ЭЛЕКТРОСТАТИКА

ПЛАН ЛЕКЦИИ

1. Диэлектрики. Диэлектрическая поляризация.
2. Электрическое поле внутри диэлектрика.
3. Теорема Гаусса при наличии диэлектриков.
4. Вектор электрического смещения.
5. Постулат Максвелла.
6. Условия на границе двух диэлектриков

ДИЭЛЕКТРИКИ

Электрические свойства среды определяются реакцией заряженных частиц на внешнее электрическое поле

Под действием внешнего поля могут быть следующие виды движения частиц вещества:

1. *Ограниченное* движение зарядов

   Заряды называются *связанными*, в результате их движения (смещения) происходит *диэлектрическая поляризация* вещества.

Вещества, у которых под действием электрического поля преобладающим является процесс смещения связанных зарядов, называются ***диэлектриками***.

2. *Неограниченное* перемещение зарядов в объеме вещества.

   Заряды называются *свободными*, в результате их движения возникает *электрический ток*

Вещества, у которых под действием электрического поля преобладающим является процесс неограниченного движения зарядов, называются ***проводниками***.

ДИЭЛЕКТРИКИ.

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

В диэлектрике смещенные заряды образуют систему электрических мультиполей, преимущественно *диполей*.

<u>*Электрический (дипольный) момент*</u> $\vec{p}$ одна из характеристик диполя.

Это вектор, который направлен по оси диполя от отрицательного заряда к положительному.

<u>*Вектор поляризации*</u> диэлектрика - это величина, равная отношению суммы дипольных моментов $\vec{p}_i$ всех молекул, содержащихся в элементе объема ΔV, к объему ΔV

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

Вектор поляризации - это макроскопическая характеристика, которая определяется напряженностью поля, вызывающего поляризацию

ДИЭЛЕКТРИКИ.

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Для линейной изотропной среды связь $\vec{P}_E$ и $\vec{E}$ выражается соотношением:

$$\boxed{\vec{P}_E = \varepsilon_0 \chi_E \vec{E}}$$

где χ_E (каппа) – *электрическая восприимчивость* (способность диэлектрика к поляризации).

χ_E связана с *диэлектрической проницаемостью* вещества ε - основной макрохарактеристикой диэлектрической поляризации:

$$\boxed{\chi_E = \varepsilon - 1}$$

Тогда формулу для $\vec{P}_E$ можно записать в виде

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

ДИЭЛЕКТРИКИ.

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Поле внутри диэлектрика

Заряды в диэлектрике и вне его:

- *связанные* в пределах диэлектрика;
- *свободные* в пределах диэлектрика
- *свободные* вне пределов диэлектрика

сторонние заряды

Общее поле в диэлектрике называется *микроскопическим* или *истинным* и определяется суперпозицией полей, созданных сторонними и связанными зарядами:

$$\vec{E}_{микро} = \vec{E}_{стор} + \vec{E}_{связ}$$

$\vec{E}_{микро}$ - зависит от многих факторов, в том числе и от времени.

Более удобно использовать *макроскопическое* поле $\vec{E}$, т.е. усредненное по бесконечно малому объему значение поля $\vec{E}_{микро}$

$$\boxed{\vec{E} = \langle \vec{E}_{микро} \rangle = \langle \vec{E}_{стор} \rangle + \langle \vec{E}_{связ} \rangle = \vec{E}_0 + \vec{E}^*}$$

ДИЭЛЕКТРИКИ.

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Поле внутри диэлектрика

Связанные заряды в диэлектрике могут характеризоваться объемной плотностью ρ^* и поверхностной плотностью σ^*.

Поверхностная плотность σ^* связана с вектором поляризации $\vec{P}$ диэлектрика простым соотношением:

$$\boxed{P_n = \sigma^*}$$

P_n - нормальная составляющая вектора поляризации.

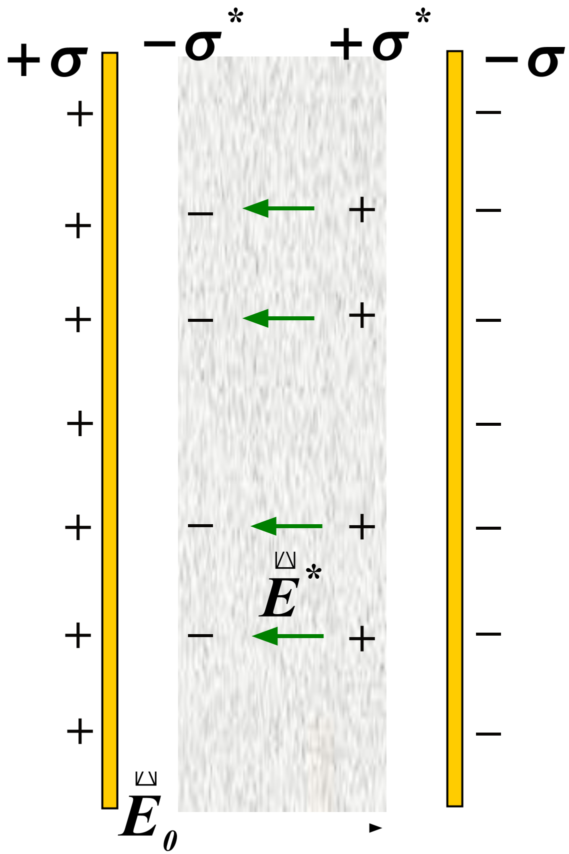
В любой точке поверхности поляризованного диэлектрика поверхностная плотность связанных зарядов равна нормальной составляющей вектора поляризации в этой точке.

Объемная плотность заряда отлична от нуля в *неоднородных* диэлектриках, т.е. в таких диэлектриках, у которых вектор поляризации имеет различные значения по объему.

ДИЭЛЕКТРИКИ.

СВОЙСТВА И ХАРАКТЕРИСТИКИ

Пример электрического поля в диэлектрике



Две бесконечные параллельные пластины разноименно заряженные с поверхностной плотностью σ

Поле пластин в вакууме имеет напряженность $\vec{E}_0$

В поле вносится пластина из однородного изотропного диэлектрика с диэлектрической проницаемостью ε

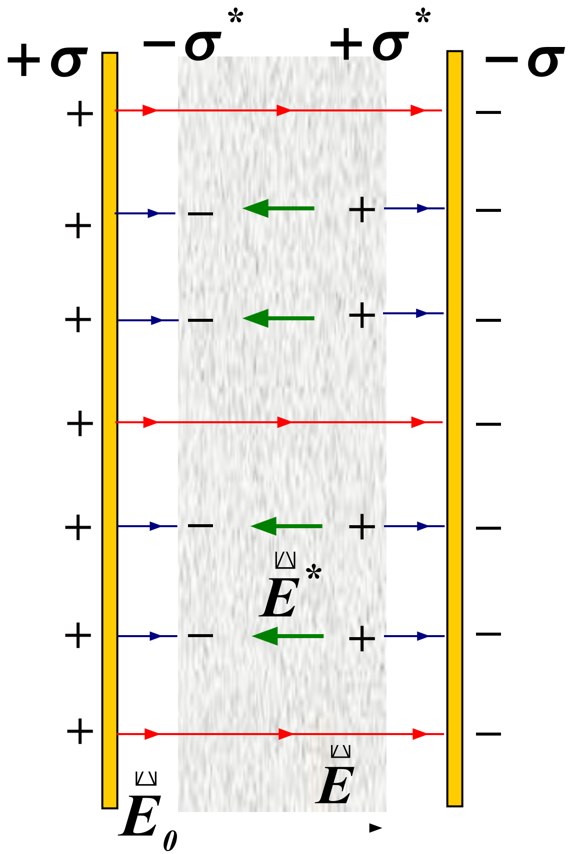
Под действием поля диэлектрик поляризуется, на его поверхности появятся связанные заряды с плотностью σ^*

Эти заряды создадут внутри пластины однородное поле с напряженностью $\vec{E}^*$

Поле $\vec{E}^*$ направлено навстречу полю $\vec{E}_0$

ДИЭЛЕКТРИКИ.

<u>Пример</u> электрического поля в диэлектрике



Две области пространства между пластинами:

1. Поле вне диэлектрика с напряженностью $\vec{E}_0$;
2. Поле в диэлектрике с напряженностью

$$\vec{E} = \vec{E}_0 + \vec{E}^*,$$

или в скалярной форме $E = E_0 - E^*$

$$E^* = \sigma^* / \varepsilon_0 = \frac{P_n}{\varepsilon_0} = \frac{\chi \cdot \varepsilon_0 \cdot E}{\varepsilon_0} = \chi \cdot E$$

$$\boxed{E(1+\chi) = E_0 \Rightarrow E = E_0 / \varepsilon}$$

Диэлектрическая проницаемость ε показывает, во сколько раз ослабляется электрическое поле в диэлектрике.

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Вектор электрического смещения.

$$\oint_S (\vec{E}, d\vec{S}) = \frac{g + g'}{\varepsilon_0}; \quad g' = -\oint_S (\vec{P}, d\vec{S}) \Rightarrow$$

$$\oint_S (\varepsilon_0 \cdot \vec{E}, d\vec{S}) = g - \oint_S (\vec{P}, d\vec{S}) \Rightarrow$$

$$\oint_S (\varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P}, d\vec{S}) = g;$$

$\varepsilon_0 \cdot \vec{E} + \vec{P} = \vec{D}$ – ***вектор электрического смещения***

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Теорема Гаусса при наличии диэлектриков. Вектор электрического смещения.

Новая векторная характеристика электрического поля - *вектор смещения* $\vec{D}$. Не зависит от свойств среды.

Для линейного изотропного диэлектрика связь между векторами $\vec{E}$ и $\vec{D}$ выражается соотношением

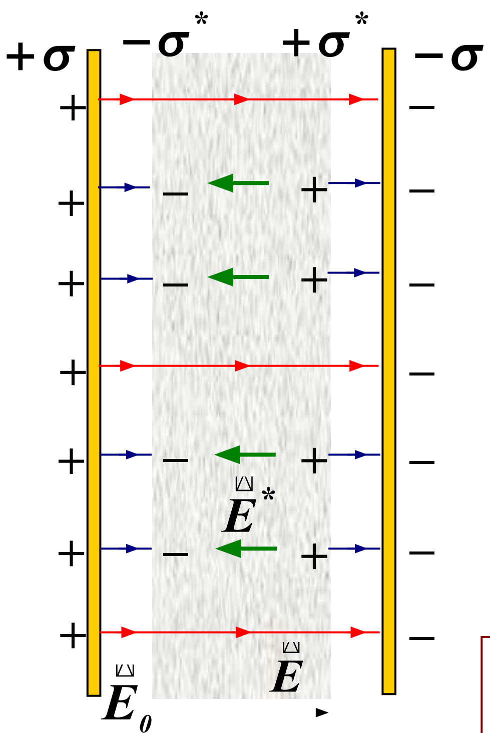
$$\boxed{\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}}$$

В вакууме $\varepsilon = 1$, следовательно

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

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Вектор электрического смещения.



Вычислим значение $\vec{D}$ между заряженными пластинами

Электрическое смещение внешнего поля равно $\vec{D}_0$

Для определения $\vec{D}$ умножим уравнение для электрического поля в диэлектрике $E = E_0/\varepsilon$ на $\varepsilon\varepsilon_0$

$$\varepsilon\varepsilon_0 E = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 E_0}{\varepsilon} = \varepsilon_0 E_0$$

Получили равенство $D = D_0$. Вывод:

Электрическое смещение внутри диэлектрика совпадает с электрическим смещением внешнего поля

Теорема Гаусса с учетом введенной характеристики поля может быть записана в виде:

$$\oint_S \left(\vec{D}, d\vec{S}\right) = g$$

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Постулат Максвелла.

$$\boxed{\oint_S \left(\vec{D}, d\vec{S}\right) = g}$$

Это соотношение называют *постулатом Максвелла*

Поток вектора смещения через замкнутую поверхность в произвольной среде равен стороннему заряду, заключенному внутри поверхности.

Теорема Гаусса выступает как частный случай постулата Максвелла

В дифференциальной форме постулат Максвелла выглядит так:

$$\boxed{div\ \vec{D} = \rho_g}$$

ρ_g - объемная плотность свободного заряда

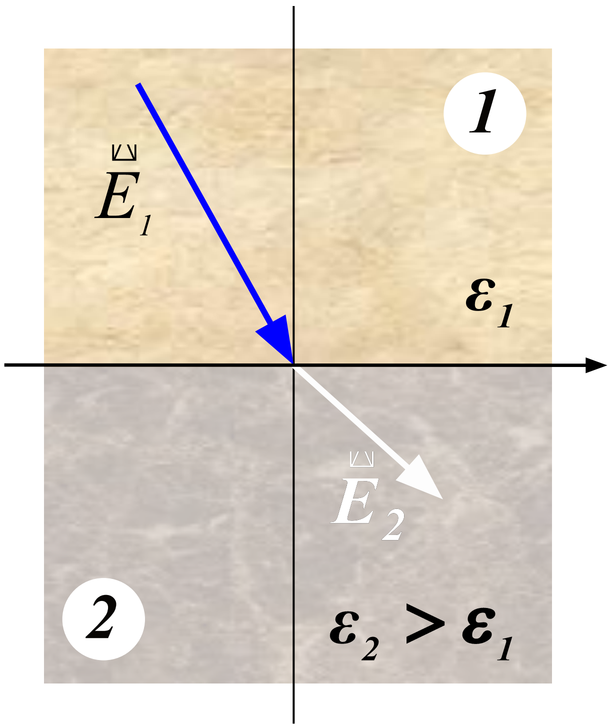
Постулат Максвелла выражает закон создания электрических полей действием зарядов в произвольных средах

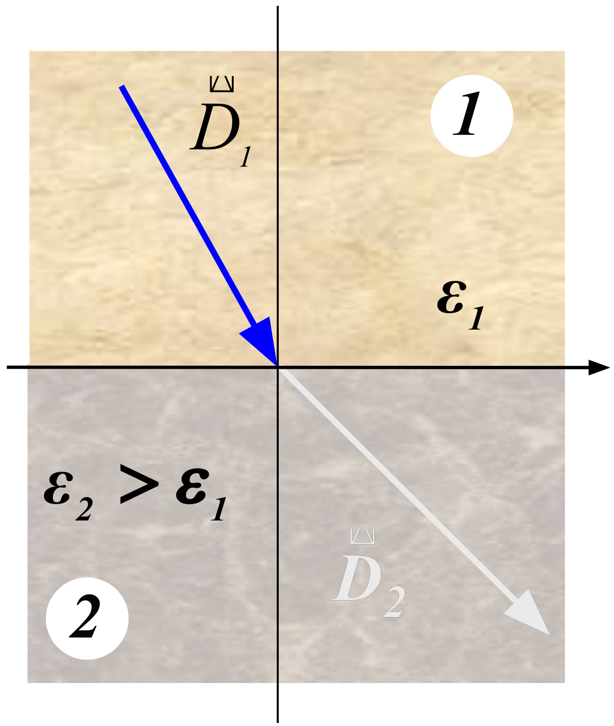
ДИЭЛЕКТРИКИ.

Условия на границе двух диэлектриков

При переходе электрического поля через границу раздела двух диэлектрических сред вектор напряженности и вектор смещения скачкообразно меняются по величине и направлению. Соотношения, характеризующие эти изменения, называют *граничными условиями*. Таких условий четыре.

Рассмотрим границу между двумя диэлектриками с проницаемостями ε_1 и ε_2

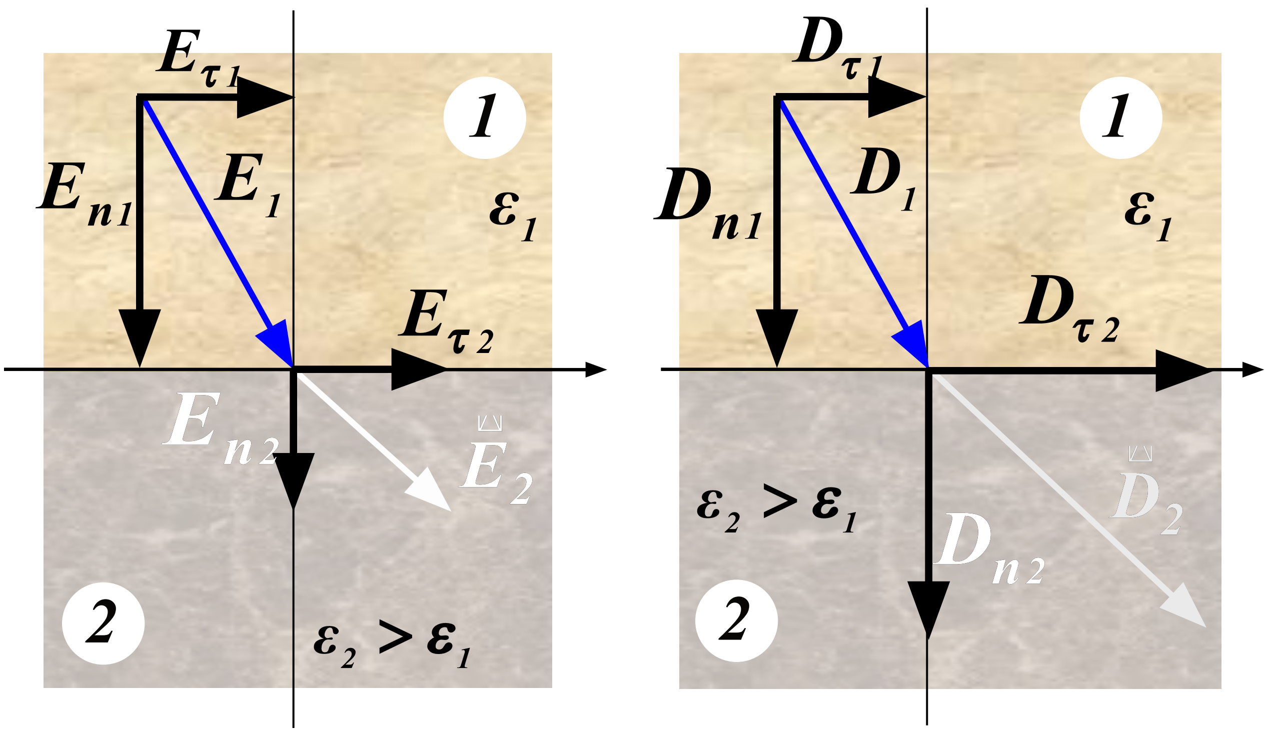




Пусть в диэлектриках создано поле: с напряженностью $\vec{E}_1$ и электрическим смещением $\vec{D}_1$ в первом диэлектрике, и $\vec{E}_2$ и $\vec{D}_2$ во втором.

Условия на границе двух диэлектриков

Представим каждый из векторов в виде суммы нормальной и тангенциальной составляющих



$$\vec{E}_1 = \vec{E}_{n1} + \vec{E}_{\tau 1}$$

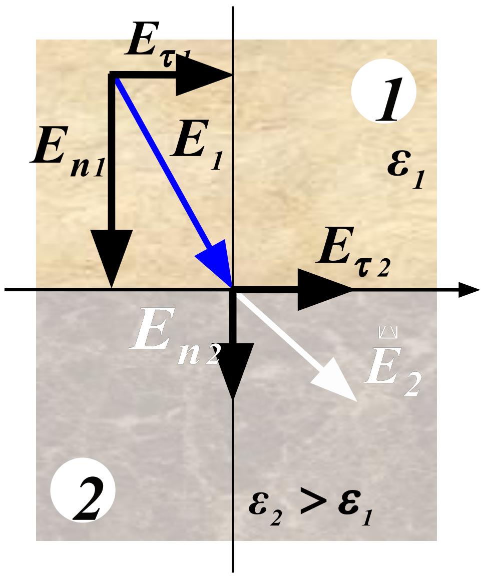
$$\vec{E}_2 = \vec{E}_{n2} + \vec{E}_{\tau 2}$$

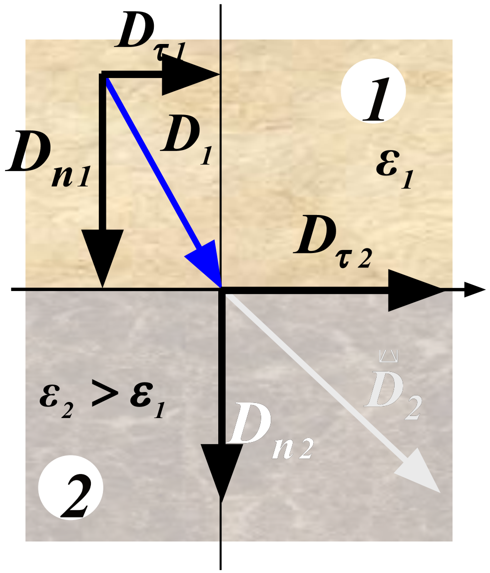
$$\vec{D}_1 = \vec{D}_{n1} + \vec{D}_{\tau 1}$$

$$\vec{D}_2 = \vec{D}_{n2} + \vec{D}_{\tau 2}$$

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Условия на границе двух диэлектриков





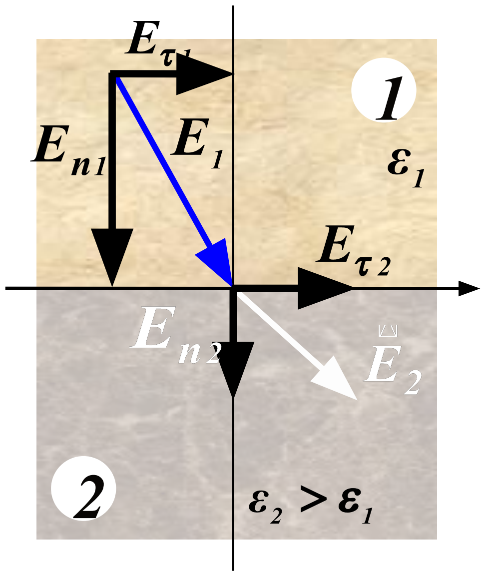
Если применить постулат Максвелла к замкнутой поверхности контура, который частично проходит в первом диэлектрике, частично во втором, охватывая границу раздела диэлектриков, можно получить следующие условия на границе:

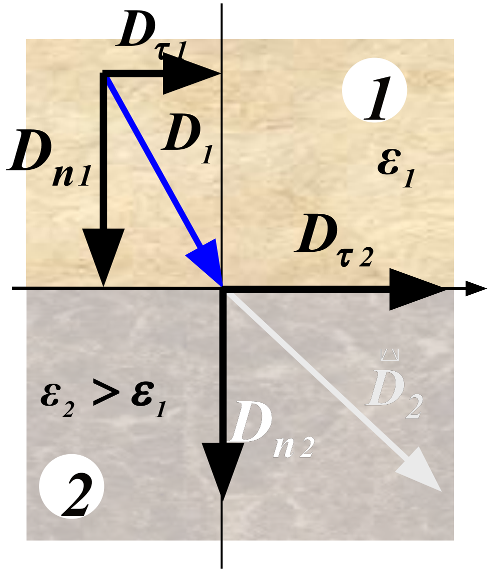
1. $\boxed{D_{n1} = D_{n2}}$. Это условие непрерывности *нормальных составляющих* вектора смещения на границе раздела двух сред

Используя формулу $\vec{D} = \varepsilon\varepsilon_0 \vec{E}$, запишем соотношение для нормальных составляющих вектора напряженности поля – второе граничное условие:

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Условия на границе двух диэлектриков





2. $$\boxed{\frac{E_{n1}}{E_{n2}} = \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}}$$

Это граничное условие разрывного изменения *нормальных составляющих* вектора напряженности при переходе через границу раздела двух сред.

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

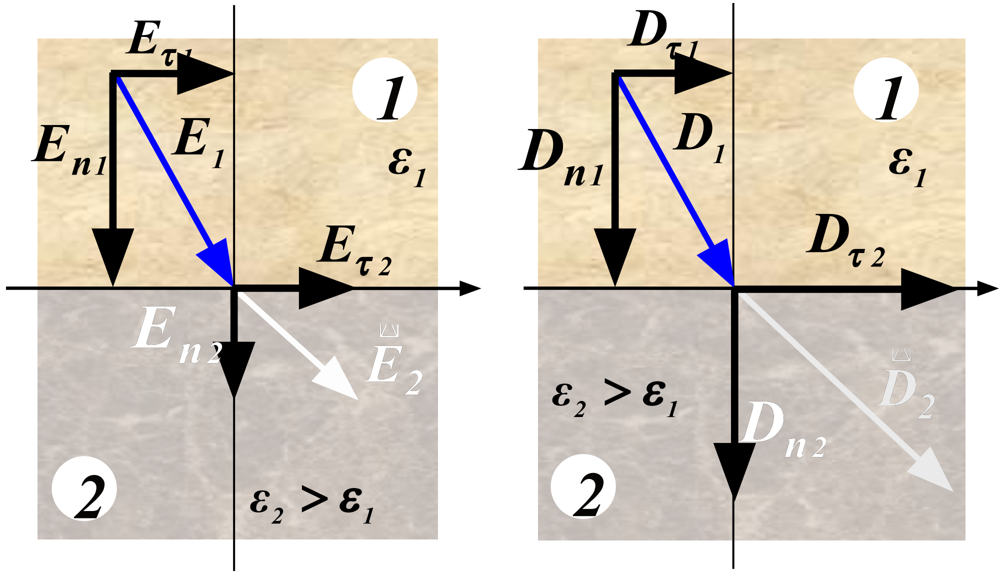
Это условие непрерывности *тангенциальных составляющих* вектора напряженности на границе раздела двух сред.

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

Это граничное условие разрывного изменения *тангенциальных составляющих* вектора смещения при переходе через границу раздела двух сред.

ДИЭЛЕКТРИКИ.

Условия на границе двух диэлектриков



Таким образом, у обоих векторов $\vec{E}$ и $\vec{D}$ одна из составляющих испытывает на границе двух диэлектриков разрыв, оба вектора при переходе поля через границу скачкообразно изменяются по величине и направлению. Т.е. векторы *преломляются*.

Граничные условия справедливы не только для электростатического поля, но и для полей, изменяющихся со временем.