Al sham University
Faculty of Informatic

جامعة الشام الخاصة
كلية الهندسة المعلوماتية

أسس الهندسة الكهربائية

لطلاب السنة الثانية

2018-2019

Dr. Ghada Aldahim

ghadadhem@gmail.com

CHAPTER 1
STATIC ELECTRICITY

الفصل الأول
الكهرباء الساكنة

PART 1

الكهرباء الساكنة والحقل الكهربائي الساكن

الشحنة الكهربائية *The Electric Charge*

ربما تكون الأجسام المتعادلة كهربائياً *electric neutral* من حولنا ولاسيما ما يمكننا أن نراه منها مسألة غير ملفتة للإنتباه، إلا أنها في حقيقة الأمر تحتوي على أعداد هائلة من الشحنات الكهربائية، ومعنى ذلك أن **الشحنات الموجبة تساوي الشحنات السالبة ويقال عن الجسم في هذه الحالة أنه متعادل كهربائياً.**

وأما إذا كانت **كمية الشحنات الموجبة والسالبة غير متساوية فإننا ننتقل إلى حالة عدم التعادل** *imbalance*، عندئذٍ نحصل على أجسام مشحونة كهربائياً إما بشحنة موجبة أو شحنة سالبة، وبناءً على ذلك تم تصنيف الشحنات الكهربائية إلى سالبة أو موجبة. كما أن التأثير المتبادل لهذين النوعين المختلفين من الشحنات الكهربائية أدى إلى صياغة الظاهرتين المعروفين الآتيتين:

1- **الظاهرة الأولى:** الشحنات المتشابهة تتنافر فيما بينها *Like charges repel each other*
2- **الظاهرة الثانية:** الشحنات غير المتشابهة تتجاذب فيما بينها.*Unlike charges attract each other*

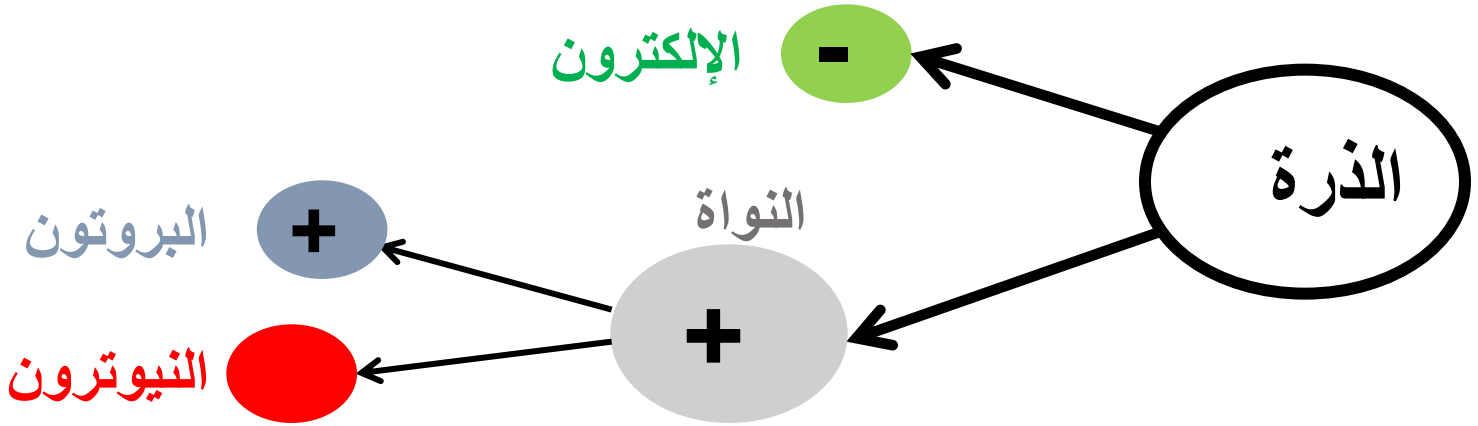
وباعتماد الحقيقة العلمية حول البنية الذرية للمادة *atomic structure of matter* واكتشاف **النواة *nucleus* ذات الطبيعة الكهربائية الموجبة** والإلكترون ***electron*** **ذو الطبيعة الكهربائية السالبة** أصبحت المعلومات في هذا الصدد متوافرة وبشكل مفيد للغاية، فقد ترتب على ذلك معرفة **الشحنة الأولية *elementary charge*** والمقصود بها شحنة الإلكترون، وتم تحديد مقدارها بشكل مضبوط للغاية، وأصبحت معروفة القيمة، كما اعتمد الحرف الإنكليزي بشكله الصغير *(e)* للتعبير عن الإلكترون، وأصبح معروفاً أن:

$$e = 1.60 \times 10^{-19}\ C$$

حيث أن (C) هي الكولوم وهي وحدة قياس الشحنة الكهربائية، ويمكننا تعريف الكولوم بواسطة مقدار الشحنة الأولية، ذلك أن:

الواحد كولوم هو عبارة عن شحنة عدد من الإلكترونات يساوي (6.25×10^{18}) كما تم تحديد كتلة الإلكترون وهي: $m_e = 9.1 \times 10^{-31}\ Kg$

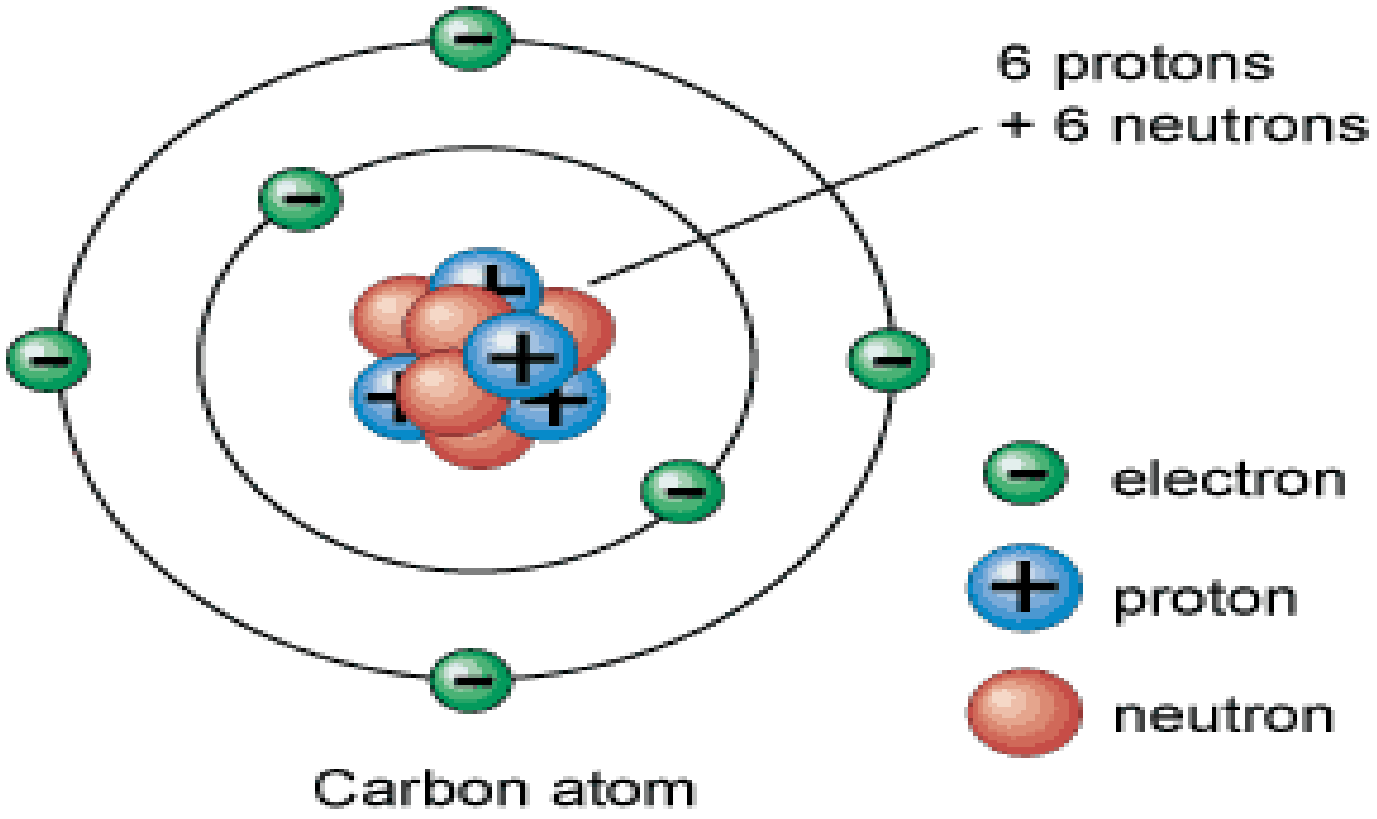
إن الدراسات المستفيضة عن البنية الذرية للمادة أدت إلى التمييز بين الشحنات الأولية وطبيعتها، ومعرفة شحنة البروتون Proton وهو من مكونات النواة، وكذلك التعرف على كتلة كل من هذين الجسمين، كما أدت إلى التأكد بأن النيوترون neutron وهو الآخر من مكونات النواة متعادل كهربائياً، بينما تقترب كتلته من كتلة البروتون.



الجسيم Particle	الرمز Symbol	الشحنة Charge (e)	الكتلة Mass (m)
إلكترون electron	e	-١	١
بروتون proton	p	+١	١٨٣٦.١٥
نيوترون neutron	n	٠	١٨٣٨.٦٨

الجدول (١-١) ويبين بعضاً من خصائص أجزاء مكونات الذرة

ويلاحظ أن كتل وشحنات المكونات تم قياسها نسبة إلى كتلة وشحنة الإلكترون



الإلكترونات في المدار الخارجي تسمى إلكترونات حرة *Free electrons* وهي ضعيفة الارتباط بالنواة. فإذا ما اكتسبت طاقة (من بطارية مثلا) فانها تغادر مدارها و تشكل التيار الكهربائي إذا وجدت في دارة كهربائية.

قانون كولوم: *Coulomb's Law*

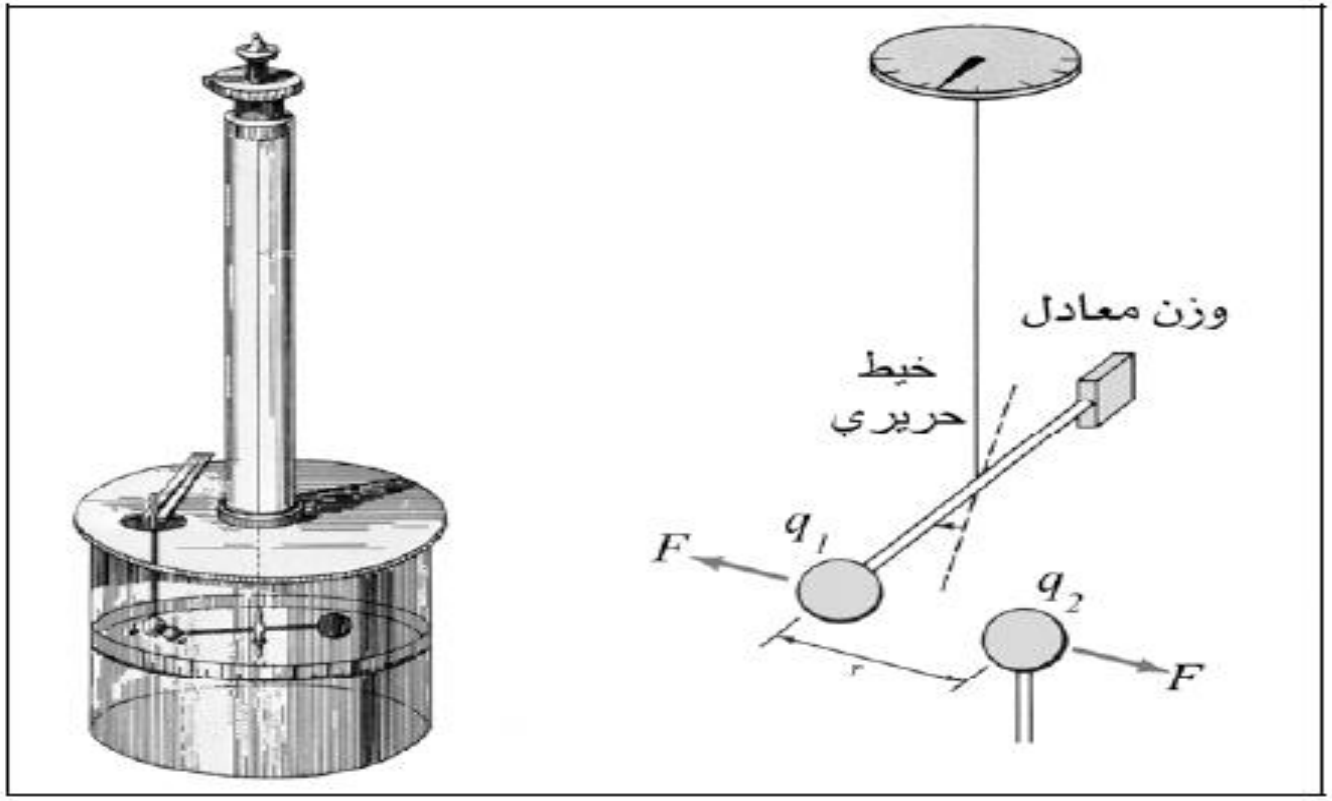
الكولوم : هو مقدار الشحنة الكهربائية التي إذا وضعت في الفراغ على مسافة متر واحد من شحنة ثانية مماثلة لها، كانت القوة الكهروستاتيكية المتبادلة بينهما مساوية إلى 9×10^9 N ، وهو الوحدة الدولية لقياس مقدار الشحنة الكهربائية.

لقد تمكن العالم الفرنسي Coulomb Charles Augustus في العام 1975 من دراسة القوى المتبادلة بين الشحنات الكهربائية الساكنة دراسة تجريبية، وذلك باستخدام ميزان صممه لهذا الغرض Coulomb's torsion balance حيث تمكن من التوصل إلى القانون الذي يعطي **العلاقة الرياضية بين القوة الستاتيكية** (سميت بهذا الإسم بسبب بقاء الشحنات الكهربائية ثابتة في مكانها) **ومقدار هذه الشحنات والمسافة الفاصلة بينها.**

إن الميزان مكون من كرة معدنية صغيرة تحمل شحنة كهربائية مقدارها q_1 متصلة بوزن يعادلها لغرض الاستقرار بواسطة محور متصل بقرص مدرج مثبت عليه مؤشر يقيس زاوية الإنحراف بسبب التأثير المتبادل بين الشحنة المعلقة وأية شحنة أخرى كما في الشكل (1)، حيث أن مقدار زاوية الإنحراف يتناسب مع قوة التنافر بين الشحنتين وبتغيير مقدار الشحنتين والمسافة بينهما في الفراغ توصل كولوم إلى ما يلي:

1- تتناسب القوة الكهروستاتيكية المتبادلة F تناسباً طردياً مع مقدار الشحنتين (q_1 , q_2) وهما شحنتان نقطيتان Point charge أي أن أبعادهما صغيرة إذا ما قورنت بالمسافة الفاصلة بينهما.

2- تتناسب القوة الكهروستاتيكية المتبادلة (F) عكسياً مع مربع المسافة الفاصلة بينهما (r^2) وبتحويل التناسب إلى مساواة ينتج لدينا ثابت التناسب k .



شكل (1)

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r^2} \quad -----(1)$$

حيث ***(K)*** هو ثابت التناسب ويطلق عليه الثابت الكهروستاتيكي ويعتمد على الوحدات المسخدمة لقياس **القوة** و**الشحنة** و**المسافة** كما يعتمد أيضاً على **الوسط الفاصل بين الشحنات الكهربائية**، ولتحديد مقدار هذا الثابت وباستخدام النظام العالمي للقياس (SI) استخدم كولوم المقادير التالية:

$$q_1 = q_2 = 1\ C$$
$$r = 1\ m$$

فوجد أن قوة التنافر الكهروستاتيكي المتبادلة *repulsion force* بينهما تساوي:

$$F = 9 \times 10^9\ N$$

وعليه يمكن إعادة كتابة العلاقة رقم (1) على النحو الآتي:

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

حيث يؤكد المتجه ($\hat{r}$) أن القوة الكهروستاتيكية المتبادلة (F) هي كمية اتجاهية. كما يمكننا إعادة كتابة الثابت (K) على الشكل التالي:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$$

حيث (ε_0) هو ثابت نفاذية الفراغ أو الهواء Permittivity Of Vacuum ويمكن إيجاد مقداره العددي على النحو الآتي:

$$\varepsilon_0 = \frac{1}{4\pi K} = \frac{1}{4\pi(9 \times 10^9)} = 8.85 \times 10^{-12} N^{-1}.m^{-2}.C^2$$

أما إذا كان الوسط المحيط بالشحنات وسطاً آخراً غير الفراغ فإننا نحتاج إلى إضافة ثابت السماحية النسبية relative permittivity على الشكل الآتي:

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0}$$

ثابت سماحية الوسط

نلاحظ من العلاقة السابقة أن **ثابت السماحية النسبي** ε_r **ليس له وحدات.**

المجال (الحقل) الكهربائي The Electric Field

المجال الكهربائي هو عبارة عن حيّز مكون من مجموعة من المتجهات أو حقل من المتجهات vectors field بمعدل متجه واحد لكل نقطة حول الشحنة الكهربائية، ويختبر المجال الكهربائي بواسطة وضع شحنة اختبارية test charge (q_o) بالقرب من جسم مشحون كهربائياً بشحنة مقدارها (q)، ثم نقوم بحساب القوة الكهروستاتيكية F المؤثرة على الشحنة الإختبارية (q_o)، وهكذا نجد أن المجال الكهربائي الناشئ عن تأثير الجسم ذي الشحنة (q) على الشحنة (q_o)، هو عبارة عن القوة الكهروستاتيكية F التي تنشأ بين هاتين الشحنتين والمؤثرة على الشحنة الإختبارية (q_o) وباستخدام النظام الدولي للقياس نعرف :

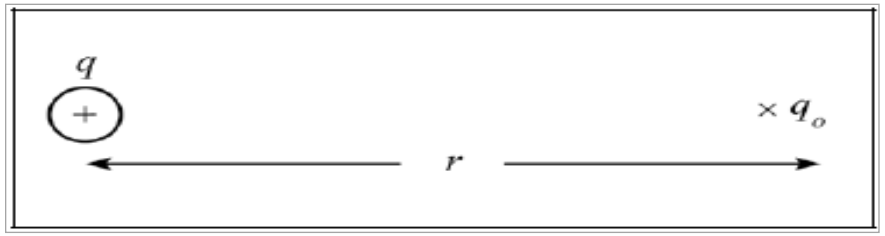
المجال الكهربائي بأنه القوة الكهروستاتيكية المساوية لواحد نيوتن والتي تؤثر على شحنة كهربائية مقدارها واحد كولوم، وهذا ما يعبر عنه رياضياً بالعلاقة الآتية:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o}$$

حيث $\vec{E}$ هي شدة المجال (الحقل) الكهربائي وهي كمية إتجاهية اتجاهها هو إتجاه القوة $\vec{F}$ أما واحدة قياسه فهي N/C

ومن الجدير بالذكر أن نؤكد على أن الشحنة الإختبارية سميت بهذا الإسم لأن مهمتها هي اختبار وجود المجال الكهربائي فقط، وليس لها أثر يذكر على طبيعته أو مقداره، إنما ينشأ المجال الكهربائي بسبب شحنة الجسم (q) ولبيان ذلك أنظر الشكل 2، حيث أن القوة الكهروستاتيكية المؤثرة على (q_o) هي:

$$\vec{F} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{qq_o}{r^2}\hat{r}$$



شكل (2)
الشحنة الإختبارية (q_o) تقع داخل المجال الكهربائي للشحنة (q)

حيث r المسافة الفاصلة بين الشحنتين، أما شدة المجال الكهربائي فهو:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q_o} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

وهكذا تبين أن الشحنة الإختبارية لاعلاقة لها بالمجال الكهربائي ومتجه الوحدة $\hat{r}$ يشير إلى أن اتجاه المجال $\vec{E}$ باتجاه القوة $\vec{F}$.

المجال الكهربائي الناشئ عن شحنة نقطية

The Electric Field Due To A Point Charge

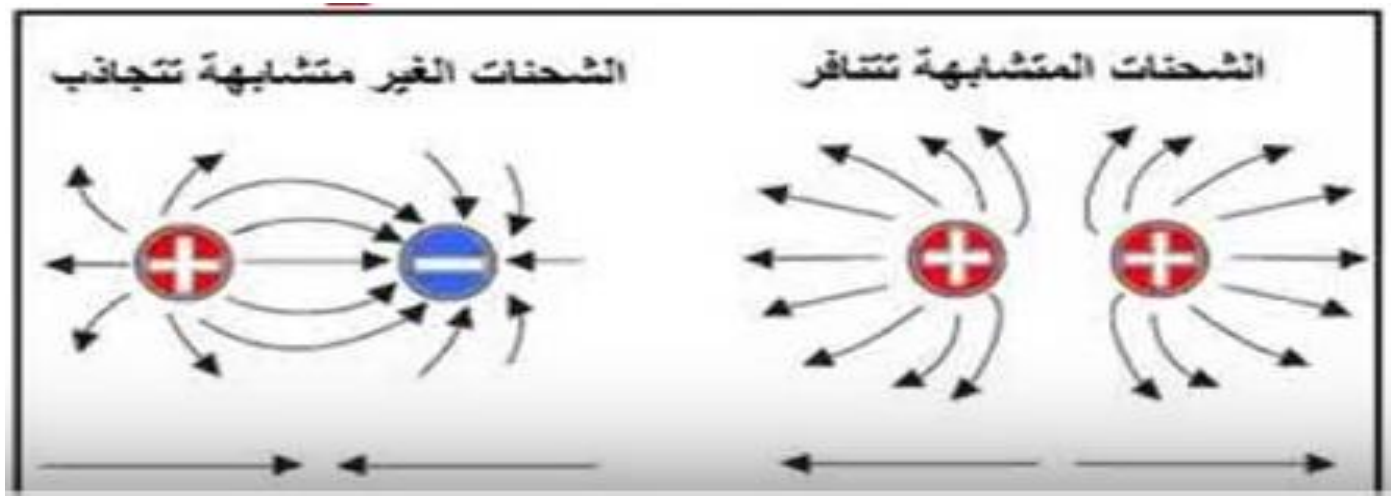
إن المجال الكهربائي $\vec{E}$ الناشئ عن شحنة نقطية مقدارها (q) عند نقطة تبعد عنها مسافة مقدارها (r) هو:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{q}{r^2}\hat{r}$$

والصيغة المتداولة لحساب شدة المجال الكهربائي هي:

$$E = K\frac{q}{r^2}$$

حيث $\hat{r}$ يمثل شعاع الوحدة *unit victor* لمتجه المسافة الواصلة بين الشحنة والنقطة المطلوب تعيين مقدار المجال الكهربائي عندها، أما اتجاه $\vec{E}$ فهو بالاتجاه الذي يبدو **مبتعداً** عن الشحنة إذا كانت **موجبة**، و**مقترباً** منها إذا كانت الشحنة **سالبة**.



- خطوط المجال (الحقل) الكهربائي هي خطوط وهمية تخرج من الشحنة الموجبة وتدخل في السالبة.
- خطوط المجال الكهربائي لا تتقاطع.
- تدل كثافة الخطوط على قيمة شدة المجال في المنطقة حيث تتناسب طرديا معها.

مثال 1

إذا كان نصف قطر نواة ذرة اليورانيوم r يساوي $6.8\ fm$ وإذا ما افترضنا أن شحنة النواة تتوزع بشكل منتظم في داخلها. أوجد حسابياً شدة المجال الكهربائي عند نقطة على سطح النواة.

الحل:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o}\frac{Ze}{r^2} = K\frac{Ze}{r^2}$$

حيث Z تمثل عدد البروتونات داخل نواة اليورانيوم ويساوي 92.

$$E = (9\times10^{9}N.m^{2}.C^{-2})\frac{(92)(1.6\times10^{-19}C)}{(6.8\times10^{-15}m)^{2}}$$

$$E = 2.9\times10^{21}\ N/C$$

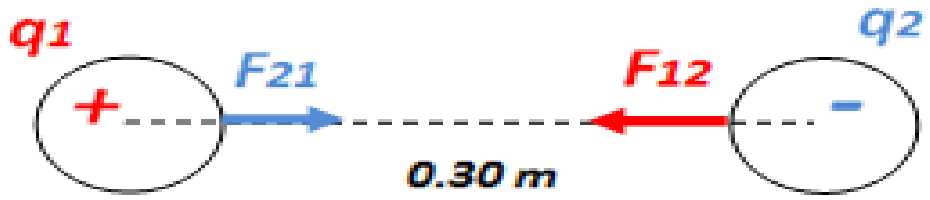
مثال 2

١- موصلان كرويان متماثلان وضعا في الهواء بحيث كانت المسافة بين مركزيهما 0.30m شحن أحدهما بشحنة $+12\times10^{-9}C$ وشحن الآخر بشحنة $-18\times10^{-9}C$

احسب مقدار القوة الكهربائية التي يؤثر بها أحد الموصلين على الموصل الآخر.

الحل

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



الجواب

$$F_e = 2.16\times10^{-5}\,N$$

مثال 3

تتجاذب كرتان شحناتهما متساويتان بقوة مقدارها 0.1 Kg، البعد بين مركزيهما 20 Cm أوجد شحنة كل منهما؟

الحل

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

F = 0.1 Kg = 0.1 x 9.81 N = 0.981 N

$$0.981 = 9 \times 10^9 \frac{q^2}{r^2}$$

$$q^2 = 4.36 \times 10^{-12} \Longrightarrow q = 2.09 \times 10^{-6}\ C$$

مثال 4

أوجد القوة بين شحنتين قيمة كل منهما كولون واحد والمسافة بينهما متر واحد متوضعتين في الهواء.

الحل

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

$$F = 9 \times 10^9 \frac{1 \times 1}{1} = 9 \times 10^9 \ N$$

مثال 5

المطلوب حساب القوة الكهربائية التي يؤثر بها جسم نقطي مشحون بشحنة كهربائية تساوي $q_1 = 2 \times 10^{-5}\ C$ على جسم نقطي آخر شحنته $q_2 = 3 \times 10^{-6}\ C$ ويقع على مسافة 50 Cm من الجسم الأول وكلا الجسمين موجودين في الخلاء؟ حيث $\varepsilon_o = 8.85 \times 10^{-12} N^{-1}.m^{-2}.C^2$ ماذا تصبح هذه القوة إذا استبدل الخلاء بزيت المحولات $\varepsilon_r = 3$

الحل

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \times \frac{q_1 q_2}{{r_{12}}^2}$$

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}} \frac{2 \times 10^{-5} \times 3 \times 10^{-6}}{(50 \times 10^{-2})^2} = 2.16\ N$$

وإذا استبدلنا الخلاء بزيت المحولات:

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o\varepsilon_r} \times \frac{q_1 q_2}{{r_{12}}^2} = 2.16/3 = 0.72\ N$$

مثال 6

المطلوب حساب المسافة التي يجب أن تفصل بين جسمين مشحونين بشحنتين كهربائيتين متساويتين في الخلاء قيمة كل منهما 1C لكي تظهر بينهما قوة تنافر كهربائية 1 N.

الحل

$$F_{12} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_o} \times \frac{q_1 q_2}{{r_{12}}^2}$$

$$r_{12} = \sqrt{\frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\varepsilon_o \cdot F_{12}}}$$

$$r_{12} = \sqrt{\frac{1 \times 1}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}}$$

$$r_{12} = \mathbf{94.9\ Km}$$

وللمقارنة لو كانت شحنة كل من الجسمين $q = 1 \times 10^{-5}\ C$ يكون البعد بين الشحنتين:

$$r_{12} = \sqrt{\frac{1 \times 1 \times 10^{-10}}{4\pi \times 8.85 \times 10^{-12}}}$$ **= 0.94 m**

الآن لو وضعنا بورسلان بين الشحنتين بدلا من الخلاء $\varepsilon_r = 5$

$$r_{12} = \frac{0.94}{\sqrt{5}} = \mathbf{0.42\ m}$$