

ЛЕКЦИЯ № 3

7. Электрическое поле в веществе. Проводники и диэлектрики

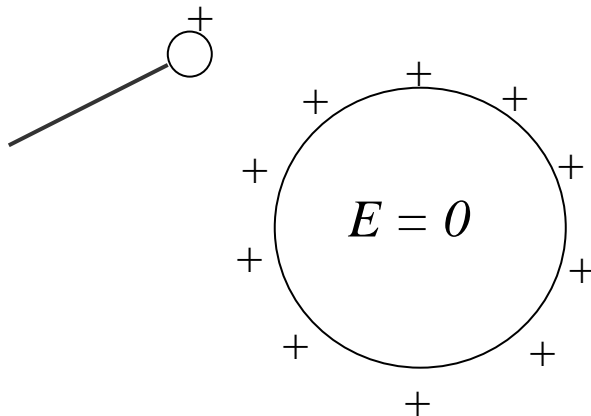
Все вещества состоят из молекул, атомов, в которых находятся электрические заряды.

Вещества, в которых есть свободные заряженные частицы, образуют класс проводников.

Вещества, в которых нет свободных заряженных частиц (все заряды связаны), образуют класс непроводников (диэлектриков).

Если на первоначально нейтральный проводник наносить электрический заряд, то свободные заряды внутри проводника будут двигаться до тех пор, пока электрическое поле внутри проводника не станет равным нулю.

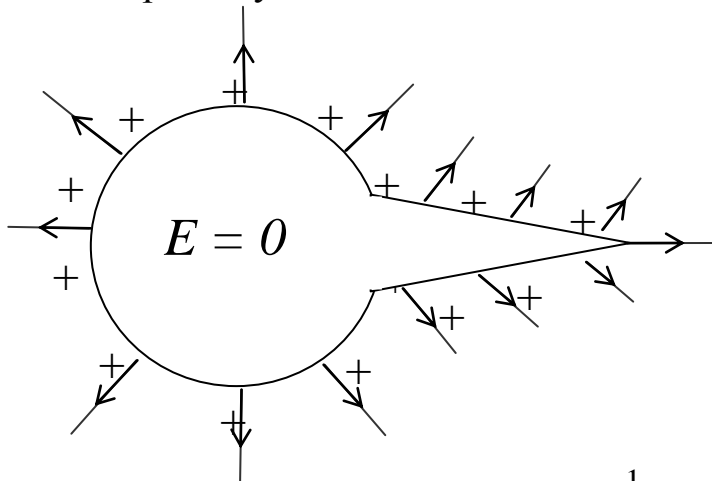
На поверхности проводника $\Delta\varphi = 0$ (эквипотенциальная поверхность) и если поверхность не имеет выступов (ровная), то заряд равномерно растечется по всей площади проводника (причем заряд распределится на внешней поверхности проводника).



$$\varphi = \text{const}$$

$$\sigma = \frac{q}{S} = \text{const}$$

А если поверхность не ровная, с выступами, то поверхностная плотность заряда на остриях будет больше.

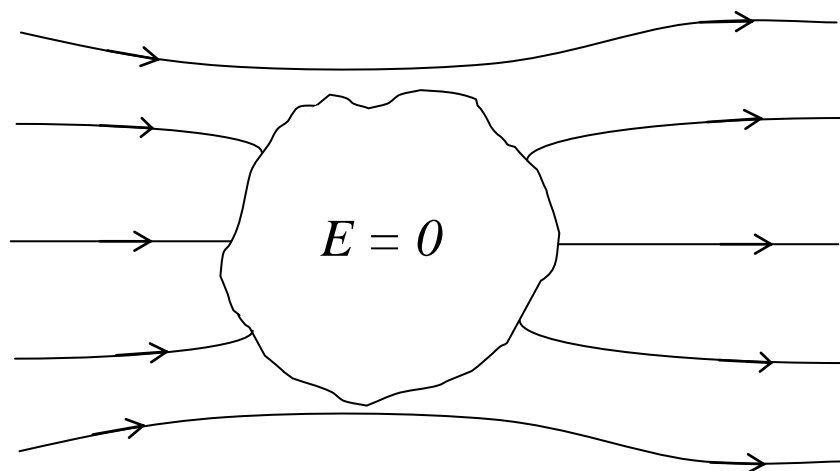


$$\varphi = \text{const}$$

$$\sigma = \frac{dq}{dS} \neq \text{const}$$

$$E = 2\pi k_e |\sigma|$$

Если проводник поместить в электрическое поле, то свободные заряды внутри проводника будут двигаться до тех пор, пока электрическое поле внутри проводника не станет равным нулю.



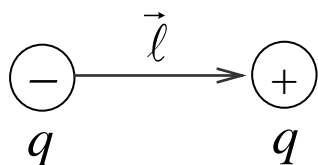
Это свойство проводников используется для электростатической защиты (экранировка).

В диэлектриках нет свободных зарядов, все заряды находятся в связанном состоянии.

Все молекулы делят на полярные и неполярные.

Полярная молекула – это молекула, в которой центры положительного и отрицательного зарядов не совпадают.

Систему из двух одинаковых по модулю, но противоположных по знаку электрических зарядов называют электрическим диполем.



\vec{l} – плечо диполя

$$\vec{p}_e = q\vec{l}, \quad (3-1)$$

– электрический дипольный момент молекулы, $[p_e] = \text{Кл} \cdot \text{м}$.

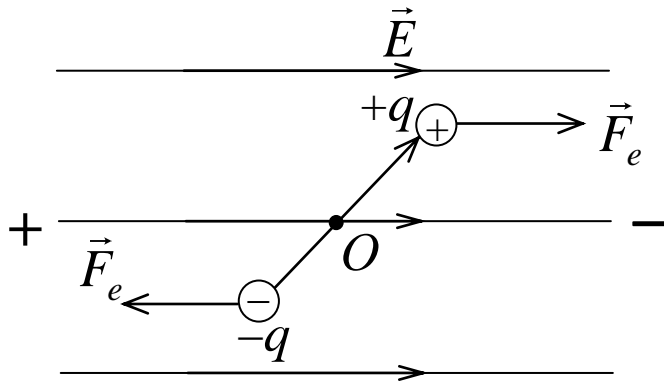
Неполярная молекула – это молекула, в которой центры положительного и отрицательного зарядов совпадают. Для таких молекул $\vec{p}_e = 0$.

Если диэлектрик поместить в электрическое поле, то он будет поляризоваться.

Неполярные молекулы в электрическом поле деформируются и становятся электрическими диполями (деформационная поляризация).

Полярные молекулы (электрические диполи) ориентируются в электрическом поле вдоль силовых линий (ориентационная, электронная поляризация).

Электрический диполь в электрическом поле – на него со стороны поля будет действовать момент пары сил:



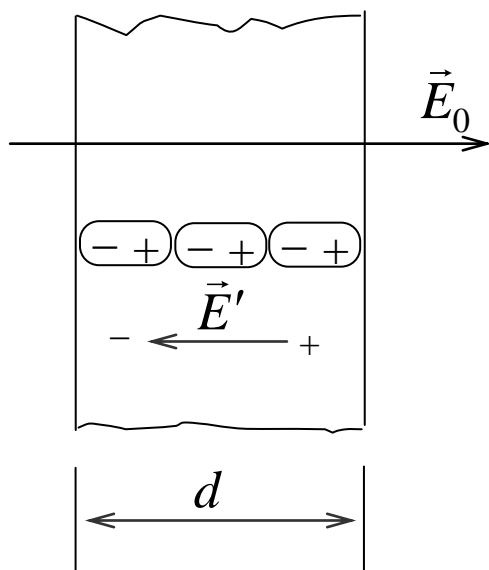
$$\vec{M} = 2[\vec{r} \cdot \vec{F}_e] = 2\left[\frac{\vec{l}}{2} \cdot q\vec{E}\right] = [q\vec{l} \cdot \vec{E}] = [\vec{p}_e \cdot \vec{E}] \quad (3-2)$$

Векторная сумма всех электрических дипольных моментов молекул единицы объема диэлектрика называется **вектором поляризованности вещества**:

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_{ei}}{V}, \quad [P] = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad (3-3)$$

В отсутствии внешнего электрического поля и у полярных и неполярных диэлектриков поляризованность $P = 0$.

Диэлектрик в электрическом поле



\vec{E}_0 – напряженность внешнего электрического поля (поле свободных зарядов в вакууме);

\vec{E}' – напряженность электрического поля связанных зарядов (внутреннее поле в диэлектрике).

Тогда напряженность результирующего поля

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$$

$$E' = 4\pi k_e |\sigma| = 4\pi k_e \frac{Nq}{S} \cdot \frac{d}{d} = 4\pi k_e \frac{\sum p_{ei}}{V} = 4\pi k_e P.$$

$$\vec{E}' = -4\pi k_e \vec{P} = -\frac{\vec{P}}{\epsilon_0}$$

Тогда

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} \rightarrow \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E}_0 \quad (*)$$

Вектор электрической индукции (электрическое смещение):

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \quad [D] = \frac{\text{Кл}}{\text{м}^2} \quad (3-4)$$

Из уравнения $\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \varepsilon_0 \vec{E}_0$ имеем:

$$\vec{P} = \varepsilon_0 (\vec{E}_0 - \vec{E}) = \varepsilon_0 \vec{E} \left(\frac{E_0}{E} - 1 \right) \quad E < E_0!$$

Скалярная физическая величина, показывающая, во сколько раз ослабляется электрическое поле в данном диэлектрике по сравнению с вакуумом, называется диэлектрической проницаемостью диэлектрика.

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} = \frac{F_{e_0}}{F_e} = \frac{\varphi_0}{\varphi}. \quad (3-5)$$

$\varepsilon - 1 = \chi_e$ – электрическая восприимчивость диэлектрика.

$$\vec{P} = \chi_e \varepsilon_0 \vec{E}$$

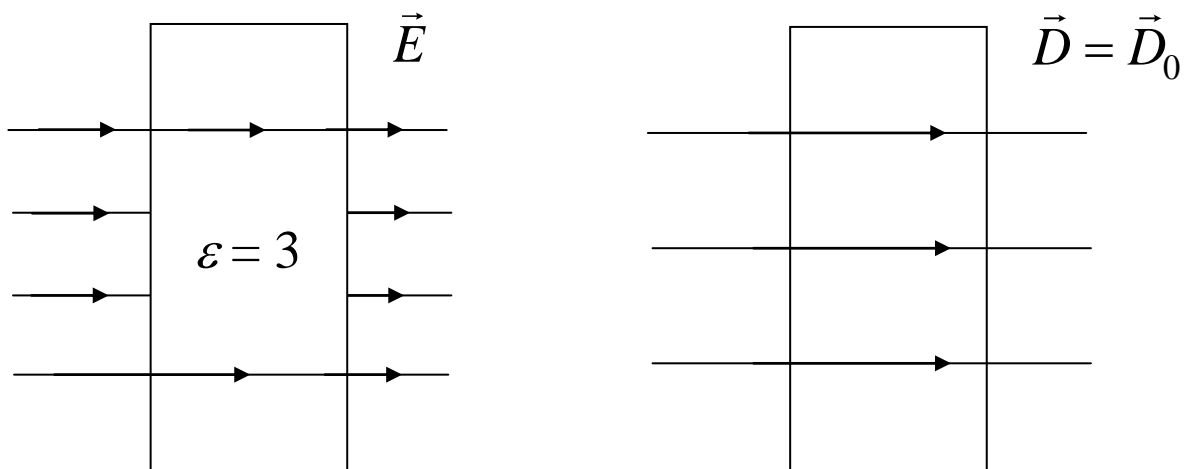
$$\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \chi_e \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}$$

$$\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E} \quad (3-6)$$

Электрическая индукция – вспомогательная характеристика электрического поля, для вакуума ($\varepsilon = 1$) $\vec{D}_0 = \varepsilon_0 \vec{E}_0$.

Электрическое поле можно графически изобразить и с помощью линий вектора \vec{D} . При этом если линии вектора \vec{E} при переходе из вакуума в диэлектрик терпят разрыв (их количество уменьшается в ε раз), то линии вектора \vec{D} проходят через диэлектрик без разрыва ($\vec{D} = \vec{D}_0$).

Линии вектора \vec{E} (силовые линии) и линии вектора \vec{D}



Теорема Гаусса для напряженности электрического поля в диэлектрике утверждает:

$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = 4\pi k_e (\Sigma q_{\text{своб.}} + \Sigma q_{\text{связ.}})$$

Поток вектора напряженности электрического поля через произвольную замкнутую поверхность пропорционален алгебраической сумме свободных и связанных зарядов, находящихся внутри этой поверхности.

Для электрической индукции теорема Гаусса будет формулироваться:

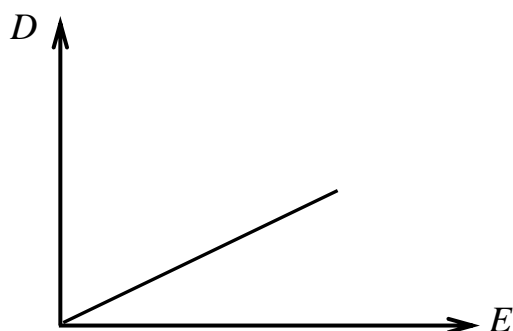
$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \oint_S \epsilon \epsilon_0 \vec{E} d\vec{S} = \oint_S \epsilon_0 \vec{E} d\vec{S} = \epsilon_0 \cdot 4\pi k_e \Sigma q_{\text{св.}} = \Sigma q_{\text{св.}}$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \Sigma q_{i \text{ свобод.}} \quad (3-7)$$

Поток вектора электрической индукции через произвольную замкнутую поверхность равен алгебраической сумме свободных электрических зарядов, находящихся внутри этой поверхности.

Большинство обычных диэлектриков имеет $\chi_e = \text{const}$ (а значит и $\epsilon = \text{const}$).

Тогда



Однако существует целый класс диэлектриков, у которых $\chi_e \neq \text{const}$, т. е. и $\epsilon = f(E)$, причем эта зависимость нелинейная. Эти диэлектрики называют сегнетоэлектриками. Для них характерен гистерезис – явление отставания поляризуемости диэлектрика от изменения внешнего электрического поля.

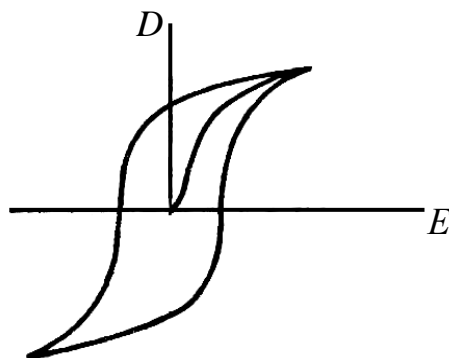


График зависимости $D = f(E)$ за полный цикл переполаризации сегнетоэлектрика называется петлей гистерезиса.

Сегнетоэлектрики \equiv ферромагнетики !