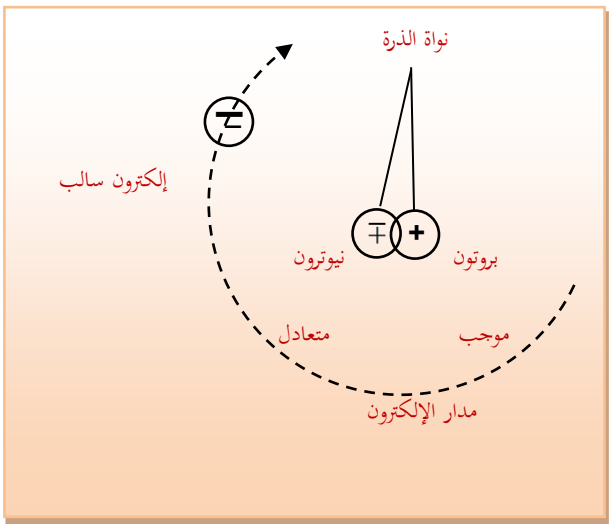
الفصل الاول / قانون كولوم
Coulomb's Law

(1–1) تركيب الذرة Atomic Structure

تتكون كل ذرة من نواة موجبة الشحنة تمثل جزءاً صغيراً جداً من حجمها ولكن تؤلف أكثر من 99.9% من كتلتها الكلية. تحتوي النواة على نوعين من الجسيمات المشحونة المتناهية الصغر تسمى بالنيوترونات والبروتونات. فالنيوترون متعادل الشحنة وكتلته $1.6748\times10^{-27}kg$، أما البروتون فهو ببساطة نواة ذرة الهيدروجين وشحنته $+e$ تساوي $1.602\times10^{-19}C$ وكتلته $1.6725\times10^{-27}kg$.وتدور حول النواة بمدارات خارجية (دائرية أو على شكل قطع ناقص) يتراوح بعدها ما بين 1 و 2 انجستروم جسيمات متناهية جداً في الصغر تسمى بالالكترونات وهي ذات كتلة صغيرة جداً مقارنة بكتلة النواة مقدارها $9.1091\times10^{-31}kg$ وتحمل شحنة سالبة $-e$ مساوية بالمقدار لشحنة البروتونات الموجبة* كما موضح في الشكل (1-1).



الشكل (1–1) : رسم تخطيطي لتركيب الذرة.

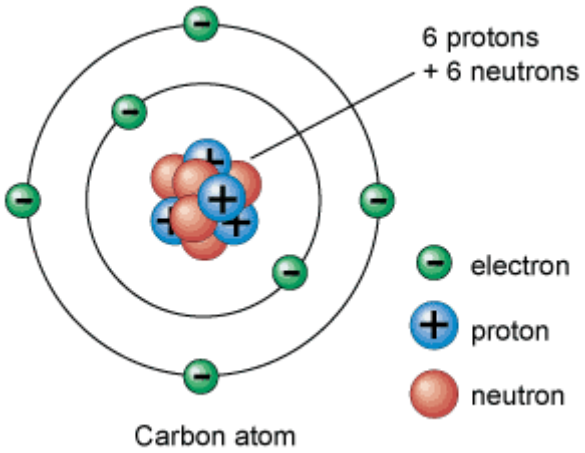
أن عدد الالكترونات التي تدور حول النواة هي التي تميز ذرة عنصر عن ذرة عنصر آخر. وكذلك نجد من خلال قيم كتل الجسيمات الأولية أن للبروتون كتلة تقريباً مساوية لكتلة النيوترون، وان كتلة الإلكترون الساكن هي اصغر بحوالي 1840 مرة من كتلة البروتون لذا فان كتلة الذرة تتركز في نواتها. فإذا تصورنا نواة الذرة بشكل كرة فان قطرها يتراوح مابين $1\times10^{-15}m$ للهيدروجين إلى حوالي $7\times10^{-15}m$ للذرات الثقيلة التي تحتوي نواتها على عدد كبير من البروتونات كاليورانيوم مثلاً، أما قطر الذرة فيتراوح مابين $1\times10^{-10}m$ إلى حوالي $3\times10^{-10}m$ أي اكبر بحوالي 10^5 مرة قطر النواة.

* من الضروري أن ننبه إلى أن هناك جسيمات أخرى تم اكتشافها في بدايات الثلث الثاني من القرن العشرين تقريباً مثل البوزترون (وهو جسيم موجب الشحنة ويحمل نفس مقدار شحنة الإلكترون) والنيوترينو وغير ذلك من الجسيمات الأولية المستقرة وغير المستقرة التي اكتشفت في الأشعة الكونية وفي نواتج التفاعلات المتولدة في أجهزة المعجلات الذرية.

أن الذرة متعادلة كهربائياً (غير متأينة) عندما يكون عدد الالكترونات فيها مساوياً لعدد البروتونات تماماً كحالة ذرة الكربون الموضحة في الشكل (1-2) حيث تتوازن الشحنات السالبة لإلكتروناتها الست بالشحنة الموجبة للنواة، وهذا العدد المتوازن يسمى بالعدد الذري Atomic Number ويرمز له بالحرف Z. أما العدد الكلي للبروتونات والنيوترونات داخل النواة فيسمى بالعدد الكتلي Mass Number ويرمز له بالحرف A وبهذا يكون:

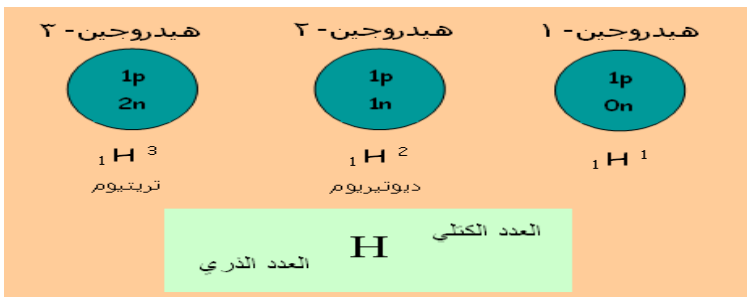
$$A = Z + N \qquad \text{.....(1-1)}$$

إذ أن الحرف N يرمز إلى عدد النيوترونات داخل النواة.

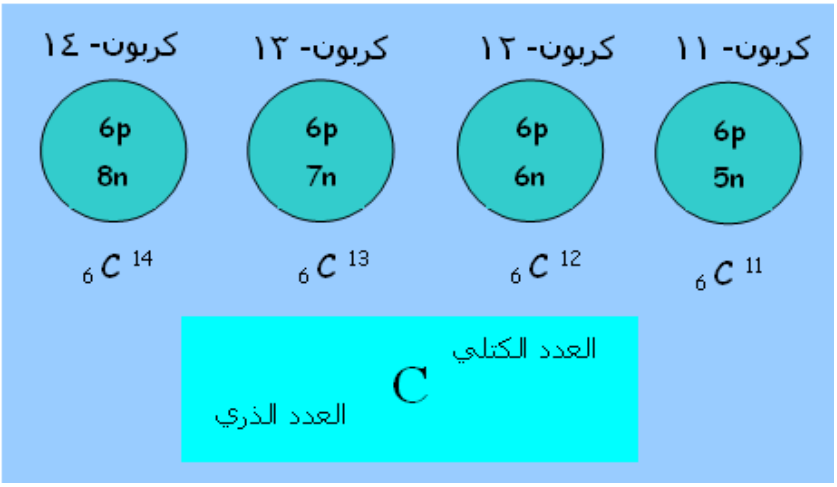


الشكل (1-2) : تركيب ذرة الكربون.

إن ذرات العناصر التي تختلف في عددها الكتلي A وتتشابه في عددها الذري Z تسمى بالنظائر Isotopes. ومن الواضح أن هذه النظائر تتواجد فقط في المادة الواحدة حيث تختلف في عدد النيوترونات الموجودة في نواياتها. وتتشابه النظائر في خواصها الكيمياوية نظراً لاعتمادها على عدد الالكترونات وتوزيعها خارج النواة، على حين تختلف في بعض خواصها الفيزياوية نتيجة اختلاف كتلها بسبب اختلاف عدد نيوترونات نظائر العنصر الواحد كما ي ذرة الهيدروجين الموضحة بالشكل(1-3) وذرة الكاربون الموضحة بالشكل(1-4).



الشكل (1-3) : نظائر ذرة الهيدروجين



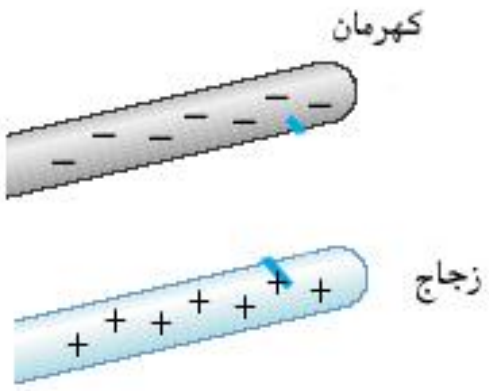
الشكل (1-4) : نظائر ذرة الكاربون

(2-1) الشحنة و المادة Charge and Matter

عرف الإنسان الكهرباء منذ القدم، فقد لاحظ ثيلز (Thales) عام 600 قبل الميلاد أن قطعة من الكهرمان (Amber) تجذب إليها قطعاً من القش إذا دلكت بقطعة من الملابس ، ولذلك يمكن القول أن الكهرمان قد اكتسب شحنة كهربية كما في الشكل (1-5).

الشكل (1-5)

تعتمد نوع هذه الشحنة على طبيعة المادة التى نقوم بدلكها. بمعنى أنه فى حالة دلك مادة الكهرمان بفرو الحيوان فإنها تكتسب شحنات سالبة. أما فى حالة مادة الزجاج المدلوك بالحرير فإنها تكتسب شحنات موجبة كما في الشكل (1-6).



الشكل (1-6)

وهناك العديد من التجارب العملية البسيطة التي يمكن من خلالها البرهنة على وجود القوة الكهربية الساكنة منها على سبيل المثال لا الحصر التجارب التالية :-

عند دلك مشط (comb) بشعر الإنسان أو الحيوان فإننا نلاحظ عند تقريب هذا المشط من قصصات ورق أن هذه القصاصات تنجذب إلى المشط كما هو موضح بالشكل(1-7)

الشكل (1-7)

و بالمثل عرف الإنسان المغناطيسية الطبيعية، و أن هناك حجارة معينة تلتقط قطع الحديد إذا اقتربت منها. ولذلك يمكن القول بان القوة الكهرومغناطيسية بين الجسيمات المشحونة تعتبر واحدة من أساسيات القوة فى الطبيعة.

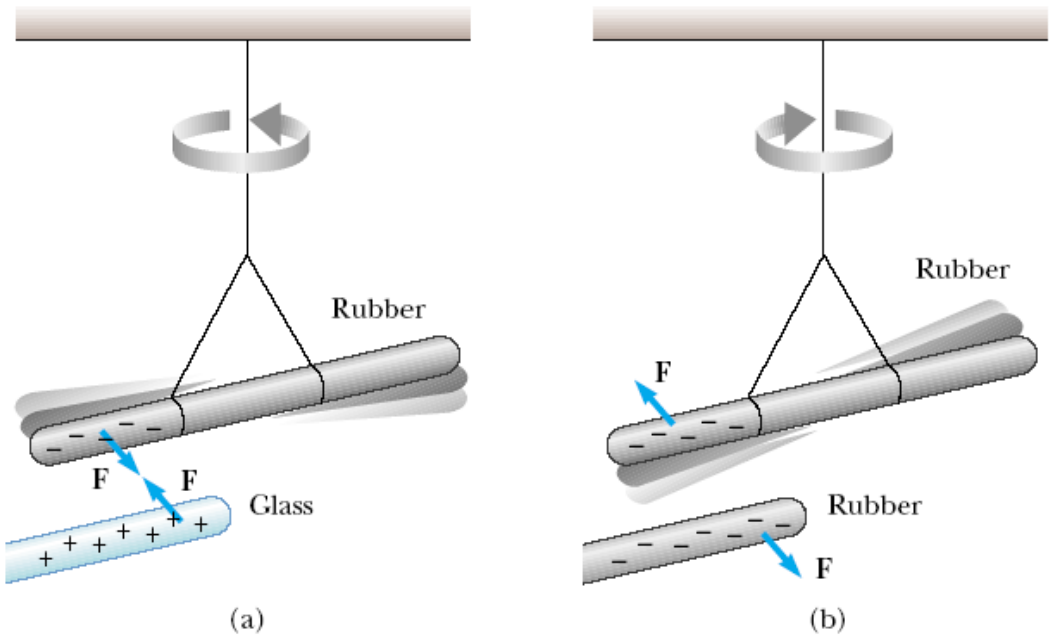
(1-3) الشحنة Charge

تتكون المادة من ذرات، و تتكون الذرات بدورها من إلكترونات و بروتونات و نيوترونات. و لكل من هذه الجسيمات خواصها المميزة. و من خواص هذه الجسيمات هي خاصية الكتلة (mass) و التي تحدد قصور (inertia) أو عجز هذه الجسيمات عن الحركة من تلقاء نفسها. و هناك خاصية أخرى لهذه الجسيمات هي الشحنة (charge). و يرمز لها بالرمز q (أو Q)، و تقاس بالكولوم (Coulomb) و يرمز للكولوم بالرمز C. و مثلما تمكن خاصية الكتلة للأجسام من جذب بعضها بعضاً (كالجذب المتبادل بين الأرض و القمر)، فإن خاصية الشحنة للمادة تمكن الأجسام من التأثير بعضها على بعض. و على عكس خاصية الكتلة، التي تكون

موجبة عادة، فإن الشحنة قد تكون سالبة و قد تكون موجبة، و بالتالي فإن القوة الناتجة عن وجود خاصية الشحنة في المادة قد تكون قوة جذب أو قوى تنافر.ومن هنا يمكن استنتاج قاعدة التجاذب والتنافر التى نصها :

تتجاذب الشحنات المختلفة وتتنافر الشحنات المتشابه

كما هو موضح بالشكل(1- 8)



الشكل(1- 8) يوضح قوة التجاذب والتنافر

من الأمثلة على بعض الشحنات الأساسية الهامة التي سنتعامل معها في كثير من المسائل، هي شحنة الإلكترون (e) و مقداراها 1.6×10^{-19} كولوم. و هي أصغر مقدار للشحنة في الكون و تكون شحنات الجسيمات الأولية إما صفر مثل النيترونات أو أعداداً صحيحة لشحنة الإلكترون. بمعنى أخر تتواجد الشحنات على الأجسام المادية المختلفة بكميات مساوية لمضاعفات شحنة الإلكترون، أي على شكل Ne حيث N عدد صحيح. فمثلاً يمكن أن تتواجد شحنة على جسم ما بمقدار 2e أو 10e أو 1.6×10^{2} e، بيد أنها لا يمكن أن تتواجد بمقدار 1.5e أو 25.3e و من هنا فإنه يقال على الشحنة بأنها مكماة (Quantized). و الجدول (1-1) يبين خصائص بعض الجسيمات ويجب أن ننوه أن هناك نوعاً آخر من القوى التي تربط مكونات النواة مع بعضها البعض وهى القوى النووية، ولولاها لتفتت النواة بواسطة قوى التجاذب بين الإلكترون والبروتون.

Particle	Symbol	Charge	Mass
Proton	*p*	$1.6 \times 10^{-19}C$	$1.67 \times 10^{-27}K$
Neutron	*n*	0	$1.67 \times 10^{-27}K$
Electron	*e*	$-1.6 \times 10^{-19}C$	$9.1 \times 10^{-31}K$

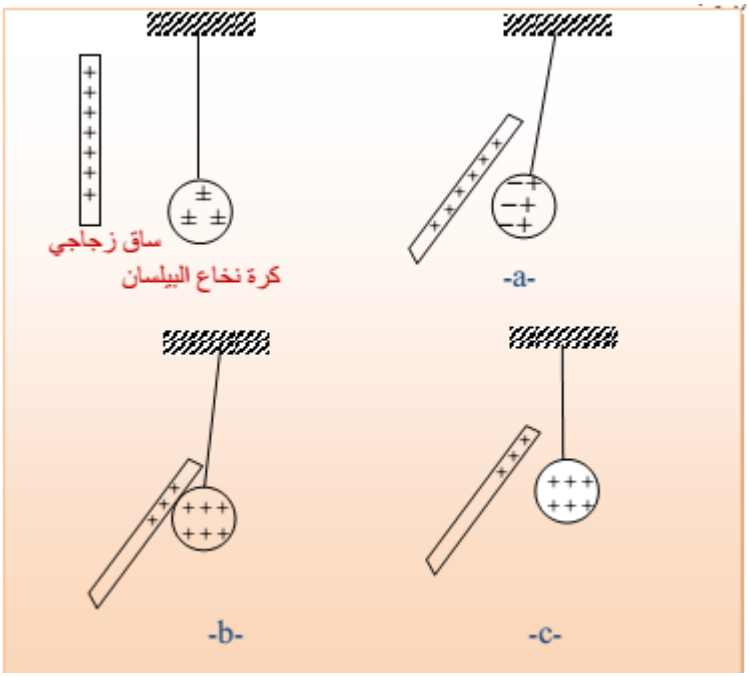
الجدول (1-1) يبين خصائص بعض الجسيمات

(1–4) الشحن بالتوصيل (التماس) Charging By Contact

أن ذرات المادة تكون متعادلة كهربائياً عندما تكون كمية الشحنات الموجبة (البروتونات)داخل النوات تساوي تماماً مجموع الشحنات السالب (الالكترونات) حول النواة .هناك طرق عدة استعملت لتغيير حالة التوازن الاعتيادي بين الشحنات الموجبة والشحنات السالبة في الذرة والحصول على أجسام مشحونة وأقدمها ظاهرة الشحن بالتماس. فعند دلك ساق زجاجي بالحرير سيحدث انتقال سريع جداً للالكترونات فقط من ذرات الزجاج إلى الحرير، ومن الطبيعي فان الحرير الذي استلم الكترونات تصبح شحنته سالبة ويترك الأخر أي الزجاج بشحنة موجبة بعد أن يخسر جزءاً من شحناته السالبة.

وعند تقرِّيب كرة من نخاع البيلسان* معلقة بخيط عازل من ساق الزجاج فأنها ستنجذب أولا نحو ساق الزجاج، كما في الشكل (1-9). ثم تبدأ الالكترونات بمغادرة بعض ذرات الكرة نحو ساق الزجاج وكنتيجة لهذا تكتسب كرة نخاع البيلسان شحنة موجبة مما يجعلها تنفر من ساق الزجاج حالاً .وعندها لو قرِّبنا الكرة من قطعة الحرير سالبة الشحنة فأنها ستنجذب إليها بسهولة.

* كرة نخاع البيلسان عبارة عن كرة خفيفة جداً مغطاة بدهان معدني ومن السهل شحنها باستعمال سيقان من الزجاج.



الشكل (1-9) : انتقال الشحنات الكهربائية بسبب التماس وان التنافر يحصل بسبب الشحنات المتشابهة.

(5–1) الموصلات والعوازل واشباه الموصلات Conductors ,Insulators Semiconductors

بالإمكان تقسيم المواد تبعاً لسلوكها الكهربائي إلى مجموعتين رئيستين هما الموصلات والعوازل. وحيث المواد التي تقع في الوسط ما بين هاتين المجموعتين فأنها تسمى أشباه الموصلات Semiconductors. يمكن تقسيم طيف لبعض العناصر حسب قيم معاملات توصيلها الكهربائي σ، إذ نجد :

1- مجموعة الفلزات مثل الفضة والنحاس والحديد ، حيث توصيلتها الكهربائية σ عالية عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 10^5 إلى 10^8 (اوم.متر)$^{-1}$.
2- مجموعة أشباه الموصلات مثل الجرمانيوم والسليكون وكبريتيد الرصاص وكبريتيد الكادميوم، حيث قيم σ متوسطة عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 5×10^5 إلى 5×10^{-5} (اوم.متر)$^{-1}$.
3- مجموعة العوازل مثل الزجاج والخزف والكوارتز والكهرمان،حيث قيم σ قليلة جداً عند درجة حرارة الغرفة في المدى من 10^{-6} إلى 10^{-16} (اوم.متر)$^{-1}$.

(1) الموصلات (Conductors)

و هي المواد التي تسمح للشحنات بالحركة خلالها، و ذلك تحت تأثير قوة خارجية. و من الأمثلة عليها: جميع المعادن (كالنحاس، و الحديد و الذهب ...)، و جميع محاليل الأملاح (كمحلول كبريتات النحاس ...).

(2) العوازل (Insulators)

و هي المواد التي لا تسمح، عندما تكون نقية، للشحنات بالحركة خلالها، ومن الأمثلة عليها، الزجاج و المطاط و الخشب.

(3) اشباه الموصلات (Semiconductors):

و هي المواد المتوسطة، بين العوازل و الموصلات، في سماحيتها للشحنات بالحركة من خلالها. و من الأمثلة عليها : السيليكون و الجرمانيوم. و يمكن إضافة بعض الشوائب كالبورون أو الفوسفور إلى شبه الموصلات لزيادة توصيلها.

(1–6) قانون كولوم Coulomb's Law

يعد العالم الفرنسي تشارلس أوغسطين دي كولوم (1736-1806) واحداً من الرواد الأوائل في القرن الثامن عشر في الكهربائية، فهو أول من قام بقياسات عملية للقوى العاملة بين الأجسام المشحونة. ومن حصيلة هذه القياسات استطاع صياغة قانونه الشهير عام 1785 الذي عرف بقانون كولوم وهو يرتكز على ثلاث نصوص :

1- تنافر الشحنات ذات الإشارة المتشابه وتجاذب الشحنات ذات الإشارة المختلفة.
2- تؤثر شحنتان نقطيتان أحداهما على الأخرى بقوة تعمل على امتداد الخط المستقيم الذي يصل بين مركزيهما، ومقدار هذه القوة سواء كانت قوة تجاذب أو تنافر بين الشحنتين تتناسب طردياً مع حاصل ضرب الشحنتين.
3- يتناسب مقدار قوة التجاذب أو التنافر بين شحنتين عكسياً مع مربع المسافة بينهما، ان هذا الاستنتاج يعد إشارة واضحة إلى ان كولوم اثبت ان قوة التجاذب أو التنافر بين جسمين مشحونين تتبع قانون التربيع العكسي.

على ضوء ما تقدم يمكن صياغة نص قانون كولوم بالشكل الأتي : **القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين نقطيتين في حالة سكون تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما.**

ويمكن كتابة قانون كولوم بصيغة رياضية تشير إلى اتجاه القوة إضافة إلى مقدارها بالشكل الآتي :

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\hat{r} \qquad \text{.....(1-1)}$$

وطبقاً لقانون نيوتن للفعل ورد الفعل فان القوة المؤثرة على أحدى الشحنتين لا بد ان تكون مطابقة في المقدار ومعاكسة في الاتجاه للقوة التي تؤثر على الشحنة الأخرى وكلاهما تعمل على الحد الفاصل بين الشحنتين. وعليه فان القوة F في المعادلة (1-1) تشير للقوة الكهروستاتيكية المؤثرة على الشحنة q_2 من قبل الشحنة q_1 وهي نفس القوة المؤثرة على الشحنة q_1 من قبل الشحنة q_2 ولكن بعكس الاتجاه. تمثل r المسافة بين الشحنتين و k يمثل ثابت فيزيائي كوني يعرف بثابت قوة كولوم، إذ تعتمد قيمته على نظام الوحدات المستعملة وكذلك على نوع الوسط الفاصل. أما الرمز $\hat{r}$ فهو وحدة المتجه Unit Vector ومقداره واحد واتجاهه من q_1 إلى q_2.

يطبّق قانون كولوم على الشحنات النقطية Point Charges وهي الشحنات التي تشغل حيزاً أبعاده صغيرة جداً مقارنة بالمسافات الفاصلة بينها. ويطبق أيضا في العوازل والموصلات إذا كانت F القوة المؤثرة بين q_1 وq_2 بغض النظر عن القوى الناجمة عن الشحنات الأخرى ضمن الوسط.

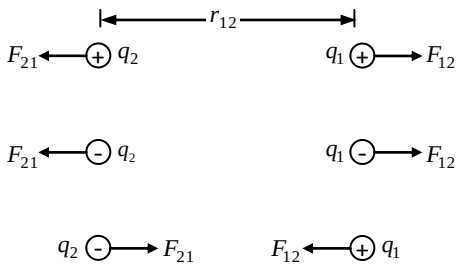
يمكن كتابة القوة المتبادلة بين الشحنتين على النحو التالي:

$$F = K\frac{q_1 q_2}{r_{12}^2}$$

حيث K مقدار ثابت يعتمد على نوع الوسط المحيط بالشحنتين و يساوي في حالة الفراغ 9×10^9 $N.m^2/C^2$. و يكتب الثابت K في كثير من الأحيان على النحو التالي:

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9\times10^9\ \mathrm{N.m^2/C^2}$$

حيث يمثل ε_0 ثابت نفاذية الفراغ للتأثير الكهربائي، و يساوي 8.85×10^{-12} $C^2/N.m^2$. و عند وجود وسط آخر غير الفراغ بين الشحنتين، يستعاض عن ε_0 بثابت نفاذية ذلك الوسط للتأثير الكهربائي. باستخدام النظام العالمي للوحدات (SI system of units) فإن القوة تقاس بالنيوتن (N)، و المسافة (r_{12}) بالمتر، و الشحنة بالكولوم. وعندما تكون الشحنتين متشابهتين (موجبة-موجبة أو سالبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تنافر . وإذا كانت الشحنتين مختلفتين (موجبة – سالبة) تكون القوة بينهما قوى تجاذب كما هو موضح بالشكل التالي :-



ملحوظة

قانون كولوم ينطبق على الشحنات النقطية (point charges) فقط، (تعرف الشحنة النقطية بأنها تلك الشحنة التي يمكن إهمال أبعادها (أو حجمها) إذا قورنت بالمسافة بينها و بين شحنات أخرى) و أن القوة التي تؤثر بها الشحنة q_2 على الشحنة q_1، F_{12} (أو القوة التي تؤثر بها الشحنة q_1 على الشحنة q_2، F_{21}) كمية متجهة (أي أن لها مقداراً و اتجاهاً).

أما إذا كان هناك مجموعة من الشحنات النقطية (q_1, q_2, q_3, q_4) يؤثر بعضها على بعض، فإن القوة الكلية التي تؤثر على إحداها (الشحنة رقم 1 مثلاً) تعطى بجمع متجهات القوى بين الشحنة هذه و كل من الشحنات الأخرى. أي أن:

$$\overrightarrow{F_1} = \overrightarrow{F_{12}} + \overrightarrow{F_{13}} + \overrightarrow{F_{14}}$$

$$F=\sqrt{F_{1x}^2+F_{1y}^2} \quad , \quad \tan\theta=\frac{F_{1y}}{F_{1x}}$$

(8–1) توزيع الشحنة المتصلة

هناك حالات تكون فيها الشحنة موزعة على طول خط مستقيم او على سطح اوعلى حجم , يكون من الملائم ان تعرف كثافة الشحنة الموزعة وفق الحالات الاتية :-

1- اذا كانت الشحنة q موزعة بشكل منتظم على طول خط مستقيم L فان كثافة الشحنة الطولية λ تعرف كالاتي :

$$\lambda = q / L \quad (C/m)$$

2- اذا كانت الشحنة q موزعة بشكل منتظم على سطح مساحه S فان كثافة الشحنة السطحية σ تعرف كالاتي :

$$\sigma = q / S \quad (C/m^2)$$

3- اذا كانت الشحنة q موزعة بشكل منتظم خلال حجم V فان كثافة الشحنة الحجمية ρ تعرف كالاتي :

$$\rho = q / V \quad (C/m^3)$$

4- اذا كانت الشحنة موزعة بشكل غير منتظم على طول اوسطح او حجم فيجب ان نعبر عن كثافات الشحنات كالاتي :

$$\lambda=\frac{dq}{dL} \qquad \sigma=\frac{dq}{dS} \qquad \rho=\frac{dq}{dV}$$

اذ dq هي عنصر الشحنة على امتداد عنصر الطول او السطح او الحجم .