المجال الكهرساكن وطاقة الوضع الكهرساكنة
Le champ électrostatique et energie potentielle electrostatique

I ــ تكهرب المادة

1 ــ التكهرب بالاحتكاك

تبين التجربة أنه عند حك جسم من البلاستيك ، نلاحظ أنه يجتذب الأجسام الخفيفة (وريقة) ، نقول أن القضيب تكهرب بالاحتكاك أي أنه اكتسب شحنا كهربائية ويصبح جسما مكهربا.

2 ــ نوعا الكهرباء وتأثيرهما البيني .

أصطلح على أن الكهرباء نوعان : الكهرباء السالبة والكهرباء الموجبة

تتجاذب الأجسام التي تحمل شحنا كهربائية مختلفة الإشارة، بينما تتنافر تلك التي تحمل شحنا كهربائية لها نفس الإشارة.

3 ــ تعليل التكهرب بالاحتكاك .

نعلم أن المادة تتكون من ذرات محايدة كهربائيا، وتتكون كل ذرة من نواة موجبة الشحنة، حولها سحابة من الإلكترونات تحمل كهرباء سالبة . عند حك جسم بجسم أخر ، تنتقل الإلكترونات من أحدهما إلى الآخر, مما ينتج عنه تكهرب الجسمين (أحدهما سيكتسب إلكترونات والآخر سيفقدها)

4 ــ التكهرب بأساليب أخرى

أ ــ التكهرب بالتماس

يمكن لجسم أن يتكهرب بالتماس عند لمسه لجسم آخر مكهرب، إذ تنتقل خلال التماس، الإلكترونات من أحد الجسمين إلى الآخر.

مثال : عند تماس جسم مشحون بكهرباء سالبة ، وكرية النواس الكهرساكن ، تنتقل الإلكترونات من الجصم الحامل للكهرباء السالبة إلى الكرية ، فتكتسب هذه الأخيرة شحنة سالبة ، الشيء الذي يؤدي إلى تنافرهما .

ب ــ التكهرب بالتأثير

التكهرب بالتأثير هو شحن جسم عن بعد ، بواسطة جسم آخر مشحون.

مثال :

عند تقريب جسم يحمل كهرباء سالبة من كرية محايدة كهربائيا ، فإن هذه الأخيرة تنجذب نحو القضيب .

نفسر ذلك بكون أن تأثير شحن القضيب المكهرب يؤدي إلى انتقال الإلكترونات الحرة للكرية إلى الجانب المقابل للقضيب مما يؤدي إلى تجاذب الكرية والقضيب المكهرب . (الكرية تبقى دائما محايدة كهربائيا)

II ــ التأثير البيني الكهرساكن Interaction électrostatique

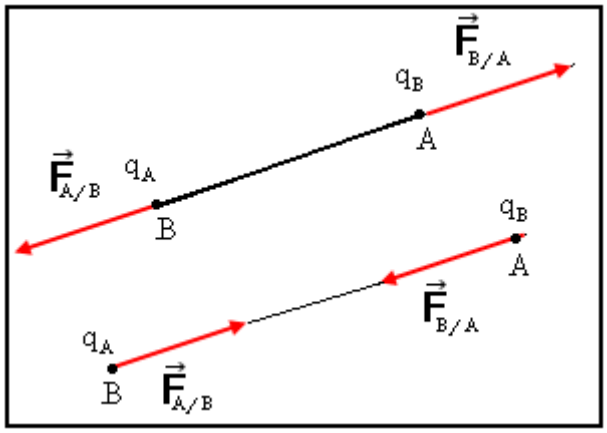
1 ــ قانون كولوم Loi de coulomb

يعزى تنافر الجسام المكهربة وتجاذبها إلى وجود قوى كهرساكنة بين هذه الأجسام نتيجة الشحن الكهربائية الساكنة التي يحملها كل جسم حيث نعبر عن هذه التأثيرات بالقانون التالي :

إن شدة قوتي التأثير البيني الكهرساكن بين شحنتين كهربائيتين نقطيتين ساكنتين ، تتناسب عكسيا مع مربع المسافة التي تفصل بينهما ، وتتناسب اطرادا مع كمية الكهرباء لشحنة كل من النقطتين .

2 ــ الصياغة الرياضية لقانون كولوم

نعتبر جسمين نقطيين (A) و (B) يحملان على التوالي شحنتين كهربائيتين q_A و q_B وتفصل بينهما المسافة AB . يحدث بين هاتين الشحنتين الكهربائيتين تأثير بيني كهرساكن ، لقوتيه المميزات التالية :



ــ منحيان متعاكسان

ــ نفس خط التأثير : وهو المستقيم AB .

ــ نفس الشدة وهي : $F_{A/B} = F_{B/A} = K.\dfrac{|q_A||q_B|}{(AB)^2}$.

K ثابتة وقيمتها في النظام العالمي للوحدات هي :

$$K = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} = 9.10^9\,m^3kg.s^{-2}.C^{-2}$$

ε_0 ثابتة العزل الكهربائي في الفراغ وقيمته في النظام العالمي

للوحدات هي : $\varepsilon_0 = \dfrac{1}{36\pi}.10^{-9}\,(SI)$

q_A و q_B بالكولوم (C)

(AB) بالمتر .

$F_{A/B}$ بالنيوتن (N)

3 ــ مقارنة القوة الكهرساكنة وقوة التجاذب الكوني .

تمرين تطبيقي : قارن بين شدتي قوة التأثير البيني الكهرساكن وقوة التأثير البيني التجاذبي لنواة الهيدروجين وإلكتروناتها .

نعطي : $q_e = -1,6.10^{-19}\,C$ ، شحنة لبروتون $q_p = 1,6.10^{-19}\,C$ ، كتلة الإلكترون : $m_e = 9,1.10^{-31}\,kg$ ، كتلة البروتون $m_p = 1,7.10^{-27}\,kg$ والمسافة بين البروتون والإلكترون $d = 0,53.10^{-10}\,m$ و ثابتة التجاذب الكوني $G = 6,7.10^{-11}\,(SI)$.

الجواب : $F_G = 3,6.10^{-47}\,N$ و $F_e = 8,2.10^{-8}\,N$

$\frac{F_e}{F_G} = 2,3.10^{39}$ مما يبين أن قوة التجاذب الكوني على مستوى الذرة مهملة بالنسبة للقوة الكهرساكنة .

III ـ المجال الكهرساكن

1 ـ تعريف

يوجد مجال كهرساكن في حيز من الفضاء ، إذا لوحظ أن شحنة كهربائية q تخضع لقوة كهرساكنة إثر وضعها في نقطة من هذا الحيز .

أمثلة : تقريب قضيب الإيبونيت المكهرب من نواس كهرساكن . انحراف حزمة الإلكترونات عند دخولها الحيز بين الصفيحتين .

2 ـ متجهة المجال الكهرساكن

أ ـ المجال الكهرساكن المحدث من طرف شحنة نقطية .

يحدث ، جسم نعتبره نقطيا ، شحنته q موضوع في نقطة A ، مجالا كهرساكنا في الحيز المحيط به .

نضع على التوالي في نقطة P من هذا الحيز حيث $\overrightarrow{AP} = r\vec{u}$ شحنا كهربائية ، $q_i, \ldots\ldots, q_3, q_2, q_1$. تخضع هذه الشحن للقوى الكهرساكنة التالية :

$$\vec{F}_i = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q.q_i}{r^2}\vec{u}, \ldots\ldots, \vec{F}_3 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q.q_3}{r^2}\vec{u}, \vec{F}_2 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q.q_2}{r^2}\vec{u}, \vec{F}_1 = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q.q_1}{r^2}\vec{u}$$

$\vec{u}$ متجهة واحدية .

$$\frac{\vec{F}_i}{q_i} = \ldots\ldots = \frac{\vec{F}_3}{q_3} = \frac{\vec{F}_2}{q_2} = \frac{\vec{F}_1}{q_1} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{r^2}\vec{u}$$ ، نضع $\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}.\frac{q}{r^2}\vec{u}$ (1)

نسمي $\vec{E}$ متجهة المجال الكهرساكن الذي تحدثه شحنة نقطية q في النقطة P . وهو مقدار متجهي يعبر عن الخاصية الذاتية للحيز المحيط بالشحنة q .

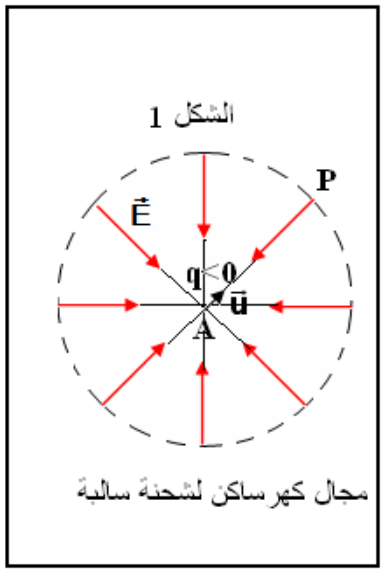
من خلال العلاقة يتبين أن متجهة المجال الكهرساكن $\vec{E}$ في نقطة ما ، بمصدر المجال أي الشحنة q ، وبوضع هذه النقطة .

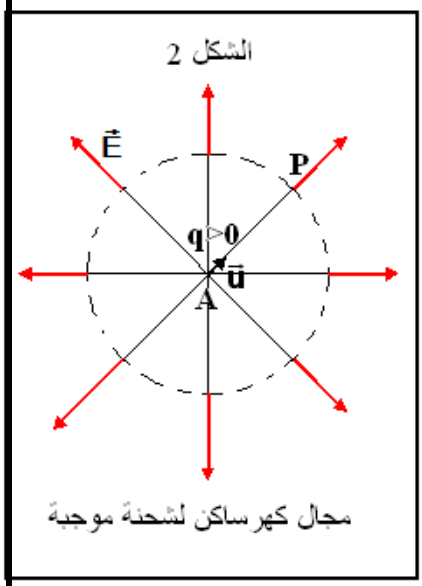
من العلاقة (1) يتبين أن :

$q > o$ أي أن $\vec{E}$ والمتجهة الواحدية $\vec{u}$ لهما منحيان متعاكسان أي أن $\vec{E}$ انجذابية مركزية centripéde (الشكل 1)

$q > o$ أي أن $\vec{E}$ والمتجهة الواحدية $\vec{u}$ لهما نفس المنحى أي أن $\vec{E}$ نابذة centrifuge (الشكل 2)

يلاحظ أن خطوط المجال للمتجهة $\vec{E}$ تتقاطع في نفس النقطة ، نقول إن المجال $\vec{E}$ الذي تحدثه شحنة نقطية q هو مجال شعاعي . champ radial





*** العلاقة بين متجهة المجال الكهرساكن $\vec{E}$ ومتجهة القوة الكهرساكنة $\vec{F}$ هي :**

$$\vec{F} = q\vec{E}$$

وحدة $\vec{E}$ هي N/C أو كذلك ب V/m

ب ـ متجهة المجال الكهرساكن المحدث من طرف شحنتين نقطيتين

نعتبر شحنتين $q_A > 0$ و $q_B < 0$ ، ونعتبر شحنة كهربائية q توجد في النقطة M .

تحدث q_A في النقطة M مجالا كهرساكنا متجهته $\vec{E}_A$ حيث $\vec{F}_A = q.\vec{E}_A$

تحدث q_B في النقطة M مجالا كهرساكنا متجهته $\vec{E}_B$ حيث $\vec{F}_B = q.\vec{E}_B$

تخضع الشحنة q للقوة $\vec{F} = \vec{F}_A + \vec{F}_B = q\left(\vec{E}_A + \vec{E}_B\right) = q\vec{E}$ وبالتالي :

$$\vec{E} = \vec{E}_A + \vec{E}_B$$

يمكن تعميم هذه النتيجة على مجموعة من الشحن الكهربائية :

تساوي المتجهة $\vec{E}$ ، الممثلة للمجال الكهرساكن الذي تحدثه مجموعة i من الشحن الكهربائية في نقطة M ، مجموع المتجهات $\vec{E}_i$ الممثلة للمجال الكهرساكن الذي تحدثه كل شحنة كهربائية i على حدة .

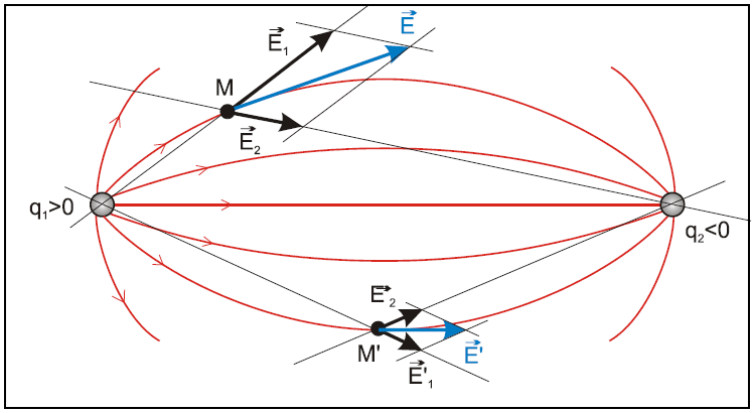
$$\vec{E} = \sum_{i=1}^{n} \vec{E}_i$$

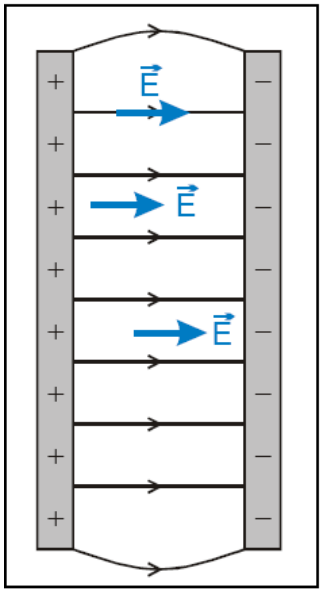
VI ـ خطوط المجال

1 ـ تعريف

نسمي خط المجال الكهرساكن كل منحنى (أو مستقيم) تكون متجهة المجال مماسة له في كل نقطة من نقطه.

أمثلة : خطوط المجال الكهرساكن المحدث من طرف شحنتين مختلفتين $q_1 > 0$ و $q_2 < 0$





أصطلح على توجيه خط المجال الكهرساكن في منحى متجهة المجال الكهرساكن $\vec{E}$.

تسمى الصورة المكونة من جميع خطوط المجال الكهرساكن بالطيف الكهرساكن .

V ـ المجال الكهرساكن المنتظم

تعريف :

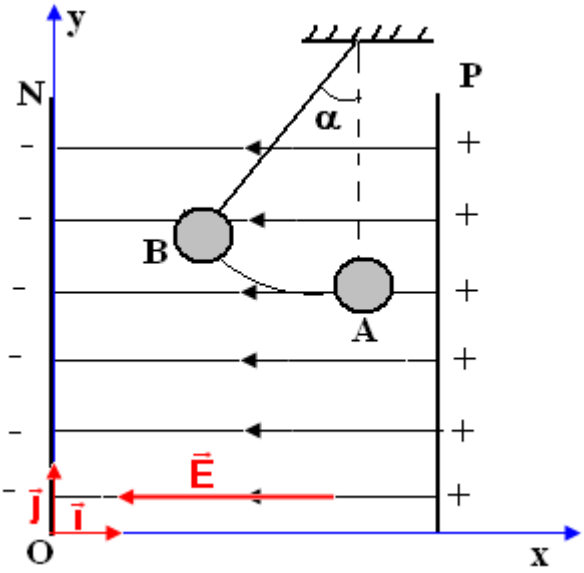
يكون المجال الكهرساكن منتظما إذا كانت لمتجته $\vec{E}$ نفس المميزات في كل نقطة من نقطه ،أي أن $\vec{E}$ تحتفظ بنفس الاتجاه ونفس المنحى وبنفس المنظم

مثال : المجال المحدث من طرف صفيحتين فليزيتين ، طبق بينهما توتر كهربائي ،

هو مجال كهرساكن منتظم .

V ـ طاقة الوضع الكهرساكنة

1 ـ شغل قوة كهرساكنة في مجال كهرساكن منتظم



نعتبر نواسا كهربائيا شحنته q موجبة ، موضوعا بين صفيحتين N و P مستويتين ومتوازيتين .

عند تطبيق توتر كهربائي بين الصفيحتين ، يحدث مجال كهرساكن منتظم $\vec{E}$.

مميزات متجهة المجال $\vec{E}$:

* المنحى من P نحو N .

* الاتجاه متطابق مع خطوط المجال وهي مستقيمية ومتعامدة مع الصفيحتين .

تخضع الكرية إلى قوة كهرساكنة $\vec{F}=q\vec{E}$ مما يؤدي إلى انتقالها من النقطة A إلى النقطة B . $\vec{F}$ قوة ثابتة لكون $\vec{E}$ ثابتة .

شغل القوة $\vec{F}$ عند انتقال الكرية من A إلى B :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=\vec{F}.\overrightarrow{AB}=q\vec{E}.\overrightarrow{AB}$$

نختار نظمة محورين : $\left(O,\vec{i},\vec{j}\right)$

$$\overrightarrow{AB}=\left(x_B-x_A\right)\vec{i}+\left(y_B-y_A\right)\vec{j} \quad \text{و} \quad \vec{E}=-E\vec{i}$$

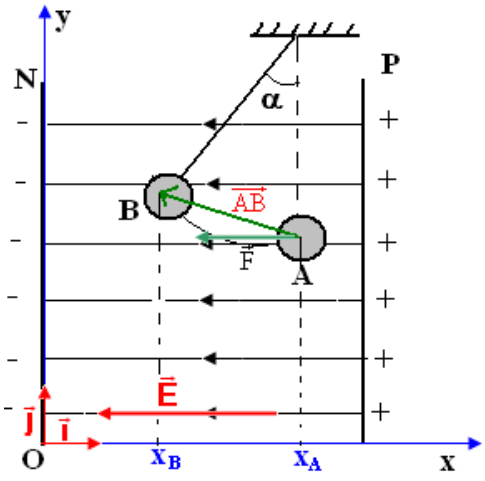
$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=q\vec{E}.\overrightarrow{AB}=qE\left(x_A-x_B\right)$$

شغل القوة الكهرساكنة المطبقة على شحنة في مجال كهرساكن منتظم مستقل عن المسار الذي تسلكه للانتقال من الموضع البدئي إلى الموضع النهائي ، نقول أن القوة الكهرساكنة محافظية

2ـ الجهد الكهربائي .

2 ـ 1 تعريف بفرق الجهد الكهربائي

يساوي فرق الجهد الكهربائي (التوتر) بين نقطتين A و B توجدان في حيز من الفضاء به مجال كهرساكن منتظم ، الجداء السلمي لمتجهة المجال $\vec{E}$ و المتجهة $\overrightarrow{AB}$.



$$V_A-V_B=\vec{E}.\overrightarrow{AB}$$

ملحوظة : تطبق هذه العلاقة إلا في المجال الكهرساكن المنتظم .

2 ـ 2 الجهد الكهربائي

في المعلم $\left(O,\vec{i},\vec{j}\right)$ لدينا :

$$V_A-V_B=\vec{E}.\overrightarrow{AB}=E\left(x_A-x_B\right)=E.x_A-E.x_B$$

يتبين من هذه العلاقة أن $V_A=E.x_A$ و $V_B=E.x_B$

نسمي V_A الجهد الكهربائي في النقطة A و V_B الجهد الكهربائي في النقطة B .

الجهد الكهربائي هو مقدار فيزيائي يميز الحالة الكهربائية لكل نقطة من نقط المجال الكهرساكن . وحدته هي الفولط (V) .

تعبير شغل القوة الكهرساكنة هو كالتالي :

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)=qE\left(x_A-x_B\right)=q\left(V_A-V_B\right)$$

ملحوظة : تطبق هذه العلاقة سواء كان المجال الكهرساكن منتظما أم لا .

شغل القوة $\vec{F}$ محرك أي أن $V_A-V_B>0\Rightarrow V_A>V_B$ ومنحى القوة $\vec{F}$ نحو الصفيحة ذات الجهد الأصغر . ومنه :

منحى متجهة المجال الكهرساكن يكون دائما نحو الجهود التناقصية .

2 ـ 3 المستوى المتساوي الجهد plan equipotentiel

أ ـ تعريف

المستوى المتساوي الجهد هو مستوى كل نقاطه لها نفس الجهد الكهربائي .

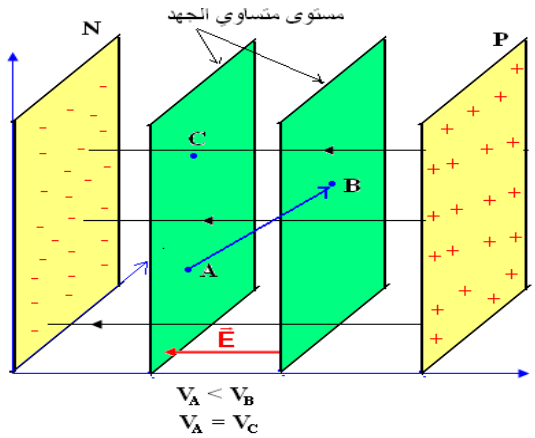
إذا كانت النقطة C لها نفس الجهد للنقطة A فإن العلاقة التالية

$$V_A - V_C = \vec{E}.\overrightarrow{AC} = 0\left(\vec{E} \neq \vec{0}, \overrightarrow{AC} \neq \vec{0}\right) \Rightarrow \vec{E} \perp \overrightarrow{AC}$$

وبالتالي ف A و C تنتميان إلى نفس المستوى وهو عمودي على $\vec{E}$.

المستويات المتساوية الجهد لمجال كهرساكن منتظم هي مستويات متوازية

فيما بينها وعمودية على خطوط هذا المجال .



تمرين تطبيقي : 1 ـ حدد المستويات المتساوية الجهد لشحنة نقطية .

2 ـ أحسب شغل القوة الكهرساكنة المطبقة على شحنة q أثناء انتقالها من A إلى C تنتميان إلى مستوى متساوي الجهد .

ب ـ العلاقة بين شدة المجال الكهرساكن والتوتر الكهربائي .

رأينا في السنة جدع علمي أن $V_A - V_B = U_{AB}$ أي أنها تمثل كذلك التوتر الكهربائي بين النقطتين A و B .

حسب العلاقة السابقة لدينا :

$$V_A - V_B = U_{AB} = \vec{E}.\overrightarrow{AB} = E.AB \Rightarrow E = \frac{|U_{AB}|}{AB}$$

3ـ طاقة الوضع الكهرساكنة

3 ـ 1 تعريف

بالمماثلة لطاقة الوضع الثقالية : $E_{pp} = mgz + C$ ، نعرف طاقة الوضع الكهرساكنة لشحنة q توجد في نقطة M في المجال الكهرساكن $\vec{E}$ بالعلاقة التالية : $E_{pe} = qE.x + C$ وبما أن $E.x = V$ فإن

$$E_{pe} = qV + C$$.

C ثابتة تتعلق باختيار أصل الجهود الكهربائية .

3 ـ 2 العلاقة بين طاقة الوضع الكهرساكنة وشغل القوة الكهرساكنة .

لذينا شغل القوة الكهرساكنة عند انتقال شحنة من A إلى B هو : $W_{A\to B}\left(\vec{F}\right) = q\left(V_A - V_B\right)$ (1)

تغير طاقة الوضع الكهرساكن بين A و B هو :

$$E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = q.V_B - q.V_A = -q\left(V_A - V_B\right) \quad (2)$$

من العلاقتين (1) و (2) نستنتج أن

$$\Delta E_{pe} = E_{pe}(B) - E_{pe}(A) = -W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$$

$$W_{A\to B}\left(\vec{F}\right) = -\Delta E_{pe}$$

تبقى هذه العلاقة صحيحة سواء كان المجال منتظما أم لا .

4 ـ انحفاظ الطاقة الكلية لدقيقة مشحونة خاضعة لقوة كهرساكنة .

نعتبر دقيقة شحنتها q وكتلتها m ، تنتقل في مجال كهرساكن منتظم $\vec{E}$ من نقطة A إلى نقطة B .

نطبق مبرهنة الطاقة الحركية بين A و B ، نهمل شغل وزن الدقيقة وشغل قوى الاحتكاك أمام شغل القوة الكهرساكنة $\vec{F}$ ، نجد :

$$E_C(B) - E_C(A) = W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$$:

حسب الفقرة السابقة لدينا $\Delta E_{pe} = -W_{A\to B}\left(\vec{F}\right)$ أي أن

$$\Delta E_C = -\Delta E_{pe} \Rightarrow E_C(B) + E_{pe}(B) = E_C(A) + E_{pe}(A)$$

نضع : $E = E_C + E_{pe}$ بحيث أن E الطاقة الكلية للدقيقة وهي تمثل كذلك الطاقة الميكانيكية للدقيقة .

إذن عندنا $E(A) = E(B)$ أي أن هناك انحفاظ الطاقة الكلية للدقيقة . وبالتالي نكتب :

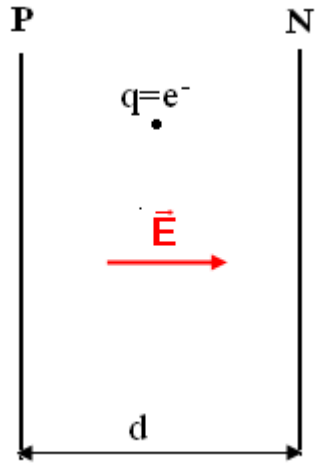
$$E = \frac{1}{2}mv^2 + q.V$$

v سرعة الدقيقة المشحونة في المجال $\vec{E}$

تنحفظ الطاقة الكلية لدقيقة مشحونة خاضعة لقوة كهرساكنة $\vec{F}$

7 ـ الإلكترون ـ فولط وحدة أخرى للطاقة .

حسب العلاقة التي تعبر عن شغل القوة الكهرساكنة عند انتقال الشحنة من A إلى B :



$$W_{A\to B}(\vec{F}) = q(V_A - V_B)$$

$$q = 1,6.10^{-19}\,C$$

$$(V_A - V_B) = 1V$$

$$W_{A\to B}(\vec{F}) = 1,6.10^{-19}\,J$$

نأخذ أن $q = 1e$ بحيث أن e الشحنة الابتدائية $W_{A\to B}(\vec{F}) = 1e.V$

ومن خلال العلاقتين نستنتج أن $1e.V = 1,6.10^{-19}\,J$

هذه الوحدة تسمى بالإلكترون ـ فولط .

بعض مضاعفات الإلكترون ـ فولط

$$1keV = 10^3\,eV$$

$$1MeV = 10^6\,eV$$

$$1GeV = 10^9\,eV$$