ОБЩАЯ ФИЗИКА. Электричество. Лекция №5

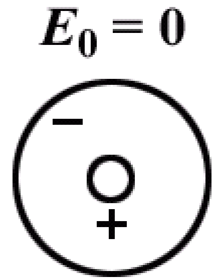
ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Диэлектрики (изоляторы) – это вещества, не способные проводить электрический ток.

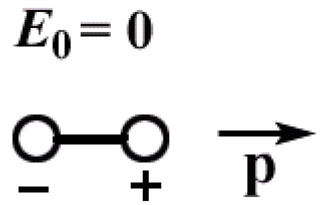
Идеальных изоляторов в природе не существует.

Диэлектрики в зависимости от строения их молекул и внутренней структуры можно разделить на

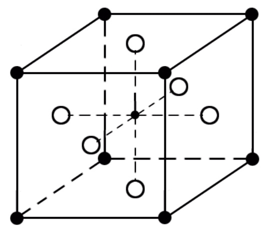
1)неполярные – центры тяжести положительных отрицательных зарядов в отсутствии внешнего электрического поля совпадают – собственный дипольный момент такой молекулы равен нулю



2)полярные – центры тяжести положительных и отрицательных зарядов в отсутствии внешнего электрического поля не совпадают - молекула обладает дипольным моментом

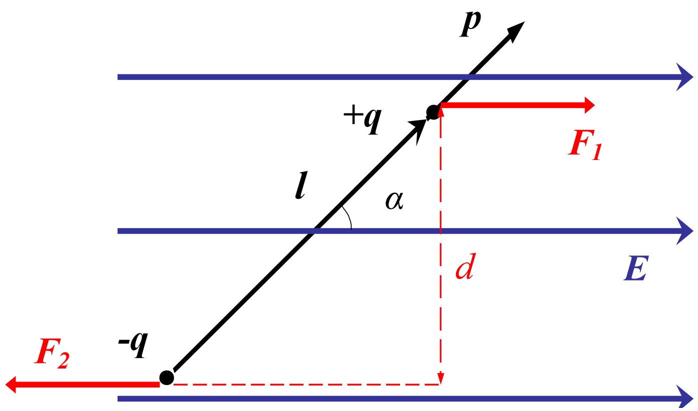


3)ионные диэлектрики – диэлектрик предста собой ионную кристаллическую решетку с чередованием ионов



Диполь в электрическом поле

Пусть диполь (полярная молекула) находится в **однородном** электрическом поле (***E*** = *const*)



$$M = Fl\sin\alpha,$$

$$M = qEl\sin\alpha = qlE\sin\alpha,$$

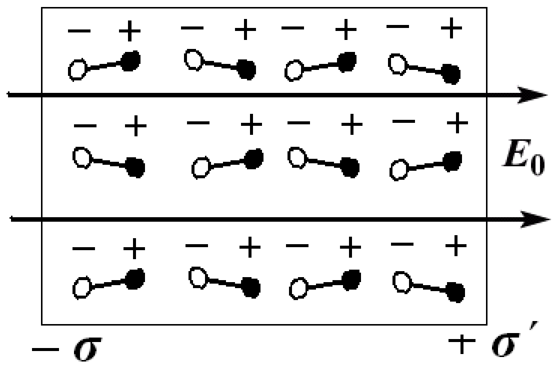
$$\vec{p}_l = q\vec{l}\,.$$

$$\vec{M} = \left[\vec{p}_l \cdot \vec{E}\right]$$

Вращающий момент **М** стремится повернуть диполь и установить его так, чтобы $\vec{p}_l \uparrow\uparrow \vec{E}$

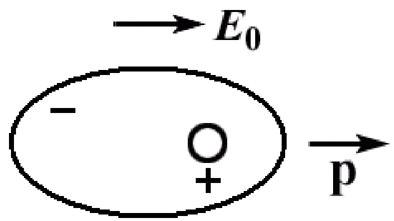
Поляризация диэлектриков

Поляризация диэлектрика – процесс ориентации диполей или появления под действием внешнего электрического поля ориентированных по полю диполей



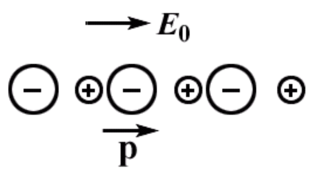
В зависимости от типа диэлектриков будет различаться вид поляризации

1) Полярныедиэлектрики:***ориентационная (дипольная)*** поляризация



2)Неполярные диэлектрики: ***электронная (деформационная) поляризация***

3)Ионные диэлектрики: ***ионная*** поляризация



Вектор поляризации. (Поляризованность)

Дипольный момент диэлектрика определяется суммой дипольных моментов молекул:

$$\vec{p}_V = \sum \vec{p}_{li}$$

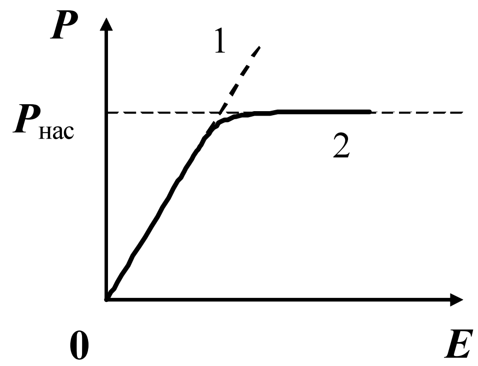
Количественной характеристикой поляризации является физическая величина, называемая ***поляризованностью (вектором поляризации)*** диэлектрика – дипольный момент единичного объема:

$$\vec{P} = \frac{\vec{p}_V}{V} = \frac{\sum\limits_i \vec{p}_{li}}{V}$$

Для изотропного диэлектрика с неполярными молекулами:

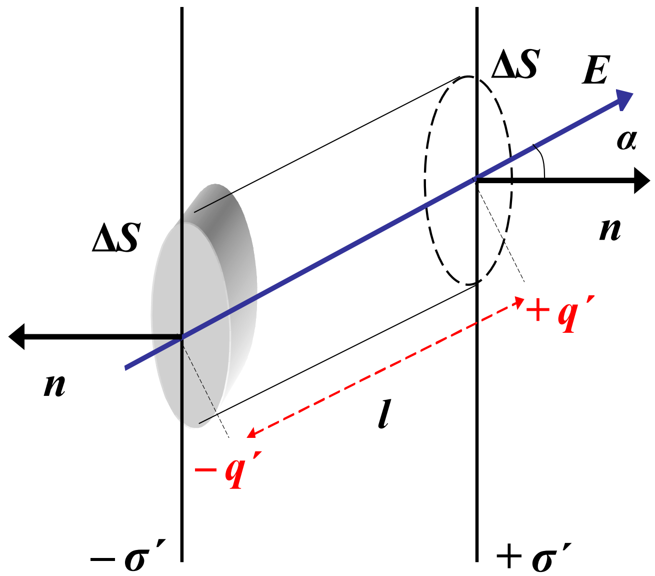
$$\vec{P} = \vec{p}_l \cdot n = \alpha\varepsilon_0 n\vec{E}$$

При больших полях (*E* >> 0) в случае полярного диэлектрика линейная зависимость *P*(*E*) нарушается и выходит на насыщение



Связь между вектором поляризации P и поверхностной плотностью связанных (поляризационных) зарядов

Рассмотрим бесконечную плоскопараллельную пластину из однородного диэлектрика, помещенную в однородное электрическое поле



$$p_l = q \cdot l = \sigma' \cdot \Delta S \cdot l$$

$$p_l = P \cdot \Delta V = P \cdot \Delta S \cdot l \cos\alpha$$

$$P\cos\alpha = \sigma' \quad \Rightarrow \quad P_n = \sigma'$$

$$P_n = \sigma' = \chi \varepsilon_0 E$$

Закон Гаусса для вектора поляризации P

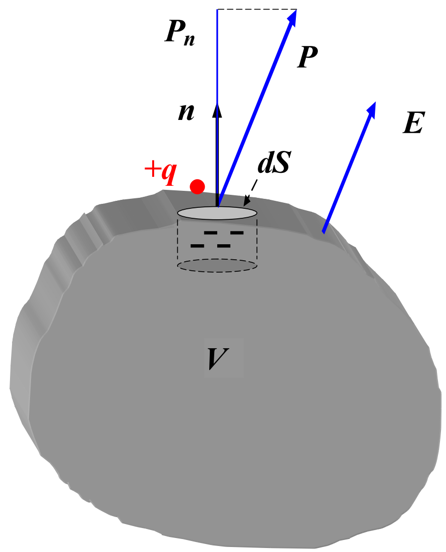
При неоднородной поляризации (например, для однородного диэлектрика, находящегося в неоднородном поле, или для неоднородного диэлектрика) поляризационные заряды возникают в объеме диэлектрика и вектор поляризации ***P*** меняется от точки к точке.

$$dq = \sigma' \cdot dS = P_n \cdot dS = \vec{P} \cdot d\vec{S}$$

$$Q_{\text{выш}} = \sum q_{\text{выш}} = \int_S dq = \int_S \vec{P} d\vec{S}$$

$$Q_{\text{связ}} = \sum q_{\text{связ}} = -\sum q_{\text{выш}} = -\int_S \vec{P} d\vec{S} = -\int_S P_n dS$$

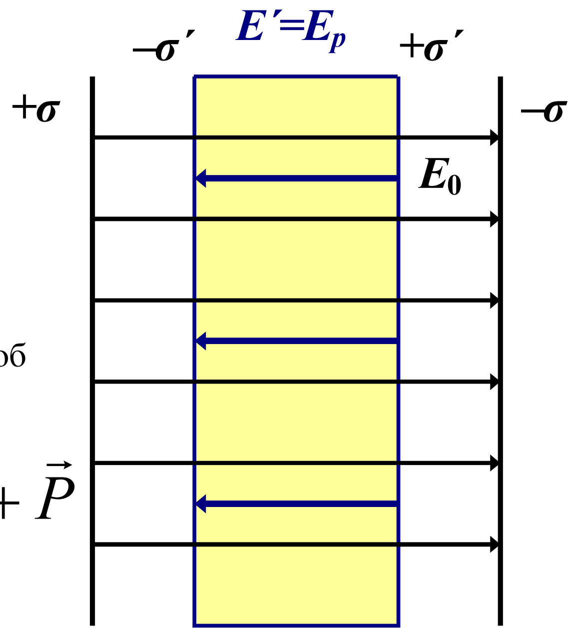
$$-Q_{\text{поляриз}} = -\sum q_{\text{поляриз}} = -\sum q_{\text{связ}} = \int_S \vec{P} d\vec{S}$$



Вектор электростатической индукции. Закон Гаусса для вектора электростатической индукции

Поле в среде отличается от поля в вакууме тем, что оно создается как сторонними, так и связанными (поляризационными) зарядами.

Следовательно, теорема Гаусса приобретает вид:



$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{q_{\text{стор}} + q_{\text{пол}}}{\varepsilon_0} \qquad \oint_S \vec{P}d\vec{S} = -q_{\text{пол}}$$

$$\oint_S \varepsilon_0 \vec{E}d\vec{S} = q_{\text{стор}} + q_{\text{пол}} \qquad \oint_S (\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P})d\vec{S} = q_{\text{своб}}$$

Величина, определяемая соотношением $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$ называется вектором ***электростатической индукции (электрического смещения)***.

$$\oint_S \vec{D}d\vec{S} = q_{\text{стор}}$$

Закон Гаусса для вектора электростатической индукции

Поток вектора электростатической (или просто электрической) индукции) через любую замкнутую поверхность *S* равен алгебраической сумме сторонних зарядов, охватываемых этой поверхностью.

Используя теорему Остоградского-Гаусса, получаем закон Гаусса для вектора **D** в дифференциальном виде:

$$\int_S \vec{D}d\vec{S} = \int_V \mathrm{div}\vec{D}dV = \int_V \rho dV, \quad \Rightarrow \qquad \mathrm{div}\vec{D}=\rho$$

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \vec{P} \qquad \vec{P} = \chi\varepsilon_0\vec{E} \qquad \vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \chi\varepsilon_0\vec{E} = \varepsilon_0(1+\chi)\vec{E}$$

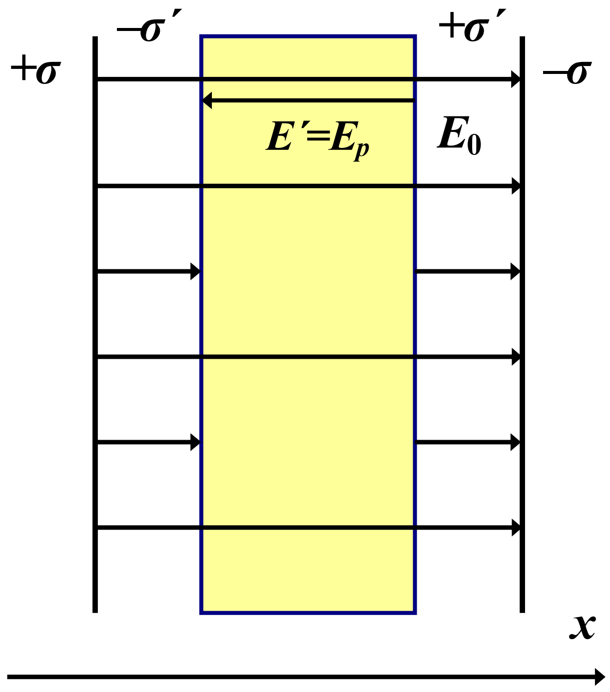
Величина $\varepsilon = 1 + \chi$ называется ***относительной диэлектрической проницаемостью***.

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

Относительная диэлектрическая проницаемость

Поместим диэлектрик в виде бесконечной диэлектрической пластины во внешнее электрическое поле

Диэлектрик поляризуется, и на его поверхности возникают поляризационные (связанные) заряды



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

$$E = E_0 - E'$$

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} \qquad E = E_0 - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$$

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

$$P = \sigma'$$

$$E = E_0 - \frac{\chi\varepsilon_0 E}{\varepsilon_0}$$

$$\mathrm{E}_0 = (1+\chi)\mathrm{E}$$

$$\varepsilon = 1 + \chi$$

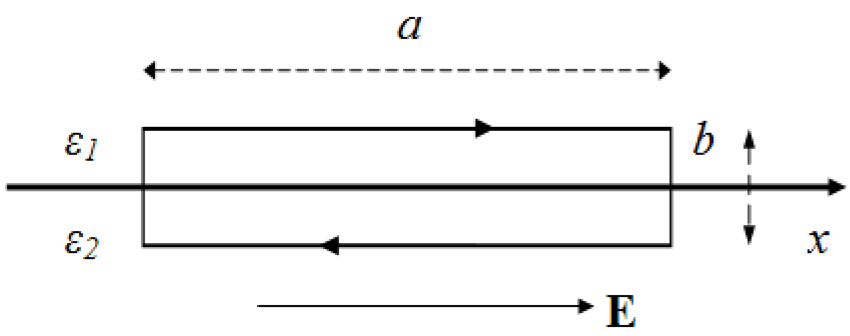
$$\varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

Относительная диэлектрическая проницаемость среды показывает во сколько раз поле в вакууме $\mathbf{E}_0$ больше поля **E** в среде

Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

Пусть имеем два соприкасающихся диэлектрика с различными диэлектрическими проницаемостями ε_1 и ε_2, помещенные во внешнее электрическое поле

$$\oint\limits_l \vec{E}d\vec{l} = 0$$



$$\oint\limits_l \vec{E}d\vec{l} = E_{1x}a - E_{2x}a + \langle E_n \rangle 2b$$

$$(E_{2\tau} - E_{1\tau}) \cdot a = \langle E_n \rangle \cdot 2b$$

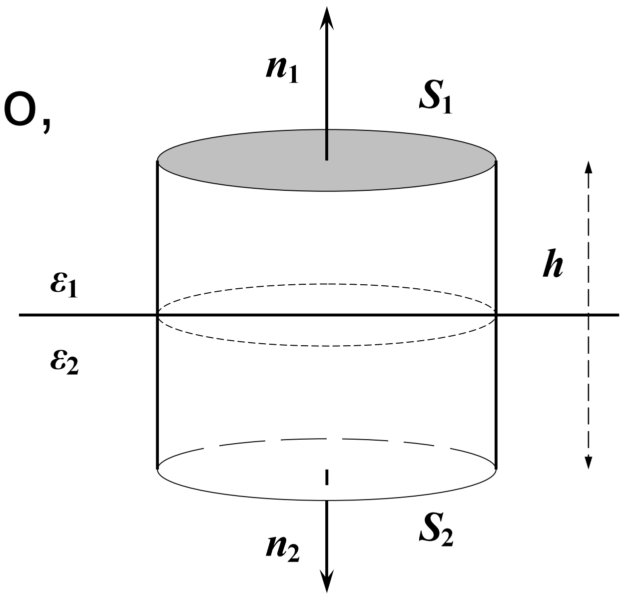
b – мало. $$(E_{2\tau} - E_{1\tau}) \cdot a = 0 \qquad E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

$$\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \qquad \frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

Слайд 12

K1 Kitoboy; 20.09.2013

Выделим на границе раздела диэлектриков цилиндрическую поверхность высотой h. Основание S_1 расположено в первом диэлектрике, S_2 – во втором диэлектрике



Пусть $S_1 = S_2 = S \to 0$. Следовательно, поле в пределах S можно считать однородным

$$\Phi_D = \sum q_i = 0$$

$$\Phi_D = D_{1n}S + D_{2n}S + \left\langle D_n \right\rangle S_{\text{бок}} = 0$$

Высота цилиндра h в пределе может быть сколь угодно малой ($h \to 0$), следовательно, $S_{\text{бок}} \to 0$

$$D_{1n} = -D_{2n}$$

Минус в уравнении объясняется тем, что векторы нормалей $\boldsymbol{n}_1$ и $\boldsymbol{n}_2$ направлены в противоположные стороны. Проекции векторов $\boldsymbol{D}_1$ и $\boldsymbol{D}_2$ на одну и ту же нормаль:

$$D_{1n} = D_{2n}$$

$$\int_S D_{1n} dS = \int_S D_{2n} dS$$

Следовательно, поток вектора $\boldsymbol{D}$ не изменяется при переходе через границу двух сред, что упрощает расчет поля в различных средах.

$$\frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$