

# Поляризация на диелектриците

Въпроси 3 и 4

*Диелектрични  
свойства на  
материалите*

# Съдържание

- ◆ Основни определения.....●
- ◆ Видове поляризации.....●
- ◆ Температурна зависимост.....●
- ◆ Честотна зависимост.....●

# Диелектрици

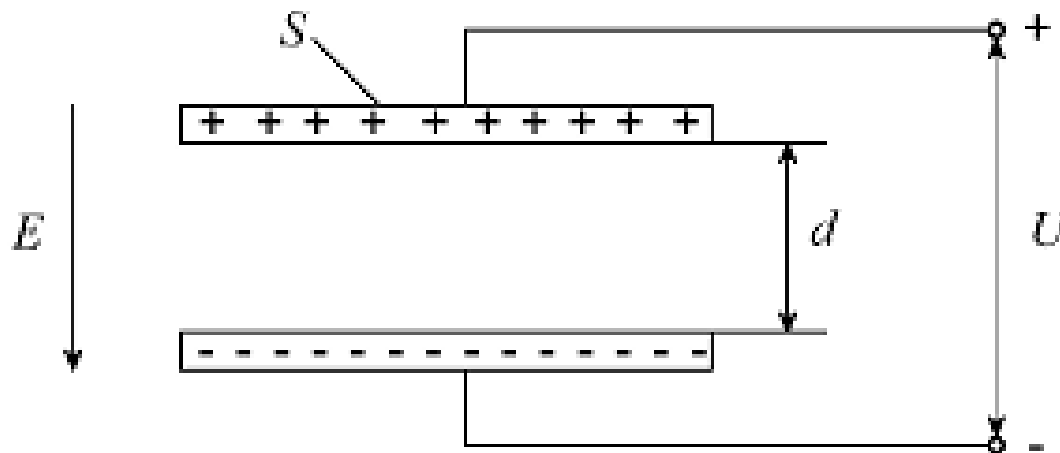
Имат голяма  $\Delta W$  и голямо  $\rho \Rightarrow$  не провеждат ток

$\Rightarrow$  използват се като изолатори

Натрупват заряд  $\Rightarrow$  използват се за кондензатори

# I. Основни определения

## 1. Относителна диелектрична проникваемост $\epsilon_r$



Във вакуум

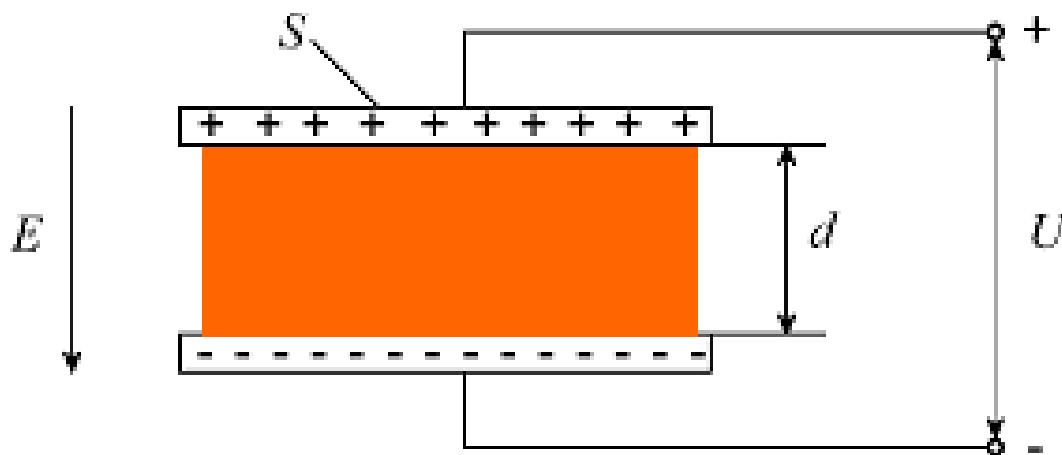
$$Q_0 = C_0 U$$

$$C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$$



# I. Основни определения

## 1. Относителна диелектрична проникваемост $\epsilon_r$



При поставянето на диелектрик в електрическо поле, в него се натрупват заряди поради:

- ✓ Индуциране на електрически диполи и ориентирането им по посока на полето.
- ✓ Ориентиране на съществуващите диполи по посока на полето.

# I. Основни определения

## 1. Относителна диелектрична проникваемост $\epsilon_r$

Общият заряд

$$Q = C.U \qquad C = \epsilon_r C_0 = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$\epsilon_r = \frac{Q}{Q_0} = \frac{C}{C_0}$$

$$\epsilon_r > 1$$

# I. Основни определения

## 2. Определения за поляризация

- ❖ Поляризацията е **състояние** на диелектрика, което се характеризира с това, че електрическият момент на макроскопичен обем от него е отличен от нула.
- ❖ Поляризацията представлява **процес** на изместване на еластично свързаните електрически заряди в диелектрика и ориентиране на диполните молекули.

# I. Основни определения

## 3. Поляризация $P$

В резултат на поляризацията всяка градивна частица на диелектрика придобива електрически момент  $p_i$

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n p_i}{V}$$

Ако поляризацията на диелектрика е нула, това не винаги означава, че в диелектрика не съществуват диполи, тъй като  $P$  и  $p_i$  са векторни величини (с определена посока).



# I. Основни определения

## 3. Поляризация $P$

Уравненията на Максвел дават връзката между интензитета  $E$  и индукцията  $D$  на електрическо поле:

$$D_0 = \varepsilon_0 E$$

$$D = \varepsilon_r \varepsilon_0 E$$

(полето се разпространява еднородно в линейни материални среди)

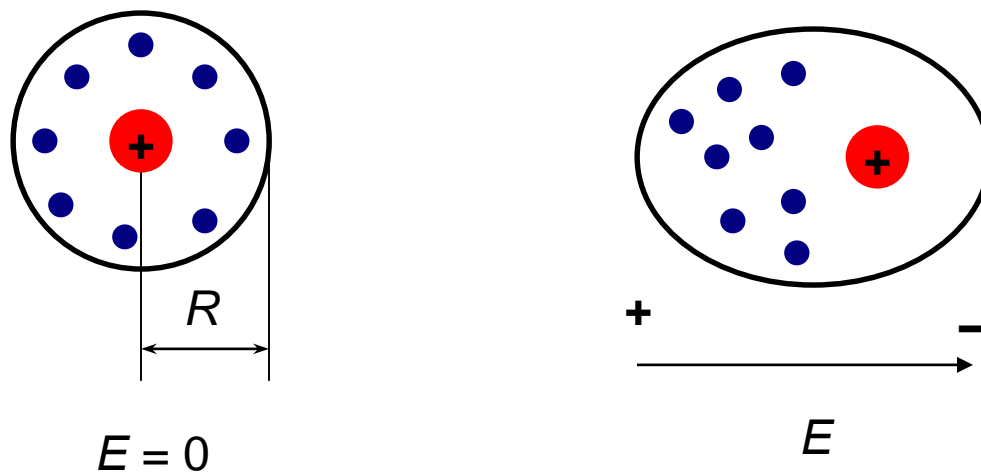
$$P = D - D_0 = \varepsilon_0 (\varepsilon_r - 1) E = \varepsilon_0 \kappa_r E$$

## II. Видове поляризации

### 1. Бързи поляризации (без загуби)

#### 1.1. Електронна поляризация

Еластично изместване и деформация на електронния облак на атома



Тъй като изместването е на малки разстояния (по-малки от атомния радиус  $R$ ), то се извършва за много кратко време.

Проявява се във всички диелектрици.

## II. Видове поляризации

### 1. Бързи поляризации (без загуби)

#### 1.1. Електронна поляризация

$$P_E = N \cdot \alpha_E \cdot E$$

$N$  – брой атоми в единица обем;

$\alpha_E = 4\pi\epsilon_0 R^3$  – поляризуемост на атома

$$P_E = \epsilon_0 (\epsilon_{rE} - 1) E = N \cdot \alpha_E \cdot E$$

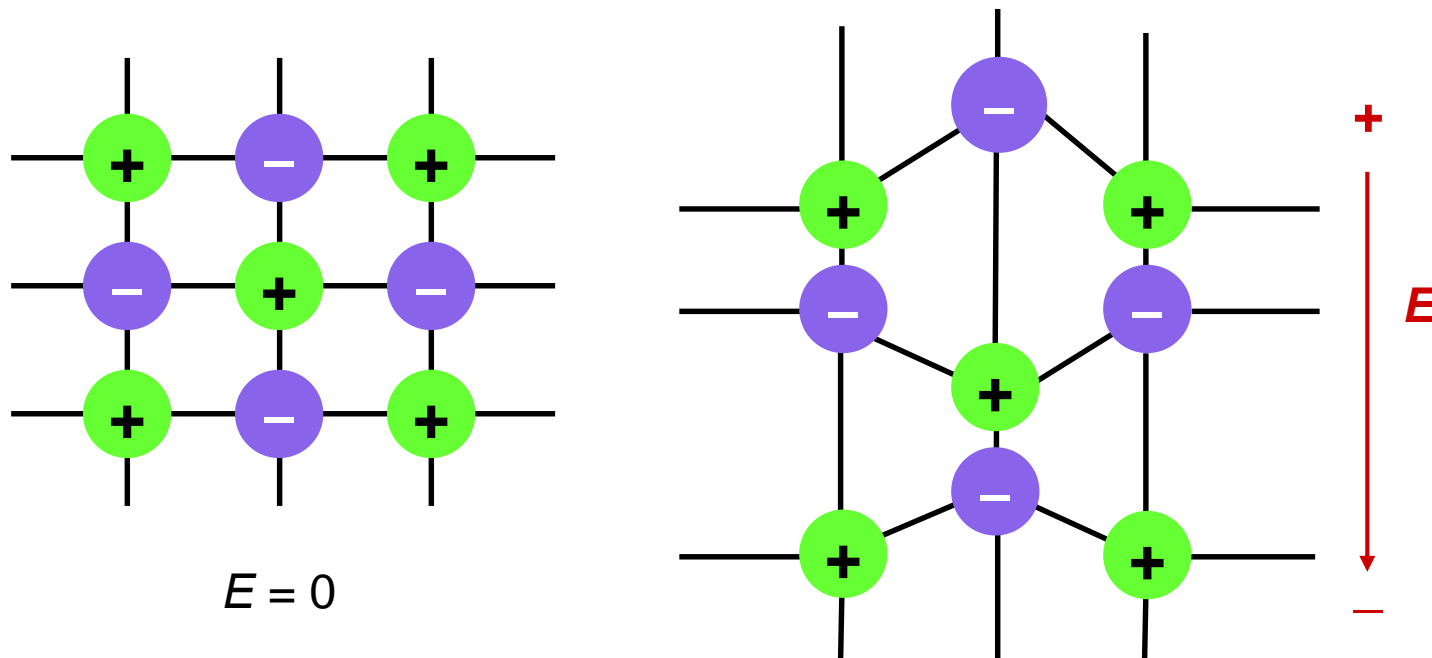
$$\epsilon_{rE} = 1 + \frac{N \cdot \alpha_E}{\epsilon_0}$$

## II. Видове поляризации

### 1. Бързи поляризации (без загуби)

#### 1.2. Йонна поляризация

Противоположно изместване на положителните и отрицателните йони на малки разстояния



Наблюдава се в кристални йонни вещества с плътна опаковка на йоните (NaCl)

## II. Видове поляризации

### 1. Бързи поляризации (без загуби)

#### 1.2. Йонна поляризация

$$P_{\text{й}} = N \cdot \alpha_{\text{й}} \cdot E$$

$$\epsilon_{r\text{й}} = 1 + \frac{N \cdot \alpha_{\text{й}}}{\epsilon_0}$$

$$\alpha_{\text{й}} = \frac{q^2}{k_{\text{ЕЛ}}}$$

където  $k_{\text{ЕЛ}}$  е коефициент на еластичност;  
 $q$  – заряд на йона.

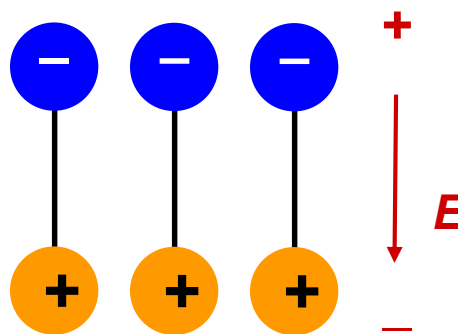
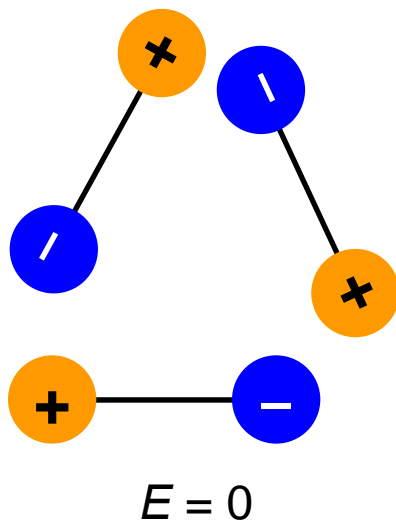


# II. Видове поляризации

## 2. Бавни поляризации (със загуби)

### 2.1. Диполна поляризация

Ориентиране на диполите под влияние на външно електрическо поле.



Наблюдава се в материали изградени от полярни молекули (постоянни диполи).

# II. Видове поляризации

## 2. Бавни поляризации (със загуби)

### 2.1. Диполна поляризация

$$\alpha_{\text{д}} = \frac{p_{\text{д}}^2}{3kT}$$

където  $p_{\text{д}}$  е електрически момент на дипола;  
 $T$  – температура;  
 $k$  – константа на Болцман.

# II. Видове поляризации

## 2.1. Диполна поляризация

След премахване на полето поляризацията намалява по закона

$$N_t = N_0 e^{-\frac{t}{\tau}}$$

където  $N_t$  е броят на ориентираните диполи след време  $t$ ,

$N_0$  – броя на ориентираните диполи в началния момент;

$\tau$  – време за релаксация.

### диполно-релаксационна

$\tau$  е времето за възстановяване на хаотичното разположение на диполите след премахване на полето поради тяхното топлинно движение.

$$\tau = \frac{1}{\omega_0}$$

където  $\omega_0$  е честотата на топлинните колебания на диполите

# II. Видове поляризации

## 2. Бавни поляризации (със загуби)

### 2.2. Структурна поляризация

Появява се в многофазни (нееднородни) диелектрици, в които има и проводящи слоеве.

При прилагането на поле, свободните заряди се преместват и концентрират по границите на различните фази.

Бавна, защото се получава в резултат на преместване на макрообемни части.

# II. Видове поляризации

## 2. Бавни поляризации (със загуби)

### 2.3. Йонно-релаксационна поляризация

Йонна поляризация в диелектрици с неплътна опаковка на йоните, където изместванията са на по-големи разстояния.

### 2.4. Електронно-релаксационна поляризация

Резултат от намиращите се в структурата на материала “дефектни” електрони и дупки.

### 2.5. Резонансна поляризация

Наблюдава се при много високи честоти на външното поле, които съвпадат с механичната резонансна честота на изграждащите структурата частици.

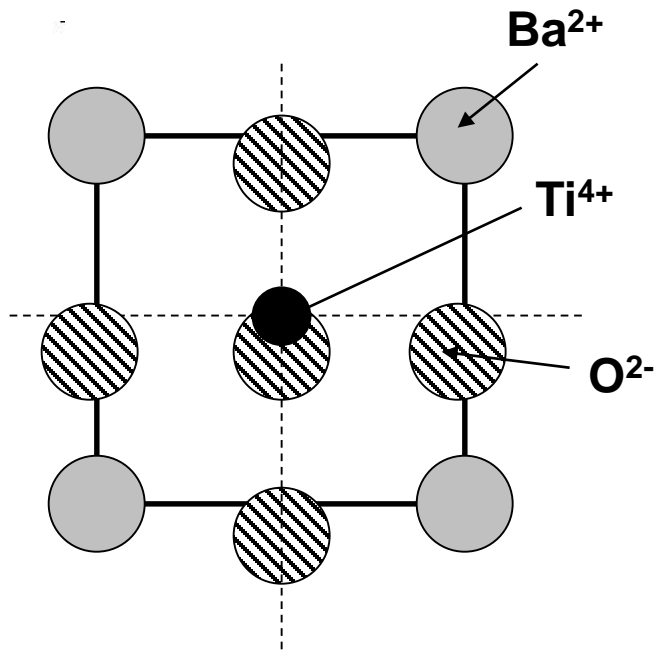
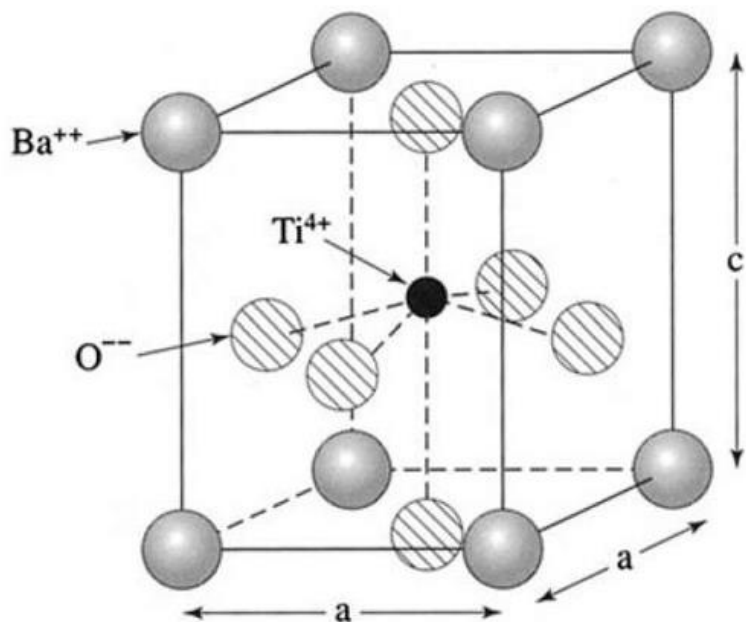
*В реален диелектрик могат да се проявят повече от един вид поляризации.*



## II. Видове поляризации

### 3. Спонтанна поляризация

Представител е бариевия титанат  $\text{BaTiO}_3$ , който има тетрагонална кристална решетка



Този тип кристална решетка е несиметрична, т. е. има изместване на електрическите заряди, което я превръща в дипол.

## II. Видове поляризации

### 3. Спонтанна поляризация

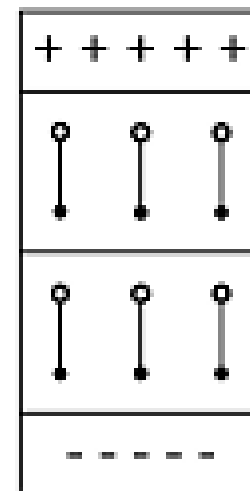
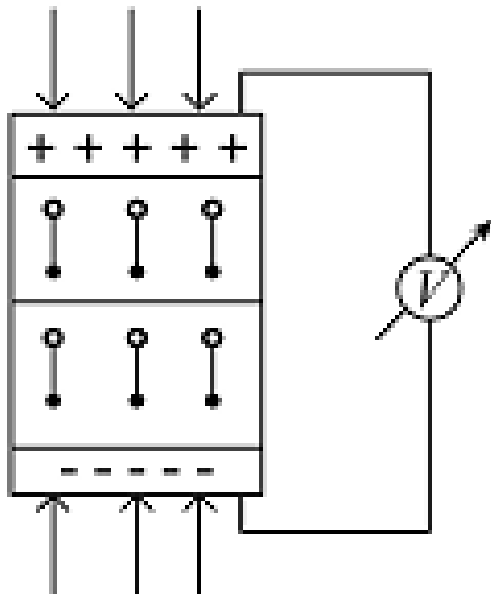
Области с еднакво ориентирани диполни кристални клетки се нарича домен.

Доменната структура определя нелинейността на поляризацията.

## II. Видове поляризации

### Пиезоелектричество

Диполните моменти на единичните кристали се ориентират предимно в една посока в резултат на поляризацията.

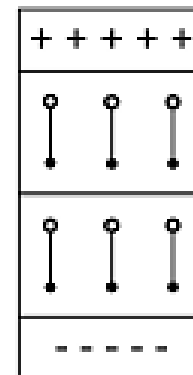
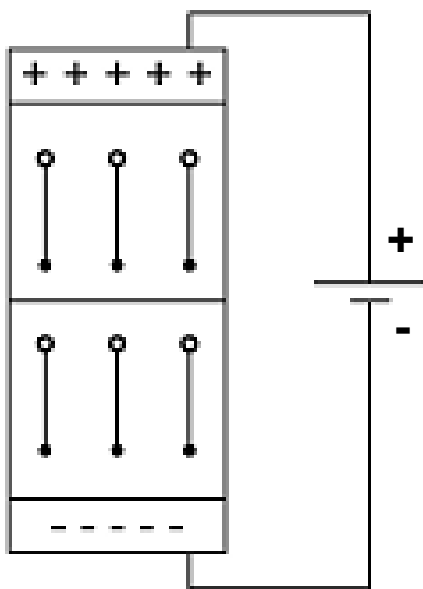


При механично въздействие върху кристала се получава скъсяване или удължаване на рамото на единичните диполни моменти – изменя се потенциалната разлика.

**Прав пиезоефект** – механичното въздействие се преобразува в електрически сигнал

## II. Видове поляризации

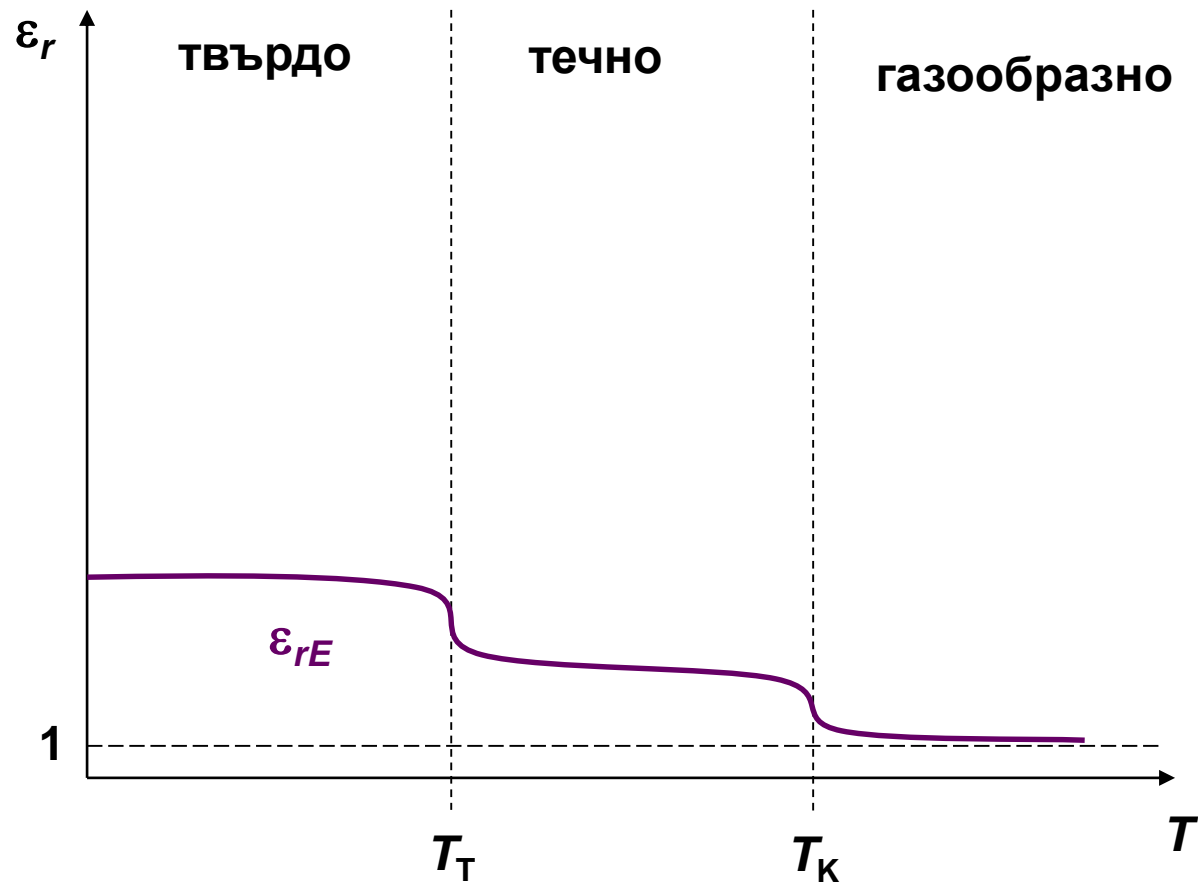
### Пиезоелектричество



При прилагане на електрическо поле по посока на ориентираните кристали увеличеният заряд в краищата предизвиква разтягане на диполите или удължаването на кристала.

**Обратен пиезоефект** – електрическото въздействие се преобразува в механично изменение

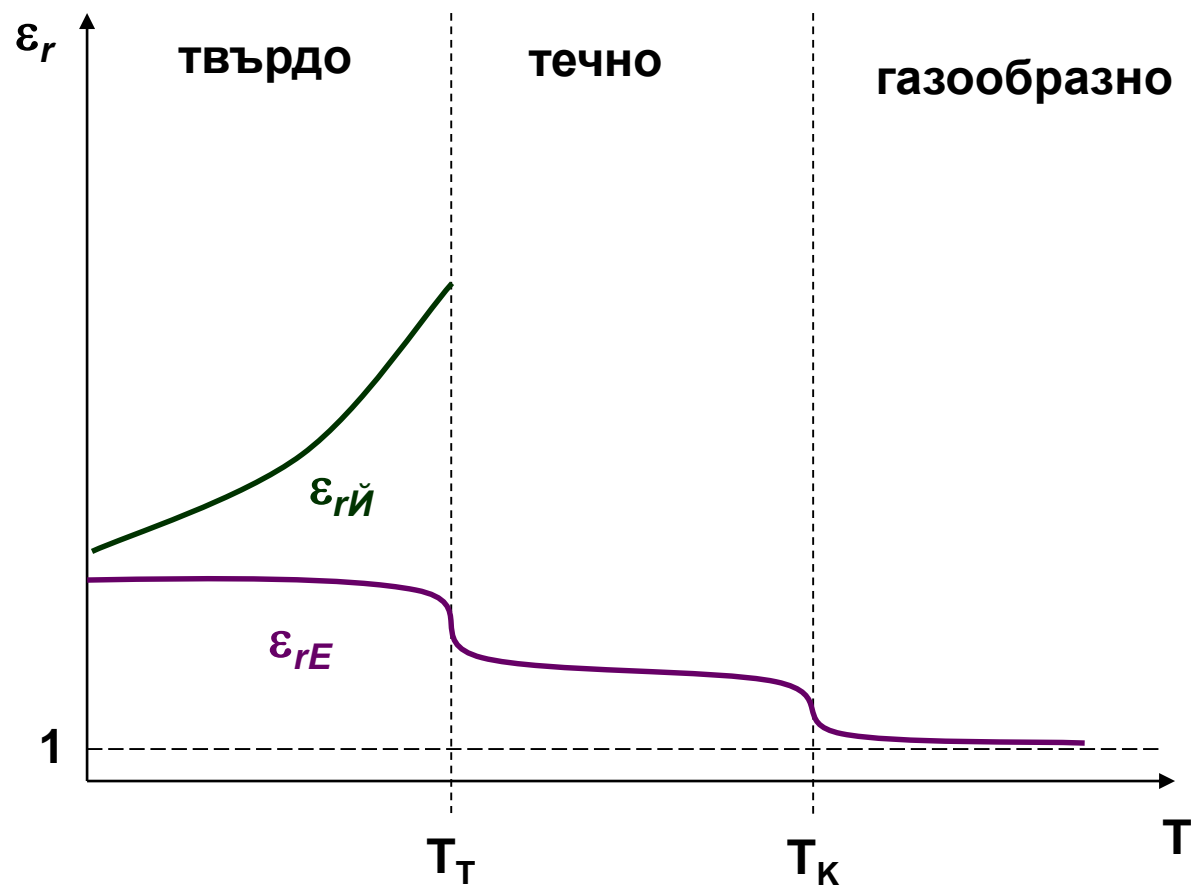
### III. Температурна зависимост



$\epsilon_r E$  – при промяна на агрегатното състояние най-често обемът се разширява  $\Rightarrow$  броят на частиците на единица обем  $N$  намалява.

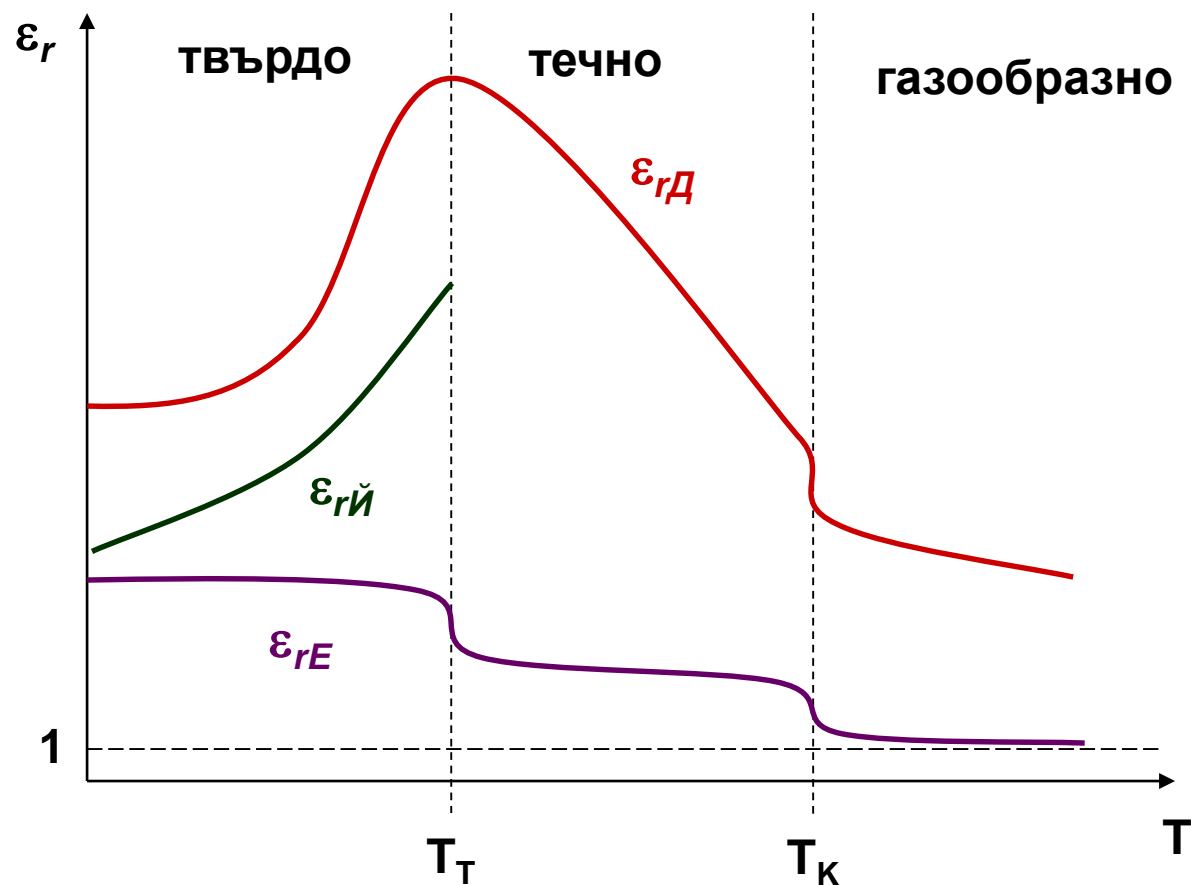


### III. Температурна зависимост



$\epsilon_{rY}$  – с увеличаване на  $T$  силата на връзките между йоните намалява и те се изместват на по-големи разстояния.

### III. Температурна зависимост



$\epsilon_{rД}$  – повишаването на  $T$  води до отслабването на силите на триене, като така се облекчава ориентирането на диполите ( $\Rightarrow \epsilon_r$  се увеличава), но от друга страна се увеличава енергията на таплинното им движение ( $\Rightarrow \epsilon_r$  намалява).

# IV. Честотна зависимост

Поляризационни процеси в променливо електрическо поле

*Комплексна диелектрична проникваемост*

$$\varepsilon_r = 1 + \frac{N \cdot \alpha}{\varepsilon_0}$$

# IV. Честотна зависимост

Поляризационни процеси в променливо електрическо поле

*Комплексна диелектрична проникваемост*

$$\dot{\epsilon}_r = 1 + \frac{N \cdot \dot{\alpha}}{\epsilon_0}$$

# IV. Честотна зависимост

Поляризационни процеси в променливо електрическо поле

*Комплексна диелектрична проницаемост*

$$\dot{\epsilon}_r = 1 + \frac{N \cdot \dot{\alpha}}{\epsilon_0}$$

Поляризуемост при променливо електрическо поле:

$$\dot{\alpha} = \frac{\alpha_0}{1 + j\omega\tau}$$

където  $\alpha_0$  е поляризуемостта при постоянно поле;  
 $\omega$  – кръгова честота на полето;  
 $\tau$  – време за релаксация

$j \equiv i$  – имагинерна единица



## IV. Честотна зависимост

$$\dot{\varepsilon}_r = 1 + \frac{N\alpha_0}{\varepsilon_0(1 + \omega^2\tau^2)} - j \frac{N\alpha_0\omega\tau}{\varepsilon_0(1 + \omega^2\tau^2)}$$

$\varepsilon_r$

Загуби

$$\operatorname{Re}[\dot{\varepsilon}_r] = \varepsilon_r = 1 + \frac{N\alpha_0}{\varepsilon_0(1 + \omega^2\tau^2)}$$

## IV. Честотна зависимост

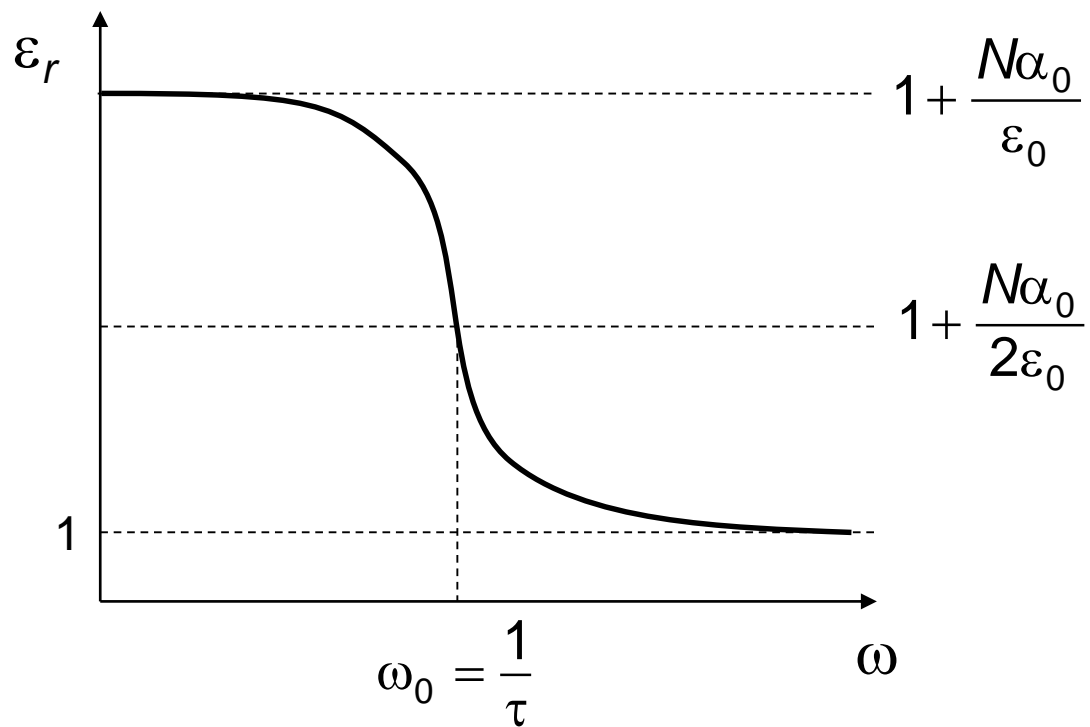
$$\varepsilon_r = 1 + \frac{N\alpha_0}{\varepsilon_0(1 + \omega^2\tau^2)}$$

Ако  $\omega \rightarrow 0$  то  $\varepsilon_r \rightarrow 1 + \frac{N\alpha_0}{\varepsilon_0}$

Ако  $\omega \rightarrow \infty$  то  $\varepsilon_r \rightarrow 1$

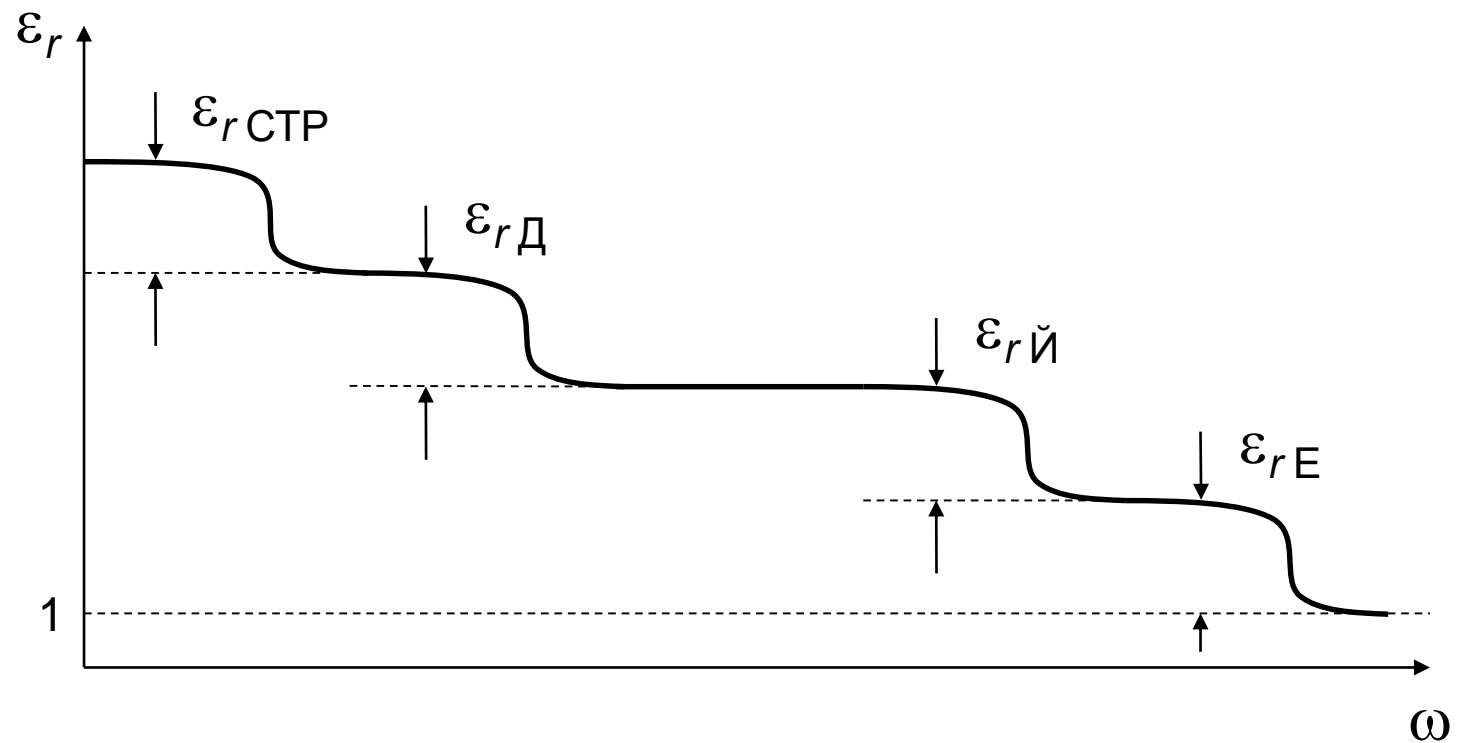
Ако  $\omega = \omega_0 = \frac{1}{\tau}$  то  $\varepsilon_r = 1 + \frac{N\alpha_0}{2\varepsilon_0}$

## IV. Честотна зависимост



При честоти по-големи от  $\omega_0$  поляризационният процес не може да следва изменението на интензитета на полето и поляризацията намалява.

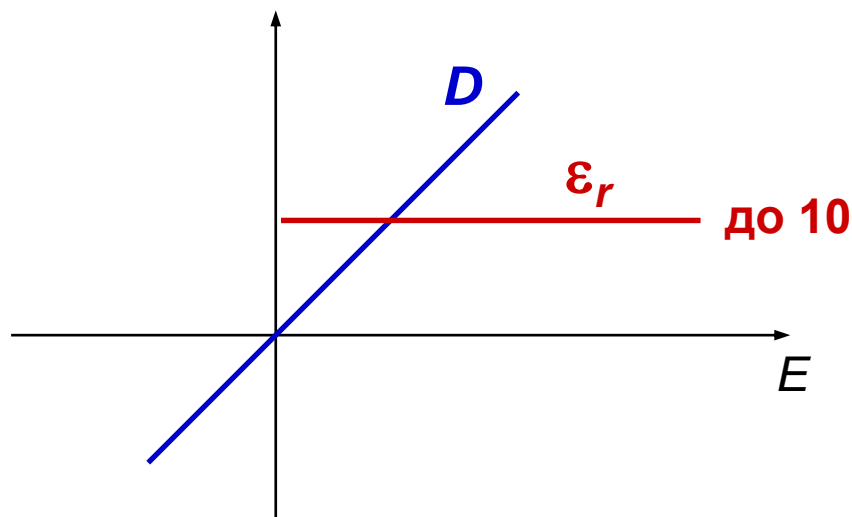
## IV. Честотна зависимост



# V. Класификация на диелектриците

## 1. Според механизма на поляризация

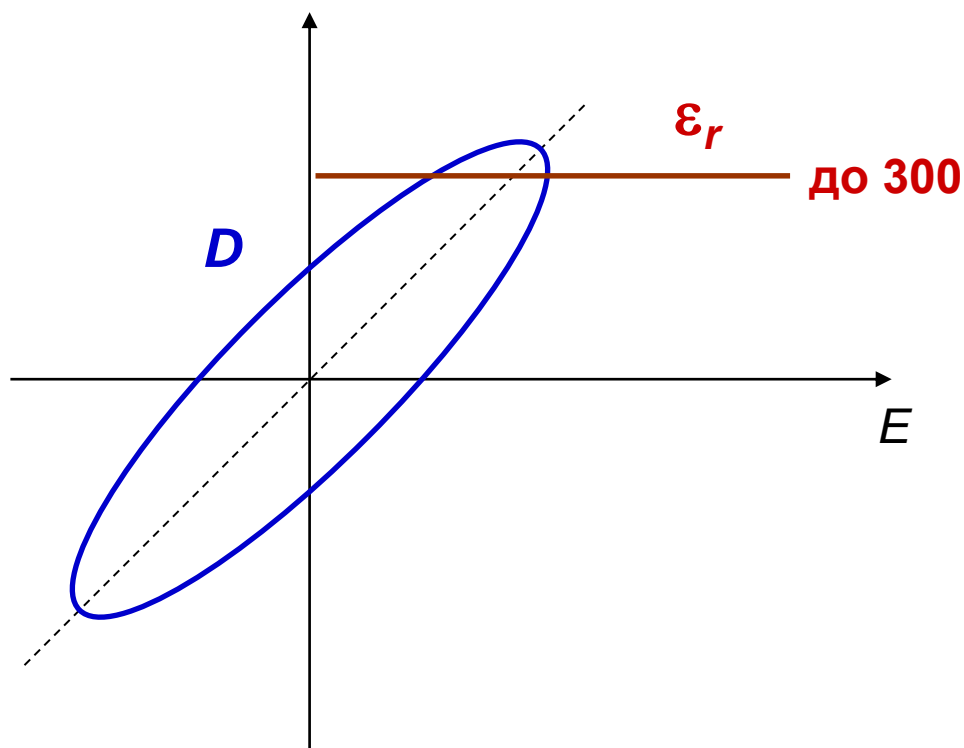
1.1. Линейни без загуби – в тях се проявяват електронна и йонна поляризация



# V. Класификация на диелектриците

## 1. Според механизма на поляризация

### 1.2. Линеини със загуби – електронна и релаксационни поляризации

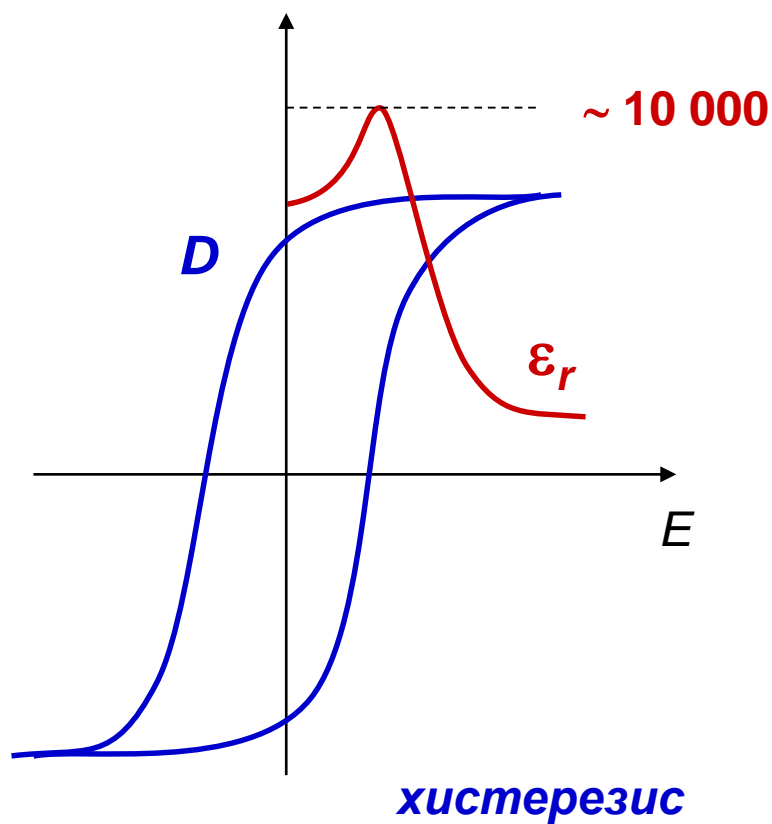




# V. Класификация на диелектриците

## 1. Според механизма на поляризация

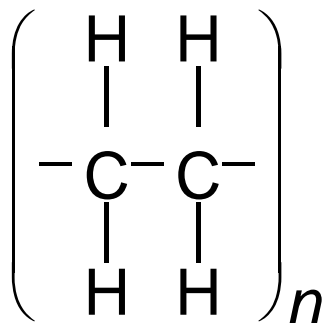
### 1.3. Нелинейни – спонтанна поляризации



# V. Класификация на диелектриците

## 2. Според строежа

2.1. Неполярни – състоят се от неполярни молекули



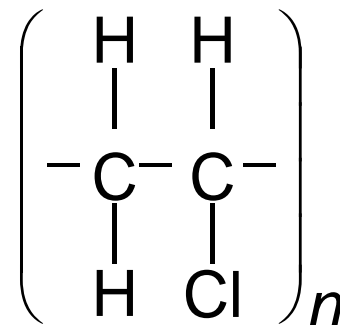
полиетилен



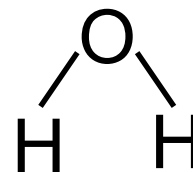
въглероден диоксид

**електронна  
поляризация**

2.2. Полярни – състоят се от полярни молекули (диполи)



поливинилхлорид



вода

**електронна и диполна  
поляризация**

# V. Класификация на диелектриците

## 2. Според строежа

### 2.3. Йонни вещества – твърди диелектрици с йонна кристална решетка

#### 2.3.1. С плътна упаковка на йоните – кварц, корунд и др.

В тях се проявява електронна и йонна поляризации

#### 2.3.2. С неплътна упаковка на йоните – стъкла, мрамор и др.

В тях се проявява електронна и йонно-релаксационна поляризации

# VI. Влияние на агрегатното състояние

**Газообразните** диелектрици имат малка плътност, поради което

$$\varepsilon_r \rightarrow 1$$

Основно се проявява електронната поляризация.

При нарастване на налягането нараства и  $\varepsilon_r$  защото нараства плътността им.

**Течните** и **твърдите** диелектрици имат по-големи  $\varepsilon_r$  от тази на газообразните.

В тях се проявяват всички видове поляризации.