

---

# Φυσική Β Λυκείου, Γενικής Παιδείας

## 4ο Φυλλάδιο - Ηλεκτροστατική

Επιμέλεια: Μιχάλης Ε. Καραδημητρίου, MSc Φυσικός

<http://www.perifysikhs.com>

---

### 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 :

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

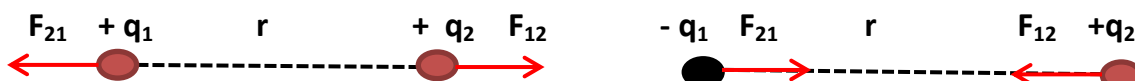
Από τον παραπάνω ορισμό θα πρέπει να είναι σαφές ότι το ηλεκτρικό φορτίο είναι **Κβαντισμένη ποσότητα** γιατί μπορεί να πάρει τιμές που είναι ακέραιο πολλαπλάσιο του στοιχειώδους ηλεκτρικού φορτίου.

## 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 που 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 ανάλογο 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 ( **υποποηλιαπλσία**:  $1nC = 10^{-9} C$ ,  $1\mu C = 10^{-6} C$ ,  $1mC = 10^{-3} C$ ). Επίσης η απόσταση  $r$  μετριέται σε m ( **υποποηλιαπλσία**:  $1cm = 10^{-2} m$ ,  $1mm = 10^{-3} m$ ).

### Παρατηρήσεις

- Ο Νόμος του Coulomb ακολουθεί το **“Νόμο αντιστρόφου τετραγώνου”** (όπως και ο νομος της παγκόσμιας έλξης). Δηλαδή η δύναμη είναι αντιστρόφως ανάλογο 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 στην 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 σημείο ηλεκτρικού πεδίου.

Ένα ακίνητο σημειακό φορτίο  $Q$  (**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 ( $\Sigma$ ) 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 ( $\Sigma$ ) προς το φορτίο αυτό.

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

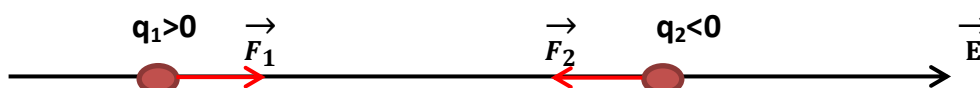
Μονάδα Έντασης του Ηλεκτρικού πεδίου είναι το  $1 \frac{N}{C}$ . Όταν τοποθετήσουμε ένα φορτίο  $1 C$  σε ηλεκτρικό πεδίο έντασης  $1 C$  θα του ασκηθεί δύναμη  $1 N$ .

### 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 ομόροπη με την Ένταση και όταν



$q < 0$  η δύναμη είναι αντίροπη 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 κατευθύνεται προς όλες τις κατευθύνσεις του χώρου,
- **φορρά** από το φορτίο προς τα έξω, όταν αυτό είναι θετικό και από έξω προς το φορτίο, όταν αυτό είναι αρνητικό,



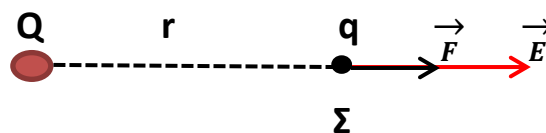
- **μέτρο** σε ένα σημείο ( $\Sigma$ ) ανάλογο του φορτίου  $Q$  και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης  $r$  του σημείου από το φορτίο.

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

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:

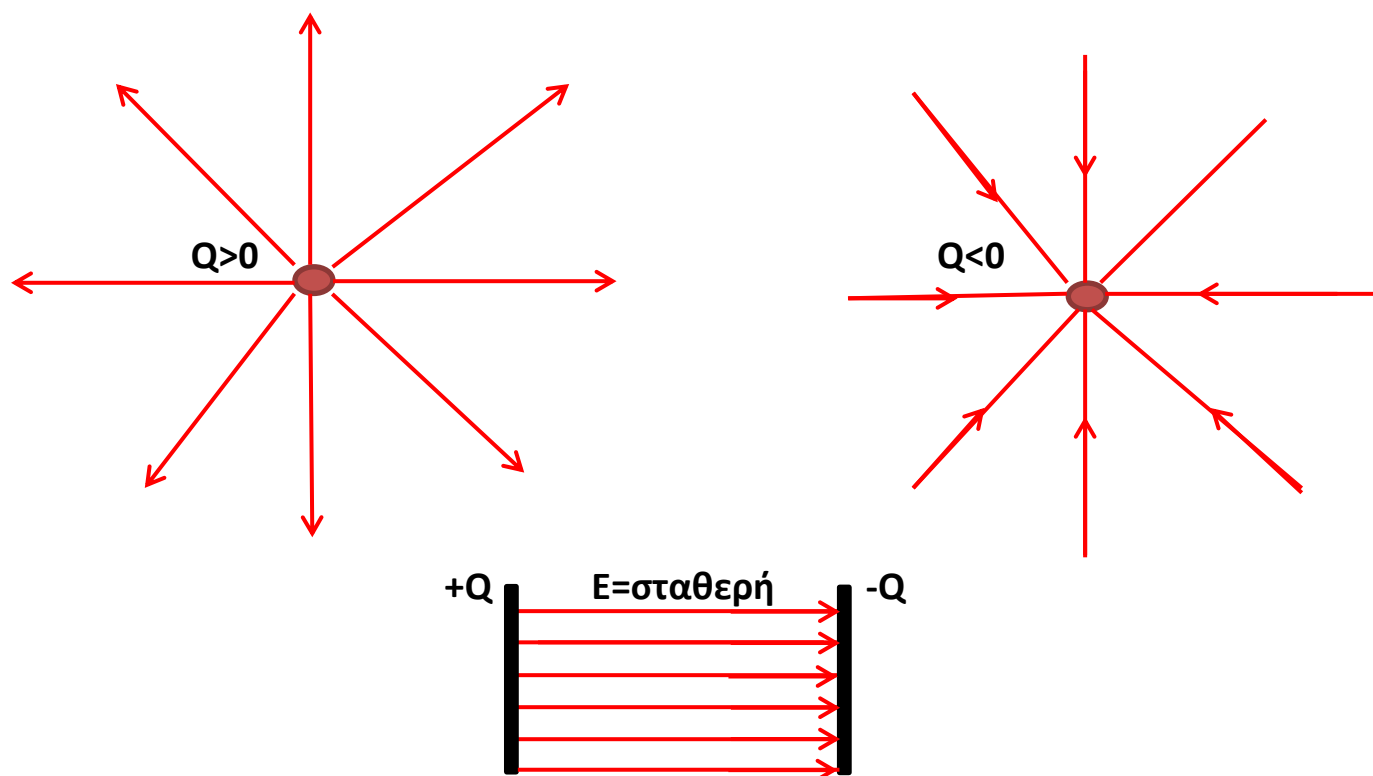


$$E = \frac{F}{|q|} = \frac{k_c \frac{|Q| \cdot |q|}{r^2}}{|q|} \Rightarrow E = k_c \frac{|Q|}{r^2}$$

## 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  $Q$  το οποίο δημιουργεί γύρω του ένα ηλεκτροστατικό πεδίο Coulomb. Όταν ένα δοκιμαστικό φορτίο  $q$  βρεθεί σε ένα σημείο  $\Sigma$  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 αυτό.

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

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  $\delta$  και την σχέση για την Ηλεκτρική Δυναμική Ενέργεια  $\delta$  μπορούμε να αποδείξουμε την  $\theta$

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

### 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  $r_{\Gamma}$  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  $1\text{ V}$ , τότε το έργο κατά την μετακίνηση είναι  $W = 1e \cdot 1\text{V} = 1\text{eV} = 1,6 \cdot 10^{-19}\text{ J}$ . Το  $\text{eV}$  είναι μονάδα ενέργειας που χρησιμοποιείται στην ατομική και πυρηνική φυσική. Ο λόγος είναι προφανής, αφού το  $\text{J}$  είναι τεράστια ενέργεια για τα φαινόμενα του μικρόκοσμου.

<b>Δυναμική Ενέργεια</b>	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)
<b>Δυναμικό</b>	Ορισμός: $V_{\Sigma} = \frac{U_{\eta\lambda}^{(\Sigma)}}{q} = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{\Sigma \rightarrow \infty}}{q}$
<b>Διαφορά δυναμικού</b>	$V_{A\Gamma} = V_A - V_{\Gamma} = \frac{W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma}}{q}$
<b>Έργο Δύναμης πεδίου:</b>	$W_{F_{\eta\lambda}}^{A \rightarrow \Gamma} = q(V_A - V_{\Gamma})$

## Πυκνωτής - Ομογενές Ηλεκτρικό πεδίο

**Ο πυκνωτής είναι μια "δεξαμενή" ηλεκτρικών φορτίων και είναι η μόνη ίσως διάταξη στην οποία μπορούμε να αποθηκεύσουμε ηλεκτρική δυναμική ενέργεια.**

Ο πυκνωτής είναι ένα σύστημα δύο αγωγών σε κοντινή απόσταση ο ένας από τον άλλο, οι οποίοι δεν συνδέονται μεταξύ τους και είναι φορτισμένοι με αντίθετα φορτία. Οι αγωγοί αυτοί λέγονται **οπλισμοί** του πυκνωτή και διαχωρίζονται μεταξύ τους συνήθως με κάποιο μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό) όπως αέρα, πλαστικό, ορυκτέλαιο κλπ. **Ο πυκνωτής είναι η μόνη συσκευή με την οποία μπορούμε να δημιουργήσουμε Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο.**

Υπάρχουν πολλοί τύποι πυκνωτών. Ο απλούστερος πυκνωτής είναι αυτός που οι οπλισμοί του είναι επίπεδες παράλληλες μεταλλικές πλάκες.

**Χαρακτηριστικά μεγέθη πυκνωτή**

- **Το φορτίο του πυκνωτή  $Q$** , είναι το φορτίο που αποκτά ο θετικός οπλισμός κατά την φόρτιση του πυκνωτή. *Για να φορτίσουμε ένα πυκνωτή, συνδέουμε τους οπλισμούς του με τους πόλους μιας μπαταρίας. Ο θετικός πόλος θα φορτίσει τον οπλισμό που συνδέεται με φορτίο  $+Q$  και ο αρνητικός πόλος τον άλλο οπλισμό με φορτίο  $-Q$ .*
- **Η τάση του πυκνωτή  $V$** , είναι η διαφορά δυναμικού μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή, δηλαδή η τάση είναι:

$$V = V_{(+)} - V_{(-)}$$

Η τάση του πυκνωτή είναι πάντα θετικός αριθμός.

- **Η χωρητικότητα του πυκνωτή  $C$** , είναι από τα βασικότερα μεγέθη για ένα πυκνωτή, πειραματικά έχει αποδειχθεί ότι ορίζεται από το **σταθερό πηλίκο** του φορτίου του πυκνωτή προς την τάση του πυκνωτή.

$$C = \frac{Q}{V} \quad (12)$$

**Η χωρητικότητα του πυκνωτή είναι ανεξάρτητη του φορτίου και της τάσης. Εξαρτάται από τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά του πυκνωτή (απόσταση - σχήμα οπλισμών) και από την φύση του διηλεκτρικού ανάμεσα τους.**

Η μονάδα μέτρησης της χωρητικότητας στο S.I. είναι το 1Farad(F).

$$\text{Ισχύει ότι } 1F = \frac{1C}{1V}$$

Για ένα επίπεδο πυκνωτή που ανάμεσα στους οπλισμούς του υπάρχει αέρας ή κενό η χωρητικότητα σε συνάρτηση με τα γεωμετρικά χαρακτηριστικά δίνεται από την σχέση:

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{l} \quad (13)$$

όπου  $S$  το εμβαδόν των οπλισμών του,  $l$  η απόσταση μεταξύ των οπλισμών και  $\epsilon_0$  η απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού, η οποία έχει την τιμή:

$$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{N \cdot m^2}$$

Αν ανάμεσα από τους οπλισμούς υπάρχει κάποιο μονωτικό υλικό (διηλεκτρικό) τότε η σχέση της χωρητικότητας θα δίνεται από :

$$C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{l} \quad (14)$$

όπου  $\epsilon$  η σχετική διηλεκτρική σταθερά, ένας καθαρός αριθμός, χαρακτηριστικός του διηλεκτρικού.

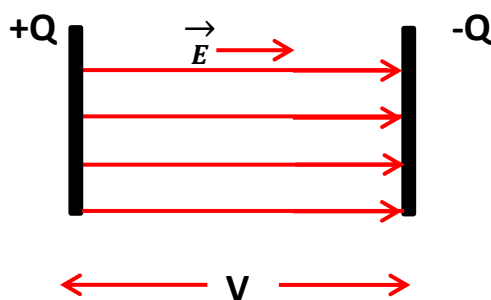
- **Η Ηλεκτρική Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή**, είναι η ενέργεια που αποθηκεύεται στο εσωτερικό του πυκνωτή και δίνεται από την σχέση :

$$U = \frac{1}{2} QV \quad \text{ή} \quad U = \frac{1}{2} CV^2 \quad \text{ή} \quad U = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C} \quad (15)$$

*Η ενέργεια που αποθηκεύεται σε ένα φορτισμένο πυκνωτή είναι ίση με την ενέργεια που προσφέρουμε για να τον φορτίσουμε.*

- **Η Ένταση Ηλεκτρικού πεδίου πυκνωτή** είναι σταθερή αφού ο το ηλεκτρικό πεδίο είναι ομογενές και υπολογίζεται από το πηλίκο της τάσης των οπλισμών του πυκνωτή προς την απόστασή τους :

$$E = \frac{V}{l} \quad (16)$$



*Με βάση την σχέση αυτή προκύπτει ακόμα μια μονάδα μέτρησης για την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ισοδύναμη με αυτή που μάθαμε παραπάνω, είναι το  $1 \frac{V}{m}$*

## 5 Ενδεικτικές Ασκήσεις Κατανόησης - Προβλήματα

Με βάση τα παραπάνω προσπαθήστε να απαντήσετε στις παρακάτω ερωτήσεις αιτιολογώντας την επιλογή σας.

**5.1** Όταν η απόσταση μεταξύ δύο ηλεκτρικών φορτίων υποδιπλασιαστεί, τότε η δύναμη Coulomb μεταξύ τους:

- α) υποδιπλασιάζεται
- β) διπλασιάζεται
- γ) δεν αλλάζει
- δ) τετραπλασιάζεται

**5.2** Σημειακό φορτίο  $Q$  δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο. Σε απόσταση  $r$  από το φορτίο η ένταση του πεδίου έχει μέτρο  $E$ . Σε διπλάσια απόσταση  $2r$  το μέτρο της έντασης:

- α) υποτετραπλασιάζεται
- β) διπλασιάζεται
- γ) είναι το ίδιο
- δ) τετραπλασιάζεται

**5.3** Το δυναμικό σε απόσταση  $r$  από ακίνητο σημειακό φορτίο είναι  $V_0$ . Το δυναμικό παίρνει την τιμή  $5V_0$  σε απόσταση:

- α)  $\frac{r}{25}$
- β)  $25r$
- γ)  $\frac{r}{5}$
- δ)  $5r$

**5.4 Οι δυναμικές γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου, που δημιουργείται από ακίνητο θετικό φορτίο είναι :**

- α) ευθείες παράλληλες μεταξύ τους
- β) ευθείες που αποκλίνουν και κατευθύνονται από το φορτίο προς το άπειρο
- γ) ευθείες που συγκλίνουν και κατευθύνονται από το άπειρο προς το φορτίο
- δ) ομόκεντροι κύκλοι με κέντρο το ηλεκτρικό φορτίο

**5.5 Μια ιδιότητα των δυναμικών γραμμών είναι ότι :**

- α) τέμνονται
- β) απομακρύνονται από τα αρνητικά φορτία και κατευθύνονται προς τα θετικά
- γ) είναι κλειστές
- δ) είναι πιο πυκνές στις περιοχές που η ένταση έχει μεγαλύτερο μέτρο.

**5.6 Δύο σημειακά φορτία απέχουν μεταξύ τους απόσταση  $r$  και το σύστημα τους έχει ηλεκτρική δυναμική ενέργεια  $-10\text{J}$ . Για να γίνει η ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος των δυο φορτίων ίση με  $-20\text{J}$ , πρέπει η απόσταση μεταξύ των δυο φορτίων να γίνει ίση με :**

- α)  $2r$
- β)  $\frac{r}{2}$
- γ)  $\frac{r}{4}$
- δ)  $4r$

**5.7 Το δυναμικό σε ένα σημείο Σ του πεδίου που δημιουργείται από ακίνητο θετικό σημειακό φορτίο Q αυξάνεται:**

- α) αν τοποθετηθεί στο σημείο Σ ένα δοκιμαστικό φορτίο  $q = 2Q$
- β) αν αυξηθεί η απόσταση  $r$  του φορτίου  $Q$  από το σημείο Σ
- γ) αν μειωθεί η απόλυτη τιμή του φορτίου  $Q$
- δ) αν μειωθεί η απόσταση  $r$  του φορτίου  $Q$  από το σημείο Σ

**5.8 Το δυναμικό σε ένα σημείο Β ενός ηλεκτρικού πεδίου είναι ίσο με +10V. Ποιες από τις επόμενες προτάσεις είναι σωστές;**

- α) Η δυναμική ενέργεια ενός οποιουδήποτε φορτίου που βρίσκεται στο σημείο Β είναι ίσο με 10 J.
- β) Η δυναμική ενέργεια ενός φορτίου  $q = -1C$  που βρίσκεται στο σημείο Β είναι ίση με -10J.
- γ) Το έργο της δύναμης του πεδίου κατά την μετακίνηση ενός φορτίου  $q = +1C$  από το σημείο Β μέχρι το άπειρο είναι ίσο με -10J.
- δ) Το έργο της δύναμης του πεδίου κατά την μετακίνηση οποιουδήποτε φορτίου από το σημείο Β στο άπειρο είναι ίσο με + 10 J.

**5.9 Ένας πυκνωτής με χωρητικότητα C φορτίζεται με φορτίο Q από τάση V. Αν διπλασιάσουμε την τάση φόρτισης του, ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές;**

- α) Το φορτίο του πυκνωτή υποδιπλασιάζεται.
- β) Η χωρητικότητα του πυκνωτή διπλασιάζεται.
- γ) Το φορτίο του πυκνωτή διπλασιάζεται.
- δ) Η χωρητικότητα του πυκνωτή δεν μεταβάλλεται.



**5.10 Επίπεδος πυκνωτής αέρα με χωρητικότητα C είναι φορτισμένος με φορτίο Q υπό τάση V. Αποσυνδέουμε την πηγή φόρτισης και στην συνέχεια διπλασιάζουμε την απόσταση μεταξύ των οπλισμών του. Ποιες από τις παρακάτω προτάσεις είναι σωστές ;**

- α) Η χωρητικότητα του πυκνωτή υποδιπλασιάστηκε.
- β) Η τάση του πυκνωτή παρέμεινε σταθερή.
- γ) Το φορτίο του πυκνωτή διπλασιάστηκε.
- δ) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή παρέμεινε σταθερή.

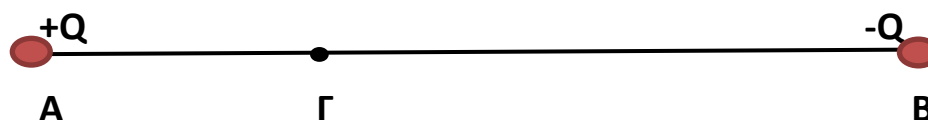
Δοκιμάστε τώρα να λύσετε τα παρακάτω Προβλήματα (Δίνεται η σταθερά του Coulomb  $k_c = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$ )

**5.11 Στις κορυφές A,B και Γ ενός ισοπλεύρου τριγώνου ABΓ, πλευράς  $a = 0,3m$ , συγκρατούνται ακίνητα τα θετικά φορτία  $Q_A = 1\mu C, Q_B = 4\mu C$  και  $Q_\Gamma = 2\mu C$ , αντίστοιχα.**

- α) Να υπολογιστεί το μέτρο της δύναμης  $\vec{F}_{AB}$  που ασκείται στο  $Q_A$  από το  $Q_B$
- β) Να υπολογιστεί ο λόγος των μέτρων των δυνάμεων  $\vec{F}_{AB}$  και  $\vec{F}_{A\Gamma}$  που ασκούνται στο  $Q_A$  από το  $Q_B$  και  $Q_\Gamma$  αντίστοιχα.
- γ) Να σχεδιαστούν οι δυνάμεις  $\vec{F}_{AB}$  και  $\vec{F}_{A\Gamma}$  και η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο  $Q_A$ .
- δ) Στην περίπτωση που  $Q_\Gamma = 0$  και  $Q_A = Q_B = 4\mu C$ , σε ποιο σημείο του ευθυγράμμου τμήματος (AB) η ένταση του πεδίου είναι μηδέν.

**5.12 Δύο ακλόνητα σημειακά φορτία  $+Q$  και  $-Q$  με  $Q = 10^{-6}C$  είναι τοποθετημένα στα σημεία A και B όπως φαίνεται στο σχήμα. Η απόσταση AB είναι ίση με 0,4 m.**

- α) Να υπολογίσετε την δύναμη που ασκεί το καθένα φορτίο στο άλλο και να σχεδιαστούν οι δυνάμεις αυτές.



- β) Να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε την ένταση του ηλεκτρικού πεδίου που οφείλετε στα δύο φορτία, στο σημείο Γ μεταξύ των σημείων Α και Β που απέχει απόσταση ίση προς  $(AB/4)$  από το σημείο Α.
- γ) Να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε τη δύναμη που ασκείται σε σημειακό φορτίο  $q = -2 \cdot 10^{-9}C$  στο σημείο Γ, θεωρώντας ότι το φορτίο q δεν επηρεάζει το ηλεκτρικό πεδίο του ερωτήματος (γ)
- δ) Να υπολογίσετε το έργο της δύναμης του πεδίου για την μετακίνηση του φορτίου q από το σημείο Γ στο άπειρο.

**5.13 Το παρακάτω σχήμα δείχνει την κατεύθυνση μιας δυναμικής γραμμής ενός ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου. Το μέτρο της έντασης του πεδίου είναι  $10N/C$ . Τα δυναμικά των σημείων Α και Β είναι  $10V$  και  $8V$  αντίστοιχα. Στο σημείο Α αφήνεται ένα θετικό ηλεκτρικό φορτίο  $q = 1C$ . Να υπολογιστεί:**

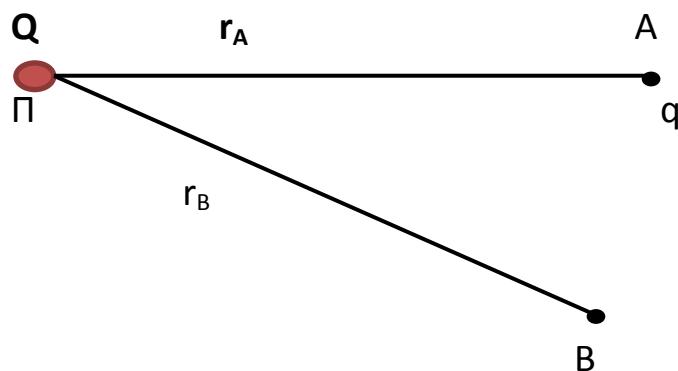


- α) Το μέτρο της δύναμης που ασκεί το πεδίο στο φορτίο q.
- β) Το έργο της δύναμης του πεδίου για την μετακίνηση του φορτίου q από το σημείο Α μέχρι το σημείο Β.
- γ) Το δυναμικό του σημείου Γ, αν το έργο της δύναμης του πεδίου κατά την μετακίνηση του φορτίου από το σημείο Α μέχρι το σημείο Γ, είναι τετραπλάσιο από το έργο της δύναμης του πεδίου κατά την μετακίνηση του φορτίου από το σημείο Α μέχρι το Β.
- δ) Με βάση τον ορισμό του έργου της δύναμης  $W = F \cdot \Delta x$  και τον ορισμό του έργου της ηλεκτρικής δύναμης για την μετακίνηση ενός φορτίου από ένα σημείο σε ένα άλλο, να αποδείξετε ότι σε ένα ομογενές πεδίο έντασης  $\vec{E}$ , η διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  ανάμεσα σε δύο σημεία Α και Β θα δίνεται από την σχέση  $V_{AB} = E \cdot (AB)$ .

**5.14 Πυκνωτής χωρητικότητας  $5 \cdot 10^{-6} F$  φορτίζεται σε τάση  $100V$  και στην συνέχεια αποσυνδέεται με την πηγή φόρτισης.**

- Πόσο φορτίο απέκτησε ο πυκνωτής;
- Πόση η ηλεκτρική ενέργεια που αποθηκεύτηκε στον πυκνωτή;
- Εισάγουμε μεταξύ των οπλισμών του πυκνωτή διηλεκτρικό υλικό, διηλεκτρικής σταθεράς  $\epsilon = 4$ , του οποίου καλύπτει τον χώρο ανάμεσα στους οπλισμούς. Πόση είναι η νέα τάση στους οπλισμούς του πυκνωτή;

**5.15 Ακίνητο σημειακό φορτίο  $Q = 8 \cdot 10^{-6} C$  τοποθετείται στο σημείο  $\Pi$  όπως φαίνεται στο σχήμα. Ένα άλλο σημειακό φορτίο  $q = 2 \cdot 10^{-8} C$  μετακινείται από το σημείο  $A$  σε άλλο σημείο  $B$  του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί το φορτίο  $Q$ . Το σημείο  $A$  απέχει από σημείο  $\Pi$  απόσταση  $r_A = 3 \cdot 10^{-2} m$ . Το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου κατά την μετακίνηση αυτή είναι  $W = 12 \cdot 10^{-3} J$**



- Να υπολογίσετε το δυναμικό  $V_A$  του ηλεκτρικού πεδίου στο σημείο  $A$  του ηλεκτρικού πεδίου.
- Να υπολογίσετε την διαφορά δυναμικού  $V_{AB}$  μεταξύ των σημείων  $A$  και  $B$ .
- Να υπολογίσετε την απόσταση  $r_B$  του σημείου  $B$  από το σημείο  $\Pi$ .

**5.16** Στις κορυφές τετραγώνου ΑΒΓΔ βρίσκονται ακλόνητα στερεωμένα τέσσερα σωματίδια που έχουν ηλεκτρικό φορτίο  $q_A = q_B = +40\mu C$  και  $q_\Gamma = q_\Delta = -40\mu C$ . Αν η διαγώνιος του τετραγώνου είναι  $4cm$ , να υπολογίσετε :

- α) Το μέτρο της δύναμης Coulomb μεταξύ των φορτίων  $q_B$  και  $q_\Delta$  που βρίσκονται στα άκρα της διαγωνίου ΒΔ.
- β) Το μέτρο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από τα φορτία  $q_\Gamma$  και  $q_\Delta$  στο κέντρο Ο του τετραγώνου.
- γ) Το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργείται από τα δύο ηλεκτρικά φορτία  $q_\Gamma$  και  $q_\Delta$  στο κέντρο Ο του τετραγώνου.
- δ) Το έργο της δύναμης του πεδίου που δημιουργείται από τα τέσσερα φορτία κατά την μετακίνηση ενός σημειακού φορτίου  $q = 1\mu C$  από το άπειρο μέχρι το κέντρο Ο του τετραγώνου.

**5.17** Επίπεδος πυκνωτής χωρητικότητας  $C_1 = 2 \cdot 10^{-6} F$ , αφού έχει φορτιστεί με φορτίο  $12 \cdot 10^{-6} C$ , αποσυνδέεται από την πηγή. Η απόσταση των οπλισμών του πυκνωτή είναι  $L$ . Απομακρύνουμε τους οπλισμούς του πυκνωτή, έτσι ώστε η μεταξύ τους απόσταση να γίνει  $d = 2L$ . Αν  $V_1, V_2$  είναι η αρχική και η νέα διαφορά δυναμικού του πυκνωτή αντίστοιχα,  $E_1, E_2$  η αρχική και η νέα ένταση του ηλεκτρικού πεδίου ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή αντίστοιχα, να υπολογίσετε :

- α) την νέα χωρητικότητα του πυκνωτή.

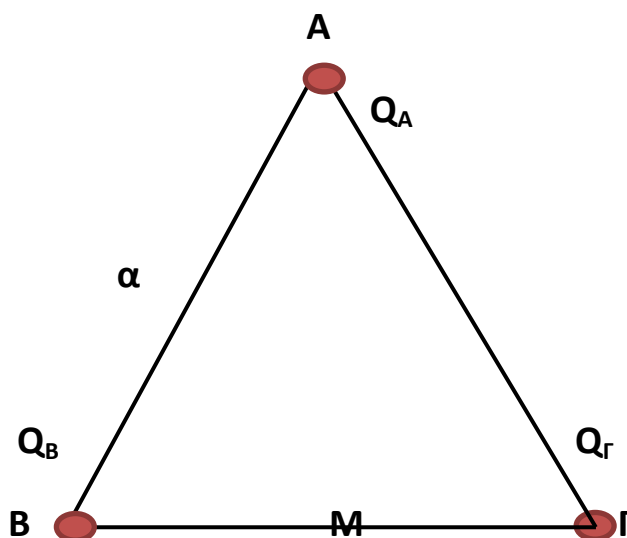
- β) Το λόγο  $\frac{V_2}{V_1}$

- γ) Το λόγο  $\frac{E_2}{E_1}$

**5.18** Σημειακό ηλεκτρικό φορτίο  $q = -6 \cdot 10^{-6}C$  κρατείτε ακίνητο σε σημείο Β του κενού που απέχει από το σημείο Α απόσταση (ΑΒ)  $0,36m$  = αφήνεται ελεύθερο φορτισμένο σώμα μάζας  $m = 6 \cdot 10^{-3}kg$  και φορτίου  $q = -2 \cdot 10^{-7}C$ . Το σώμα καθώς κινείται μόνο υπό την επίδραση του ηλεκτρικού πεδίου που δημιουργεί το φορτίο Q, διέρχεται από σημείο Γ που απέχει από το Α απόσταση ΑΓ =  $0,6m$ . Για την στιγμή που το σώμα βρίσκεται στο σημείο Γ, να υπολογίσετε :

- την ηλεκτρική δυναμική ενέργεια του συστήματος των δύο φορτίων,
- το μέτρο της επιτάχυνσης του σώματος,
- την κινητική ενέργεια του σώματος, *Να αγνοήσετε τις δυνάμεις της βαρύτητας (Είναι λογικό αυτό;)*

**5.19** Στις κορυφές Β και Γ ισοπλεύρου τριγώνου ΑΒΓ, πλευράς  $\alpha = 0,2m$ , συγκρατούνται ακίνητα τα σημειακά φορτία  $Q_B = 4 \cdot 10^{-6}C$ , και  $Q_\Gamma = 2 \cdot 10^{-6}C$ , όπως φαίνεται στο σχήμα, Να υπολογίσετε :



- το μέτρο της δύναμης που ασκείται από το ένα φορτίο στο άλλο,
- το μέτρο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου στο μέσο Μ της πλευράς ΒΓ ,

- γ) το δυναμικό του ηλεκτρικού πεδίου στην κορυφή Α του τριγώνου,  
δ) αν φορτίο  $q = -3 \cdot 10^{-6} C$  μετακινηθεί από την κορυφή Α στο μέσο Μ της πλευράς ΒΓ, να βρεθεί το έργο της δύναμης του ηλεκτρικού πεδίου για την μετακίνηση αυτή.

