

## Задача 1

1. Два точечных электрических заряда  $q_1 = 4 \text{ нКл}$  и  $q_2 = -3 \text{ нКл}$  находятся в воздухе на расстоянии  $d = 15 \text{ см}$  друг от друга. Определить напряженность электрического поля  $E$ , создаваемого этими зарядами в точке, удаленной от заряда  $q_1$  на расстоянии  $r_1 = 12 \text{ см}$  и от заряда  $q_2$  на  $r_2 = 9 \text{ см}$ . Ответ представить в  $\text{кВ/м}$ .

Дано:  
 $q_1 = 4 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$   
 $q_2 = -3 \cdot 10^{-9} \text{ Кл}$   
 $d = 0,15 \text{ м}$   
 $r_1 = 0,12 \text{ м}$   
 $r_2 = 0,09 \text{ м}$   


---

 $E - ?$

Решение

По теореме косинусов:

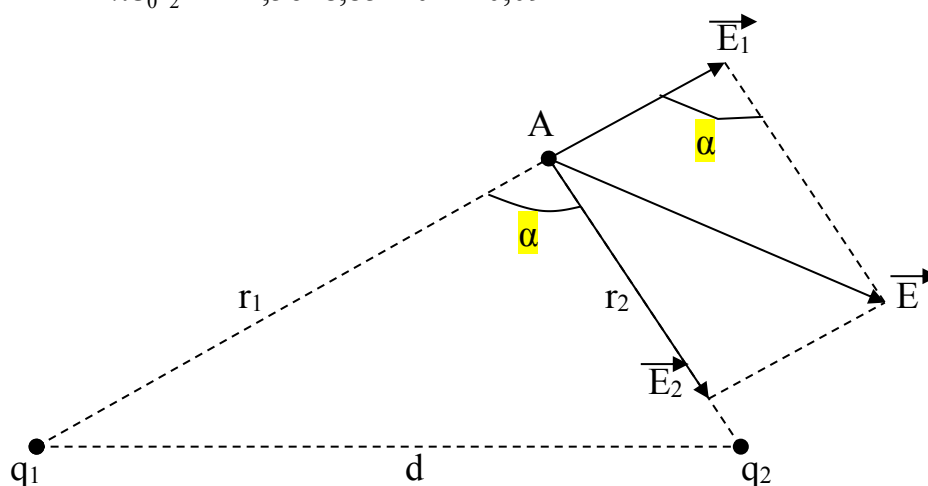
$$\cos \alpha = \frac{r_1^2 + r_2^2 - d^2}{2r_1r_2} = \frac{0,12^2 + 0,09^2 - 0,15^2}{2 \cdot 0,12 \cdot 0,09} = 0 \quad \alpha = 90^\circ.$$

Поэтому треугольник  $q_1q_2A$  – прямоугольный, угол  $q_1Aq_2$  – прямой.

Напряжённость электрического поля в точке А от каждого их зарядов:

$$E_1 = \frac{q_1}{4\pi\epsilon_0 r_1^2} = \frac{4 \cdot 10^{-9}}{12,56 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,12^2} = 2,50 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 2,50 \frac{\text{кВ}}{\text{м}};$$

$$E_2 = \frac{|q_2|}{4\pi\epsilon_0 r_2^2} = \frac{3 \cdot 10^{-9}}{12,56 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 0,09^2} = 3,33 \cdot 10^3 \frac{\text{В}}{\text{м}} = 3,33 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$



По принципу суперпозиции напряжённость результирующего поля в точке А:  $\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2$ .

Так как  $\vec{E}_1 \perp \vec{E}_2$ , то получаем:  $E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2}$ ;

$$E = \sqrt{2,50^2 + 3,33^2} = 4,16 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}.$$

Ответ:  $4,16 \frac{\text{кВ}}{\text{м}}$ .

## Задача 2

2. Напряженность электрического поля внутри и на поверхности шара, заряженного с постоянной объёмной плотностью  $\rho$ , выражается формулой  $\vec{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{r}$ , где  $\vec{r}$  – радиус-вектор, проведенный из центра шара. Вычислить разность потенциалов  $\Delta\varphi$  между центром шара и его поверхностью, если радиус шара  $R = 10$  см,  $\rho = 50$  нКл/м<sup>3</sup>.

Дано:

$$\vec{E} = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{r}$$

$$R = 0,10 \text{ м}$$

$$\rho = 50 \cdot 10^{-9} \text{ Кл/м}^3$$

$\Delta\varphi - ?$

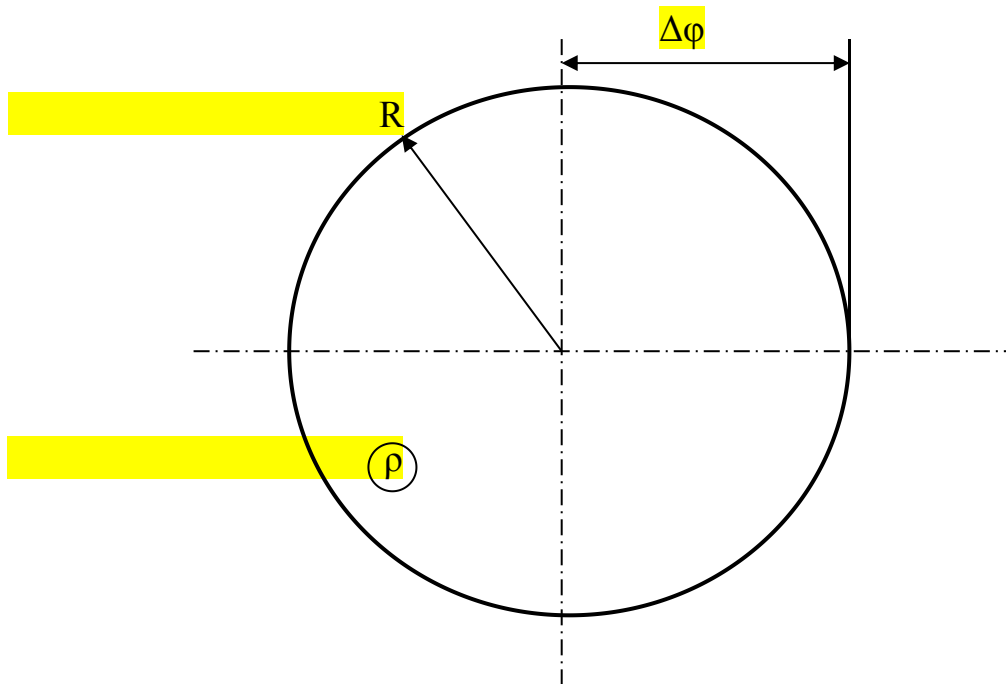
Решение

Вектор напряжённости электрического поля, обладающего сферической симметрией:  $\vec{E} = -\frac{d\varphi}{dr} \vec{r}$ .

$$\text{Отсюда получаем: } \frac{\rho}{3\epsilon_0} \vec{r} = -\frac{d\varphi}{dr} \vec{r}; d\varphi = -\frac{\rho}{3\epsilon_0} r dr;$$

$$\Delta\varphi = -\frac{\rho}{3\epsilon_0} \int_0^R r dr = \frac{\rho}{3\epsilon_0} \left. \frac{r^2}{2} \right|_0^R = \frac{\rho R^2}{6\epsilon_0};$$

$$\Delta\varphi = \frac{50 \cdot 10^{-9} \cdot 0,10^2}{6 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12}} = 9,4 \text{ (В)}.$$



Вывод: разность потенциалов между центром шара и его поверхностью равна 9,4 В.

Ответ: 9,4 В.

### Задача 3

3. Какой заряд  $q$  пройдет по проводнику за промежуток времени  $\tau = 10$  с, если сила тока за это время равномерно убывает от  $I_0 = 10$  А до  $I_{min} = 5$  А?

Дано:

$$\tau = 10\text{с}$$

$$I_0 = 10\text{А}$$

$$I_{min} = 5\text{А}$$

$q - ?$

Решение

Зависимость силы тока от времени найдём как уравнение прямой, проходящей через две точки  $(0; I_0)$  и

$$(\tau; I_{min}): \frac{t-0}{\tau-0} = \frac{I-I_0}{I_{min}-I_0}; \quad I(t) = \frac{I_{min}-I_0}{\tau}t + I_0.$$

Искомый заряд:

$$q = \int_0^{\tau} I(t)dt = \int_0^{\tau} \left( \frac{I_{min}-I_0}{\tau}t + I_0 \right) dt = \left. \frac{I_{min}-I_0}{\tau} \frac{t^2}{2} + I_0 t \right|_0^{\tau} =$$

$$= \frac{I_{min}-I_0}{2} \tau + I_0 \tau = \frac{I_{min}+I_0}{2} \tau;$$

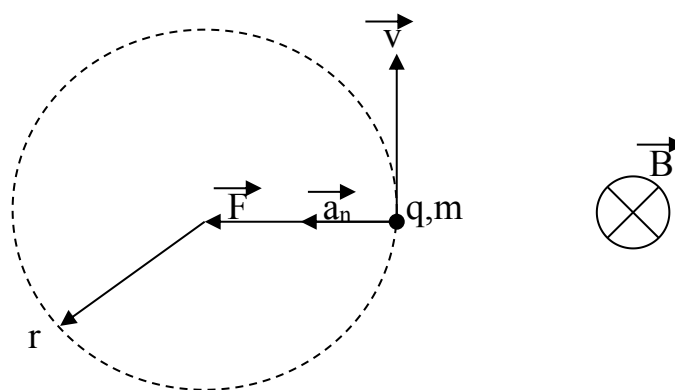
$$q = \frac{5+10}{2} \cdot 10 = 75(\text{Кл}).$$

Ответ: 75 Кл.

## Задача 4

4. Заряженная частица, прошедшая ускоряющую разность потенциалов  $\Delta\varphi = 2$  кВ, движется в однородном магнитном поле с индукцией  $B = 15,1$  мТл по окружности радиусом  $R = 1$  см. Определить скорость  $v$  частицы. Ответ дать в м/с.

Дано: $\Delta\varphi = 2000\text{В}$ $B = 0,0151\text{Тл}$ $r = 0,01\text{м}$	Решение На рисунке вектор $\vec{B}$ направлен под лист. По теореме об изменении кинетической энергии изменение кинетической энергии частицы равно работе сил поля по перемещению заряда частицы: $\frac{mv^2}{2} = q\Delta\varphi$ , где $m$ – масса частицы, $v$ – её скорость, $q$ – заряд частицы.
$v - ?$	



Отсюда заряд частицы:  $q = \frac{mv^2}{2\Delta\varphi}$ .

В магнитном поле индукции  $B$  на движущийся заряд действует сила Лоренца:  $\vec{F} = q(\vec{v} \times \vec{B})$ ;  $F = qvB\sin 90^\circ = qvB$ .

С другой стороны по второму закону Ньютона:  $F = ma_n = m\frac{v^2}{r}$ , где  $m$  – масса частицы,  $r$  – радиус окружности.

Тогда:  $m\frac{v^2}{r} = qvB$ ;  $mv = qBr$ ;  $mv = \frac{mv^2}{2\Delta\varphi} Br$ ;  $v = \frac{2\Delta\varphi}{Br}$ ;

$$v = \frac{2 \cdot 2000}{0,0151 \cdot 0,01} = 26 \cdot 10^6 \text{ (м/с)} = 26 \text{ (Мм/с)}.$$

Ответ: 26 Мм/с.

## Задача 1

1. Какую массу  $\Delta m$  теряет звезда ежеминутно за счет ее излучения, если максимум спектральной плотности энергетической светимости приходится на длину волны  $\lambda_{max} = 0,4 \text{ мкм}$ , радиус звезды  $R = 5 \cdot 10^8 \text{ м}$ ? Считать излучение звезды близким к излучению абсолютно черного тела. Ответ дать в кг.

Дано: $t = 60 \text{ с}$ $\lambda_{max} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ м}$ $R = 5 \cdot 10^8 \text{ м}$ <hr style="border: 0; border-top: 1px solid black;"/> $\Delta m - ?$	Решение Заданная длина волны по закону смещения Вина: $\lambda_{max} = \frac{b}{T}$ , где $b$ – постоянная закона смещения Вина. Отсюда температура поверхности звезды: $T = \frac{b}{\lambda_{max}}$ .
--	--

Решение

Заданная длина волны по закону смещения Вина:

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T}, \text{ где } b \text{ – постоянная закона смещения Вина.}$$

Отсюда температура поверхности звезды:  $T = \frac{b}{\lambda_{max}}$ .

Излучательность абсолютно чёрного тела по закону Стефана-Больцмана:  $R_e = \sigma T^4 = \sigma \frac{b^4}{\lambda_{max}^4}$ .

Площадь поверхности звезды:  $S = 4\pi R^2$ .  
 Тогда энергия, теряемая звездой за время  $t$ :

$$E = R_e S t = \sigma \frac{b^4}{\lambda_{max}^4} 4\pi R^2 t. \quad (2)$$

С другой стороны по закону, выражающему взаимосвязь массы и энергии:  $E = \Delta m c^2. \quad (1)$

Приравниваем правые части (1) и (2):  $\sigma \frac{b^4}{\lambda_{max}^4} 4\pi R^2 t = \Delta m c^2$ .

Отсюда искомая масса:  $\Delta m = \frac{E}{c^2} = \frac{4\pi\sigma t R^2}{c^2} \frac{b^4}{\lambda_{max}^4}$  ;

$$\Delta m = \frac{12,56 \cdot 5,67 \cdot 10^{-8} \cdot 60 \cdot 25 \cdot 10^{16}}{9 \cdot 10^{16}} \frac{2,90 \cdot 10^{-3}}{0,4 \cdot 10^{-6}} = 3,3 \cdot 10^{11} \text{ (кг)}.$$

Ответ:  $3,3 \cdot 10^{11} \text{ кг}$ .

## Задача 2

2. При фотоэффекте с платиновой поверхности электроны полностью задерживаются разностью потенциалов  $U_3 = 0,8$  В. Найти длину волны  $\lambda$  используемого облучения. Ответ дать на нанометрах.

Дано: $U_3 = 0,8$ В $A = 10,1 \cdot 10^{-19}$ Дж $\lambda - ?$
---

Решение

Уравнение Эйнштейна для фотоэффекта:  $\frac{hc}{\lambda} = A + T_{\max}$ ,

где  $A$  – работа выхода электронов из металла,  $T_{\max}$  – максимальная кинетическая энергия фотоэлектронов.

Так как  $T_{\max} = eU_3$ , то получаем:

$$\frac{hc}{\lambda} = A + eU_3; \quad \lambda = \frac{hc}{A + eU_3};$$

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34} \cdot 3 \cdot 10^8}{10,1 \cdot 10^{-19} + 1,6 \cdot 10^{-19} \cdot 0,8} = 175 \cdot 10^{-9} (\text{м}) = 175 (\text{нм}).$$

Ответ: 175 нм.

### Задача 3

3. Найти длину волны  $\lambda$  де Бройля для электрона, прошедшего ускоряющую разность потенциалов  $\Delta\varphi = 50$  В. Ответ дать в пикометрах.

Дано: $\Delta\varphi = 50\text{В}$ $\lambda - ?$	Решение Работа сил поля по перемещению заряда электрона равна изменению его кинетической энергии: $e\Delta\varphi = \frac{mv^2}{2}$ .
--	--

Тогда импульс электрона:  $p = mv = \sqrt{2me\Delta\varphi}$ .

Здесь  $m$  – масса электрона,  $e$  – элементарный заряд.

Длина волны де Бройля:  $\lambda = \frac{h}{p} = \frac{h}{\sqrt{2me\Delta\varphi}}$ ;

$$\lambda = \frac{6,63 \cdot 10^{-34}}{\sqrt{2 \cdot 9,11 \cdot 10^{-31} \cdot 1,602 \cdot 10^{-19} \cdot 50}} = 174 \cdot 10^{-12} (\text{м}) = 174 (\text{пм}).$$

Ответ: 174 пм.

## Задача 4

4. Сколько атомов полония распадется за время  $t = 0,5$  сут из  $N = 10^5$  атомов?

Дано:

$$T_{1/2} = 139 \text{ сут}$$

$$t = 0,5 \text{ сут}$$

$$N_0 = 10^5 \text{ атомов}$$

$$\Delta N - ?$$

Решение

Число атомов, распавшихся за время  $t$ :

$$\Delta N = N_0(1 - e^{-\lambda t}) = N_0 \left(1 - e^{-\frac{\ln 2}{T_{1/2}} t}\right) = N_0 \left(1 - 2^{-\frac{t}{T_{1/2}}}\right);$$

$$\Delta N = 10^5 \left(1 - 2^{-\frac{0,5}{139}}\right) = 249 \text{ (атомов)}.$$

Здесь  $\lambda$  – постоянная распада.

Ответ: 249 атомов.

## **Список использованных источников**

- 1) Бланк А. Я. Физика. – Х.: «Каравелла», 1996.
- 2) Грабовский Р. И. Курс физики. – Москва: Высшая школа, 2004.
- 3) Чертов А. Г., Воробьев А. А. Задачник по физике. – М.: Высш. школа, 1981.