

## Урок №7 (27.09.2006)

### Потенциал электрического поля. Теорема о потенциальности центрального поля.

#### 1. Работа электрического поля

По определению работа силы  $\vec{F}$  по перемещению тела из точки  $\vec{r}_1$  в точку  $\vec{r}_2$  равна

$$A = \int_{\vec{r}_1}^{\vec{r}_2} \vec{F}(\vec{r}) d\vec{r}, \text{ что в «школьном виде» записывается как } A_{12} = \sum_{\vec{r}=\vec{r}_1}^{\vec{r}=\vec{r}_2} (F(r_i) \cdot \Delta r_i \cdot \cos \varphi).$$

Очевидно, что если вместо силы  $\vec{F}(\vec{r})$  определена напряженность поля  $\vec{E}(\vec{r})$ , то просто заменяем  $\vec{F}(\vec{r}) \equiv \vec{E}(\vec{r}) \cdot q$ , где  $q$  – заряд данного взаимодействия в точке  $\vec{r}$ .

*Последнее работает только для тех сил, для которых определены поля, например для силы натяжения веревки поле, естественно, не определено (хотя и может быть определено)*

Еще раз вспомним, что такое консервативные, и что такое диссипативные силы.

#### 2. Центральное поле

*Центральное поле* – это поле, в котором сила зависит только от расстояния до центра и направлена по радиусу.

**Теорема:** центральное поле консервативно.

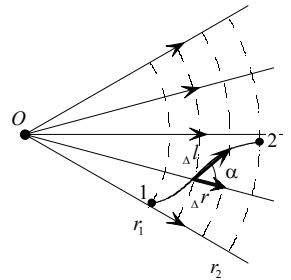
Для доказательства этой теоремы нам надо показать, что работа, совершаемая полем, не зависит от пути движения тела.

Определим, какую работу совершает поле для перемещения тела из точки 1 с радиусом  $r_1$ , в точку 2, с радиусом  $r_2$ . Для этого разобьем весь путь тела на отрезки  $\Delta l$  настолько малые, что силу на отрезке можно считать постоянной. Тогда полная работа по перемещению из точки 1 в точку 2 будет равна сумме элементарных работ  $\Delta A = \vec{F}(r) \cdot \Delta \vec{l}$ , где  $\vec{F}(r)$  –

это сила, действующая в точке с расстоянием  $r$  до центра поля  $O$ . Обратим внимание, что сила, по определению центрального поля, направлена по радиусу, проведенному от точки  $O$ . Следовательно, скалярное произведение

$$\vec{F}(r) \cdot \Delta \vec{l} = F(r) \Delta l \cos \alpha = F(r) \Delta r$$

зависит только от радиуса и не зависит от пути, по которому двигалось тело. ■



#### 3. Потенциал электрического поля

Электрическое поле есть суперпозиция полей точечных зарядов. Т.е. электростатическое поле – суперпозиция консервативных (потенциальных) полей, следовательно, консервативно. Поэтому заряд, находящийся в электрическом поле, обладает определённой потенциальной энергией.

Определим разность потенциальных энергий точечного заряда  $q$  в двух различных точках электрического поля как работу, совершаемую *внешними силами* по перемещению заряда (против действия электрической силы) из одной точки в другую.

*Что такое работа поля?*

Так как мы определяем *разность* потенциальных энергий, то саму потенциальную энергию  $E_{\text{эл. пот.}}(\vec{r})$  в некоторой точке  $\vec{r}$  мы можем определить лишь с точностью до константы.

Точно так же, как мы для описания электрического поля ввели понятие *напряженности электрического поля*  $\vec{E}(\vec{r})$ , так же введем понятие потенциальной энергии единичного положительного заряда в точке  $\vec{r}$ , т.е. *потенциала электрического поля*  $\varphi(\vec{r}) \equiv \frac{E_{\text{эл. пот.}}(\vec{r})}{q}$ .

$$\varphi(\vec{r}) \equiv \frac{E_{\text{эл. пот.}}(\vec{r})}{q}$$

Заметим, что потенциал в произвольной точке  $\vec{r}$ , создаваемый несколькими зарядами, равен алгебраической сумме потенциалов отдельных зарядов:  $\varphi = \sum_i \varphi_i$ .

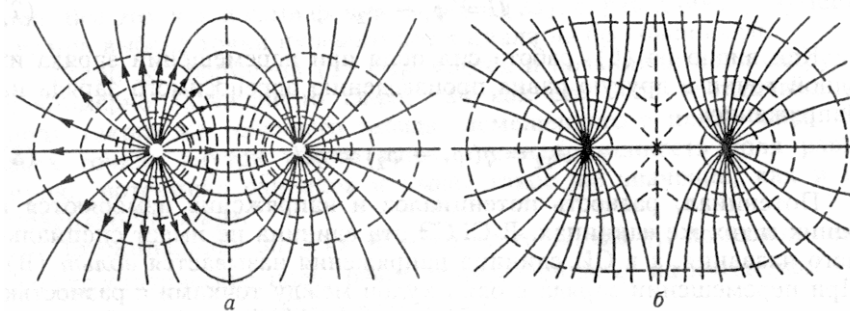
#### 4. Работа электрического поля. Разность потенциалов

Работа сил электрического поля по перемещению заряда  $q$  из точки 1 в точку 2 равна  $A_E = -A_{\text{внешн.}}$ . По определению  $E_{\text{эл. пот. 2}} - E_{\text{эл. пот. 1}} = A_{\text{внешн.}}$ , следовательно  $A_{E12} = E_{\text{эл. пот. 1}} - E_{\text{эл. пот. 2}} = (\varphi_1 - \varphi_2)q$ . Определим величину, называемую *разностью потенциалов*, как  $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A_{E12}}{q}$ . Тогда заряд  $q$ , проходя разность потенциалов  $U$ , *теряет* потенциальную энергию, равную  $Uq$  и, соответственно, совершает работу  $A = Uq$  (или приобретает соответствующую кинетическую энергию).

Разность потенциалов  $U = \varphi_1 - \varphi_2$  называют *напряжением* между точками 1 и 2.

Потенциал, разность потенциалов и напряжение измеряются в СИ в *вольтах*: 1 Дж = 1 Кл · 1 В.

#### 5. Эквипотенциальные поверхности



#### 6. Связь между потенциалом и напряженностью поля

Очевидно (из определения работы), что  $\Delta \varphi = -\vec{E} \cdot \vec{r}$

#### 7. Потенциал поля, создаваемого точечным зарядом