

ELEKTROTEHNIKA je

prirodna nauka koja proučava uzajamna dejstva naelektrisanih tijela (naelektrisanja),

ili

prirodna nauka koja proučava električne pojave čiji su nosioci naelektrisana tijela (naelektrisanja).

Fundamentalni pojam, odnosno osnovna veličina u elektrotehnici je

NAELEKTRISANJE

Oznaka za naelektrisanje je Q ili q

Jedinica za naelektrisanje je: **KULON, [C]**

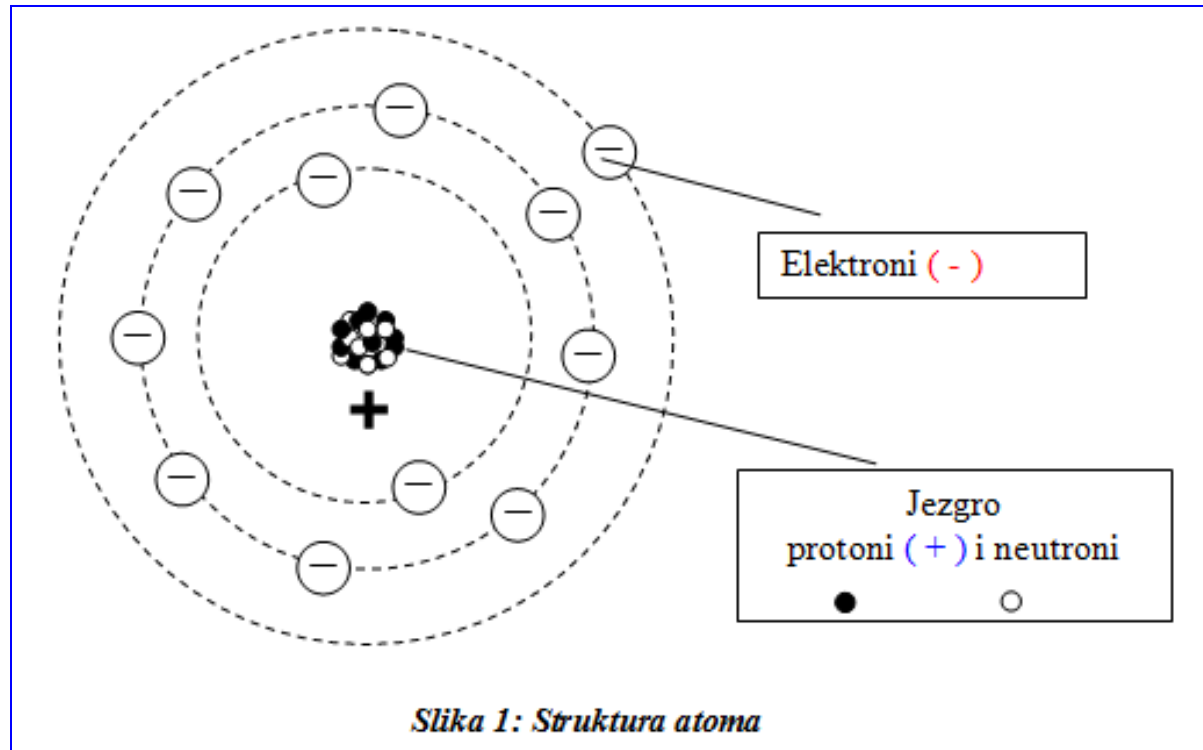
Manje jedinice za naelektrisanje, koje se često upotrebljavaju, su:

<i>milikulon</i>	$mC = 10^{-3} C$
<i>mikrokulon</i>	$\mu C = 10^{-6} C$
<i>nanokulon</i>	$nC = 10^{-9} C$
<i>pikokulon</i>	$pC = 10^{-12} C$

ELEMENTARNO NAELEKTRISANJE: e [C]

- Postoje dvije vrste naelektrisanja: **pozitino** i **negativno**.
- Postoji najmanje naelektrisanje u prirodi - elementarno naelektrisanje (kvant naelektrisanja)

Nosioci elementarnih (pozitivnih i negativnih) naelektrisanja su **ATOMI**



Proton

je pozitivno naelektrisana čestica koja nosi najmanje pozitivno naelektrisanje.

$$Q_p \equiv e = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$$

Elektron

je negativno naelektrisana čestica koja nosi najmanje negativno naelektrisanje

$$Q_e \equiv -e = -1,6021 \cdot 10^{-19} C$$

Naelektrisanja elektrona i protona su ista po količini (vrijednosti), a suprotnog su znaka:

$$Q_e = -Q_p$$

Sile koje drže elektrone da kruže oko jezgra atoma su električne sile koje djeluju između naelektrisanih čestica.

Između negativnih naelektrisanih čestica – **elektrona** i pozitivno naelektrisanih čestica - **protona** djeluju privlačne električne sile.

Neutron je čestica u električno neutralnom stanju.

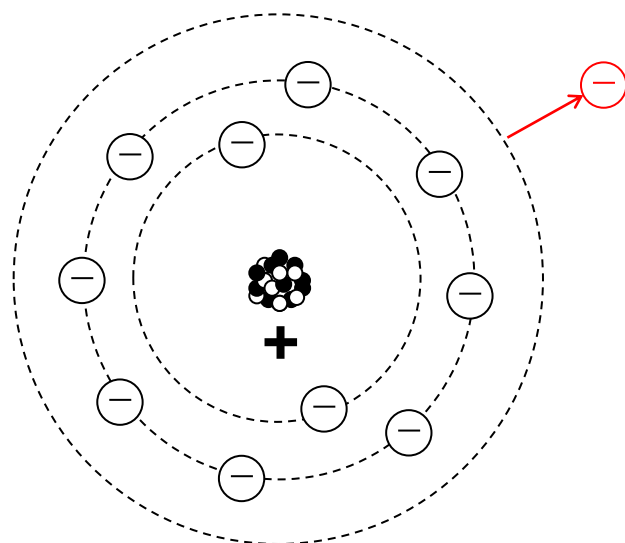
Jezgro atoma (protoni+neutroni) je pozitivno naelektrisana čestica.

Protone i neutone drže na okupu jake nuklearne sile.

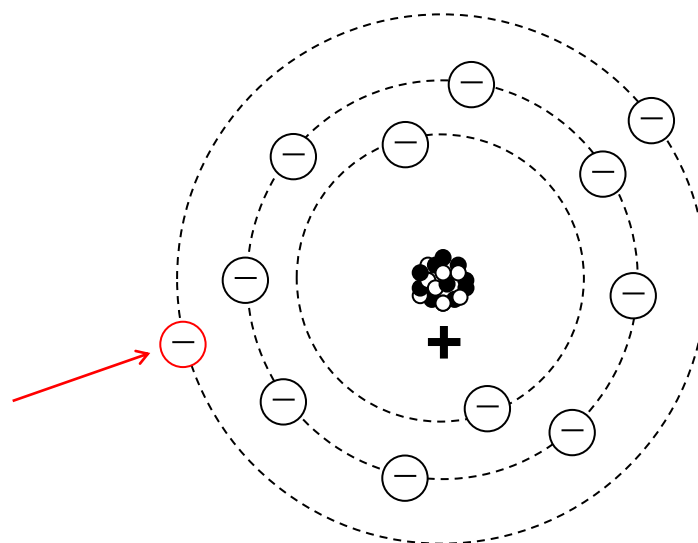
U normalnom stanju atoma, protona ima koliko i elektrona - atom je električno neutralan. Ukupno naelektrisanje svakog potpunog atoma jednako je nuli.

U prirodi su mogući procesi kojima se iz neutralnog atoma odvaja jedan ili više elektrona. Odvojeni elektroni se nazivju slobodni elektroni, a ostaci atoma pozitivni joni.

Dešavaju se i obrnuti procesi, da neki od slobodnih elektrona uđu u sastav elektronskog omotača neutralnog atoma. Tako nastaju negativni joni.



$$Q_{1+} = 1,6021 \cdot 10^{-19} C$$



$$Q_{1-} = -1,6021 \cdot 10^{-19} C$$

Naelektrisana tijela – naelektrisanje Q [C]

Posmatrajmo neko tijelo, npr. komadić bakra. Broj atoma u njemu je ogroman.

Ako su svi atomi električno neutralni, tijelo je električno neutralno i njegovo naelektrisanje je:

$$Q = 0 \text{ C}$$

Ako izvjesnom broju (npr. N) atoma “**oduzmemo**” po jedan elektron iz spoljašnje ljuske, tijelo postaje **pozitivno naelektrisano**: $Q_+ = N \cdot e = N \cdot 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ [C]}$

Ako izvjesnom broju (npr. N) atoma “**dodamo**” po jedan elektron u spoljašnju ljusku, tijelo postaje **negativno naelektrisano**: $Q_- = N \cdot (-e) = -N \cdot 1,6021 \cdot 10^{-19} \text{ [C]}$

Naelektrisano tijelo je tijelo koje ima **manjak** ili **višak** elektrona.

U slučaju manjka elektrona tijelo je pozitivno naelektrisano.

Vrijednost naelektrisanja tog tijela je pozitivna, npr.: $Q = 3,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

U slučaju viška elektrona tijelo je negativno naelektrisano.

Vrijednost naelektrisanja tog tijela je negativna, npr.: $Q = -3,2 \cdot 10^{-5} \text{ C}$

Naelektrisanje je uvijek cijeli broj ($n=1,2,3,..$) elementarnih naelektrisanja: $Q = \pm n \cdot e$

Svi materijali se u električnom pogledu mogu svrstati u tri grupe:

- **provodnici,**
- **izolatori (dielektrici) i**
- **poluprovodnici.**

Provodnike karakteriše postojanje velikog broja naelektrisanih čestica, koje mogu relativno slobodno da se kreću kroz materijal.

Najvažniji provodnici su **metali** (zlato, srebro, **bakar, aluminijum,...**)

Kod metala su elektroni iz spoljašnje ljuske veoma slabo vezani za svoj atom, tako da postoji stalno (haotično) kretanje ovih elektrona od atoma do atoma.

Ovi elektroni se nazivaju **slobodni elektroni** ili **elektroni provodnosti**.

Pod dejstvom i najmanjih električnih sila elektroni počinju da se usmjereno kreću.

Kod **izolatora (dielektrika)** su elektroni iz spoljašnje ljuske, u normalnim uslovima, čvrsto vezani za svoj atom. Imaju veoma malu koncentraciju slobodnih elektrona i oni ne provode naelektrisanje, ili ga veoma slabo provode.

Izolatori su: porculan, plastične mase, staklo, guma, papir, ulja, vazduh (vakuum),...

Poluprovodnici čine prelaznu grupu između provodnika i izolatora. Broj slobodnih naelektrisanih čestica manji je nego kod provodnika, a značajno veći nego kod izolatora. Pod dejstvom određenih sila (toplote, svjetlosti) broj slobodnih naelektrisanja može da značajno poraste i poluprovodnik prelazi u provodnik. Poluprovodnici su bitni za elektroniku.

Osnovni poluprovodnici su silicijum (Si) i germanijum (Ge).

ELEKTROSTATIKA

je dio elektrotehnike koji proučava naelektrisana tijela u stanju mirovanja,
sa vremenski nepromjenljivim naelektrisanjem.

Naelektrisana tijela djeluju jedno na drugo određenom **silom**.

Sila je privlačna ako su naelektrisanja suprotnog znaka.

Sila je odbojna ako su naelektrisanja istog znaka.

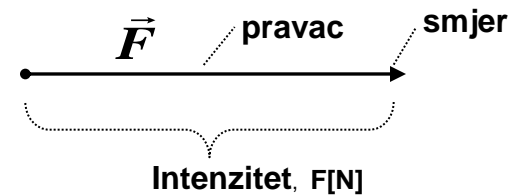
Oznaka za silu je F

Jedinica za silu je NJUTN, [N]

Sila je vektorska velična \vec{F}

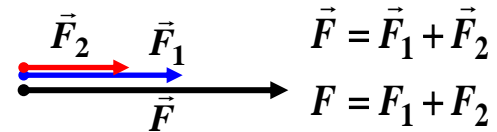
određena:

- **intenzitetom**, odnosno **veličinom sile F [N]**, koja predstavlja brojnu **vrijednost**
- **pravcem** djelovanja sile i
- **smjerom** djelovanja sile

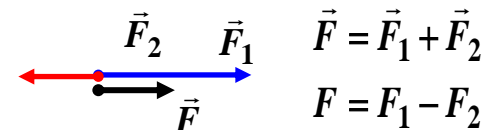


Sile istog pravca:

1. isti smjer



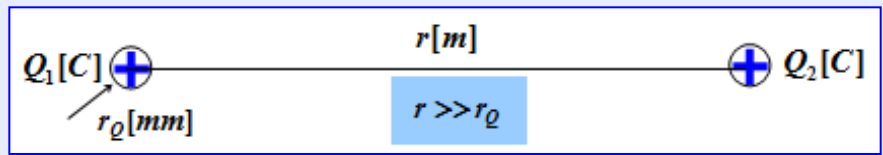
2. suprotan smjer



KULONOV ZAKON

međusobnog djelovanja dva tačkasta naelektrisanja u stanju mirovanja

Tačkasta naelektrisanja su naelektrisanja tijela čije su **dimenzije znatno manje od njihovog međusobnog rastojanja**



Kulonov zakon važi za tačkasta naelektrisanja i glasi:

- **Intenzitet sile** međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja određen je izrazom:

$$F = k \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2} \quad \dots(1.1)$$

- Sila djeluje duž prave koja spaja tačkasta naelektrisanja;
- Sila je **privlačna ako su naelektrisanja suprotnog znaka** (slika 2), a **ako su naelektrisanja istog znaka sila je odbojna** (slika 3).

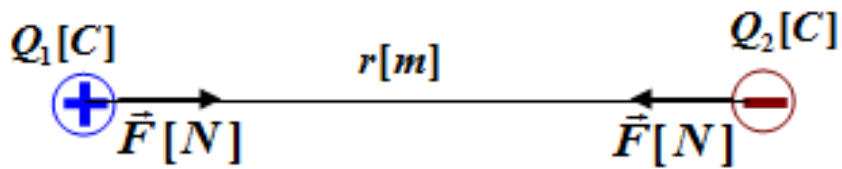
U izrazu 1.1 su:

F – vrijednost sile u NJUTNIMA, [N]

Q_1 i Q_2 - vrijednosti tačkastih naelektrisanja u KULONIMA, [C]

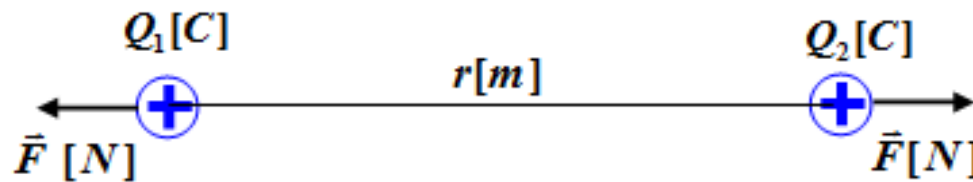
r - rastojanje tačkastih naelektrisanja u METRIMA, [m]

k - **konstanta proporcionalnosti** kojom se izražava **zavisnost sile od osobina sredine u kojoj se naelektrisanja nalaze**, u [Nm²/C²]



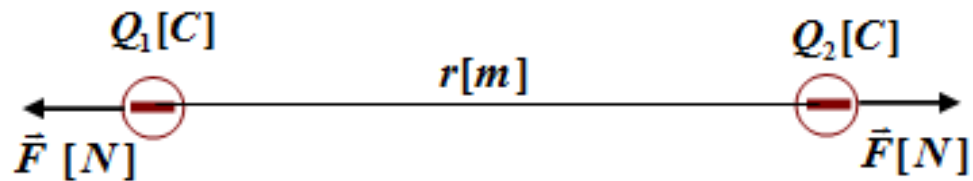
$$F = k \frac{Q_1 \cdot |Q_2|}{r^2}$$

Slika 2: Sila međusobnog dejstva tačkastih naelektrisanja suprotnog znaka



$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2}$$

Slika 3A: Sila međusobnog dejstva tačkastih naelektrisanja istog znaka (pozitivna)



$$F = k \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}$$

Slika 3B: Sila međusobnog dejstva tačkastih naelektrisanja istog znaka (negativna)

Za vakuum (\approx vazduh) vrijednost konstante proporcionalnosti k je: $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{N m^2}{C^2}$

U izraz za Kulonovu silu, uvrštavaju se apsolutne vrijednosti naelektrisanja.
Znak naelektrisanja određuje smjer sile, a ne njenu vrijednost.

Konstanta k se obično izražava preko dielektrične konstante sredine ε :

$$k = \frac{1}{4\pi\varepsilon}$$

Jedinica za dielektričnu konstantu ε je: $\left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$, ili *farad po metru*, $\left[\frac{F}{m} \right]$

FARAD, [F] je jedinica za kapacitivnost.

Za vakuum (\approx vazduh) vrijednost dielektrične konstante ε je: $\varepsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$

Za druge dielektrike,

dielektrična konstanta ε je veća od dielektrične konstante vakuuma ε_0 :

$$\varepsilon = \varepsilon_r \cdot \varepsilon_0$$

ε_r je relativna dielektrična konstanta posmatranog dielektrika.

To je neimenovan broj, veći od jedinice: $\varepsilon_r > 1$.

Za vakuum (\approx vazduh) je $\varepsilon_r = 1$.

Vrijednost KULONOVE SILE,

odnosno **intenzitet sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja, izražena preko dielektrične konstante dielektrika u kojem se naelektrisanja nalaze,** data je izrazom:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}$$

odnosno, izrazom:

$$F = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}$$

Ako se naelektrisanja nalaze u **vakuumu** (\approx vazduhu)

$$F_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{|Q_1| \cdot |Q_2|}{r^2}$$

Dielektrična konstanta je najmanja za vakuum (\approx vazduh): $\epsilon = \epsilon_0$

\Rightarrow Sila je najveća u vakuumu (\approx vazduhu)

*U izraz za Kulonovu silu, uvrštavaju se **apsolutne vrijednosti naelektrisanja**. **Znak naelektrisanja određuje smjer sile, a ne njenu vrijednost.***

Sila dejstva više tačkastih naelektrisanja na posmatrano tačkasto naelektrisanje jednaka je VEKTORSKOM ZBIRU pojedinačnih sila

Za raspored naelektrisanja duž iste prave, to je ZBIR (isti smjer) ili RAZLIKA (suprotan smjer) sila, kao npr. na sl.4

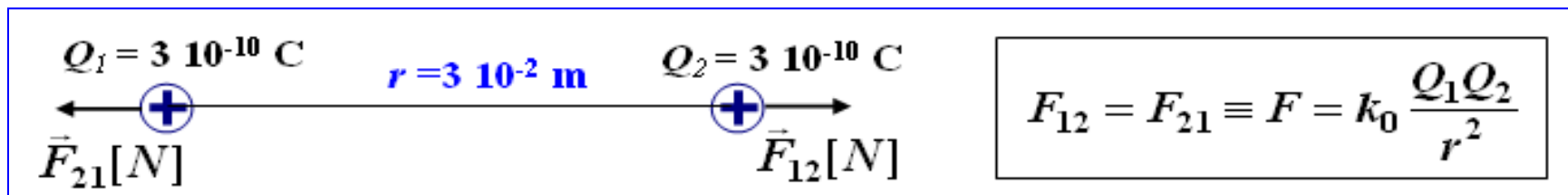
Slika 4B: Sila na naelektrisanje 1, od naelektrisanja 3 i 2 na isom pravcu

Slika 4A: Sila na naelektrisanje 3, od naelektrisanja 1 i 2 na isom pravcu

1. **Odrediti silu međusobnog dejstva dva jednaka tačkasta naelektrisanja $Q_1=Q_2=3 \cdot 10^{-10} \text{ C}$, koja se nalaze u vazduhu na međusobnom rastojanju $r=3\text{cm}$.**

Rješenje

Oba naelektrisanja su pozitivna (istog znaka). \Rightarrow Sila je odbojna

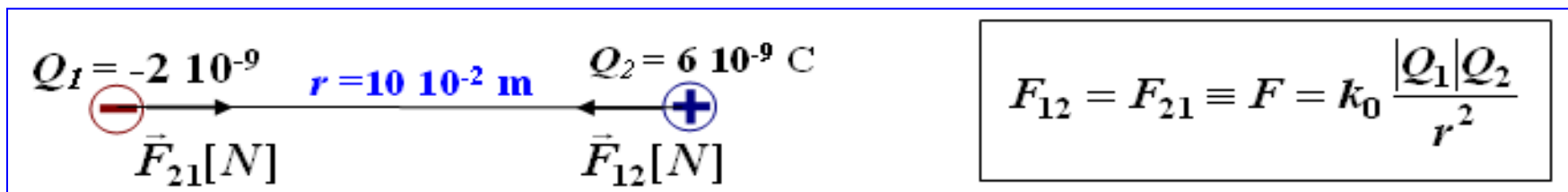


Vrijednost sile je: $F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right] \frac{3 \cdot 10^{-10} [\text{C}] \cdot 3 \cdot 10^{-10} [\text{C}]}{(3 \cdot 10^{-2})^2 [\text{m}^2]} = 9 \cdot 10^{-7} \text{ N}$

2. **Odrediti silu međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja $Q_1=-2\text{nC}$ i $Q_2=6\text{nC}$, koja se nalaze u vazduhu na međusobnom rastojanju $r=10\text{cm}$.**

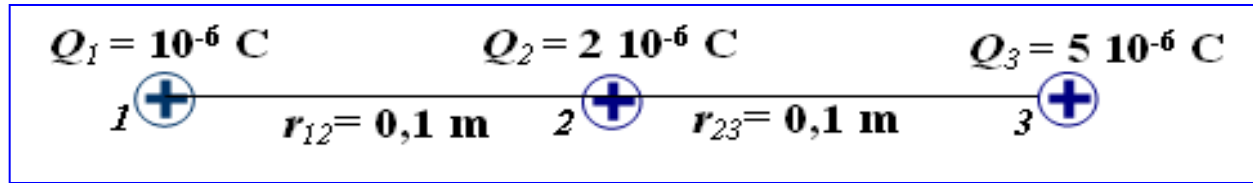
Rješenje

Naelektrisanja su suprotno znaka (+ i -). \Rightarrow Sila je privlačna



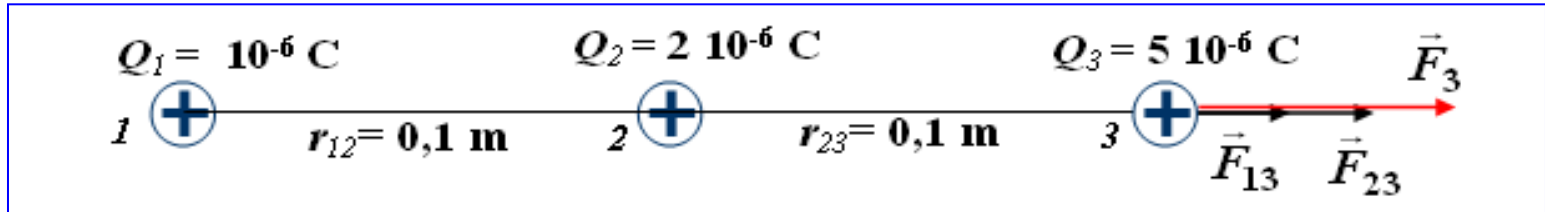
Vrijednost sile je: $F = k_0 \frac{|Q_1| \cdot Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-9} \cdot 6 \cdot 10^{-9}}{(10 \cdot 10^{-2})^2} = 1,08 \cdot 10^{-5} \text{ N}$

3. Tri tačkasta naelektrisanja $Q_1=10^{-6}\text{C}$, $Q_2=2 \cdot 10^{-6}\text{C}$ i $Q_3=5 \cdot 10^{-6}\text{C}$ postavljena su u vazduhu na međusobnim rastojanjima kao na slici. Odrediti silu koja djeluje na naelektrisanje u tački 3.



Rješenje

Na naelektrisanje u tački 3 djeluje sila od naelektrisanja Q_1 i sila od naelektrisanja Q_2 , kao na slici:



Vrijednosti sila su:

$$F_{13} = k_0 \frac{Q_1 \cdot Q_3}{r_{13}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{1 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{(0,1 + 0,1)^2} = 1,125 \text{ N}$$

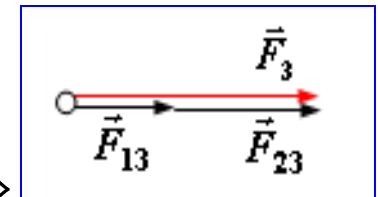
$$F_{23} = k_0 \frac{Q_2 \cdot Q_3}{r_{23}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 \cdot 10^{-6}}{0,1^2} = 9 \text{ N}$$

Ukupna sila na naelektrisanje u tački 3 je: $\vec{F}_3 = \vec{F}_{13} + \vec{F}_{23}$

Sile koje djeluju na naelektrisanje u tački 3 su istog pravca i smjera. \Rightarrow

Vrijednost ukupne sile na naelektrisanje u tački 3 je: $F_3 = F_{13} + F_{23} = 10,125 \text{ N}$

Smjer sile se poklapa sa smjerovima pojedinačnih sila .



Pitanja-1

- **Ko su nosioci elementarnih pozitivnih i negativnih naelektrisanja ?**
- **Kakvo je naelektrisanje jezgra atoma ?**
- **Navesti osnovnu i manje jedinice za naelektrisanje.**
- **Kako dijelimo sve materijale prema električnim svojstvima ?**
- **Kako glasi Kulonov zakon ?**
- **Napisati izraz za intenzitet sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (vrijednost Kulonove sile), preko konstante proporcionalnosti k .**
- **Napisati izraz za intenzitet sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (vrijednost Kulonove sile), preko dielektrične konstante ϵ .**
- **Koje veličine figurišu u izrazu za Kulonovu silu i koje su njihove jedinice ?**
- **U kojoj dielektričnoj sredini je sila međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (Kulonova sila) najveća ?**
- **Kako će se promjeniti vrijednost sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (Kulonove sile) ako se rastojanje između njih poveća dva puta ?**
- **Kako će se promjeniti vrijednost sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (Kulonove sile) ako se naelektrisanja umjesto u vazduh postave u sredinu relativne dielektrične konstante 2,5 ?**
- **Kako će se promjeniti vrijednost sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (Kulonove sile), ako se oba naelektrisanja povećaju dva puta ?**
- **Kako će se promjeniti vrijednost sile međusobnog dejstva dva tačkasta naelektrisanja (Kulonove sile), ako se jedno naelektrisanje smanji dva puta ?**

ELEKTRIČNO POLJE

Naelektrisano tijelo mijenja prostor oko sebe.

To naročito fizičko stanje sredine oko naelektrisanog tijela naziva se električno polje.

Oko svakog naelektrisanog tijela (naelektrisanja) postoji električno polje.

Električno polje djeluje električnom silom, na svako drugo naelektrisano tijelo koje se u njemu nalazi.

Električno polje se može opaziti samo po svom djelovanju na naelektrisana tijela koja se u njemu nalaze.

Za ispitivanje električnog polja koriste se tzv. probno naelektrisanje, Q_p [C]

Ono mora biti veoma malo, tako da njegovo polje ne remeti razmatrano polje.

Probno naelektrisanje je, po dogovoru, uvijek pozitivno.

Osnovne veličine koje karakterišu električno polje su:

- Vektor jačine električnog polja, \vec{E} i jačina električnog polja, E
- Električni potencijal, φ ili V
- Napon, U

Vektor jačine električnog polja, \vec{E}

Posmatrajmo naelektrisno tijelo naelektrisanja Q [C] u dielektričnoj sredini sa ε .
Oko tog naelektrisanog tijela postoji električno polje.

Unesimo u to polje probno naelektrisanje Q_p [C] (pozitivno).

Na probno naelektrisanje Q_p djelovaće električna sila \vec{F}

Intenzitet, pravac i smjer sile određen je u svakoj tački prostora oko naelektrisanja Q , odnosno u svakoj tački električnog polja.

Vektor jačine električnog polja

u posmatranoj tački polja, definiše se kao odnos sile koja djeluje na probno naelektrisanje u toj tački i probnog naelektrisanja:

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{Q_p}$$

Pravac i smjer vektora jačine električnog polja, su isti kao pravac i smjer sile.

Vrijednost vektora jačine električnog polja je jačina električnog polja, E

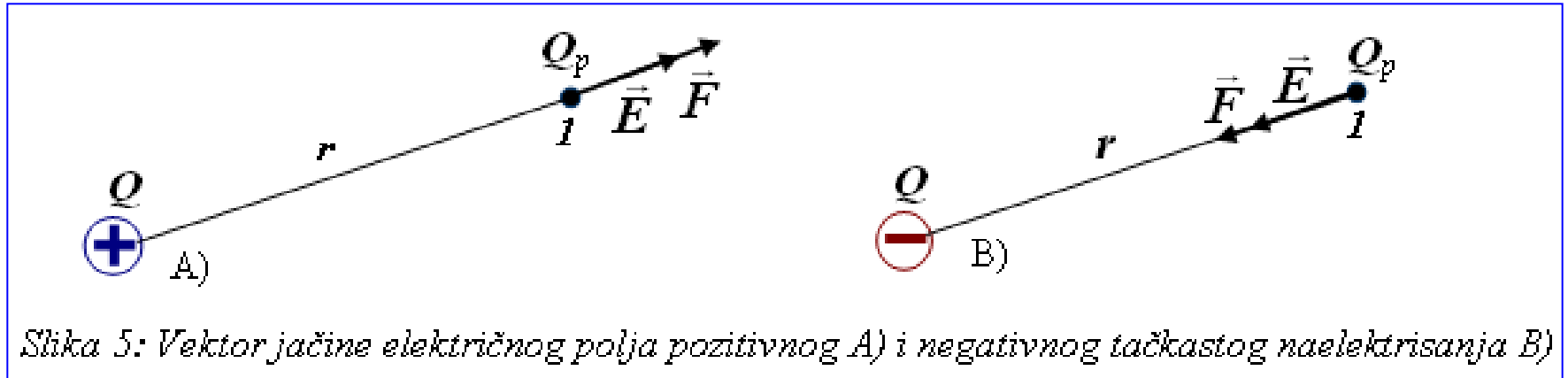
Jačina električnog polja u posmatranoj tački polja je odnos vrijednosti sile polja u toj tački i probnog naelektrisanja:

$$E = \frac{F}{Q_p}$$

Jedinica za jačinu električnog polja je:

$$\frac{\text{njutn}}{\text{kulon}}, \left[\frac{N}{C} \right] \text{ ili } \frac{\text{volt}}{\text{metar}}, \left[\frac{V}{m} \right].$$

Volt, [V] je jedinica za potencijal i napon.

Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja Q [C]

Oko tačkastog naelektrisanja Q [C] postoji električno polje.

Na probno naelektrisanje Q_p [C] (pozitivno) koje se nalazi npr. u tački 1 polja, udaljenoj r [m] od tačkastog naelektrisanja, djeluje električna sila, određena KULONOVIM zakonom.

Vrijednost sile je: $F = k \frac{|Q| \cdot Q_p}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q| \cdot Q_p}{r^2}$ Po definiciji je: $E = \frac{F}{Q_p} \Rightarrow$

Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja je: $E = k \frac{|Q|}{r^2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{|Q|}{r^2}$

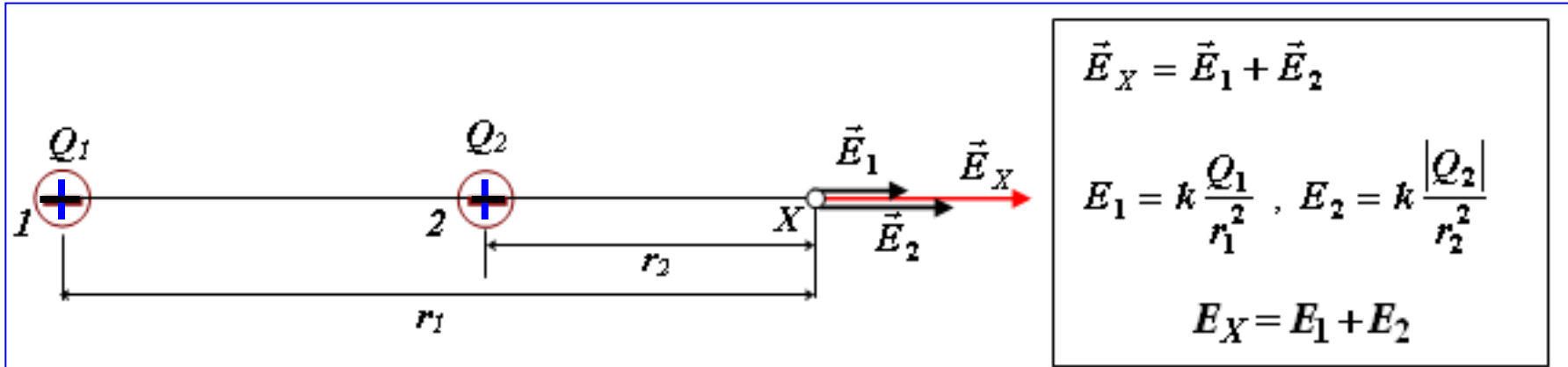
Pravac i smjer vektora jačine električnog polja su isti kao sile:

- za pozitivno naelektrisanje, OD naelektrisanja
- za negation naelektrisanje, KA naelektrisanju.

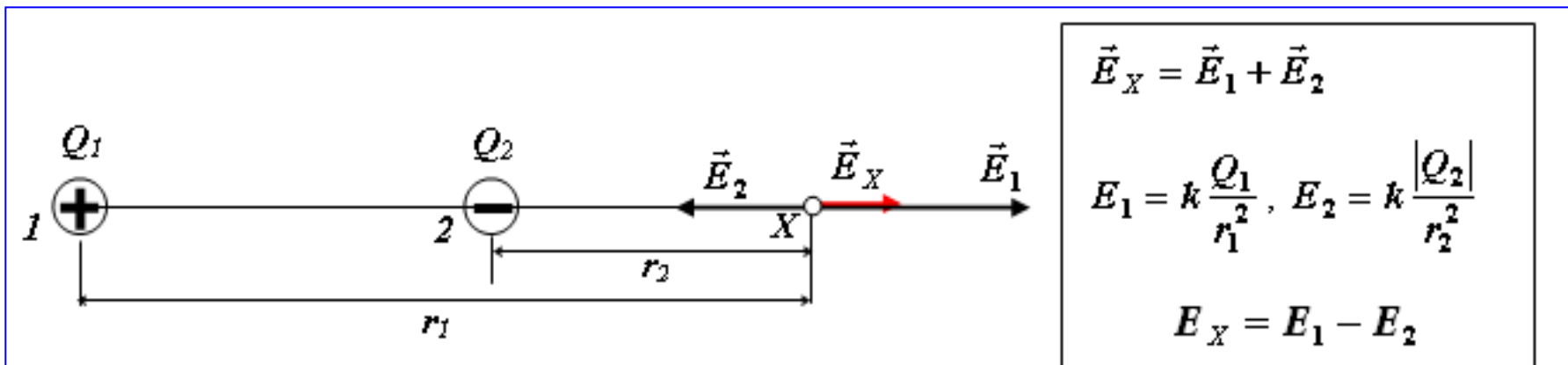
Jačina električnog polja više tačkastih naelektrisanja

u posmatranoj tački polja, jednaka je VEKTORSKOM ZBIRU jačina pojedinačnih polja u toj tački.

Za raspored naelektrisanja duž iste prave, to je ZBIR (isti smjer) ili RAZLIKA (suprotan smjer) jačina pojedinačnih polja, kao npr. na sl.6.

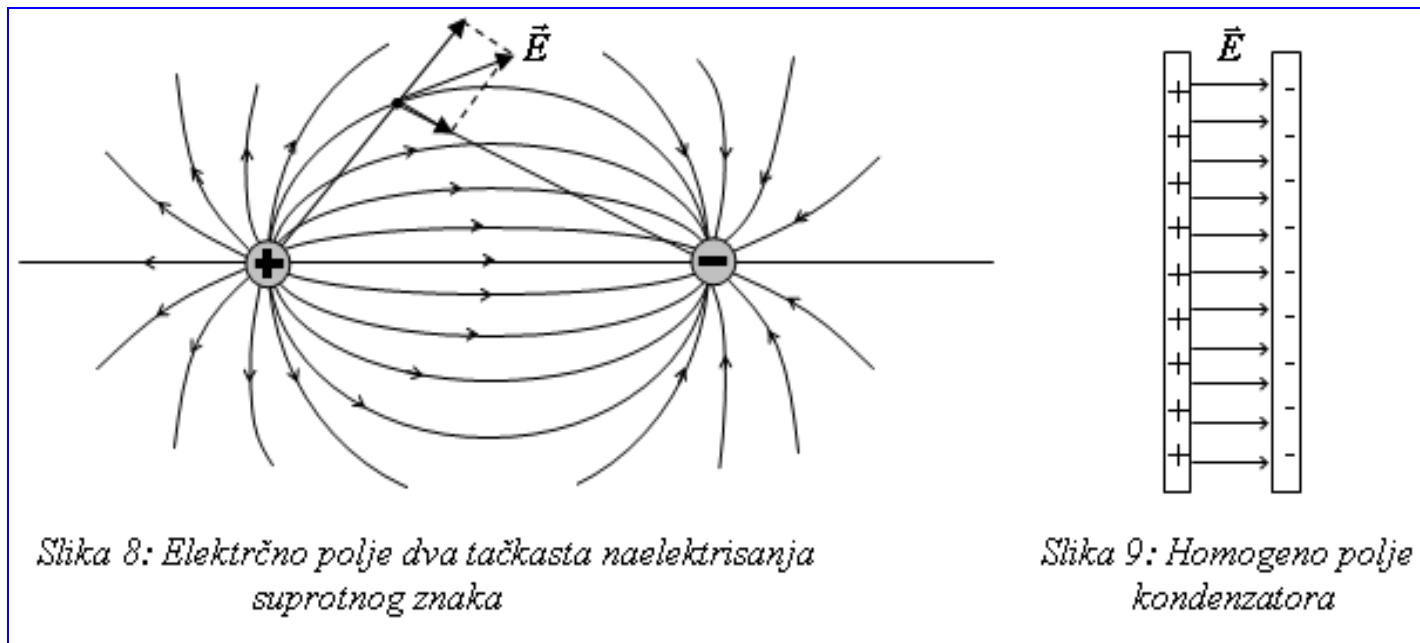
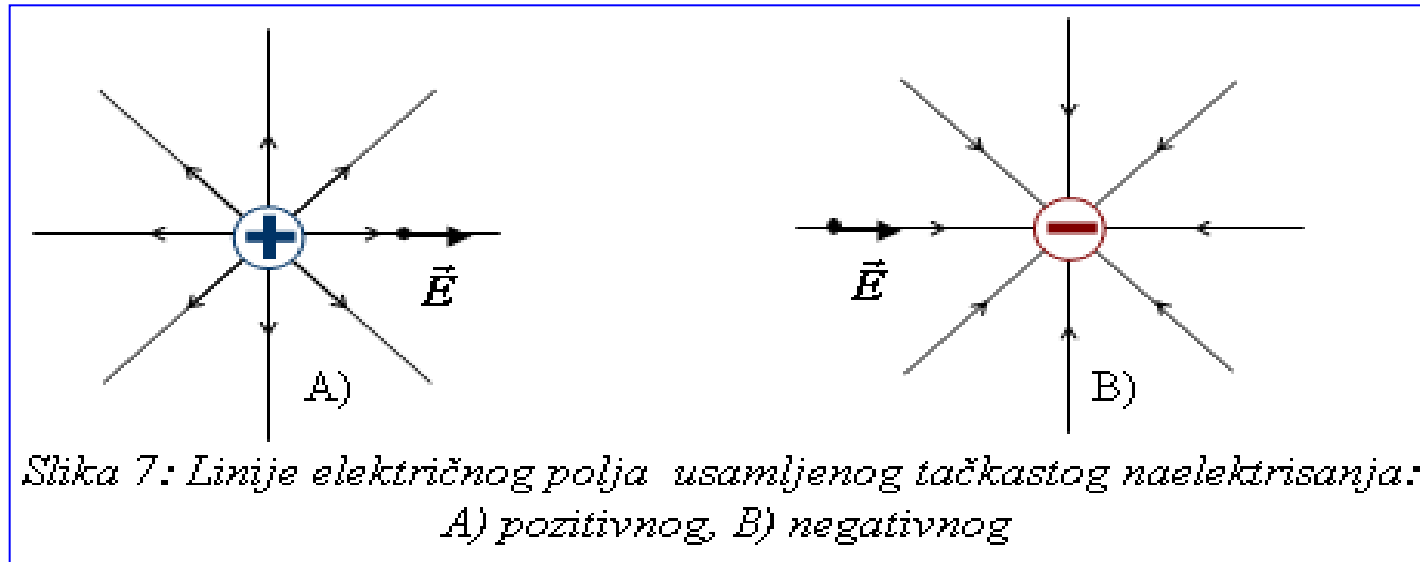


Slika 6A: Vektor jačine električnog polja od dva negativna tačkasta naelektrisanja, na istom pravcu



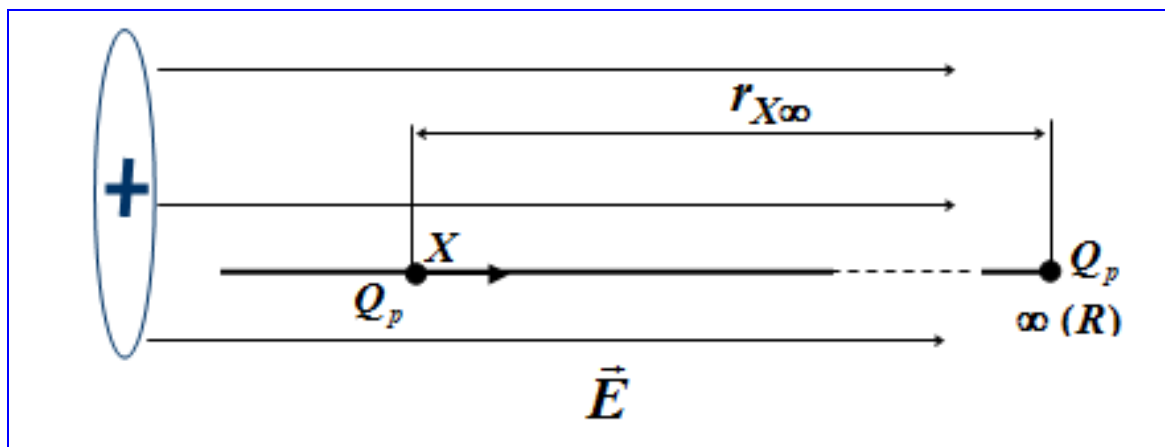
Slika 6B: Vektor jačine električnog polja od dva tačkasta naelektrisanja suprotnog znaka, na istom pravcu

Linije električnog polja



Električni potencijal, φ

u nekoj tački X električnog polja (φ_X) definiše se kao odnos rada ($A_{X\infty}$) koji izvrše sile električnog polja pomjerajući probno naelektrisanje (Q_p) iz posmatrane tačke polja X u referentnu tačku (beskonačnost ∞) i probnog naelektrisanja:



$$\varphi_X = \frac{A_{X\infty}}{Q_p}$$

Oznaka za potencijal je φ

Jedinica za potencijal je: **VOLT, [V]**

$$\text{volt} = \frac{\text{džul}}{\text{kulon}}, \quad [V] = \left[\frac{J}{C} \right]$$

DŽUL, [J] je jedinica za rad: $A [J]$

Rad je dejstvo sile $F [N]$ na određenom putu $r [m]$: $A [J] = F [N] r [m]$

Napon, U

Napon ili **potencijalna razlika** između dvije tačke u električnom polju (npr. tačke 1 i tačke 2) je razlika potencijala tih tačaka: $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$

Potencijal tačke 1 je: $\varphi_1 = \frac{A_{1\infty}}{Q_p}$ Potencijal tačke 2 je: $\varphi_2 = \frac{A_{2\infty}}{Q_p}$

Napon između tačaka 1 i 2 je: $U_{12} = \frac{A_{12}}{Q_p}$

A_{12} je rad koje izvrše sile električnog polja pomjerajući probno naelektrisanje Q_p iz tačke 1 u tačku 2 polja.

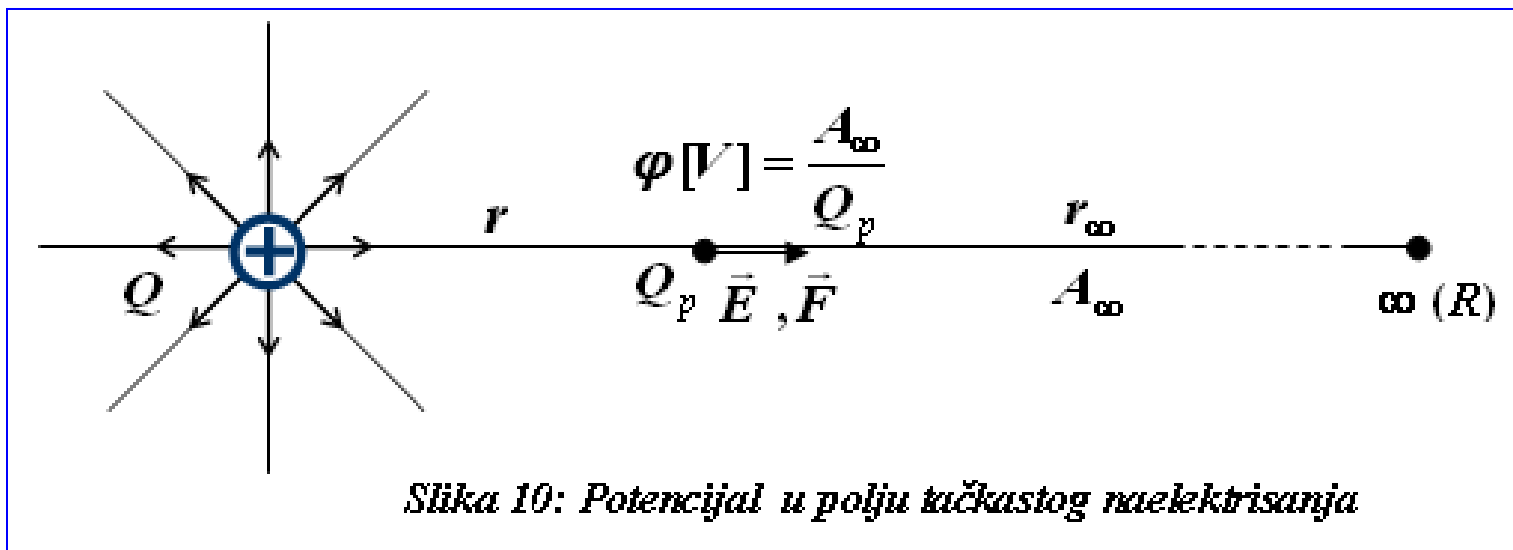
Napon između dvije tačke u električnom polju definiše se kao odnos rada koje izvrše sile polja pomjerajući probno naelektrisanje iz jedne u drugu tačku polja i probnog naelektrisanja.

Oznaka za napon je U

Pošto se napon definiše između dvije tačke polja, npr. između tačaka 1 i 2, uz oznaku se najčešće dodaje indeks koji definiše te tačke: U_{12}

Jedinica za napon je, kao i jedinica za potencijal, **VOLT, [V]**

Potencijal u polju tačkastog naelektrisanja



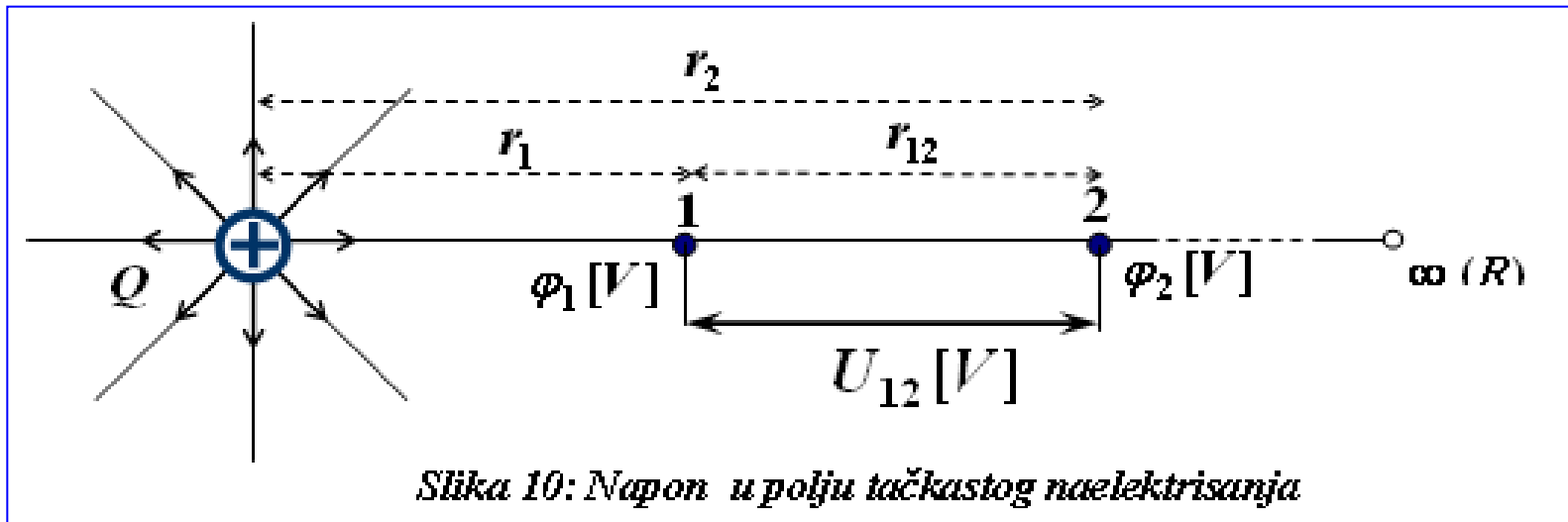
Potencijal φ [V] električnog polja tačkastog naelektrisanja Q [C] u nekoj tački polja na rastojanju r [m] od naelektrisanja, određen je zrazom:

$$\varphi = k \frac{Q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r}$$

Ako je naelektrisanje u vakuumu (\sim vazduhu), potencijal je:

$$\varphi = k_0 \frac{Q}{r} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r}$$

Napon u polju tačkastog naelektrisanja



Napon U_{12} između tačaka 1 i 2 električnog polja je: $U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2$

U polju tačkastog naelektrisanja Q [C] je: $\varphi_1 = k \frac{Q}{r_1} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r_1}$, $\varphi_2 = k \frac{Q}{r_2} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r_2}$

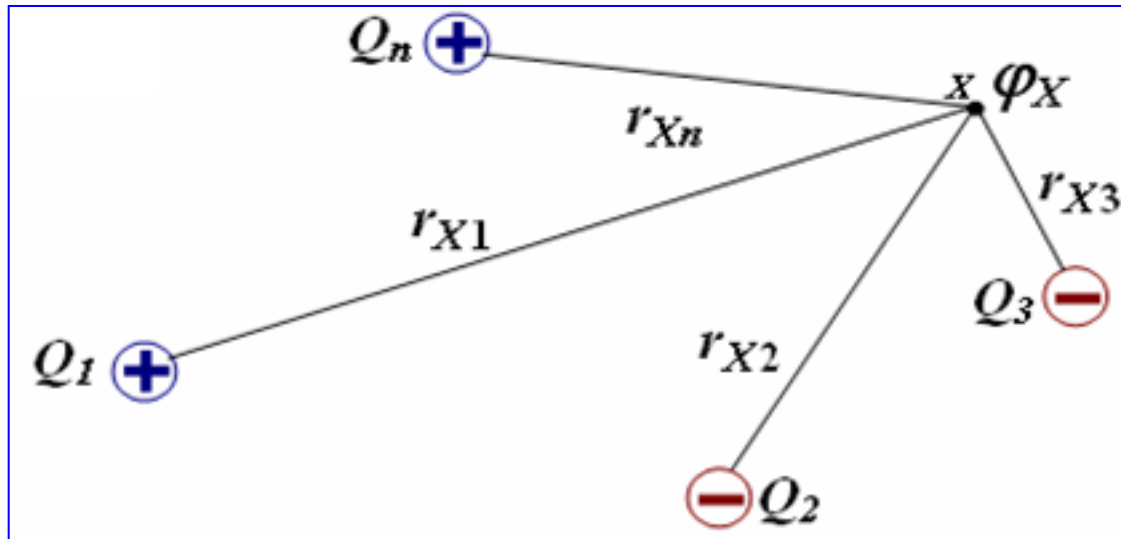
⇒

$$U_{12} = kQ \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Ako je naelektrisanje u vakuumu (~ vazduhu), napon je:

$$U_{12} = k_0 Q \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0} \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right)$$

Potencijal u polju više tačkastih naelektrisanja



Potencijal u tački X je ZBIR potencijala od svih naelektrisanja:

$$\varphi_X = \sum_{i=1}^n \varphi_{Xi} = k \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_{Xi}} = \frac{1}{4\pi\epsilon} \sum_{i=1}^n \frac{Q_i}{r_{Xi}}$$

U izraz potencijal se uvrštavaju **algebarske vrijednosti naelektrisanja**, odnosno za pozitivno naelektrisanje njegova pozitivna vrijednost, a za negativno naelektrisanje njegova negativna vrijednost naelektrisanja.

Potencijal negativnog naelektrisanja je negativan, pozitivnog pozitivan.

1. U tački M jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja u vazduhu iznosi $E_0=30$ V/m, a u silikonskom ulju $E_{ulj}=12$ V/m. Izračunati relativnu dielektričnu konstantu silikonskog ulja.

Rješenje

Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja u vazdu je: $E_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \frac{Q}{r_M^2}$

Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja u ulju je: $E_{ulj} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0\epsilon_r} \frac{Q}{r_M^2}$

Odnos jačina električnog polja je: $\frac{E_0}{E_{ulj}} = \epsilon_r$

Vrijednost relativne dielektrične konstantu silikonskog ulja je: $\epsilon_r = \frac{30}{12} = 2,5$

2. Kolika sila djeluje na elektron koji se nalazi u električnom polju jačine $E=0,8$ kV/m.

Rješenje

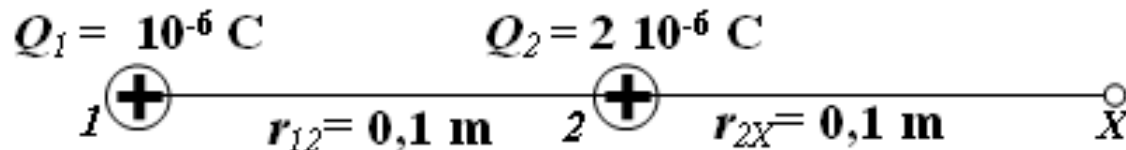
Naelektrisanje elektrona je: $Q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$

Jačina električnog polja u tački u kojoj se nalazi elektron je: $E = \frac{F}{|Q_e|}$

⇒ Sila koja djeluje na elektron je:

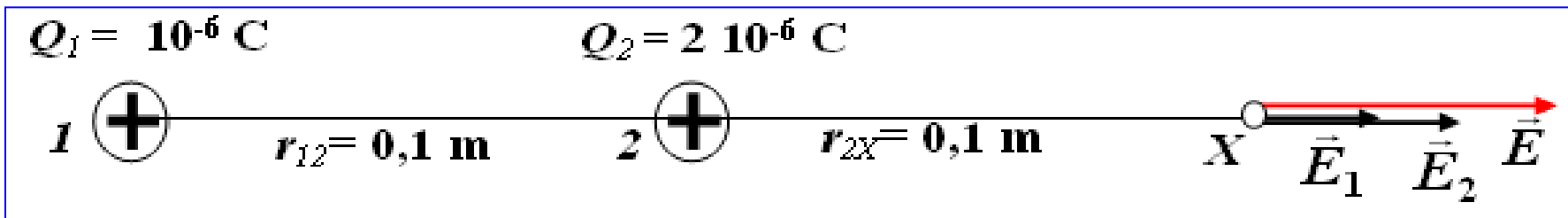
$$F = E \cdot |Q_e| = 0,8 \cdot 10^3 \text{ [V / m]} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ [C]} = 1,28 \cdot 10^{-16} \text{ N}$$

3. Dva tačkasta naelektrisanja $Q_1 = 10^{-6} \text{ C}$ i $Q_2 = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ postavljena su u vazduhu na međusobnom rastojanju $r_{12} = 0,1 \text{ m}$. Odrediti jačinu električnog polja u tački X udaljenoj od naelektrisanja kao na slici.



Rješenje

U tački X djeluje polje od naelektrisanja Q_1 i polje od naelektrisanja Q_2 , sa pravcima i smjerovima kao na slici:



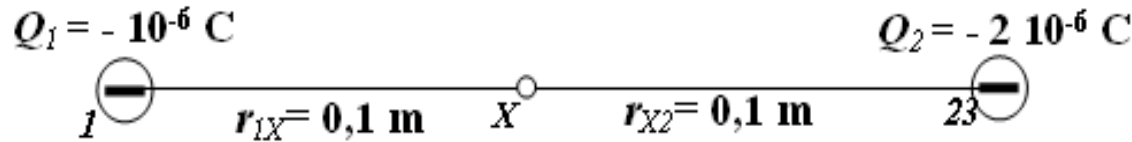
Jačina električnog polja od Q_1 je: $E_1 = k_0 \frac{Q_1}{(r_{12} + r_{2X})^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{10^{-6}}{(0,1 + 0,1)^2} = 2,25 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

Jačina električnog polja od Q_2 je: $E_2 = k_0 \frac{Q_2}{r_{2X}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,1^2} = 18 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

Ukupna jačina električnog polja u tački X je:

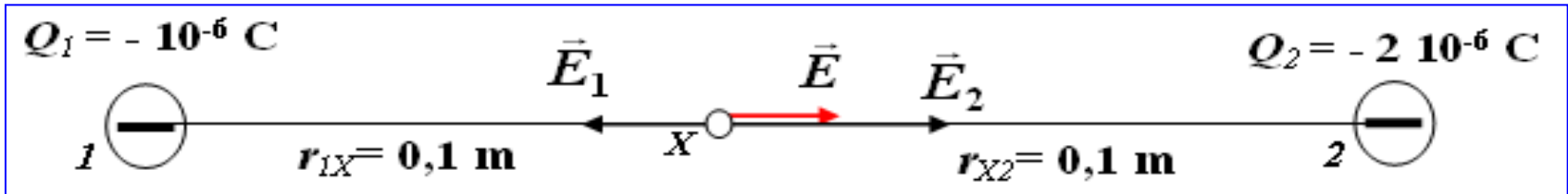
$$E = E_1 + E_2 = 2,25 \cdot 10^5 + 18 \cdot 10^5 = 20,25 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

4. Dva tačkasta naelektrisanja $Q_1 = -10^{-6} \text{ C}$ i $Q_2 = -2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$ postavljena su u vazduhu na međusobnom rastojanju $r_{12} = 10 \text{ cm}$. Odrediti jačinu električnog polja u tački X udaljenoj od naelektrisanja kao na slici.



Rješenje

U tački X djeluje polje od negativnog naelektrisanja Q_1 i polje od negativnog naelektrisanja Q_2 , sa pravcima i smjerovima kao na slici.



Jačina električnog polja od Q_1 je: $E_1 = k_0 \frac{|Q_1|}{r_{1X}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{1 \cdot 10^{-6}}{0,1^2} = 9 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

Jačina električnog polja od Q_2 je: $E_2 = k_0 \frac{|Q_2|}{r_{X2}^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6}}{0,1^2} = 18 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$

Jačina električnog polja u tački X je:

$$E = E_2 - E_1 = 18 \cdot 10^5 - 9 \cdot 10^5 = 9 \cdot 10^5 \frac{\text{V}}{\text{m}}$$

5. Naći potencijal tačkaka na rastojanju $r = 300 \text{ cm}$ od tačkastog naelektrisanja $Q=2 \text{ nC}$ u vazduhu.

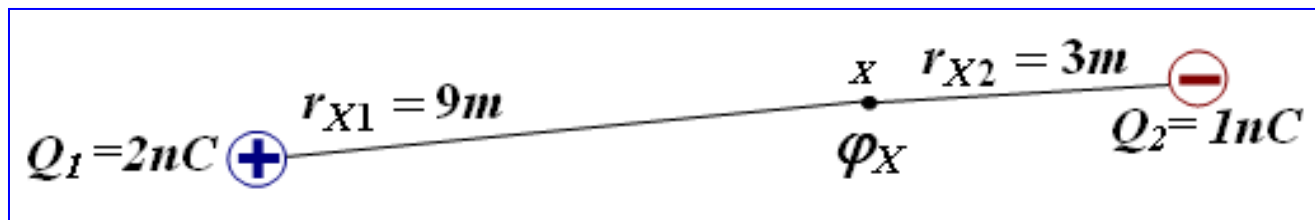
Rješenje

Naelektrisanje se nalazi u vazduhu: $k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$

Potencijal od posmatranog naelektrisanja $Q=2\text{nC}=2 \cdot 10^{-9} \text{ C}$, u tačkama koje su od njega udaljene za $r = 300 \text{ cm} = 3 \text{ m}$ je:

$$\varphi = k_0 \frac{Q}{r} = 9 \cdot 10^9 \left[\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right] \frac{2 \cdot 10^{-9} [\text{C}]}{3[\text{m}]} = 6\text{V}$$

6. Za polje od naelektrisanja kao na slici, naći potencijal u tačkaci X. Naelektrisanja se nalaze u vazduhu.



Rješenje

$$\varphi_X = \sum_{i=1}^n \varphi_{Xi} = k_0 \frac{Q_1}{r_{X1}} + k_0 \frac{Q_2}{r_{X2}} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-9}}{9} + 9 \cdot 10^9 \frac{-1 \cdot 10^{-9}}{3} = -1\text{V}$$

7. Potencijali koje stvaraju pozitivno i negativno naelektrisanje u tački A su 14 V i -9V, a u tački B 3V i -17 V. Koliki je napon između tačaka A i B.

Rješenje

Potencijal u tački A je:
$$\varphi_A = \sum_{i=1}^2 \varphi_{Ai} = 14[V] + (-9[V]) = 5V$$

Potencijal u tački B je:
$$\varphi_B = \sum_{i=1}^2 \varphi_{Bi} = 3[V] + (-17[V]) = -14V$$

Napon između tačaka A i B je:
$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B = 5[V] - (-14[V]) = 19V$$

8. U električnom polju, napon između tačaka A i B iznosi $U_{AB}=78V$. Pri pomjeranje naelektrisanja Q_p od tačke A do tačke B izvršen je rad od $A_{AB}=3,9J$. Kolika je vrijednost naelektrisa Q_p ?

Rješenje

Napon između dvije tačke u električnom polju određen je odnosom rada izvršenog pri pomjeranju naelektrisanja između te dvije tačke polja i tog naelektrisanja:

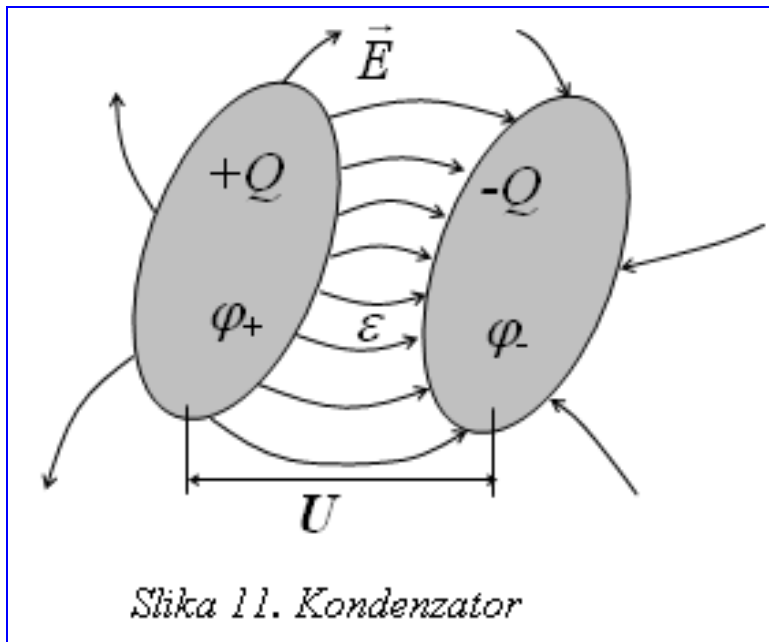
$$U_{AB} = \frac{A_{AB}}{Q_p} \Rightarrow Q_p = \frac{A_{AB}}{U_{AB}} = \frac{3,9[J]}{78[V]} = 0,02C$$

Pitanja-2

1. ***Napisati izraz i jedinicu za jačinu električno polje.***
2. ***Napisati izraz za jačinu električnog polja tačkastog naelektrisanja, preko konstante proporcionalnosti k .***
3. ***Napisati izraz za jačinu električnog polja tačkastog naelektrisanja, preko dielektrične konstante ϵ .***
4. ***Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja u tački 1 je E_1 [N/C]. Kolika je jačina električnog polja u tački 2, na dva puta većem rastojanju od naelektrisanja ?***
5. ***Odrediti odnos jačine električnog polja tačkastog naelektrisanja u vazduhu i jačine električnog polja tog naelektrisanja smještenog u silikonskom ulju relativne dielektrične konstante $\epsilon_r=2,5$.***
6. ***Jačina električnog polja tačkastog naelektrisanja Q [C] u tački 1 je E [N/C]. Kolika će biti jačina električnog polja u toj tački, ako se naelektrisanje smanji dva puta ?***
7. ***Koja je oznaka i jedinica za potencijal električnog polja ?***
8. ***Koja je oznaka i jedinica za napon električnog polja ?***
9. ***Potencijal tačke 1 električnog polja je φ_1 [V], a potencijal tačke 2 je φ_2 [V], Koliki je napon između te dvije tačke ?***

ELEKTRIČNI KONDENZATORI

Električni kondenzator je sistem od dva bliska provodna tijela koja su naelektrisana jednakim naelektrisanjima suprotnog znaka $+ Q [C]$ i $- Q [C]$, razdvojena izolatorom (dielektrikom) dielektrične konstante ε .



Naelektrisana provodna tijela su:
obloge kondenzatore ili
 ploče kondenzatora ili
 elektrode

Pozitivn obloga

nosi pozitivno naelektrisanje $+ Q [C]$

Negativna obloga

nosi isto toliko negativno naelektrisanje $- Q [C]$

Između obloga kondenzatora
 uspostavlja se električno polje \vec{E}

Polje je usmjereno od pozitivne ka negativnoj oblogi kondenzatora.

Pozitivna obloga kondenzatora je na potencijalu φ_+

Negativna obloga kondenzatora je na potencijalu φ_-

Napon između obloga kondenzatora je: $U = \varphi_+ - \varphi_-$

KAPACITIVNOST KONDENZATORA

Osnovna električna veličina koja karakteriše kondenzatore je kapacitivnost.

Oznaka za kapacitivnost je **C**

Kapacitivnost C je odnos naelektrisanja Q i napona U:

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

Iz ovog odnosa \Rightarrow

$$Q = C \cdot U$$

i

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

Jedinica za kapacitivnost je **FARAD, [F]**

$$\text{farad} = \frac{\text{kulon}}{\text{volt}}, [F] = \left[\frac{C}{V} \right]$$

Manje jedinice za kapacitivnost su:

milifarad $mF = 10^{-3} F$

mikrofarad $\mu F = 10^{-6} F$

nanofarad $nF = 10^{-9} F$

pikofarad $pF = 10^{-12} F$

Kapacitivnost C [F] je osnovna karakteristika svakog kondenzatora.

Kapacitivnost kondenzatora zavisi od:

- oblika kondenzatora,
- dimenzija kondenzatora i
- upotrebljenog dielektrika između obloga kondenzatora,

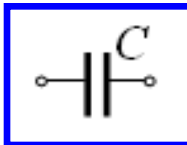
dakle od konstruktivnih karakteristika kondenzatora.

Kapacitivnost kondenzatora se može opisati kao mjera mogućnosti kondenzatora da na sebi akumulira (skladišti) naelektrisanje.

U električnim kolima, kondenzator je komponenta na kojoj se može skladištiti određena količina naelektrisanja Q .

Kondenzator veće kapacitivnosti, pri istom naponu između obloga, na oblogama skladišti veću količinu naelektrisanja.

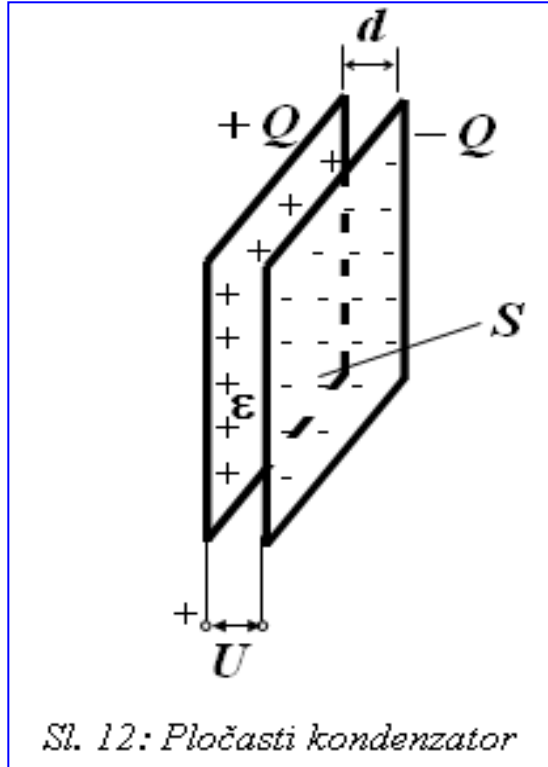
Simbol kondenzatora u električnim šemama je:



**Karakteristične veličine kondenzatora su: kapacitivnost C [F]
napon između obloga U [V] i
naelektrisanje obloga $\pm Q$ [C]**

međusobno povezane odnosom: $C = \frac{Q}{U}$

Pločasti kondenzatori



Pločasti kondenzator čine:

- dvije ravne paralelne **provodne ploče** jednakih površina **$S[m^2]$** – **obloge** kondenzatora.
- između kojih je **dielektrik** dielektrične konstante **$\epsilon [F/m]$** ,
- a rastojanje između obloga kondenzatora **$d[m]$** je **mного** manje od njihovih dimenzija.

Kapacitivnost **$C [F]$** pločastog kondenzatora je:

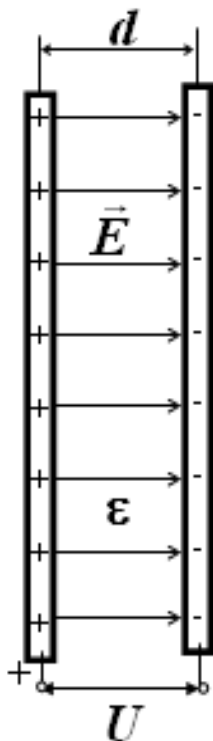
$$C = \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_0 \epsilon_r \frac{S}{d}$$

Kapacitivnost je veća što je veća površina **$S[m^2]$** obloga- ploča kondenzatora, a manje rastojanje **$d [m]$** između njih.

Ako je dielektrik vazduh ($\epsilon_r \approx 1$) ili vakuum ($\epsilon_r = 1$): $C_0 = \epsilon_0 \frac{S}{d}$

Kapacitivnost je veća ako je između obloga neki drugi dielektrik sa $\epsilon_r > 1$:

$$C = C_0 \epsilon_r$$



Sl. 12A: Električno polje pločastog kondenzatora

Kad se između obloga kondenzatora priključi napon U [V] one će se naelektrisati naelektrisnjem Q [C] čija vrijednost zavisi od kapacitivnosti kondenzatora C [F]:

$$Q = C \cdot U$$

Između ploča kondenzatora uspostavlja se homogeno električno polje.

Jačina električnog polja E je određena izrazom:

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

Jedinica za napon U je VOLT, [V], jedinica za rastojanje d je METAR, [m]. \Rightarrow

Jedinica za jačinu električnog polja E je:

$$\frac{\text{volt}}{\text{metar}}, E \left[\frac{\text{V}}{\text{m}} \right]$$

Jedinica za kapacitivnost C je FARAD, [F], jedinica za rastojanje d je METAR, [m], jedinica za površinu S je KVADRATNI METAR, [m²].

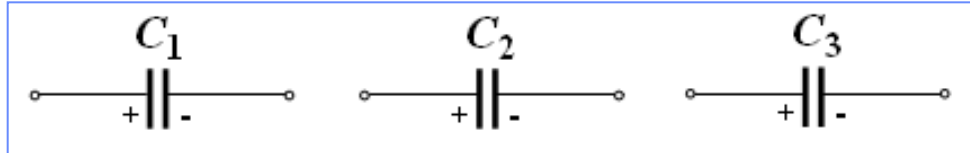
Iz izraza: $C = \epsilon \frac{S}{d} \Rightarrow$

Jedinica za dielektričnu konstantu ϵ je:

$$\frac{\text{farad}}{\text{metar}}, \epsilon \left[\frac{\text{F}}{\text{m}} \right]$$

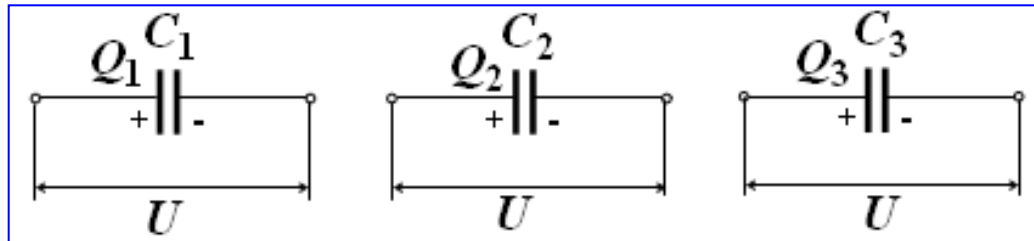
Veživanje kondenzatora u grupe

Posmatrajmo npr. tri kondenzatora kapacitivnosti: C_1 , C_2 i C_3



Ako svaki kondenzator pojedinačno priključimo na napon iste vrijednosti U ,

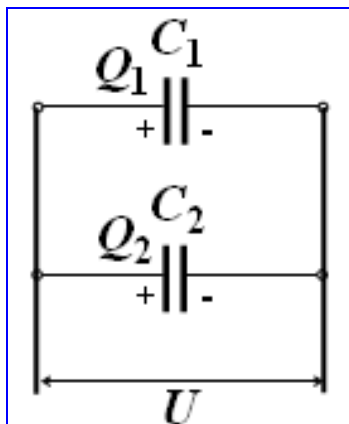
naelektrisanja kondenzatora će biti: $Q_1 = C_1U$, $Q_2 = C_2U$, $Q_3 = C_3U$



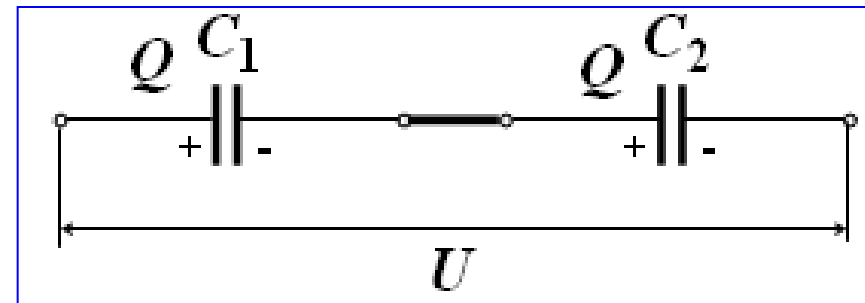
U praksi se često srijeću grupe međusobno povezanih kondenzatora.

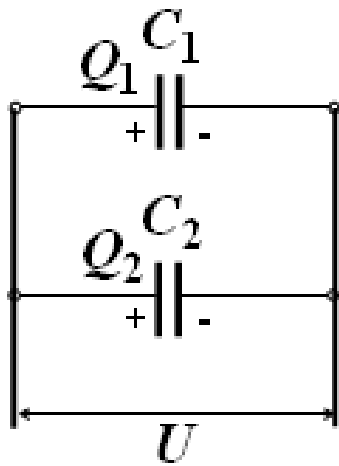
Osnovne veze su: paralelna veza i redna veza

Paralelna veza



Redna veza





Paralelna veza kondenzatora

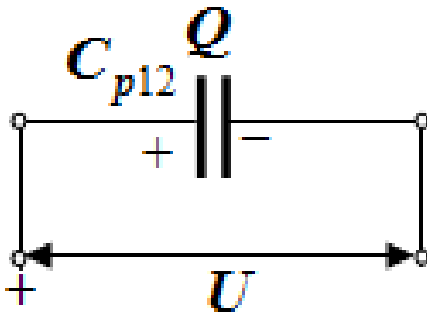
Posmatrajmo npr. **dva kondenzatora kapacitvnosti C_1 [F] i C_2 [F], vezana paralelno** i priključena na napon U [V].

Napon na oba kondenzatorima je isti: $U_1 = U_2 = U$

Naelektrisanja kondenzatora su: $Q_1 = C_1 \cdot U, Q_2 = C_2 \cdot U$

Ukupno naelektrisanje oba kondenzatora je: $Q = Q_1 + Q_2.$

Zamjenimo ovu vezu **ekvivalentnim kondenzatorom**, koji pri istom naponu U obezbijeduje isto ukupno naelektrisanje Q .



Kapacitivnost ekvivalentnog kondenzatora, odnosno kapacitivnost dva paralelno vezana kondenzatora je:

$$C_{p12} = \frac{Q}{U} = \frac{Q_1 + Q_2}{U} = \frac{Q_1}{U} + \frac{Q_2}{U} = C_1 + C_2$$

Ekvivalentna kapacitivnost dva paralelno vezana kondenzatora jednaka je zbiru njihovih kapacitvnosti:

$$C_{p12} = C_1 + C_2$$

Paralelna veza N kondenzatora, priključenih na napon U

Kapacitivnosti pojedinačnih kondenzatora su: $C_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$

Napon na svim kondenzatorima je isti: $U_i = U$

U je i napon na krajevima ekvivalentnog kondenzatora.

Naelektrisanja pojedinačnih kondenzatora su: $Q_i = C_i \cdot U$

Ukupno naelektrisanje je: $Q = \sum_{i=1}^N Q_i$

Q je i naelektrisanje ekvivalentnog kondenzatora.

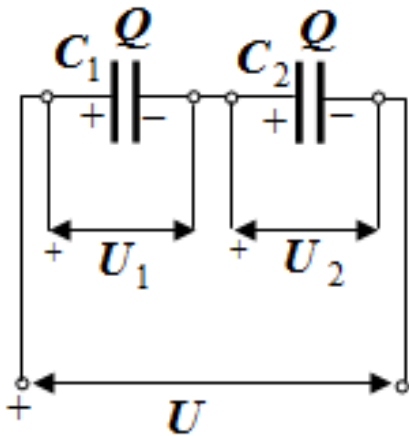
Kapacitivnost ekvivalentnog kondenzatora ($C_p = \frac{Q}{U}$), odnosno ekvivalentna kapacitivnost N paralelno vezanih kondenzatora je:

$$C_p = \sum_{i=1}^N C_i$$

Ekvivalentna kapacitivnost paralelne veze kondenzatora, jednaka je zbiru kapacitivnosti pojedinačnih kondenzatora.

Paralelnim vezivanjem kondenzatora, **POVEĆAVA** se kapacitivnost.

Redna veza kondenzatora



Posmatrajmo npr. **dva kondenzatora kapacitivnosti** C_1 [F] i C_2 [F], **vezana redno** i priključena na napon U [V].

Naelektrisanja oba kondenzatora su ista: $Q_1 = Q_2 = Q$

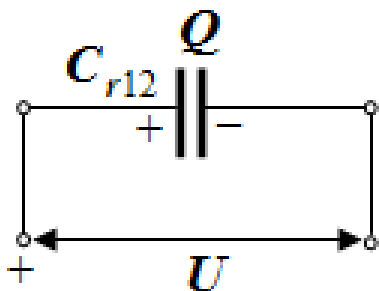
Naponi na krajevima kondenzatora su različiti i jednaki :

$$U_1 = \frac{Q}{C_1}, U_2 = \frac{Q}{C_2}$$

Ukupan napon jednak je zbiru napona na krajevima redno vezanih kondenzatora:

$$U = U_1 + U_2$$

Zamjenimo ovu vezu **ekvivalentnim kondenzatorom**, koji pri istom naponu U ima isto naelektrisanje Q .



Kapacitivnost ekvivalentnog kondenzatora, odnosno kapacitivnost dva redno vezana kondenzatora je:

$$C_{r12} = \frac{Q}{U} = \frac{Q}{U_1 + U_2} = \frac{Q}{\frac{Q}{C_1} + \frac{Q}{C_2}} = \frac{1}{\frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2}}$$

Ekvivalentna kapacitivnost dva redno vezana kondenzatora jednaka je:

$$\frac{1}{C_{r12}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} \quad \text{ili} \quad C_{r12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Redna veza N kondenzatora,

priključea na napon U

Kapacitivnosti pojedinačnih kondenzatora su: $C_i, i = 1, 2, 3, \dots, N$

Kondenzatori su vezani redno i priključeni na napon U

Naelektrisanja svih kondenzatora su ista: $Q_i = Q$

Q je i naelektrisanje ekvivalentnog kondenzatora.

Naponi na pojedinačnim kondenzatorima su različiti i iznose : $U_i = \frac{Q}{C_i}$

Ukupan napon redne veze je: $U = \sum_{i=1}^N U_i$

U je i napon na krajevima ekvivalentnog kondenzatora.

Kapacitivnost ekvivalentnog kondenzatora ($C_r = \frac{Q}{U}$), odnosno ekvivalentna kapacitivnost N redno vezanih kondenzatora je:

$$\frac{1}{C_r} = \sum_{i=1}^N \frac{1}{C_i}$$

Recipročna vrijednost kapacitivnost redne veze kondenzatora, jednaka je zbiru recipročnih vrijednosti kapacitivnosti pojedinačnih kondenzatora.

Rednim vezivanjem kondenzatora, **SMANJUJE** se kapacitivnost.

Dielektrična čvrstoća kondenzatora

je jačina polja pri kojoj nastaje proboj u dielektriku kondenzatora:

$$E_{pr} \left[\frac{V}{m} \right] = \frac{U_{pr}}{d},$$

- U_{pr} [V] je probojni napon,
- d [m] je razmak između obloga kondenzatora.

Vrijednost dielektrične čvrstoće zavisi od vrste dielektrika. Za vazduh je: $E_{pr} = 3 \cdot 10^6 \frac{V}{m}$
Za većinu drugih dielektrika ona je veća.

U praksi se dielektrična čvrstoća najčešće izražava u: $\left[\frac{kV}{cm} \right]$

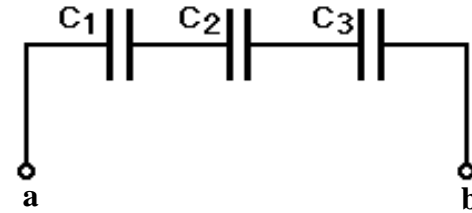
Elektrostatička energija kondenzatora

Opterećen kondenzator sadrži određenu količinu **elektrostatičke (električne) energije** koja se izračunava preko jednog od tri ekvivalentna izraza:

$$W_e = \frac{1}{2} Q \cdot U, \quad W_e = \frac{1}{2} C \cdot U^2, \quad W_e = \frac{1}{2} \frac{Q^2}{C}$$

Jedinica za energiju je: džul, [J]

1. **Kolika je ekvivalentna kapacitivnost kondenzatora vezanih kao na slici ($C_{ab}=?$), ako je: $C_1=2 \mu F$, $C_2=2 \mu F$, $C_3=1 \mu F$?**

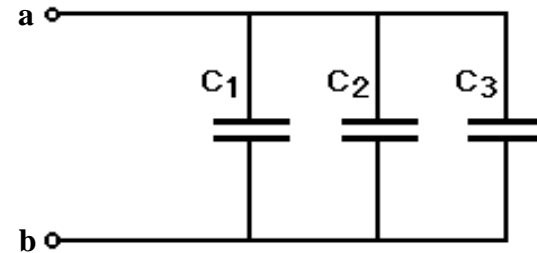


Rješenje

Kondenzatori su vezani REDNO, pa je:

$$\frac{1}{C_{r123}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{2} + \frac{1}{2} + \frac{1}{1} = 2 \left[\frac{1}{\mu F} \right] \Rightarrow C_{ab} \equiv C_{r123} = \frac{1}{2} = 0,5 \mu F$$

1. **Kolika je ekvivalentna kapacitivnost kondenzatora vezanih kao na slici ($C_{ab}=?$), ako je: $C_1=2 \mu F$, $C_2=2 \mu F$, $C_3=1 \mu F$?**



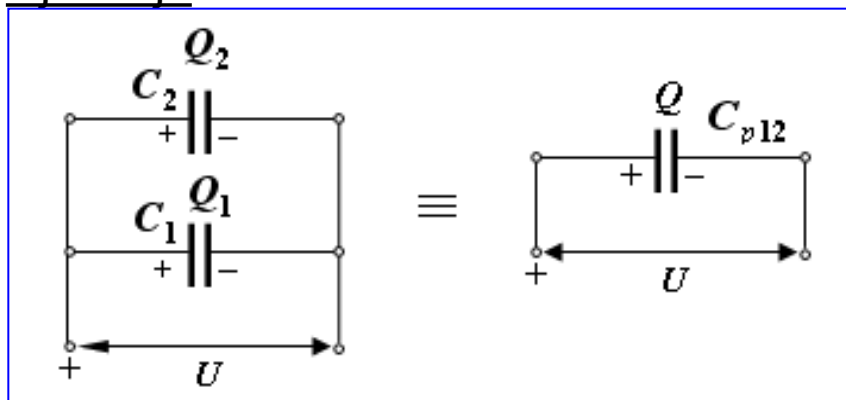
Rješenje

Kondenzatori su vezani PARALELNO, pa je:

$$C_{p123} = C_1 + C_2 + C_3 = 2 + 2 + 1 = 5 \mu F \Rightarrow C_{ab} \equiv C_{p123} = 5 \mu F$$

3. Dva paralelno vezana kondenzatora imaju ekvivalentnu kapacitivnost 12nF , a jedan od kondenzatora ima kapacitivnost 2nF . Naći naelektrisanja kondenzatora, ako je napon na kondenzatorima $U=6\text{V}$.

Rješenje



$$C_{p12} = C_1 + C_2$$

$$C_2 = C_{p12} - C_1 = 12\text{nF} - 2\text{nF} = 10\text{nF}$$

Naponi na oba kondenzatora su isti, $U=6\text{V}$.

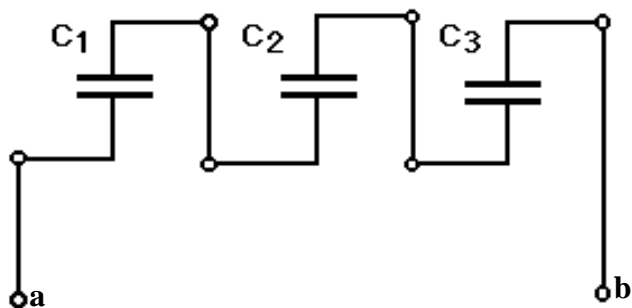
Naelektrisanja kondenzatora iznose:

$$Q_1 = C_1 \cdot U = 2 \cdot 10^{-9} \cdot 6 = 12 \cdot 10^{-9} \text{C} = 12\text{nC}$$

$$Q_2 = C_2 U = 10 \cdot 10^{-9} \cdot 6 = 60 \cdot 10^{-9} \text{C} = 60\text{nC}$$

4. Kolika je ekvivalentna kapacitivnost kondenzatora vezanih kao na slici ($C_{ab}=?$), ako je: $C_1=4\ \mu\text{F}$, $C_2=8\ \mu\text{F}$, $C_3=12\ \mu\text{F}$?

Rješenje

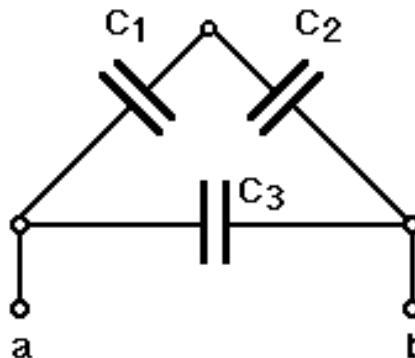


Sva tri kondenzatora su u odnosu na priključke $a-b$ vezana redno, pa je ukupna kapacitivnost

$$\frac{1}{C_{r123}} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{4} + \frac{1}{8} + \frac{1}{12} = \frac{6+3+2}{24} = \frac{11}{24} \left[\frac{1}{\mu\text{F}} \right]$$

$$\Rightarrow C_{ab} \equiv C_{r123} = \frac{24}{11} = 2,18\ \mu\text{F}$$

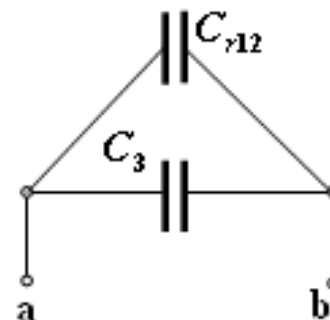
5. Odrediti ekvivalentnu kapacitivnost $C_{ab}=?$, ako su kondenzatora vezana kao na slici, a vrijednosti kapacitivnosti su: $C_1 = 4 \mu F$, $C_2 = 4 \mu F$, $C_3 = 12 \mu F$.



Rješenje

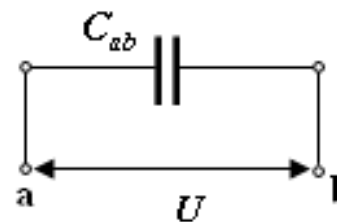
U odnosu na priključke **a-b** kondenzatori C_1 i C_2 su vezani redno pa ih zamjenjujemo ekvivalentnim kondenzatorom, kapacitivnosti:

$$C_{r12} = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2} = \frac{4 \cdot 4}{4 + 4} = 2 \mu F$$



U odnosu na priključke **a-b**, kondenzatori C_{r12} i C_3 su vezani paralelno, pa je tražena ekvivalentna kapacitotivnost:

$$C_{ab} = C_{r12} + C_3 = 2 + 12 = 14 \mu F$$



Pitanja-3

1. ***Napisati izraz za kapacitivnost kondenzatora (pri naponu U naelektrisanje kondenzato je Q) i jedinice za sve veličine u tom izrazu.***
2. ***Kako će se promjeniti kapacitivnost pločastog kondenzatora ako se rastojanje između ploča smanji dva puta ?***
3. ***Kako će se promjeniti kapacitivnost pločastog kondenzatora ako se obloge kondenzatora zamijene oblogama dva puta manje površine ?***
4. ***Kako će se promjeniti kapacitivnost pločastog kondenzatora ako se umjesto vazduha između obloga kondenzatora postavi dielektrik relativne dielektrične konstante 2,5.***
5. ***Izvesti izraz za ekvivalentnu kapacitivnost dva redno vezana kondenzatora kapacitivnosti C_1 i C_2 .***
6. ***Izvesti izraz za ekvivalentnu kapacitivnost dva paralelno vezana kondenzatora kapacitivnosti C_1 i C_2 .***