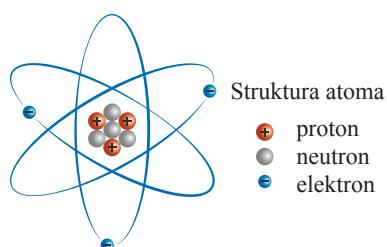


# 1.

## Uvod u elektrotehniku



- 1.1.** Građa tvari i električni naboј
- 1.2.** Vodiči, poluvodiči i izolatori
- 1.3.** Coulombov zakon
- 1.4.** Električna potencijalna energija i električni potencijal



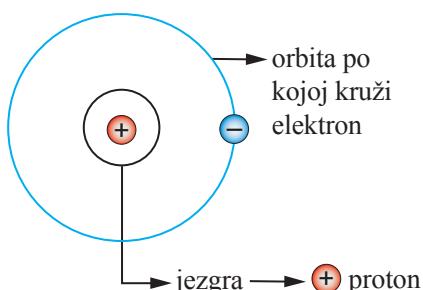
**Slika 1.1.**  
Model atoma

**Tablica 1.1.**  
Naboј čestica atoma

čestica	naboј
elektron	$-1,6 \cdot 10^{-19}$ C
proton	$1,6 \cdot 10^{-19}$ C
neutron	neutralan

**Tablica 1.2.**  
Masa čestica atoma

čestica	masa
elektron	$m_e \approx 9,1 \cdot 10^{-31}$ kg
proton	$m_p \approx 1,672 \cdot 10^{-27}$ kg
neutron	$m_n \approx 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg



**Slika 1.2.**  
Model atoma vodika

## 1.1. Građa tvari i električni naboј

Radi razumijevanja načina provođenja električne struje u tvarima ukratko ćemo opisati pojednostavljen model atoma.

**Atom** je najsitnija čestica tvari koja sadrži njena svojstva.

Atom se sastoji od jezgre i elektronskog omotača. Jezgra je sastavljena od protona i neutrona, a elektronski omotač od elektrona koji kruže oko jezgre (slika 1.1).

Da bi bila jasnija električna svojstva atoma i općenito materije, definirat ćemo električni naboј. **Električni naboј ili količina elektriciteta** (oznaka  $q$  ili  $Q$ ) je fizikalna veličina koja opisuje temeljno svojstvo čestica što uzajamno djeluju električnim silama. Osnovna jedinica za mjerjenje električnog naboјa je **kulon**, oznaka je C ili amper-sekunda:  $C = As$ . Pritom naboј može biti ili **pozitivan** ili **negativan**.

Najmanji naboј u prirodi je elementarni naboј i iznosi:

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

**Elektron** je nabijen najmanjim negativnim elementarnim naboјem:

$$Q_e = -1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

**Proton** je nabijen najmanjim pozitivnim elementarnim naboјem:

$$Q_p = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C.}$$

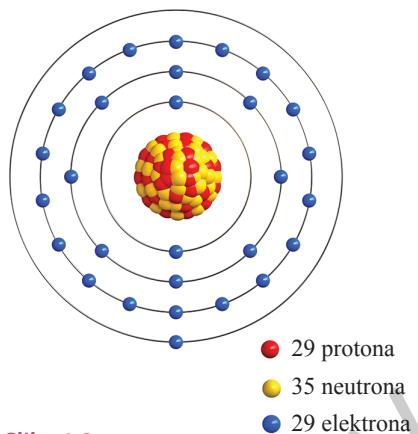
Elektron i proton su čestice koje imaju jednake naboјe suprotnog predznaka, a različite mase. Između elektrona i protona postoji privlačna sila.

**Neutron** je električki neutralan i sudjeluje u atomskoj masi atoma.

Masa neutrona približno je jednaka masi protona (tablica 1.1 i 1.2).

U nepobuđenom stanju svaki atom sadrži jednak broj protona i elektrona pa je kao cjelina neutralan.

Atom vodika koji ima jedan elektron i jedan proton je najmanji atom, a ima promjer reda vrijednosti  $10^{-10}$  m. Slika 1.2 prikazuje pojednostavljeni prikaz atoma vodika. Vodik zauzima prvo mjesto u periodnom sustavu elemenata

**Slika 1.3.**

Model atoma bakra

**Tablica 1.3.**

Ljuske atoma

redni broj ljuske $n$	oznaka ljuske
1	K
2	L
3	M
4	N
5	O
6	P
7	Q

**Slika 1.4.**

Niels Henrik David Bohr (1885. – 1962.), danski fizičar, dobio Nobelovu nagradu za fiziku 1922.

Atomi se razlikuju po broju protona i elektrona. Svi atomi jednakog broja protona pripadaju istom kemijskom elementu. Broj protona nekog elementa određuje mjesto u periodnom sustavu.

Prema Bohrovu (slika 1.3) pojednostavljenom modelu atoma elektroni mogu biti samo u određenim stazama – ljuskama. Atom može imati najviše sedam ljuski koje označavamo brojevima od 1 do 7 ili slovima: K, L, M, N, O, P, Q (tablica 1.3). U svakoj ljudsci može biti točno određen broj elektrona. Slika 1.3 prikazuje atom bakra. Elektroni koji se gibaju oko jezgre posjeduju određenu energiju. Elektroni u nepobuđenom stanju zauzimaju položaj u kojem imaju najmanju energiju. Elektroni najbliži jezgri imaju najmanju energiju i nalaze se u prvoj (K) ljudsci, a što je elektron udaljeniji od jezgre, to je njegova energija veća. Ako elektron prelazi iz više u nižu stazu, odašilje u okolinu energiju. U suprotnom je prima. Prema Bohru (slika 1.4) energija se prima i odašilje isključivo u diskretnim iznosima. Oni se nazivaju kvanti.

Vanjske ljuske elemenata često nisu popunjene maksimalnim brojem elektrona za tu ljudsku.

Vanjske nepotpunjene ljuske atoma nazivaju se **valentne ljuske**, a njihovi elektroni **valentni elektroni**.

Broj valentnih elektrona određuje svojstva elementa. Atomi se povezuju u molekule preko valentnih elektrona.

Primajući energiju iz okoline, valentni elektroni mogu napustiti svoju ljusku i nastavljaju se gibati u međuprostoru između atoma te postaju **slobodni elektroni**.

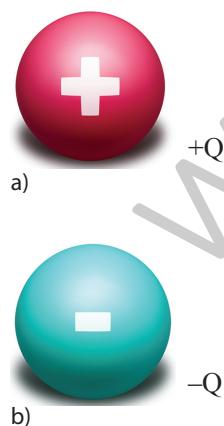
Slobodni elektroni pokretni su nosioci negativnog naboja.

Slobodni elektroni zaslužni su za vođenje električne struje u vodičima.

Jedna od važnijih pojava za elektrotehniku je **ionizacija**. Ako se elektronu privede dovoljna energija, prijeći će na višu energijsku razinu. Kada je elektron prešao u višu stazu, kaže se da je u pobuđenom stanju. Ako je privедena energija veća od one potrebne za najvišu stazu, tada se njenim privođenjem nadvladavaju privlačne sile jezgre. Posljedica je napuštanje atoma i elektron postaje slobodan. Stoga će u jezgri atoma biti više pozitivnih naboja nego negativnih u elektronskom omotaču. Atom s manjkom elektrona naziva se **pozitivni ion**.

**Napomena**

Tijelo se može elektrizirati trljanjem (trenjem), dodirom i influencijom, zagrijavanjem i djelovanjem svjetlosti.

**Slika 1.5.**

Simbolički prikaz

- a) pozitivno nabijenog tijela
- b) negativno nabijenog tijela

Ako bi u nekom procesu atom primio dodatni elektron, imao bi višak elektrona. Atom s viškom elektrona naziva se **negativni ion**.

Stvaranje iona naziva se ionizacijom.

Energija koju je trebalo dodati elektronu da bi napustio atom naziva se **ionizacijskom energijom**. Ionizacija se može dogoditi ako se bilo koji elektron pobudi tako da napusti atom. Što je elektron dalje od jezgre, manja mu je energija za to potrebna.

**Negativno nabijeno tijelo** ima višak elektrona; proces nabijanja sastoji se od dodavanja elektrona (slika 1.5b).

**Pozitivno nabijeno tijelo** ima manjak elektrona; proces nabijanja sastoji se u oduzimanju elektrona (slika 1.5a).

Ukupna količina naboja na tijelu, kao višak odnosno manjak elektrona u odnosu na broj protona, uvijek je cjelobrojni višekratnik elementarnog naboja. Ukupna količina naboja  $Q$  računa se kao umnožak broja elementarnih čestica ( $n$ ) i elementarnog naboja  $e_0$ :

$$Q = ne_0.$$

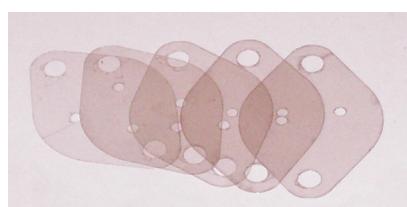
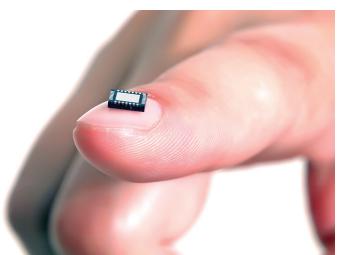
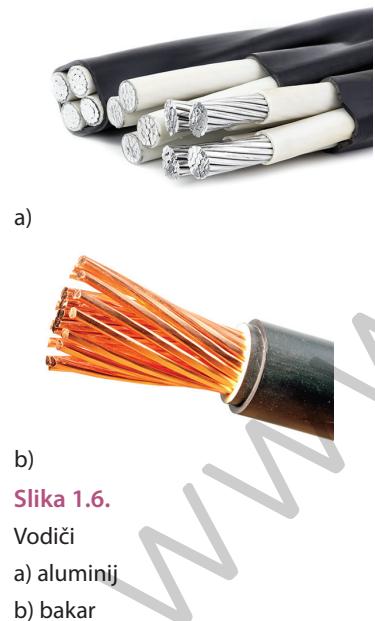
Mjerna jedinica za ukupnu količinu naboja je kulon. Za praktičnu primjenu kulon je prevelika mjerna jedinica za nabolj pa se koriste predmetci uz mjeru jedinicu kako je prikazano u tablici 1.4.

**Tablica 1.4.**

Predmetci uz mjeru jedinicu kulon

naziv	oznaka	iznos
milikulon	mC	$10^{-3}$ C
mikrokulon	$\mu$ C	$10^{-6}$ C
nanokulon	nC	$10^{-9}$ C
pikokulon	pC	$10^{-12}$ C

## 1.2. Vodiči, poluvodiči i izolatori



Prema vodljivosti materijale dijelimo na **vodiče**, **poluvodiče** i **izolatore**.

### 1.2.1. Vodiči

**Vodiči** su materijali koji dobro provode električnu struju.

Vodiče čine metali i njihove legure, te su u krutom stanju. Električnu struju čine slobodni elektroni. U metalima slobodni elektroni nastaju zbog toga što i na nižim temperaturama elektroni mogu prelaziti iz valentnog u vodljivi pojas. Naime, za to im je potrebna vrlo mala energija. Ne mijenjaju se kad kroz njih protječe struja.

Materijali velike vodljivosti: bakar, aluminij, srebro i zlato – pa se zato najčešće koriste za izradu vodiča (slika 1.6).

Osim u krutim tvarima električna se struja može stvarati u elektrolitima (otopine soli, kiseline i lužine). Električnu struju čine ioni. Kemijski se mijenjaju pri prolazu električne struje kroz njih.

Vodići mogu biti i ionizirani plinovi. Plinovi u normalnom stanju nisu vodići, nego to postaju ionizacijom.

### 1.2.2. Poluvodiči

**Poluvodič** je, prema provodnosti električne struje, materijal između izolatora i vodiča. Pri apsolutnoj nuli nema slobodnih elektrona, a s porastom temperature može voditi struju.

U današnjoj se poluvodičkoj tehnologiji od elemenata i spojeva najviše koriste silicij, germanij, galijev arsenid i silicijev dioksid. Keramički poluvodići tvore se od karbida silicija ili bora pomiješanih s keramičkom izolacijskom masom.

Poluvodički materijali koriste se za izradu poluvodičkih komponenta: dioda, tranzistora, integriranih sklopova (slika 1.7), memorija, procesora i drugo.

### 1.2.3. Izolatori

**Izolatori** su materijali koji pri sobnoj temperaturi nemaju slobodnih elektrona (ili ih je vrlo malo) pa ne vode struju.

Pri povišenoj se temperaturi izolatorima smanjuju izolacijska svojstva jer im se poveća broj slobodnih elektrona.

Izolacijski materijali mogu biti kruti, plinoviti i tekući.

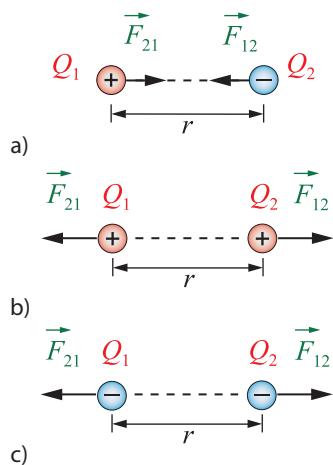


Slika 1.9.

Keramički izolator

**Napomena**

Točkastim se naboje smatraju nanelektrizirana tijela relativno malih izmjera u odnosu na njihovu međusobnu udaljenost.



Slika 1.10.

Sila između naboja:

- između dvaju raznoimenih naboja
- između dvaju istoimenih pozitivnih naboja
- između dvaju istoimenih negativnih naboja

Primjeri izolacijskih materijala:

- kruti:** staklo, tinjac (slika 1.8), keramički materijali (slika 1.9), kremen, voskovi, bitumen, asfalt, silikonske smole (plastične mase), kaučuk, guma, umjetne smole, vlknasti materijali i elektro-izolacijski lakovi
- tekući:** mineralna ulja, biljna ulja i umjetni ili sintetički tekući dielektrici
- plinoviti:** zrak, vakuum, dušik, vodik, ugljikov dioksid, helij.

Zadatak izolatora je sprječiti tok električne struje u određenom smjeru te da izoliraju električne proizvode i njihove dijelove.

**1.3. Coulombov zakon**

Pokusom se može dokazati kako električni naboji međusobno djeluju silama. Pritom, između istoimenih naboja vlada odbojna sila, a između raznoimenih privlačna.

Veličinu sile između dvaju točkastih naboja koji se nalaze u zraku 1785. godine definirao je francuski fizičar Coulomb (slika 1.11).

**Coulombov zakon** glasi:

Sila između dvaju točkastih naboja razmjerna je umnošku naboja, a obrnuto razmjerna kvadratu njihove međusobne udaljenosti.

Iznos električne sile između dvaju točkastih tijela koja se nalaze u zraku na međusobnoj udaljenosti  $r$ , a imaju naboje  $Q_1$  i  $Q_2$ , određen je izrazom:

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

gdje je:

$F$	Coulombova sila, N
$Q_1$ i $Q_2$	količine naboja, C
$r$	međusobna udaljenost naboja, m
$k$	koeficijent proporcionalnosti, $\frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} = \frac{\text{Vm}}{\text{As}}$

Na slici 1.10 prikazano je međusobno djelovanje dvaju naboja  $Q_1$  i  $Q_2$  koji se nalaze na udaljenosti  $r$ . Sila djeluje na pravcu koji spaja ta dva naboja. Sila  $\vec{F}_{12}$  naboja  $Q_1$  na naboju  $Q_2$ , jednaka je sili  $\vec{F}_{21}$  naboja  $Q_2$  na naboju  $Q_1$ , ali suprotnog smjera. Vrijedi:

$$|\vec{F}_{12}| = |\vec{F}_{21}| = |\vec{F}|.$$



Slika 1.11.

Charles Augustin de Coulomb (1736. – 1806.), francuski fizičar, Torzionom vagonom, koju je izumio, mjerio je silu između naboja. Mjerna jedinica električnoga naboja njemu u čast nazvana je kulon (C).

#### Napomena

Odnos među mjernim jedinicama:

$$\frac{F}{m} = \frac{C^2}{Nm^2}.$$

#### Napomena

Pojam dielektrika i izolatora se često izjednačava, a to nije sasvim točno. Većina dielektrika su izolatori.

#### Važno

**Pri rješavanju zadataka potrebno je mjerne jedinice za zadane fizikalne veličine pretvoriti u osnovne jedinice prema SI sustavu. Tada je dobivena vrijednost tražene fizikalne veličine u njenoj osnovnoj mjernej jedinici.**

Električna sila  $F$  je vektorska veličina, tj. ima svoj iznos (jakost) i smjer.

Iz matematičkog oblika zakona zapažamo:

- a)  $F > 0$ , sila je pozitivna ako su naboji istog predznaka, a naboji se odbijaju
- b)  $F < 0$ , sila je negativna ako su naboji suprotnog predznaka, a naboji se privlače.

Koeficijent proporcionalnosti ovisi o sredstvu u kojem se naboji nalaze. Ako su naboji u vakuumu, a približno vrijedi i za zrak, konstanta se označava sa  $k_0$  i u SI sustavu iznosi:

$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}.$$

Koeficijent proporcionalnosti možemo napisati u obliku:

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}.$$

Veličina  $\epsilon_0$  naziva se **dielektrična konstanta vakuma** ili **permittivnost vakuma**.

Dielektrična konstanta vakuma, a približno vrijedi i za zrak, u SI sustavu iznosi:

$$\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12} \frac{F}{m}.$$

Mjerna jedinica za dielektričnost je farad po metru: F/m.

Dielektričnost možemo shvatiti kao mjeru utjecaja sredstva na elektičnu silu između naboja.

Ako se naboji nalaze u nekom drugom sredstvu (dielektriku) sila će biti manja nego u vakuumu (ili zraku)

$$F_{\text{dielektrika}} = \frac{F_{\text{vakuma}}}{\epsilon_r}.$$

Uvedena konstanta  $\epsilon_r$  ovisna je o vrsti dielektrika, a naziva se **relativna dielektričnost** ili **relativna permitivnost**. Taj je broj veći od jedan za dielektrične materijale, a služi za opis dielektrika (vidi peto poglavlje). Za zrak  $\epsilon_r \approx 1$ .

Relativna dielektričnost  $\epsilon_r$  jest broj koji pokazuje koliko je puta manja Coulombova sila u nekom sredstvu (dielektriku) od Coulombove sile u vakuumu.

U atomu Coulombova sila djeluje između jezgre i elektrona, a opada s kvadratom udaljenosti elektrona od jezgre. To znači da su elektroni u vanjskoj ljusci najslabije vezani za jezgru atoma.

**Primjer 1**

Dva naboja od  $Q_1 = -0,5 \mu\text{C}$  i  $Q_2 = -1 \mu\text{C}$  nalaze se u zraku  $\left( k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \right)$  udaljeni jedan od drugoga  $r = 20 \text{ cm}$ . Izračunajte silu kojom naboji djeluju međusobno. Koji je predznak sile?

**Rješenje**

$$Q_1 = -0,5 \mu\text{C} = -0,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$Q_2 = -1 \mu\text{C} = -1 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

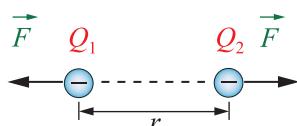
$$k_0 = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2}$$

$$r = 20 \text{ cm} = 0,2 \text{ m}$$

$$F = ?$$

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

$$F = 9 \cdot 10^9 \frac{\text{Nm}^2}{\text{C}^2} \cdot \frac{(-0,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}) \cdot (-1 \cdot 10^{-6} \text{ C})}{(0,2 \text{ m})^2} = 0,1125 \text{ N}$$



Slika 1.12.

Sila je pozitivna pa među nabojima djeluje odbojna sila.

## 1.4. Električna potencijalna energija i električni potencijal

Primjenom Coulombova zakona pokazano je da naboji međusobno djeluju električnom silom. Dva istoimena naboja se privlače, a raznimeni odbijaju.

Ako se djeluje dodatnom silom na naboje, mora se uložiti određeni rad, tj. energija.

### 1.4.1. Električno polje i potencijalna energija

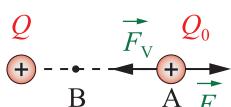
Ako se u blizinu nabijenog tijela dovede naboju u mirovanju (statički naboju), na njega će djelovati sila. Električni naboju stvara u cijelom prostoru oko sebe **električno polje**. (Više o električnom polju u petom poglavlju.)

**Električno polje** je prostor u okolini nabijenih tijela u kojem se osjeća djelovanje sile na naboju.

Sila kojom električno polje djeluje na naboju naziva se **električna** ili **elektrostatska sila**.

Svaka sila određena je svojom jakošću i smjerom djelovanja. Ako je ta sila posljedica električnog polja, tada i polje u svakoj točki prostora ima određenu jakost i smjer djelovanja. Sila  $F$  i električno polje  $E$  vektorske su veličine.

Dogovorom je određeno da će smjer polja biti smjer djelovanja sile na pozitivni naboju.



Slika 1.13.

Rad u električnom polju

### Napomena

Pri usporedbi električnog i gravitacijskog polja vrijedi: električna potencijalna energija odgovara gravitacijskoj potencijalnoj energiji.

Prestankom djelovanja vanjske sile električna bi sila naboja vratila natrag. Na račun uložene energije naboju ima sposobnost izvršiti rad, dakle posjeduje energiju koju nazivamo **električna potencijalna energija**.

**Električna potencijalna energija** je energija električnog naboja u mirovanju.

Možemo iz toga zaključiti da naboju u točki A ima električnu potencijalnu energiju  $W_A$ , a u točki B je  $W_B$ .

**Rad** potreban za pomicanje naboja iz točke A u točku B jednak je razlici potencijalnih energija u tim točkama:

$$\Delta W = W_A - W_B$$

Kad se istoimeni naboji približavaju, potencijalna energija se povećava, a ako se udaljavaju, smanjuje se. Ako su naboji raznoimeni, obrnuto je.

### 1.4.2. Električni potencijal i napon

Ako u prethodnom pokusu promijenimo pokusni naboju, promijenit će se njegova potencijalna energija. Pritom je omjer potencijalne energije i naboja u nekoj točki polja stalan.

Ovisnost potencijalne energije naboja o položaju u električnom polju izražavamo veličinom koju nazivamo **električni potencijal**.

**Važno**

**Električni potencijal** skalarna je veličina.

**Napomena**

$$1 \text{ V} = 1 \frac{\text{J}}{\text{C}}; \quad 1 \text{ volt} = 1 \frac{\text{džul}}{\text{kulon}}$$

**Električni potencijal ili potencijal** u nekoj točki polja jednak je radu koji bi trebalo obaviti kako bi se jedinični naboј prenio iz beskonačnosti u tu točku.

Potencijal računamo prema izrazu:

$$\varphi = \frac{W}{Q_0}$$

gdje je:

$\varphi$  električni potencijal, V

$Q_0$  jedinični naboј, C

$W$  potencijalna energija, J.

**Tablica 1.5.**

Predmetci uz mjerne jedinicu volt

naziv	oznaka	iznos
mikrovolt	$\mu\text{V}$	$10^{-6} \text{ V}$
milivolt	mV	$10^{-3} \text{ V}$
kilovolt	kV	$10^3 \text{ V}$
megavolt	MV	$10^6 \text{ V}$



**Slika 1.14.**

Alessandro Volta (1745. – 1827.), talijanski fizičar, jedan od osnivača elektrostatike. Konstruirao je prvi galvanski članak (Voltačlanak). Po njemu se nazivaju jedinica za mjerjenje napona – volt i mjerne instrument za mjerjenje napona – voltmeter.

Potencijal se označava grčkim slovom  $\varphi$ , a merna jedinica je volt (V). Volt je osnovna merna jedinica, a uz njih se upotrebljavaju predmetci kao u tablici 1.5.

Možemo zaključiti da u prethodnom pokusu potencijal u točki A je  $\varphi_A$ , a u točki B je  $\varphi_B$ .

Kombiniranjem izraza za rad i električni potencijal slijedi:

$$\Delta W = W_A - W_B = \varphi_A Q - \varphi_B Q = (\varphi_A - \varphi_B) Q$$

$$\Delta W = U_{AB} Q.$$

Izraz  $(\varphi_A - \varphi_B)$  predstavlja razliku potencijala koju nazivamo **električni napon ili napon**:

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B.$$

Oznaka za napon je  $U$ , a merna jedinica volt (V) kao i za potencijal.

**Električni napon** između dviju točaka polja jednak je razlici potencijala u tim točkama.

Oznaka  $U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$  znači napon u točki A prema točki B. Oznaka  $U_{BA} = \varphi_B - \varphi_A$  znači napon u točki B prema točki A. Pritom vrijedi:

$$U_{AB} = -U_{BA}.$$

Ako je  $U_{AB} > 0$ , znači da je točka A na višem potencijalu od točke B.

Ako je  $U_{AB} < 0$ , znači da je točka A na nižem potencijalu od točke B.

Odabiremo točku nultog potencijala koju nazivamo **referentna točka**. U odnosu na tu točku određujemo potencijal.

Za točku nultog potencijala uzima se potencijal zemlje.

Simbol mase      Simbol uzemljenja

Slika 1.15.

Simboli kojima se označavaju masa i uzemljenje

Točku nultog potencijala u električnim krugovima nazivamo **masa**, a simbol je prikazan slikom 1.15.

Ako neku točku spojimo na zemlju, kažemo da je uzemljena (slika 1.15).

Ako promatramo potencijal neke točke prema referentnoj, tada je potencijal te točke jednak naponu. Na primjer, pozitivni pol akumulatora ima potencijal 12 V što je ujedno i napon akumulatora jer je njegov negativni pol spojen na masu.

### Primjer 2

Zadani su potencijali u točkama A, B i C, prema slici 1.16:  $\varphi_A = -5 \text{ V}$ ,  $\varphi_B = 0 \text{ V}$  i  $\varphi_C = 20 \text{ V}$ .

Izračunajte napone  $U_{AB}$ ,  $U_{BA}$ ,  $U_{BC}$ ,  $U_{CB}$ ,  $U_{AC}$ ,  $U_{CA}$ .



Slika 1.16.

Potencijali točaka

#### Rješenje

$$\varphi_A = -5 \text{ V}$$

$$\varphi_B = 0 \text{ V}$$

$$\underline{\varphi_C = 20 \text{ V}}$$

$$U_{AB} = ?$$

$$U_{BA} = ?$$

$$U_{BC} = ?$$

$$U_{CB} = ?$$

$$U_{AC} = ?$$

$$U_{CA} = ?$$

$$U_{AB} = \varphi_A - \varphi_B$$

$$U_{AB} = -5 \text{ V} - 0 \text{ V} = -5 \text{ V}$$

$$U_{BA} = -U_{AB} = 5 \text{ V}$$

Napon  $U_{AB}$  jednak je potencijalu točke  $\varphi_A$  jer je potencijal točke B nula.

$$U_{BC} = \varphi_B - \varphi_C$$

$$U_{BC} = 0 \text{ V} - 20 \text{ V} = -20 \text{ V}$$

$$U_{CB} = -U_{BC} = 20 \text{ V}$$

Napon  $U_{CB}$  jednak je potencijalu točke  $\varphi_C$  jer je potencijal točke B nula.

$$U_{AC} = \varphi_A - \varphi_C$$

$$U_{AC} = -5 \text{ V} - 20 \text{ V} = -25 \text{ V}$$

$$U_{CA} = -U_{AC} = 25 \text{ V}$$

### Primjer 3

Za premještanje naboja  $Q = 2 \mu\text{C}$  iz točke A u točku B potrebno je obaviti rad  $W = 40 \mu\text{J}$ . Izračunajte napon između točaka A i B ( $U_{BA} = ?$ ).

#### Rješenje

$$Q = 2 \mu\text{C} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ C}$$

$$W = 40 \mu\text{J} = 40 \cdot 10^{-6} \text{ J}$$

$$\underline{U_{BA} = ?}$$

$$U_{BA} = \frac{W}{Q}$$

$$U_{BA} = \frac{40 \cdot 10^{-6} \text{ J}}{2 \cdot 10^{-6} \text{ C}} = 20 \text{ V}$$

## Pitanja za provjeru znanja

1. Što je atom?
2. Od čega se sastoji atom?
3. Koliko iznosi elementarni naboj?
4. Koliki naboj ima elektron, a koliki proton?
5. Koju ulogu ima neutron u atomu?
6. Kako se ponaša atom u nepobuđenom stanju?
7. Što su valentne ljske?
8. Koja je uloga valentnih elektrona?
9. Što su slobodni elektroni?
10. Što su ioni?
11. Što je ionizacija?
12. Kada je tijelo pozitivno nabijeno, a kada negativno?
13. Što su vodiči? Navedite neke materijale koji su vodiči.
14. Što su poluvodiči? Navedite neke materijale koji su poluvodiči.
15. Što su izolatori? Navedite neke materijale koji su izolatori.
16. Kako glasi Coulombov zakon?
17. Kakva sila vlada među istoimenim nabojeima, a kakva među raznoimenim?
18. Što je električno polje?
19. Što je električna potencijalna energija?
20. Što je električni potencijal?
21. Što je električni napon i koja mu je mjerna jedinica?
22. Koja se točka uzima za točku nultog potencijala?

## Zadatci

1. Između dva protiona koji se nalaze u zraku djeluje sila  $F = 2,1 \text{ N}$ . Naboj protiona iznosi  $Q = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ C}$ . Na kojoj se udaljenosti nalaze protoni?  
Rj:  $r = 10,47 \cdot 10^{-15} \text{ m}$
2. Kolikom će silom djelovati dva jednakata točkasta naboja  $Q = 1,6 \cdot 10^{-9} \text{ C}$  ako se nalaze u zraku na udaljenosti  $r = 6 \text{ cm}$ ?  
Rj:  $F = 9,2 \cdot 10^{-6} \text{ N}$
3. Dvije nabijene kuglice  $Q_1 = 2 \mu\text{C}$  i  $Q_2 = 4 \mu\text{C}$  nalaze se u zraku na udaljenosti  $r = 0,5 \text{ m}$ . Izračunajte silu među kuglicama. Izračunajte silu ako se svakoj kuglici naboj poveća dva puta.  
Rj:  $F_1 = 0,288 \text{ N}$ ,  $F_2 = 1,152 \text{ N}$
4. Ako naboj  $Q = 3,5 \cdot 10^{-6} \text{ C}$  premještamo u električnom polju i pritom savladamo razliku potencijala  $\varphi = 380 \text{ V}$ , izračunajte koliki se pritom rad utroši. Naboji se nalaze u zraku.  
Rj:  $W = 1,33 \text{ mJ}$
5. Koliki se rad utroši ako se kuglica s nabojem  $Q = 6 \mu\text{C}$  premjesti s potencijala  $\varphi_1 = 25\,000 \text{ V}$  na mjesto s potencijalom  $\varphi_2 = 2500 \text{ V}$ ?  
Rj:  $W = 0,135 \text{ J}$
6. Potencijal u točki 1 električnog polja je  $\varphi_1 = 15 \text{ V}$ , a u točki 2 je  $\varphi_2 = 5 \text{ V}$ . Izračunajte napon između točaka:  $U_{12} = ?$  i  $U_{21} = ?$   
Rj:  $U_{12} = 10 \text{ V}$ ,  $U_{21} = -10 \text{ V}$