

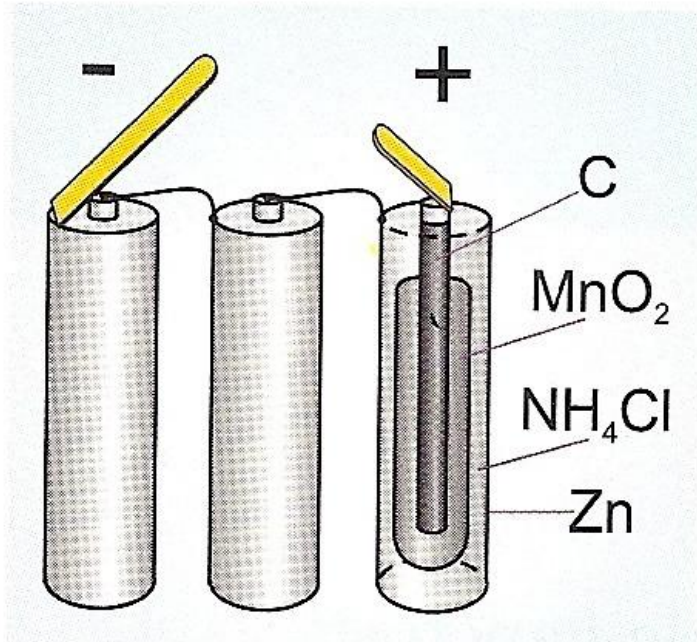
# FIZIKA

## **Predavanja**

3. del : **Elektrika in magnetizem**

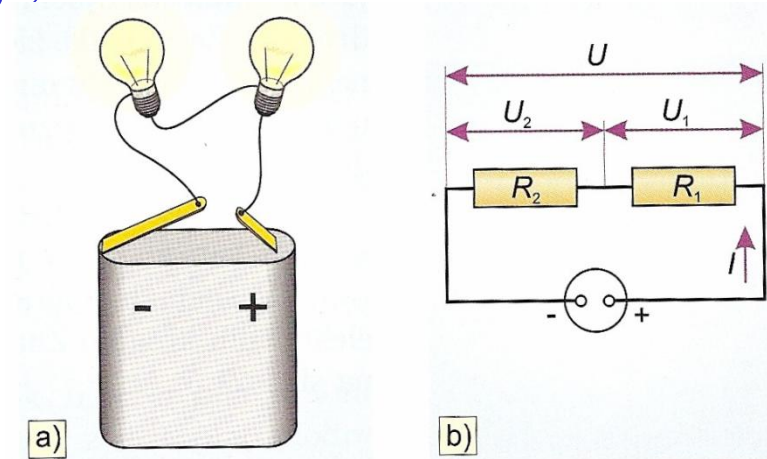
# Elektrika in magnetizem

Električni tok: prevodniki, izolatorji,  
generatorji, tokokrog

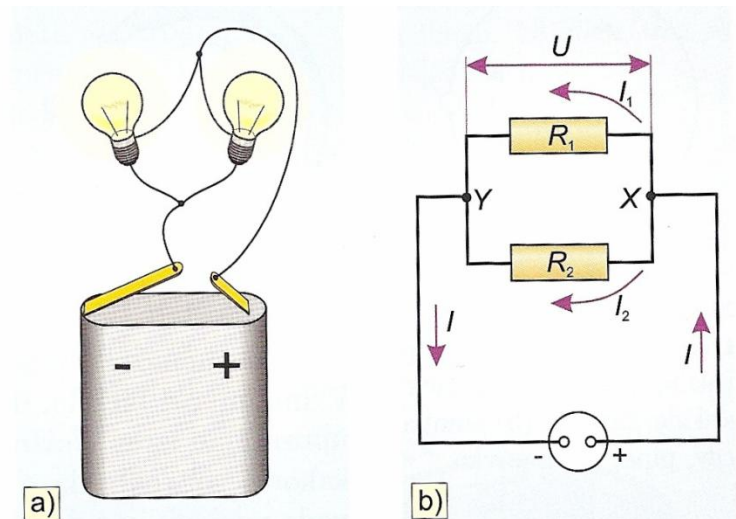


Baterija iz treh Leclanchéjevih  
galvanskih elementov.

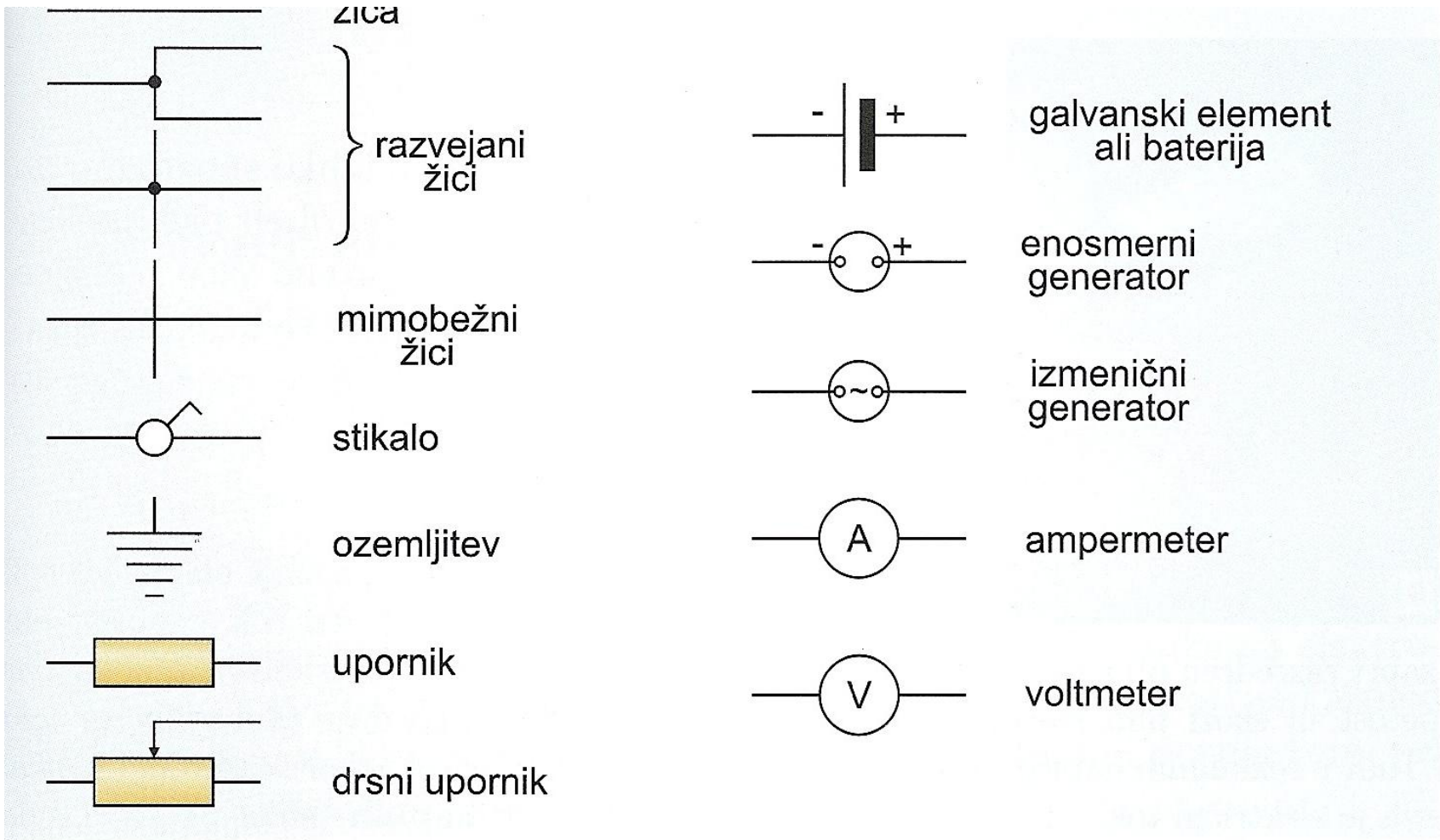
Vzporedna vezava dveh žarnic: a) fizična izvedba  
b) nadomestna shema



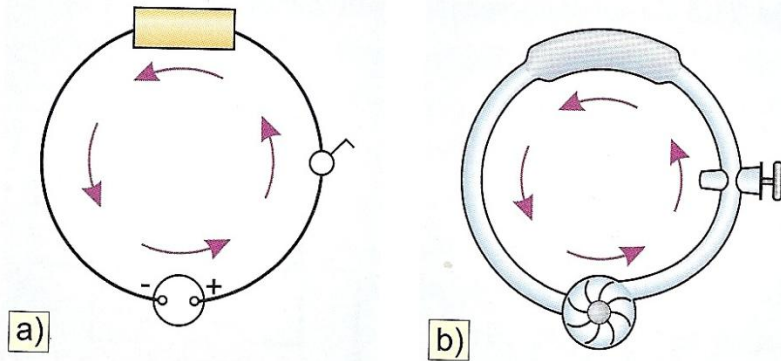
Zaporedna vezava dveh žarnic: a) fizična izvedba  
b) nadomestna shema



# Sheme elementov v električnih vezjih

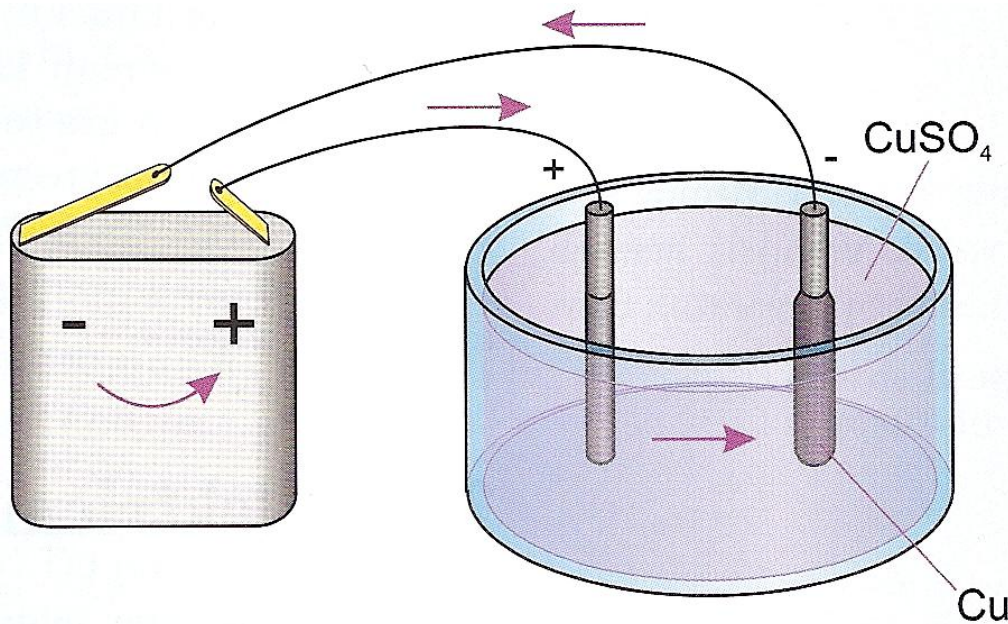


# Električni tok



Primerjava električnega toka z vodnim obtokom:

- a) generator, žica, stikalo, žarnica
- b) črpalka, cev, pipa, cev z mivko



$$I = e/t$$

$$I = de/dt$$

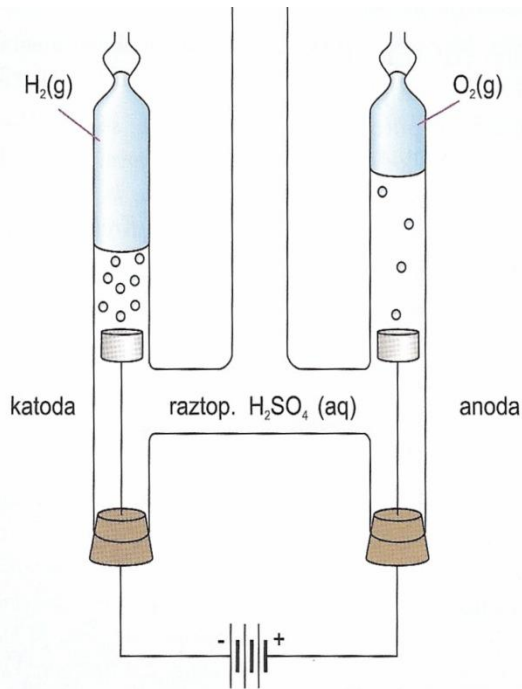
smer I: +

Osnovni naboj:

$$e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

Elektroliza raztopine modre galice

# Ioni in tok v raztopinah



- Potujoči kovinski ioni se nabirajo na katodi.
- S smerjo pozitivnih ionov je določena smer električnega toka.
- Da se izloči 1 kmol enovalentne snovi, se mora pretočiti točno določen naboj - **Faradayev naboj**.

$$e_F = 9,6 \cdot 10^7 \text{ As}$$

$$e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

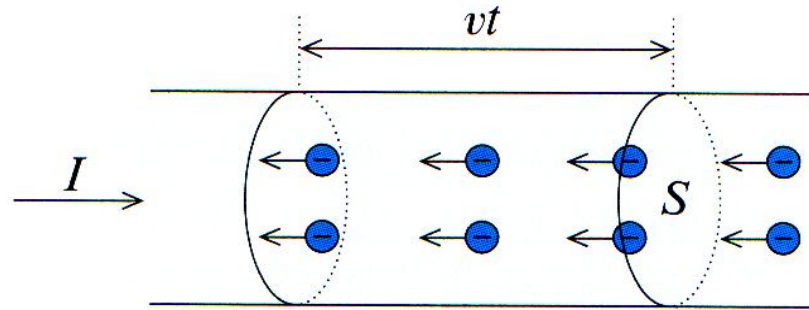
(osnovni naboj)

- Nosilci pozitivnega naboja so protoni, negativnega pa elektroni.

$$e_e = -e_0 = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

$$e_p = e_0 = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ As}$$

# Mikroskopska slika električnega toka po vodniku



$$v = \frac{I}{n \cdot e_0 \cdot S} \approx 1 \frac{\text{mm}}{\text{s}}$$

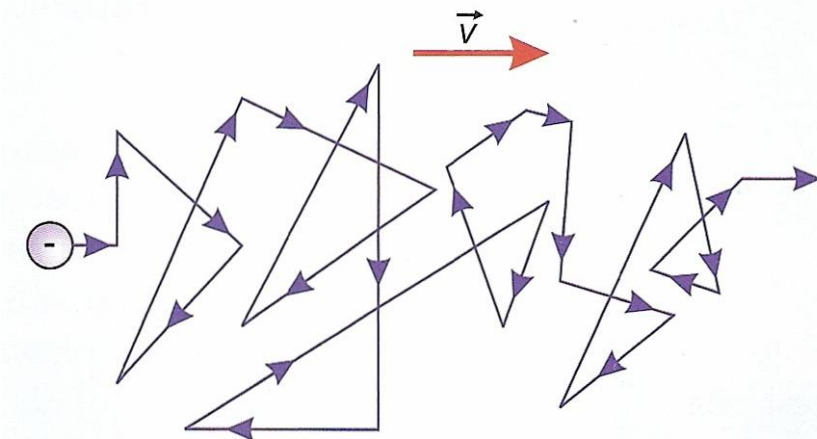
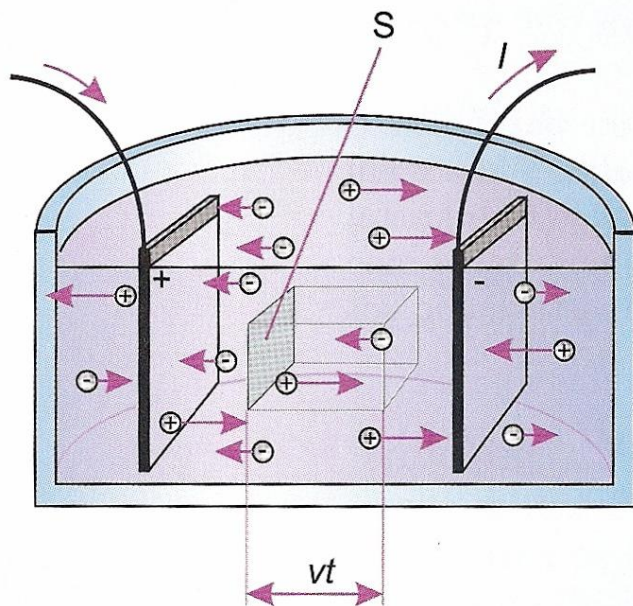
$I$  – električni tok

$n$  – gostota prostih elektronov v žici

$v$  – povprečna hitrost elektronov

$e_0$  - osnovni naboj

# Mikroskopska slika toka v raztopinah



Slika k izpeljavi izraza za gostoto toka ionov: termično gibanje ni upoštevano

$$j = nve_0$$

$j$  – gostota toka

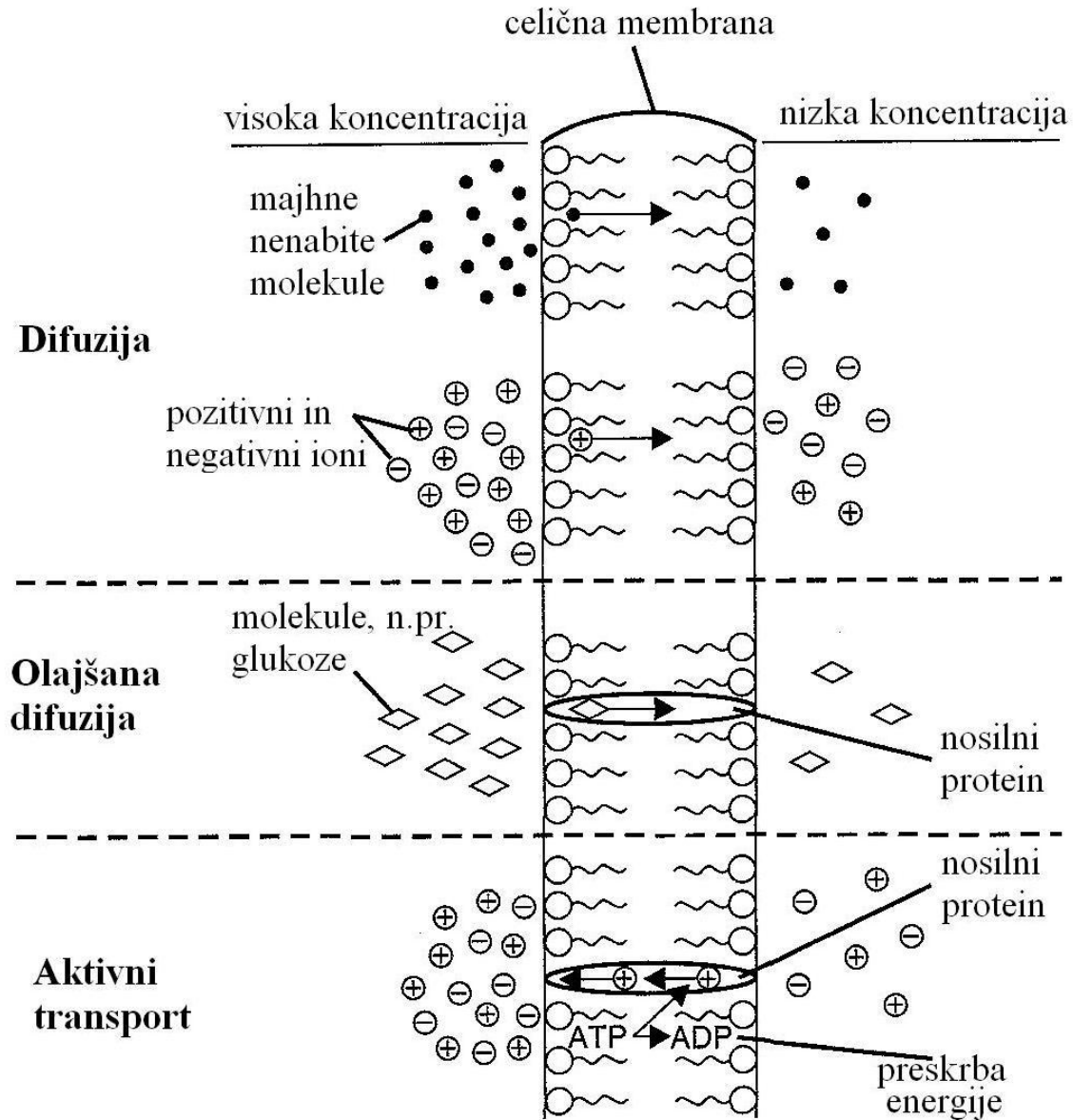
$n$  – število ionov v prostorninski enoti

$v$  – povprečna hitrost ionov

$e_0$  - osnovni naboj

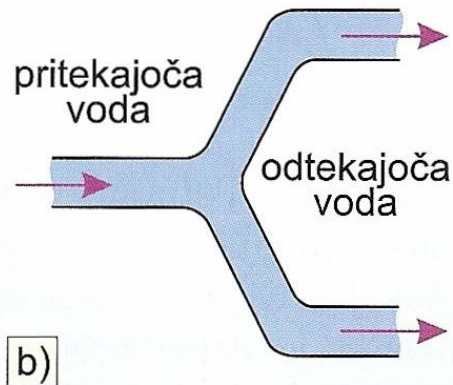
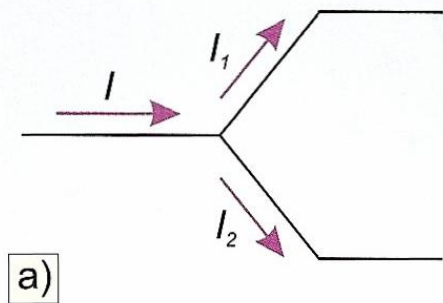
Potovanje nosilcev naboja in termično gibanje. Gibanje nosilcev naboja je demo urejeno: sestavljeno je iz neurejenega termičnega gibanja in iz urejenega potovanja od ene elektrode k drugi. Pod “potovanjem” razumemo povprečno gibanje nosilcev.

# Prenos naboja skozi celično membrano



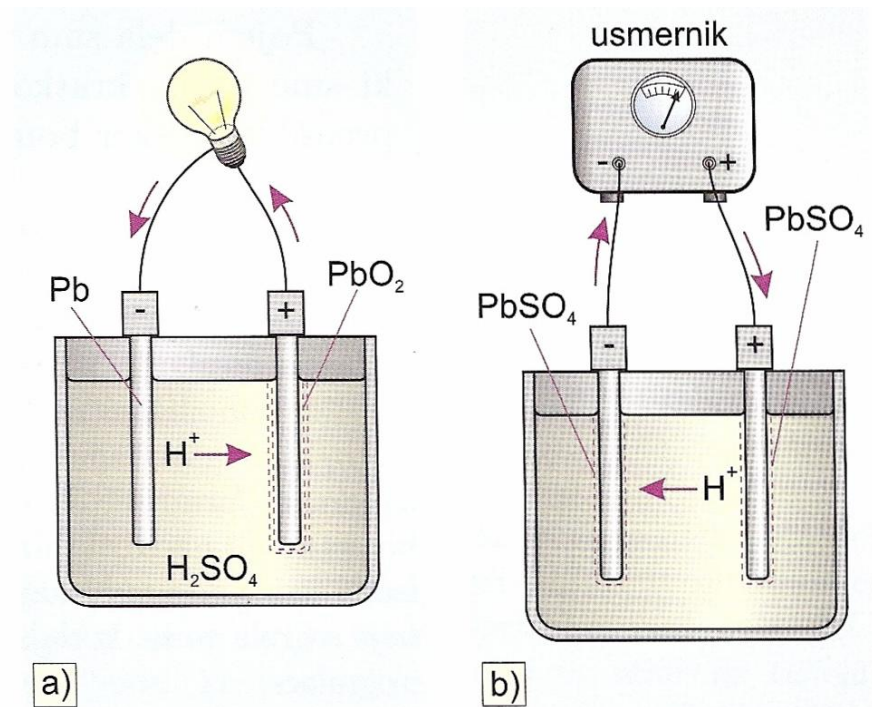


# Električni tok



1. Kirchhoffov izrek, (a) razvejišče v električnem vezju, (b) analogija z vodnim tokom.

$$I = I_1 + I_2$$

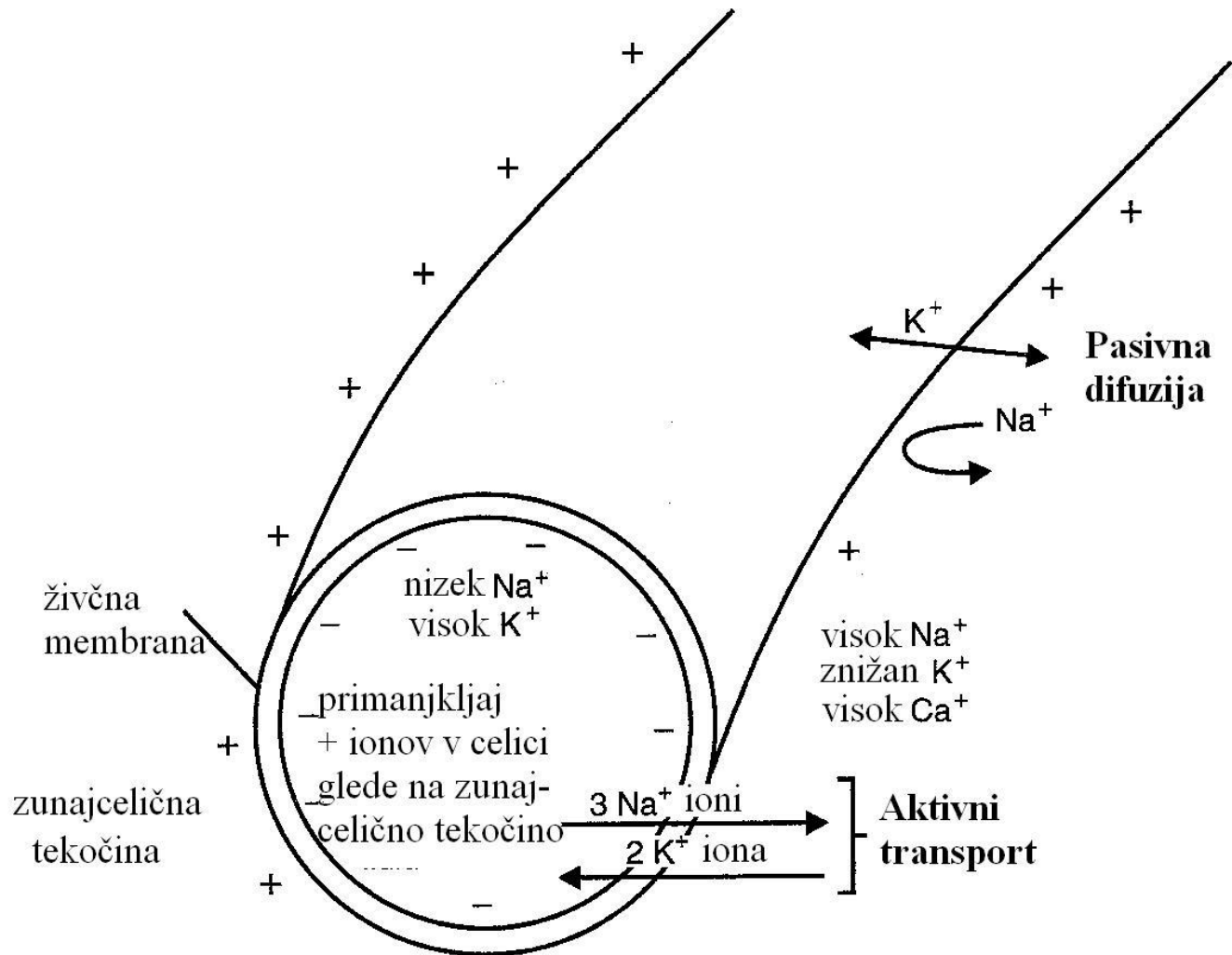


Praznjenje in polnjenje akumulatorja, (a) poln akumulator se prazni skozi žarnico, (b) prazen akumulator polnimo z usmernikom.

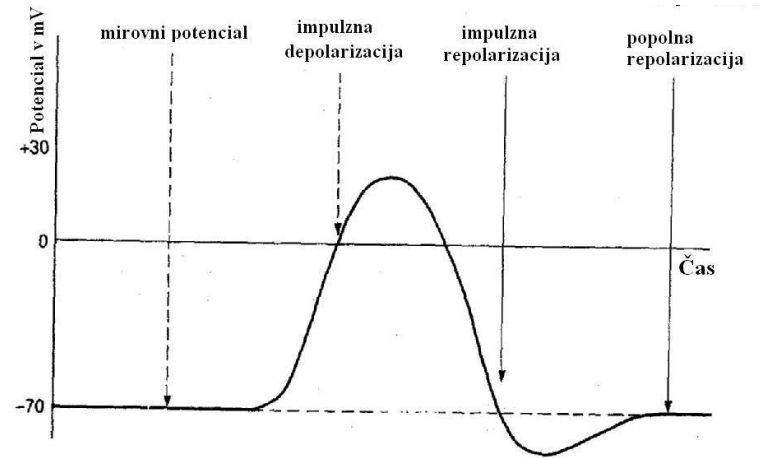
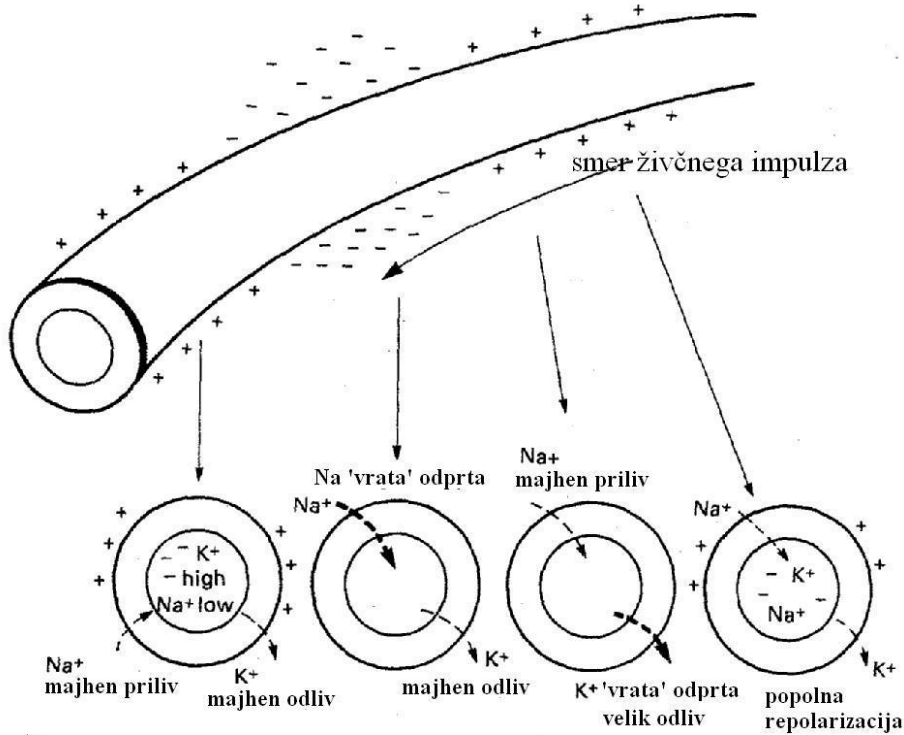


Primeri:

## Električni tok skozi membrano živčnih vlaken



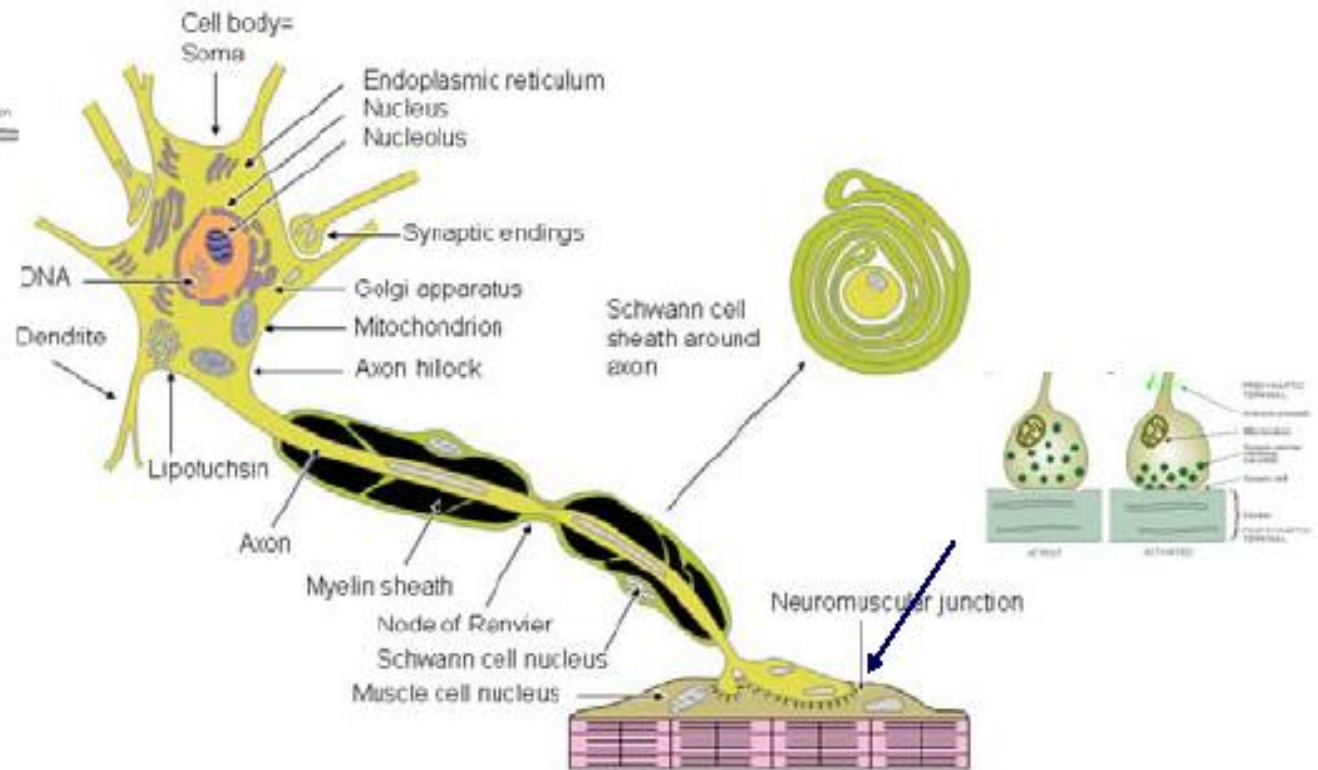
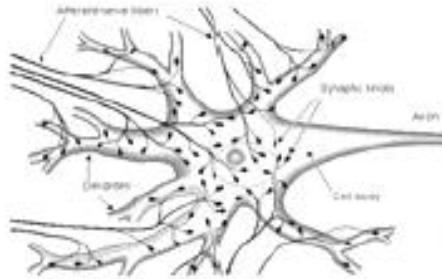
# Mehanizem prevajanja električnih signalov - akcijskega potenciala - po živčnih vlaknih



# Prenos signala iz živčne do mišične celice

## ŽIVČNA CELICA - NEVRON

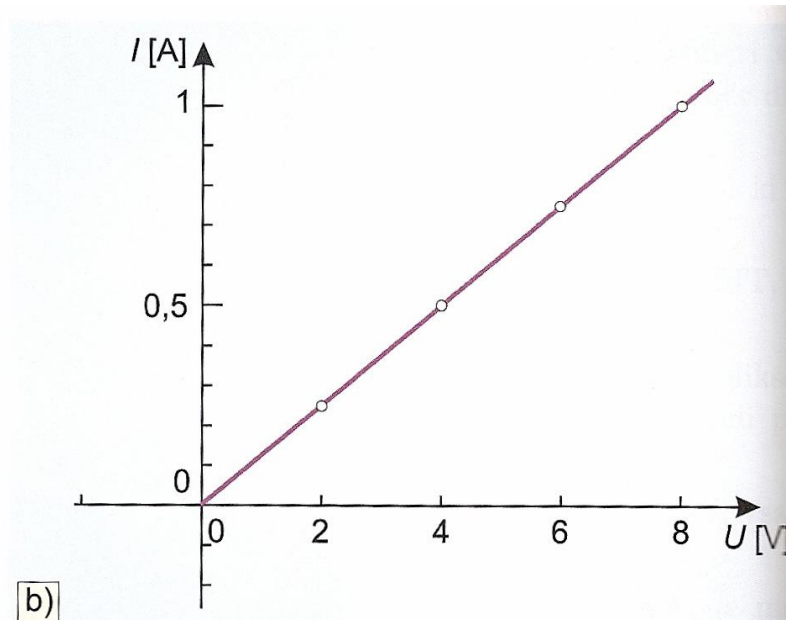
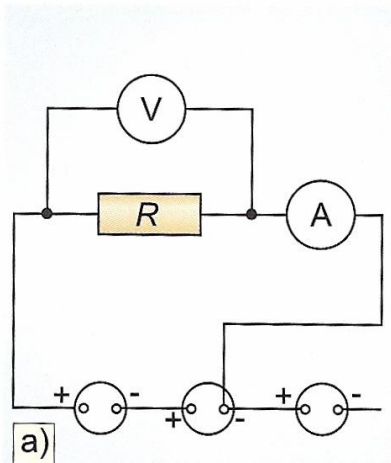
V MOŽGANIH



MIŠICA

# Ohmov zakon

Tok je sorazmeren z napetostjo:  $U = R \cdot I$   $R = \frac{U}{I} \left[ \frac{V}{A} = \Omega \right]$



Vežje za ugotavljanje zveze med tokom in napetostjo na uporniku:  
(a) vezje, (b) graf toka v odvisnosti od napetosti.

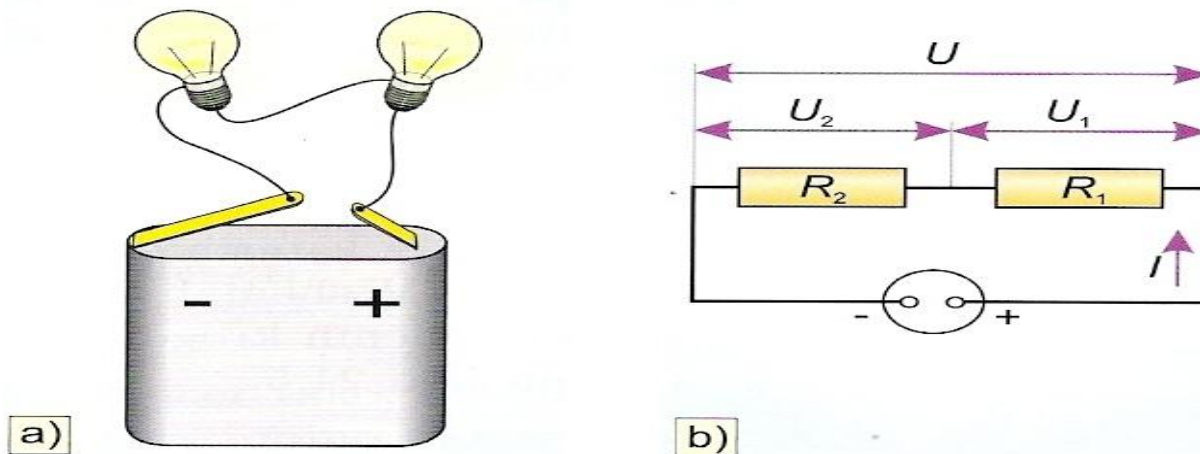
## Električno delo in moč

Električno delo:  $A = U \cdot e$   $[J] = [V] \cdot [As]$

Električna moč =  $P = A/t = U \cdot e/t = U \cdot I$

$$P = U \cdot I = R \cdot I^2 = U^2 / R$$

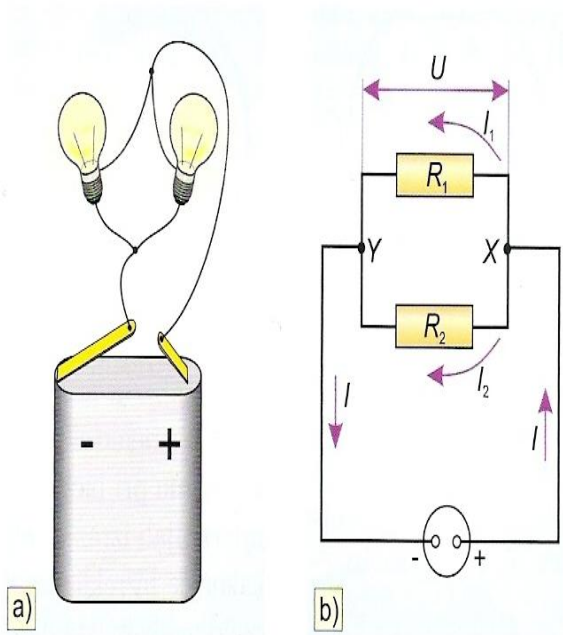
a) zaporedna vezava:



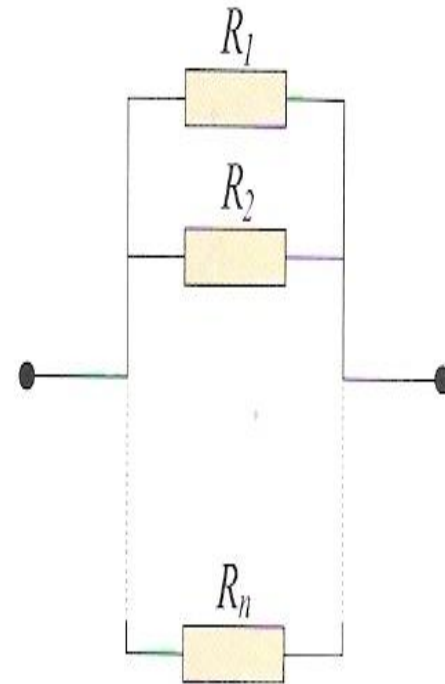
Slika 21.3 Zaporedna vezava dveh žarnic.

$U$  - električna napetost [enota V]:  $U = U_1 + U_2$

b) vzporedna vezava:

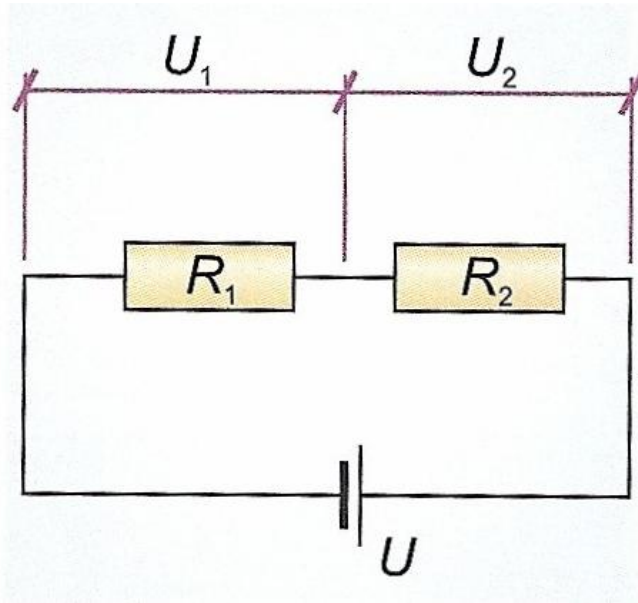


Slika 21.4 Vzporedna vezava dveh žarnic.



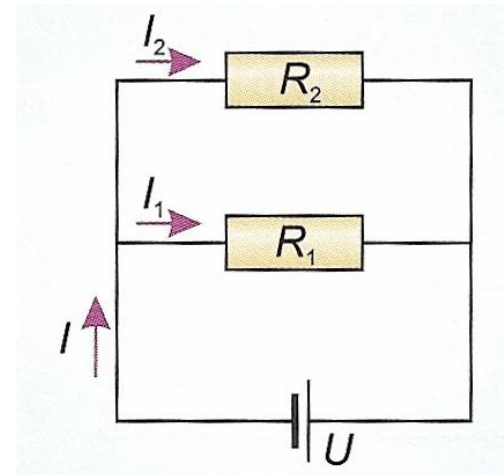
Električna napetost:  $U = U_1 = U_2$

# Zaporedna in vzporedna vezava upornikov



Zaporedna vezava uporov:

$$R = R_1 + R_2$$



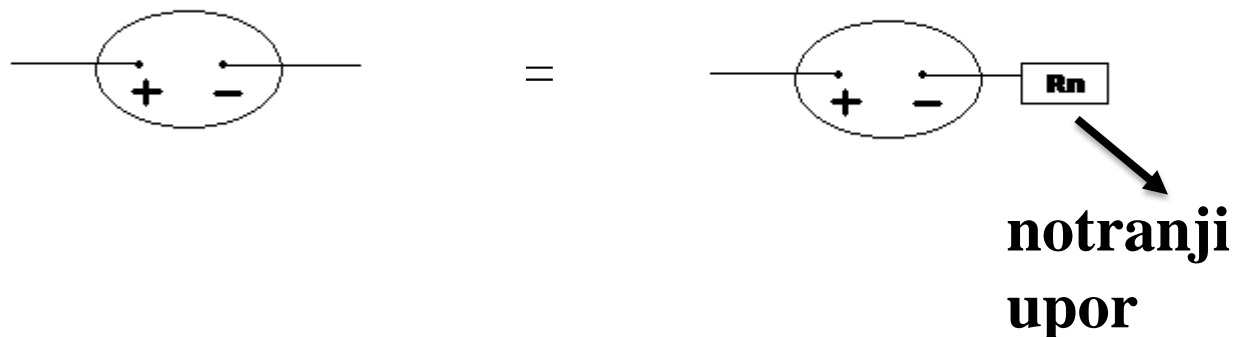
Vzporedna vezava uporov  $R_1$  in  $R_2$

$$I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

$$\frac{1}{R} = \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$



## Notranji upor generatorja $R_n$



$$U_{gen} = U_g - U_n \longrightarrow \text{padec napetosti znotraj generatorja} \\ (U_n = R_n \cdot I)$$

napetost med  
priključkoma  
generatorja,  
ko teče tok

gonilna napetost  
(napetost med priključkoma,  
ko ne teče tok)

## Specifični upor( $\zeta$ )

Upor vodnika (žice) je odvisen od snovi iz katere je vodnik (to nam poda specifični upor), od preseka ( $S$ ) in njegove dolžine ( $l$ ).

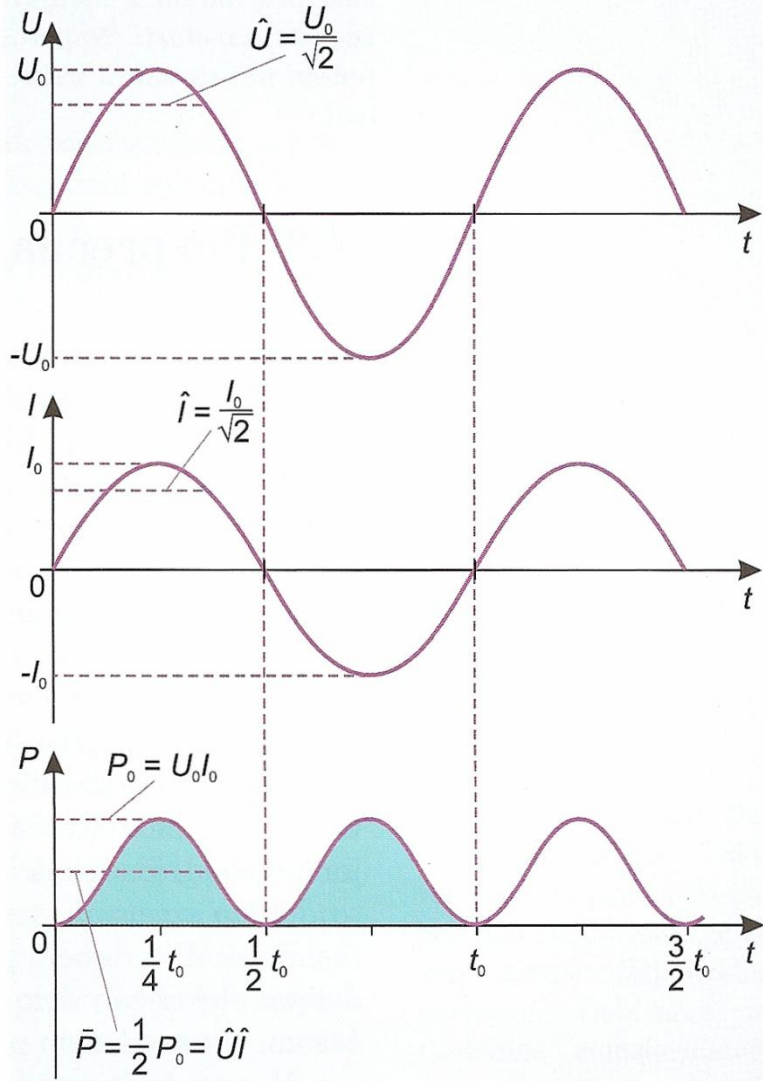
$$R = \zeta \cdot \frac{l}{S} \Rightarrow \zeta = R \cdot \frac{S}{l} \left[ \frac{\Omega \cdot \text{mm}^2}{\text{m}} \right]$$

Specifični upor je odvisen od temperature. Podatek za posamezno snov najdemo v fizikalnih priročnikih.

**Tabela 22.1** Specifični upor ( $\zeta$ ) in temperaturni koeficient specifičnega upora ( $\alpha$ ) nekaterih snovi pri 20 °C

| Snov                                      | $\zeta$<br>[ $10^{-6} \Omega \text{ m} = 1 \Omega \text{ mm}^2/\text{m}$ ] | $\alpha$<br>[ $10^{-3} \text{ K}^{-1}$ ] |
|---|--|--|
| baker                                     | 0,017  | 3,9                                      |
| srebro                                    | 0,0159   | 3,8                                      |
| platina                                   | 0,11   | 3,92                                     |
| aluminij                                  | 0,0282   | 3,9                                      |
| wolfram                                   | 0,056  | 4,5                                      |
| železo                                    | 0,10   | 5,0                                      |
| cekas (60 % Ni, 27 % Fe, 11 % Cr, 2 % Mn) | 1,4  |  |
| slana voda (10 % NaCl)                    | $8 \cdot 10^4$   |  |
| vodovodna voda                            | $3 \cdot 10^7$   |  |
| popolnoma čista voda                      | $2 \cdot 10^{11}$  |  |
| popolnoma čist germanij                   | $0,46 \cdot 10^6$  | -48                                      |
| popolnoma čist silicij                    | $6,4 \cdot 10^8$   | -75                                      |
| silicij z $10^{-5}$ % fosforja            | $10^4$   |  |
| navadno steklo                            | $10^{16}$  |  |
| kremenovo steklo                          | $10^{23}$  |  |

# Izmenični tok in napetost



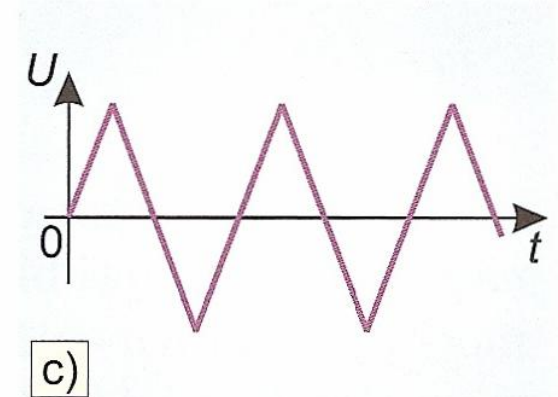
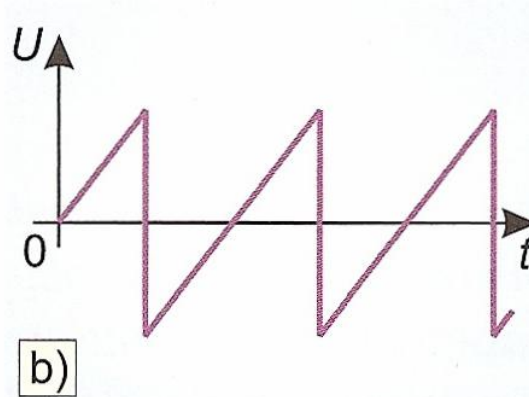
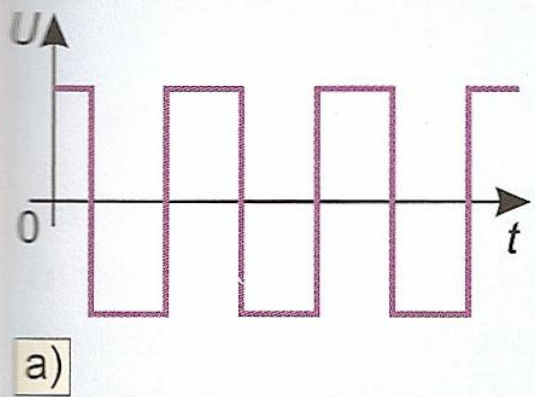
$$U = U_0 \cdot \sin \omega t$$

$$I = I_0 \cdot \sin \omega t$$

Sinusna izmenična napetost in sinusni izmenični tok.

Tretja krivulja (spodaj) prikazuje časovni potek moči, ki jo pri takem toku prejema upornik. Zeleno pobarvana ploskev kaže delo v enem nihajnem času.

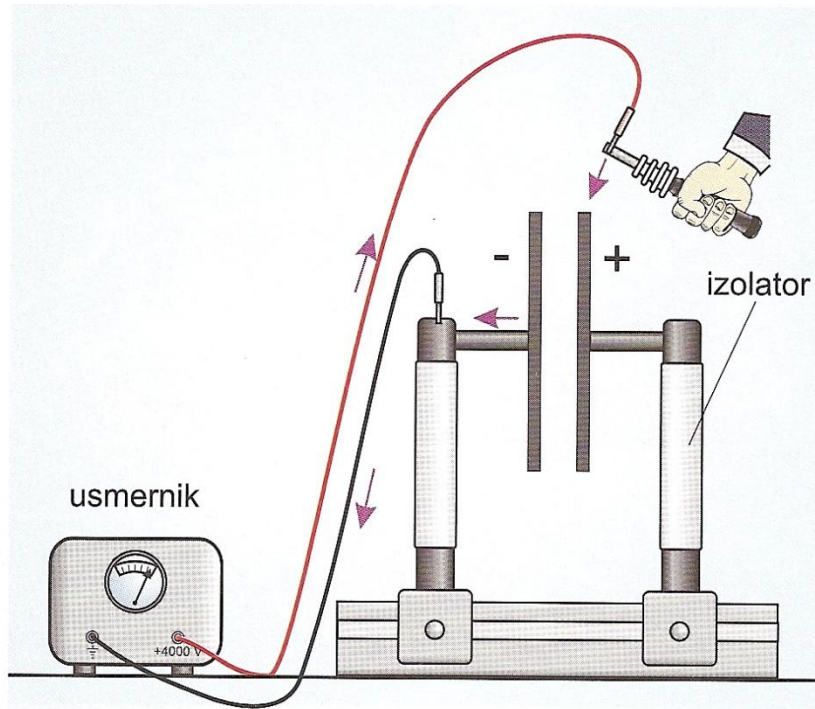
# Izmenične napetosti nesinusnih oblik



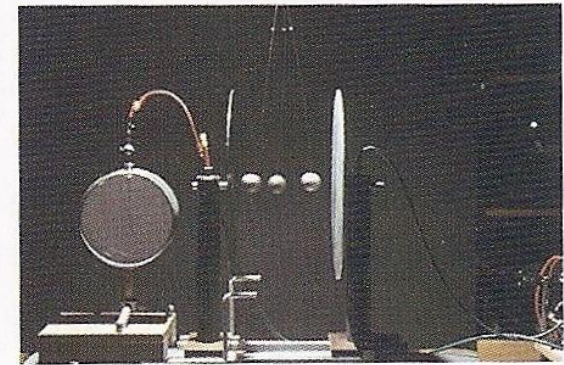
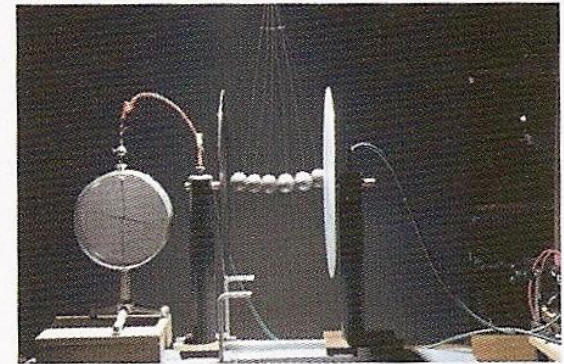
Pravokotno nihajoča, žagasta in trikotna napetost

# Električno polje

## Naelektrena telesa in električne sile

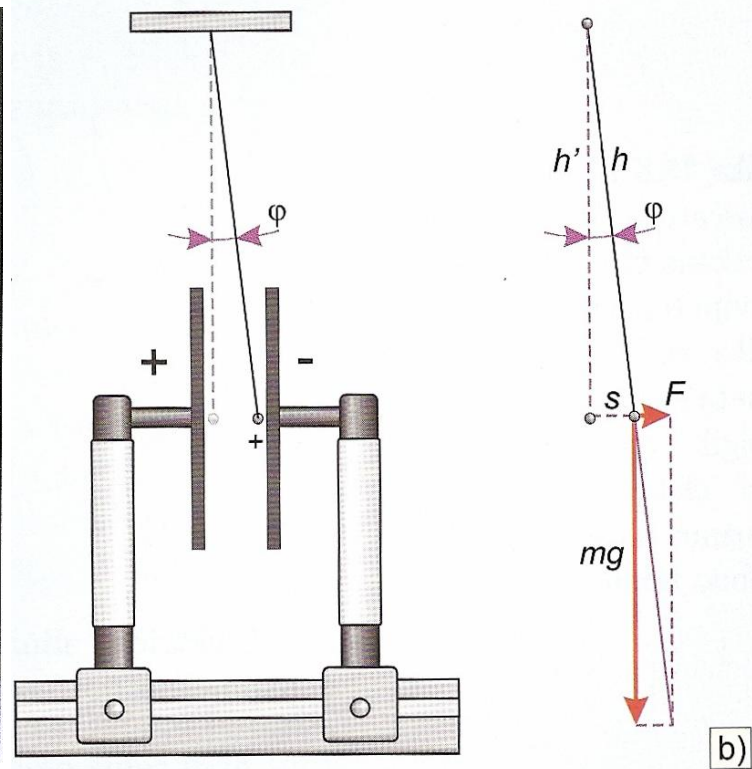
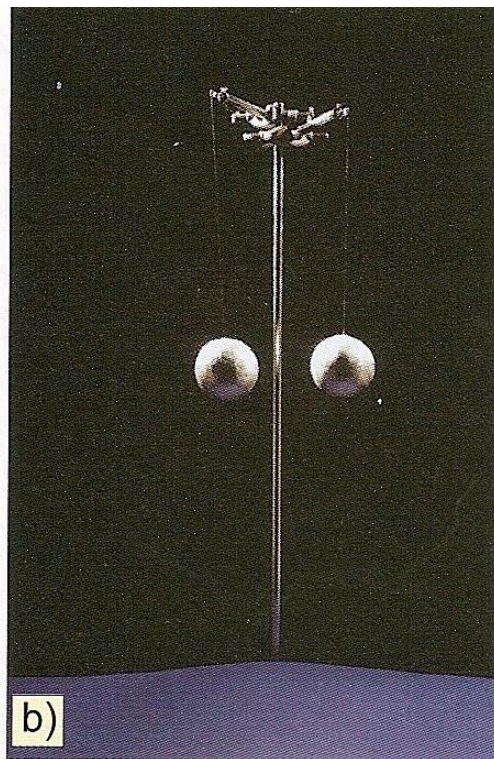
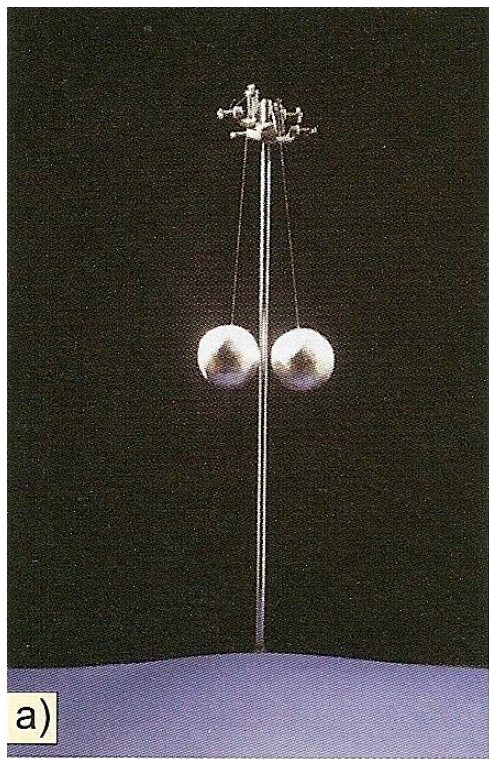


Ploščati kondenzator napolnimo ga tako, da ga priključimo na usmernik.



Razelektritev kondenzatorja z nihajočo kroglico.

# Telesi z enakim nabojem se odbijata, z nasprotnim privlačita

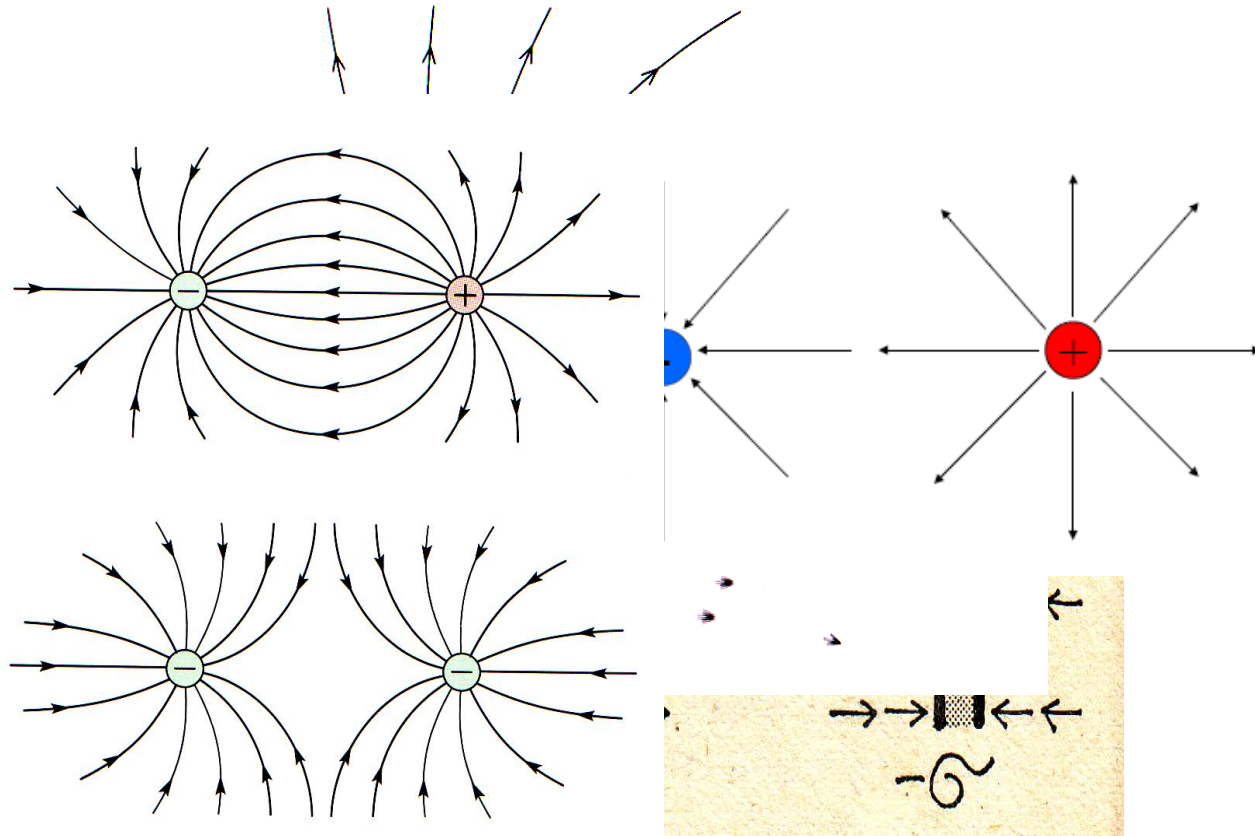


(a) Električna odbojna sila,  
(b) privlačna sila.

Merjenje električne sile, ki deluje na naelektreno kroglico v polju ploščatega kondenzatorja.

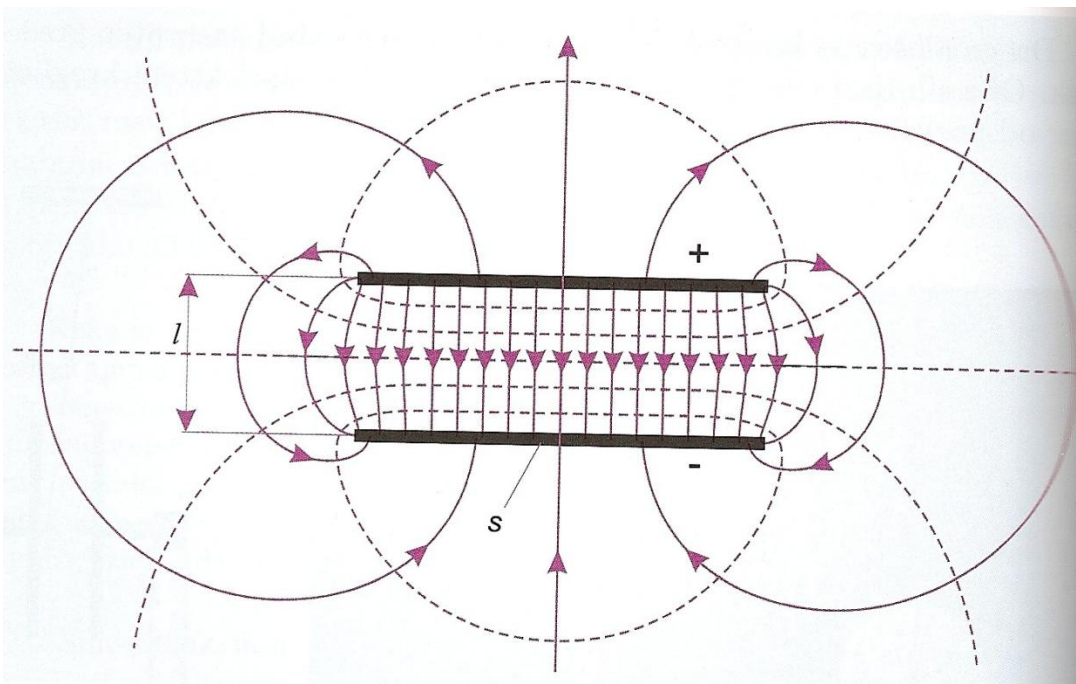
# Slike električnega polja

1. Električno polje okrog točkastega naboja
2. Električno polje 2 točkastih nabojev
3. Električno polje okrog neskončno velike ravne plošče





## 5. Električno polje ploščatega kondenzatorja

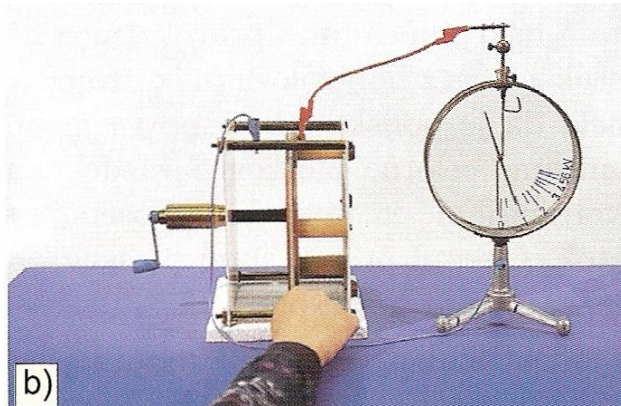
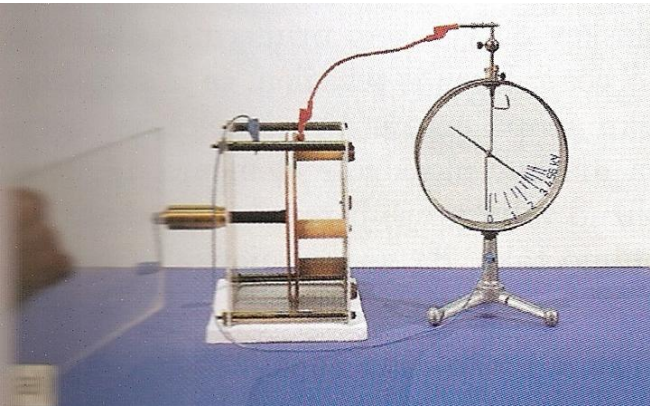


Električna poljska jakost: 
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{e}$$



Za posamezne primere lahko izpeljemo enačbo za izračun jakosti el. polja

# Površinska gostota naboja: $e/S$



Izolator v električnem polju.  
 (a) Napetost med ploščama praznega kondenzatorja. (b) Napetost med elektrodama, ko vmesni prostor zapolnimo s ploščo iz pleksi stekla.

Električnost nekaterih snovi v navadnih okoliščinah

| Snov                      | $\epsilon$ |
|---------------------------|------------|
| voda                      | 81         |
| metanol                   | 34         |
| steklo pleksi             | 3,4        |
| navadno steklo            | 5-7        |
| parafin                   | 2,1-2,5    |
| papir                     | 3,7        |
| porcelan                  | 6-8        |
| kavčuk                    | 2-4        |
| vodna para (110°C, 1 bar) | 1,0126     |
| zrak (0°C, 1 bar)         | 1,00059    |

$$\frac{e}{S} = \epsilon_0 E_0 = \epsilon_0 \frac{U_0}{l} \quad \text{zrak}$$

Influenčna konstanta

$$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12} \text{ As / Vm}$$

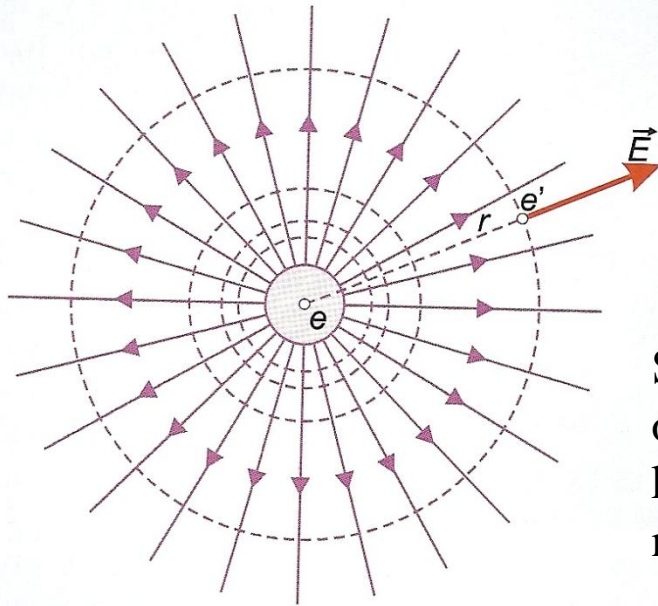
$$\frac{e}{S} = \epsilon_0 \epsilon E = \epsilon_0 \epsilon \frac{U}{l} \quad \text{izolator}$$

$\epsilon$  - dielektričnost snovi

## Električni pretok: $de / dS = \varepsilon_0 E$

Električni pretok v snopu silnic je enak naboju, iz katerega te silnice izvirajo in nasprotno enak naboju v katerem ponikujejo

Coulombov zakon:  $F = E \cdot e' = \frac{ee'}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$

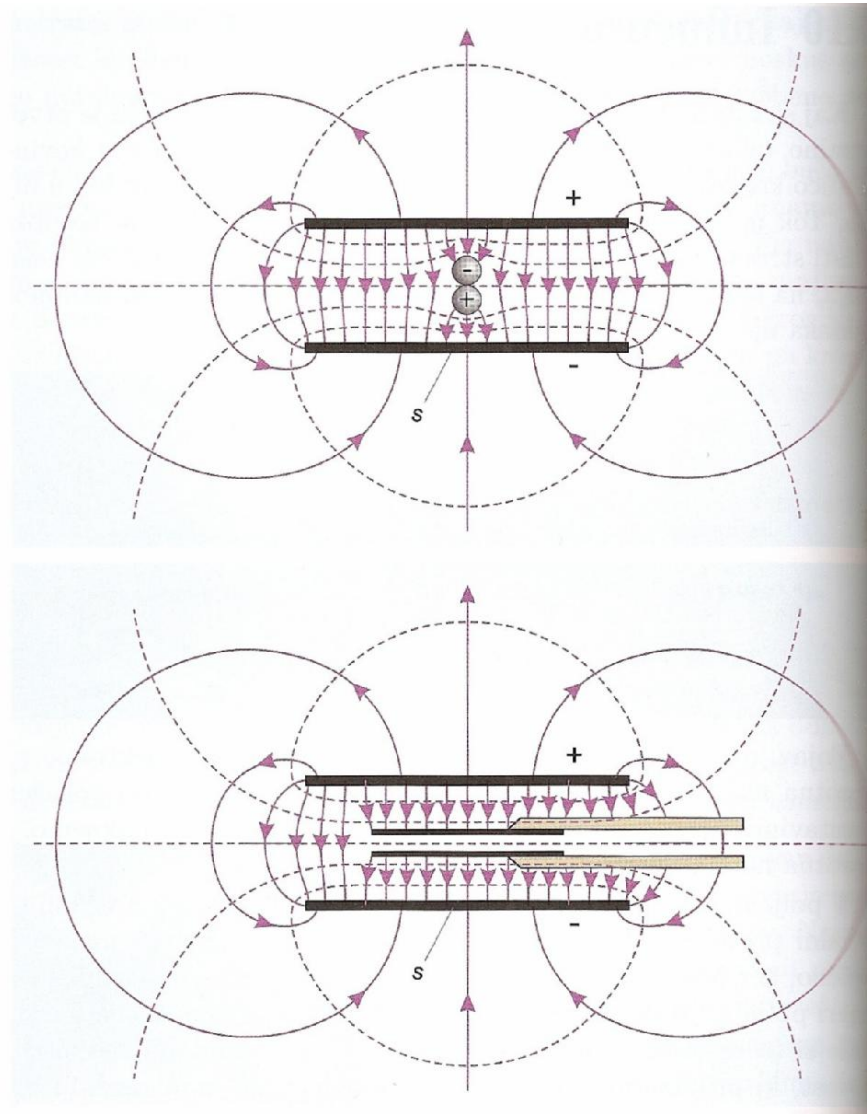
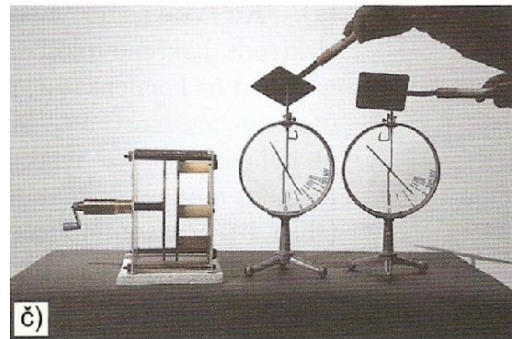
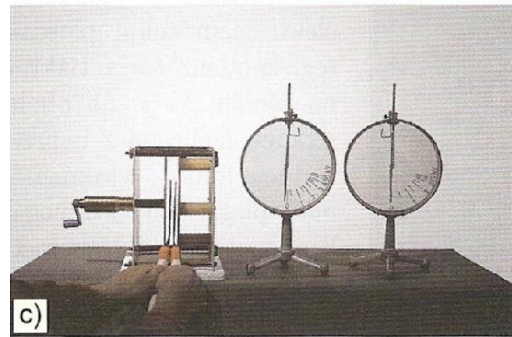
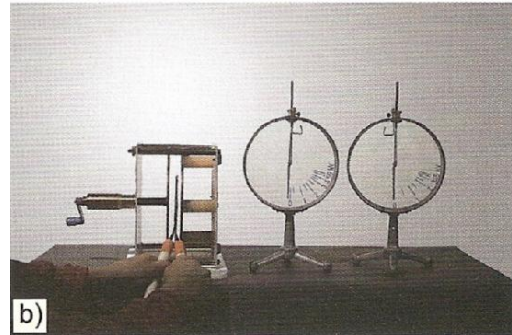


Električno polje naelektrene kroglice:

$$E = \frac{e}{4\pi\varepsilon_0 r^2}$$

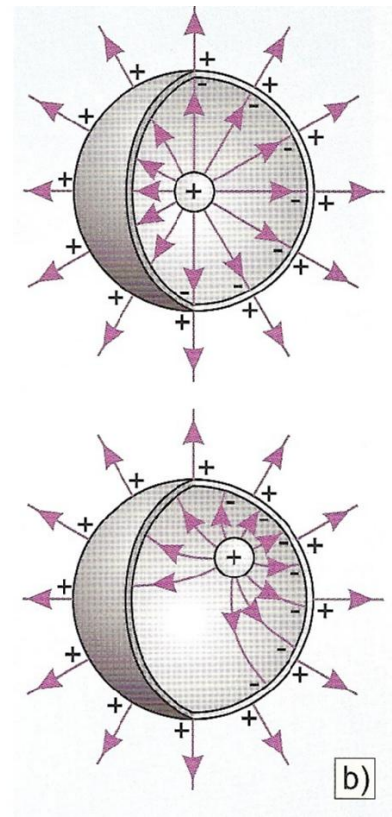
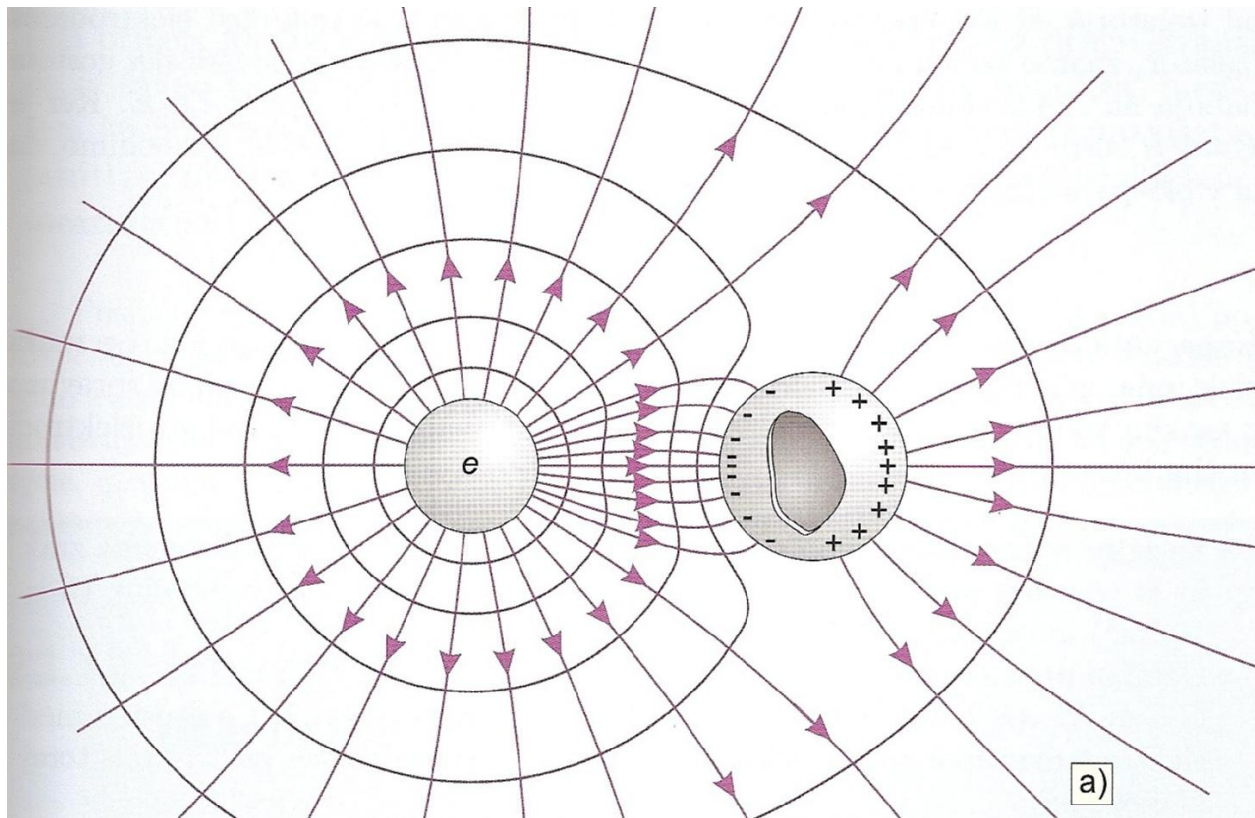
Sila, s katero točkasto naelektreno telo privlači ali odbija drugo tako telo, je obratno sorazmerna s kvadratom medsebojne razdalje ter sorazmerna z nabojema

# Influenca (prerazporeditev naboja)



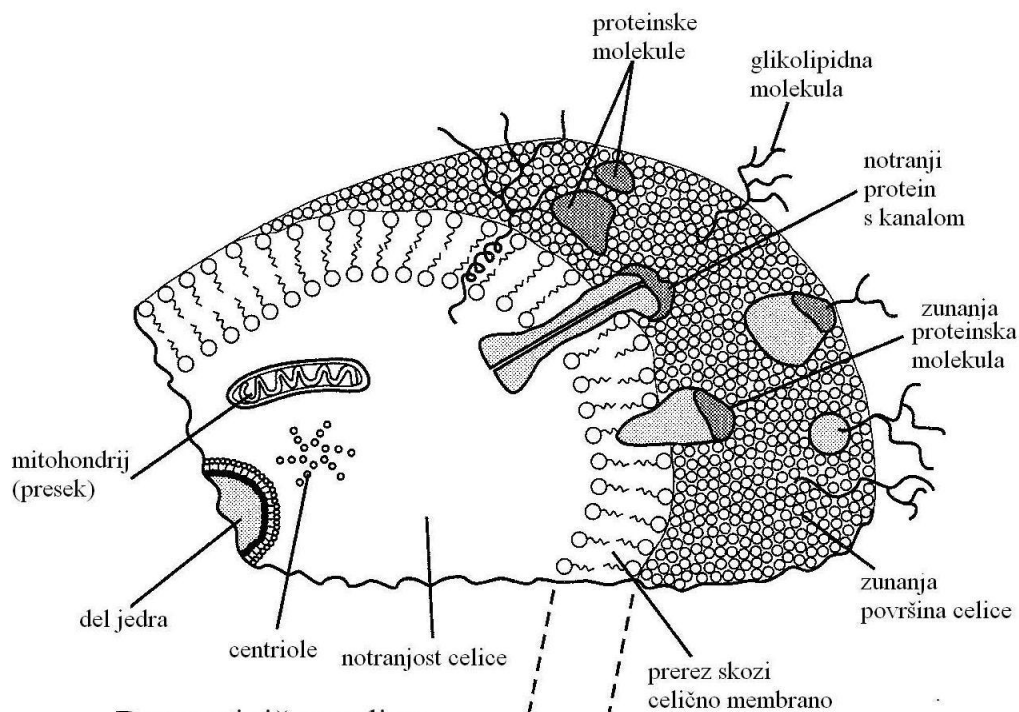
Z influenco naelektrimo dve kroglici (a) ter dve kovinski plošči (loparja) (b, c, č, d).

# Faradayeva kletka

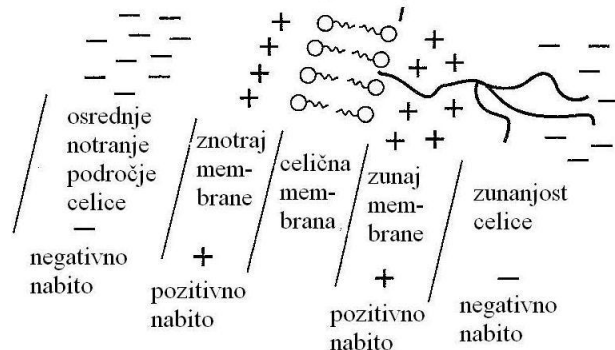


Faradayeva kletka na dva načina: a) votla nenaektrena kovinska krogla v zunanjem električnem polju; b) pozitiven točkast naboj  $e$  je znotraj nenaektrene krogle

# Porazdelitev električnega naboja v tipični celici



Prerez tipične celice



4 različno nabita področja celice

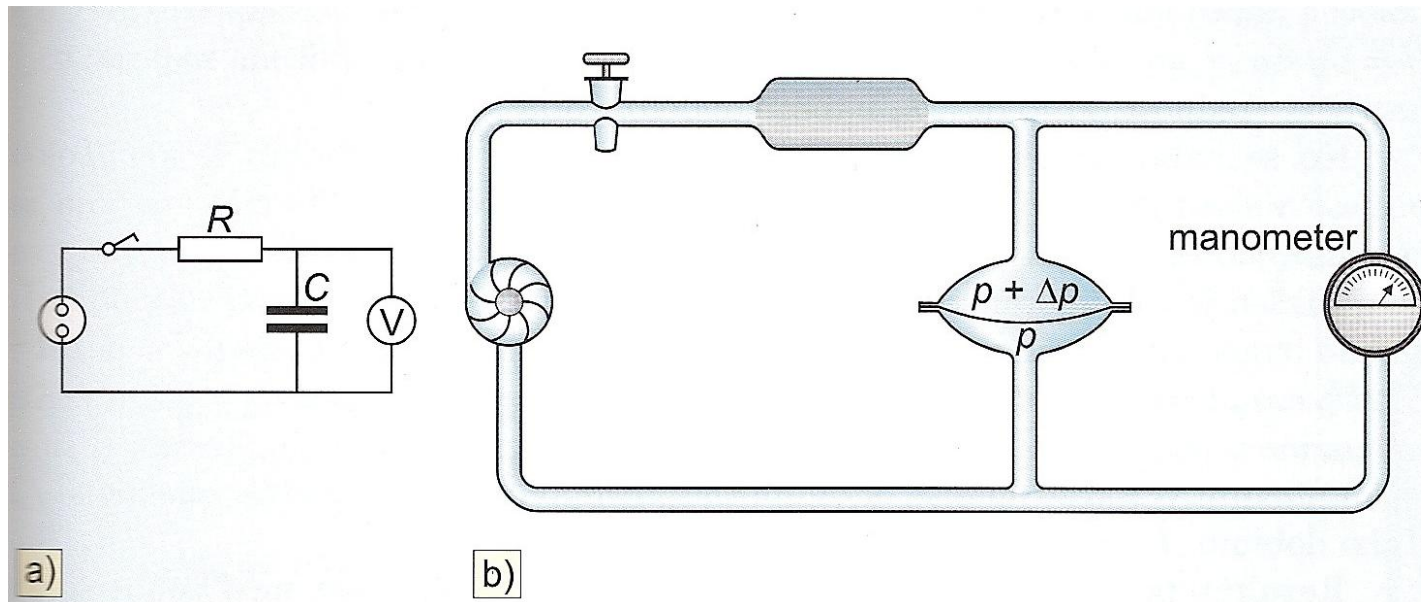
# Kapaciteta kondenzatorja

$$e = CU$$

$$C = \frac{e}{U} = \frac{eS}{SEl} = \frac{e}{S} \cdot \frac{S}{El} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 ES}{El} = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{l}$$

Energija v kondenzatorju:  $W_e = \frac{1}{2} CU^2$

# Mehanska analogija polnjenja kondenzatorja

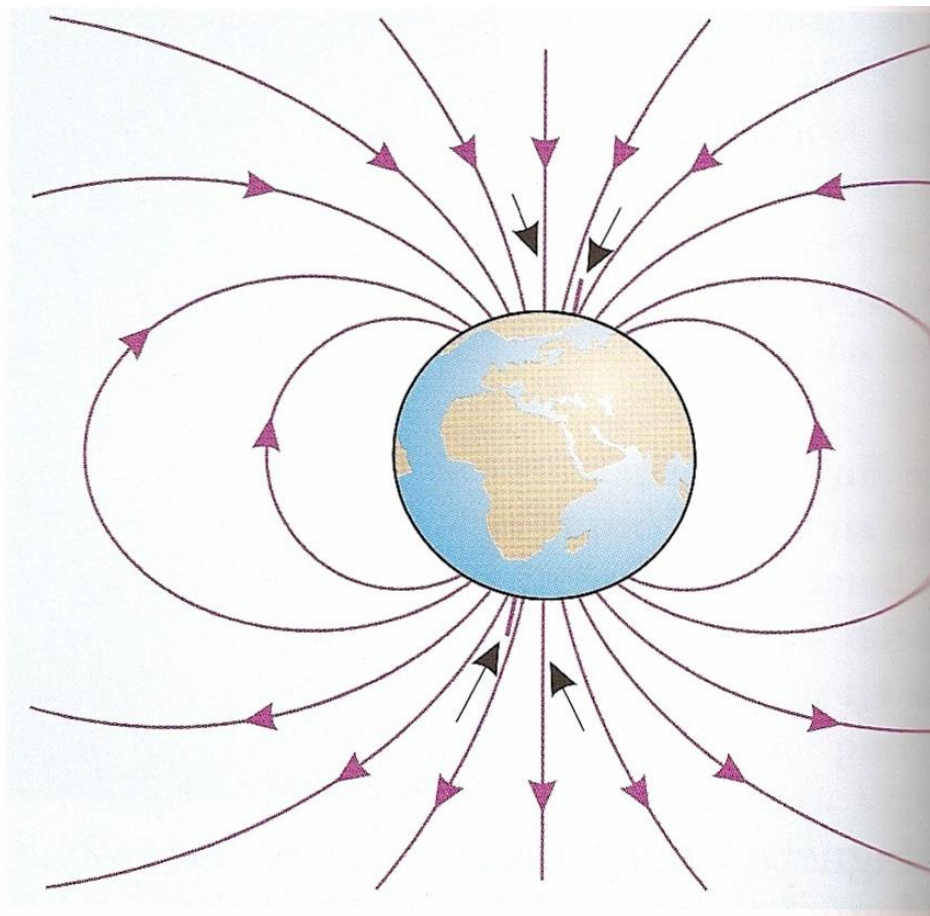
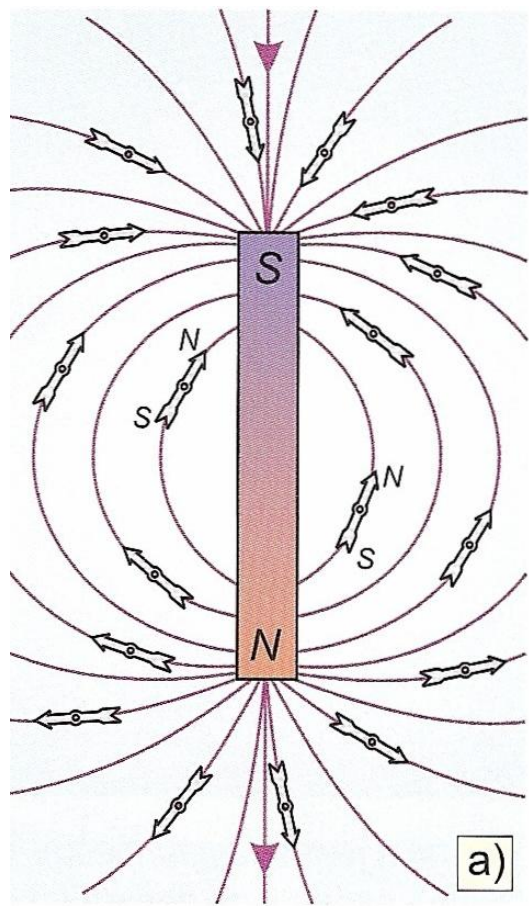


Polnjenje kondenzatorja skozi upornik (a)  
in ustrezní poskus z vodo (b).



# Magnetno polje

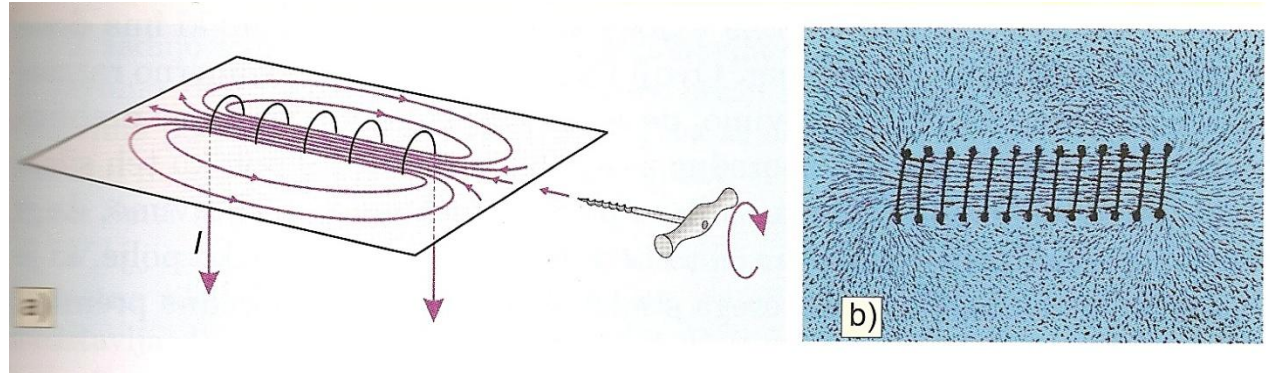
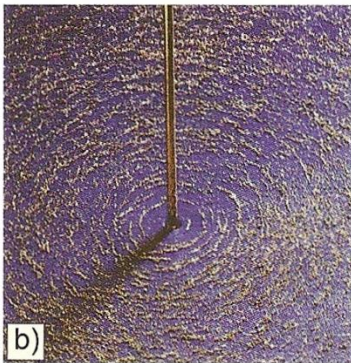
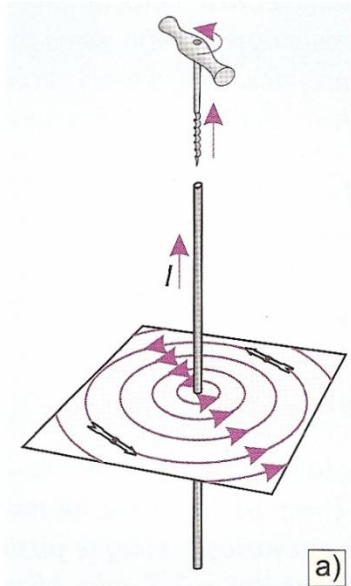
## Magnetno polje magnetov



b)

Magnetno polje paličastega magneta (a) in Zemlje (b). Južni magnetni pol Zemlje je blizu severnega tečaja, severni magnetni pol pa blizu južnega tečaja.

# Magnetno polje električnega toka



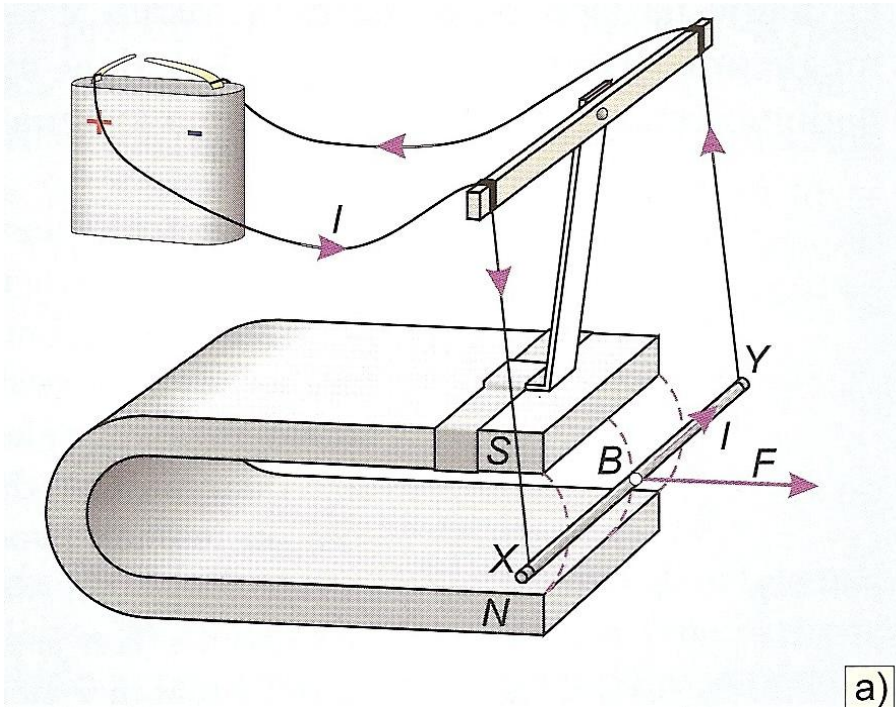
(a) Magnetno polje dolge tuljave

(b) Slika magnetnega polja, ki ga pokažejo opilki

(a) Magnetno polje ob ravni žici, v kateri je tok

(b) Slika polja, ki jo napravijo opilki.

# Magnetna sila



- (a) Žica pod vplivom magnetne sile.  
(b) Kako določiti smer magnetne sile? ODGOVOR:

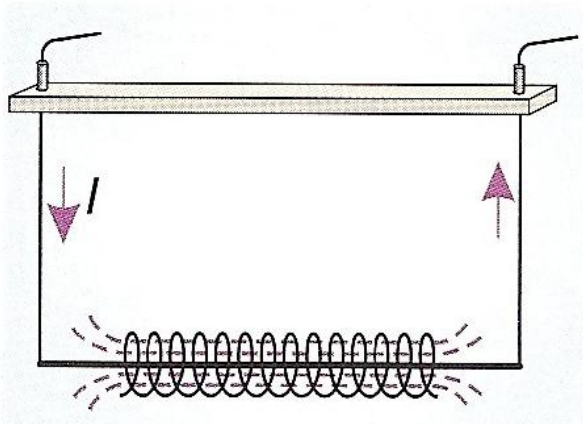
$$F = I l B \text{ (če tok pravokoten na } B\text{)}$$

$B$  – gostota magnetnega polja

Enota za  $B$ : 1 T (tesla)

$$1 \text{ tesla} = 1 \frac{N}{Am} = 1 \frac{Vs}{m^2}$$

# Magnetna sila na vodnik toka (v splošnem)



$$\vec{F} = I \vec{l} \times \vec{B}$$

$$F = IlB \sin \alpha$$

Mejna primera:

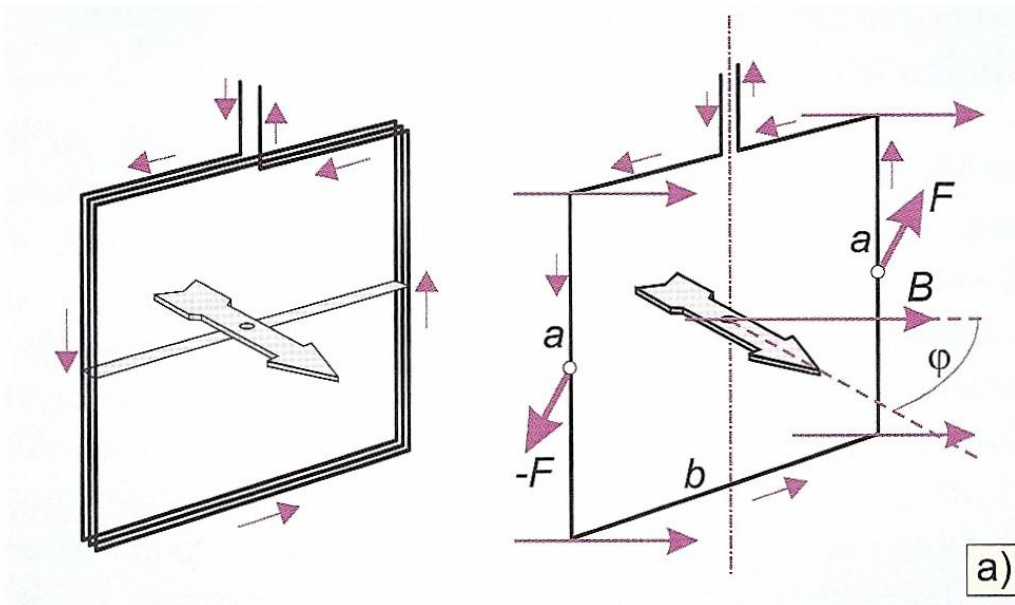
- 1) Na vodnik, ki je vzporeden s silnicami, ne deluje magnetna sila
- 2) Če je vodnik pravokoten na silnice magnetnega polja, potem je  $F=IlB$

# Navor magnetnih sil

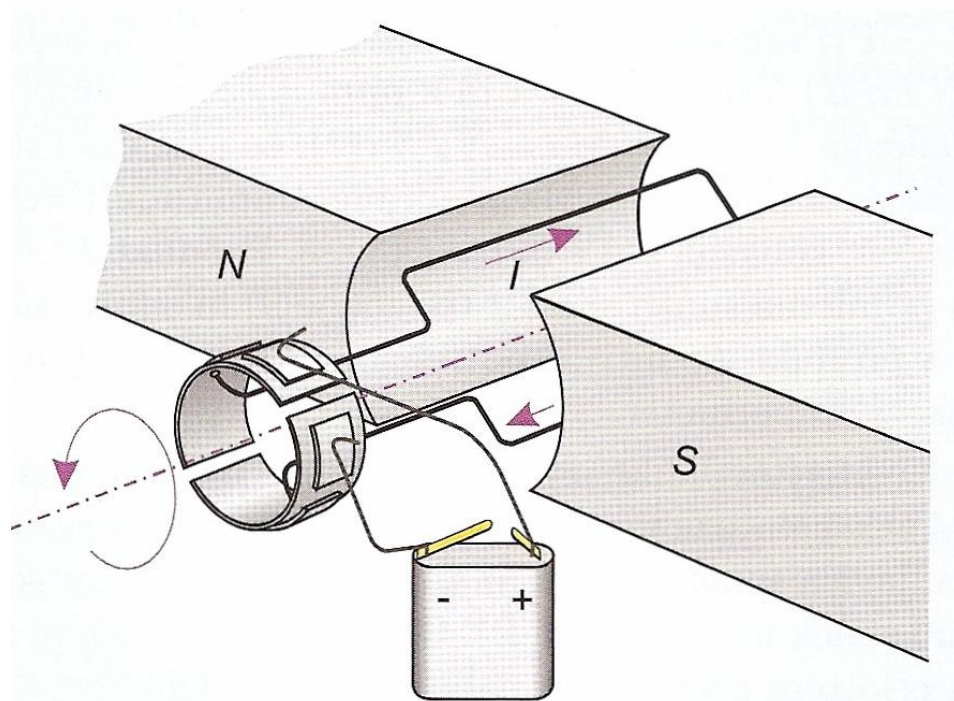
$$M = NISB \sin \phi$$

N – število ovojev tuljave

S = a · b tuljave



# Uporaba magnetnih sil



Model kolektorskega elektromotorja

# Magnetni pretok in induktivnost

**Med B in I velja sorazmerje: tako je za tuljavo z N ovoji in dolžino l:**

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$$

$$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6} \text{Vs} / \text{Am}$$

Indukcijska konstanta

$$\Phi = BS \cos \varphi = \vec{B} \vec{S}$$

$$\Phi_N = LI$$

$$L = \Phi_N / I$$

$$L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$$

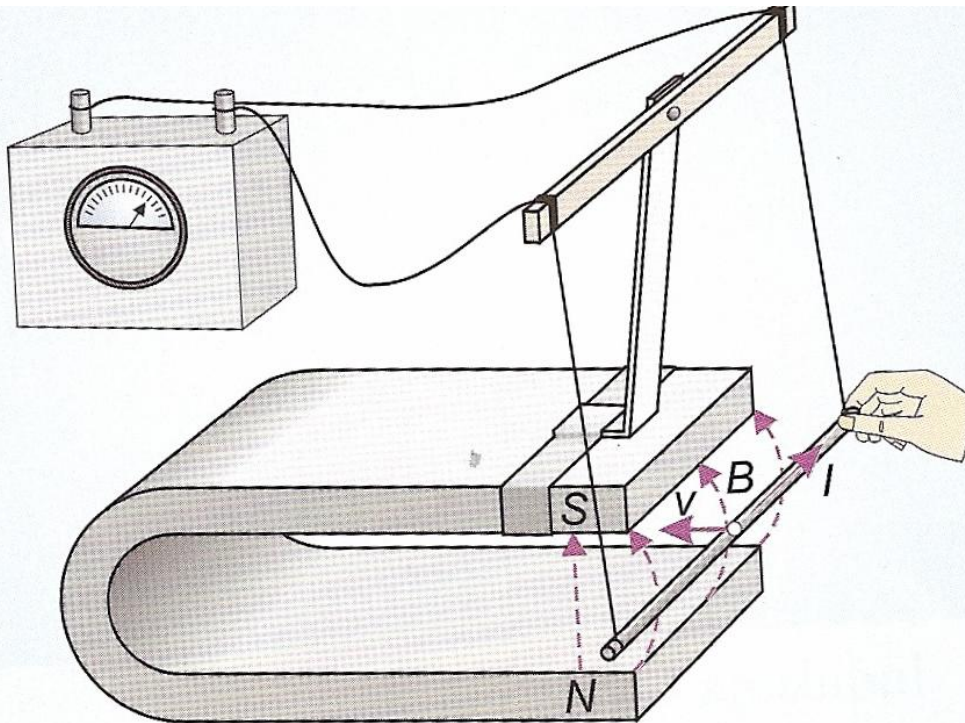
Induktivnost dolge tuljave z  
N ovoji in presekom S

Primerjava raznih tokov in njihovih gostot

| Ime toka (pretoka, jakosti toka)   | Enota toka (pretoka, jakosti toka) | Ime za gostoto toka (pretoka)                   | Enota za gostoto toka (pretoka)                 |
|------------------------------------|------------------------------------|---|---|
| prostorninski tok ( $\Phi_V$ )     | $\text{m}^3/\text{s}$              | hitrost ( $v$ )                                 | $(\text{m}^3/\text{s})/\text{m}^2 = \text{m/s}$ |
| masni tok ( $\Phi_m$ )             | $\text{kg/s}$                      | gostota masnega toka                            | $\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$                  |
| toplotni ali svetlobni tok ( $P$ ) | $\text{W}$                         | gostota toplotnega ali svetlobnega toka ( $j$ ) | $\text{W}/\text{m}^2$                           |
| električni tok ( $I$ )             | $\text{A}$                         | gostota električnega toka ( $j_e$ )             | $\text{A}/\text{m}^2$                           |
| magnetni pretok ( $\Phi$ )         | $\text{Vs}$                        | magnetna poljska gostota ( $B$ )                | $\text{Vs}/\text{m}^2$                          |



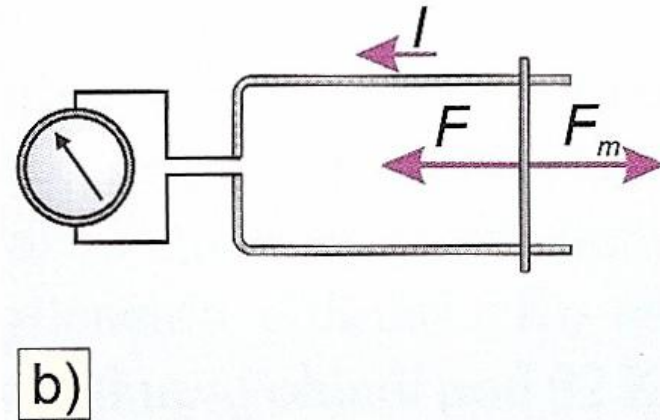
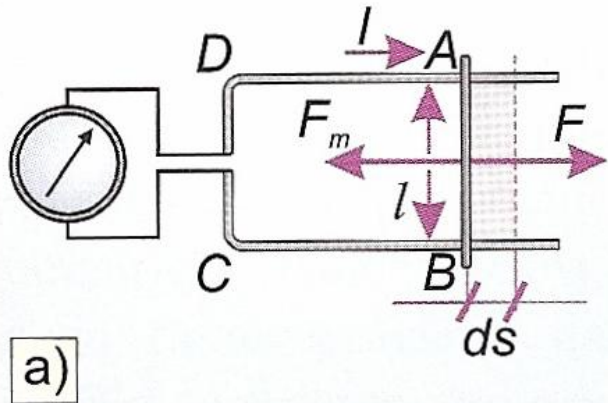
# Indukcija



Indukcija pri premikanju  
vodnika

Inducirani tok se s svojim magnetnim poljem upira vzroku  
svojega nastanka *Lenzovo pravilo*

# Inducirana napetost - indukcija



$$U_i = lvB$$

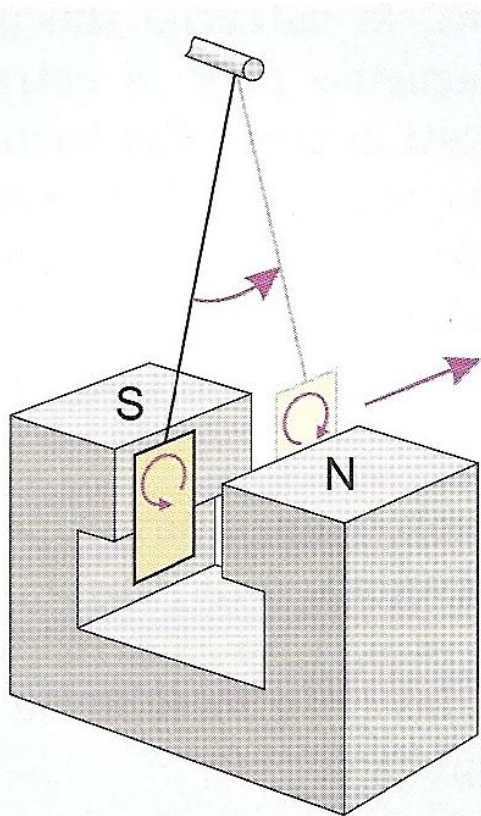
Splošni indukcijski zakon:

$$U_i = \frac{d\Phi_m}{dt}$$

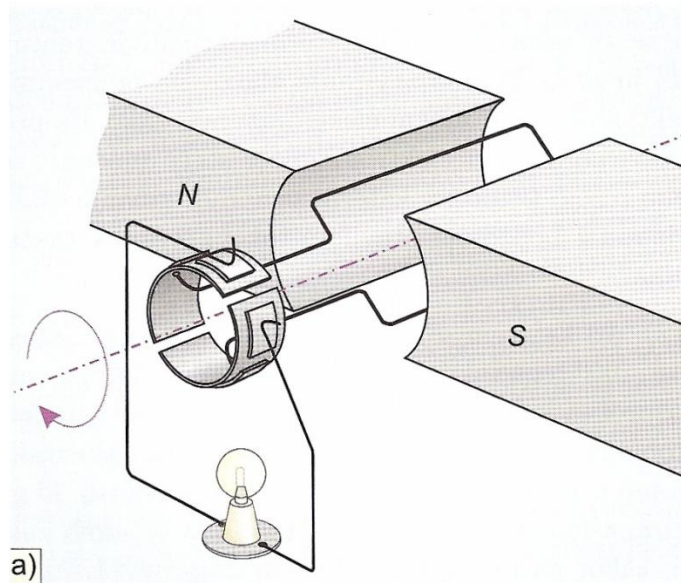
$$U_i \Delta t = \Delta \Phi_m$$

Sunek inducirane napetosti je enak spremembi magnetnega pretoka

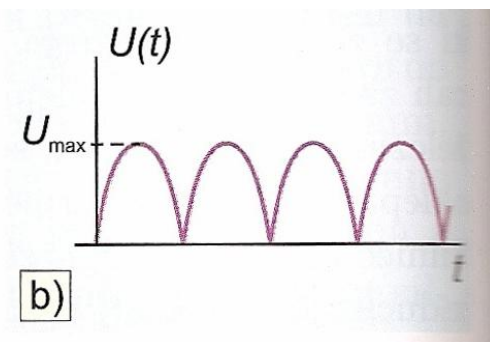
# Uporaba indukcije



Magnetno zaviranje



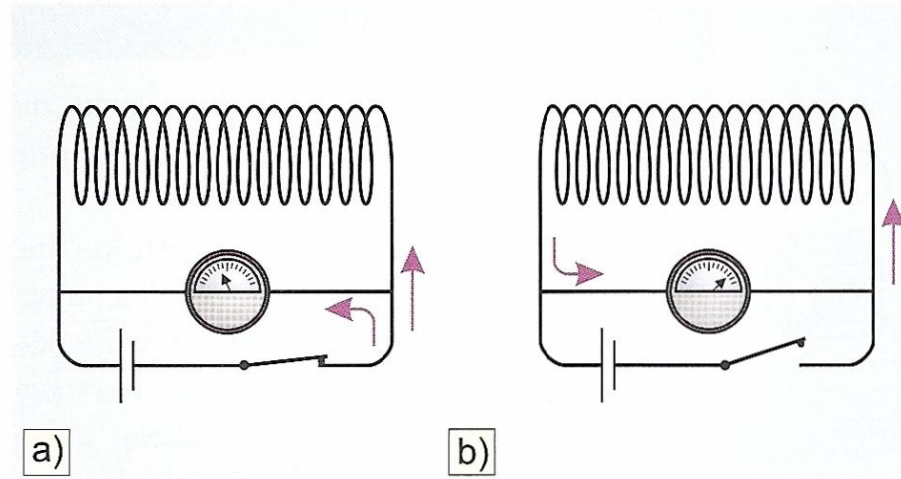
a)



b)

(a) Model dinamostroja, (b) časovni potek napetosti.

# Lastna indukcija

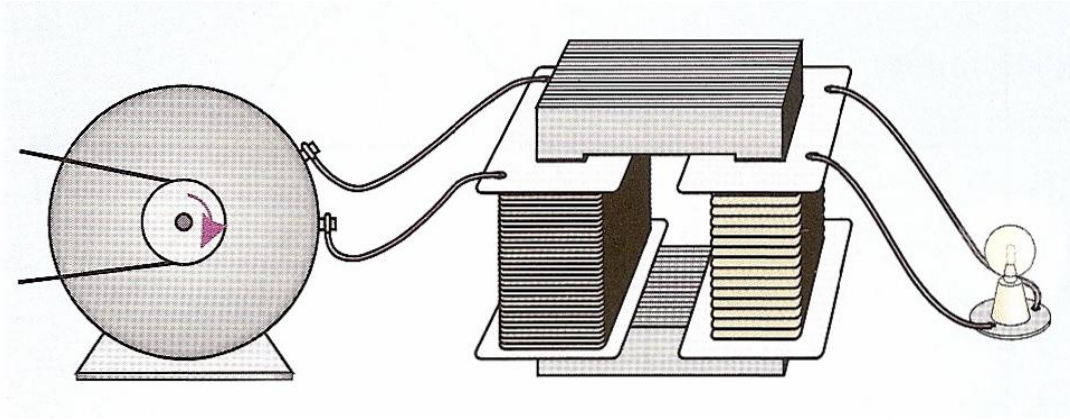


$$\Phi_m = LI$$

$$U_i = \frac{d\Phi_m}{dt} = L \frac{dI}{dt}$$

Energija magnetnega polja:  $W_m = \frac{1}{2} LI^2$

# Transformator



**Transformatorski pravili (v idealnem primeru-brez izgub):**

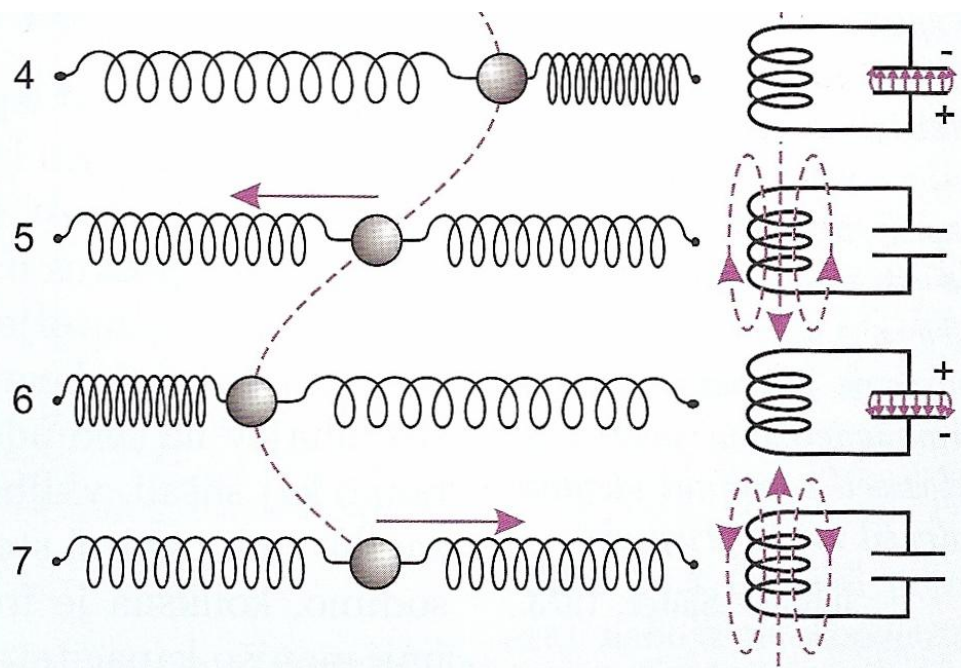
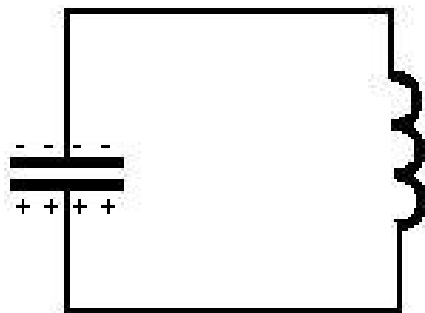
$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2} \qquad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

| Električno polje   | Magnetno polje  |
|--|---|
| Električna poljska jakost = $E$<br>(enota: V/m)  | Magnetna poljska gostota = $B$<br>(enota: tesla = Vs/m <sup>2</sup> )   |
| Električna sila, ki deluje na točkasto naelektreno telo v električnem polju:<br>$F = eE$   | Magnetna sila, ki deluje na ravno žico, ki stoji pravokotno na silnicah homogenega magnetnega polja:<br>$F = IlB$                           |
| Električni pretok (naboj) = $e$<br>(enota: As)   | Magnetni pretok = $\Phi$<br>(enota: Vs)   |
| Električni pretok skozi pravokotno stoječo ploskev v homogenem polju v praznem prostoru:<br>$e = \epsilon_0 ES$  | Magnetni pretok skozi pravokotno stoječo ploskev v homogenem polju: $\Phi = BS$   |
| Zakon električnega pretoka:<br>Električni pretok v danem snopu silnic je enak naboju, iz katerega snop izvira, in nasprotno enak naboju, v katerega snop ponikuje. Vmes gre skozi vsak presek snopa enak pretok. | Zakon magnetnega pretoka:<br>Magnetni pretok nikjer ne izvira in nikjer ne ponikuje. Skozi vsak presek danega snopa silnic gre enak pretok. |
|  | Indukcijski zakon:<br>$U_i = \frac{d\Phi}{dt}$  |
| Kapaciteta kondenzatorja:<br>$C = \frac{e}{U}$<br>(enota: As/V = farad)  | Induktivnost tuljave:<br>$L = \frac{\Phi}{I}$<br>(enota: Vs/A = henry)  |
| Če priključimo kondenzator na sinusno izmenično napetost, velja:<br>$\hat{U} = \frac{1}{C\omega}$  | Za sinusni izmenični tok v tuljavi velja:<br>$\hat{U} = L\omega$  |
| Za ploščati kondenzator velja:<br>$E = \frac{U}{l}$  | Za dolgo prazno tuljavo velja:<br>$B = \frac{\mu_0 NI}{l}$  |
| Če je prostor med elektrodama prazen, je<br>$C = \frac{\epsilon_0 S}{l}$   | $L = \frac{\mu_0 N^2 S}{l}$   |
| Influenčna konstanta:<br>$\epsilon_0 = 8,9 \cdot 10^{-12}$ As/Vm   | Indukcijska konstanta:<br>$\mu_0 = 1,26 \cdot 10^{-6}$ Vs/Am  |
| Električna energija kondenzatorja:<br>$W_e = \frac{CU^2}{2}$   | Magnetna energija tuljave:<br>$W_m = \frac{LI^2}{2}$  |
| Gostota energije električnega polja v praznem prostoru:<br>$w_e = \frac{\epsilon_0 E^2}{2}$  | Gostota energije magnetnega polja v praznem prostoru:<br>$w_m = \frac{B^2}{2\mu_0}$   |

## Primerjava količin, enot in zakonov za stalno električno in stalno magnetno polje.

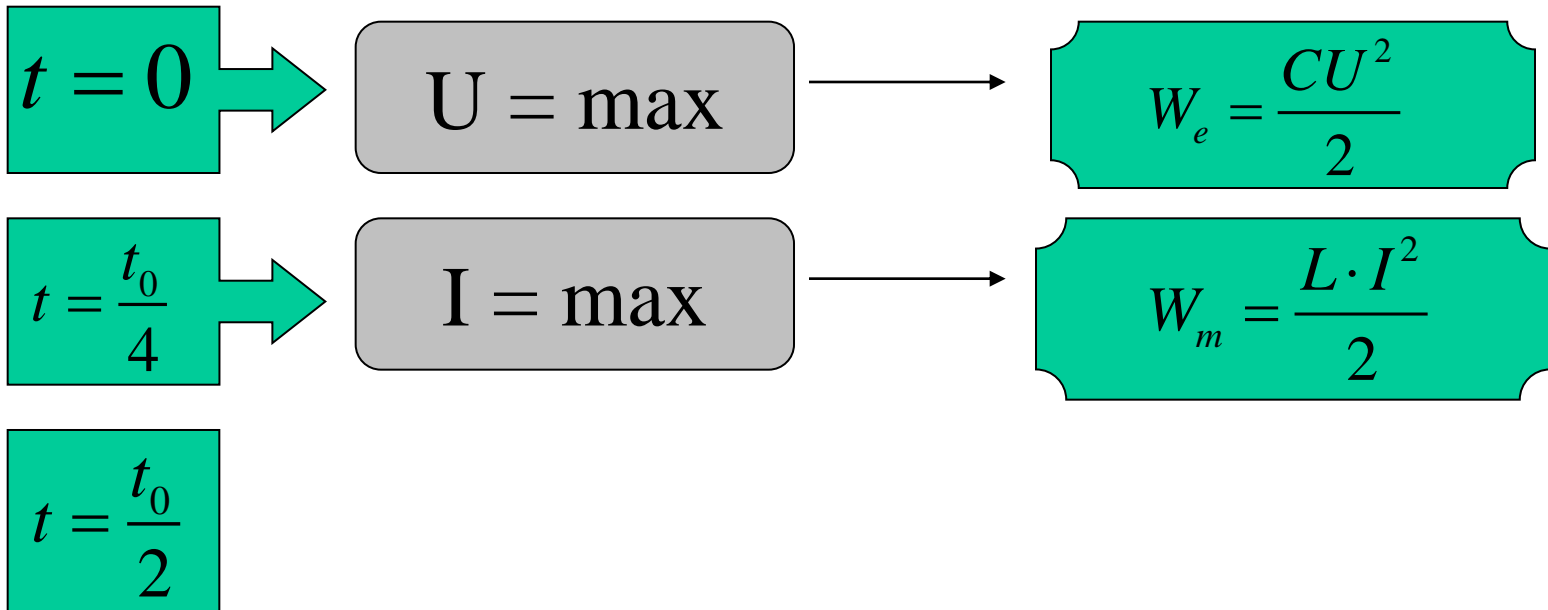
Med magnetnim in električnim poljem je precej podobnosti. Tabela, v kateri so zapisane pglavitne količine, enote in enačbe, to pregledno ponazarja

# Električni nihajni krog



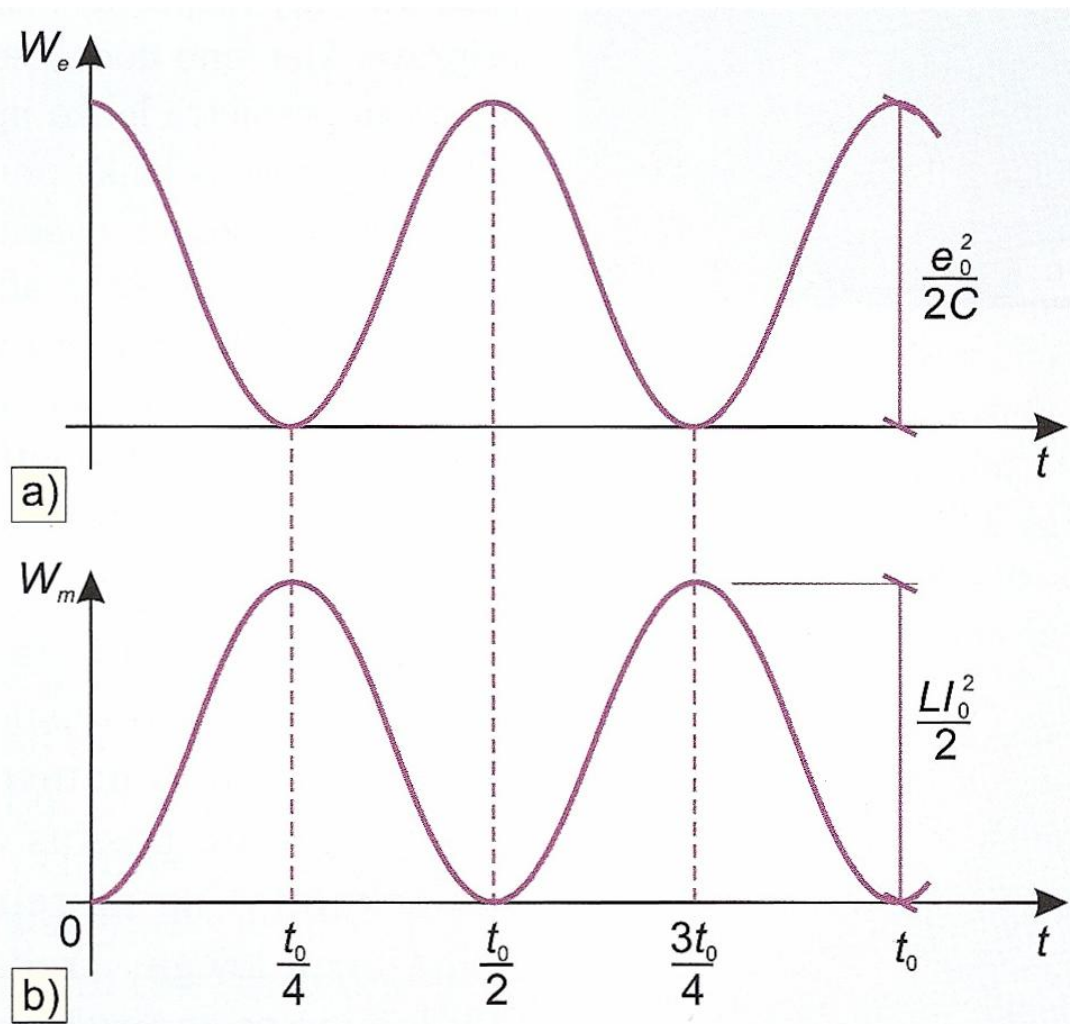
Časovni potek nihanja v nihajnem krogu.

Levo je za primerjavo prikazano nihanje nihala na vijačno vzmet.





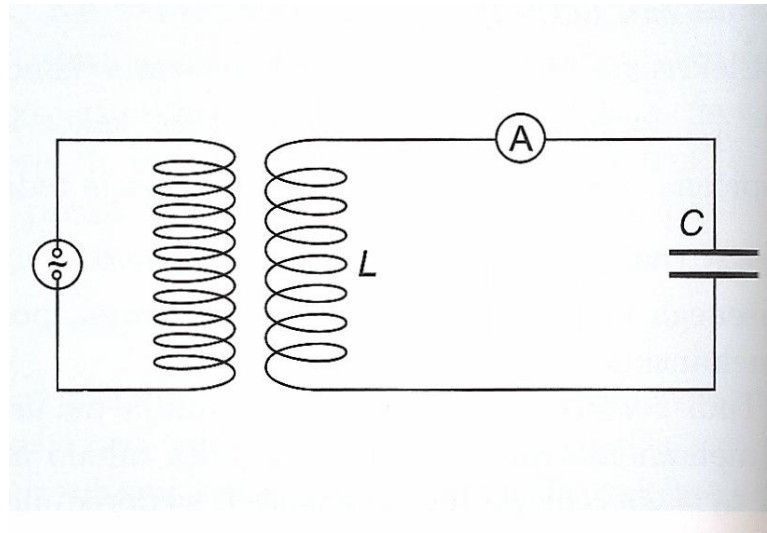
# Časovni potek električne in magnetne energije v nihajnem krogu



(a) Časovni potek električne energije  $W_e$  in (b) magnetne energije  $W_m$ .

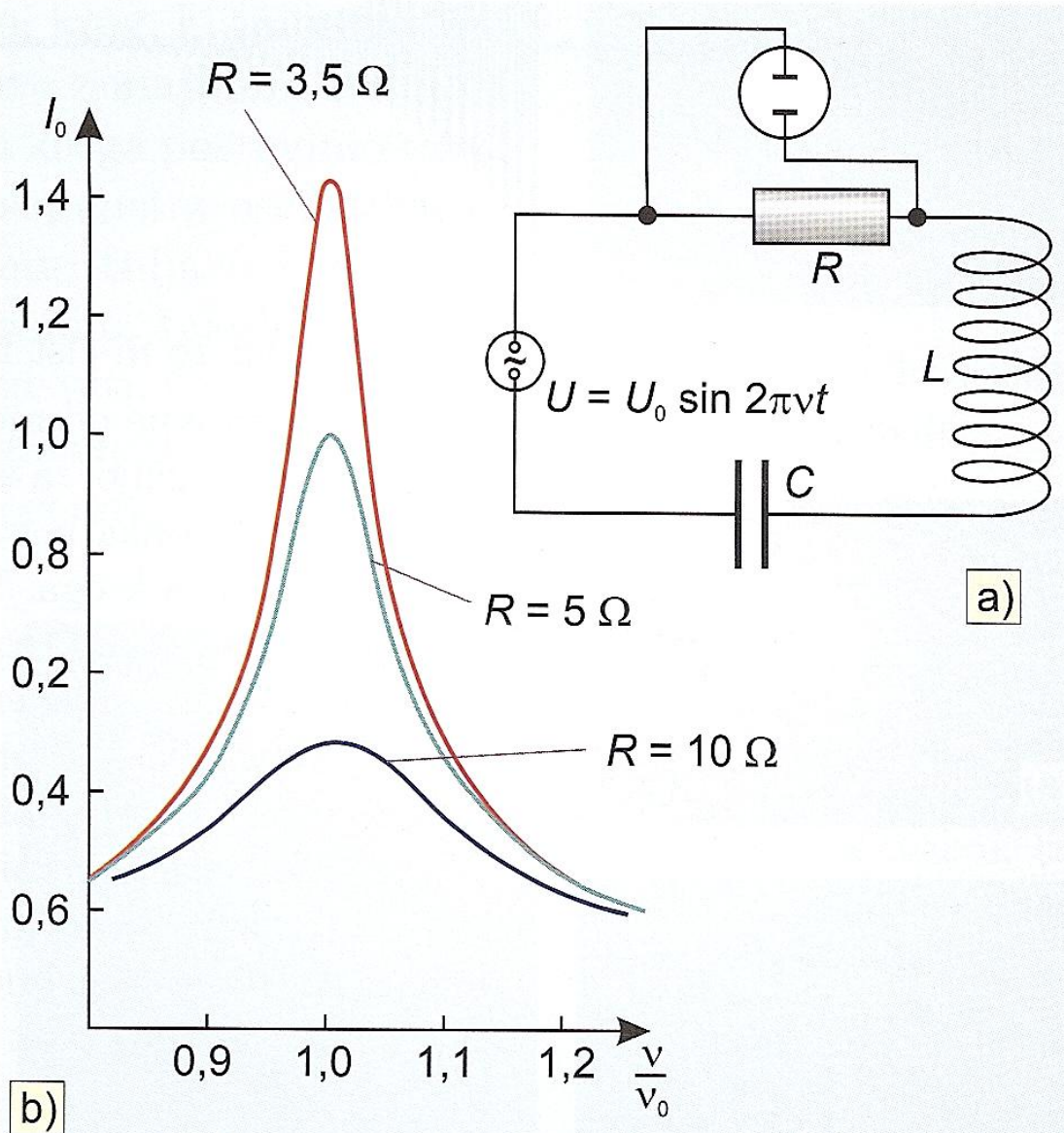
Vsota obeh energij je stalna.

# Vsiljeno nihanje nihajnega kroga



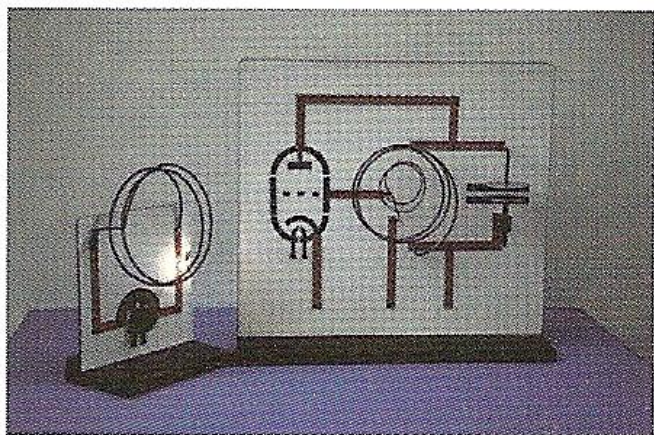
S pripravo, kjer smo dodali še ampermeter, s katerim merimo tok v nihajnem krogu. Namesto ampermetra lahko uporabimo tudi šibko žarnico, ki sveti tem močnejše, čim večji je tok.

# Resonanca nihajnega kroga

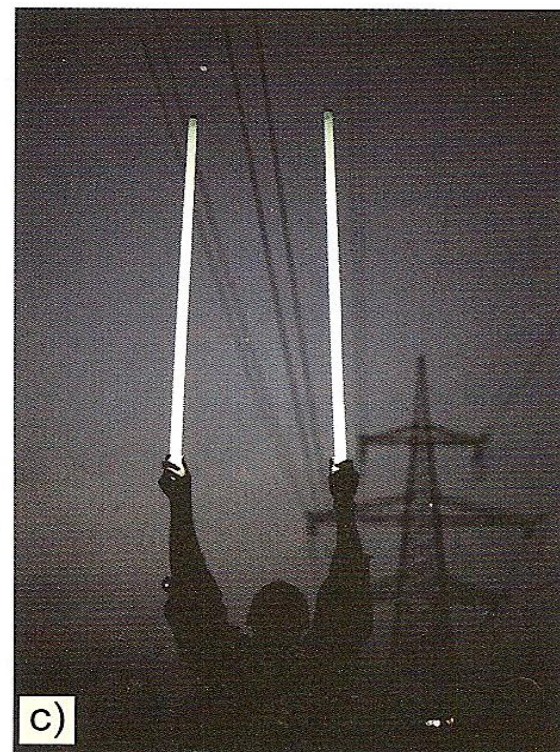
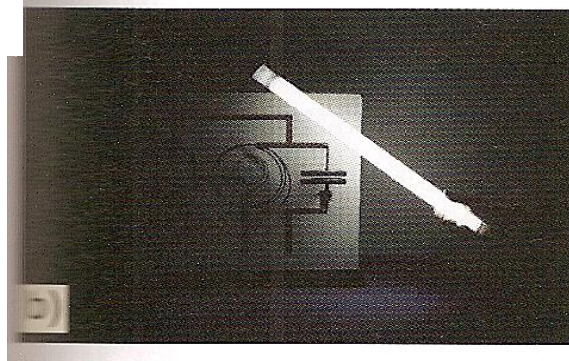
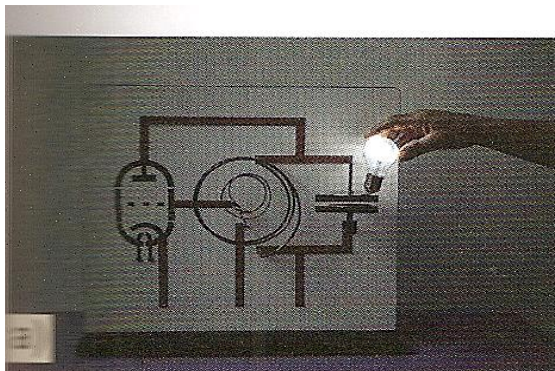


- (a) Shema nihajnega kroga.  
(b) Resonančne krivulje za tri različne vrednosti upora nihajnega kroga. Krivulje so narisane za primer, ko ima tuljava induktivnost  $5 \cdot 10^{-6}$  henryjev, kondenzator kapaciteto  $2 \cdot 10^{-9}$  F in amplituda napetosti, s katero vsiljujemo nihanje je 5 mV.

# Elektromagnetno sevanje nihajnega kroga

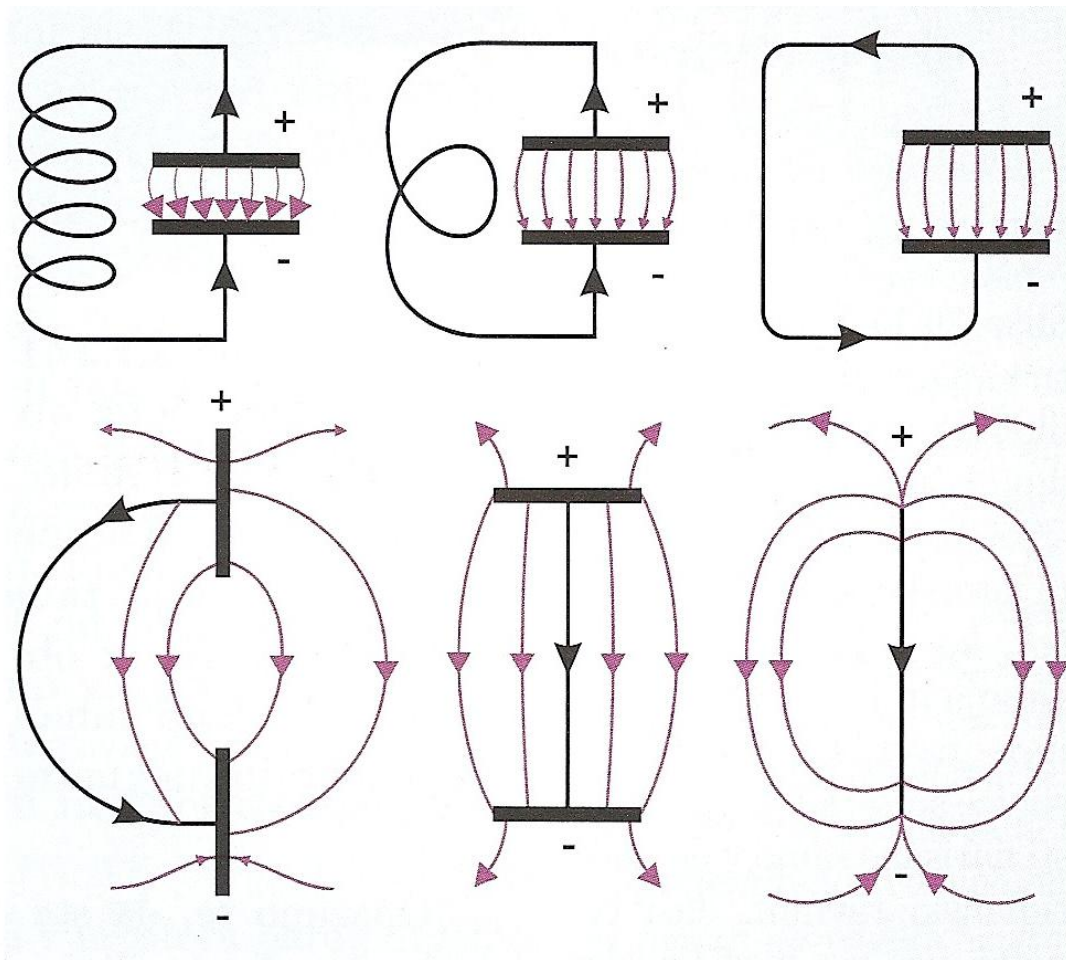


Dva nihajna kroga  
ki sta v resonanci.

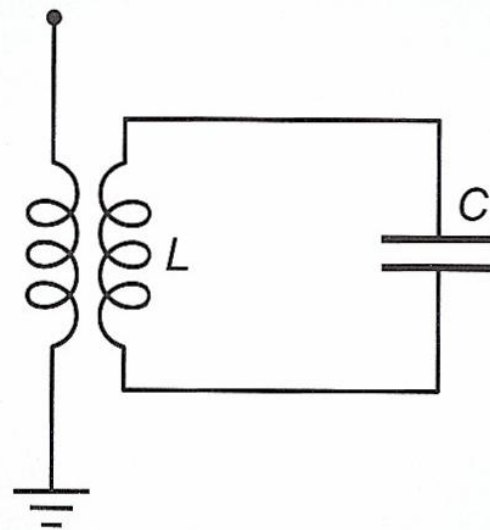


Poskusi z visokofrekvenčnim tokom. (a) Tlivka v visokofrekvenčnem polju ( $f = 10^8 \text{ Hz}$ ). (b) Fluorescenčna cev, ki je lahko tudi neuporabna za običajno razsvetljavo, sveti v visokofrekvenčnem polju. (c) Fluorescenčna cev pod daljnovodom..

# Antena

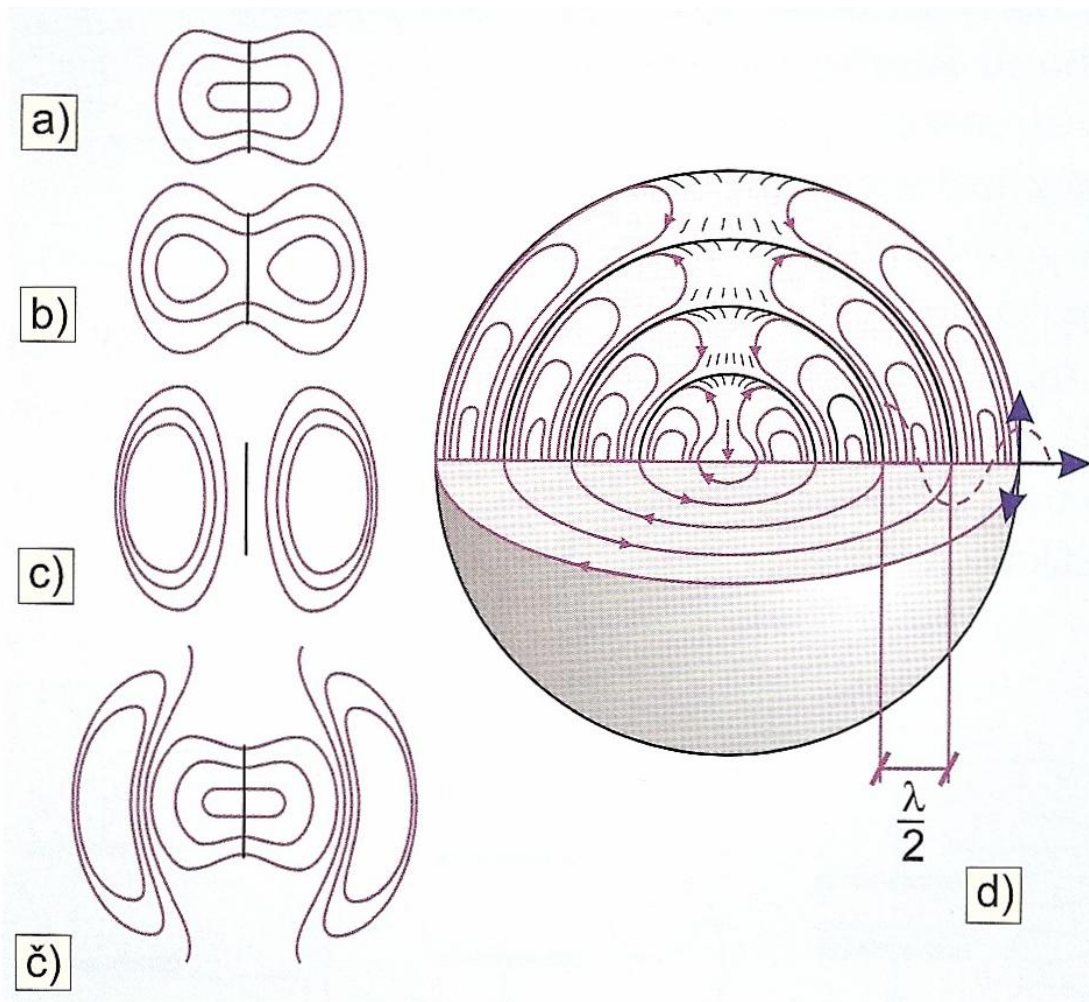


Preobrazba nihajnega kroga v dipolno anteno.



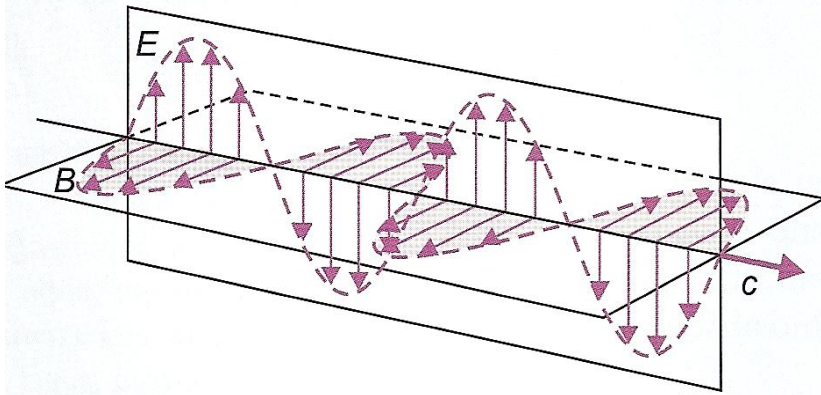
Preprost radijski oddajnik.

# EM valovanje dipolne antene

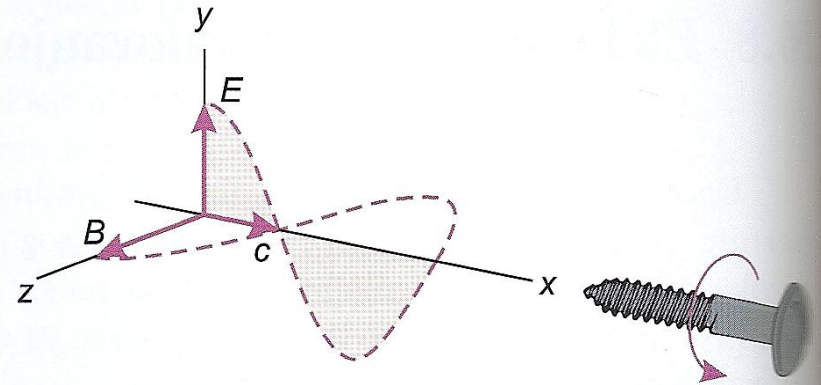


Od a) do č) zaporedne trenutne slike električnih silnic  
d) V anteni ni naboja, tok ima smer navzdol

# EM valovanje

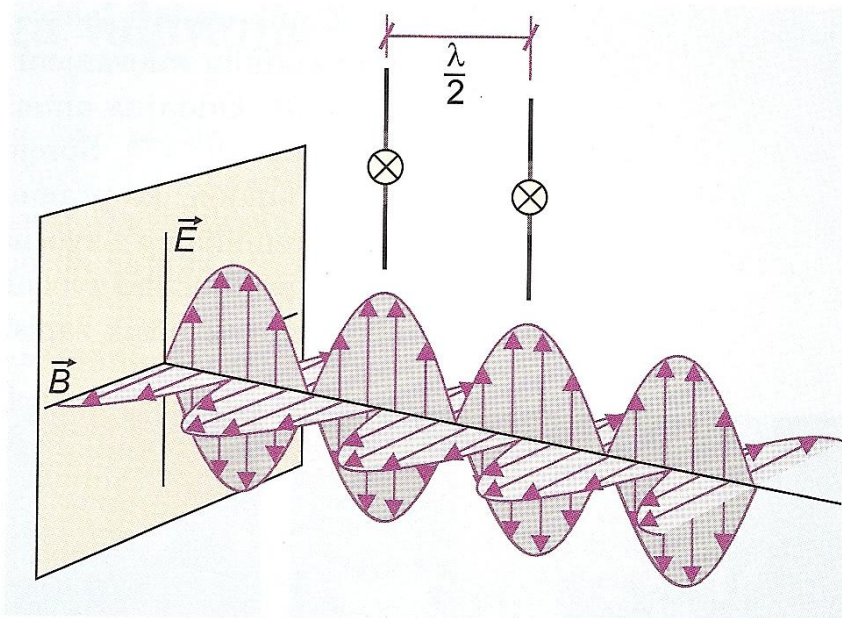


a)



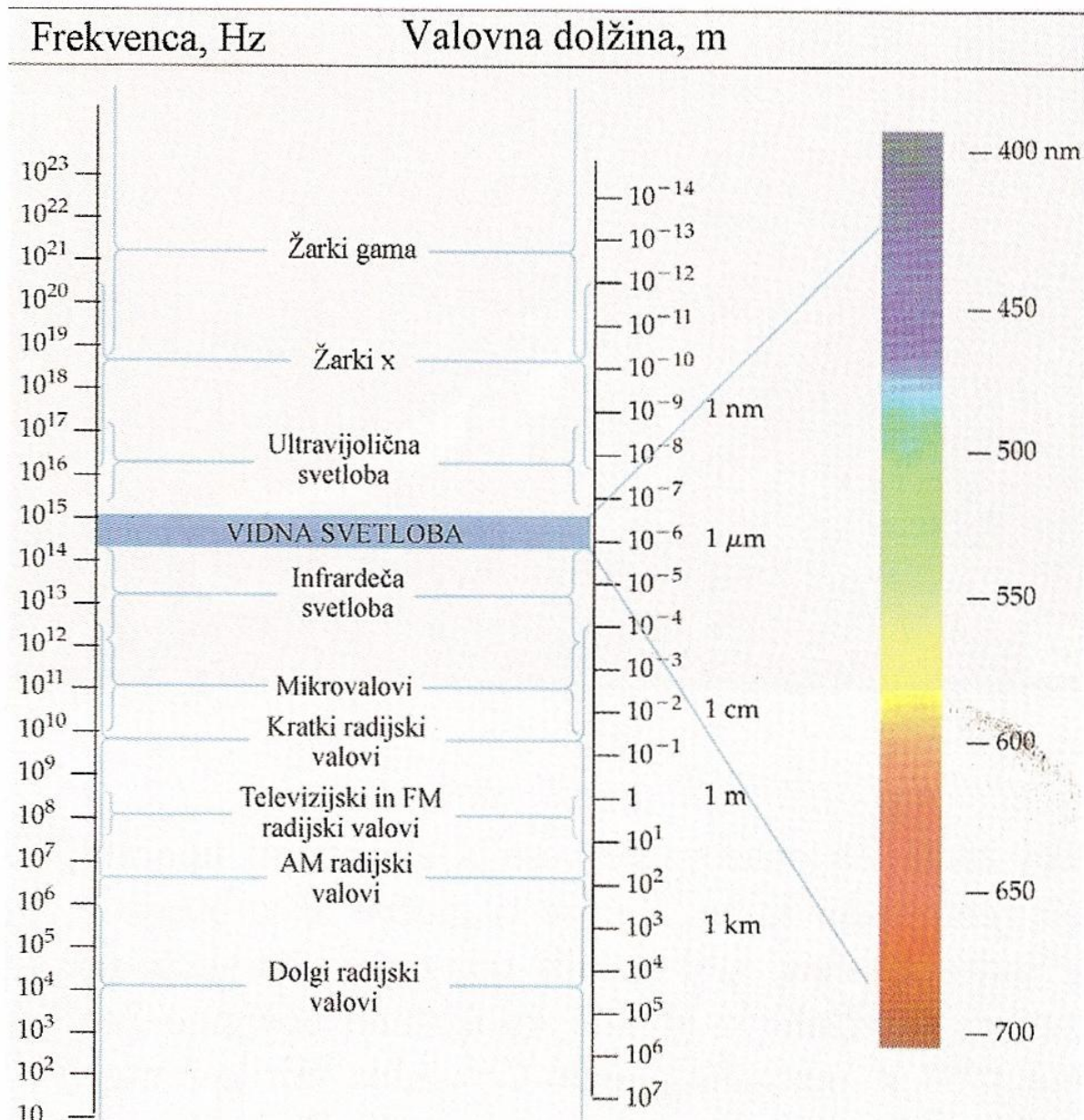
b)

## Ravno EM valovanje



Stoječe elektromagnetno valovanje.

# Spekter EM valovanja



Pregled vseh vrst elektromagnetnega valovanja.