

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2ο ΝΟΜΟΣ ΤΟΥ COULOMB

ΘΕΩΡΙΑ

2.1) Να διατυπώσετε τον νόμο του Coulomb.

Ο Γάλλος φυσικός Coulomb μελέτησε τις δυνάμεις που ασκούνται μεταξύ ακίνητων ηλεκτρικών φορτίων. Τα συμπεράσματα στα οποία κατέληξε διατυπώνονται στον παρακάτω νόμο, τον νόμο του Coulomb:

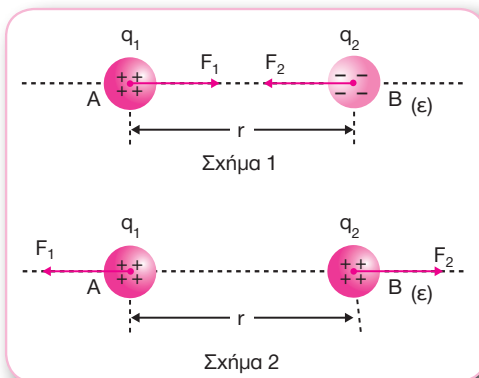
Κάθε σημειακό ηλεκτρικό φορτίο ασκεί δύναμη σε κάθε άλλο σημειακό ηλεκτρικό φορτίο. Το μέτρο της δύναμης είναι ανάλογο του γινομένου των φορτίων που αλληλεπιδρούν και αντιστρόφως ανάλογο με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης.

$$\text{Δηλαδή: } F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad (1)$$

Η δύναμη Coulomb έχει ίδια διεύθυνση με τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία και σημείο εφαρμογής τα σημειακά φορτία.

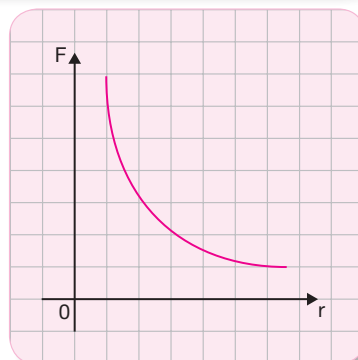
Εάν τα φορτία είναι **ετερόνυμα**, οι δυνάμεις Coulomb είναι **ελκτικές** (σχήμα 1), ενώ, όταν τα φορτία είναι **ομώνυμα**, οι δυνάμεις Coulomb είναι **απωστικές** (σχήμα 2).

Ο νόμος του Coulomb, όπως και ο νόμος της παγκόσμιας έλξης, ακολουθεί τον νόμο του αντιστρόφου τετραγώνου, δηλαδή:

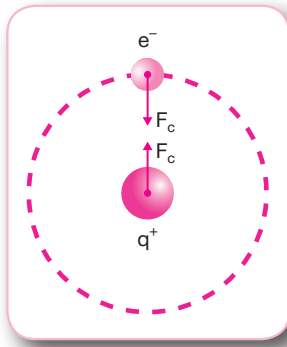


Η δύναμη Coulomb μεταξύ δύο σημειακών φορτίων είναι αντιστρόφως ανάλογη με το τετράγωνο της μεταξύ τους απόστασης

$$\left(F_c = \text{σταθ} \cdot \frac{1}{r^2} \right).$$



Οι δυνάμεις που ασκούνται στα δύο ηλεκτρικά φορτία υπακούουν στον τρίτο νόμο του Νεύτωνα ($\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$).



Το ηλεκτρόνιο περιστρέφεται γύρω από τον πυρήνα στο άτομο του υδρογόνου λόγω της δύναμης Coulomb που ασκείται μεταξύ του πρωτονίου και του ηλεκτρονίου.

2.2) Τι γνωρίζετε για την ηλεκτρική σταθερά k στον νόμο του Coulomb;

Η σταθερά k στον νόμο του Coulomb ονομάζεται ηλεκτρική σταθερά και εξαρτάται:

- από το σύστημα μονάδων που χρησιμοποιούμε,
- από το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα ηλεκτρικά φορτία.

Όταν τα ηλεκτρικά φορτία βρίσκονται στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα, η σταθερά k δίνεται από τη σχέση:

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

Η σταθερά ϵ_0 ονομάζεται **απόλυτη διηλεκτρική σταθερά του κενού** και στο Διεθνές Σύστημα

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

Επομένως, όταν τα φορτία βρίσκονται στο κενό και κατά προσέγγιση στον αέρα και χρησιμοποιούμε

το Διεθνές Σύστημα Μονάδων, η σταθερά k έχει τιμή $k = 9 \cdot 10^9 \frac{N \cdot m^2}{C^2}$

ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ

➤ Μονάδες ηλεκτρικού φορτίου

Ισχύουν οι σχέσεις:

$$1\text{C} = 10^3 \text{mC} \quad 1\text{mC} = 10^{-3} \text{C}$$

$$1\text{C} = 10^6 \mu\text{C} \quad 1\mu\text{C} = 10^{-6} \text{C}$$

$$1\text{C} = 10^9 \text{nC} \quad 1\text{nC} = 10^{-9} \text{C}$$

$$1\text{C} = 10^{12} \text{pC} \quad 1\text{pC} = 10^{-12} \text{C}$$

➤ Περίσσεια ή έλλειμμα ηλεκτρονίων

Όταν ένα σώμα είναι αρνητικά φορτισμένο, έχει περίσσεια ηλεκτρονίων, ενώ, εάν είναι θετικά φορτισμένο, έχει έλλειμμα ηλεκτρονίων.

Ο αριθμός N των ηλεκτρονίων που είναι σε περίσσεια ή σε έλλειμμα δίνεται από τη σχέση $N = \frac{|q|}{|q_e|}$, όπου q το φορτίο του σώματος και q_e το φορτίο του ηλεκτρονίου.

➤ Ελκτικές και απωστικές δυνάμεις Coulomb

Δύο σημειακά ηλεκτρικά φορτία αλληλεπιδρούν με ηλεκτρικές δυνάμεις, το μέτρο των οποίων δίνε-

ται από τον νόμο του Coulomb: $F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$

Όταν τα φορτία είναι ετερόνυμα, οι δυνάμεις είναι ελκτικές, ενώ, όταν τα φορτία είναι ομώνυμα, οι δυνάμεις είναι απωστικές.

Σύμφωνα με τον τρίτο νόμο του Νεύτωνα για τη δράση-αντίδραση, οι ηλεκτρικές δυνάμεις μεταξύ των σημειακών φορτίων έχουν αντίθετη φορά και ίσα μέτρα.

➤ Μονάδες μεγεθών στον νόμο Coulomb

Στον νόμο του Coulomb $F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2}$, τα φορτία q_1, q_2 εκφράζονται σε C, η απόσταση r σε m και η δύναμη F σε N. Εάν τα φορτία βρίσκονται στο κενό ή στον αέρα, η σταθερά k έχει κατά προσέγγιση τιμή: $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

➤ Υπολογισμός απόστασης και φορτίου

Από τον νόμο του Coulomb μπορούμε να υπολογίσουμε:

- την απόσταση r μεταξύ των δύο φορτίων:

$$F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F_c r^2 = k |q_1 \cdot q_2| \quad \text{ή} \quad r^2 = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{F_c} \quad \text{ή} \quad r = \sqrt{k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{F_c}}$$

- την τιμή του ενός φορτίου, π.χ. του q_1 : $F_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F_c r^2 = k |q_1 \cdot q_2| \quad \text{ή} \quad |q_1| = \frac{F_c r^2}{k |q_2|}$

Από τα δεδομένα της άσκησης είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε το πρόσημο του φορτίου.

➤ Μεταβολή της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb

Όταν μεταβάλλονται είτε η απόσταση μεταξύ των δύο σημειακών φορτίων είτε οι τιμές των φορτίων είτε και τα δύο ταυτόχρονα, μεταβάλλεται το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης. Το μέτρο F'_c της ηλεκτρικής δύναμης στην τελική κατάσταση μπορούμε να το εκφράσουμε σε σχέση με το μέτρο F_c της ηλεκτρικής δύναμης στην αρχική κατάσταση, όπως φαίνεται στο παρακάτω παράδειγμα.

Παράδειγμα

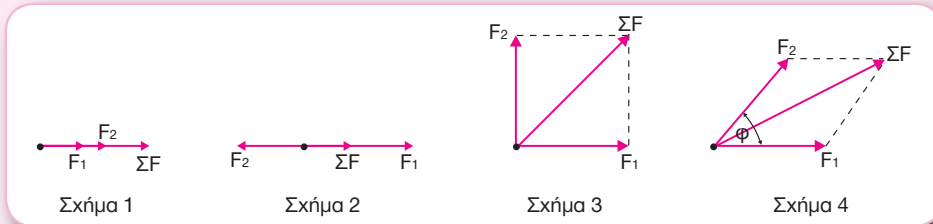
Έστω ότι υποδιπλασιάζεται το φορτίο q_1 και ταυτόχρονα διπλασιάζεται η απόσταση r μεταξύ των δύο φορτίων. Εφαρμόζοντας τον νόμο του Coulomb, έχουμε:

$$F'_c = k \frac{|q'_1 \cdot q_2|}{r'^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = k \frac{\left|\frac{q_1}{2} \cdot q_2\right|}{(2r)^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{8r^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = \frac{1}{8} k \frac{|q_1 \cdot q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = \frac{1}{8} F_c$$

➤ Υπολογισμός συνισταμένης ηλεκτρικής δύναμης

Έστω ότι θέλουμε να υπολογίσουμε τη συνισταμένη δύο δυνάμεων F_1 και F_2 . Διακρίνουμε τις παρακάτω περιπτώσεις:

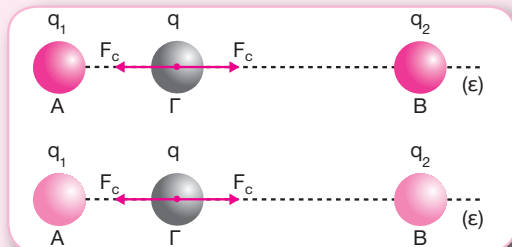
- Οι δυνάμεις F_1 και F_2 είναι ομόρροπες (σχ.1): $\Sigma F = F_1 + F_2$
- Οι δυνάμεις F_1 και F_2 είναι αντίρροπες (σχ.2): $\Sigma F = |F_1 - F_2|$
- Οι δυνάμεις F_1 και F_2 είναι κάθετες μεταξύ τους (σχ.3): $\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
- Οι δυνάμεις F_1 και F_2 σχηματίζουν μεταξύ τους τυχαία γωνία (σχ.4): $\Sigma F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2\cos\varphi}$



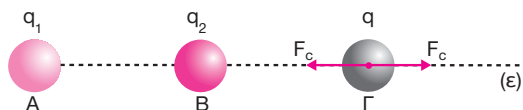
➤ Ισορροπία φορτισμένου σωματιδίου

Για να ισορροπεί ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο q που βρίσκεται σε χώρο στον οποίο υπάρχουν δύο άλλα σημειακά φορτία q_1 και q_2 , πρέπει η συνισταμένη των δυνάμεων που δέχεται από τα δύο φορτία να είναι μηδέν. Επομένως, το φορτίο q πρέπει να τοποθετηθεί:

- μεταξύ των δύο φορτίων, q_1 και q_2 , και επάνω στην ευθεία που τα ενώνει, εφόσον τα φορτία q_1 και q_2 είναι ομώνυμα.

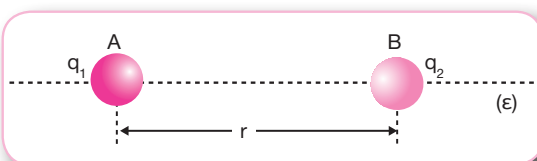


- στην ευθεία που ενώνει τα δύο φορτία, q_1 και q_2 , αλλά εκτός του ευθυγράμμου τμήματος AB και προς το μέρος του φορτίου με τη μικρότερη απόλυτη τιμή, π.χ. του q_2 , εφόσον τα φορτία q_1 και q_2 είναι ετερόνυμα.



ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΣΚΗΣΕΙΣ

- 2.3)** Δύο σημειακά φορτία, $q_1 = 4\mu\text{C}$ και $q_2 = -20\mu\text{C}$, βρίσκονται στα σημεία A και B μίας ευθείας ε και απέχουν μεταξύ τους απόσταση $r = 4\text{cm}$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το φορτίο του ηλεκτρονίου είναι $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19}\text{C}$ και η ηλεκτρική σταθερά $k = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$.



- Να υπολογίσετε την περίσσεια των ηλεκτρονίων στο φορτίο q_2 .
- Να σχεδιάσετε την ηλεκτρική δύναμη που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο και να υπολογίσετε το μέτρο της.
- Να υπολογίσετε το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο, εάν τριπλασιαστεί η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων.

Λύση

α) Το φορτίο q_2 είναι:

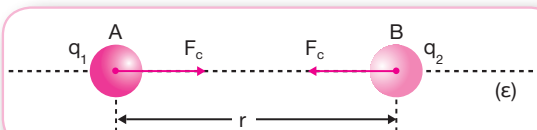
$$q_2 = -20\mu\text{C} = -20 \cdot 10^{-6}\text{C}$$

Η περίσσεια των ηλεκτρονίων στο φορτίο q_2 δίνεται από τη σχέση:

$$N = \frac{|q_2|}{|q_e|} \quad \text{ή} \quad N = 1,25 \cdot 10^{14} \text{ ηλεκτρόνια.}$$

Ο αριθμός N των ηλεκτρονίων που βρίσκονται σε περίσσεια σε περίπτωση αρνητικού φορτίου $-q$ ή σε έλλειμμα σε περίπτωση θετικού φορτίου q υπολογίζεται από τη σχέση $N = \frac{|q|}{|q_e|}$, όπου q_e το φορτίο του ηλεκτρονίου.

β) Οι δυνάμεις μεταξύ των δύο φορτίων είναι ελκτικές και έχουν ίδια διεύθυνση με τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο φορτία.



Η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων είναι:

$$r = 4 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

Εφαρμόζοντας τον νόμο του Coulomb, έχουμε:

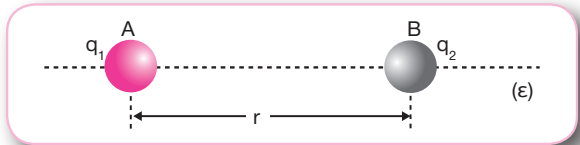
$$F_c = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F_c = 450 \text{ N}$$

Οι δυνάμεις που ασκούνται στα δύο ηλεκτρικά φορτία υπακούουν στον τρίτο νόμο του Νεύτωνα (δράση-αντίδραση).

γ) Όταν η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων γίνει $r' = 3r$, το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb γίνεται:

$$F'_c = k \frac{|q_1 q_2|}{r'^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = k \frac{|q_1 q_2|}{(3r)^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = k \frac{|q_1 q_2|}{9r^2} \quad \text{ή} \quad F'_c = \frac{1}{9} F_c \quad \text{ή} \quad F'_c = 50 \text{ N}$$

2.4) Δύο σημειακά φορτία, $q_1 = 2 \mu\text{C}$ και q_2 , βρίσκονται στα σημεία Α και Β μίας ευθείας ε και απέχουν μεταξύ τους απόσταση $r = 40 \text{ cm}$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο είναι $F_c = 0,45 \text{ N}$. Να υπολογίσετε:



α) το φορτίο q_2 ,

β) την απόσταση r' μεταξύ των δύο φορτίων, εάν το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο γίνει $F'_c = 1,8 \text{ N}$.

Λύση

α) Το φορτίο q_1 είναι: $q_1 = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

Η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων είναι: $r = 40 \text{ cm} = 4 \cdot 10^{-1} \text{ m}$

Από τον νόμο του Coulomb, έχουμε:

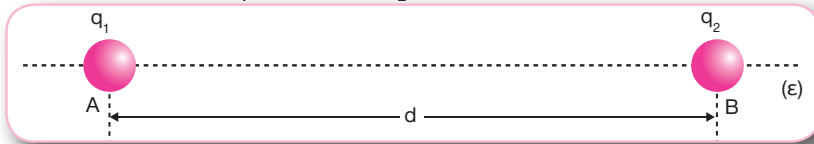
$$F_c = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad |q_2| = \frac{F_c r^2}{k |q_1|} \quad \text{ή} \quad |q_2| = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

Επομένως: $q_2 = 4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ ή $q_2 = -4 \cdot 10^{-6} \text{ C}$

β) Εάν F'_c είναι το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης μεταξύ των δύο φορτίων, όταν η μεταξύ τους απόσταση είναι r' , έχουμε:

$$F'_c = 4F_c \quad \text{ή} \quad k \frac{|q_1 q_2|}{r'^2} = 4k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad 4r'^2 = r^2 \quad \text{ή} \quad r' = \frac{r}{2} \quad \text{ή} \quad r' = 20 \text{ cm}$$

- 2.5)** Στα σημεία A και B μίας ευθείας ϵ που απέχουν απόσταση $d = 0,9\text{ m}$ συγκρατούνται ακίνητα δύο σημειακά φορτία $q_1 = 8\text{ }\mu\text{C}$ και $q_2 = 32\text{ }\mu\text{C}$ αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα.

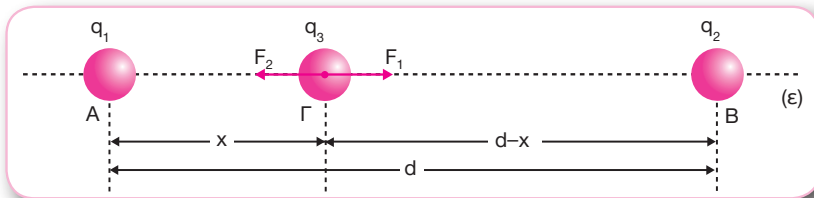


α) Να προσδιορίσετε τη θέση ενός σημείου Γ της ευθείας ϵ στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ένα θετικό σημειακό φορτίο q_3 , ώστε να ισορροπεί.

β) Εάν διπλασιάσουμε το φορτίο q_3 , θα μεταβληθεί η θέση του σημείου Γ;

Λύση

α) Το φορτίο q_3 πρέπει να τοποθετηθεί ανάμεσα στα σημεία A και B, ώστε οι δυνάμεις F_1 και F_2 να είναι αντίρροπες και το φορτίο q_3 να ισορροπεί. Εάν το φορτίο q_3 τοποθετηθεί αριστερά από το σημείο A ή δεξιά από το σημείο B, οι δυνάμεις F_1 και F_2 θα είναι ομόρροπες.



Έστω ότι το σημείο Γ βρίσκεται σε απόσταση x από το σημείο A. Στο φορτίο q_3 ασκούνται οι ηλεκτρικές δυνάμεις F_1 και F_2 από τα φορτία q_1 και q_2 αντίστοιχα. Εφόσον το φορτίο q_3 ισορροπεί, ισχύει:

Για να ισορροπεί ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο q που βρίσκεται σε χώρο στον οποίο υπάρχουν δύο άλλα σημειακά ομώνυμα φορτία q_1 και q_2 , πρέπει να τοποθετηθεί μεταξύ των δύο φορτίων q_1 και q_2 και επάνω στην ευθεία που τα ενώνει.

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad \text{ή} \quad F_1 = F_2 \quad \text{ή} \quad k \frac{|q_1 q_3|}{x^2} = k \frac{|q_2 q_3|}{(d-x)^2} \quad \text{ή} \quad \frac{q_1}{x^2} = \frac{q_2}{(d-x)^2} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{x^2} = \frac{4}{(0,9-x)^2} \quad \text{ή}$$

$$\frac{1}{x} = \pm \frac{2}{0,9-x} \quad (1)$$

Από τη σχέση (1), για $\frac{1}{x} = +\frac{2}{0,9-x}$ έχουμε:

$$\frac{1}{x} = +\frac{2}{0,9-x} \quad \text{ή} \quad 2x = 0,9-x \quad \text{ή} \quad 3x = 0,9 \quad \text{ή} \quad x = 0,3\text{ m} \quad (2)$$

Από τη σχέση (1), για $\frac{1}{x} = -\frac{2}{0,9-x}$ έχουμε:

$$\frac{1}{x} = -\frac{2}{0,9-x} \quad \text{ή} \quad -2x = 0,9-x \quad \text{ή} \quad -x = 0,9 \quad \text{ή} \quad x = -0,9\text{ m} \quad (3)$$

Η λύση $x = -0,9\text{ m}$ απορρίπτεται, επειδή αντιστοιχεί σε σημείο αριστερά από το σημείο A.

β) Για να ισορροπεί το φορτίο q_3 , πρέπει να ισχύει:

$$\Sigma \vec{F}' = 0 \quad \text{ή} \quad F'_1 = F'_2 \quad \text{ή} \quad k \frac{|q_1 \cdot 2q_3|}{x'^2} = k \frac{|q_2 \cdot 2q_3|}{(d-x')^2} \quad \text{ή} \quad \frac{q_1}{x'^2} = \frac{q_2}{(d-x')^2} \quad \text{ή} \quad \frac{1}{x'} = \pm \frac{2}{0,9-x'} \quad (4)$$

Επειδή οι σχέσεις (1) και (4) είναι ίδιες, δε μεταβάλλεται η θέση του σημείου Γ.

2.6) Στα σημεία Α και Β μίας ευθείας ε που απέχουν απόσταση $d = 10 \text{ cm}$ τοποθετούμε δύο σημειακά φορτία $q_1 = -81 \mu\text{C}$ και $q_2 = 49 \mu\text{C}$ αντίστοιχα.

α) Να υπολογίσετε το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται μεταξύ των δύο φορτίων.

β) Να προσδιορίσετε τη θέση ενός σημείου Γ της ευθείας ε στο οποίο πρέπει να τοποθετηθεί ένα αρνητικό σημειακό φορτίο q_3 , ώστε να ισορροπεί.

Λύση

α) Εφαρμόζοντας τον νόμο του Coulomb, έχουμε:

$$F_c = k \frac{|q_1 q_2|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F_c = 3.572,1 \text{ N}$$

β) Εάν το σημείο Γ βρίσκεται ανάμεσα στα σημεία Α και Β, οι δύο δυνάμεις που θα δέχεται το φορτίο q_3 από τα φορτία q_1 και q_2 θα έχουν ίδια φορά, όπως φαίνεται στο σχήμα, και επομένως αποκλείεται το φορτίο q_3 να ισορροπεί. Άρα, το σημείο Γ πρέπει να βρίσκεται επάνω στην ευθεία ε, εκτός του ευθυγράμμου τμήματος ΑΒ και προς το μέρος του μικρότερου κατά απόλυτη τιμή φορτίου.

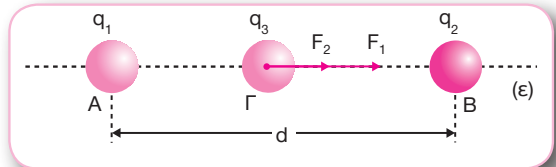
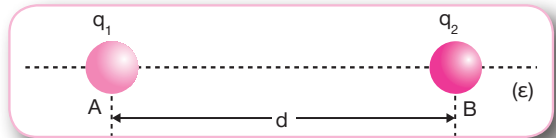
Εάν το σημείο Γ απέχει απόσταση x από το σημείο Β, από το σημείο Α απέχει απόσταση $d+x$. Επομένως:

$$\Sigma \vec{F} = 0 \quad \text{ή} \quad F_1 = F_2 \quad \text{ή}$$

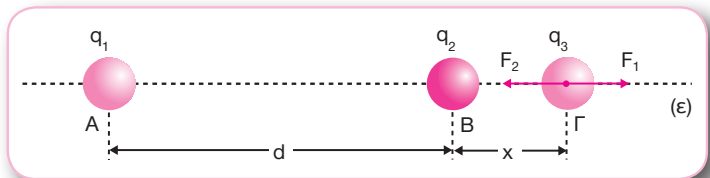
$$k \frac{|q_1 q_3|}{(d+x)^2} = k \frac{|q_2 q_3|}{x^2} \quad \text{ή}$$

$$\frac{|q_1|}{(d+x)^2} = \frac{|q_2|}{x^2} \quad \text{ή}$$

$$\frac{81 \cdot 10^{-6}}{(0,1+x)^2} = \frac{49 \cdot 10^{-6}}{x^2} \quad \text{ή} \quad \frac{9}{0,1+x} = \pm \frac{7}{x} \quad (1)$$



Για να ισορροπεί ένα σημειακό ηλεκτρικό φορτίο q που βρίσκεται σε χώρο στον οποίο υπάρχουν δύο άλλα σημειακά ετερόνυμα φορτία, q_1 και q_2 , στα σημεία Α και Β, πρέπει να τοποθετηθεί στην ευθεία που ενώνει τα δύο φορτία, q_1 και q_2 , αλλά εκτός του ευθύγραμμου τμήματος ΑΒ και προς το μέρος του φορτίου με τη μικρότερη απόλυτη τιμή.



Από τη σχέση (1), για $\frac{9}{0,1+x} = +\frac{7}{x}$ έχουμε:

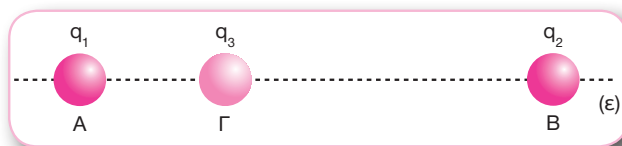
$$\frac{9}{0,1+x} = +\frac{7}{x} \quad \text{ή} \quad 9x = 0,7 + 7x \quad \text{ή} \quad 2x = 0,7 \quad \text{ή} \quad x = 0,35\text{m} \quad (2)$$

Από τη σχέση (1), για $\frac{9}{0,1+x} = -\frac{7}{x}$ έχουμε:

$$\frac{9}{0,1+x} = -\frac{7}{x} \quad \text{ή} \quad -9x = 0,7 + 7x \quad \text{ή} \quad -16x = 0,7 \quad \text{ή} \quad x = -\frac{0,7}{16}\text{m} \quad \text{ή} \quad x = -0,0437\text{m} \quad (3)$$

Η λύση $x = -0,0437\text{m}$ απορρίπτεται, επειδή αντιστοιχεί σε σημείο του ευθύγραμμου τμήματος AB, αριστερά από το σημείο B.

- 2.7)** Τρεις μικρές φορτισμένες σφαίρες με φορτία $q_1 = 8\mu\text{C}$, $q_2 = 4\mu\text{C}$ και $q_3 = -2\mu\text{C}$ τοποθετούνται στις θέσεις A, B και Γ αντίστοιχα μίας ευθείας ϵ , όπως φαίνεται στο σχήμα. Γνωρίζουμε ότι $(AB) = 30\text{cm}$ και $(AG) = 10\text{cm}$.



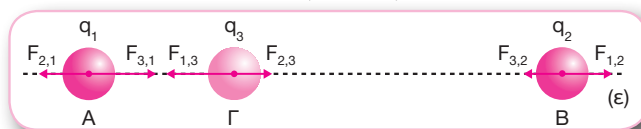
- α) Να σχεδιάσετε όλες τις ηλεκτρικές δυνάμεις που δέχονται τα τρία φορτία.
 β) Να υπολογίσετε το μέτρο της συνολικής ηλεκτρικής δύναμης που δέχεται το φορτίο q_3 .
 γ) Να συγκρίνετε τα μέτρα των ηλεκτρικών δυνάμεων που δέχεται το φορτίο q_1 .

Λύση

α) Το φορτίο q_1 δέχεται την ελκτική δύναμη $F_{3,1}$ από το φορτίο q_3 και την απωστική δύναμη $F_{2,1}$ από το φορτίο q_2 .

Το φορτίο q_2 δέχεται την απωστική δύναμη $F_{1,2}$ από το φορτίο q_1 και την ελκτική δύναμη $F_{3,2}$ από το φορτίο q_3 .

Το φορτίο q_3 δέχεται τις ελκτικές δυνάμεις $F_{1,3}$ και $F_{2,3}$ από τα φορτία q_1 και q_2 αντίστοιχα.



β) Το μέτρο της δύναμης $F_{1,3}$ που δέχεται το φορτίο q_3 από το φορτίο q_1 είναι:

$$F_{1,3} = k \frac{|q_1 q_3|}{(AG)^2} \quad \text{ή} \quad F_{1,3} = 14,4\text{N}$$

Το μέτρο της δύναμης $F_{2,3}$ που δέχεται το φορτίο q_3 από το φορτίο q_2 είναι:

$$F_{2,3} = k \frac{|q_2 q_3|}{(BG)^2} \quad \text{ή} \quad F_{2,3} = 1,8\text{N}$$

Η συνολική δύναμη που ασκείται στο φορτίο q_3 έχει μέτρο: $F = F_{1,3} - F_{2,3}$ ή $F = 12,6\text{N}$

γ) Το μέτρο της δύναμης $F_{2,1}$ που δέχεται το φορτίο q_1 από το φορτίο q_2 είναι:

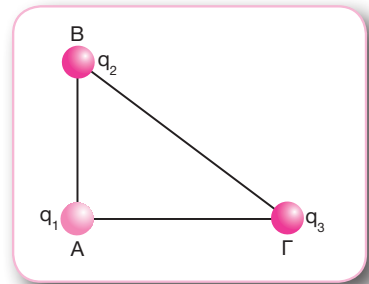
$$F_{2,1} = k \frac{|q_1 q_2|}{(AB)^2} \quad \text{ή} \quad F_{2,1} = 3,2 \text{ N}$$

Το μέτρο της δύναμης $F_{3,1}$ που δέχεται το φορτίο q_1 από το φορτίο q_3 είναι:

$$F_{3,1} = k \frac{|q_1 q_3|}{(A\Gamma)^2} \quad \text{ή} \quad F_{3,1} = 14,4 \text{ N}$$

$$\text{Επομένως: } \frac{F_{3,1}}{F_{2,1}} = \frac{14,4 \text{ N}}{3,2 \text{ N}} = 4,5$$

- 2.8)** Τρία φορτία, $q_1 = -4 \mu\text{C}$, $q_2 = 3 \mu\text{C}$ και $q_3 = 5 \mu\text{C}$, συγκρατούνται ακίνητα στις κορυφές Α, Β και Γ αντίστοιχα, ενός ορθογωνίου τριγώνου ΑΒΓ με πλευρές ΒΓ = 1m και ΑΓ = 0,8m, όπως φαίνεται στο σχήμα. Να υπολογίσετε:
- το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται μεταξύ των φορτίων q_2 και q_3 ,
 - το μέτρο της συνισταμένης ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται στο φορτίο q_1 .



Λύση

α) Εφαρμόζοντας τον νόμο του Coulomb, έχουμε:

$$F = k \frac{|q_2 q_3|}{(B\Gamma)^2} \quad \text{ή} \quad F = 0,135 \text{ N}$$

β) Εφαρμόζοντας το Πυθαγόρειο Θεώρημα στο ορθογώνιο τρίγωνο ΑΒΓ, έχουμε:

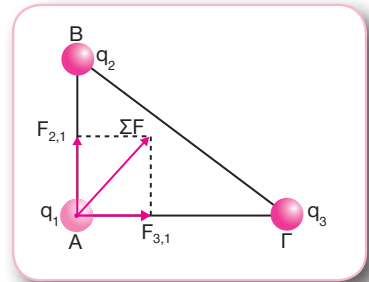
$$(AB)^2 = (B\Gamma)^2 - (A\Gamma)^2 \quad \text{ή} \quad AB = 0,6 \text{ m}$$

Το μέτρο της δύναμης $F_{2,1}$ που δέχεται το φορτίο q_1 από το

$$\text{φορτίο } q_2 \text{ είναι: } F_{2,1} = k \frac{|q_1 q_2|}{(AB)^2} \quad \text{ή} \quad F_{2,1} = 0,3 \text{ N}$$

Το μέτρο της δύναμης $F_{3,1}$ που δέχεται το φορτίο q_1 από το

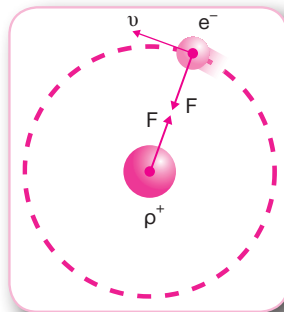
$$\text{φορτίο } q_3 \text{ είναι: } F_{3,1} = k \frac{|q_1 q_3|}{(A\Gamma)^2} \quad \text{ή} \quad F_{3,1} = 0,28125 \text{ N}$$



Κατασκευάζοντας το παραλληλόγραμμο των δυνάμεων, προκύπτει ότι η συνισταμένη ΣF των δυνάμεων είναι η υποτεινούσα του ορθογωνίου τριγώνου του οποίου οι κάθετες πλευρές είναι οι δυνάμεις $F_{2,1}$ και $F_{3,1}$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Επομένως:

$$\Sigma F = \sqrt{F_{2,1}^2 + F_{3,1}^2} \quad \text{ή} \quad \Sigma F = 0,41 \text{ N}$$

- 2.9)** Το ηλεκτρόνιο στο άτομο του υδρογόνου περιστρέφεται σε κυκλική τροχιά ακτίνας $r = 5,3 \cdot 10^{-11} \text{ m}$. Να υπολογίσετε:
- το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης μεταξύ πρωτονίου και ηλεκτρονίου,
 - το μέτρο της κεντρομόλου επιτάχυνσης του ηλεκτρονίου,
 - τη γωνιακή ταχύτητα του ηλεκτρονίου.
- Δίνονται η μάζα και το φορτίο του ηλεκτρονίου $m_e = 9,1 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ και $q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ αντίστοιχα, και το φορτίο του πρωτονίου $q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$.



Λύση

α) Η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ πρωτονίου και ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τον νόμο του

$$\text{Coulomb: } F = k \frac{|q_p q_e|}{r^2} \quad \text{ή} \quad F = 8,2 \cdot 10^{-8} \text{ N}$$

β) Η ηλεκτρική δύναμη που ασκείται στο ηλεκτρόνιο παίζει τον ρόλο κεντρομόλου δύναμης. Επομένως, η κεντρομόλος επιτάχυνση του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση:

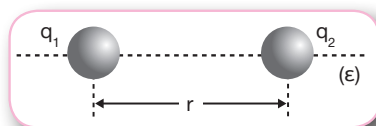
$$F = m_e \alpha_\kappa \quad \text{ή} \quad \alpha_\kappa = \frac{F}{m_e} \quad \text{ή} \quad \alpha_\kappa = 9,01 \cdot 10^{22} \text{ m/s}^2$$

γ) Η γωνιακή ταχύτητα του ηλεκτρονίου υπολογίζεται από τη σχέση:

$$\alpha_\kappa = \frac{v^2}{r} \quad \text{ή} \quad \alpha_\kappa = \frac{(\omega r)^2}{r} \quad \text{ή} \quad \alpha_\kappa = \omega^2 r \quad \text{ή} \quad \omega = \sqrt{\frac{\alpha_\kappa}{r}} \quad \text{ή} \quad \omega = 4,12 \cdot 10^{16} \text{ rad/s}$$

ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΘΕΩΡΙΑΣ

- 2.10)** Να αναφέρετε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται το μέτρο της δύναμης Coulomb.
- 2.11)** Να αναφέρετε τους παράγοντες από τους οποίους εξαρτάται η ηλεκτρική σταθερά.
- 2.12)** Να κατασκευάσετε το διάγραμμα που δείχνει πώς μεταβάλλεται το μέτρο της δύναμης Coulomb μεταξύ των δύο φορτίων σε συνάρτηση με τη μεταξύ τους απόσταση.
- 2.13)** Δύο ακίνητα σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , βρίσκονται σε απόσταση r μεταξύ τους, όπως φαίνεται στο σχήμα. Να κατασκευάσετε το διάγραμμα που δείχνει πώς μεταβάλλεται το μέτρο της δύναμης Coulomb σε συνάρτηση με τον παράγοντα $\frac{1}{r^2}$.



2.14) Να κατασκευάσετε τα διαγράμματα που δείχνουν πώς μεταβάλλεται το μέτρο της δύναμης Coulomb μεταξύ δύο φορτίων, q_1 και q_2 , σε συνάρτηση με το φορτίο $|q_1|$ και με το φορτίο $|q_2|$ ξεχωριστά.

2.15) Δύο ακίνητα σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , βρίσκονται στις θέσεις Α και Β μίας ευθείας ε , όπως φαίνεται στο σχήμα. Να υποδείξετε δύο τρόπους με τους οποίους μπορούμε να εννεापласιάσουμε το μέτρο της δύναμης που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο.



2.16) Δύο ακίνητα θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, $q_1 = q$ και $q_2 = 4q$, βρίσκονται στις θέσεις Α και Β μίας ευθείας ε αντίστοιχα, όπως φαίνεται στο σχήμα. Να σχολιάσετε την πρόταση: «Το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται στο φορτίο q_2 είναι τετραπλάσιο του μέτρου της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται στο φορτίο q_1 ».



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΠΟΛΛΑΠΛΗΣ ΕΠΙΛΟΓΗΣ

2.17) Η ηλεκτρική δύναμη μεταξύ δύο σημειακών ηλεκτρικών φορτίων είναι:

- α) ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης.
- β) αντιστρόφως ανάλογη της μεταξύ τους απόστασης.
- γ) αντιστρόφως ανάλογη του τετραγώνου της μεταξύ τους απόστασης.

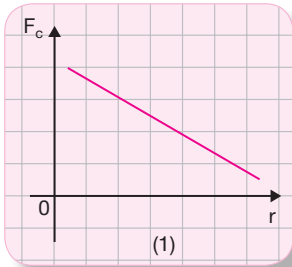
2.18) Οι δυνάμεις Coulomb μεταξύ δύο φορτίων:

- α) είναι ελκτικές, όταν τα φορτία είναι ομώνυμα.
- β) είναι πάντοτε απωστικές.
- γ) έχουν διεύθυνση ίδια με τη διεύθυνση της ευθείας που ενώνει τα δύο σημειακά φορτία.

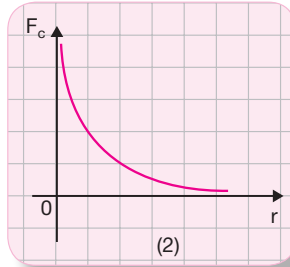
2.19) Η ηλεκτρική σταθερά k εξαρτάται:

- α) μόνο από το σύστημα μονάδων.
- β) από το σύστημα μονάδων και από το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα φορτία.
- γ) μόνο από το μέσο στο οποίο βρίσκονται τα φορτία.

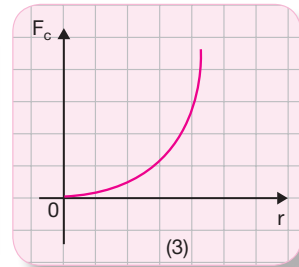
2.20) Το διάγραμμα που δείχνει πώς μεταβάλλεται το μέτρο της δύναμης Coulomb μεταξύ δύο σημειακών ηλεκτρικών φορτίων σε συνάρτηση με τη μεταξύ τους απόσταση είναι το:



α) (1)



β) (2)



γ) (3)

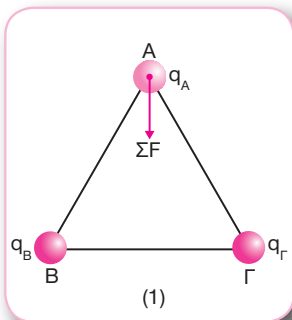
2.21) Δύο ακίνητα σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , απέχουν μεταξύ τους απόσταση r . Εάν πενταπλασιάσουμε καθένα από τα δύο φορτία, το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης μεταξύ των δύο φορτίων:

- α) πενταπλασιάζεται.
- β) εικοσιπενταπλασιάζεται.
- γ) δεκαπλασιάζεται.

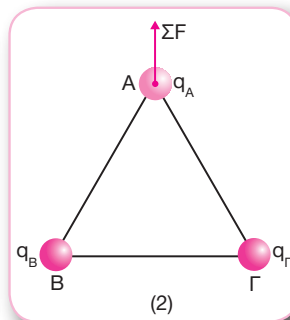
2.22) Δύο ακίνητα σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , απέχουν μεταξύ τους απόσταση r . Εάν υποδιπλασιάσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων, το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης μεταξύ τους:

- α) διπλασιάζεται.
- β) υποδιπλασιάζεται.
- γ) τετραπλασιάζεται.

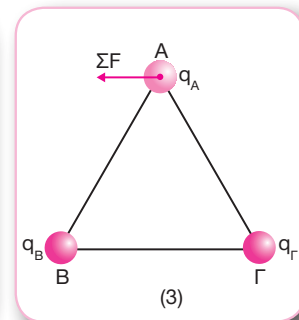
2.23) Δύο θετικά σημειακά φορτία, q_B και q_Γ , βρίσκονται στις κορυφές Β και Γ ενός ισόπλευρου τριγώνου ΑΒΓ, ενώ στην κορυφή Α βρίσκεται αρνητικό σημειακό φορτίο q_A . Το σχήμα που δείχνει τη διεύθυνση της συνισταμένης ηλεκτρικής δύναμης ΣF που δέχεται το φορτίο q_A είναι το:



α) (1)



β) (2)



γ) (3)

2.24) Η μονάδα μέτρησης της ηλεκτρικής σταθεράς k στο Διεθνές Σύστημα Μονάδων είναι:

α) $1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}^2}$

β) $1 \frac{\text{N} \cdot \text{C}^2}{\text{m}^2}$

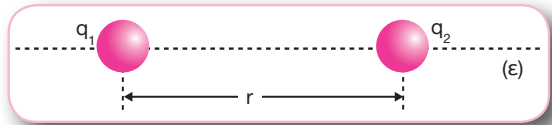
γ) $1 \frac{\text{N} \cdot \text{m}^2}{\text{C}}$

2.25) Δύο ακίνητα θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και $q_2 = 2q_1$, απέχουν μεταξύ τους απόσταση r , όπως φαίνεται στο σχήμα. Τα μέτρα των ηλεκτρικών δυνάμεων F_1 και F_2 που ασκούνται στα φορτία q_1 και q_2 αντίστοιχα συνδέονται με τη σχέση:

α) $F_1 = 2F_2$

β) $2F_1 = F_2$

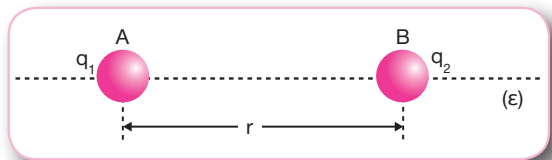
γ) $F_1 = F_2$



ΕΡΩΤΗΣΕΙΣ ΚΑΤΑΝΟΗΣΗΣ

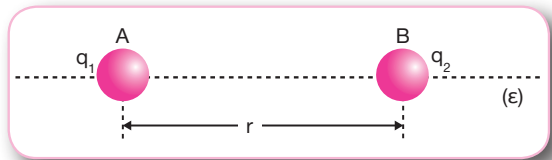
2.26) Δύο ακίνητα θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , βρίσκονται στις θέσεις Α και Β αντίστοιχα και απέχουν μεταξύ τους απόσταση r , όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ηλεκτρική δύναμη Coulomb που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο έχει μέτρο F_c . Εάν διπλασιάσουμε την απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων και ταυτόχρονα τετραπλασιάσουμε καθένα από τα δύο φορτία, το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο έχει μέτρο F'_c . Ποια σχέση είναι σωστή;

α) $F'_c = 4F_c$ β) $F'_c = 16F_c$ γ) $F'_c = 8F_c$

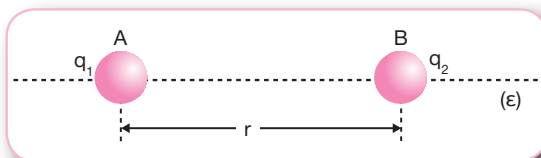


2.27) Δύο ακίνητα θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , βρίσκονται στις θέσεις Α και Β αντίστοιχα και απέχουν μεταξύ τους απόσταση r , όπως φαίνεται στο σχήμα. Η ηλεκτρική δύναμη Coulomb που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο έχει μέτρο F_c . Εάν αυξήσουμε κατά 50% την απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων και ταυτόχρονα μειώσουμε κατά 50% το φορτίο q_1 , το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης Coulomb που ασκεί το ένα φορτίο στο άλλο έχει μέτρο F'_c . Ποια σχέση είναι σωστή;

α) $F'_c = \frac{2}{9}F_c$ β) $F'_c = \frac{1}{5}F_c$ γ) $F'_c = \frac{4}{9}F_c$

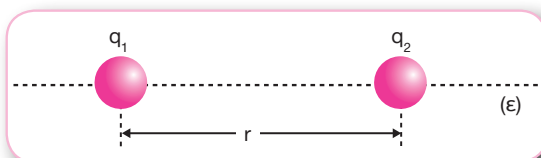


2.28) Δύο αρνητικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, q_1 και q_2 , βρίσκονται στις θέσεις A και B αντίστοιχα και απέχουν μεταξύ τους απόσταση r , όπως φαίνεται στο σχήμα. Το φορτίο q_1 είναι ακλόνητα στερεωμένο στη θέση A. Το πεδίο βαρύτητας θεωρείται αμελητέο. Εάν αφήσουμε ελεύθερο το φορτίο q_2 να κινηθεί, η κίνησή του είναι:



- ευθύγραμμη ομαλή.
- ευθύγραμμη ομαλά επιταχυνόμενη.
- ευθύγραμμη επιταχυνόμενη αρχικά και σε πολύ μεγάλη απόσταση από το φορτίο q_1 γίνεται ευθύγραμμη ομαλή.

2.29) Δύο όμοια θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, $q_1 = q_2 = q$, με μάζες $m_1 = m_2 = m$, απέχουν μεταξύ τους απόσταση r , όπως φαίνεται στο σχήμα. Τη χρονική στιγμή $t_0 = 0$ s αφήνουμε ελεύθερα τα δύο φορτία να κινηθούν. Το πεδίο βαρύτητας θεωρείται αμελητέο. Ποια πρόταση είναι σωστή;

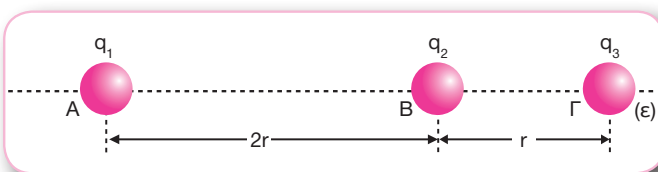


α) Επειδή η συνισταμένη δύναμη που δέχονται τα δύο φορτία είναι μηδέν, τα δύο φορτία παραμένουν ακίνητα.

β) Τη χρονική στιγμή t η απόσταση μεταξύ των δύο φορτίων είναι $d = r + \frac{F_c}{m} t^2$, όπου F_c το μέτρο της δύναμης Coulomb που δέχονται τα δύο φορτία.

γ) Τα μέτρα των ταχυτήτων των δύο φορτίων αυξάνονται με ρυθμό που συνεχώς μειώνεται.

2.30) Τρία θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, $q_1 = q_2 = q_3 = q$, βρίσκονται στις θέσεις A, B και Γ αντίστοιχα μίας ευθείας ε και απέχουν μεταξύ τους αποστάσεις $AB = 2r$ και $B\Gamma = r$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Αφήνουμε το φορτίο q_2 ελεύθερο να κινηθεί, κρατώντας τα φορτία q_1 και q_3 ακλόνητα στις θέσεις A και Γ αντίστοιχα. Το πεδίο βαρύτητας θεωρείται αμελητέο. Ποια πρόταση είναι σωστή;

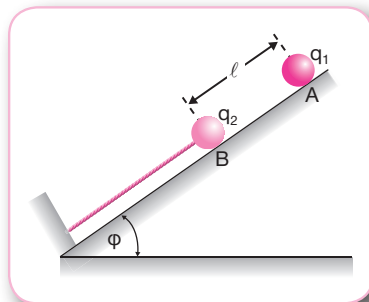


α) Το φορτίο q_2 θα κινηθεί προς τα δεξιά επάνω στην ευθεία ε .

β) Το φορτίο q_2 θα κινηθεί προς τα αριστερά επάνω στην ευθεία ε .

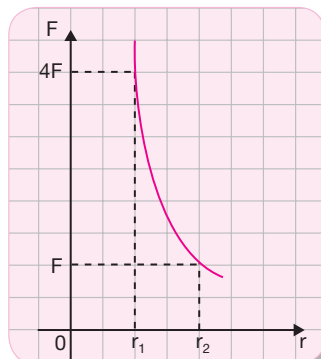
γ) Το φορτίο q_2 θα μείνει ακίνητο.

- 2.31)** Δύο σωματίδια με μάζες $m_1 = m_2 = m$, το πρώτο θετικά και το δεύτερο αρνητικά φορτισμένα, με φορτία $q_1 = q$ και $q_2 = -q$, βρίσκονται στις θέσεις Α και Β αντίστοιχα ενός λείου κεκλιμένου επιπέδου γωνίας κλίσης φ σε απόσταση ℓ μεταξύ τους. Το φορτίο q_1 συγκρατείται στη θέση Α και το φορτίο q_2 ισορροπεί στη θέση Β, ενωμένο στο ελεύθερο άκρο τεντωμένου, αβαρούς, μη εκτατού νήματος το άλλο άκρο του οποίου είναι στερεωμένο στη βάση του κεκλιμένου επιπέδου, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το μέτρο της τάσης του νήματος δίνεται από τη σχέση:



α) $T = k \frac{q^2}{\ell^2} - mg \eta \mu \varphi$ β) $T = k \frac{q^2}{\ell^2} + mg \eta \mu \varphi$ γ) $T = mg \eta \mu \varphi - k \frac{q^2}{\ell^2}$

- 2.32)** Στο διάγραμμα του σχήματος φαίνεται πώς μεταβάλλεται το μέτρο της ηλεκτρικής δύναμης που ασκείται μεταξύ δύο σημειακών φορτίων σε συνάρτηση με την απόσταση μεταξύ τους. Ποια σχέση είναι σωστή;



- α) $r_2 = 4r_1$
β) $r_2 = 8r_1$
γ) $r_2 = 2r_1$

- 2.33)** Δύο θετικά σημειακά ηλεκτρικά φορτία, $q_1 = q$ και $q_2 = 36q$, συγκρατούνται ακλόνητα στις θέσεις Α και Β αντίστοιχα μίας ευθείας ϵ . Στη θέση Γ μεταξύ



των σημείων Α και Β, με $AG = \frac{AB}{7}$, τοποθετούμε ένα αρνητικό σημειακό φορτίο $q_3 = -2q$, όπως φαίνεται στο σχήμα. Το φορτίο q_3 :

- α) ισορροπεί.
β) κινείται επάνω στην ευθεία ϵ προς το φορτίο q_2 .
γ) κινείται επάνω στην ευθεία ϵ προς το φορτίο q_1 .