Electric Charge الشحنة الكهربائية :

تتكون المادة من ذرات ، وتتكون الذرة من نواة يدور حولها إلكترونات ، والنواة تتكون من بروتونات ونيوترونات ، وتعتبر الذرة متعادلة كهربائياً إذا كان عدد الإلكترون يساوي عدد البروتونات ، فإذا نقصت الذرة إلكتروناً فإنها تصبح موجبة الشحنة وإذا اكتسبت إلكتروناً فإنها تصبح سالبة الشحنة . فالإلكترون له شحنة سالبة والبروتون له شحنة موجبة ، أما النيوترون فإنه لا شحنة له .

ووحدة الشحنات في النظام الدولي للوحدات هي الكولوم (Coulomb) ، والتي يرمز لها بالرمز (C) ، فتكون :

- شحنة الإلكترون $(-e)$ = -1.6×10^{-19} C
- شحنة البروتون $(+e)$ = $+1.6 \times 10^{-19}$ C
- شحنة النيوترون = 0 C

والشحنة الكهربائية كمية مكماة ، بمعنى أن الشحنة على الذرة لابد أن تكون عدداً صحيحاً من شحنة الإلكترون ، فإذا رمزنا لمقدار الشحنة (q) ، فإن :

$$q = Ne \quad ; \quad N = 0, 1, 2, 3, 4, \ldots$$

كما أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث ، ففي أي تفاعل تكون الشحنة قبل التفاعل مساوية للشحنة بعد التفاعل .

• مثال : أوجد عدد الإلكترونات المفقودة نتيجة وجود شحنة كهربائية موجبة على قطعة معدنية مقدارها $(1.44 \times 10^{-8}\ C)$.

الحل :

$$\because q = Ne$$

$$1.44 \times 10^{-8} = N\,(1.6 \times 10^{-19}) \Rightarrow N = \frac{1.44 \times 10^{-8}}{1.6 \times 10^{-19}} = 9 \times 10^{10} \text{ electrons.}$$

Law of Conservation of Charge قانون بقاء الشحنة :

عند دلك ساق الزجاج بقطعة من الحرير فإن عدداً من الإلكترونات ينتقل من الساق الزجاجية إلى قطعة الحرير ، وبالتالي تكون الشحنة على الساق موجبة (Positive) ويساوي مقدارها عدد الإلكترونات التي انتقلت منها إلى القطعة الحريرية مضروباً في شحنة الإلكترون . أما قطعة الحرير فإن شحنتها ستكون سالبة (Negative) نتيجة وجود إلكترونات زائدة انتقلت إليها من ساق الزجاج ومقدار هذه الشحنة

للمسألة يساوي أيضاً عدد الإلكترونات مضروباً في شحنتها .
ويمكن أن نلخص هذا جميعه بقولنا أن المجموع الجبري للشحنتين الموجودتين على الساق والقطعة يساوي صفراً . وبعبارة أخرى نقول أن الشحنة الكهربائية "تُخلق" وإنما عادل بين الساق والقطعة اللتين كانتا في البدار متعادلتين كهربائياً أو نقول أن الشحنة لا تفنى ولا تستحدث ولكن يمكن نقلها من مكان لآخر .

• مثال : في التفاعل النووي التالي أوجد مقدار الشحنة على العنصر (x) :

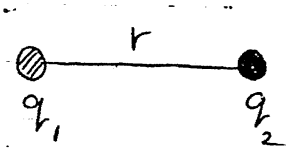
$$ {}^{1}_{1}H + {}^{9}_{4}Be \longrightarrow {}^{9}_{z}x + {}^{1}_{0}n $$

• الحل : مجموع الشحنات قبل التفاعل يجب أن يساوي مجموع الشحنات بعد التفاعل ، حيث أن مجموع الشحنات قبل التفاعل يساوي (1+4 = 5) فإن الشحنة على العنصر (x) يجب أن تساوي (5) ، حيث أن النيوترون متعادل الشحنة . أي أن التفاعل النووي هو :

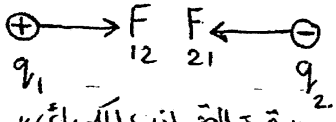
$$ {}^{1}_{1}H + {}^{9}_{4}Be \longrightarrow {}^{9}_{5}B + {}^{1}_{0}n $$

Coulomb's Law قانون كولوم :

إذا وضعنا شحنة (q_1) على مسافة (r) من شحنة أخرى (q_2) فإن كلاً منهما ستؤثر على الأخرى بقوة كهربائية تتناسب طردياً مع مقدار الشحنة (q_1) و (q_2) وعكسياً مع مربع المسافة (r) ، وهذه القوة تكون قوة تجاذب إذا كانت الشحنتان مختلفتين في الإشارة .



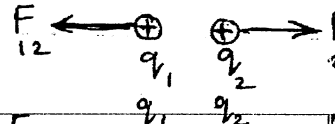
وتكون قوة تنافر إذا كانت الشحنتان متشابهتين في الإشارة



« قوة التجاذب الكهربائي »

وعلى أن نعبّر عن هذه القوة جبرياً كالتالي ، $F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$

والمعادلة السابقة تُعرف بقانون كولوم ، حيث (K) مقدار ثابت ويساوي ($9 \times 10^9 \ N.m^2/C^2$) ، والذي يُكتب أيضاً كالتالي :



« قوة تنافر كهربائي »

$$ K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \quad ; \quad \epsilon_0 = 8.85 \times 10^{-12} \ C^2/N.m^2 $$

أي أن :

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

إن القوة تزداد بزيادة الشحنة على الجسمين وتتناقص بزيادة المسافة بينهما، وقد وُجد أن القوة تتناقص إلى $(\frac{1}{4})$ إذا ضاعف المسافة بين الجسمين، لذا فالقوة تتناسب طردياً مع الشحنة وعكسياً مع مربع المسافة.

معادلة قانون كولوم تعطي مقدار القوة التي تؤثر بها إحدى الشحنتين على الشحنة الأخرى، ويكون اتجاه هذه القوة في اتجاه الخط الواصل بين الشحنتين أو امتداده. فإذا كانت الشحنتان موجبتين أو سالبتين [أي لهما نفس الإشارة] فإن القوة على أي من الشحنتين تكون في عكس القوة الأخرى [قوة تنافر]، أي أن القوة (F_{21}) وهي القوة على الشحنة (q_2) بسبب وجود الشحنة (q_1) تكون في عكس اتجاه القوة (F_{12}) وهي القوة على الشحنة (q_1) بسبب وجود الشحنة (q_2).

أما إذا كانت الشحنتان مختلفتي الإشارة فإن القوة على أي منهما يكون في اتجاه الأخرى [قوة تجاذب].

وإذا استعملنا إشارة الشحنتين عند استخدام قانون كولوم فإن القوة بين الشحنتين تكون موجبة في حالة التنافر، وسالبة في حالة التجاذب.

أما إذا كانت الشحنتان مختلفتي الإشارة فإن القوة على أي منهما تكون في اتجاه الأخرى [قوة تجاذب].

وإذا استعملنا إشارة الشحنتين عند استخدام قانون كولوم فإن القوة بين الشحنتين تكون موجبة في حالة التنافر، وسالبة في حالة التجاذب.

نلاحظ أن القوة على الشحنة الأولى بسبب وجود الشحنة الثانية مساوية في المقدار ومضادة في الاتجاه للشحنة الثانية بسبب وجود الشحنة الأولى، وهو ما يتماشى مع قانون نيوتن الثالث.

وعند تطبيق قانون كولوم يجب أن نتذكر أن القوة كمية فيزيائية لها مقدار واتجاه كمية متجهة، ويجب أن نتعامل على هذا الأساس.
فإذا أردنا إيجاد القوة التي تؤثر بها عدة شحنات مثل: q_1، q_2، q_3، ...، q_n على شحنة أخرى q_0 فإنه يتم حساب كل قوة تؤثر بها كل شحنة على حدة مقداراً واتجاهاً ثم تجمع جميع القوى جمعاً اتجاهياً، أي أن:

$$F = F_{01} + F_{02} + F_{03} + \cdots + F_{on}$$

• مثال ①: أوجد القوة بين شحنتين $q_1 = 2.5\ \mu C$ ، $q_2 = 0.7\ \mu C$ إذا كانت المسافة بينهما $(12\ cm)$.

• الحل:

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

$$= 9 \times 10^9 \frac{(2.5 \times 10^{-6})(0.7 \times 10^{-6})}{(12 \times 10^{-2})^2}$$

$$\therefore F = 1.1\ N$$ "وهي قوة تنافر"

• مثال ②: أوجد قوة التنافر بين بروتونين إذا كانت المسافة بينهما $(1mm)$، وقارنها بقوة الجاذبية بينهما.

• الحل:

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

وحيث أن شحنة البروتون $= 1.6 \times 10^{-19}\ C$

$$F = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(1 \times 10^{-3})^2}$$

$$\therefore F = 2.3 \times 10^{-22}\ N$$

أما قوة الجذب بينهما فهي حسب قانون التجاذب بين الكتل:

$$\therefore F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad ; \quad G = 6.6720 \times 10^{-11}\ N.m^2/kg^2$$ (ثابت التجاذب العالمي)

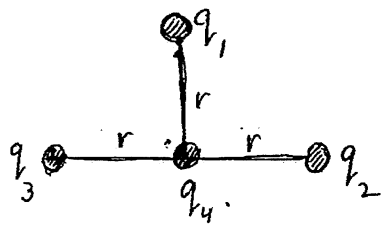
و (m)، (m) كتلة الجسمين، المسافة بينهما (r)،

وفي هذه الحالة فإن: $m_1 = m_2 = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$ "كتلة البروتون"

$$\therefore F_g = 6.6720 \times 10^{-11} \frac{(1.67 \times 10^{-27})^2}{(1 \times 10^{-3})^2} = 1.86 \times 10^{-58}\ N$$

وهي قوة يمكن إهمالها مقارنة بالقوة الكهربية.

• مثال ③، وضعت (3) شحنات نقطية: $q_1 = -4\mu C$ ، $q_2 = 2\mu C$ ، $q_3 = 5\mu C$ على مسافة (r) من شحنة نقطية $(q_4 = 1\mu C)$ كما في الشكل الآتي. أوجد القوة الكلية المؤثرة على q_4 إذا كانت $(r = 10cm)$.



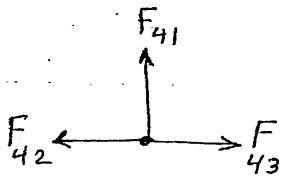
• الحل : ∵ $F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}$ (من قانون كولوم)

$$F_{41} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2} = 3.6\ N$$

"قوة تجاذب"

$$F_{42} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2} = 1.8\ N$$

$$F_{43} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(5\times10^{-6})}{(10\times10^{-2})^2} = 4.5\ N$$

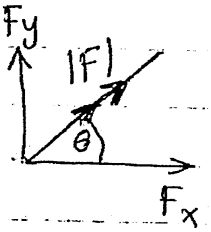


$$|F_x| = |F_{43} - F_{42}|$$

$$= |4.5 - 1.8| = 2.7\ N$$

وفي اتجاه القوة الأكبر F_{43} .

$$|F_y| = F_{41} = 3.6\ N$$



إذاً المحصلة :-

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

$$\therefore |F| = \sqrt{(2.7)^2 + (3.6)^2} = 4.5\ N$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.6}{2.7}\right) = 53.1^\circ$$

• مثال ④ : أوجد عدد الإلكترونات التي تكون شحنة مقدارها $(-800\ \mu C)$.

• الحل : ∵ $q = Ne \Rightarrow N = \frac{q}{e} = \frac{-800\times10^{-6}}{-1.6\times10^{-19}} = 5\times10^{15}$ electrons

• مثال ⑤ : أوجد مقدار الشحنة التي يجب أن توضع على كرتين كتلة كل منهما $(5g)$ حتى تتساوى قوة التنافر الكهربائية بين الشحنتين بقوة الجاذبية بين الكتلتين .

• الحل : بمساواة القوة الكهربائية (F_e) بقوة الجاذبية (F_g) ، أي أن :

$$F_e = F_g$$

$$\therefore \frac{q^2}{r^2} = G\frac{m^2}{r^2} \Rightarrow 9\times10^9\, q^2 = 6.6720\times10^{-11}(5\times10^{-3})^2$$

$$q^2 = \frac{6.6720 \times 10^{-11} \times (5 \times 10^{-3})^2}{9 \times 10^9}$$

$$\therefore q = \sqrt{\frac{6.6720 \times 10^{-11} (5 \times 10^{-3})^2}{9 \times 10^9}}$$

ومنها نجد أن :

$$\therefore q = 4.3 \times 10^{-13}\ C.$$

• مثال ⑥ : في نموذج بوهر لذرة الهيدروجين ، يدور الإلكترون حول النواة في مدار نصف قطره $(0.53\ \text{Å})$. احسب مقدار القوة الكهربائية بين الإلكترون والبروتون وقوة الجاذبية بين كتلتي الإلكترون والبروتون .

• الحل :

نجد القوة الكهربائية باستخدام العلاقة :

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

$$F_e = 9 \times 10^9 \frac{(1.6 \times 10^{-19})^2}{(0.53 \times 10^{-10})^2} \quad ; \quad q_e = q_{p^+} = 1.6 \times 10^{-19}\ C.$$

$$\therefore F_e = 8.2 \times 10^{-8}\ N$$

« وهي قوة تجاذب كهربي »

أما قوة الجاذبية بين الكتلتين ، فإنها حسب المعادلة :

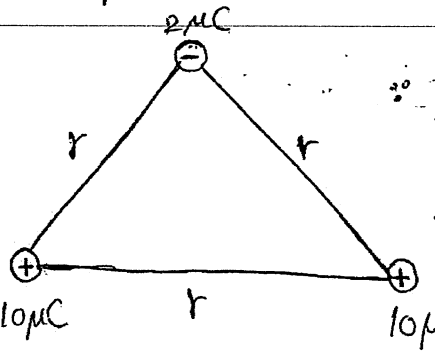
$$\therefore F_g = G \frac{m_1 m_2}{r^2} \quad ; \quad m_{e^-} = 9.1 \times 10^{-31}\ kg \ , \ m_{p^+} = 1.67 \times 10^{-27}\ kg$$

$$= 6.6720 \times 10^{-11} \frac{(9.1 \times 10^{-31})(1.67 \times 10^{-27})}{(0.53 \times 10^{-10})^2}$$

$$\therefore F_g = 3.61 \times 10^{-47}\ N$$

* نلاحظ أن قوة الجاذبية بين الكتلتين صغيرة جداً مقارنتها بالقوة الكهربائية ، ولذلك فهي تُهمل دائماً .

• مثال ⑦ : في الشكل الآتي ، أوجد القوة المؤثرة على الشحنة $(-2\mu C)$ إذا كانت $(r = 1m)$.



• الحل : من قانون كولوم :

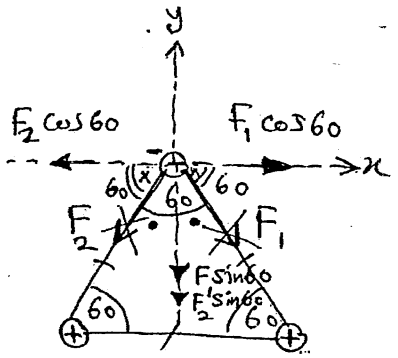
$$\therefore F = K \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$\therefore F_1 = 9 \times 10^9 \frac{(2 \times 10^{-6})(10 \times 10^{-6})}{(1)^2} = 0.18\ N$$

« قوة تجاذب »

$$F_1 = F_2 = 9\times10^9 \frac{(2\times10^{-6})(10\times10^{-6})}{(1)^2}$$

$$= 0.18\ N$$



$$|F_x| = |F_1\cos60 - F_2\cos60| = \text{Zero}.$$

$$|F_y| = F_1\sin60 + F_2\sin60$$

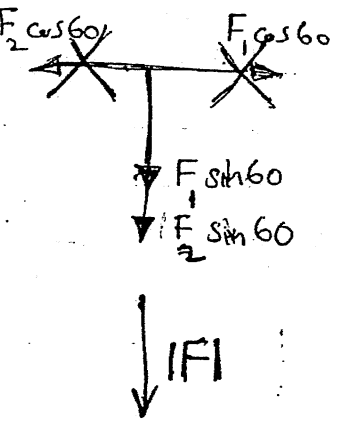
$$= 2F_1\sin60 = 2\times0.18\sin60 = 0.312\ N$$

المحصلة :

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

$$= \sqrt{0 + (0.312)^2}$$

$$|F| = 0.312\ N = F_y$$

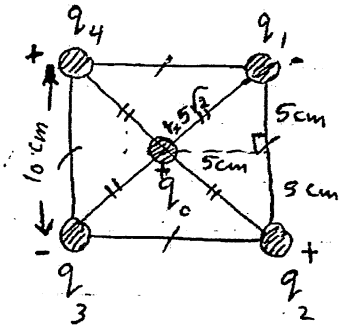


واتجاهها في اتجاه المحور (y) السالب .

• مثال (8) : وُضعت الشحنات : $q_1 = -2\mu C$ ، $q_2 = 2\mu C$ ، $q_3 = -4\mu C$ ، $q_4 = 4\mu C$ على رؤوس المربع . أوجد القوة التي تؤثر بها هذه الشحنات على شحنة $(q_0 = 1\mu C)$ وضعت في مركز المربع ، إذا كان طول ضلع المربع $(10\ cm)$.

• الحل : من قانون كولوم :

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



$$\therefore F_{01} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(5\sqrt{2}\times10^{-2})^2} = 3.6\ N$$ "قوة تجاذب"

$$F_{02} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(5\sqrt{2}\times10^{-2})^2} = 3.6\ N$$ "قوة تنافر"

$$F_{03} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(5\sqrt{2}\times10^{-2})^2} = 7.2\ N$$ "قوة تجاذب"

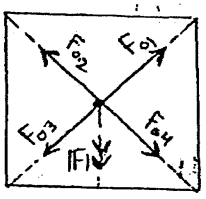
$$F_{04} = 9\times10^9 \frac{(1\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(5\sqrt{2}\times10^{-2})^2} = 7.2\ N$$ "قوة تنافر"

$$r = \sqrt{(5)^2 + (5)^2}$$

$$= \sqrt{25+25}$$

$$= \sqrt{50}$$

$$r = 5\sqrt{2}\ cm$$



$$|F_x| = |F_{01} - F_{03}| = |3.6 - 7.2| = 3.6\ N \quad (\text{وفي اتجاه } F_{03})$$

$$|F_y| = |F_{04} - F_{02}| = |7.2 - 3.6| = 3.6\ N \quad (\text{وفي اتجاه } F_{04})$$

$$\therefore |F| = \sqrt{F_x^2 + F_y^2} = \sqrt{(3.6)^2 + (3.6)^2} = 5.1\ N$$

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{F_y}{F_x}\right) = \tan^{-1}\left(\frac{3.6}{3.6}\right) = 45^\circ$$

في اتجاه المقسم للزاوية

التكهرب :

يمكن ملاحظة ظاهرة التكهرب في الحياة مثلاً :
- عند تمشيط الشعر الجاف بمشط من البلاستيك .
- عندما يسير الإنسان على الأبسطة الصوفية .
وبذلك يمكن تعريف التكهرب بأنه :
" هو اكتساب الجسم لشحنة كهربائية "

أنواع التكهرب :

نعرف أن الذرة تحتوي أساساً على نوعين من الجسيمات مختلفتي الشحنة وهما :
1. إحداها موجبة وتتركز في النواة وتسمى "البروتون" .
2. سالبة الشحنة وتدور حول النواة وتسمى "الإلكترونات" .

وبذلك ، عند دلك ساق من المطاط بقطعة من الفرو تتولد عليه شحنة سالبة (-) وعند دلك ساق من الزجاج بقطعة من الحرير تتولد عليه شحنة موجبة (+) .

قانون الجذب والتنافر :

[تتنافر الأجسام المشحونة بشحنات كهربية متشابهة وتتجاذب الأجسام المشحونة بشحنات كهربائية مختلفة] .
وبذلك تساوي شحنة الدالكة والمدلوك في المقدار واختلافهما في النوع .

التكهرب بالدلك :

عندما تدلك ساق من المطاط مثلاً بدالكة من الفرو فإن بعض من الإلكترونات الحرة تنتقل من الفرو إلى ساق المطاط فتكتسب الساق شحنة سالبة نتيجة اكتساب إلكترونات لها بينما تصبح قطعة الفرو موجبة الشحنة نتيجة فقد الإلكترونات منها .
وكذلك العكس إذا دلكنا بقطعة من الحرير على ساق من الزجاج .

الموصّلات والعوازل :

تنقسم المواد من حيث توصيلها للشحنات الكهربائية إلى :

أ- مواد جيّدة التّوصيل : وهي التي تسمح بمرور الشحنات خلالها بسهولة ومن أمثلتها : المعادن والمحاليل المائية للأحماض والقلويات والأملاح والغازات الساخنة .

ب- مواد رديئة التّوصيل : وهي التي تسمح للشحنة بالانتقال خلالها بصعوبة وببطء . ومن أمثلتها : خيوط القطن الأبيض - جسم الإنسان

ج - مواد عازلة التّوصيل : وهي التي لا تسمح للشحنة الكهربائية بالمرور خلالها . ومن أمثلتها الفلين - الخزف - الزجاج - المطاط - الغازات في الدرجة الاعتيادية .

التكهرب باللّمس :

يمكن شحن جسم غير مشحون بملامسته لجسم مشحون وتكون :

1- شحنة الجسم المنقولة إليه من نفس شحنة الجسم الشاحن .
2- تظل الشحنة المنقولة على الجسم بعد انفصاله عن الجسم الشاحن
3- تقل كمية الشحنة من الجسم الشاحن بقدر كمية الشحنة المنقولة إلى الجسم الآخر (المشحون) .

التكهرب بالتّأثير :

عند تقريب جسم مشحون بالكهربية من موصل معزول وغير مشحون فإن :

أ- يشحن الموصل المعزول بالكهربية متأثراً بشحنة الجسم المشحون
ب- تكون شحنة الموصل عند الطرف القريب من المؤثر مخالفة لنوع شحنة المؤثر وتسمى الشحنة المقيّدة .
ج - تكون شحنة الموصل عند الطرف البعيد عن المؤثر مشابهة لنوع شحنة المؤثر وتسمى الشحنة المطلقة .

١- تنعدم الشحنة عند منتصف الجسم المتأثر.
ب- عند رفع المؤثر يفقد الموصل شحنته.

قانون القوة بين شحنتين كهربائيتين:

«قانون كولوم»:

في الشحنات الكهربائية الساكنة تكون القوة الكهربائية في تناسب طردي مع حاصل ضرب الشحنات المتأثرة بهذه القوة وتكون في تناسب عكسي مع مربع المسافة المحصورة بين الشحنات.

أي أن:

$$F \propto q_1 q_2 \quad , \quad F \propto \frac{1}{r^2}$$

حيث أن: (F) القوة بالنيوتن.
(r) المسافة بالمتر.
(q) الشحنة بالكولوم.

وبذلك تكون:

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

حيث: (K) يُعرف بثابت التناسب وهو يعتمد على سماحية الوسط.
حيث $\left[K = \frac{1}{4\pi \epsilon_0} \right]$ ، ϵ_0 ثابت يسمى "سماحية الفراغ".

وقد وُجدت قيمته تساوي: $\left[\epsilon_0 = 8.854 \times 10^{-12} C^2/N.m^2 \right]$

- وبذلك تكون القيمة العددية للثابت (K) هي:

$$K = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \times 10^9 \ N.m^2/C^2$$

- مثال ①: أوجد قيمة شحنتين متساويتين وُضعتا في الفراغ وكانت المسافة بينهما (220 cm) وقوة التجاذب بينهما (0.5 N).

الحل:

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

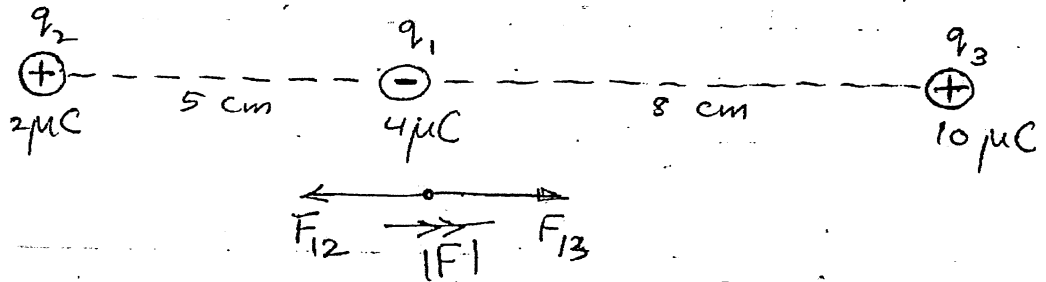
$$\therefore F = K \frac{q^2}{r^2} \Rightarrow q^2 = \frac{0.5 \ (220 \times 10^{-2})^2}{9 \times 10^9}$$

$q_1 = 1.63978 \times 10^{-5}\ C = 16.3978\ \mu C$.

$q_2 = -1.63978\ \mu C$.

• مثال ②: ثلاثة شحنات وُضعت كما هو موضّح بالشكل التالي. احسب محصلة القوى الكهربائية على:

أ- الشحنة q_1 ب- الشحنة q_2 ج- الشحنة q_3.



• الحل/ أ) الشحنة q_1:

F_{12} (q_1 and q_2)

"قوة تجاذب"

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

$$F_{12} = 9\times10^9 \frac{(4\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(5\times10^{-2})^2} = 28.8\ N.$$

F_{13} (q_1 and q_3) "قوة تجاذب"

$$F_{13} = K \frac{q_1 q_3}{r^2} = 9\times10^9 \frac{(4\times10^{-6})(10\times10^{-6})}{(8\times10^{-2})^2} = 56.25\ N.$$

∴ محصلة القوى:

$$|F_1| = |F_{13} - F_{12}|$$

$$= |56.25 - 28.8|$$

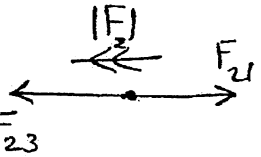
$$\therefore |F_1| = 27.45\ N$$

وفي اتجاه q_3

ب)- محصلة القوى المؤثرة على (q_2)

F_{21} (q_2 and q_1) "قوة تجاذب"

$$F_{21} = K \frac{q_2 q_1}{r^2} = 9\times10^9 \frac{(2\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(5\times10^{-2})^2} = 28.8\ N$$



F_{23} (q_2 and q_3) «قوة تنافر لتشابه الإشارة»

$$F_{23} = 9\times10^9 \frac{q_2 q_3}{r^2} = 9\times10^9 \frac{(2\times10^{-6})(10\times10^{-6})}{(13\times10^{-2})^2} = 10.6509\ N$$

المحصلة : $|F_2| = |F_{21} - F_{23}| = |28.8 - 10.6509| = 18.1491\ N$

* وفي اتجاه F_{23} .

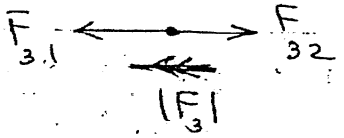
ج) - محصلة القوى المؤثرة على (q_3) :-

F_{31} (q_3 and q_1) قوة تجاذب «اختلاف الإشارة»

$$F_{31} = K \frac{q_3 q_1}{r^2} = 9\times10^9 \frac{(10\times10^{-6})(4\times10^{-6})}{(8\times10^{-2})^2} = 56.25\ N$$

F_{32} (q_3 and q_2) «قوة تنافر» ←

$$F_{32} = K \frac{q_3 q_2}{r^2} = 9\times10^9 \frac{(10\times10^{-6})(2\times10^{-6})}{(13\times10^{-2})^2} = 10.6509\ N$$



المحصلة : $|F_3| = |F_{31} - F_{32}| = |56.25 - 10.6509| = 45.5991\ N$

وفي اتجاه F_{31} .