

ДИЭЛЕКТРИКИ В ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

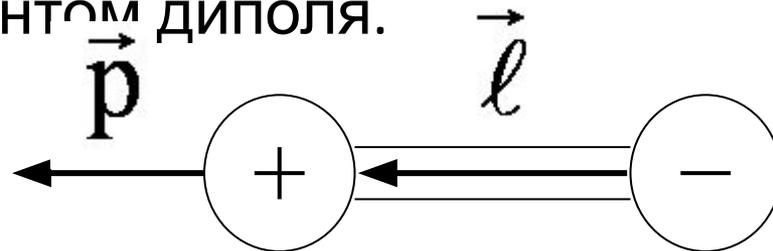
Электрический диполь – это система из двух равных по величине и противоположных по знаку зарядов, расстояние между которыми во много раз меньше расстояний до рассматриваемых точек.

Вектор ℓ , направленный по оси диполя от отрицательного заряда к положительному, и равный расстоянию между зарядами, называется **плечом диполя**.

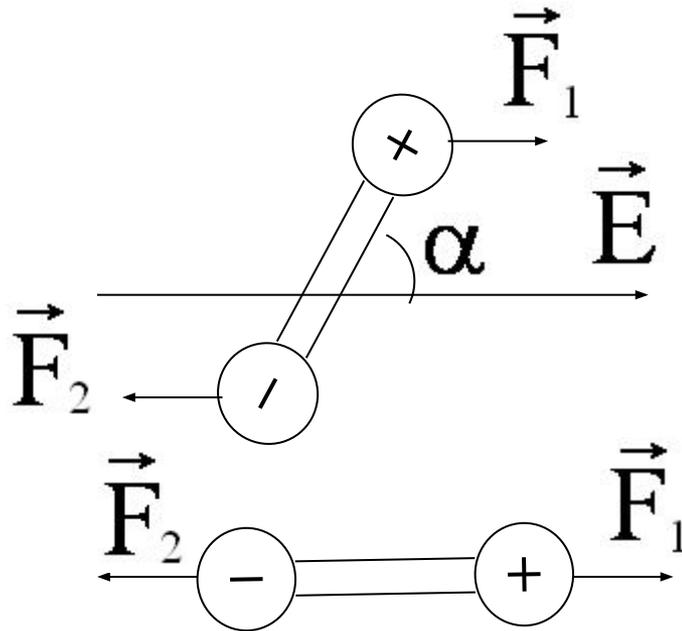
$$\vec{p} = q \cdot \vec{\ell}$$

Вектор ,

называется **дипольным моментом** или электрическим моментом диполя.



Диполь в электрическом поле



$$M = pE \sin \alpha$$

$$F = E \cdot q$$

$$M = F \cdot l \cdot \sin \alpha = Eq l \sin \alpha$$

$$\vec{p} = q \cdot \vec{l}$$

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

$$\alpha = 0$$

$$M = 0$$

Диполь в неоднородном электрическом поле

Кроме вращающего момента, будет действовать сила F .

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2$$

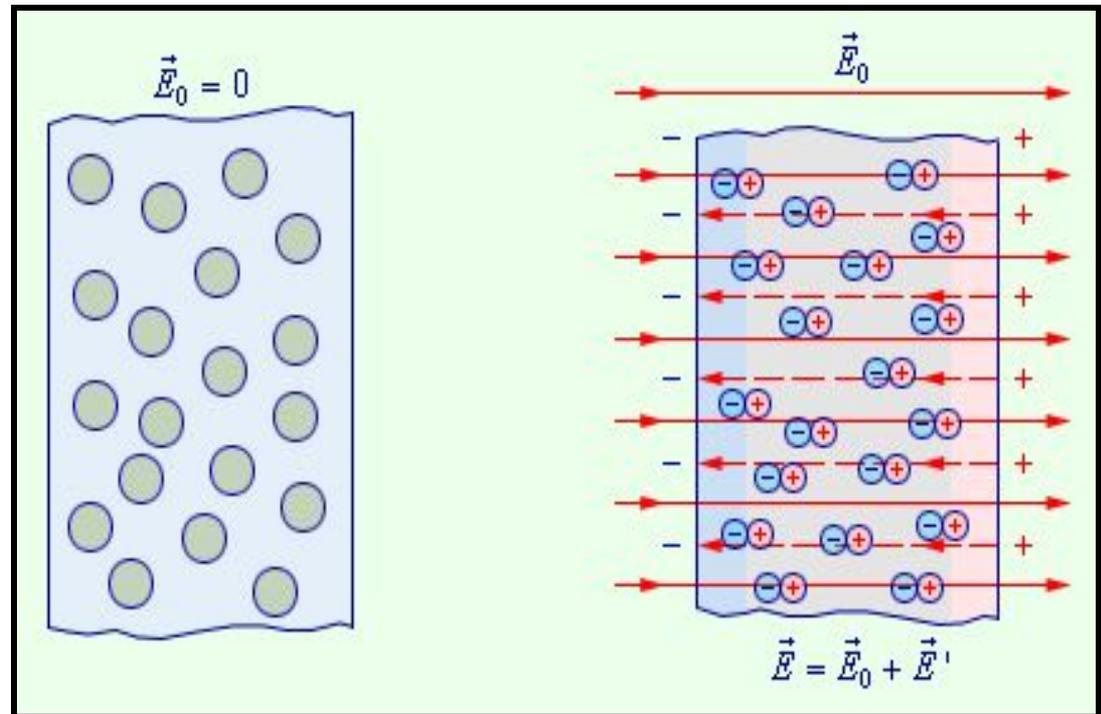
$$F_x = p \cdot \frac{dE}{dx} \cdot \cos \alpha$$

Под действием силы F свободный диполь стремится переместиться в область наибольшей напряженности поля.

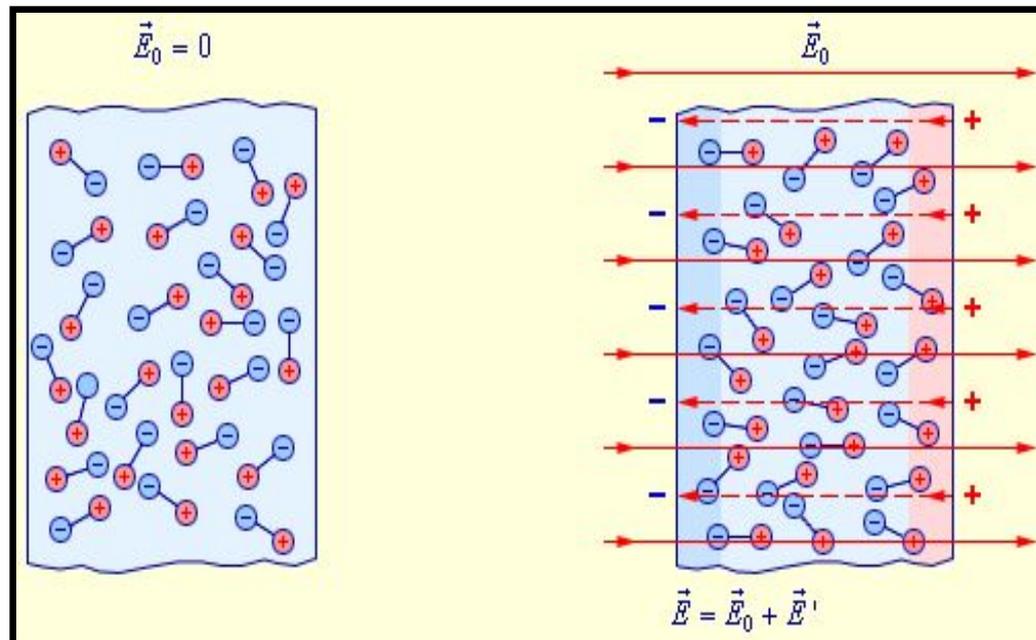
Виды диэлектриков

Первая группа диэлектриков называются **неполярными** (азот, водород, кислород и т.д.).

Дипольный момент
равен нулю.



Вторая группа диэлектриков (вода, окись углерода, метан) – **полярные** диэлектрики, их молекулы обладают дипольным моментом, который неравен нулю.



Третью группу диэлектриков (NaCl, KCl, KBr) образуют так называемые ***ионные кристаллы***, представляющие собой кристаллические решетки с правильным чередованием ионов различных знаков. Дипольный момент отличен от нуля.

Поляризация диэлектрика - это переход его в такое состояние, когда внутри малого объёма вещества геометрическая сумма векторов дипольных электрических моментов молекул не равна 0. Такой диэлектрик называется ***поляризованным***.

Поляризация диэлектриков с полярными молекулами называется **ориентационной**. Она уменьшается с повышением температуры.

Поляризация диэлектриков с неполярными молекулами называется деформационной или **электронной** поляризацией.

В твердых кристаллических диэлектриках типа NaCl, имеющих ионную кристаллическую решётку, возможна ионная поляризация.

Во внешнем электрическом поле диэлектрик **поляризуется**, т.е. приобретает отличный от нуля дипольный момент $\vec{p}_v = \sum \vec{p}_i$

где \vec{p}_i — дипольный момент отдельной молекулы.

Степень поляризованности макроскопического тела принято характеризовать вектором поляризации, который в случае однородно поляризованного тела, определяется как дипольный момент единицы объема тела:

$$\vec{p} = \frac{\vec{p}_v}{V}$$

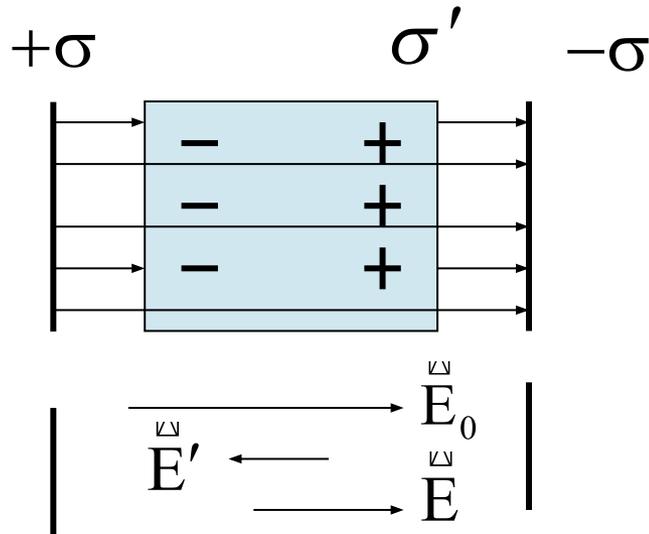
Способность вещества изменять свою поляризованность под действием внешнего электрического поля характеризует диэлектрическая восприимчивость χ_e .

Опыт показывает, что для большинства веществ (исключение сегнетоэлектрики),

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

где χ_e - диэлектрическая восприимчивость, величина безразмерная, больше нуля и составляет несколько единиц, хотя есть и исключения (вода, спирт).

Согласно принципу суперпозиции полей напряженность поля в диэлектрике будет определяться по формуле: $E = E_0 - E'$



Поляризация
диэлектрика

Так как поле создается заряженными плоскостями, то

$$E' = \frac{\sigma'}{\epsilon_0}$$

где σ' - поверхностная плотность связанных зарядов.

Результирующая электростатического поля в диэлектрике равно внешнему полю, деленному на диэлектрическую проницаемость среды:

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

- Величина $\varepsilon = 1 + \chi$ характеризует электрические свойства диэлектрика.
- Физический смысл диэлектрической проницаемости среды:
 - ε – величина, показывающая во сколько раз электростатическое поле внутри диэлектрика меньше, чем в вакууме:

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

Сегнетоэлектрики.

Некоторые химические соединения в твердом состоянии имеют весьма необычные электрохимические свойства.

1. Сегнетоэлектрики имеют аномально большие значения диэлектрической проницаемости ($\epsilon \approx 10^4$).
2. Диэлектрическая проницаемость сегнетоэлектриков является нелинейной функцией напряженности электрического поля.
3. Диэлектрическая проницаемость зависит не только от напряженности электрического поля, но и от предыстории образца, т.е. его предшествующей поляризации. Другими словами наблюдается диэлектрический гистерезис.
4. Сегнетоэлектрические свойства сильно зависят от температуры. Для каждого сегнетоэлектрика имеется определенная температура выше которой его необычные свойства исчезают. Эта температура

Пьезоэлектрический эффект.

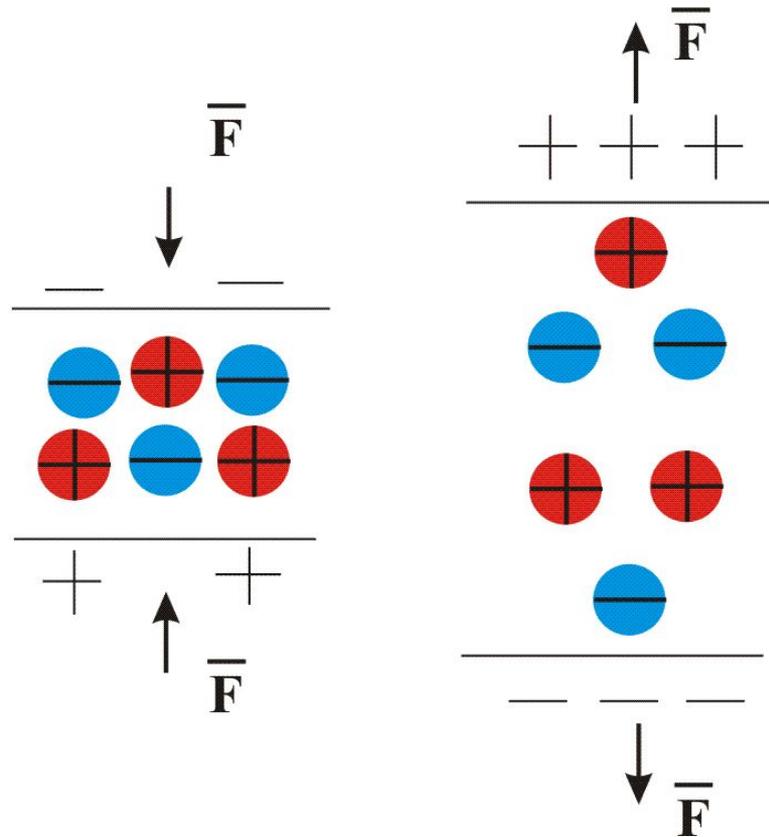
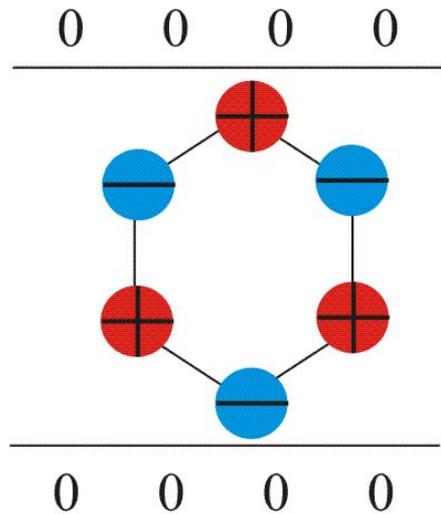
Опыт показывает, что в некоторых кристаллах поляризация может возникать не только под действием электрического поля, но и под действием механических напряжений. Это явление, получило название **пьезоэлектрического эффекта** или **пьезоэффекта**.

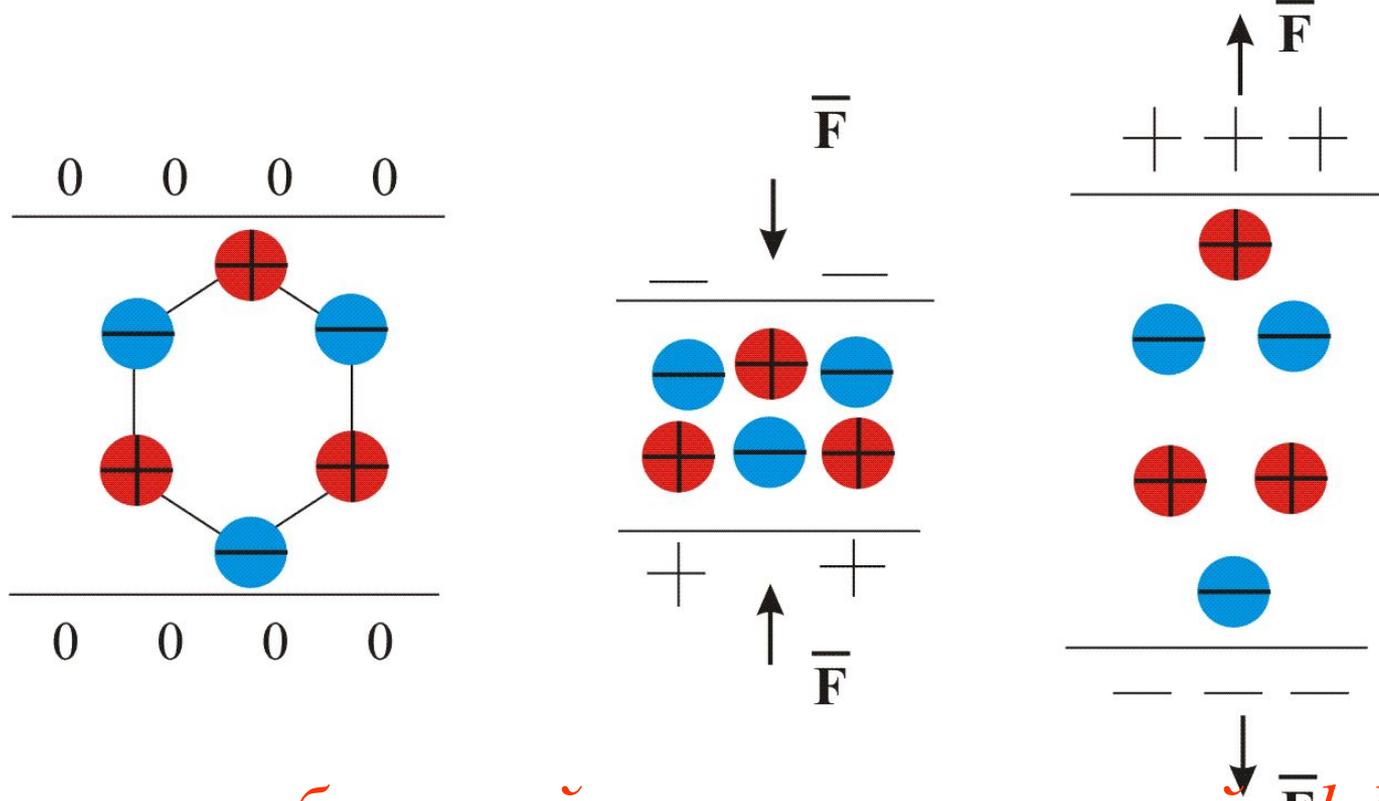
Если из кристалла кварца вырезать определенным образом пластинку и сжимать (растягивать) её в направлении перпендикулярном к оптической оси, то в ней возникает поляризация, и на поверхности пластинки появляются поляризованные заряды. Опыт показывает, что при изменении знака деформации, т. е. при переходе от растяжения к

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

Если замкнуть обкладки, то потечет ток.

Структурная
ячейка



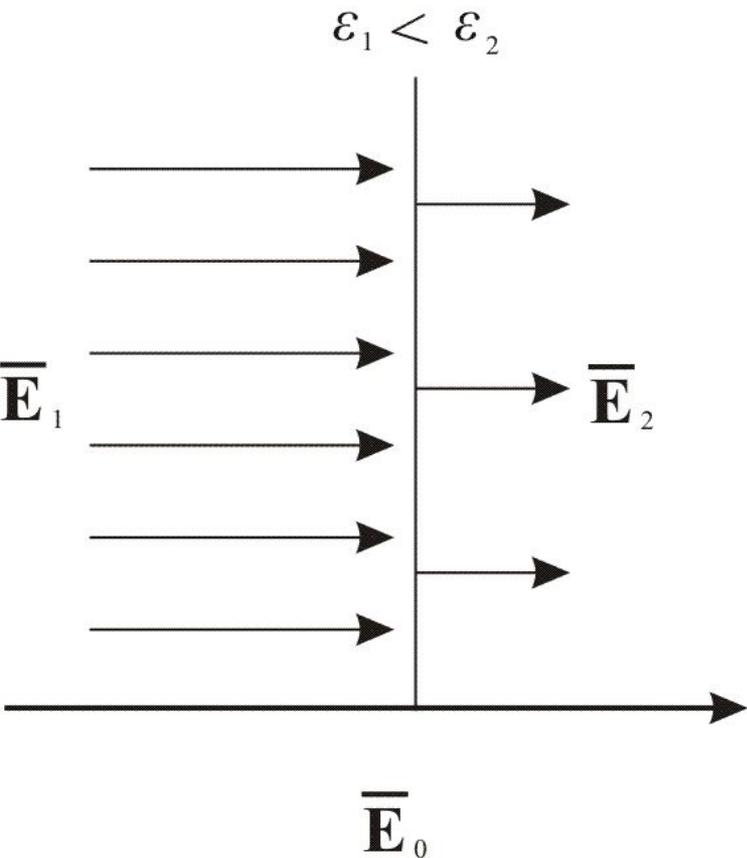


Возможен и обратный пьезоэлектрический эффект:

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

Вектор электрического смещения \vec{D}

Имеем границу раздела двух сред с ϵ_1 и ϵ_2 ,
так что, $\epsilon_1 < \epsilon_2$.



$$\frac{E_1}{E_2} = \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1} \quad \text{или} \quad E_1 = E_2 \frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}$$

*Напряженность
электрического поля E
изменяется скачком при
переходе из одной среды в
другую.*

- **Главная задача электростатики** – расчет электрических полей, Это есть в различных электрических аппаратах, кабелях, конденсаторах,.....
- Эти расчеты сами по себе не просты да еще наличие разного сорта диэлектриков и проводников еще более усложняют задачу.

- Для упрощения расчетов была введена векторная величина – **вектор электрического смещения** (электрическая индукция).

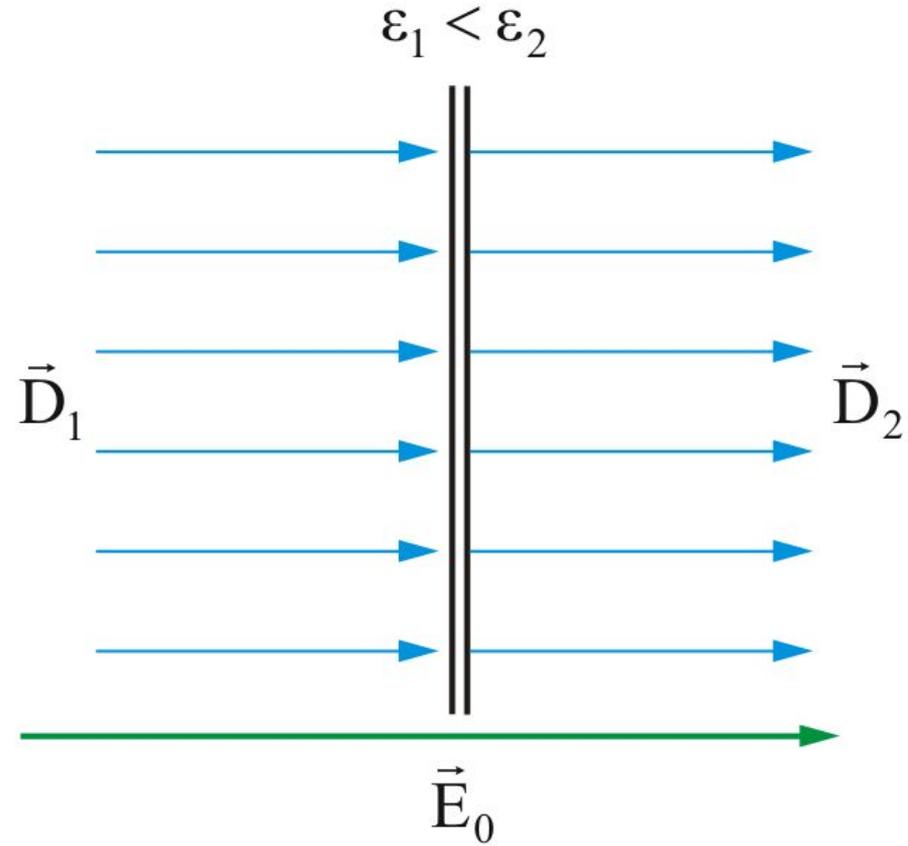
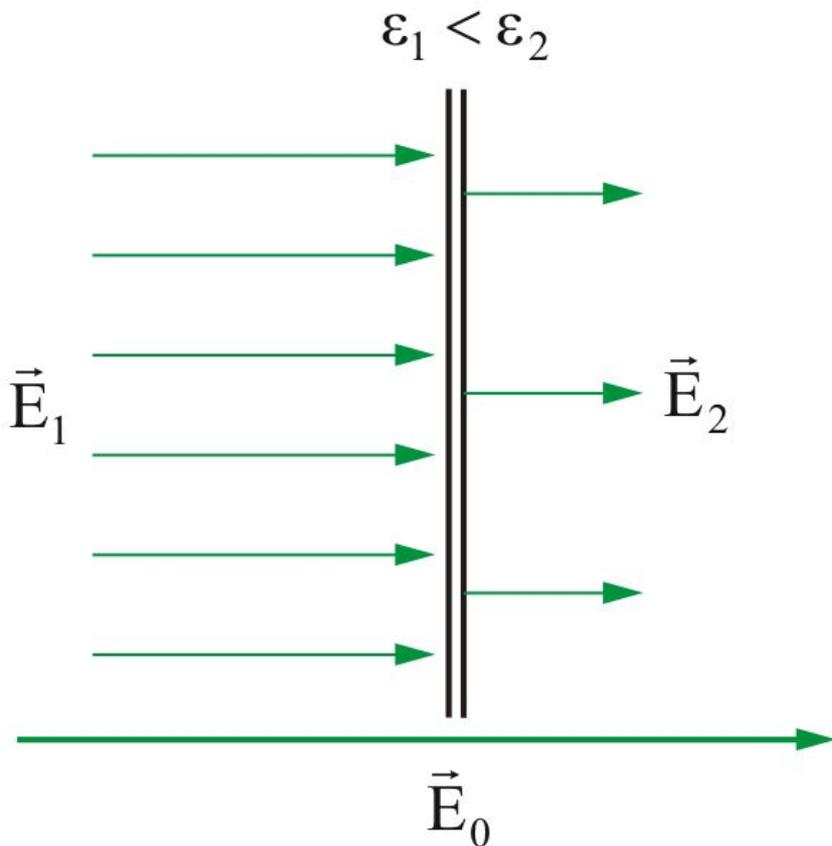
$$\vec{\mathbf{D}} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{\mathbf{E}}$$

- Из предыдущих рассуждений $E_1 \varepsilon_1 = \varepsilon_2 E_2$ тогда $\varepsilon_0 \varepsilon_1 E_1 = \varepsilon_0 \varepsilon_2 E_2$ отсюда и

$$D_{n1} = D_{n2}.$$

$$D_{n1} = D_{n2}$$

Таким образом, вектор \vec{D} остается неизменным при переходе из одной среды в другую и это облегчает расчет



Зная \vec{D} и ϵ , легко рассчитывать

$$\vec{E} = \frac{\vec{D}}{\epsilon_0 \epsilon}.$$

$$\vec{D} = \epsilon \epsilon_0 \vec{E} = (1 + \chi) \epsilon_0 \vec{E} = \epsilon_0 \vec{E} + \chi \epsilon_0 \vec{E}$$

отсюда можно записать:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P},$$

где \vec{P} - вектор поляризации,

χ - диэлектрическая восприимчивость среды, характеризующая поляризацию единичного объема среды.

- Для точечного заряда в вакууме

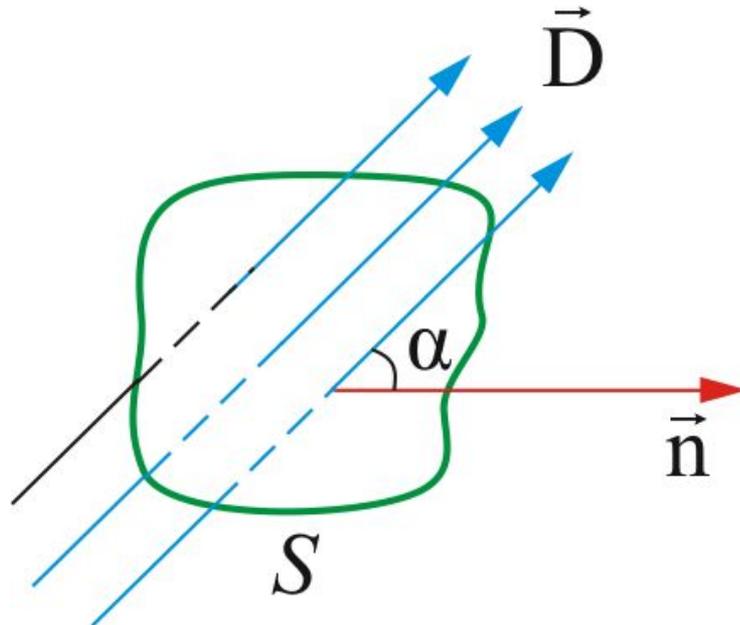
$$D = \frac{q}{4\pi r^2}.$$

- Для \vec{D} имеет место принцип суперпозиции, как и для \vec{E} , т.е.

$$\vec{D} = \sum_{k=1}^n \vec{D}_k.$$

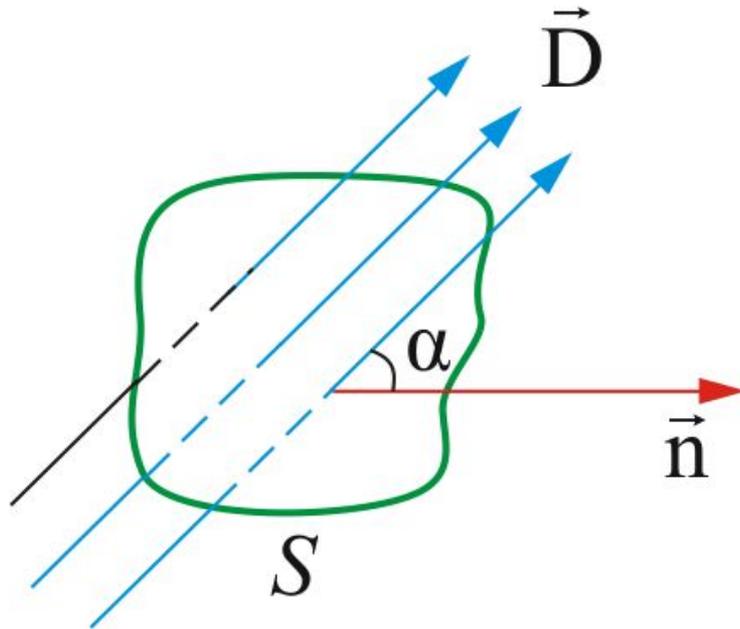
Поток вектора электрического смещения.

Пусть произвольную площадку S пересекают линии вектора электрического смещения \vec{D} под углом α к нормали:



В однородном электростатическом поле
поток вектора \vec{D} равен:

$$\Phi_D = DS \cos \alpha = D_n S.$$



Теорему Гаусса для вектора \mathbf{D} получим из теоремы Гаусса для вектора \mathbf{E} :

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS = \frac{\sum q_k}{\epsilon_0 \epsilon} \qquad E_n = \frac{D_n}{\epsilon_0 \epsilon}$$

$$\frac{1}{\epsilon_0 \epsilon} \oint_S D_n dS = \frac{\sum q_k}{\epsilon_0 \epsilon}$$

- **Теорема Гаусса для**

$$\Phi_D = \oint_S D_n dS = \sum q_k.$$

- Поток вектора \vec{D} через любую замкнутую поверхность определяется **только свободными зарядами**, а не всеми зарядами внутри объема, ограниченного данной поверхностью.

- Это позволяет не рассматривать связанные (поляризованные) заряды, влияющие на \vec{E} и упрощает решение многих задач.

- В этом смысл введения вектора \vec{D} .