

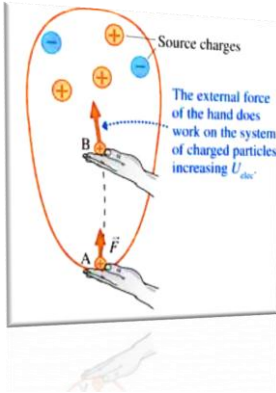


**Physics Academy**

www.physicsacademy.org

# General Physics II

## Electrostatic: Principles & Applications



### Lecture (11): Electric Potential Energy

Dr. Hazem Falah Sakeek

Al-Azhar University of Gaza

## Electric Potential

1. Definition of electric potential difference
2. The Equipotential surfaces
3. Electric Potential and Electric Field
4. Potential difference due to a point charge
5. The potential due to a point charge
6. Electric Potential Energy
7. Calculation of E from V
8. Problems



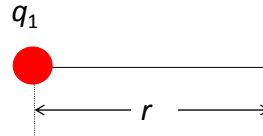
في هذه الفصل سوف نتعلم كيف يمكننا التعبير عن التأثير الكهربائي في الفراغ المحيط بشحنة أو أكثر بواسطة كمية قياسية تسمى الجهد الكهربائي The electric potential. وحيث أن الجهد الكهربائي كمية قياسية وبالتالي فسيكون التعامل معه أسهل في التعبير عن التأثير الكهربائي من المجال الكهربائي.

## Electric Potential Energy

The definition of the *electric potential energy* of a system of charges is the work required to bring them from infinity to that configuration.

To work out the electric potential energy for a system of charges, assume a charge  $q_2$  at infinity and at rest. As shown in the figure, if  $q_2$  is moved from infinity to a distance  $r$  from another charge  $q_1$ , then the work required is given by

$$W = Vq_2$$



Dr. Hazem Falah Sakeek www.hazemsakeek.com & www.physicsacademy.org

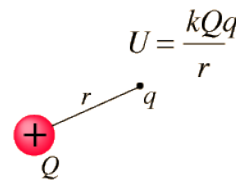
3

$$\therefore V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1}{r}$$

Substitute for  $V$  in the equation of work

$$U = W = Vq_2 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q_1 q_2}{r_{12}}$$

$$U = \frac{q_1 q_2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad 1$$



To calculate the potential energy for systems containing more than two charges we compute the potential energy for every pair of charges separately and to add the results algebraically.

$$U = \sum \frac{q_i q_j}{4\pi\epsilon_0 r_{ij}} \quad 2$$

القانون الأول يطبق في حالة شحنتين فقط، ولكن إذا كانت المجموعة المراد إيجاد طاقة الوضع الكهربائي لها أكثر من شحنتين نستخدم القانون الثاني حيث توجد الطاقة المخزنة بين كل شحنتين على حده ثم نجمع جمعا جبريا، أي نعوض عن قيمة الشحنة ونأخذ الإشارة بالحسبان في كل مرة.

Dr. Hazem Falah Sakeek www.hazemsakeek.com & www.physicsacademy.org

4

If the **total electric potential energy** of a system of charges is **positive** this correspond to a **repulsive electric forces**,

If the **total electric potential energy** is **negative** this correspond to **attractive electric forces**.

(*explain why?*)

**التفسير**

عندما تكون طاقة الوضع الكلية لنظام من الشحنات موجبا فان الشغل المبذول لتجميع تلك الشحنات هو شغل موجب وهذا يعني ان القوة المبذولة لتحريك الشحنة في اتجاه الازاحة وهذا يحدث عندما تكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات قوى تنافرية.

وإذا كانت طاقة الوضع الكلية لنظام من الشحنات سالبا فان الشغل المبذول لتجميع الشحنات سيكون سالبا وهذا يعني ان القوة المبذولة لتحريك الشحنة في عكس اتجاه الازاحة وهذا يحدث عندما تكون القوى الكهربائية المتبادلة بين الشحنات قوى تجاذبية.

### Example 1

Three charges are held fixed as shown in the figure. What is the potential energy? Assume that  $q=1 \times 10^{-7}C$  and  $a=10cm$ .

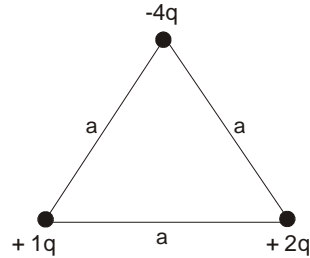
**Solution**

$$U=U_{12}+U_{13}+U_{23}$$

$$U = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left[ \frac{(+q)(-q)}{a} + \frac{(+q)(+2q)}{a} + \frac{(-4q)(+2q)}{a} \right]$$

$$U = -\frac{10}{4\pi\epsilon_0} \frac{q^2}{a}$$

$$\therefore U = -\frac{9 \times 10^9 (10)(1 \times 10^{-7})^2}{0.1} = -9 \times 10^{-3} J$$



نلاحظ أن قيمة الطاقة الكلية سالبة، وهذا يعني أن الشغل المبذول للحفاظ على ثبات الشحنات سابقة الذكر سالب أيضاً. نستنتج من ذلك أن القوة المتبادلة بين الشحنات هي قوة تجاذب، أما في حالة أن تكون الطاقة الكلية موجبة فإن هذا يعني أن القوة المتبادلة بين الشحنات هي قوة تنافر.

## Calculation of $E$ from $V$

As we have learned that both the electric field and the electric potential can be used to evaluate the electric effects. Also we have showed how to calculate the electric potential from the electric field now we determine the electric field from the electric potential by the following relation.

$$V_B - V_A = \Delta V = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

$$dV = -\vec{E} \cdot d\vec{l}$$

If the electric field has only one component  $E_x$

$$dV = -E_x dx$$

$$E_x = -\frac{dV}{dx}$$

**New unit for the electric field is volt/meter (v/m)**

عملياً يمكن قياس الجهد الكهربائي والموقع بطريقة سهلة باستخدام جهاز الفولتميتر ومسطرة. وبالتالي يمكن تحديد شدة المجال الكهربائي من خلال قياس الجهد الكهربائي عند نقاط مختلفة في المجال ورسم العلاقة بين الجهد الكهربائي على محور  $y$  والمسافة على محور  $x$  ويكون المجال الكهربائي هو ميل المنحنى كما في المعادلة اعلاه وتذكر ان اتجاه المجال الكهربائي عمودي على اسطح متساوية الجهد.

## Calculation of $E$ from $V$ for spherical charge distribution

If the charge distribution creating an electric field has spherical symmetry such that the volume charge density depends only on the radial distance  $r$ , the electric field is radial. In this case,

$$\vec{E} \cdot d\vec{l} = E_r dr$$

$$dV = -E_r dr$$

$$E_r = -\frac{dV}{dr}$$

## Example 2

Calculate the electric field for a point charge  $q$ , using the equation

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r}$$

**Solution**

$$E = -\frac{dV}{dr} = -\frac{d}{dr} \left( \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r} \right)$$

$$E = -\frac{q}{4\pi\epsilon_0} \frac{d}{dr} \left( \frac{1}{r} \right)$$

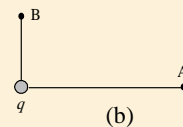
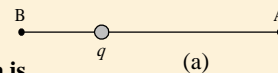
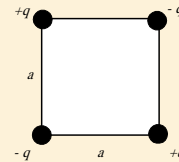
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{q}{r^2}$$

Dr. Hazem Falah Sakeek [www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com) & [www.physicsacademy.org](http://www.physicsacademy.org)

9

## Problems to Solve by Yourself

- Four equal point charges of charge  $q=+5\mu\text{C}$  are located at the corners of a 30cm by 40cm rectangle. Calculate the electric potential energy stored in this charge configuration.
- In the figure prove that the work required to put four charges together on the corner of a square of radius  $a$  is given by  $(w=-0.21q^2/a)$ .
- Two point charges,  $Q_1=+5\text{nC}$  and  $Q_2=-3\text{nC}$ , are separated by 35cm. (a) What is the potential energy of the pair? What is the significance of the algebraic sign of your answer? (b) What is the electric potential at a point midway between the charges?
- A point charge has  $q=1.0\times 10^{-6}\text{C}$ . Consider point A which is 2m distance and point B which is 1m distance as shown in the figure (a). (a) What is the potential difference  $V_A-V_B$ ? (b) Repeat if points A and B are located differently as shown in figure (b).



Dr. Hazem Falah Sakeek [www.hazemsakeek.com](http://www.hazemsakeek.com) & [www.physicsacademy.org](http://www.physicsacademy.org)

10