

**ДИЕЛЕКТРИЦИ В ЕЛЕКТРИЧНО  
ПОЛЕ.**

**ПОЛЯРНИ И НЕПОЛЯРНИ  
МОЛЕКУЛИ.**

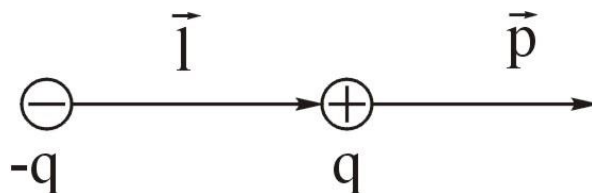
**ВЕКТОР НА ЕЛЕКТРИЧНАТА  
ИНДУКЦИЯ.**

**ПРОВОДНИЦИ В ЕЛЕКТРИЧНО  
ПОЛЕ. КОНДЕНЗАТОРИ.**

**ПЛЪТНОСТ НА ЕНЕРГИЯТА НА  
ЕЛЕКТРОСТАТИЧНОТО ПОЛЕ.**

# I. ДИЕЛЕКТРИЦИ В ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ

1. Определение за електричен дипол: Система от два разноименни, еднакви по големина точкови заряди намиращи се на фиксирано разстояние един от друг се нарича електричен дипол.



2. Характеристика на дипола:

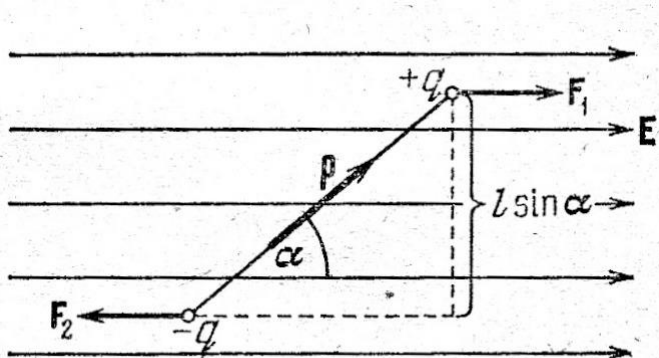
а/диполен момент- това е произведението на големината на заряда на всеки от елементарните заряди и разстоянието между тях. А като вектор

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

има посоката на вектора  $l$  чиято посока се постулира от положителния към отрицателния заряд.

б/дипол в хомогенно електрично поле: Когато един дипол е поставен в

хомогенно електрично поле то на полюсите му действат електростатични сили равни по големина, противоположни по посока и нележащи на една права. ( $F_1 = qE$  и  $F_2 = -qE$ ). Тава са двойки сили които ще се стремят да завъртят дипола и да застане успоредно на полето така че ъгъла между  $p$  и  $E$  да стане нула. Ако полето е променливо то  $p$  ще се завърти и започне да се движи към местата с по голяма гъстота на електричните силови линии .



### 3. Класификация на веществата по отношение на техните проводящи свойства:

**а/проводници**-това са среди в които имаме наличие на свободни токови носители. Те се движат свободно и хаотично в обема на средата. Под действие на външно поле тяхното движение може да стане насочено и да протече електричен ток.

**б/диелектрици**-в тях отсъстват свободни токови носители. Това не означава че в тях няма заряди. Те просто са свързани в електроните и молекулите.

### 4. Полярни и неполярни молекули.

За всеки атом или молекула ние можем да дефинираме положителен и отрицателен ефективен заряд. ( $+Q_{\text{eff}}$  и  $-Q_{\text{eff}}$ ) които са равни по големина.

**а/ АКО ТЕХНИТЕ ЕФЕКТИВНИ ПОЛОЖИТЕЛНИ И ОТРИЦАТЕЛНИ ЗАРЯДОВИ ЦЕНТРОВИ СЪВПАДАТ ПРОСТРАНСТВЕНО ТО МОЛЕКУЛИТЕ СЕ НАРИЧАТ НЕПОЛЯРНИ. МЕЖДУ ТАКИВА МОЛЕКУЛИ НЕ МОГАТ ДА СЕ НАБЛЮДАВАТ ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ.**

**б/АКО ЕФЕКТИВНИТЕ ПОЛОЖИТЕЛНИ И ОТРИЦАТЕЛНИ ЦЕНТРОВЕ НЕ СЪВПАДАТ ПРОСТРАНСТВЕНО ТОГАВА МОЛЕКУЛАТА НАРИЧАМЕ ПОЛЯРНА И ТЯ МОЖЕ ДА СЕ ПРЕДСТАВИ КАТО ЕЛЕКТРИЧЕН ДИПОЛ ВЗАИМОДЕЙСТВАЩ С ЕЛЕКТРОСТАТИЧНИ ПОЛЕТА.**

### 5. Класификация на диелектриците в зависимост от строежа им:

**а/ диелектрици които се изградени от неполярни молекули т.е молекули които не притежават собствен диполен момент се наричат НЕПОЛЯРНИ**

**б/диелектрици които са изградени от полярни молекули т.е изградени от молекули които имат собствен диполен момент се наричат ПОЛЯРНИ.**

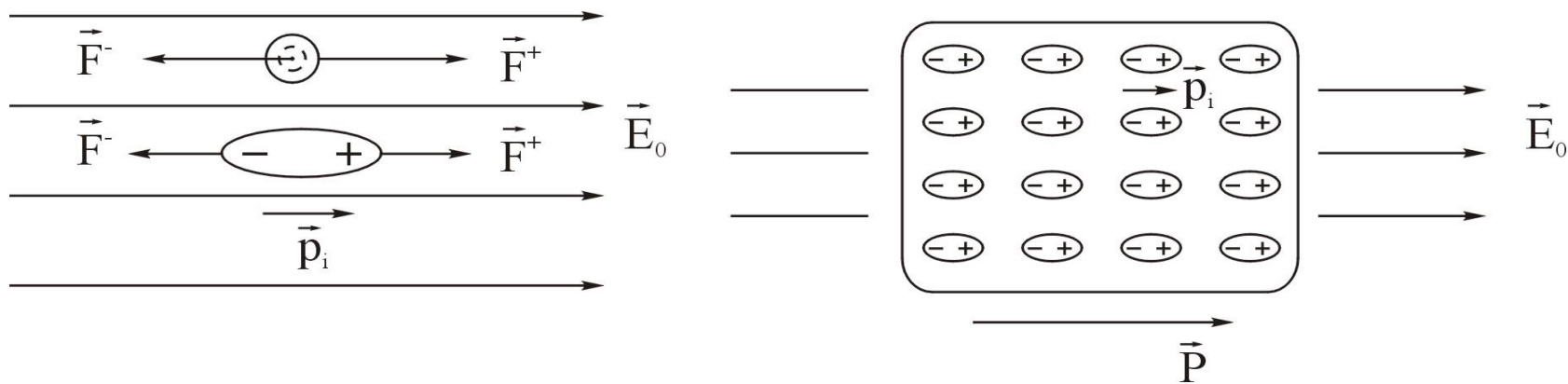
**в/ Йонните кристали са диелектрици на които положителните и отрицателните**

йони са по възлите в кристалната решетка така щото ефективните им положителни и отрицателни центрове да съвпадат и кристала да е електронеутрален.

6.Поляризация на диелектрици: **Процес при който под действието на електростатично поле по стените които са перпендикулярни на интензитета на полета на един диелектрик възникват некомпенсирани положителни и отрицателни заряди наричаме поляризация.**

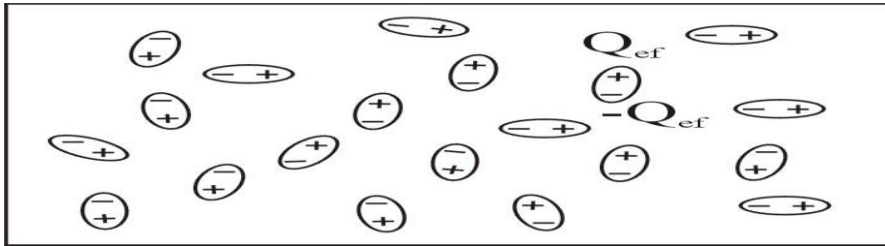
7.Видове поляризация:

а/поляризация на неполярни диелектрици:

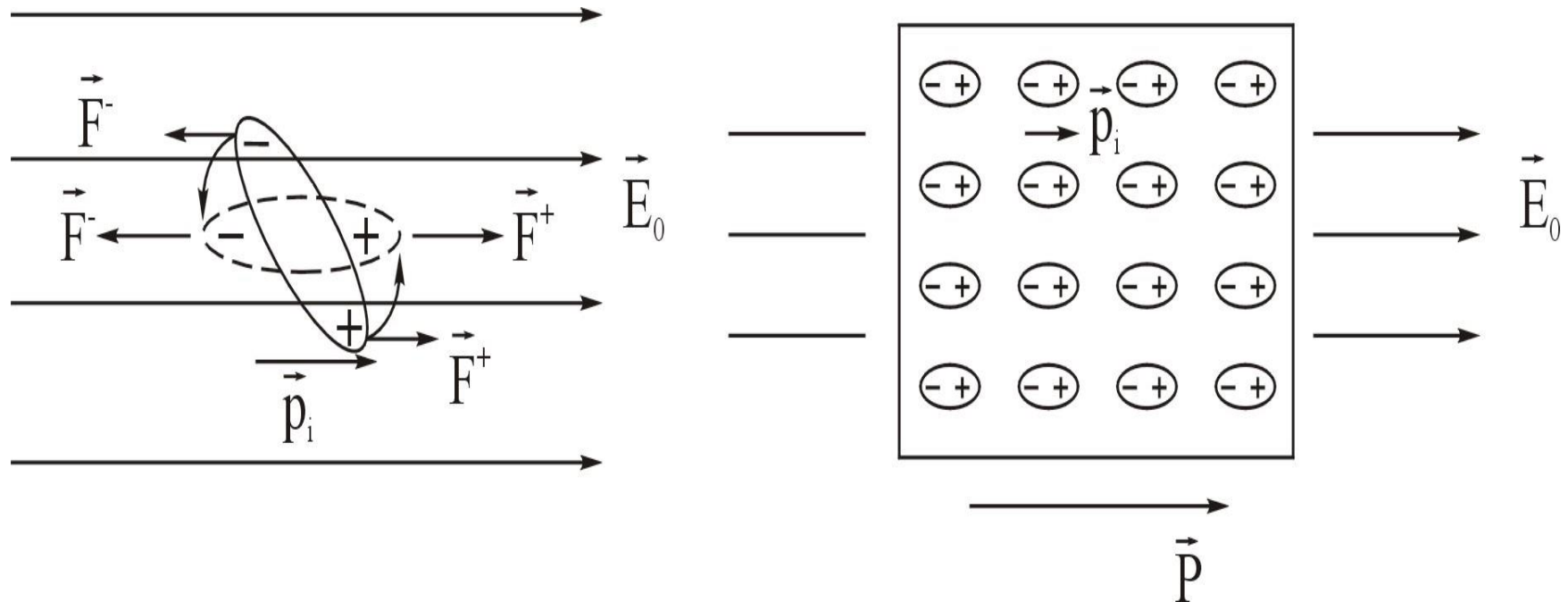


Под действие на електричното поле на положителните ефективни отрицателни и положителни центрове ще се преместят в противоположни посоки и така ще възникнат диполни моменти които наричаме **ИНДУЦИРАНИ** и които са ориентирани по посока на полето. Диелектрика се поляризира. Този механизъм на поляризация наричаме електронна поляризация.

б/поляризация на полярни диелектрици. В полярните диелектрици имаме твърди диполни моменти. В средата обаче поляризация не се наблюдава. Това



се дължи на факта че поради топлиното движение диполните моменти са произволно ориентирани в средата и сумарно техният диполен момент ще е нула.



Ако поставим диелектрика в хомогенно електрично поле диполите ще се ориентират по посока на полето и системата ще се поляризира. Такъв механизъм на поляризация наричаме **ОРИЕНТАЦИОННА ПОЛЯРИЗАЦИЯ**.

в/ поляризация на йонни кристали: При прилагане на електричното поле подрешетките на положителните и отрицателни йони се отместват една към друга и се появяват некомпенсирани заряди. Тогава говорим за йонна поляризация:

8. Количествена характеристика на поляризация. **ХАРАКТЕРИЗИРА СЕ СЪС ВЕКТОРА НА ПОЛЯРИЗАЦИЯ КОЙТО СЕ БЕЛЕЖИ С P.** Той е векторна величина и се дефинира като резултантния момент на електрическите диполи отнесени към единица обем от веществото.

$$\vec{P} = \lim_{\Delta V \rightarrow 0} \frac{\sum_i \vec{p}_i}{\Delta V} \quad [\text{C/m}^3]$$

От макроскопична гледна точка поляризацията на средата ще зависи от температурата , честотата , електричното поле. Основна разбира се е зависимостта от електричното поле което се явява необходимото условие една среда да се поляризира. Предполагайки линейна връзка между поляризацията и електричното поля можем да запишем:

$$\vec{P} = \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

Където  $\chi$ -наричаме диелектрична възприемчивост на средата и характеризира диелектричните свойства на средата. Тя е скалар ако тялото е изотропно.

Ако тялото е анизотропно то диелектричната възприемчивост е симетричен тензор

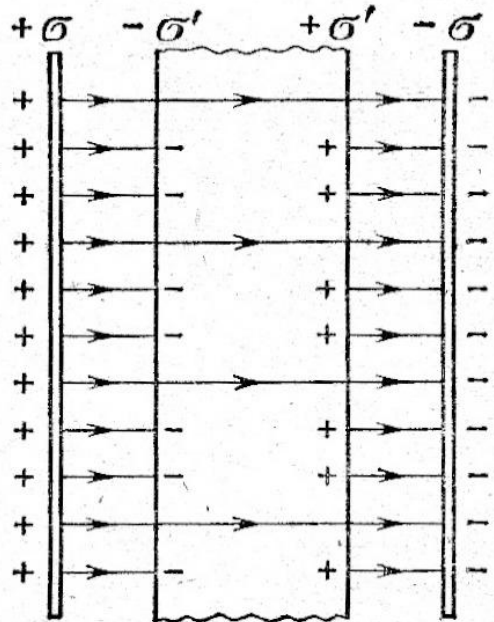
от втори ганг  $\chi_{ij}=\chi_{ji}$ . Това означава че общия случай направления та  $E$  и  $P$  не съвпадат.

$$P_x = \varepsilon_0 (\chi_{xx} E_x + \chi_{xy} E_y + \chi_{xz} E_z)$$

$$P_y = \varepsilon_0 (\chi_{yx} E_x + \chi_{yy} E_y + \chi_{yz} E_z)$$

$$P_z = \varepsilon_0 (\chi_{zx} E_x + \chi_{zy} E_y + \chi_{zz} E_z)$$

### 9.Изотропен диелектрик в хомогенно електрично поле:



Нека поставим диелектрик между две успоредни плочи които са зарядени равномерно със повърхнинен заряд  $\sigma$ . Между плочите се създава хомогенно електрично поле с интензитет  $E_0$  което прави така че на стените перпендикулярни на вектора на интензитета възникват некомпенсирани заряди с повърхнинна плътност  $\sigma'$ . Тези заряди създават електрично поле  $E'$ . Което се противопоставя на външното поле и води до отслабване на външното поле Новото резултантно има вида:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}'$$

Като се използва теоремата на Гаус за потока на вектора на електричното поле имаме:  $E_0 = (\sigma/\epsilon_0)$  и  $E' = (\sigma'/\epsilon_0)$  т.е

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \vec{E}' = \frac{\sigma - \sigma'}{\epsilon_0}$$

Ако с  $l$  означим дебелината на диелектрика то за поляризацията можем да запишем

$$P = \frac{\sigma' Sl}{Sl} = \sigma'$$

Тогава замествайки имаме:

$$\vec{E} = \vec{E}_0 - \frac{\vec{P}}{\epsilon_0} = \vec{E}_0 - \frac{\epsilon_0 \chi \vec{E}}{\epsilon_0}$$

тогава:

$$\vec{E}_0 = (1 + \chi) \vec{E} = \epsilon_r \vec{E}$$

Където:  $\epsilon_r$  наричаме относителна диелектрична проницаемост на средата и определя пъти външното електрично поле на намалява когато в пространството се внесе диелектрик: като се има пред вид теоремата на Гаус за потока на електричното поле имаме

$$\vec{E} = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{\sigma - \sigma'}{\epsilon_0} \rightarrow \epsilon_r = \frac{\sigma}{\sigma - \sigma'}$$



Относителната диелектрична проницаемост на веществата  $\epsilon_r$  се определя експериментално и ако знаем плътността на свободните заряди създаващи  $E_0$  може да се определи плътността на свободните заряди:

$$\sigma' = \frac{\epsilon_r - 1}{\epsilon_r} \sigma$$

10. Теорема на Гаус за електричното поле в диелектрик. Очевидно към теоремата на Гаус трябва да добавим и приноса на свързаните заряди. В интегрална форма ние можем да я запишем така:

$$\oint_S \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = q + q'$$

Може да се докаже че:

$$q' = -\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = -\oint_S \epsilon_0 \chi \vec{E}$$

Тогава имаме:

$$\oint_S \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = q - \oint_S \epsilon_0 \chi \vec{E} \rightarrow \oint_S \epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E} \cdot d\vec{S} = q$$

Величината:

$$\vec{D} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

се нарича електрическа индукция и играе роля на интензитет на електричното поле в среда където има диелектрик

Нека запишем в диференциална форма теоремата на Гаус за диелектрик:

$$\oint_S \epsilon_0 \vec{E} \cdot d\vec{S} = \int_V \operatorname{div} \epsilon_0 \vec{E} dV = q + q'$$

За плътността на свързаните заряди имаме:

$$q' = \int_V \rho' dV = -\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = -\int_V \operatorname{div} \vec{P} dV$$

Замествайки имаме:

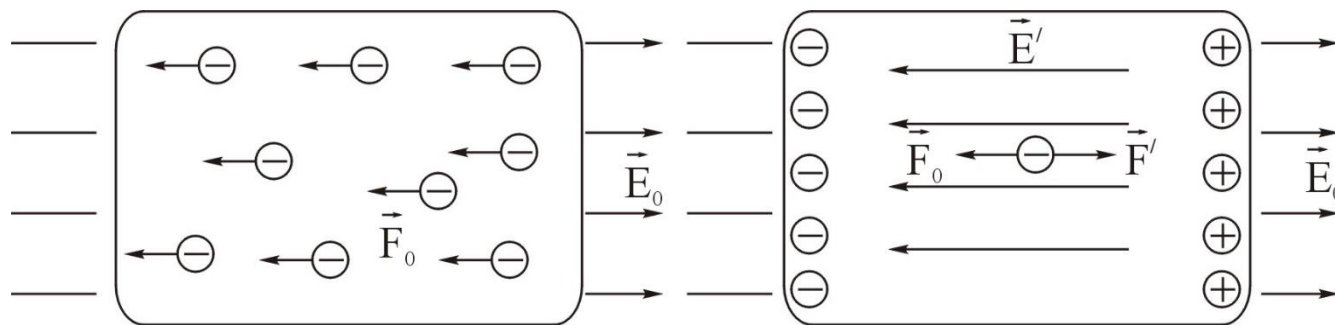
$$\begin{aligned} \int_V \operatorname{div} \epsilon_0 \vec{E} dV &= q - \int_V \operatorname{div} \vec{P} dV \\ \int_V \operatorname{div} (\epsilon_0 \vec{E} - \vec{P}) dV &= \int_V \operatorname{div} [\epsilon_0 (1 + \chi) \vec{E}] dV = \\ &= \int_V \operatorname{div} (\epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}) dV = \int_V \operatorname{div} \vec{D} dV = \int_V \rho dV \end{aligned}$$

Окончателно получаваме:  $\operatorname{div} \vec{D} = \rho$

Това е теоремата на Гаус за електрични полета в произволна среда.

## II. ПРОВОДНИЦИ В ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ

1. Наелектризиране на проводник по индукция: Нека внесен проводяща среда с произволна форма и размери е едно хомогенно електрично поле. Тъй като в проводника имаме свободни заряди то в зависимост от техния заряд под действието на електростатичната кулонова сила ще започнат да се движат отрицателните по посока обратна на полето а положителните по направление на полето до достигане на повърхността на проводника. На двете срещуположни страни ще започнат да се натрупват разноименни заряди които ще доведат до възникване на електростатично поле с интензитет  $E'$  който е в обратна посока на интензитета на въшното електрично поле  $E_0$ :

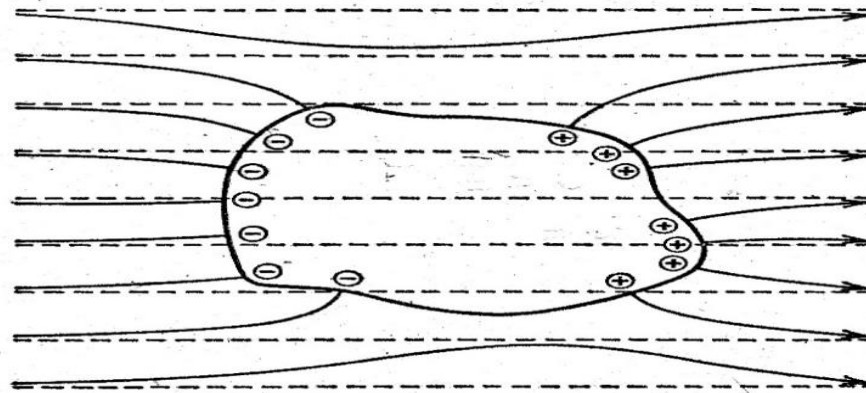


Това наелектризиране под действието на външно електрично поле се нарича наелектризиране по индукция. Натрупването на електрически заряди по повърхността на проводника ще става до тогава докато интензитетите на двете полета се изравнят т.е  $E_0=E'$ . Това означава че в равновесно състояние вътре в проводника  $E=0$ .

Вътре в проводника електричното поле е нула. От връзката между интензитета на електричното поле и потенциала имаме:

$$\mathbf{0} = \vec{E} = -\text{grad} \varphi \rightarrow \varphi = \text{const}$$

Т.е това означава че повърхността на проводника представлява екипотенциална повърхнина което означава че във всяка точка от повърхността електричните силови линии са перпендикулярни на повърхността на проводника.



Внасянето на проводник в хомогенно електрично поле води до прекъсване на част от електричните силови линии като те завършват върху отрицателни заряди и започват от положителни.

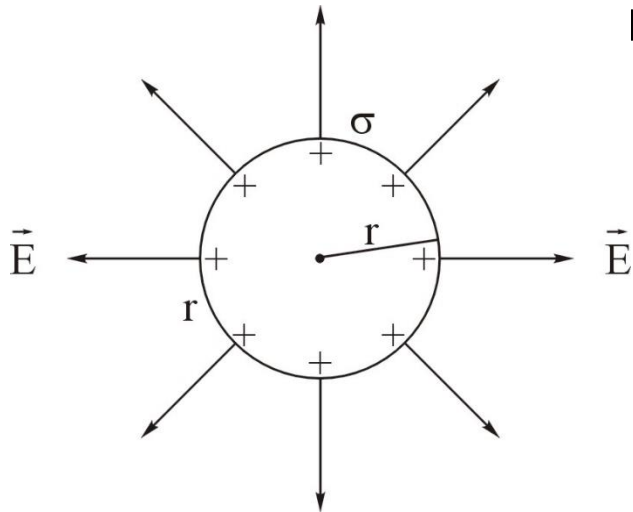
От теоремата на Гаус за потока на вектора на електричната индукция следва че  $Q^{\text{вът}}$  е РАВНО НА НУЛА Т.Е ВЪТРЕ В ПРОВОДНИКА НЯМА НЕКОМПЕНЦИРАНИ ЕЛЕКТРИЧНИ ЗАРЯДИ А ТАТИВА СЕ РАЗПОЛАГАТ САМО ПО НЕГОВАТА ПОВЪРХНОСТ.

Отсъствието на поле вътре в проводника се използва за електростатична защита за предпазване на обекти от влиянието от външни полета.

2. Капацитет на проводник: Нека имаме наелектризиран проводник със едноименни заряди. От условието за равновесие  $E=0$  вътре в проводника и  $\varphi=\text{const}$  тези заряди се разполагат по повърхността на проводника с повърхнинна плътност  $\sigma$ . Тези повърхнинно разпределени заряди извън проводника ще създадат електрично поле чиито електрични силови линии са перпендикулярни на повърхността. Ако по повърхността на проводника имаме разпределен заряд  $Q$  то той ще създаде електрично поле с потенциал  $\varphi$ . Ако заряда е  $2Q$  то потенциала ще стане  $2\varphi$ . Потенциалът на проводника зависи линейно от заряда на повърхността му. Това е вярно защото независимо от придадения заряд на проводника разпределението му по повърхността е единствено.

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ:** ВЕЛИЧИНАТА  $C=Q/\varphi$  НАРИЧАМЕ НА ПАЦИТЕТ НА ПРОВОДНИКА. ТОЙ Е ЧИСЛЕНО РАВЕН НА КОЛИЧЕСТВОТО ЗАРЯД КОЙТО ТРЯБВА ДА СЕ ПРЕДАДЕ НА ПРОВОДНИКА ЗА ДА СЕ УВЕЛИЧИ ПОТЕНЦИАЛА МУ С ЕДИНИЦА. Единица за капацитет в SI система е “фарад” F.

Нека разгледаме проводяща сфера с радиус  $r$  на която по повърхността е ряд с големина  $Q$ .



От теоремата на Гаус:

$$E = \frac{\sigma}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{1}{\epsilon_0 \epsilon_r} \cdot \frac{Q}{4\pi r^2} = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2}$$

Тогава за потенциала на повърхността ще имаме:

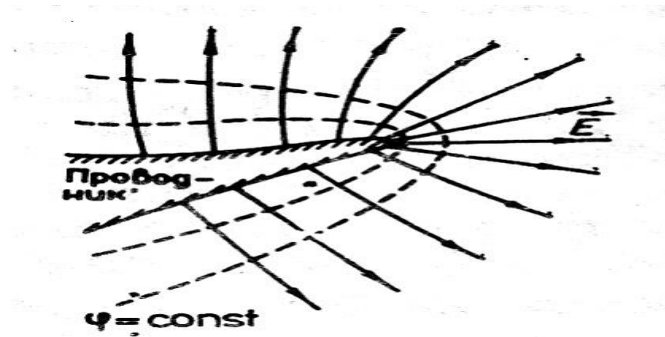
$$\varphi = \int_r^{\infty} \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r^2} dr = \frac{Q}{4\pi \epsilon_0 \epsilon_r r}$$

Имайки пред вид определението на капацитет на проводник имаме:

$$C(r) = 4\pi\epsilon_0\epsilon_r r$$

ИЗВОДИ:

1/Капацитета на проводника зависи от формата и линейните размери на проводника, но не от химическия състав и материала, респективно от кривината на повърхността.



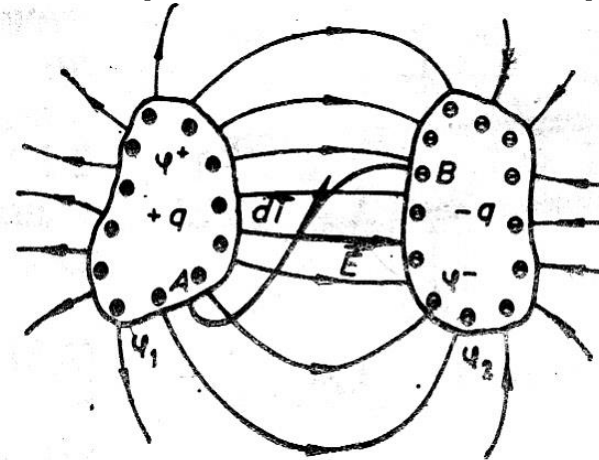
2/Ако кривината е голяма, респективно радиуса малък, т.е. имаме острие, там повърхнинната плътност на заряда може да стане много голяма, при което полето ще се характеризира с голям интензитет, което определя възможността за изтичане на електрони от острието (йонен микроскоп).

3/Формулата дава възможност да се оцени големината на единицата фарад. КАПАЦИТЕТА НА ПРОВОДЯЩА СФЕРА БИ БИЛА 1F АКО НЕЙНИЯ РАДИУС Е  $9 \cdot 10^9$  метра (1410 пъти по-голям от радиуса на ЗЕМЯТА). Т.е. фарада е много голяма единица и в практиката се използват кратни

$$1\mu F; 1nF; 1pF$$

## 2. Кондензатор.

а/определение: Система от два разноименно заредени проводника чиито взаимно разположение е такова че те създават електрично поле в една ограничена част на пространството наричаме кондензатор, а самите проводници плочи на кондензатора.



Нека имаме два разноименни проводника А и В които създават електрично поле с интензитет  $E$ . Работата което трябва да се извърши за пренасяна на заряд от единия проводник до другия е:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = \varphi(B) - \varphi(A) = -\int_A^B \vec{E} \cdot d\vec{l}$$

Интензитетът на полето е пропорционално на заряда  $Q$  т.е  $\vec{E} = Q\vec{K}$

Тогава имаме:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -Q \int_A^B \vec{K} \cdot d\vec{l}$$

По дефиниция:

$$\int \vec{K} \cdot d\vec{l} = \frac{1}{C}$$

Където  $C$  наричаме взаимен капацитет на системата от проводници.

Тогава получаваме:

$$\varphi_2 - \varphi_1 = -\frac{Q}{C} \rightarrow U = \frac{Q}{C}$$

Окончателно за капацитета на кондензатора имаме:

$$C = \frac{Q}{U}$$

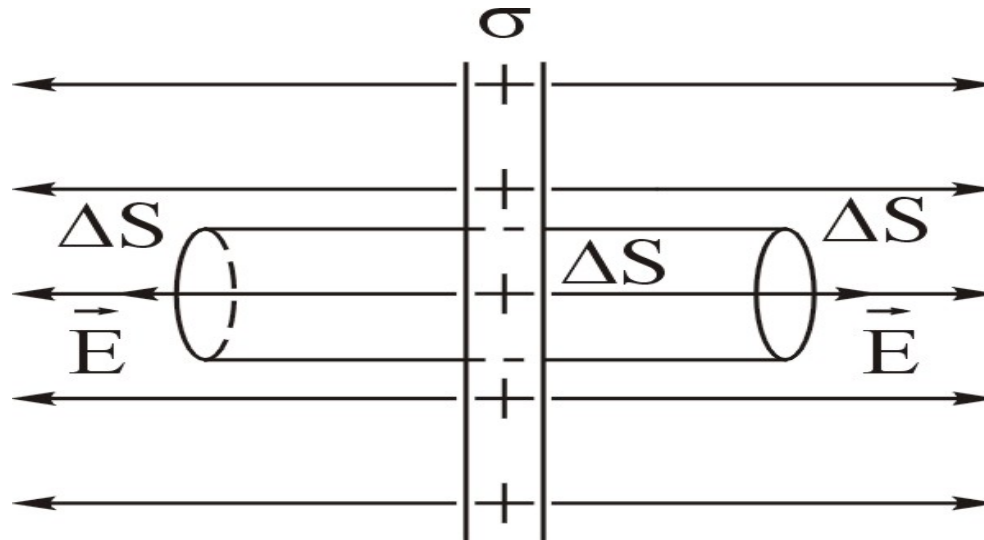
**ОПРЕДЕЛЕНИЕ: ПОД КАПАЦИТЕТ НА ЕДИН КОНДЕНЗАТОР НИЕ ЩЕ РАЗБИРАМЕ КОЛИЧЕСТВОТО ЗАРЯД КОЕТО ТРЯБВА ЗА СЕ ПРЕНЕСЕ ОТ ЕДНАТА ДО ДРУГАТА ПЛОЧА ЗА ДА СЕ ИЗМЕНИ НАПРЕЖЕНИЕТО МЕЖДУ ТЯХ С ЕДИНИЦА.**

Очевидно капацитета на един кондензатор ще зависи от взаимната геометрия на плочите: форма, размер и разстояние.



### 3. Капацитет на плосък кондензатор

а/интензитет на електричното поле създадено от равномерно заредена безкрайна плоча със стойност на повърхнинния заряд  $\sigma$ .



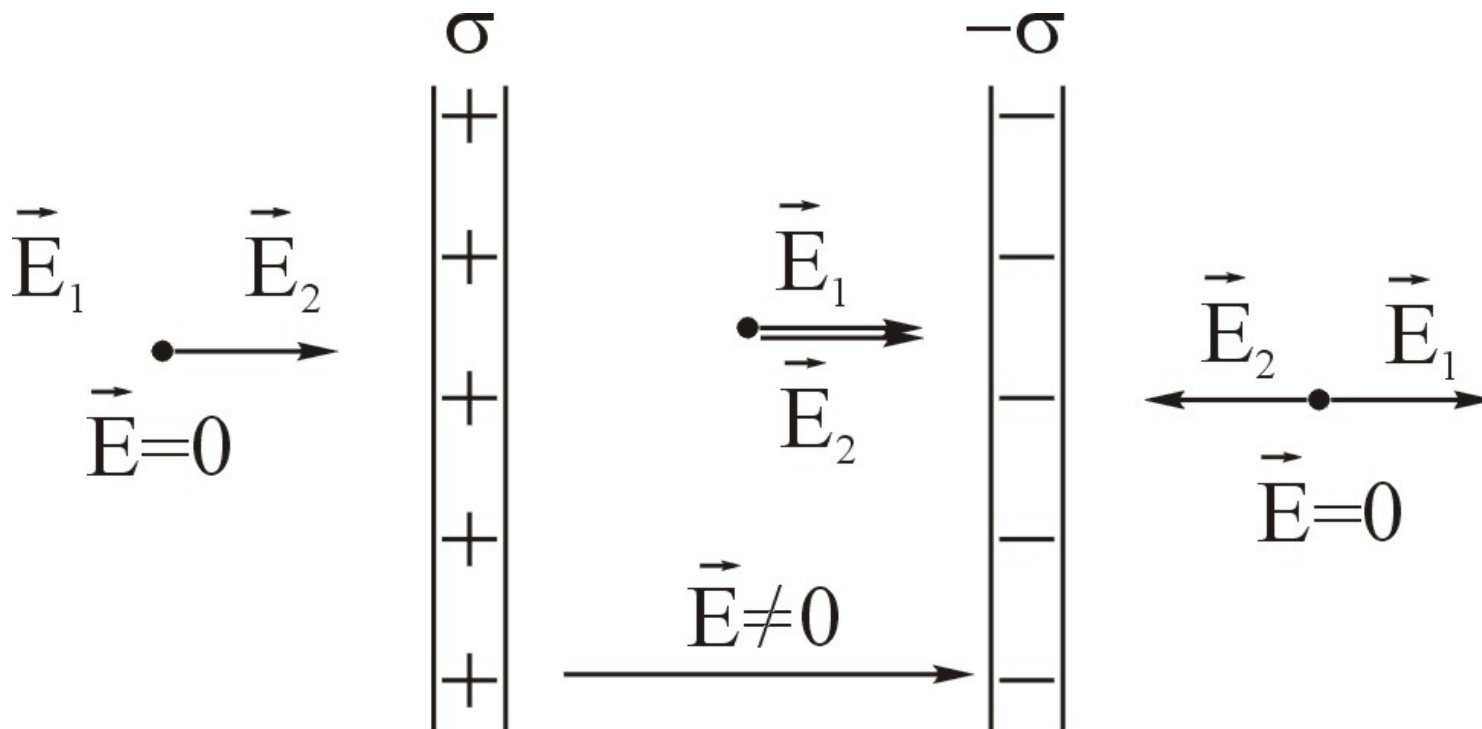
Като използваме теоремата на Гаус и вземем една произволна затворена цилиндрична повърхност имаме:

$$\oint_S 2\vec{E} \cdot d\vec{S} = 2E\Delta S \cos 0 + 2ES_{ok} \cos 90 = 2E\Delta S = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{\sigma \Delta S}{\epsilon_0 \epsilon_r}$$

За интензитета имаме:

$$E = \frac{\sigma}{2\epsilon_0 \epsilon_r}$$

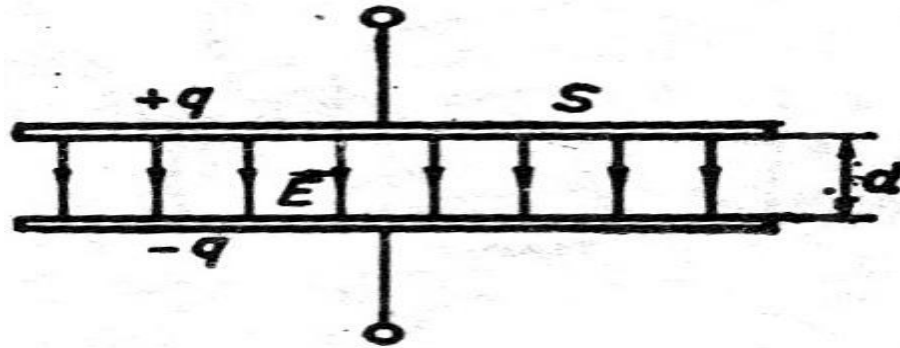
б/Интензитет на полето създадено от две успоредни безкрайни равнини заредени със равни по големина разноименни заряди  $Q$  и  $-Q$ .



Използвайки принципа на суперпозицията и разглеждайки трите подпространства обособени от плочите е ясно само интензитетите между двете плочи създадени от тях ще се сумират и ще имаме различно от нула резултантно поле.

$$E = E_1 + E_2 = \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon_r} + \frac{\sigma}{2\epsilon_0\epsilon_r} = \frac{\sigma}{\epsilon_0\epsilon_r}$$

в/плосък кондензатор: система от две метални плочи които се на намират на разстояние  $d$  една от друга имащи площи  $S$  и заряд на всяка плоча  $Q$ .



$$U = Ed = \frac{\sigma d}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \frac{Qd}{\epsilon_0 \epsilon_r S} = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}}$$

За капацитета на плоския кондензатор имаме:

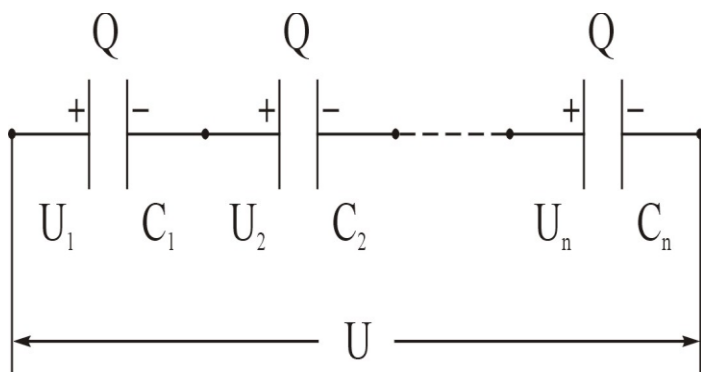
$$C = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Капацитета на кондензатора зависи от:

- 1/средата между плочите по-голямо  $\epsilon_r$  по-голям капацитет
- 2/ $C$  зависи правопрпорционално от взаимното препокриване на плочите
- 3/обратнопропорционално от разстоянието между тях

#### 4. Свързване на кондензатори:

а/ последователно свързване на кондензатори:



отделните кондензатори:

$$U = \frac{Q}{C_{eff}} = \sum_i U_i = \sum_i \frac{Q}{C_i} = Q \sum_i \frac{1}{C_i} \rightarrow \frac{1}{C_{eff}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

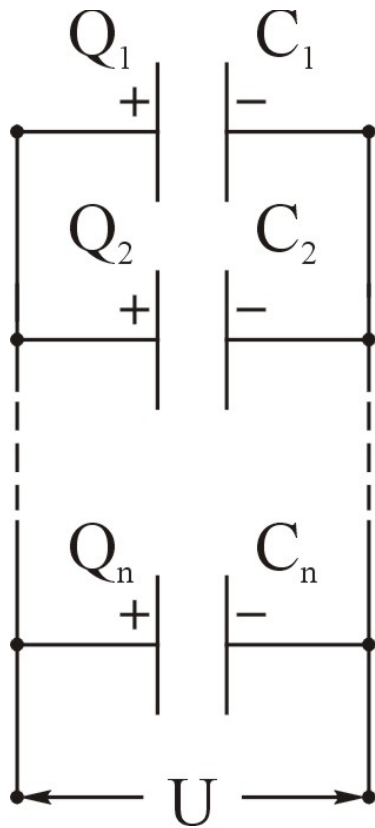
Ако имаме  $n$  на брой последователно свързани кондензатора то ще имаме:

$$\frac{1}{C_{eff}} = \sum_i \frac{1}{C_i} = \frac{n}{C} \rightarrow C_{eff} = \frac{C}{n}$$

Т.е съставния кондензатор ще има  $n$  пъти по-малък капацитет от капацитета на последователно свързани  $n$  еднакви кондензатора.

При последователно свързване крайните плочи на съставния кондензатор се зареждат с разноименни заряди а във всички междинни плочи вследствие на електричната индукция се индуцират числено равни заряди. Напрежението на отделния кондензатор ще бъде:  $U_i = (Q/C_i)$ . Общото напрежение е сума от напреженията на

б/успоредно свързани кондензатори:



При успоредно свързване напрежението  $U$  в краищата на всички кондензатори ще е еднакво. Заряда върху  $i$ -тия кондензатор ще бъде:  $Q_i = UC_i$ . Общия заряд на съставния кондензатор ще е сума от зарядите на отделните кондензатори:

$$Q = UC_{eff} = \sum_i Q_i = \sum_i UC_i = U \sum_i C_i$$

За капацитета на съставния кондензатор имаме:

$$C_{eff} = \sum_i C_i$$

Т.е съставния кондензатор има капацитет равен на сумата от капацитетите на успоредно свързаните кондензатори.

Ако имаме свързани успоредно  $n$  на брой еднакви кондензатори то имаме:

$$C_{eff} = \sum_i C_i = nC$$

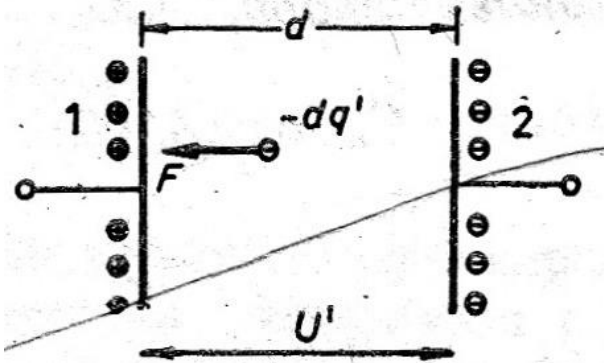
Т.е съставния кондензатор има капацитет  $n$  пъти по-голям от капацитета на успоредно свързаните  $n$  еднакви кондензатора.

# III. ПЛЪТНОСТ НА ЕНЕРГИЯТА НА ЕЛЕКТРОСТАТИЧНО ПОЛЕ

## 1. Работа за зареждане на кондензатор:

Процесът на зареждане на един кондензатор е свързан с пренос на безкрайно малки порции заряд  $dq$  от едната плоча до другата.

Нека си мислим че кондензатора е зареден до някаква стойност на заряда  $q'$  при което напрежението е  $U'=q'C$ . Търсим работата която ще извършат външните сили при пренасяне на заряд  $-dq'$  срещу силите на полето  $F_{\text{външ}} = -F_e = (-E')(-dq')$ . Тогава за  $dA$  имаме:



$$dA = (-E')(-dq')d = E'dq'd = U'dq' = \frac{1}{C}q'dq'$$

За работата извършена от външните сили за зареждане на кондензатора от 0 до  $Q$  имаме:

$$A = \frac{1}{C} \int_0^Q q'dq' = \frac{Q^2}{2C} = \frac{U^2 C}{2}$$

**КАТО СЛЕДСТВИЕ ОТ ТОВА ПРЕНАСЯНЕ НА ЗАРЯДИ СЕ СЪЗДАВА ПОЛЕ И ТАЗИ РАБОТА ПРЕМИНАВА В ПОТЕНЦИАЛНА ЕНЕРГИЯ НА ПОЛЕТО  $E_p$ .**

Потенциалната енергия на полето създадено между плочите на кондензатора е:

$$E_p = \frac{U^2 C}{2} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{2d} U^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S}{2d} \cdot E^2 d^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r S d}{2} \cdot E^2 = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r V}{2} \cdot E^2$$

2. Плътност на енергията на електростатичното поле: **ТОВА ЕНЕРГИЯТА ОТНЕСЕНА КЪМ ЕДИНИЦА ОБЕМ.**

$$w = \frac{E_p}{V} = \frac{\epsilon_0 \epsilon_r}{2} \cdot E^2 = \frac{1}{2} \vec{D} \cdot \vec{E} = \frac{1}{2\epsilon_0 \epsilon_r} D^2$$