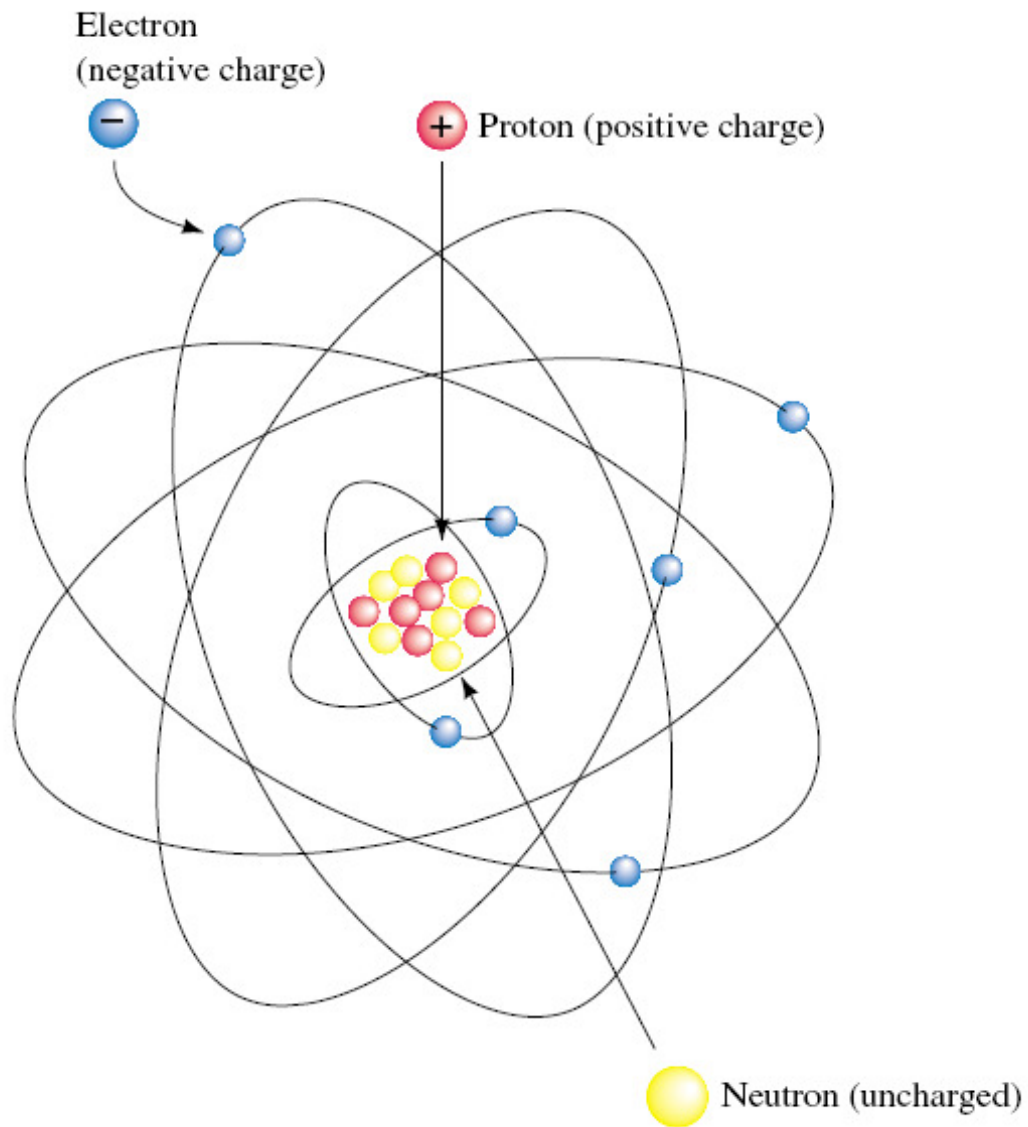


Osnovna struktura atoma

- Borov model atoma



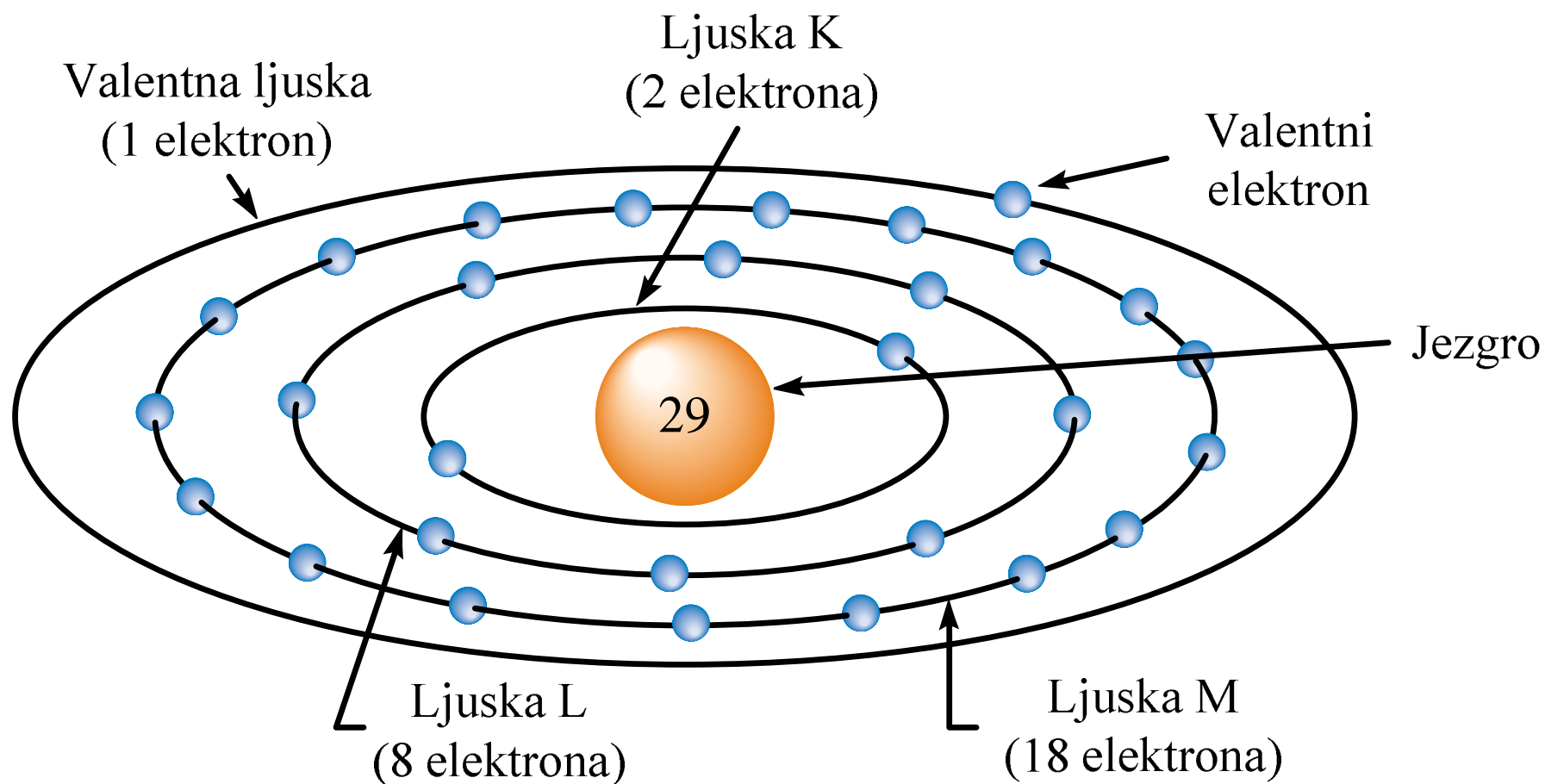
Osnovna struktura atoma

- Atom se sastoji od jezgre i omotača
- Jezgro čine protoni i neutroni koji su električki neutralni
- Elektroni su negativne naelektrisanja (-)
- Protoni su pozitivna naelektrisanja (+)
- Svaki atom u normalnom stanju ima isti broj elektrona i protona pa je **električki neutralan**
- Elektroni kruže oko jezgra po sfernim orbitama koje se nazivaju ljuske i označavaju se sa K, L, M, N, ...

Osnovna struktura atoma

- Svaka od ljuski može da sadrži samo određen broj elektrona:
 $K=2$, $L=8$, $M=18$, ...
- Najudaljenija ljuska naziva se **valentna** a elektroni u toj ljuski **valentni elektroni**
- Element ne može imati više od 8 valentnih elektrona
- Broj valentnih elektrona nekog elementa direktno utiču na električne osobine tog elementa

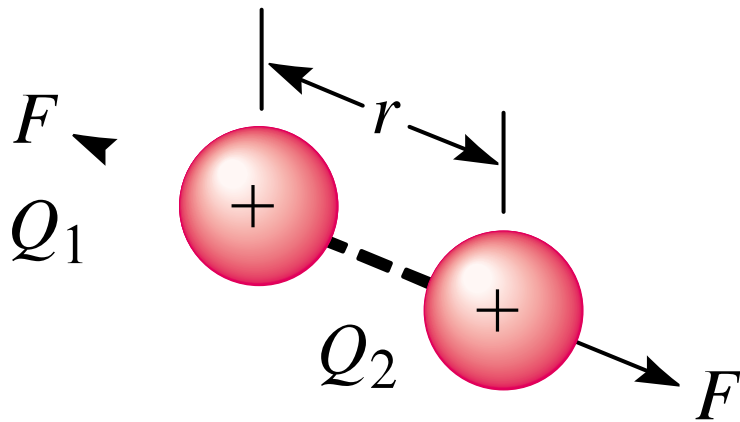
Osnovna struktura atoma



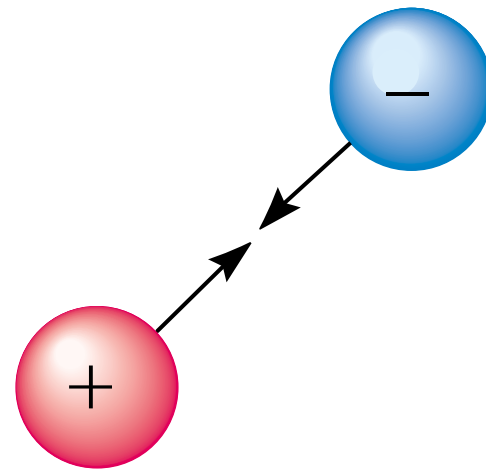
Izgled atoma bakra sa orbitalnim ljuskama

Pojam električnog opterećenja (naelektrisanja)

- Električno opterećenje je fundamentalno svojstvo materije koje se ne može stvoriti niti uništiti.
- Postoje dva tipa naelektrisanja: **pozitivno** i **negativno**
- Dva naelektrisanja se međusobno privlače ako su suprotnog polariteta ili međusobno odbijaju ako su istog polariteta



a) naelektrisanja istog tipa se odbijaju

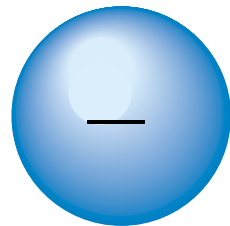


b) naelektrisanja različitog tipa se privlače

Pojam elementarnog opterećenja (naelektrisanja)

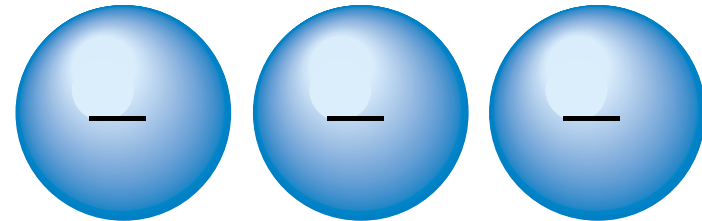
- Elementarno naelektrisanje je naelektrisanje jednog elektrona i u SI sistemu označava se sa Q_e i ima vrijednost $1.6 \times 10^{-19} \text{ C}$ (C- Kulona)
- U opštem slučaju pojam naelektrisanje Q često označava ukupno naelektrisanje grupe elektrona i jednako je $Q = n \times Q_e$ [C] , gdje je n- broj elektrona

Q_e



elementarno
naelektrisanje

$Q = n \times Q_e$



negativno
naelektrisanje

Jedinica za količinu naelektrisanja

- Jedinica za količinu naelektrisanje je **1 C** (Kulon)
- Kažemo da je kroz provodnik protekla količina naelektrisanja od **1 C**, što odgovara **6.24×10^{18} elektrona**
- Ako sa nekog tijela **odvedemo** 6.24×10^{18} elektrona ono će biti električki pozitivno i imaaće naelektrisanje od $Q = +1 \text{ C}$
- Ako na neko tijelo **dovedemo** 6.24×10^{18} elektrona ono će biti električki negativno i imaće naelektrisanje od $Q = -1 \text{ C}$

Količina naelektrisanja - primjer

Sa neutralno naelektrisanog tijela prvo je odvojeno je $1.7 \mu\text{C}$ negativnog naelektrisanja, a zatim je dodano 18.7×10^{11} electrona. Kakvo je naelektrisanje tijela?

Rješenje

$$Q_{\text{initial}} = 0 \text{ C}$$

Pošto je uklonjeno $1.7 \mu\text{C}$ negativnog naelektrisanja to je tijelo ostalo pozitivno naelektrisano sa:

$$Q_f = + 1.7 \mu\text{C}.$$

Količina naelektrisanja - primjer

Sada je na tijelo dodano $n=18.7 \times 10^{11}$ elektrona, što je ekvivalentno količini naelektrisanja:

$$Q_2 = n \times Q_e = 18.7 \times 10^{11} \times (-1.6 \times 10^{-19}) = -0.3 \mu\text{C}$$

Konačno je:

$$Q = Q_1 + Q_2 = +1.7 \mu\text{C} + (-0.3 \mu\text{C}) = +1.4 \mu\text{C}$$

Kulonov zakon

- Postojanje sile između naelektrisanja eksperimentalno je dokazao i odredio francuski naučnik **Čarls Kulon**
- Matematička formulacija Kulonovog zakona:

$$F = k \frac{Q_1 Q_2}{r^2} \text{ [Njutn, N]}$$

- $k=9 \times 10^9 \text{ [Nm}^2/\text{C}^2]$ - konstanta proporcionalnosti
- Q_1 i Q_2 - vrijednost naelektrisanja
- r - rastojanje između naelektrisanja

Kulonov zakon- dijalektrična konstanta

- Konstanta proporcionalnosti **k** se izražava preko dielektrične konstante **ε** kao:

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

- Dielektrična konstanta **ε** ukazuje da Kulonova sila, osim od količina naelektrisanja tijela Q_1 , Q_2 i rastojanja r između tih tijela, zavisi i od sredine u kojoj se tijela nalaze
- Najmanju dielektričnu konstantu ima prazan prostor -vakum i ona iznosi:

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$$

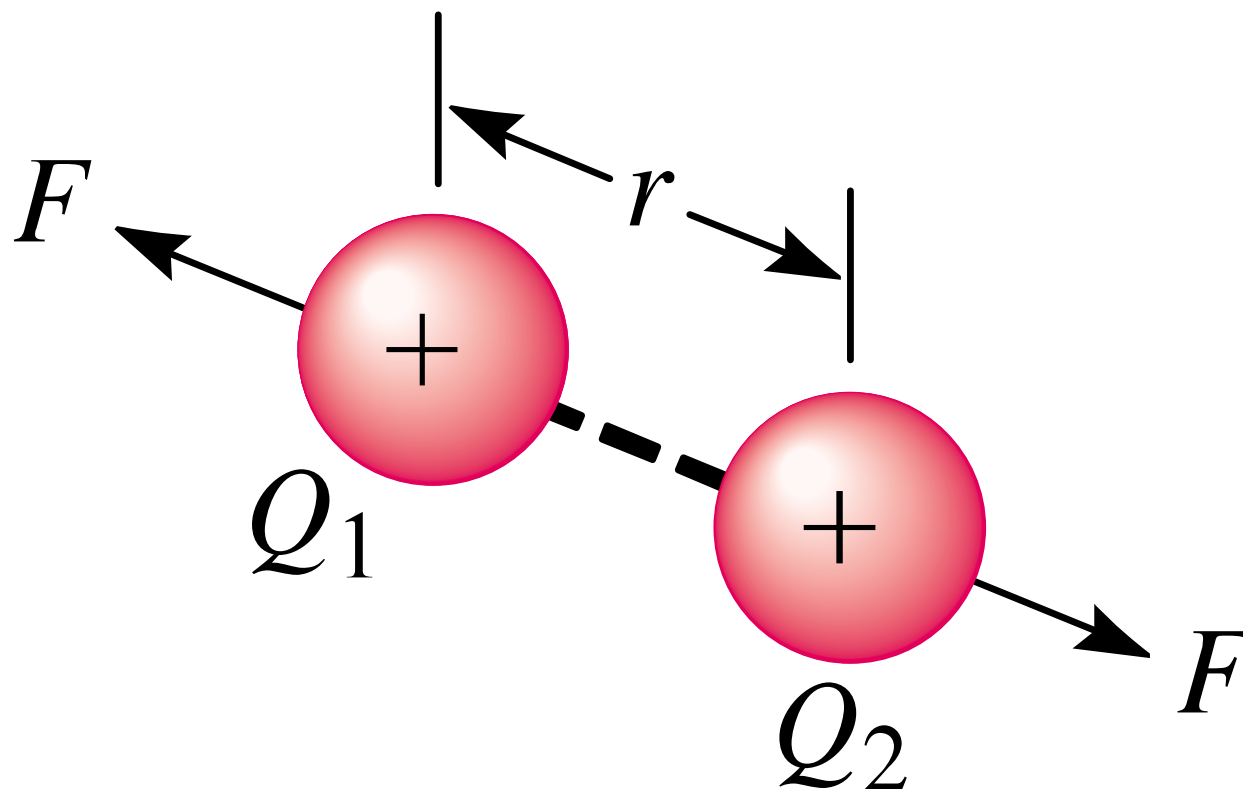
Kulonov zakon- dijalektrična konstanta

- Sve ostale sredine imaju dielektričnu konstantu ϵ veću od ϵ_0
- Odnos $\epsilon/\epsilon_0 = \epsilon_r$ naziva se relativna dielektrična konstanta

sredina	ϵ_r
vazduh	1,0006
transformatorsko ulje	2,2 - 2,5
čista voda	78
elektrotehnički porcelan	5,5 - 6,0
staklo	4 - 17
guma	3,0 - 6,0

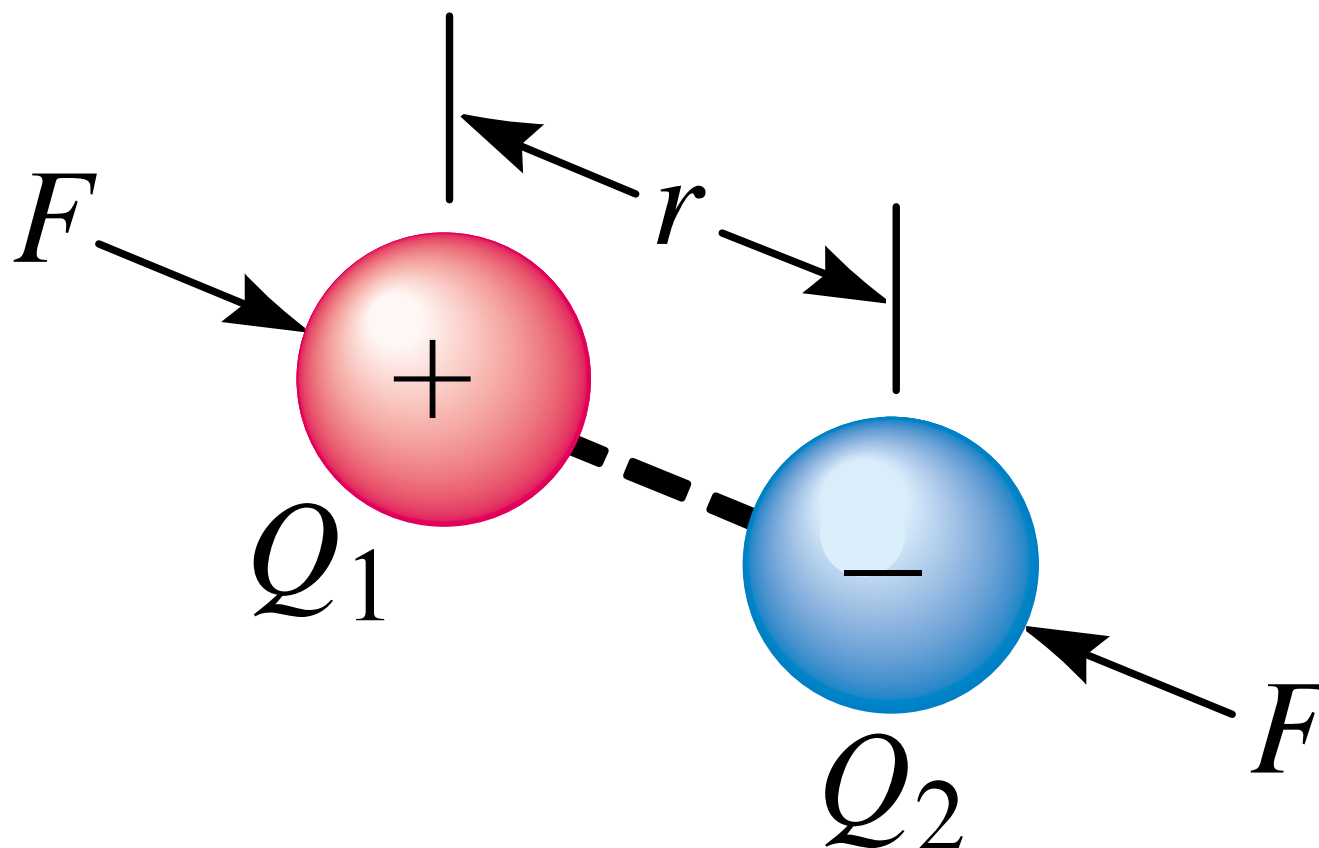
Vrijednosti relativne dielektrične konstante za neke karakteristične sredine

Kulonov zakon



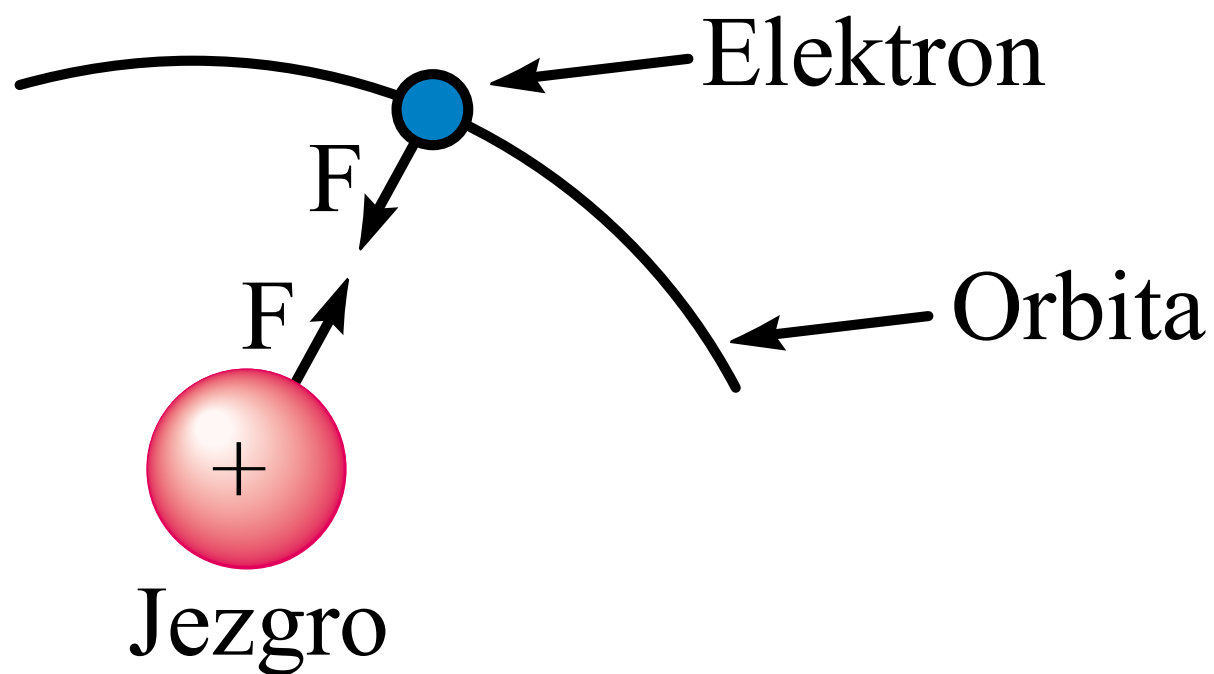
- Između naelektrisanja istog tipa javlja se odbojna sila koja teži da ih udalji

Kulonov zakon



- Između naelektrisanja različitog tipa javlja privlačna sila koja teži da spoji naelektrisanja

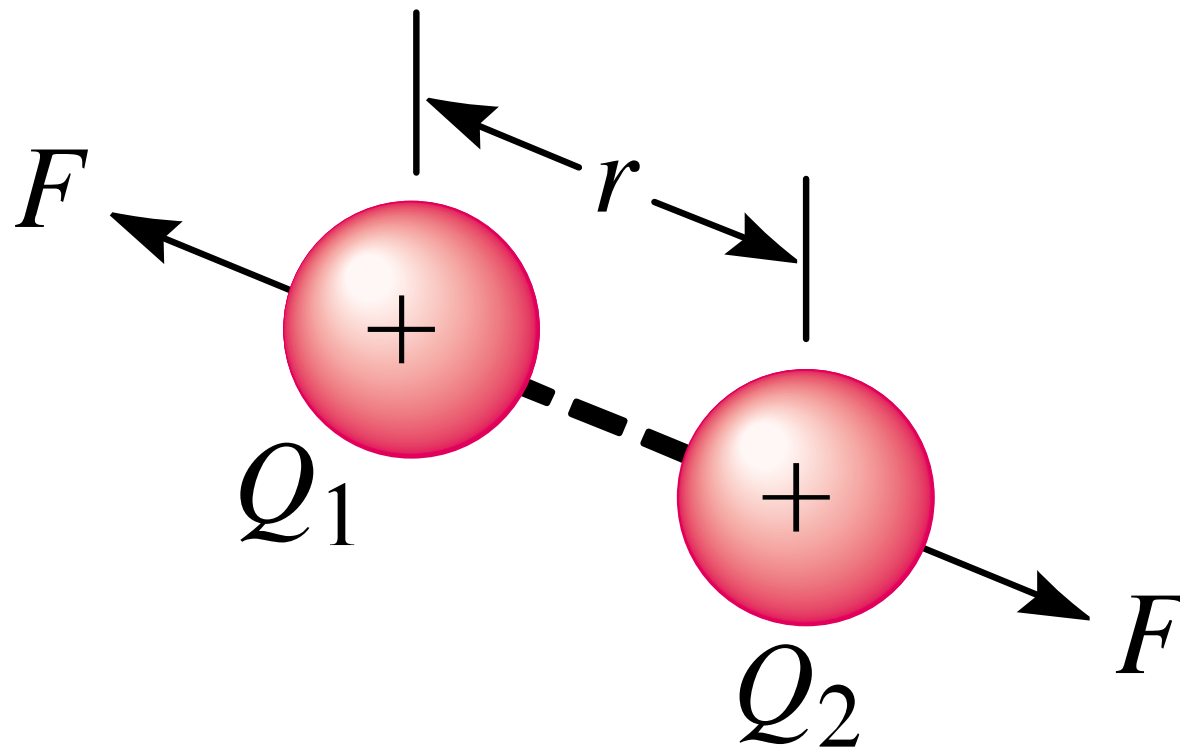
Kulonov zakon



- Privlačna Kulonova sila obezbijuje električnu neutralnost atoma

Kulonov zakon - primjer

- Dva pozitivna naelektrisanja $Q_1=2\ \mu\text{C}$ and $Q_2=12\ \mu\text{C}$ nalaze se na međusobnom rastojanju od $r=10\ \text{mm}$. Izračunati silu između njih. Da li je ona privlačna ili odbojna?



Kulonov zakon - primjer

Rješenje

Na osnovu Kulonovog zakona uvrštavanjem u jednačinu dobijamo traženu silu:

$$F = k \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{2 \cdot 10^{-6} \cdot 12 \cdot 10^{-6}}{(10 \cdot 10^{-3})^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{24 \cdot 10^{-12}}{100 \cdot 10^{-6}}$$

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{24 \cdot 10^{-6}}{100} = 2,16 \cdot 10^3 = 2160 \text{ N}$$

Sila je odbojna pošto su naelektrisanja istog znaka.

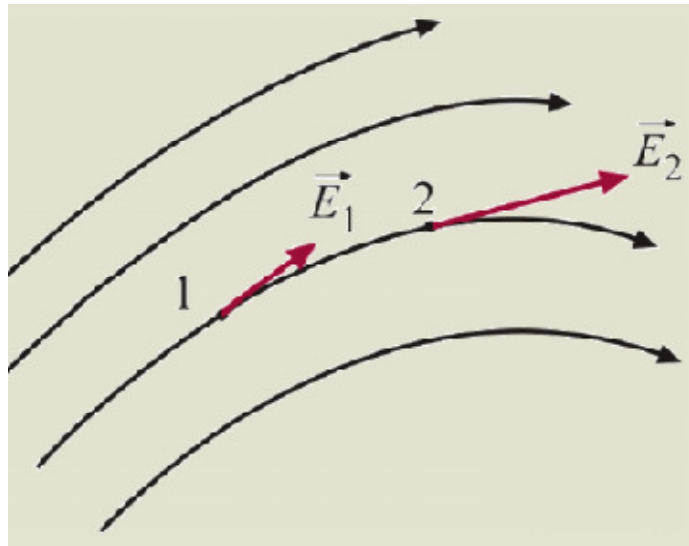
Pojam električnog polja

- U okolini naelektrisanja dolazi do posebnog stanja materijalne sredine što se označava kao postojanje **električnog polja**
- Postojanje električnog polja u okolini naelektrisanja ispoljava se preko **Kulonove sile F**.
- Intezitet električnog polja **E** jednak je količniku **Kulonove sile F**, kojom polje deluje na pozitivno naelektrisanje i tog naelektrisanje **Q₀**:

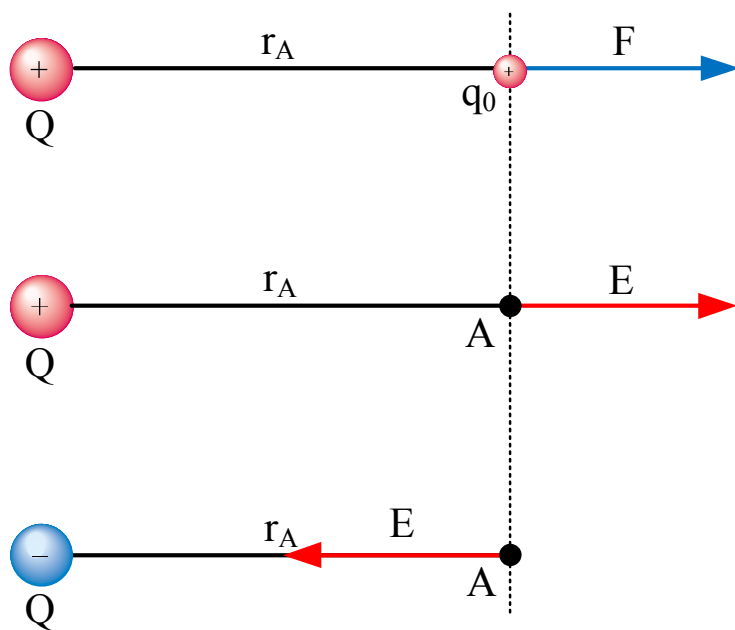
$$E = \frac{F}{Q_0} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Linije električnog polja

- Ovo polje je izvorno (potencijalno) i prikazuje se linijama polja u prostoru oko naelektrisanja od kojeg to polje potiče
- Linije polja **izviru iz pozitivnog** naelektrisanja, a **poniru u negativno naelektrisanje**.
- **Tangente** na linije polja određuju pravac vektora jačine električnog polja E u datoj tački prostora



Električno polje tačkastog naelektrisanja

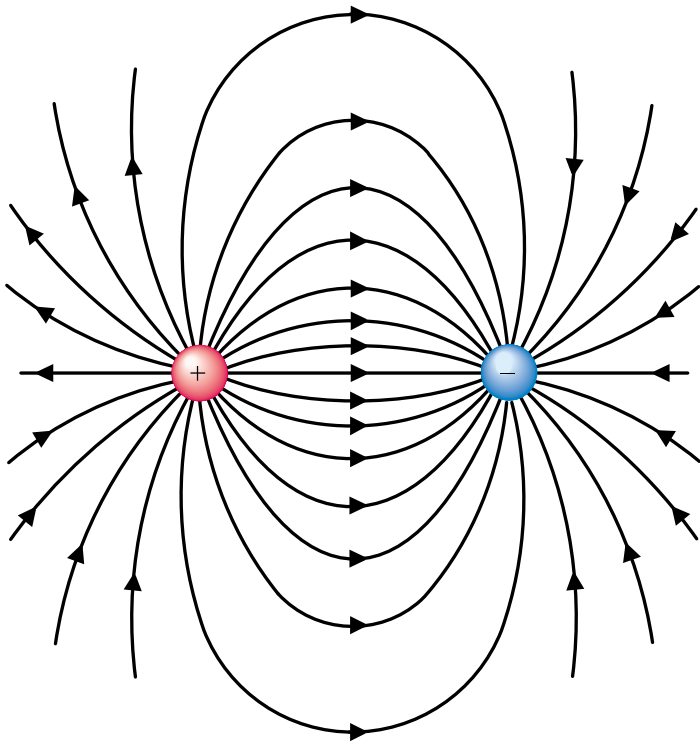


- **Intezitet električnog polja** u nekoj tački prostora zavisi od količine naelektrisanja Q koje je izvor polja i od kvadrata rastojanja r do date tačke prostora
- Smijer vektora električnog polja zavisi od znaka naelektrisanja Q
- Intezitet polja tačkastog naelektrisanja u vakumu dat je relaciom:

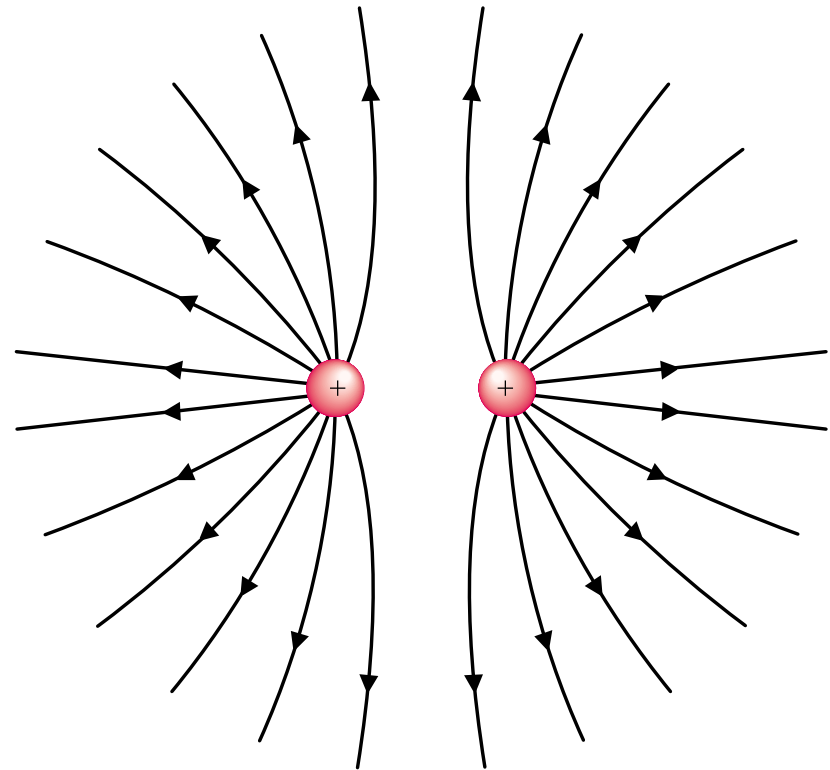
$$E = \frac{F}{Q} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \left[\frac{V}{m} \right]$$

Linije polja tačkastog naelektrisanja

Linije polja za slučaj raznoimenih tačkastih naelektrisanja



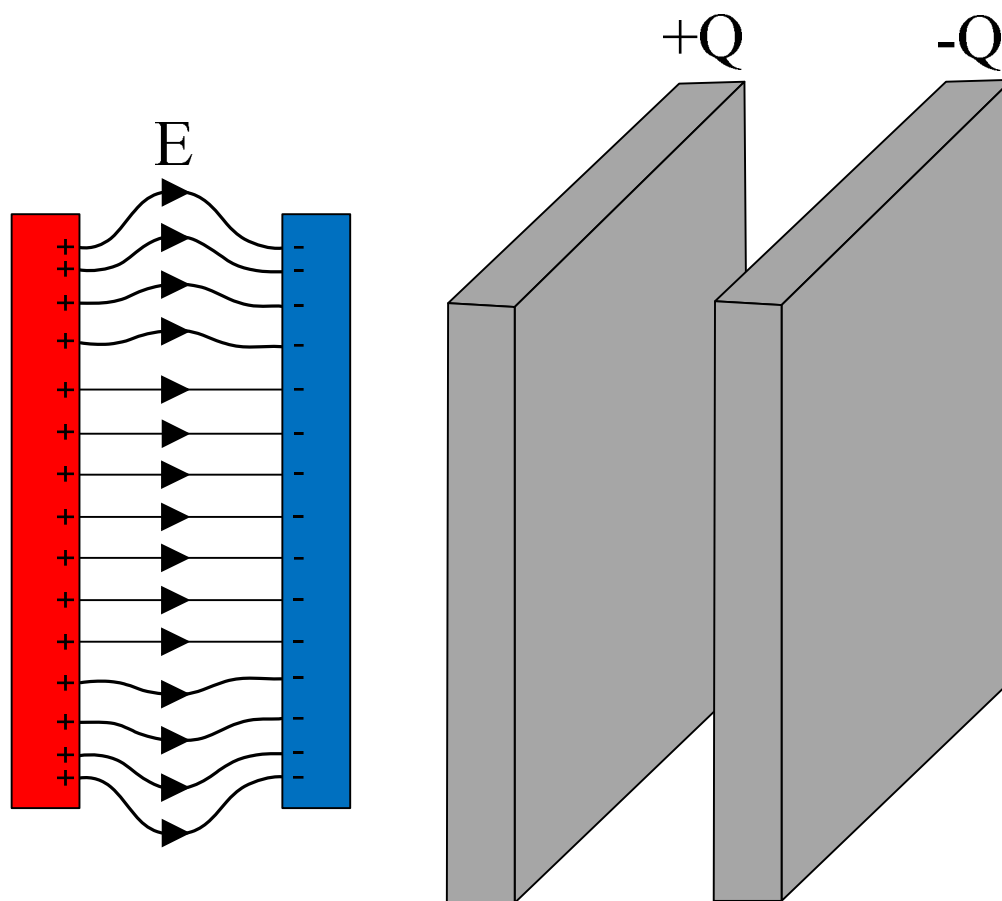
Linije polja za slučaj istoimenih tačkastih naelektrisanja



- Broj linija sila električnog polja koji izvire iz **pozitivnog**, odnosno uvire u **negativno** naelektrisanje, zavisi od veličine naelektrisanja
- Linije sila električnog polja se ne presecaju međusobno

Linije homogenog električnog polja

- **Homogeno električno polje** postoji između dvije paralelne metalne ploče, naelektrisane istom količinom naelektrisanja Q suprotnog znaka
- Linije homogenog polja međusobno su **paralelne** i **normalne** u odnosu na ploče, gustina i rastojanje između njih svuda su isti

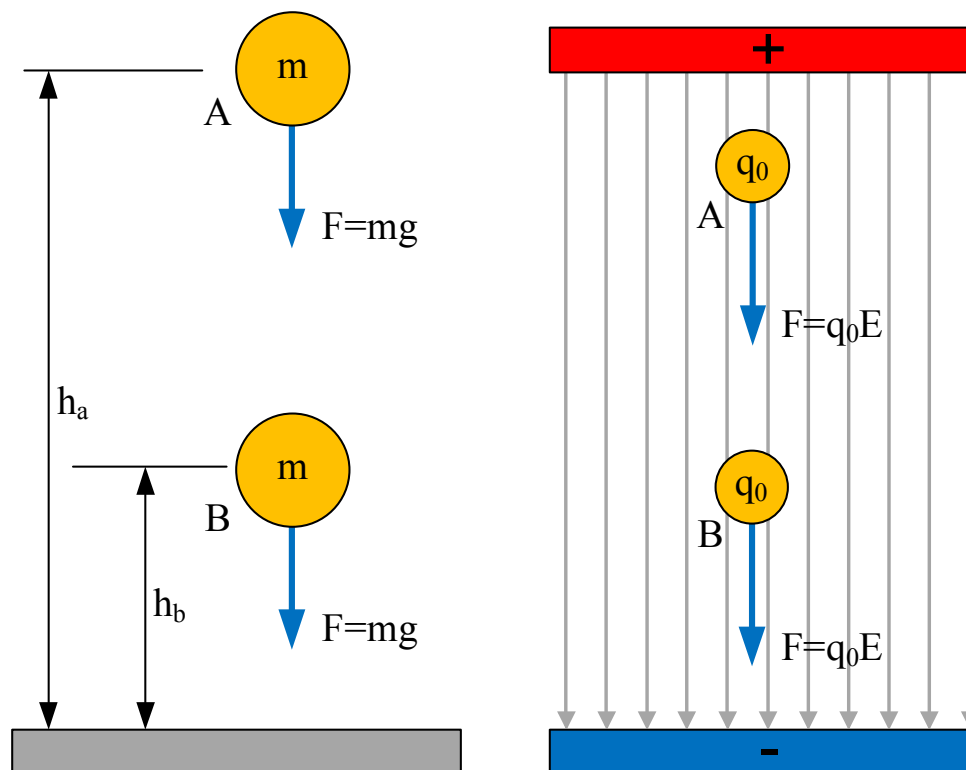


Električni potencijal i električna potencijalna energija

- Kao što tijela imaju potencijalnu energiju u polju sile gravitacije, tako i naelektrisana tela imaju **potencijalnu energiju** u električnom polju **E**
- Kao što gravitaciona sila izvrši rad pri pomeranju tijela u gravitacionom polju (on je jednak promeni gravitacione potencijalne energije tela), i **rad sile električnog polja F_e** na pomjeranju naelektrisanja **q_0** u (homogenom) električnom polju jednak je razlici **električne potencijalne energije E_p** koju to naelektrisanje poseduje u tačkama polja između kojih se pomeranje vrši

$$A = E_{pA} - E_{pB}$$

$$A = - (E_{pB} - E_{pA}) = -\Delta E_p$$



Električni potencijal i električna potencijalna energija

- Pošto rad električne sile zavisi od količine naelektrisanja koja se pomjera (q_0), korisno je izražavati **rad po jedinici naelektrisanja** koje se premješta u polju:

$$\frac{A_{AB}}{q_0} = \frac{E_{pA}}{q_0} - \frac{E_{pB}}{q_0}$$

- Veličine na desnoj strani su **električne potencijalne energije po jedinici naelektrisanja** u datim tačkama električnog polja. To je tzv. **električni potencijal V**

$$V = \frac{E_p}{q_0}$$

- Potencijal električnog polja** u datoj tački je potencijalna energija koju u toj tački posjeduje jedinično pozitivno naelektrisanje i data je izrazom:

$$V = \frac{1}{4\pi\epsilon} \frac{Q}{r} [V]$$

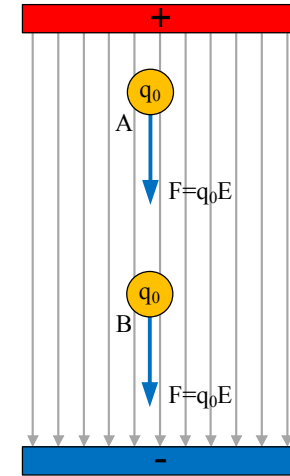
- Potencijal je karakteristika **električnog polja** u datoj tački prostora. Jedinica za potencijal je volt ([V]).

Električni napon

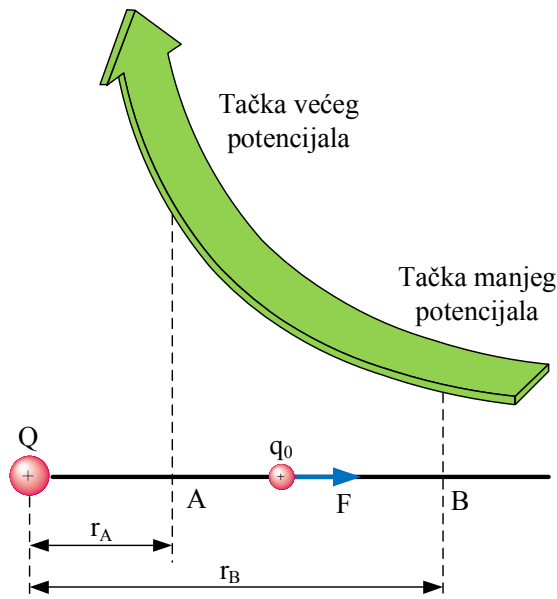
- Električni napon U** je jednak razlici potencijala ΔV između dvije tačke električnog polja:

$$\frac{\Delta E_p}{q_0} = \frac{E_{pB}}{q_0} - \frac{E_{pA}}{q_0} = V_B - V_A$$

$$U_{BA} = V_B - V_A = - \frac{A_{AB}}{q_0}$$



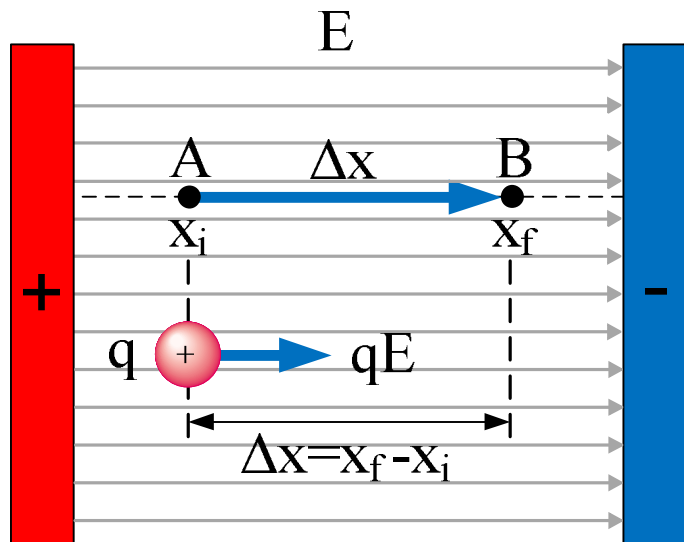
- Električni napon** ili **razlika potencijala** između tačaka B i A je rad koji treba izvršiti da bi se jedinično pozitivno naelektrisanje premjestilo iz tačke A u tačku B



- Pozitivno naelektrisanje ubrzava sa mjesta višeg potencijala ka mjestu nižeg potencijala
- Tačka A je na **većem** potencijalu od tačke B, tj. Potencijalna energija pozitivnog naelektrisanja je veća u tački A nego u tački B, ako polje vrši **pozitivan rad** na premještanju pozitivnog naelektrisanja iz A u B.

Električni napon

- **Primer:** Razlika potencijala između dvije ravne, paralelne i suprotno naelektrisane ploče (homogeno električno polje), koje su na rastojanju d
- Potencijal pozitivno naelektrisane ploče je viši od potencijala negativne ploče. Linije sila električnog polja su usmjerene uvijek sa mesta višeg ka mjestu nižeg potencijala.
- Rad A_{AB} koji izvrši polje pri premještanju probnog naelektrisanja sa mjesta **većeg** potencijala (veće potencijalne energije) ka mjestu **nižeg** potencijala (manje potencijalne energije) kada se obračuna po jedinici naelektrisanja, jednak je negativnoj razlici potencijala ($-U_{BA}$):



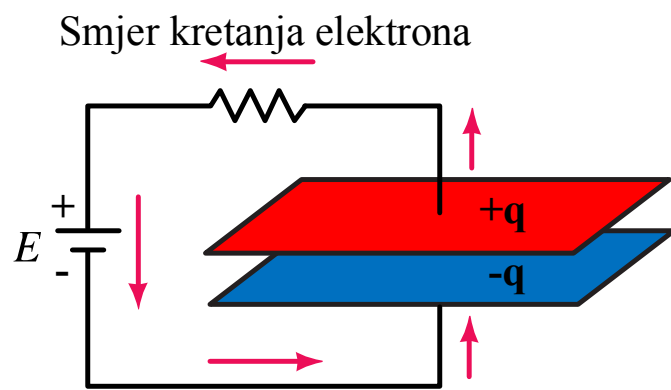
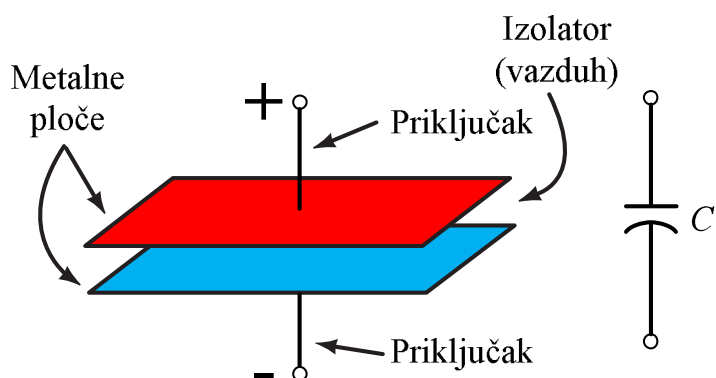
$$U_{BA} = V_B - V_A = -\frac{A_{AB}}{q} = -\frac{1}{q} \int_{x_1}^{x_2} F dx = -\int_{x_1}^{x_2} E dx = -Ed$$

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

$$V_A > V_B \Rightarrow U_{AB} > 0$$

Kondenzator i kapacitet kondenzatora

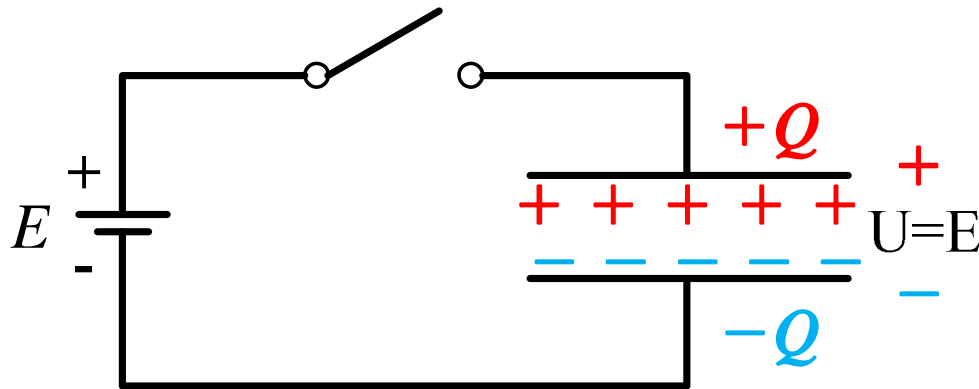
- **Kondenzator** je sistem od dva provodnika na bliskom međusobnom rastojanju naelektrisana jednakim količinama naelektrisanja suprotnog znaka ($+q$ i $-q$)
- Najpoznatiji tip kondenzatora je pločasti kondenzator koji se sastoji od dvije metalne ploče odvojene izolatorom (dijalektrikom)



- Metalne ploče sadrže veliki broj **slobodnih elektrona** i u normalnom stanju ploče su električki neutralne
- Priključenjem kondenzatora na **bateriju** pod dejstvom **električnog polja baterije** **E** dolazi do razdvajanja **pozitivnog** i **negativnog** naelektrisanja na pločama
- Kada se proces razdvajanja naelektrisanja na pločama završio kažemo da se kondenzator **napunio** i da se na njegovim pločama nalazi količina naelektrisanja ($+q$ i $-q$)

Kondenzator i kapacitet kondenzatora

- I ako odspojimo bateriju nagomilana **količina naelektrisanja** ($+Q$ i $-Q$) na pločama ostaje, tj. **kondezator** ostaje napunjen. Kažemo da kondezator ima sposobnost gomilanja naelektrisanja
- **Količina naelektrisanja Q** koje može da se nagomila na pločama kondezatora zavisi od **priključenog napona baterije U** .
- Eksperimentalno je dokazano da između količine naelektrisanja Q i priključenog napona baterije U postoji linearna zavisnost.



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

Definicija kapaciteta kondenzatora

- Konstanta proporcionalnosti **C** je definisana kao **kapacitet** kondenzatora
- Kapacitet kondenzatora predstavlja njegovu **sposobnost gomilanja naelektrisanja Q** i zavisi od njegovih geometrijskih karakteristika i tipa sredine (zavisi od dimenzija obloga, od debljine i vrste dielektričnog materijala između njih).

Kondenzator ima kapacitet 1F (Farad) ako jedan 1C (Kulon) nagomilanog naelektrisanja na njegovim krajevima stvori razliku potencijala od jednog volta 1V.

- Farad vrlo velika jedinica, vrijednosti kondenzatora su obično u području mikrofara (μF), nanofara (nF), ili pikofara (pF)

Kapacitet kondenzatora

Primjer:

EXAMPLE 10–1

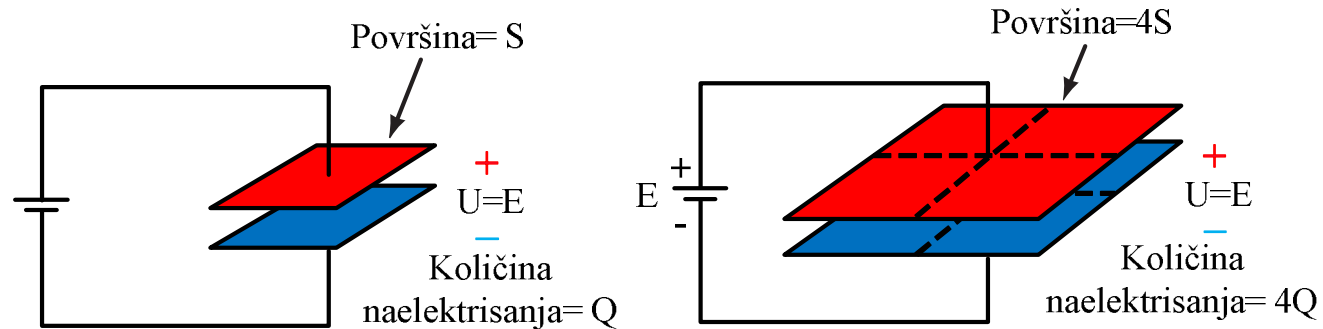
- How much charge is stored on a $10\text{-}\mu\text{F}$ capacitor when it is connected to a 24-volt source?
- The charge on a 20-nF capacitor is $1.7\text{ }\mu\text{C}$. What is its voltage?

Solution

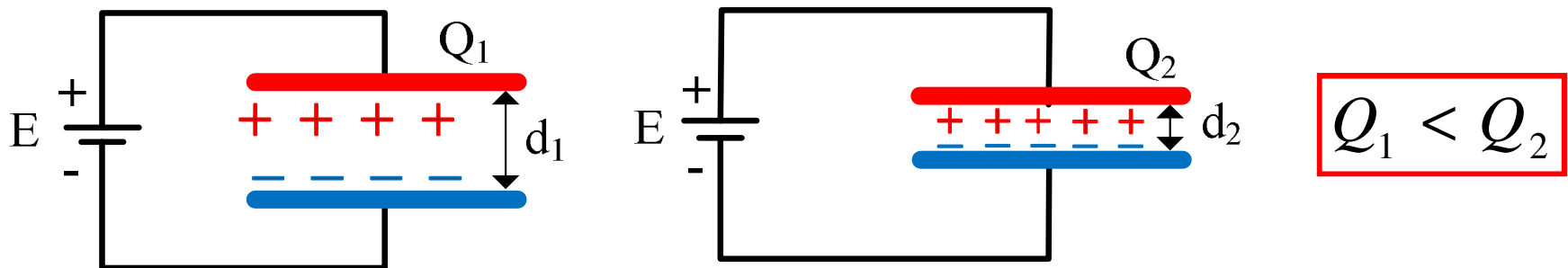
- From Equation 10–1, $Q = CV$. Thus, $Q = (10 \times 10^{-6}\text{ F})(24\text{ V}) = 240\text{ }\mu\text{C}$.
- Rearranging Equation 10–1, $V = Q/C = (1.7 \times 10^{-6}\text{ C})/(20 \times 10^{-9}\text{ F}) = 85\text{ V}$.

Kapacitet pločastog kondenzatora

- Kapacitet pločastog kondenzatora C direktno je proporcionalan površini ploča S , tj. što je veća površina ploča više se naelektrisanja Q može nagomitati na njih.



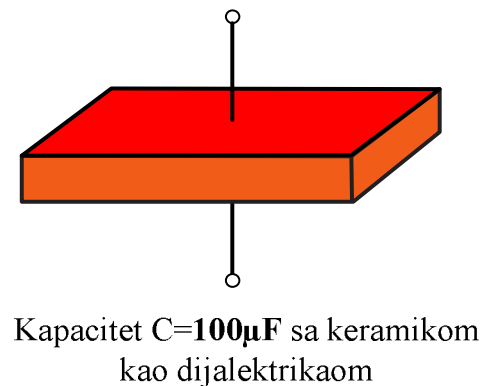
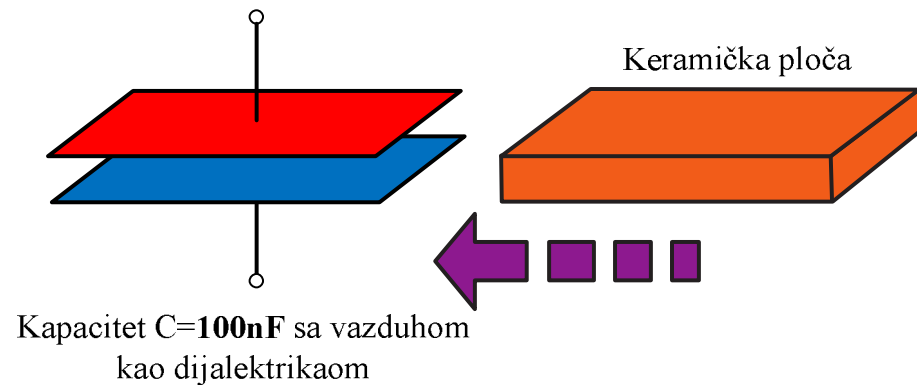
- Kapacitet pločastog kondenzatora C obrnuto je proporcionalan rastojanju između ploča d , tj. što je rastojanje između ploča veće manja se količina naelektrisanja Q može nagomitati na njih.



Kapacitet pločastog kondenzatora

- Kapacitet pločastog kondenzatora **C** **direktno zavisi** od **dijalektrika ϵ** (materijala) koji se nalazi između njegovih ploča
- Dijalektrične osobine materijala se iskazuju preko **relativne dijalektrične konstante ϵ_r** koja pokazuje koliko je neki materijal bolji izolator od vazduha (ϵ_0)

Materijal	(ϵ_r)
Vakuum	1
Vazduh	1.0006
Keramika	30–7500
Liskun	5.5
Poliester	3
Ulje	4
Papir	2.2
Polistiren	2.6
Teflon	2.1



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

$$\epsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$$

Kapacitet pločastog kondenzatora

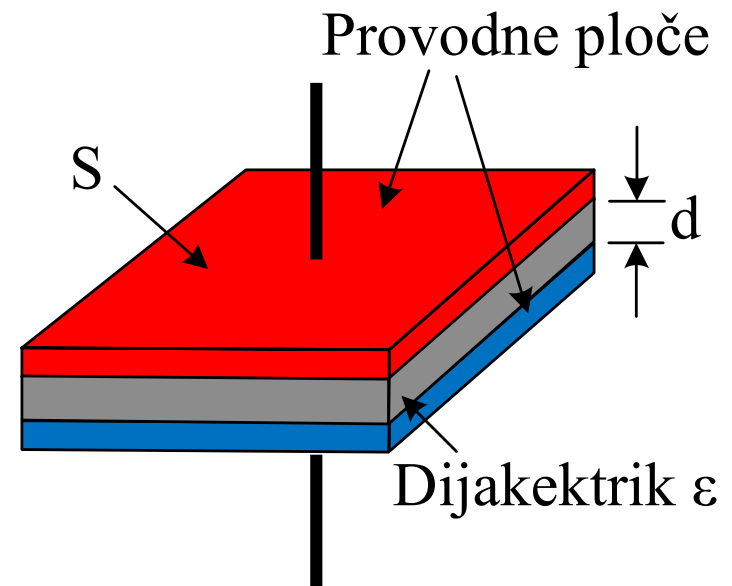
- Konačno izraz za kapacitet pločastog kondenzatora **C** je:

$$C = \varepsilon \frac{S}{d} [1F (Farad)]$$

ε - dijaletrična konstanta sredine

S – površina ploča kondenzatora

d – rastojanje između ploča



- Zamjenom: $\varepsilon = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r$

- Izraz za kapacitet pločastog kondenzatora **C** je:

$$C = \varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \frac{S}{d} [1F (Farad)]$$

$$\varepsilon_0 = 8.85 \cdot 10^{-12} \left[\frac{C^2}{Nm^2} \right]$$

Kapacitet pločastog kondenzatora

Primjer:

EXAMPLE 10-2 Compute the capacitance of a parallel-plate capacitor with plates 10 cm by 20 cm, separation of 5 mm, and

- a. an air dielectric,
- b. a ceramic dielectric with permittivity of 7500.

Solution Convert all dimensions to meters. Thus, $A = (0.1 \text{ m})(0.2 \text{ m}) = 0.02 \text{ m}^2$, and $d = 5 \times 10^{-3} \text{ m}$.

- a. For air, $C = \epsilon_0 A/d = (8.85 \times 10^{-12})(2 \times 10^{-2})/(5 \times 10^{-3}) = 35.4 \times 10^{-12} \text{ F} = 35.4 \text{ pF}$.
- b. For ceramic with $\epsilon_r = 7500$, $C = 7500(35.4 \text{ pF}) = 0.266 \mu\text{F}$.

Kapacitet pločastog kondenzatora

Primjer:

 **EXAMPLE 10–3** A parallel-plate capacitor with air dielectric has a value of $C = 12 \text{ pF}$. What is the capacitance of a capacitor that has the following:

- The same separation and dielectric but five times the plate area?
- The same dielectric but four times the area and one-fifth the plate spacing?
- A dry paper dielectric, six times the plate area, and twice the plate spacing?

Solution

- Since the plate area has increased by a factor of five and everything else remains the same, C increases by a factor of five. Thus, $C = 5(12 \text{ pF}) = 60 \text{ pF}$.
- With four times the plate area, C increases by a factor of four. With one-fifth the plate spacing, C increases by a factor of five. Thus, $C = (4)(5)(12 \text{ pF}) = 240 \text{ pF}$.
- Dry paper increases C by a factor of 2.2. The increase in plate area increases C by a factor of six. Doubling the plate spacing reduces C by one-half. Thus, $C = (2.2)(6)(\frac{1}{2})(12 \text{ pF}) = 79.2 \text{ pF}$.

Kapacitet pločastog kondenzatora

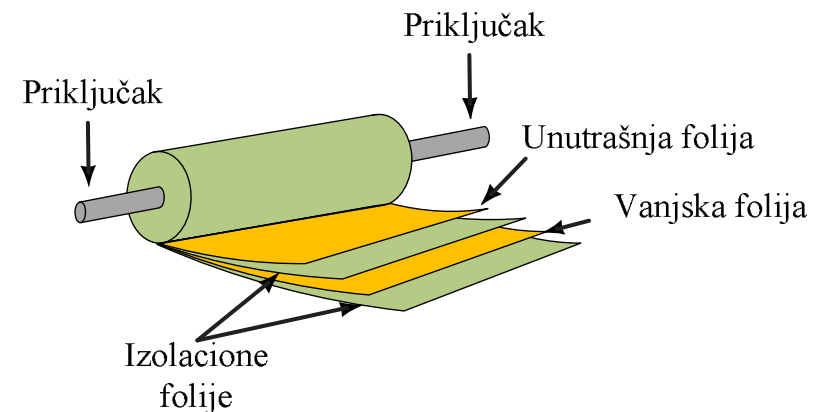
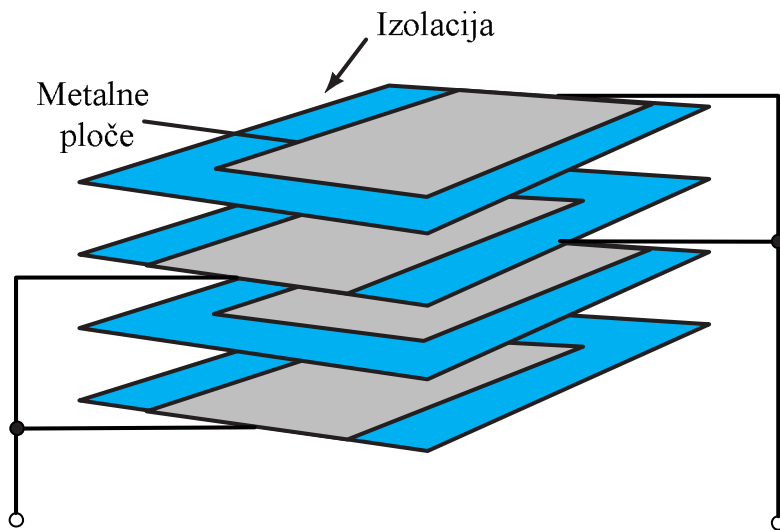
Zadaća:

A capacitor with plates $7.5 \text{ cm} \times 8 \text{ cm}$ and plate separation of 0.1 mm has an oil dielectric:

- a. Compute its capacitance;
- b. If the charge on this capacitor is $0.424 \mu\text{C}$, what is the voltage across its plates?

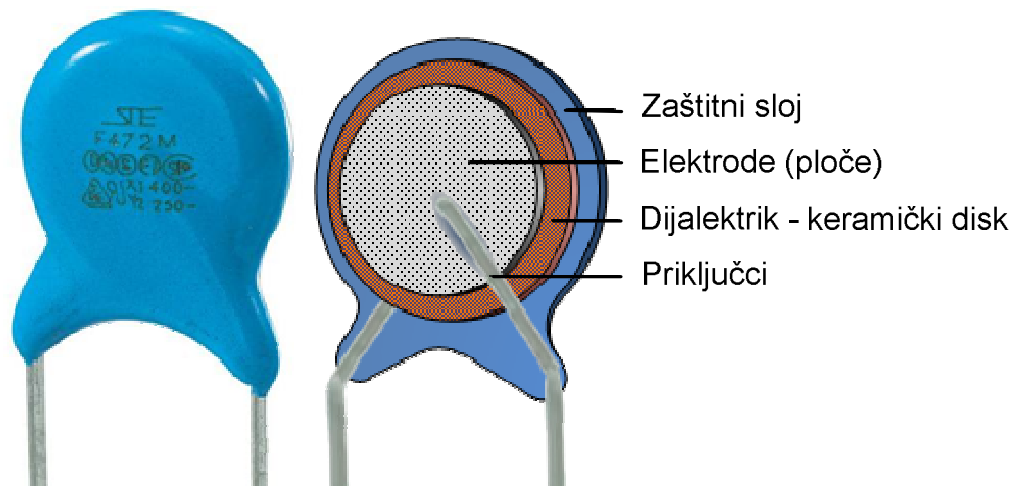
Tipovi kondenzatora - stalni

- Kondenzatore najčešće dijelimo po **vrsti dijalektrika** između njegovih elektroda (keramika, plastika, liskun tantalni oksid ,elektrolit...)
- Po konstrukciji možemo ih podijeliti na lisnate i cijevaste:



Keramički kondenzatori (stalni)

- Kao dielektrik ovih kondenzatora uzima se **keramika** u obliku ploče, cijevi ili lonca. Na površinu se keramike nanose tanki srebrni slojevi koji predstavljaju ploče kondenzatora. Na slojeve srebra spoje se izvod i na kraju premazuju se bojom
- Izrađuju se u vrijednostima od nekoliko **desetina pF** do **nekoliko hiljada pF**, i radnim naponom do **750 V**. Odlikuju se povoljnim dielektričkim osobinama i visokim izolacionim otporom



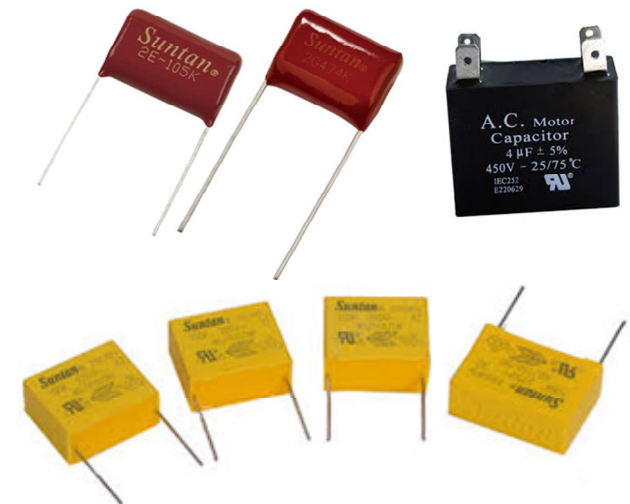
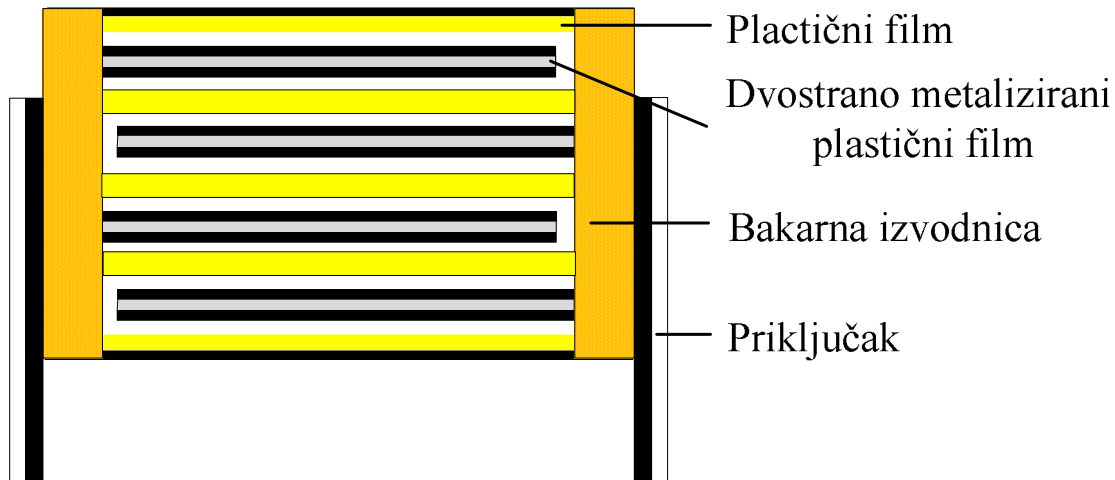
Papirni ili blok kondenzatori (stalni)

- Sastoje se od dvaju uvijenih **traka aluminijske folije** međusobno izoliranih **voštanim papirom**. Aluminijske trake služe kao obloge kondenzatora i na njih se spoje bakreni posrebreni listići, koji služe kao priključci
- Kapacitet ovih kondenzatora se kreće između **nekoliko desetaka pF** i **stotinjak hiljada pF**.
- Ovi kondenzatori imaju svestranu primjenu u elektronskim uređajima, zatim u energetske mrežama za kompenzaciju reaktivne snage, uz kontakte za sprječavanje varničenja...



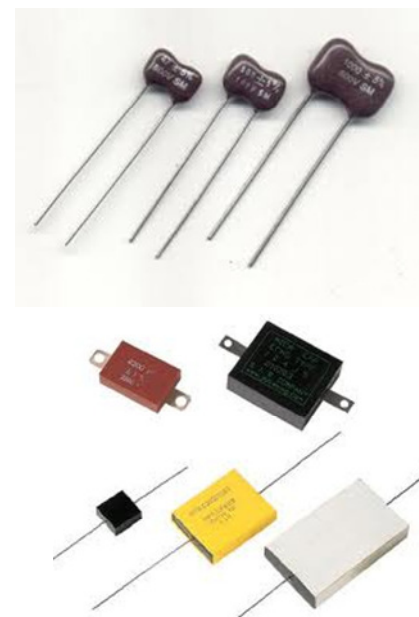
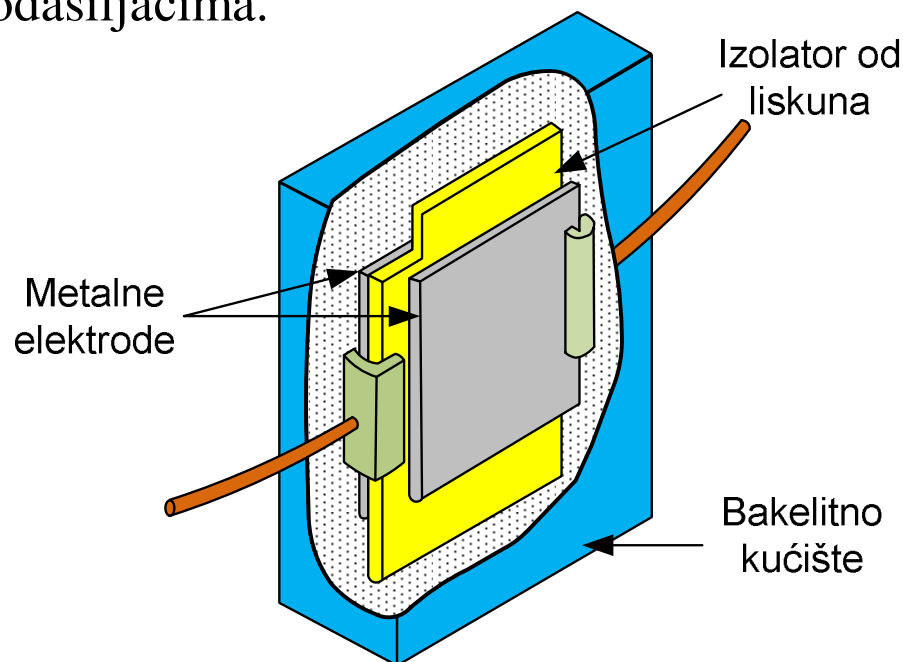
Kondenzatori sa plastičnim i metaliziranim plastičnim folijama (stalni)

- Kao dielektrik koriste se **nemetalizirane i metalizirane folije** od različitih materijala, kao što su **stirofleks** (zove se još i **polistiren i polistirol**), **poliester, polikarbonat, polipropilen**
- Prednosti **plastičnih folija** su mala apsorpcija vlage, šire radno temperaturno područje, veći otpor izolacije, duži radni vijek, manji gubici i manje dimenzije
- Ovi kondenzatori se upotrebljavaju na visokim frekvencijama gdje su im gubici znatno manji nego kod papirnih kondenzatora.



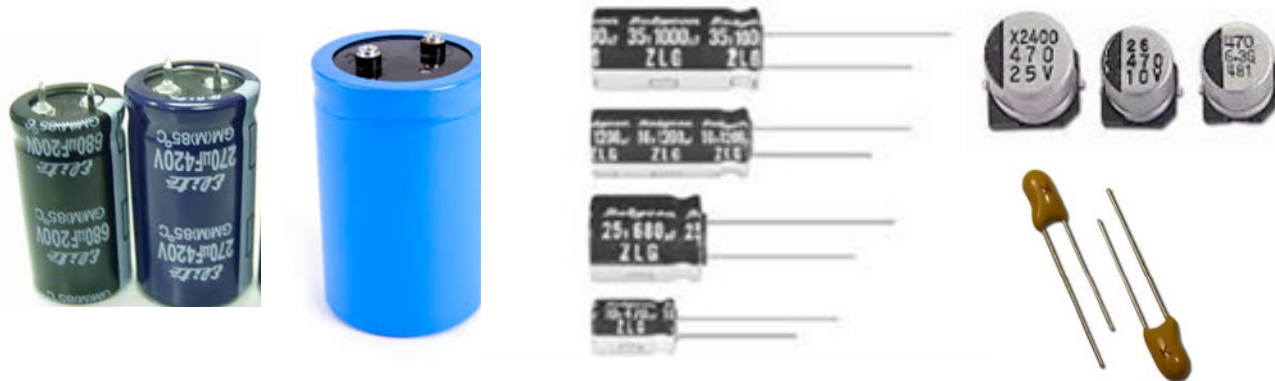
Liskunski kondenzatori(stalni)

- **Liskun** kao dielektrik znatno povećava kapacitet kondenzatora. Izrađuju se tako da se listići liskuna najprije presvuku srebrnim praškom pomiješanim s odgovarajućim uljem. Listići se zatim zagrijevaju približno 1 sat do temperature od 600°C na kojoj se pasta pretvara u metalnu oblogu. Debljina listića liskuna je do $20\mu\text{m}$ pa je i kapacitet kod kondenzatora malih dimenzija vrlo velik.
- Ovi kondenzatori su vrlo stabilni i imaju vrlo mali temperaturni koeficijent kapaciteta pa se upotrebljavaju u preciznim mjernim uređajima, u VF telefoniji te odašiljačima.



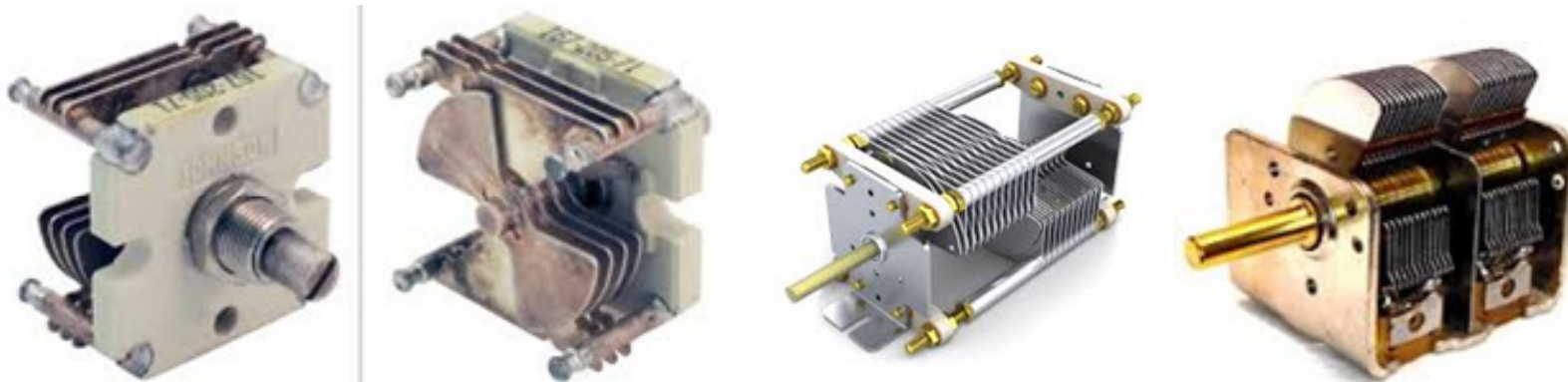
Elektrolitski kondenzatori(stalni)

- Razlikuju se od ostalih tipova kondenzatora po tome što se u njihovu kućištu nalazi **elektrolit**. **Pozitivna** obloga im je od aluminijska, a **negativna** predstavlja elektrolit. Elektrolit je kompleksan spoj borne kiseline, glikola ili glicerina i amonijaka
- Imaju **veliki kapacitet i** do **desetina mF** zahvaljujući upotrebi veoma tankih oksidnih slojeva elektrolita
- Elektrolitski kondenzator moramo uvijek spojiti tako da formirana folija bude **pozitivni pol (+)**, a elektrolit, odnosno kućište, **negativan pol (-)**. Zato su na kondenzatoru **označeni polovi**.
- Ovi kondenzatori nalaze primjenu gdje su potrebni **veliki kapaciteti**, a dopušteni su i veći gubici, npr. mrežni filtri i ispravljači te spojevi za odvod VF i NF struja



Promjenljivi kondenzatori - obrtni

- **Obrtni kondenzatori** promjenljive kapacitivnosti se sastoje od grupe nepokretnih paralelnih ploča – **statora** i grupe pokretnih paralelnih ploča – **rotora** između kojih se nalazi **dijalektrik** najčešće **vazduh**.
- Pri obrtanju rotorskih ploča menja se aktivna površina između ploča, tj. menja se kapacitivnost kondenzatora u određenim granicama.
- Koriste u **oscilatornim kolima** u kojima se sa obrtanjem rotorskih ploča frekvencija menja linearno sa uglom obrtanja, rotorske ploče su **srpastog oblika**, dok su za linearnu promenu talasne dužine te ploče **bubrežastog oblika**



Simbol

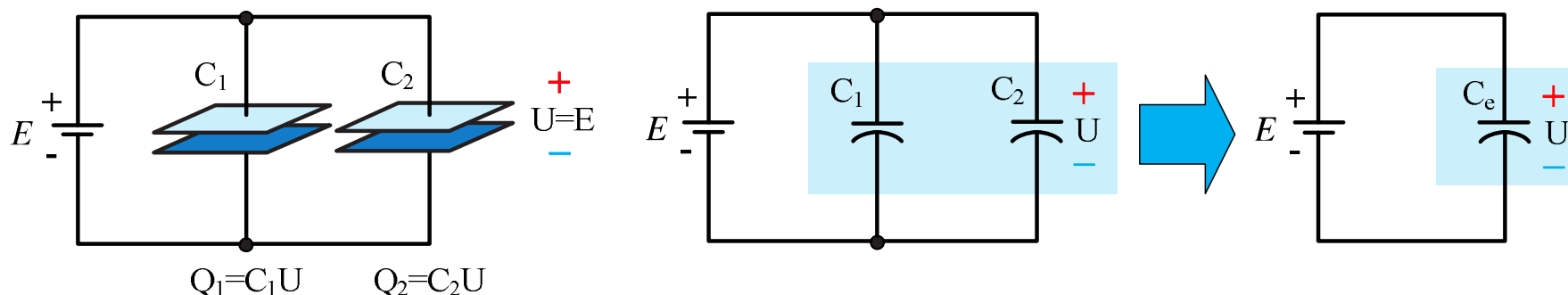
Polupromjenljivi kondenzatori - trimeri

- Predviđeni su za podešavanje kapaciteta samo pri proizvodnji ili popravku uređaja u koji su ugrađeni. Proizvode se kao vazdušni i kondenzatori sa čvrstim dielektrikom.
- Imaju izolacionu podlogu (npr. keramiku) za koju se pričvršćuje stator, ležište za rotorsku osovinu i izvode pomoću kojih se kondenzator lemi za štampanu ploču. Kapacitivnost je određena površinom i debljinom rotora i dielektričnom konstantom materijala između rotora



Simbol

Paralelna veza kondenzatora



- Na svakom od kondenzatora u paralelnoj vezi nagomilano je naelektrisanje Q_1 , Q_2 , ... pa je ukupno naelektrisanje Q_e :

$$Q_e = Q_1 + Q_2 + \dots + Q_n$$

zamjenom

$$Q_1 = C_1 U; Q_2 = C_2 U; \dots Q_n = C_n U;$$

dobija se

$$Q_e = C_1 U + C_2 U + \dots + C_n U = U (C_1 + C_2 + \dots + C_n)$$

konačno je

$$C_e = (C_1 + C_2 + \dots + C_n)$$

Kod paralelne veze kondenzatora ukupna kapacitivnost C_e jednaka je sumi pojedinih kapacitivnosti u vezi

Paralelna veza kondezatora

Primjer:

EXAMPLE 10-6 A $10\text{-}\mu\text{F}$, a $15\text{-}\mu\text{F}$, and a $100\text{-}\mu\text{F}$ capacitor are connected in parallel across a 50-V source. Determine the following:

- Total capacitance.
- Total charge stored.
- Charge on each capacitor.

Solution

a. $C_T = C_1 + C_2 + C_3 = 10\text{ }\mu\text{F} + 15\text{ }\mu\text{F} + 100\text{ }\mu\text{F} = 125\text{ }\mu\text{F}$

b. $Q_T = C_T V = (125\text{ }\mu\text{F})(50\text{ V}) = 6.25\text{ mC}$

c. $Q_1 = C_1 V = (10\text{ }\mu\text{F})(50\text{ V}) = 0.5\text{ mC}$

$$Q_2 = C_2 V = (15\text{ }\mu\text{F})(50\text{ V}) = 0.75\text{ mC}$$

$$Q_3 = C_3 V = (100\text{ }\mu\text{F})(50\text{ V}) = 5.0\text{ mC}$$

Check: $Q_T = Q_1 + Q_2 + Q_3 = (0.5 + 0.75 + 5.0)\text{ mC} = 6.25\text{ mC}.$

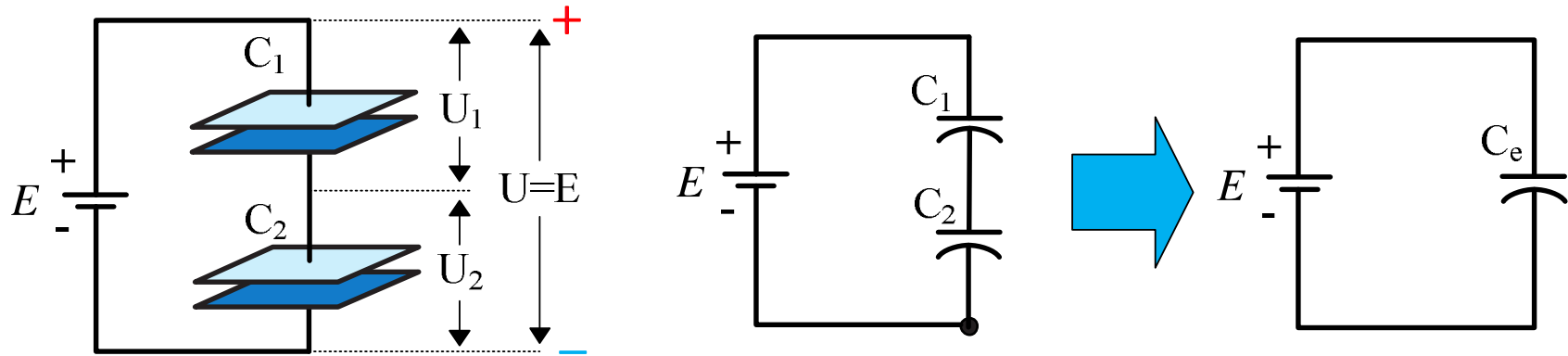
Paralelna veza kondenzatora

Primjer:

1. Three capacitors are connected in parallel. If $C_1 = 20 \mu\text{F}$, $C_2 = 10 \mu\text{F}$ and $C_T = 32.2 \mu\text{F}$, what is C_3 ?
2. Three capacitors are paralleled across an 80-V source, with $Q_T = 0.12 \text{ C}$. If $C_1 = 200 \mu\text{F}$ and $C_2 = 300 \mu\text{F}$, what is C_3 ?
3. Three capacitors are paralleled. If the value of the second capacitor is twice that of the first and the value of the third is one quarter that of the second and the total capacitance is $70 \mu\text{F}$, what are the values of each capacitor?

Answers: 1. $2.2 \mu\text{F}$ 2. $1000 \mu\text{F}$ 3. $20 \mu\text{F}$, $40 \mu\text{F}$ and $10 \mu\text{F}$

Serijska veza kondenzatora



- Kod serijske veze kondenzatora isto naelektrisanje Q nalazi se na svim kondenzatorima u vezi:

$$Q_e = Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$$

- Napon na krajevima serijske veze U jednak je sumi napona na kondenzatorima:

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

Zamjenimo

$$U_1 = \frac{Q_e}{C_1}; U_2 = \frac{Q_e}{C_2}; \dots U_n = \frac{Q_e}{C_n}$$

Serijska veza kondenzatora

- Jednačina za napon na krajevima serijske veze kondenzatora ima oblik:

$$U = \frac{Q_e}{C_1} + \frac{Q_e}{C_2} + \dots + \frac{Q_e}{C_n}$$

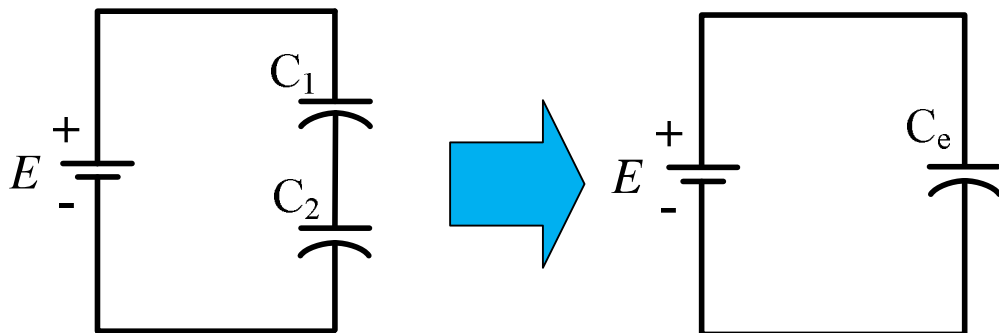
- Dijeljenjem sa Q_e dobija se konačan izraz za ekvivalentnu kapacitivnost serijske veze kondenzatora:

$$\frac{1}{C_e} = \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \dots + \frac{1}{C_n}$$

Kod serijske veze kondenzatora recipročna vrijednost ekvivalentne kapacitivnosti $1/C_e$ jednaka je sumi recipročnih vrijednosti pojedinih kapacitivnosti u vezi

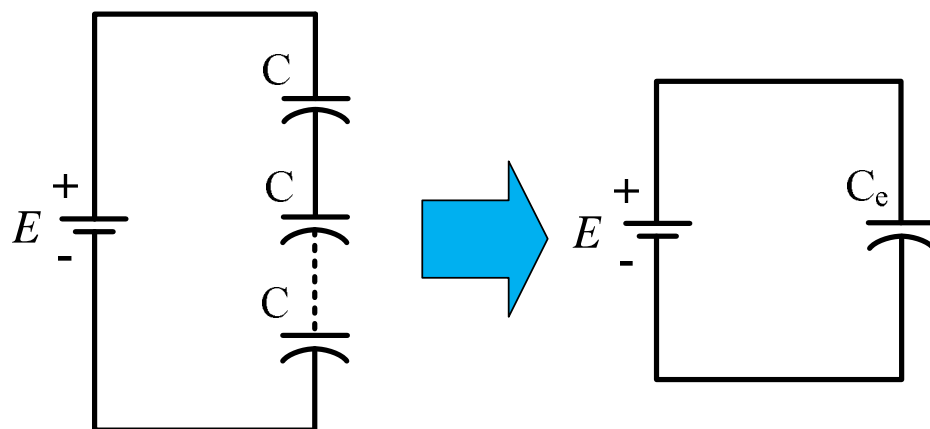
Serijska veza kondenzatora – karakteristični slučajevi

Serijska veza dva kondenzatora:



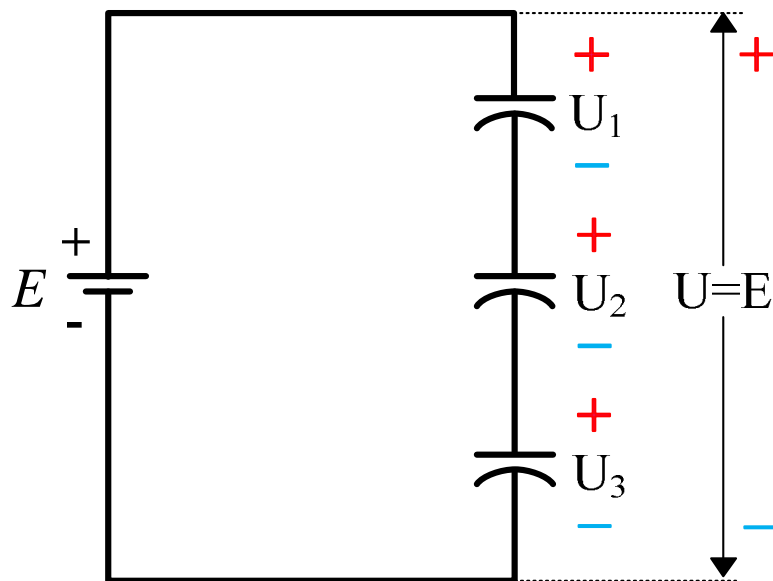
$$C_e = \frac{C_1 \cdot C_2}{C_1 + C_2}$$

Serijska veza N jednakih kondenzatora:



$$C_e = \frac{C}{N}$$

Raspodjela napona kod serijske veze kondenzatora



- Kod serijske veze kondenzatora isto naelektrisanje Q nalazi se na svim kondenzatorima u vezi:

$$Q_e = C_1 \cdot U_1 = C_2 \cdot U_2 = \dots = C_n \cdot U_n = C_e \cdot U$$

- Rješavanjem po naponima $U_1, U_2, \dots, U_n$ dobijamo:

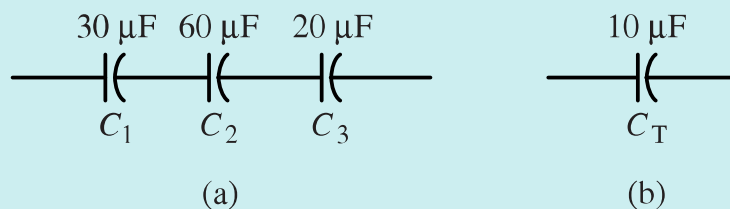
$$C_1 \cdot U_1 = C_e \cdot U \Rightarrow U_1 = \frac{C_e}{C_1} \cdot U; U_2 = \frac{C_e}{C_2} \cdot U; U_3 = \frac{C_e}{C_3} \cdot U$$

Serijska veza kondenzatora

Primjer:

EXAMPLE 10-7

- Determine C_T .
- If 50 V is applied across the capacitors, determine Q .
- Determine the voltage on each capacitor.



Solution

$$\begin{aligned} \text{a. } \frac{1}{C_T} &= \frac{1}{C_1} + \frac{1}{C_2} + \frac{1}{C_3} = \frac{1}{30\ \mu\text{F}} + \frac{1}{60\ \mu\text{F}} + \frac{1}{20\ \mu\text{F}} \\ &= 0.0333 \times 10^6 + 0.0167 \times 10^6 + 0.05 \times 10^6 = 0.1 \times 10^6 \end{aligned}$$

Therefore as indicated in (b),

$$C_T = \frac{1}{0.1 \times 10^6} = 10\ \mu\text{F}$$

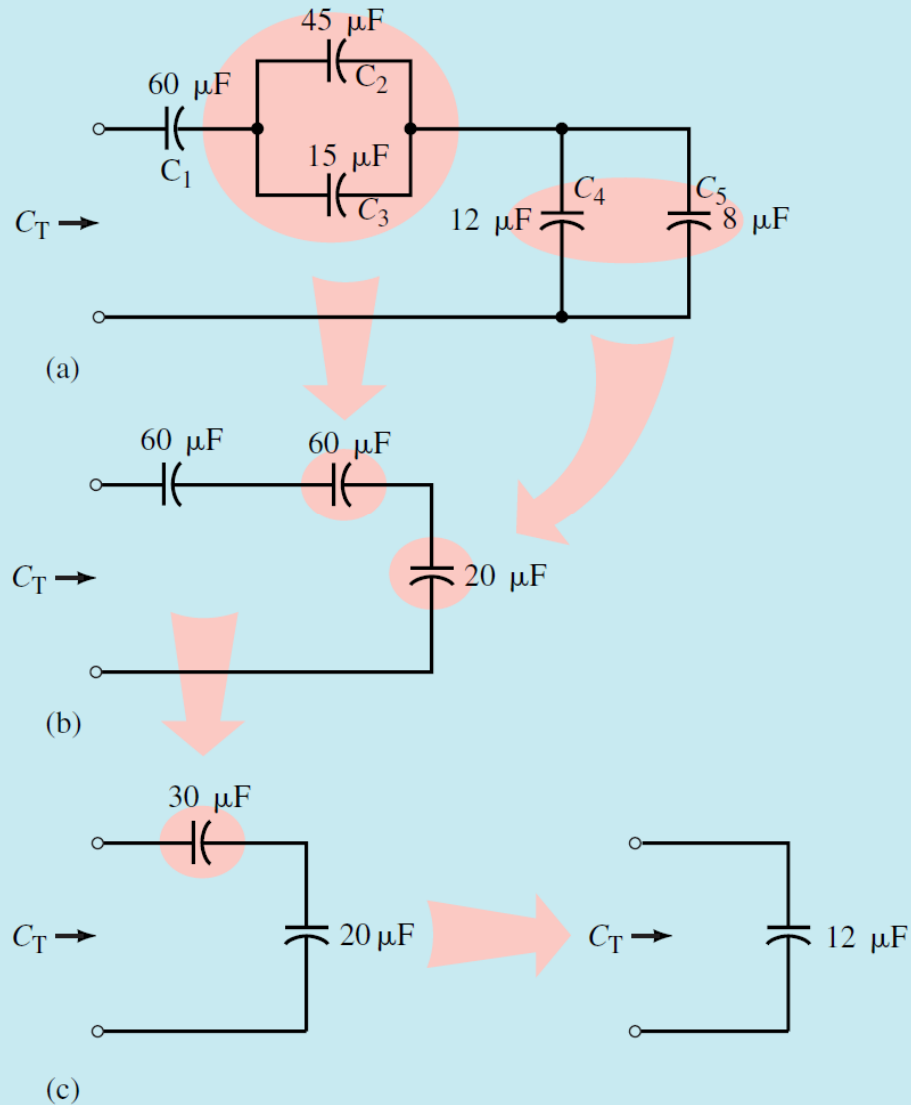
- $Q = C_T V = (10 \times 10^{-6}\ \text{F})(50\ \text{V}) = 0.5\ \text{mC}$
- $V_1 = Q/C_1 = (0.5 \times 10^{-3}\ \text{C})/(30 \times 10^{-6}\ \text{F}) = 16.7\ \text{V}$
 $V_2 = Q/C_2 = (0.5 \times 10^{-3}\ \text{C})/(60 \times 10^{-6}\ \text{F}) = 8.3\ \text{V}$
 $V_3 = Q/C_3 = (0.5 \times 10^{-3}\ \text{C})/(20 \times 10^{-6}\ \text{F}) = 25.0\ \text{V}$

Check: $V_1 + V_2 + V_3 = 16.7 + 8.3 + 25 = 50\ \text{V}$.

Kombinovana veza kondezatora

Primjer:

EXAMPLE 10-8 For the circuit of Figure 10-23(a), determine C_T .



Energija kondenzatora

- **Proces punjenja** kondenzatora je **prenos naelektrisanja** sa obloge nižeg na oblogu višeg potencijala. U tom procesu je potrebno uložiti izvjesni rad, koji je jednak **povećanju potencijalne energije** električnog polja
- **Energija napunjenog kondenzatora** W , odnosno **energija uskladištena** u kondenzatoru zavisi od **kvadrata napona** U na kondenzatoru (tj. količine naelektrisanja na njima Q) i od **kapaciteta** C kondenzatora

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