

1.23. Проводники в электрическом поле

1.23.a Распределение зарядов в проводнике

В проводниках, в отличие от диэлектриков, концентрация свободных носителей заряда очень велика $\sim 10^{23} \text{ см}^{-3}$. Эти заряды перемещаются по проводнику под воздействием сколь угодно малой силы.

Если проводник поместить во внешнее электрическое поле, то заряды начнут перемещаться, потечет ток. Это будет продолжаться до тех пор, пока поле зарядов, перераспределившихся по объему проводника, не скомпенсирует внешнее поле внутри проводника.

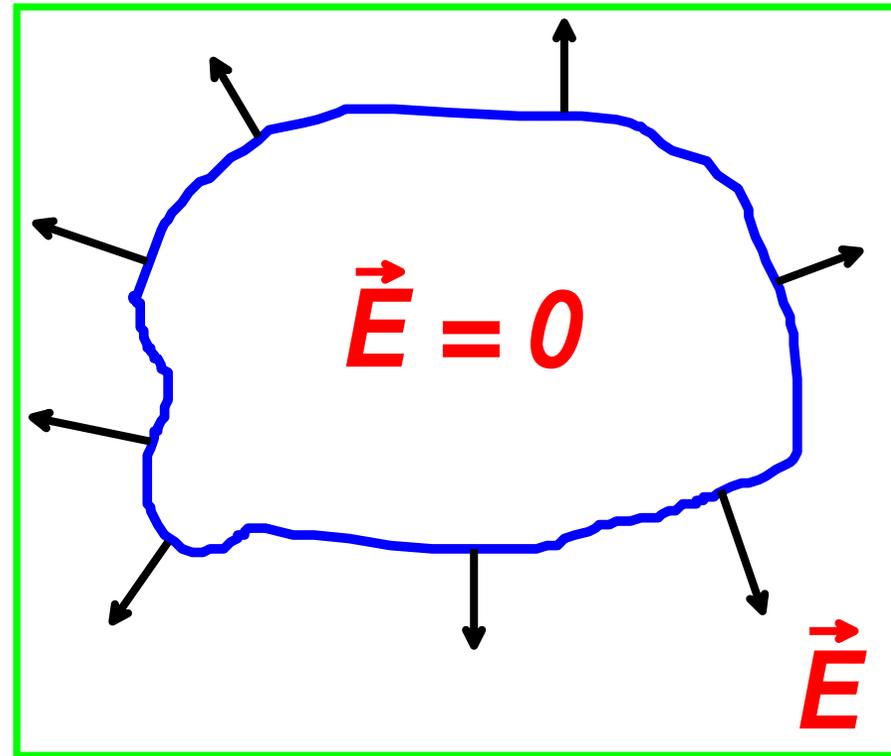
В результате, в проводнике за короткое время устанавливается равновесное распределение зарядов, при котором : 1) электрическое поле внутри проводника всюду равно нулю $E = 0$

Поэтому потенциал во всех точках внутри проводника и на его поверхности одинаковый.

Следовательно, *поверхность проводника является эквипотенциальной поверхностью.*

2) Отсюда вытекает, что *вектор напряженности электрического поля в каждой точке внешней поверхности проводника направлен по нормали к этой поверхности*

$$\vec{E} = \vec{E}_n \quad (1.23.1)$$



Если проводнику сообщить заряд Q , то он распределится так, чтобы соблюдались оба условия равновесия (1,2). Поэтому **электрическое поле внутри проводника равно нулю**

$$\vec{E} = 0$$

Вместе с ним **равно нулю и электрическое смещение**

$$\vec{D} = 0$$

По теореме **Гаусса** будет равен нулю и поток вектора смещения через любую замкнутую поверхность S , погруженную в проводник

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = q = 0$$

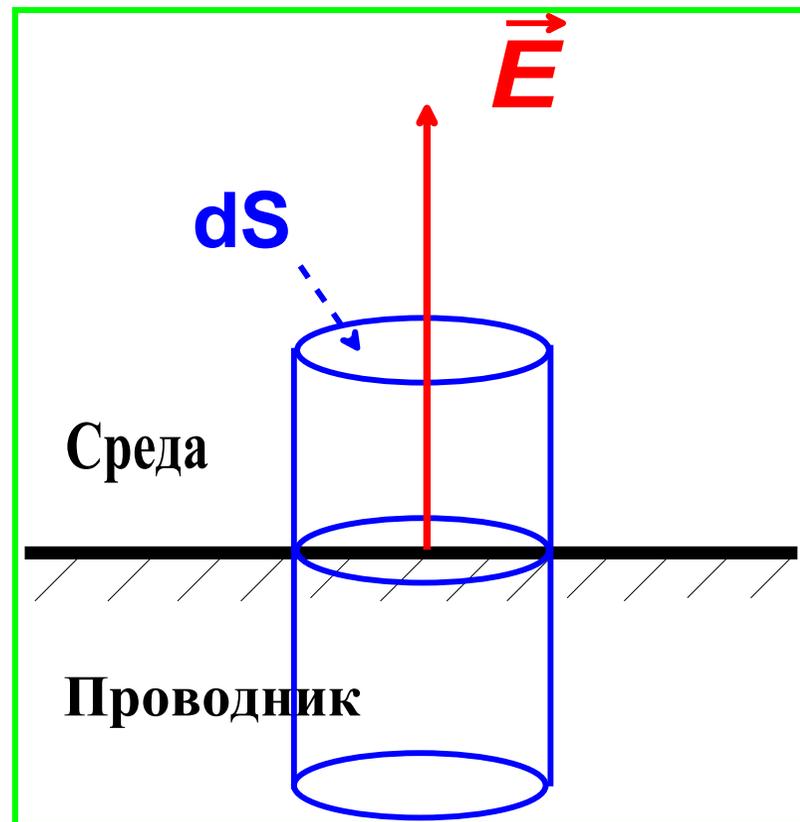
Следовательно, внутри поверхности S зарядов нет и *весь сообщенный проводнику заряд Q располагается только на его поверхности с некоторой поверхностной плотностью σ .*

Найдем напряженность электрического поля вблизи поверхности заряженного проводника.

Выберем около границы проводника небольшую цилиндрическую поверхность с основанием dS .

Поток вектора смещения через часть поверхности, находящуюся в проводнике, равен нулю, так как там

$$\vec{D} = 0$$



На боковой поверхности вне проводника $D_n = 0$,
поскольку поле перпендикулярно к поверхности.

На внешнем основании $D = D_n$, поэтому суммарный
поток смещения через поверхность цилиндра равен потоку
через верхнее основание DdS .

Внутри цилиндра находится *сторонний* заряд σdS .
По теореме **Гаусса** он равен потоку вектора смещения
через поверхность цилиндра $DdS = \sigma dS \rightarrow D = \sigma$

Поскольку $D = \varepsilon\varepsilon_0 E$

то

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} \quad (1.23.2)$$

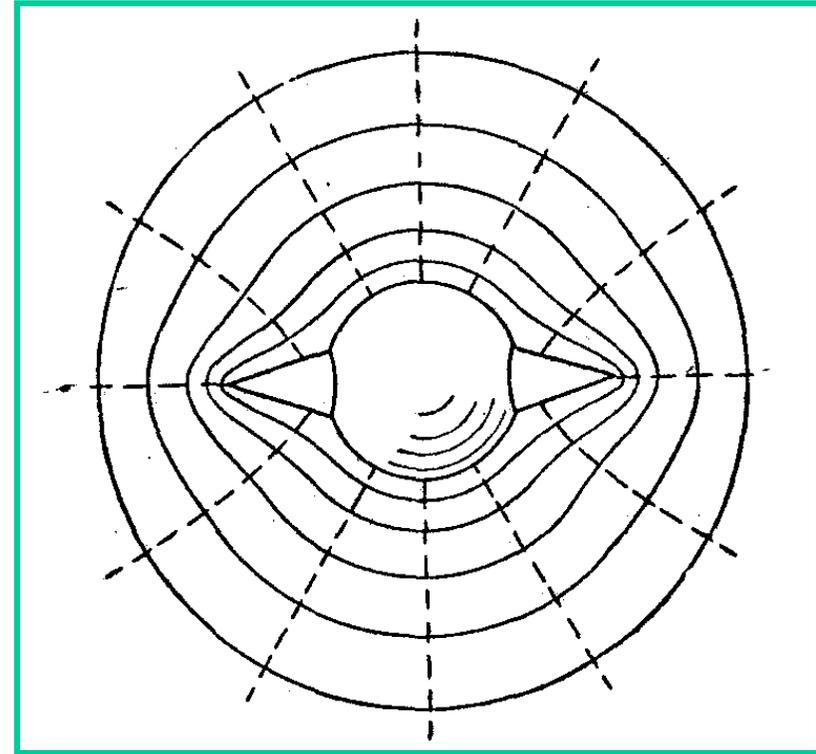
где ε - диэлектрическая проницаемость среды,
окружающей проводник.

Следовательно, *напряженность поля у поверхности проводника определяется поверхностной плотностью зарядов и диэлектрической проницаемостью окружающей среды.*

Формула (1.23.2) справедлива для поверхности любой формы. Вблизи заряженного проводника эквипотенциальные поверхности похожи на его поверхность, а вдали от него – близки к сферам.

Эквипотенциальные поверхности расположены *гуще около выступов и реже – около углублений.*

Поэтому *у остриев проводника напряженность поля наибольшая.* Здесь же максимальна и плотность поверхностных зарядов.



В сильном поле около остриев проводника может возникать ионизация молекул окружающего газа.

При этом ионы газа, заряженные противоположно заряду проводника, притягиваются и нейтрализуют его. Ионы того же знака, что и заряд проводника, отталкиваются от него, и увлекают за собой другие, нейтральные молекулы газа.

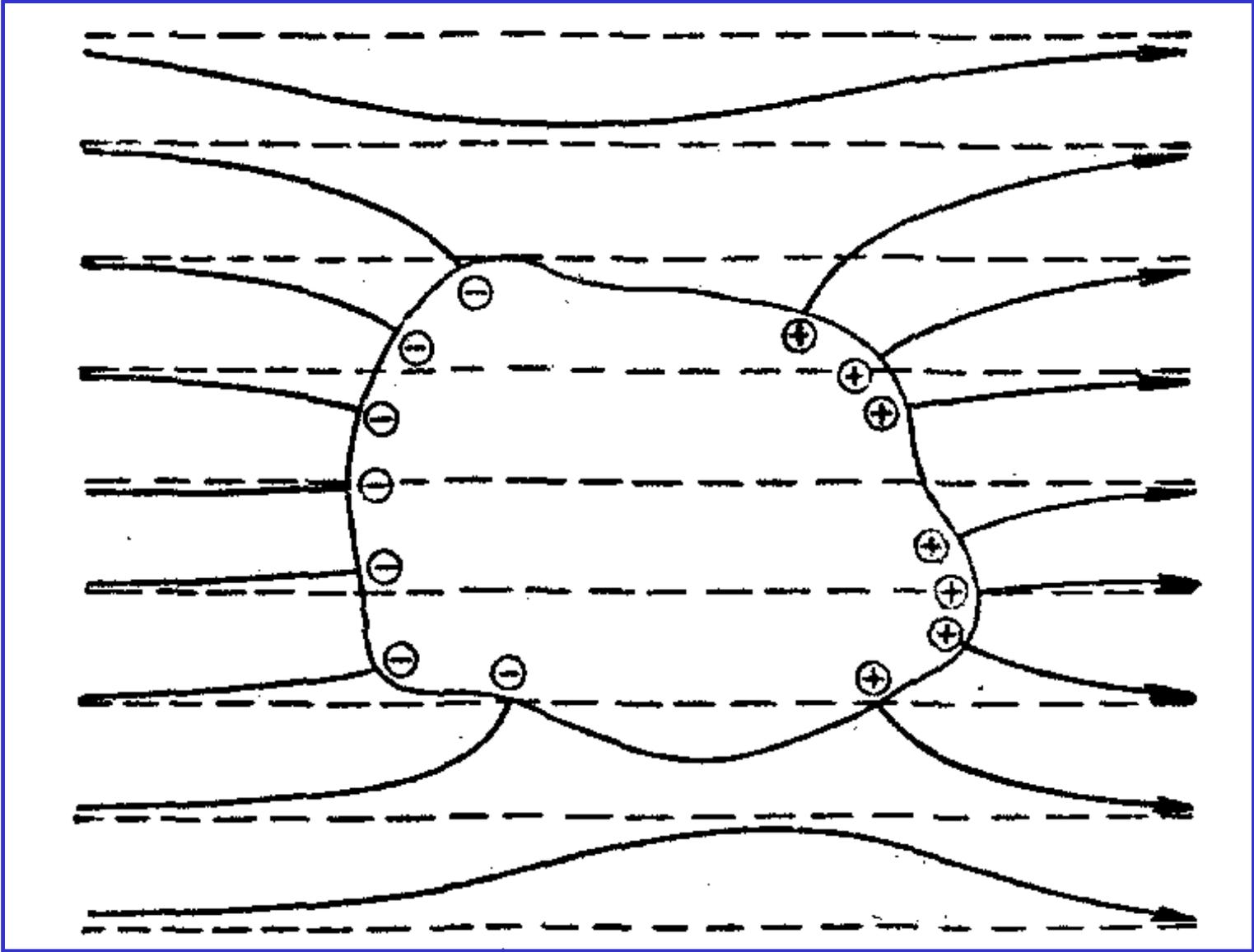
В результате возникает движение газа, называемое *электрическим ветром*. При этом заряд проводника уменьшается, он как бы стекает с острия и уносится ветром. Данное явление называют *истечением заряда с острия*.

1.23.б Проводник во внешнем электрическом поле

При внесении **незаряженного** проводника в электрическое поле носители заряда в нем приходят в движение – положительные заряды движутся вдоль поля, отрицательные – против поля.

В результате на поверхности проводника возникают *индуцированные заряды*, которые создают поле, направленное против внешнего поля. Перераспределение зарядов продолжается до тех пор, пока не выполняются условия равновесия (1,2) и поле внутри проводника не станет равным нулю.

Поэтому **нейтральный проводник разрывает электрическое поле** – часть силовых линий заканчивается на индуцированных отрицательных зарядах и вновь начинается на индуцированных положительных зарядах в проводнике.



Индукцированные заряды распределяются на внешней поверхности проводника.

Если в проводнике имеется полость, то в равновесном распределении зарядов *поле внутри полости равно нулю*.

Это используют *для защиты приборов от внешних полей*, окружая их проводящим экраном. Внешнее поле компенсируется внутри экрана полем индуцированных зарядов проводника.

В качестве экрана используют и густую металлическую сетку.

1.24. Електроемкость

Распределение заряда на внешней поверхности проводника зависит от его размеров и формы, но *не зависит от величины заряда*.

Это значит, что различные по величине заряды распределяются по поверхности проводника одинаковым образом.

Поэтому отношение поверхностных плотностей заряда в разных точках поверхности проводника одно и тоже при любом заряде.

Если к заряженному проводнику добавить дополнительный заряд, то он распределится также, как и первоначальный.

При этом в пропорциональное число раз увеличивается и электрическое поле, созданное проводником, а вместе с ним и работа, необходимая для переноса единичного положительного заряда из бесконечности на поверхность проводника, то есть потенциал проводника.

Поэтому *заряд проводника пропорционален его потенциалу*

$$q = C \varphi \quad (1.24.1)$$

где C – коэффициент пропорциональности, называемый **электроемкостью**.

Для одиночного заряда формула (1.24.1) вытекает из выражения (1.9.4) для потенциала, создаваемого этим зарядом.

Перепишем (1.24.1) в виде

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (1.24.2)$$

Следовательно, *емкость равна заряду, который увеличивает потенциал проводника на 1 В.*

За единицу емкости принимают емкость такого проводника, потенциал которого меняется на **1 В** при сообщении ему заряда в **1 Кл**, она называется **фарадом (Ф)**

$$1 \text{ Ф} = \frac{1 \text{ Кл}}{1 \text{ В}}$$

1.24.a Емкость заряженного шара

Пусть шар радиуса R равномерно заряжен зарядом q и погружен в диэлектрик с диэлектрической проницаемостью ϵ . Найдем потенциал и емкость шара.

Используем формулу для напряженности электрического поля вне шара (1.22.2)

$$E = k \frac{q}{\epsilon r^2}$$

С другой стороны

$$E = -\frac{\partial \varphi}{\partial r} \rightarrow d\varphi = -E dr$$

интегрируя от R до ∞ , получаем

$$\int_R^{\infty} d\varphi = \varphi(\infty) - \varphi(R) = - \int_R^{\infty} k \frac{q}{\varepsilon r^2} dr = -k \frac{q}{\varepsilon R}$$

Полагаем, как и ранее $\varphi(\infty) = 0$

тогда *потенциал шара* равен

$$\varphi(R) = k \frac{q}{\varepsilon R} \quad (1.24.3)$$

Подставляя в (1.24.2), находим

емкость шара

$$C = \frac{q}{\varphi} = k \varepsilon R \quad (1.24.4)$$