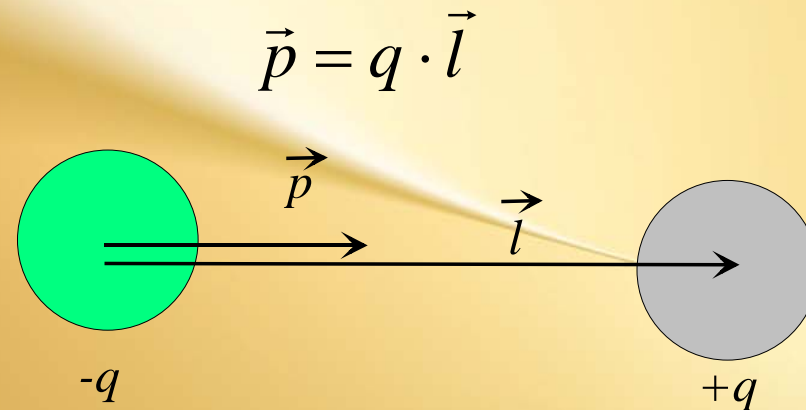
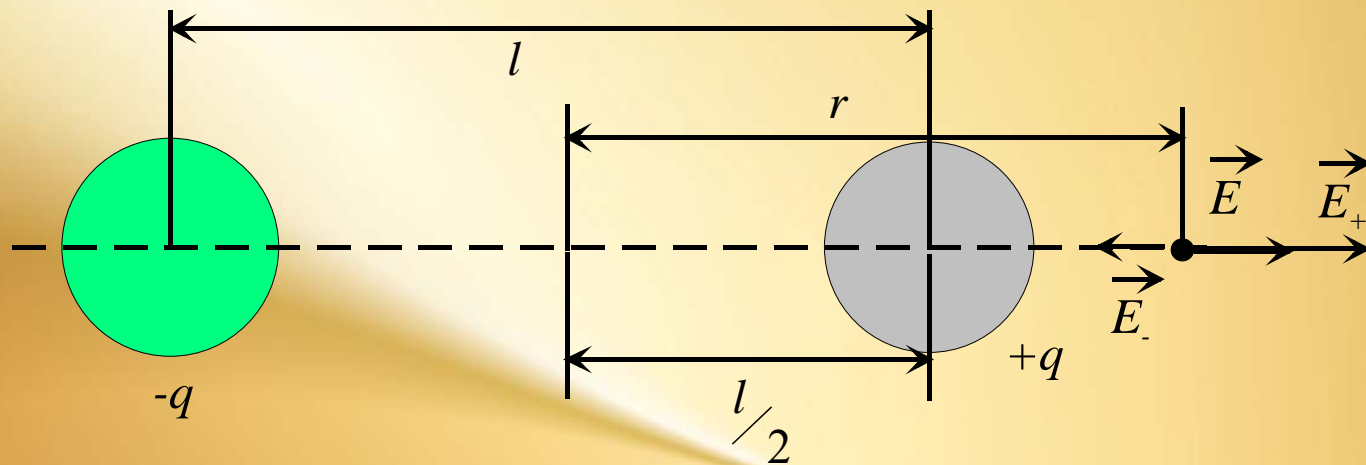


2.11 Električni dipol

- Sistem od dva tačkasta tela jednakih količina elektriciteta ali suprotnog znaka na rastojanju l , predstavlja električni dipol. Električni dipol karakteriše vektorska veličina koja se zove **električni moment dipola**:



Jačina električnog polja dipola se dobija vektorskim sabiranjem vektora jačine električnog polja od oba naelektrisanja.



$$E_+ = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2}$$

$$E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-$$

$$E = E_+ - E_-$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{\left(r - \frac{l}{2}\right)^2} - \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{\left(r + \frac{l}{2}\right)^2}$$

$$E = \frac{q}{4\pi\epsilon} \frac{2rl}{\left(r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2\right)^2}$$

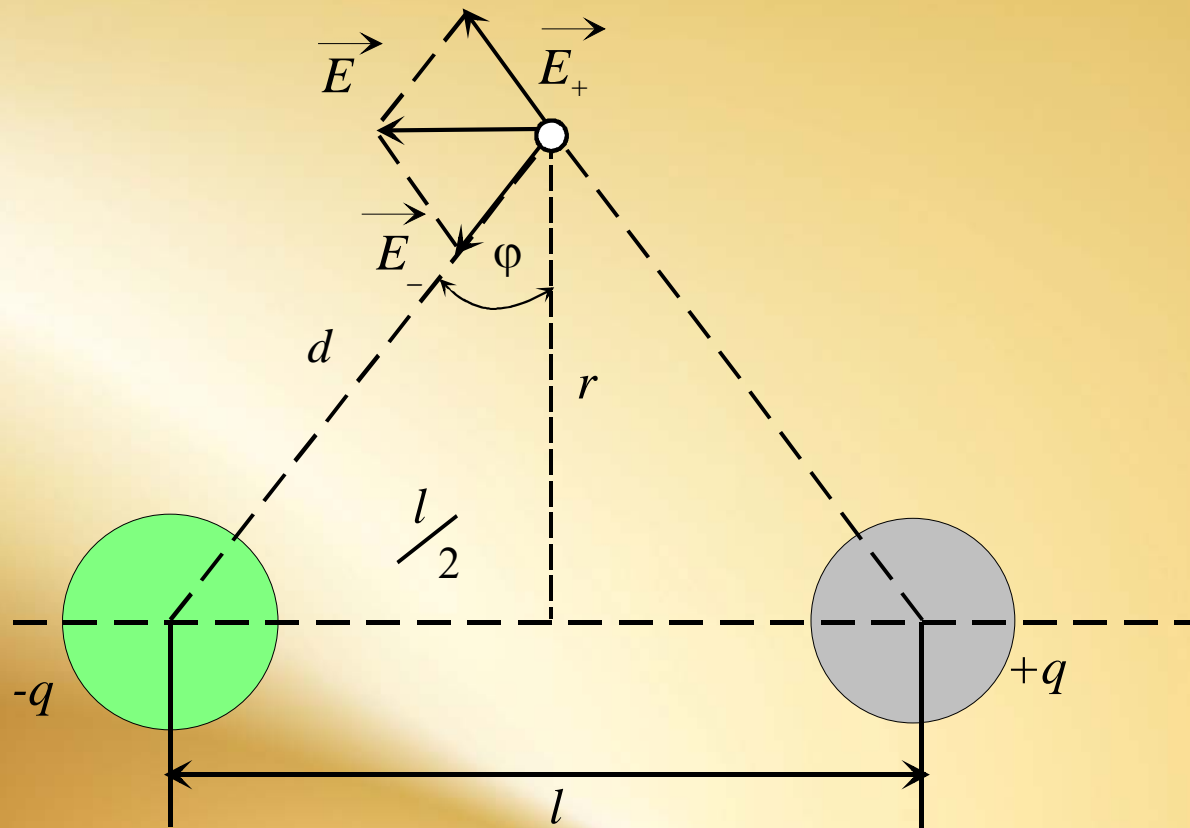
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{2qrl}{\left(r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2\right)^2}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{2pr}{\left(r^2 - \left(\frac{l}{2}\right)^2\right)^2}$$

$$r \gg l$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{2pr}{r^4}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{2p}{r^3}$$



$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}$$

$$|E_{+y}| = |E_{-y}|$$

$$\sin\varphi = \frac{E_x}{E_-} = \frac{E_x}{2E_-}$$

$$E = E_x = 2E_- \sin\varphi$$

$$d^2 = r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2$$

$$E = 2 \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{q}{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2} \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}$$

$$\sin\varphi = \frac{\frac{l}{2}}{\sqrt{r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2}}$$

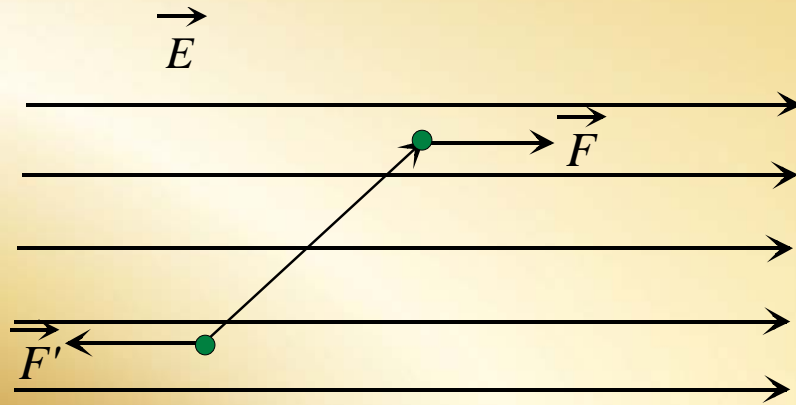
$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ql}{\left(r^2 + \left(\frac{l}{2}\right)^2\right)^{\frac{3}{2}}}$$

$r \gg l$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{ql}{r^3}$$

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{p}{r^3}$$

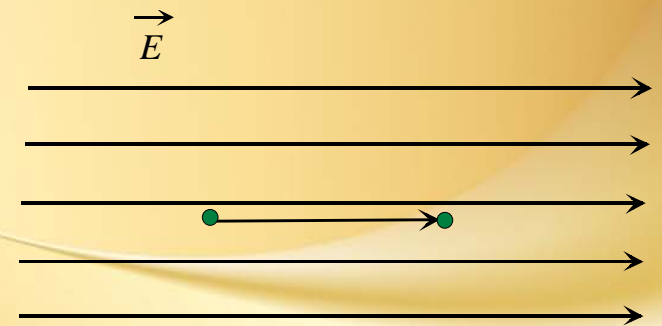
2.12 Električni dipol u električnom polju.



$$\vec{F} = q\vec{E} \quad \vec{F}' = -q\vec{E}$$

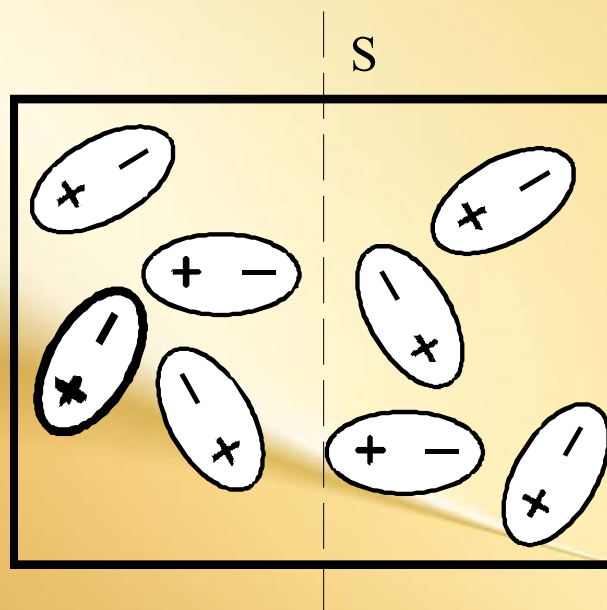
$$\vec{M} = \vec{p} \times \vec{E}$$

$$M = p \cdot E \cdot \sin\varphi$$

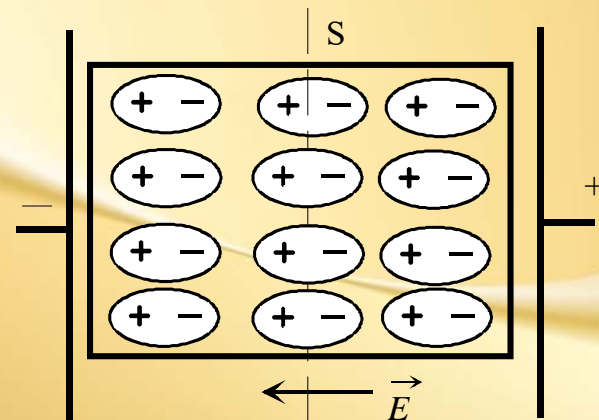
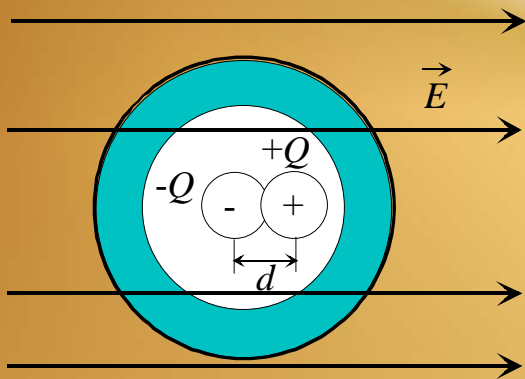
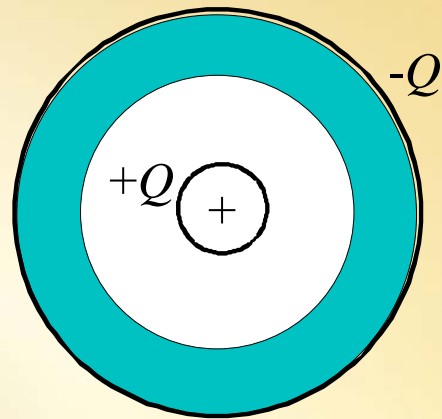


2.13 Dielektrici u električnom polju

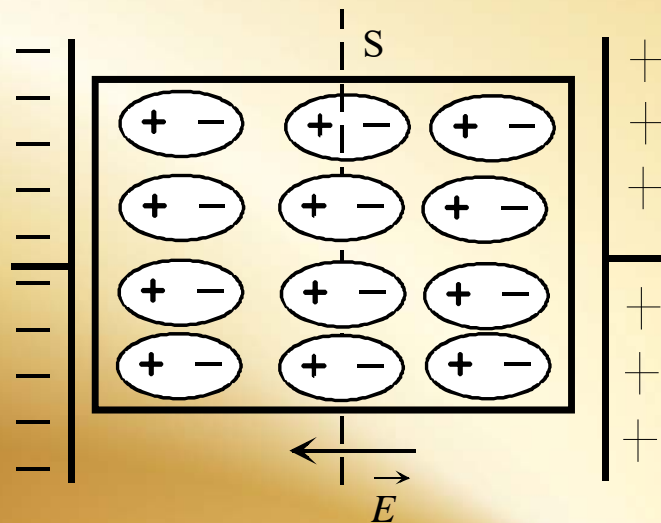
- Polarni molekuli



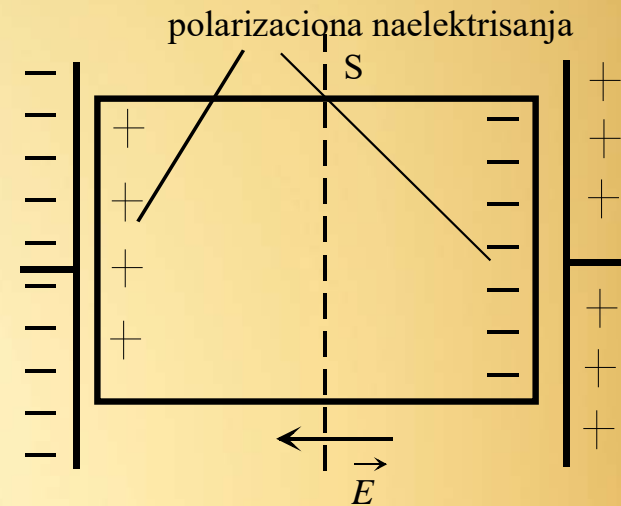
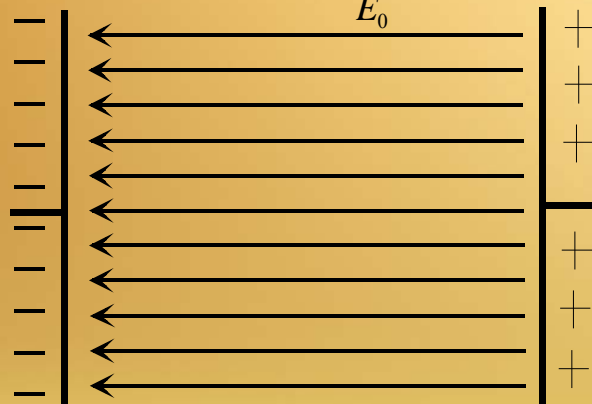
nepolarni molekuli



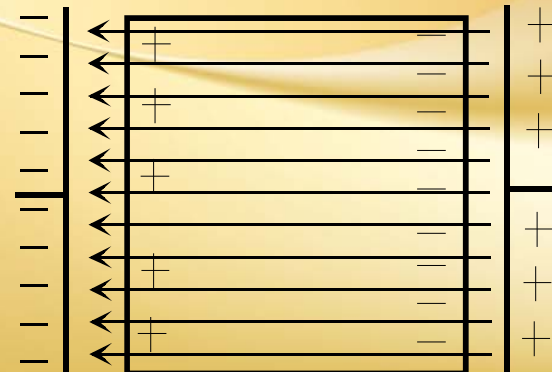
Proces formiranja mnoštva usmerenih dipola u dielektricima naziva se polarizacija dielektrika.

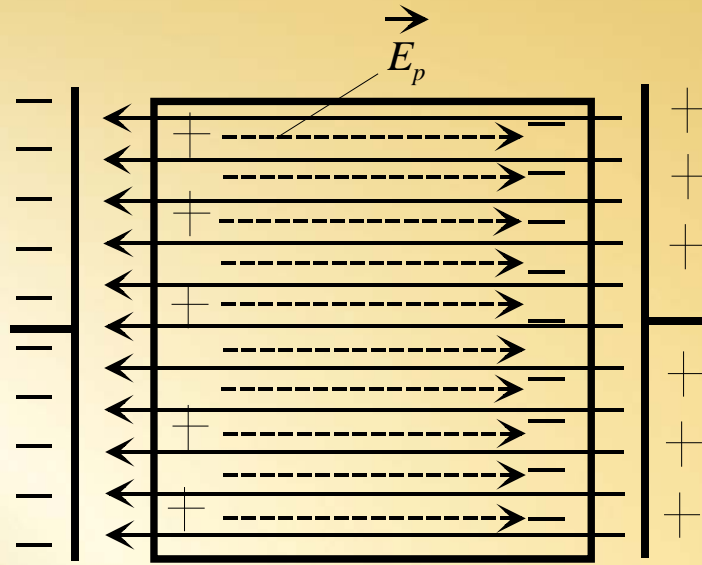


osnovno polje
 E_0



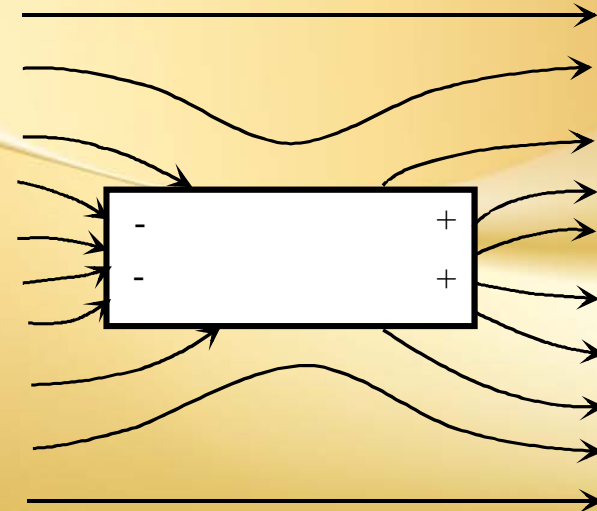
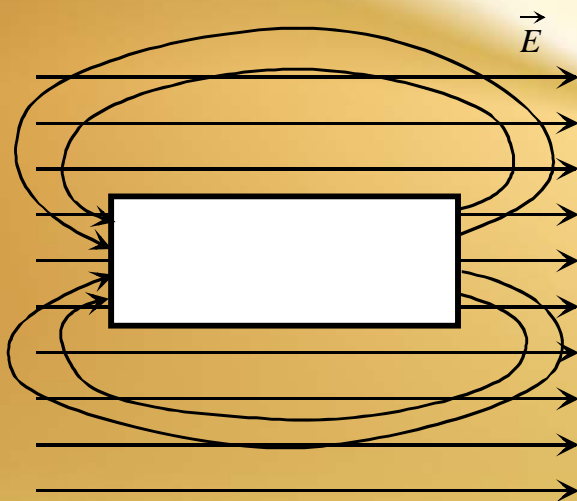
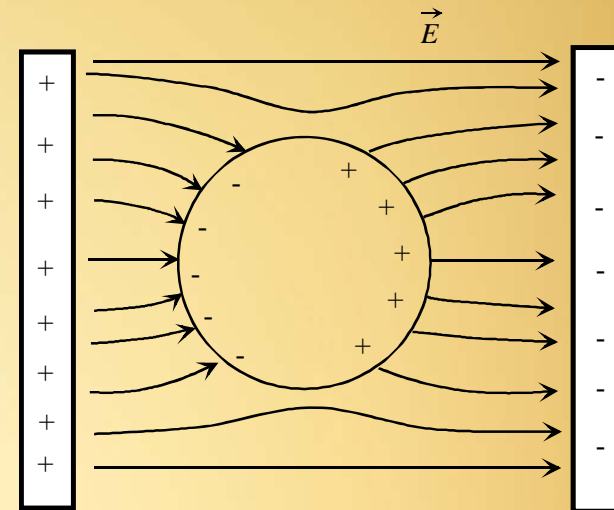
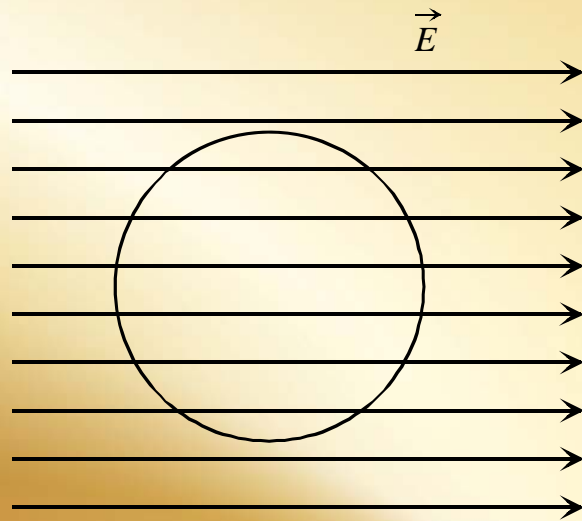
dielektrik





$$E_r = E_0 - E_p$$

2.14 Provodnici u električnom polju



Rezultujuće električno polje u provodniku koji se nalazi u spoljašnjem električnom polju je uvek jednako nuli, zahvaljujući slobodnim elektronima koji svojom preraspodelom obezbeđuju poništenje (kompenzaciju) spoljašnjeg polja. Na tom principu zasnovana je **elektrostatička zaštita**. Instrumenti koji su osetljivi na spoljašnja električna polja čuvaju se u metalnim sanducima ili u prostoru koji je okružen metalnom mrežom. Elektroskopi imaju, na primer, metalne kutije, koje se vezuju za Zemlju, tako da spoljašnja polja ne mogu da izmene ni polje ni potencijal unutar kutije.

2.15 Kondenzatori. Kapacitet kondenzatora

- Fizička veličina kojom se karakteriše svojstvo provodnika da pri istom potencijalu (naponu) mogu da sadrže različite količine elektriciteta, naziva se električni kapacitet.

$$q = C \cdot V$$

$$q = C \cdot U$$

$$[C] = F$$

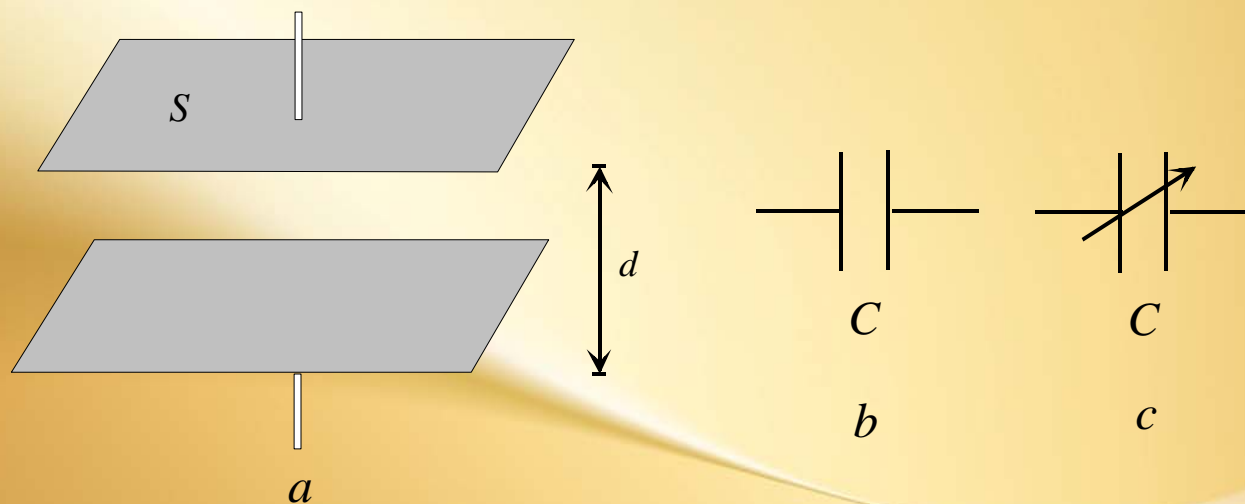
$$\dim C = \frac{\dim q}{\dim U} = \frac{\dim I \cdot \dim t}{\dim E \cdot \dim d} = \frac{I \cdot T}{\frac{\dim F}{\dim q} \dim d} = L^{-2} M^{-1} T^4 I^2$$

Primer Naći kapacitet kondenzatora između čijih ploča vlada napon od 100 V, a na čijim pločama se nalazi količina naelektrisanja od $3 \cdot 10^{-10} \text{ C}$

$$C = \frac{q}{U} = 3 \text{ pF}$$

pločasti kondenzator

$$C = \varepsilon \frac{S}{d}$$



2. Pločasti kondenzator uronjen u kerozin relativne dielektrične propustljivosti 2 ima kapacitet 141,6 pF. Kolike su površine ploča ako je njihovo rastojanje 5 mm.

$$C = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d}$$

$$S = \frac{Cd}{\varepsilon_r \varepsilon_0} = 400\text{cm}^2$$

2. Površina kondenzatorskih ploča ravnog vazdušnog kondenzatora je 60cm, a naelektrisanje na njima 1nC. Napon između ploča je 90V. Odrediti rastojanje između ploča. ($\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$, $\epsilon_r = 1$)

$$C = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d} \qquad C = \frac{q}{U}$$

$$d = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{SU}{q} = 4,8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

3. Da bi kapacitet kondenzatora zaronjenog u ulje relativne dielektrične propustljivosti 3,5 ostao isti kao u vazduhu, između njegovih ploča je potrebno povećati rastojanje za 6 mm. Koliko je rastojanje između ploča u vazduhu?

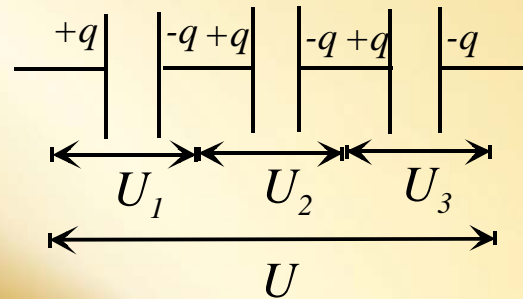
$$C = \varepsilon_0 \frac{S}{d} \qquad C_1 = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$\varepsilon_0 \frac{S}{d} = \varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d + \Delta d}$$

$$d = \frac{\Delta d}{\varepsilon_r - 1} = 2,4\text{mm}$$

2.16 Vezivanje kondenzatora

- serijska veza



$$q_1 = q_2 = q_3 = q$$

$$U = U_1 + U_2 + U_3$$

$$q = C_1 U_1 ; q = C_2 U_2 ; q = C_3 U_3$$

$$U_1 = \frac{q}{C_1}; U_2 = \frac{q}{C_2}; U_3 = \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{q}{C_{ekv}} = \frac{q}{C_1} + \frac{q}{C_2} + \frac{q}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{ekv}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}$$

$$\frac{1}{C_{ekv}} = \sum_i \frac{1}{C_i}$$

Primer Dva kondenzatora su vezana serijski. Napon na krajevima serijske veze kondenzatora je $U = 120V$
Kapaciteti kondenzatora su: $C_1 = 5\mu F$ i $C_2 = 10\mu F$

- Koliki je ekvivalentni kapacitet baterije kondenzatora i naelektrisanje na oblogama kondenzatora?

$$C_e = \frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2} = 3,33\mu F$$

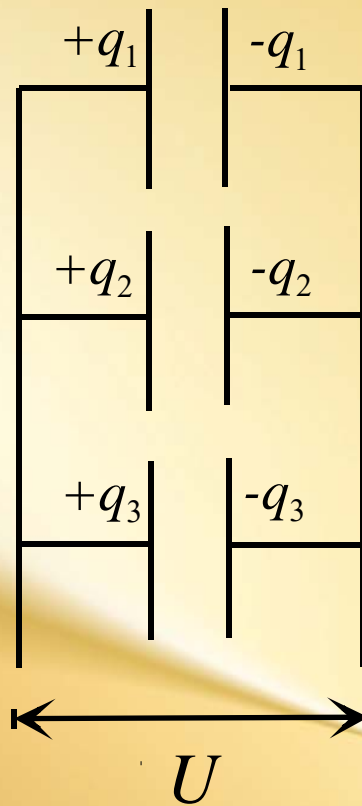
$$q = UC_e = 400\mu C$$

Primer Tri kondenzatora, kapaciteta $1\mu F$, $2\mu F$, i $3\mu F$ vezana su na red. Napon na krajevima baterije je 220 V. Odrediti naelektrisanje i napon na svakom kondenzatoru ponaosob.

$$q = UC_e = \frac{U}{\frac{1}{C_e}} = \frac{U}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3}} = 12 \cdot 10^{-4} C$$

$$U_1 = \frac{q}{C_1} = 120V \quad U_2 = \frac{q}{C_2} = 60V \quad U_3 = \frac{q}{C_3} = 40V$$

paralelna veza



$$U_1 = U_2 = U_3 = U$$

$$q_1 = C_1 U ; q_2 = C_2 U ; q_3 = C_3 U$$

$$q = q_1 + q_2 + q_3$$

$$C_{ekv} \cdot U = C_1 \cdot U + C_2 \cdot U + C_3 \cdot U$$

$$C_{ekv} = C_1 + C_2 + C_3$$

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

Primer Tri kondenzatorja enakih kapacitet prvo su vezani redno a potom paralelno. Odrediti odnos ekvivalentnih kapaciteta

- Redna veza

$$\frac{1}{C_{e1}} = \frac{1}{C} + \frac{1}{C} + \frac{1}{C} = \frac{3}{C} \quad C_{e1} = \frac{C}{3}$$

- Paralelna veza

$$C_{e2} = C + C + C = 3C$$

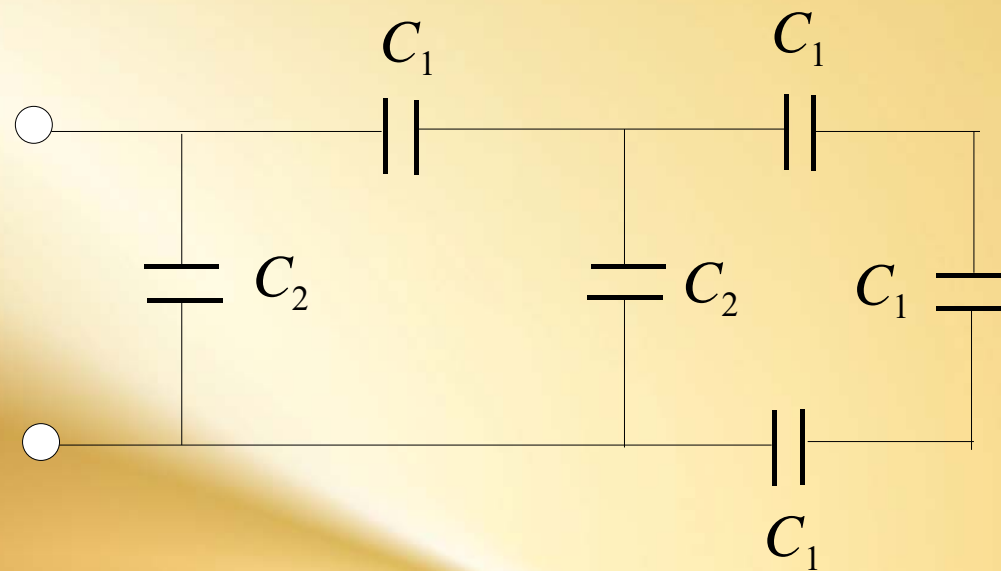
- Odnos

$$\frac{C_{e2}}{C_{e1}} = \frac{3C}{\frac{C}{3}} = 9$$

Primer Odrediti ekvivalentni kapacitet baterije

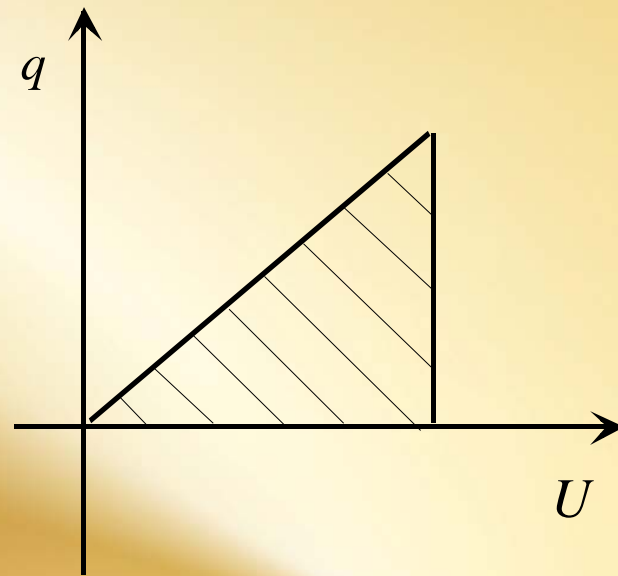
kondenzatora prikazane na slici ako je

$$C_1 = 2\mu F \quad C_2 = 1\mu F$$



$$C_e = C_2 + \frac{C_1(3C_2 + C_1)}{3C_2 + 4C_1} = 1,9\mu F$$

2.17 Energija kondenzatora



$$A = E_{kon} = \frac{1}{2} q \cdot U$$

$$E_{kon} = \frac{1}{2} C \cdot U^2 \quad E_{kon} = \frac{1}{2} \frac{q^2}{C}$$

$$E_{kon} = \frac{1}{2} C \cdot U^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \frac{S}{d} E^2 d^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot S \cdot d \cdot E^2 = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot V \cdot E^2$$

$$w = \frac{E_{kon}}{V} = \frac{1}{2} \varepsilon \cdot E^2$$

- Ploče kondenzatora oblika pravougaonika, čije su dimenzije 8 cm i 25 cm, nalaze se u ulju relativne dielektrične propustljivosti 3. Količina naelektrisanja na pločama kondenzatora je $5,31 \cdot 10^{-9} C$. Kolika je jačina elektrostatičkog polja između ploča kondenzatora? Kolika je gustina elektrostatičke energije kondenzatora?

$$E = \frac{U}{d}$$

$$U = \frac{q}{C} = \frac{q}{\varepsilon_r \varepsilon_0 \frac{S}{d}} = \frac{qd}{\varepsilon_r \varepsilon_0 S}$$

$$E = \frac{q}{\varepsilon_r \varepsilon_0 S} = 10^4 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

$$w_e = \frac{1}{2} \varepsilon_r \varepsilon_0 E^2 = 1,33 \cdot 10^{-3} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

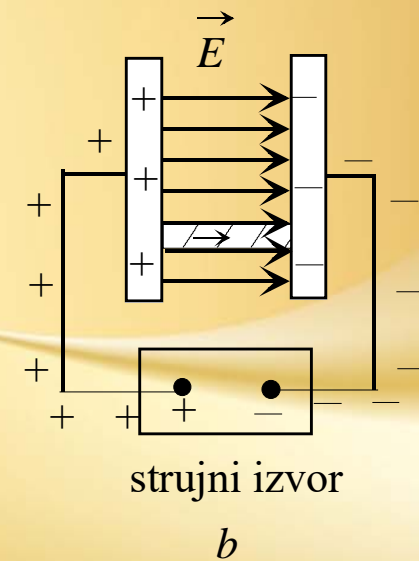
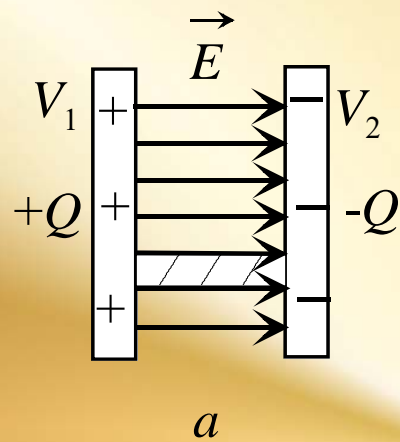
12. Odrediti zapreminsku gustinu energije polja između ploča ravnog kondenzatora ako je rastojanje između ploča $d = 1\text{cm}$, napon $U = 1\text{kV}$ i prostor ispunjen vazduhom.

$$\varpi = \frac{W}{V} = \frac{\frac{1}{2}CU^2}{Sd} = \frac{\frac{1}{2}\varepsilon \frac{S}{d}U^2}{Sd} = \frac{1}{2}\varepsilon \left(\frac{U}{d}\right)^2 = 4,425 \cdot 10^{-2} \frac{\text{J}}{\text{m}^3}$$

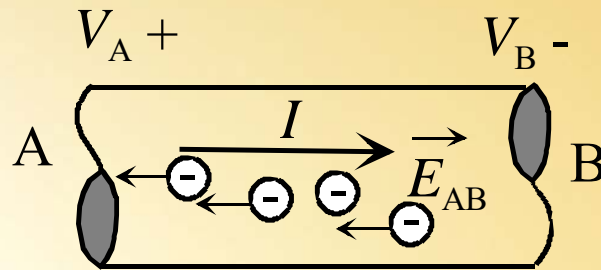
3. Vremenski konstantne električne struje

- Električnom strujom nazivamo svako usmereno kretanje naelektrisanja, bez obzira na uzroke ovog kretanja i na vrstu naelektrisanja koja učestvuju u ovom kretanju. Pokretljiva naelektrisanja koja mogu obrazovati električnu struju su **elektroni** i **pozitivni** i **negativni joni**.

Električna struja može biti vremenski nepromenljiva.
Takvu električnu struju nazivamo vremenski konstantna
električna struja.



3.2 Jačina i smer električne struje. Gustina električne struje



$$U_{AB} = V_A - V_B$$

$$I = \frac{Q}{t}$$

$$i = \frac{\Delta q}{\Delta t}$$

$$[I] = \frac{[Q]}{[t]} = \frac{C}{s}$$

$$Q = I t$$

$$[I] = A$$

Primer Kroz provodnik protiče električna struja jačine 3A.

a) Kolika količina naelektrisanja protekne kroz poprečni presek provodnika za 20s ?

6) Koliko se elektrona nalazi u toj količini naelektrisanja?

$$I = \frac{q}{t}$$

$$q = It = 60\text{C}$$

$$q = Ne$$

$$N = \frac{q}{e} = 3,75 \cdot 10^{20}$$

gustine struje

$$J = \frac{I}{S}$$

$$[J] = \frac{[I]}{[S]} = \frac{\text{A}}{\text{m}^2}$$

Primer

- 3.2.3. Kolika je gustina struje ako za 2s kroz poprečni presek provodnika $S = 1,2\text{mm}^2$ prođe $3 \cdot 10^{19}$ elektrona?

$$j = \frac{I}{S} = \frac{\frac{q}{t}}{S} = \frac{q}{St} = \frac{Ne}{St} = 2 \cdot 10^6 \frac{\text{A}}{\text{m}^2} = 2 \frac{\text{A}}{\text{mm}^2}$$