

# Электрическое поле в среде. Поляризация диэлектриков

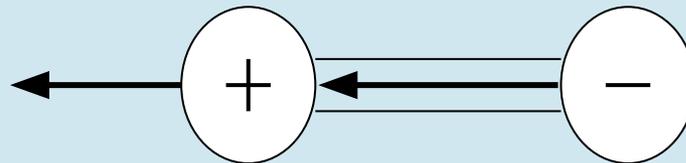
### План лекции.

1. Электрический диполь. Диполь в однородном и неоднородном поле.
2. Диэлектрики в электрическом поле.
3. Поляризация диэлектриков.
4. Изменение напряжённости электрического поля при введении диэлектриков. Диэлектрическая проницаемость.
5. Сегнетоэлектрики. Пьезоэффект.

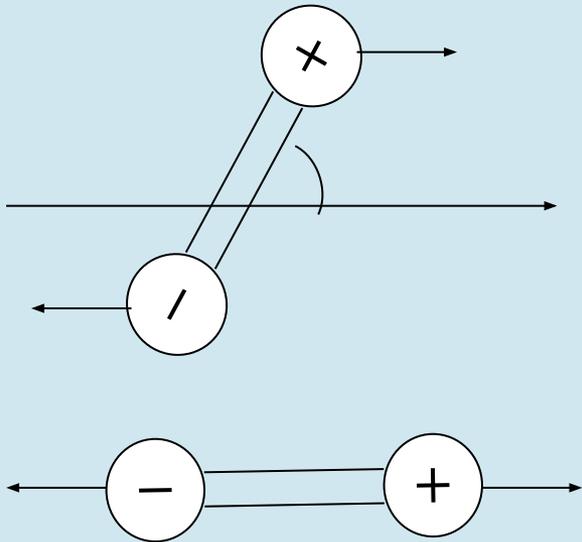
**Электрический диполь** – это система из двух равных по величине и противоположных по знаку зарядов, расстояние между которыми во много раз меньше расстояний до рассматриваемых точек.

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

Вектор ,  $\mathbf{p} = q \cdot \ell$   
называется **дипольным моментом** или **электрическим моментом** диполя.



# Диполь в электрическом поле



$$F = E \cdot q$$

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

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

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

$$\alpha = 0 \quad M = 0$$

# Диполь в неоднородном электрическом поле

$$W = q(\varphi_+ - \varphi_-) \quad (\varphi_+ - \varphi_-) = \frac{d\varphi}{dx} \cdot \ell \cdot \cos \alpha$$

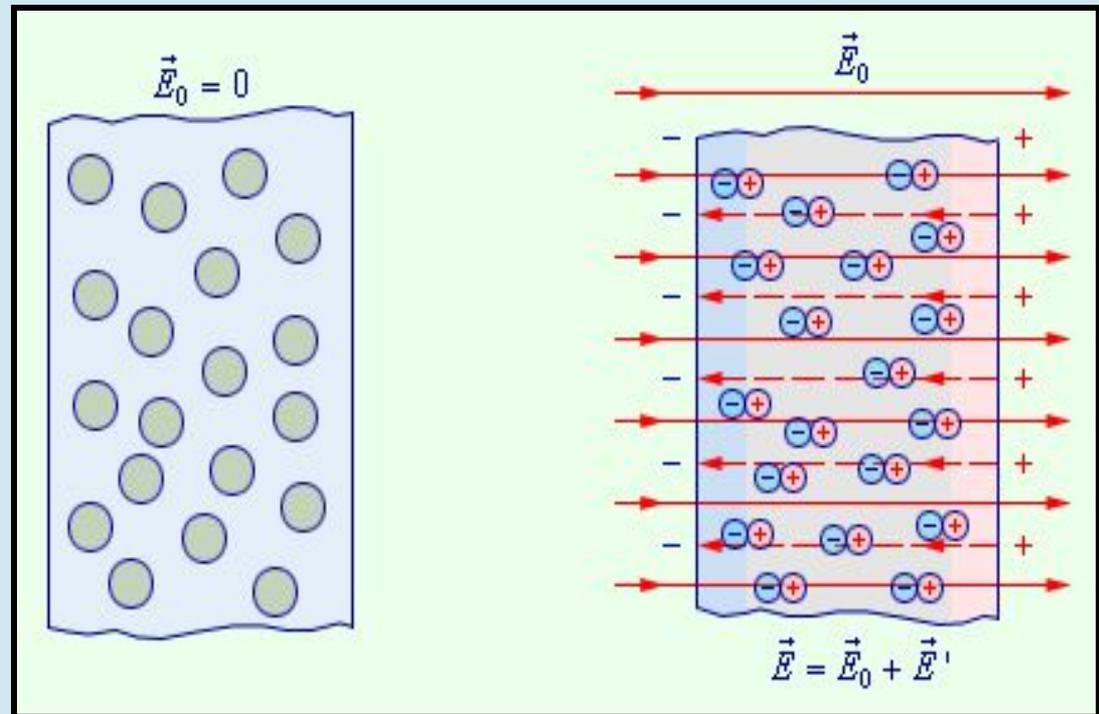
$$W = q \cdot \ell \cdot \frac{d\varphi}{dx} \cdot \cos \alpha \quad W = -p \cdot E \cdot \cos \alpha$$

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

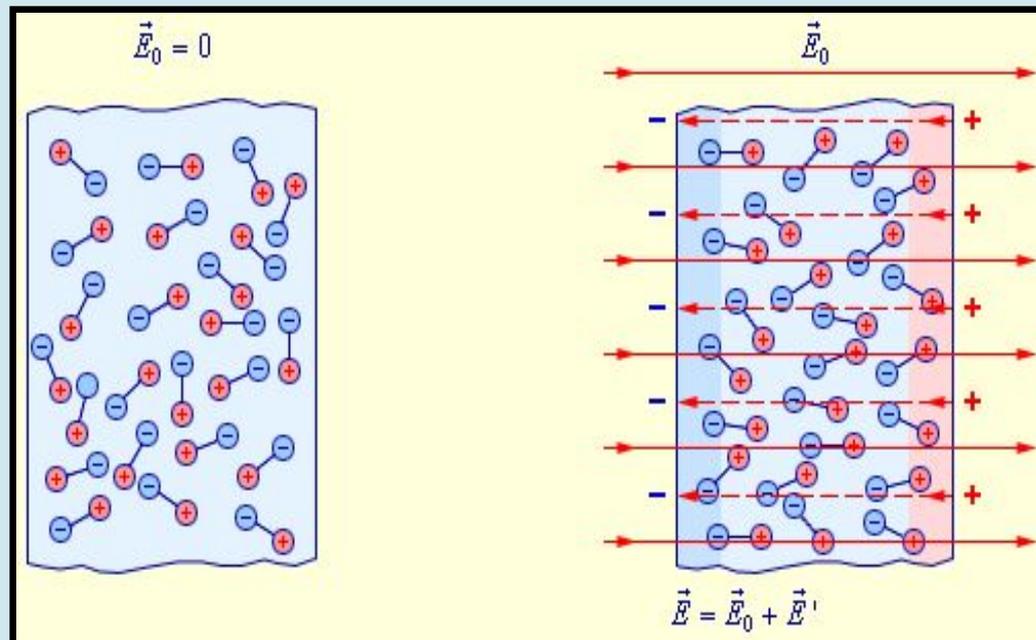
# Виды диэлектриков

Первая группа диэлектриков называется *неполярными* (азот, водород, кислород и т.д.) – это вещества, молекулы которых имеют схематичное строение.

Дипольный момент равен нулю.



Вторая группа диэлектриков (вода, окись углерода, метан) – *полярные* диэлектрики, их молекулы имеют ассиметричное строение, они обладают дипольным моментом, который не равен 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**. Для характеристики процесса поляризации вводят понятия вектор поляризации.

$$\vec{P}_e = \sum_{i=1}^n \frac{\vec{P}_{ei}}{V}$$

$P$ - дипольный момент отдельной молекулы.  
 $V$ - единица объёма тела.

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 поляризованности , который в случае однородно поляризованного тела, определяется как дипольный момент единицы объема тела:

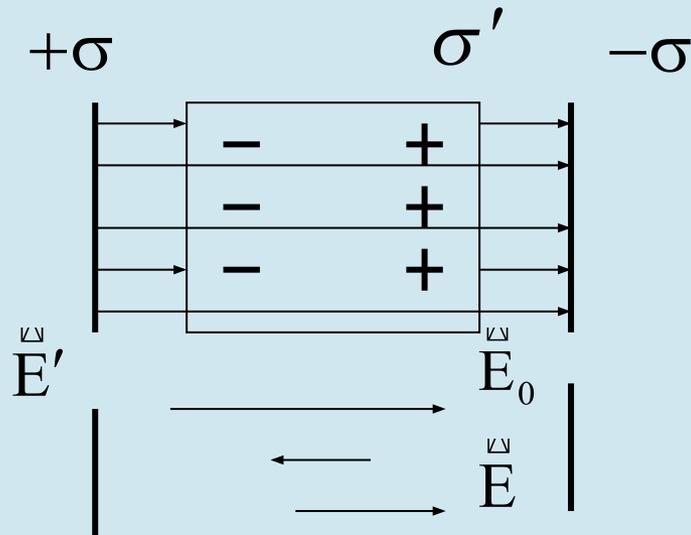
$$\vec{p} = \frac{\vec{p}_v}{V}$$

Способность вещества изменять свою поляризованность под действием внешнего электрического поля характеризует диэлектрическая восприимчивость  $\chi_e$ . Опыт показывает, что для большинства веществ (исключение сегнетоэлектрики),

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

где  $\chi_e$  - 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  $\sigma'$  - поверхностная плотность связанных зарядов. Т.о. для напряженности поля в диэлектрике окончательно получим:

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

где  $\epsilon$  - диэлектрическая проницаемость вещества, показывающая во сколько раз уменьшается напряженность электрического поля в диэлектрике по сравнению с вакуумом.

Если диэлектрик поместить в электрическое поле напряженностью  $E_0$ , то в результате поляризации он создаёт ионы  $E$ , направленное против внешнего поля  $E$ .

Результирующая напряженность  $E_0$

$$E = E_0 - E'$$

Отношение  $\frac{E_0}{E} = \varepsilon$  - **диэлектрическая проницаемость среды.**

Она характеризует способность диэлектрика поляризоваться в электрическом поле.

## Сегнетоэлектрики.

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

1. Сегнетоэлектрики имеют аномально большие значения диэлектрической проницаемости ( $\varepsilon \approx 10^4$ ).
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 получила название **точки Кюри.**

## ПЬЕЗОЭФЕКТ

Опыт показывает, что в некоторых кристаллах поляризация может возникать 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 сжатию, знак поляризационных зарядов изменяется.



Наряду с прямым пьезоэффектом, существует и обратное ему явление (обратный пьезоэффект): в пьезоэлектрических кристаллах возникновение поляризации всегда сопровождается механическими деформациями.

Поэтому, если на металлические обкладки, укрепленные на кристалле, подать напряжение, то он под действием поля поляризуется и деформируется.



