

ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

Проводники и диэлектрики

Заряды (+ –)

- **связанные** – входят в состав атомов (молекул), под действием эл. поля они могут смещаться из положения равновесия, но не могут покинуть молекулу (атом);
- **сторонние** или **свободные**
- не входят в состав атомов (молекул)

Проводники и диэлектрики

- Все известные в природе вещества (по отношению к действию на них электростатического поля) делятся на

три основных класса:

- *проводники*
- *полупроводники*
- *диэлектрики*

Проводники и диэлектрики

- **Проводники** – это вещества, в которых свободные заряды перемещаются под действием электрического поля.
- **Металлы** (свободные заряды: электроны) – проводники **первого рода**
- **Электролиты и ионизированный газ** (свободные заряды: положительные и отрицательные ионы) – проводники **второго рода**, в них при протекании тока есть перенос вещества.

Проводники и диэлектрики

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

Удельное сопротивление диэлектриков в $10^{15} \div 10^{20}$ раз больше, чем у проводников.

В зависимости от химического состава и строения различают полярные и неполярные диэлектрики, ионные кристаллические диэлектрики, сегнетоэлектрики и некоторые другие.

Проводники и диэлектрики

Диэлектрики содержат положительные и отрицательные связанные заряды, входящие в состав атомов и молекул.

- Линейные размеры молекул и атомов порядка нескольких ангстрем
($1 \text{ \AA} = 10^{-10} \text{ м}$).

- **В идеальной диэлектрике свободных зарядов**, то есть способных перемещаться на значительные расстояния (превосходящие расстояния между атомами), **нет**.
- Но это не значит, что диэлектрик, помещенный в электростатическое поле, не реагирует на него, что в нем ничего не происходит.

Проводники и диэлектрики

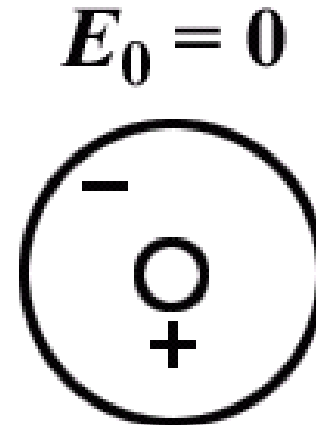
- Смещение электрических зарядов вещества под действием электрического поля называется **поляризацией**.
- Способность к поляризации является основным свойством диэлектриков.

В зависимости от химического состава и строения различают полярные и неполярные диэлектрики, ионные кристаллические диэлектрики, сегнетоэлектрики и некоторые другие.

Проводники и диэлектрики

- **Неполярные диэлектрики** (к ним относятся H_2 , O_2 , N_2 и др.) - это такие диэлектрики, молекулы которых имеют симметричное строение, т.е. центры тяжести положительных и отрицательных зарядов в отсутствие внешнего электрического поля совпадают.

$$\vec{p} = 0$$



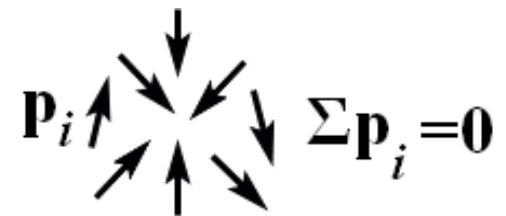
Проводники и диэлектрики

- **Полярные диэлектрики** (к ним относятся H_2O , CO , NH , HCl и т.п.) – это такие диэлектрики, молекулы которых имеют асимметричное строение, т.е. центры тяжести положительных и отрицательных зарядов не совпадают. Таким образом, эти молекулы в отсутствие внешнего электрического поля представляют собой диполь.

$$E_0 = 0$$



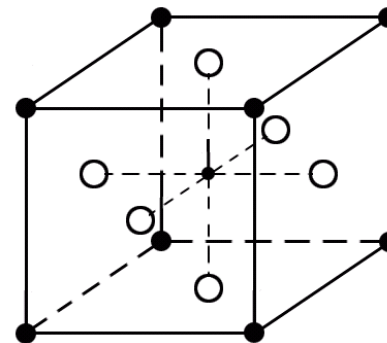
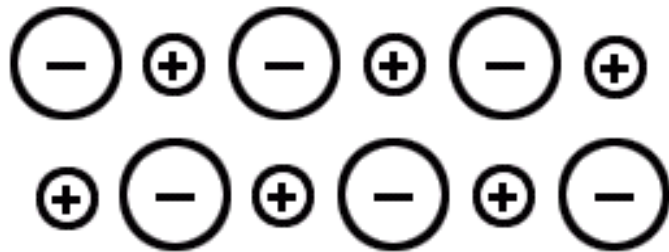
Но при отсутствии внешнего электрического поля из-за теплового движения молекул дипольные моменты \mathbf{p}_i всех молекул ориентированы хаотично, поэтому их результирующий момент равен нулю.



Проводники и диэлектрики

- **Ионные диэлектрики** (к ним относятся вещества, имеющие кристаллическую структуру, такие как NaCl, KCl, KBr,...) - это диэлектрики, молекулы которых имеют ионное строение.

Диэлектрик представляет собой ионную кристаллическую решетку с чередованием ионов разных знаков, то есть диэлектрик можно рассматривать как две подрешетки противоположных зарядов вдвинутых одна в другую.



Проводники и диэлектрики

- **Поляризацией** диэлектрика называется процесс ориентации диполей или появление под действием внешнего поля ориентированных по полю диполей.

Степень поляризации диэлектрика характеризуется величиной, называемую **вектором поляризации** (или поляризованностью). Вектор поляризации определяется как суммарный дипольный момент единицы объема диэлектрика и равен

$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V}$$

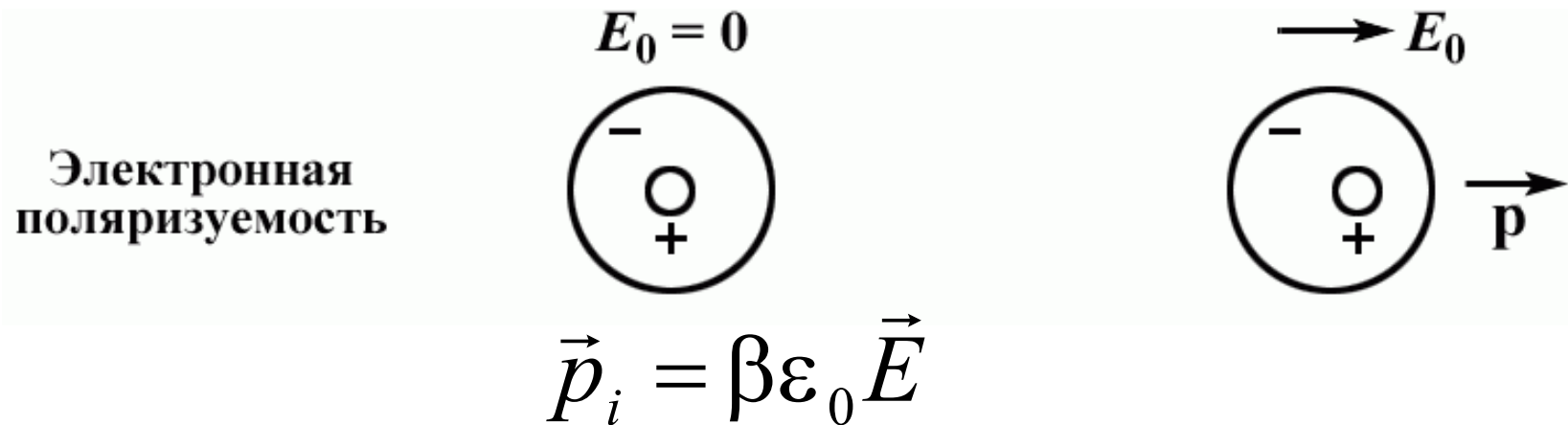
где ΔV - бесконечно малый объем диэлектрика,

$\sum \vec{p}_i$ - сумма дипольных моментов, заключенных в этом объеме молекул.

Проводники и диэлектрики

Соответственно трем группам диэлектриков различают три вида поляризации:

- **электронная** – поляризация неполярных молекул диэлектрика;

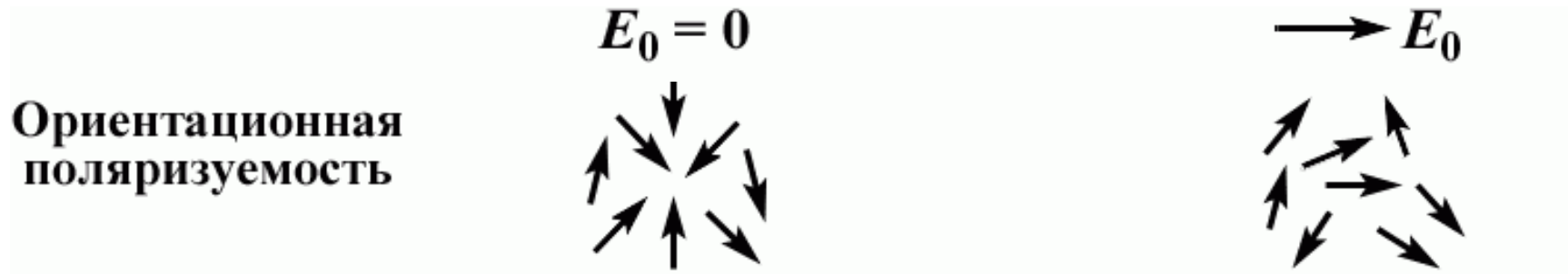


β – поляризуемость молекулы диэлектрика

ϵ_0 – электрическая постоянная

Проводники и диэлектрики

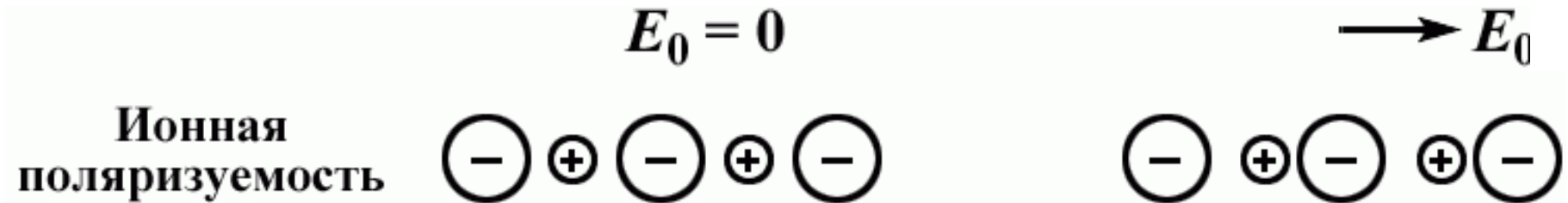
- **ориентационная (дипольная)** - поляризация диэлектрика с полярными молекулами, заключающаяся в ориентации дипольных молекул по полю



На значение электрического момента полярной молекулы внешнее поле практически не влияет (жесткий диполь).

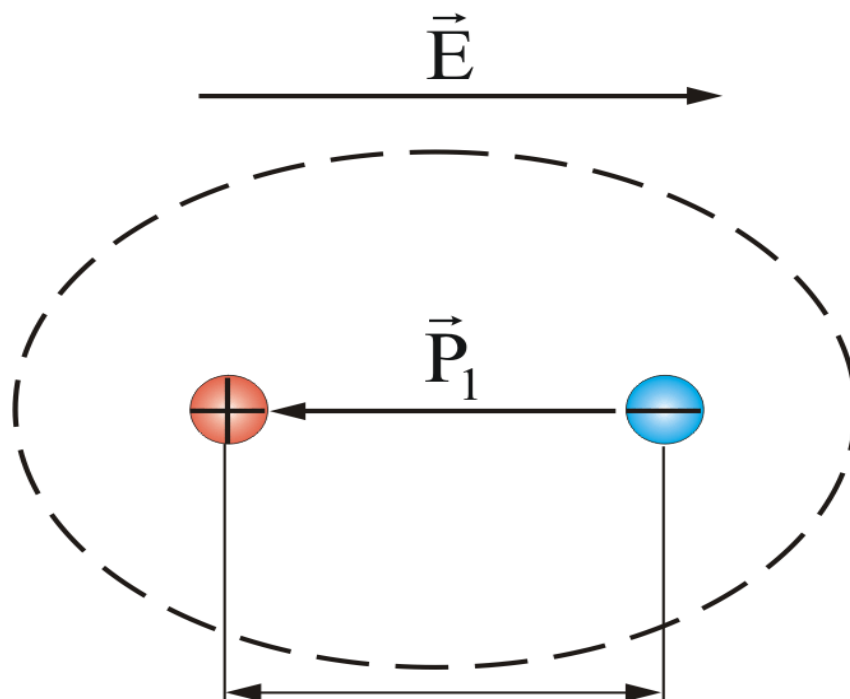
Проводники и диэлектрики

- **ионная** – поляризация ионных диэлектриков, приводящая к деформации кристаллической решетки и образованию диполей.



Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с напряженностью поля.

- Все процессы, происходящие в различных диэлектриках, находящихся в электрическом поле, объединяются одним общим термином **поляризация**
- Главное в поляризации – смещение зарядов в электростатическом поле. В результате, каждая молекула или атом образует электрический момент P



Проводники и диэлектрики

- **Поляризацией** диэлектрика называется процесс ориентации диполей или появление под действием внешнего поля ориентированных по полю диполей.

Степень поляризации диэлектрика характеризуется величиной, называемую **вектором поляризации** (или поляризованностью). Вектор поляризации определяется как суммарный дипольный момент единицы объема диэлектрика и равен

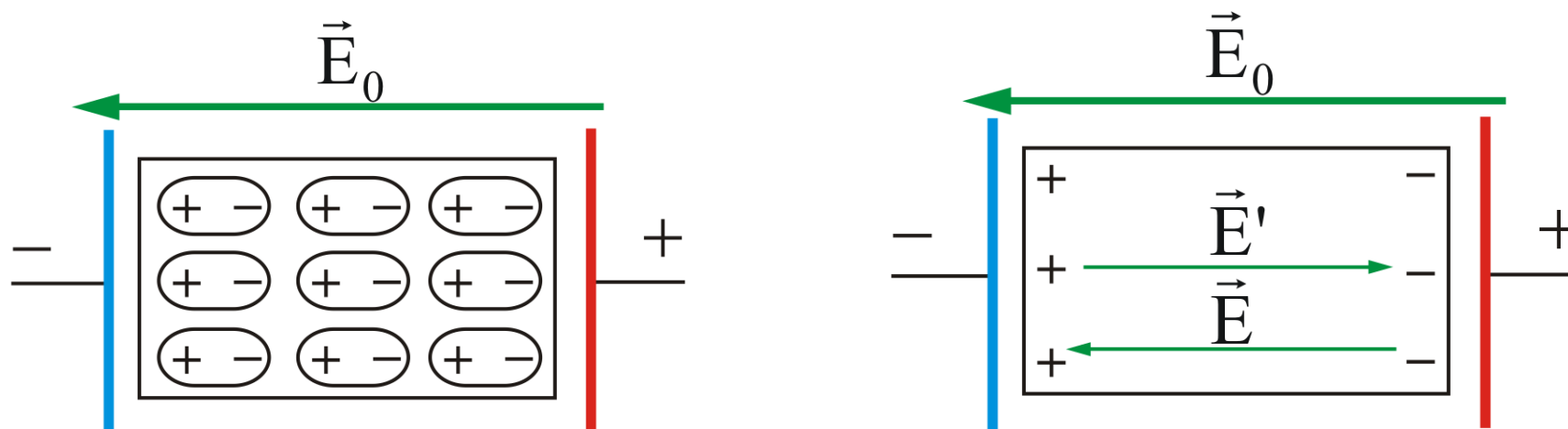
$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{p}_i}{\Delta V} \quad \vec{p}_i = \beta \varepsilon_0 \vec{E}$$

где ΔV - бесконечно малый объем диэлектрика,

$\sum \vec{p}_i$ - сумма дипольных моментов, заключенных в этом объеме молекул.

Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с напряженностью поля.

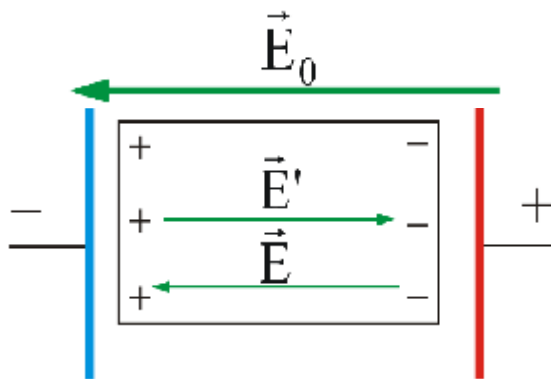
- *Внутри диэлектрика* электрические заряды диполей компенсируют друг друга. Но на внешних поверхностях диэлектрика, прилегающих к электродам, появляются заряды противоположного знака (*поверхностно связанные заряды*).



Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с напряженностью поля.

- Обозначим E' – *электростатическое поле связанных зарядов*. Оно направлено всегда против внешнего поля E_0
- Следовательно, *резльтирующее электростатическое поле внутри диэлектрика*

$$E = E_0 - E'.$$



Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с напряженностью поля.

Найдем вектор поляризации неполярного диэлектрика объемом ΔV , помещенного во внешнее электростатическое поле. Пусть концентрация молекул в единице объема n . В объеме ΔV количество молекул равно $n\Delta V$.

$$\vec{p}_i = \beta \varepsilon_0 \vec{E} \quad \Sigma \vec{p}_i = n\Delta V \beta \varepsilon_0 \vec{E}$$

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

где $\chi = n\beta$ – диэлектрическая восприимчивость,
 β – поляризуемость молекулы диэлектрика (макроскопическая безразмерная величина, характеризующая поляризацию единицы объема).

ε_0 – электрическая постоянная = $8.85418782 \times 10^{-12}$ Ф/м

**Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации.
Связь вектора поляризации с напряженностью поля.**

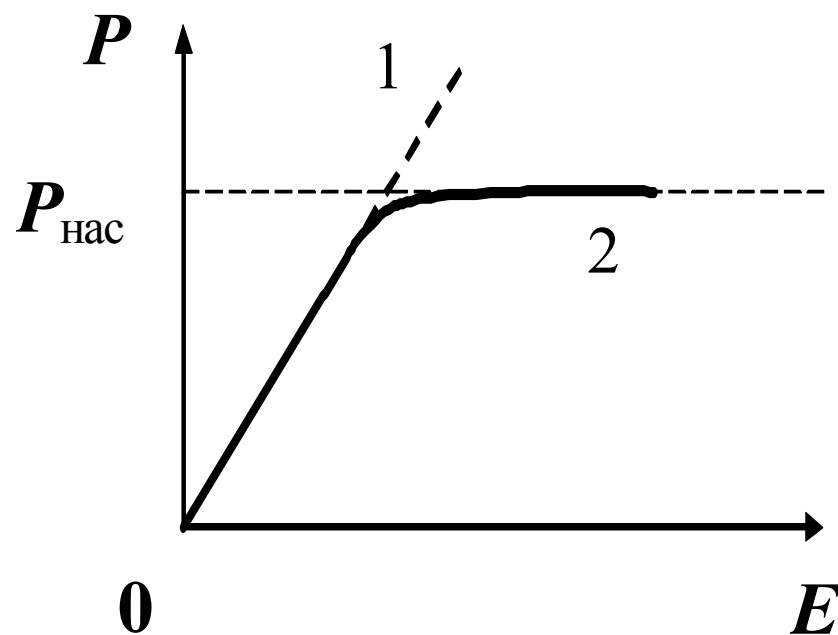
Для диэлектриков, состоящих из полярных молекул показано что тоже

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

но

$$\chi = \frac{np_i^2}{3kT\varepsilon_0}$$

Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации.
Связь вектора поляризации с напряженностью поля.

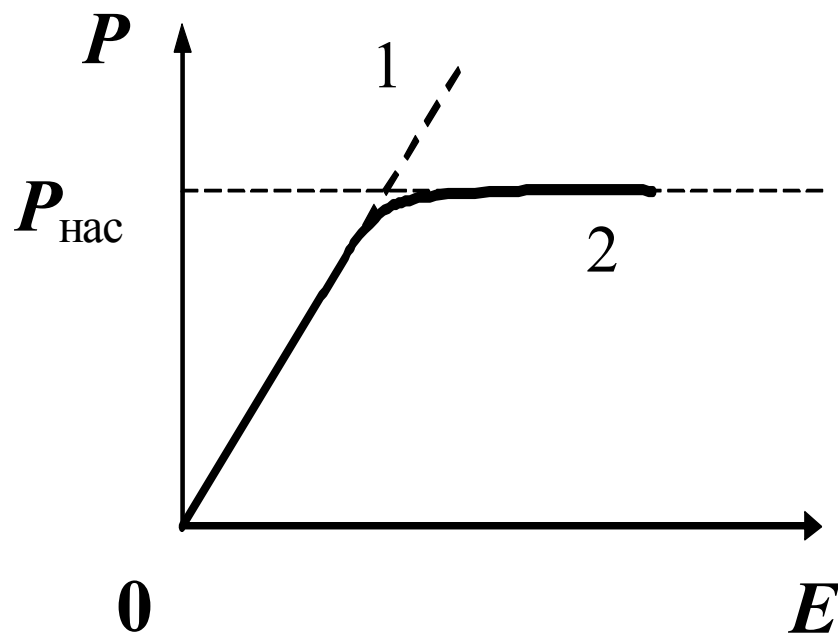


Для неполярного диэлектрика:

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

линейная зависимость.

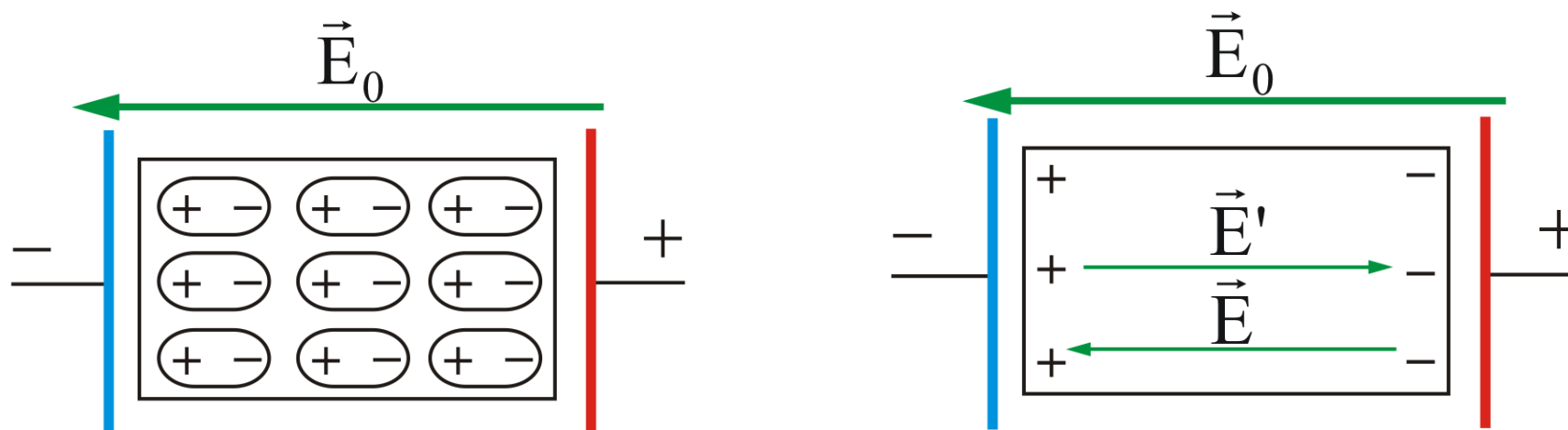
Поляризация диэлектриков. Вектор поляризации. Связь вектора поляризации с напряженностью поля.



При больших полях ($E \gg 0$) линейная зависимость $P(E)$ нарушается и выходит на **насыщение**. Этот факт обусловлен тем, что при определенной величине E достигается такое состояние, когда дипольные моменты всех молекул направлены по полю, то есть наступает насыщение и модуль вектора поляризации достигает $P_{\text{нас}}$.

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

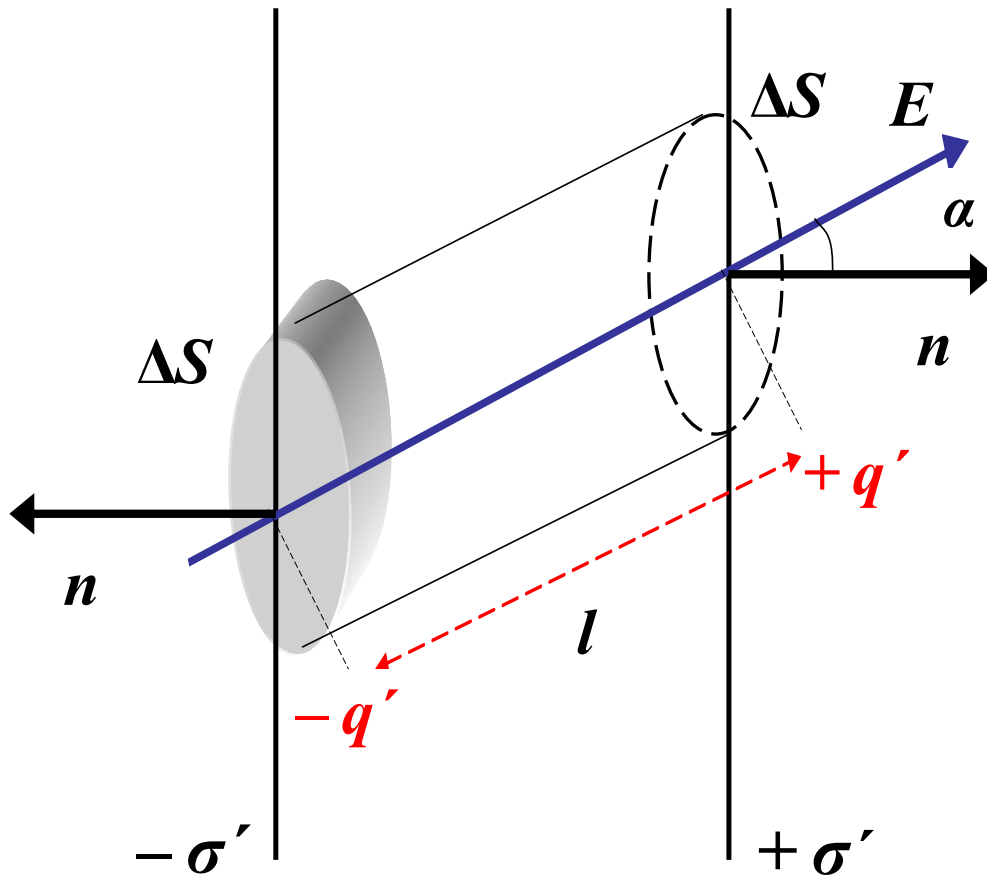
Связь между вектором поляризации P и поверхностной плотностью связанных (поляризационных) зарядов



$$\sigma' \sim E$$

σ' - поверхностная плотность связанных зарядов. Она, как и вектор поляризации, характеризует степень поляризации диэлектрика

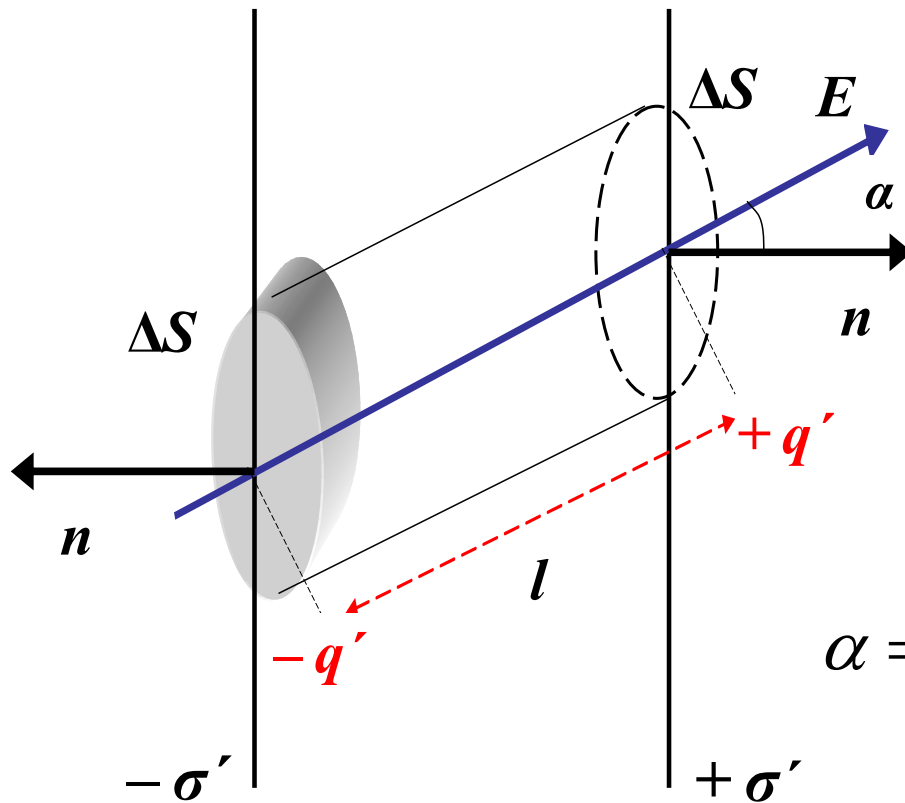
Связь между вектором поляризации P и поверхностной плотностью связанных (поляризационных) зарядов



Однородная диэлектрическая пластинка

На поверхности поляризованного диэлектрика связанные заряды распределены поверхностной плотностью σ' .

Связь между вектором P и поверхностной плотность связанных зарядов



Однородная диэлектрическая
пластинка помещена в
однородное электрическое
поле E .

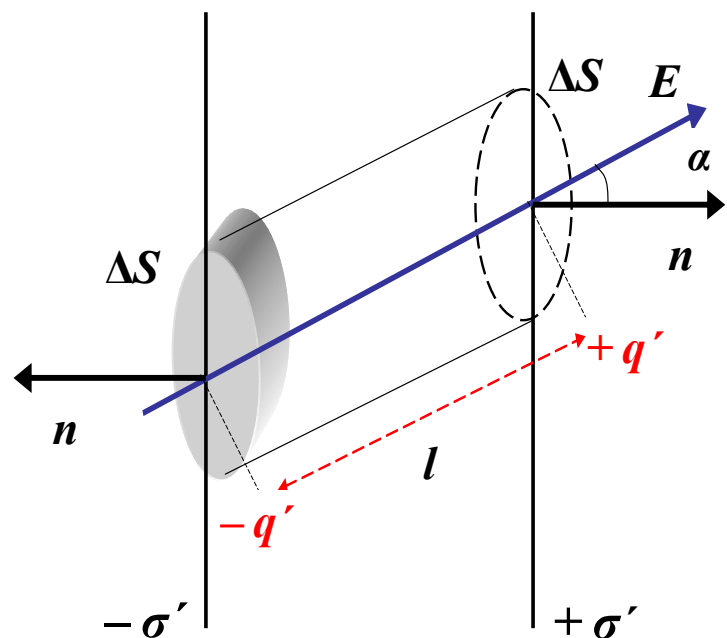
n – единичный вектор внешней
нормали к поверхности
диэлектрика.

$\alpha = \angle \vec{E}, \vec{n}$ – угол между векторами
 E и n .

Элементарный объем ΔV в виде
цилиндра.

l – расстояние между основаниями цилиндра.

Связь между вектором P и σ



Объем цилиндра

$$\Delta V = \Delta S_{\perp} \cdot l = \Delta S \cdot l \cos \alpha \quad (1)$$

Цилиндр - макродиполь.

Электрический дипольный момент:

$$p_l = q \cdot l = \sigma' \cdot \Delta S \cdot l \quad (2)$$

Поляризованность: $P = \frac{p_l}{\Delta V}$

$$p_l = P \cdot \Delta V = P \cdot \Delta S \cdot l \cos \alpha \quad (3)$$

Связь между вектором P и σ

Уравнение (2) = (3) :

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

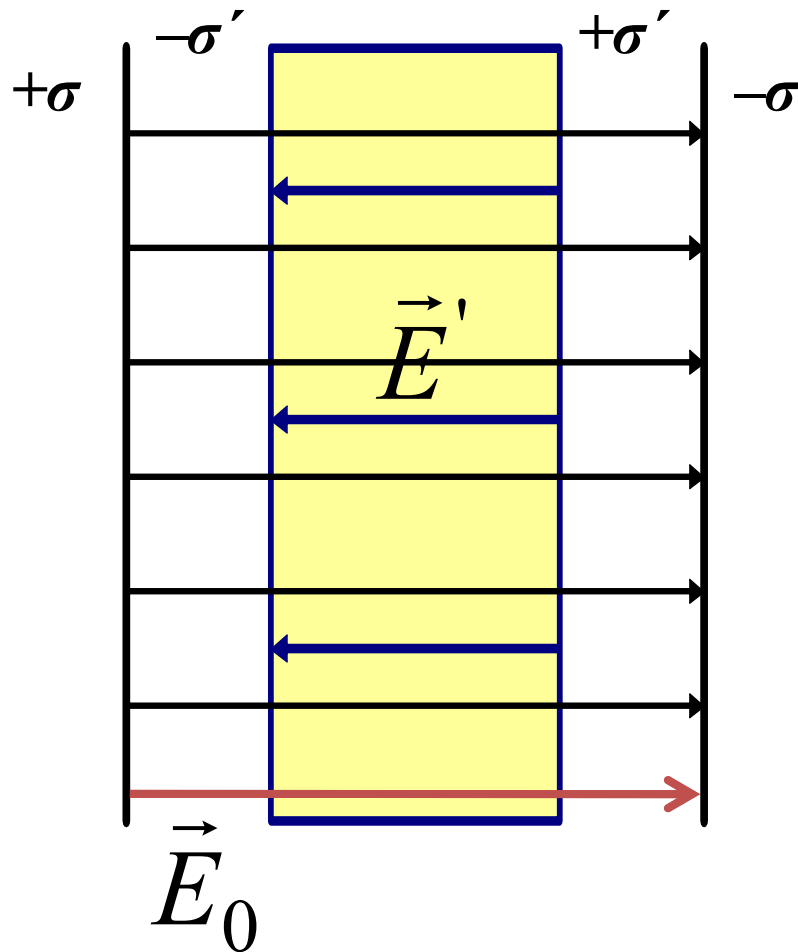
- Плотность поверхностных связанных зарядов σ' численно равна нормальной составляющей вектора поляризации

$$\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E} \quad \Rightarrow \quad \sigma' = \chi \varepsilon_0 E_n$$

χ – диэлектрическая восприимчивость

**Электрическое поле в диэлектриках.
Поток вектора поляризации.**

Поток вектора поляризации



Пластины, заряженные свободными зарядами с $\pm\sigma$, создают внешнее поле E_0 .

$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

В результате поляризации диэлектрика возникают связанные заряды с $\pm\sigma'$, создающие поле напряженностью E' .

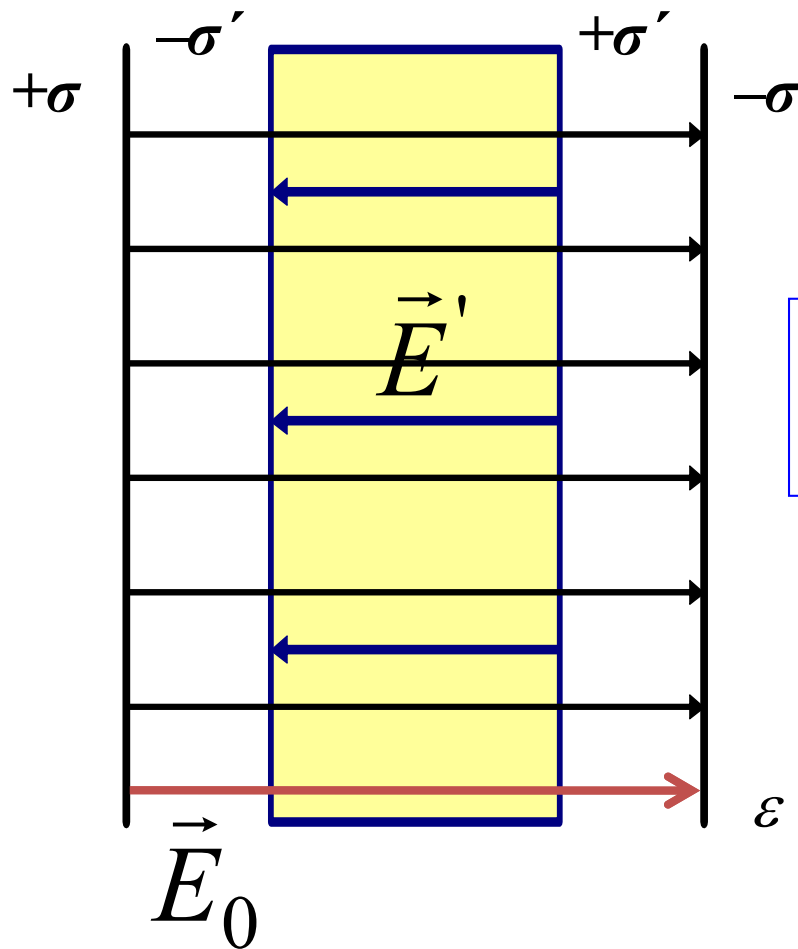
$$E' = \frac{\sigma'}{\varepsilon_0}$$

Свободные заряды создают внешнее поляризующее поле E_0 , а связанные заряды – добавочное поле поляризованного диэлектрика E' .

Поток вектора поляризации

$\vec{E}_p \uparrow \downarrow \vec{E}_0 \Rightarrow$ результирующее поле в диэлектрике:

$$E = E_0 - E' = \frac{\sigma}{\varepsilon_0} - \frac{\sigma'}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0} (\sigma - \sigma')$$



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

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

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\varepsilon} \quad 1 + \chi = \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{E_0}{E} \quad \text{!!! диэлектрическая проницаемость}$$

Поток вектора поляризации

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

физический смысл диэлектрической проницаемости заключается в том, что она показывает во сколько раз ослабляется поле внутри диэлектрика.

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

$$\frac{1}{\varepsilon_0} (\sigma - \sigma') = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad \longrightarrow \quad \sigma' = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma$$

$$\sigma' = P_n \quad \longrightarrow \quad P_n = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) E$$

Поток вектора поляризации

$$P_n = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma = \varepsilon_0 (\varepsilon - 1) E$$

так как $E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ и $\varepsilon = \frac{E_0}{E}$,

то $E\varepsilon = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$ или $\frac{\sigma}{\varepsilon} = E\varepsilon_0$

$\chi = \varepsilon - 1$ { диэлектрическая восприимчивость диэлектрика
(характеризует способность диэлектрика
поляризоваться и зависит от молекулярного
строения и температуры).

$$P_n = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma = \varepsilon_0 \chi E$$

Закон Гаусса для вектора поляризации P

Закон Гаусса для вектора поляризации P

Найдем поток вектора поляризации и сформулируем теорему Гаусса для поля вектора \vec{P} .

Пусть произвольная замкнутая поверхность охватывает часть диэлектрика. Внутри диэлектрика возникает поле, напряженность которого равна $\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}'$

\vec{E}_0 - напряженность поля, созданная свободными зарядами, объемная плотность которых ρ

\vec{E}' - напряженность поля, созданная связанными зарядами, объемная плотность которых ρ'

Найдем поток вектора напряженности из бесконечно малого объема диэлектрика, охватывающего некоторую точку диэлектрика:

Закон Гаусса для вектора поляризации \vec{P}

Найдем поток вектора напряженности из бесконечно малого объема диэлектрика, охватывающего некоторую точку диэлектрика:

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

По теореме Гаусса: $\operatorname{div} \vec{E}_0 = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$

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

$$\operatorname{div} \vec{E}_0 = \operatorname{div} \varepsilon \vec{E} = \frac{\rho}{\varepsilon_0}$$

$$\operatorname{div}(\varepsilon - 1)\vec{E} = -\operatorname{div} \vec{E}'$$

$$\operatorname{div} \vec{E}' = \frac{\rho'}{\varepsilon_0}$$

$$\operatorname{div} \varepsilon_0(\varepsilon - 1)\vec{E} = -\rho'$$

$$\vec{P} = \varepsilon_0(\varepsilon - 1)\vec{E}$$

$$\operatorname{div} \vec{P} = -\rho'$$

Закон Гаусса для вектора поляризации \vec{P}

$$\operatorname{div}\vec{P} = -\rho'$$

дивергенция поля вектора \vec{P} равна с обратным знаком объемной плотности связанного заряда в той же точке.

Закон Гаусса для вектора поляризации P

Интегральная форма записи теоремы Гаусса для вектора P

$$\oint_S (\vec{P} d\vec{S}) = -q'$$

поток вектора поляризации \vec{P} через произвольную замкнутую поверхность S равен взятому с обратным знаком связанному заряду диэлектрика в объеме, охватываемом этой поверхностью S .

Вектор электрического смещения \vec{D}

В диэлектриках на первичное поле, вызванное свободными зарядами, налагается еще добавочное поле связанных зарядов.

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

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

$$\sigma' = \chi \varepsilon_0 E_n$$



Теорема Гаусса

$$\Phi_E = \oint E_n dS = \frac{1}{\varepsilon_0} (\sum q + \sum q')$$

$$\varepsilon_0 \Phi_E - \sum q' = \varepsilon_0 \Phi_E + \oint P_n dS = \oint (\varepsilon_0 E + P)_n dS = \sum q$$

Вектор электрического смещения $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \vec{P}$

$$\oint D_n dS = \sum q$$

Вектор электрического смещения \vec{D}

$$\oint D_n dS = \int \rho dV$$

теорема Гаусса для вектора электрического смещения:

поток вектора электрического смещения через замкнутую поверхность равен алгебраической сумме заключенных внутри этой поверхности свободных зарядов.

Единицей потока вектора электрического смещения является кулон, т.е. заряд в 1 кулон создает через охватывающую его поверхность поток вектора электрического смещения в 1 кулон.

Вектор электрического смещения \vec{D}

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

$1 + \chi = \varepsilon$ – диэлектрическая проницаемость среды.

$$\vec{D} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E} \quad \varepsilon = \frac{E_0}{E}$$

$$D = \varepsilon_0 \varepsilon E = \varepsilon_0 E_0$$

Смысл введения вектора электрического смещения состоит в том, что поток вектора \vec{D} через любую замкнутую поверхность определяется только свободными зарядами, а не всеми зарядами внутри объема подобно потоку вектор \vec{E} .

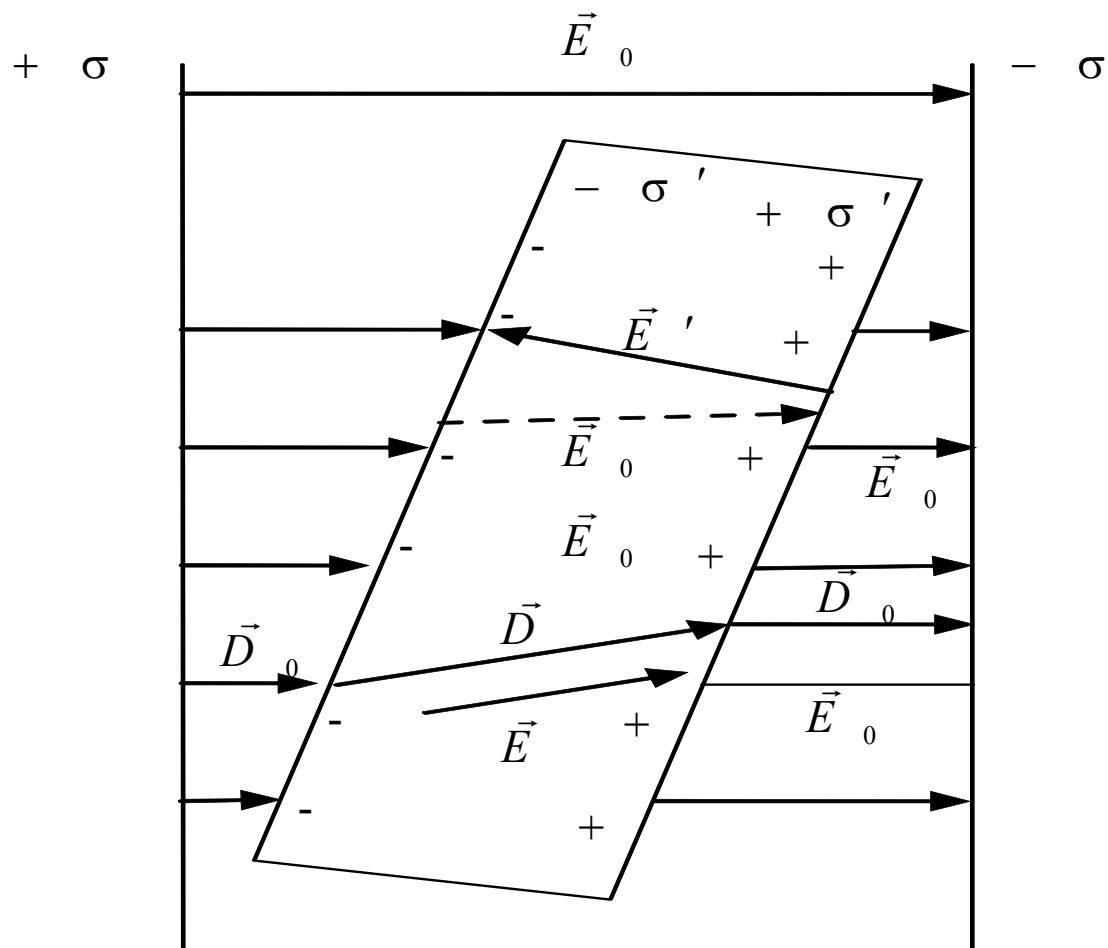


Рис. 4.3

Как найти σ' ?

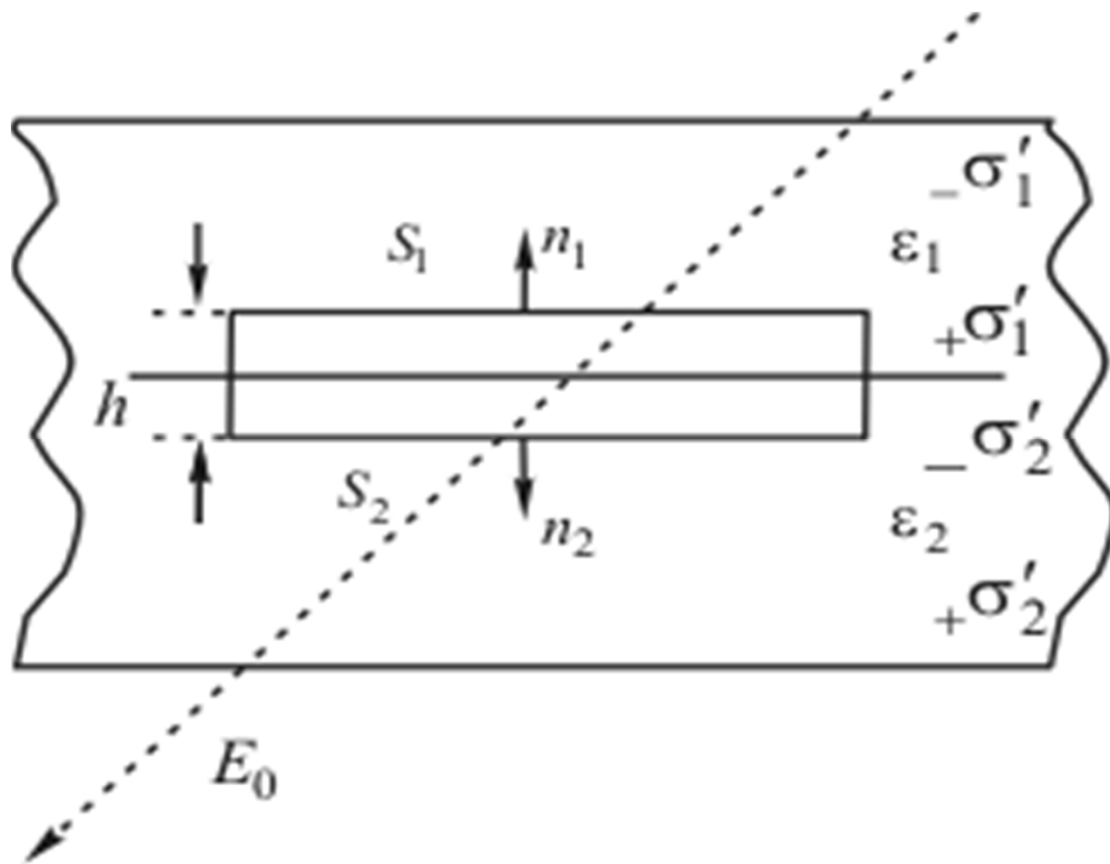
$$E = \frac{E_0}{\varepsilon} = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} = \frac{\sigma - \sigma'}{\varepsilon_0}$$

$$\frac{1}{\varepsilon_0} (\sigma - \sigma') = \frac{\sigma}{\varepsilon_0 \varepsilon} \quad \longrightarrow \quad \sigma' = \frac{\varepsilon - 1}{\varepsilon} \sigma$$

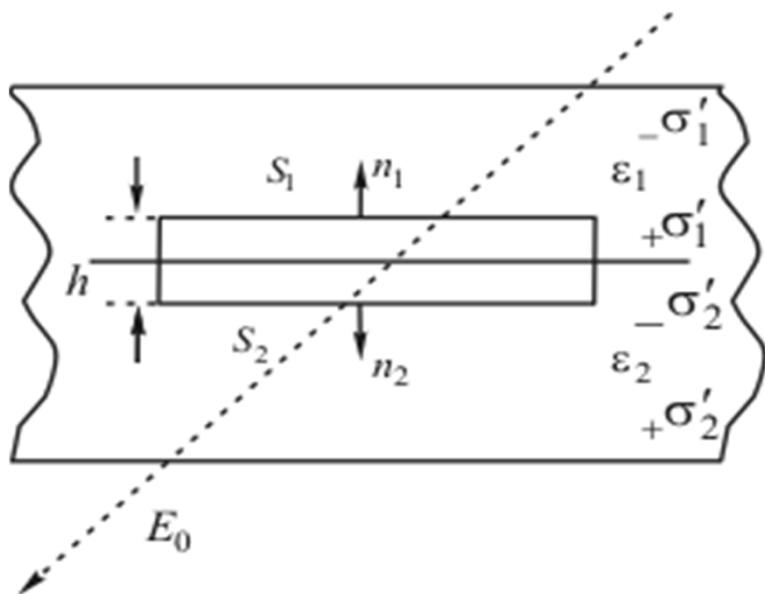
**Преломление вектора смещения
на границе раздела двух сред.**

Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.

Два соприкасающихся диэлектрика с различными диэлектрическими проницаемостями ϵ_1 и ϵ_2 , помещенные во внешнее электрическое поле.



Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.



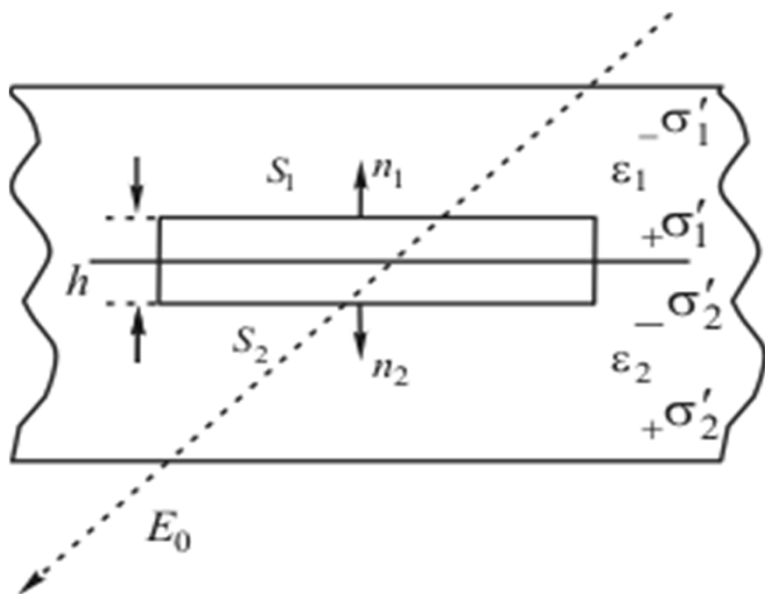
Применим к этому цилиндру теорему Гаусса.

$$\oint D_n dS = \sum q$$

Внутри цилиндра имеются лишь связанные заряды, свободных зарядов нет.

$$\oint D_n dS = \sum q = 0$$

Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.



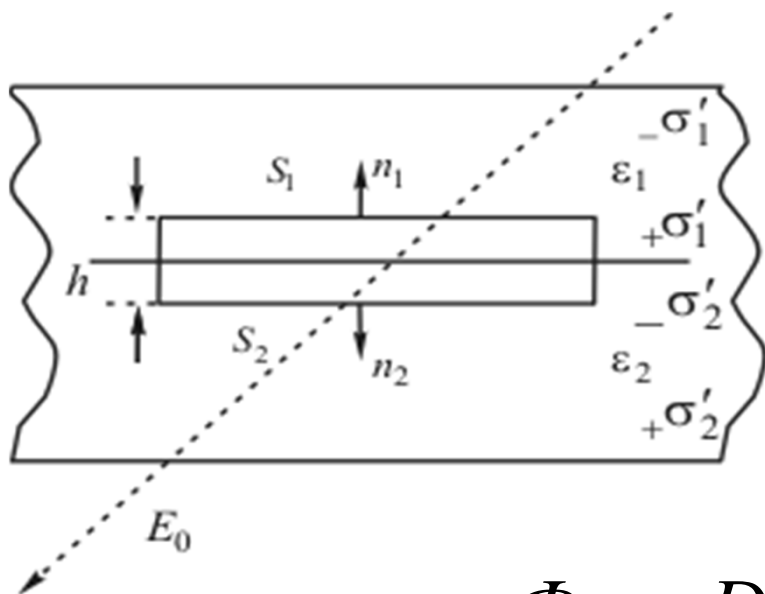
Применим к этому цилиндру теорему Гаусса.

$$\oint D_n dS = \sum q$$

Внутри цилиндра имеются лишь связанные заряды, свободных зарядов нет.

$$\oint D_n dS = \sum q = 0$$

Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.



h мала ($h \rightarrow 0$) $\Rightarrow S_{\text{бок}} \rightarrow 0$.

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

Если рассмотреть проекции векторов \mathbf{D}_1 и \mathbf{D}_2 на одну и ту же нормаль

$$D_{1n} = D_{2n} \quad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.

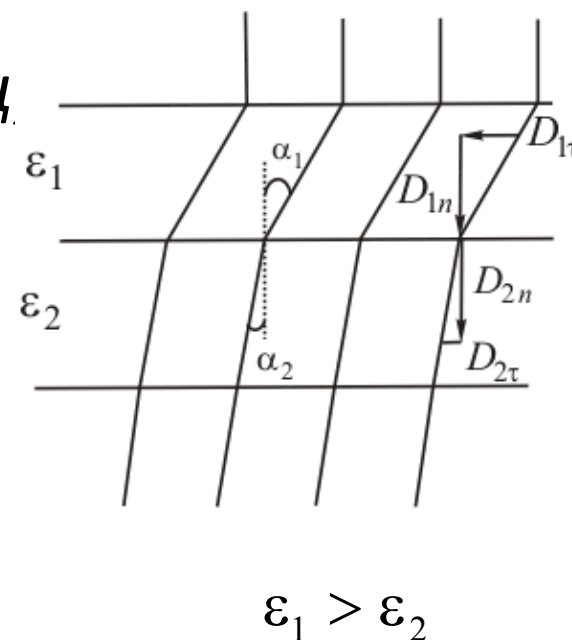
$$D_{1n} = D_{2n} \qquad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}$$

Таким образом, при переходе электрического поля через границу раздела двух диэлектриков нормальная составляющая вектора \vec{D} изменяется непрерывно, а нормальная составляющая вектора \vec{E} при переходе через границу раздела претерпевает разрыв.

Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.

$$\left. \begin{array}{l} E_{1\tau} = E_{2\tau} \quad \frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} \quad \frac{E_{1n}}{E_{2n}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} \quad D_{1n} = D_{2n} \end{array} \right\}$$

Таким образом, при переходе электрического поля через границу раздела двух диэлектриков тангенциальная составляющая вектора E изменяется непрерывно, а тангенциальная составляющая вектора D при переходе через границу раздела претерпевает разрыв.

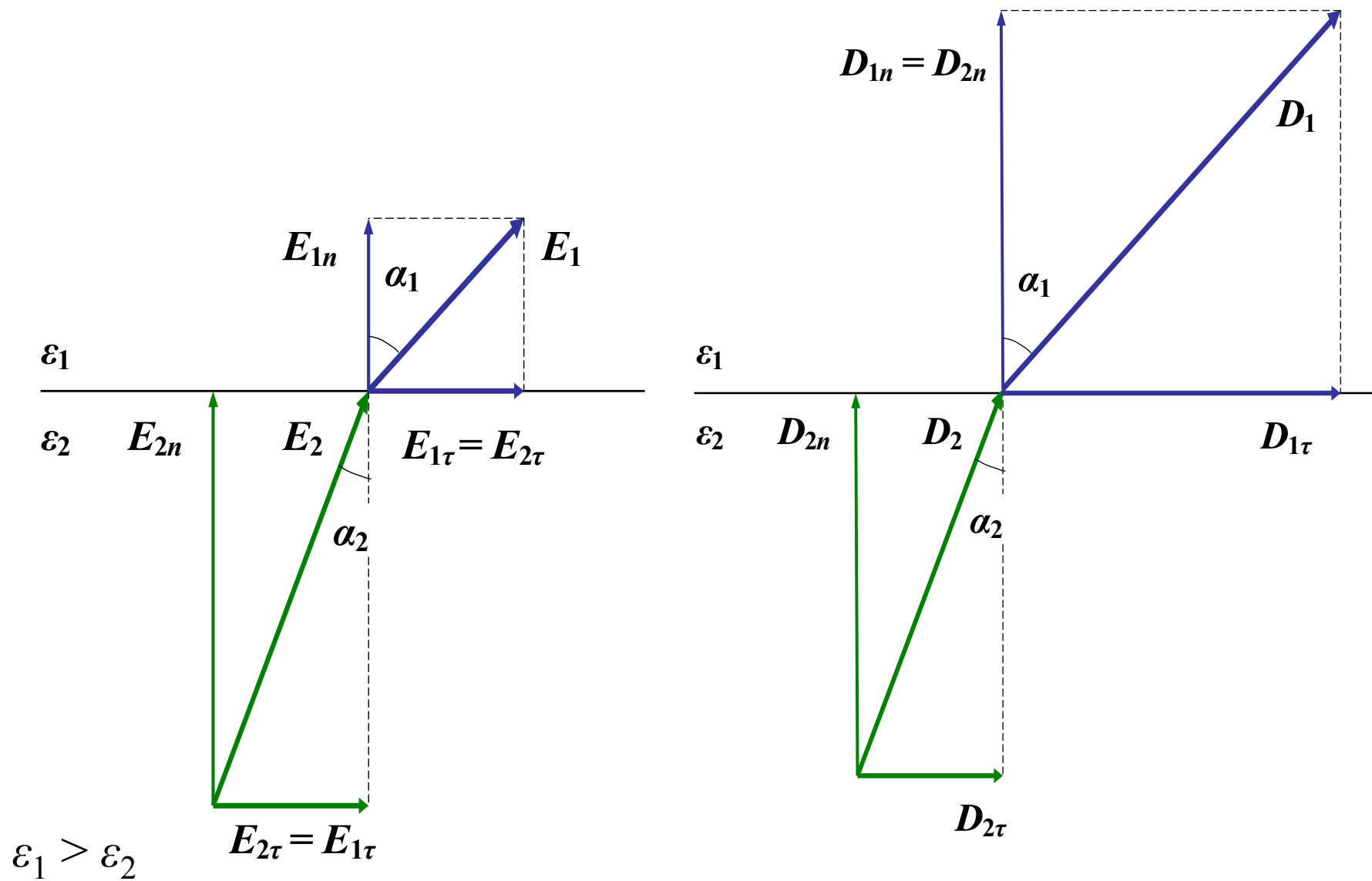


Преломление вектора смещения на границе раздела двух сред.

При переходе через границу раздела двух сред

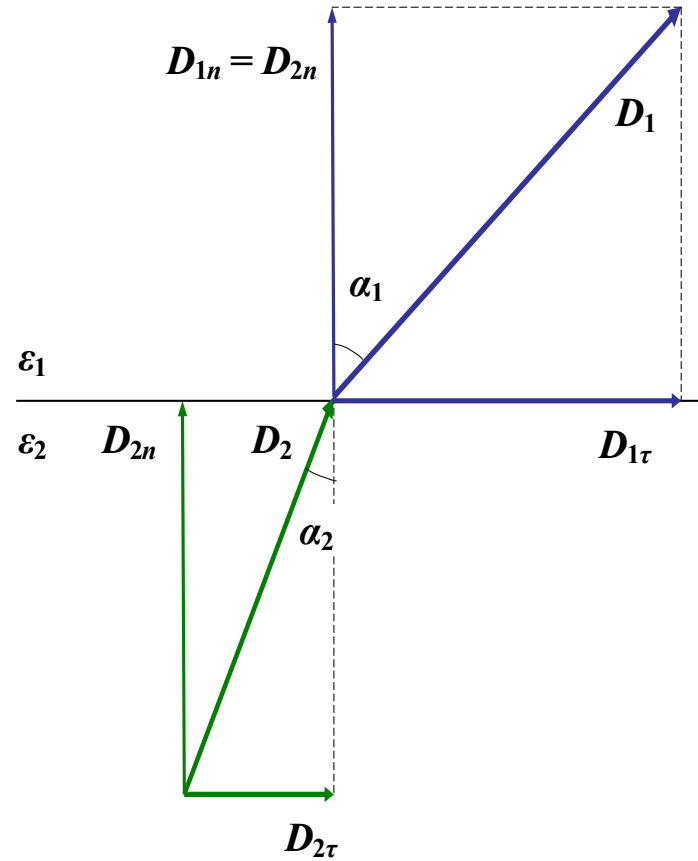
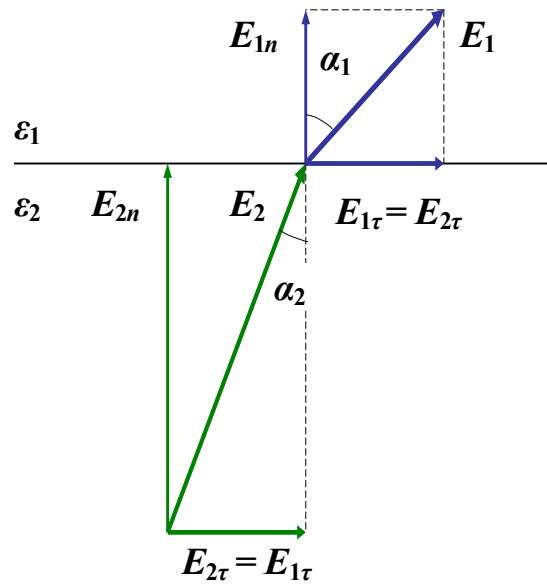
- D_n и E_τ изменяются непрерывно (не претерпевают скачка),
- D_τ и E_n претерпевают разрыв.

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



При переходе в диэлектрик с большим ε линии E и D удаляются от нормали

$$\varepsilon_1 > \varepsilon_2$$



$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{D_{1\tau}}{D_{2n}} : \frac{D_{2\tau}}{D_{2n}} = \frac{D_{1\tau}}{D_{2\tau}}$$

$$\frac{\operatorname{tg} \alpha_1}{\operatorname{tg} \alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

закон преломления линий
электрического смещения

Различные виды диэлектриков

- В 1920 г. была открыта **спонтанная** (самопроизвольная) **поляризация**.
- Всю группу веществ, называли **сегнетоэлектрики** (или *ферроэлектрики*).
- Все сегнетоэлектрики обнаруживают резкую анизотропию свойств (сегнетоэлектрические свойства могут наблюдаться только вдоль одной из осей кристалла). У изотропных диэлектриков поляризация всех молекул одинакова, у анизотропных – поляризация, и следовательно, вектор поляризации в разных направлениях разные.

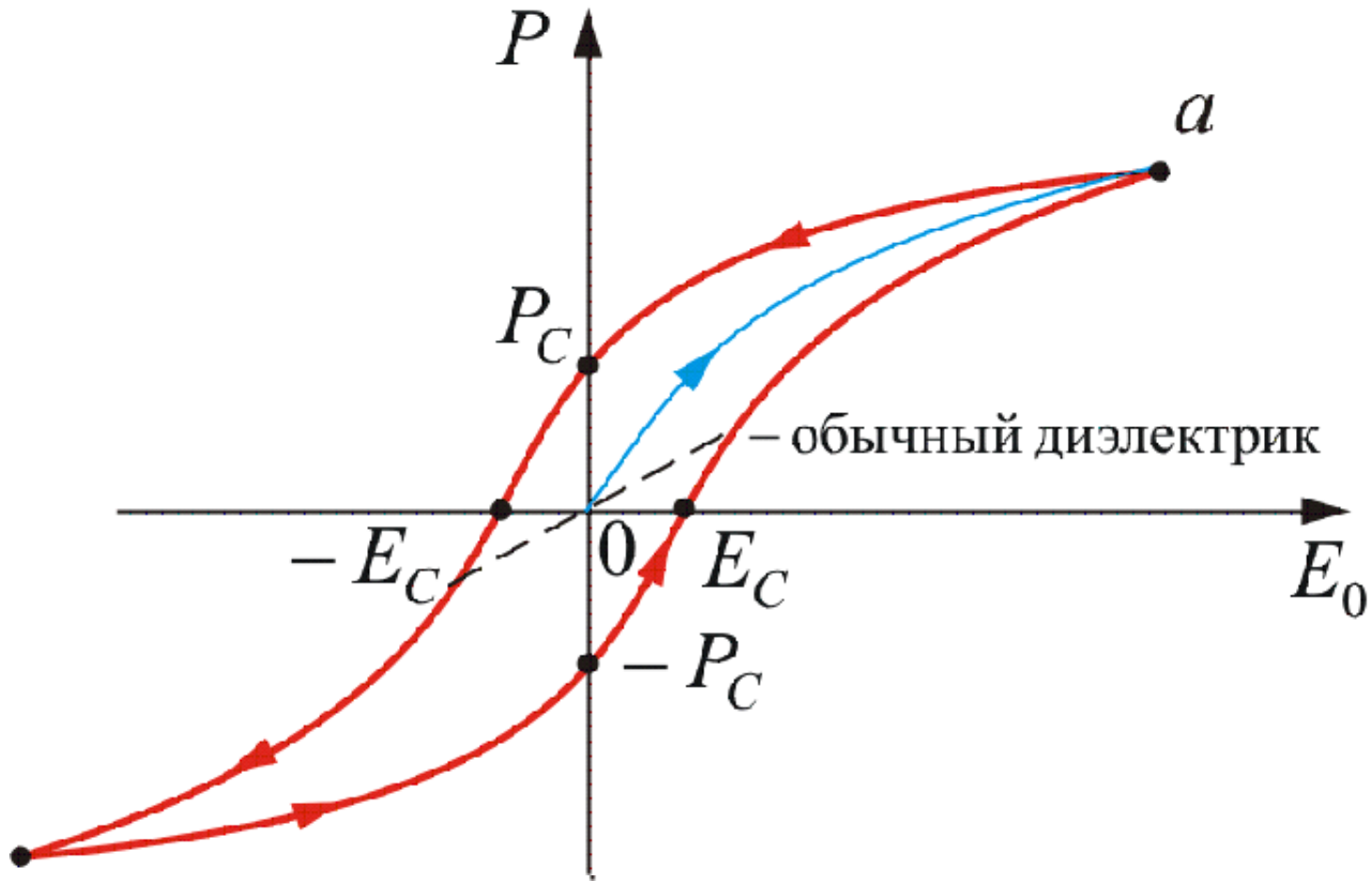
- **Основные свойства сегнетоэлектриков:**

- 1. Диэлектрическая проницаемость ϵ в некотором температурном интервале велика ($\epsilon \sim 10^3 - 10^4$).

- 2. Значение ϵ зависит не только от внешнего поля E_0 , но и от предыстории образца (гистерезис).

- 3. Диэлектрическая проницаемость ϵ (а следовательно, и P) – нелинейно зависит от напряженности внешнего электростатического поля (*нелинейные диэлектрики*).

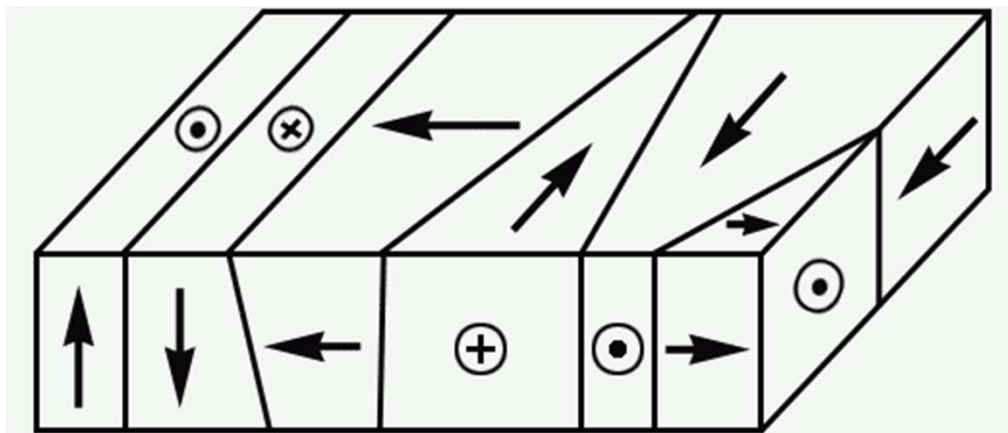
- Нелинейная поляризация диэлектриков называется *диэлектрическим гистерезисом*
- Здесь точка a – состояние насыщения.



E_c – коэрцитивная сила, P_c – остаточная поляризация

- 4. Наличие точки Кюри – температуры, при которой (и выше) сегнетоэлектрические свойства пропадают. Например,
- титанат бария: 133°C ;
- сегнетова соль: $-18 + 24^{\circ}\text{C}$;
- ниобат лития 1210°C .

Сегнетоэлектрики состоят из доменов – областей с различными направлениями поляризации. В отсутствии поля суммарный дипольный момент практически отсутствует. Под действием электрического поля E доменные границы смещаются так, что объем доменов, поляризованных по полю, увеличивается за счет доменов, поляризованных против поля.



Изображение доменов тетрагональной модификации BaTiO_3 . Стрелки указывают направление вектора поляризации

В сильном электрическом поле кристалл становится однодоменным. После выключения электрического поля образец остается поляризованным. P_c – остаточная поляризация.

Чтобы суммарные объемы доменов противоположного знака сравнялись, необходимо приложить поле противоположного направления E_c – коэрцитивное поле.

- Среди диэлектриков есть вещества, называемые **электреты** – диэлектрики, длительно сохраняющие поляризованное состояние после снятия внешнего электростатического поля (аналоги постоянных магнитов).

Пьезоэлектрики

Некоторые диэлектрики поляризуются не только под действием электрического поля, но и под действием механической деформации. Это явление называется ***пьезоэлектрическим эффектом***.

- Явление открыто братьями Пьером и Жаком Кюри в 1880 году.



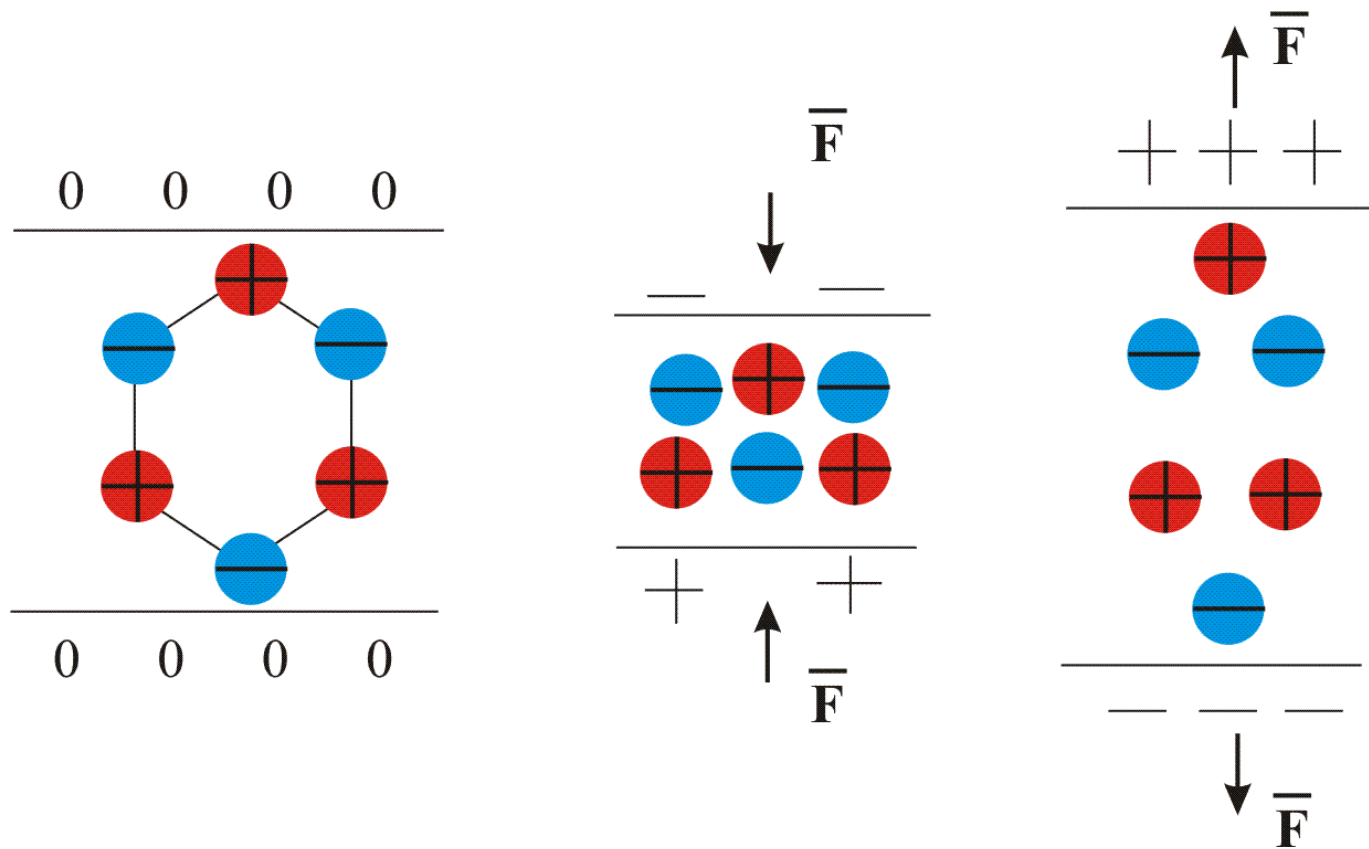
Кюри, Пьер

(15.V.1859 г. – 19.IV.1906)

Помимо Нобелевской премии, Кюри был удостоен еще нескольких наград и почетных званий, в том числе медали Дэви Лондонского королевского общества (1903) и золотой медали Matteucci Национальной Академии наук Италии (1904). Он был избран во Французскую академию наук (1905). В честь Пьера и Марии Кюри назван искусственный химический элемент — кюрий.

Если на грани кристалла наложить металлические электроды (обкладки) то при деформации кристалла на обкладках возникнет разность потенциалов.

Если замкнуть обкладки, то потечет ток.



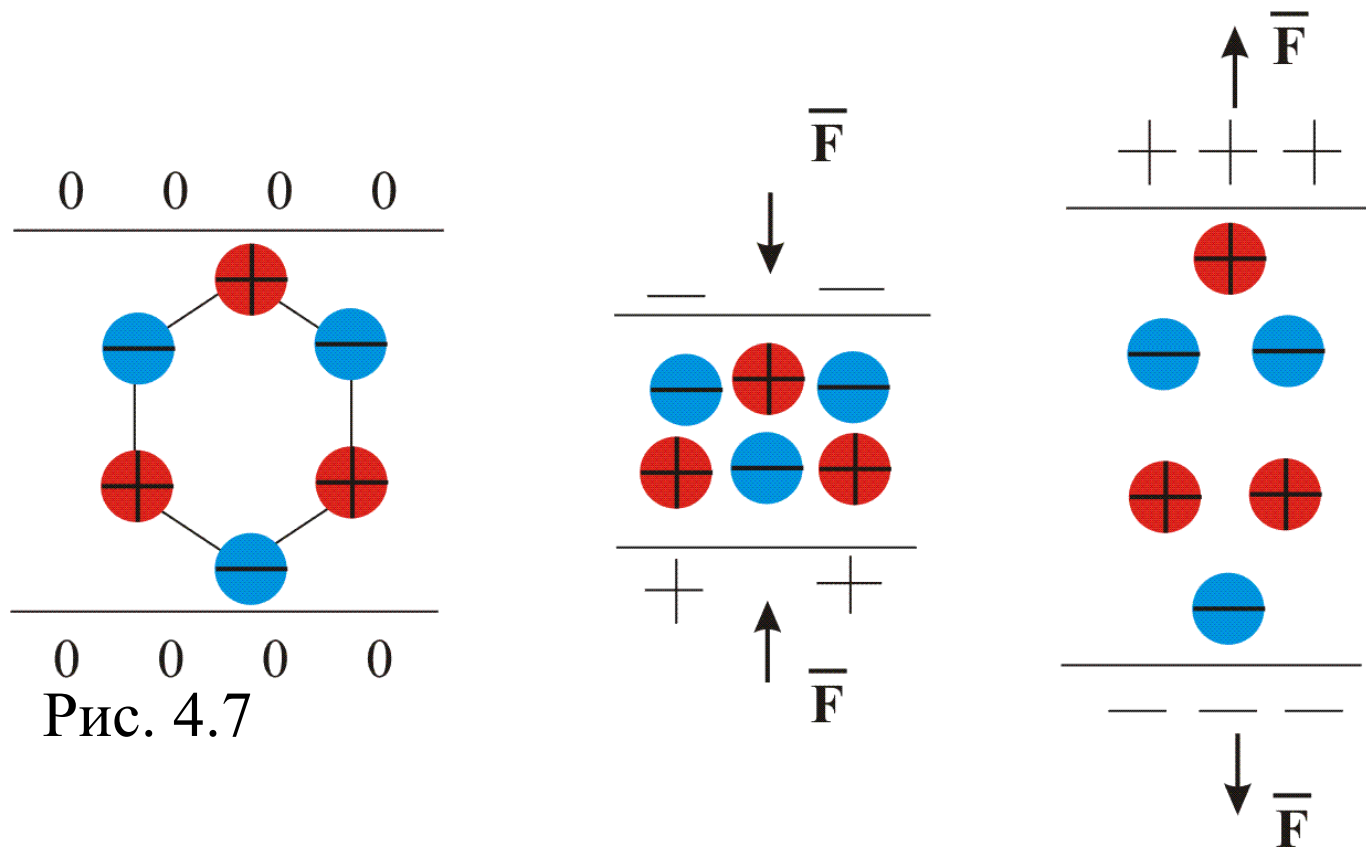


Рис. 4.7

Возможен и обратный пьезоэлектрический эффект:

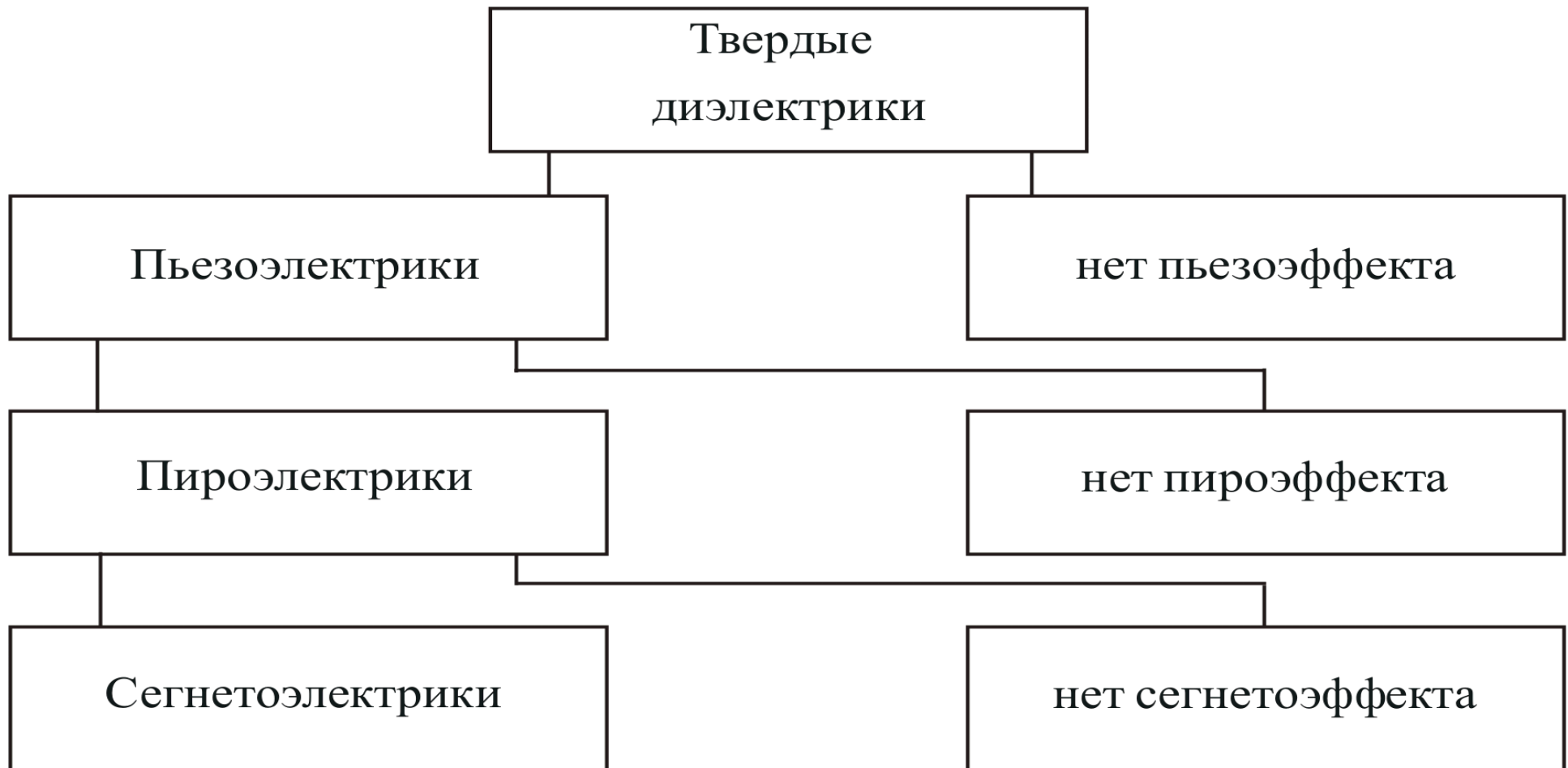
- Возникновение поляризации сопровождается механическими деформациями.
- Если на пьезоэлектрический кристалл подать напряжение, то возникнут механические деформации кристалла, причем, деформации будут пропорциональны приложенному электрическому полю E_0 .

Пироэлектрики

Пироэлектричество – появление электрических зарядов на поверхности некоторых кристаллов при их нагревании или охлаждении.

- При нагревании один конец диэлектрика заряжается положительно, а при охлаждении он же – отрицательно.
- Появление зарядов связано с изменением существующей поляризации при изменении температуры кристаллов.

Все пирозэлектрики являются пьезоэлектриками, но не наоборот. Некоторые пирозэлектрики обладают сегнетоэлектрическими свойствами.



В качестве **примеров** использования различных диэлектриков можно привести: **сегнетоэлектрики** – электрические конденсаторы, ограничители предельно допустимого тока, позисторы, запоминающие устройства;

пьезоэлектрики – генераторы ВЧ и пошаговые моторы, микрофоны, наушники, датчики давления, частотные фильтры, пьезоэлектрические адаптеры;

пироэлектрики – позисторы, детекторы ИК-излучения, болометры (датчики инфракрасного излучения), электрооптические модуляторы.

Практическое применение пьезоэффекта.

Пьезоэлектрические преобразователи (например, пьезоэлектрический манометр), двигатели, пьезоэлектрические стабилизаторы и фильтры, пьезоэлектрические датчики, звукоосниматели, микрофоны, кварцевые излучатели ультразвука и пр.

В течение последних 5-7 лет сформировалась и интенсивно развивается новая отрасль медицины, основанная на использовании близкодействующих статических электрических полей для стимулирования позитивных биологических процессов в организме человека.

Попадая вместе с имплантатом в организм человека, электретная пленка своим полем оказывает дозированное локальное воздействие на поврежденный орган, способствуя его лечению в оптимальных биофизических условиях.

В основе этого процесса лежит природный эффект, состоящий в том, что внешнее близкодействующее электрическое поле определенной величины и знака, действуя на клеточном уровне, является катализатором появления здоровых новообразований в живых тканях.

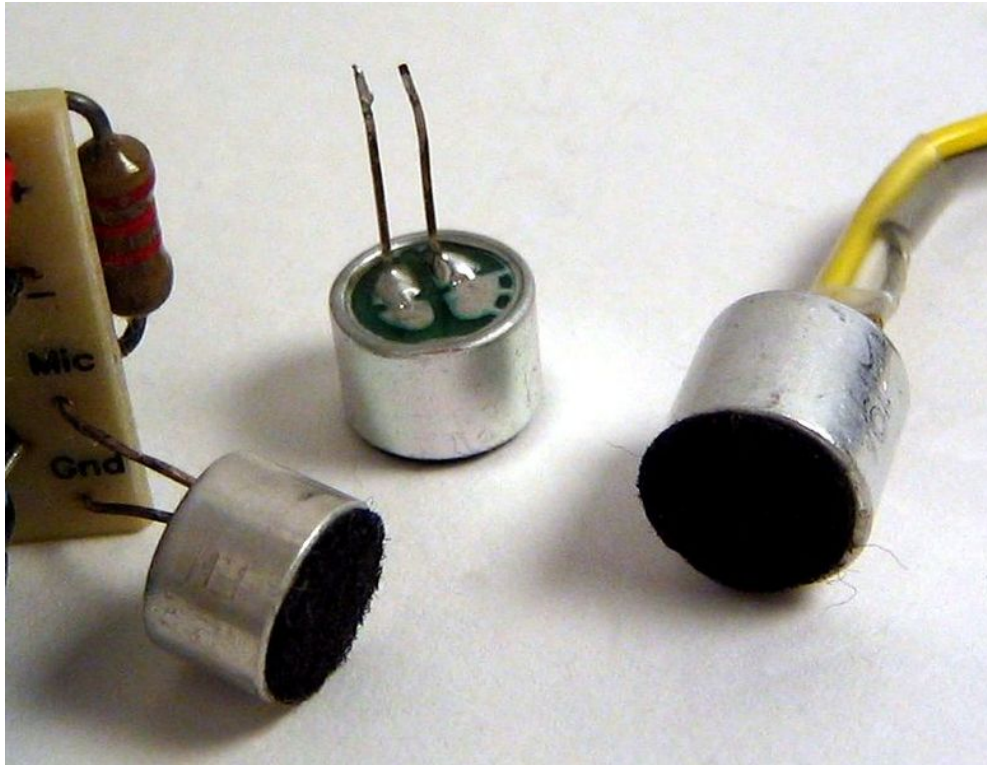


Характерные фотографии срезов костной ткани, полученные в результате серии экспериментов. Электретное покрытие существенно ускоряет процессы заживления.

К концу третьего месяца после операции вокруг имплантатов с электретным покрытием практически полностью завершается процесс формирования костной ткани, отсутствуют признаки воспалительной реакции.



Речевой ненаправленный электретный микрофон МК-Boost является фирменным продуктом компании «Гран При».



Тонкая плёнка из [гомоэлектрета](#) помещается в зазор [конденсаторного микрофона](#) (т.е. [конденсатора](#), у которого одна из обкладок (мембрана) имеет возможность перемещаться под действием внешнего акустического сигнала). Это приводит к появлению некоторого постоянного заряда конденсатора.

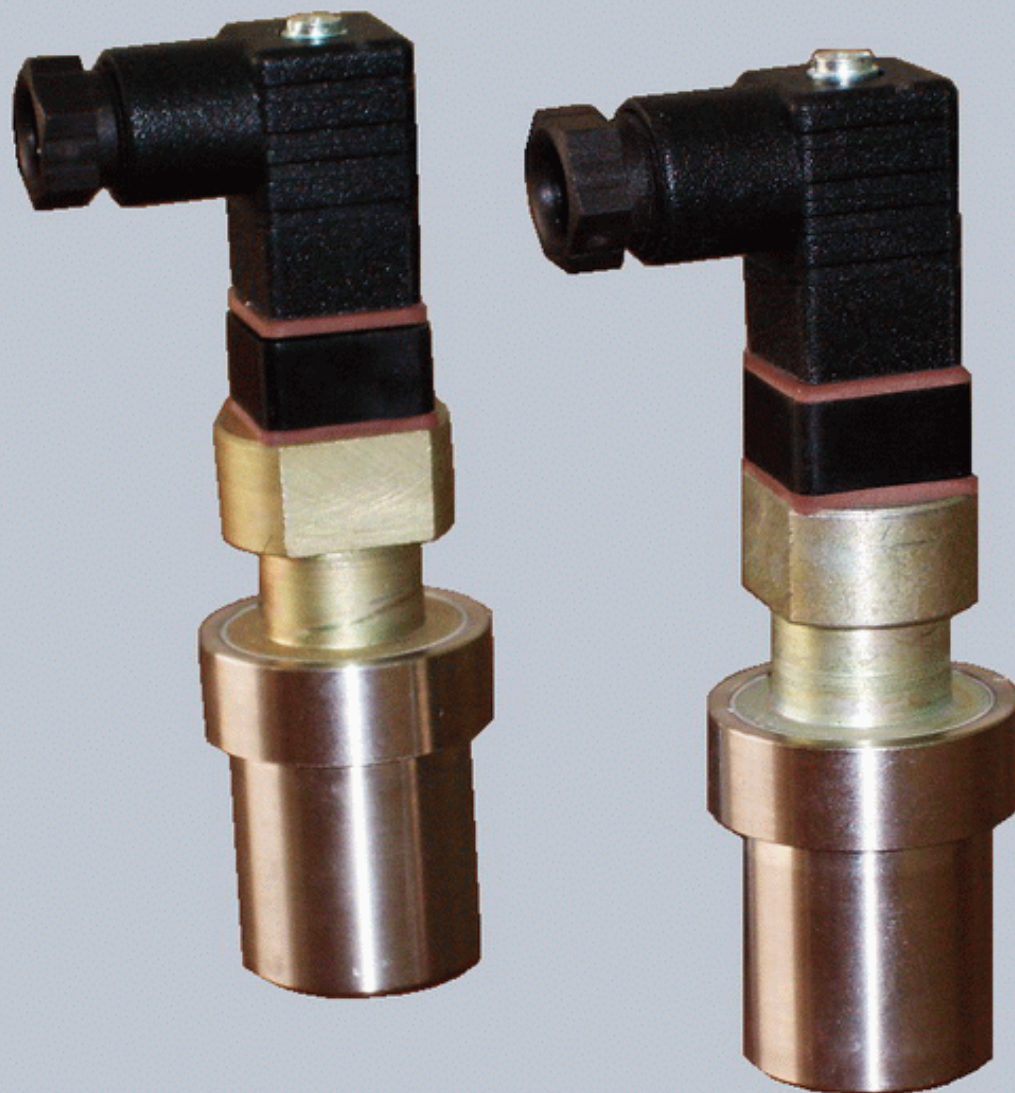
При изменении ёмкости, вследствие смещения мембраны, на конденсаторе проявляется изменение напряжения, соответствующее акустическому сигналу.





Блоки пьезоэлектрических преобразователей предназначены для совместной работы с электронным блоком дефектоскопа УДС2-РДМ-2. Используются в схемах проверки нитей железнодорожного пути.

Блоки преобразователей являются составной частью системы ультразвукового контроля и конструктивно состоят из резонаторов, установленных в специальном корпусе, закрепленных на износостойчивом основании. Блоки оснащены системой подачи контактной жидкости.



Пьезоэлектрические преобразователи ПЭП 3 предназначены для создания в жидкостях ультразвуковых колебаний, их приема с последующим преобразованием в электрический сигнал в составе ультразвуковых счетчиков жидкостей и тепла.

- Сейчас известно более 1800 пьезокристаллов.
- Все сегнетоэлектрики обладают пьезоэлектрическими свойствами
- Используются в пьезоэлектрических адаптерах и других устройствах).