

# 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

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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<sup>+</sup> i elektron<sup>-</sup>**
- ♦ 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 ( $10^{11} \cdot 10^{15}/\text{cm}^3$ )
  - Izolatori (nevodiči) praktički bez

3

## Električne sile - osnovne značajke



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ♦ 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)**.

4

## Električne sile - Coulombov zakon



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- 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:

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

5

## 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  $E$**

$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q} \quad [E] = \text{N/As} = \text{VAs/m/As} = \text{V/m} \quad \left( \vec{E} = \lim_{q \rightarrow 0} \frac{\vec{F}}{q} \right)$$

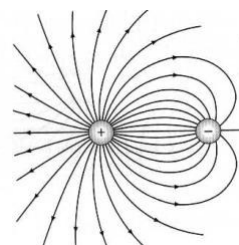
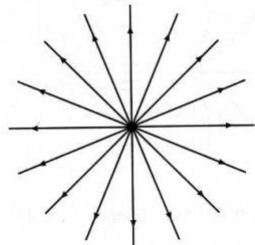
6

## Električno polje - radijalno polje



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ♦ **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**

7

## Električno polje - Jakost radijalnog polja



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

- ♦ 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?

8

## Električno polje - Jakost radijalnog polja

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



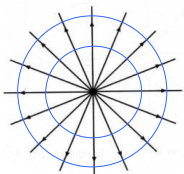
- A Na naboj  $Q_2$  koji se nalazi na udaljenost  $r$  od naboja  $Q_1$  djeluje sila  $F = Q_1 Q_2 / (4\pi\epsilon_0 r^2)$  jer se nalazi u polju naboja  $Q_1$



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!**)

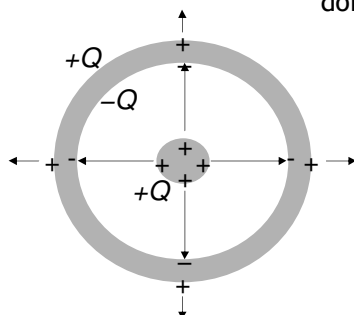
9

## Vodič u polju - električna influencija

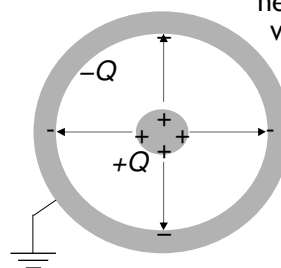
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- 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



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



2. Uzemljenje vanjske kugle

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 spriječavamo širenje el. polja u okolni prostor!

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

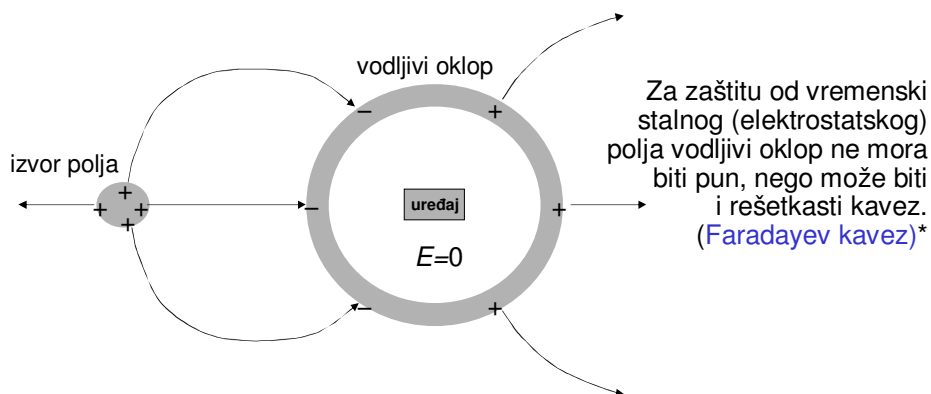
10

## Vodič u polju - oklapanje

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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)

11

## 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).

12

## Rasprava primjera 2c - Oblik polja skupine naboja

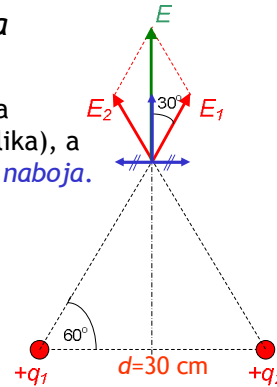


OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

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 nabojima?



♦ 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?

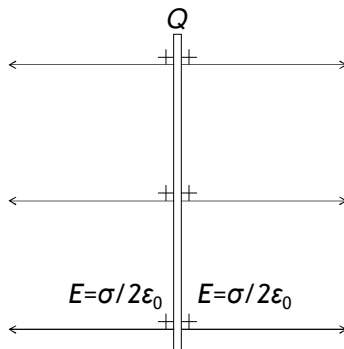
13

## Električno polje - homogeno polje



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

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  $-Q$ ?

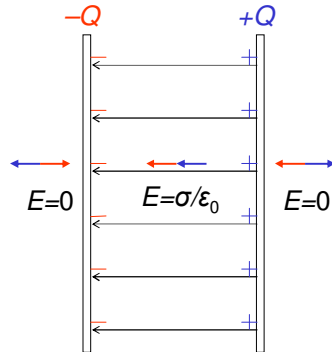
14

## 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  $E = \sigma / \epsilon_0$

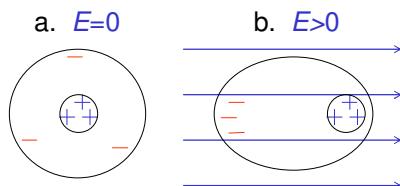
15

## Izolator u polju - električna polarizacija

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



♦ **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*.

\* Thales iz Mileta (624-546 pne)

16

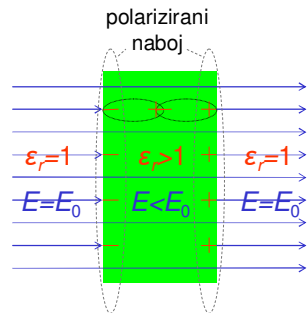


## Izolator u polju - dielektričnost i proboj

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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



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

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

**Relativna dielektričnost**  $\epsilon_r$  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 istrgne elektrone iz atoma i oni se počnu kretati (*proboj*). Ta najveća izdrživa jakost polja je **probojna čvrstoća** i značajka je pojedinog izolatora (za zrak  $\approx 3 \text{ kV/mm}$ ).

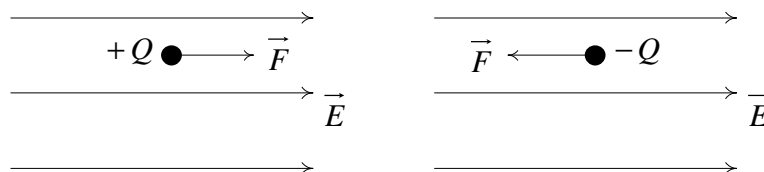
17

## Pomicanje naboja u električnom polju

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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*.

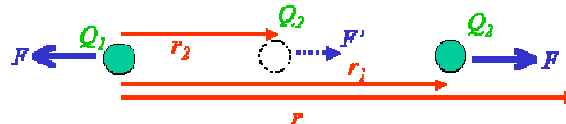
18

## Rad sila u električnom polju

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- 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**

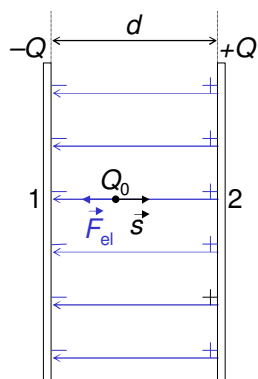
19

## Potencijalna energija naboja

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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  $F_{el} = Q_0 E$ , na putu  $s = d$ , izvršili bi rad



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

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?

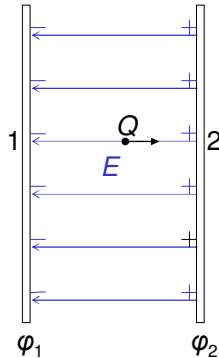
Ako je energija naboja  $Q_0$  na ploči 1 bila  $W_1 = 0$ , tada je energija naboja  $Q_0$  na ploči 2 jednaka  $W_2 = W_1 - A_{12} = Q_0(Ed)$

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

20

# Električni potencijal i napon

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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

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

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

*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)

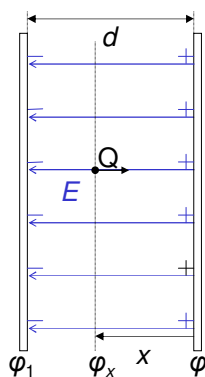
21

# Odnos potencijala i jakosti polja

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



♦ 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:  $\varphi_1 = -E \cdot d + \varphi_2$

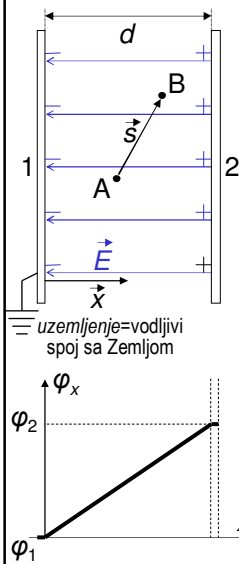
**Potencijal na udaljenosti  $x$  od pozitivne ploče jednak je**  $\varphi_x = -E \cdot x + \varphi_2$

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

22

## Potencijal u homogenom polju

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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

$\varphi_A$  potencijal točke A, a  $\vec{s}$  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?

23

## 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?

24

## Primjeri - Homogeno polje

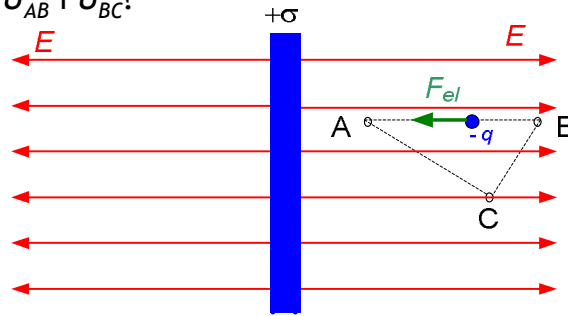
OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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  $\sigma$  možemo nabiti ploču, ako je probojna čvrstoća zraka  $E_p = 3 \text{ kV/mm}$ ?



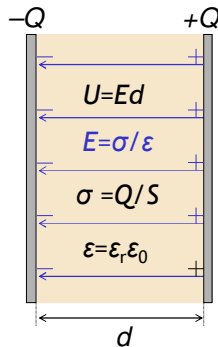
25

## Električni kapacitet

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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  $C$* .

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

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

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.

26

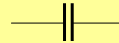
## Električni kondenzatori

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  $\mu\text{m}$  (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



27

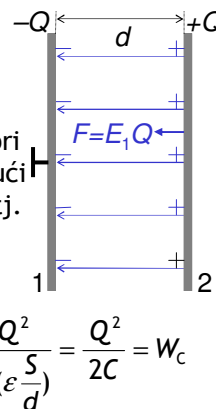
## Energija nabijenog kondenzatora

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



- ♦ 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  $E_1=\sigma/2\epsilon$  djeluje na naboj  $Q$  ploče 2) i puta  $s=d$ :



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

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

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

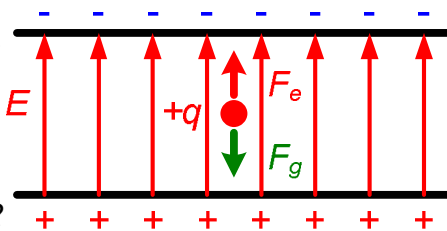
28

## Primjeri - Kapacitet i kondenzatori

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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, 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 ( $E_p=3 \text{ kV/mm}$ )?



29

## Primjeri - Kapacitet i kondenzatori

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

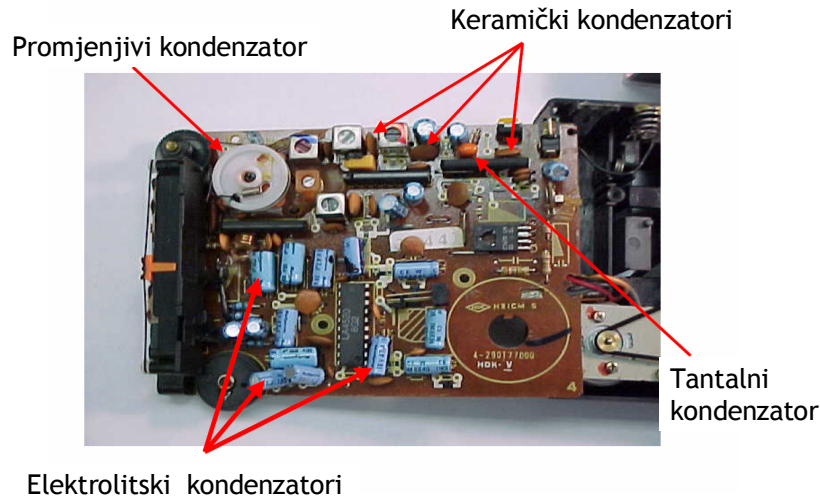


6. Pločastom kondenzatoru može se zakretanjem mijenjati efektivna površina ploča  $S$ . Kako se promijeni kapacitet kondenzatora, ako se površina ploča smanji na polovinu?
7. Pločasti zračni kondenzator ( $\epsilon_r=1$ ), razmaka ploča  $d=1 \text{ mm}$ , uz napon između ploča  $U=400 \text{ V}$ , nabijen je nabojem  $Q=132 \text{ nC}$ .
- 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?

30

## Primjer primjene kondenzatora (unutrašnjost walkmana)

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



31

## Rješenja primjera\*

OSNOVE ELEKTROTEHNIKE



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)  $W=165$   $\mu\text{Ws}$ ; 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!

32



## Zadatak



OSNOVE ELEKTROTEHNIKE

1. Četiri jednaka naboja  $Q=5 \text{ mC}$  smještene su u zraku u vrhovima kvadrata stranice  $d$ , daleko od drugih izvora el. polja. Ako je el. sila između dva susjedna naboja  $F=1 \text{ mN}$ , odredite:
- a) Kolika je ukupna sila na svaki od naboja?
  - b) Kolika je jakost el. polja  $E$  u jednom od vrhova kvadrata kad iz njega uklonimo naboj?