

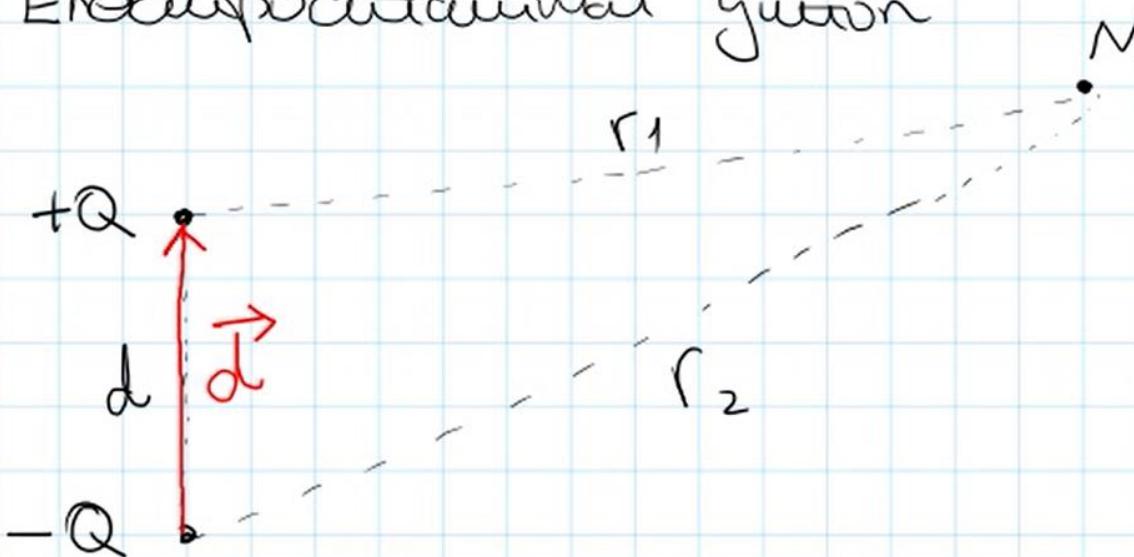
Univerzitet u Banjoj Luci
Elektrotehnički fakultet
Osnovi elektrotehnike 1

Elektrostatičko polje u prisustvu dielektrika

Predavanje: 6. blok

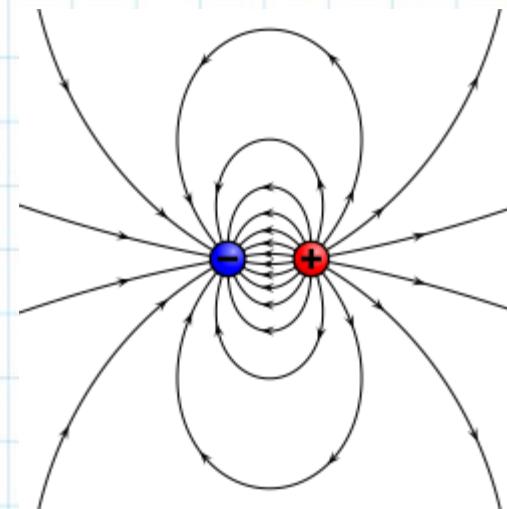
ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЛЕ У ПРИСУСТВУ ДИПОЛА

- Електростатичко поле



Момент дипола (\vec{p})

$$\boxed{\vec{p} = Q \cdot \vec{d}}$$



Bez izvođenja, navodimo da je potencijal na odstojanju $r \gg d$ od dipola

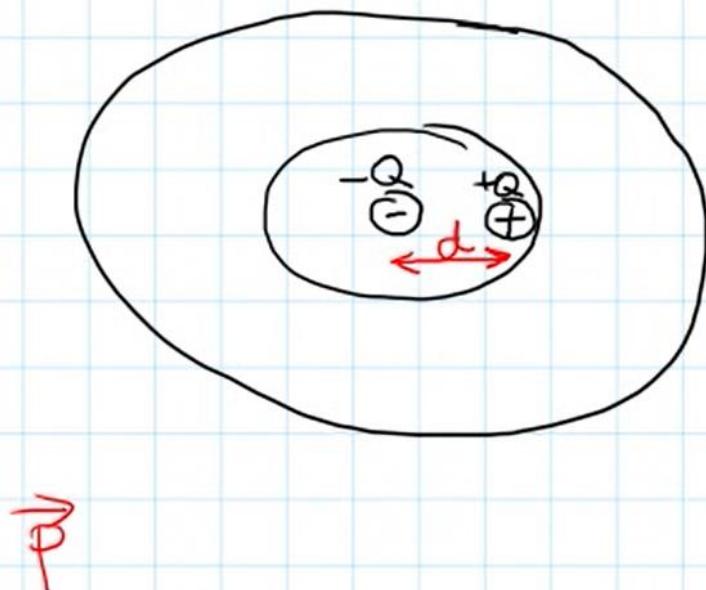
$$V = \frac{Q \vec{d} \cdot \vec{r}_o}{4\pi\epsilon_0 r^2} = \frac{\vec{p} \cdot \vec{r}_o}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

$$E = -\frac{dV}{dr}$$

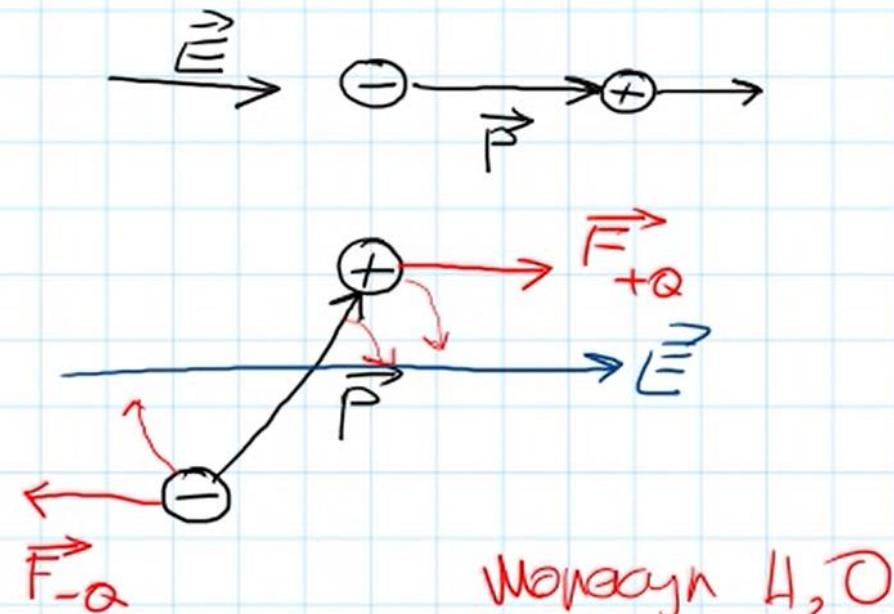
ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОВЕ У ПРИСУСТВУ ДИЕЛЕКТРИКА

1. дислокацији са молекулама диполима (изолирани молекулима)
2. дислокацији са ионизованим молекулима

- дисл. са изолираним молекулима



$$\begin{matrix} \ominus & \oplus \end{matrix} \xrightarrow{\vec{P}=Qd}$$

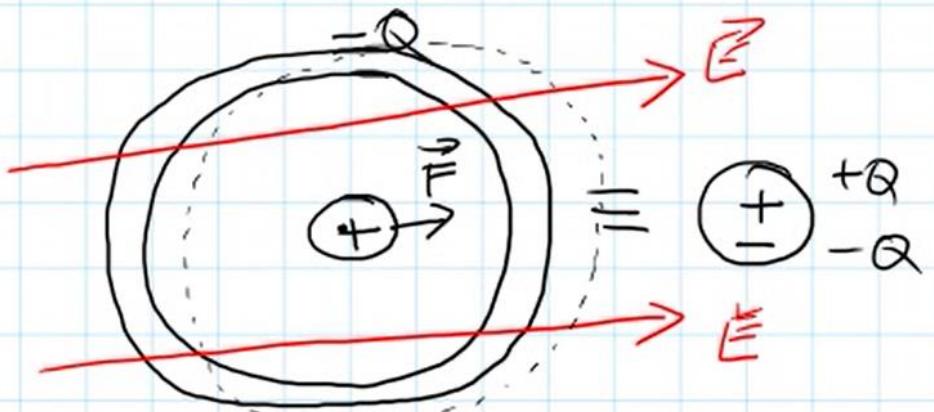


Молекул H_2O

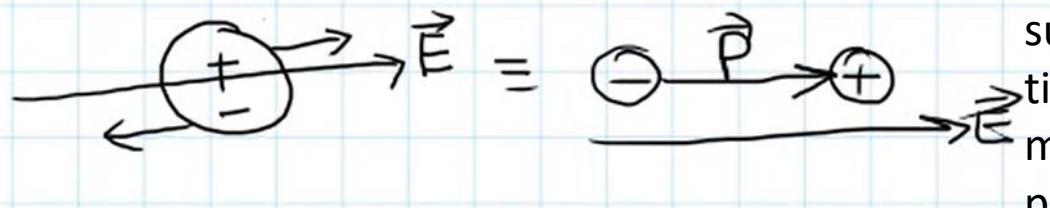
ЕЛЕКТРОСТАТИЧКО ПОЉЕ У ПРИСУТВУ ДИЕЛЕКТРИКА

1. генерацији са молекулама групома (штапарим молекулама)
2. генерацији са некштапарим молекулама

- 3. gen. са штапарим молекулама (енасупротока штапаризације)



Поларизација
штапараја

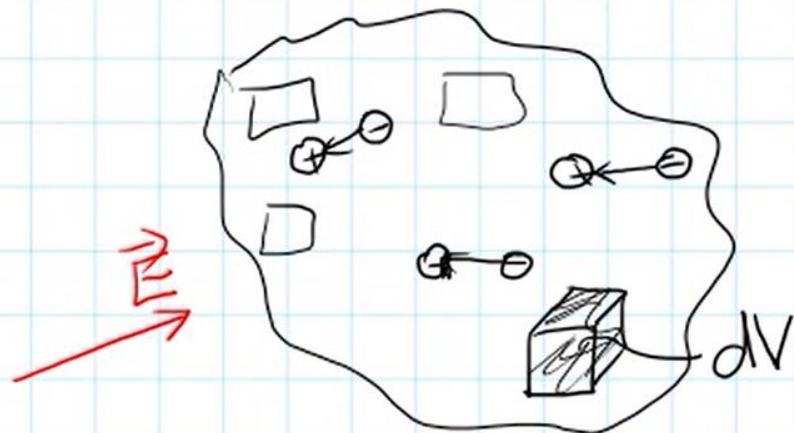


јонска штапаризација

Kod čvrstih kristalnih dielektrika, koji se sastoje od pozitivnih i negativnih jona elemenata koji ulaze u sastav kristalne supstance, javlja se **jonska polarizacija**. Kada nema stranog polja ti joni su unutar kristala tako razmešteni da normalno ne stvaraju makroskopsko električno polje. Pod dejstvom stranog električnog polja dolazi do pomeranja pozitivnih jona u smeru polja, a negativnih u suprotnom, te se kristal ponaša kao "roj" električnih dipola.

Бетарап ен. кондуктивайре

$$\vec{P} = Q \cdot \vec{E}$$



$$\vec{P} = \frac{\sum \vec{P}}{dV}$$

Бетарап ен. кондуктивайре
[C/m^2]

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

Алтардам
гүрн.

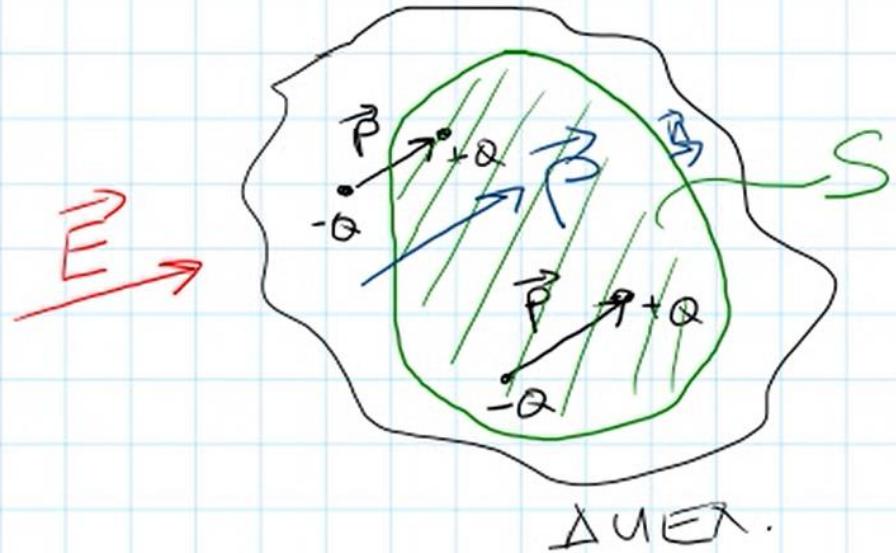
ен. сүйгэлтийн бүйнэлт гүрн.

$$\chi_e > 0$$

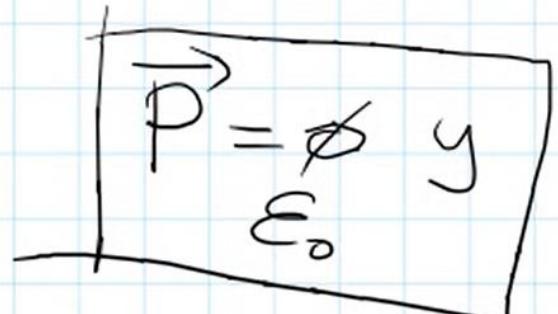
Хомоген: χ_e иштээвэгийн талдаа
ишигжжээн
алхамжжин

Нэхмийн

ВЕЗАНА ЕЛЕКТРИЧНА ОПЕРЕДЕЛКА



$$Q_V = - \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S}$$



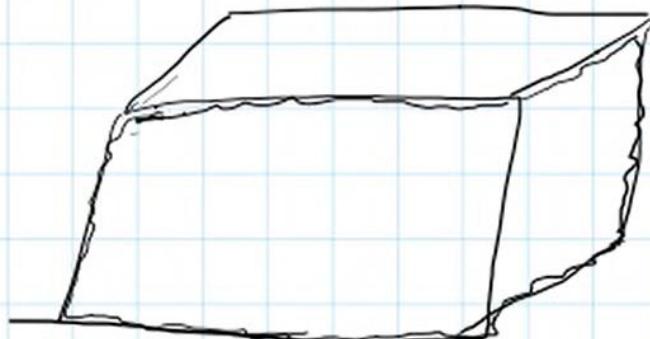
Бекарп сипарызынде

- ионаларынан хомоцат ген.

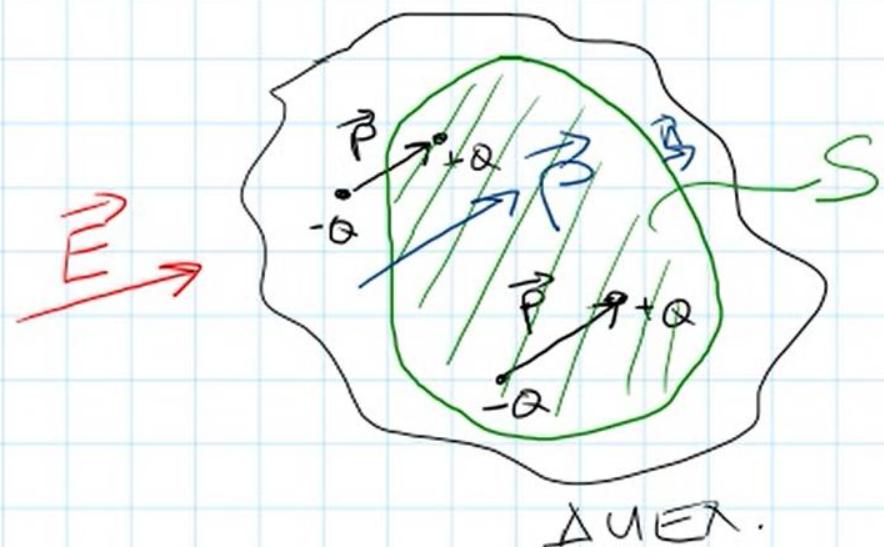
\vec{P} ишесінде деңгээл жасалса
манс зерттегіндең көлемі S .

$$Q_V = - \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = - \vec{P} \oint_S d\vec{S} = 0$$

За көздөнген ген.: $Q_V \neq 0$



БЕЗАНА ЕЛЕКТРИЧНА ОПЕРЕАЦИЯ



- изолирват хомоген ген.

\vec{P} въвърху S има равномерно разпределение на съставляващите вектори \vec{S} .

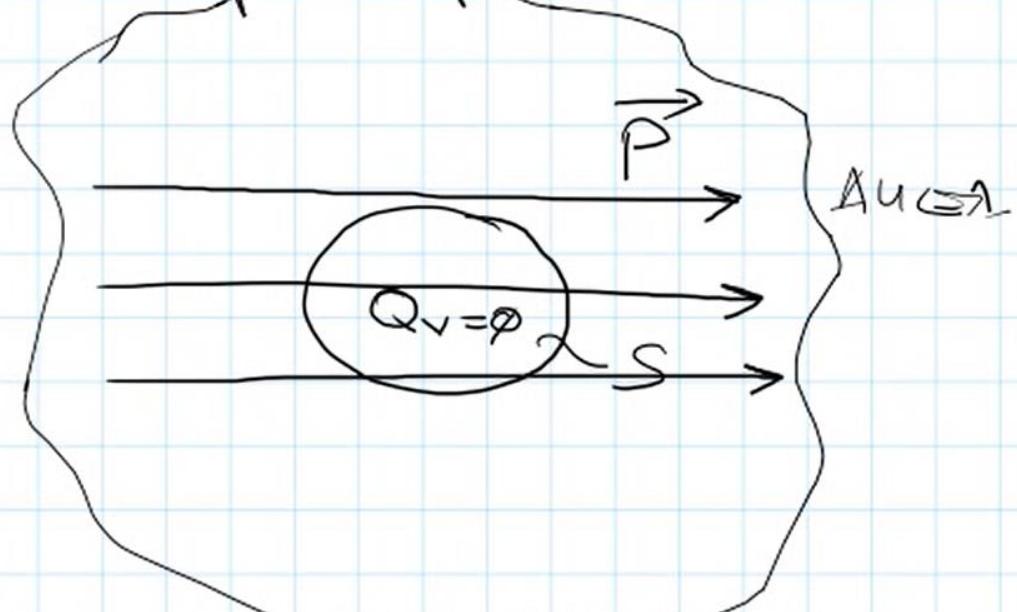
$$Q_V = - \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = - \vec{P} \oint_S dS = 0$$

За външният ген.: $Q_V \neq 0$

$$Q_V = - \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S}$$

$$\boxed{\vec{P} = \phi \frac{\vec{y}}{\epsilon_0}}$$

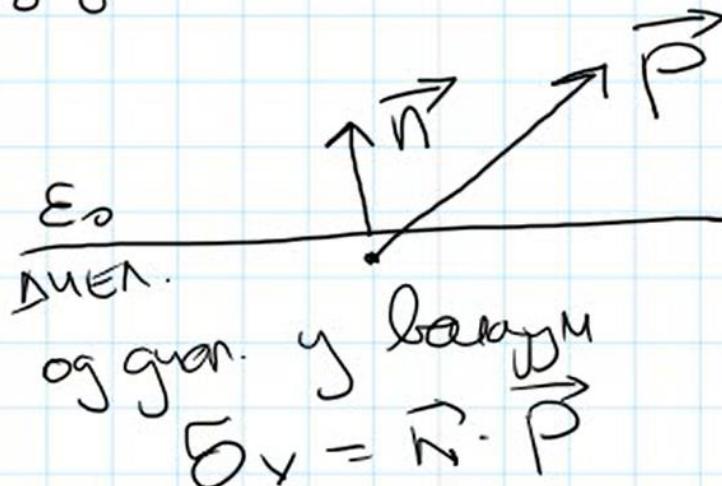
бескрайна суперпозиция



нормальная сила на единицу длины равна:

$$\sigma_v = \vec{n} \cdot \vec{P}$$

огранич.



ДЛЯ

огранич. в баланс

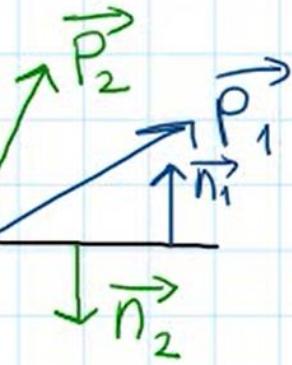
$$\sigma_v = \vec{n} \cdot \vec{P}$$

2) ДЛЯ

1) ДЛЯ

$$\sigma_{v1} = \vec{n}_1 \cdot \vec{P}_1$$

$$\sigma_{v2} = \vec{n}_2 \cdot \vec{P}_2$$



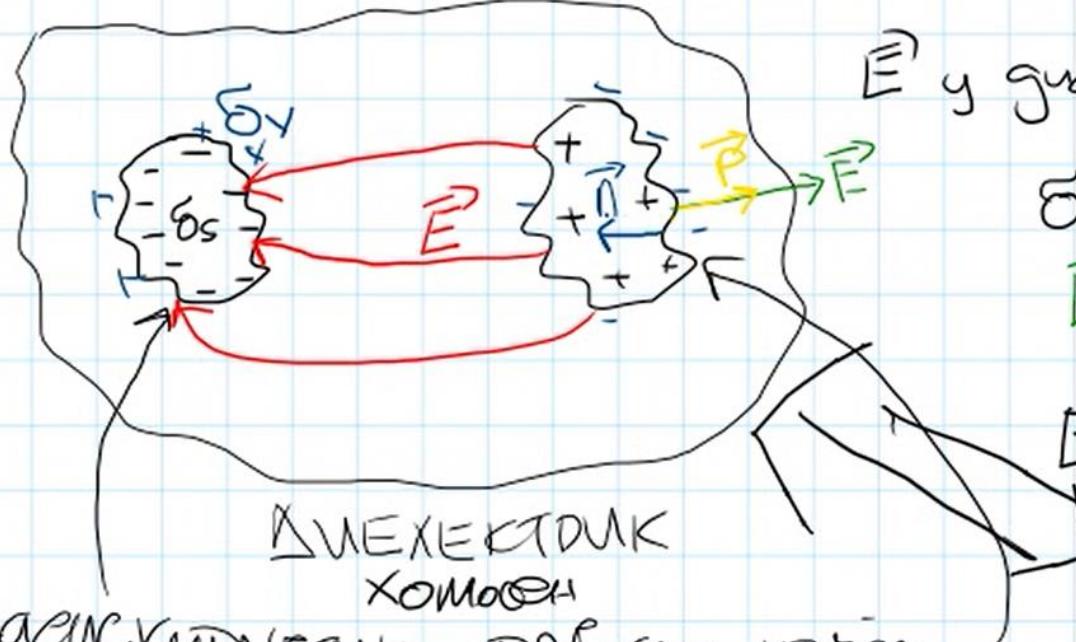
ДЛЯ

ПРОБОЧНИК

$$\sigma_v = \vec{n} \cdot \vec{P}$$

$$\sigma_v = \vec{n} \cdot \vec{P}$$

ЕЛЕКТРИЧНО ПОЛЕ В ХОМООДИМЕ ДИЕЛЕКТРИКУ



ДИЕЛЕКТРИК
ХОМООДИМ
наслаждается зарядами

$$E = \frac{\delta_s + \delta_x}{\epsilon_0}$$

$\vec{E} \perp \vec{P}$
 $\Rightarrow \vec{P} \perp \text{заряды}$

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

$$\delta_v = \vec{n} \cdot \vec{P} = \vec{n} (\chi_e \epsilon_0 \vec{E}) = 1 \cdot \chi_e \epsilon_0 E \cos(\vec{n}, \vec{E}) = -\chi_e \epsilon_0 E$$

\vec{E} в гов. \Rightarrow становится параллельным и однородным.
 $\delta_v = \vec{n} \cdot \vec{P}$

$\vec{E} \perp \vec{P}$

$E = \frac{\delta}{\epsilon_0}$ на поверхности проходит граница



$|\vec{n}|$

\vec{n}^{-1}

$$\delta_v = -\gamma_e \epsilon_0 E$$

$$E = \frac{\delta_s + \delta_v}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 E = \delta_s - \gamma_e \epsilon_0 E$$

$$E = \frac{\delta_s}{\epsilon_0(1+\gamma_e)} = \frac{\delta_s}{\epsilon_0 \cdot \epsilon_r} = \frac{\delta}{\epsilon}$$

$$\epsilon_r = 1 + \gamma_e$$

предельная гранич.
коэффициента
(рел. проницаемости)

$$\epsilon_0 \cdot \epsilon_r = \epsilon$$

действительная гранич. коэффициент
(акт. проницаемость)

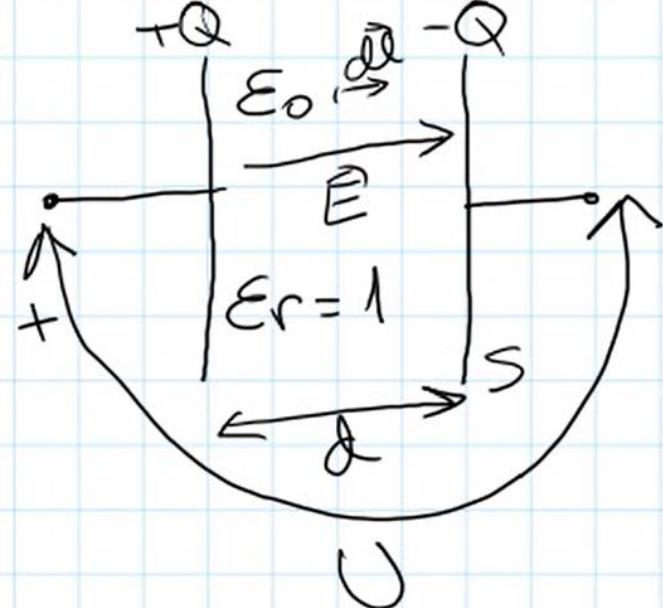
$$\gamma_e > 0 \Rightarrow 1 + \gamma_e = \epsilon_r > 1$$

$\epsilon_r > 1 \Rightarrow$ увеличение

	ϵ_r
МАМ	1,0005
ПАНУР	2,5 ÷ 3,5
ГИМА	2 - 3,5
АЛКОХОЛ	28,4

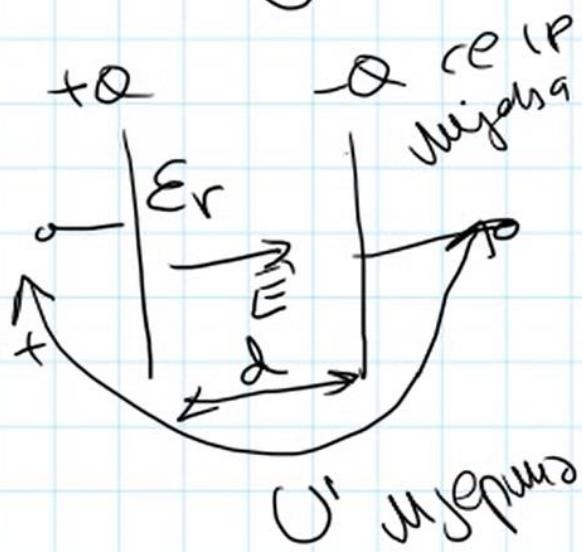
$$\begin{aligned}\delta_s + \delta_v &= \delta_s - \epsilon_0 \gamma_e E \\ &= \delta_s - \epsilon_0 \gamma_e \frac{\delta_s}{\epsilon} \\ &= \delta_s \frac{\epsilon - \epsilon_0 \gamma_e}{\epsilon} = \delta_s \frac{\epsilon_0}{\epsilon - \epsilon_0 \gamma_e},\end{aligned}$$

$$\delta_s + \delta_v = \frac{\delta_s}{\epsilon_r}$$



$$U = \int \vec{E} d\vec{l} = E \cdot d = \frac{Q}{\epsilon_0 \epsilon_r / d} = \frac{Q}{S \epsilon_0} d$$

$$C = \epsilon_0 \frac{S}{d} = \frac{Q}{U}$$

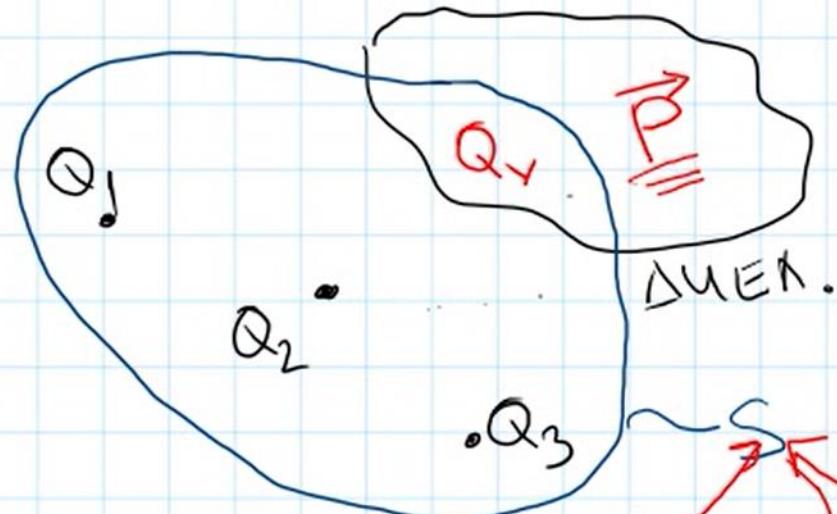


$$Q = \text{const.}$$

$$U = E \cdot d = \frac{Q}{\epsilon} d = \frac{Q}{S \epsilon_0 \epsilon_r} d$$

$$C = \frac{Q}{U'} = \epsilon_0 \boxed{\epsilon_r \frac{S}{d}}$$

ЧОЛІШЕҢИ ГАУССОВ ЗАКОН



$$\oint \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q_s - \oint \vec{P} d\vec{s}}{\epsilon_0}$$

$$\epsilon_0 \oint \vec{E} d\vec{s} + \oint \vec{P} d\vec{s} = Q_s$$

$$\oint_S (\epsilon_0 \vec{E} + \vec{P}) d\vec{s} = Q_s$$

ЧОЛІШЕҢИ
ГАУССОВ ЗАКОН

$Q_1, Q_2, Q_3 \Rightarrow \vec{E} \Rightarrow$ холбасын ғана. ре
жонаппайы

$$\oint_S \vec{E} d\vec{s} = \frac{Q_s}{\epsilon_0} = \frac{Q_s + Q_x}{\epsilon_0}$$

чүкшесін
төмөнкү
таң.

снаға
таң.



беттесін
таң.

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

Беттесін таң.
Беттесін жонаппайы

$$\oint_S \vec{D} d\vec{s} = Q_s$$

$$\left[\frac{C}{m^2} \right]$$

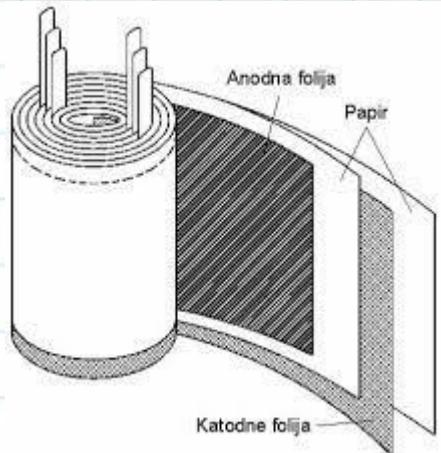
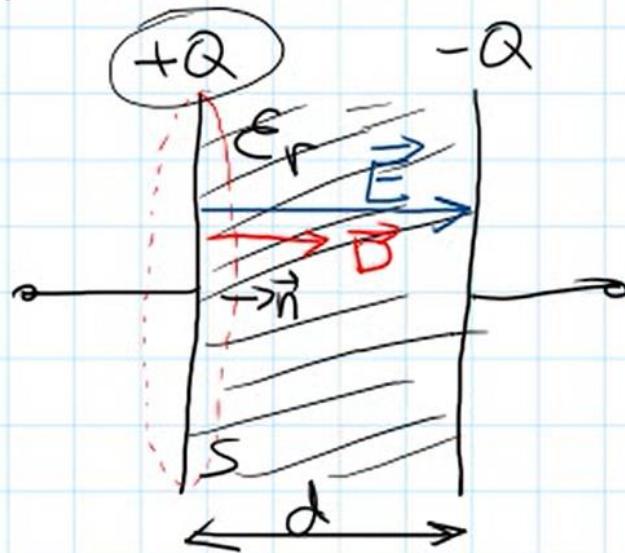
$$\vec{D} = \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} = \epsilon_0 \vec{E} + \epsilon_0 \chi_e \vec{E} = \epsilon_0 (1 + \chi_e) \vec{E} = \epsilon_0 \epsilon_r \vec{E}$$

$$\frac{\vec{D}}{\epsilon_0 \epsilon_r} = \vec{E} \quad \left[\frac{C}{m^2} \right] \quad \text{за ходою з генератору}$$

У даному випадку:

$$\boxed{\begin{aligned} \vec{D} &= \epsilon_0 \vec{E} + \vec{P} \\ D &= D(E) \end{aligned}}$$

Tipunje:



$$\oint \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_S$$

$$D = \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon_r E$$

$$D \oint_S dS = D \cdot S = Q \Rightarrow D = \frac{Q}{S}$$

$$E = \frac{D}{\epsilon} = \frac{Q}{S\epsilon} = \frac{Q}{S\epsilon_0\epsilon_r}$$

$$U = E d = \frac{Q \cdot d}{S\epsilon_0\epsilon_r} \Rightarrow C = \frac{Q}{U}$$

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



ИНТЕГРАЛНЕ ЈЕДНАЧИНЕ ЈУ ЕЛЕКТРОСТАТИКУИ

$$\oint_{C} \vec{E} \cdot d\vec{l} = \emptyset$$

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_{us}$$

- Изворских ћелиака гуен.

$$Q_v = \oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = - \oint_S (\vec{D} - \epsilon_0 \vec{E}) \cdot d\vec{S} = - \oint_S (\epsilon - \epsilon_0) \frac{\vec{E}}{\epsilon} d\vec{S}$$

$$= - \oint_S \left(\vec{D} - \frac{\epsilon_0}{\epsilon} \vec{E} \right) d\vec{S} = - \oint_S \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} \vec{D} d\vec{S} = - \frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} \oint_S \vec{D} d\vec{S}$$

$$Q_v = \emptyset \quad \text{које подразумева}$$

- Изворских хемијских гуен

$$Q_v = - \oint_S \left[\frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} \right] \vec{D} d\vec{S}$$

$$\frac{\epsilon - \epsilon_0}{\epsilon} \neq \text{const.}$$

$Q_v \neq 0$ још једна могућност



$$Q_{sus} = \emptyset \quad \Delta U \in \mathbb{R}$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \emptyset$$

$$\oint_C \vec{E} \cdot d\vec{l} = \phi$$

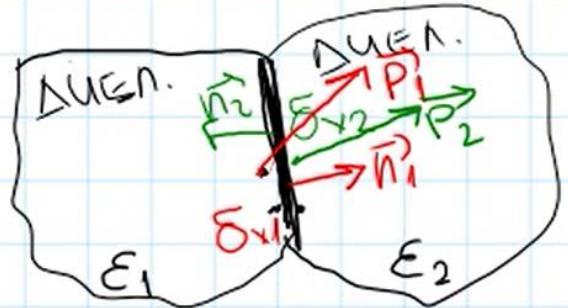
C

$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = Q_s$$

S

$$\vec{D} = \vec{B}(\vec{E})$$

ГРАНИЧНЫЕ УСЛОВИЯ



$$\underline{\Sigma} = \vec{n}_1 \vec{P}_1 + \vec{n}_2 \vec{P}_2 = \vec{n}_1 \vec{P}_1 + (-\vec{n}_1) \vec{P}_2 = (\vec{P}_1 - \vec{P}_2) \vec{n}_1$$

Границы условия

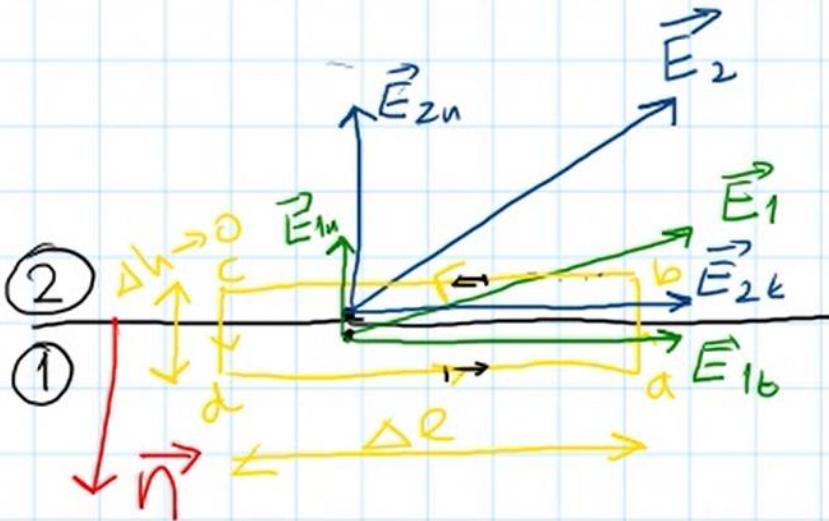
$$\begin{aligned}\vec{E}_1 &\text{ и } \vec{E}_2 \\ \vec{D}_1 &\text{ и } \vec{D}_2\end{aligned}$$

$$\Sigma_V = \vec{R} \cdot \vec{P}$$

$$\Sigma_{V1} = \vec{n}_1 \cdot \vec{P}_1$$

$$\Sigma_{V2} = \vec{n}_2 \cdot \vec{P}_2$$

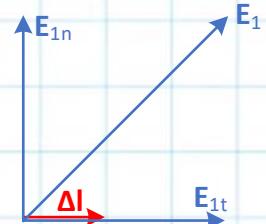




$$\begin{aligned}
 & \oint \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \\
 &= \int_a^b \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_b^c \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_c^d \vec{E} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{E} \cdot d\vec{l} = 0 \\
 &= \int_b^c \vec{E}_{2t} \cdot d\vec{l} + \int_d^a \vec{E}_{1t} \cdot d\vec{l} = -E_{2t} \Delta l + E_{1t} \Delta l = 0 \\
 \Rightarrow & E_{1t} = E_{2t}
 \end{aligned}$$

$$\vec{n} \times \vec{E}_1 - \vec{n} \times \vec{E}_2 = 0$$

$\vec{n} \rightarrow 2 \text{ y } 1$

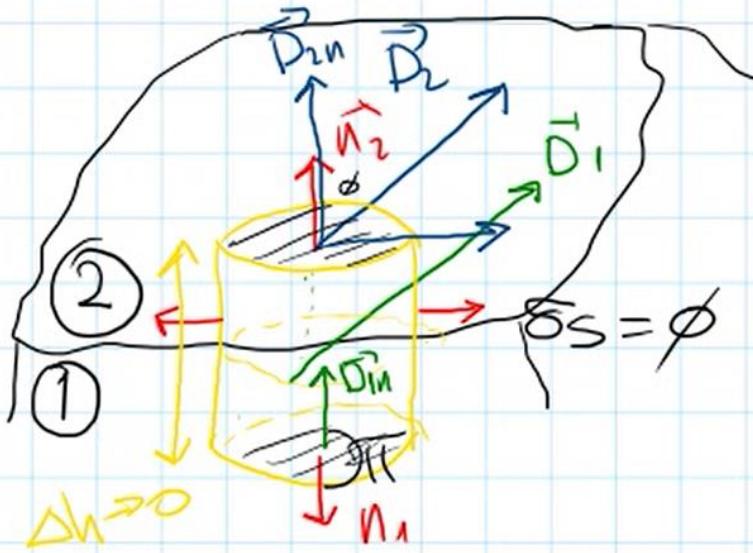


За нов. предполож:

$$\vec{D} = \epsilon \vec{E} \Rightarrow E_{1t} = \frac{D_{1t}}{\epsilon_1}, \quad E_{2t} = \frac{D_{2t}}{\epsilon_2}$$

$$\boxed{\frac{D_{1t}}{\epsilon_1} = \frac{D_{2t}}{\epsilon_2}}$$

$$E_1 \cdot \Delta l = (E_{1t} + E_{1n}) \cdot \Delta l = E_{1t} \cdot \Delta l = E_{1t} \Delta l$$



$$\oint_S \vec{E} d\vec{S} = \frac{Q_s}{\epsilon_0} \Rightarrow$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = Q_s = 0 \text{ jen}\text{e}\text{ma chodosilx}\text{ hoch}\text{ na}\text{ paru}\text{z}\text{otpruzim}$$

$$\Delta h \rightarrow 0$$

$\vec{D} d\vec{S}$ kros omoum je
zelenoumu

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = \dots = D_{2n} \cdot \Delta S - D_{1n} \Delta S = 0$$



ako vysa chodosilx hoch na
ponyeni ztratu

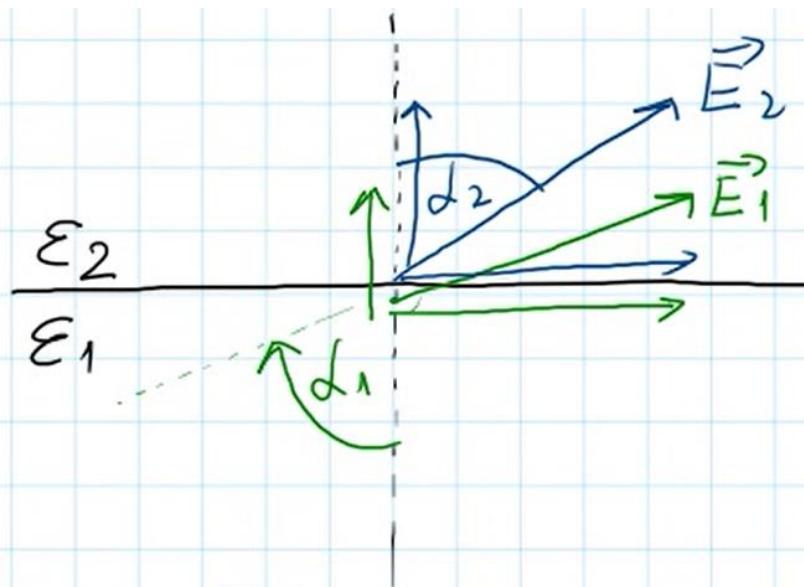
$$D_2 \cdot \Delta S = D_2 \cdot \Delta S \cdot n = (D_{2t} + D_{2n}) \cdot n \cdot \Delta S = D_{2n} \cdot n \cdot \Delta S = D_{2n} \Delta S$$

$$\oint_S \vec{D} d\vec{S} = Q_s$$

$$D_{2n} \Delta S - D_{1n} \Delta S = Q_s$$

$$D_{2n} - D_{1n} = \frac{Q_s}{\Delta S}$$

$$D_{2n} - D_{1n} = \bar{Q}_s$$



$$\operatorname{tg} d_1 = \frac{E_{1G}}{E_{1n}}$$

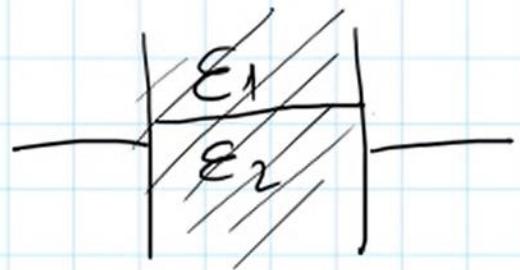
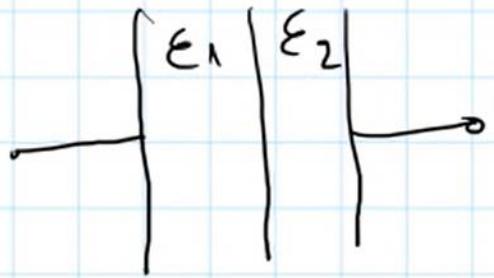
$$\operatorname{tg} d_2 = \frac{E_{2G}}{E_{2n}}$$

$$\frac{\operatorname{tg} d_1}{\operatorname{tg} d_2} = \frac{E_{2n}}{E_{1n}}$$

$$E_{1n} \frac{D_{1n}}{\epsilon_1} \quad E_{2n} = \frac{D_{2n}}{\epsilon_2}$$

$$\text{m} \quad D_{1n} = D_{2n}$$

$$\boxed{\frac{\operatorname{tg} d_1}{\operatorname{tg} d_2} = \frac{\epsilon_1}{\epsilon_2}}$$



HEKE EN. OCOSTUHE AUEA.

Zaostala polarizovanost je osobina nekih dielektrika sa polarnim molekulima, gde je potrebno izvesno vreme kako za polarizaciju tako i za depolarizaciju.

- Prekupriva u premašu napon.

E_{KR}

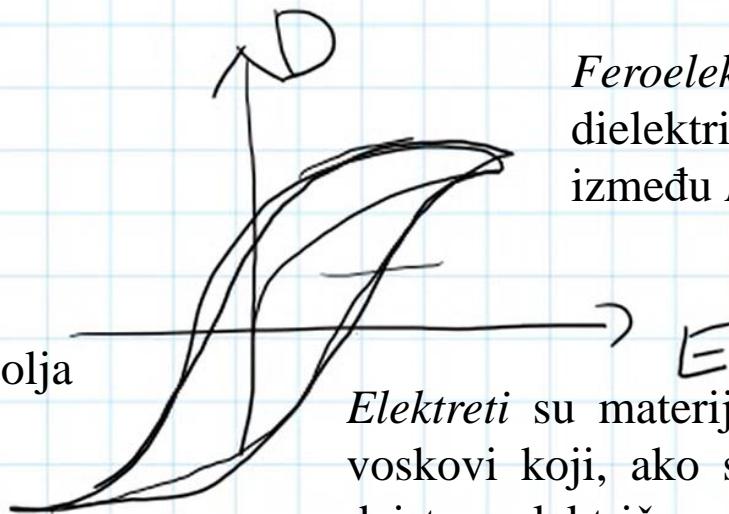
25 - 30 kV/cm

$E > E_{KR}$

- Rezonancija Ekr samo u nekim delovima polja
- Korona



Zaostala polarizovanost

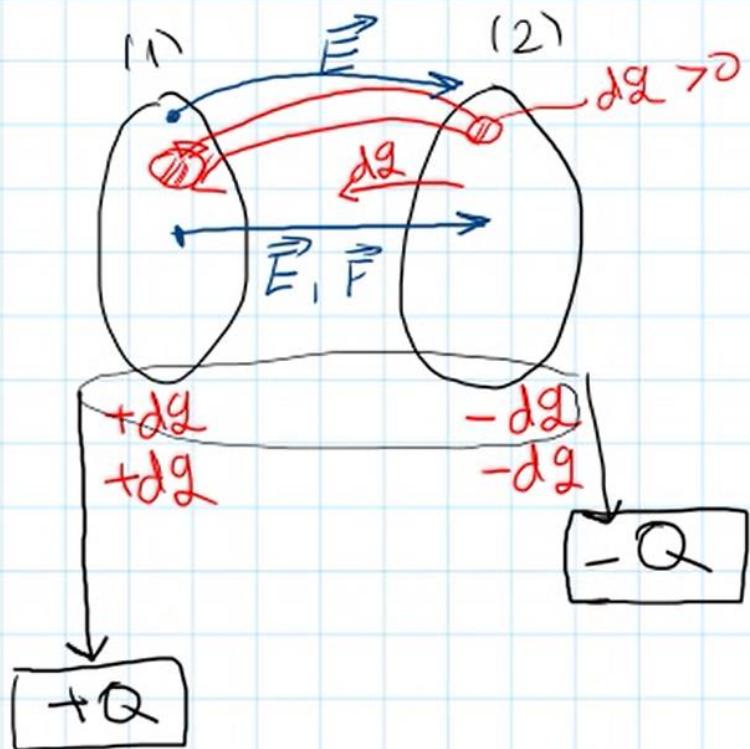


Feroelektrici (senjetoelektrici) su dielektrici kod kojih zavisnost između P i E nije linearna.

Elektreti su materijali kao neke organske smole i voskovi koji, ako se u rastopljenom stanju izlože dejstvu električnog polja i u tom polju ohlade i očvrstnu, zadržavaju polarizaciju i posle ukidanja polja.

Korona (jonizovani sloj gasa) kada je $E > E_{KR}$, u slučaju gasovitih dielektrika, ali do probaja ne dolazi. Primer je dvožični vazdušni vod priključen na vrlo visoki napon. Vazduh oko provodnika se jonizuje i obrazuje koronu koja sa u mraku vidi kao svetlucava svetlost oko provodnika. Do probaja vazduha između provodnika ne dolazi jer korona oko provodnika odgovara izvesnom povećanju poluprečnika i prema tome smanjenju polja E .

СИЛА И ЭНЕРГИЯ ∵ ЭЛ. СТАТ. ПОЛЯ



$$We = A = \frac{Q^2}{2C}$$

$$\boxed{1^\circ \quad U = \phi}$$

$$2^\circ \Rightarrow d\phi$$

ен. а��а. таралуул

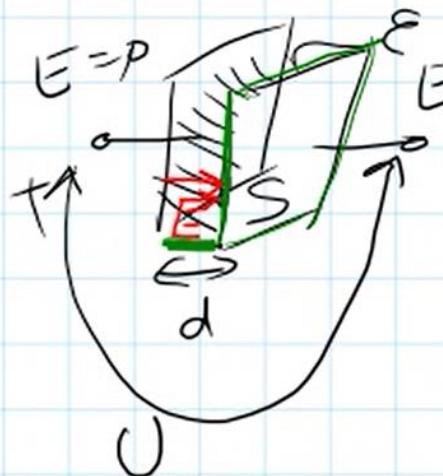
$$dA = d\phi \cdot U = d\phi \cdot \frac{Q}{C}$$

$$A = \int_{\emptyset}^Q dA = \int_{\emptyset}^{\frac{Q}{C}} d\phi = \frac{Q^2}{2C}$$

$$A = \frac{Q^2}{2C}$$

$$We = \frac{1}{2} \cdot \frac{Q^2}{C} = \frac{1}{2} Q U = \frac{1}{2} C U^2$$

S, d, ϵ (xalqolou μ nes.)



$$We = \frac{1}{2} CU^2 \quad C = \epsilon \frac{S}{d}$$

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

$$We = \frac{1}{2} \epsilon \frac{S}{d} U^2 = \frac{1}{2} \epsilon \frac{S}{d} [E^2 \cdot d] = \frac{1}{2} \epsilon \frac{S}{d} U^2 \frac{d}{d}$$

$$We = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \frac{Sd}{d}$$

✓

$$We = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \cdot V_{d,a.} \quad / : Sd$$

$$We = \frac{We}{\sqrt{ }} = \frac{1}{2} \epsilon E^2 \text{ Задаващаяся ѹчимос, енергия}$$

$$We = \frac{1}{2} \epsilon E^2 = \frac{1}{2} ED = \frac{D^2}{2\epsilon} \left[\frac{J}{m^3} \right]$$

$$We = We \cdot V$$

$$We = \int_0^V We \cdot dV \quad []$$

$$We = \int_V \frac{1}{2} \epsilon E^2 dV$$