

Ηλεκτρικό Πεδίο

Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια

και

Δυναμικό - Διαφορά Δυναμικού.





Ας θυμηθούμε...

Ένα ηλεκτρικό πεδίο μπορούμε να το περιγράψουμε με το διανυσματικό φυσικό μέγεθος **Ένταση** που συνδέει την έννοια «πεδίο» με την έννοια «δύναμη».

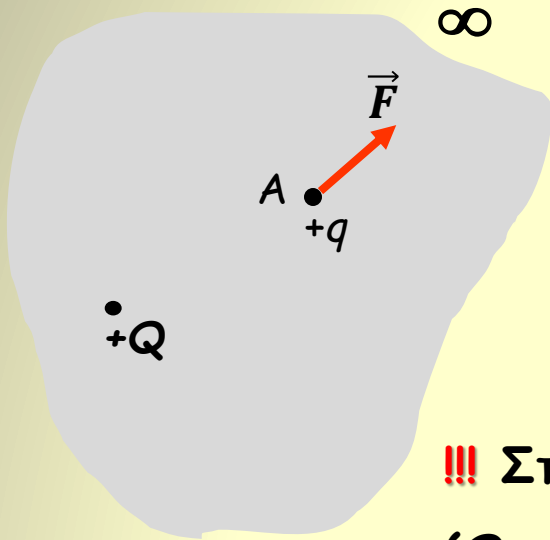
Για ένα σημείο του πεδίου η Ένταση θα είναι **ίδια**, ανεξάρτητα από το είδος και το μέτρο του φορτίου που πιθανόν υπάρχει στο σημείο αυτό του πεδίου.

Στο SI, μονάδα μέτρησης του έργου μιας δύναμης και της ενέργειας είναι το **1 Joule (J)**.

Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια



Όταν δύο **ηλεκτρικά φορτία αλληλεπιδρούν**, τότε στο σύστημά τους **περιέχεται (αποθηκεύεται) ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.**



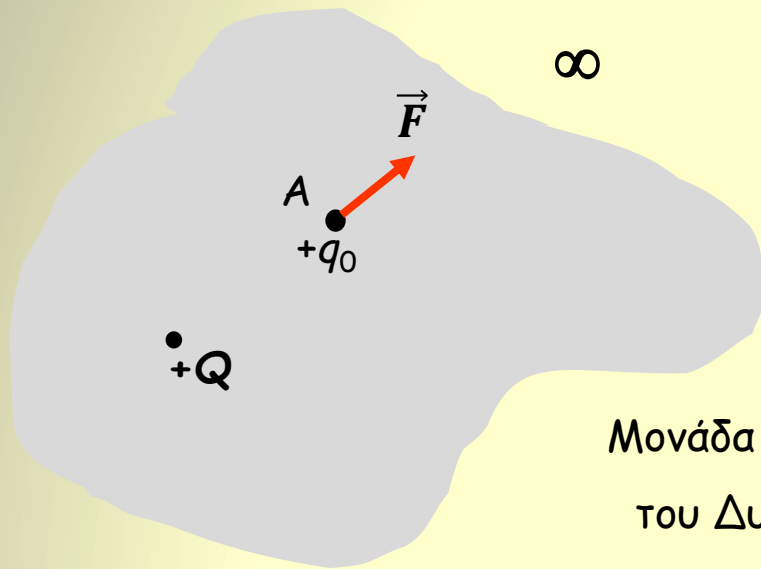
∞ Η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια U_A του συστήματος των φορτίων Q και q υπολογίζεται από τη σχέση

$$U_A = k \frac{Q \cdot q}{r}$$

!!! Στους υπολογισμούς, τα φορτία που αλληλεπιδρούν (Q και q) εμφανίζονται με τα πρόσημά τους, δηλαδή η δυναμική ενέργεια μπορεί να είναι **θετική** ή **αρνητική**.

Δυναμικό

Το **Δυναμικό** σ' ένα σημείο A ηλεκτρικού πεδίου είναι **μονόμετρο μέγεθος** και ορίζεται από **το πηλίκο του έργου της δύναμης**, που ασκεί το πεδίο σ' ένα φορτίο-υπόθεμα q_0 για να μεταφερθεί αυτό από το A εκτός του πεδίου, **προς το φορτίο** αυτό.



Μονάδα μέτρησης
του Δυναμικού

$$V_A = \frac{W_{F(A \rightarrow \infty)}}{q_0}$$

↓

$$1 \text{ Volt (V)} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ C}}$$

Δυναμικό σ' ένα σημείο πεδίου Coulomb

∞

Ισχύει ότι $W_{F(A \rightarrow \infty)} = U_A$

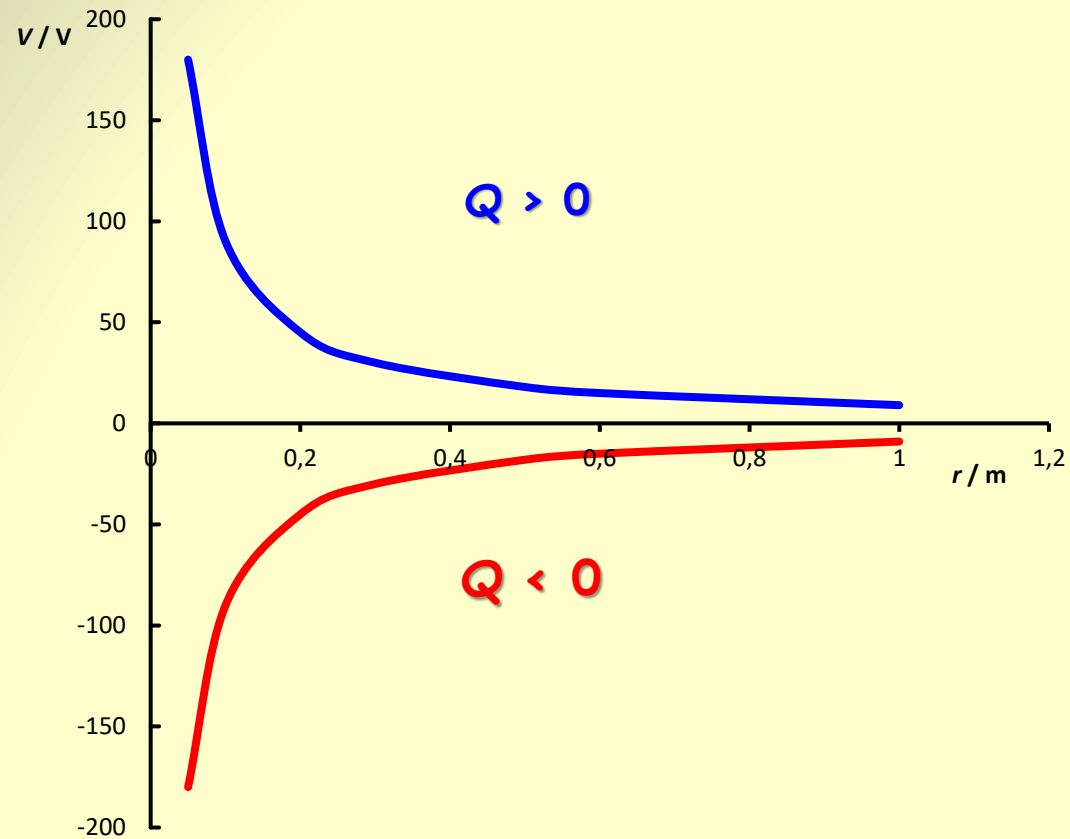
$$V_A = \frac{U_A}{q} = \frac{k \frac{Q \cdot q}{r}}{q} \Rightarrow V_A = k \frac{Q}{r}$$

!!! Στους υπολογισμούς, το φορτίο Q (που δημιουργεί το πεδίο), εμφανίζεται με το πρόσημό του, δηλαδή το δυναμικό μπορεί να έχει θετική ή αρνητική τιμή.

Το δυναμικό σ' ένα σημείο ενός πεδίου Coulomb εξαρτάται μόνο από

- το φορτίο-πηγή,
- την απόσταση του σημείου, από το φορτίο-πηγή (επιπλέον βέβαια και απ' ό,τι εξαρτάται η σταθερή k).

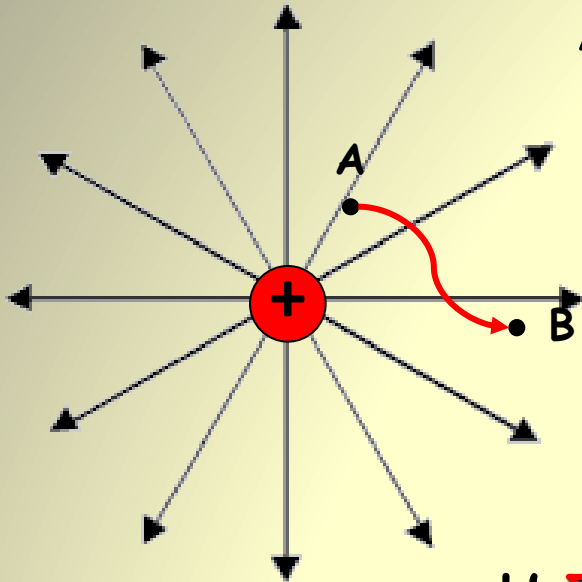
Γραφική παράσταση $V = k \frac{Q}{r}$



Παρατηρήσεις στην έννοια «Δυναμικό»

- Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος και έχει μονάδα μέτρησης το $1 \text{ Volt (V)} = \frac{1 \text{ Joule}}{1 \text{ C}}$
- Το δυναμικό σε οποιοδήποτε σημείο του ηλεκτρικού πεδίου αποτελεί χαρακτηριστικό μέγεθος του πεδίου στο σημείο αυτό.
- Το δυναμικό σ' ένα σημείο ενός πεδίου είναι ανεξάρτητο από το πρόσημο του δοκιμαστικού φορτίου q_0 , που πιθανόν υπάρχει σ' αυτό το σημείο.
- Η έννοια δυναμικό συνδέει την έννοια πεδίο με την έννοια ενέργεια.
- Το δυναμικό της γης θεωρείται ίσο με το μηδέν.
- Το δυναμικό και η δυναμική ενέργεια μπορούν να έχουν θετική ή αρνητική τιμή.

Διαφορά Δυναμικού



Διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα σημεία A και B.

$$V_{AB} = V_A - V_B$$

$$V_{AB} = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q}$$

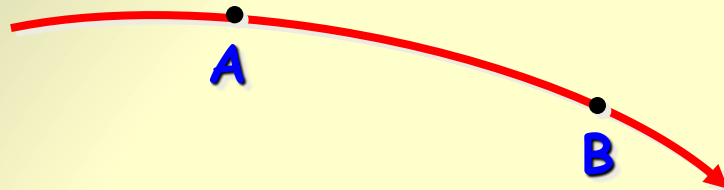
Η **διαφορά δυναμικού** V_{AB} μας δίνει το **έργο της δύναμης** του πεδίου **ανά μονάδα φορτίου**, κατά τη μετακίνηση του φορτίου από το A στο B.

Παρατηρήσεις στη Διαφορά δυναμικού

- $V_{AB} \neq V_{BA},$ $V_{AB} = -V_{BA}$
- Η σχέση $W_{AB} = q \cdot V_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$ μας επιτρέπει να υπολογίσουμε το **έργο της δύναμης του πεδίου** κατά τη μετακίνηση φορτίου q από σημείο A σε σημείο B του πεδίου, ανεξάρτητα αν το πεδίο είναι ομογενές ή ανομοιογενές.
- **Ειδικά για ανομοιογενές πεδίο, αυτός είναι ο τρόπος για να υπολογίσουμε το έργο της δύναμης.**

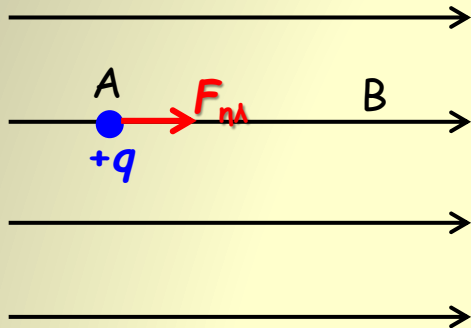


- Κατά τη φορά μιας δυναμικής γραμμής το δυναμικό μειώνεται.



$$V_A > V_B$$

απόδειξη



$$W_{A \rightarrow B} = F_{\eta\lambda} \cdot (AB) > 0$$

$$V_{AB} = V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{+q} > 0$$

$$V_A - V_B > 0 \quad V_A > V_B$$



- Αν $V_A > V_B$ η τιμή του έργου $W_{A \rightarrow B}$ είναι θετική. Δηλαδή η δύναμη $F_{ηλ}$ που ασκεί το πεδίο στο φορτίο $+q$ μετακινεί το φορτίο «αυθόρμητα» από το σημείο A στο σημείο B.

- Η μετακίνηση γίνεται προς την κατεύθυνση του διανύσματος της έντασης $\vec{E}$ και των δυναμικών γραμμών του πεδίου.

- Αν $V_A < V_B$ η τιμή του έργου $W_{A \rightarrow B}$ είναι αρνητική. Δηλαδή πρέπει να υπερνικηθεί η δύναμη $F_{ηλ}$, δηλαδή να προσδοθεί εξωτερικά ενέργεια στο φορτίο $+q$ προκειμένου να μετακινεί από το σημείο A στο σημείο B.

- Η μετακίνηση αυτή τη φορά γίνεται αντίθετα προς την κατεύθυνση του διανύσματος της έντασης $\vec{E}$ και των δυναμικών γραμμών του πεδίου.



- Αν μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο αφήσουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο, μπορούμε να προβλέψουμε προς τα πού θα κινηθεί «αυθόρμητα».
- Ένα θετικό φορτίο θα κινηθεί από θέση υψηλού προς θέση χαμηλού δυναμικού.
- Ένα αρνητικό φορτίο θα κινηθεί από θέση χαμηλού προς θέση υψηλού δυναμικού.
- Γενικά, κάθε φορτίο κινείται «αυθόρμητα» από θέση υψηλότερης προς θέση χαμηλότερης ηλεκτρικής δυναμικής ενέργειας.

Συμπεράσματα για το «Δυναμικό» και την «Διαφορά Δυναμικού»



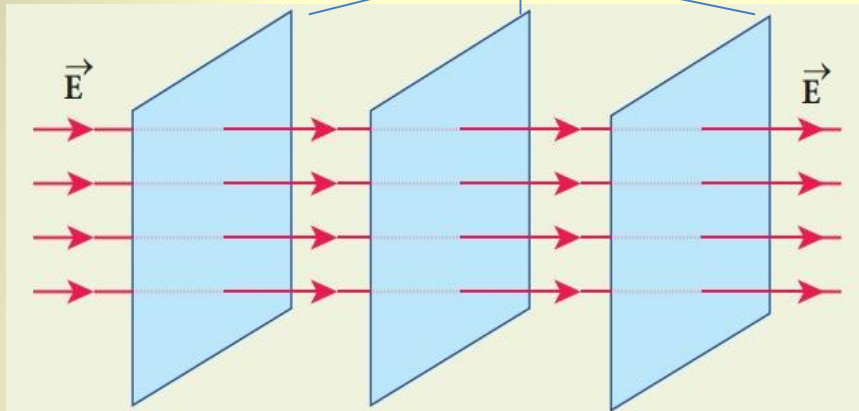
- Το δυναμικό μειώνεται κατά την φορά της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου (κατά την φορά των δυναμικών γραμμών).
- Κάθε θετικό φορτίο το οποίο μπορεί να κινηθεί «αυθόρμητα» μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο, κινείται από το υψηλότερο προς το χαμηλότερο δυναμικό. Προς την αντίθετη κατεύθυνση κινούνται τα αρνητικά φορτία.
- Το έργο που παράγεται κατά την κίνηση ηλεκτρικού φορτίου q από το σημείο A στο σημείο B του πεδίου, μεταξύ των οποίων επικρατεί διαφορά δυναμικού $V_A - V_B$, δίνεται από την σχέση $W_{AB} = q \cdot (V_A - V_B)$.

Συμπεράσματα για το «Δυναμικό» και την «Διαφορά Δυναμικού»



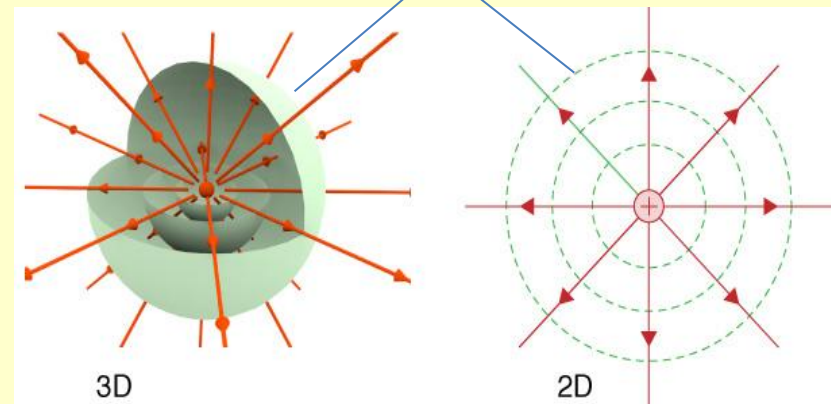
- Τα σημεία ενός πεδίου που έχουν το ίδιο δυναμικό, σχηματίζουν ισοδυναμικές επιφάνειες. Οι ισοδυναμικές επιφάνειες τέμνουν κάθετα τις δυναμικές γραμμές.
- Οι επιφάνειες των αγωγίμων σωμάτων που βρίσκονται στο ηλεκτρικό πεδίο είναι ισοδυναμικές επιφάνειες, γιατί οι δυναμικές γραμμές συναντούν κάθετα τις επιφάνειες αυτές.

Ισοδυναμικές επιφάνειες



Ισοδυναμικές επιφάνειες ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου

Σφαιρικές Ισοδυναμικές επιφάνειες

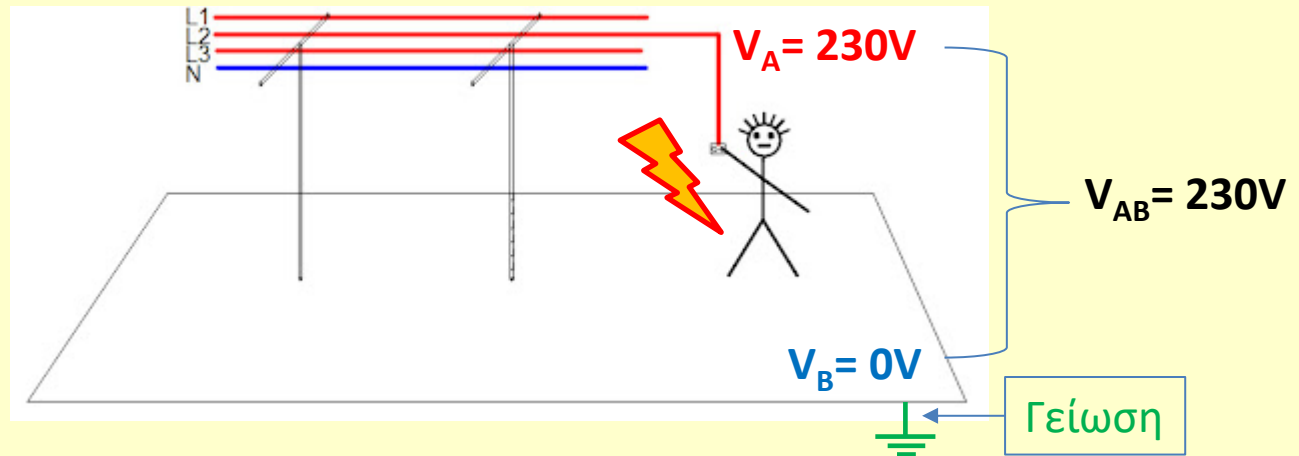


Ισοδυναμικές επιφάνειες σημειακού φορτίου

Συμπεράσματα για το «Δυναμικό» και την «Διαφορά Δυναμικού»



- Στις πρακτικές εφαρμογές δεν χρησιμοποιούνται οι απόλυτες τιμές του δυναμικού, αλλά οι διαφορές δυναμικού.
- Το δυναμικό της Γης ορίζεται μηδέν (0) βολτ.
- Αν ένα σημείο ή ένας αγωγός έχει δυναμικό μεγαλύτερο από αυτό της γής, τότε το δυναμικό του είναι **θετικό**. Αν έχει μικρότερο, τότε είναι **αρνητικό**.



Σχέση μεταξύ διαφοράς δυναμικού και έντασης ηλεκτρικού πεδίου

Ας υποθέσουμε ότι έχουμε δύο επίπεδες παράλληλες μεταλλικές πλάκες που έχουν ίσα και αντίθετα ηλεκτρικά φορτία και βρίσκονται σε απόσταση ℓ .

Έστω ότι δοκιμαστικό φορτίο $+q$, αφήνεται αρχικά πολύ κοντά στον οπλισμό (σημείο A). Λόγω του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου, το φορτίο δέχεται δύναμη $\mathbf{F} = \mathbf{E} \cdot q$, και μετακινείται μέχρι τον οπλισμό (σημείο B). Κατά τη μετακίνηση, η δύναμη του πεδίου παράγει έργο:

$$W_{AB} = F \cdot \ell \quad \text{ή} \quad W_{AB} = E \cdot q \cdot \ell \quad (1)$$

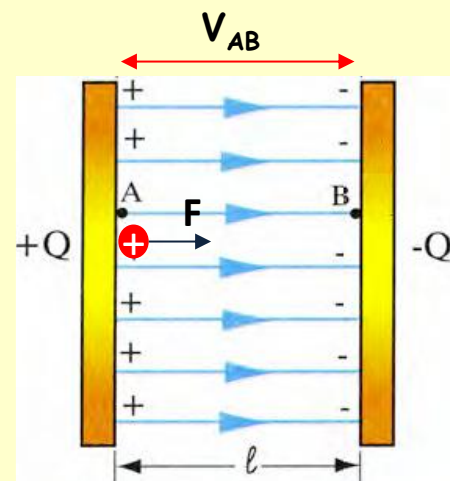
Το έργο αυτό μπορεί να υπολογιστεί και από τη σχέση:

$$W_{AB} = q \cdot V_{AB} \quad (2)$$

Συνδυάζοντας τις σχέσεις (1), (2) έχουμε:

$$\cancel{q} \cdot V_{AB} = E \cdot \cancel{q} \cdot \ell \Rightarrow V_{AB} = E \cdot \ell \quad \text{ή} \quad E = \frac{V_{AB}}{\ell}$$

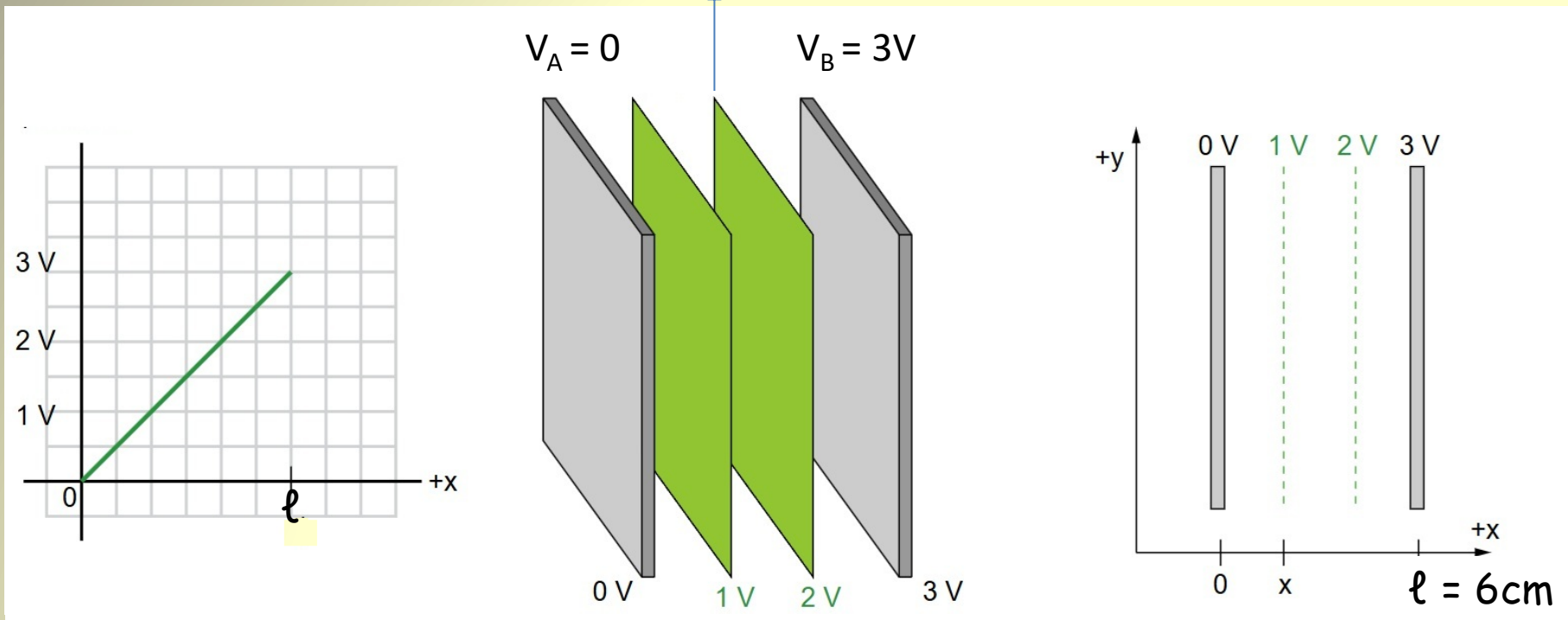
Από την παραπάνω σχέση προκύπτει για την ένταση E μονάδα μέτρησης $1 \frac{V}{m}$ (βολτ ανά μέτρο). Η μονάδα αυτή είναι ισοδύναμη με την μονάδα $1 \frac{N}{C}$ (νιούτον ανα κουλόμπ).



Σχέση μεταξύ διαφοράς δυναμικού και έντασης ηλεκτρικού πεδίου

Παράδειγμα:

Ισοδυναμικές επιφάνειες

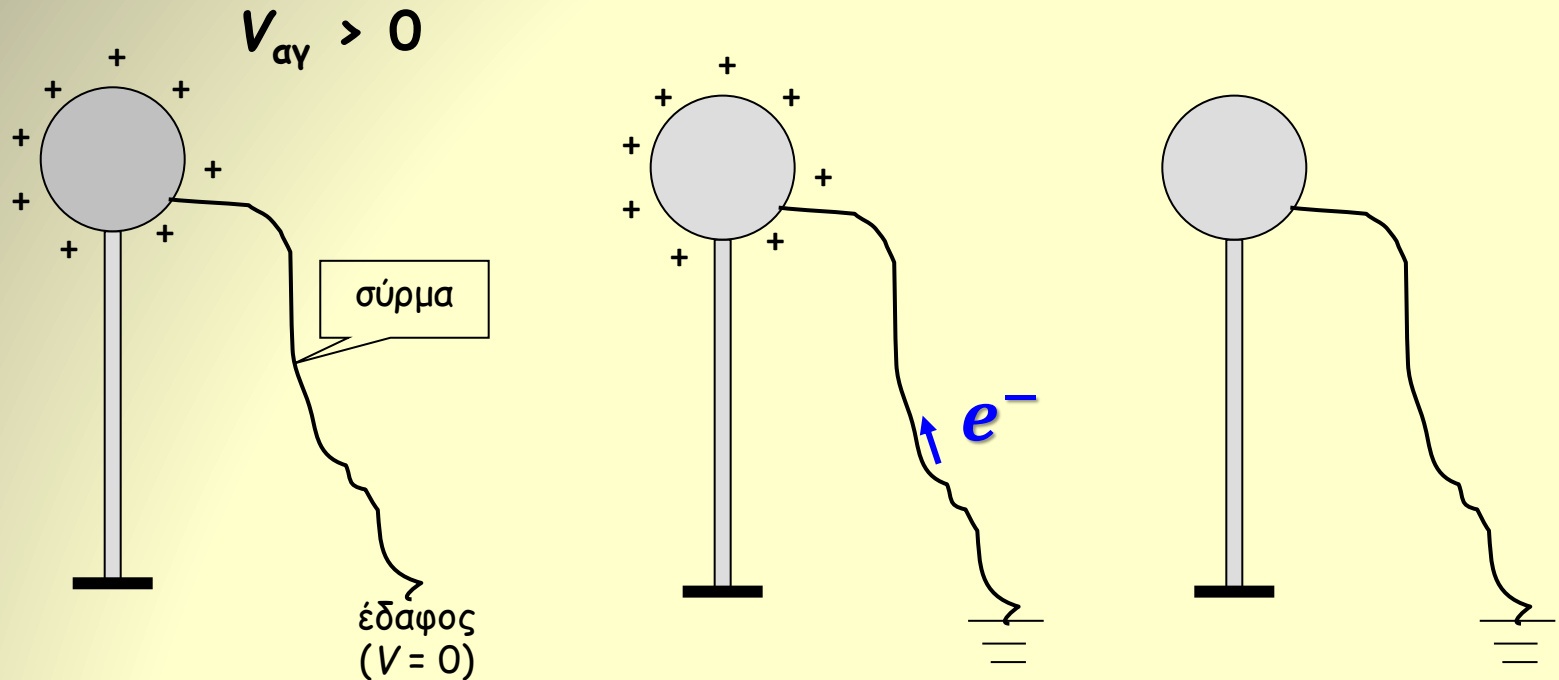


Υπολογισμός της έντασης του ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου:

$$E = \frac{V_{AB}}{\ell} = \frac{3}{0,06} = 50 \frac{V}{m}$$

Εφαρμογή

Θετικά φορτισμένος σφαιρικός αγωγός συνδέεται με τη γη (γείωση), με τη βοήθεια σύρματος. Εξηγήστε, γιατί θα εκφορτιστεί ο αγωγός.



- Το δυναμικό της γης χαμηλότερο από αυτό της σφαίρας.
- Ηλεκτρόνια από το έδαφος κινούνται αυθόρμητα προς τον αγωγό.
- Η κίνηση σταματά όταν το δυναμικό του αγωγού γίνει ίσο με αυτό του εδάφους, δηλαδή μηδέν. Ο αγωγός έχει εκφορτιστεί.

Ηλεκτρικό Πεδίο

Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια

και

Δυναμικό - Διαφορά Δυναμικού.

Ερωτήσεις και Ασκήσεις

1. Σημειακό φορτίο Q δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο. Σε απόσταση r απ' αυτό το δυναμικό του πεδίου έχει μέτρο V . Σε διπλάσια απόσταση το μέτρο του δυναμικού του πεδίου θα είναι

- α. 0. β. $\frac{V}{2}$. γ. V . δ. $2V$.

2. Αν το δυναμικό σ' ένα σημείο Α ηλεκτρικού πεδίου είναι $V_A = 12V$ και σε κάποιο άλλο σημείο Β είναι $V_B = 6V$, τότε ένα ηλεκτρόνιο

- α. θα κινηθεί από το Α στο Β αυθόρμητα.
β. θα κινηθεί από το Α στο Β με την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου.
γ. θα κινηθεί αυθόρμητα από το Β στο Α.
δ. δεν μπορούμε να προβλέψουμε πώς θα κινηθεί.

3. Έστω A και B δύο σημεία ενός ηλεκτρικού πεδίου, που έχουν δυναμικό $V_A = 20V$ και $V_B = -10V$, αντίστοιχα. Σε ποιο από τα δύο σημεία πρέπει να τοποθετήσουμε:

i) ένα ηλεκτρόνιο,

ii) ένα πρωτόνιο,

ώστε αυτό να κινηθεί αυθόρμητα, με την επίδραση του πεδίου, προς το άλλο σημείο; Το ηλεκτρόνιο στο σημείο B και το πρωτόνιο στο σημείο A

4. Έστω A και B δύο σημεία ενός ηλεκτρικού πεδίου, που έχουν δυναμικό $V_A = 12V$ και $V_B = -8V$, αντίστοιχα. Η διαφορά δυναμικού V_{AB} μεταξύ των δύο σημείων θα είναι:

α. 12 V.

β. -8 V.

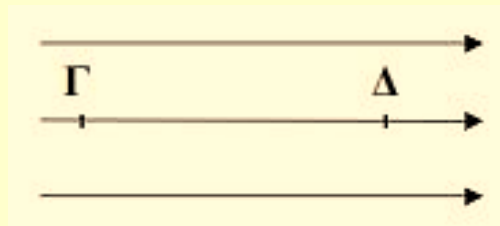
γ. -20 V.

δ. 20 V.

5. Το δυναμικό ενός ηλεκτροστατικού πεδίου σ' ένα σημείο A είναι 3V και σ' ένα άλλο σημείο B είναι 21V. Η διαφορά δυναμικού V_{AB} είναι ίση με

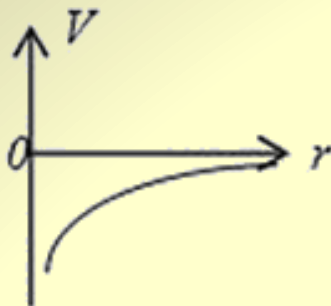
- α. - 18 V. β. 18 V. γ. - 24 V. δ. 24 V.

6. Για το ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο του σχήματος



- α. $V_{\Gamma} - V_{\Delta} = 0$.
β. $V_{\Gamma} - V_{\Delta} < 0$.
γ. $V_{\Gamma} - V_{\Delta} > 0$.
δ. το πρόσημο της διαφοράς $V_{\Gamma} - V_{\Delta}$ εξαρτάται από το πρόσημο του φορτίου που μετακινείται από το σημείο Γ στο σημείο Δ.

7.



Ένα ακίνητο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο Q , δημιουργεί γύρω του ηλεκτροστατικό πεδίο. Στο παραπάνω διάγραμμα φαίνεται πως μεταβάλλεται το δυναμικό του πεδίου σε συνάρτηση με την απόσταση r από το φορτίο Q . Δύο σημεία A και B αυτού του πεδίου απέχουν αποστάσεις r_A και r_B αντίστοιχα από το φορτίο Q και για τις αποστάσεις αυτές ισχύει ότι $r_B > r_A$. Αν V_A , V_B τα δυναμικά του ηλεκτροστατικού πεδίου στα σημεία A και B, ισχύει:

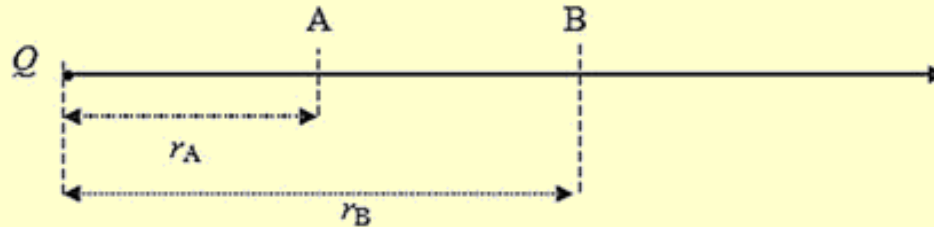
α. $V_A > V_B$.

β. $V_B = V_A$.

γ. $V_B > V_A$.

δ. Το μέτρο V_B είναι μεγαλύτερο από το μέτρο V_A .

8. Ένα ακίνητο αρνητικό σημειακό ηλεκτρικό φορτίο Q δημιουργεί γύρω του ηλεκτροστατικό πεδίο. Δύο σημεία A και B του ηλεκτροστατικού πεδίου βρίσκονται πάνω στην ίδια ηλεκτρική δυναμική γραμμή όπως φαίνεται στο παρακάτω σχήμα και απέχουν από το ηλεκτρικό φορτίο Q αποστάσεις r_A και r_B αντίστοιχα. Η απόσταση r_B είναι διπλάσια της απόστασης r_A .



Αν το δυναμικό του ηλεκτροστατικού πεδίου στο σημείο A είναι $V_A = -18V$, το δυναμικό του ηλεκτροστατικού πεδίου στο σημείο B είναι:

α. $V_B = 9V$.

β. $V_B = -9V$.

γ. $V_B = -2V$.

δ. $V_B = -3V$.

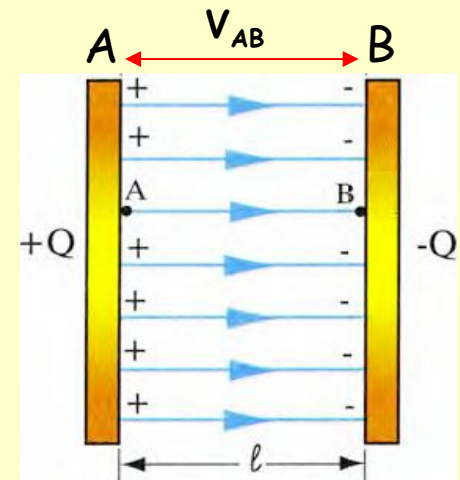
9. Μεταξύ δύο παράλληλων πλακών που απέχουν μεταξύ τους απόσταση $\ell = 1\text{cm}$ επικρατεί τάση $V_{AB} = 5.000\text{V}$. Ποια είναι η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των πλακών; Πόσο έργο πρέπει να δαπανήσουμε για να μεταφέρουμε ένα θετικό φορτίο $q = 5\text{mC}$ από την αρνητικά φορτισμένη πλάκα στην θετικά φορτισμένη πλάκα;

ΛΥΣΗ:

$$|AB| = \ell$$

$$E = \frac{V_{AB}}{\ell} = \frac{5000}{0,01} = 5 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$W_{BA} = q \cdot V_{BA} = -q \cdot V_{AB} = -5 \cdot 10^{-3} \cdot 5 \cdot 10^3 = -25\text{J}$$



Το θετικό φορτίο δεν μπορεί να κινηθεί «αυθόρμητα» προς την θετική πλάκα. Θα πρέπει δηλαδή να του ασκήσουμε εξωτερική δύναμη αντίθετη με την ηλεκτρική δύναμη που του ασκεί το πεδίο. Επομένως, θα πρέπει να δαπανήσουμε έργο 25J. (Γι' αυτό το έργο που υπολογίσαμε έχει αρνητικό πρόσημο).