

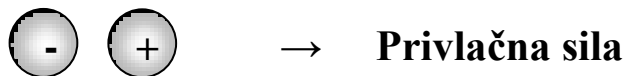
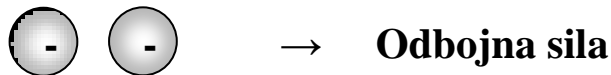
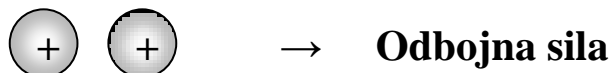
**Škola za cestovni promet
Kennedyjev trg 8**

Fizika II

Jure Ajduk, prof.

Električna sila

Postoje dvije vrste električnih naboja **pozitivni** (+) i **negativni** (-). Ako na tijelu postoji višak negativnih naboja kažemo da je negativno nabijeno, a ako na njemu ima manjak negativnih naboja kažemo da je pozitivno nabijeno. Djelovanje električne sile često primjećujemo u svakodnevnom životu. Ako na primjer natrljamo o kosu balon možemo ga zalijepiti o zid. Ali ako dva balona natrljana vunenom krpicom približimo jedan drugom tada će se oni odbijati. Iz toga vidimo da električna sila može biti privlačna i odbojna. Raznoimeno nabijena tijela se privlače, a istoimeno nabijena tijela se odbijaju. Električni naboj u prirodi dolazi iz atoma. Atomi su najsitnije čestice nekog kemijskog elementa. Oni su građeni od sitnih čestica protona, elektrona i neutrona. Protoni su pozitivno električki nabijeni, dok su elektroni negativno nabijeni, a neutroni su električki neutralni. Najjednostavniji atom, atom vodika sastoji se od samo jednog elektrona i protona.



Za električni naboj kažemo da je kvantiziran tj. on dolazi samo u sitnim paketima naboja. Najmanji naboj koji tijelo može imati je naboj jednog elektrona. Nazivamo ga **elementarni naboj**. Njegov iznos je $e = 1.6 \cdot 10^{-19} C$. Mjerna jedinica za količinu električnog naboja je 1C (1 Coulomb). Međudjelovanje naboja je iskazano Coulombovim zakonom:

$$F = k_0 \frac{Q_1 Q_2}{r^2}$$

F – sila između nabijenih čestica

Q_1 - količina naboja prve čestice

Q_2 - količina naboja druge čestice

r - udaljenost između čestica

k_0 - konstanta razmjernosti

$$k_0 = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} = 9 \cdot 10^9 \frac{Nm^2}{C^2}$$

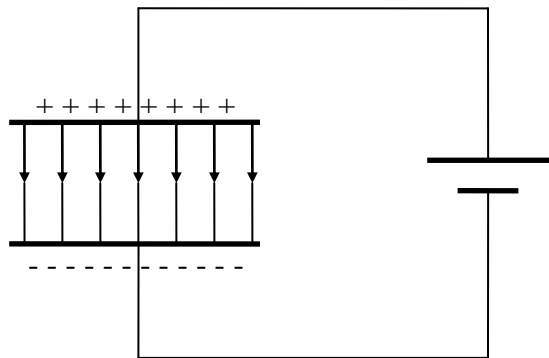
ϵ_0 – permitivnost vakuum ($\epsilon_0 = 8.854 \cdot 10^{-12} \frac{C^2}{Nm^2}$)

ϵ_r - relativna permitivnost dielektrika (sredstva)

Ako se nabijene čestice nalaze u nekom izolatoru tada je električna sila između njih $F = \frac{F_0}{\epsilon_r}$ tj. smanjena je za neki iznos relativne permitivnosti sredstva u odnosu na električnu silu u vakuumu (F_0).

Gibanje nabijenih čestica pod utjecajem električnog polja Kondenzator

Kondenzator je uređaj kojim možemo pohraniti naboj. Najjednostavniji kondenzator se sastoji od dvije usporedne metalne ploče koje su razmaknute za neki razmak d . Između ploča kondenzatora vlada homogeno električno polje. To je električno polje koje je u svim dijelovima jednako. Naboj u kondenzatoru pohranjujemo tako da mu jednu ploču priključimo na pozitivni, a drugu na negativni pol izvora. Odvajanjem od izvora ploče su mu ostale električki nabijene, pa kažemo da je kondenzator nabijen. Kratkim spajanjem ploča nekakvim vodičem njime proteče kratkotrajna električna struja sve dok se ne izjednače količine naboja na obje ploče. Kažemo da se kondenzator ispraznio.



**Homogeno električno polje između ploča
nabijenog kondenzatora**

Na nabijenu česticu između ploča kondenzatora djeluje električna sila:

$$F = QE$$

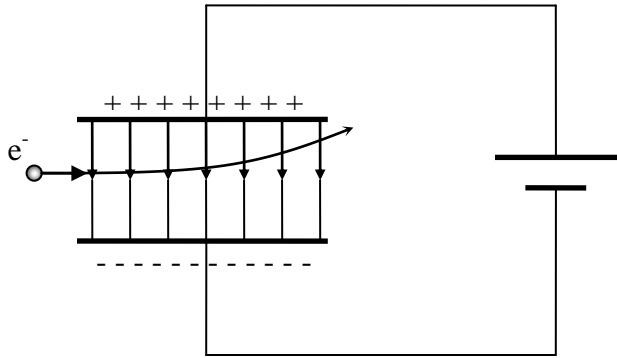
F – električna sila

Q – količina naboja nabijene čestice

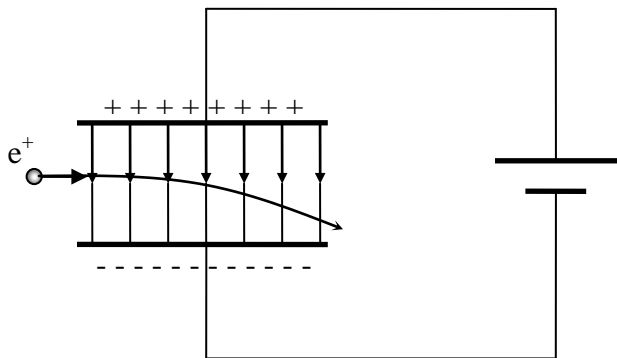
E - električno polje

Prema drugom Newtonovom zakonu nabijena čestica se giba jednoliko ubrzano u smjeru električnog polja ako je čestica pozitivno nabijena. Za negativno nabijenu česticu vrijedi obrnuto. Dakle pozitivno nabijena čestica giba se prema negativnoj ploči, a negativna prema pozitivnoj.

Ako čestica ulijeće s nekom brzinom okomito prema smjeru električnog polja tada ona biva skrenuta sa svoje putanje kao što se vidi na slijedećim slikama.



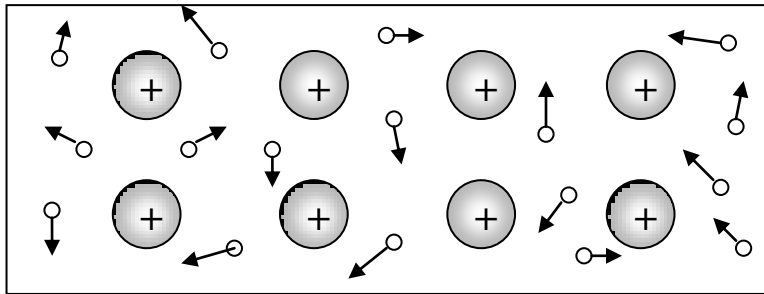
Negativno nabijena čestica skreće prema pozitivno nabijenoj ploči kondenzatora.



Pozitivno nabijena čestica skreće prema negativno nabijenoj ploči kondenzatora.

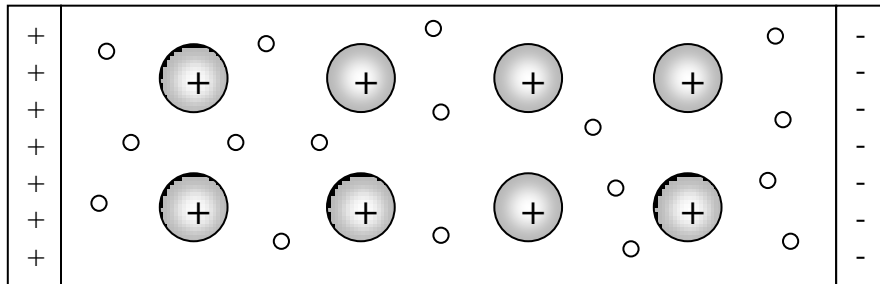
Električna struja

Električna struja je usmjereno gibanje naboja pod utjecajem električnog polja. Unutar metala koji su dobri vodiči el. struje imamo veliki broj slobodnih elektrona koji nisu vezani uz ione koji tvore kristalnu rešetku metala (slijedeća slika). Slobodni elektroni se ponašaju slično kao čestice plina. Oni se gibaju kaotično nasumičnim brzinama u svim smjerovima.



Kaotično gibanje slobodnih elektrona u vodiču.

Priključimo li na krajeve vodiča izvor napona, unutar njega se stvara električno polje. Pod utjecajem el. polja nastaje usmjereno gibanje elektrona. Oni putuju prema pozitivnoj strani vodiča.



Usmjereno gibanje slobodnih elektrona u vodiču pod utjecajem električnog polja.

Fizička oznaka za jakost električne struje je I . Jakost električne struje je jednaka omjeru količine naboja i vremena u kojem ta količina naboja prođe presjekom vodiča:

$$I = \frac{\Delta Q}{\Delta t}.$$

Mjerna jedinica za jakost električne struje je 1 Amper (1A). Jakost struje od 1A jednaka je količini naboja od jednog kulona koji u jednoj sekundi prođe kroz poprečni presjek vodiča. Za jakost struje koja se ne mijenja sa vremenom vrijedi slijedeća formula:

$$I = \frac{Q}{t}.$$

Električni otpor

Kada električna struja prolazi kroz vodič tada se on opire njenom protjecanju. Kažemo da ima električni otpor. U metalima su nositelji električne struje elektroni. Oni se gibaju kroz vodič slično česticama plina, na sve strane kaotično. Sudaraju se sa pozitivnim ionima kristalne rešetke i predaju im dio svoje kinetičke energije. Ioni tada jače titraju oko svog ravnotežnog položaja. Pojačano titranje povećava temperaturu vodiča i ono jače ometa prolazak slobodnih elektrona vodičem, raste mu električni otpor. Slobodni elektroni su negativno nabijeni, a ioni kristalne rešetke su pozitivni pa među njima vladaju privlačne električne sile zbog kojih se elektroni skreću sa putanje, što opet za posljedicu ima povećanje električnog otpora.

Dakle postoje dva razloga za postojanje električnog otpora:

- sudaranje elektrona sa pozitivnim ionima kristalne rešetke
- skretanje elektrona zbog privlačne sile između njih i pozitivnih iona kristalne rešetke

Električni otpor trošila je omjer napona na krajevima vodiča i jakosti struje kroz vodič:

$$R = \frac{U}{I}.$$

Mjerna jedinica za električni otpor je 1Ω (Ohm). Vodič ima električni otpor od jednog Ohma ako kroz njega teče struja jakosti jednog Ampera dok je priključen na napon od 1V.

Imamo li ravni vodič u obliku žice iz njegovih fizičkih parametara možemo dobiti njegov električni otpor pomoću slijedeće formule:

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

ρ – otpornost. Mjerna jedinica joj je $\frac{\Omega mm^2}{m}$ ili Ωm .

Ovisi o vrsti materijala i nalazi se u tablicama .Npr. za bakar $\rho = 1.7 \cdot 10^{-8} \Omega m$.

l – duljina vodiča [m]

S - površina poprečnog presjeka vodiča [m^2]

Formula nam govori da je električni otpor proporcionalan duljini vodiča i vrsti materijala od kojeg je vodič napravljen, a obrnuto proporcionalan površini poprečnog presjeka vodiča.

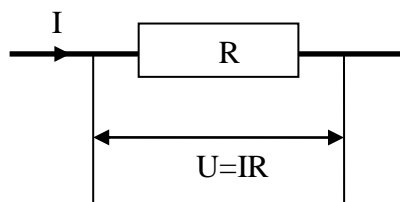
S obzirom na otpornost tvari možemo podijeliti na: **vodiče** ($\rho \approx 10^{-8} \Omega m$), **poluvodiče** ($\rho \approx 1 \div 1000 \Omega m$) i **izolatore** ($\rho = 10^{11} \div 10^{16} \Omega m$).

Ohmov zakon

Pri stalnoj temperaturi električni otpor vodiča se na mijenja. Omjer napona na krajevima vodiča i jakosti struje kroz vodič je stalan. Ove činjenice iskazuju Ohmov zakon:

$$I = \frac{U}{R}, R = konst.$$

Jakost struje koja protječe vodičem proporcionalna je naponu na krajevima vodiča, a obrnuto proporcionalna je električnom otporu vodiča.

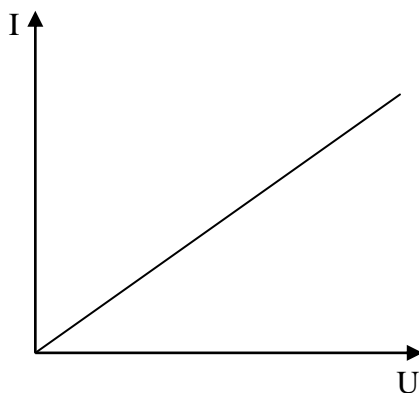


Pravokutnik na slici predstavlja otpornik u strujnom krugu.

Poznavajući otpor vodiča i jakost struje kroz njega možemo izračunati pad napona ili razliku potencijala na njegovim krajevima:

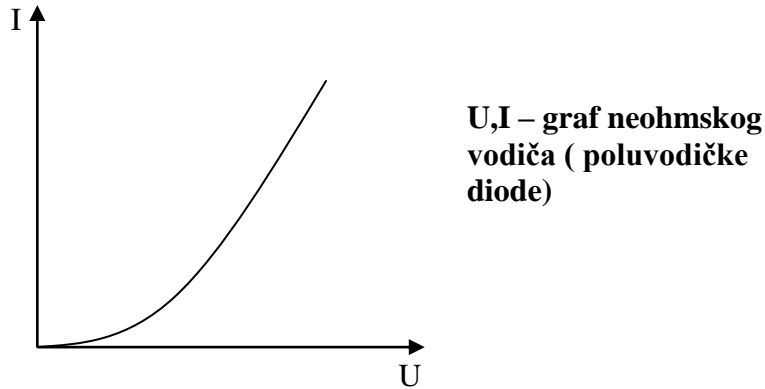
$$U = IR.$$

Vidimo da formula prikazuje linearnu ovisnost napona o jakosti struje pa kažemo da je napon proporcionalan jakosti struje. Za takve vodiče kažemo da su ohmski. U,I-graf je pravac i on izgleda kao graf na slijedećoj slici:



U,I – graf ohmskog vodiča

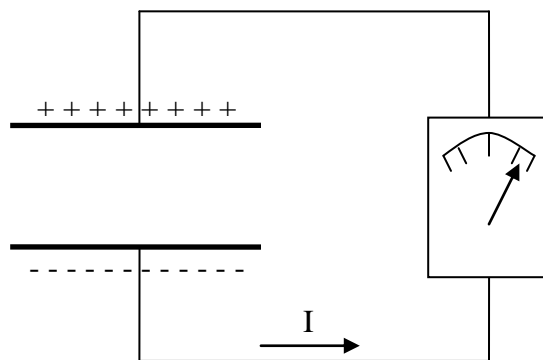
Ako otpor ovisi o naponu tada je U,I – graf sličan onome na slijedećoj slici:



Vidimo da graf u ovom slučaju nije više pravac. Otpor vodiča ne slijedi Ohmov zakon.

Izvori električne struje

Ako se sjetimo kondenzatora iz prošlih lekcija znamo da se u njemu mogu uskladištiti električni naboji. Nabijeni kondenzator može služiti kao izvor kratkotrajne električne struje (vidi sliku). Kratkim spajanjem nabijenih ploča kondenzatora preko galvanometra primijetit ćemo da na njemu možemo registrirati struju pražnjenja kondenzatora. Kazaljka će neko vrijeme pokazivati struju koja se smanjuje dok se ne izjednači količina naboja na obje ploče kondenzatora.



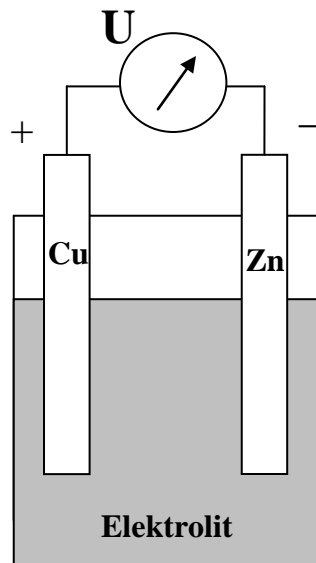
Jakost kratkotrajne struje kondenzatora koji se prazni očitavamo na galvanometru

Vidimo da na takav način ne možemo dobiti stalnu električnu struju. Moramo pronaći način na koji bi mogli stalno razdvajati električne naboje. Uređaj kojim to radimo

nazivamo **naponskim izvorom** ili **izvorom napona**. Takvi uređaji rade najčešće pomoću kemijskih reakcija koje se stalno odvijaju u izvorima napona i na taj način na njihovim elektrodama stvaraju napon.

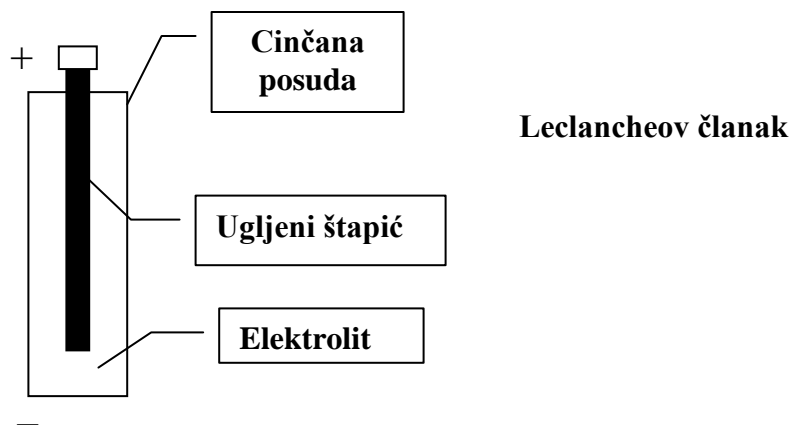
Najjednostavniji takav uređaj je **Voltin članak**. On se sastoji od staklene posude u kojoj se nalazi razrijeđena sulfatna kiselina (H_2SO_4). U tu otopinu uronimo pločice izrađene od dva različita metala, npr. od bakra (Cu) i cinka (Zn). Pošto se oni jednim svojim manjim dijelom otapaju u vodi, prilikom tog otapanja ostavljaju na pločicama negativne električne naboje jer u otopinu njihovi atomi prelaze kao pozitivni ioni. Obje pločice postaju negativno nabijene zbog viška negativnih naboja koje ostavljaju pozitivni ioni pri odlasku u otopinu.

Oba metala ne otpuštaju jednako ione u otopinu i njihovi ioni nisu jednako nabijeni, pa kao posljedicu toga imamo jednu pločicu više negativno nabijenu, a drugu manje negativno nabijenu. Ako spojimo pločice vodičem preko galvanometra primijetiti ćemo da se javlja razlika potencijala (napon) između njih. Vidimo da smo na ovaj način dobili stalni izvor električne energije koji daje napon dok ima kemijske reakcije elektrolita i metalnih pločica.



Voltin članak sastoji se od cinčane i bakrene pločice koje su uronjene u elektrolit (H_2SO_4).

Izvor napona koji je često u upotrebi je Leclancheov članak. On se sastoji od cinčane posude i ugljenog štapića. Elektrolit u posudi je amonijev klorid i cinkov klorid. Posuda je negativni pol baterije, a ugljeni štapić pozitivan pol baterije (vidi sliku).



Izvore napona općenito možemo podijeliti na **primarne** i **sekundarne**. Primarne ne možemo puniti, a sekundarne možemo. Ako u izvoru napona dobivamo električnu energiju pomoću kemijske reakcije koja se može dodavanjem električne energije obrnuti tada možemo puniti izvor napona. To je moguće npr. kod olovnog akumulatora i baterija za mobitele, pa ih možemo puniti. Leclancheov članak i Voltin članak ne možemo puniti jer dodavanjem električne energije u njih ne možemo obrnuti kemijsku reakciju kojom se stvara napon u njima.

Serijski i paralelni spoj otpornika

Dva otpornika možemo spojiti u strujni krug na dva načina, tako da ih spojimo jedan za drugim ili svakog u posebnu granu strujnog kruga. Prvi način spajanja zovemo **serijsko** spajanje otpornika, a drugi **paralelno** spajanje otpornika. Električni otpor žica kojima su spojeni ti otpornici zanemarujemo. Pitanje je koliki mora biti električni otpor otpornika koji bi zamijenio ova dva u otpornika u svakom od pojedinih spojeva.

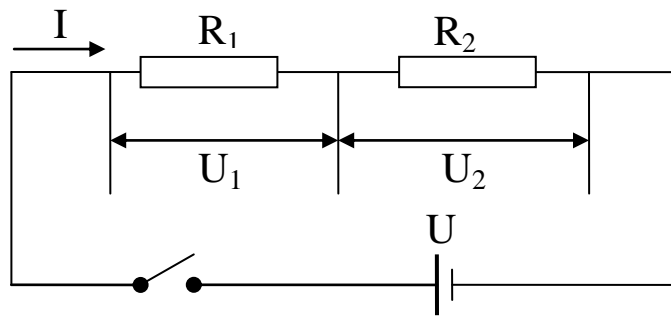
Serijski spoj otpornika

Serijski spoj otpornika dobijemo spajanjem otpornika tako da je kraj jednog otpornika spojen sa početkom drugog. Ukupan otpor serijski spojenih otpornika dobijemo iz Ohmovog zakon i zbroja padova u strujnom krugu:

$$U = U_1 + U_2$$

$$IR = IR_1 + IR_2$$

$$R = R_1 + R_2$$



Serijski spoj otpornika

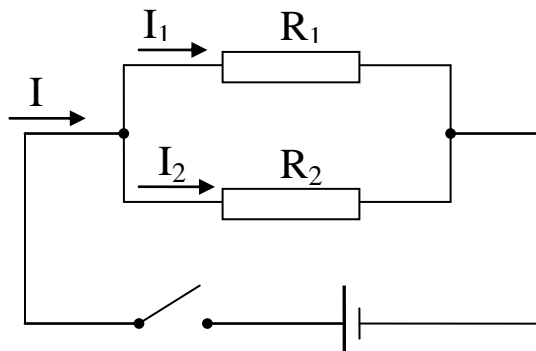
Ukupni otpor serijski spojenih otpornika jednak je zbroju otpora pojedinih otpornika.

U slučaju spoja više otpornika spojenih serijski vrijedi formula:

$$R = R_1 + R_2 + R_3 + \dots + R_n$$

Paralelni spoj otpornika

Paralelni spoj otpornika dobijemo tako da spojimo otpornike svakog u svoju granu. Ukupna jakost struje jednaka je zbroju jakosti struja kroz pojedinu granu. Primijetimo da svaki otpornik dobiva puni napon izvora. Na ovaj način su spojena trošila u našim kućanstvima.



Paralelni spoj otpornika

Koristeći formulu za ukupnu jakost struje i Ohmov zakon dobivamo formulu za ukupni otpor u strujnom krugu.

$$I = I_1 + I_2$$

$$I_1 = \frac{U}{R_1}, I_2 = \frac{U}{R_2}, I = \frac{U}{R}$$

$$\frac{U}{R} = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2}$$

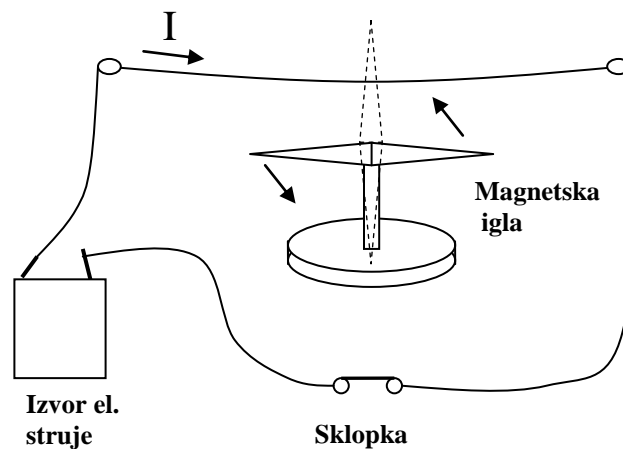
Recipročna vrijednost ukupnog otpora jednaka je zbroju recipročnih vrijednosti otpora pojedinačnih otpornika.

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}$$

U slučaju da imamo veći broj otpornika spojenih paralelno njihov ukupan otpor računamo po slijedećoj formuli:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots + \frac{1}{R_n}$$

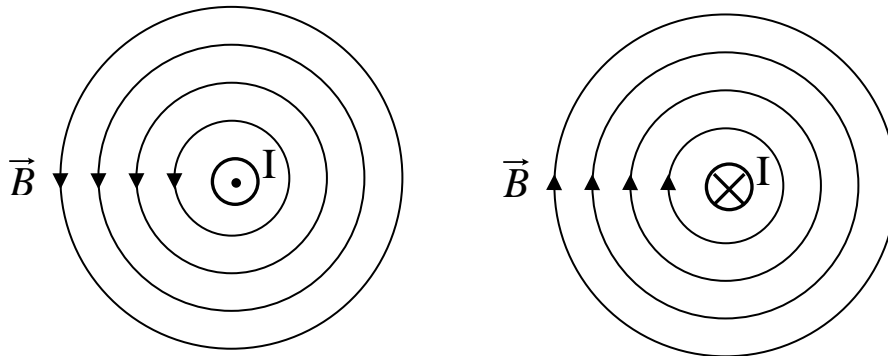
Oerstedov pokus



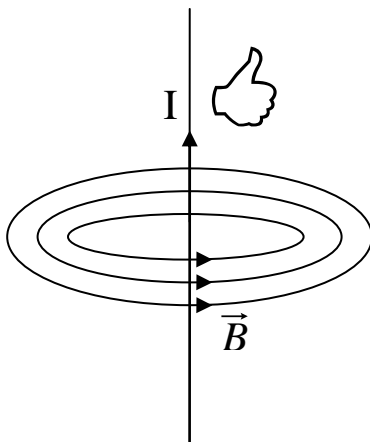
Prilikom uključivanja sklopke, magnetska igla koja se nalazi ispod vodiča kojim teče struja, zakreće se i postavlja okomito na vodič. Tu je pojavu sasvim slučajno otkrio danski fizičar Oersted 1820. godine. Pošto je magnetska igla ništa drugo nego magnet povoljnog oblika na nju može djelovati samo neki drugi magnet. Tako dolazimo do zaključka da oko vodiča kojim teče struja nastaje **magnetsko polje** koje djeluje na magnetsku iglu i zakreće je. Isključenjem sklopke struja više ne teče i magnetska igla se

vraća u prvobitni položaj. Mijenjanjem smjera struje magnetska igla se zakreće u drugom smjeru.

Oko vodiča kojim teče struja nastaje magnetsko polje. Magnetsko polje je prostor u kojem osjećamo djelovanje magnetske sile. Kakvog je izgleda ono oko vodiča vidimo na slijedećoj slici. Znak \otimes znači da je vodič postavljen okomito na smjer ravnine crtanja i da struja teče u ravninu crtanja, znak \odot znači da struja teče iz ravnine crtanja.



Magnetsko polje oko vodiča kojim teče struja ima oblik koncentričnih kružnica.

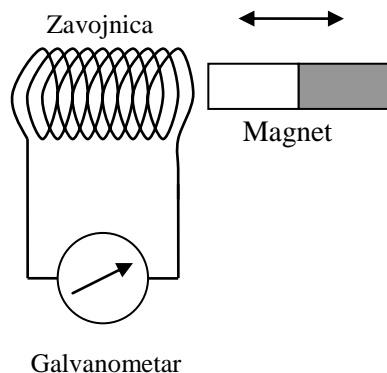


Pravilo desne ruke:

Obuhvatimo vodič desnom rukom tako da ispruženi palac desne ruke pokazuje smjer struje. Tada savijeni prsti desne ruke pokazuju smjer silnica magnetskog polja.

Smjer magnetskog polja oko ravnog vodiča kojim teče struja određuje se pomoću pravila desne ruke.

Elektromagnetna indukcija



U strujni krug spojimo zavojnicu i galvanometar (bez izvora električne energije). Gurajući magnet unutar zavojnice primjećujemo da galvanometar pokazuje neki napon. Izvlačeći magnet iz zavojnice kazaljka galvanometra se pomiče u drugom smjeru. Dok magnet miruje unutar zavojnice, kazaljka galvanometra također miruje. Ako sada pomičemo zavojnicu, a magnet miruje primjećujemo da opet imamo napon na galvanometru.

Zaključujemo da samo gibanje magneta ili zavojnice stvara napon tj. promjena magnetskog polja kroz zavojnicu stvara (inducira) napon. Ovu pojavu stvaranja napona pod utjecajem vanjskog

promjenjivog magnetskog polja nazivamo **elektromagnetna indukcija**.

Ako je veći broj zavoja zavojnice i ako magnet pomičemo brže veći je i inducirani napon. To prikazujemo **Faradayevim zakonom indukcije**:

$$U_i = -N \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

U_i – inducirani napon

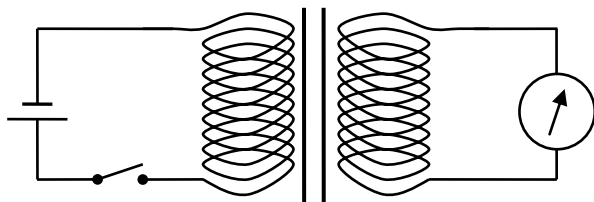
N - broj zavoja zavojnice

$\frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$ - promjena magnetskog toka

- predznak (-) dolazi zbog Lenzovog pravila

Lenzovo pravilo govori da je inducirani napon uvijek takvog smjera da stvara takvu struju koja stvara magnetsko polje suprotno magnetskom polju koje ga je izazvalo.

Međuindukcija i samoindukcija



Međuindukcija

Na slici vidimo dva strujna kruga koji su nepovezani. U prvom strujnom krugu su baterija, sklopka i zavojnica. U drugom strujnom krugu su samo zavojnica i galvanometar. Obje zavojnice se nalaze na željeznoj jezgri. Prilikom uključanja sklopke galvanometar pokazuje

pomak kazaljke. Prilikom isključenja kazaljka galvanometra se pomiče u drugom smjeru. Primijetimo da se dok je baterija uključena i isključena ne događa ništa. Vidimo da je to jedna nova pojava koju nazivamo **međuindukcija**. Međuindukcija je pojava da se u zavojnici inducira napon pod utjecajem promjenjivog magnetskog polja druge zavojnice. Ona ovisi o fizičkoj veličini koju nazivamo magnetski tok. Magnetski tok je umnožak magnetske indukcije i površine plohe kroz koju on prolazi.

$$\Phi = BS$$

Φ – magnetski tok (mjerna jedinica je Weber [Wb])

S – površina plohe (m^2)

B – magnetska indukcija (T)

Za zavojnicu vrijedi formula za magnetski tok:

$$\Phi = LI$$

I – jakost struje kroz zavojnicu

L – induktivnost zavojnice

Induktivnost (L – mjerna jedinica je Henry [H]) je koeficijent proporcionalnosti magnetskog toka, a ona ovisi o fizičkim karakteristikama zavojnice:

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

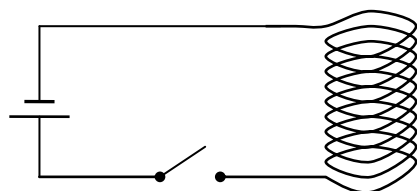
μ_r – permeabilnost sredstva koje je u zavojnici

μ_0 – permeabilnost vakuuma ($\mu_0 = 4\pi \cdot 10^{-7} \frac{Tm}{A}$)

N – duljina zavojnice

S – površina poprečnog presjeka zavojnice

l – duljina zavojnice



Samoindukcija

Uključenjem ili isključenjem sklopke nastaje promjena struje kroz zavojnicu. Ta promjena struje izaziva promjenu magnetskog toka kroz zavojnicu. Zbog te promjene magnetskog toka nastaje inducirani napon u zavojnici. Jer je taj napon posljedica promjene vlastitog

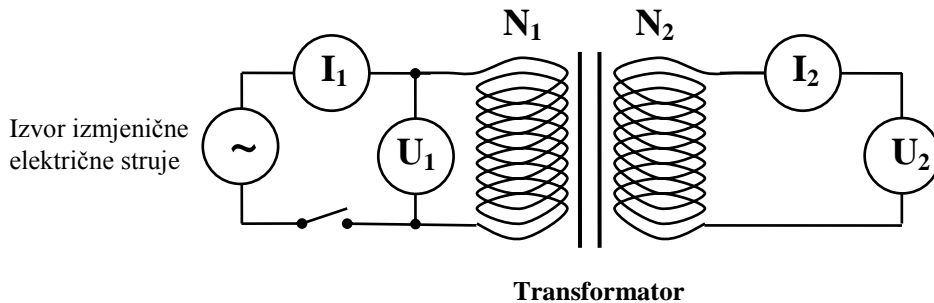
magnetskog toka kroz zavojnicu nazivamo ga napon samoindukcije.

Samoindukcija je pojava da se u zavojnici inducira napon pod utjecajem promjenjivoga magnetskog toka same zavojnice. Za inducirani napon samoindukcije vrijedi formula:

$$U_i = -L \frac{\Delta I}{\Delta t} \quad \frac{\Delta I}{\Delta t} = \frac{I_2 - I_1}{t_2 - t_1} \text{ - brzina promjene jakosti struje}$$

Iz formule vidimo što je veća induktivnost zavojnice i što je veća brzina promjene jakosti struje veći je i inducirani napon samoindukcije.

Transformator



Transformator je uređaj koji električnu struju i napon jednog iznosa pretvara (transformira) u električnu struju drugog napona i iznosa.

Dijelovi transformatora su:

- primarna zavojnica (primar)
- sekundarna zavojnica (sekundar)
- željezna jezgra

Na slici su označene slijedeće fizičke veličine:

- N_1 – broj zavoja prve zavojnice (primara)
- N_2 – broj zavoja druge zavojnice (sekundara)
- I_1 – jakost struje kroz prvu zavojnicu
- I_2 – jakost struje kroz drugu zavojnicu
- U_1 – napon na primaru
- U_2 – napon na sekundaru

Transformator radi na principu međuindukcije primara i sekundara. Željezna jezgra je tu radi povećanja napona međuindukcije. Transformator je priključen na

izmjenični napon na primaru, pa imamo stalni izmjenični napon na sekundaru. Odnos napona i broja zavoja dobijemo pomoću Faradayevog zakona indukcije.

$$U_1 = -N_1 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

$$U_2 = -N_2 \frac{\Delta\Phi}{\Delta t}$$

Dijeljenjem ovih jednažbi dobijemo:

$$\frac{U_1}{U_2} = \frac{N_1}{N_2}.$$

Vidimo da se naponi na primaru i sekundaru transformatora odnose kao brojevi zavoja na primaru i sekundaru transformatora.

Kod idealnog transformatora nema gubitaka snage, pa vrijedi da je snaga na primaru jednaka snazi na sekundaru:

$$P_1 = P_2$$

$$U_1 I_1 = U_2 I_2$$

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{U_2}{U_1}$$

Jakosti struja na primaru i sekundaru su obrnuto proporcionalne naponima na njima.

Rad i snaga električne struje

Električna struja prenosi energiju iz izvora koju može predati trošilu. Rad koji ono obavi je jednak energiji iz izvora. Pošto je rad pri gibanju naboja kroz razliku potencijala U jednak:

$$W = UQ,$$

a količina naboja koji prođe vodičem u nekom vremenu je:

$$Q = It ;$$

lako dobijemo formulu za **rad električne energije**:

$$W = UIt.$$

W – rad električne struje (mjerna jedinica je Joule [J])

U - napon (Volt [V])

I – jakost struje kroz trošilo (Amper [A])

t - vrijeme (sekunda [s]).

Znamo iz mehanike da je snaga omjer rada i vremena u kojem je taj rad obavljen:

$$P = \frac{W}{t}.$$

Uvrštavajući u ovu formulu izraz za rad električne energije dobijemo:

$$P = \frac{UIt}{t}$$

$$P = UI.$$

Ako trošilom prolazi jakost struje I pri naponu U, tada je snaga trošila jednaka umnošku jakosti struje i napona.

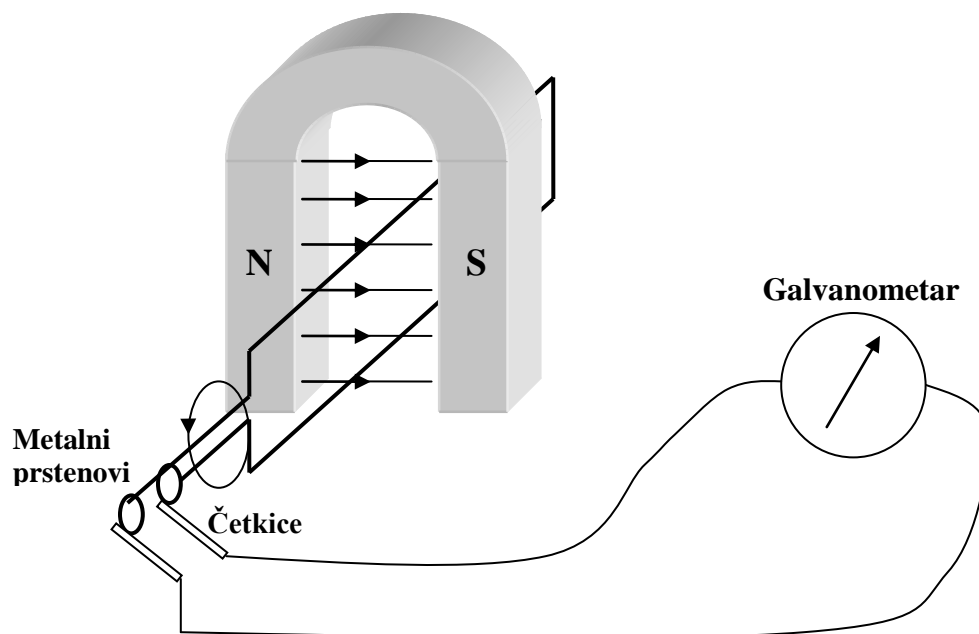
Mjerna jedinica za snagu je 1 Watt [W].

U svakodnevnom životu koristimo (za obračun potrošnje električne energije) mjernu jedinicu **kilovatsat (kWh)**. Veza između ove mjerne jedinice i Joulea je:

$$\begin{aligned} 1kWh &= 1000W \cdot 1h \\ &= 1000W \cdot 3600s \\ &= 3.6 \cdot 10^6 Ws \\ &= 3.6 \cdot 10^6 J \end{aligned}$$

Električni generator

Električni generator je uređaj koji mehaničku energiju pretvara u električnu energiju. Najjednostavniji električni generator možemo napraviti sa žičanom petljom, dva metalna prstena, dva pola magneta i metalnim četkicama. Vrtanjem žičane petlje između polova magneta u njoj se inducira izmjenični napon.



Ovakvu vrstu generatora prvi je konstruirao Nikola Tesla i napon proizveden njime ima oblik sinusoide, a izraz za njega je:

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

U_0 – amplituda izmjeničnoga napona

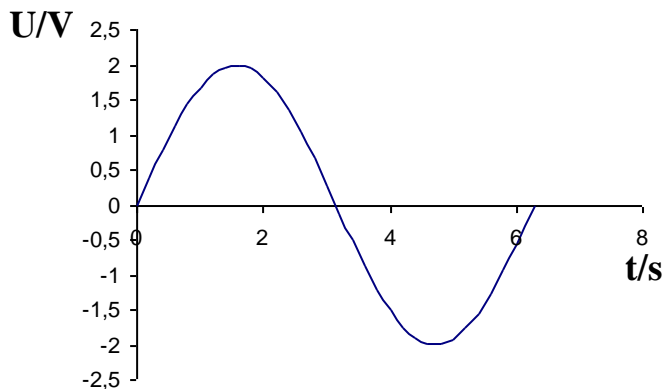
ω – kutna brzina vrtnje žičane petlje

$$\omega = \frac{2\pi}{T} = 2\pi f$$

t - vrijeme

T – period

f - frekvencija

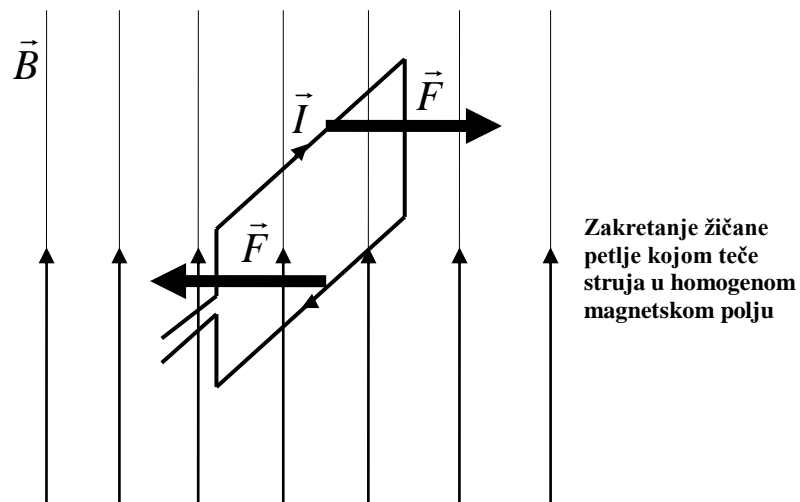


Graf ovisnosti napona o vremenu.

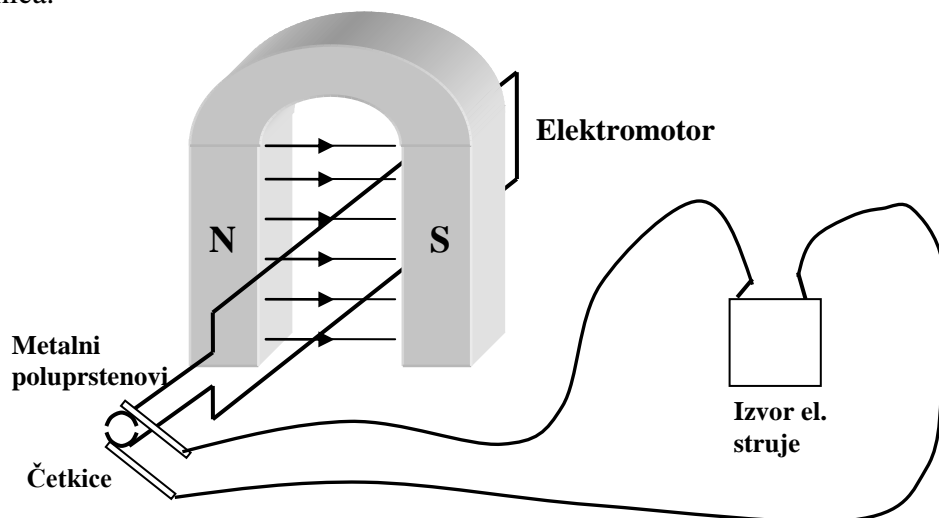
Frekvencija je broj titraja napona u jedinici vremena. Mjerna jedinica je Hertz (Hz). Frekvencija napona naše gradske električne mreže je 50 Hz. Period je vrijeme jednog titraja. Fizička mjerna jedinica za period je sekunda (s).

Elektromotor

Elektromotor je uređaj koji pretvara električnu energiju u mehaničku. Princip rada elektromotora je najvidljiviji iz sljedećeg primjera. Zamislamo da imamo vodič u obliku žičane petlje pravokutnog oblika kojim teče struja. Vodič je postavljen u homogeno magnetsko polje. Pustimo li električnu struju kroz vodič na njega će djelovati par Amperovih sila tako da zakreću vodič.



Ako u mjesto žičane petlje stavimo zavojnicu, ovisno o tome koliko ima zavoja, toliko puta ćemo dobiti jaču silu koja će je zakretati. Kad se zavojnica zakrenula potrebno je promijeniti smjer struje da bismo i dalje imali spreg sila koje zakreću zavojnicu. To postizemo pomoću dva metalna poluprstena koje stavljamo na izvode zavojnice i koji se rotiraju zajedno s njom. Struja koja dolazi u zavojnicu mijenja smjer kad se okrene zavojnica.



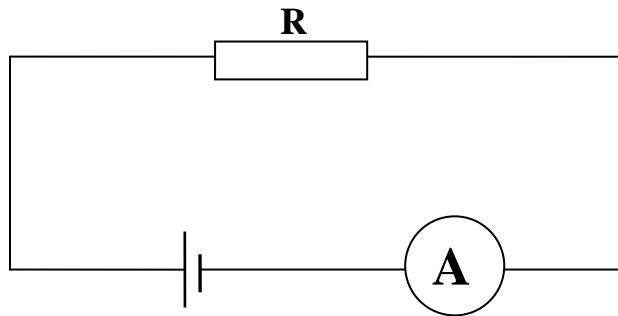
Instrumenti za mjerenje jakosti struje i napona

Instrumenti za mjerenje struje i napona su:

- galvanometar
- ampermetar
- voltmetar.

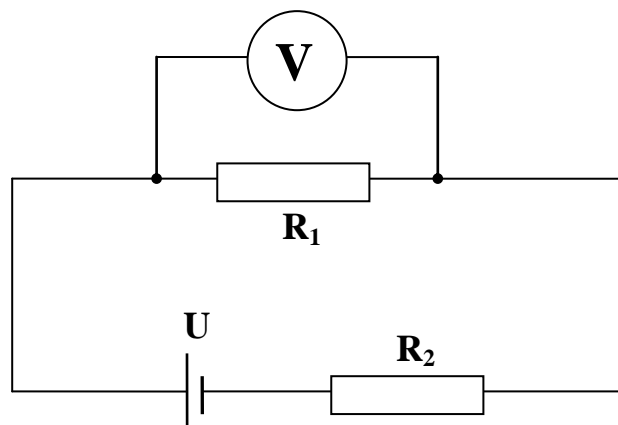
Galvanometar je instrument za mjerenje jakosti struje i napona malih iznosa. Njega možemo spajati u strujni krug kao ampermetar ili kao voltmetar.

Ampermetar je instrument za mjerenje jakosti struje. Njega u strujni krug uvijek spajamo serijski. Kroz njega uvijek teče sva struja strujnog kruga zbog čega treba imati vrlo mali otpor.



Ampermetar u strujnom krugu

Voltmetar je mjerni instrument za mjerenje napona. On se u strujni krug uvijek spaja u posebnu granu. Takav način spajanja naziva se paralelni spoj. Zbog takvog načina spajanja njegov otpor treba biti što veći.

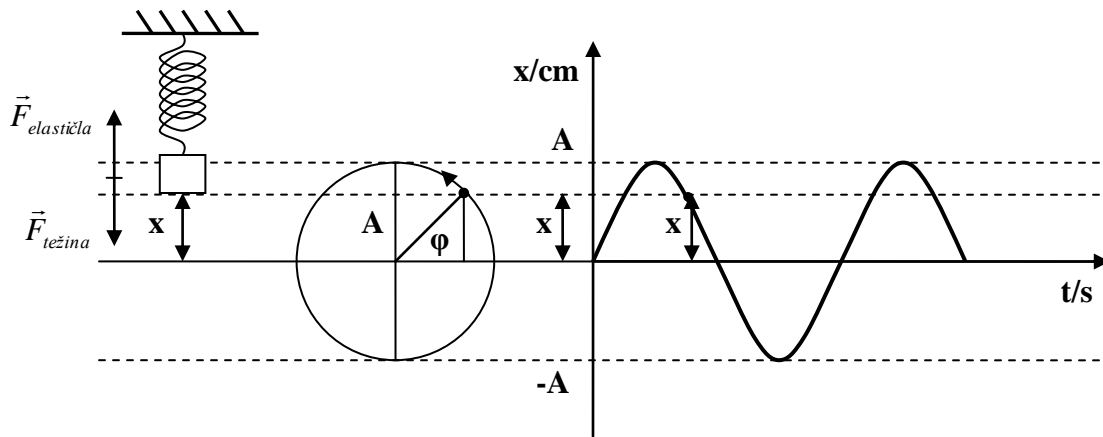


Voltmetar u strujnom krugu

Po načinu rada mjerne instrumente dijelimo na **analogne** i **digitalne**. Kod analognih mjernih instrumenata vrijednost mjerene fizičke veličine očitavamo pomoću kazaljke. Kazaljka se pomiče koristeći magnetske učinke električne struje. Kod digitalnih mjernih instrumenata nema pomičnih dijelova. Mjerene vrijednosti očitavamo na zaslonu.

Harmonijsko titranje

Gibanje tijela koje se ponavlja nakon nekog vremenskog nazivamo titranjem. Primjeri takvog gibanja su jednoliko kruženje, matematičko njihalo (uteg ovješena na nerastezljivu nit) i titranje tijela na opruzi. Posebno je zanimljiva veza između jednolikog kruženja i titranja tijela na opruzi.



Iz gornje slike vidimo da tijelo na opruzi miruje kada su elastična i gravitacijska sila u ravnoteži. Pomaknemo li tijelo iz ravnoteže te ga pustimo, ono počinje titrati oko položaja ravnoteže. Jedan **titraj** tijela je vrijeme potrebno da tijelo dođe ponovo u isto stanje titranja. Vrijeme potrebno za jedan titraj nazivamo **period** titranja. Sa **x** smo označili pomak iz ravnotežnog položaja (**elongaciju**). Najveći pomak do kojeg tijelo dođe nazivamo **amplituda**. Označavamo ga sa slovom **A**. Vidimo da su okomita projekcija položaja tijela koje kruži po kružnici radijusa **A** i pomak tijela na opruzi jednaki. Jedan i drugi pomak možemo u ovisnosti o vremenu prikazati kao sinusoidu. Kut za koji se tijelo pomakne na kružnici označili smo sa slovom φ , a dan je kao $\varphi = \omega t$. Mjerna jedinica za kut je **radijan**. On se određuje kao duljina luka jedinične kružnice upisane u vrh kuta. Pomak iz ravnotežnog položaja je dan slijedećim izrazom:

$$x = A \sin(\omega t).$$

On povezuje fizičke veličine koje su bitne za gibanje tijela na opruzi i tijela koje se giba po kružnici. Slijedeća bitna formula je ona koja nam daje period titranja:

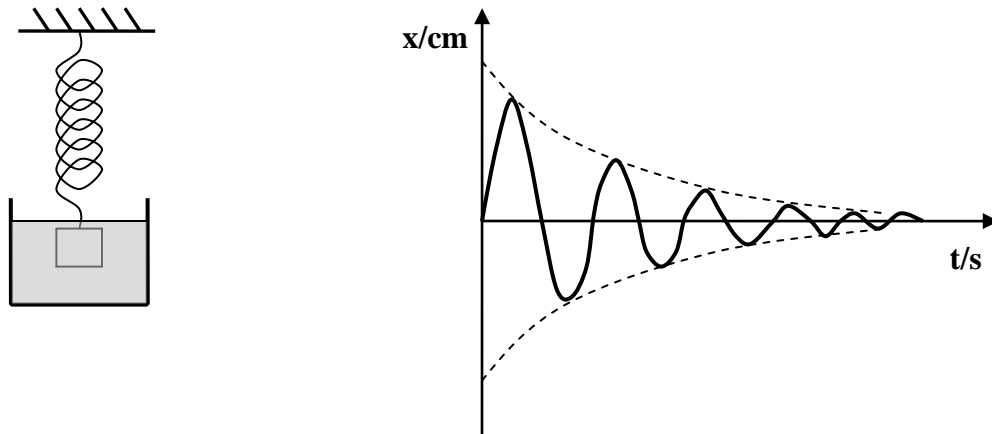
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}.$$

m – masa tijela (kg)

k – koeficijent elastičnosti opruge(N/m)

Prigušeno i prisilno titranje Rezonancija

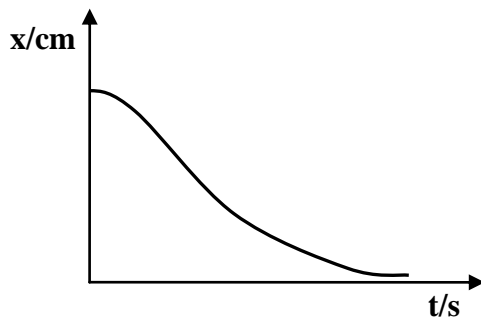
Prigušeno titranje dobijemo tako da tijelo koje titra stavimo u neko sredstvo kao što je npr. ulje ili voda. Iz grafa pomaka u ovisnosti o vremenu primjećujemo da se amplituda takvog titranja smanjuje s vremenom dok potpuno ne nestane.



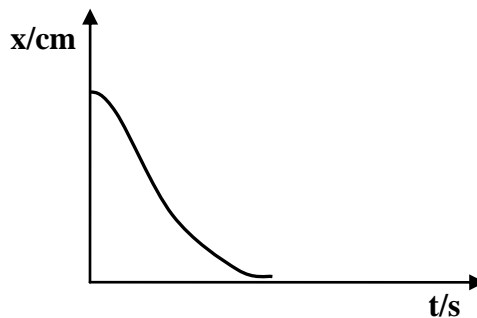
Period ovakvog titranja postaje sve veći, a frekvencija sve manja. Omjer uzastopnih amplituda je stalan, a nazivamo ga faktor gušenja:

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \frac{A_3}{A_4} = \dots$$

Što se događa ako je gušenje veliko? U takvom slučaju više nema titranja, a tijelo se samo vraća u ravnotežni položaj. To nazivamo aperiodično gibanje. Ako je gušenje vrlo veliko tijelo se na najkraći mogući način vraća u ravnotežni položaj. Takvo gušenje nazivamo **kritično gušenje**.

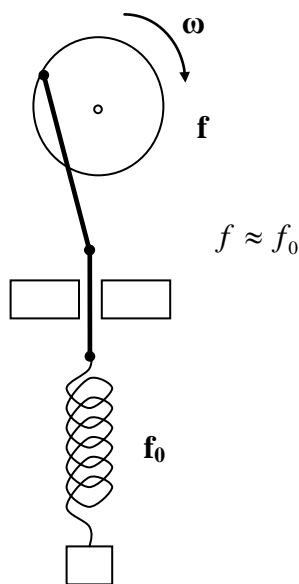


Aperiodično gibanje



Kritično gušenje

Zamislamo da pomoću uređaja na sljedećoj slici pobuđujemo oprugu na titranje.



Kada će titranje tijela na opruzi biti najveće? Očito će to biti ako poluga na mehanizmu gura oprugu dolje kada se uteg giba prema dolje i kada povlači prema gore kada se uteg giba prema gore. To je zadovoljeno samo kada su frekvencija vrtnje kotača f i vlastita frekvencija titranja opruge f_0 jednake.

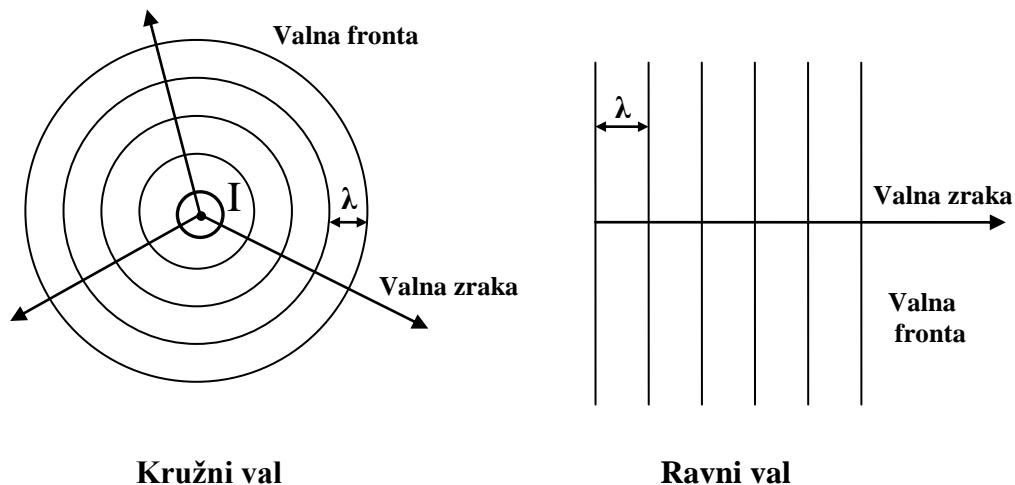
Ako na tijelo koje titra djeluje vanjska periodična sila, frekvencije jednake vlastitoj frekvenciji titranja tijela, odziv na titranje je maksimalan. Amplituda titranja je najveća. Tu pojavu nazivamo **rezonancijom**.

Valno gibanje

Bacimo li kamen u vodu primijetiti ćemo širenje koncentričnih krugova na površini vode. Primjećujemo da se taj poremećaj sastoji od brijegova i dolova koji mogu pomicati lagane predmete koji plivaju na površini vode npr. plovak. Dok poremećaj prolazi taj plovak se pomiče gore dolje što znači da mu je prenešena energija.

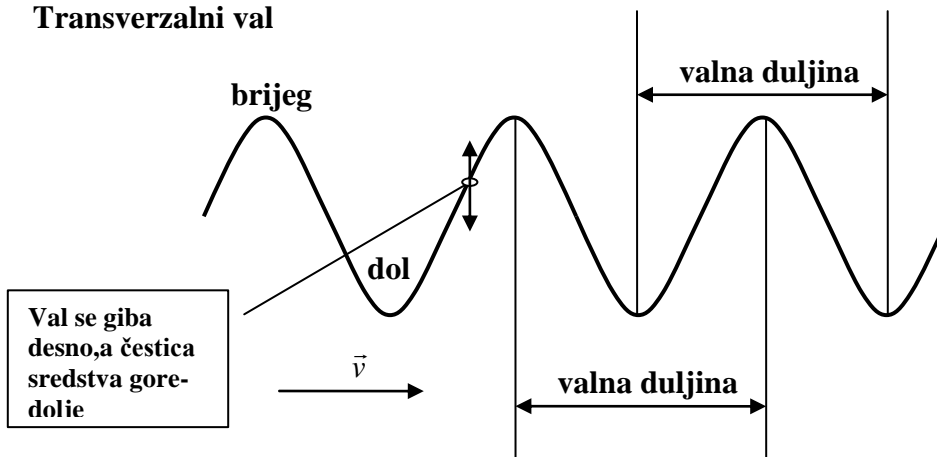
Taj poremećaj zovemo **val na vodi**. On može biti:

- **kružni** – nastaje ako dodirnemo površinu vode vrhom olovke
- **ravni** – nastaje ako dodirnemo površinu vode ravnalom



Sastoji se od brijega i dola vala. **Valna duljina** je razmak između dva susjedna brijega ili dola vala. Označava se sa grčkim slovom lambda (λ). Mjerna jedinica za valnu duljinu je metar (**m**).

Transverzalni val



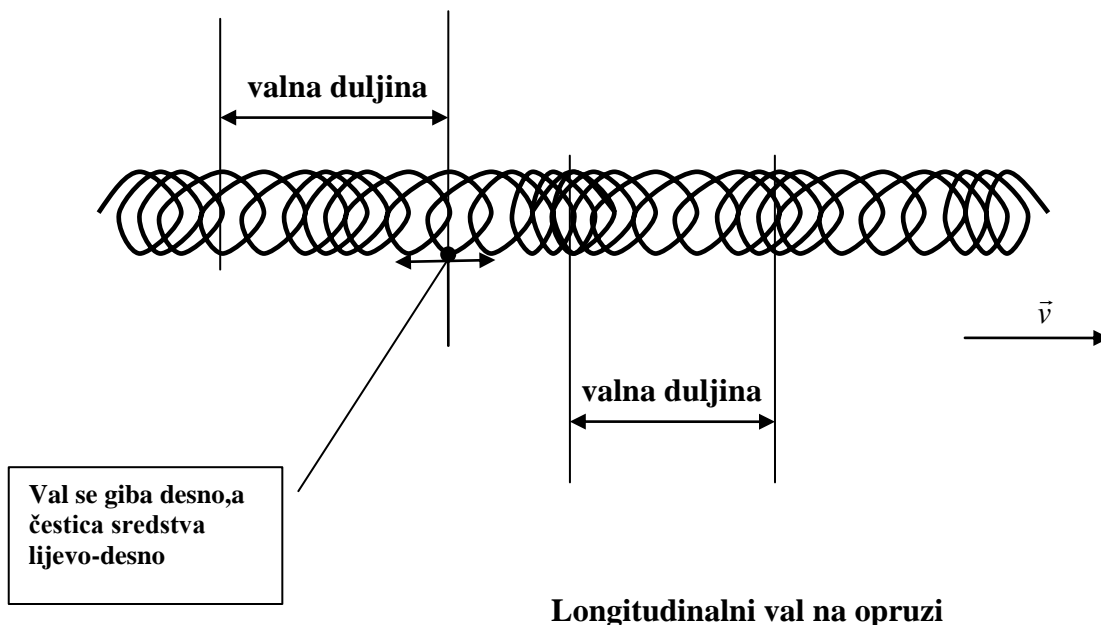
Valna zraka je polupravac koji pokazuje smjer širenja vala. **Valna fronta** predstavlja prvi brijeg vala koji napreduje.

Valove općenito dijelimo na:

- **longitudinalne**
- **transverzalne .**

Transverzalni val je onaj kod kojeg čestice sredstva titraju okomito na smjer širenja vala. Primjer takvog vala su val na vodi i elektromagnetski val.

Longitudinalni val je onaj kod kojeg čestice sredstva titraju u smjeru širenja vala. Primjer za ovakav val su zvučni valovi i val na opruzi ako je rastegnemo u smjeru pružanja.

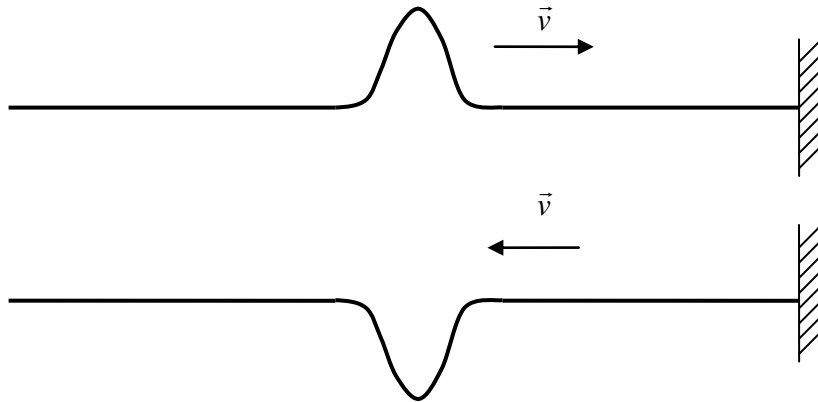


Na gornjoj slici vidimo longitudinalni val na opruzi. Vidimo da su nam u ovom slučaju zgušnjjenja i razrjeđenja opruge ono što su kod transverzalnog vala brijeg i dol.

Refleksija valova

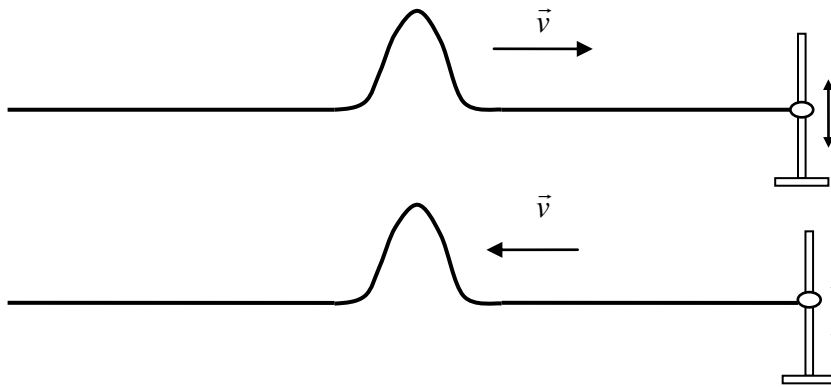
Refleksija valova na učvršćenom kraju

Promatramo val koji se širi nekim užetom ili žicom koji su učvršćeni na jednom kraju. Takav val je transverzalni val. Kada takav val naiđe na učvršćeni kraj on se reflektira sa pomakom u fazi za 180° ili za π radijana. To znači da će se brijeg vala reflektirati kao dol i dol vala kao brijeg. To vrijedi i za druge transverzalne valove kao što su elektromagnetski val i val na vodi. Kod njih bi učvršćeni kraj značio da su naišli na nepomičnu prepreku.



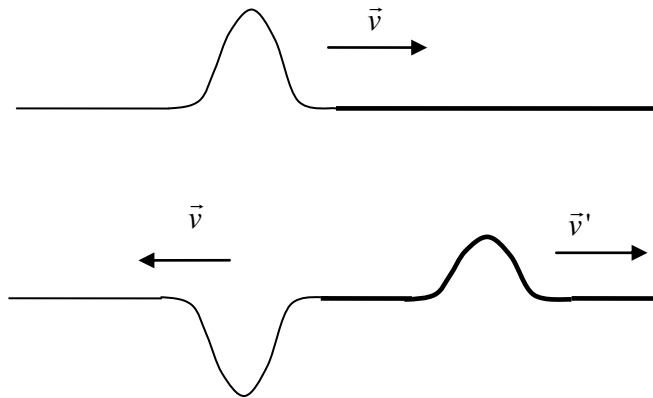
Refleksija na pomičnom ili slobodnom kraju

Opet promatramo val na užetu koji nailazi na neučvršćeni kraj. Neučvršćeni kraj je onaj koji se može gibati. U tom slučaju val će se reflektirati bez pomaka u fazi tj. brijeg će se reflektirati kao brijeg i dol kao dol.

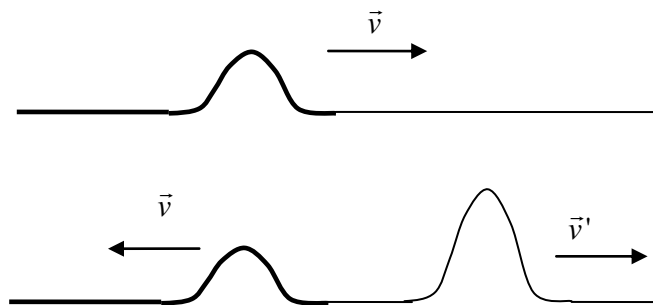


Refleksija na granici dvaju sredstava

Val prelazi sa tanjeg užeta na deblje. Možemo reći da je granica dvaju užeta, granica dvaju sredstava. Ovdje se događa to da se val podijeli na dva vala. Jedan dio se reflektira na granici dvaju sredstava sa pomakom u fazi za π radijana ili 180° bez promjene u brzini. Drugi dio prelazi u deblje uže bez pomaka u fazi, ali sa smanjenom amplitudom i brzinom.



Slijedeća situacija je kada val prelazi sa debljeg užeta na tanje. Val se opet dijeli na dva vala. Jedan se reflektira na granici sredstava bez pomaka u fazi, a drugi prolazi u tanje uže sa povećanjem amplitude i brzine.



Zvučni valovi

Zvuk je pojava koju možemo registrirati sluhom. On je **longitudinalni mehanički val**. Kad se prenosi zrakom širi se preko zgušnjavanja ili razrjeđenja zraka odnosno područja nižeg i višeg tlaka. Osim zraka prenosi se i drugim sredstvima kao što su čvrsta tijela i tekućine. Brzina zvuka u tim sredstvima je i nekoliko puta veća nego u zraku. Brzina zvuka u zraku je 331 m/s. Sa porastom temperature zrak brzina zvuka raste. Naprotiv sa smanjenjem temperature ona se smanjuje. Brzina zvuka u zraku se može približno izračunati po slijedećoj formuli:

$$v = 331.5 \frac{m}{s} + 0.62 \cdot t \frac{m}{s^{\circ}C} \quad .$$

t – temperatura u stupnjevima Celzijevim

Zvuk ima frekvenciju od 20 Hz (Hertza) do 20000 Hz. Frekvencije longitudinalnih mehaničkih valova u zraku manje od 20 Hz nazivamo **infrazvuk**. On je, ako je jačeg intenziteta, štetan po ljudsko zdravlje. Ultrazvuk je zvuk frekvencije veće od 20000 Hz.

Svjetlost

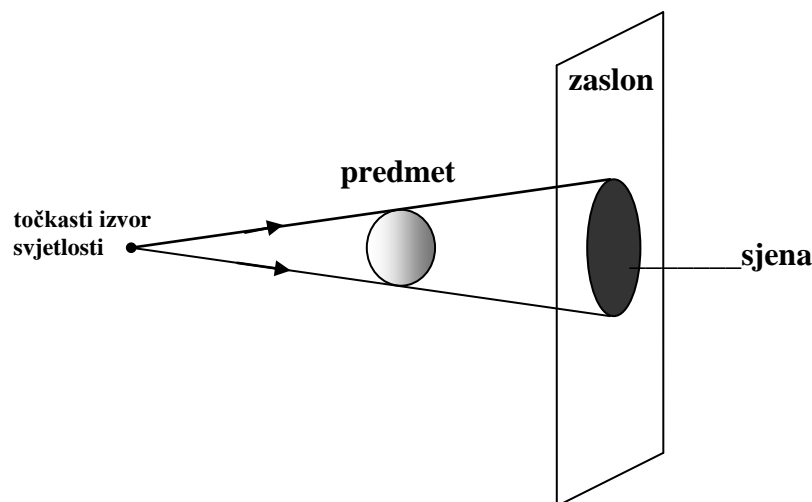
Svjetlost je **elektromagnetski val** valne duljine 380 do 750 nm (nanometara). Tim valnim duljinama odgovaraju frekvencije od $7.9 \cdot 10^{14}$ Hz do $4 \cdot 10^{14}$ Hz. Spektar vidljive svjetlosti sastoji se od sedam boja: crvene, narančaste, žute, zelene, plave, modre i ljubičaste. Svjetlost se može širiti raznim prozirnim sredstvima. Ako su ona posvuda jednaka nazivamo ih homogenim optičkim sredstvima.

Osnovni zakoni geometrijske optike

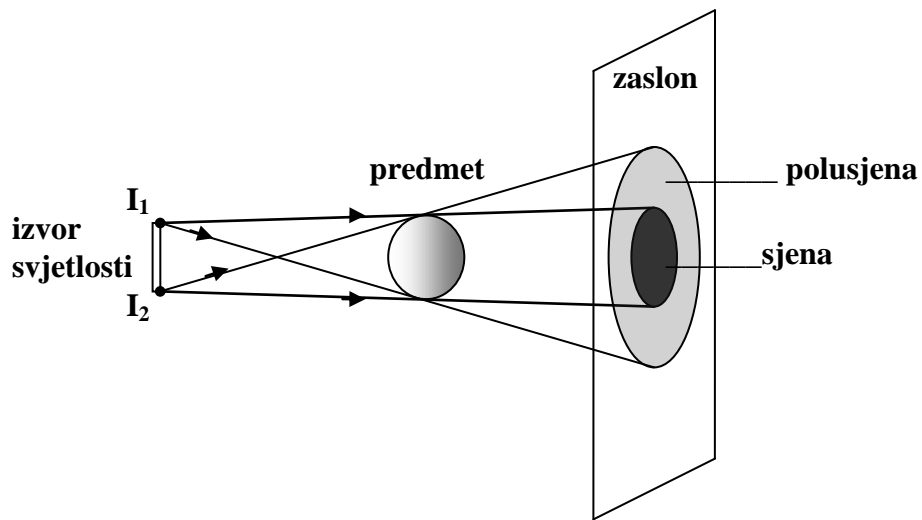
1. Zakon pravocrtnog širenja svjetlosti

U optički homogenom sredstvu svjetlost se širi pravocrtno.

To je razlog zašto vidimo sjenu predmeta koji obasjan izvorom svjetlosti. Ako je predmet obasjan točkastim izvorom svjetlosti sjena mu ima oštre rubove.



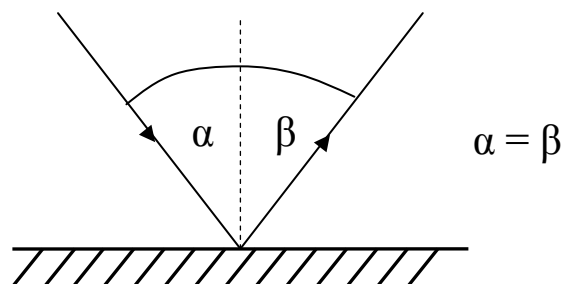
Predmet obasjan velikim izvorom svjetla osim sjene ima i polusjenu. Polusjena je svijetli rub sjene. Na rubovima izvora svjetlosti postavljamo dva točkasta izvora svjetlosti koje koristimo za konstrukciju sjene i polusjene. Pogledom na sliku vidimo da jedan dio svjetlosti iz izvora uvijek pada na sjenu pa ona ima svijetli rub. Za konstrukciju slika u optičkim sustavima koristimo **svjetlosne zrake**. Svjetlosna zraka je vrlo uzak snop svjetlosti. Prikazuje se na crtežima kao crta sa strelicom.



2. Zakon odbijanja (refleksije) svjetlosti

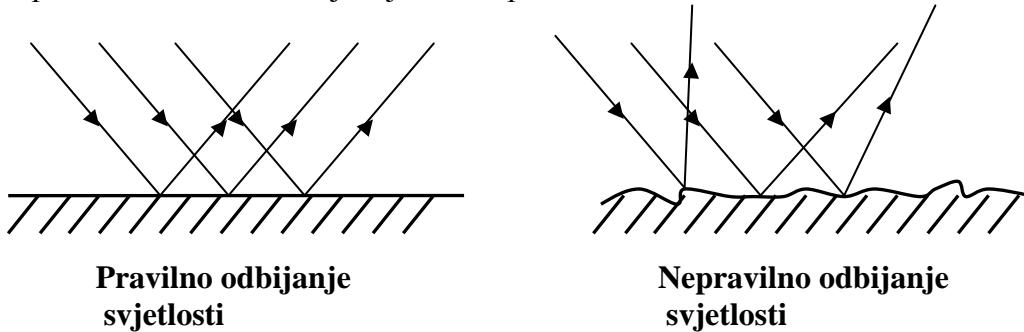
Zraka svjetlosti koja upada na neku prepreku reflektira se od nje. Ona zraka svjetlosti koja dolazi na prepreku zove se upadna zraka, a ona koja se odbija reflektirana zraka.

Kutovi koje zatvaraju upadna i reflektirana zraka sa okomicom na ravninu refleksije su jednaki. Upadna i reflektirana zraka se nalaze u istoj ravnini.



Svjetlost se odbija od prepreke **pravilno** ili **regularno** ako je ploha od koje se odbija dobro uglačana. Usporedni snop zraka svjetlosti se od takve plohe odbija se tako

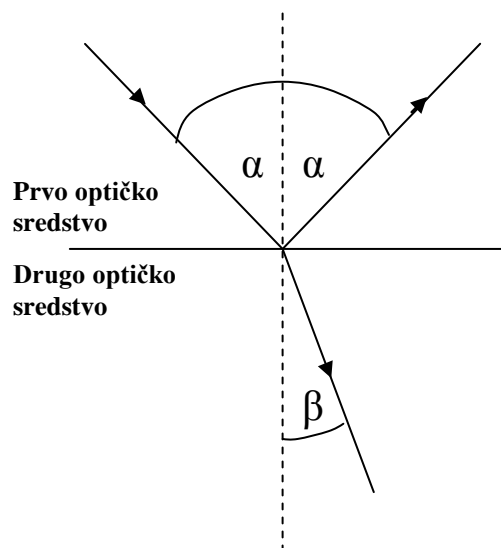
da i nakon refleksije ostaje usporedan. **Nepravilno** ili **difuzno** odbijanje je kada se svjetlost odbija od hrapave površine. Usporedan snop zraka svjetlosti koji se odbija od takve površine nakon refleksije nije više usporedan.



3. Zakon loma (refrakcije) svjetlosti

Lom svjetlosti nastaje kada svjetlosna zraka upada na granicu dvaju optički prozirnih sredstava. Tada se upadna svjetlosna zraka jednim svojim dijelom lomi, a drugim reflektira od granice dvaju sredstava.

Kada svjetlost upada iz optičkog sredstva u kojem je brzina svjetlosti veća, u sredstvo u kojem je brzina svjetlosti manja, zraka svjetlosti se lomi prema okomici i obrnuto.



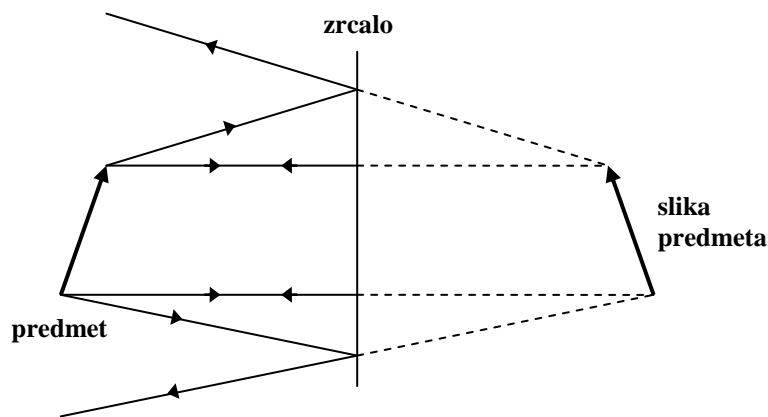
4. Zakon neovisnosti svjetlosnih snopova

Svjetlosni snopovi neovisnih izvora svjetlosti se ne miješaju. Jedan snop svjetlosti ne utječe na drugi.

Zrcala

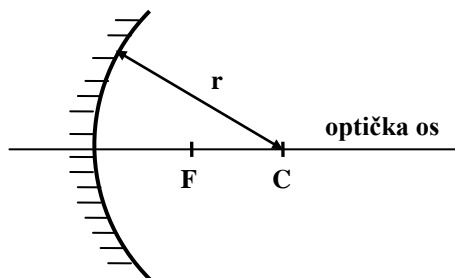
Zrcalo je svaka dobro uglačana površina. Zrcalo može biti **ravno** ili **sferno**. Ravno zrcalo je dio ravnine dok je sferno dio kugline plohe. Ako je reflektirajuća površina kugline plohe vanjska, takvo zrcalo zovemo **ispupčeno** ili **konveksno**. Ako je reflektirajuća ploha unutarnja zovemo ga **udubljeno** ili **konkavno** zrcalo. Sliku predmeta u zrcalu konstruiramo koristeći svjetlosne zrake i njihove produžetke. Slika predmeta u zrcalu konstruira se pomoću produžetaka svjetlosnih zraka pa je nazivamo **virtualnom slikom**.

Slijedeća slika prikazuje konstrukciju predmeta u ravnom zrcalu.

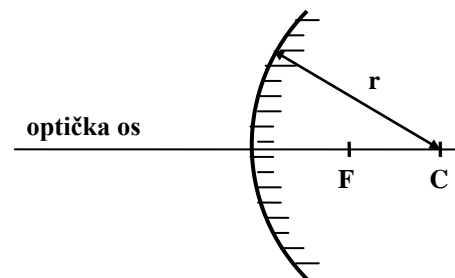


Iz konstrukcije se vidi da je slika predmeta uspravna i jednake visine. Lijeva strana slike je desna predmeta i obrnuto. Slika je konstruirana pomoću **virtualnih zraka**. One su produžeci zraka svjetlosti koji su na crtežu označeni isprekidano. Slika je virtualna što znači da se ne može prikazati na zidu ili zastoru.

Slijedeći crtež prikazuje konkavno i konveksno zrcalo. Sa **C** je označeno **središte zakrivljenosti** zrcala, a sa **F** **fokus** ili žarište zrcala.



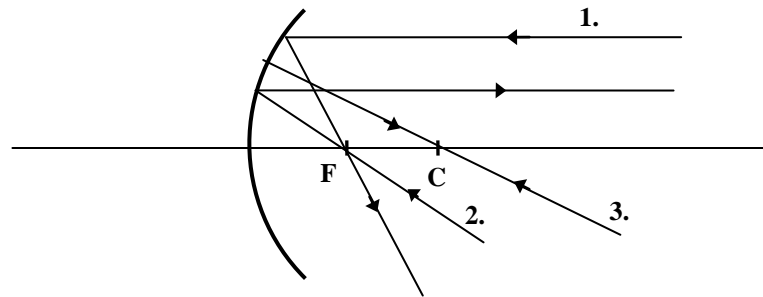
konkavno zrcalo



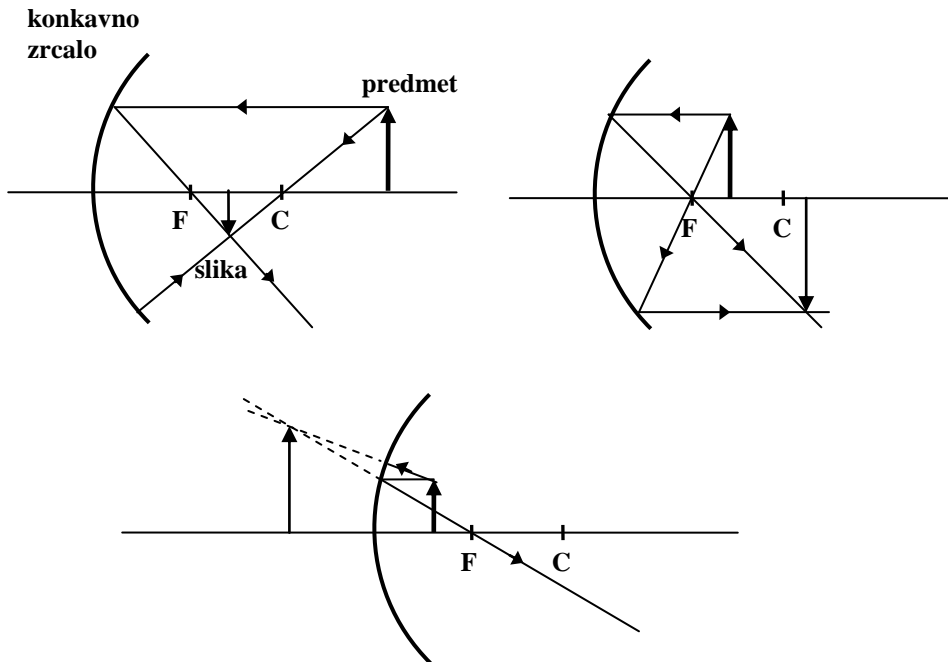
konveksno zrcalo

Konstrukcija slike u **konkavnom** zrcalu obavlja se pomoću tri karakteristične zrake svjetlosti:

1. Zraka koja pada na zrcalo usporedno s optičkom osi reflektira se kroz žarište
2. Zraka koja prolazi kroz žarište reflektira se usporedno s optičkom osi
3. Zraka koja prolazi kroz središte zakrivljenosti zrcala odbija se istim putem.

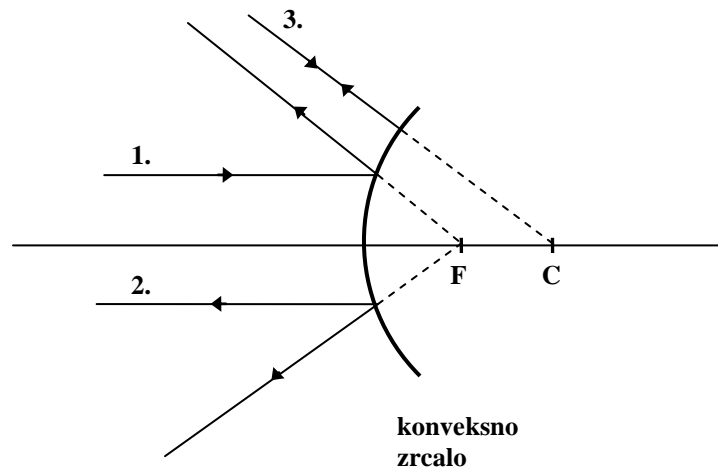


Slika predmeta u konkavnom zrcalu ovisi je li se nalazi ispred ili iza žarišta. Ako se nalazi ispred žarišta, ona je virtualna, uvećana i uspravna. Ako je predmet iza žarišta i ispred središta zakrivljenosti slika je obrnuta, uvećana i realna. Slika predmeta koji je iza središta zakrivljenosti je umanjena, obrnuta i realna.

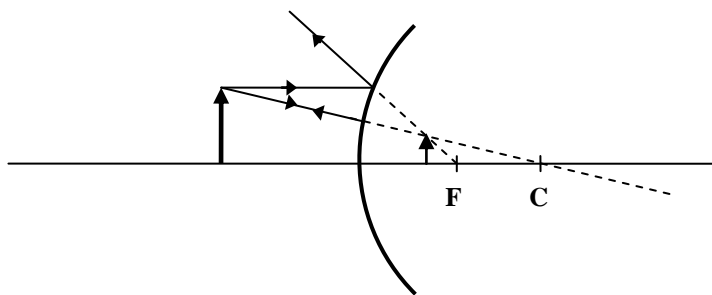


Konstrukcija slike u **konveksnom** zrcalu konstruira se pomoću tri karakteristične svjetlosne zrake:

1. Svjetlosna zraka koja pada na zrcalo paralelno s optičkom osi. Reflektira se kao da je došla iz žarišta.
2. Svjetlosna zraka čiji produžetak prolazi kroz žarište reflektira se usporedno s optičkom osi.
3. Svjetlosna zraka čiji produžetak prolazi kroz središte zakrivljenosti odbija se istim putem kojim je došla.



Slika koju daje konveksno zrcalo uvijek je umanjena, virtualna i uspravna. Primjer upotrebe su bočni retrovizori na automobilu. Na slijedećoj slici je konstrukcija slike predmeta u konveksnom zrcalu.



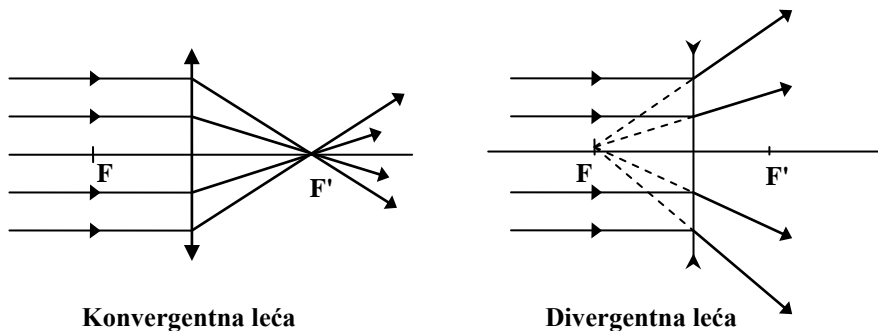
Optičke leće

Prozirno tijelo koje je omeđeno dvjema plohamo nazivamo optička leća. Te plohe mogu biti ravne ili dio kugline plohe. Leće dijelimo na **konvergentne** i **divergentne**.

Konvergentne leće su one koje su na rubovima tanje. Nazivamo ih i sabirne leće jer paralelan snop zraka svjetlosti koji pada na njih sabiru u jednu točku.

Divergentne leće su one koje su po rubovima deblje. Nazivamo ih rastresne leće jer usporedan snop zraka svjetlosti prolaskom kroz nju biva rastresen.

Točku F nazivamo virtualnim žarištem ili **žarištem predmeta**, a točku F' **žarištem slike**.



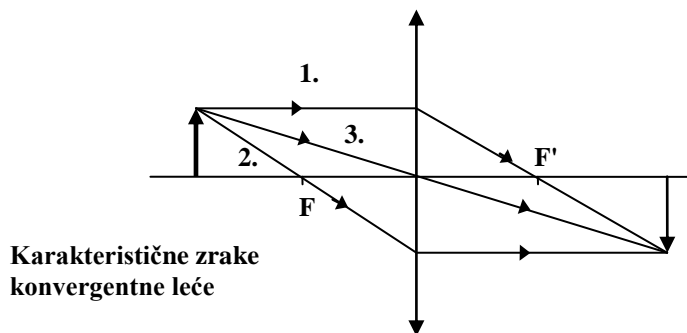
Konvergentna leća

Divergentna leća

Konvergentna leća

Za konstrukciju slike pomoću **konvergentne** leće koristimo tri karakteristične svjetlosne zrake:

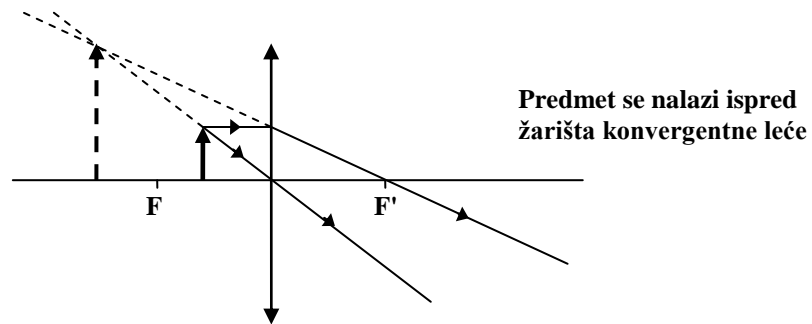
1. Svjetlosna zraka koja dolazi na leću usporedno s optičkom osi, lomi se kroz leću tako da prolazi kroz žarište slike F' .
2. Svjetlosna zraka koja prolazi kroz žarište predmeta F , lomi se kroz leću tako da je usporedna optičkoj osi.
3. Svjetlosna zraka koja prolazi središtem leće ne lomi se.



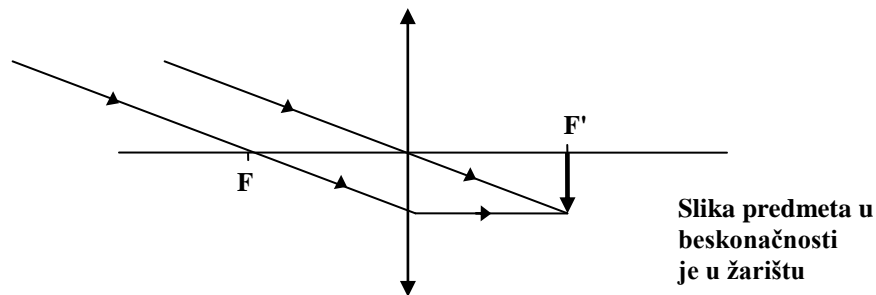
Karakteristične zrake konvergentne leće

Slika predmeta dobivena konvergentnom lećom ovisi o položaju predmeta. Na gornjoj slici vidimo konstrukciju slike predmeta koji se nalazi iza žarišta. Ovako dobivena slika je obrnuta, realna i uvećana. Realna znači da je konstruirana pomoću zraka, a ne njihovih produžetaka te se takva slika predmeta može projicirati na zastor.

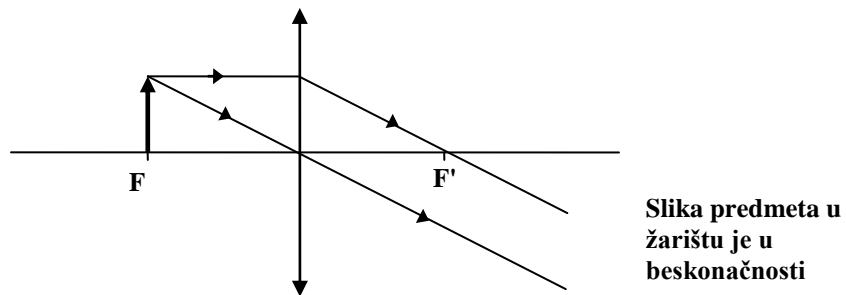
Kada je predmet ispred žarišta tada je slika predmeta uspravna, uvećana i virtualna. Virtualna znači da se ne može projicirati na zastor, ali je možemo vidjeti okom.



Ako je predmet u beskonačnosti slika predmeta se nalazi u žarištu slike i obrnuta je.



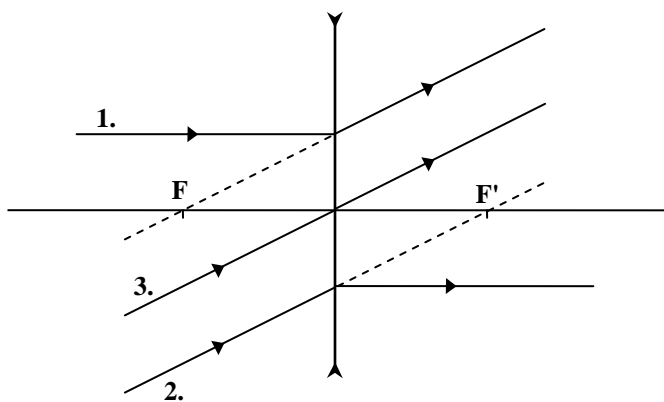
Ako je predmet u žarištu slika se ne može konstruirati i ona se nalazi u beskonačnosti.



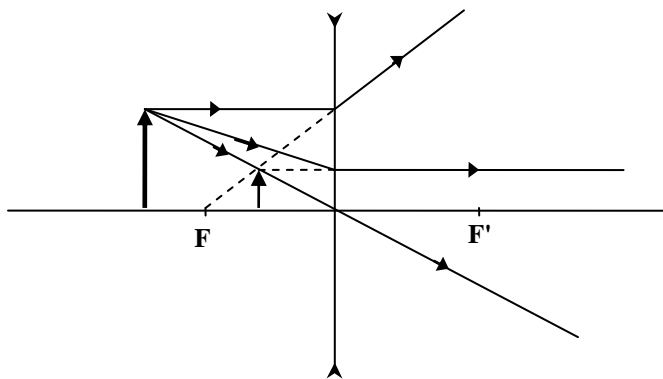
Divergentna leća

Za konstrukciju slike pomoću divergentne leće koristimo tri karakteristične svjetlosne zrake:

1. Svjetlosna zraka koja dolazi na leću paralelno s optičkom osi lomi se tako da njen produžetak prolazi kroz žarište predmeta.
2. Svjetlosna zraka čiji produžetak prolazi kroz žarište slike lomi se usporedno s optičkom osi.
3. Svjetlosna zraka koja prolazi kroz središte leće ne lomi se.



Slika dobivena divergentnom lećom uvijek je umanjena, uspravna i virtualna.



Lom i disperzija svjetlosti

Lom svjetlosti nastaje zbog različite brzine svjetlosti u sredstvima kroz koja svjetlost prolazi. Ako označimo brzinu svjetlosti u vakuumu sa c , a brzinu svjetlosti u nekom sredstvu sa v tada je **apsolutni indeks loma** dan slijedećom formulom:

$$n = \frac{c}{v}$$

n – apsolutni indeks loma

c – brzina svjetlosti u vakuumu

v – brzina svjetlosti u nekom sredstvu.

Relativni indeks n_{21} loma je omjer apsolutnih indeksa loma dvaju prozirnih sredstava:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{v_1}{v_2}$$

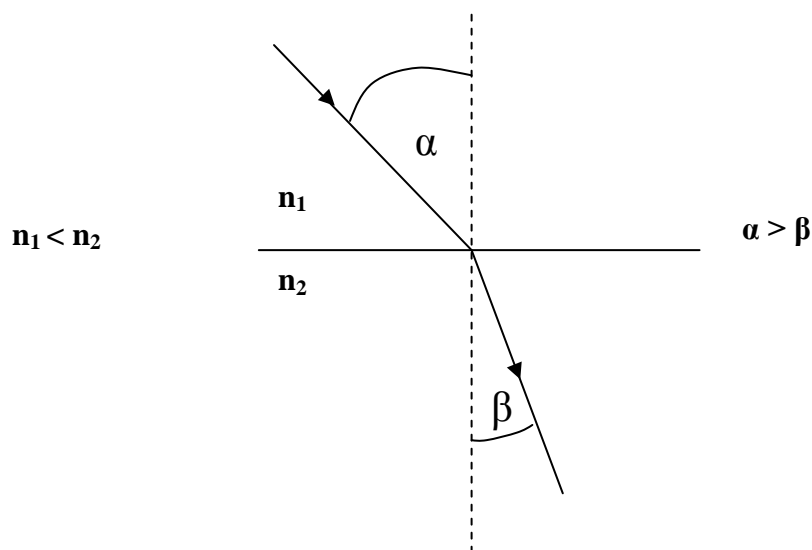
n_1 – apsolutni indeks loma prvog sredstva

n_2 – apsolutni indeks loma drugog sredstva

v_1 – brzina svjetlosti u prvom sredstvu

v_2 – brzina svjetlosti u drugom sredstvu.

Kada svjetlost upada iz optičkog sredstva u kojem je apsolutni indeks loma n_1 manji, u sredstvo u kojem je apsolutni indeks loma n_2 veći, zraka svjetlosti se lomi prema okomici i obrnuto.



Postoji veza između kuta upada svjetlosne zrake α i kuta loma β . Ona je dana **Snellovim zakonom loma**. On glasi:

Omjer sinusa upadnog kuta α i kuta loma β ima stalnu vrijednost koja je jednaka apsolutnom indeksu loma n_{21} .

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21}$$