

Φυσική Γενικής Παιδείας Β' Λυκείου

ΚΕΦ 3.1 : ΗΛΕΚΤΡΟΣΤΑΤΙΚΕΣ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΕΙΣ

ΘΕΩΡΙΑ

1. Ηλεκτρικό φορτίο

Ηλεκτρικό φορτίο Q ή q ονομάζεται το φυσικό μέγεθος με το οποίο εξηγούνται οι αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στα ηλεκτρισμένα σώματα και γενικότερα το φαινόμενο του ηλεκτρισμού. Μονάδα ηλεκτρικού φορτίου στο σύστημα μονάδων S.I. είναι το 1 coulomb (1 C).

Υπάρχουν δύο είδη ηλεκτρικών φορτίων το θετικό (+) που εμφανίζεται στο γυαλί και το αρνητικό (-) που εμφανίζεται στον εβονίτη.

Θετικό φορτίο έχουν τα πρωτόνια του πυρήνα και αρνητικό τα ηλεκτρόνια που περιστρέφονται γύρω από αυτόν.

Τα σώματα που έχουν ομόσημα (ομώνυμα) φορτία απωθούνται ενώ τα σώματα που έχουν ετερόσημα (ετερώνυμα) φορτία έλκονται.

2. Ηλεκτρισμός και δομή της ύλης

I. Κβάντωση του φορτίου

Το ηλεκτρικό φορτίο υπάρχει μόνο σε ασυνεχείς ποσότητες, δηλαδή είναι κβαντισμένο. Η ελάχιστη ποσότητα φορτίου που υπάρχει στη φύση είναι το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο που συμβολίζεται με το e όπου $e = 1.6 \cdot 10^{-19}\text{ C}$. Άρα το φορτίο Q κάθε φορτισμένου σώματος είναι κβαντισμένο και έχει τιμή: $Q = n \cdot e$ με $n = 1, 2, 3, \dots$

II. Το ηλεκτρικό φορτίο στη δομή της ύλης

Κάθε άτομο αποτελείται από τον πυρήνα στον οποίο είναι συγκεντρωμένη σχεδόν όλη η μάζα και από ένα ή περισσότερα αρνητικά φορτισμένα σωματίδια τα ηλεκτρόνια (e^-) που περιστρέφονται γύρω από τον πυρήνα. Η μάζα των ηλεκτρονίων είναι πολύ μικρή. Το ηλεκτρόνιο είναι αρνητικά φορτισμένο με το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο δηλαδή $q_e = -e$.

Ατομικά Σωματίδια			
Σωματίδιο	Σύμβολο	Φορτίο	Μάζα
Πρωτόνιο	p	$+e$	$1.67 \cdot 10^{-27}\text{ Kg}$
Νετρόνιο	n	0	$1.67 \cdot 10^{-27}\text{ Kg}$
Ηλεκτρόνιο	e	$-e$	$9.1 \cdot 10^{-31}\text{ Kg}$

Ο πυρήνας αποτελείται από τα πρωτόνια (p^+) και τα νετρόνια (n^0). Αυτά έχουν περίπου την ίδια μάζα που είναι 1836 φορές μεγαλύτερη από την μάζα των ηλεκτρονίων. Το πρωτόνιο είναι θετικά φορτισμένο με το στοιχειώδες ηλεκτρικό φορτίο δηλαδή $q_p = +e$, ενώ το νετρόνιο δεν έχει ηλεκτρικό φορτίο.

III. Αρχή διατήρησης του ηλεκτρικού φορτίου

Όταν φορτίζουμε ένα σώμα από ένα άλλο σώμα, συμβαίνει μία ανακατανομή των φορτίων των δύο σωμάτων και ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το ένα στο άλλο. Π.χ. στην ηλεκτρίση με τριβή μιας γυάλινης ράβδου με ύφασμα ηλεκτρόνια μεταφέρονται από τη ράβδο στο ύφασμα ώστε στη ράβδο εμφανίζεται θετικό φορτίο (έλλειμμα ηλεκτρονίων) ενώ στο ύφασμα εμφανίζεται αρνητικό φορτίο (περίσσεια ηλεκτρονίων).

Αν σε ένα σύστημα σωμάτων θεωρήσουμε σαν ολικό φορτίο το αλγεβρικό άθροισμα των φορτίων όλων των σωμάτων τότε ισχύει η αρχή διατήρησης του φορτίου : “ Οποιοσδήποτε μεταβολές και να συμβαίνουν σε ένα απομονωμένο σύστημα , το ολικό φορτίο του παραμένει σταθερό ”

IV. Ελεύθερα ηλεκτρόνια

Οι πιο συνηθισμένοι αγωγοί είναι οι μεταλλικοί. Η μεγάλη αγωγιμότητά τους οφείλεται στα ελεύθερα ηλεκτρόνια. Αυτά είναι μερικά από τα ηλεκτρόνια σθένους του μετάλλου τα οποία κινούνται ελεύθερα προς όλες τις κατευθύνσεις ανάμεσα στα ιόντα του μεταλλικού πλέγματος. Ο αριθμός τους αποτελεί κριτήριο για την διάκριση των σωμάτων σε αγωγούς , ημιαγωγούς και μονωτές. Στους αγωγούς είναι περίπου 10^{23} ηλεκτρόνια ανά cm^3 , στους ημιαγωγούς 10^{13} ηλεκτρόνια ανά cm^3 και στους μονωτές είναι ασήμαντος.

3. Φόρτιση σώματος

Αφόρτιστο είναι ένα σώμα στο οποίο τα θετικά φορτία είναι ίσα με τα αρνητικά. Φόρτιση ονομάζεται η διαδικασία με την οποία εμφανίζονται ηλεκτρικά φορτία ενός είδους πάνω σε ένα σώμα. Η φόρτιση γίνεται με ανταλλαγή ηλεκτρονίων ανάμεσα στα σώματα.

Οι κυριότεροι τρόποι φόρτισης είναι :

α) Φόρτιση με τριβή : Το ένα σώμα αποκτά θετικό ή αρνητικό φορτίο ανάλογα με το υλικό του και το άλλο σώμα φορτίζεται αντίθετα.

- Μια γυάλινη ράβδος όταν τρίβεται με μάλλινο ύφασμα φορτίζεται θετικά ενώ το ύφασμα φορτίζεται αρνητικά. Σε αυτή την περίπτωση ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το γυαλί στο μάλλινο ύφασμα.
- Μια πλαστική ράβδος όταν τρίβεται με μεταξωτό ύφασμα φορτίζεται αρνητικά ενώ το ύφασμα φορτίζεται θετικά. Σε αυτή την περίπτωση ηλεκτρόνια μεταφέρονται από το ύφασμα στο πλαστικό.

β) Φόρτιση με επαφή : Το σώμα αποκτά το φορτίο του σώματος με το οποίο έρχεται σε επαφή.

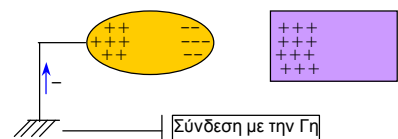
- Όταν ένα αρνητικά φορτισμένο σώμα έρθει σε επαφή με ένα αφόρτιστο τότε μεταφέρονται ηλεκτρόνια από το φορτισμένο στο αφόρτιστο. Τα δύο σώματα μοιράζονται τα αρνητικά φορτία που είχε το φορτισμένο σώμα , όχι όμως σε ίσες ποσότητες υποχρεωτικά !
- Όταν ένα θετικά φορτισμένο σώμα έρθει σε επαφή με ένα αφόρτιστο τότε μεταφέρονται ηλεκτρόνια από το αφόρτιστο στο φορτισμένο. Τα δύο σώματα φαίνεται να μοιράζονται τα θετικά φορτία που είχε το φορτισμένο σώμα , αλλά στην πραγματικότητα ένας αριθμός ηλεκτρονίων μεταφέρθηκε από το αφόρτιστο στο φορτισμένο σώμα και εξουδετέρωσε την αντίστοιχη ποσότητα θετικών φορτίων.

γ) Φόρτιση με επαγωγή : το σώμα αποκτά φορτίο αντίθετο από το φορτίο του σώματος που πλησιάζει.

Όταν το φορτισμένο σώμα πλησιάζει το αφόρτιστο τότε τα φορτία στο αφόρτιστο δημιουργούν ένα είδος δίπολου.

Στο διπλανό σχήμα ένα θετικά φορτισμένο σώμα πλησιάζει

ένα αφόρτιστο με αποτέλεσμα τα φορτία στο αφόρτιστο να κατανέμονται όπως στο σχήμα. Αν συνδέσουμε αγωγίμα (με καλώδιο) το αφόρτιστο σώμα με την Γη τότε ηλεκτρόνια από την Γη μετακινούνται και εξουδετερώνουν τα θετικά φορτία του δίπολου. Μετά διακόπτουμε τη σύνδεση με την Γη και κατόπιν απομακρύνουμε το φορτισμένο σώμα. Το αρχικά αφόρτιστο σώμα έχει μείνει με τα αρνητικά φορτία που πήρε από την Γη , άρα είναι αρνητικά φορτισμένο.



4. Ηλεκτρική αγωγιμότητα και κατάταξη των υλικών

Ηλεκτρική αγωγιμότητα ονομάζεται η ιδιότητα της ύλης να επιτρέπει τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα της. Με κριτήριο την ηλεκτρική αγωγιμότητα τα σώματα χωρίζονται σε τρεις κατηγορίες :

α) Αγωγοί (ή καλοί αγωγοί) λέγονται τα σώματα που επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.

β) Μονωτές (ή κακοί αγωγοί) λέγονται τα σώματα που δεν επιτρέπουν τη διέλευση ηλεκτρικού φορτίου μέσα από τη μάζα τους.

γ) Ημιαγωγοί λέγονται τα στερεά σώματα στα οποία η δυνατότητα διέλευσης ηλεκτρικού φορτίου εξαρτάται από ορισμένες συνθήκες.

5. Ηλεκτροσκόπιο

Είναι συσκευή με την οποία ανιχνεύουμε το ηλεκτρικό φορτίο αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ποσοτική μέτρηση του ηλεκτρικού φορτίου.

6. Νόμος του Coulomb

Ο νόμος του Coulomb δίνει πληροφορίες για την ηλεκτρική αλληλεπίδραση δύο φορτισμένων σωμάτων. Η διατύπωση του είναι :

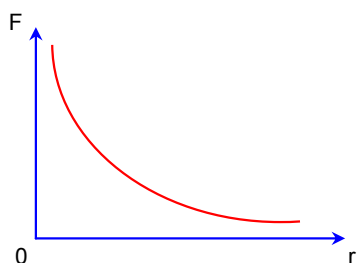
« Η ελκτική ή απωστική δύναμη που ασκείται ανάμεσα σε δύο σημειακά φορτία είναι ανάλογη με το γινόμενο των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης ».

Ο αντίστοιχος μαθηματικός τύπος είναι $F = k_{\eta\lambda} \frac{|q_1 q_2|}{r^2}$

Το $k_{\eta\lambda}$ είναι σταθερά αναλογίας η οποία εξαρτάται : α) από τη φύση του υλικού που παρεμβάλλεται ανάμεσα στα φορτία και β) από το σύστημα μονάδων. Για το σύστημα μονάδων S.I. και για το κενό η τιμή της σταθεράς είναι : $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ N} \cdot \text{m}^2 / \text{C}^2$.

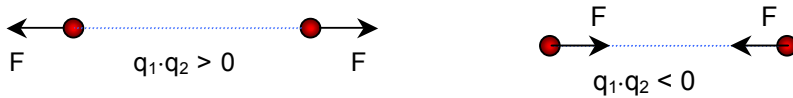
Γραφική παράσταση του νόμου Coulomb

Η γραφική παράσταση της σχέσης $F = f (r)$ είναι :



Χαρακτηριστικά των δυνάμεων Coulomb

- α) Οι δυνάμεις Coulomb έχουν φορέα την ευθεία που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία δηλαδή είναι κεντρικές δυνάμεις.
- β) Είναι δυνάμεις διατηρητικές.
- γ) Είναι δυνάμεις απωστικές όταν τα φορτία είναι ομώνυμα ($q_1 \cdot q_2 > 0$) και ελκτικές όταν τα φορτία είναι ετερόνυμα ($q_1 \cdot q_2 < 0$).



Προϋποθέσεις για να ισχύει ο νόμος Coulomb

- α) Τα φορτισμένα σώματα πρέπει να είναι σημειακά ή να έχουν σφαιρική κατανομή του φορτίου τους, οπότε το φορτίο θεωρείται συγκεντρωμένο στο κέντρο της σφαίρας.
- β) Τα φορτισμένα σώματα πρέπει να είναι ακίνητα.

7. Πεδίο δυνάμεων

α) Ορισμός : Πεδίο δυνάμεων λέγεται ο χώρος μέσα στον οποίο ασκείται δύναμη σε ένα κατάλληλο φυσικό μέγεθος (υπόθεμα) όταν βρεθεί σε οποιοδήποτε σημείο του.

β) Δημιουργία του πεδίου : Το πεδίο δημιουργείται από κάποια πηγή. Οι πηγές που δημιουργούν τα πεδία είναι :

- ❶ Η μάζα , δημιουργεί βαρυτικό πεδίο
- ❷ Το ηλεκτρικό φορτίο , δημιουργεί ηλεκτρικό πεδίο
- ❸ Το κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο , δημιουργεί μαγνητικό πεδίο
- ❹ Ένας μαγνήτης , δημιουργεί μαγνητικό πεδίο

γ) Περιγραφή ενός πεδίου : Ένα πεδίο περιγράφεται από ορισμένα φυσικά μεγέθη. Τα κυριότερα είναι :

- ❶ Η ένταση , δείχνει πόσο ισχυρό είναι το πεδίο σε ένα σημείο του.
- ❷ Το δυναμικό , συνδέεται με την ενέργεια και δείχνει πόσο εύκολο ή δύσκολο είναι να αποσπάσουμε ή να τοποθετήσουμε ένα υπόθεμα σε ένα σημείο του πεδίου. (Δυναμικό έχουμε μόνο για διατηρητικές δυνάμεις)
- ❸ Οι δυναμικές γραμμές , δίνουν μία απεικόνιση του πεδίου.
- ❹ Η ροή (Φ) , συνδέει την ένταση με τον αριθμό των δυναμικών γραμμών.

δ) Ανίχνευση του πεδίου : Η ανίχνευση του πεδίου γίνεται με κατάλληλο υπόθεμα που τοποθετείται σε ένα σημείο του χώρου.

- ❶ Το βαρυτικό πεδίο ανιχνεύεται με την μάζα.
- ❷ Το ηλεκτρικό πεδίο ανιχνεύεται με το ηλεκτρικό φορτίο.
- ❸ Το μαγνητικό πεδίο ανιχνεύεται με κινούμενο ηλεκτρικό φορτίο ή με την μαγνητική βελόνα.

8. Ηλεκτρικό πεδίο

α) Ορισμός : Ηλεκτρικό πεδίο ονομάζεται ο χώρος , σε κάθε σημείο του οποίου αν φέρουμε ένα ηλεκτρικό φορτίο , θα ασκηθεί πάνω του ηλεκτρική δύναμη Coulomb.

β) Χαρακτηριστικά του ηλεκτρικού πεδίου : Είναι ❶ η ένταση, ❷ οι δυναμικές γραμμές, ❸ το δυναμικό και ❹ η ηλεκτρική ροή.

❶ Ένταση (\vec{E})

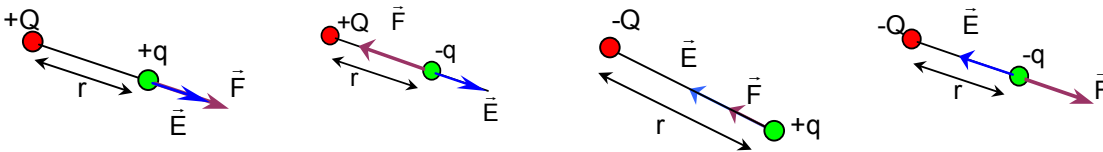
Ένταση \vec{E} σε ένα σημείο ηλεκτρικού πεδίου , ονομάζεται το φυσικό διανυσματικό μέγεθος , που έχει σημείο εφαρμογής το φορτίο υπόθεμα , φορά την φορά της ηλεκτροστατικής δύναμης για θετικό υπόθεμα και μέτρο το πηλίκο της δύναμης που ασκείται στο φορτίο υπόθεμα προς το φορτίο αυτό.

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad \text{Ένταση ηλεκτρικού πεδίου}$$

Από τον ορισμό της έντασης προκύπτει ότι : α) Η κατεύθυνσή της είναι ανεξάρτητη από το υπόθεμα που χρησιμοποιείται , β) Η κατεύθυνση της έντασης συμπίπτει με την κατεύθυνση της δύναμης για θετικό υπόθεμα , ενώ είναι αντίθετη αν το υπόθεμα είναι αρνητικό.

Μονάδα έντασης στο σύστημα S.I. είναι το 1 N/C. (Επίσης και το 1 V/m)

Ένταση πεδίου σημειακού φορτίου (ή πεδίο Coulomb)



Έστω φορτίο Q που δημιουργεί γύρω του ηλεκτρικό πεδίο το οποίο λέγεται πεδίο Coulomb. Η δύναμη που ασκείται σε φορτίο (υπόθεμα) q σε απόσταση r από το Q είναι : $F = k_{\eta\lambda} \frac{|Qq|}{r^2}$. Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε αυτό το σημείο είναι $E = \frac{F}{q}$ και αντικαθι-

στώντας την δύναμη που βρήκαμε πιο πριν είναι: $E = \frac{k_{\eta\lambda} \frac{|Qq|}{r^2}}{q}$ ή $F = k_{\eta\lambda} \frac{|Q|}{r^2}$

Η σχέση αυτή δίνει την ένταση ηλεκτρικού πεδίου Coulomb σε απόσταση r από το φορτίο Q που προκαλεί το πεδίο.

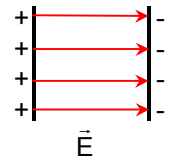
Από την σχέση αυτή βλέπουμε ότι η ένταση εξαρτάται μόνο από το φορτίο που προκαλεί το πεδίο , την απόσταση r και το διηλεκτρικό περιβάλλον.

Ένταση πεδίου από ομάδα σημειακών φορτίων

Αν η ένταση σε ένα σημείο M από το κάθε φορτίο είναι \vec{E}_1 , \vec{E}_2 , \vec{E}_3 , τότε η ολική ένταση υπολογίζεται από το διανυσματικό άθροισμα των επί μέρους εντάσεων. Δηλαδή : $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \dots$

Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο

Ομογενές λέγεται το ηλεκτρικό πεδίο όταν το διάνυσμα της έντασης είναι σταθερό σε όλα τα σημεία του. Παράδειγμα τέτοιου πεδίου είναι το ηλεκτρικό πεδίο που δημιουργείται ανάμεσα σε δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες που είναι αντίθετα φορισμένες. Η διεύθυνση της έντασης είναι κάθετη στις πλάκες και η φορά της από τη θετική προς την αρνητική.



② Δυναμικές γραμμές

Οι δυναμικές γραμμές προτάθηκαν από τον Faraday για την απεικόνιση του αόρατου ηλεκτρικού πεδίου.

“ Ηλεκτρική δυναμική γραμμή ενός ηλεκτρικού πεδίου , ορίζεται η νοητή γραμμή της οποίας η εφαπτόμενη σε κάθε σημείο , συμπίπτει με την ένταση του πεδίου σε αυτό το σημείο ”

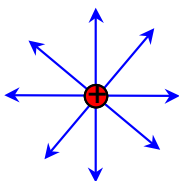
Η εικόνα που δίνουν οι δυναμικές ονομάζεται ηλεκτρικό φάσμα.

Χαρακτηριστικά των ηλεκτρικών δυναμικών γραμμών

- I. Η φορά τους συμπίπτει με τη φορά της έντασης.
- II. Είναι ανοικτές γραμμές και αρχίζουν από το θετικό φορτίο και καταλήγουν στο αρνητικό φορτίο.
- III. Δεν τέμνονται.
- IV. Όταν είναι παράλληλες και ισαπέχουν το πεδίο είναι ομογενές , διαφορετικά είναι ανομοιογενές.
- V. Όταν οι δυναμικές γραμμές είναι πυκνές το πεδίο έχει μεγάλη ένταση και το αντίστροφο.

Μορφές ηλεκτροστατικών πεδίων από ακίνητα ηλεκτρικά φορτία

Πεδίο Coulomb από σημειακό ηλεκτρικό φορτίο



③ Δυναμικό

Το δυναμικό είναι ένα μονόμετρο μέγεθος που περιγράφει το ηλεκτρικό πεδίο στη γλώσσα της ενέργειας. Σχετίζεται με την δυναμική ενέργεια που έχει ένα ηλεκτρικό φορτίο που βρίσκεται μέσα σε ηλεκτρικό πεδίο.

I. Δυναμική ενέργεια

Σε σύστημα σωμάτων που αλληλεπιδρούν με διατηρητικές δυνάμεις αντιστοιχεί κάποια δυναμική ενέργεια U που εξαρτάται από την σχετική θέση των σωμάτων του συστήματος.

Η μεταβολή της δυναμικής ενέργειας ΔU σχετίζεται με το έργο των δυνάμεων αλληλεπίδρασης $W_{\alpha\lambda}$ με την σχέση $\Delta U = - W_{\alpha\lambda}$.

II. Τάση ή Διαφορά δυναμικού (V_{AB} ή $V_A - V_B$)

Το ηλεκτροστατικό πεδίο είναι πεδίο διατηρητικών δυνάμεων άρα το έργο για διαδρομή από ένα σημείο A σε ένα σημείο B είναι ανεξάρτητο της διαδρομής και εξαρτάται μόνο από την αρχική και τελική θέση του σώματος.

Διαφορά δυναμικού ή τάση μεταξύ δύο σημείων A και B ενός ηλεκτρικού πεδίου ονομάζεται το φυσικό μέγεθος που έχει μέτρο, το πηλίκο του έργου της ηλεκτροστατικής δύναμης για μετακίνηση ηλεκτρικού φορτίου q από το σημείο A στο σημείο B, προς το φορτίο αυτό.

$$V_{AB} = \frac{W_{AB}}{q} \Leftrightarrow V_{AB} = \frac{-\Delta U}{q} \quad (\text{Επειδή } \Delta U = -W_{αλ})$$

Η διαφορά δυναμικού εκφράζει το έργο της δύναμης από το πεδίο ανά μονάδα φορτίου για μετακίνηση από το σημείο A στο σημείο B.

Μονάδα μέτρησης δυναμικού στο S.I. είναι το 1 volt (1 V)

$$\text{Άρα } 1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{joule}}{\text{C}}$$

III. Δυναμικό ενός σημείου (V)

Η διαφορά δυναμικού αναφέρεται σε δύο σημεία A και B, έτσι η σχέση $V_{AB} = \frac{-\Delta U}{q}$ γίνεται

$$V_A - V_B = \frac{-(U_B - U_A)}{q} \Rightarrow V_A - V_B = \frac{U_A - U_B}{q}$$

Για το βαρυτικό και το ηλεκτροστατικό πεδίο εκλέγουμε σαν σημείο μηδενικής ενέργειας $U_B = 0$, ένα σημείο σε άπειρη απόσταση. Εκεί θα είναι και το δυναμικό μηδέν $V_B = 0$, άρα

$$V_A = \frac{U_A}{q}. \text{ Επομένως :}$$

Δυναμικό ενός σημείου A ηλεκτροστατικού πεδίου ονομάζεται το μονόμετρο μέγεθος που είναι ίσο με το πηλίκο του έργου της ηλεκτροστατικής δύναμης, όταν το φορτίο μετατοπίζεται από το σημείο A στο άπειρο, προς το φορτίο αυτό.

$$\text{Άρα } V_A = \frac{W_{A \rightarrow \infty}}{q} \Leftrightarrow V_A = \frac{U_A}{q}$$

Επομένως για τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα σε δύο σημεία έχουμε :

$$V_A - V_B = \frac{U_A - U_B}{q} \Leftrightarrow V_A - V_B = \frac{U_A}{q} - \frac{U_B}{q} \text{ και για το έργο :}$$

$$V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \Leftrightarrow W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$$

Διερεύνηση της σχέσης $W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$

- α) Αν $V_A > V_B$ και $q > 0$ τότε $W > 0$
- β) Αν $V_A > V_B$ και $q < 0$ τότε $W < 0$
- γ) Αν $V_A < V_B$ και $q > 0$ τότε $W < 0$
- δ) Αν $V_A < V_B$ και $q < 0$ τότε $W > 0$

- Άρα τα θετικά φορτία κινούνται από σημεία ψηλού δυναμικού σε σημεία χαμηλού δυναμικού, ενώ τα αρνητικά το αντίθετο.
- Τα δυναμικά ελαττώνονται κατά τη φορά μιας δυναμικής γραμμής.

IV. Δυναμικό πεδίου Coulomb

Το έργο για την μετακίνηση ενός φορτίου q από σημείο M στο άπειρο σε πεδίο σημειακού φορτίου Q (πεδίο Coulomb) δίνεται από την σχέση :

$W_{M \rightarrow \infty} = k_{\eta\lambda} \frac{Qq}{r}$. Επομένως από τον ορισμό του δυναμικού έχουμε

$$V_M = \frac{W_{M \rightarrow \infty}}{q} \Rightarrow V_M = \frac{k_{\eta\lambda} \frac{Qq}{r}}{q} \Rightarrow V_M = k_{\eta\lambda} \frac{Q}{r}$$

Παρατήρηση : Αν το φορτίο που προκαλεί το πεδίο είναι θετικό τότε και τα δυναμικά όλων των σημείων είναι θετικά , ενώ αν το φορτίο είναι αρνητικό τότε και τα δυναμικά όλων των σημείων είναι αρνητικά.

V. Ορισμός της μονάδας έργου ηλεκτρονιοβόλτ (eV)

Από την σχέση $W_{A \rightarrow B} = q(V_A - V_B)$ μπορούμε να ορίσουμε την μονάδα έργου ηλεκτρονιοβόλτ (eV) :

“ 1 eV είναι το έργο που παράγεται όταν μετακινήσουμε φορτίο ίσο με το φορτίο ενός ηλεκτρονίου μεταξύ δύο σημείων ηλεκτροστατικού πεδίου που έχουν διαφορά δυναμικού 1 Volt ”

$$\text{Άρα } 1\text{eV} = (1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}) \cdot 1 \text{ V} = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ J}$$

VI. Δυναμικό από ομάδα σημειακών φορτίων

Το δυναμικό είναι μονόμετρο μέγεθος άρα για να βρούμε το δυναμικό σε ένα σημείο , όταν οφείλεται σε πολλά σημειακά φορτία , εφαρμόζουμε την αρχή της επαλληλίας. Το δυναμικό σε ένα σημείο του πεδίου είναι ίσο με το αλγεβρικό άθροισμα των δυναμικών που δημιουργεί το κάθε φορτίο χωριστά.

$$V = V_1 + V_2 + \dots + V_n$$

VII. Σχέση έντασης και διαφοράς δυναμικού

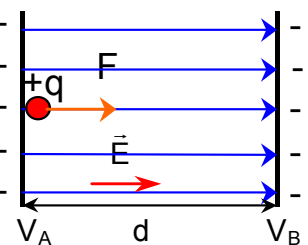
$$\text{Είναι } E = \frac{V_{AB}}{d}$$

Απόδειξη

Θεωρούμε το ομογενές ηλεκτρικό πεδίο ανάμεσα σε δύο παράλληλες πλάκες που είναι αντίθετα φορτισμένες. Το πεδίο έχει ένταση \vec{E} . Αν κοντά στο θετικό οπλισμό που έχει δυναμικό V_A τοποθετήσουμε ένα θετικό φορτίο q , η δύναμη από το πεδίο είναι σταθερή ίση με $F = q \cdot E$ ❶ Το έργο της δύναμης για μετακίνηση του φορτίου σε σημείο B που έχει δυναμικό V_B και απέχει απόσταση d είναι $W = F \cdot d$ και λόγω της ❶ θα είναι $W = q \cdot E \cdot d$ ❷. Από τον ορισμό του δυναμικού όμως για τη διαφορά δυναμικού ανάμεσα στα σημεία A και B έχουμε :

$$V_A - V_B = \frac{W_{A \rightarrow B}}{q} \Rightarrow V_A - V_B = \frac{q \cdot E \cdot d}{q} \Rightarrow V_A - V_B = E \cdot d. \text{ Αλλά } V_{AB} = V_B - V_A \text{ άρα } V_{AB} = E \cdot d$$

$$\Rightarrow E = \frac{V_{AB}}{d}. \text{ Από την σχέση αυτή προκύπτει η μονάδα έντασης } 1 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$



9. Οι πυκνωτές

I. Ορισμοί :

Πυκνωτής ονομάζεται ένα σύστημα δύο αγωγών που βρίσκονται πολύ κοντά μεταξύ τους και φορτίζονται με ίσα και ετερόνυμα ηλεκτρικά φορτία.

Οι αγωγοί που αποτελούν τον πυκνωτή ονομάζονται οπλισμοί του πυκνωτή, και συνήθως μεταξύ τους παρεμβάλλεται ένα στρώμα από διηλεκτρικό υλικό (αέρας, πλαστικό, μίκα, ...).

Ο πυκνωτής αποτελεί ένα είδος "δεξαμενής" ηλεκτρικών φορτίων. Άρα σε κάθε πυκνωτή μπορεί να αποθηκευτεί ηλεκτρικό φορτίο και ενέργεια ηλεκτρικού πεδίου.

II. Χωρητικότητα πυκνωτή :

Ανάμεσα στους δύο αγωγούς του πυκνωτή υπάρχει διαφορά δυναμικού V . Το πηλίκο του φορτίου q του θετικού οπλισμού προς την τάση V των δύο οπλισμών έχει για κάθε πυκνωτή μια σταθερή τιμή (δηλαδή είναι ανεξάρτητο από την τάση και το φορτίο) και ονομάζεται χωρητικότητα C του πυκνωτή.

$$C = \frac{q}{V}$$

Η χωρητικότητα εξαρτάται μόνο από τα γεωμετρικά στοιχεία του πυκνωτή και από το διηλεκτρικό που υπάρχει ανάμεσα στους οπλισμούς του.

Μονάδα μέτρησης χωρητικότητας στο S.I. είναι το 1 farad (1 F) και από τον ορισμό είναι :

$$1F = \frac{1C}{1V}$$

Η μονάδα F είναι πολύ μεγάλη γι' αυτό χρησιμοποιούνται τα μF , nF και pF.
($1\mu F = 10^{-6} F$, $1nF = 10^{-9} F$, $1pF = 10^{-12} F$)

III. Φόρτιση και εκφόρτιση πυκνωτή

α) Η φόρτιση ενός πυκνωτή μπορεί να γίνει με τρεις τρόπους :

◊ Να φορτίσουμε με επαφή τον ένα οπλισμό του πυκνωτή και να γειώσουμε τον άλλο, οπότε έχουμε φόρτιση του δεύτερου οπλισμού με επαγωγή (μεταφορά φορτίων – ηλεκτρονίων – από ή στην γη).

◊ Να συνδέσουμε τον κάθε οπλισμό με τους αντίστοιχους ακροδέκτες μιας ηλεκτροστατικής μηχανής (μηχανή Whimshurst).

◊ Να συνδέσουμε τους οπλισμούς του πυκνωτή με τους πόλους μιας ηλεκτρικής στήλης ή με δύο σημεία ενός ηλεκτρικού κυκλώματος.

β) Η εκφόρτιση ενός πυκνωτή γίνεται με σύνδεση των δύο οπλισμών του οπότε έχουμε μεταφορά ηλεκτρονίων από τον αρνητικό οπλισμό στο θετικό. Η αρχική διαφορά δυναμικού ελαττώνεται μέχρι να μηδενιστεί.

IV. Ενέργεια φορτισμένου πυκνωτή

Κατά τη φόρτιση ενός πυκνωτή δαπανάται έργο το οποίο αποθηκεύεται στο ηλεκτρικό πεδίο του πυκνωτή με τη μορφή δυναμικής ενέργειας ηλεκτρικού πεδίου και αποδίδεται κατά την εκφόρτιση του πυκνωτή. Η ενέργεια αυτή είναι $U = \frac{1}{2} CV^2$ Αλλά $C = \frac{q}{V}$ ή $V = \frac{q}{C}$

άρα $U = \frac{1}{2} qV$ και $U = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$

(ΕΚΤΟΣ)V. Επίπεδος πυκνωτής

Ο επίπεδος πυκνωτής αποτελείται από δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες που βρίσκονται η μία απέναντι από την άλλη. Συνήθως οι πλάκες έχουν ίσα εμβαδά και όμοια σχήματα (ορθογώνιο ή κυκλικό). Το ηλεκτρικό πεδίο περιορίζεται ανάμεσα στις πλάκες και είναι ομογενές.

Η χωρητικότητα επίπεδου πυκνωτή δίνεται από την σχέση : $C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{\ell}$

ϵ_0 = απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού

S = εμβαδόν οπλισμών

ℓ = απόσταση οπλισμών

Αν ανάμεσα στους οπλισμούς του πυκνωτή εισάγουμε διηλεκτρικό υλικό (μονωτικό) η χωρητικότητα του πυκνωτή αυξάνεται. Η καινούργια χωρητικότητα δίνεται από τη σχέση $C = \epsilon C_0$, όπου ϵ είναι μία χαρακτηριστική σταθερά για κάθε μονωτή που ονομάζεται σχετική διηλεκτρική σταθερά.

Σχετική διηλεκτρική σταθερά ϵ ενός μονωτικού υλικού, ονομάζεται το φυσικό μέγεθος, που εκφράζεται με το πηλίκο της χωρητικότητας C ενός πυκνωτή, όταν μεταξύ των οπλισμών του παρεμβάλλεται το μονωτικό υλικό προς την χωρητικότητα C_0 του ίδιου πυκνωτή όταν μεταξύ των οπλισμών του υπάρχει κενό ή αέρας. Δηλαδή : $\epsilon = \frac{C}{C_0}$. Άρα η χωρητικό-

τητα επίπεδου πυκνωτή με διηλεκτρικό σχετικής διηλεκτρικής σταθεράς ϵ δίνεται από την σχέση : $C = \epsilon \epsilon_0 \frac{S}{\ell}$

Παρατήρηση :

Η παρουσία του διηλεκτρικού έχει σαν αποτέλεσμα την εξασθένιση του υπάρχοντος ηλεκτρικού πεδίου. Άρα ο νόμος του Coulomb γράφεται :

$$F = \frac{k_{\eta\lambda}}{\epsilon} \frac{q_1 q_2}{r^2} \text{ και επειδή } k_{\eta\lambda} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \text{ θα είναι:}$$

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

ΑΣΚΗΣΕΙΣ

Νόμος του Coulomb

1. Δυο ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 40 \mu\text{C}$ και $q_2 = 10 \mu\text{C}$ βρίσκονται σε απόσταση $r = 0,6 \text{ m}$. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται σε φορτίο $q = 90 \mu\text{C}$ που βρίσκεται στο μέσο της απόστασης τους. Δίνεται $k = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.

[Απάντηση : $F = 270 \text{ N}$]

2. Στις άκρες ευθύγραμμου τμήματος $AB = 1,2 \text{ m}$ βρίσκονται τα ηλεκτρικά φορτία $q_1 = 1 \mu\text{C}$ και $q_2 = 4 \mu\text{C}$. Σε ποιο σημείο του της ευθείας AB πρέπει να τοποθετηθεί θετικό φορτίο q ώστε να μην ασκείται δύναμη πάνω του.

[Απάντηση : $AM = 0,4 \text{ m}$]

3. Για να εξουδετερώσουμε την δύναμη παγκόσμιας έλξης μεταξύ Σελήνης και Γης τις φορτίζουμε με ίσα φορτία q . Να βρεθούν αυτά τα φορτία αν δίνονται η σταθερά της παγκόσμιας έλξης $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2/\text{Kg}^2$, η μάζα της Γης $M = 6,6 \cdot 10^{24} \text{ Kg}$ και η μάζα της Σελήνης $m = 7,34 \cdot 10^{22} \text{ Kg}$.

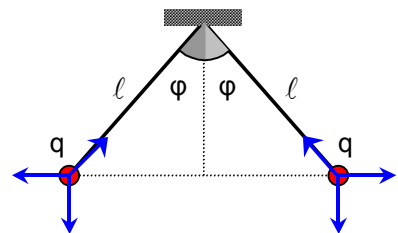
[Απάντηση : $q = 6 \cdot 10^{13} \text{ C}$]

4. Στις κορυφές A , B και Γ ισοπλεύρου τριγώνου $AB\Gamma$, πλευράς $a = 0,3 \text{ m}$ συγκρατούνται ακίνητα τα φορτία $Q_A = +1 \mu\text{C}$, $Q_B = +4 \mu\text{C}$ και $Q_\Gamma = +2 \mu\text{C}$ 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_Γ αντίστοιχα, γ) Να σχεδιαστούν και να υπολογιστούν οι δυνάμεις \vec{F}_{AB} και $\vec{F}_{A\Gamma}$ και η συνισταμένη δύναμη που ασκείται στο Q_A . Δίνεται $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$.

[Θέμα Πανελληνίων εξετάσεων Β' Λυκείου, Ιούνιος 1999]

5. Δυο μικρές σφαίρες με φορτίο q και μάζα $m = \sqrt{3} \cdot 10^{-4} \text{ kg}$ η κάθε μια κρέμονται από το ίδιο σημείο με μονωτικά νήματα μήκους $\ell = 0,6 \text{ m}$. Οι σφαίρες ισορροπούν όταν τα νήματα σχηματίζουν γωνία $\varphi = 60^\circ$. Να βρεθεί το φορτίο q . Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

[Απάντηση : $q = 0,2 \mu\text{C}$]



6. Δυο σφαιρίδια με μάζες $m_1 = m_2 = m = 10\sqrt{3} \text{ g}$ και με φορτία $q_1 = 4 \cdot q_2$ κρέμονται από το ίδιο σημείο με μονωτικά νήματα μήκους $\ell = 0,18 \text{ m}$. Να βρεθούν τα δυο φορτία αν δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$ και τα νήματα σχηματίζουν μεταξύ τους γωνία $\varphi = 60^\circ$.

[Απάντηση : $q_1 = 1,2 \mu\text{C}$ και $q_2 = 0,3 \mu\text{C}$]

7. Δίνεται ορθογώνιο τρίγωνο ΑΒΓ με $A = 90^\circ$. Στις κορυφές του υπάρχουν τα φορτία $Q_A = 4 \mu\text{C}$, $Q_B = -6 \mu\text{C}$, $Q_\Gamma = -8 \mu\text{C}$. Να βρεθεί η δύναμη που ασκείται στο φορτίο Q_A αν δίνονται $AB = 3 \text{ m}$, $A\Gamma = 4 \text{ m}$.
[Απάντηση : $F = 3 \cdot 10^{-2} \text{ N}$]
8. Τρία ίσα ηλεκτρικά φορτία $Q = +1 \mu\text{C}$ τοποθετούνται στις κορυφές ισοπλεύρου τριγώνου πλευράς $a = 3 \text{ cm}$. Να υπολογιστεί η δύναμη που ασκείται σε κάθε φορτίο από τα άλλα δύο. Δίνεται $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.
[Απάντηση : $F = 10\sqrt{3} \text{ N}$]

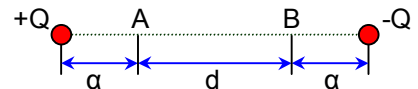
Ένταση και Δυναμικό

9. Στις άκρες ευθείας ΑΒ μήκους $\ell = 0,5 \text{ m}$ βρίσκονται αντίστοιχα δυο σημειακά φορτία $Q_A = 9 \cdot Q$ και $Q_B = -Q$. Σε ποιο σημείο της ευθείας ΑΒ το μέτρο α) της έντασης του ηλεκτροστατικού πεδίου, και β) του δυναμικού είναι ίσο με μηδέν.
[Απάντηση : α) $x_1 = 0,75 \text{ m}$, β) $x_2 = 0,45 \text{ m}$ ή $x_2 = 0,5625 \text{ m}$ από το Α]
10. Το δυναμικό και το μέτρο της έντασης ηλεκτροστατικού πεδίου που παράγεται από φορτίο q σε κάποιο σημείο σε απόσταση r από το φορτίο είναι αντίστοιχα $V = 900 \text{ V}$ και $E = 100 \text{ N/C}$. Να βρεθεί το φορτίο q και η απόσταση r .
[Απάντηση : $q = 0,9 \mu\text{C}$ και $r = 9 \text{ m}$]
11. Δύο σημειακά φορτία $Q = +4 \mu\text{C}$ και $Q = -4 \mu\text{C}$ τοποθετούνται στα άκρα της υποτείνουσας ορθογωνίου και ισοσκελούς τριγώνου ΑΒΓ. Να βρεθεί η ένταση και το δυναμικό στην κορυφή Α του τριγώνου. Το μήκος της υποτείνουσας είναι $B\Gamma = 2 \text{ m}$ και $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.
[Απάντηση : $E = 18\sqrt{2} \text{ KV/m}$, $V = 0$]
12. Στις άκρες μιας ευθείας ΑΒ μήκους $d = 0,1 \text{ m}$ βρίσκονται τα φορτία $q_1 = 10^{-2} \mu\text{C}$ και $q_2 = -10^{-2} \mu\text{C}$ αντίστοιχα. Να βρεθεί η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου σε ένα σημείο Γ της μεσοκαθέτου της ΑΒ που απέχει από το μέσο Μ της ΑΒ απόσταση $h = d/2$. Πόσο έργο παράγεται για μεταφορά φορτίου $q = 10^{-3} \mu\text{C}$ από το σημείο Γ στο άπειρο.
[Απάντηση : $\vec{E} = 18\sqrt{2} \cdot 10^3 \text{ N/C}$ με $\vec{E} // \text{AB}$ και $W = 0$]
13. Δύο αντίθετα ηλεκτρικά φορτία $Q = 1 \mu\text{C}$ τοποθετούνται στις δύο κορυφές ισοπλεύρου τριγώνου πλευράς $a = 3 \text{ m}$. Να υπολογιστεί η ένταση και το δυναμικό που δημιουργούν τα δύο φορτία στην τρίτη κορυφή. Δίνεται η σταθερά $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.
[Απάντηση : $E = 1000 \text{ V/m}$, $V = 0$]
14. Δίνεται τετράγωνο ΑΒΓΔ πλευράς $a = 0,3 \text{ m}$. Στις κορυφές του υπάρχουν ηλεκτρικά φορτία με τιμές $Q_A = 10^{-11} \text{ C}$, $Q_B = 10^{-11} \text{ C}$, $Q_\Gamma = -10^{-11} \text{ C}$, $Q_\Delta = -10^{-11} \text{ C}$ αντίστοιχα. Να βρεθεί η ένταση \vec{E} του ηλεκτρικού πεδίου στο κέντρο του τετράγωνου.
[Απάντηση : $\vec{E} = 4\sqrt{2} \text{ N/C}$ με $\vec{E} \perp \Gamma\Delta$]

15. Δύο ετερόνυμα σημειακά φορτία $Q_1 = 8 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ και $Q_2 = -10 \cdot 10^{-8} \text{ C}$ απέχουν μεταξύ τους απόσταση $d = 4 \text{ cm}$. Πόση ενέργεια πρέπει να δαπανήσουμε για να τριπλασιάσουμε την απόστασή τους. Δίνεται η σταθερά $k_{\eta\lambda} = 9 \cdot 10^9 \text{ Nm}^2/\text{C}^2$.
[Απάντηση : $W = 12 \cdot 10^{-4} \text{ J}$]

16. Τα δυναμικά δύο σημείων A και B ενός ηλεκτροστατικού πεδίου που δημιουργεί ένα ακίνητο ηλεκτρικό φορτίο $+Q$ είναι αντίστοιχα $V_A = 30 \text{ V}$ και $V_B = 20 \text{ V}$. Αν τα σημεία A και B βρίσκονται στην ίδια δυναμική γραμμή να υπολογιστεί το δυναμικό του μέσου M της ευθείας AB.
[Απάντηση : $V_M = 24 \text{ V}$]

17. Δύο σημειακά φορτία $+Q$ και $-Q$ βρίσκονται σε ορισμένη απόσταση μεταξύ τους όπως στο σχήμα. Δύο σημεία απέχουν μεταξύ τους απόσταση d και απέχουν απόσταση a από τα δύο φορτία. Να υπολογιστεί α) Η διαφορά δυναμικού $V_A - V_B$, β) Ισχύει η σχέση που βρέθηκε όταν είναι $d = 0$.



[Απάντηση : α) $\Delta V = k_{\eta\lambda} \frac{2qd}{a(a+d)}$, β) Ναι]

18. Στα σημεία A και B μιας ευθείας AB με μήκος $\ell = 9 \text{ m}$ βρίσκονται ακίνητα τα φορτία $+q$ και $+4q$ αντίστοιχα με $q = 1 \mu\text{C}$. Να βρεθεί το δυναμικό του σημείου Γ της ευθείας AB στο οποίο η ένταση του πεδίου είναι μηδέν.
[Απάντηση : $V = 9 \cdot 10^3 \text{ V}$]

19. Στα σημεία A και B μιας ευθείας AB με μήκος $l = 9 \text{ m}$ βρίσκονται ακίνητα τα φορτία $-q$ και $+4q$ αντίστοιχα με $q = 1 \mu\text{C}$. α) Να βρεθεί το δυναμικό του σημείου Γ της ευθείας AB στο οποίο η ένταση του πεδίου είναι μηδέν και β) Να βρεθεί η ένταση του πεδίου στα σημεία της ευθείας AB όπου το δυναμικό είναι μηδέν.
[Απάντηση : α) $V = 10^3 \text{ V}$, β) $E_1 = 750 \text{ V/m}$, $E_2 = 3472,2 \text{ V/m}$]

20. Τρία ίσα σημειακά φορτία $+q$ το καθένα τοποθετούνται στις τρεις κορυφές ενός τετραγώνου πλευράς a . Να υπολογιστούν : α) Η ένταση και το δυναμικό στο κέντρο του τετραγώνου, β) Η ένταση και το δυναμικό στην τέταρτη κορυφή του τετραγώνου και γ) Η δυναμική ενέργεια του συστήματος. Δίνεται η σταθερά $k_{\eta\lambda}$.

[Απάντηση : α) $E_K = k_{\eta\lambda} \frac{2q}{a^2}$, $V_K = 3\sqrt{2}k_{\eta\lambda} \frac{q}{a}$, β) $E_\Delta = \frac{(2\sqrt{2}+1)}{2} k_{\eta\lambda} \frac{q}{a^2}$,
 $V_\Delta = \frac{4+\sqrt{2}}{2} k_{\eta\lambda} \frac{q}{a}$, γ) $U_{ολ} = \frac{4+\sqrt{2}}{2} k_{\eta\lambda} \frac{q^2}{a}$]

Ομογενές Ηλεκτρικό Πεδίο

21. Πάνω σε μια ηλεκτρική δυναμική γραμμή ενός ομογενούς ηλεκτροστατικού πεδίου θεωρούμε δυο σημεία A και B με αντίστοιχα δυναμικά $V_1 = 50 \text{ V}$ και $V_2 = -20 \text{ V}$. Στο μέσο M της ευθείας AB να βρεθεί το δυναμικό και η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου. Δίνεται $AB = 0,2 \text{ m}$.
[Απάντηση : $V = 15 \text{ V}$ και $E = 350 \text{ V/m}$]

22. Σε ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο για δυο σημεία Α και Γ που βρίσκονται πάνω στην ίδια δυναμική γραμμή δίνονται $V_A = + 100 \text{ V}$ και $V_\Gamma = - 20 \text{ V}$. Να βρεθεί το δυναμικό σε σημείο Κ του πεδίου για το οποίο είναι α) $AK = K\Gamma$ και β) $AK = 2K\Gamma$.
[Απάντηση : α) $V_K = + 40 \text{ V}$, β) $V_K = + 60 \text{ V}$]
23. Σε ένα ομογενές ηλεκτρικό πεδίο για δυο σημεία Α και Β που βρίσκονται πάνω στην ίδια δυναμική γραμμή δίνονται $V_A = + 40 \text{ V}$ και $V_B = - 20 \text{ V}$. α) Να βρεθεί το δυναμικό σε σημείο Κ του πεδίου για το οποίο είναι $(AK) = (KB)$ και β) $(AK) = 2(KB)$ και γ) αν $(AB) = 10 \text{ cm}$ να βρεθεί η ένταση.
[Απάντηση : α) $V_K = + 10 \text{ V}$, β) $V_K = 0$, γ) $E = 600 \text{ V/m}$]
24. Δύο παράλληλες μεταλλικές πλάκες απέχουν απόσταση $\ell = 1 \text{ m}$ και βρίσκονται υπό τάση $V = 60 \text{ V}$. Δύο σημεία Α και Β απέχουν αποστάσεις $d_1 = 20 \text{ cm}$ και $d_2 = 60 \text{ cm}$ από τον ίδιο οπλισμό του πυκνωτή. Να βρεθεί η διαφορά δυναμικού V_{AB} .
[Απάντηση : $V_{AB} = 24 \text{ V}$]
25. Πρωτόνιο κινείται κατά μήκος μίας δυναμικής γραμμής ομογενούς ηλεκτρικού πεδίου και όταν έχει διανύσει απόσταση $d = 2 \text{ cm}$ έχει αυξήσει την κινητική του ενέργεια κατά $\Delta K = 3.2 \cdot 10^{-18} \text{ J}$. Να υπολογιστεί το μέτρο της έντασης του ηλεκτρικού πεδίου. Δίνεται $e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
[Απάντηση : $E = 1000 \text{ V/m}$]
26. Πρωτόνιο με μάζα $m = 1,6 \cdot 10^{-27} \text{ Kg}$ και ηλεκτρικό φορτίο $q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ μπαίνει με ταχύτητα $u = 1,6 \cdot 10^6 \text{ m/s}$ σε ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο έντασης $E = 3 \cdot 10^5 \text{ N/C}$. Το διάνυσμα της ταχύτητας είναι παράλληλο στις δυναμικές γραμμές του πεδίου. Να βρεθεί η μετατόπιση του φορτίου σε χρόνο $t = 10^{-7} \text{ s}$.
[Απάντηση : $x = 0,31 \text{ m}$]
27. Ανάμεσα σε δυο παράλληλες μεταλλικές πλάκες υπάρχει διάφορα δυναμικού $V = 15000 \text{ V}$. Η απόσταση των πλακών είναι $\ell = 5 \text{ cm}$. Πόσο έργο παράγεται όταν ένα ηλεκτρικό φορτίο $q = 0,05 \mu\text{C}$ μεταφέρεται λόγω του πεδίου από την θετική στην αρνητική πλάκα και πόση είναι η ηλεκτροστατική δύναμη που ασκείται στο φορτίο αυτό.
[Απάντηση : $W = 7,5 \cdot 10^{-4} \text{ J}$ και $F = 0,015 \text{ N}$]
28. Ανάμεσα σε δυο οριζόντιες πλάκες που απέχουν $\ell = 0,1 \text{ m}$ εφαρμόζεται διαφορά δυναμικού $V = 500 \text{ V}$. Πόσο χρόνο χρειάζεται ένα ηλεκτρόνιο για να πάει από την αρνητική πλάκα στην θετική. Δίνονται $q = - 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ και $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$. Το πεδίο βαρύτητας παραλείπεται.
[Απάντηση : $t = 1,5 \cdot 10^{-8} \text{ s}$]
29. Ομογενές ηλεκτρικό πεδίο έχει κατακόρυφες δυναμικές γραμμές με φορά προς τα πάνω. Ηλεκτρόνιο εκτοξεύεται προς τα πάνω με αρχική ταχύτητα $u_0 = 3.2 \cdot 10^5 \text{ m/s}$. Μετά από χρόνο $t = 2 \cdot 10^{-7} \text{ s}$ το ηλεκτρόνιο αλλάζει φορά κίνησης. Να υπολογιστεί : α) Η ένταση του ηλεκτρικού πεδίου , β) Το μέγιστο διάστημα που κινήθηκε κατακόρυφα το ηλεκτρόνιο. Το πεδίο βαρύτητας να παραληφθεί. Δίνονται $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ Kg}$ και $q_e = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
[Απάντηση : α) $E = 9 \text{ V/m}$, β) $s = 3.2 \text{ m}$]

30. Από το θετικό οπλισμό ενός φορτισμένου σε τάση $V = 180 \text{ V}$ επίπεδου πυκνωτή εκτοξεύεται φορτίο $q = -1.6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ με μάζα $m = 9 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ παράλληλα στις γραμμές του πεδίου με ταχύτητα u_0 . Να βρεθεί η μέγιστη ταχύτητα u_0 ώστε το φορτίο να μη χτυπήσει τον αρνητικό οπλισμό.

$$[\text{Απάντηση} : u_0 = 8 \cdot 10^6 \text{ m/s}]$$

31. Μεταξύ των παράλληλων και οριζόντιων μεταλλικών πλακών που βρίσκονται σε απόσταση $\ell = 1 \text{ cm}$ τοποθετείται σταγόνα λαδιού με πυκνότητα $\rho = 1500 \text{ kg/m}^3$. Αν το φορτίο της σταγόνας είναι $q = 16 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ και η τάση ανάμεσα στις πλάκες είναι $V = 100 \text{ V}$ τότε η σταγόνα αιωρείται. Να υπολογιστεί η ακτίνα r της σταγόνας. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$ και ο όγκος σφαίρας δίνεται από την σχέση $V = \frac{4}{3} \pi \cdot r^3$.

$$[\text{Απάντηση} : r = 6,5 \cdot 10^{-5} \text{ m}]$$

32. Δυο οριζόντιες πλάκες βρίσκονται σε διαφορά δυναμικού $V = 100 \text{ V}$ και απέχουν $\ell = 0,1 \text{ m}$. Ανάμεσα τους αιωρείται μια μικρή σταγόνα λαδιού με μάζα $m = 10 \text{ mg}$. Να βρεθεί το φορτίο της σταγόνας. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$[\text{Απάντηση} : q = 10^{-7} \text{ C}]$$

33. Ανάμεσα σε δυο κατακόρυφες μεταλλικές πλάκες κρέμεται με νήμα ένα σφαιρίδιο με μάζα $m = 10^{-3} \text{ kg}$. Οι δυο πλάκες συνδέονται με τους πόλους πηγής σταθερής τάσης $V = 1000 \text{ V}$ και τότε το νήμα του σφαιριδίου εκτρέπεται από τη θέση ισορροπίας κατά γωνία $\varphi = 45^\circ$. Αν η απόσταση ανάμεσα στις πλάκες είναι $d = 0,2 \text{ m}$ να βρεθεί το φορτίο q του σφαιριδίου. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

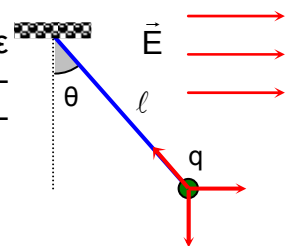
$$[\text{Απάντηση} : q = 2 \mu\text{C}]$$

34. Από νήμα με όριο θραύσης $T_{\theta\rho} = 5 \text{ N}$ κρέμεται μια μεταλλική σφαίρα μάζας $m = 0,3 \text{ kg}$ και φορτίου $q = 4 \mu\text{C}$. Το σύστημα βρίσκεται μέσα σε ομογενές ηλεκτρικό πεδίο με οριζόντιες δυναμικές γραμμές. Να βρείτε τη μέγιστη τιμή που μπορεί να πάρει η ένταση του πεδίου για να μην κοπεί το νήμα. Δίνεται $g = 10 \text{ m/s}^2$.

$$[\text{Απάντηση} : E_{\max} = 10^6 \text{ N/C}]$$

35. Το σφαιρίδιο του ηλεκτροστατικού εκκρεμούς βρίσκεται μέσα σε ομογενές ηλεκτροστατικό πεδίο και ισορροπεί όταν το νήμα σχηματίζει με την κατακόρυφη γωνία $\theta = 30^\circ$. Αν η ένταση του πεδίου τριπλασιαστεί να βρεθεί η καινούργια γωνία θ στην θέση ισορροπίας.

$$[\text{Απάντηση} : \theta = 60^\circ]$$



Πυκνωτές

36. Πυκνωτής έχει χωρητικότητα $2 \mu\text{F}$ και είναι φορτισμένος με τάση 20 V . Να υπολογίσετε

τε

- το φορτίο του πυκνωτή.
- την ενέργεια που έχει αποθηκευθεί στον πυκνωτή.
- την αύξηση που πρέπει να κάνουμε στο φορτίο του πυκνωτή, ώστε να αυξηθεί η τάση του κατά 10 V .

$$[\text{Απάντηση} : 40 \mu\text{C}, 4 \cdot 10^{-4} \text{ J}, 20 \mu\text{C}]$$

37. Επίπεδος πυκνωτής αέρα έχει χωρητικότητα $C_0 = 2 \mu\text{F}$ και είναι συνδεδεμένος με πηγή τάσης 40 V . Χωρίς να τον αποσυνδέσουμε από την πηγή, γεμίζουμε το χώρο μεταξύ των οπλισμών του με υλικό διηλεκτρικής σταθεράς $\epsilon = 10$. Να υπολογίσετε τη μεταβολή
- στην τάση μεταξύ των οπλισμών του.
 - στη χωρητικότητά του.
 - στην ηλεκτροστατική ενέργειά του. Που οφείλεται αυτή η μεταβολή;
[Απάντηση: $0, 18 \mu\text{F}, 720 \mu\text{C}, 14,4 \cdot 10^{-3} \text{ J}$]
38. Διαθέτουμε έναν πυκνωτή του οποίου μπορούμε να μεταβάλλουμε την χωρητικότητα από $1 \mu\text{F}$ έως $3 \mu\text{F}$.
- A. Επιλέγουμε χωρητικότητα $1 \mu\text{F}$ και τον φορτίζουμε με τάση 300 V . Πόσο ηλεκτρικό φορτίο απέκτησε ο πυκνωτής; Πόσα ηλεκτρόνια μεταφέρθηκαν από τον έναν οπλισμό στον άλλον, κατά τη διάρκεια της φόρτισής του; Δίνεται $e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.
- B. Αποσυνδέουμε τον πυκνωτή από την πηγή που τον φόρτισε και αυξάνουμε τη χωρητικότητά του σε $3 \mu\text{F}$. Να υπολογίσετε την τάση μεταξύ των οπλισμών του και τη μεταβολή της ενέργειάς του.