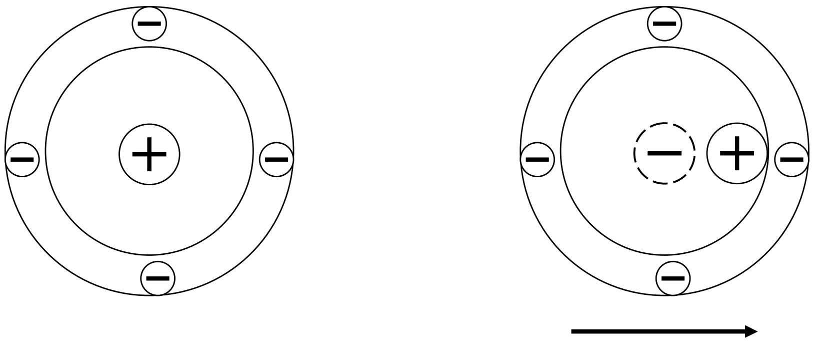
DIELEKTRICI U ELEKTROSTATIČKOM POLJU

POLARIZACIJA DIELEKTRIKA

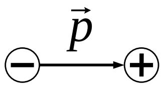
- Podela na:
  a) dielektrike sa NEPOLARNIM molekulima i

  b) dielektrike sa POLARNIM molekulima.

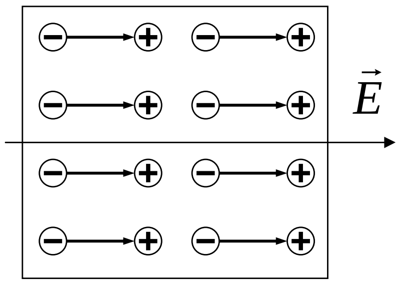
- Model nepolarnog molekula. ELEKTRONSKA POLARIZACIJA.



$\vec{E}=0$ $\qquad$ $\vec{E}$

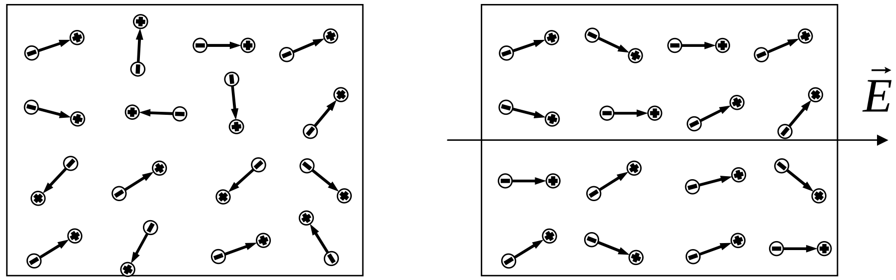


Mala zapreminica polarizovanog nepolarnog dielektrika, dv.



POLARIZACIJA DIELEKTRIKA (NASTAVAK)

- Model polarizacije dielektrika sa polarnim molekulom. DIPOLNA POLARIZACIJA.

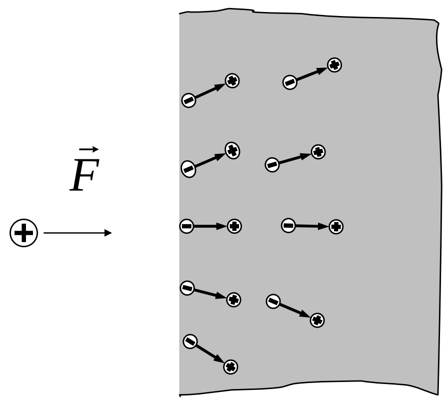


$\vec{E}=0$ $\qquad$ $\vec{E}\neq 0$

Mala zapreminica dielektrika sa polarnim molekulima: pre unošenja u električno polje (levo) i posle unošenja u polje (desno).

- JONSKA POLARZACIJA.

Između nalektrisanog tela i dielektrika uvek deluje privlačna sila.



- Princip rada elektrostatičkog prečistača vazduha.

VEKTOR ELEKTRIČNE POLARIZACIJE

- Definicija vektora električne polarizacije:

$$\boxed{\vec{P} = \frac{\sum\limits_{u\ dv} \vec{p}}{dv},}$$

gde je dv fizički mala zapremina. $\vec{p}$ je momenat dipola jednog molekula u toj zapremini.

- Kod homogeno polarizovanog dielektrika sa nepolarnim molekulima vektor polarizacije se može izraziti preko koncentracije dipola N’,

$$\vec{P} = N' \cdot \vec{p}.$$

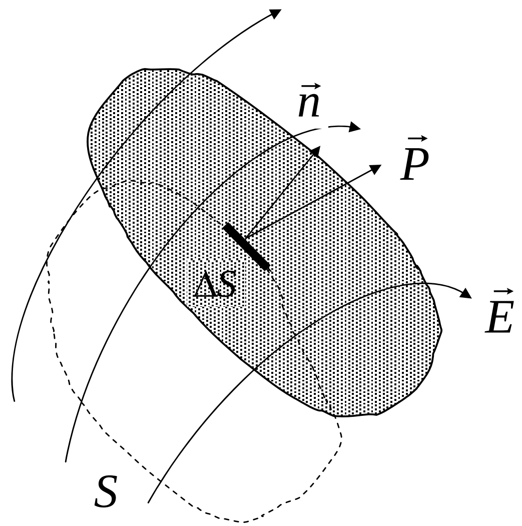
- Merenja pokazuju da je za većinu dielektrika $\vec{P}$ srazmerno sa $\vec{E}$, što se iskazuje ovako:

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

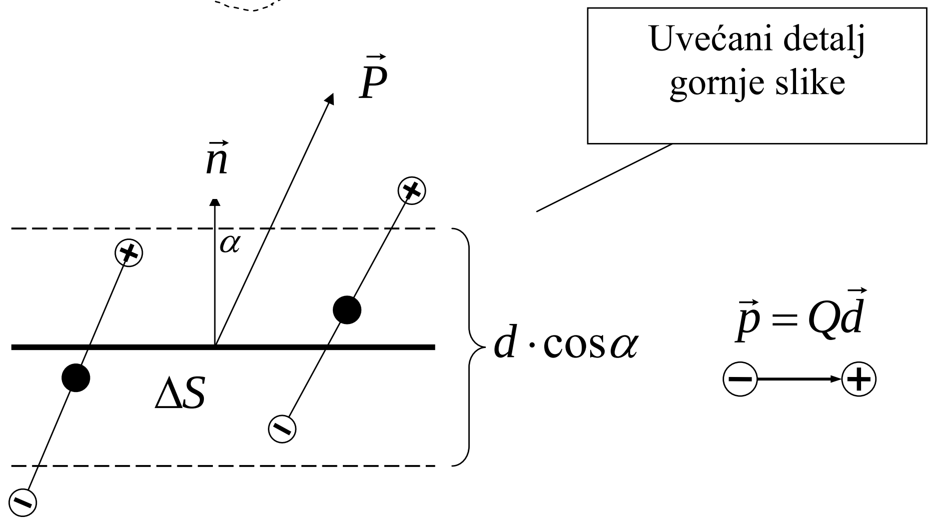
χ_e → ELEKTRIČNA SUSCEPTIBILNOST (neimenovani broj, uvek veći od nule).

- Podela dielektrika na: homogene i nehomogene, linearne i nelinearne, izotropne i anizotropne.

DRUGO TUMAČENJE VEKTORA POLARIZACIJE



Telo od dielektrika u električnom polju i zamišljena površ S.



- Kroz površinicu ΔS, u procesu polarizacije, iz površi S izađe naelektrisanje:

$$\Delta Q = Q \cdot N' \cdot \Delta S \cdot d \cos\alpha = P \cdot \Delta S \cdot \cos\alpha = \vec{P} \cdot \Delta\vec{S}$$

VEZANA NAELEKTRISANJA I NJIHOVA GUSTINA

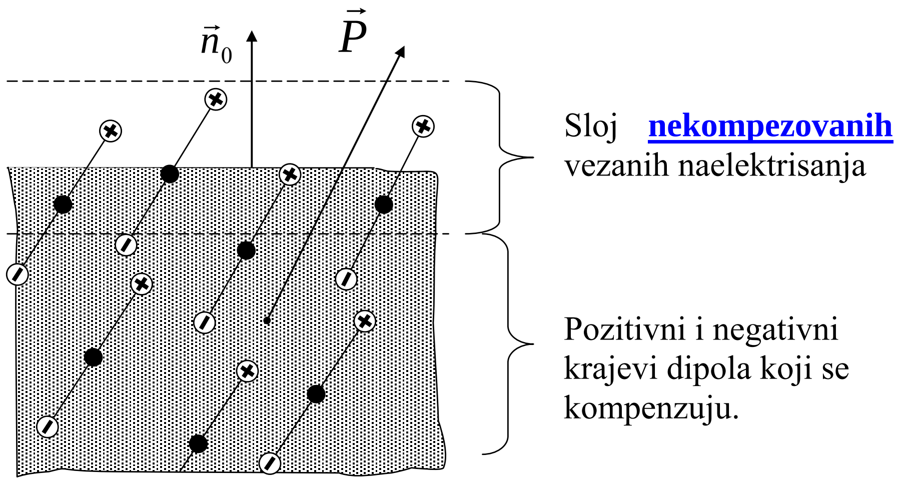
- Ukupno naelektrisanje koje u procesu polarizacije izađe iz zatvorene površi S je:

$$Q_{iz\,S} = \sum_S \vec{P} \cdot \Delta\vec{S} \quad ako\ \Delta S \to dS \quad Q_{iz\,S} = \oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S}$$

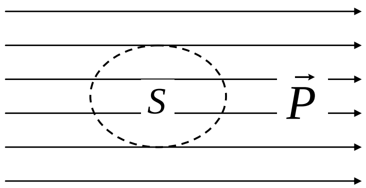
- Višak naelektrisanja, koji se u procesu polarizacije javi u površi S, jednak je $-Q_{iz\,S}$. To naelektrisanje se ne može na jednostavan način ukloniti iz površi i zove se vezano naelektrisanje.

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

- U polarizovanom HOMOGENOM dielektriku nema nekompezovanog vezanog naelektrisanja (ρ_v=0).
- Vezano naelektrisanje polarizovanog homogenog dielektrika raspodeljeno je po njegovoj površi.

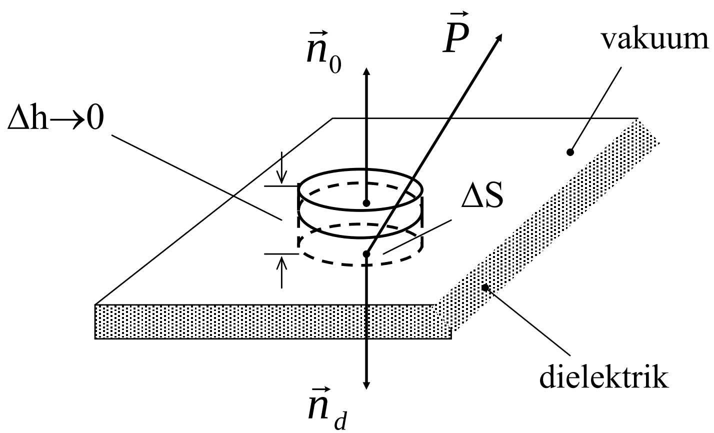


GUSTINA VEZANIH NAELEKTRISANJA



$$Q_{p\,u\,S} = -\oint_S \vec{P} \cdot d\vec{S} = -\vec{P} \cdot \oint_S d\vec{S} = 0$$

Matematički dokaz da je, u homogenom dielektriku koji je polarizovan, ρ_p=0.



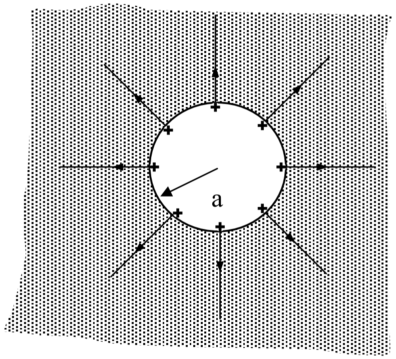
$$\Delta Q_p = -\oint_{S\ valjka} \vec{P} d\vec{S} = -\vec{P} \cdot \vec{n}_d \cdot \Delta S = +\vec{P} \cdot \vec{n}_0 \cdot \Delta S$$

$$\boxed{\sigma_p = \frac{\Delta Q_p}{\Delta S} = \vec{P} \cdot \vec{n}_0}$$

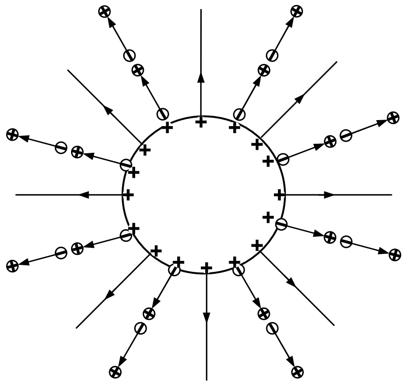
Oderđivanje površinske gustine vezanih naelektrisanja.

ELEKTRIČNO POLJE U HOMOGENOM DIELEKTRIKU

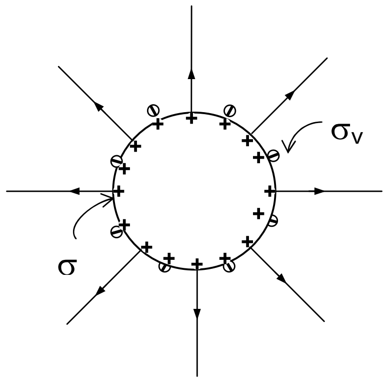
RELATIVNA I APSOLUTNA PERMITIVNOST



Provodna sfera, poluprečnika a, naelektrisana naelektrisanjem Q, u homogenom dielektriku.



Uticaj dielektrika na polje, može se zameniti slojem nekompenzovanih vezanih naelektrisanja u vakuumu (slika dole).



$$E(a) = \frac{Q + Q_v}{4\pi\varepsilon_0 a^2} = \frac{\sigma + \sigma_v}{\varepsilon_0}$$

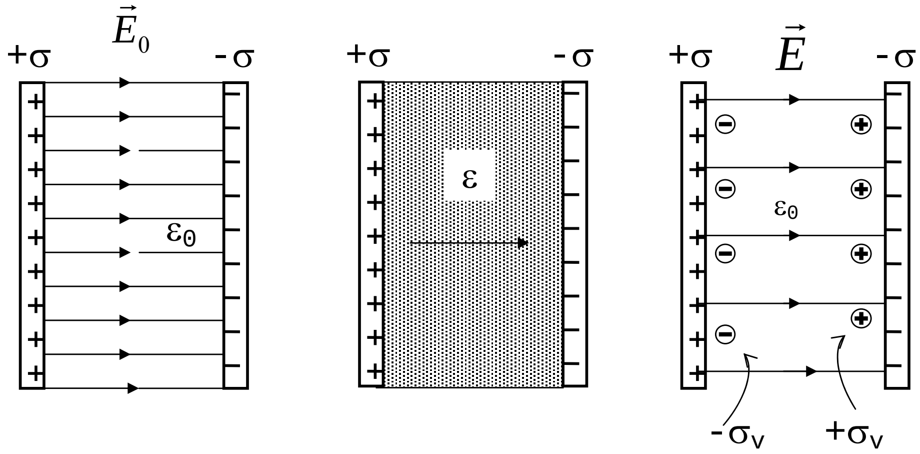
$$\sigma_v = -P(a) = -\varepsilon_0 \chi_e E(a)$$

$$E(a) = \frac{Q}{4\pi\varepsilon_0 (1 + \chi_e) a^2}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_0 (1 + \chi_e) \quad \rightarrow \quad \textit{apsolutna permitivnost}$$

$$\varepsilon_r = \frac{\varepsilon}{\varepsilon_0} = (1 + \chi_e) \quad \rightarrow \quad \textit{relativna permitivnost}$$

- Kapacitivnost vazdušnog kondenzatora poraste ε_r puta ako se ispuni dielektrikom.

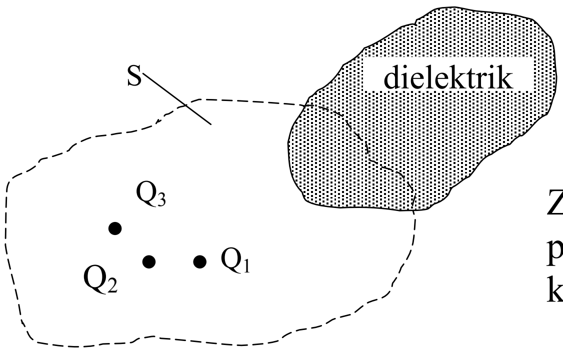


$$E_0 = \frac{\sigma}{\varepsilon_0}$$

$$E = \frac{\sigma - \sigma_v}{\varepsilon_0} = \frac{E_0}{\varepsilon_r}$$

$$C = \varepsilon_r C_0$$

UOPŠTENI OBLIK GAUSOVOG ZAKONA
VEKTOR ELEKTRIČNOG POMERAJA



Zamišljena zatvorena površ, S, koja prolazi kroz dielektrik.

- Kada se prisustvo dielektrika zameni skupom vezanih naelektrisanja u vakuumu, i primeni Gausov zakon, dobija se:

$$\oint_S \vec{E}\cdot d\vec{S} = \frac{Q_{ukupno\,S}}{\varepsilon_0} = \frac{Q+Q_p}{\varepsilon_0} = \frac{1}{\varepsilon_0}\left(Q - \oint_S \vec{P}\cdot d\vec{S}\right)$$

$$\oint_S \varepsilon_0\vec{E}\cdot d\vec{S} + \oint_S \vec{P}\cdot d\vec{S} = Q \qquad \oint_S (\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P})\cdot d\vec{S} = Q$$

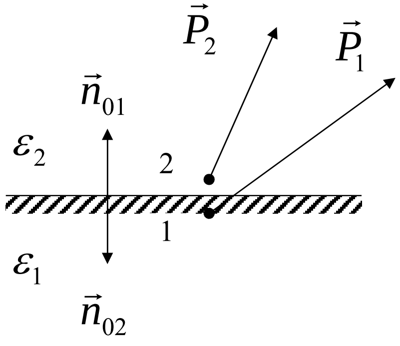
$$\boxed{\varepsilon_0\vec{E}+\vec{P}=\vec{D} \quad \rightarrow \quad vektor\ el.\ pomeraja}$$

$$\boxed{\oint_S \vec{D}\cdot d\vec{S} = Q}$$

UOPŠTENI GAUSOV ZAKON

$$\vec{D} = \varepsilon_0\vec{E} + \varepsilon_0\chi_e\vec{E} = \varepsilon_0(1+\chi_e)\vec{E} = \varepsilon\vec{E}$$

GRANIČNI USLOVI



Na granici između dva dielektrika postoji sloj vezanih naelektrisanja:

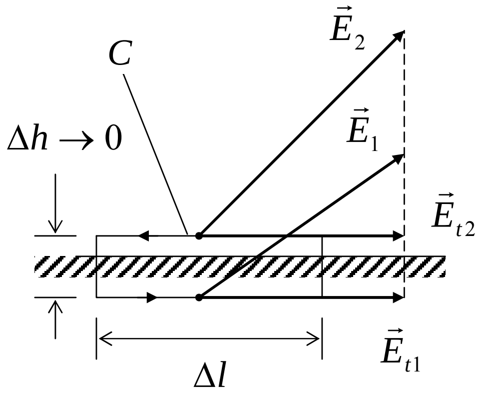
$$\sigma_v = \vec{P}_1\cdot\vec{n}_{01} + \vec{P}_2\cdot\vec{n}_{02}$$

$$\sigma_v = (\vec{P}_1 - \vec{P}_2)\cdot\vec{n}_{01}$$

- Zbog sloja vezanih naelektrisanja, u dvema bliskim tačkama, 1 i 2, vektori jačine električnog polja i električnog pomeraja biće različitog intenziteta i pravca.

$$\vec{E}_1 \neq \vec{E}_2 \qquad \vec{D}_1 \neq \vec{D}_2$$

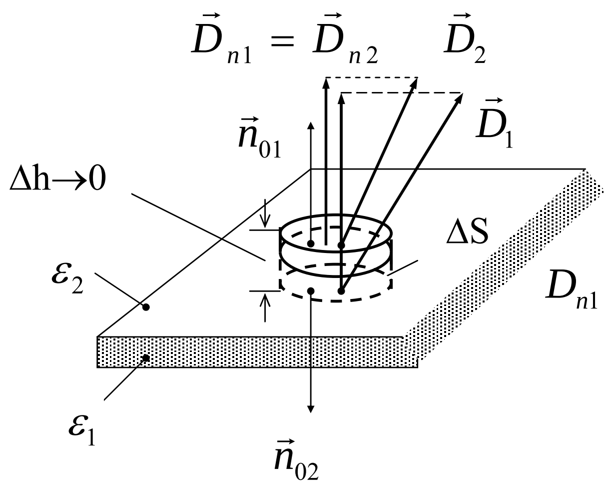
- Granični uslovi govore o odnosu komponenti ovih vektora. (Vektori se razlože na dve komponenete: normalnu i tangencijalnu na graničnu površ.)



$$\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = 0$$

$$\oint_C \vec{E}\cdot d\vec{l} = E_{t1}\cdot\Delta l - E_{t2}\cdot\Delta l$$

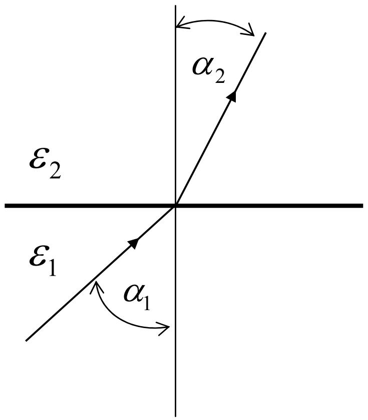
$$\boxed{E_{t1} = E_{t2}}$$



$$\oint_S \vec{D} \cdot d\vec{S} = 0$$

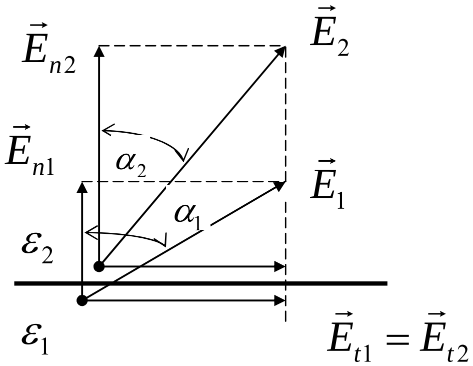
$$D_{n1} \cdot \Delta S - D_{n2} \cdot \Delta S = 0$$

$$\boxed{D_{n1} = D_{n2}}$$



Na graničnoj površi, linije sile se prelamaju tako da je:

$$\boxed{\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.}$$



Uz dokaz da je: $\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}.$

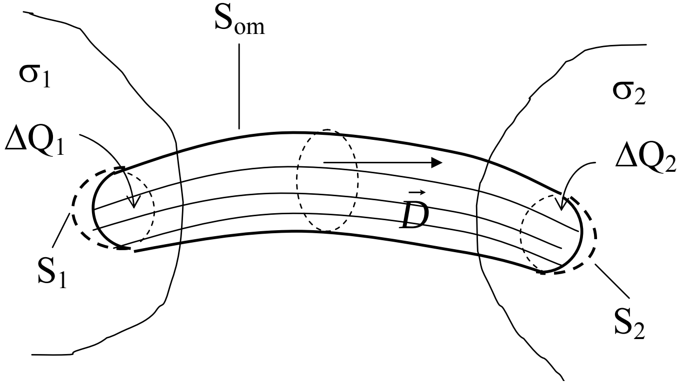
$$\frac{tg\alpha_1}{tg\alpha_2} = \frac{\dfrac{E_{t1}}{E_{n1}}}{\dfrac{E_{t2}}{E_{n2}}} = \frac{\dfrac{\varepsilon_1}{D_{n1}}}{\dfrac{\varepsilon_2}{D_{n2}}} = \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$$

LINIJE POLJA I TUBE FLUKSA VEKTORA ELEKTRIČNOG POMERAJA

- Linije polja vektora $\vec{D}$ imaju izvore i ponore na slobodnim naelektrisanjima (pošto izlazni fluks vektora zavisi samo od obuhvaćenog slobodnog naelektrisanja).
- Ove linije počinju na pozitivnim a završavaju na negativnim slobodnim naelektrisanjima i teku neprekidno kroz dielektrik, bez obzira na eventualne nehomogenosti ili diskuntinuitete dielektrika.
- Između površinske gustine slobodnih naelektrisanja u nekoj tački na površi provodnika i intenziteta vektora $\vec{D}$ postoji prosta veza:

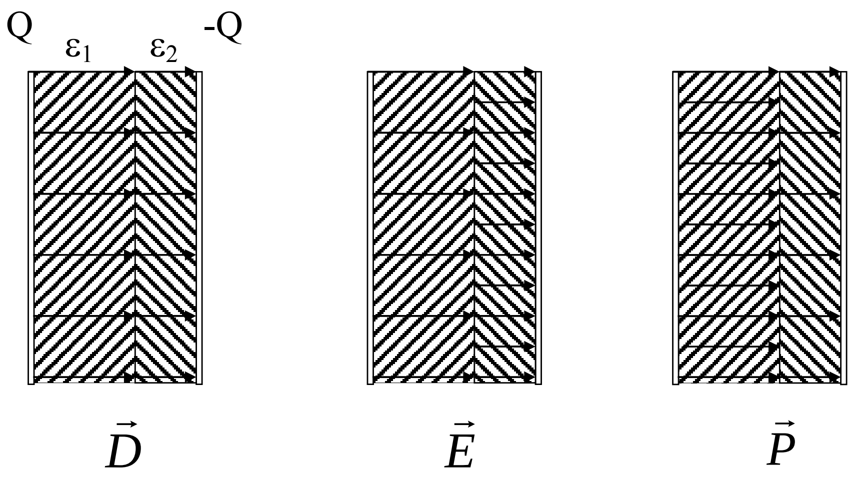
$$\sigma = \vec{D} \cdot \vec{n}_0 = D_n.$$

- Pod tubom fluksa podrazumevamo deo prostora u polju koji obuhvata cevasta površ obrazovana od linija polja vektora električnog pomeraja (slika dole).

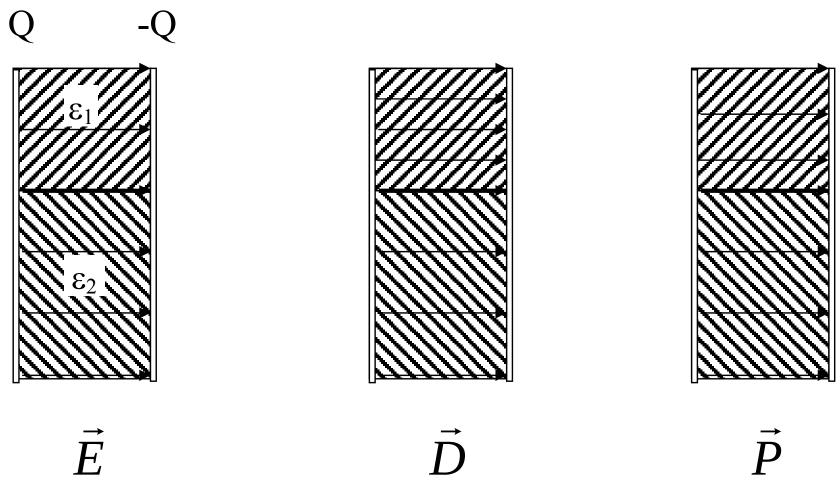


Uz dokaz da se tuba fluksa vektora $\vec{D}$ oslanja na iste količine slobodnog naelektrisanja, suprotnog znaka.

PRIMERI POLJA U NEHOMOGENIM DIELEKTRICIMA

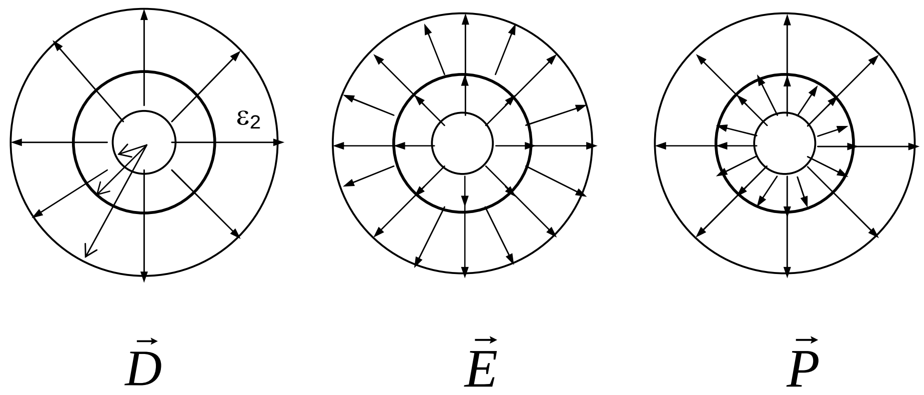


Linije polja vektora $\vec{D}$, $\vec{E}$ i $\vec{P}$ pločastog kondenzatora sa dva sloja dielektrika, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$.

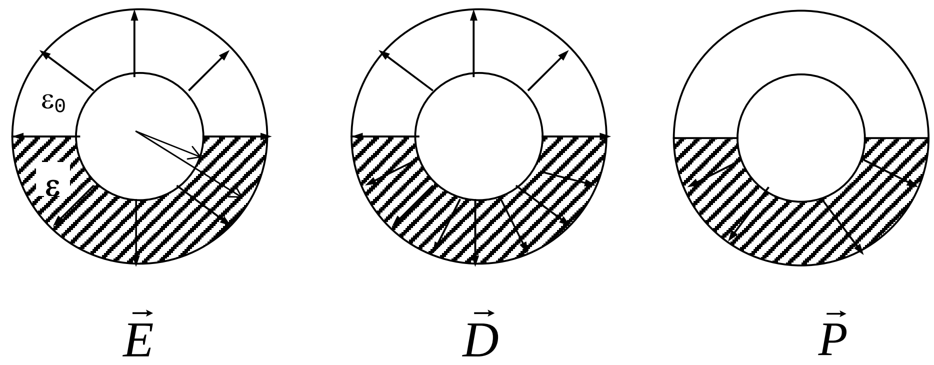


Linije polja vektora $\vec{D}$, $\vec{E}$ i $\vec{P}$ pločastog kondenzatora sa dva sloja dielektrika, $\varepsilon_1 > \varepsilon_2$.

PRIMERI POLJA U NEHOMOGENIM DIELEKTRICIMA

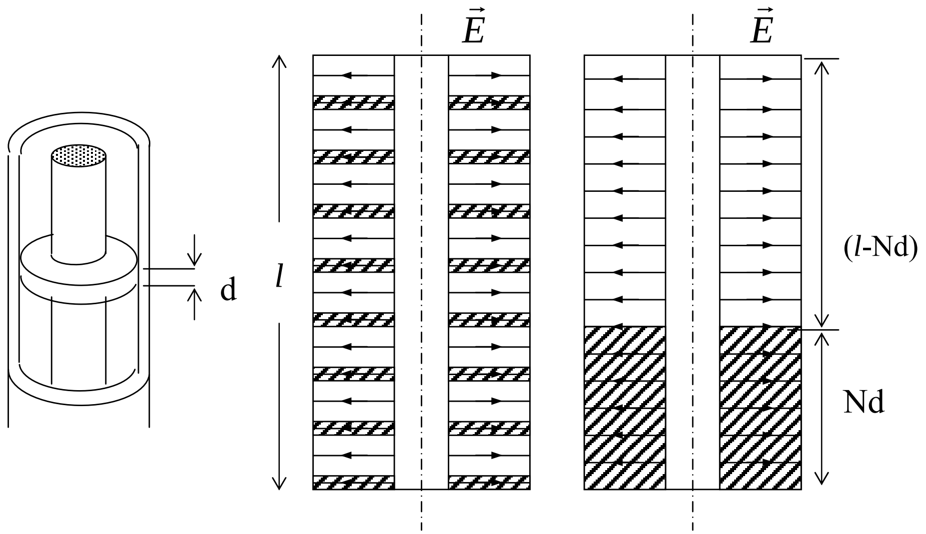


Linije polja vektora $\vec{D}$, $\vec{E}$ i $\vec{P}$ sfernog kondenzatora sa dva koncentrična sloja dielektrika, $\varepsilon_2 < \varepsilon_1$.

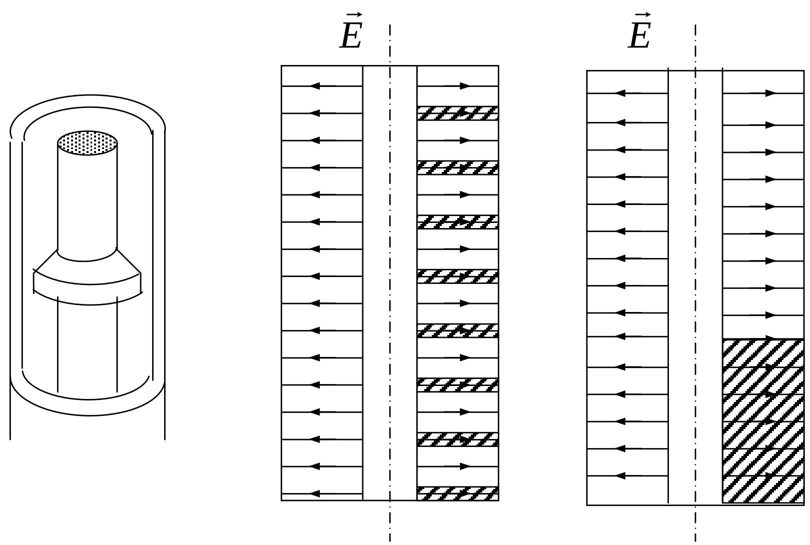


Linije polja vektora $\vec{D}$, $\vec{E}$ i $\vec{P}$ vazdušnog sfernog kondenzatora, do polovine ispunjenog tečnim dielektrikom permitivnosti ε.

PRIMERI POLJA U NEHOMOGENIM DIELEKTRICIMA



Vazdušni koaksijalni kabl sa podmetačima od dielektrika, za održavanje koaksijalnog položaja elektroda, u obliku diska.



Vazdušni koaksijalni kabl sa “sektorskim”podmetačima od dielektrika, za održavanje koaksijalnog položaja elektroda.

NEKE ELEKTRIČNE OSOBINE DIELEKTRIKA

- Električna čvrstina dielektrika.

Elektična čvrstina i permitivnost nekih dielektrika

Materijal	Električna čvrstina kV/cm	Relativna permitivnost, ε_r
Vazduh	25 - 30	1,0006
Transformatorsko ulje	150	2,2 – 2,4
Staklo	100 - 400	3,5 - 15
Papir	200	2,4 – 3,5
Nauljeni papir	500	3,5 - 4
Polivinilhlorid	400 - 600	3 - 4
Guma	200 – 400	2 - 35

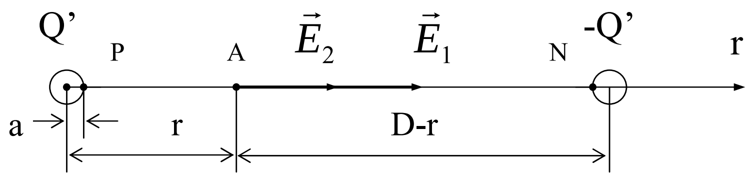
❖Korona.

❖Izračunavanje maksimalnog napona na koji može da se priključiti neki kondenzator.

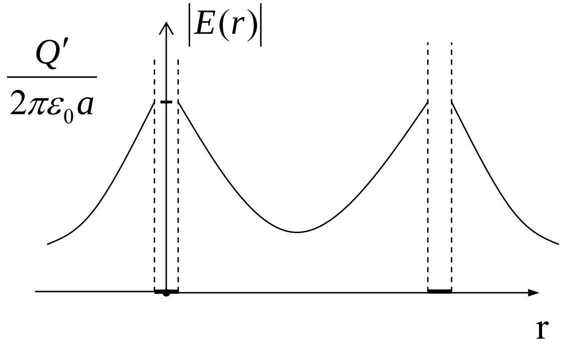
❖ Naleganje dielektrika uz elektrode. Korišćenje tečnih i gasovitih dielektrika u visokonaponskoj tehnici.

- Zaostala polarizovanost.
- Feroelektrici (Senjetova so, Barijum titanat).
- Elektreti.

UZ OBJAŠNJENJE POJMA KORONE

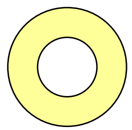


$$E(r) = \frac{Q'}{2\pi\varepsilon_0 r} + \frac{Q'}{2\pi\varepsilon_0 (D-r)}.$$



$$E_{\max} = E(a) = \frac{Q'}{2\pi\varepsilon_0 a}$$

$$E_{\min} = E(\frac{D}{2}) = \frac{2Q'}{\pi\varepsilon_0 D}$$



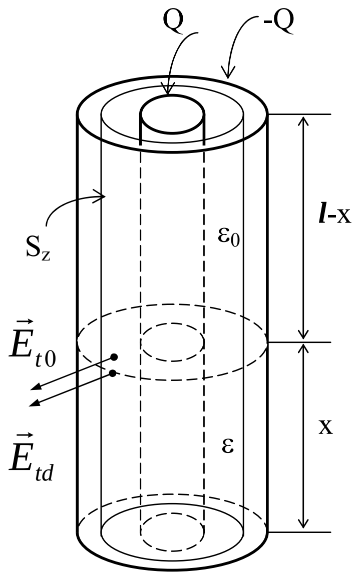
Kada jačina polja uz površ provodnika pređe vrednost električne čvrstine vazduha, dolazi do jonizacije sloja vazduha oko provodnika. To se manifestuje svetlucanjem koje se naziva korona.

$$E_{\max} = \frac{Q'}{2\pi\varepsilon_0 a} \le E_{c0} \quad \rightarrow \quad Q'_{\max} = 2\pi\varepsilon_0 a E_{c0}$$

$$U_{\max} = \frac{Q'_{\max}}{C'} = 2aE_{c0} \ln\frac{D}{a} \quad \rightarrow \quad \max\ vred.\ \ napona$$

ZADATAK. Vazdušni koaksijalni kabl, poluprečnika elektroda a i b, dužine ***l***>>a,b, ispunjen je tečnim dielektrikom permitivnosti ε. Kabl je postavljen u vertikalan položaj i dopušteno je da dielektrik polako ističe. Izvedite izraz za kapacitivnost kabla kada je nivo tečnosti jednak x.

- Pretpostavimo da su elektrode naelektrisane naelektrisanjima Q i –Q.
- Primenimo USLOVE ELEKTROSTATIČKE RAVNOTEŽE I GRANIČNE USLOVE. Iz ovoga sledi:
  - a) da je polje cilindrično radijalno;
  - b) da su E, D i P funkcije(r);
  - c) $D_{n1}=D_{n2}=0$;
  - d) da bi bilo $E_{t1}=E_{t2}$, mora biti $E_0(r)=E_d(r)=E(r)$.



Primenimo Gausov zakon na površ S_z:

$$\oint_{S_z} \vec{D}\cdot d\vec{S} = Q_{u\,S_z}$$

$$\oint_{S_z} \vec{D}\cdot d\vec{S} = D_0(r)2\pi r(l-x) + D_d(r)2\pi r\cdot x$$

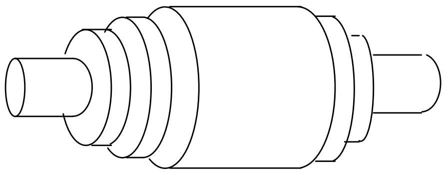
$$\oint_{S_z} \vec{D}\cdot d\vec{S} = \varepsilon_0 E(r)2\pi r(l-x) + \varepsilon\cdot E(r)2\pi r\cdot x = Q$$

$$E(r) = \frac{Q}{2\pi r\cdot\varepsilon_0\left[l+(\varepsilon_r-1)x\right]}$$

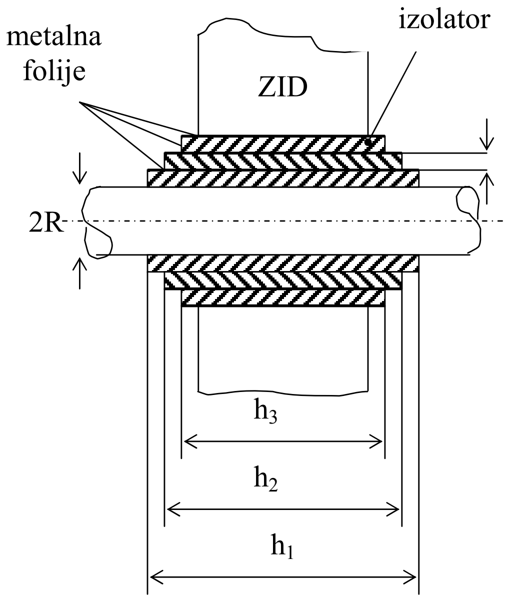
$$\boxed{C = \frac{2\pi\varepsilon_0\left[l+(\varepsilon_r-1)x\right]}{\ln\frac{b}{a}}}$$

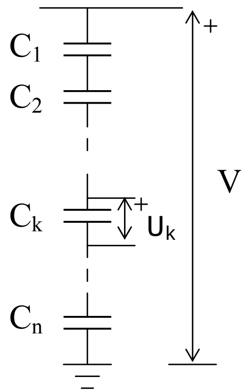
$$U = \int_a^b E(r)dr = \frac{Q}{2\pi\varepsilon_0\left[l+(\varepsilon_r-1)x\right]}\ln\frac{b}{a}$$

PROJEKTOVANJE KAPACITIVNOG UVODNIKA



Struktura koja se koristi za izolovanje provodnika, na visokom potencijalu u odnosu na zemlju, kada ga treba sprovesti kroz neki zid.





$C_1=C_2= \dots =C_k= \dots =C_n=C$

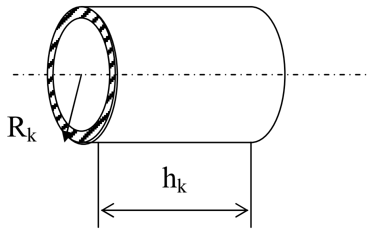
$Q_1=Q_2= \dots =Q_k= \dots =Q_n=Q$

$U_1=U_2= \dots =U_k= \dots =U_n=U$

$$U=\frac{V}{n}\leq E_{\max}\cdot\delta$$

$$n\geq\frac{V}{E_{\max}\cdot\delta}$$

$$h_k=\frac{R+n\delta}{R+k\delta}h_n$$



$$C_k\approx\varepsilon\frac{2\pi R_k\cdot h_k}{\delta}\qquad R_k=R+k\delta$$