**1.5 Νόμος του Κουλόμπ (Με 4 παραδείγματα)**

Στις προηγούμενες ενότητες, είδαμε πως τα ηλεκτρικά φορτισμένα σώματα ασκούν δυνάμεις από απόσταση. Μάλιστα, όταν έχουν ομώνυμα φορτία απωθούνται, ενώ όταν έχουν ετερώνυμα έλκονται.

Σε αυτή λοιπόν την ενότητα, θα δούμε περισσότερες λεπτομέρειες γι’ αυτή την ηλεκτρική δύναμη.

**Ποια είναι η σχέση της ηλεκτρικής δύναμης με την απόσταση;**

 Όπως είδες και σε προηγούμενα πειράματα, όταν απομακρύνονται μεταξύ τους τα φορτισμένα σώματα, οι δυνάμεις που ασκούν το ένα στο άλλο μειώνονται.

Πιο συγκεκριμένα, ο Γάλλος φυσικός Charles Coulomb ανακάλυψε ότι η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο μικρών φορτισμένων σφαιρών είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της απόστασής τους. Δηλαδή όταν μικραίνει η απόσταση μεταξύ δύο φορτίων η δύναμη αλλάζει πολύ απότομα. Για παράδειγμα, αν σε απόσταση α η ηλεκτρική δύναμη που δέχεται η κάθε μία είναι F, τότε σε απόσταση 2α η δύναμη θα είναι !

**Ποια είναι η σχέση της ηλεκτρικής δύναμης με το φορτίο;**

Πέρα από τις αποστάσεις των σφαιρών, ο Coulomb πειραματίστηκε και με τα φορτία τους. Ανακάλυψε ότι **η ηλεκτρική δύναμη είναι ανάλογη με το φορτίο κάθε σφαίρας**.

Σε αντίθεση με την απόσταση όταν μεγαλώνει ή μικραίνει το φορτίο, η δύναμη αλλάζει πιο ομαλά. Για παράδειγμα, αν διπλασιάσουμε το φορτίο μιας από τις σφαίρες, η δύναμη με την οποία αλληλεπιδρούν διπλασιάζεται. Αν το τετραπλασιάσουμε αντίστοιχα, τότε και η δύναμη τετραπλασιάζεται!

**Πώς διατυπώνεται ο νόμος Coulomb;**

Το 1784 ο Coulomb διατύπωσε ότι:

**Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης (F) με την οποία αλληλεπιδρούν δύο σημειακά φορτία (q1 και q2) είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων και αντιστρόφως ανάλογο του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης (r)**.

Στην πράξη, αυτό γράφεται ως :



Οι σημαντικές **λεπτομέρειες της εξίσωσης**που περιγράφει την δύναμη μεταξύ δύο φορτίων είναι οι εξής:

* Το **Κ** είναι μία **σταθερά αναλογίας**, η **τιμή**της οποίας **εξαρτάται από το υλικό στο οποίο βρίσκονται τα φορτισμένα σώματα**. Στο **Διεθνές Σύστημα** S.I. η τιμή της σταθεράς είναι:
* Η **δύναμη**είναι **διανυσματικό μέγεθος**, επομένως οι δυνάμεις **F1 και F2** που δέχονται τα δύο φορτία σχεδιάζονται **σαν διανύσματα**, πάνω στη διεύθυνση της ευθείας που τα ενώνει. Αν τα φορτία είναι **ομώνυμα**οι δυνάμεις θα είναι **απωστικές**και τα βέλη θα έχουν **φορά “προς τα έξω”**, ενώ αν τα φορτία είναι **ετερώνυμα**, οι δυνάμεις θα είναι **ελκτικές**και θα έχουν**φορά “προς τα μέσα”**.
Προσοχή! **Όταν αντικαθιστούμε στη σχέση του νόμου Coulomb την τιμή των φορτίων δεν χρησιμοποιούμε το πρόσημό τους**. Ο σκοπός μας είναι να υπολογίζουμε το μέτρο της δύναμης που ασκούν το ένα στο άλλο και δεν πρέπει να έχει πρόσημο μετά τον υπολογισμό μας. Τη φορά της δύναμης, την κρίνουμε ανάλογα με το αν είναι ομώνυμα ή ετερώνυμα τα φορτία.
* Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα, οι δύο δυνάμεις που δέχονται **τα φορτία έχουν σχέση δράσης - αντίδρασης**. Γι’ αυτό ακριβώς **υπολογίζουμε ένα μέτρο από τη σχέση του νόμου Coulomb, με το οποίο ισούται τόσο η F1 όσο και η F2**!
* Στην προηγούμενη ενότητα είπαμε ότι συνήθως συναντάμε μC ή nC αντί για 1 ολόκληρο C. Για φορτία q1 = q2 = 1 C, και απόσταση r = 1m, από τη σχέση προκύπτει ότι η ηλεκτρική δύναμη είναι ίση με 9 δισεκατομμύρια N, μία απίστευτα μεγάλη δύναμη που είναι σχεδόν αδύνατον να συναντήσουμε.
* Τα φορτία που μας δίνουν σε μC ή nC, όταν τα αντικαθιστούμε στον τύπο πρέπει να τα μετατρέψουμε σε C, ώστε να μας βγει σωστό αποτέλεσμα. Θυμίζουμε ότι: **1μC=10-6C και 1nC=10-9C**
* Όταν η απόσταση δίνεται σε m ή cm ή mm, πρέπει να τα μετατρέψουμε σε m για να έχουμε σωστό αποτέλεσμα. Θυμίζουμε ότι: **1cm=10-2 m και 1mm=10-3 m**
* Ο **νόμος του Coulomb ισχύει για τη μελέτη προβλημάτων με σημειακά φορτία ή μικρές φορτισμένες σφαίρες**.

Παραδείγματα:

**Παράδειγμα 1.** Δύο σημειακά φορτία q1 = 4 ∙ 10-6 C και q2 = 5 ∙ 10-6 C, βρίσκονται στον αέρα και σε απόσταση r = 4m. Να υπολογίσετε και να σχεδιάσετε την ηλεκτρική δύναμη που δέχεται κάθε φορτίο.

Αφού είναι ομώνυμα, τα δύο φορτία δέχονται απωστικές δυνάμεις F1 και F2 αντίστοιχα, οι οποίες όμως είναι ίσες κατά μέτρο, αφού είναι δυνάμεις δράσης-αντίδρασης:

Για να τις υπολογίσουμε, χρησιμοποιούμε το νόμο του Coulomb:



Εφόσον η εκφώνηση μας δίνει τα φορτία και την απόσταση σαν δεδομένα, κάνουμε αντικατάσταση στη σχέση και βρίσκουμε ότι:



Οπότε:



**Παράδειγμα 2.** Δύο μικρές σφαίρες με φορτία q1 = 0,2nC και q2 = -0,6nC βρίσκονται σε απόσταση r. Αν η δύναμη που δέχεται κάθε σφαίρα έχει μέτρο F = 120 ∙ 10-8N, να βρείτε την απόστασή των κέντρων τους.

Μπορούμε να θεωρήσουμε ότι όλο το φορτίο κάθε σφαίρας είναι συγκεντρωμένο σαν σημειακό φορτίο, στο κέντρο της. Γι’ αυτό και η άσκηση ζητά να βρούμε την απόσταση των κέντρων.

Όπως και πριν, κάθε μία από τις σφαίρες θα δέχεται ηλεκτρική δύναμη ίση με F, δηλαδή θα ισχύει ότι:

F1 = F2 = F

Το μόνο διαφορετικό, είναι ότι αυτή τη φορά οι δυνάμεις θα είναι ελκτικές.

 Έτσι, χρησιμοποιούμε και πάλι την σχέση του νόμου Coulomb αφού μετατρέψουμε τα nC σε C:

0,2nC = 0,2∙10-9 C = 2∙10-1∙10-9 C και ομοίως - 0,6nC = 0,6∙10-9 C = 6∙10-1∙10-9C



Η εκφώνηση μας δίνει το μέτρο της δύναμης και τα φορτία, αλλά μας ζητά την απόσταση. Άρα, πρέπει να λύσουμε ως προς r προτού κάνουμε αντικατάσταση:



Με αντικατάσταση των δεδομένων, έχουμε ότι:



Αλλά ισχύει ότι:

10-1∙10-9= 10-10

120∙10-8= 12∙10-7

Επομένως:



Οπότε:



**Παράδειγμα 3.** Δύο μικρές σφαίρες με φορτία q1 = 5μC και q2 = -8nC αντίστοιχα, βρίσκονται στον αέρα. Αν η σφαίρα 1 δέχεται δύναμη F1 = 90 ∙ 10-4Ν, βρείτε:

**α.** τη δύναμη F2 που δέχεται η σφαίρα 2

**β.** την απόσταση μεταξύ των σφαιρών

**γ.** πόση γίνεται η ελκτική δύναμη μεταξύ τους, όταν η απόστασή τους διπλασιαστεί

Μετατρέπουμε πρώτα τα nC και μC σε C:

5μC = 5∙10-6 C και ομοίως 8nC = 8∙10-9 C

**α.** Αφού τα οι δύο σφαίρες έχουν ετερώνυμα ηλεκτρικά φορτία, η δύναμη F1 είναι ελκτική. Αντίστοιχη όμως δύναμη θα δέχεται και η σφαίρα 2, αφού η F1 και η F2 έχουν σχέση δράσης - αντίδρασης. Έτσι, θα ισχύει ότι:

F1 = F2 = 90 ∙ 10-4 Ν

**β.** Για να υπολογίσουμε την απόσταση μεταξύ των σφαιρών, χρησιμοποιούμε παρόμοιους υπολογισμούς με την προηγούμενη άσκηση. Δηλαδή:



  Άρα:



**γ.** Μπορούμε να βρούμε την απάντηση σε αυτό το ερώτημα με δύο τρόπους.

**Α' τρόπος**

Γράφουμε (χωρίς να κάνουμε αντικατάσταση) τη σχέση του νόμου Coulomb για την αρχική, και την τελική, δηλαδή διπλάσια, απόσταση:



Και



 Όμως αφού:

r’ = 2r

Τότε ισχύει ότι:

   



Διαιρώντας τη σχέση για F και τη σχέση για F’ κατά μέλη, εν συνεχεία κάνοντας τα σύνθετα κλάσματα απλά, έχουμε:



Τελικά:

 


**Β' τρόπος**

 Όπως και πριν, ο νόμος Coulomb για την περίπτωση της διπλάσιας απόστασης θα πάρει τη μορφή:



Που μπορεί να γραφεί:



Στην οποία σχέση φαίνεται η αρχική δύναμη:



 Έτσι, καταλήγουμε και πάλι στο ότι:



**Παράδειγμα 4.**Δύο μικρές σφαίρες έλκονται με δυνάμεις F1 = F2 = 3 ∙ 10-7N όταν τα κέντρα τους απέχουν r = 0,1m. Ποια πρέπει να είναι η απόσταση των κέντρων τους ώστε να έλκονται με δυνάμεις F1’ = F2’ = 12 ∙ 10-7Ν;

Και πάλι, γράφουμε τη σχέση του νόμου Coulomb, για την δύναμη με την οποία αλληλεπιδρούν, στην αρχική και στη ζητούμενη απόσταση:



Και



Διαιρώντας κατά μέλος και απλοποιώντας:



Δηλαδή:

F ∙ r2 = F’ ∙ r’2

 Ή



