

напряженность поля и разность потенциалов вычисляются соответственно по формулам (3.28), (3.29) и (3.30).

В точке  $B$ , лежащей внутри шара на расстоянии  $r$  от его центра ( $r < R$ ), электрическое смещение определяется лишь зарядом  $q_1$ , заключенным внутри сферы радиуса  $r$ :  $4\pi r^2 D_r = q_1 = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ , откуда

$$D_r = \frac{1}{3} \rho r, \quad (3.31)$$

$$E_r = \frac{D_r}{\epsilon_0 \epsilon_1} = \frac{1}{3} \frac{\rho r}{\epsilon_0 \epsilon_1}, \quad (3.32)$$

где  $\epsilon_1$  — относительная диэлектрическая проницаемость материала заряженного шара.

Разность потенциалов между двумя точками поля внутри шара равна

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E_r dr = \frac{\rho}{3\epsilon_0 \epsilon_1} \int_{r_1}^{r_2} r dr = \frac{\rho}{6\epsilon_0 \epsilon_1} (r_2^2 - r_1^2). \quad (3.33)$$

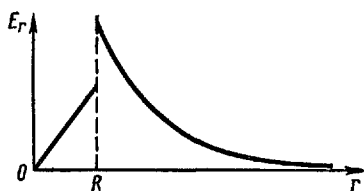


Рис. 3.13

На рис. 3.13 представлен график зависимости  $E_r$  от  $r$  для равномерно заряженного шара. При  $r = R$  выражения (3.29) и (3.32) не совпадают, так как относительная диэлектрическая проницаемость среды, окружающей заряженный шар,  $\epsilon \neq \epsilon_1$  (рис. 3.13 соответствует случаю, когда  $\epsilon < \epsilon_1$ ).

### Вопросы для повторения

1. Каково условие потенциальности силового поля? Докажите, что электростатическое поле является потенциальным.
2. Дайте определение потенциала электростатического поля.
3. Как связана работа перемещения заряда в электростатическом поле с напряженностью и потенциалом поля?
4. Какова связь между потенциалом и напряженностью электростатического поля?

### Примеры решения задач

**Задача 3.1.** Внутренний цилиндрический проводник длинного прямолинейного коаксиального кабеля имеет радиус  $R_1 = 2$  мм и заряжен с линейной плотностью  $\tau_1 = 9,42 \cdot 10^{-3}$  СГСЭ $_q$ /см. Внешний цилиндрический проводник имеет радиус  $R_2 = 4$  мм и заряжен с линейной плотностью  $\tau_2 = -\tau_1$ . Изоляцией между цилиндрами служит резина ( $\epsilon = 3$ ). Найти: значения напряженности электрического поля в точках  $A$  и  $B$ , лежащих на расстояниях  $r_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  м и  $r_2 = 6 \cdot 10^{-3}$  м от оси кабеля, а также разность потенциалов между цилиндрами.

Дано:

$$\begin{aligned}R_1 &= 2 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ \tau_1 &= 3,14 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м} \\ \tau_2 &= -3,14 \cdot 10^{-10} \text{ Кл/м} \\ R_2 &= 4 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ r_1 &= 3 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ r_2 &= 6 \cdot 10^{-3} \text{ м} \\ \epsilon &= 3\end{aligned}$$

Решение. Электрическое поле между цилиндрами создается лишь зарядом внутреннего цилиндра кабеля. По формуле (3 26'), напряженность этого поля в любой точке  $A$ , лежащей между цилиндрами, численно равна

$$E_A = \tau_1 / (2\pi\epsilon_0\epsilon r_1)$$

$E_A$  — ?  $E_B$  — ?  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  — ? и направлена радиально относительно оси кабеля.

Электрическое поле в любой точке вне кабеля создается зарядами как внутреннего, так и внешнего цилиндров. Поэтому напряженность поля в точке  $B$  численно равна

$$E_B = (\tau_1 + \tau_2) / (2\pi\epsilon_0\epsilon_1 r_2),$$

где  $\epsilon_1 = 1$  — относительная диэлектрическая проницаемость воздуха.

Разность потенциалов между цилиндрами можно найти по формуле (3 27):

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1}.$$

Произведем вычисления в СИ:

$$E_A = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0\epsilon r_1} = \frac{3,14 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3 \cdot 3 \cdot 10^{-3}} \frac{\text{В}}{\text{м}} = 627 \text{ В/м};$$

$$E_B = (\tau_1 + \tau_2) / (2\pi\epsilon_0\epsilon_1 r_2) = 0,$$

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{\tau_1}{2\pi\epsilon_0\epsilon} \ln \frac{R_2}{R_1} = \frac{3,14 \cdot 10^{-10}}{2 \cdot 3,14 \cdot 8,85 \cdot 10^{-12} \cdot 3} \ln 2 \text{ В} = 1,3 \text{ В}.$$

**Задача 3.2.** Частица, несущая заряд  $2 \text{ СГСЭ}_q$ , двигаясь в ускоряющем электрическом поле, приобретает кинетическую энергию  $10 \text{ МэВ}$ . Найти разность потенциалов между начальной и конечной точками пути частицы в поле, если ее начальная кинетическая энергия была равна нулю.

Дано:

$$\begin{aligned}q &= (2/3) \cdot 10^{-9} \text{ Кл} \\ W_{к2} &= 1,6 \cdot 10^{-12} \text{ Дж} \\ W_{к1} &= 0 \\ (\varphi_1 - \varphi_2) &= ?\end{aligned}$$

Решение. Работа, совершаемая силами электрического поля при перемещении заряженной частицы, равна изменению ее кинетической энергии  $W_k$ :  $A = W_{к2} - W_{к1}$ . С другой стороны, по формуле (3.14),  $A = q(\varphi_1 - \varphi_2)$ , где  $q$  — заряд частицы,  $(\varphi_1 - \varphi_2)$  — искомая разность потенциалов. Поэтому

$$\varphi_1 - \varphi_2 = (W_{к2} - W_{к1}) / q.$$

Произведем вычисления в СИ:

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{W_{к2} - W_{к1}}{q} = \frac{1,6 \cdot 10^{-12} \cdot 3}{2 \cdot 10^{-9}} \text{ В} = 2,4 \cdot 10^{-3} \text{ В} = 2,4 \text{ мВ}.$$