исходило бы перемещение зарядов. Равновесие зарядов, рассматриваемое в электростатике, возможно только в том случае, если у поверхности проводника напряженность поля $E=E_n$, т. е. равняется своей нормальной составляющей. Вычисленная в упражнениях 5 и 6 напряженность поля в точках, непосредственно прилегающих к поверхности проводников, представляет собой

$$E=E_n=\frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}.$$

Равновесие зарядов, локализованных на поверхности проводника, возможно лишь при условии, что результирующее поле имеет во всех точках этой поверхности одинаковый потенциал; иначе говоря, поверхность проводника в электростатическом поле представляет собой эквипотенциальную поверхность $\varphi=\mathrm{const}$. Поскольку в проводнике $E=0$, то для произвольных двух его точек $\varphi_1-\varphi_2=\int\vec{E}\,d\vec{l}=0$, т. е. все точки проводника (как на поверхности, так и внутри проводника) имеют одинаковый потенциал, который и называется потенциалом проводника.

Перераспределение зарядов при индукции следует рассматривать как кратковременный ток. Индуцированные заряды, так же как и заряды, сообщенные проводнику извне, могут быть отведены к земле (они «свободны»).

§ 15. ЭНЕРГИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЗАРЯДОВ

Введение понятия потенциала существенно облегчает исследование энергетической стороны взаимодействий зарядов между собой и с полем.

Пусть q_1 и q_2 — два точечных одноименных заряда, расположенных на расстоянии r друг от друга в неограниченной однородной диэлектрической среде (рис. 31). Через φ_{12} и φ_{21} обозначаем потенциалы поля в точках M_1 и M_2, в которых расположены эти заряды; при этом надо учесть, что φ_{12} — потенциал поля, обусловленного зарядом q_2 в точке M_1, где находится заряд q_1; соответственно φ_{21} — потенциал в точке M_2, обусловленный зарядом q_1.

При перемещении заряда q_2 из бесконечности в точку M_2 внешние силы совершают работу

$$-A_\infty=q_2\varphi_{21}=\frac{q_2q_1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}=W$$

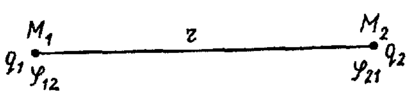

Рис. 31

(заряд q_1 при этом фиксирован). Эта работа определяет потенциальную энергию заряда q_2 в точке M_2. Величину $+A_\infty$ можно рассматривать как работу поля заряда q_1 по выталкиванию заряда q_2 на бесконечность за счет потенциальной энергии W заряда q_2 в поле заряда q_1.

Таким же образом можно найти потенциальную энергию заряда q_1 в точке M_1:

$$-A_\infty = q_1\varphi_{12} = \frac{q_1 q_2}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r} = W.$$

Здесь следует, конечно, говорить об энергии взаимодействия обоих зарядов, и поэтому выражение для W обычно записывают в симметричной форме:

$$W = \frac{1}{2}(q_1\varphi_{12} + q_2\varphi_{21}). \tag{15.1}$$

В случае разноименных зарядов, т. е. при наличии сил притяжения, энергия взаимодействия имеет отрицательный знак.

Энергию взаимодействия системы из трех точечных зарядов q_1, q_2, q_3 можно определить, записав для каждой пары этих зарядов выражение типа (15.1):

$$\left.\begin{aligned} W_1 &= \frac{1}{2}(q_1\varphi_{12} + q_2\varphi_{21}),\\ W_2 &= \frac{1}{2}(q_1\varphi_{13} + q_3\varphi_{31}),\\ W_3 &= \frac{1}{2}(q_2\varphi_{23} + q_3\varphi_{32}). \end{aligned}\right| \tag{15.2}$$

При сложении этих выражений получим:

$$W = \frac{1}{2}[q_1(\varphi_{12} + \varphi_{13}) + q_2(\varphi_{21} + \varphi_{23}) + q_3(\varphi_{31} + \varphi_{32})], \tag{15.3}$$

где в каждой круглой скобке указан потенциал, создаваемый в данной точке двумя другими зарядами. Введя обозначение $\varphi_1 = \varphi_{12} + \varphi_{13}$ и т. д., имеем для трех зарядов ($k = 3$):

$$W = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{3} q_k\varphi_k,$$

а в случае n зарядов

$$W = \frac{1}{2}\sum_{k=1}^{n} q_k\varphi_k. \tag{15.4}$$

В общем случае произвольного распределения зарядов разлагают общий заряд на совокупность элементарных объемных зарядов ρdV и поверхностных зарядов σdS и применяют к ним формулу (15.4), переходя от суммирования к интегрированию:

$$W = \frac{1}{2}\int_V \rho\varphi\, dV + \frac{1}{2}\int_S \sigma\varphi dS, \tag{15.5}$$

где φ — потенциал поля всех объемных и поверхностных зарядов в элементе объема dV или на элементе поверхности dS.