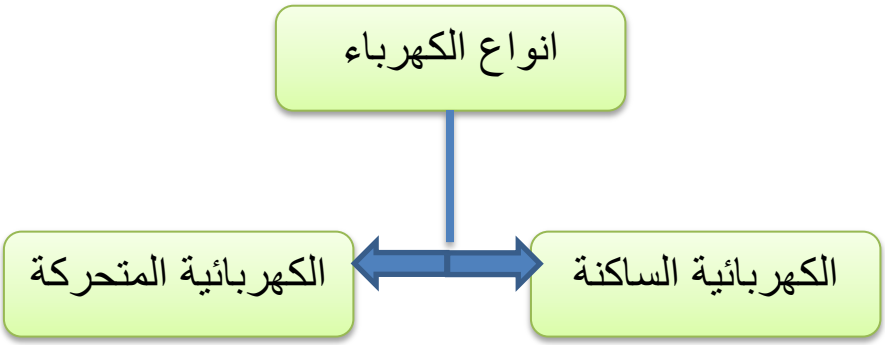
المحاضرة الاولى



اولاً:- الكهربائية الساكنة(Static Electric)

1- مقدمة (Introduction)

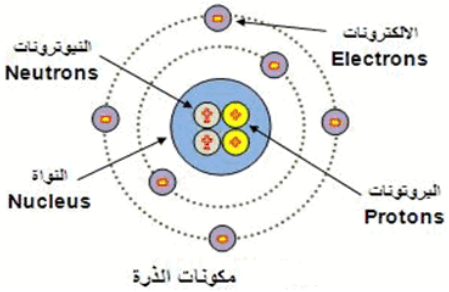
من التجارب المعروفة لدنيا تجربة تقريب قلم حبر جاف من قصاصات الورق وملاحظة عدم انجذاب القصاصات ، ولكن عند دلك القلم بالشعر نلاحظ انجذاب القصاصات الورقية ،فماذا حدث ؟ ان قلم الحبر بعد دلكه بالشعر اكتسب خاصية جديدة باكتسابه شحنات كهربائية مكنته من جذب قصاصات الورق .
هذه التجربة البسيطه وغيرها من التجارب فتحت المجال امام العلماء لدراسة الشحنات الكهربائية وماينتج عن وجودها .وقبل كل شي لابد من ذكر الخصائص العامة للشحنات الكهربائية والتي تتلخص فيما يلي:

1- **الشحنات نوعان: شحنات موجبة وشحنات سالبة ،من المعروف ان الشحنات المختلفة تتجاذب والمتشابه تتنافر**
2- **الشحنة مكماة : اي ان قيمة شحنة اي جسم تكون من مضاعفات شحنة الالكترون وبصورة رياضية فان : $q=n\,e$ حيث q شحنة الجسم ،n عدد صحيح ، e مقدار شحنة الالكترون والذي يساوي(1.6×10^{-9})كولوم**
3- **القوة الكهربائية المتبادلة بين شحنتين تتناسب عكسيا مع مربع المسافة بينهما**

2- الشحنة الكهربائية (Electric charge)

تتركب ذرات المادة اساساً من ثلاثة دقائق هامة هي **البروتون والنيوترون والالكترون.** فالنيوترون كما هو معروف متعادل كهربائيا فهو لا يحمل شحنة. اما البروتون فيحمل شحنة كهربائية موجبة تعادل الشحنة

السالبة للالكترون في المقدارحيث ان شحنة الالكترون $(1.6 \times 10^{-19} C)$. وتتكون الذرة من نواة تتكدس فيها النيوترونات والبروتونات محاطة بسحابة من الالكترونات السالبة.



والذرة الاعتيادية غير المشحونة تكون متعادلة كهربائيا نظراً لانها تحتوي على عدد متساوي من الالكترونات والبروتونات.

فقدان ذرات مادة ما بعض من الكتروناتها الواقعه في المدار الخارجي بوجود مؤثر خارجي يجعلها ايوناً موجباً وبذلك يكون الجسم مشحوناً بشحنة موجبة $+q$ اما الجسم الذي تكتسب ذراتة بعضاً من الالكترونات ذرات اجسام اخرى تصبح الذرة ايوناً سالبا ويكون الجسم مشحوناً بشحنة سالبة $-q$.

ان كون الجسم مشحوناً لا تتعلق بخواصة الفيزيائية والطريقة الوحيدة لمعرفة فيما اذا كان مشحوناً هي ان نضعه قرب جسم مشحون مسبقاً فاذا دفعة او جذبة عندها نعرف انة مشحون. فالشحنة خاصية للجسم تمكنة من دفع او جذب اجسام مشحونة اخرى وعلية يمكن اعطاء تعريف تاثيري للشحنة بانها **الخاصية التي يملكها جسم للتاثير على غيرة من الاجسام التي تحمل نفس الخاصية.**

3- قانون كولوم (Coulomb`s law)

كان العالم الفرنسي شارل اوغسطين كولوم (1806 - 1736) اول من قام بدراسة مستفيضة حول القوى بين الاجسام المشحونة وذلك عام 1785. اما النتائج العملية لهذة الدراسة فيمكن تلخيصها بما ياتي:-

1- الشحنات المتشابهة تتنافر والشحنات المختلفة تتجاذب.
2- مقدار قوة التجاذب او التنافر بين شحنتين تتناسب عكسياً مع مربع المسافة بينهما.
3- مقدار قوة التجاذب او التنافر بين شحنتين تتناسب مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين.
4- اتجاه القوة يقع على امتداد الخط المستقيم الذي يصل بين الشحنتين.

هذا انتج نص قانون كولوم **على ان القوة الكهروستاتيكية بين شحنتين نقطتين في حالة سكون تتناسب طردياً مع حاصل ضرب مقدار الشحنتين وعكسياً مع مربع المسافة بينهما** ويمكن وضع صيغتة الرياضية بالشكل الاتي :

$$F \propto \frac{q_1 \times q_2}{r^2} \quad \text{.....} \quad (1)$$

شكل (1) قانون كولوم

اذ ان F كما هو مبين في الشكل (1) تمثل القوة الكهروستاتيكية المؤثرةعلى الشحنة النقطية q_2 من قبل الشحنة النقطية q_1 (وهي نفس القوة المؤثرة من قبل الشحنة q_2 على الشحنة q_1 ولكن بعكس الاتجاة) و(r) تمثل المسافة بين الشحنتين . وبما ان القوة والازحة كميتان متجهة فعلية ومن الافضل كتابة قانون كولوم في المعادلة(1) بصيغة رياضية تتضمن مقدار واتجاه القوة بحيث تصبح بالشكل التالي .

$$F^{\rightarrow} = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2}\, r^{\rightarrow} \quad \text{.....} \quad (2)$$

اذ ان ($k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_\circ}$) تمثل مقدار ثابت تعتمد قيمته على نظام الوحدات المستعملة وكذلك على نوع الوسط الفاصل بين الشحنتين وقد يقرب هذا المقدار الى(9×10^9) لسهولة الحل .حيث ($\varepsilon_\circ$) تمثل سماحية الفراغ والتي تساوي ($8.85 \times 10^{-12} C^2 N^{-1} m^{-2}$) كما ان الحرف الذي فوقة سهم يشير الى كونه يمثل كمية اتجاهية.والرمز $r^{\rightarrow}$ هو متجه مقدارة واحد واتجاهه من q_1 الى q_2 ويسمى وحدة المتجه unit vector .

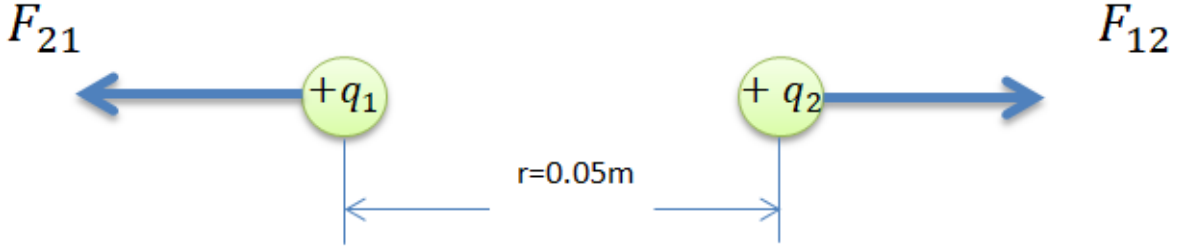
مثال 1

وضعت شحنة كهربائية نقطية موجبة مقدارها($+5 \times 10^{-6} C$) على بعد(0.05m) من شحنة نقطية اخرى موجبة ايضاً مقدارها($+10 \times 10^{-6} C$) احسب مقدار:

1- القوة التي تؤثربها الشحنة الاولى على الشحنة الثانية . وما نوعها ؟
2- القوة التي تؤثر بها الشحنة الثانية على الشحنة الاولى . ما نوعها ؟

الحل:

نطبق قانون كولوم $F = k\frac{q_1 \times q_2}{r^2}$



1- لتكن (F_{12}) القوة التي تؤثر فيها الشحنة الاولى على الشحنة الثانية

$$F_{12} = 9 \times 10^9 \times \frac{(+5 \times 10^{-6}C) \times (+10 \times 10^{-6}C)}{(0.05m)^2} = \frac{450 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-4}}$$

$$F_{12} = 180\ N$$

بما ان القوة الكهربائية موجبة فهي قوة تنافر

3- لتكن (F_{21}) القوة التي تؤثر بها الشحنة الثانية على الشحنة الاولى :

$$F_{21} = 9 \times 10^9 \times \frac{(+10 \times 10^{-6}C) \times (+5 \times 10^{-6}C)}{(0.05m)^2} = \frac{450 \times 10^{-3}}{25 \times 10^{-4}}$$

$$F_{21} = 180\ N$$

القوة هي قوة تنافر

بما ان القوى متبادلة بين الشحنات الكهربائية, فانها تخضع للقانون الثالث لنيوتن اي ان:

$$F_{21} = -F_{12}$$

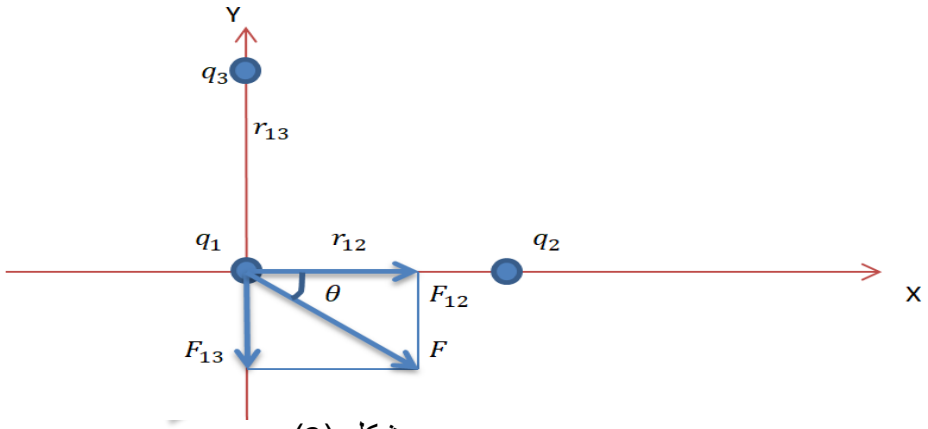
وهذا يعني ان القوة الكهربائية التي تؤثرفيها الشحنة الاولى على الشحنة الثانية تساوي القوة التي تؤثر بها الشحنة الثانية على الشحنة الاولى بالمقدار وتعاكسها بالاتجاه.

مثال 2

يبين الشكل (2) ثلاث شحنات نقطية q_1, q_2, q_3 احسب القوة المؤثرة على الشحنة q_1 علماً ان :

$$q_3 = +4.8 \times 10^{-6}\text{C},\ q_2 = -3.6 \times 10^{-6}C\ , q_1 = +1.0 \times 10^{-6}C$$

$r_{13} = 4m\ , r_{12} = 3m$



شكل (2)

الحل:

من ملاحظة اشارات الشحنات الموجبة والسالبة يمكننا تعيين اتجاه القوتين F_{12}, F_{13} . وهما القوتان اللتان تؤثران على q_1 من قبل الشحنتين q_2, q_3 على الترتيب كما هو مبين في الشكل(2) وبالاستفادة من قانون كولوم نستطيع ان نحسب مقدار كل من هاتين القوتين .

$$F_{12} = k\frac{q_1 \times q_2}{(r_{12})^2}$$

$$= \frac{(9\times 10^9)(1\times 10^{-6})(3.6\times 10^{-6})}{3^2} = 36\times 10^{-4}N$$

$$F_{13} = k\frac{q_1 \times q_2}{(r_{13})^2}$$

$$= \frac{(9\times 10^9)(1\times 10^{-6})(4.8\times 10^{-6})}{4^2} = 27\times 10^{-4}N$$

ان القوة الكلية التي تؤثر على الشحنة q_1 هي بطبيعة الحال المجموع الاتجاهي لكلا القوتين:

$$\vec{F} = \vec{F_{12}} + \vec{F_{13}}.$$

ولما كانت القوتان F_{12}, F_{13} متعامدتين فمقدار محصاتهما F يساوي

$$F = \sqrt{(36\times 10^{-4})^2 + (27\times 10^{-4})^2} = 45\times 10^{-4}N$$

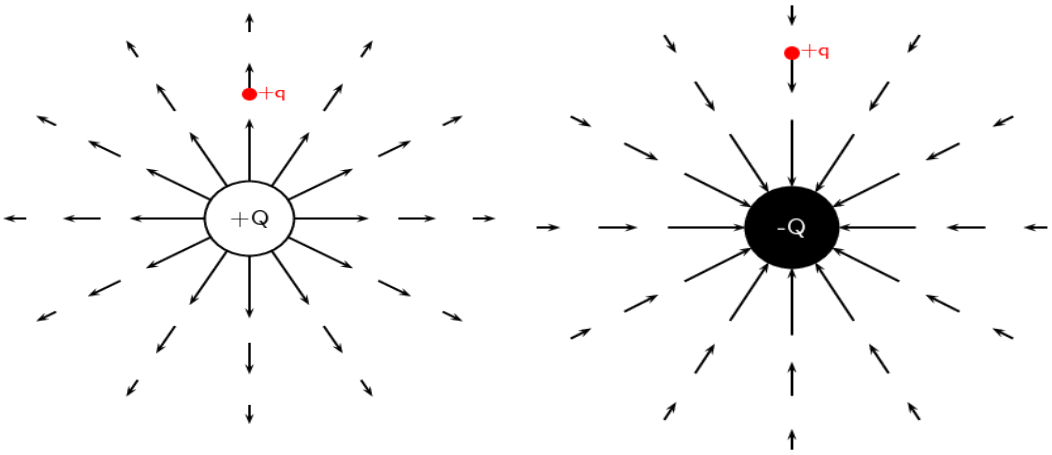
اما اتجاه F فيمكن تعينة من حساب الزاوية θ المبينة في الرسم

$$\tan\theta = \frac{F_{13}}{F_{12}} = \frac{27\times 10^{-4}}{36\times 10^{-4}} = 0.75$$

$$\therefore \theta = 36.9^{\circ}$$

4- المجال الكهربائي (Electric Field)

في مطلع القرن التاسع عشر جاء العالم **ميشيل فراداي** بمفهوم المجال الكهربائي حيث صور فراداي التاثير المتبادل بين الاجسام المشحونة بانه يحدث بطريقة ما في الفضاء الذي يفصل بين الجسمين .



شكل (3a) شكل (3b)

في الشكلين (3a , 3b) نلاحظ الشحنة ($+Q$, $-Q$) كيف تحدث مجالاً كهربائياً في الحيز المحيط بها وهذا المجال بدوره يؤثر على الشحنة ($+q$) بقوة ($F^{\rightarrow}$) . مما تقدم يتضح انه بالامكان عملياً التاكد من وجود مجال كهربائي في نقطة ما وبالتالي قياسه. وذلك بوضع جسم صغير يحمل شحنة اختبار مقدارها ($+q$) (وقد اتفق على ان تكون موجبة للسهولة) في الموضع المراد اختبار المجال عنده. وبقياس القوة الكهربائية ($F^{\rightarrow}$) (ان وجدت) المؤثرة على هذا الجسم يمكننا ان نتعرف على وجود المجال وشدته. وعلى هذا الاساس نستطيع ان نعرف **شدة المجال الكهربائي** ورمزها ($E^{\rightarrow}$) عند نقطة ما. **بأنها القوة المؤثرة لوحدة الشحنة على شحنة الاختبار الموجبة الموضوعة عند هذه النقطة.** اي ان :

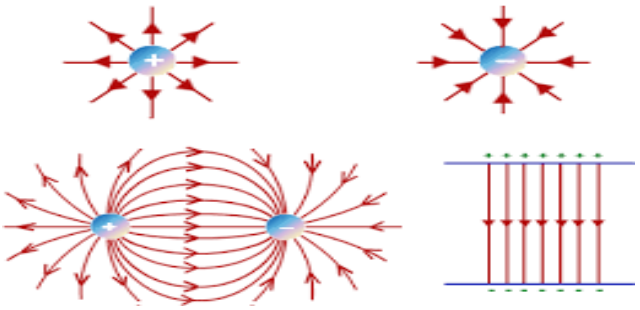
$$\boldsymbol{E^{\rightarrow} = \frac{F^{\rightarrow}}{+q}} \qquad \text{.....} \qquad (3)$$

حيث ان ($E^{\rightarrow}$) تمثل شدة المجال الكهربائي وهي كمية متجهة واتجاهها هو نفس اتجاه ($F^{\rightarrow}$) ومن المعادلة (3) يتضح ان وحداة شدة المجال الكهربائي هي وحدة القوة مقسومة على وحدة الشحنة اي ان نيوتن/كولوم.

ان وضع شحنة الاختبار في النقطة المراد اختبار المجال عندها يجب ان لا يؤثر على هذا المجال الاصلي ويغير من مقداره واتجاهه. وهذا يقتضي ان تكون شحنة الاختباراصغر ما يمكن . لذا فالتعريف الدقيق لشدة المجال الكهربائي يكون كالاتي :

$$\boldsymbol{E^{\rightarrow} = \lim_{+q \to 0} \frac{F^{\rightarrow}}{+q}} \qquad \text{.....} \qquad (4)$$

كما ادخل فراداي مفهوم خطوط القوة الكهربائية وعدها طريقة سهلة لتصور نماذج المجال الكهربائي (وكذلك المجال المغناطيسي) . **خط القوة هذا هو المسار الذي تسلكة شحنة اختبارية موجبة موضوعة عند نقطة ما في المجال الكهربائي** .فلو تركت هذه الشحنة طليقة لتحركت باتجاه محصلة القوى الكهربائية المؤثرة عليها $(F = +qE)$ والناتجة عن محصلة شدة المجال عند تلك النقطة. والشكل (3) يرينا خطوط القوة لمجال كهربائي ناشيء عن شحنة نقطية معزولة (او كرة مشحونة) في مستوى الشحنة. ففي هذه الحالة البسيطة تكون خطوط القوة مستقيمة ومنبعثة من الشحنة بشكل شعاعي ومتجهة اما نحو الخارج ان كانت الشحنة النقطية موجبة كما مبين في الشكل (3a) او متجة نحوالداخل ان كانت الشحنة النقطية سالبة كما مبين في الشكل(3b) فمن الواضح اذن ان اتجاه خط القوة هو نفس الاتجاه الذي تتسارع بة الشحنة الاختبارية الموجبة والحرة $+q$. وغالباً لا تكون خطوط القوة مستقيمة بل بشكل منحنيات شكل(4) يوضح ذلك.



كما يمكن اعتبار كثافة خطوط القوة بمثابة قياس لمقدار شدة المجال .والمقصود بكثافة الخطوط هنا هي عدد الخطوط التي تقطع وحدة المساحة العمودية على اتجاه المجال عند النقطة المعينة . مما تقدم نستطيع ان نستخلص خاصيتين لخطوط القوة الكهربائية .تتجلى اهميتها قي حل المسائل المتعلقة بالحالات التي يكون فيها المجال متناظراً وذلك بطريقة سهلة (عند تطبيق قانون كاوس).

1- ان المماس لخط القوة عند اي نقطة في المجال يمثل اتجاه شدة المجال E في تلك النقطة.
2- ان عدد خطوط القوة لوحدة المساحة التي تقطع مساحة صغيرة عمودية على المجال عند نقطة معينة تمثل مقدار شدة المجال في تلك النقطة.

a. حساب شدة المجال الكهربائي (Calculation of E)

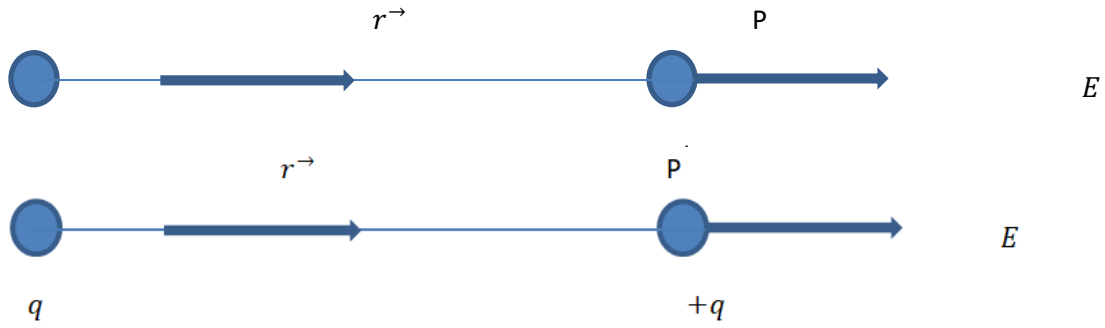
لايجاد شدة المجال الكهربائي لشحنة نقطية معزولة مقدارها q في النقطة p في الفضاء المحيط بالشحنة نفترض وجود شحنة اختبارية q+ في تلك النقطة عندئذ تكون القوة F المؤثرة على $+q$ استناداً لقانون كولوم مساوية للكمية.

$$F^{\rightarrow} = k\frac{+qq}{r^2}\, r^{\rightarrow} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

حيث يمثل الرمز $r^{\rightarrow}$ وحدة المتجة بالاتجاة من q الى p كما مبين في الشكل (5) وبالتعويض عن F في المعادلة (3) نجد شدة المجال E .

$$E^{\rightarrow} = \frac{F^{\rightarrow}}{+q} = k\frac{q}{r^2}\, r^{\rightarrow} \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

ان اتجاه E يكون بنفس اتجاه $r^{\rightarrow}$ (اي بعيداً عن q) على فرض ان الشحنة q هي شحنة موجبة كما مبين في الشكل (5) . اما اذا كانت q شحنة سالبة فان اتجاه E يكون بعكس اتجاه $r^{\rightarrow}$ (اي نحو q) .



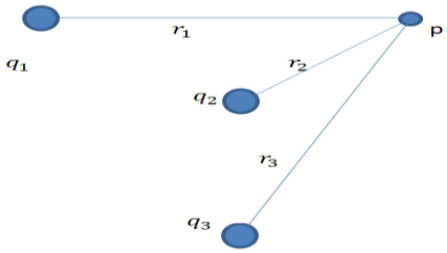
شكل(5)

ولايجاد E لعدد من الشحنات النقطية q_1 , q_2 , q_3 ..... الخ التي تقع على بعد r_1 , r_2 , r_3 .....الخ من النقطة p كما في الشكل (6) . نحسب E_1, E_2 , E_3 .....الخ لكل شحنة على حدة عند النقطة p كما لو كانت الشحنة الوحيدة الموجودة اي ان :

$$E_1^{\rightarrow} = k\frac{q_1}{r_1^2}\, r_1^{\rightarrow} \quad , \quad E_2^{\rightarrow} = k\frac{q_2}{r_2^2}\, r_2^{\rightarrow}, \ldots\ldots\ldots\ldots.,$$

ثم نجمع هذه المجالات المحسوبة لجميع الشحنات جمعاً اتجاهياً لنحصل على المجال الكلي E عند تلك النقطة.

$$E^{\rightarrow} = E_1^{\rightarrow} + E_2^{\rightarrow} + E_3^{\rightarrow} + \ldots\ldots\ldots = \sum E_n^{\rightarrow} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots\ldots \quad (7)$$



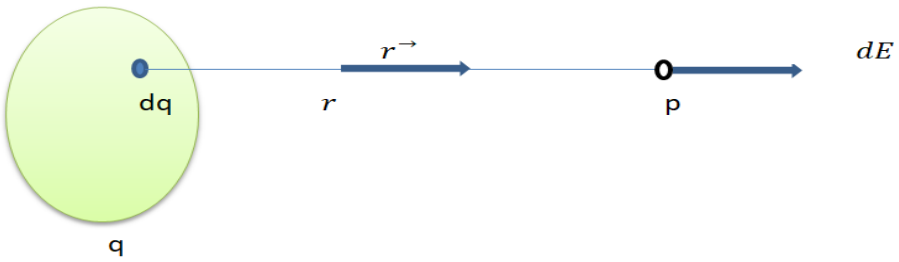
شكل (6)

اما اذا كان توزيع الشحنة متصلاً كأن تكون الشحنة موزعة على سطح جسم موصل ، او موزعة ضمن حجم معين بشكل متصل ، فبالامكان ايجاد شدة المجال الناشيء عنها عند النقطة p مثلاً ،وذلك بتقسيم الشحنة الى عدد كبير من العناصر المتناهية في الصغر كل منها يدعى dq . ثم يحسب المجال dE الناشيء عن كل عنصر عند النقطة P . وذلك بأن يعد كل عنصر وكأنه شحنة نقطية . اي

$$dE^{\rightarrow} = k\frac{dq}{r^2}\,r^{\rightarrow} \qquad \text{.....} \qquad (8)$$

حيث تمثل r البعد من dq الى النقطة p كما مبين في الشكل (7) ثم يحسب المجال الكلي E باخذ التكامل الاتجاهي لجميع المجالات الناشئة من هذا العنصر اي ان

$$E^{\rightarrow} = \int dE^{\rightarrow} = k\int \frac{dq}{r^2}\,r^{\rightarrow} \qquad \text{.....} \qquad (9)$$



شكل (7)

5- الجهد الكهربائي (The Electric Potential)

من المعلوم انة لو وضعت شحنة كهربائية في مجال كهربائي لتاثرت بقوة. وهذا يعني ان تحريك هذة الشحنة من نقطة الى اخرى يتطلب انجاز شغل وبدلالة هذا الشغل سنعرف الجهد الكهربائي (ونرمز لة بالحرف V) ليساعدنا في وصف ودراسة المجالات الكهربائية جنبا الى جنب مع شدة المجال الكهربائي E . والجهد هو كمية عددية وهذا يجعل التعامل معه رياضيا اسهل بكثير من التعامل مع الكمية الاتجاهية E . وبذلك يمكن لنا تمثيل فرق الجهد بين نقطتين (A & B)هو الشغل الخارجي(W_{AB}) المنجز لتحريك الشحنة الاختبارية q_0 بين تلك النقطتين.

$$V_B - V_A = \frac{W_{AB}}{q_0} \qquad \text{.....} \qquad (10)$$

وقد اصطلح ان يكون الجهد عند نقطة بعيدة بعداً كبيراً(لانهائيا) عن كل الشحنات صفراً. وعلى هذا الاساس لو اخترنا النقطة A في المالانهاية لاصبح الجهد V_A صفراً. وبالتعويض في المعادلة (8) نحصل على الجهد

الكهربائي عند نقطة B . وبصورة عامة نعرف الجهد عند اية نقطة واقعة في المجال الكهربائي حسب المعادلة التالية .

$$V(volt) = \frac{W(joule)}{q_0(coulomb)} \quad \text{.....} \qquad (11)$$

اي ان **الجهد الكهربائي** عند اي نقطة **هو الشغل لوحدة الشحنة الواجب انجازة لنقل شحنة موجبة اختبارية صغيرة من المالانهاية الى تلك النقطة.**

مع التاكيد على نقطتين

- اولاً: ان تكون الشحنة الاختبارية صغيرة بحيث يكون تحريكها من نقطة لاخرى لا يغير من المجال الكهربائي الاصلي.

- ثانيا: هو اختيار نقطة مرجع (reference point) يتفق على قيمة الجهد عندها مسبقاً . وفي تعريفنا للجهد اخترنا النقطة المالانهاية واعتبرنا الجهد عندها صفراً. ففي كثير من مسائل الدوائر الكهربائية يتخذ جهد الارض مرجعا لقياس الجهد ويعتبر جهدها مساوياً للصفر.