

1. predavanje

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



OSNOVE ELEKTRICITETA

(autor prof.dr.sc. Armin Pavić)

Sadržaj:

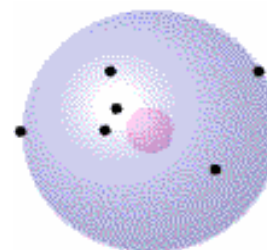
Električni naboj
Coulombova sila
Električno polje
Vodič u polju - influencija
Izolator u polju - polarizacija
Potencijalna energija naboja
Električni potencijal i napon
Električni kapacitet i kondenzatori
Energija nabijenog kondenzatora

Električni naboj - značajke

- ♦ Građa tvari: **atomska struktura**

Jezgra (protoni, neutroni)

Elektronski omotač



- ♦ El. naboj = **svojstvo tvari kojim objašnjavamo električke (i magnetske) pojave**
- ♦ Dvije vrste naboja: **pozitivni i negativni**
- ♦ Nosioči naboja: **elementarne čestice proton⁺ i elektron⁻**
- ♦ Električki neutralno tijelo = **jednake količine + i - naboja**
- ♦ Električki nabijeno tijelo = **višak jednog naboja**
- ♦ Naboj je mjerljiva fizikalna veličina koju označavamo s **Q**
 $[Q]=As=C$ (jedinica za el. naboj je ampersekunda = kulon*)

* Charles Augustin de Coulomb (1736-1806)

Električni naboj - nosioci naboja



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ♦ Elementarni naboj: $q_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$
 - Naboj elektrona = $-q_0$, naboj protona = $+q_0$
- ♦ Elektriziranje tvari - preskakanje elektrona iz atoma
 - Ioni - elektrizirani (nabijeni) atomi i molekule
- ♦ Pokretni nosioci naboja - elektroni i ioni
 - Plinovi - ioni i elektroni
 - Tekućine - ioni
 - Krutine - elektroni
- ♦ U kristalnoj rešetci metala: slobodni elektroni
 - Slobodni elektroni = pokretni nosioci naboja
- ♦ Prema količini pokretnih nosioca naboja tvari dijelimo:
 - Vodiči (preko $10^{22}/\text{cm}^3$)
 - Poluvodiči ($10^{11}-10^{15}/\text{cm}^3$)
 - Izolatori (nevodiči) praktički bez

Električne sile - osnovne značajke

- ◆ Ako u blizinu električki nabijenog tijela (naboja) dovedemo drugo električki nabijeno tijelo (naboj), između njih se javljaju posebne sile - *električne sile*
- ◆ Raznoimeni naboji (raznih predznaka) se privlače
- ◆ Istoimeni naboji (istih predznaka) se odbijaju

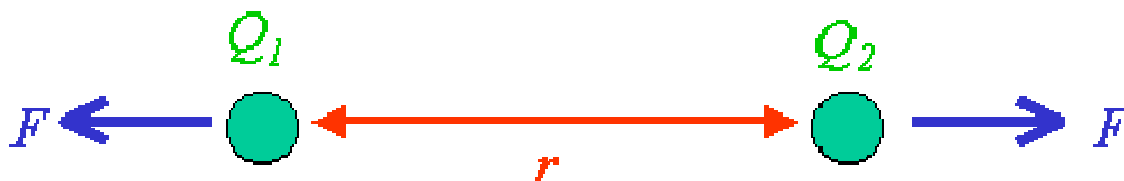


- ◆ Coulomb je 1785. pokusima ustanovio da je *električna sila upravo razmjerna umnošku naboja, a obrnuto razmjerna kvadratu udaljenosti između naboja* (*Coulombov zakon*).

Električne sile - Coulombov zakon

- Iznos Coulombove sile:

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

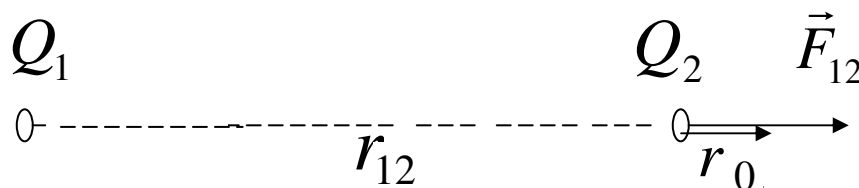


u zraku je izmjereno:

$$k \approx 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Vm}}{\text{As}} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

gdje je $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \text{ As/Vm}$ – dielektričnost vakuumu (električna konstanta)

- Coulombova sila vektorski:



$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{Q_1 \cdot Q_2}{r_{12}^2} \cdot \vec{r}_0$$

Električno polje - jakost polja



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ♦ Zamisao Coulomb-a: *djelovanje na daljinu*
Sila je rezultat djelovanja drugog naboja udaljenog za d
- ♦ Novi pojam: **Električno polje** = prostor djelovanja el. sila (rezultat djelovanja svih naboja koji se nalaze u polju!)
- ♦ Druga zamisao: *blisko djelovanje*
Sila je rezultat djelovanja električnog polja (u nekoj točki)
- ♦ **Važna činjenica:** U svakoj točki el. polja **omjer sile na naboj i iznosa naboja uvijek je isti** (bez obzira na iznos naboja!)
To je svojstvo svake točke polja koje zovemo ***jakost polja E***

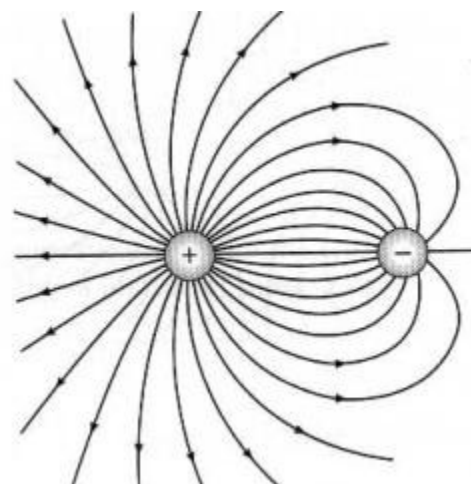
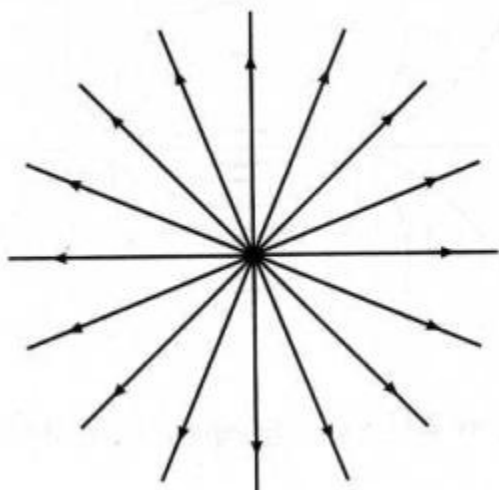
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

$$[E] = \text{N/As} = \text{VAs/m/As} = \text{V/m}$$

$$\left(\vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q} \right)$$

Električno polje - radijalno polje

- ♦ **Točkasti naboj** = naboj zanemarivo malih dimenzija
- ♦ Polje predočavamo **silnicama** (linije sile). One su usmjerene kao i vektor polja od pozitivnog prema negativnom naboju. Pozitivni naboji su izvori, a negativni ponori silnica.
Smjer vektora jakosti polja je tangencijalan na silnice.



Oblik polja nabijene kugle - kao da je naboj u središtu kugle -
jednak je obliku polja točkastog naboja = **radijalno polje**

- ◆ Razmatranje jakosti radijalnog polja
 - A Na temelju izraza za Coulombovu silu između dva točkasta naboja Q_1 i Q_2 treba odrediti kako jakost polja točkastog naboja Q_1 (radijalno polje) ovisi o udaljenosti od naboja Q_1 ?
 - B Odrediti kako jakost radijalnog polja ovisi o gustoći silnica polja?

Električno polje - Jakost radijalnog polja

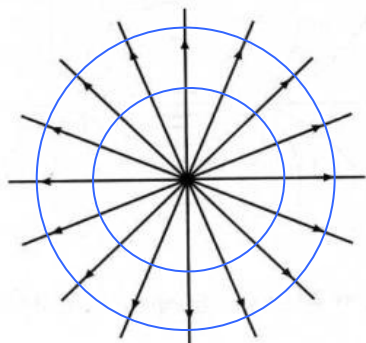
- A Na naboj Q_2 koji se nalazi na udaljenost r od naboja Q_1 djeluje sila $F = Q_1 Q_2 / (4\pi\epsilon_0 r^2)$ jer se nalazi u polju naboja Q_1



Jakost tog polja je $E_1 = F/Q_2 = Q_1 / (4\pi\epsilon_0 r^2)$, a vektor jakosti radijalnog polja točkastog naboja Q je:

$$\vec{E} = \frac{Q}{4\pi\epsilon_0 r^2} \cdot \vec{r}_0$$

- B Oko naboja zamislimo dvije plohe raznih polumjera (slika)

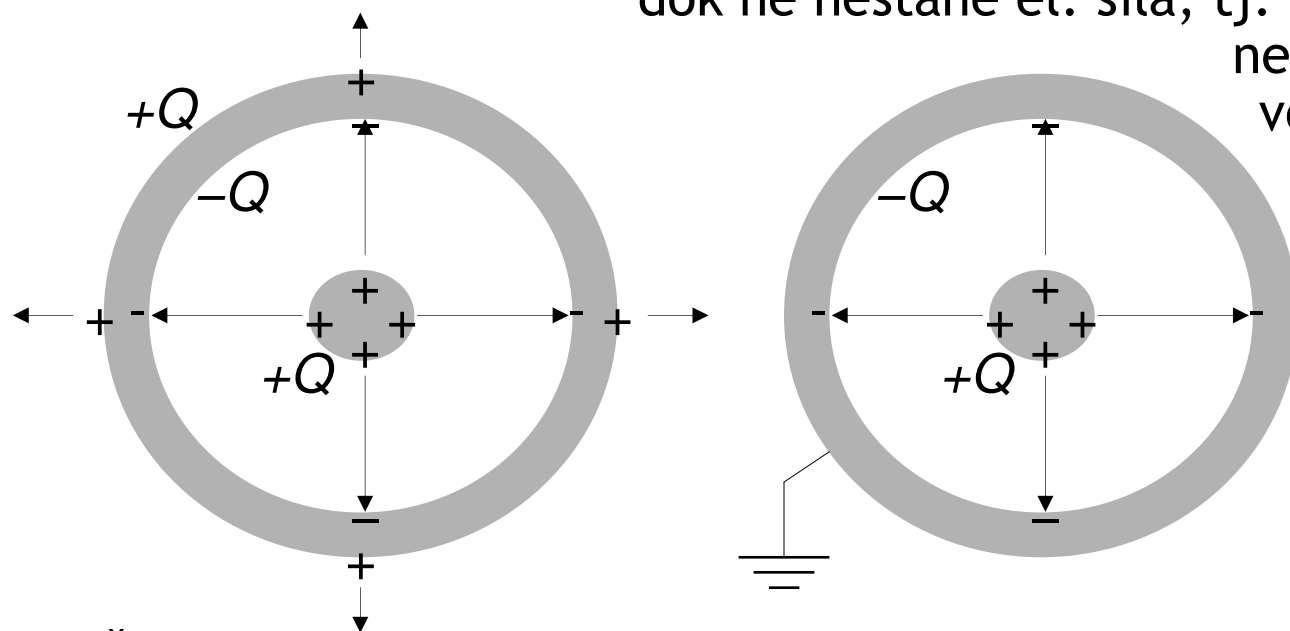


Isti broj silnica prolazi kroz obje plohe, ali vanjska ploha ima veću površinu ($S = 4\pi r^2$), pa je gustoća silnica obrnuto razmjerna r^2 kao i jakost polja (tj. $E \sim$ gustoći silnica!)

Vodič u polju - električna influencija

- ♦ U vodiču, postavljenom u el. polje, slobodni naboji se pod djelovanjem polja pomaknu na rub vodiča, tako da nastaje *razdvajanje + i - naboja* koje nazivamo *el. influencija* (slika 1). Naboji se u vodiču razdvajaju sve dok ne nestane el. sila, tj. dok svojim djelovanjem

ne ponište vanjsko polje u vodiču. Izgleda stoga kao da vanjsko polje ne prodire u vodič, pa kažemo da *unutar vodiča nema polja*. Spojimo li vodič sa zemljom (slika 2), slobodni influencirani naboj odlazi u zemlju i polje se više ne širi s vanjske strane vodiča. Tako sprječavamo širenje el. polja u okolni prostor!



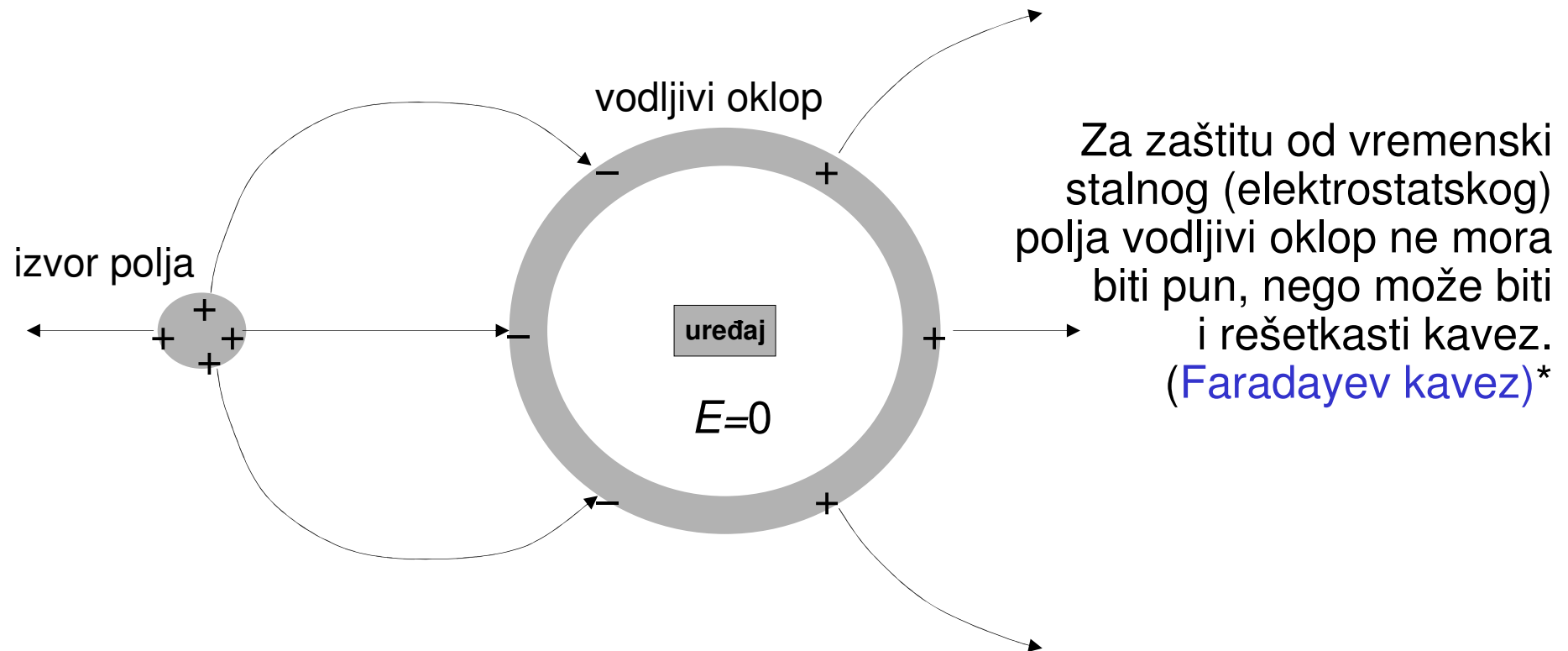
1. Šuplja nenabijena vodljiva kugla u polju kugle nabijene s $+Q$

2. Uzemljenje vanjske kugle

- ❖ Kako bismo zaštitili neko tijelo (uređaj) od djelovanja vanjskog el. polja?

Vodič u polju - oklapanje

- ♦ Vodljivo oklapanje (zbog naboja influenciranog na vodljivom oklopu, **vanjsko polje ne prodire unutar oklopa**)



- ♦ Vodljivo nenabijeno tijelo (zbog influencije) **deformira oblik polja!**

* Michael Faraday (1791-1867)

Primjeri - Radijalno polje



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

1. Dva točkasta naboja jednakih iznosa $|q|=20\text{ }\mu\text{C}$, koji se nalaze u zraku na međusobnoj udaljenosti d , djeluju jedan na drugoga silom $F = 0,1\text{ N}$.
 - a) Odredite kolika je udaljenost među nabojima d .
 - b) Ako se naboji privlače, kakvi su im predznaci?
 - c) Odredite koliki je iznos jakosti električnog polja kojeg jedan naboj stvara na mjestu drugoga. Možemo li to odrediti i bez poznavanja udaljenosti naboja d ?

2. Dva točkasta naboja q_1 i q_2 nalaze se u zraku u dva vrha istostraničnog trokuta stranice $a=30\text{ cm}$. Odredite jakost električnog polja u trećem vrhu, ako je:
 - a) $q_1=-q_2=2\text{ nC}$;
 - b) $q_1=q_2=2\text{ nC}$;
 - c) odredite smjer rezultantnog el. polja na simetrali spojnice naboja q_1 i q_2 za slučaj b).

Rasprava primjera 2c - Oblik polja skupine naboja

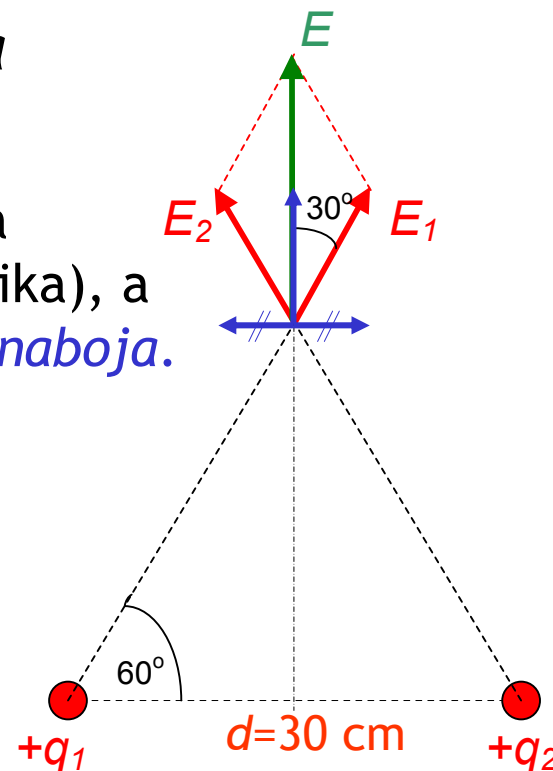


OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

2c Rezultantno polje je zbroj vektora polja pojedinih naboja (*načelo superpozicije*).

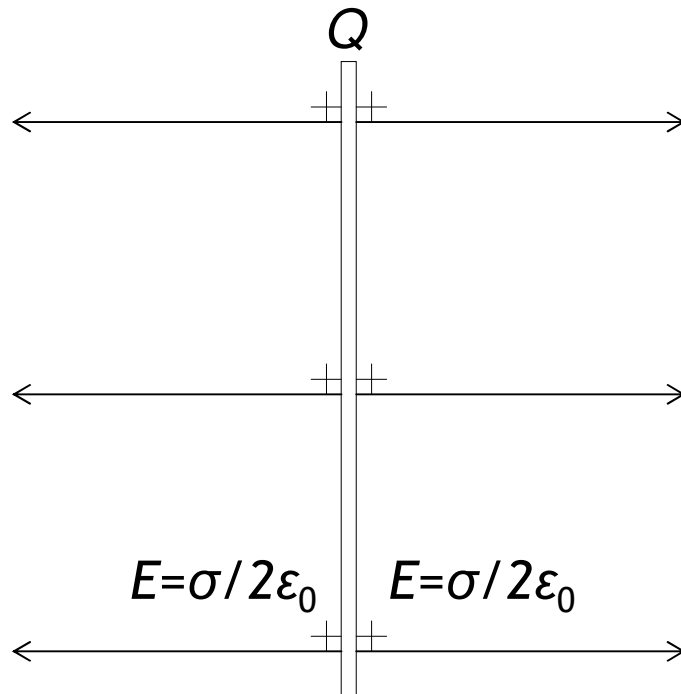
Kad su naboji jednaki, komponente vektora polja koje su paralelne sa spojnicom se poništavaju (slika), a *rezultantno polje ima smjer okomit na spojnicu naboja*.

- ❖ Kad bi jednake naboje nanizali jedan do drugog tako da čine pravac, koji bi bio smjer silnica polja iznad takvog nabijenog pravca?
- ❖ Kakav bi bio oblik polja iznad ravnine jednoliko ispunjene nabojeima?
- ♦ Polje s jednolikom (svugdje jednakom) gustoćom silnica = *homogeno polje* U homogenom polju: $E = \text{konst.}$
- ❖ Kako bi postigli takav raspored naboja koji bi stvorio homogeno polje?



Električno polje - homogeno polje

Tanka ploča ravnomjerno je nabijena ukupnim nabojem Q



S = površina ploče

$Q/S = \sigma$ (sigma) - plošna gustoća naboja

$$[\sigma] = \text{As/m}^2$$

Jakost polja u zraku oko ploče:

$$E = \sigma / 2\epsilon_0$$

za $\sigma = \text{konst.} \Rightarrow E = \text{konst.}$ (homogeno polje)

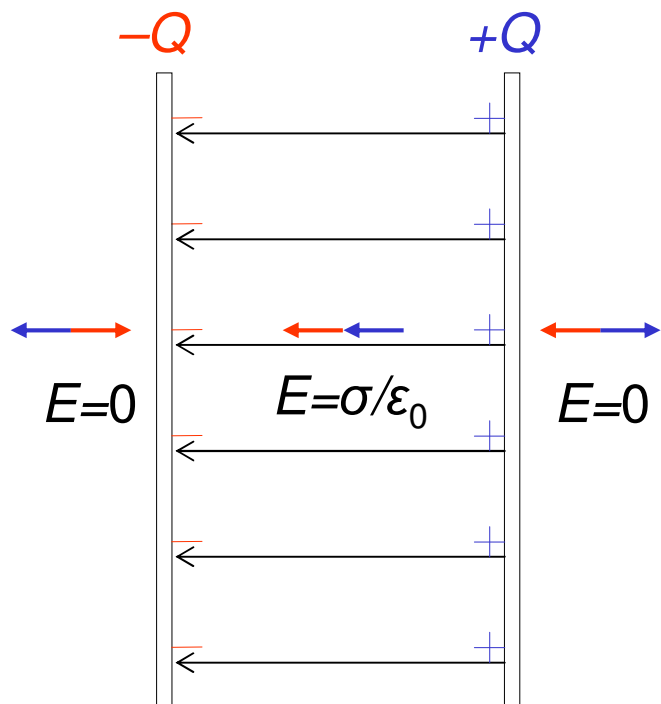
❖ Što se dogodi s poljem, ako paralelno postavimo drugu ploču s nabojem $-Q$?

Električno polje - Polje dviju paralelnih ploča



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

Dvije paralelne ploče nabijene s + i – nabojima istoga iznosa



Načelo superpozicije:

u svakoj točki jakost polja jednaka je vektorskom zbroju jakosti polja jedne i druge ploče.

Jakosti polja obiju ploča imaju *jednake iznose* $E^+ = E^- = \sigma / 2\epsilon_0$ ali izvan ploča: *suprotan smjer* a unutar ploča: *isti smjer!*

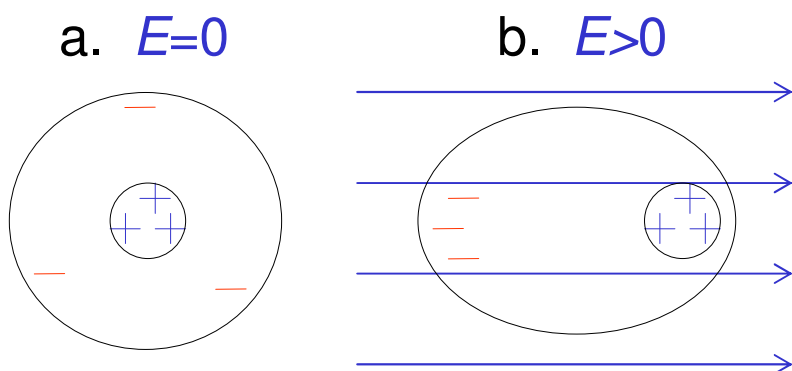
Izvan ploča: $E = E^+ - E^- = \sigma / 2\epsilon_0 - \sigma / 2\epsilon_0 = 0$ (nema polja)

Unutar ploča: $E = E^+ + E^- = \sigma / 2\epsilon_0 + \sigma / 2\epsilon_0 = \sigma / \epsilon_0$ (dvostruko jače)

Unutar ovakvog sustava ploča formira se homogeno polje jakosti $E = \sigma / \epsilon_0$

Izolator u polju - električna polarizacija

♦ Izolatori (nevodiči) - tvari bez pokretnih nosioca naboja



+ i - nosioci naboja vezani su u atomima i molekulama tvari tako da se ne mogu slobodno gibati pod utjecajem vanjskog el. polja, kao što je slučaj u vodičima.

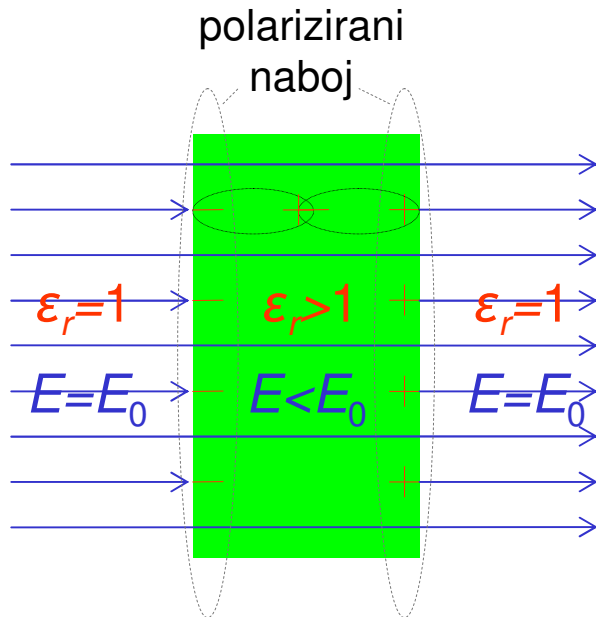
Vanjsko el. polje na izolator djeluje tako da dolazi do razmicanja težišta + i - naboja u atomima i molekulama koji tako postaju el. *dipoli*. Tu pojavu nazivamo **električna polarizacija**.

♦ Polarizirani naboj - pod djelovanjem vanjskog polja, el. dipoli se usmjeravaju tako da uz rub izolatora dolazi sloj istoimenog naboja.

- **Sila na polarizirani naboj** - na polarizirani naboj vanjsko polje djeluje silom, koju zamjećujemo kad nabijena tijela privlače sitne čestice izolatora (uočio već Thales 600 pne). **Primjena:** *elektrostatski filtri*.

Izolator u polju - dielektričnost i proboj

- ♦ Tvari sa sposobnošću polarizacije nazivaju se **dielektrici**, a ta njihova značajka naziva se **dielektričnost**.



Dielektričnost se općenito označava veličinom ϵ koja se izražava u odnosu prema *dielektričnosti* vakuuma ϵ_0 , kao $\epsilon = \epsilon_r \epsilon_0$

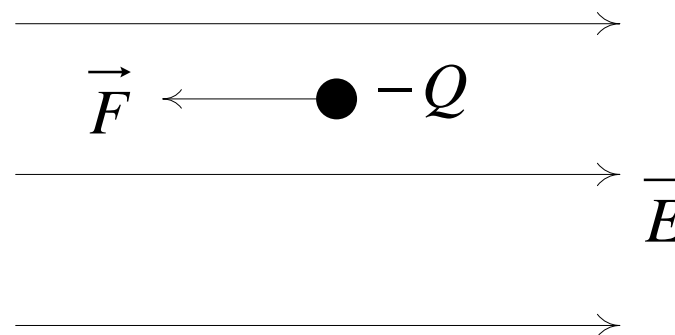
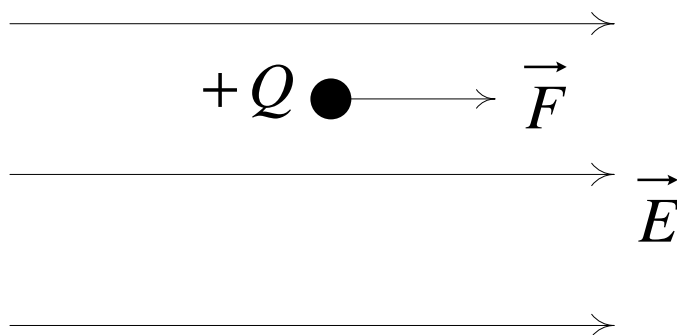
Dio silnica vanjskog polja ponire u polariziranom naboju, pa je polje u dielektriku slabije (slika).

Relativna dielektričnost ϵ_r je faktor koji kazuje koliko puta je polje u dielektriku slabije od polja (istog naboja) u vakuumu, a predstavlja značajku izolatora koja ide od 1 do preko 10^3 (za zrak $\epsilon_r \approx 1$).

- ♦ **Probojna čvrstoća** (E_p) je druga važna značajka izolatora. Kad vanjsko polje prijeđe neku vrijednost (E_p) el. sila istragne elektrone iz atoma i oni se počnu kretati (*proboj*). Ta najveća izdrživa jakost polja je **probojna čvrstoća** i značajka je pojedinog izolatora (za zrak $\approx 3 \text{ kV/mm}$).

Pomicanje naboja u električnom polju

- Na naboj u el. polju djeluje el. sila $\vec{F} = Q \cdot \vec{E}$

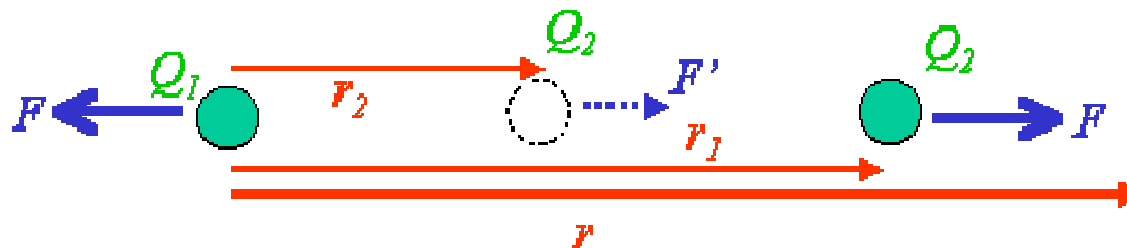


Ako je čestica, koja je nosilac naboja, pokretljiva, tj. nije vezana uz određenu točku u el. polju, ona će se pod djelovanjem polja kretati ([primjer: elektroni u katodnoj cijevi](#))

- Djelovanjem sile na nekom putu, tj. *pomicanjem nabijene čestice u el. polju, obavlja se rad.*

Rad sila u električnom polju

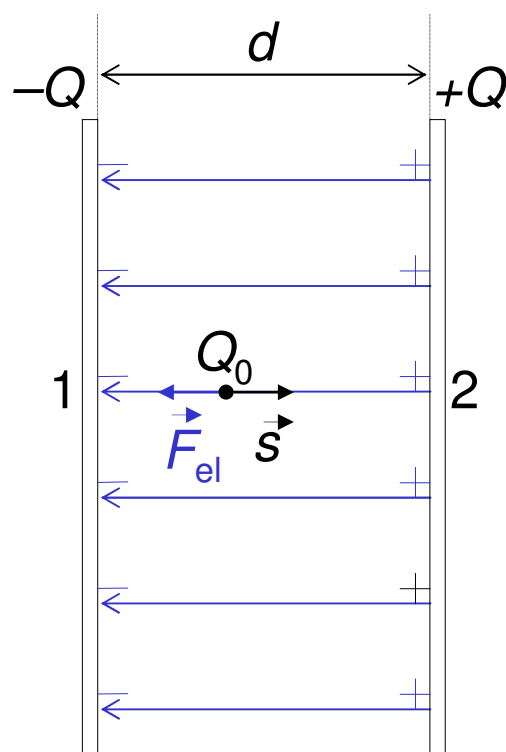
- ♦ Rad A sile F na putu s : $A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot s \cdot \cos \angle(\vec{F}, \vec{s})$
- ♦ Da bi približili (pomični) pozitivni naboj Q_2 pozitivnom naboju Q_1 , morali bi djelovati protiv el. sile polja pa bi vanjskom silom izvršili rad (**poveća se energija sustava**).
- ♦ Pri udaljavanju, rad obavlja sila polja (**energija sustava se smanjuje**).



- ♦ Energija ovog sustava naboja mijenja se, ovisno o mjestu u polju gdje se naboj Q_2 nalazi! Ova promjena energije može se objasniti uvođenjem pojma **potencijalne energije naboja**

Potencijalna energija naboja

Pomicanjem + naboja Q_0 u homogenom polju jakosti E (između paralelnih



ploča razmaknutih za d) od ploče 1 do ploče 2, idući po silnici polja (ne mijenjajući pritom ni gravitacijsku, niti kinetičku energiju nosioca naboja), djelovanjem protiv sile polja $F_{el}=Q_0E$, na putu $s=d$, izvršili bi rad

$$A_{12} = \vec{F}_{el} \vec{s} = F_{el} s \cdot \cos(180^\circ) = -F_{el} s = -Q_0 E d$$

pa bi toliki iznos energije dobio nosioc naboja. Ova je energija rezultat položaja naboja u el. polju, pa je nazivamo **električna potencijalna energija naboja** (W).

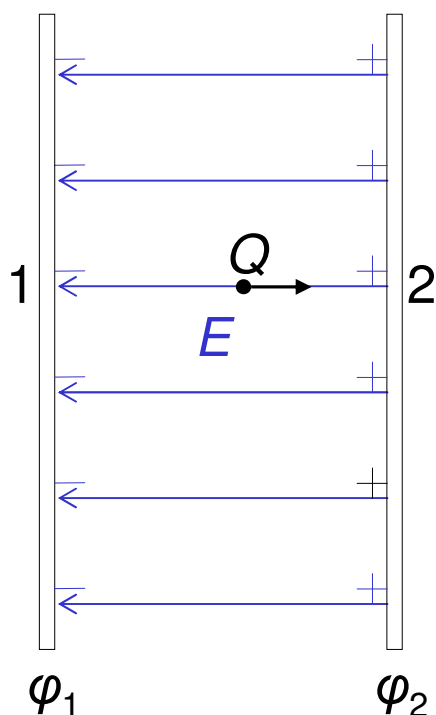
Rad pri pomicanju naboja definiramo kao razliku početne i konačne energije, tj. $A_{12}=W_1-W_2$

Što predznak rada govori o promjeni energije naboja?

Ako je energija naboja Q_0 na ploči 1 bila $W_1=0$, tada je energija naboja Q_0 na ploči 2 jednaka $W_2=W_1-A_{12}=Q_0(Ed)$

❖ Koliku bi energiju, dovođenjem u istu točku, dobio dvaput veći naboj ($2Q_0$)?

Električni potencijal i napon



*Omjer energije i veličine naboja u nekoj točki el. polja je stalan i predstavlja značajku pojedine točke polja, koju nazivamo **električni potencijal** (φ)*

$$\varphi_2 - \varphi_1 = U_{21}$$

$$\varphi = \frac{W}{Q}$$

*Razlika potencijala naziva se **električni napon** (U)*

$$[\varphi] = [U] = \text{V (volt)}^*$$

El. potencijal je napon prema točki nultog potencijala.

❖ Koliki je potencijal početne točke 1, ako u njoj naboj ima energiju $W_1=0$? Koliki je u tom slučaju potencijal točke 2, a koliki napon između tih točaka U_{21} (i U_{12})?

② **Veza el. napona i rada:** Ako između točaka 1 i 2 postoji el. napon U_{12} , tada se pri pomicanju naboja Q od točke 1 do točke 2 izvrši rad

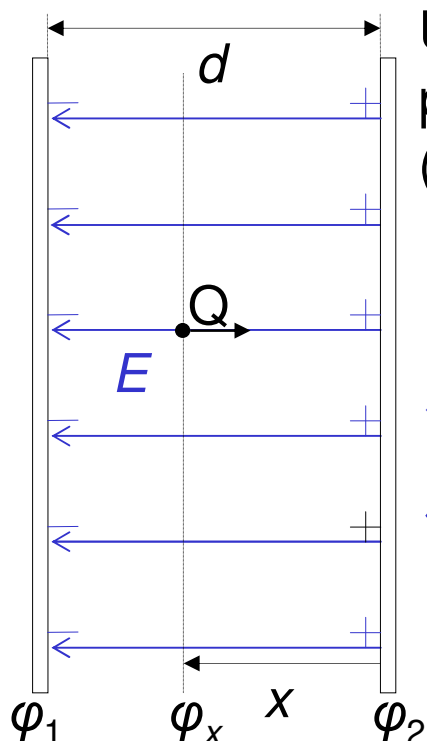
$$A_{12} = W_1 - W_2 = Q\varphi_1 - Q\varphi_2 = Q(\varphi_1 - \varphi_2) = QU_{12}$$

❖ Koja je veza postojanja napona (razlike potencijala) i el. polja između dviju točaka?

* Alessandro Volta (1745-1827)

Odnos potencijala i jakosti polja

- ◆ Postoji li između dviju točaka razlika potencijala, tada među njima postoji el. polje. Kad između točaka nema polja, tada nema ni razlike potencijala.



Unutar vodiča stavljenog u el. polje (zbog influencije) nema polja, što znači da su **sve točke vodiča na istom potencijalu** (Zemlja je na potencijalu koji uzimamo jednakim nuli).

Plohe istog potencijala nazivaju se **ekvipotencijalne plohe**.

Ekvipotencijalne plohe su **okomite** na silnice polja.

❖ **Koji je oblik ekvipotencijalnih ploha u homogenom polju?**

◆ Potencijal i napon u homogenom polju

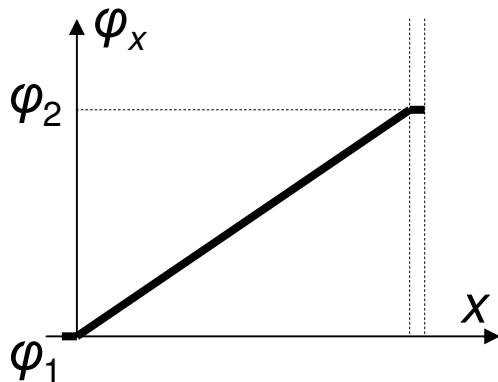
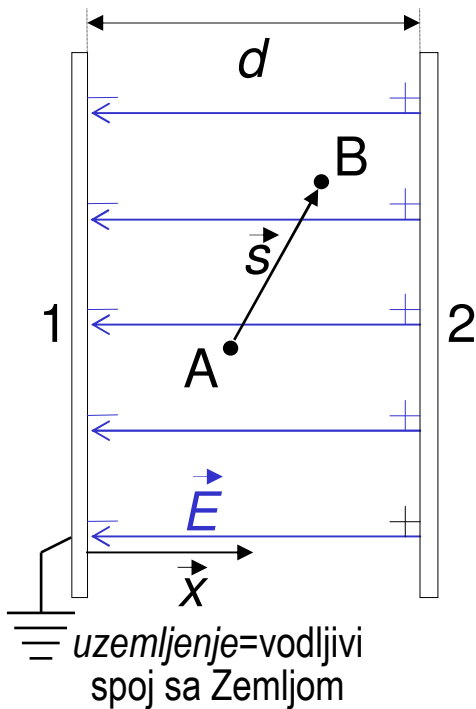
Pri pomicanju od ploče 1 do ploče 2 na slici, potencijal naboja Q povećao se za $\varphi_2 - \varphi_1 = U_{21} = E \cdot d$. **Napon** između ploča **je jednak umnošku jakosti polja i razmaka ploča**.

Potencijal ploče 1 ovisi o udaljenosti d od ploče 2 ovako: $\varphi_1 = -E \cdot d + \varphi_2$

Potencijal na udaljenosti x od pozitivne ploče jednak je $\varphi_x = -E \cdot x + \varphi_2$

Opća veza je složenija a uvijek vrijedi: **potencijal se smanjuje u smjeru polja**

Potencijal u homogenom polju



- ◆ Da smo naboj u prethodnom razmatranju pomicali u suprotnom smjeru, njegov potencijal bi rastao, što znači da *promjena potencijala ovisi o smjeru pomicanja!*

To znači da za izračun promjene potencijala na nekom putu s u el. polju, *put s moramo izraziti vektorski!*

Tako potencijal neke točke B udaljene za s od početne točke A u homogenom polju E (na slici) možemo izraziti općenito ovako

$$\varphi_B = -\vec{E} \cdot \vec{s} + \varphi_A \quad \text{gdje je}$$

φ_A potencijal točke A, a \mathbf{s} je usmjereno od A prema B.

Uzemljimo li ploču 1, tada je njezin potencijal $\varphi_1=0$, pa se sa udaljenošću x od ploče 1 potencijal mijenja po izrazu

$$\varphi_x = -\vec{E} \cdot \vec{x} + \varphi_1 = -E \cdot x \cos(180^\circ) + 0 = E \cdot x$$

pomoću kojega promjenu potencijala možemo i nacrtati.

- ❖ *Kako bi odredili potencijal ploče 2?*

Primjeri - Homogeno polje



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

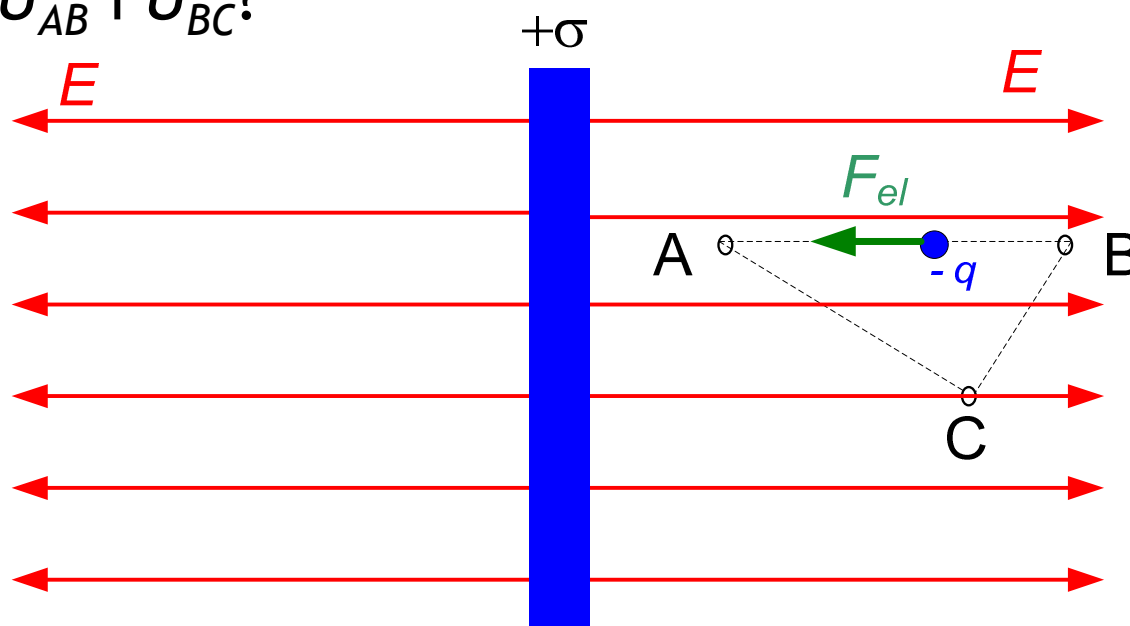
3. Na pozitivni naboj $q=20 \mu\text{C}$, koji se nalazi se u točki A homogenog električnog polja, uspostavljenog u zraku, djeluje električna sila $F=0,1 \text{ N}$.
- a) Odredite kolika je jakost tog homogenog električnog polja E .
 - b) Ako se naboj q pod djelovanjem polja slobodno giba po silnici polja od točke A do točke B, udaljene 10 cm, odredite koliki se rad A_{AB} pritom izvrši?
 - c) Ako je točka A na potencijalu $\varphi_A=500 \text{ V}$, odredite koliki je potencijal točke B ?
 - d) Odredite kolika je potencijalna energija naboja q u točki A, a kolika je u točki B ?

Primjeri - Homogeno polje

4. Ispred vrlo velike ploče jednoliko nabijene nabojem plošne gustoće $\sigma = 7,07 \text{ nC/m}^2$, smještene u zraku, nalaze se točke A, B i C prema slici. Udaljenosti između točaka su: $d_{AB} = 5 \text{ cm}$, $d_{BC} = 3 \text{ cm}$ i $d_{AC} = 4 \text{ cm}$. a) Koliki je rad pri pomicanju naboja $q = -2 \text{ mAs}$ od točke A u točku B pa zatim u točku C?

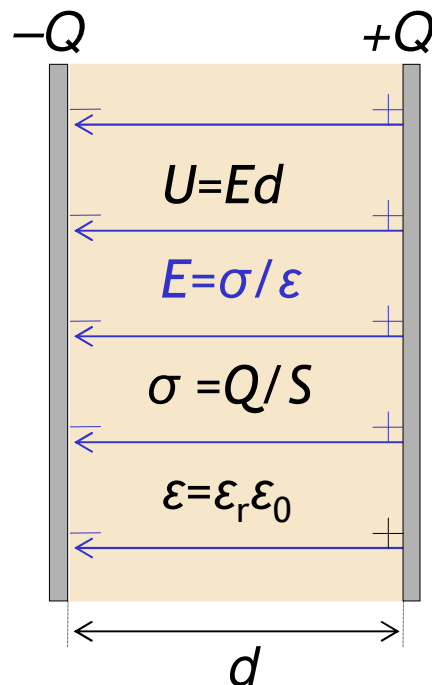
b) Koliki su naponi U_{AB} i U_{BC} ?

c) S kolikom najvećom σ možemo nabiti ploču, ako je probojna čvrstoća zraka $E_p = 3 \text{ kV/mm}$?



Električni kapacitet

- ◆ Izvan ovako nabijenih ploča nema el. polja, koje kao da je *kondenzirano* u prostoru između ploča. Ovakav *sustav dviju vodljivih ploča (elektroda) odvojenih izolatorom* naziva se *električni kondenzator*.



Omjer na kondenzatoru razdvojenog naboja Q i pritom uspostavljenog napona U je stalna značajka pojedinog kondenzatora, koju nazivamo *električni kapacitet C* .

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

$$[C] = \frac{As}{V} = F \text{ (farad)}$$

Kapacitet postoji između bilo koja dva vodljiva tijela odvojena izolatorom, a kapacitet kondenzatora ovisi o dimenzijama i obliku elektroda te o debljini i vrsti dielektrika.

- ◆ Kapacitet pločastog kondenzatora:
$$C = \frac{Q}{U} = \frac{\sigma S}{Ed} = \frac{E\epsilon S}{Ed} = \epsilon \frac{S}{d} = \epsilon_r \epsilon_0 \frac{S}{d}$$
- ◆ Općenito vrijedi: kapacitet je to veći što je veća dielektričnost izolatora te što je veća površina, a manji razmak elektroda.

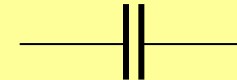
Električni kondenzatori



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ◆ Kondenzatori su *naprave izraženog kapaciteta*
 - u rasponu od 10^{-12} (piko)F do preko 10^3 F (*superkondenzatori*)
- ◆ Osnovne značajke:
 - Nazivni kapacitet
 - Tolerancija
 - Nazivni napon
- ◆ Izvedbe: različite po *obliku elektroda* i *vrsti izolatora*
 - Dimenzije: od μm (dijelovi IC-a) do metarskih
- ◆ Primjena: *kondenzator je bitan element el. krugova*
- ◆ Važno svojstvo: *kondenzator je spremnik energije!*
 - Nabijanjem (razdvajanjem + i – naboja) u kondenzatoru se pohranjuje energija (*u kojem obliku?*)

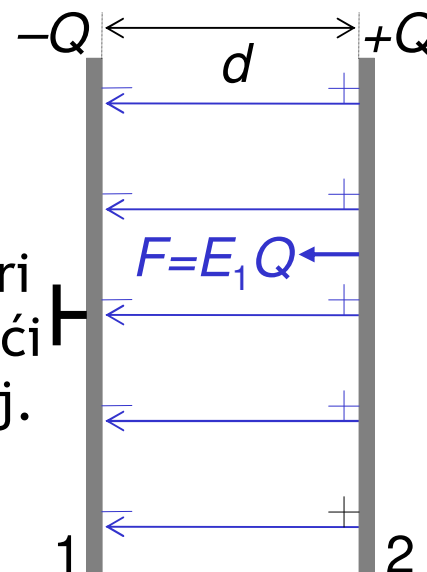
Znak za kondenzator u el. shemi



Energija nabijenog kondenzatora

- ◆ Pri nabijanju kondenzatora uložen je rad da bi se razdvojili + i – naboji, među kojima je uspostavljeno električno polje. Ovo polje može, djelujući el. silom, vratiti taj rad, pa kažemo da je u nabijenom kondenzatoru pohranjena *energija električnog polja*.

Da je ploča 1 kondenzatora na slici učvršćena, a da se ploča 2 može slobodno gibati, ona bi se djelovanjem sile el. polja pomicala, sve dok ne bi dotakla ploču 1, pri čemu se naboji neutraliziraju i polje nestaje pretvarajući svu svoju energiju u rad pri pomicanju ploče. Taj rad, tj. *energiju nabijenog kondenzatora* W_c , možemo odrediti kao umnožak sile $F=E_1Q$ (kojom polje ploče 1 $E_1=\sigma/2\varepsilon$ djeluje na naboj Q ploče 2) i puta $s=d$:



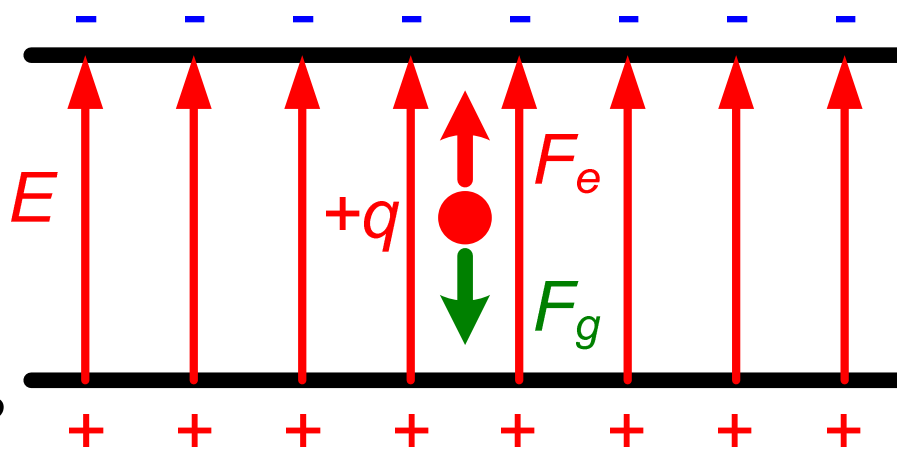
$$A = \vec{F} \cdot \vec{s} = F \cdot d = Q \cdot E_1 \cdot d = Q \cdot \frac{\sigma}{2\varepsilon} \cdot d = Q \cdot \frac{Q}{s \cdot 2\varepsilon} \cdot d = \frac{Q^2}{2(\varepsilon \frac{s}{d})} = \frac{Q^2}{2C} = W_c$$

- ◆ Općenito (bez obzira na vrstu i izvedbu) *energija nabijenog kondenzatora* je

$$W_c = \frac{Q^2}{2C} = \frac{U^2 C}{2} = \frac{QU}{2}$$

Primjeri - Kapacitet i kondenzatori

5. Ploče kondenzatora površine $S=37,3 \text{ dm}^2$ na razmaku $d=1 \text{ cm}$, odvojene su zrakom. a) Koliki je kapacitet kondenzatora?
- b) Ako su ploče postavljene paralelno sa zemljom i među njima je čestica mase $m=1 \text{ g}$, nabijena nabojem $q=98 \text{ nC}$, koliki napon treba dovesti na kondenzator da bi čestica lebdjela između ploča?
- c) Kolika je pritom energija u kondenzatoru?
- d) Kako se promijeni naboj, E kako kapacitet, a kako energija kondenzatora, ako napon udvostručimo?
- e) Koliki najveći napon možemo priključiti na kondenzator, a da ne dođe do proboja u zraku ($E_p=3 \text{ kV/mm}$)?

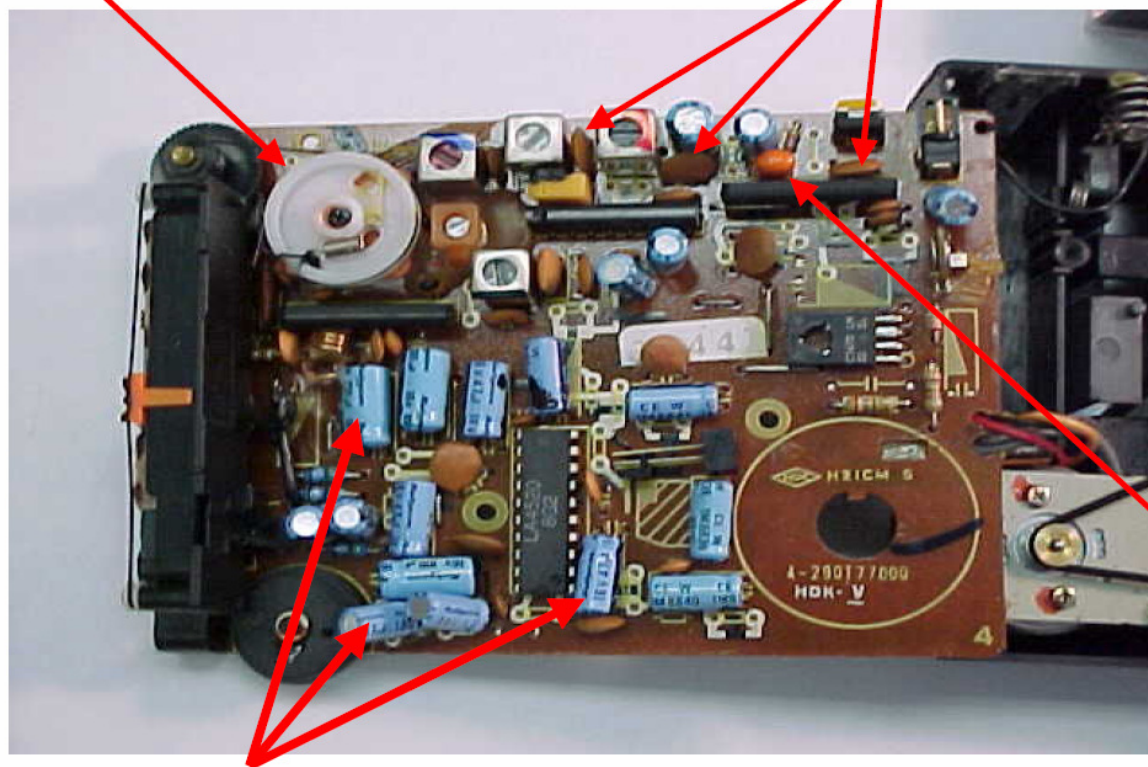


6. Pločastom kondenzatoru može se zakretanjem mijenjati efektivna površina ploča S . Kako se promijeni kapacitet kondenzatora, ako se površina ploča smanji na polovinu?
7. Pločasti zračni kondenzator ($\epsilon_r=1$), razmaka ploča $d=1$ mm, uz napon između ploča $U=400$ V, nabijen je nabojem $Q=132$ nC.
- a) Koliki je kapacitet kondenzatora?
 - b) Što se dogodi s kapacitetom kondenzatora, ako mu prostor između ploča ispunimo dielektrikom s $\epsilon_r=2$?
 - c) Ako pri toj promjeni dielektrika napon na kondenzatoru ostane nepromijenjen, što se pritom dogodi s nabojem, a što s energijom kondenzatora?
- ❖ Kako bismo postigli da napon na kondenzatoru ostane nepromijenjen?

Primjer primjene kondenzatora (unutrašnjost walkmana)

Promjenjivi kondenzator

Keramički kondenzatori



Tantalni kondenzator

Elektrolitski kondenzatori

Rješenja primjera*

1. a) $d=6$ m; b) naboji su raznih predznaka; c) $E=5$ kV/m.
2. a) $E=200$ V/m; b) $E=346,4$ V/m.
3. a) $E=5$ kV/m; b) $A=10$ mJ; c) $\varphi_B=0$ V; d) $W_A=10$ mJ, $W_B=0$.
4. a) $A_{A-B-C}=A_{A-C}=W_A-W_C=-25,6$ mWs; b) $U_{AB}=20$ V; $U_{BC}=-7,2$ V;
c) $\sigma_p=53,12$ $\mu\text{C}/\text{m}^2$.
5. a) $C=0,33$ nF; b) $U=1$ kV; c) $W=165$ μWs ;
d) Q se poveća 2x; C ne ovisi o naponu!; W se poveća 4x;
e) $U_p=30$ kV.
6. Kapacitet se smanji na pola;
7. a) $C=0,33$ nF; b) C se poveća 2x;
c) Q se poveća 2x; W se poveća 2x;

* Pogledati tek nakon što se pokušaju riješiti primjeri!