

(1.4) Δυναμικό - Διαφορά δυναμικού

Δυναμικό

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 $q' = 2q$, η δυναμική του ενέργεια γίνεται:

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

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.

Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

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

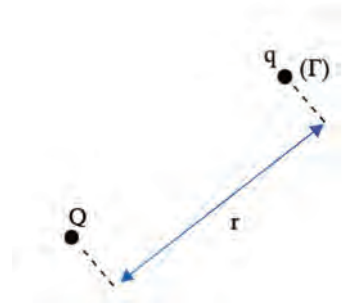
Μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο S.I. είναι το $1V = \frac{1J}{1C}$
 $\left(1\text{ Volt} = \frac{1\text{ Joule}}{1C}\right)$.

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

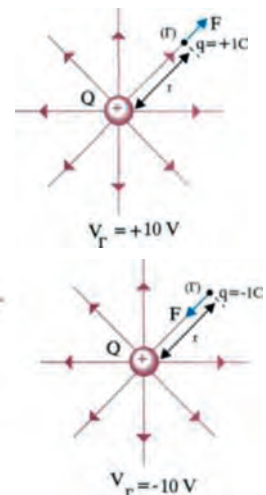
$$V_{(\Gamma)} = \frac{W_{\Gamma \rightarrow \infty}}{q} \quad (9)$$

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

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



Εικόνα 1.4-31.



Εικόνα 1.4-32.

θέση (Γ) δοκιμαστικό φορτίο $-1C$, θα έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια $-10J$ (Εικ. 32).

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:

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

όπου Q το φορτίο που δημιουργεί το πεδίο και r η απόσταση μεταξύ του σημείου (Γ) και του φορτίου Q .

Παράδειγμα 6

1. Να βρεθεί το δυναμικό σε απόσταση

(α) 30cm

(β) 60cm

από ένα φορτίο πηγή $Q = -4\mu C$.

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

Δίνεται ότι: $1\mu C = 10^{-6}C$ και $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$.

Λύση

1. Το δυναμικό δίνεται από τη σχέση:

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

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

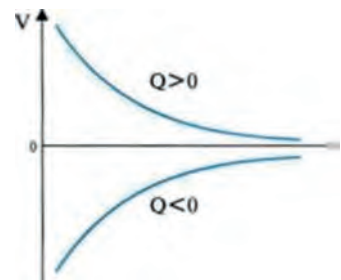
$$V_1 = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} \cdot \frac{-4 \cdot 10^{-6}C}{3 \cdot 10^{-1}m} \quad \text{ή} \quad V_1 = -12 \cdot 10^4 V$$

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

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

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

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



Το δυναμικό V ως συνάρτηση της απόστασης r από θετικό και από αρνητικό φορτίο πηγή Q .
Εικόνα 1.4-33.

Από τη σχέση αυτή έχουμε:

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

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

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

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

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:

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

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.

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

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

Έστω ότι δύο σημεία (Σ) και (P) (Εικ. 35) του ηλεκτροστατικού πεδίου έχουν δυναμικά $V_\Sigma = +14\text{V}$ και $V_P = +10\text{V}$. Η διαφορά δυναμικού μεταξύ των δύο σημείων είναι:

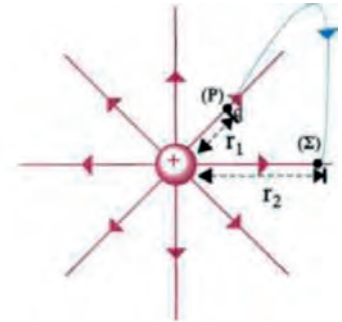
$$V_{\Sigma P} = V_\Sigma - V_P = 14\text{V} - 10\text{V} = 4\text{V}$$

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

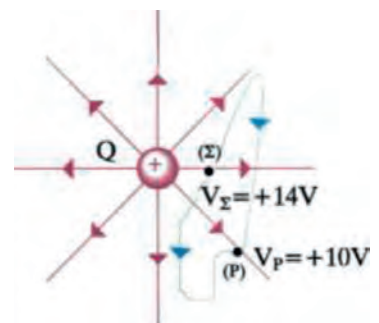
Παρατηρήσεις

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

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



Εικόνα 1.4-34.



Η διαφορά δυναμικού (τάση) μεταξύ δύο σημείων Σ και P .

$$V_\Sigma - V_P \text{ ή } V_{\Sigma P} = +4\text{V}$$

Εικόνα 1.4-35.

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

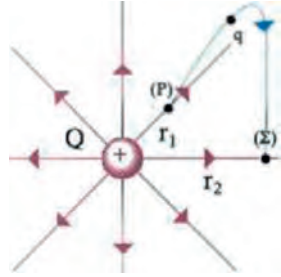
2. Από τη σχέση (12) έχουμε ότι:

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

Η σχέση αυτή μας δίνει τη δυνατότητα να υπολογίσουμε το έργο της δύναμης του πεδίου κατά τη μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου q από το σημείο (Σ) σε σημείο (Ρ), των οποίων η διαφορά δυναμικού είναι $V_{\Sigma P}$.

Παράδειγμα 7

Δίνεται σημειακό ηλεκτρικό φορτίο $Q = +10^{-8}C$ και δύο σημεία (Ρ) και (Σ) τα οποία απέχουν αποστάσεις $r_1 = 0,4m$ και $r_2 = 0,8m$ αντίστοιχα από το φορτίο Q (Εικ. 36). Να βρεθούν:



Εικόνα 1.4-36.

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

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

(γ) Ποια είναι η φυσική σημασία του $W_{P\Sigma}$;

Δίνεται: $k = 9 \cdot 10^9 Nm^2/C^2$.

Λύση

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

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

Από τη σχέση (10) έχουμε: $V_P = k \frac{Q}{r_1}$ (2)

και $V_\Sigma = k \frac{Q}{r_2}$ (3)

Η (1) λόγω των (2) και (3) γίνεται:

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

$$V_{P\Sigma} = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2} 10^{-8} C \left(\frac{1}{0,4m} - \frac{1}{0,8m} \right) = 112,5 \text{ Volts}$$

(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 (Ρ) η δύναμη του πεδίου παράγει έργο ίσο με 450J ή ότι η δυναμική ενέργεια του φορτίου στη θέση (Σ) μειώθηκε κατά 450 Joule.