

1.13. Два одинаковых маленьких шарика подвешены на нитях длиной $L = 2$ м к одной точке потолка. Когда шарикам сообщили одинаковые заряды q , они разошлись на расстоянии r . Определить натяжение каждой нити.

$$\left[F_{\text{н}} = \frac{2kq^2L}{r^3} \right]$$

1.14. В результате трения с поверхности стеклянной палочки было удалено $6,4 \cdot 10^{10}$ электронов. Определить электрический заряд на палочке. Насколько уменьшалась масса палочки? Масса электрона $m = 9,1 \cdot 10^{-31}$ кг.

$$[1,02 \cdot 10^{-8} \text{ Кл, на } 5,8 \cdot 10^{-20} \text{ кг}]$$

1.15. В вертикально направленном однородном электрическом поле находится пылинка с массой $1 \cdot 10^{-9}$ г и зарядом $q = 3,2 \cdot 10^{-17}$ Кл. Какова напряженность электрического поля, если сила тяжести пылинки уравновешена силой электрического поля?

$$[3,1 \cdot 10^5 \text{ Н/Кл}]$$

2. ПОТЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОГО ПОЛЯ И РАБОТА ПО ПЕРЕМЕЩЕНИЮ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ

2.1. Основные формулы

Разность потенциалов между точками 1 и 2:

$$\varphi_{1,2} = \frac{A_{1,2}}{q},$$

где $A_{1,2}$ – работа, совершаемая электрическим полем по переносу электрического заряда из точки 1 в точку 2; q – величина перенесенного заряда.

Потенциал поля точечного заряда:

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r}.$$

Для сферы

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{R},$$

где R – радиус сферы.

Если заряд переносится из точки с r_1 в точку r_2 , то работа по перемещению заряда:

$$A = q(\varphi_1 - \varphi_2) = q \left(\frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r_1} - \frac{1}{4\pi\epsilon\epsilon_0} \frac{q}{r_2} \right) = \Delta W = W_1 - W_2,$$

где W_1 и W_2 – значения энергии поля в точках с r_1 и r_2 .

$$W = \frac{qq_0}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \text{ [Дж]}$$

2.2. Примеры решения задач

Задача 1. В вершинах при острых углах ромба, составленного из двух равносторонних треугольников со стороной $l = 0,25$ м, помещены заряды $q_1 = q_2 = 2,5 \cdot 10^{-9}$ Кл. В вершине при одном из тупых углов ромба помещен заряд $q_3 = -5 \cdot 10^{-9}$ Кл. Определить разность потенциалов между точкой O – точкой пересечения диагоналей ромба. Также определите работу по перемещению заряда q_4 из точки A в точку O (рис. 2.1).

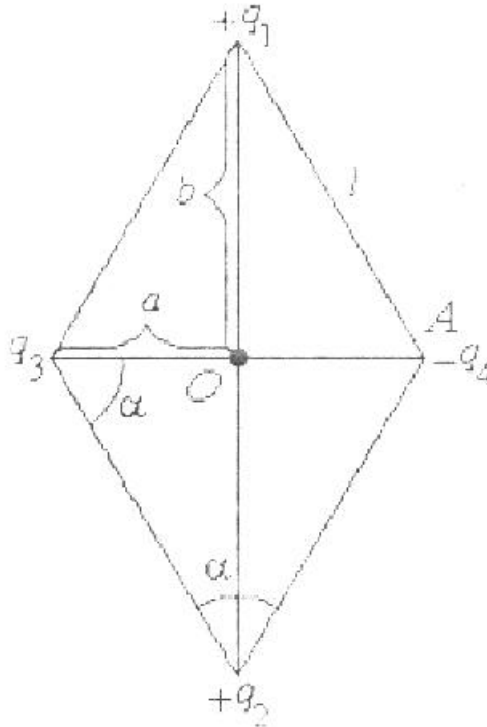


Рис. 2.1

Анализ и решение. Потенциал поля, созданного системой точечных зарядов, равен алгебраической сумме потенциалов поля, создаваемого каждым зарядом, т.е. в точке A

$$\varphi_A = \varphi_1 + \varphi_2 + \varphi_3 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 l} + \frac{q_2}{4\pi\epsilon_0 l} + \frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 l} = \frac{2q_1 + q_3}{4\pi\epsilon_0 l} = 0.$$

Потенциал поля в точке O равен:

$$\varphi_0 = \frac{2q_1}{4\pi\epsilon_0 b} + \frac{q_3}{4\pi\epsilon_0 a} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{2q_1}{b} + \frac{q_3}{a} \right),$$

но $a = l/2$, $b = \sqrt{3}/(2)l$, тогда

$$U = \varphi_A - \varphi_0 = -\frac{2\sqrt{3}q_1 + 3q_3}{6\pi\epsilon_0 l} = -152,4 \text{ В},$$

$$A = q_4 U = -\frac{2\sqrt{3}q_1 + 3q_3}{6\pi\epsilon_0 l} q_4 = -3,07 \cdot 10^{-7} \text{ Дж}$$

Знак «-» означает, что работу совершали внешние силы против сил электрического поля.

Задача 2. Найти потенциал φ точки поля, находящийся на расстоянии $r = 10$ см от центра заряженного шара радиусом $R = 1$ см. Задачу решить, если: а) задана поверхностная плотность заряда на шаре $\sigma = 0,1$ мкКл/м²; б) задан потенциал шара $\varphi = 300$ В.

Анализ и решение. Потенциал точки вне шара на расстоянии r от его центра

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r},$$

а) Так как $q = \sigma S = \sigma 4\pi R^2$, то $\varphi = \frac{4\pi\sigma R^2}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = \frac{\sigma R^2}{\epsilon\epsilon_0 r}$

$$\varphi = \frac{0,1 \cdot 10^{-6} \cdot 10^{-4}}{8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 10^{-1}} = 11,3 \text{ В}$$

б) Потенциал шара

$$\varphi_{\text{ш}} = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 R},$$

$$q = \varphi_{\text{ш}} \cdot 4\pi\epsilon\epsilon_0 R.$$

Тогда

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} = \frac{4\pi\epsilon\epsilon_0 R}{4\pi\epsilon\epsilon_0 r} \varphi_{\text{ш}} = \frac{R}{r} \varphi_{\text{ш}} = \frac{1}{10} 300 = 30 \text{ В}$$

Задача 3. Шарик массой $m = 1$ г и зарядом $q = 10$ нКл перемещается из точки 1, потенциал которой $\varphi_1 = 600$ В, в точку 2, потенциал которой $\varphi_2 = 0$. Найти его скорость v_1 в точке 1, если в точке 2 она стала равной $v_2 = 20$ см/с.

Анализ и решение. Работа по перемещению шарика из точки 1 в точку 2:

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

С другой стороны, работа A – это приращение кинетической энергии шарика

$$A = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2},$$

следовательно,

$$q(\varphi_1 - \varphi_2) = \frac{mv_2^2}{2} - \frac{mv_1^2}{2} = \frac{m}{2}(v_2^2 - v_1^2),$$

отсюда

$$v_1 = \sqrt{v_2^2 - \frac{2q(\varphi_1 - \varphi_2)}{m}},$$

$$v_1 = 16,7 \text{ см/с.}$$

Задача 4. При бомбардировке неподвижного ядра натрия α -частицей сила отталкивания между ними достигла значения $F = 140$ Н. На какое наименьшее расстояние r приблизилась α -частица к ядру атома натрия?

Какую скорость v имела α -частица? Влиянием электронной оболочки атома натрия пренебречь (рис. 2.2).

Анализ и решение.

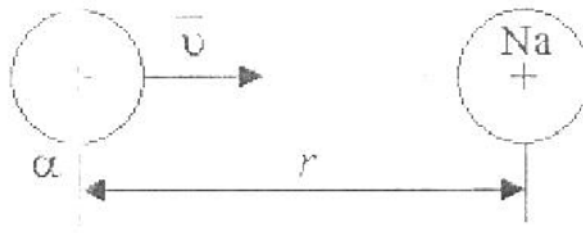


Рис. 2.2

Потенциал поля ядра натрия

$$\varphi = \frac{z_1 e}{4\pi\epsilon_0 r}.$$

По закону Кулона сила отталкивания между ядром Na и α -частицей:

$$F = \frac{z_1 z_2 e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2},$$

где $z_2 = 2$, так как α -частица представляет собой ядро гелия.

Минимальное расстояние сближения ядра и α -частицы:

$$r_{\min} = \frac{e}{2} \sqrt{\frac{z_1 z_2}{\pi\epsilon_0 F}} = 6,01 \cdot 10^{-15} \text{ м.}$$

По закону сохранения энергии

$$\frac{mv^2}{2} = \frac{z_1 e^2}{4\pi\epsilon_0 r},$$

тогда скорость α -частицы

$$v = \sqrt{\frac{z_1 e^2}{2\pi\epsilon_0 r m}} = 1,59 \cdot 10^7 \text{ м/с.}$$

2.3. Задачи для самостоятельного решения

2.1. Два одинаковых шарика, имеющих одинаковый заряд q , соединены пружиной. Шарик колеблется так, что расстояние между ними меняется от 1 до 41. Найти жесткость пружины, если ее длина в свободном состоянии равна 21.

$$\left[k = \frac{1}{4} \pi\epsilon_0 \frac{q^2}{21^3} \right]$$

2.2. При внесении заряда $1,0 \cdot 10^{-6}$ Кл из бесконечности в данное электрическое поле была произведена работа $6,0 \cdot 10^{-5}$ Дж. Каков по отношению к бесконечности потенциал точки поля, в которую внесен заряд?

[60 В]