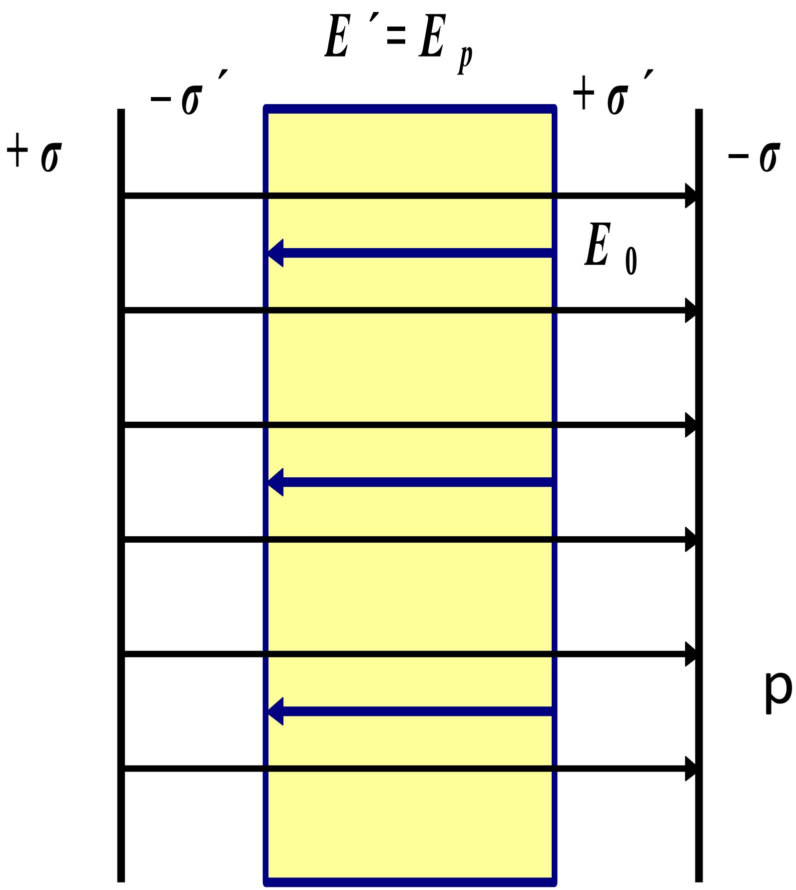
# Вектор электростатической индукции.

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

$$\oint_S \vec{E}d\vec{S} = \frac{q_{своб} + q_{пол}}{\varepsilon_0}$$

# Вектор электростатической индукции.




Свободные заряды создают внешнее поляризующее поле $\boldsymbol{E}_0$, а связанные заряды – добавочное поле поляризованного диэлектрика $\boldsymbol{E}p$.

$$\vec{E}_p \uparrow\downarrow \vec{E}_0$$

результирующее поле в диэлектрике:

$$E = E_0 - E_p < E_0$$

# Вектор электростатической индукции.

По теореме Гауса для векторов $E$ и $P$:

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

$$\Rightarrow \oint_S (\varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) d\vec{S} = q_{своб}$$

$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}}$$

вектор ***электростатической индукции (электрического смещения)***.

# Закон Гаусса для вектора электростатической индукции

$$\boxed{\oint_S \vec{D}d\vec{S} = q_{своб}}$$

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

# Закон Гаусса для вектора электростатической индукции

Закон Гаусса для вектора ***D*** в дифференциальном виде:

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \int_V div\vec{D} dV = \int_V \rho dV$$

$$div\vec{D} = \rho$$

# Связь между векторами *D* и *E*

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

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

$\boxed{\varepsilon = 1 + \chi}$ - ***относительная диэлектрическая проницаемость***.

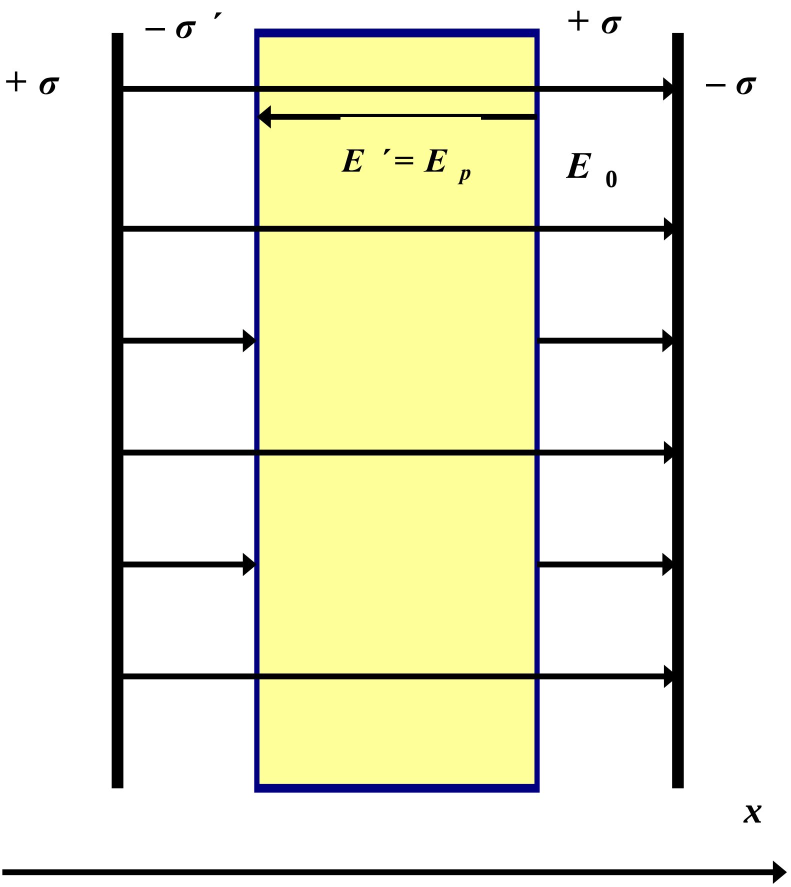
$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon \varepsilon_0 \vec{E}}$$

## Связь между векторами *D* и *E*

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

Вектор **_D_** *характеризует* установившееся **электрическое поле**, создаваемое свободными зарядами, но при таком их распределении, какое имеет место при наличии диэлектрика.

# Относительная диэлектрическая проницаемость

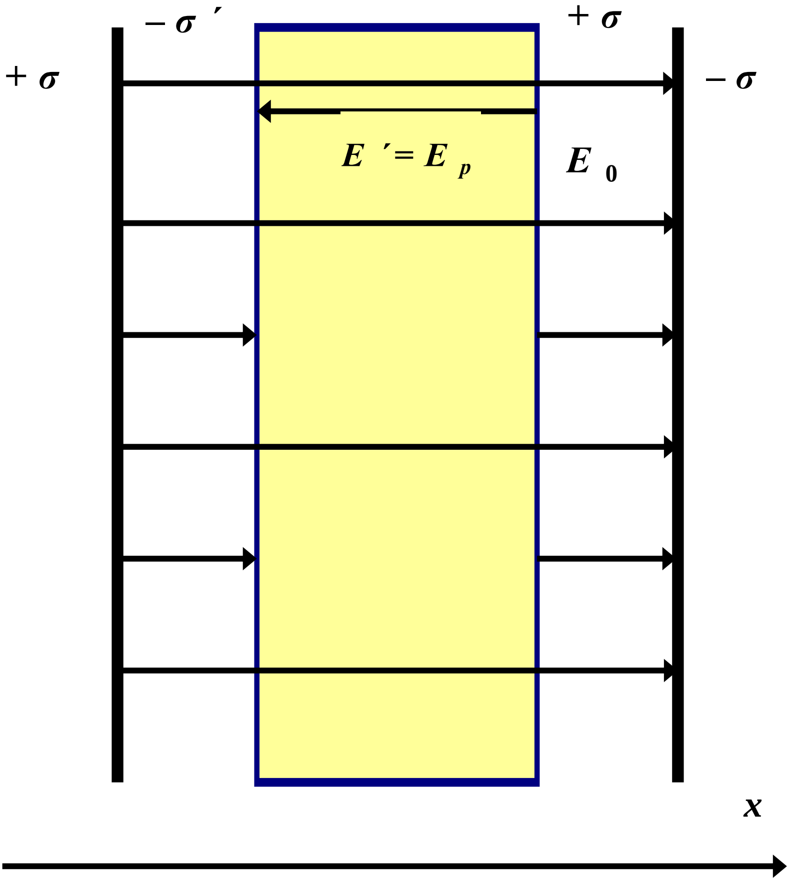



Внешнее поле $E_0$ создается двумя бесконечными пластинами с поверхностной плотностью заряда $+\sigma$ и $-\sigma$.

Результирующее поле в диэлектрике

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

# Относительная диэлектрическая проницаемость




В проекциях на ось $x$:

$$E = E_0 - E'$$

$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$$

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

$$P = \sigma' \qquad \vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$$

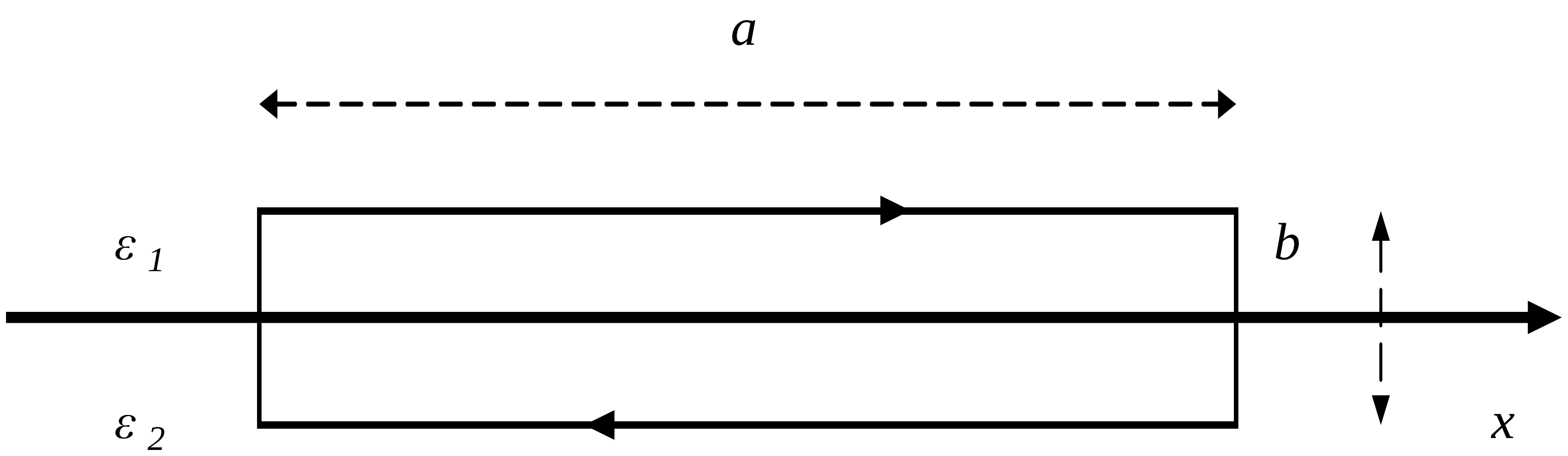
# Относительная диэлектрическая проницаемость

$$E = E_0 - \frac{\chi \varepsilon_0 E}{\varepsilon_0} \qquad E_0 = (1+\chi)E \qquad \varepsilon = 1+\chi$$

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

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

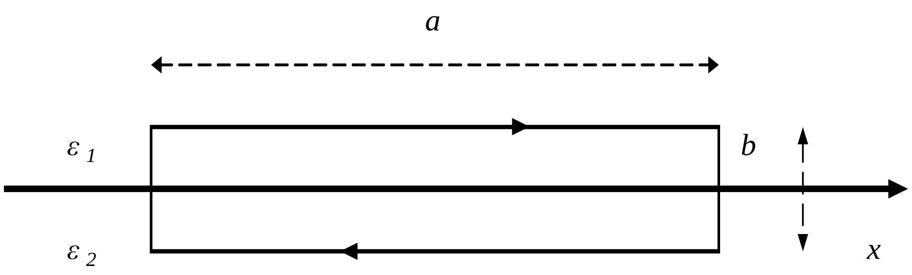
# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




Прямоугольный контур $a \times b$

Два соприкасающихся диэлектрика с различными диэлектрическими проницаемостями $\varepsilon_1$ и $\varepsilon_2$, помещенные во внешнее электрическое поле.

# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




*Циркуляция вектора* $\boldsymbol{E}$

*по замкнутому контуру*

$$\oint_l \vec{E} d\vec{l} = 0$$

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

$$E_{1x} = E_{1\tau} \qquad E_{2x} = E_{2\tau}$$

*тангенциальные составляющие* $\boldsymbol{E}$ *в 1 и 2 диэлектрике*

$\langle E_n \rangle$ – *среднее значение* $\boldsymbol{E}$ *на участках контура перпендикулярных к границе.*

# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$$\oint_l \vec{E}d\vec{l} = 0 = E_{1x}a - E_{2x}a + \langle E_n \rangle 2b$$

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

Сторона *b* контура мала: $b \to 0.$

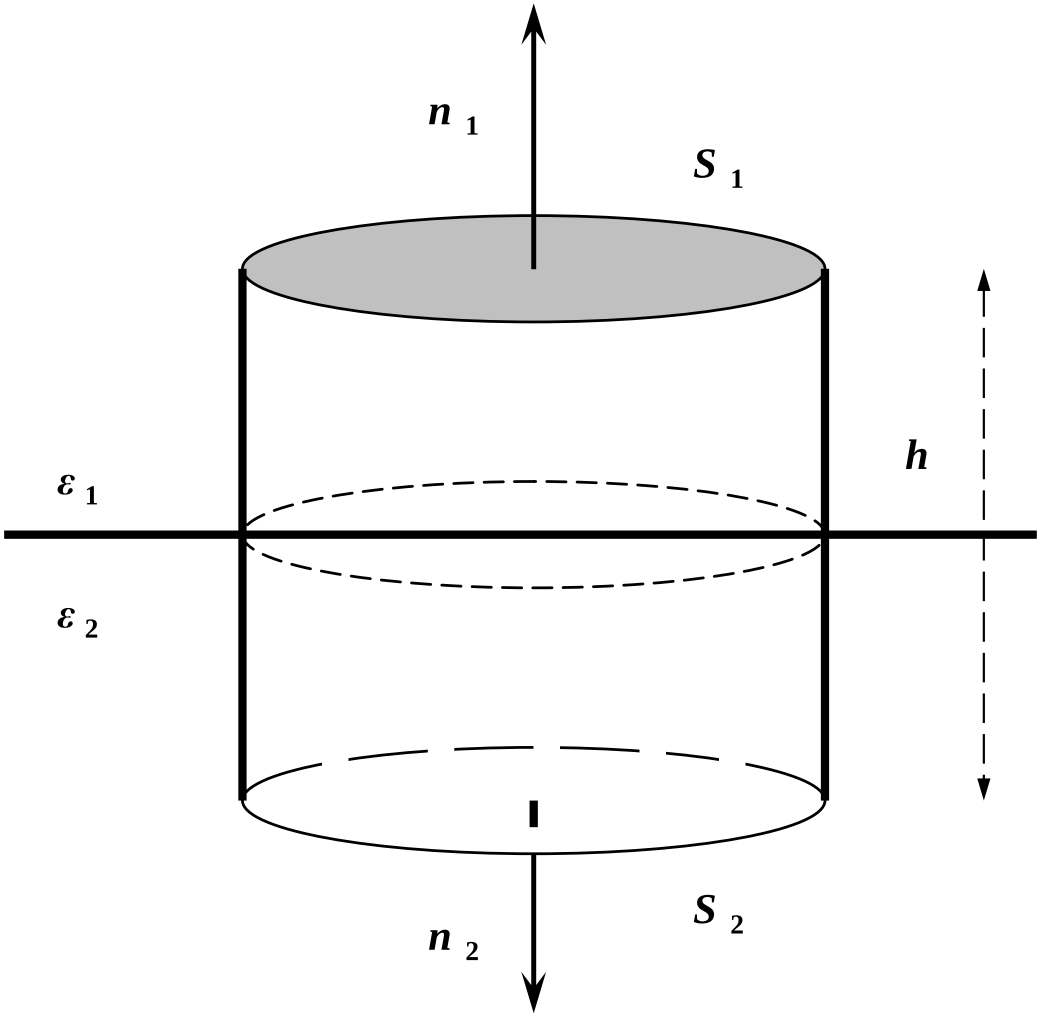
$$(E_{2\tau} - E_{1\tau}) \cdot a = 0$$

$$\boxed{E_{1\tau} = E_{2\tau}}$$

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

$$\boxed{\frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}}$$

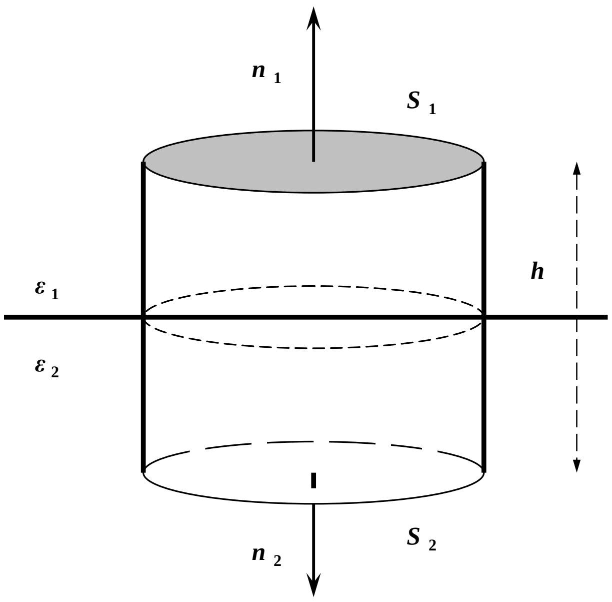
# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




Возьмем на границе цилиндрическую поверхность высотой $h$.

Основание $S_1$ расположено в первом диэлектрике, $S_2$ – во втором диэлектрике.

# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




$$S_1 = S_2 = S \to 0.$$

Поле в пределах $\boldsymbol{S}$ - однородное.

Сторонних зарядов на границе 2-х диэлектриков нет.

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

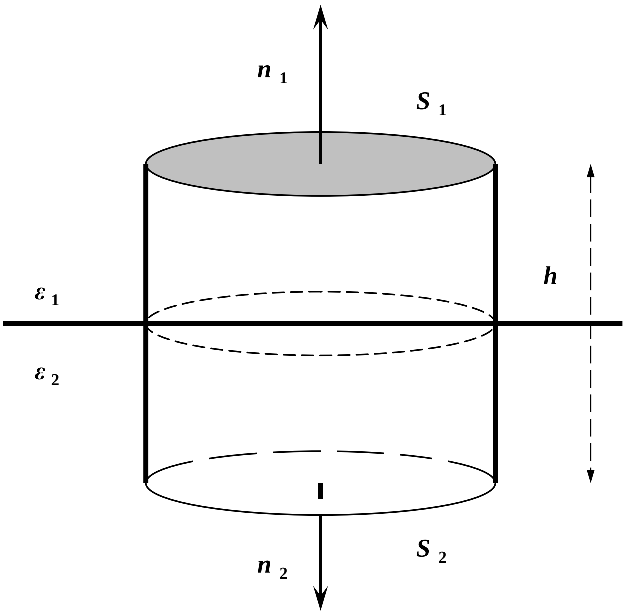
$$\Phi_D = D_{1n} S_{осн} + D_{2n} S_{осн} + \langle D_\tau \rangle S_{бок} = 0$$

$D_{1n}$ – проекция вектора $\boldsymbol{D}$ в первом диэлектрике на нормаль $\boldsymbol{n_1}$,

$D_{2n}$ – проекция вектора $\boldsymbol{D}$ во втором диэлектрике на нормаль $\boldsymbol{n_2}$,

$\langle D_\tau \rangle$ – значение $\boldsymbol{D}$, усредненное по всей боковой поверхности.

# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




$$\Phi_D = D_{1n}S + D_{2n}S + \langle D_\tau \rangle S_{бок} = 0$$

$\boldsymbol{h}$ мала ($\boldsymbol{h} \to 0$) $\quad S_{бок} \to 0.$

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

Если рассмотреть проекции векторов $\boldsymbol{D_1}$ и $\boldsymbol{D_2}$ на одну и ту же нормаль

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

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

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

# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$$E_{1\tau} = E_{2\tau} \qquad D_{1n} = D_{2n}$$

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

При переходе через границу раздела двух сред

$\boldsymbol{D_n}$ и $\boldsymbol{E_\tau}$ изменяются непрерывно

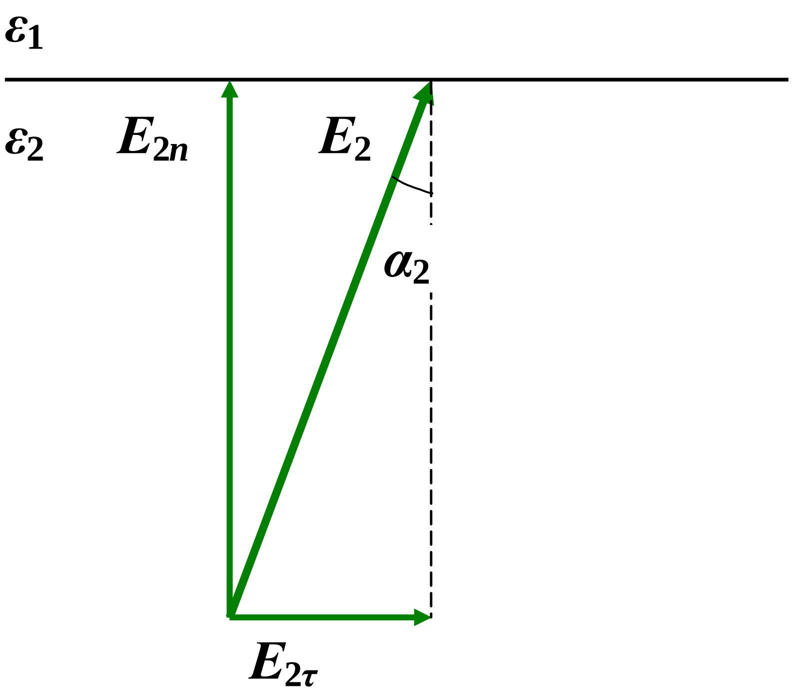
(не претерпевают скачка)

$\boldsymbol{D_\tau}$ и $\boldsymbol{E_n}$ претерпевают разрыв

Следствием этого является то, что линии напряженности электрического поля $\boldsymbol{E}$ и линии смещения $\boldsymbol{D}$ на границе двух диэлектриков претерпевают излом.

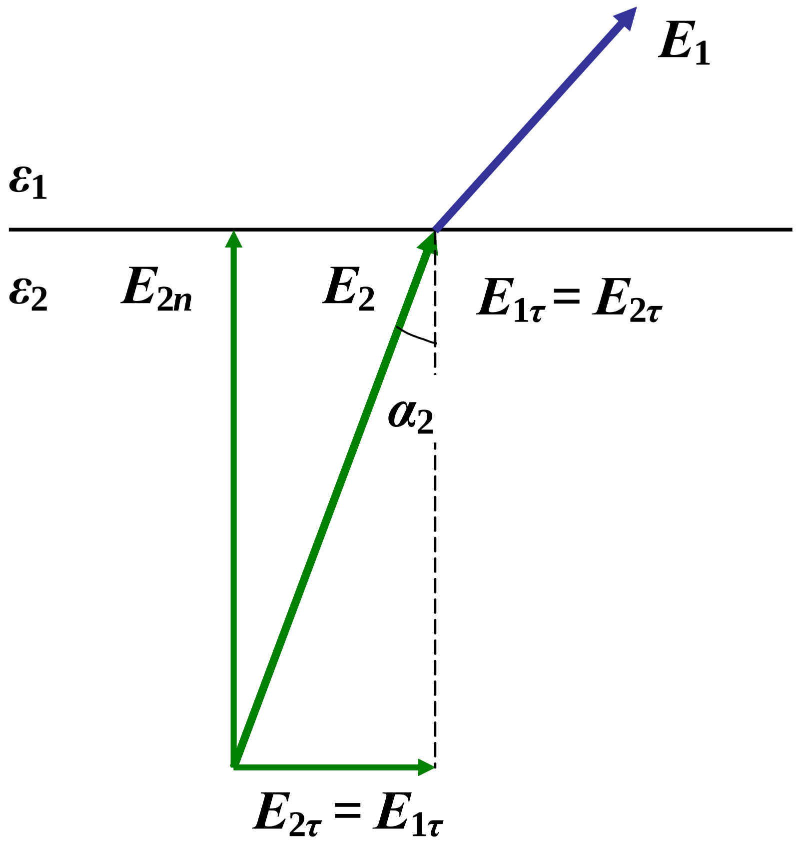
# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$$



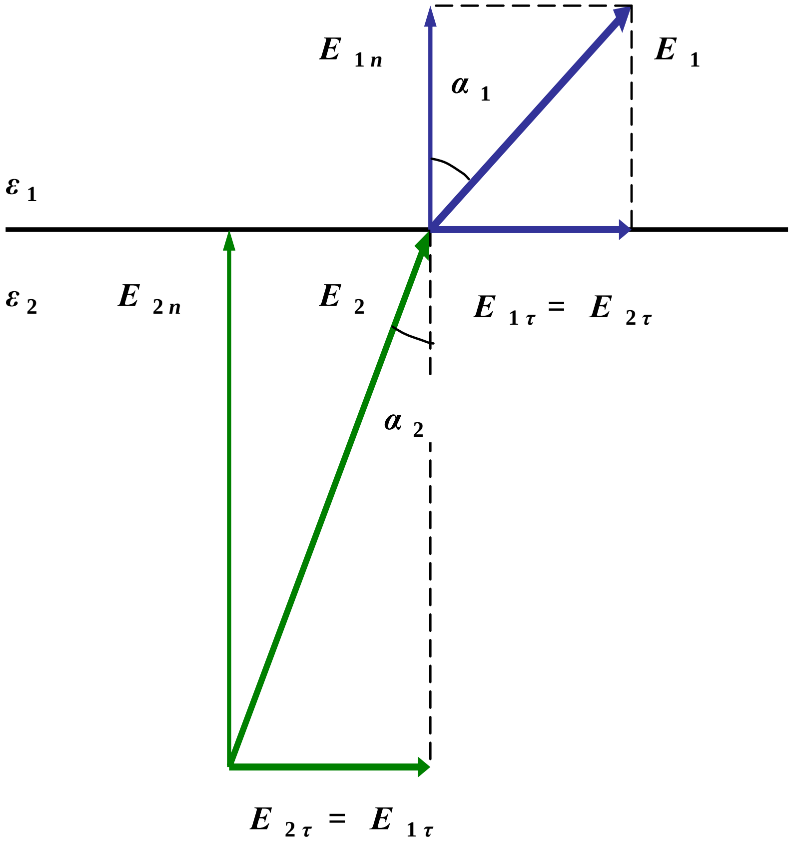
# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$$



# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

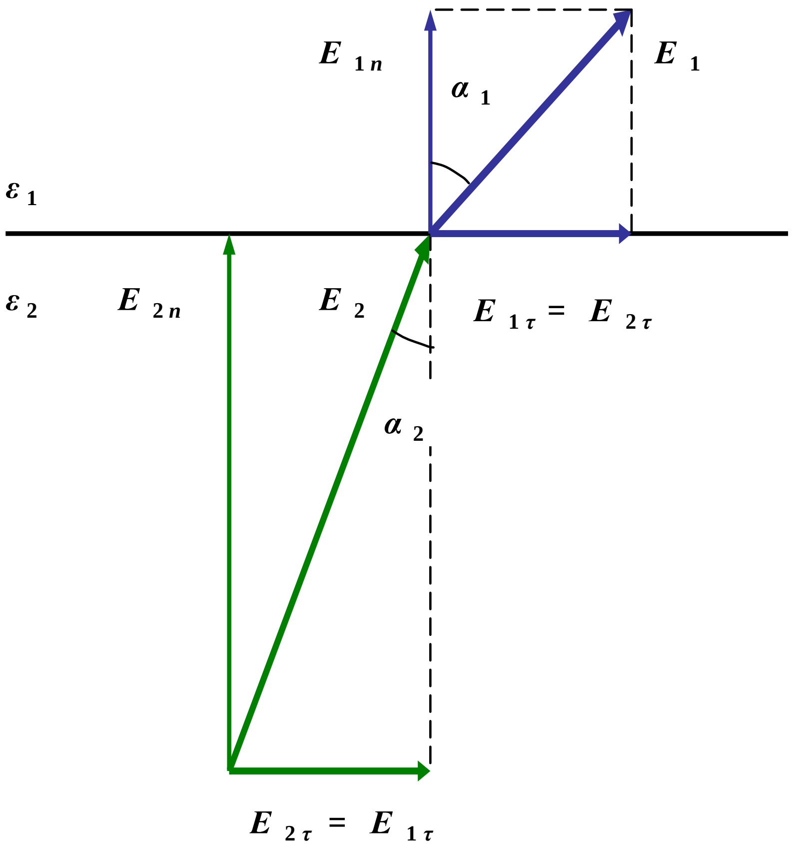
$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$$

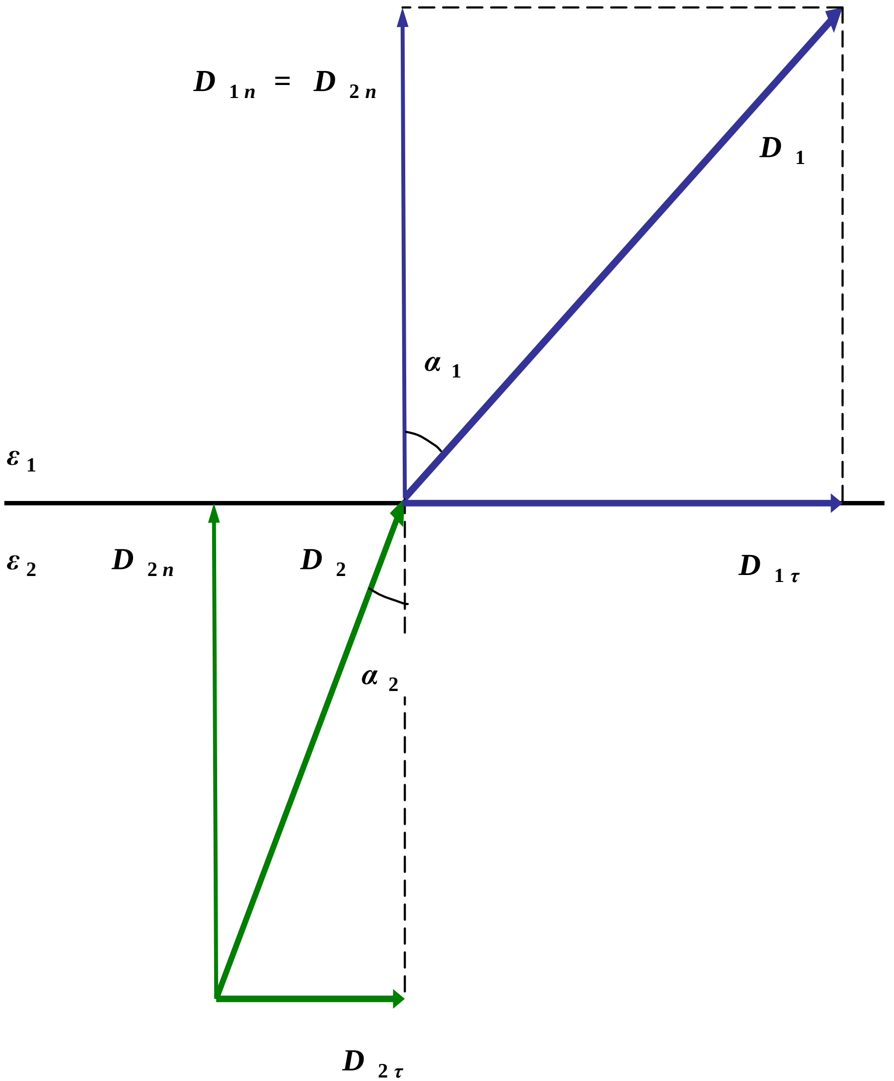



При переходе в диэлектрик с большим $\varepsilon$ линии $\boldsymbol{E}$ и $\boldsymbol{D}$ удаляются от нормали

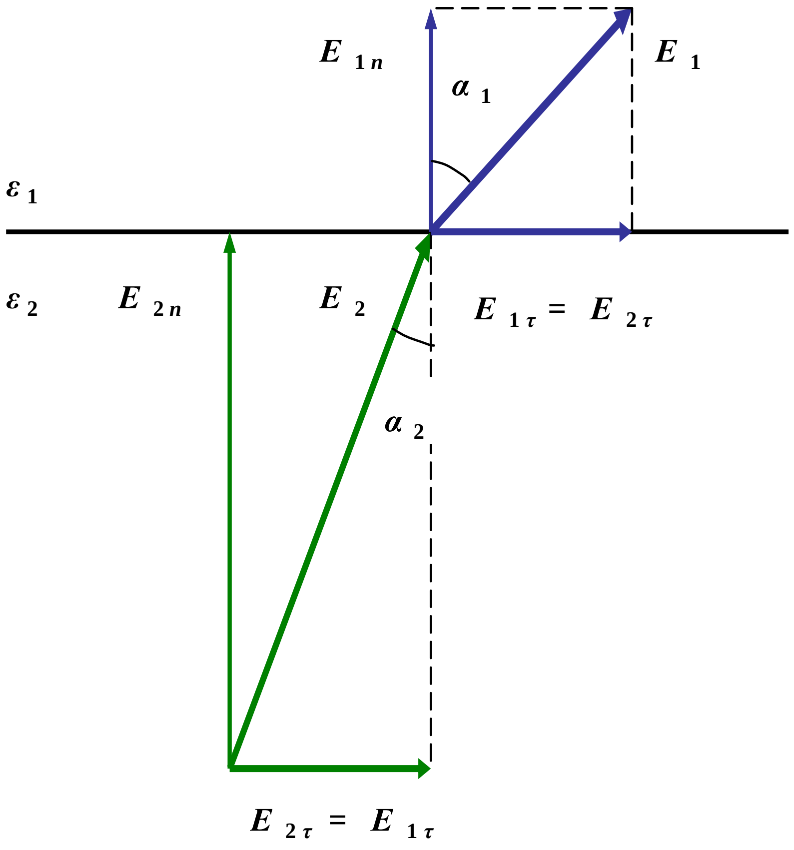
# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред

$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$



# Условия на границе раздела двух диэлектрических сред




$$E_{1\tau} = E_{2\tau}$$

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

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

$$\frac{tg\,\alpha_1}{tg\,\alpha_2} = \frac{\dfrac{E_{1\tau}}{E_{1n}}}{\dfrac{E_{2\tau}}{E_{2n}}} = \frac{E_{2n}}{E_{1n}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

# Сегнетоэлектрики

- Существует группа веществ, которые обладают спонтанной (самопроизвольной) поляризацией в отсутствие внешнего электрического поля.

Это явление было открыто первоначально для сегнетовой соли $KNaC_4H_4O_6 \cdot 4H_2O$

# Сегнетоэлектрики

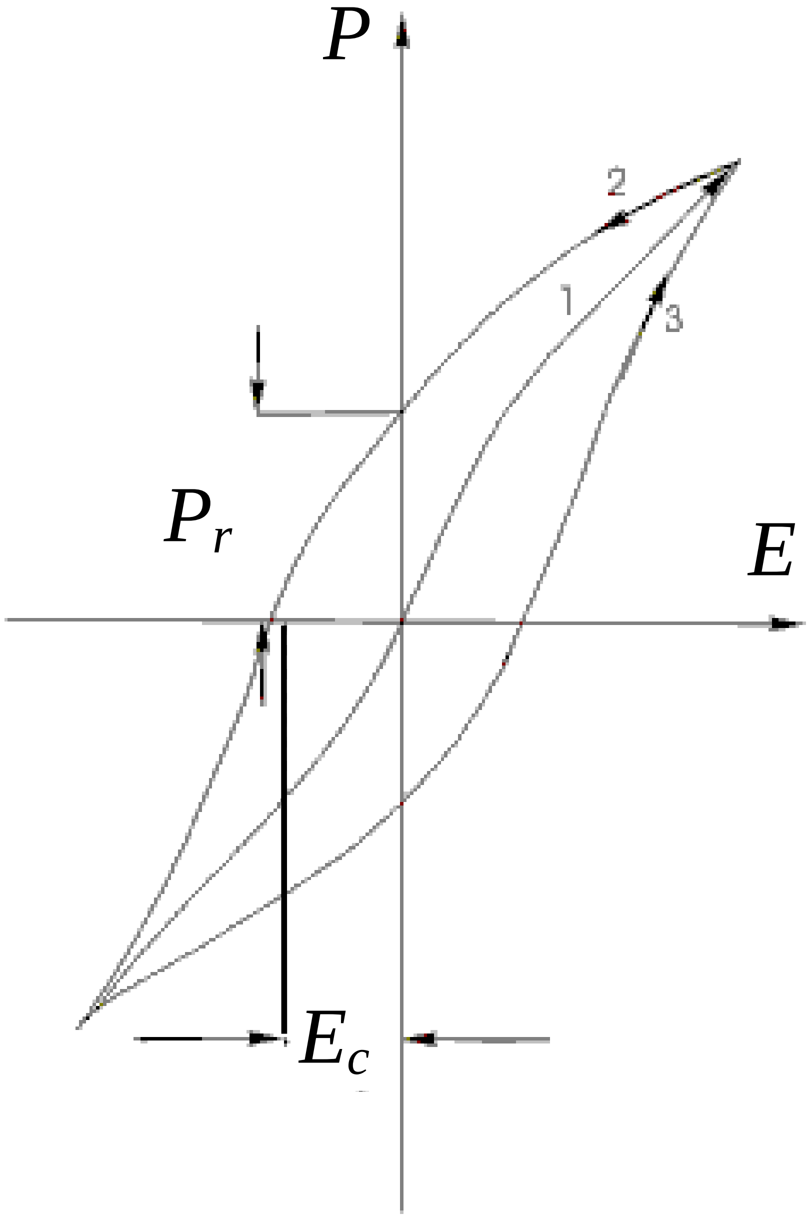
Характерные особенности:

1. для сегнетовой соли $\varepsilon$=10000
2. Зависимость $D=f(E)$ не является линейной
3. При изменении поля значения вектора поляризации $P$ отстают от напряженности поля $E$, в результате чего $P$ определяется не только величиной $E$ в данный момент, но и предшествующим значениями $E$.

Это явление называется **гистерезисом**.

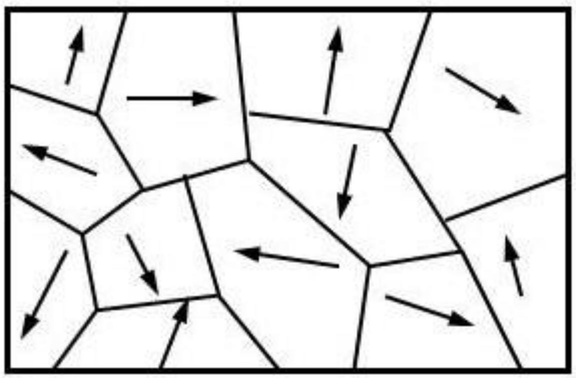
# Сегнетоэлектрики

$P=f(E)$



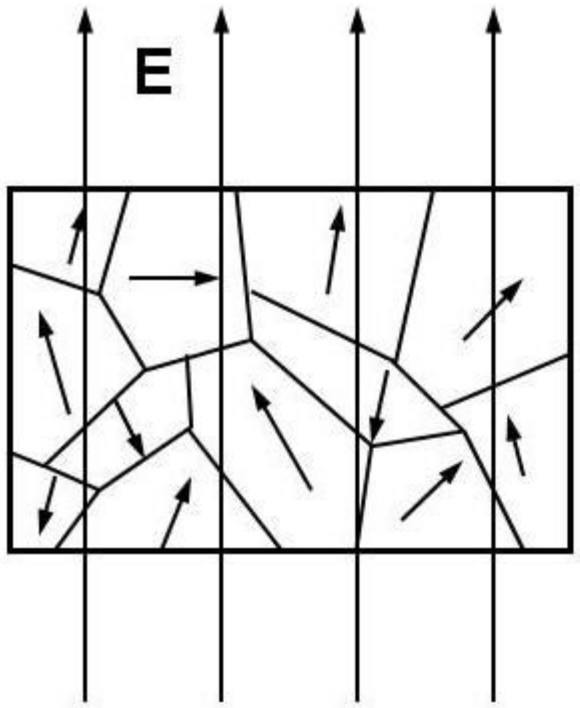
# Сегнетоэлектрики

Сегнетоэлектрики – кристаллические вещества, в которых есть области *спонтанной поляризации* (**домены**), созданные силами хим. связей в кристалле.



# Сегнетоэлектрики

Сегнетоэлектрики – кристаллические вещества, в которых есть области *спонтанной поляризации* (**домены**), созданные силами хим. связей в кристалле.




Под действием внешнего электрического поля моменты доменов поворачиваются как целое, устанавливаясь в направлении поля.

Для каждого сегнетоэлектрика есть температура (*точка Кюри*), выше которой вещество утрачивает свои «особые» свойства.

# Пьезоэлектрики

**Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты**

**Самостоятельно!**

# Проводники в электрическом поле

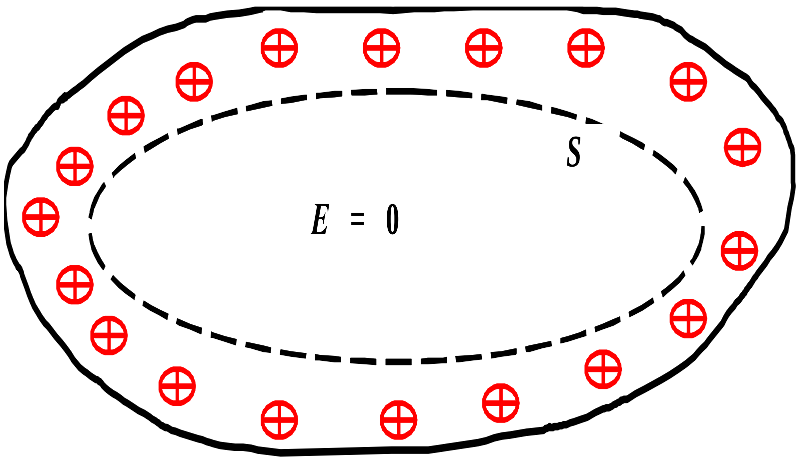
# Проводники

В проводниках имеются электрически заряженные частицы – ***носители заряда***, которые способны под действием внешнего электрического поля перемещаться по всему объему проводника.

Носителями зарядов в твердых металлических проводниках являются электроны, которые называются ***электронами проводимости*** или ***свободными электронами***.

# Равновесие зарядов в проводниках.

**Проводнику сообщили заряд + *q***

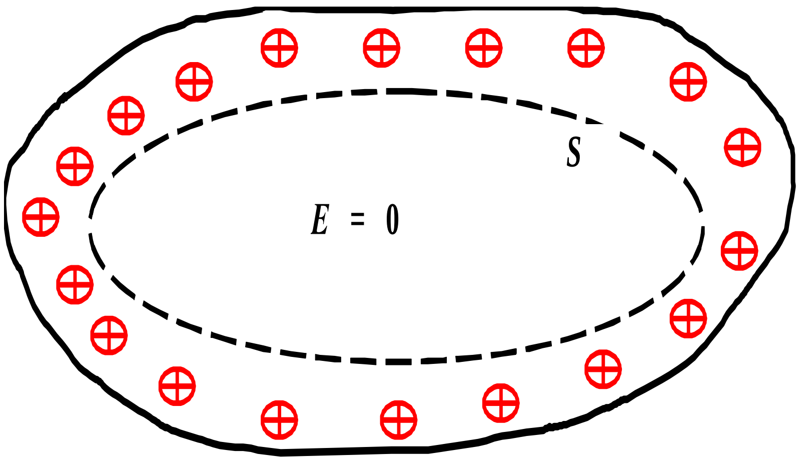



$$\vec{E} = 0$$

Если бы между любыми <u>произвольно выбранными двумя точками</u> проводника существовало поле, то возник бы и **электрический ток** без источника, что противоречит <u>закону сохранения энергии</u>.

## Равновесие зарядов в проводниках.

**Проводнику сообщили заряд + *q***




$$\vec{E} = 0$$

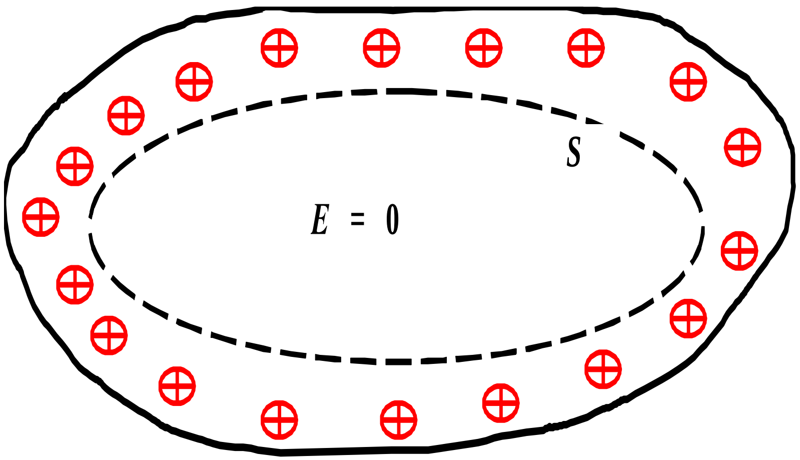
$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \int_V \frac{\rho dV}{\varepsilon_0} = \frac{\sum q}{\varepsilon_0}$$

$S$ – произвольная замкнутая поверхность внутри проводника

$$\vec{E} = 0 \quad \Rightarrow \quad \rho = 0$$

# Равновесие зарядов в проводниках.

**Проводнику сообщили заряд + *q***




$$\rho = 0$$

В объеме проводника избыточные **заряды** отсутствуют и могут находиться только **на внешней поверхности проводника**.

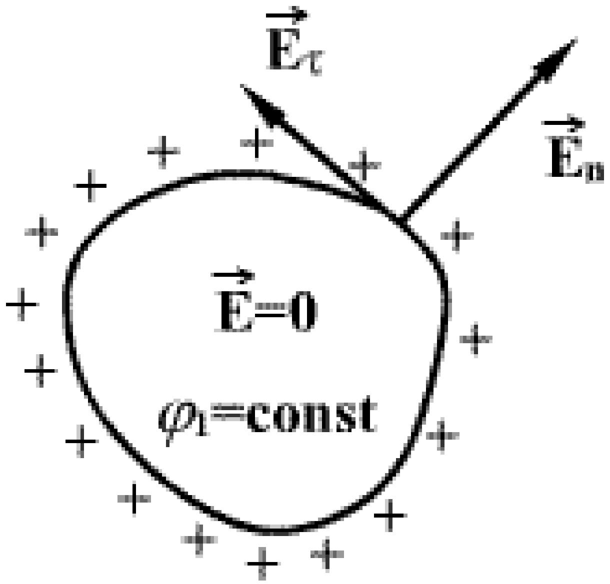
$$\vec{E} = -\vec{\nabla}\varphi$$

$$\vec{E} = 0$$

$$\varphi = const$$

Любой **проводник** представляет собой **эквипотенциальное тело**, а его поверхность, естественно, является *эквипотенциальной*.

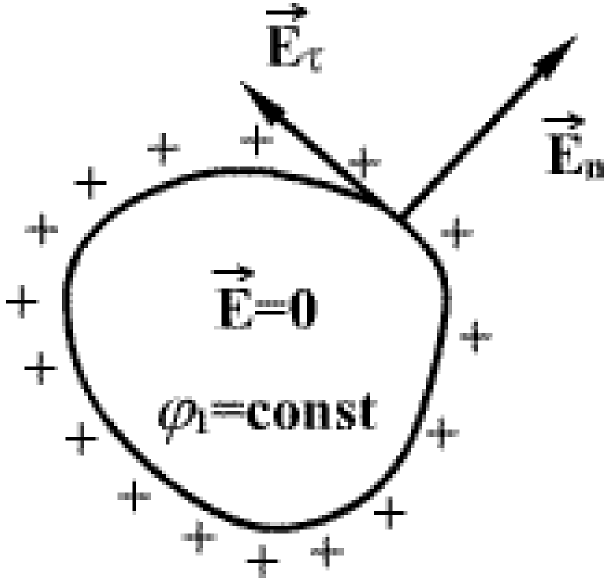
# Равновесие зарядов в проводниках.




На поверхности проводника вектор $\boldsymbol{E}$ должен быть направлен по нормали к этой поверхности.

Иначе под действием тангенциальной составляющей вектора напряженности $\boldsymbol{E}_\tau$ заряды бы перемещались по проводнику, что противоречит их статическому распределению.

# Равновесие зарядов в проводниках.




В равновесном состоянии:

1) $\boldsymbol{E}_{\boldsymbol{внутр}} = \boldsymbol{E} = 0.$

$$\vec{E} = -grad\varphi = -\vec{\nabla}\varphi$$

2) $\boldsymbol{\varphi}_{внутр} = const$ весь объем проводника и его поверхность ***эквипотенциальны***.

3) На поверхности проводника $\vec{E} = \vec{E}_n, \quad \vec{E}_\tau = 0.$

4) $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0\vec{E} \Longrightarrow \vec{D}_{внутр} = 0$