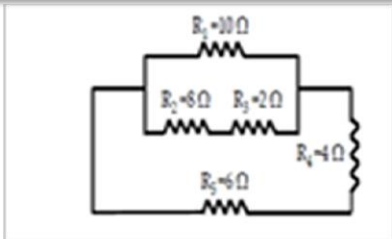
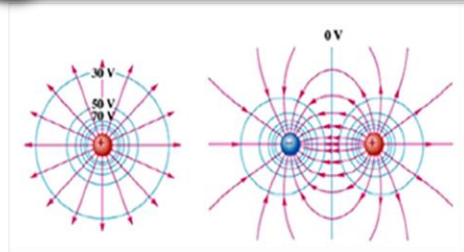
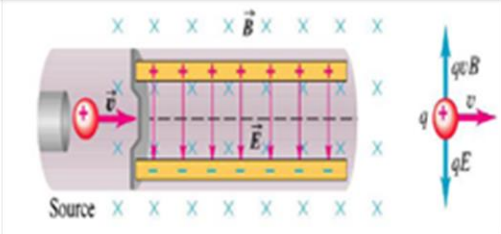
Physics-2







Ch-1

The electrostatic force

یوسف زویل

Best wishes and good Luck

00966502047005

The electrostatic force
القوة الكهروستاتيكية

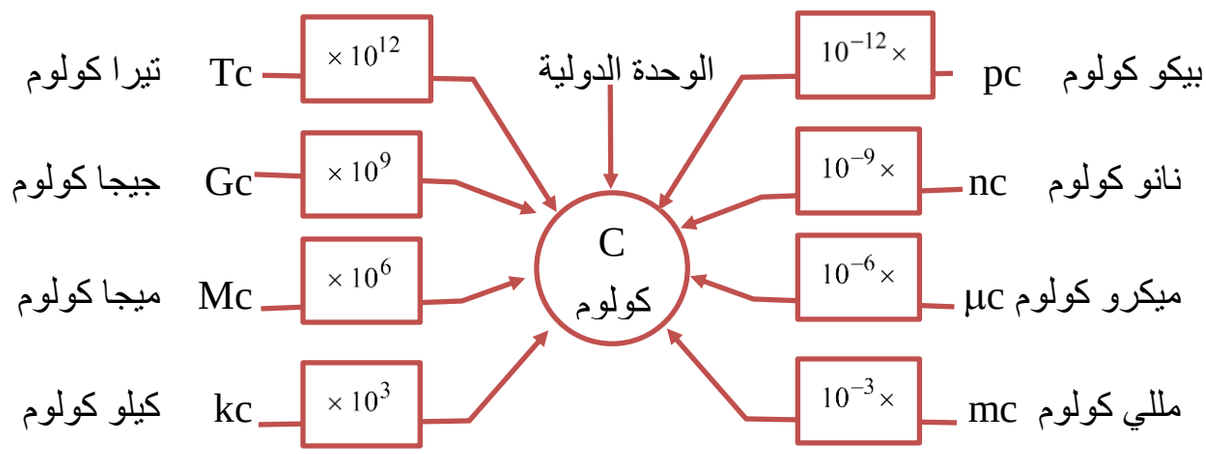
هي قوة متبادلة بين الأجسام العازلة والحاملة لشحنات كهربائية عليها. بسبب فقد [أو اكتساب] إلكترونات إلى [أو من] أجسام أخرى.

Types of charges

Positive Charge
شحنة موجبة
مثل شحنة البروتون

Negative Charge
شحنة سالبة
مثل شحنة الإلكترون

** وحدة قياس الشحنة الكهربائية هي (الكولوم) وأجزاؤه أو مضاعفاته.



1) أ- نوع (اتجاه) القوة المتبادلة بين شحنتين

إذا كانت الشحنات لها نفس الإشارة (+ ، +) أ، (- ، -) تكون القوة تنافر **repulsive**

$F \leftarrow (+)$ $(+) \rightarrow F$

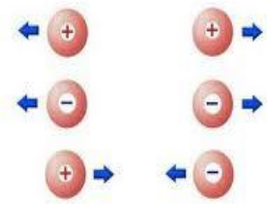
repel

يتنافر

$F \leftarrow (-)$ $(-) \rightarrow F$

repel

يتنافر

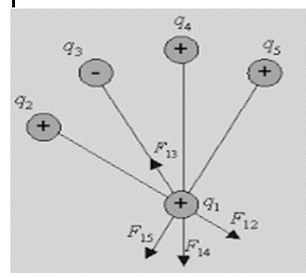


إذا كانت الشحنات مختلفة في الإشارة (- ، +) تكون القوة تجاذب **attractive**

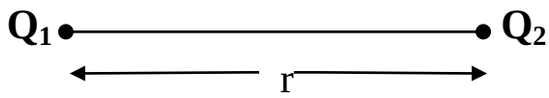
$(+) \rightarrow F$ $F \leftarrow (-)$

attract

يتجاذب



ب- مقدار القوة المتبادلة بين شحنتين



المسافة بين الشحنتين

مقدار القوة المؤثرة من أحد الشحنات على الأخرى

$$F = K \frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

الشحنات الكهربية C

المسافة بين مركزي الشحنتين

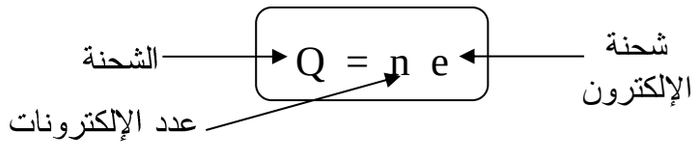
ثابت كولوم 9×10^9 N.m^2/c^2

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

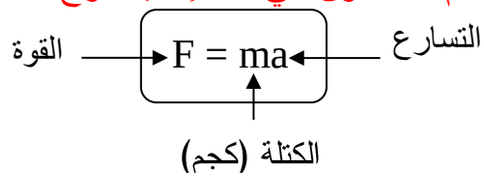
$$\epsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} \frac{C^2}{N.m^2}$$ Vacuum permittivity

ملحوظة1 : charge is quantified

أي شحنة هي مضاعفات عددية صحيحة لشحنة الإلكترون e



ملحوظة 2: إذا كانت كتلة الجسم المشحون هي **m** فإنه يتسارع بتسارع **a** بتأثير القوة **f** بحيث:



1. Two small charged balls have charges of q and nq where q=10 μC. If they are 30 cm apart and the force between them is 80 N, the value of n is:

(a) 15 (b) 12 (c) 6 (d) 8 (e) 3

Ex2: A point charge of 3×10^{-6} C is 12 cm distant from a second point charge of -15×10^{-6} C. Calculate the magnitude of the force on each charge:

(a) 2.8 N (b) 8.2 N (c) 4 N (d) 8 N (e) 3.5 N

Solutio

$Q_1 = 3\times10^{-6}$ C

$r = 12$ cm $= 0.12$ m

$Q_2 = -15\times10^{-6}$ C

$F = ??$

تؤثر كل شحنة على الأخرى بقوة F وتتأثر منها بقوة F مساوية لها في المقدار ومعاكسة لها في الاتجاه وتحسب:

$$F = 9\times10^{9}\frac{|Q_1||Q_2|}{r^2}$$

$$= 9\times10^{9}\frac{3\times10^{-6}\times1.5\times10^{-6}}{(0.12)^2} = 2.8\ \text{N}$$

~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

توضيح

$q_1 = 3\times10^{-6}$ c (+) ⟵ قوة تجاذب ⟶ (–) $q_2 = -1.5\times10^{-6}$ c

attractive force

3. An unknown charge is located 4 cm away from another charge Q, produces a force four times greater than that produced if it is located 5 cm from an 8-μC charge. The charge Q is:

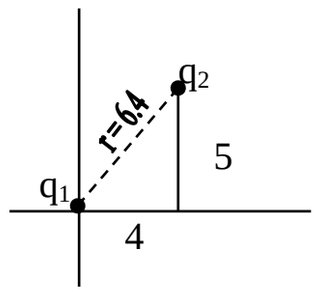
(a) 4 μC (b) 15.4 μC (c) 5.1 μC (d) 20.5 μC (e) 3.56 μC
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

Ex4: Two charges positioned on (x,y) plane as q_1 at the origin and q_2 at coordinates in meter (4, 5). $q_1 = 3.2\times10^{-19}$ C and $q_2 = 1.6\times10^{-19}$ C , the magnitude of the force on q_1 is:

(a) 1.5×10^{-29} N (b) 0.44×10^{-29} N

(c) 1.125×10^{-29} N (d) 0.77×10^{-29} N (e) 10×10^{-29} N

Solutio



$q_1 = 3.2 \times 10^{-19}$ C

$q_2 = 1.6 \times 10^{-19}$ C

r = 6.4 m (من فيثاغورث)

F = ??

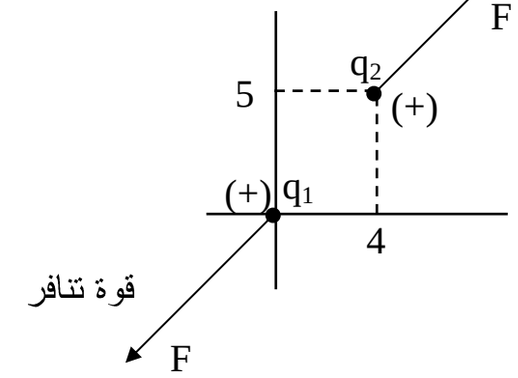
$$F = 9 \times 10^9 \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{3.2\times10^{-19}\times1.6\times10^{-19}}{(6.4)^2}$$

$$= 2.8 \times 10^{-29} \text{ N}$$

~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

توضيح


~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

Ex5: Two equal charges repel each other with force of 22.5 N when separated by 5 cm. The magnitude of each charge is:

(a) 11 μC (b) 2.5 μC (c) 4 μC (d) 0.25 μC

Solutio

$q_1 = q_2 = q = ??$

$F = 22.5\ N$

$r = 5\ cm = 0.05\ m$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$\because\ q_1 \times q_2 = q \times q = q^2$

$$\therefore\ F = 9 \times 10^9 \frac{q^2}{r^2}$$

$$22.5 = 9 \times 10^9 \frac{q^2}{(0.05)^2}$$

$$q^2 = \frac{22.5 \times (0,05)^2}{9 \times 10^9} = 6.25 \times 10^{-12}\ C^2$$

$$q = \sqrt{6.25 \times 10^{-12}} = 2.5 \times 10^{-6}\ C$$

$$= 2.5\ \mu c$$

~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

وحيث أن القوة تتنافر فإن الشحنات متشابهة

$q_1 = 2.5\ \mu c$ $q_2 = 2.5\ \mu c$

or

$q_1 = -2.5\ \mu c$ $q_2 = -2.5\ \mu c$
~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~~

Ex6: If the magnitude of the electrostatic force between two protons, Separated by r m is equal to the weight of a proton at the earth's surface, then the distance r between two protons is:

(a) 11.87 cm (b) 15 cm (c) 10 cm (d) 30 cm

Solutio

$m = 1.67 \times 10^{-27}$ kg

$q = 1.6 \times 10^{-19}$ C

r = ??

$F = W = m\,g$

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$m\,g = K\frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$r = \sqrt{\frac{k\,q_1 q_2}{m\,g}}$$

$$r = \sqrt{\frac{9\times10^{9}\times(1.6\times10^{-19})^2}{1.67\times10^{-27}\times 9.8}}$$

$$= 0.1187 \text{ m}$$

$$= 11.87 \text{ cm}$$

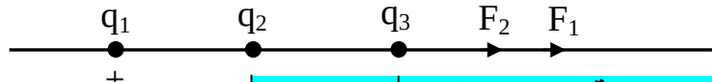
7- Two 1-g spheres are charged equally and placed 2 cm apart. When release, they begin to accelerate at 144 m/s². The magnitude of the charge on each sphere is:

(a) 1 μC (b) 2 μC (c) 93.3 nC (d) 100 nC (e) 80 nC

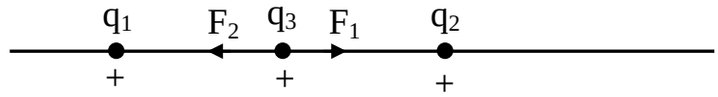
2) مقدار القوة المحصلة المؤثرة على شحنة في مجال عدة شحنات:

(أ) الشحنة على استقامة شحنتين ثابتتي وخارجهما

قوة تنافر (للخارج) من كل من الشحنتين وتكون $F_{net} = f_1 + f_2$



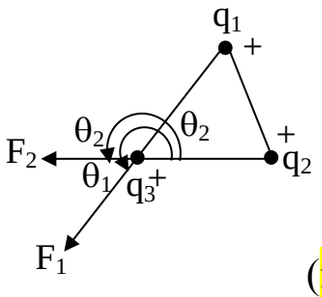
(ب) الشحنة على استقامة شحنتين ثابتتين وبينهما



قوة متعاكستان فيكون $F_{net} = | f_1 - f_2 |$ ⟵ مقدار القوة على q_3

[أي أن إذا كانت القوتان في اتجاه واحد نجمع وإذا كانتا متعاكسان نطرح]

وتكون القوة المحصلة في اتجاه القوة الأكبر.



(جـ) الشحنة ليست على استقامة الشحنات وفي نفس المستوى.

1) نحدد اتجاه القوة بين كل من الشحنة والشحنات الأخرى.

2) نقوم بحساب كل قوة على حدة.

3) نحلل كل قوة إلى مركباتها. ($f_y = f \sin\theta$ & $f_x = f \cos\theta$)

4) نوجد مجموع كل f_x وكل f_y

$$f_x = f_1 \cos\theta_1 + f_2 \cos\theta_2 + \ldots\ldots = (\pm)$$

$$f_y = f_1 \sin\theta_1 + f_2 \sin\theta_2 + \ldots\ldots = (\pm)$$

5) نحسب المحصلة $F_{net} = \sqrt{f_x^2 + f_y^2}$

6) نحدد اتجاه المحصلة (حسب الطلب). الناتج $\theta = \tan^{-1}\left(\frac{f_y}{f_x}\right)$

7) ثم نتعامل مع الربع الذي توجد به المحصلة لتحديد الزاوية بالضبط.

Ex8: Three charges q_1 = 5 nC at a point (0, 0), q_2 = -9 nC at a point (4, 0) and q_3 = 3 nC at a point (8, 0) lie on x-axis where the position are given in cm. The net force acting on q_2 is:

(a) $(1.01\times10^{-4}$ N)i (b) $(-1.01\times10^{-4}$ N)i (c) $(3.1\times10^{-5}$ N)i (d) $(-3.1\times10^{-5}$ N)i

Solutio

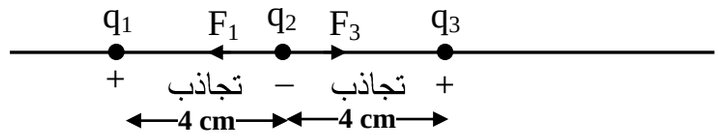
$q_1 = 5 \times 10^{-9}$ C

$q_2 = -9 \times 10^{-9}$ C

$q_3 = 3 \times 10^{-9}$ C

$r_{12} = 4$ cm $= 0.04$ m

$r_{23} = 4$ cm $= 0.04$



$$F_{12} = 9 \times 10^9 \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{5 \times 10^{-9} \times 9 \times 10^{-9}}{(0.04)^2}$$

$$= 2.53 \times 10^{-4} \text{ N} \qquad (\theta_1 = 180)$$

$$F_{23} = 9 \times 10^9 \frac{|q_2||q_3|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{9 \times 10^{-9} \times 3 \times 10^{-9}}{(0.04)^2}$$

$$= 1.53 \times 10^{-4} \text{ N} \qquad (\theta_1 = 180)$$

نلاحظ أن القوتان متعاكستان وبالتالي فإن

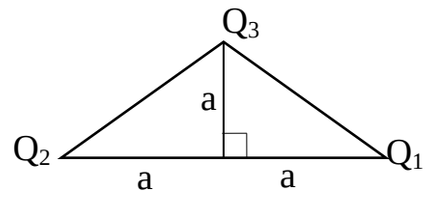
$$F_{net} = F_{12} - F_{23} = 2.53 \times 10^{-4} - 1.53 \times 10^{-4} = 1.01 \times 10^{-4} \text{ N}$$

في اتجاه F_1 أي نحو اليسار $(\theta_1 = 180)$

Ex9: Three charges are located as in the shown figure. If a = 3 cm, q_1 = 2 μC and $q_2 = q_3$ = 8 μC. What is the magnitude of the electric force on charge q_1?

(a) 0.121 N (b) 0.011 N

(c) 0.013 N (d) 0.0205 N



$Q_1 = 2 \times 10^{-6}$ C

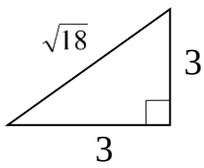
$Q_2 = 8 \times 10^{-6}$ C

$Q_3 = 8 \times 10^{-6}$ C

$r_{12} = a + a = 6$ m

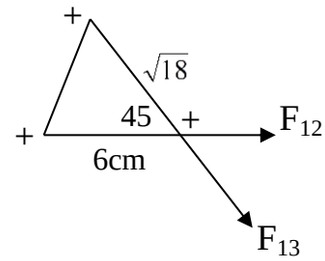
$r_{13} = \sqrt{a^2 + a^2}$

$= \sqrt{18}$



استفدنا من نوع الشحنات

في تحديد اتجاه القوة كما بالرسم



$$F_{12} = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^{-6}}{(6)^2}$$

$= 4 \times 10^{-3}$ N ($\theta = 0$)

$$F_{13} = K \frac{|q_2||q_3|}{r^2}$$

$$= 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-6} \times 8 \times 10^{-6}}{(\sqrt{18})^2}$$

$= 8 \times 10^{-3}$ N ($\theta = 315$)

$F_x = F_{12} \cos 0 + F_{13} \cos 315 = 0.00966$ N

$F_y = F_{12} \sin 0 + F_{13} \sin 315 = -0.00566$ N

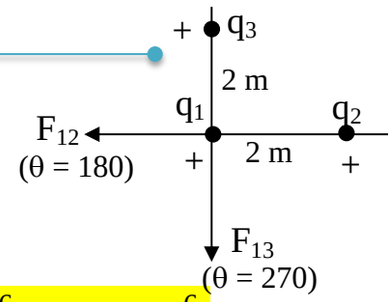
$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 0.0112$ N

Ex10: A 2 μC charge is placed at the origin. An identical charge is placed at 2 m from origin on the x-axis and a third identical charge is place at 2 m from the origin on y-axis.

The magnitude of the force on the charge at the origin is:

(a) 9×105 N (b) 2.3×10-2 N (c) 1.3×10-2 N (d) 1.8×10-3 N

Solutio



$q_1 = q_2 = q_3 = 2 \times 10^{-6}$ C

$r_{12} = r_{13} = 2$ m

$F_{12} = F_{13} = \dfrac{}{2 \quad 2}$

$= 9 \times 10^{9} \dfrac{2 \times 10^{-6} \times 2 \times 10^{-6}}{(2)^2}$

$= 9 \times 10^{-3}$ N $\quad (\theta = 270)$

القوى متساوية لأن الشحنات متساوية والمسافات متساوية

$F_x = F_{12} \cos 180 + F_{13} \cos 270 = -9 \times 10^{-3}$ N

$F_y = F_{12} \sin 180 + F_{13} \sin 270 = -9 \times 10^{-3}$ N

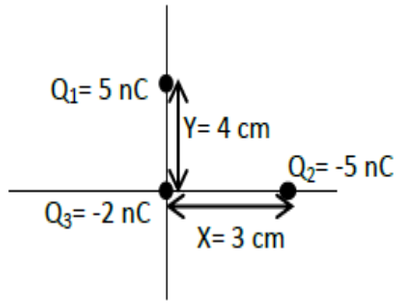
$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 0.0127$ N $= 1.3 \times 10^{-2}$ N

ملحوظة: في حالة **قوتان متعامدتان** يمكن إيجاد المحصلة بدون تحليل من العلاقة

$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$

11- As shown in **Fig. 1**, the resultant force on Q_3 will have a direction, with +x-axis, of:

(a) 150.6° (b) 90° (c) 119.4° (d) 57.4° (e) 35.1°



Ex12: Consider two charges q_1 = 8 nC at a distance 8 cm on the +ve x-axis and charge q_2 = 6 nC at a distance 6 m on the –ve y-axis from origin. At the point (0, 0) a small body of mass m = 3 g with charge q_0 = 4 nC is placed. The small body will move with the acceleration of magnitude:

(a) 3 m/s^2 (b) 2.5 m/s^2 (c) 0.025 m/s^2 (d) 4.5 m/s^2

Solutio

$q_1 = 8 \times 10^{-9}$ C

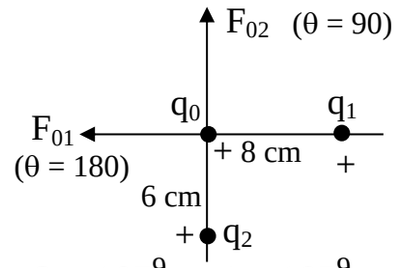
$q_2 = 6 \times 10^{-9}$ C

$q_0 = 4 \times 10^{-9}$ C

$r_{01} = 8$ cm $= 0.08$ m

$r_{02} = 6$ cm $= 0.06$ m

$m = 3$ g $= 0.003$ kg



$$F_{01} = 9 \times 10^9 \frac{8 \times 10^{-9} \times 4 \times 10^{-9}}{(0.08)^2}$$

$$= 4.5 \times 10^{-5} \text{ N} \qquad (\theta = 180)$$

$$F_{02} = 9 \times 10^9 \frac{6 \times 10^{-9} \times 4 \times 10^{-9}}{(0.06)^2}$$

$$= 6 \times 10^{-5} \text{ N} \qquad (\theta = 90)$$

ملحوظة: في حالة قوتان فقط في وضع **تعامد** فإن (بدون تحليل)

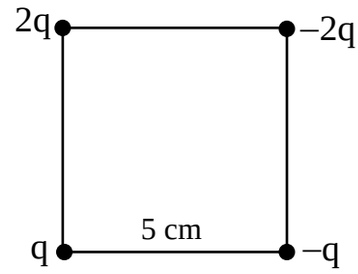
$$F_{net} = \sqrt{F_1^2 + F_2^2} = 7.5 \times 10^{-5} \text{ N}$$

لكن $F = m\,a$ (II قانون نيوتن)

$$\Rightarrow a = \frac{F}{m} = \frac{7.5 \times 10^{-5}}{3 \times 10^{-3}} = 0.025 \text{ m}$$

Ex-13: If q = 0.1 μC,

then the electro static force on charge 2q is:



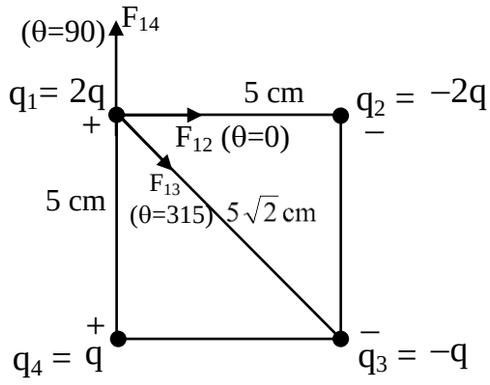
(a) 0.176 N (b) 0.170 N (c) 0.196 N (d) 0.100 N

Solutio

$q = \Phi \times 10^{-7}$ C

$2q = 2 \times 10^{-7}$ C

$5\sqrt{2} = 0.0707$ m



$$F_{12} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-7} \times 2 \times 10^{-7}}{(0.05)^2} = 0.144 \text{ N} \qquad (\theta = 0)$$

$$F_{13} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-7} \times 1 \times 10^{-7}}{(0.0707)^2} = 0.036 \text{ N} \qquad (\theta = 315)$$

$$F_{14} = 9 \times 10^9 \frac{2 \times 10^{-7} \times 1 \times 10^{-7}}{(0.05)^2} = 0.072 \text{ N} \qquad (\theta = 90)$$

$F_x = F_{12} \cos 0 + F_{13} \cos 315 + F_{14} \cos 90 = 0.1695$ N

$F_y = F_{12} \sin 0 + F_{13} \sin 315 + F_{14} \sin 90 = 0.0465$ N

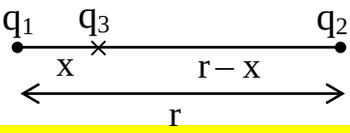
$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = 0.176$ N

3) اتزان شحنة على استقامة شحنتين وتحديد موضع الاتزان:

تتزن (لا تتحرك) الشحنة على استقامة الشحنتين إذا كانت القوتان المؤثرتان عليها من الشحنتين متساويتان ومتعاكستان ويُحدَّد الموضع الذي يحدث فيه الاتزان كما يلي:

(أ) إذا كانت الشحنتان q_1، q_2 لهما نفس النوع (+ ، +) أو (- ، -) تكون q_3 بينهما وأقرب إلى الشحنة الأقل وعلى بعد x منها حيث

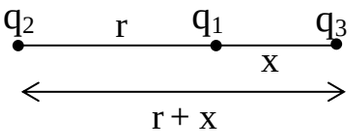
$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{x} = \frac{\sqrt{|q_2|}}{r-x}$$



****

(ب) إذا كانت الشحنات q_1، q_2 مختلفتان في النوع (- ، +) تكون q_3 خارجها وتقع ناحية الشحنة الأقل (q_1) وعلى بعد x منها حيث

$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{x} = \frac{\sqrt{|q_2|}}{r+x}$$



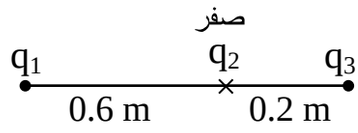
وذلك بفرض أن $|q_1| < |q_2|$

✳ النقطة التي تتزن عندها q_3 تكون فيها محصلة القوى الكهروستاتيكية المؤثرة على q3 تساوي صفر.

Ex14: In the shown figure $q_2 = 1\ \mu C$, $q_3 = 2\ \mu C$. If the net force on q_2 is zero, the charge q_1 is:

(a) 23 μC (b) 18 μC

(c) 3.6 μC (d) -4 μC



Solutio

∵ q_2 متزنة بين q_1 ، q_3

∴ $q_3 > q_1$ ولهما نفس الإشارة (+).

$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{0.6} = \frac{\sqrt{|q_2|}}{0.2} \quad \therefore \quad \frac{|q_1|}{0.36} = \frac{|q_2|}{0.04}$$

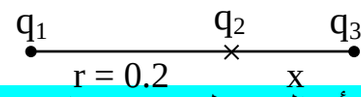
$$|q_1| = \frac{2 \times 10^{-6} \times 0.36}{0.04} \quad \therefore \quad q_1 = 18 \times 10^{-6}\ C = 18\ \mu C$$

Ex15: If $q_1 = 5\ \mu C$ is placed at 0.2 m from $q_2 = -3\ \mu C$. Where is q_3 placed such that the net force on it is zero?

(a) 30 cm (b) 67.8 cm (c) 70.2 cm (d) 5 cm

Solutio

∵ الشحنات مختلفة (+ ، −) فإن q_3 خارجهما وناحية الشحنة ذات القيمة الأقل q_2



وحيث أن القوة على q_3 تساوي صفر ∴ هي متزنة وبالتالي

$$\frac{\sqrt{|q_1|}}{r + x} = \frac{\sqrt{|q_2|}}{x}$$

$$\frac{\sqrt{5 \times 10^{-6}}}{0.2 + x} = \frac{\sqrt{3 \times 10^{-6}}}{x}$$

$$\frac{2.24 \times 10^{-3}}{0.2 + x} = \frac{1.73 \times 10^{-3}}{x}$$

$$2.24\ x = 0.346 + 1.73\ x$$

$$2.24\ x - 1.73\ x = 0.346$$

$$0.51\ x = 0.346$$

$$\therefore \quad x = \frac{0.346}{0.51} = 0.678\ m = 67.8\ cm$$

16- An electron and a proton are separated by a distance of 5 cm. If the net force on a particle located at the midway is zero, the charge of the particle is:

(a) -1 μC (b) zero (c) 1 μC (d) 2 μC (e) -2 μC

17- Eight equal charges (Q=8 nC) are arranged equidistance on circumstances of circle its radius is 50 cm. The magnitude of the electrostatic force on a 5μC charge, located at the center of the circle, is:

(a) $2.7x10^{-5}N$ (b) $5.4x10^{-5}$ N (c) $1.35x10^{-5}N$ (d) $6.75x10^{-6}N$ (e) Zero

4) (قانون حفظ الشحنة) إذا كان لدينا كرتان متماثلتان في الحجم والنوع وموصلتان وذات شحنات q_1، q_2 وتم توصيلهم بسلك توصيل رفيع تنتقل الشحنة الكهربية من الأعلى جهد إلى الآخر حتى يحدث توازن ويكون:

(نعوض عن كل شحنة بإشارتها) (الشحنة محفوظة) $q'_1 + q'_2 = q_1 + q_2$

and $q'_1 = q'_2 = \frac{q_1 + q_2}{2}$

(فقط في حالة التماثل بين الكرتين $q'_1 = q'_2$)

****

Ex18: Two identical conducting spheres have 5 μC and -3 μC are separated by 50 cm. If the spheres are connected by a thin conducting wire, the electrostatic force between the spheres after connecting them is:

(a) 18 mN (b) 36 mN (c) 21 mN (d) 2.5 mN

Solutio

$r = 0.5\ m$

$q_1 = 5 \times 10^{-6}\ C$

$q_2 = -3 \times 10^{-6}\ C$

$q'_2 = q'_1 = \frac{q_1 + q_2}{2}$

$= \frac{(5-3)\times 10^{-6}}{2}$

$= 1 \times 10^{-6}\ C$

$F = K \frac{|q_1||q_2|}{r^2}$

يتم التعويض بالشحنات بعد التوصيل

$= 9 \times 10^{9} \frac{(1 \times 10^{-6})^2}{(0.5)^2}$

$= 0.036\ N = 36\ m\,N$