
ЭЛЕКТРОСТАТИКА

План

лекции

1. Работа поля над зарядом, потенциал. Связь потенциалов.

2. Потенциал точечного заряда

3. Потенциал системы зарядов. Энергия взаимодействия системы зарядов

4. Связь между напряженностью и потенциалом в дифференциальной форме

1. РАБОТА ПОЛЯ НАД ЗАРЯДОМ

$$dA = Fdr = -d\Pi, \quad F = qE$$

$$qEdr = -d\Pi$$

$$\int_{r_1}^{r_2} Edr = \frac{\Pi_1}{q} - \frac{\Pi_2}{q} \quad \frac{\Pi}{q} \equiv \varphi \quad \begin{array}{l} \text{- потенциал} \\ [\varphi] = 1 \text{ В} \end{array}$$

$$\int_{r_1}^{r_2} Edr = \varphi_1 - \varphi_2$$

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1$$

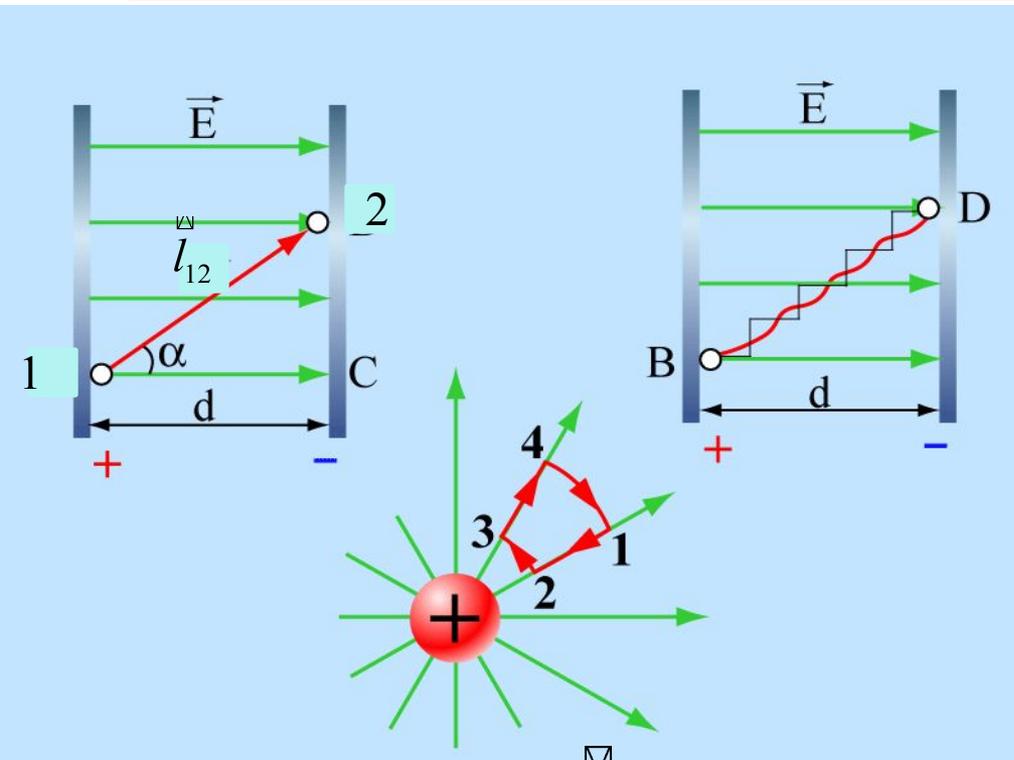
разность
потенциалов

$$\int_{r_1}^{r_2} Edr = -\Delta\varphi$$

связь напряженности и
разности потенциалов

$$A = q\Delta\varphi$$

РАБОТА ОДНОРОДНОГО ПОЛЯ НАД ЗАРЯДОМ



$$A_{12} = q \int_L \vec{E} d\vec{l}$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_1^2 \vec{E} d\vec{l}.$$

Если $\vec{E} = const \Rightarrow \varphi_1 - \varphi_2 = E \int_1^2 dl = E l_{12} = Ed.$

$$A_{12} = qEd = q\Delta\varphi$$

3. Напряженность однородного электрического поля в некоторой точке равна $E = 600 \text{ В/м}$. Вычислить работу A по переносу заряда $q = 1 \text{ нКл}$ из этой точки в другую, лежащую на прямой, составляющей угол $\alpha = 60^\circ$ с направлением вектора напряженности. Расстояние между точками $d = 20 \text{ см}$.

Измерение разности потенциалов

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \Delta\varphi \text{ - разность потенциалов}$$



Соединяя заряженное тело с электрометром можно измерять потенциал тела - это разность потенциалов между заряженным телом и Землей

Схема электрического прибора для измерения разности потенциалов



2. Потенциал в точке поля, созданного точечным зарядом

$$\int_{r_1}^{r_2} E dr = \varphi_1 - \varphi_2 \quad E = k \frac{Q}{r^2} \quad \longrightarrow$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = kQ \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = k \frac{Q}{r_1} - k \frac{Q}{r_2} \quad \longrightarrow$$

$$\varphi = k \frac{Q}{r}$$

- Потенциал
точечного
заряда

5. Два шарика с зарядами $q = 6,66$ нКл и $Q = 13,33$ нКл находятся на расстоянии $d = 40$ см. Какую работу A нужно совершить, чтобы сблизить их до расстояния $b = 25$ см?

$$q = 6,66 \text{ нКл}$$

$$Q = 13,33$$

нКл

$$d = 40 \text{ см}$$

$$b = 25 \text{ см}$$

$$A = ?$$

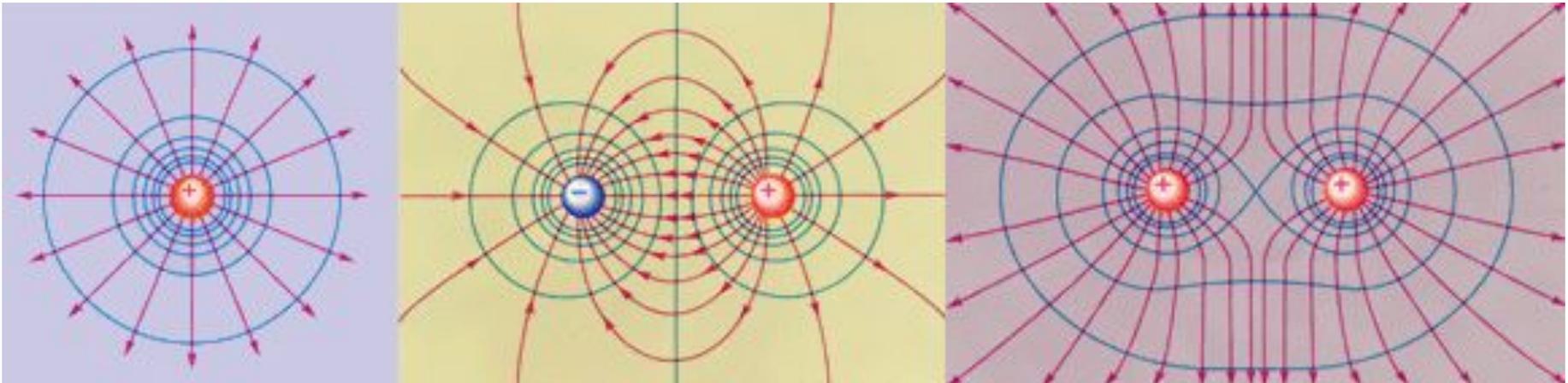
ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ -

воображаемые поверхности, все точки которых имеют одинаковый потенциал

При перемещении по эквипотенциальной поверхности потенциал не изменяется. Следовательно напряженность поля, как и силовая линия, в каждой точке перпендикулярна эквипотенциальной поверхности.

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_L \vec{E} d\vec{l} = \int_L E dl \cos \alpha$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = 0, \quad |\vec{E}| \neq 0 \Rightarrow \cos \alpha = 0, \quad \text{т.е. } \alpha = 90^\circ$$



3. ПОТЕНЦИАЛ ПОЛЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДОВ

Потенциал поля системы точечных зарядов равен алгебраической сумме потенциалов всех точечных зарядов входящих в систему:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \dots + \varphi_i + \dots + \varphi_N \Rightarrow \varphi = \sum_{i=1}^N \varphi_i;$$

$$\varphi_i = k \frac{q_i}{r_i} \Rightarrow \varphi = \sum_{i=1}^N k \frac{q_i}{r_i} = k \sum_{i=1}^N \frac{q_i}{r_i}.$$

Потенциал поля системы распределенных зарядов равен:

$$\varphi = \int d\varphi_i$$

1. Тонкое кольцо радиусом $R = 10$ см имеет заряд $q = 3,2$ нКл. Найти потенциал в точке, расположенной на оси кольца на расстоянии $7,5$ см от его плоскости.

ЭНЕРГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СИСТЕМЫ ЗАРЯДОВ

$$W = \frac{1}{2}(W_{12} + W_{13} + W_{21} + W_{23} + W_{31} + W_{32});$$

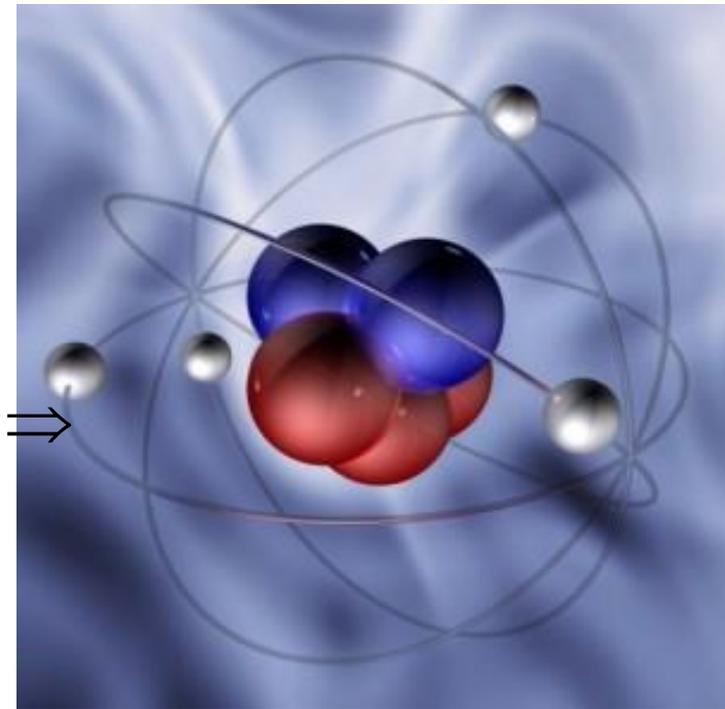
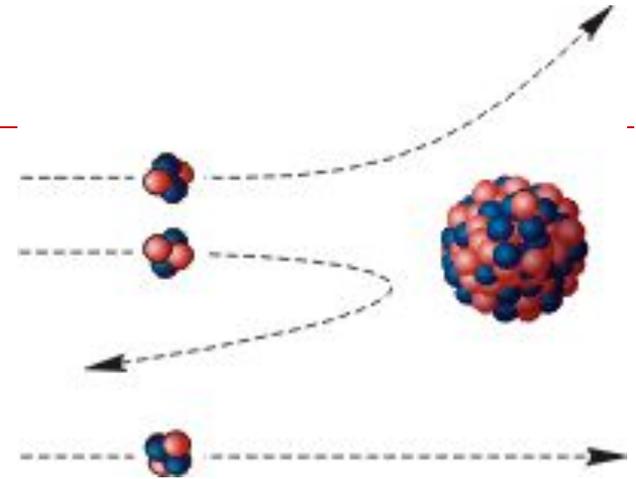
т.к. $W_{ij} = q_i \varphi_j = k \frac{q_i q_j}{r_{ij}} = q_j \varphi_i.$

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N W_i = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^N W_{ij}.$$

$$W_i = q_i \varphi_i; \quad \varphi_i = \sum_{j=1, j \neq i}^N k \frac{q_j}{r_{ij}} \Rightarrow$$

$$W_i = q_i k \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{q_j}{r_{ij}} \Rightarrow W = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N k q_i \cdot \sum_{j=1, j \neq i}^N \frac{q_j}{r_{ij}} \Rightarrow$$

$$W = \frac{1}{2} \sum_{i \neq j}^N k \frac{q_i q_j}{r_{ij}}.$$



2. В вершинах квадрата со стороной $a = 10$ см находятся равные по знаку и по величине точечные заряды величиной $q = 1$ мкКл. Определить потенциальную энергию системы зарядов W .

4. СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ И ПОТЕНЦИАЛОМ в дифференциальной форме

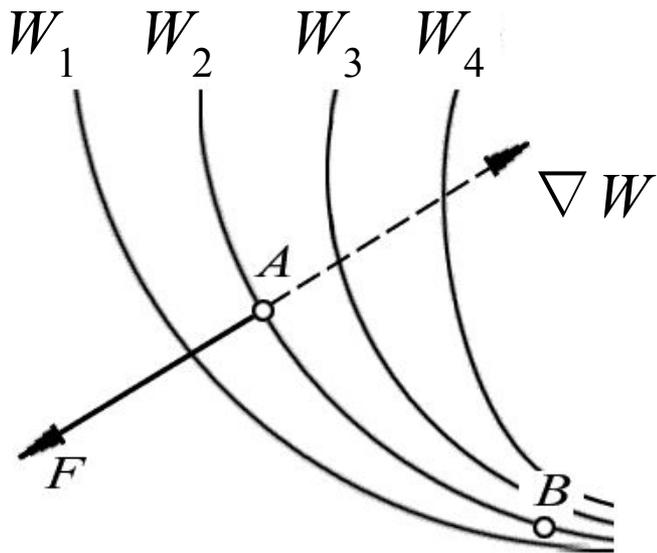
$$\vec{F} = -\nabla\Pi = -\nabla W$$

$$\vec{F} = q\vec{E}; \quad W = q\varphi \Rightarrow$$

$$q\vec{E} = -\nabla(q\varphi) \Rightarrow \vec{E} = -\nabla\varphi; (*)$$

$$\vec{E} = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}\vec{i} - \frac{\partial\varphi}{\partial y}\vec{j} - \frac{\partial\varphi}{\partial z}\vec{k};$$

$$E_x = -\frac{\partial\varphi}{\partial x}; \quad E_y = -\frac{\partial\varphi}{\partial y}; \quad E_z = -\frac{\partial\varphi}{\partial z}.$$



(*) связь напряженности и потенциала в диф. форме

«-» определяет тот факт, что линии напряженности направлены в сторону убывания потенциала!!!!

Полезно помнить физический смысл потенциала.

$$\varphi = \frac{W}{q_0}$$

Потенциал численно равен потенциальной энергии единичного положительного заряда, помещённого в данную точку поля.

$$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{A_{1 \rightarrow \infty}^n}{q_0}.$$

Потенциал численно равен работе сил электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из данной точки поля «в бесконечность».

$$\varphi = \frac{W}{q_0} = \frac{A_{\infty \rightarrow 1}^c}{q_0}.$$

Потенциал численно равен работе сторонних сил по перемещению единичного положительного заряда «из бесконечности» в данную точку поля.

$$\Delta\varphi_{12} = \frac{A_{1 \rightarrow 2}^n}{q_0}.$$

Разность потенциалов численно равна работе сил электрического поля по перемещению единичного положительного заряда из одной («начальной») точки поля в другую («конечную»).

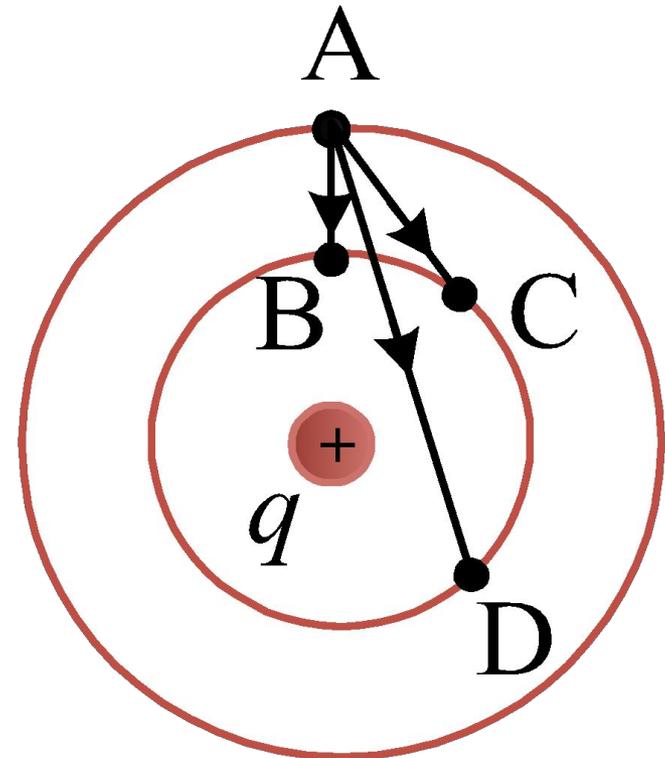
Тест. Выбрать правильное утверждение о величине работы электростатического поля заряда q при перемещении пробного заряда из точки А в точки В, С, D ? (3)

1) наибольшая при перемещении из А в D

2) наименьшая при перемещении из А в D

3) одинакова при всех трех вариантах перемещений

4) при перемещении из А в В равна нулю, при двух других отлична от нуля



4. Шарик массой $m = 40$ мг, имеющий положительный заряд $q = 1$ нКл, движется из бесконечности со скоростью $v = 10$ см/с. На какое расстояние d может приблизиться шарик к положительному точечному неподвижному заряду $Q = 1,33$ нКл?

$$m = 40 \text{ мг,}$$

$$q = 1 \text{ нКл,}$$

$$v = 10 \text{ см/с.}$$

$$Q = 1,33 \text{ нКл}$$

$$d = ?$$

6.(9.46) Шарик массой $m=1$ г и зарядом $q=10$ нКл перемещается из точки 1, потенциал которой 600 В в точку 2, потенциал которой равен 0 . Найти его скорость в точке 1, если в точке 2 она стала равной $v_2=20$ см/с.

$$m=1 \text{ г}$$

$$q=10 \text{ нКл}$$

$$\phi_1=600 \text{ В}$$

$$\phi_2=0.$$

$$v_2=20 \text{ см/с.}$$

$$v_1=?$$

7.(9.63) Покоящийся электрон, пройдя в плоском конденсаторе путь от одной пластины до другой, приобретает скорость $v = 10^6$ м/с. Расстояние между пластинами $d = 5,3$ мм. Найти разность потенциалов между пластинами U , напряженность электрического поля E внутри конденсатора и поверхностную плотность заряда σ на пластинах.

$$v = 10^6 \text{ м/с}$$

$$d = 5,3 \text{ мм}$$

$$U = ?$$

$$E = ?$$

$$\sigma = ?$$

8.(9.65) Первоначально покоящийся электрон в однородном электрическом поле начинает движение с ускорением $a=10^{12}$ м/с². Найти напряженность электрического поля E , в котором движется электрон, скорость, которую он получит за $t=1$ мкс своего движения, работу сил электрического поля A за это время и разность потенциалов, пройденную при этом электроном.

$t=1$ мкс

$E=?$

$A=?$

$U=?$