



ЭЛЕКТРОМАГНЕТИЗМ

**Лекция «Электрическое поле в
веществе»**

Классификация веществ по величине электропроводности

Проводники

обладают **высокой** электропроводностью
($\sigma = 10^4 - 10^6 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$)

являются **проводниками** электрического тока

Типичные представители - металлы и металлические сплавы

Полупроводники

обладают **промежуточной** электропроводностью
($\sigma = 10^{-10} - 10^4 \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$)

проводимость имеет **активационный характер** (зависит от различных факторов)

Типичные представители - элементы IV и VI групп таблицы Менделеева и соединения A^3B^5 и A^2B^6

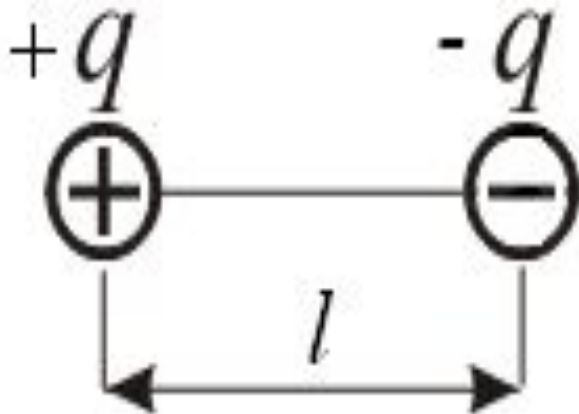
Диэлектрики

обладают **низкой** электропроводностью
($\sigma = 10^{-20} - 10^{-10} \text{ Ом}^{-1} \cdot \text{м}^{-1}$)

являются **электрическими изоляторами**

Типичные представители - дерево, резина, слюда, полиэтилен, алмаз

Электрический диполь



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

q - заряд ядра молекулы;

\vec{l} вектор, проведенный из «центра тяжести» электронов в «центр тяжести» положительных зарядов атомных ядер (l называют плечом электрического диполя);

\vec{p} - электрический дипольный момент.

Электрический диполь - молекула диэлектрика - **электрически нейтрален**, т.к. суммарный заряд ($+q$ и $-q$) равен нулю.

Основные типы диэлектриков

Неполярные

Центры тяжести отрицательных и положительных зарядов **совпадают** ($l = 0$), поэтому собственный дипольный момент:

$$\vec{p} = q\vec{l} = 0$$

Суммарный дипольный момент в отсутствие внешнего электрического поля

$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i = 0$$

т.к. $p_i = 0$

Типичные представители: H_2 , O_2 , N_2

Полярные

Центры тяжести отрицательных и положительных зарядов **не совпадают** ($l \neq 0$), поэтому собственный дипольный момент:

$$\vec{p} = q\vec{l} \neq 0$$

Суммарный дипольный момент в отсутствие внешнего электрического поля

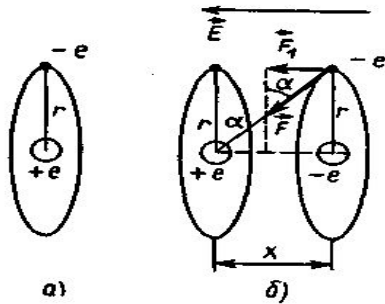
$$\sum_{i=1}^n \vec{p}_i \neq 0$$

т.к. молекулы ориентированы хаотично

Типичные представители: H_2O , HCl , спирты

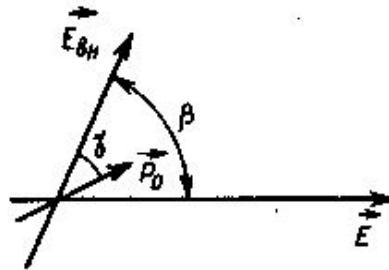
Поляризация диэлектриков

Электронная поляризация



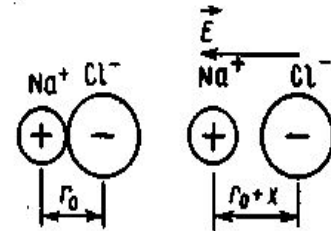
- Водородоподобный атом:
- а) в отсутствии внешнего поля;
 - б) во внешнем электрическом поле.

Ориентационная поляризация



- Упругий поворот диполя P_0 во внешнем электрическом поле напряженностью E .

Ионная поляризация



- Молекула NaCl:
- а) в отсутствии внешнего поля;
 - б) во внешнем электрическом поле.

Поляризованность диэлектрика

$$\vec{P} = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{P}_i}{\Delta V},$$

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

Поляризованность - количественная мера поляризации диэлектрика.

Вектор поляризованности диэлектрика равен дипольному моменту единицы объема поляризованного диэлектрика.

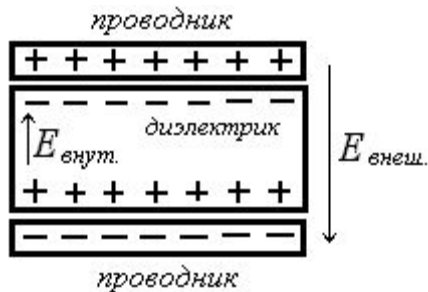
ε - диэлектрическая восприимчивость, безразмерная величина, которая для вакуума и, практически, для воздуха равна нулю;

ε_0 - электрическая постоянная;

E - напряженность электрического поля.

Единица измерения поляризованности P в СИ - Кл / м².

Напряженность поля в диэлектрике



При внесении диэлектрика в электрическое поле напряженностью $E_{внеш.} = E_0$ происходит поляризация, в результате которой возникает поле связанных зарядов $E_{внут.}$

Связанный суммарный электрический заряд не равен нулю только на поверхности диэлектрика.

Такие заряды называют поляризационными.

Электрическое поле в веществе ослабляется в ϵ раз по сравнению с электрическим полем в вакууме.

$$E = \frac{E_0}{1 + \chi} = \frac{E_0}{\epsilon}$$

$$\epsilon = 1 + \chi$$

ϵ - относительная диэлектрическая проницаемость вещества или среды, $\epsilon=1$ для вакуума и, практически, для воздуха.

Связь векторов смещения, напряженности и поляризованности

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

\vec{D} - вектор электрического смещения или вектор электрической индукции, измеряется как и \vec{P} в Кл / м²

Учитывая, что $\vec{P} = \chi \varepsilon_0 \vec{E}$, получаем $\vec{D} = \varepsilon_0 \vec{E} + \chi \varepsilon_0 \vec{E} = \varepsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} = \varepsilon_0 \varepsilon \vec{E}$

Линии вектора \vec{D} могут начинаться или заканчиваться лишь на свободных электрических зарядах, а линии вектора напряженности \vec{E} - на свободных и связанных электрических зарядах.

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \sum_{i=1}^n q_{i\text{СВОБ}} = Q_{i\text{СВОБ}},$$

поток вектора электрического смещения через произвольную замкнутую поверхность S равен алгебраической сумме свободных электрических зарядов, охватываемых этой поверхностью.

Взаимодействие электрических зарядов в веществе

1. Закон Кулона:

$$F = k \cdot \frac{|q_1| \cdot |q_2|}{\varepsilon \cdot r_{12}^2}$$

3. Потенциал электрического поля точечного заряда q в диэлектрике:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\varepsilon r}$$

2. Напряженность электрического поля точечного заряда q в диэлектрике:

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0} \cdot \frac{|q|}{\varepsilon r^2}$$

4. Напряженность электрического поля заряженной плоскости в диэлектрике:

$$E = \frac{\sigma}{2\varepsilon_0\varepsilon}$$

Взаимодействие электрических зарядов в веществе

5. Напряженность электрического поля между разноименно заряженными пластинами:

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

7. Напряженность электрического поля заряженного шара в диэлектрике:

$$E = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

6. Напряженность электрического поля заряженного цилиндра в диэлектрике:

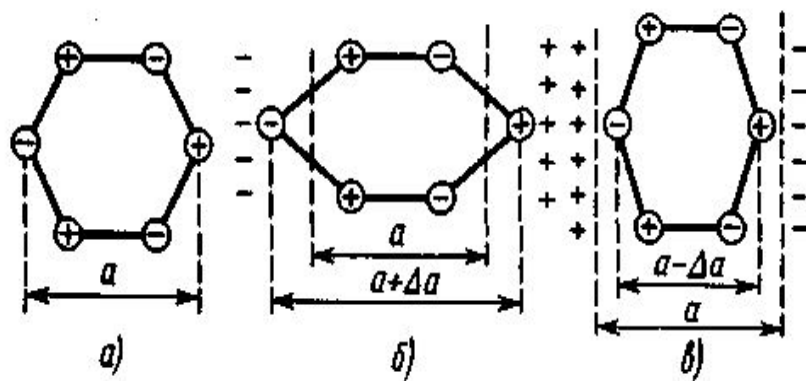
$$E = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon_0\varepsilon r^2}$$

8. Напряженность электрического поля в диэлектрике в ε раз меньше, чем в вакууме:

$$E_{\text{диэл.}} = \frac{E_{\text{вак.}}}{\varepsilon}$$

Пьезоэлектрики

Пьезополяризация - вынужденная поляризация в диэлектриках с нецентросимметричной структурой, при которой дипольный момент возникает под действием механических напряжений.



Механизм возникновения пьезополяризации в кварце:

- а) элементарная ячейка при отсутствии внешних воздействий;
- б) ячейка растянута;
- в) ячейка сжата.

$$P = q\Delta a$$

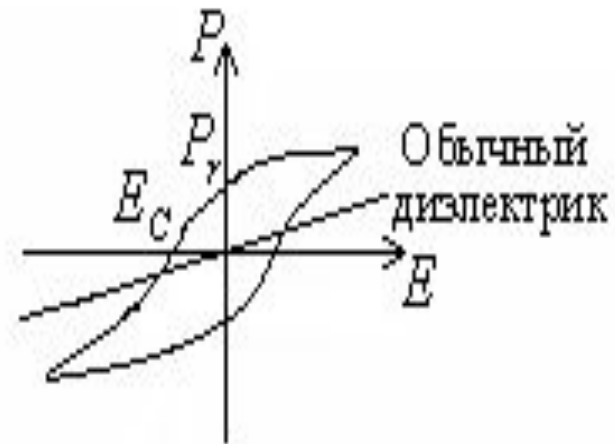
Прямой пьезоэффект - появление поляризации под действием механических напряжений.


Обратный пьезоэффект заключается в том, что при наложении внешнего электрического поля кристалл несколько сжимается или расширяется.

Сегнетоэлектрики

Сегнетоэлектрики - особый класс диэлектриков, отличительными свойствами которых являются:

- **диэлектрическая проницаемость ϵ** этих веществ может достигать **нескольких тысяч** (у воды $\epsilon=81$);
- **зависимость P от E не является линейной**;
- при переполяризации сегнетоэлектрика обнаруживается явление **гистерезиса**;
- наблюдается сложная зависимость ϵ от температуры, для каждого сегнетоэлектрика существует **температура Кюри**, выше которой он утрачивает свои свойства и становится обычным диэлектриком.





Благодарю за внимание