

ГЛАВА III

ПРОВОДНИКИ И ДИЭЛЕКТРИКИ

§ 9. Проводники в электростатическом поле

Наэлектризует какое-либо тело, т. е. сообщим ему некоторый заряд q . Тогда, как показывает опыт, в зависимости от строения и свойств тела этот заряд или перераспределится по телу, или же останется в том месте, где произведена электризация. Те тела, в которых электрический заряд может свободно перемещаться по всему телу, называются проводниками электричества. Тела же, в которых заряды не могут перемещаться из одной части в другую, называются изоляторами, или диэлектриками. Проводниками являются все металлы, а также электролиты и ионизованные газы. Такие вещества, как слюда, стекло, эбонит, фарфор, чистая вода, являются диэлектриками.

Указанное деление является до некоторой степени условным и зависит от длительности наблюдения. В быстропеременных полях (например, для рентгеновых лучей, в которых электрическое поле меняет свое направление на противоположное за период $T \approx 10^{-18} - 10^{-20}$ сек) металлы будут вести себя, как диэлектрики, поскольку заряд за время изменения электрического поля не успеет переместиться по телу на сколько-нибудь заметное расстояние. Известна, далее, большая группа тел, обладающих способностью переносить заряд, но значительно слабее, чем в металлах; эти тела называются полупроводниками. Наконец, даже в таком типичном диэлектрике, как стекло, при достаточно длительном наблюдении (месяцы, годы) можно обнаружить постепенное перераспределение заряда по всему телу.

Огромная количественная разница в проводимости тел обуславливает резкие качественные различия в их поведении и оправдывает введенное выше деление тел на проводники и диэлектрики в электростатике, т. е. для статических полей, практически не изменяющихся в течение наблюдения. Кроме того, следует указать, что разница в проводимости различных тел в свою очередь обусловлена качеств-

венной разницей в строении этих тел, в распределении и подвижности составляющих их микроскопических электрических зарядов (электронов, ионов, атомных ядер).

Исторически деление тел на проводники и диэлектрики относится ко времени начала изучения электризации тел при трении. Долгое время считалось, что электризоваться при трении могут только тела, в настоящее время называемые диэлектриками. Только в начале прошлого века первым русским электротехником В. В. Петровым была экспериментально показана возможность электризации металлов трением («стеганием»). Трудность электризации металлических тел трением, очевидно, была связана с тем, что заряд, выделявшийся в местах натирания, распределялся по всему телу и соединенным с ним телам, в частности и по телу экспериментатора.

Вопросы строения проводников и механизма перемещения зарядов в них будут разбираться подробнее в следующем разделе, посвященном законам электрического тока. Пока же мы определим проводники как тела, в которых электрические заряды способны перемещаться под действием сколь угодно слабого электростатического поля. При электризации проводника сообщенный ему заряд будет перераспределяться до тех пор, пока в любой точке внутри проводника напряженность электрического поля, создаваемого данным распределением зарядов, не станет равной нулю:

$$E_{\text{провод}} = 0. \quad (9.1)$$

Из (8.21) тогда следует, что

$$\Phi_{\text{провод}} = \text{const}, \quad (9.2)$$

т.е. электрический потенциал всех точек внутри и на поверхности проводника одинаков. Сообщенный проводнику избыточный заряд вследствие взаимного отталкивания составляющих его микрозарядов должен, очевидно, распределиться по поверхности проводника. Это распределение зависит от формы проводника и должно быть таким, чтобы создаваемое им внутри проводника поле удовлетворяло условиям стационарности (9.1) и (9.2). Из постоянства потенциала вдоль поверхности следует, что линии электрического поля в изоляторах, окружающих проводник, должны быть перпендикулярны к поверхности проводника, как это показано на рис. 1.35.

Построив (рис. 1.35) бесконечно малый цилиндр, пересекающий границу проводник — изолятор, и применив к этому цилиндру теорему

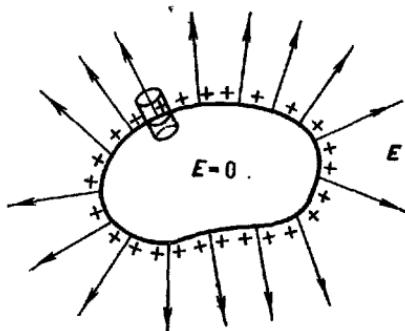


Рис. 1.35.

Гаусса, можно показать, что на границе

$$\left. \begin{aligned} D &= D_n = k_0 4\pi\sigma \\ E &= E_n = k_0 \frac{4\pi\sigma}{\epsilon_0 e}, \end{aligned} \right\} \quad (9.3)$$

и

где σ — поверхностная плотность заряда на проводнике.

В проводниках могут свободно перемещаться не только заряды, принесенные извне, но и микроскопические заряды, из которых

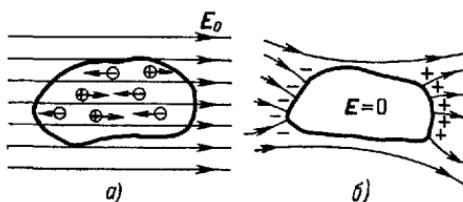


Рис. 1.36.

состоят атомы и молекулы проводника (электроны, ионы). Поэтому при помещении незаряженного проводника во внешнее электрическое поле E_0 , свободные микроскопические заряды будут перемещаться к его поверхности, положительные — по полю, а отрицательные — против поля (см.

рис. 1.36, а). На одном конце проводника будет скапливаться избыток положительного заряда, а на другом — избыток отрицательного до тех пор, пока создаваемое этими зарядами дополнительное поле $E_{\text{доп}}$ не скомпенсирует внешнее поле E_0 во всех точках внутри проводника. При этом суммарное поле

$$E = E_0 + E_{\text{доп}} \quad (9.4)$$

внутри проводника и на его поверхности будет удовлетворять условиям (9.1) — (9.3), а вблизи проводника будет заметно отличаться от своего первоначального значения E_0 (рис. 1.36, б). Заряды на противоположных краях проводника называются индуктированными, или наведенными.

Линии суммарного поля E и вектора D будут частично кончаться на индуцированных отрицательных зарядах и вновь начинаться (в таком же количестве) на индуцированных положительных зарядах. Эквидистантные поверхности $\phi = \text{const}$ будут огибать проводник, а одна из них, потенциал которой равен потенциалу проводника, будет пересечена последним (рис. 1.37).

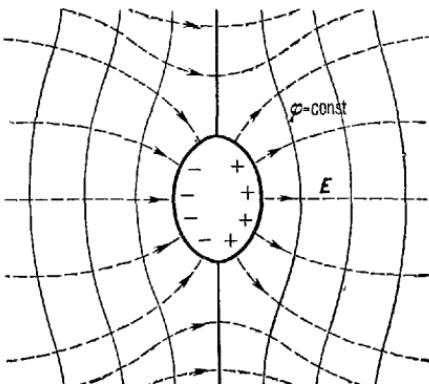


Рис. 1.37.

Следует помнить, что в электростатике поверхность любого проводника, а следовательно, и системы соединенных проводников образует одну эквипотенциальную поверхность.

Возникновение индуцированных зарядов на проводнике, помещенном в электрическое поле, используется для зарядки проводников при помощи так называемых электростатических индукционных машин. Если отвести индуцированный заряд одного

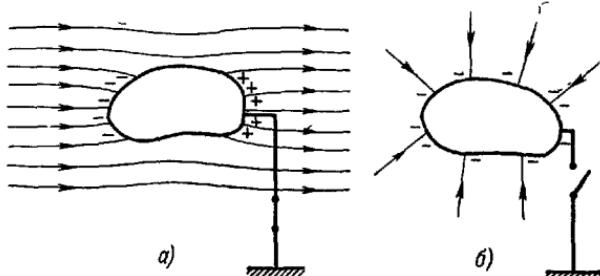


Рис. 1.38.

знака на другой проводник (например, в землю) и отключить последний, то первый проводник останется заряженным электричеством противоположного знака (рис. 1.38, а и б).

Отсутствие поля внутри проводника, помещенного в электрическое поле, широко применяется в технике для электростатической защиты от внешних электрических полей (экранировки) различных электрических приборов и проводов.

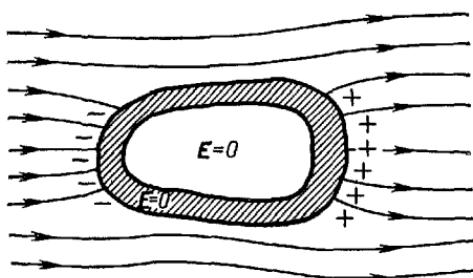


Рис. 1.39

Очевидно, поскольку внутри проводника $E=0$ и $\phi=\text{const}$, наличие полостей внутри проводника никак не скажется на распределении зарядов и значениях E и ϕ . Следовательно, в замкнутой полости внутри проводника (рис. 1.39) всегда $E=0$ и $\phi=\text{const}$. Если прибор должен быть защищен от воздействия вне его электрического поля, то его можно поместить в подобной замкнутой

полости внутри проводника. Заметим, что, как правило, достаточной электростатической защитой являются не только сплошные

металлические стенки полости, но и замкнутые экраны из густой металлической сетки.

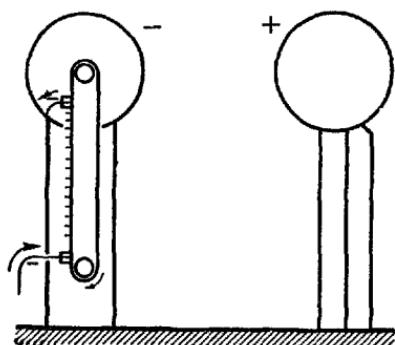


Рис. 1.40.

Если поместить на внутреннюю поверхность полого проводника электрический заряд, то этот заряд немедленно перейдет на наружную поверхность проводника, повышая потенциал последнего. Этим пользуются в электростатических генераторах, применяемых в ядерной технике. На рис. 1.40 изображен схематический разрез генератора Ван-де-Граафа. Электрический заряд передается бесконечной непроводящей ленте, переносящей его внутрь большой металлической сферы. Там заряд снимается и переходит на наружную поверхность проводника. Таким образом удается постепенно сообщить сфере очень большой заряд и достигнуть разности потенциалов в несколько миллионов вольт.

§ 10. Диэлектрики в электростатическом поле

В идеальном диэлектрике нет свободных зарядов, способных под действием электрического поля перемещаться через весь диэлектрик. Атомы и молекулы диэлектрика содержат равные количества положительных и отрицательных микроскопических зарядов и в целом электрически нейтральны. Как указывалось выше, в § 4, электрические поля, определяющие взаимодействие микроскопических зарядов, имеют внутри атомов величину порядка

$$10^{11} \text{ н/к} = 10^{11} \text{ дж/к} \cdot \text{м} = 10^{11} \text{ в/м}$$

и во много раз превышают величину максимальных достижимых на практике макроскопических полей ($\sim 10^7 \text{ в/м}$). Этим объясняется высокая устойчивость атомов и молекул во внешних электрических полях и относительно слабое воздействие этих полей на стационарное распределение зарядов внутри атома.

Характер этого воздействия зависит от конкретного строения тела. В зависимости от строения мы можем разделить все диэлектрические вещества на три большие группы.

1. К первой группе принадлежат диэлектрики, у которых «центры тяжести» положительных и отрицательных зарядов совпадают. Таковы, например, парафин, бензол и ряд других углеводородов,