

Работа электрического поля

РАБОТА И ЭНЕРГИЯ В МЕХАНИКЕ

Работа совершается тогда, когда под действием силы тело перемещается

$$A = Fs \cdot \cos\alpha$$

Знак работы зависит от угла α

Потенциальная энергия определяется взаимным расположением взаимодействующих тел (например, тело у поверхности Земли)

РАБОТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ЗАРЯДА

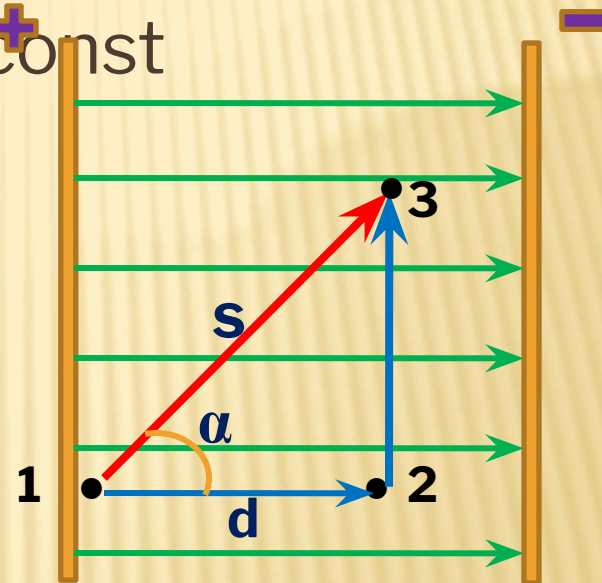
$$A = Fs \cos \alpha$$

$$F = Eq$$

$$s \cdot \cos \alpha = d$$

$$A = qEd$$

$$E = \text{const}$$



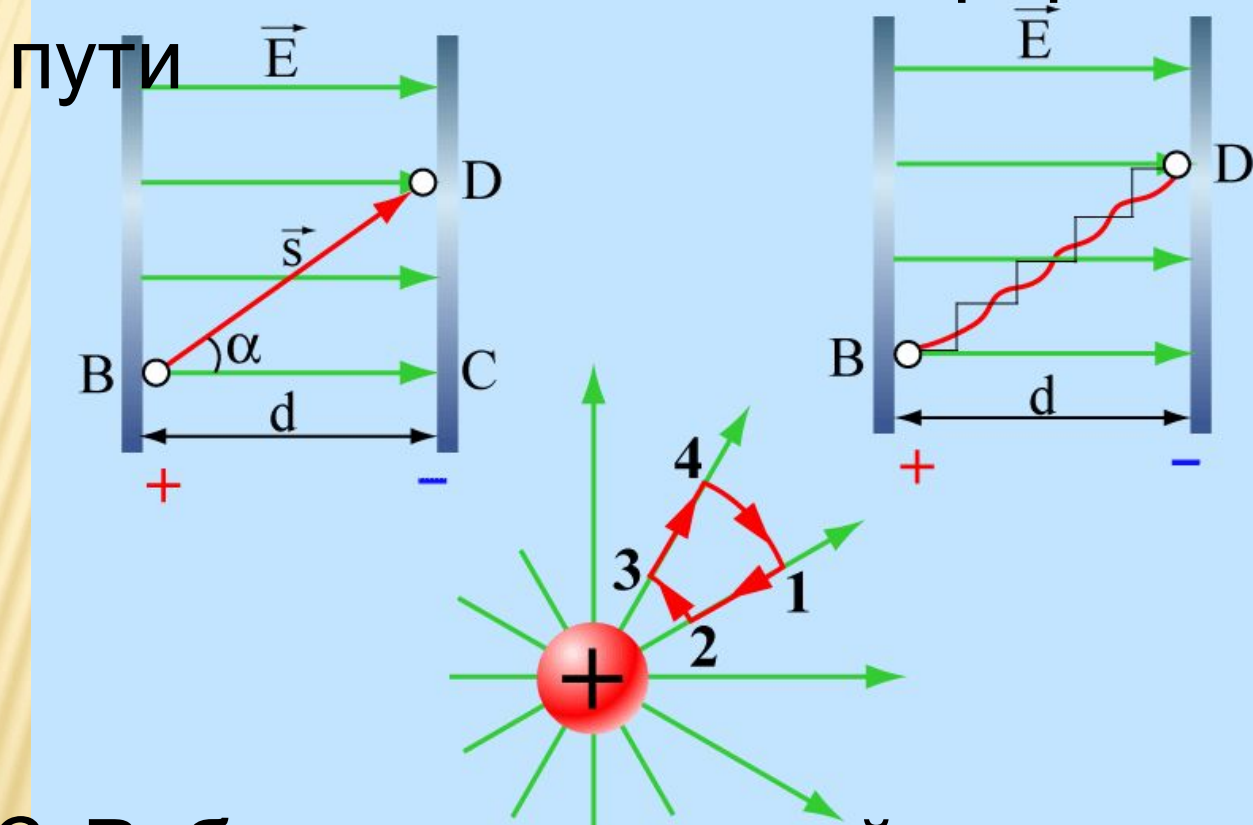
d – расстояние вдоль
силовой линии

1. Работа не зависит от формы траектории
($A_{13} = A_{12} + A_{23}$), $A_{23} = 0$

2. Работа по замкнутому пути равна нулю

РАБОТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ЗАРЯДА

1. Работа не зависит от формы пути



2. Работа по замкнутой траектории

ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ ЭНЕРГИЯ

- Если работа не зависит от формы траектории, то она равна изменению потенциальной энергии, взятой с противоположным знаком

$$A = - (W_2 - W_1) = - \Delta W_p$$

- Если поле совершает положительную работу, то потенциальная энергия заряженного тела уменьшается, и наоборот

(аналогично в гравитационном поле)

ПОТЕНЦИАЛ

- Потенциалом электрического поля называют отношение энергии заряда в поле к этому заряду

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

$\varphi > 0$, если $q > 0$

$\varphi < 0$, если $q < 0$

Потенциал поля точечного заряда

$$\varphi = \frac{kq}{\varepsilon r}$$

на бесконечности $\varphi = 0$

РАЗНОСТЬ ПОТЕНЦИАЛОВ. НАПРЯЖЕНИЕ

- Разность потенциалов в начальной и конечной точках траектории называется **напряжением**

$$U = \varphi_1 - \varphi_2$$

*Единица измерения напряжения и потенциала **1В (вольт)***

Работа по перемещению заряда в неоднородном поле

$$A = qU$$

или

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$$

СВЯЗЬ МЕЖДУ НАПРЯЖЕННОСТЬЮ И НАПРЯЖЕНИЕМ.

$$A = qE(d_1 - d_2) = q(\phi_1 - \phi_2)$$

$$qE \Delta d = q(\phi_1 - \phi_2)$$

$$qE \Delta d = q$$

U

$$E = \frac{U}{\Delta d}$$

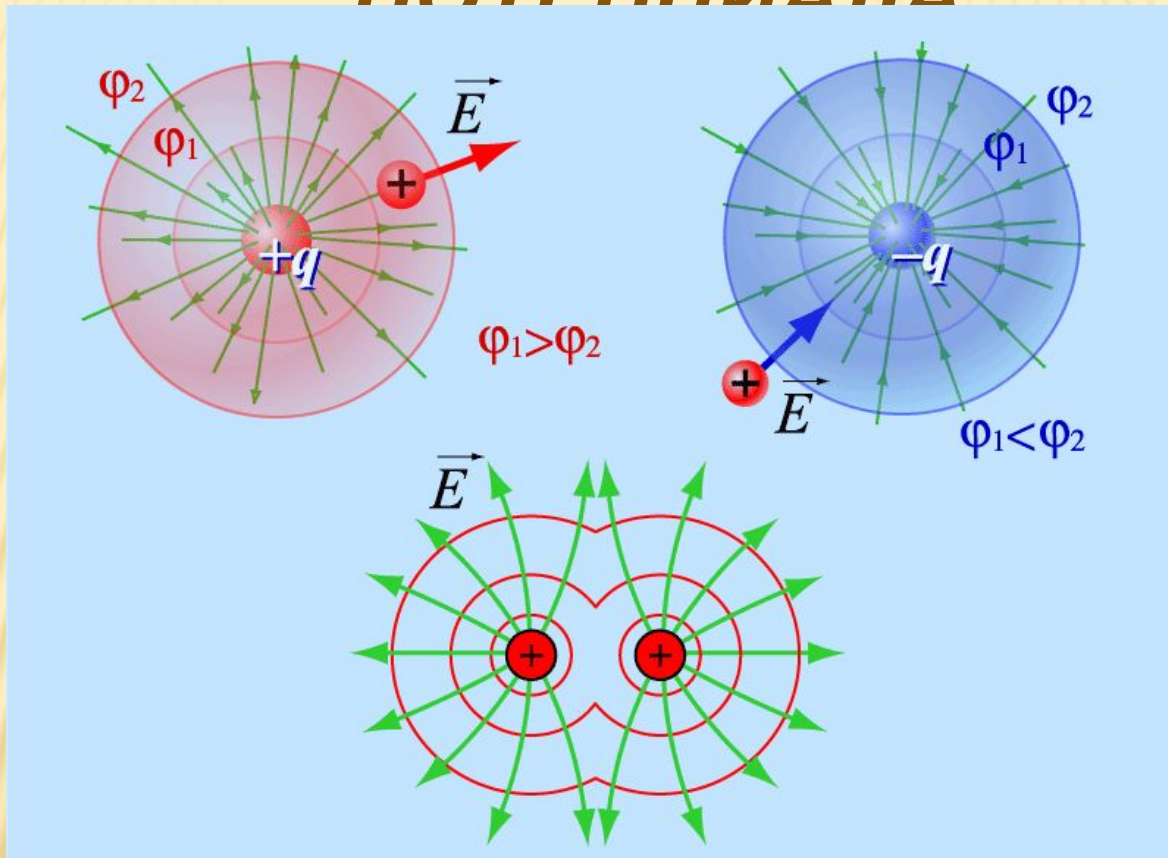
$$[E] = \frac{B}{M}$$

Из этого соотношения видно:

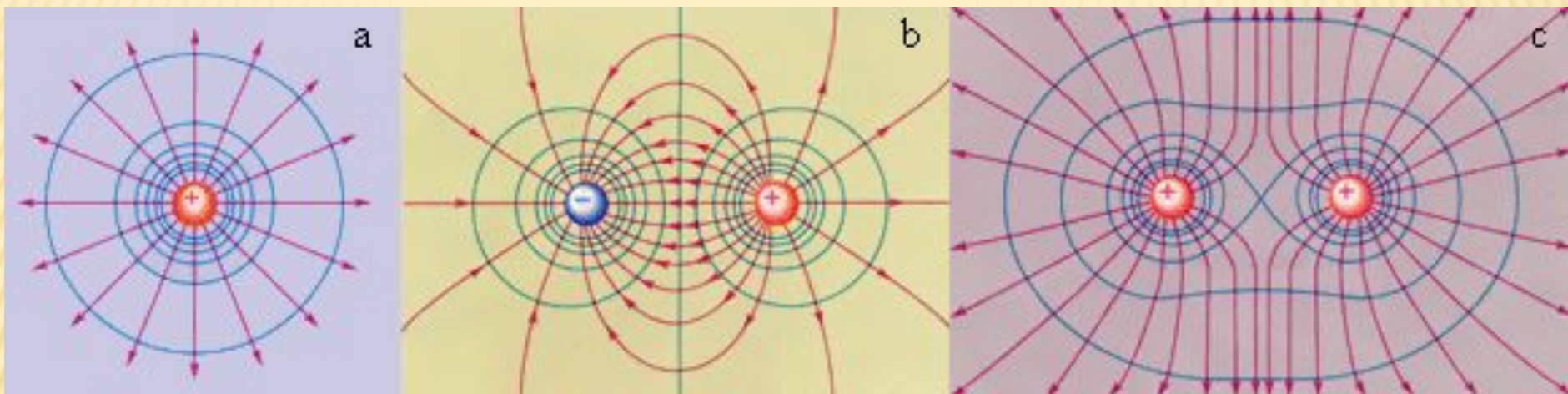
1. Вектор напряженности направлен в сторону уменьшения потенциала.
2. Электрическое поле существует, если существует разность потенциалов.
3. Единица напряженности:

Напряженность поля равна 1 В/м, если между двумя точками поля, находящимися на расстоянии 1 м друг от друга существует разность потенциалов 1 В.

ЭКВИПОТЕНЦИАЛЬНЫЕ ПОВЕРХНОСТИ – ПОВЕРХНОСТИ РАВНОГО ПОТЕНЦИАЛА



Вектор напряженности перпендикулярен
эквипотенциальной поверхности и
направлен в сторону уменьшения



Эквипотенциальные поверхности (синие линии) и силовые линии (красные линии) простых электрических полей: а – точечный заряд; б – электрический диполь; с – два равных положительных заряда

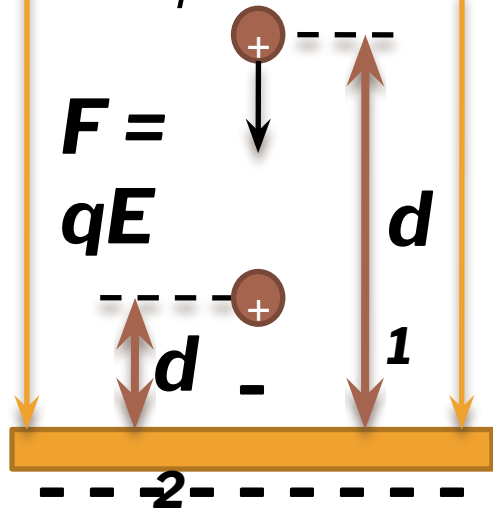
Из принципа суперпозиции напряженностей полей, создаваемых электрическими зарядами, следует принцип суперпозиции для потенциалов:

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 + \dots$$

АНАЛОГИЯ С РАБОТОЙ СИЛЫ ТЯЖЕСТИ

Заряд q

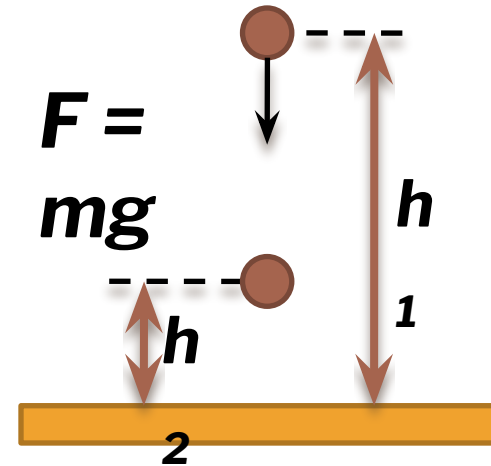
перемещается в
электрическом поле



$$W_p = qEd = \Delta W_{\text{эл. поля}}$$

Тело массы m

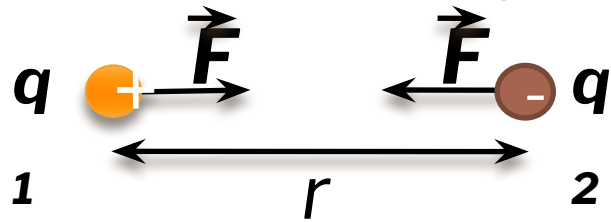
перемещается в поле силы
тяжести



$$W_p = mgh = \Delta W_{\text{тяж}}$$

ЗАРЯДЫ И МАССЫ. АНАЛОГИЯ.

Взаимодействие зарядов

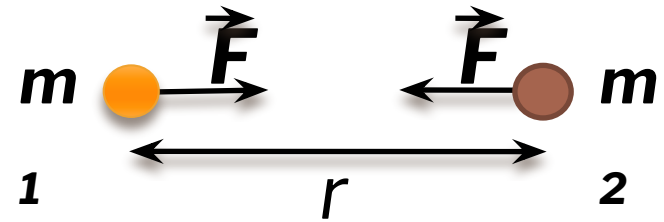


$$F = k \frac{q_1 q_2}{r^2}$$

$$W_p = k \frac{q_1 q_2}{r}$$

$$q_2 < 0 \rightarrow W_p < 0$$

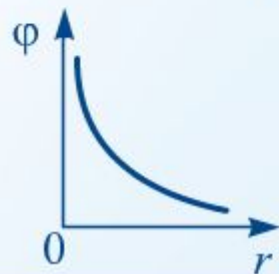
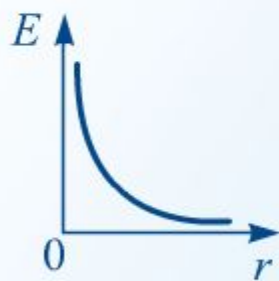
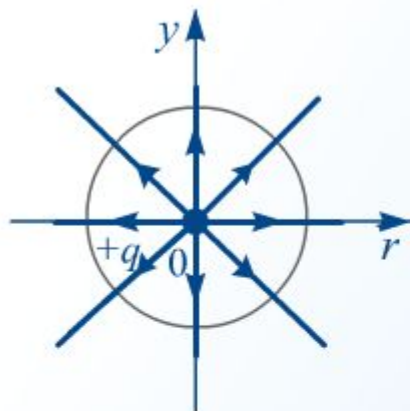
Взаимодействие масс



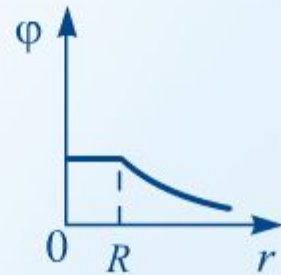
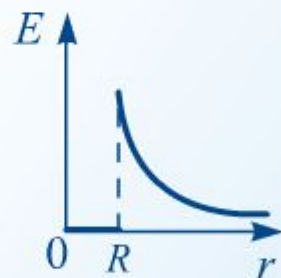
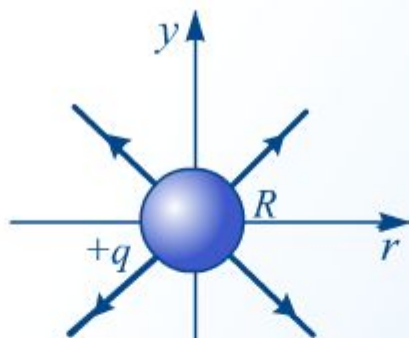
$$F = G \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

$$W_p = -G \frac{m_1 m_2}{r}$$

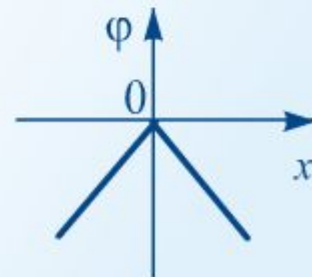
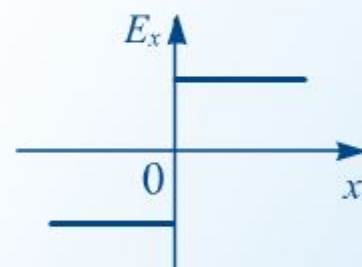
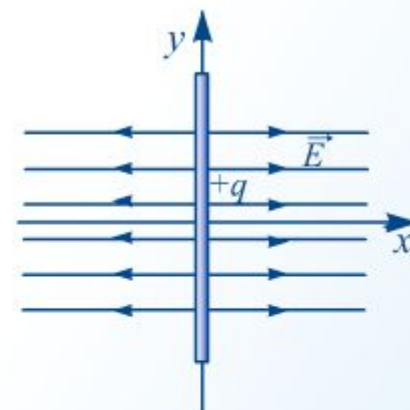
Точечный заряд



Шар (сфера)



Плоскость



ЗАДАЧА 1

Ртутный шарик, потенциал которого 1,2 кВ. разбивается на 27 одинаковых капелек.

Определите потенциал каждой капельки. Ответ округлите до целого числа.

ДАНО:

$$\varphi = 1,2 \cdot 10^3 \text{ В}$$

$$N = 27$$

$$\varphi_k = ?$$

РЕШЕНИЕ

$$\varphi = N \varphi_k \quad m = N m_k \quad q = N q_k$$

$$R^3 = N r^3 \quad \varphi = \frac{kq}{R} \quad \varphi_k = \frac{kq_k}{r}$$

$$\frac{\varphi}{\varphi_k} = \frac{q}{R} \frac{r}{q_k} = \frac{N q_k r}{q_k r \sqrt[3]{N}} = \frac{N}{\sqrt[3]{N}} = \sqrt[3]{N^2}$$

$$\varphi_k = \frac{\varphi}{\sqrt[3]{N^2}}$$

$$\varphi_k = \frac{1,2 \cdot 10^3 \text{ В}}{\sqrt[3]{27^2}} = 133 \text{ (В)}$$

ЗАДАЧА 2

Металлический шар радиусом 1 м, имеющий потенциал 1 В, окружают сферической оболочкой радиуса 2 м. Чему будет равен потенциал первого шара, если заземлить оболочку?

Дано:

$$R_1 = 1 \text{ м}$$

$$\varphi_1 = 1 \text{ В}$$

$$R_2 = 2 \text{ м}$$

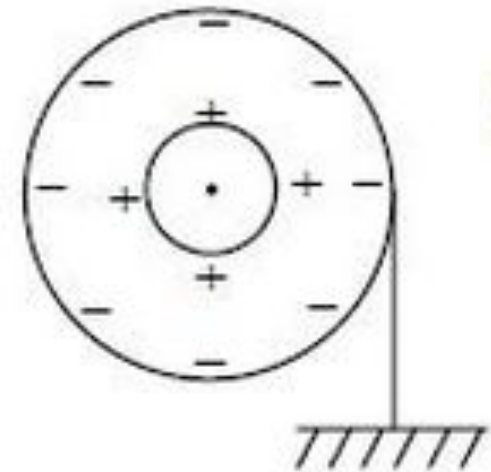
$$\varphi'_1 = ?$$

Решение:

$q_1 = \frac{\varphi R_1}{k}$ - заряд металлического шара под влиянием

поля, создаваемого шаром. На оболочке появляются индуцированные заряды $q_{\text{инд}} = -q_1$ на внутренней и $+q_1$ на внешней поверхности оболочки. Внешняя оболочка заземлена и заряд стекает по поверхности

$$\begin{aligned} \varphi'_1 &= \varphi + \frac{k(-q_{\text{инд}})}{R_2} = \varphi - \frac{R_1}{R_2} \varphi \\ &= \varphi \left(1 - \frac{R_1}{R_2} \right) = 1 \left(1 - \frac{1}{2} \right) = 0.5 \text{ (В)} \end{aligned}$$



ЗАДАЧА 3 (ЕГЭ)

Электрон со скоростью $2 \cdot 10^7$ м/с летает в однородное электрическое поле с напряженностью 30 кВ/м и движется в направлении силовых линий. Определите кинетическую энергию электрона в тот момент, когда он пройдет в поле расстояние 2 см. Результат представьте в электронвольтах и округлите до сотых.

Дано:

$$v_0 = 2 \cdot 10^7 \text{ м/с}$$

$$E = 3 \cdot 10^4 \text{ В/м}$$

$$d = 0.02 \text{ м}$$

$$q_e = 1.6 \cdot 10^{-19} \text{ Кл}$$

$$m_e = 9.1 \cdot 10^{-31} \text{ кг}$$

$$W_{к2} = ?$$

Решение:



$$W_{к1} = \frac{mv_0^2}{2};$$

$$A = F \cdot d \cdot \cos \alpha = |q_e| \cdot E \cdot d \cdot \cos \alpha$$

$$W_{к2} = \frac{mv_0^2}{2} + q_e E d \cos \alpha$$

$$W_{к2} = \frac{9.1 \cdot 4 \cdot 10^{14}}{2} + 1.6 \cdot 10^{-19} \cdot 3 \cdot 10^4 \cdot 2 \cdot 10^{-2} \cdot (-1) =$$

$$= 5.38 \cdot 10^{-1} \text{ (кэВ)} = 0.54 \text{ (кэВ)}$$

$$A = W_{к2} - W_{к1};$$

$$W_{к2} = A + W_{к1}$$

ЗАДАЧА 4

Два точечных заряда - 10 нКл и 40 нКл расположены на расстоянии 2 см друг от друга в вакууме. Определить напряженность и потенциал поля в точке посередине между зарядами. На каком расстоянии от положительного заряда напряженность равна нулю?

Дано:

$$q_1 = -1 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$q_2 = 4 \cdot 10^{-8} \text{ Кл}$$

$$r = 0.2 \text{ м}$$

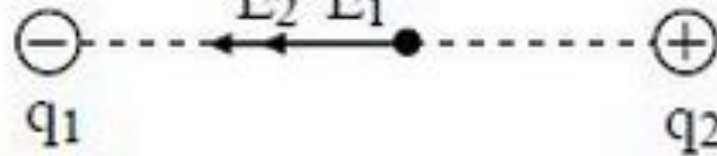
$$E = ?$$

$$\varphi = ?$$

$$r' = ?$$

Решение:

а)



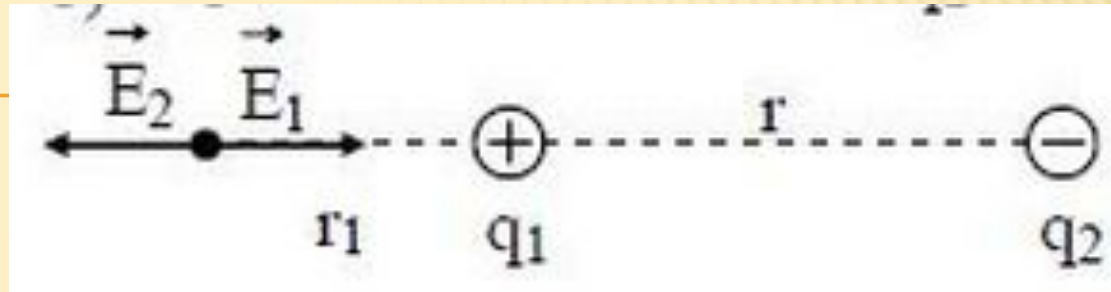
$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$$

$$E = E_1 + E_2 = \frac{4k}{r^2} (|q_1| + q_2) = 45000 \text{ (В/м)}.$$

$$\varphi = \varphi_1 + \varphi_2 = \frac{2k}{r} (q_1 + q_2) = 2700 \text{ (В)}$$

ЗАДАЧА 4 (ПРОДОЛЖЕНИЕ)

$$E_1 = E_2$$



$$\frac{k|q_1|}{r_1^2} = \frac{kq_2}{(r + r_1)^2}$$

$$\frac{r + r_1}{r_1} = \sqrt{\frac{q_2}{q_1}} = ; r_1 = r = 0.2 \text{ (м)}. r' = r_1 + r = 0.4 \text{ (м)}.$$

ЗАДАЧА 5

Медный шарик диаметром 0,1 см, имеющий заряд 1 нКл, помещен в масло. Какое расстояние и в каком направлении пройдет шарик за 1 с, если вся система находится в однородном, направленном вертикально вверх поле 10 кН/Кл? Сопротивлением среды пренебречь. Начальная скорость шарика равна нулю.

Дано:

$$d = 0.1 \text{ см} = 10^{-3} \text{ м}$$

$$q = 1 \text{ нКл} = 10^{-9} \text{ Кл}$$

$$\rho_{\text{мас}} = 0.9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

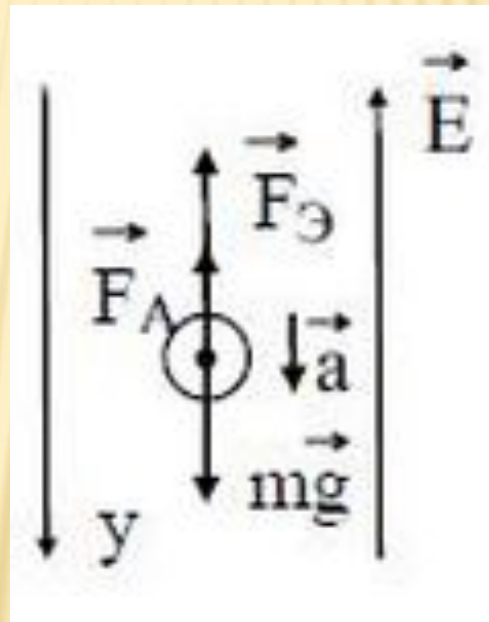
$$\rho_m = 8.9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$$

$$t = 1 \text{ с}$$

$$E = 10 \text{ кН/Кл} = 10^4 \text{ Н/Кл}$$

$$v_0 = 0$$

$$S = ?$$



РЕШЕНИЕ:

$$m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_\Delta + \vec{F}_A.$$

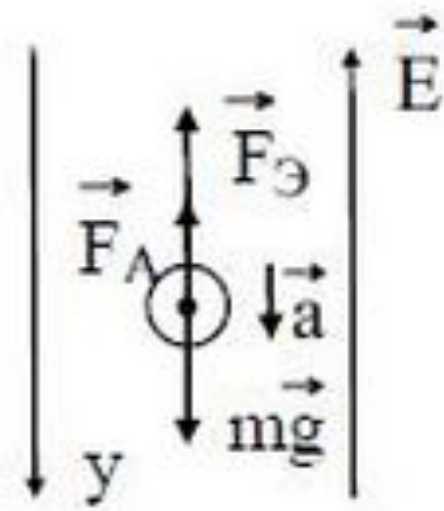
В проекции на ось oy : $ma = mg - F_\Delta - F_A$.

$$F_\Delta = qE; F_A = \rho_{\text{жс}} g V = \rho_{\text{жс}} g \frac{4}{3} \pi r^3;$$

$$ma = mg - F_\Delta - F_A = \rho_m g \frac{4}{3} \pi r^3 - qE - \rho_{\text{жс}} g \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$a = \frac{\frac{4}{3} \pi \rho_m g r^3 - qE - \frac{4}{3} \pi \rho_{\text{жс}} g r^3}{\frac{4}{3} \pi \rho_m r^3} = 0.68 \text{ м/с}^2;$$

$$S = v_0 t + at^2/2 = 0.68/2 = 0.34 \text{ (м)}$$



ДОМАШНЕЕ ЗАДАНИЕ

§ 95-97

№714, 715 (Рымкевич)