 10^6 \Rightarrow F = 6,4 \cdot 10^{-13} \text{ N}$$

Φ3.Παράδειγμα #2: 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 $q_2 = +16 \cdot 10^{-9} \text{ C}$.

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 P που βρίσκεται στη θέση $x = 2 \text{ m}$.

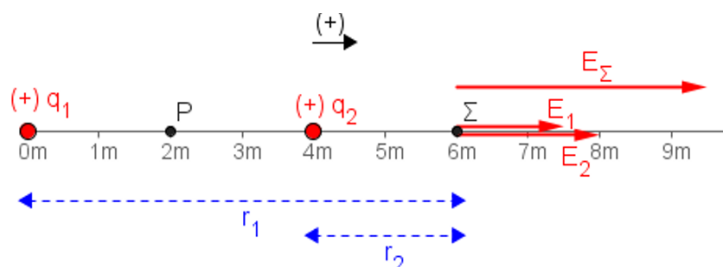
$$\text{Δίνεται: } k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}.$$

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

1(α): Στη θέση Σ οι εντάσεις $\vec{E}_1$ και $\vec{E}_2$ που οφείλονται στα φορτία q_1 και q_2 είναι:

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

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



Αυτές είναι **ομόρροπες** και έχουν **θετική φορά**, και επομένως η συνισταμένη ένταση έχει **θετική φορά** και το μέτρο της είναι:

$$E_{\Sigma} = E_1 + E_2 \Rightarrow E_{\Sigma} = 1 + 36 = 37 \frac{\text{N}}{\text{C}}$$

1(β): Στη θέση P οι εντάσεις $\vec{E}_1'$ και $\vec{E}_2'$ που οφείλονται στα φορτία q_1 και q_2 είναι:

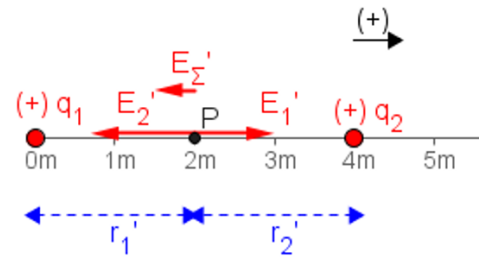
$$E_1' = k \cdot \frac{|q_1|}{r_1'^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{4 \cdot 10^{-9}}{2^2} = 9 \frac{N}{C}$$

$$E_2' = k \cdot \frac{|q_2|}{r_2'^2} = 9 \cdot 10^9 \cdot \frac{16 \cdot 10^{-9}}{2^2} = 36 \frac{N}{C}$$

Αυτές είναι **αντίρροπες** και η συνισταμένη ένταση έχει **αρνητική φορά** και το μέτρο της είναι:

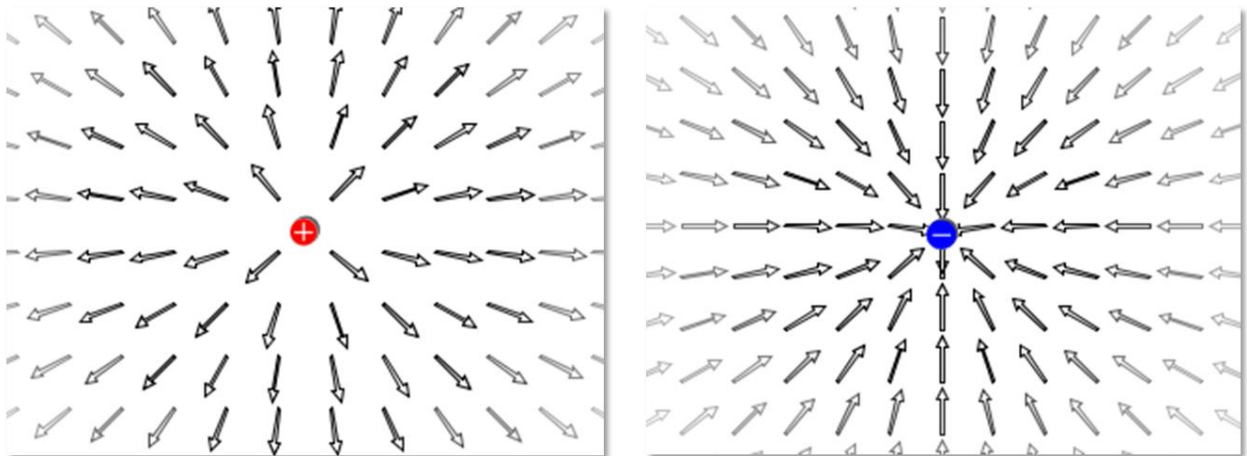
$$E_P = E_1' - E_2' \Rightarrow E_P = 9 - 36 = -27 \frac{N}{C}$$

Το (-) σημαίνει ότι η E_P έχει αρνητική κατεύθυνση (προς τα αριστερά την κατεύθυνση της E_2').



Φ3.4 (1.2) Ηλεκτρικό πεδίο: Δυναμικές γραμμές

Ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q δημιουργεί γύρω του **ηλεκτρικό πεδίο**. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, διαφέρει από το ένα σημείο στο άλλο. Για να αντιληφθούμε το αόρατο πεδίο μέσω της έντασης, πρέπει να σχεδιάσουμε **ένα διάνυσμα έντασης, για κάθε σημείο του χώρου γύρω από το φορτίο Q** :



Επειδή είναι αδύνατο να σχεδιάσουμε **άπειρα διανύσματα έντασης**, μπορούμε να χαράξουμε αντιπροσωπευτικά μερικές **γραμμές**.

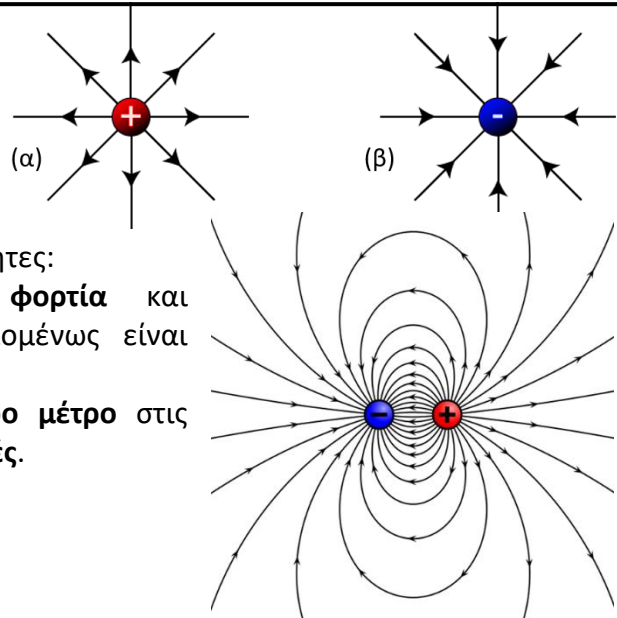
Οι γραμμές που σχεδιάζονται με τέτοιο τρόπο, ώστε η **ένταση του πεδίου να είναι εφαπτόμενη σε κάθε σημείο τους** και ονομάζονται **δυναμικές γραμμές**.

Οι δυναμικές γραμμές **αποκλίνουν** και κατευθύνονται **από το θετικό φορτίο** προς το **άπειρο** (α).

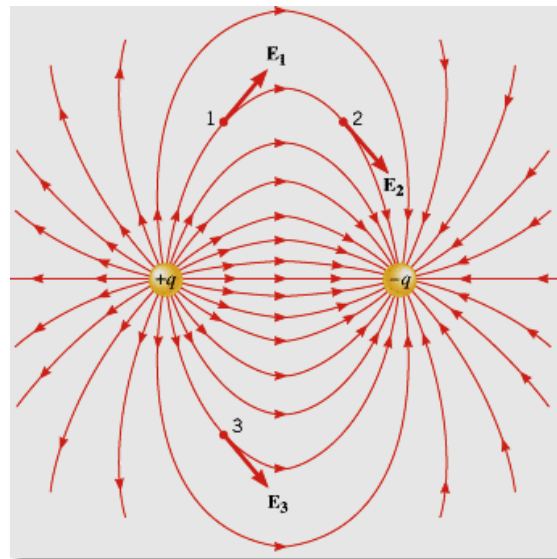
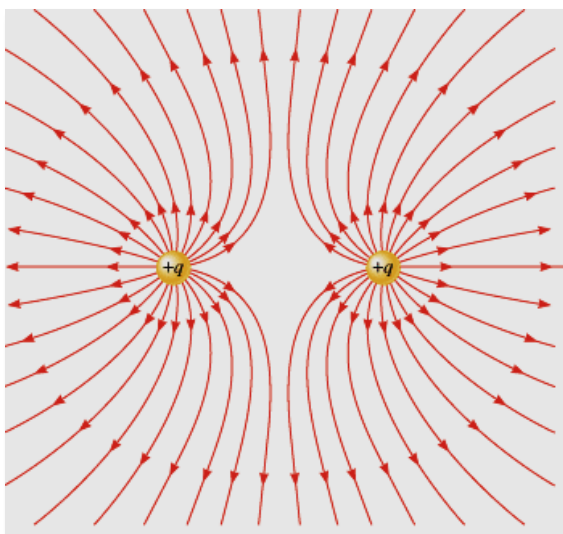
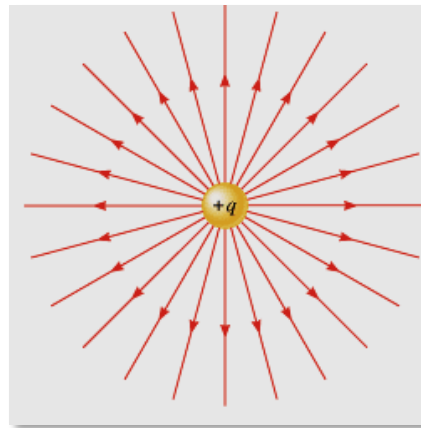
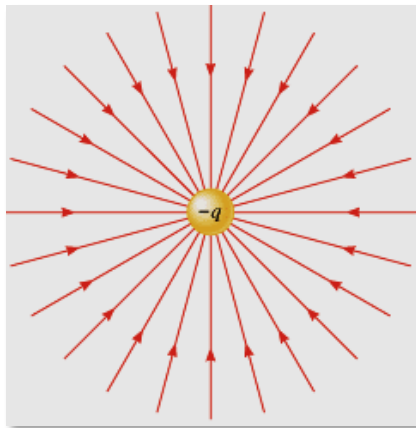
Οι δυναμικές γραμμές **συγκλίνουν** και κατευθύνονται **προς το αρνητικό ηλεκτρικό φορτίο** (β).

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**.
3. **Δεν τέμνονται**.

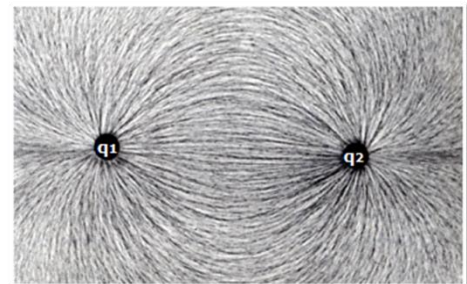


Στα παρακάτω πεδία η **έντασή** τους μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο. Τα πεδία αυτά ονομάζονται **ανομοιογενή**.



Τα ηλεκτρικά πεδία που εμφανίζονται στη φύση είναι **ανομοιογενή** και έχουν **ένταση**, που σε κάθε σημείο του πεδίου είναι γενικά, **διαφορετικού μέτρου και κατεύθυνσης**.

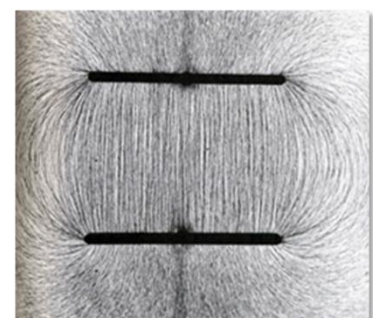
Ένα τέτοιο πεδίο είναι δυνατόν **κατά προσέγγιση** να θεωρηθεί «**τοπικά ομογενές**».



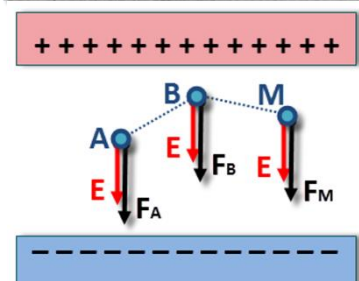
Ένα ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται **ομογενές** όταν η **έντασή του είναι η ίδια σε κάθε σημείο του**.

Το πεδίο αυτό απεικονίζεται με τη βοήθεια **δυναμικών γραμμών**, οι οποίες είναι **παράλληλες, ίδιας φοράς και ισαπέχουν**.

Σε ένα εργαστήριο η «**κατασκευή**» ενός **ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου** είναι δυνατή, αν φορτίσουμε ένα σύστημα **δύο όμοιων παράλληλων μεταλλικών πλακών με αντίθετα ηλεκτρικά φορτία**. Το σύστημα αυτό ονομάζεται **επίπεδος πυκνωτής**.



Οι **δυνάμεις** στις θέσεις A, B, Μ **ομογενούς πεδίου** σε θετικό φορτίο q είναι ίσες, όπως και σε κάθε άλλο σημείο του.



Φ3.5 (1.2) Ηλεκτρικό πεδίο: Στρατηγική επίλυσης προβλημάτων

Αν ζητείται σε ένα πρόβλημα ο υπολογισμός της **έντασης** σε **σημείο ηλεκτρικού πεδίου**, τη 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 τη σχέση:

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

Η διεύθυνση και η φορά της προσδιορίζεται από το είδος του φορτίου Q .

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

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

Φ3.A1 (7 σελ.51) Να βρεθεί το μέτρο της έντασης ηλεκτροστατικού πεδίου, που δημιουργεί φορτίο $Q = -2\mu C$, σε απόσταση $3cm$ από αυτό.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Φ3.A2 (8 σελ.51) Φορτίο $+4 \cdot 10^{-9}C$, δημιουργεί πεδίο έντασης μέτρου $3,6 \cdot 10^{-3}N/C$ σε απόσταση r από αυτό. Να βρεθεί η απόσταση r .

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Φ3.A3 (9 σελ.51) Η ένταση ηλεκτρικού πεδίου σε απόσταση $1cm$ από ηλεκτρικό φορτίο-πηγή, έχει μέτρο $36 \cdot 10^{-9}N/C$. Να βρεθεί η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Φ3.A4 (10 σελ.52) Φορτίο $+9\mu C$ απέχει απόσταση $30cm$ από άλλο φορτίο $+4\mu C$. Να βρεθεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου, στο μέσο της μεταξύ τους απόστασης.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Φ3.A5 (11 σελ.52) Δοκιμαστικό ηλεκτρικό φορτίο $q_1 = 2\mu C$, βρίσκεται στη θέση (Σ) ηλεκτρικού πεδίου και δέχεται $2 \cdot 10^{-3}N$, κατά τη θετική κατεύθυνση του άξονα x . Να βρεθούν:

(α) Η ένταση του πεδίου στη θέση (Σ).

(β) Η δύναμη που θα δεχτεί φορτίο $q_2 = -4\mu C$ στη θέση (Σ).

ΑΠΑΝΤΗΣΗ:

Φ3.A6 (14 σελ.52) Μικρός μεταλλικός δίσκος έχει βάρος $32 \cdot 10^{-3}N$, και ισορροπεί σε μικρό ύψος από την επιφάνεια της Γης. Κοντά στην επιφάνεια της Γης εμφανίζεται ηλεκτροστατικό πεδίο, έντασης $E = 100N/C$, κατακόρυφο και με φορά προς τα κάτω. Να βρεθεί το είδος και η ποσότητα του ηλεκτρικού φορτίου που έχει ο δίσκος.

ΑΠΑΝΤΗΣΗ: