

ΦΥΣΙΚΗ ΓΕΝΙΚΗΣ ΠΑΙΔΕΙΑΣ Β' ΤΑΞΗ ΕΝΙΑΙΟΥ ΛΥΚΕΙΟΥ

ΔΥΝΑΜΕΙΣ ΜΕΤΑΞΥ ΗΛΕΚΤΡΙΚΩΝ ΦΟΡΤΙΩΝ

- 1. Ο νόμος του Coulomb**
- 2. Ηλεκτρικό πεδίο**
- 3. Ηλεκτρική δυναμική ενέργεια**
- 4. Δυναμικό – Διαφορά Δυναμικού**
- 5. Τυπολόγιο**

Επιμέλεια Σημειώσεων:

ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ Ι. ΜΠΑΛΑΣΚΑΣ

ΦΥΣΙΚΟΣ – ΡΑΔΙΟΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΟΣ (MSc)

1. Ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

1.1 Θεωρητικό Μέρος

Διατύπωση νόμου του Coulomb

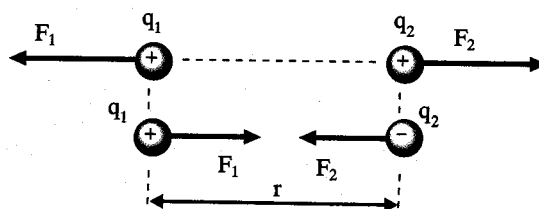
Κάθε σημειακό ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο. Το μέτρο της δύναμης είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων που αλληλεπιδρούν και αντίστροφα ανάλογο με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης.

Σημείωση: Σημειακό ηλεκτρικό φορτίο ονομάζουμε το φορτίο που φέρει ένα σώμα που θεωρείται σημειακό αντικείμενο.

Η δύναμη Coulomb έχει:

- **Διεύθυνση:** Τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία.
- **Φορά:** Οι δυνάμεις Coulomb είναι ελκτικές για ετερόνυμα και απωστικές για ομώνυμα ηλεκτρικά φορτία.
- **Σημείο εφαρμογής:** Τα σημειακά φορτία.
- **Μέτρο:** Υπολογίζεται από τη σχέση:

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



Σχήμα 1: Απωστικές και ελκτικές δυνάμεις Coulomb

Η σταθερά k ονομάζεται **ηλεκτρική σταθερά** (ή σταθερά του Coulomb) και εξαρτάται:

- Από το μέσο που παρεμβάλλεται μεταξύ των φορτίων.
- Από το σύστημα των μονάδων.

α. Για το κενό ή για τον αέρα η σταθερά k ισούται με:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{Cb}^2} \quad (2)$$

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

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{Cb}^2}{\text{N} \cdot \text{m}^2}$$

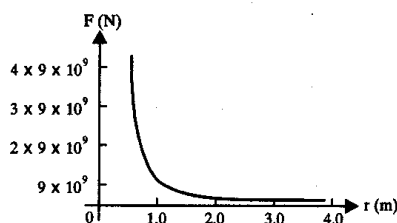
β. Για κάποιο τυχαίο μέσο διηλεκτρικής σταθεράς ϵ η σταθερά k ισούται με:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \quad (3)$$

Μονάδα ηλεκτρικού φορτίου στο S.I.

Ένα Coulomb είναι το ηλεκτρικό φορτίο που αν τοποθετηθεί σε απόσταση 1m από ένα όμοιο του ηλεκτρικό φορτίο στο κενό, δέχεται δύναμη ίση με $9 \cdot 10^9 \text{N}$.

Ο νόμος του Coulomb ακολουθεί το νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου. Η σχέση (1) δηλαδή είναι της γενικής μορφής $y = \frac{a}{x^2}$ που είναι υπερβολή.



Σχήμα 2: Διάγραμμα του μέτρου της δύναμης Coulomb σε συνάρτηση με την απόσταση των φορτίων

1.2 Παρατηρήσεις για την επίλυση ασκήσεων

- Για τον υπολογισμό των διανυσματικών μεγεθών, όπως είναι η δύναμη Coulomb πρέπει να υπολογίζονται: Το μέτρο, η διεύθυνση και η φορά.
- Τα σημειακά φορτία στη σχέση (1) τα αντικαθιστούμε με την απόλυτη τιμή τους.
- Αν ζητείται ο υπολογισμός της δύναμης που δέχεται ηλεκτρικό φορτίο από σύστημα δύο ή περισσότερων φορτίων, θα υπολογίσουμε 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.

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_3 \dots \quad (4)$$

1.3 Ερωτήσεις κρίσεως

1. Στο άτομο του υδρογόνου το ηλεκτρόνιο περιφέρεται γύρω από τον πυρήνα σε κυκλική τροχιά (πρότυπο του Rutherford). Ποιος είναι ο ρόλος της δύναμης Coulomb μεταξύ του πυρήνα και του ηλεκτρονίου;

2. Το μέτρο της δύναμης Coulomb μεταξύ δύο σημειακών φορτισμένων σωματιδίων δίνεται από τη σχέση (1). Αν τα σωματίδια πλησιάσουν πολύ το ένα στο άλλο $r \rightarrow 0$, η μεταξύ τους δύναμη θα γίνει άπειρη;

3. Στο Στατικό Ηλεκτρισμό το 1C είναι μεγάλη ή μικρή ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου.

4. Ποιες ομοιότητες και διαφορές υπάρχουν ανάμεσα στο νόμο της παγκόσμιας έλξης και στο νόμο του Coulomb;

5. Πότε ισχύει ο νόμος του Coulomb;

2. ΗΛΕΚΤΡΙΚΟ ΠΕΔΙΟ

2.1 Θεωρητικό Μέρος

Ορισμός Ηλεκτρικού πεδίου (Ηλεκτροστατικού πεδίου)

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε το χώρο σε κάθε σημείο του οποίου αν τοποθετήσουμε ένα ακίνητο φορτίο (δοκιμαστικό φορτίο), δέχεται ηλεκτροστατική δύναμη.

Χαρακτηριστικά ηλεκτρικού πεδίου:

- ✓ **Ένταση** (\vec{E}) → Διανυσματικό μέγεθος.
- ✓ **Δυναμικό** (V) → Μονόμετρο μέγεθος.
- ✓ **Δυναμικές γραμμές.**

➤ **Ένταση ηλεκτρικού πεδίου**

Έστω φορτίο $+Q$ σε κάποιο σημείο του χώρου το οποίο δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο (πηγή του πεδίου). Αν σε απόσταση r από το φορτίο $+Q$ τοποθετήσουμε διαδοχικά τα σημειακά φορτία $q, 2q, 3q...$ (δοκιμαστικά φορτία), τότε οι δυνάμεις που αντίστοιχα ασκούνται σε αυτά είναι:

$$F_1 = k \cdot \frac{|Q \cdot q|}{r^2} \quad F_2 = k \cdot \frac{|Q \cdot 2q|}{r^2} = 2F_1 \quad F_3 = k \cdot \frac{|Q \cdot 3q|}{r^2} = 3F_1 \dots$$

Παρατηρούμε ότι:

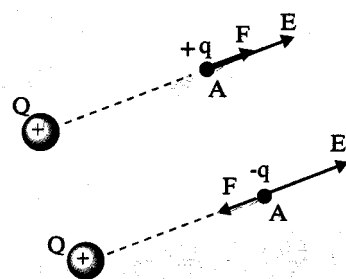
$$F_1 \neq F_2 \neq F_3 \neq \dots \quad \text{αλλά} \quad \frac{F_1}{q} = \frac{F_2}{2q} = \frac{F_3}{3q} = \dots = k \frac{Q}{r^2} = \text{σταθερό}$$

Χρειαζόμαστε, λοιπόν, ένα φυσικό μέγεθος **που σε κάθε σημείο του πεδίου να έχει μία και μόνο τιμή**. Αυτό το μέγεθος είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου.

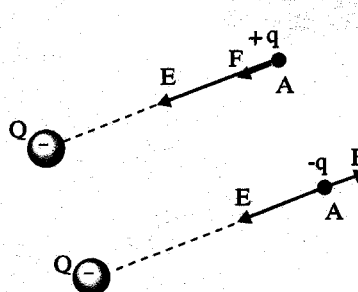
Ορισμός έντασης Ηλεκτρικού Πεδίου

Ένταση \vec{E} σε σημείο ηλεκτρικού πεδίου, ονομάζουμε το φυσικό διανυσματικό μέγεθος που έχει μέτρο ίσο με το σταθερό πηλίκο του μέτρου της δύναμης που ασκείται σε φορτίο q που βρίσκεται σε αυτό το σημείο προς το φορτίο αυτό και κατεύθυνση την κατεύθυνση της δύναμης, αν αυτή ασκείται σε θετικό υπόθεμα.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (5)$$



(α)



(β)

Σχήμα 3: Ένταση ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί α) θετικό σημειακό φορτίο Q και β) αρνητικό σημειακό φορτίο Q.

«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».

Μονάδα μέτρησης της έντασης στο S.I

Μονάδα μέτρησης της έντασης είναι το **1N/C**. Ένα N/C σημαίνει ότι, αν τοποθετήσουμε στη θέση A του πεδίου δοκιμαστικό φορτίο 1C, η δύναμη που θα δεχτεί είναι 1N και η φορά της είναι εκείνη που προσδιορίζεται από το φορτίο πηγή.

Ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb

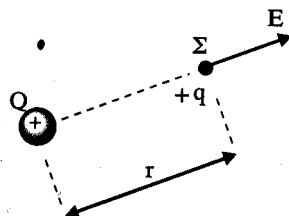
Ονομάζουμε το πεδίο που δημιουργείται από ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q .

Ένταση Ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb

Με βάση τη σχέση:

$$E = \frac{F}{q} \quad (6)$$

μπορούμε να οδηγηθούμε σε μία καινούργια σχέση που ισχύει για το ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb.

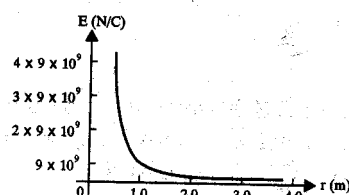


Το δοκιμαστικό φορτίο $+q$ που βρίσκεται σε απόσταση r από το φορτίο Q (πηγή του πεδίου) δέχεται δύναμη Coulomb μέτρου:

$$F = k \cdot \frac{|Q \cdot q|}{r^2} \quad (7)$$

Επομένως:

$$(6),(7) \Rightarrow E = \frac{k \cdot |Q \cdot q|}{r^2} \Rightarrow E = k \cdot \frac{|Q|}{r^2} \quad (8)$$



Σχήμα 4: Το μέτρο της έντασης του ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb ως συνάρτηση της απόστασης r από το φορτίο Q .

➤ Ηλεκτρικές δυναμικές γραμμές

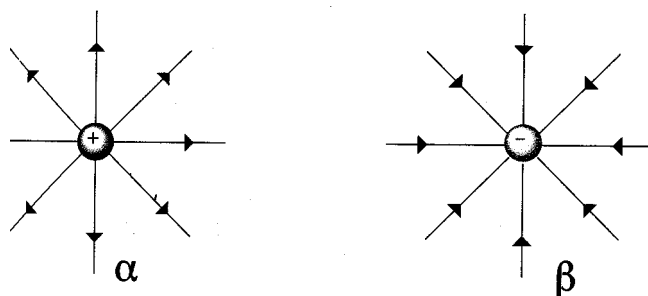
Οι δυναμικές γραμμές επινοήθηκαν από το Faraday για να γίνεται ο σχεδιασμός του ηλεκτρικού πεδίου.

«Δυναμικές ονομάζονται οι γραμμές σε κάθε σημείο των οποίων η ένταση του πεδίου είναι εφαπτόμενη».

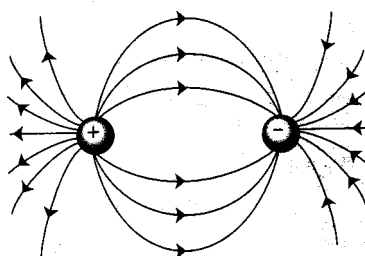
Ιδιότητες δυναμικών γραμμών

- ✓ Απομακρύνονται από τα θετικά φορτία και κατευθύνονται προς τα αρνητικά, επομένως είναι ανοικτές.
- ✓ Εκεί που η ένταση του πεδίου είναι μεγάλη οι δυναμικές γραμμές είναι πυκνές, δηλαδή η πυκνότητα των δυναμικών γραμμών είναι ανάλογη της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου.
- ✓ Δεν τέμνονται.

Σχεδιασμός μερικών πεδίων



Σχήμα 6: Πεδίο σημειακού φορτίου Coulomb α) θετικό β) αρνητικό.

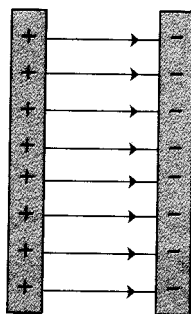


Σχήμα 7: Πεδίο ζεύγους ετερόνυμων σημειακών φορτίων.

Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

«Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται το πεδίο που σε όλα του τα σημεία η ένταση είναι ίδια κατά μέτρο, διεύθυνση και φορά».

Απεικονίζεται με τη βοήθεια δυναμικών γραμμών οι οποίες είναι **παράλληλες, ίδιας φοράς και ισαπέχουσες**.



Σχήμα 8: Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.

Παράδειγμα ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου είναι το πεδίο που σχηματίζεται ανάμεσα στους οπλισμούς ενός **επίπεδου πυκνωτή**.

Ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο

«Ανομοιογενές ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται το πεδίο που η ένταση του μεταβάλλεται από σημείο σε σημείο».

2.2 Παρατηρήσεις για την επίλυση ασκήσεων

- Για τον υπολογισμό των διανυσματικών μεγεθών, όπως είναι η ένταση ηλεκτρικού πεδίου πρέπει να υπολογίζονται: Το μέτρο, η διεύθυνση και η φορά.
- Αν ζητείται σε ένα πρόβλημα ο υπολογισμός της έντασης σε σημείο ηλεκτρικού πεδίου, την βρίσκουμε απλά εφαρμόζοντας τη σχέση ορισμού (5). Η σχέση (5) είναι γενική, δηλαδή ισχύει σε οποιοδήποτε ηλεκτρικό πεδίο. Αν πρόκειται για πεδίο που οφείλεται σε σημειακό φορτίο, πεδίο Coulomb, χρησιμοποιούμε τη σχέση (8).

- Τα σημειακά φορτία στις σχέσεις (5) και (8) τα αντικαθιστούμε με την απόλυτη τιμή τους.
- 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.
- Αν ζητείται ο υπολογισμός της έντασης ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από πολλά σημειακά φορτία, θα υπολογίσουμε τη ένταση που δημιουργεί κάθε ένα από τα φορτία αυτά ξεχωριστά (στο ζητούμενο σημείο) και στη συνέχεια θα προσθέσουμε τις εντάσεις διανυσματικά για να προσδιορίσουμε τελικά το μέτρο, τη διεύθυνση και τη φορά της συνισταμένης.

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 \dots \quad (9)$$

Το μέτρο της συνισταμένης δύο εντάσεων E_1 και E_2 υπολογίζεται:

- ✓ Με το πυθαγόρειο θεώρημα αν οι επιμέρους εντάσεις **είναι**

κάθετες: $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$

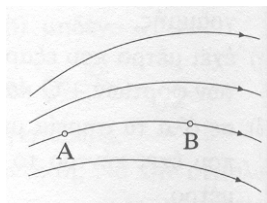
- ✓ Με το θεώρημα των συνημίτονων αν οι επιμέρους εντάσεις

σχηματίζουν τυχαία γωνία θ : $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2 \cos \theta}$

2.3 Ερωτήσεις κρίσεως

1. Μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο αφήνουμε ένα σημειακό φορτίο q χωρίς αρχική ταχύτητα. Τι κίνηση θα εκτελέσει;
2. Να αποδείξετε ότι σε ηλεκτροστατικό πεδίο οι δυναμικές γραμμές δεν τέμνονται ποτέ.
3. Ποιος από τους τύπους (5) και (8) είναι γενικότερος και γιατί;
4. Θεωρήστε ένα ηλεκτρόνιο αρχικά ακίνητο μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο. Αν αφήσουμε το ηλεκτρόνιο ελεύθερο, σε ποιες περιπτώσεις θα κινηθεί πάνω σε δυναμική γραμμή;

5. Ποια πρακτική αξία έχει η γνώση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο του.
6. Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται οι δυναμικές γραμμές ενός ηλεκτρικού πεδίου.

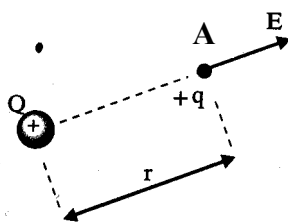


- α) Ποια είναι η διεύθυνση της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου σε κάθε σημείο των δυναμικών γραμμών;
- β) Σε ποιο από τα σημεία A ή B η ένταση έχει το μεγαλύτερο μέτρο; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

3. ΗΛΕΚΤΡΙΚΗ ΔΥΝΑΜΙΚΗ ΕΝΕΡΓΕΙΑ

3.1 Θεωρητικό Μέρος

Έστω ακλόνητο θετικό ηλεκτρικό φορτίο που δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο. Στο σημείο A του πεδίου τοποθετείται ένα δοκιμαστικό φορτίο $+q$ που δέχεται δύναμη F .



« Ορίζουμε ως ηλεκτρική δυναμική ενέργεια U_A του συστήματος των δύο φορτίων, το έργο $W_{A \rightarrow \infty}$ της δύναμης F του ηλεκτρικού πεδίου κατά την μετακίνηση του φορτίου q από το σημείο A στο άπειρο (δηλαδή εκτός του ηλεκτρικού πεδίου)».

$$U_A = W_{A \rightarrow \infty} \quad (10)$$

Πολλές φορές λόγω του γεγονότος ότι το φορτίο Q είναι ακλόνητο θεωρούμε καταχρηστικά ότι η δυναμική ενέργεια του συστήματος ανήκει στο φορτίο q .

Αποδεικνύεται ότι:

$$W_{A \rightarrow \infty} = k \frac{Qq}{r} \quad (11)$$

Επομένως:

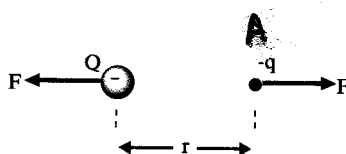
$$U_A = k \frac{Qq}{r} \quad (12)$$

όπου k η ηλεκτρική σταθερά και r η απόσταση μεταξύ των φορτίων Q και q . Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια συστήματος φορτίων οφείλεται στην ύπαρξη δυνάμεων αλληλεπίδρασης μεταξύ των φορτίων. Όταν τα φορτία βρεθούν σε άπειρη απόσταση μεταξύ τους δεν αλληλεπιδρούν και η δυναμική ενέργεια του συστήματος είναι μηδέν.

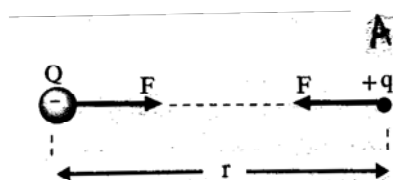
$$U_{\infty} = 0$$

Φυσικό περιεχόμενο της θετικής και αρνητικής δυναμικής ενέργειας.

- ✓ $U_A > 0$: Σημαίνει ότι για να απομακρύνω το φορτίο q από την επίδραση του φορτίου Q (δηλαδή να μεταφέρω το φορτίο q στο άπειρο) **παράγεται έργο**. Τα φορτία σε αυτήν την περίπτωση είναι **ομώνυμα**, το φορτίο q μετακινείται **αυθόρμητα** προς το άπειρο και η δυναμική του ενέργεια **ελαττώνεται**.



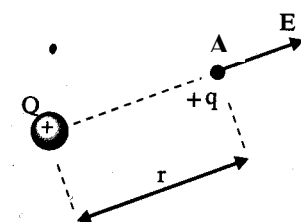
- ✓ $U_A < 0$: Σημαίνει ότι για να απομακρύνω το φορτίο q από την επίδραση του φορτίου Q (δηλαδή να μεταφέρω το φορτίο q στο άπειρο) **καταναλώνεται έργο**. Τα φορτία σε αυτήν την περίπτωση είναι **ετερόνυμα** και στο φορτίο q πρέπει να **προσφερθεί** ενέργεια με αποτέλεσμα η δυναμική του ενέργεια να **αυξάνεται**.



4. ΔΥΝΑΜΙΚΟ – ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ

4.1 Θεωρητικό Μέρος

Ορισμός Δυναμικού



Πρώτος ορισμός:

«Δυναμικό σημείου A ηλεκτροστατικού πεδίου είναι το μονόμετρο μέγεθος που ισούται με το πηλίκο της ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας που έχει ένα φορτίο q στο σημείο A προς το φορτίο q». Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V_A = \frac{U_A}{q} \quad (13)$$

Δεύτερος ορισμός:

«Δυναμικό σημείου A ηλεκτροστατικού πεδίου είναι το μονόμετρο μέγεθος που ισούται με το πηλίκο του έργου που παράγεται ή καταναλίσκεται για τη μεταφορά φορτίου q από το A στο άπειρο προς το φορτίο q». Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

$$V_A = \frac{W_{A \rightarrow \infty}}{q} \quad (14)$$

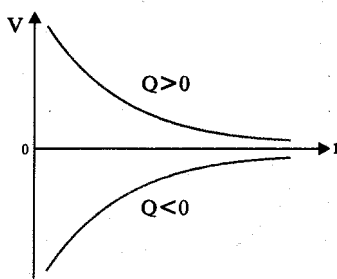
Μονάδα μέτρησης δυναμικού στο S.I.

Μονάδα μέτρησης του δυναμικού είναι το $1V=1J/1C$. $1V$ σημαίνει ότι αν βρεθεί στη θέση A δοκιμαστικό φορτίο $+1C$, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $+1J$ ή ισοδύναμα, αν βρεθεί στη θέση A δοκιμαστικό φορτίο $-1C$, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $-1J$.

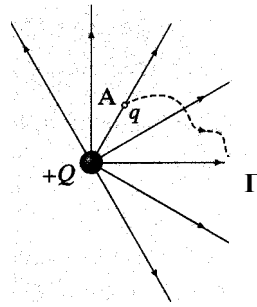
Δυναμικό Ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb.

Αν σημειακό φορτίο Q δημιουργεί γύρω του ηλεκτροστατικό πεδίο, τότε για σημείο A του πεδίου αυτού που απέχει απόσταση r από το φορτίο αυτό έχω:

$$V_A = \frac{U_A}{q} \Rightarrow V_A = \frac{k \frac{Q \cdot q}{r}}{q} \Rightarrow V_A = k \frac{Q}{r} \quad (15)$$



Σχήμα 9: Δυναμικό ως συνάρτηση της απόστασης r από θετικό και αρνητικό φορτίο πηγή Q .

Ορισμός Διαφοράς Δυναμικού**Πρώτος ορισμός:**

«Διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B ηλεκτροστατικού πεδίου είναι το μονόμετρο μέγεθος που ισούται με το πηλίκο της διαφοράς των δυναμικών ηλεκτρικών ενεργειών που έχει φορτίο q στα σημεία A και B αντίστοιχα προς το φορτίο q.» Η διαφορά δυναμικού δίνεται από τη σχέση:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{U_A}{q} - \frac{U_B}{q} = \frac{U_A - U_B}{q} \quad (16)$$

Δεύτερος ορισμός:

«Διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B ηλεκτροστατικού πεδίου είναι το μονόμετρο μέγεθος που ισούται με το πηλίκο του έργου που παράγεται ή καταναλίσκεται για τη μεταφορά φορτίου q από το A στο B, προς το φορτίο q.» Η διαφορά δυναμικού δίνεται από τη σχέση:

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \quad (17)$$

Τι σημαίνει διαφορά δυναμικού 4V

Αυτό σημαίνει ότι κατά τη μετακίνηση θετικού δοκιμαστικού φορτίου 1C από τη θέση A στη θέση B, το έργο της δύναμης του πεδίου είναι +4J και η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του δοκιμαστικού φορτίου ελαττώθηκε κατά 4J.

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

A. Στην περίπτωση του πεδίου Coulomb η διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων A και B, υπολογίζεται από τη σχέση:

$$V_{AB} = V_A - V_B = k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} = kQ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) \quad (18)$$

όπου r_1 και r_2 οι αποστάσεις των σημείων A και B από το φορτίο Q.

B. Η σχέση (16) μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το έργο της δύναμης του πεδίου για τη μεταφορά φορτίου q από το A στο B. Προκύπτει ότι:

$$W_{A \rightarrow B} = q \cdot V_{AB} \quad (19)$$

Γ. Σε ένα συντηρητικό πεδίο το υπόθεμα κινείται. Αν αφεθεί ελεύθερο κινείται από το σημείο με τη μεγαλύτερη ενέργεια προς το σημείο με τη μικρότερη ενέργεια. Έτσι για το ηλεκτροστατικό πεδίο, το υπόθεμα (φορτίο q) κινείται από σημείο A μεγάλου δυναμικού προς σημείο B μικρότερου δυναμικού, όταν το υπόθεμα είναι θετικό. Ειδάλλως όταν το υπόθεμα είναι αρνητικό συμβαίνουν τα ακριβώς αντίθετα.

Ισοδυναμικές επιφάνειες

Οι επιφάνειες πάνω στις οποίες το δυναμικό έχει σταθερή τιμή ονομάζονται ισοδυναμικές. Οι δυναμικές γραμμές ενός ηλεκτροστατικού πεδίου τέμνουν κάθετα τις ισοδυναμικές επιφάνειες του πεδίου.

4.2 Παρατηρήσεις για την επίλυση ασκήσεων

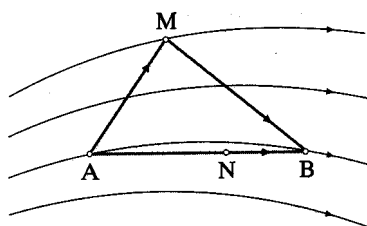
- Για τον υπολογισμό των μονόμετρων μεγεθών, όπως είναι το δυναμικό, πρέπει να υπολογίζεται μόνο το μέτρο του.

- Εάν ζητείται σε ένα πρόβλημα να γίνει ο υπολογισμός του δυναμικού σε σημείο A ηλεκτρικού πεδίου, υπολογίζεται από τη σχέση ορισμού (13) ή αν πρόκειται για πεδίο σημειακού ηλεκτρικού φορτίου υπολογίζεται από της σχέση (15). **Στις σχέσεις (13) έως και (18) τα φορτία τα αντικαθιστούμε με το πρόσημό του.**
- Εάν ζητείται το δυναμικό σε σημείο πεδίου που οφείλεται σε δύο ή περισσότερα σημειακά φορτία πηγές, προσδιορίζουμε το δυναμικό που προκαλεί κάθε φορτίο πηγή και στη συνέχεια προσθέτουμε αλγεβρικά τα δυναμικά αυτά.

$$V=V_1+V_2+V_3+...$$

4.3 Ερωτήσεις κρίσεως

1. Σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο να αποδείξετε ότι το έργο για μετακίνησης φορτίου μεταξύ δύο σημείων δεν εξαρτάται από τη διαδρομή αλλά από την απόσταση μεταξύ των σημείων αυτών.
2. Να αποδείξετε ότι οι δυναμικές γραμμές ενός ηλεκτροστατικού πεδίου τέμνουν κάθετα τις ισοδυναμικές επιφάνειες του πεδίου.
3. Να αποδείξετε την παρατήρηση Γ της παραγράφου 4.1.
4. Ένα ηλεκτρόνιο μεταφέρεται από το σημείο A στο σημείο B του ηλεκτρικού πεδίου του σχήματος τη μία φορά μέσω της διαδρομής AMB και την άλλη μέσω της διαδρομής ANB.



Να συγκρίνετε τα έργα της δύναμης που δέχεται το ηλεκτρόνιο από το ηλεκτρικό πεδίο στις δύο διαδρομές.

5. Δύο σημειακά φορτία $-q$ και $+q$ συγκρατούνται ακίνητα σε σταθερή απόσταση μεταξύ τους. Υπάρχει κατά την άποψή σας σημείο ή σημεία όπου: α) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου είναι μηδέν; β) Το δυναμικό είναι μηδέν;

6. Σε δύο σημεία Κ και Λ μιας ευθείας υπάρχουν δύο σημειακά ετερόσημα φορτία Q_1 και Q_2 αντίστοιχα. Να εξηγήσετε γιατί, ενώ υπάρχει μόνο ένα σημείο όπου $\vec{E} = 0$, υπάρχουν άπειρα σημεία όπου $V=0$.
7. Δύο σωμάτια έχουν φορτίο $+q$ και $-q$ και συγκρατούνται σε απόσταση r το ένα από το άλλο. Η δυναμική ενέργεια κάθε σωματίου είναι $k\frac{q^2}{r}$, ενώ η δυναμική ενέργεια του συστήματος των δύο σωματιών είναι $-2k\frac{q^2}{r}$. Συμφωνείτε ή διαφωνείτε με τον ισχυρισμό αυτό; Να αιτιολογήσετε την απάντησή σας.

5. ΤΥΠΟΛΟΓΙΟ ΚΕΦΑΛΑΙΟΥ

ΝΟΜΟΣ COULOMB	$F = k_{\eta\lambda} \cdot \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2}$
ΕΝΤΑΣΗ ΗΛ/ΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (σε σημείο που απέχει r από την πηγή Q του πεδίου)	$E = \frac{F}{q} = k_{\eta\lambda} \cdot \frac{Q}{r^2}$
ΔΥΝΑΜΙΚΟ ΗΛ/ΚΟΥ ΠΕΔΙΟΥ (σε σημείο Α που απέχει r από την πηγή Q του πεδίου)	$V = \frac{W_{F_{\pi}(A \rightarrow \infty)}}{q} = k_{\eta\lambda} \cdot \frac{Q}{r}$
ΔΙΑΦΟΡΑ ΔΥΝΑΜΙΚΟΥ (μεταξύ σημείων Α και Β)	$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{F_{\pi}(A \rightarrow B)}}{q} = \frac{E_{\delta\text{υν}}^A}{q} - \frac{E_{\delta\text{υν}}^B}{q} = -\frac{\Delta E_{\delta\text{υν}}}{q}$
ΕΡΓΟ ΔΥΝΑΜΗΣ ΠΕΔΙΟΥ	$W = qV_A \quad \text{ή} \quad W = q(V_A - V_B)$
ΘΕΩΡΗΜΑ ΜΕΤΑΒΟΛΗΣ ΚΙΝΗΤΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	$E_{\text{KIN}(2)} - E_{\text{KIN}(1)} = -W_{1 \rightarrow 2}$
ΔΙΑΤΗΡΗΣΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ	$E_{\text{KIN}(1)} + E_{\Delta\text{YN}(1)} = E_{\text{KIN}(2)} + E_{\Delta\text{YN}(2)}$