
Φυσική Β Λυκείου, Γενικής Παιδείας

1ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ: "ΘΕΩΡΙΑ"

1 Ηλεκτρικό φορτίο - Δομή της Ύλης

Το ηλεκτρικό φορτίο (q ή Q) είναι μια από τις βασικές ιδιότητες της ύλης, ιστορικά αποδόθηκε στην ικανότητα κάποιων σωμάτων να ηλεκτρίζονται. Το ηλεκτρικό φορτίο διακρίνεται σε θετικό και αρνητικό και η μονάδα μέτρησης του στο S.I. είναι το 1 C (Coulomb).

Για να κατανοήσουμε την έννοια του θετικού και αρνητικού φορτίου πρέπει να έχουμε κατανοήσει την **δομή της ύλης**. Σύμφωνα με το **Πλανητικό μοντέλο του ατόμου** το άτομο αποτελείται από ένα θετικά φορτισμένο πυρήνα που αποτελείται από πρωτόνια και νετρόνια και ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα σε καθορισμένες τροχιές. Τα πρωτόνια είναι θετικά φορτισμένα και τα ηλεκτρόνια αρνητικά φορτισμένα σωματίδια. Το φορτίο τους είναι ίσο με το **στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο**:

$$|q_e| = e = 1,6 \cdot 10^{-19} C$$

Η ποσότητα αυτή είναι η μικρότερη ποσότητα ηλεκτρικού φορτίου που εμφανίζεται ελεύθερη στην φύση. Τα νετρόνια είναι ηλεκτρικά ουδέτερα σωματίδια.

Ένα άτομο είναι **ηλεκτρικά ουδέτερο** ($q_{ολ} = 0$) γιατί ο αριθμός των ηλεκτρονίων είναι ίσος με τον αριθμό των πρωτονίων του πυρήνα (ατομικός αριθμός). Η ύλη αποτελείται από άτομα και γενικά είναι ηλεκτρικά ουδέτερη. Ο αριθμός των ηλεκτρονίων του ατόμου μπορεί μέσα από διάφορες διαδικασίες (π.χ. τριβή, επαγωγή, επαφή) να αλλάξει. Αύξηση των ηλεκτρονίων σε ένα άτομο έχουν ως συμπέρασμα την φόρτιση του με αρνητικό πρόσημο.

Μείωση των ηλεκτρονίων στο άτομο έχει σαν συμπέρασμα την φόρτιση του με θετικό πρόσημο. Τα φορτισμένα άτομα ονομάζονται ιόντα. Βέβαια τα ηλεκτρόνια που αποσπώνται από ένα άτομο πηγαίνουν σε ένα άλλο γιατί το φορτίο δεν δημιουργείται από το πουθενά και δεν εξαφανίζεται. **Το συνολικό φορτίο παραμένει σταθερό.** Για να υπολογίσουμε το φορτίο ενός σώματος αρκεί να γνωρίζουμε τον αριθμό **N** των επιπλέον(πλεόνασμα) ή των λιγότερων(έλλειμμα) ηλεκτρονίων. Το φορτίο θα είναι ίσο με:

$$q = N \cdot |q_e| \quad (1)$$

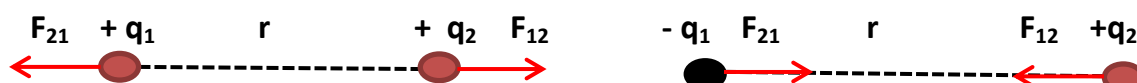
Από τον παραπάνω ορισμό θα πρέπει να είναι σαφές ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι **Κβαντισμένη ποσότητα** γιατί μπορεί να πάρει τιμές που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.

2 Ηλεκτρική Δύναμη Coulomb

Από τις βασικότερες δυνάμεις στην Φύση είναι εκείνη που ασκείται ανάμεσα σε δύο φορτισμένα σωματίδια. Η δύναμη αυτή είναι η "κόλλα" που συγκρατεί τον πυρήνα και τα ηλεκτρόνια του ατόμου, τα άτομα των μορίων κλπ. **Η δύναμη που ασκεί κάθε σημειακό φορτίο σε ένα άλλο ονομάζεται Δύναμη Coulomb.**

Νόμος του Coulomb

Πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι όταν δύο σημειακά φορτία q_1 και q_2 βρίσκονται ακίνητα σε μια απόσταση r μεταξύ τους τότε ασκεί δύναμη το ένα στο άλλο η οποία έχει:



- **Διεύθυνση** πάνω στην ευθεία ενώνει τα δύο φορτία.
- **Φορά** που εξαρτάται από το είδος των φορτίων. Ελκτική για ετερόσημα φορτία και Απωστική για ομόσημα φορτία.

- **Μέτρο** που είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογη της μεταξύ τους απόστασης:

$$F = k_c \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} \quad (2)$$

Όπου $k_c = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$ η παγκόσμια σταθερά του Coulomb. Η σταθερά του Coulomb εξαρτάται από το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα φορτία. Η παραπάνω τιμή είναι υπολογισμένη για το κενό ή τον αέρα.

Στην παραπάνω σχέση τα φορτία q_1, q_2 μετρώνται σε μονάδες C (**υποποληλαπλάσια**: $1nC = 10^{-9} C$, $1\mu C = 10^{-6} C$, $1mC = 10^{-3} C$). Επίσης η απόσταση r μετριέται σε m (**υποποληλαπλάσια**: $1cm = 10^{-2} m$, $1mm = 10^{-3} m$).

Παρατηρήσεις

- Ο Νόμος του Coulomb ακολουθεί το “**Νόμο αντιστρόφου τετραγώνου**” (όπως και ο νομος της παγκόσμιας έλξης). Δηλαδή η δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της απόστασης. Ο **Νόμος της Παγκόσμιας Έλξης** έχει παρόμοια μορφή με τον Νόμο του Coulomb.

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

ο νόμος της παγκόσμιας έλξης περιγράφει την ελκτική βαρυτική έλξη που ασκείται ανάμεσα σε δύο σώματα m_1, m_2 που απέχουν απόσταση r μεταξύ τους. Το G είναι η παγκόσμια σταθερά του Νεύτωνα. Η βαρυτική δύναμη κυριαρχεί στα ουράνια σώματα, ενώ η δύναμη του Coulomb σε υποατομικά σωματίδια.

- Οι δυνάμεις Coulomb υπακούουν την Αρχή “**Δράσης - Αντίδρασης**”. Επομένως οι δυνάμεις που ασκούνται ανάμεσα στα δυο φορτία είναι αντίθετες.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

- Η δύναμη Coulomb ασκείται ανάμεσα σε ένα ζευγάρι φορτίων. Σε σύστημα πολλών φορτίων οι δυνάμεις ασκούνται σε κάθε ζευγάρι φορτίων.

3 Το ηλεκτρικό πεδίο

Η έννοια των “Πεδίων Δυνάμεων”

Στην φύση υπάρχουν δύο μεγάλες κατηγορίες δυνάμεων, **οι δυνάμεις από επαφή** (π.χ. Τριβή) και **οι δυνάμεις από απόσταση** (π.χ. Δύναμη Coulomb). Οι δυνάμεις από απόσταση εμπεριέχουν ένα “μυστήριο” στην ερμηνεία τους, καθώς η καθημερινή μας σχολική εμπειρία εμφανίζει την δύναμη ως κάτι άμεσο που σχετίζεται με την επαφή. Άρα η ερώτηση που πρέπει να απαντηθεί είναι: *Γιατί δύο σώματα αλληλεπιδρούν χωρίς να βρίσκονται σε επαφή;* Η απάντηση στο ερώτημα είναι η χρήση του “**Πεδίου Δυνάμεων**”.

Η ιδιότητα του χώρου στην οποία οφείλτε η άσκηση δύναμης σε ένα κατάλληλο υπόθεμα, όταν αυτό βρεθεί μέσα στον παραπάνω χώρο, είναι ένα Πεδίο. Για παράδειγμα όταν ένα σώμα βρεθεί πάνω από την επιφάνεια της γης πέφτει εξαιτίας του **Βαρυτικού πεδίου** της γης. Κάθε ουράνιο σώμα δημιουργεί γύρω του ένα **βαρυτικό πεδίο**. Άλλο παράδειγμα είναι η μαγνητική δύναμη που ασκείτε σε ένα σιδερένιο αντικείμενο, όταν αυτό βρεθεί μέσα στο μαγνητικό πεδίο ενός μαγνήτη. Η αιτία της ελκτικής ή απωστικής δύναμης Coulomb πάνω σε ένα ηλεκτρικό φορτίο είναι το **Ηλεκτρικό πεδίο**.

Ηλεκτρικό Πεδίο

Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζουμε τον χώρο μέσα στον οποίο, όταν βρεθεί ηλεκτρικό φορτίο δέχεται ηλεκτρική δύναμη

Για να αποδείξουμε την ύπαρξη ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο, τοποθετούμε στο σημείο αυτό ένα σημειακό φορτίο q που το ονομάζουμε **δοκιμαστικό φορτίο** (ή υπόθεμα). Αν το δοκιμαστικό φορτίο δεχθεί ηλεκτρική δύναμη, τότε το σημείο αυτό είναι **ο ηλεκτρικού πεδίου**.

Ένα ακίνητο σημειακό φορτίο **φορτίο πηγή**) δημιουργεί στον χώρο γύρω του ένα **Ηλεκτροστατικό Πεδίο Coulomb**. Το ηλεκτροστατικό πεδίο υπάρχει ανεξάρτητα από την ύπαρξη του δοκιμαστικού φορτίου.

Η ένταση του Ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο

Ένταση $\vec{E}$ του πεδίου σε ένα σημείο (Σ) ονομάζουμε το διανυσματικό μέγεθος που ορίζεται από το πηλίκον της ηλεκτρικής δύναμης ($\vec{F}$) που θα ασκηθεί σε ένα δοκιμαστικό φορτίο q όταν αυτό τοποθετηθεί στο σημείο (Σ) προς το φορτίο αυτό.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad (3)$$

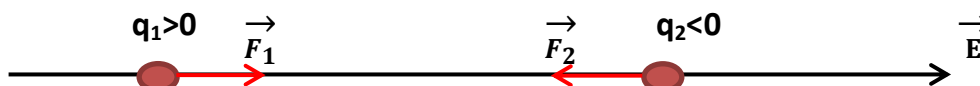
Μονάδα Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου είναι το $1 \frac{N}{C}$. Όταν τοποθετήσουμε ένα φορτίο $1 C$ σε ηλεκτρικό πεδίο έντασης $1 C$ θα του ασκηθεί δύναμη $1 N$.

Παρατηρήσεις:

- Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου **δεν εξαρτάται** ούτε από την Ηλεκτρική Δύναμη, ούτε από το δοκιμαστικό φορτίο. Μην σας ξεγελάει ο ορισμός! Η ένταση αναφέρεται σε ένα σημείο του χώρου και υπάρχει ανεξάρτητα από την ύπαρξη δοκιμαστικού φορτίου.
- Η ηλεκτρική δύναμη που θα ασκηθεί στο δοκιμαστικό φορτίο εξαρτάτε τόσο από το μέγεθος της Έντασης, όσο και από την ποσότητα και το είδος του φορτίου. **Άλλωστε η δύναμη δίνεται από την σχέση:**

$$\vec{F} = q \cdot \vec{E} \quad (4)$$

Σύμφωνα με την παραπάνω σχέση η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται στο δοκιμαστικό φορτίο έχει πάντα την ίδια διεύθυνση με το διάνυσμα της Έντασης του πεδίου και φορά που καθορίζεται από το πρόσημο του φορτίου. Όταν $q > 0$ η δύναμη είναι ομόρροπη με την Ένταση και όταν



$q < 0$ η δύναμη είναι αντίρροπη της έντασης.

- Η ένταση του Ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο εκφράζει το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται σε αυτό το σημείο ανά μονάδα φορτίου.

Το Ηλεκτροστατικό Πεδίο Coulomb

Έστω ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q , το ηλεκτροστατικό πεδίο που δημιουργεί στο χώρο γύρω του είναι ένα διάνυσμα με:

- **ακτινική διεύθυνση** που ξεκινά από το φορτίο και κατευθύνετε προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου,
- **φφορά** από το φορτίο προς τα έξω, όταν αυτό είναι θετικό και από έξω προς το φορτίο, όταν αυτό είναι αρνητικό,



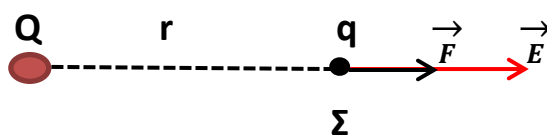
- **μέτρο** σε ένα σημείο (Σ) ανάλογο του φορτίου Q και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης r του σημείου από το φορτίο.

$$E = k_c \frac{|Q|}{r^2} \quad (5)$$

όπου βέβαια k_c η σταθερά του *Coulomb*.

Με βάση τον ορισμό της Δύναμης Coulomb 2 και τον ορισμό της Έντασης Ηλεκτρικού πεδίου 3 εύκολα μπορεί να προκύψει η 5.

Ας υποθέσουμε ένα φορτίο πηγή Q και ένα δοκιμαστικό φορτίο q σε μια απόσταση r μεταξύ τους:

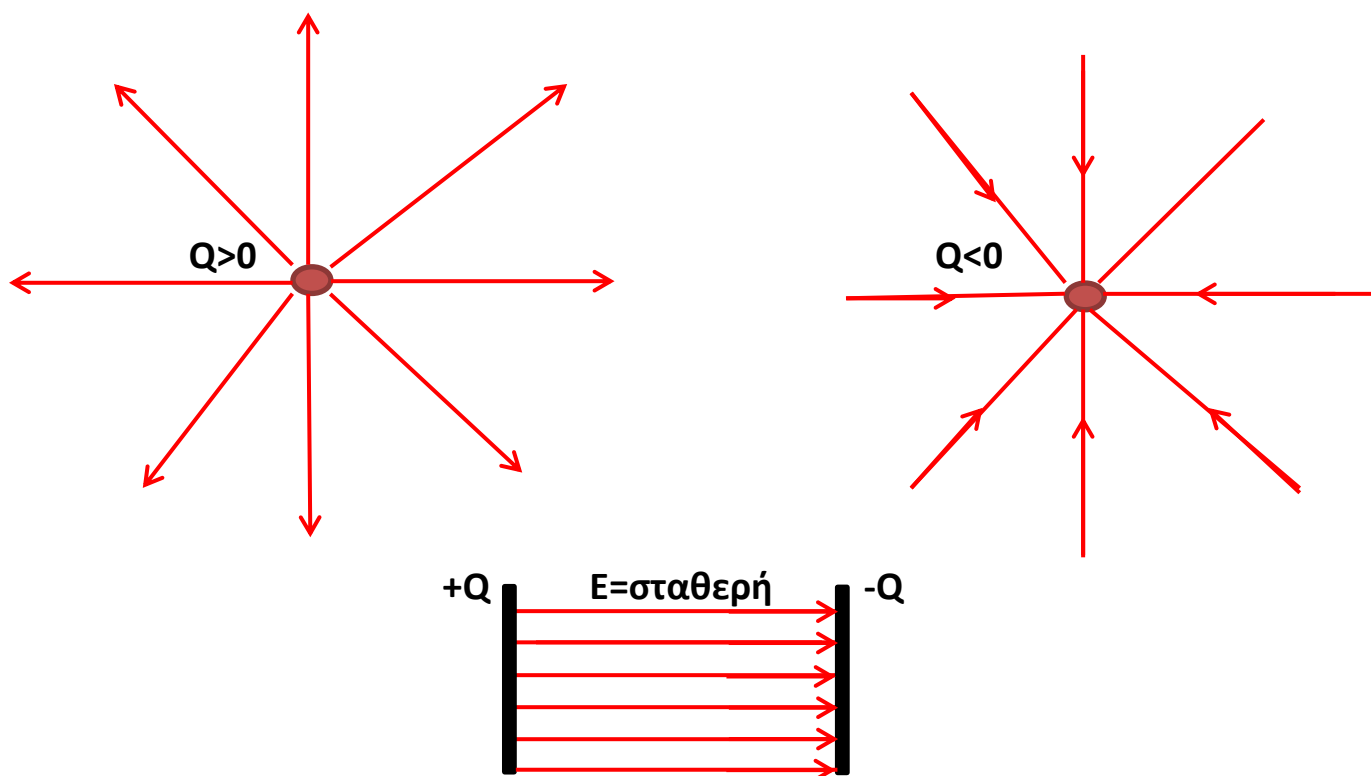


$$E = \frac{F}{|q|} = \frac{k_c \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow E = k_c \frac{|Q|}{r^2}$$

Δυναμικές γραμμές

Οι δυναμικές γραμμές είναι ένας τρόπος αναπαράστασης των πεδίων. Είναι νοητές γραμμές που μας βοηθούν να έχουμε μια αντίληψη για την μορφή του πεδίου που μελετάμε.

Δυναμική γραμμή λέμε μια φανταστική γραμμή μέσα στο ηλεκτρικό πεδίο που σχεδιάζεται έτσι, ώστε σε κάθε σημείο της το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου να είναι εφαπτόμενο σε αυτήν.



Ιδιότητες των δυναμικών γραμμών

- Το διάνυσμα της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου ($\vec{E}$) σε κάθε σημείο είναι εφαπτόμενο στη δυναμική γραμμή που διέρχεται από το σημείο αυτό.
- Οι δυναμικές γραμμές ξεκινούν από θετικά φορτία και καταλήγουν σε αρνητικά φορτία. (δηλαδή είναι ανοικτές γραμμές)

- Η πυκνότητα των δυναμικών γραμμών είναι ανάλογη του μέτρου της έντασης του πεδίου. Πυκνές περιοχές των δυναμικών γραμμών είναι περιοχές μεγάλης Έντασης και αραιές περιοχές των δυναμικών γραμμών είναι περιοχές μικρής έντασης.
- Οι δυναμικές γραμμές ενός πεδίου δεν τέμνονται. Από κάθε σημείο του χώρου διέρχεται μόνο μια δυναμική γραμμή, γιατί υπάρχει μόνο μια τιμή της έντασης σε κάθε σημείο.
- Όταν οι δυναμικές γραμμές είναι παράλληλες και ισαπέχουσες τότε το Ηλεκτρικό πεδίο είναι **Ομογενές** και έχει παντού την ίδια ένταση.

4 Δυναμική Ενέργεια - Δυναμικό - Διαφορά Δυναμικού

Όταν τοποθετήσουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο σε ένα σημείο ενός Ηλεκτροστατικού πεδίου, αυτό θα δεχτεί ηλεκτρική δύναμη και θα μετακινηθεί κινούμενο πάνω στην δυναμική γραμμή. Όπως γνωρίζουμε από την Φυσική της Α Λυκείου, όταν μια δύναμη μετακινεί το σημείο εφαρμογής της παράγει ή καταναλώνει έργο. Η ηλεκτρική δύναμη (όπως και η βαρυτική) είναι μια **συντηρητική δύναμη**, έτσι το έργο της είναι ανεξάρτητο της διαδρομής που το φορτίο θα ακολουθήσει. Εξαρτάται μόνο από την αρχική και την τελική θέση. Συγκεκριμένα για κάθε συντηρητική δύναμη το έργο σχετίζεται με την μεταβολή της δυναμικής ενέργειας. Στην περίπτωση της ηλεκτρικής δύναμης το έργο της ισούται με:

$$W_{F_{\eta\lambda}} = -\Delta U_{\eta\lambda} = U_{\eta\lambda(\alpha\rho\chi)} - U_{\eta\lambda(\tau\epsilon\lambda)} \quad (6)$$

όπου βέβαια $U_{\eta\lambda}$ είναι η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.

Αξίζει να θυμηθούμε ότι για στην Α Λυκείου μάθαμε ότι το έργο του βάρους δίνεται από την μεταβολή της Βαρυτικής δυναμικής ενέργειας $W_B = -\Delta U_B$

Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια

Έστω ένα ακίνητο σημειακό φορτίο Q οποίο δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb. Όταν ένα δοκιμαστικό φορτίο q βρεθεί σε ένα σημείο Σ του ηλεκτρικού πεδίου και σε απόσταση r από αυτό δέχεται δύναμη Coulomb. Αποδεικνύεται ότι το έργο της δύναμης κατά την μετακίνηση

του δοκιμαστικού φορτίου από την θέση Σ μέχρι το άπειρο υπολογίζεται από την σχέση :

$$W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty} = k_c \frac{Q \cdot q}{r} \quad (7)$$

Το έργο της δύναμης κατά την παραπάνω μετακίνηση ισούται με το αντίθετο της μεταβολής της Ηλεκτρικής δυναμικής Ενέργειας του συστήματος των δύο φορτίων. Δηλαδή :

$$W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty} = -\Delta U_{\eta\lambda} = U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)} - U_{\eta\lambda}^{(\infty)}$$

Όταν τα φορτία βρίσκονται σε άπειρη απόσταση μεταξύ τους δεν αλληλεπιδρούν, οπότε $U_{\eta\lambda}^{(\infty)} = 0$. Άρα για να υπολογίσουμε την ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα σύστημα αλληλεπιδρόντων ηλεκτρικών φορτίων :

$$W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty} = U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)} = k_c \frac{Q \cdot q}{r}$$

Τα φορτία στην παραπάνω σχέση αντικαθιστώνται με το πρόσημο της. Άρα η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια μπορεί να είναι θετική (για ομόσημα φορτία) ή αρνητική (για ετερόσημα φορτία).

- $W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty} = U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)} > 0$: Τα **ομόσημα φορτία** απωθούνται μεταξύ τους, άρα το έργο της δύναμης είναι θετικό (παραγόμενο). Τα φορτία πηγαίνουν μόνα τους σε άπειρη απόσταση.
- $W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty} = U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)} < 0$: Τα **ετερόσημα φορτία** έλκονται μεταξύ τους, άρα το έργο της δύναμης είναι αρνητικό (παραγόμενο). Για να φέρουμε τα φορτία σε άπειρη απόσταση μεταξύ τους πρέπει να καταναλώσουμε ενέργεια.

Το ηλεκτρικό Δυναμικό

Δυναμικό σε ένα σημείο (Σ) ενός ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb ονομάζεται το μονόμετρο φυσικό μέγεθος που ισούται με το πηλίκο της δυναμικής ηλεκτρικής ενέργειας ενός σημειακού φορτίου q το οποίο βρίσκεται στο σημείο (Σ) του πεδίου προς το φορτίο.

$$V_{\Sigma} = \frac{U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)}}{q} = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty}}{q} \quad (8)$$

Η μονάδα μέτρησης του δυναμικού στο S.I. είναι το 1 V(Volt), το οποίο ορίζεται ως: $1V = \frac{1J}{1C}$.

Το δυναμικό εκφράζει ενέργεια ανά μονάδα φορτίου. Όταν λέμε ότι το δυναμικό είναι +5V σε ένα σημείο, σημαίνει ότι όταν τοποθετήσουμε ένα φορτίο 1C σε αυτό το σημείο θα αποκτήσει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια ίση με 5 J. Επίσης το έργο της δύναμης κατά την μετακίνηση του φορτίου από το σημείο αυτό στο άπειρο ισούται με 5 J.

Δυναμικό σε σημείο ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb

Το δυναμικό σε ένα σημείο (Σ) ενός ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb που απέχει απόσταση r από το φορτίο πηγή Q θα δίνεται από την σχέση:

$$V_{\Sigma} = k_c \frac{Q}{r} \quad (9)$$

Με βάση τον ορισμό του Ηλεκτρικού Δυναμικού 8 και την σχέση για την Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια 8 μπορούμε να αποδείξουμε την 9

$$V_{\Sigma} = \frac{U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)}}{q} = \frac{k_c \frac{Q \cdot q}{r}}{q} = k_c \frac{Q}{r}$$

Διαφορά Δυναμικού

Διαφορά δυναμικού μεταξύ δύο σημείων (Α) και (Γ) ενός ηλεκτρικού πεδίου ονομάζεται το πηλίκο του έργου της δύναμης για την μετακίνηση ενός δοκιμαστικού φορτίου από την θέση (Α) στην θέση (Γ) προς το φορτίο αυτό. Δηλαδή:

$$V_{A\Gamma} = V_A - V_{\Gamma} = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma}}{q} \quad (10)$$

- Στην περίπτωση του Ηλεκτροστατικού πεδίου Coulomb η διαφορά δυναμικού υπολογίζεται από την σχέση:

$$V_A - V_{\Gamma} = k_c Q \left(\frac{1}{r_A} - \frac{1}{r_{\Gamma}} \right)$$

όπου βέβαια r_A και r_{Γ} οι αποστάσεις των δύο σημείων από το φορτίο πηγή Q.

- Από την σχέση ορισμού της διαφοράς δυναμικού μπορούμε εύκολα να υπολογίσουμε το έργο κατά την μετακίνηση του δοκιμαστικού φορτίου q από το σημείο (Α) στο σημείο (Γ).

$$W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma} = q(V_A - V_\Gamma) \quad (11)$$

Όταν το μετακινούμενο δοκιμαστικό φορτίο q είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο e και η διαφορά δυναμικού το 1 V , τότε το έργο κατά την μετακίνηση είναι $W = 1e \cdot 1V = 1eV = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$. Το eV είναι μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται στην ατομική και πυρηνική φυσική. Ο λόγος είναι προφανής, αφού το J είναι τεράστια ενέργεια για τα φαινόμενα του μικρόκοσμου.

Δυναμική Ενέργεια	Ορισμός: $U_\Sigma = q \cdot W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty}$ Τύπος: $U = k_c \frac{Q \cdot q}{r}$ (ισχύει μόνο για σύστημα δυο σημειακών φορτισμένων σωματιδίων)
Δυναμικό	Ορισμός: $V_\Sigma = \frac{U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)}}{q} = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty}}{q}$
Διαφορά δυναμικού	$V_{A\Gamma} = V_A - V_\Gamma = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma}}{q}$
Έργο Δύναμης πεδίου:	$W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma} = q(V_A - V_\Gamma)$