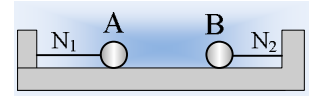


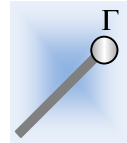
Μεταφέροντας φορτία

Σε λείο οριζόντιο μονωτικό δάπεδο ηρεμούν δυο μικρές μεταλλικές φορτισμένες σφαίρες Α και Β, με ίσες ακτίνες, οι οποίες είναι δεμένες μέσω δύο οριζόντιων μονωτικών νημάτων N_1 και N_2 , όπως στο σχήμα. Η σφαίρα Α φέρει φορτίο $q_1=0,4\mu\text{C}$, ενώ μετρώντας (μέσω αισθητήρα δύναμης) την τάση του νήματος N_1 , που την συγκρατεί, βρίσκουμε $T_1=0,006\text{N}$. Η απόσταση μεταξύ των κέντρων των σφαιρών είναι $d=60\text{cm}$.



i) Να υπολογίσετε το φορτίο της Β σφαίρας, καθώς και την τάση του νήματος N_2 .

ii) Διαθέτουμε μια τρίτη αφόρτιστη μεταλλική σφαίρα Γ, της ίδιας ακτίνας με τις προηγούμενες, η οποία είναι δεμένη σε μονωτική ράβδο, από όπου την κρατάμε στο χέρι μας. Φέρνουμε σε επαφή τη σφαίρα Γ πρώτα με την Α και στη συνέχεια με τη Β σφαίρα και στη συνέχεια την απομακρύνουμε. Υποστηρίζεται ότι κατά την επαφή δύο σφαιρών, το υπάρχον φορτίο ισοκατανέμεται μεταξύ τους, αφού η κατανομή του εξαρτάται μόνο από την ακτίνα κάθε σφαίρας (και εδώ έχουμε ίσες ακτίνες).



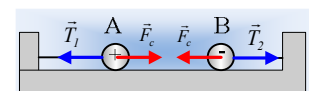
Αν τελικά η τάση του νήματος N_2 είναι $T_2=0,001\text{N}$, να εξετάσετε αν η παραπάνω υπόθεση είναι σωστή.

iii) Κατά την παραπάνω διαδικασία άλλαξε η μάζα της Β σφαίρας. Να εξηγήσετε γιατί συμβαίνει αυτό υπολογίζοντας και την αύξηση ή μείωση της μάζας της. Μπορούμε πειραματικά να μετρήσουμε την παραπάνω μεταβολή μάζας;

Δίνεται το φορτίο και η μάζα του ηλεκτρονίου $e=-1,6\cdot 10^{-19}\text{C}$ και $m=9\cdot 10^{-31}\text{kg}$, ενώ κατά τη διάρκεια του πειράματος οι σφαίρες δεν ανταλλάσσουν φορτία με την ατμόσφαιρα.

Απάντηση:

i) Οι δυο φορτισμένες σφαίρες έλκονται ή απωθούνται με ηλεκτρικές δυνάμεις. Θεωρώντας αμελητέες τις ακτίνες των σφαιρών, μπορούμε να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα ως αν να είχαμε σημειακά φορτία και τις δυνάμεις



αυτές να τις ονομάσουμε δυνάμεις Coulomb. Αλλά για να υπάρχει τάση του νήματος N_1 , θα πρέπει οι δυνάμεις να είναι ελκτικές, οπότε η σφαίρα Β φέρει αρνητικό φορτίο. Από την ισορροπία της Α σφαίρας παίρνουμε:

$$\Sigma F=0 \rightarrow F_c=T_1=0,6\text{N} \rightarrow$$

$$F_c = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{r^2} = k \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{d^2}$$

Όπου ως απόσταση των δύο σημειακών φορτίων παίρνουμε την απόσταση d των κέντρων των δύο σφαιρών. Λύνοντας ως προς το φορτίο q_2 παίρνουμε:

$$|q_2| = \frac{F_c \cdot d^2}{k|q_1|} = \frac{0,006 \cdot (60 \cdot 10^{-2})^2}{9 \cdot 10^9 \cdot 0,4 \cdot 10^{-6}} C = 0,6 \mu C$$

Οπότε $q_2 = -0,6 \mu C$.

Προφανώς (δράση-αντίδραση) και η σφαίρα Β δέχεται δύναμη Coulomb μέτρου 0,6N και από την ισορροπία της Β σφαίρας, θα έχουμε:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow T_2 = F_c = 0,006 N$$

ii) Με βάση την υπόθεση για την κατανομή των φορτίων μεταξύ των σφαιρών, μόλις φέρουμε σε επαφή τη σφαίρα Γ με την Α, το αρχικό φορτίο της Α σφαίρας θα μοιραστεί στα δύο και κάθε σφαίρα θα αποκτήσει φορτίο $q_A = q_\Gamma = \frac{1}{2} q_1 = 0,2 \mu C$. Στη συνέχεια φέρνουμε σε επαφή τις σφαίρες Γ και Β.

Το ολικό φορτίο των δύο σφαιρών, πριν έρθουν σε επαφή, είναι:

$$q_{\text{αρχ}} = q_\Gamma + q_2 = +0,2 \mu C + (-0,6 \mu C) = -0,4 \mu C$$

Με βάση την αρχή διατήρησης του φορτίου και μετά την επαφή οι δυο σφαίρες θα έχουν συνολικό φορτίο $q_{\text{τελ}} = -0,4 \mu C$, το οποίο θα ισοκαταμεληθεί, με αποτέλεσμα κάθε σφαίρα να αποκτήσει φορτίο $q_\Gamma' = q_B = -0,2 \mu C$. Αλλά τότε οι σφαίρες Α και Β θα έλκονται με δυνάμεις Coulomb μέτρου:

$$F_{c1} = k \frac{|q_A| \cdot |q_B|}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{0,2 \cdot 10^{-6} \cdot 0,2 \cdot 10^{-6}}{(60 \cdot 10^{-2})^2} N = 0,001 N$$

Οπότε από την ισορροπία της Β σφαίρας παίρνουμε:

$$\Sigma F = 0 \rightarrow T_2' = F_{c1} = 0,001 N$$

Άρα η υπόθεση για ισοκατανομή των φορτίων μεταξύ των σφαιρών είναι σωστή.

iii) Η Β σφαίρα είναι αρνητικά φορτισμένη. Αυτό σημαίνει ότι έχει περίσσεια ηλεκτρονίων. Μόλις έρθει επαφή με την Γ σφαίρα, θα μεταφερθούν ελεύθερα ηλεκτρόνια από τη Β στην Γ, αρχικά για να εξουδετερώσουν το θετικό της φορτίο (+0,2μC) και στη συνέχεια για να έχουμε ισοκατανομή των ελευθέρων ηλεκτρονίων που περισσεύουν. Πράγμα που σημαίνει ότι θα «χάσει» φορτίο -0,4μC, το οποίο μεταφέρουν Ν ηλεκτρόνια που μεταφέρονται. Για τον αριθμό αυτό Ν, ισχύει:

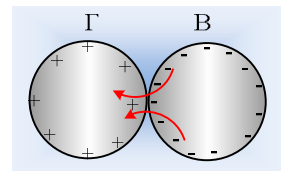
$$N = \frac{\Delta q}{q_e} = \frac{-0,4 \cdot 10^{-6} C}{-1,6 \cdot 10^{-19} C} = 25 \cdot 10^{10} \text{ ηλεκτρόνια}$$

Τα παραπάνω ηλεκτρόνια που μεταφέρθηκαν στην Γ σφαίρα έχουν μάζα:

$$\Delta m = N \cdot m_e = 25 \cdot 10^{10} \cdot 9 \cdot 10^{-31} kg = 2,25 \cdot 10^{-19} kg = 2,25 \cdot 10^{-16} g$$

Αλλά τότε και η μάζα της Β σφαίρας μειώθηκε κατά $2,25 \cdot 10^{-16} g$.

Η παραπάνω μείωση της μάζας είναι πολύ μικρή (0,225 εκατομμυριοστά του δισεκατομμυριοστού του γραμμαρίου!!!), μείωση που κανένα από τα συνήθη όργανα που διαθέτει ένα εργαστήριο δεν μπορεί να μετρήσει.



dmargaris@gmail.com