

FIZIKA 8

Damir Čović

ELEKTRICITET

Električna struja

Električni naboji koji se usmjerenom kreću čine električnu struju. Električni naboji mogu biti pozitivni i negativni. Elektroni su negativni električni naboji. U vodičima imamo tzv. slobodne elektrone koji podjednako pripadaju svim jezgrama. Atomske jezgre čine jednu "mrežu" koja je uronjena u more slobodnih elektrona. Kad na te slobodne elektrone u nekom vodiču ne djeluje nikakva sila oni se kaotično kreću u svim smjerovima, ali kad ih neka sila pokrene u jednom smjeru nastaje električna struja. Električna struja kroz neki vodič određenog presjeka bit će jača ako u što kraćem vremenu njime prođe što veći broj elektrona. Jakost električne struje (I) je osnovna fizikalna veličina u SI - sustavu.

$$I = \frac{Q}{t} \left[\frac{C}{s} = A \right]$$

I - jakost električne struje u amperima [A]
 Q - količina električnog naboja u kulonima [C]
 t - vrijeme u sekundama [s]

Elektron je najmanje "zrno" elektriciteta i točno je izmjeren naboj (e) jednog elektrona:

$$e = 1,6 * 10^{-19} [C]$$

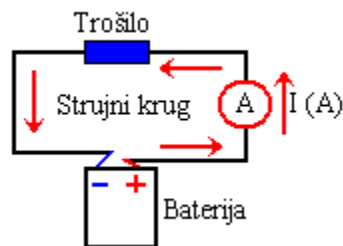
Količina naboja (Q) jednaka je umnošku broja elektrona (N) i naboja elektrona (e):

$$Q = N * e [C]$$

Iz ovih podataka slijedi da u jednom kulonu ima:

$$N = \frac{Q}{e} = \frac{1}{1,6 * 10^{-19}} = 6,25 * 10^{18} \text{ elektrona.}$$

Instrument koji mjeri jakost struje zove se ampermetar. Ampermetar se priključuje serijski s trošilom i izvorom struje (baterija) u zatvoreni strujni krug.



Električni napon

Električni izvor posjeduje električnu energiju bez koje ne bi bilo sile koja svojim djelovanjem omogućuje usmjereno kretanje elektrona u nekom vodiču. Električni izvor opisuje se izvedenom fizikalnom veličinom koja se zove napon (U). Možemo kazati da napon izražava tzv. "radnu sposobnost" izvora električne struje. Energija izvora u strujnom krugu pretvara se na trošilu u neki drugi oblik energije.

$$U = \frac{\Delta E}{Q} \left[\frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V} \right]$$

U - napon u voltima [V]

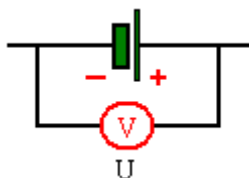
Q - količina naboja u kulonima [C]

ΔE - pretvorena energija u džulima [J]

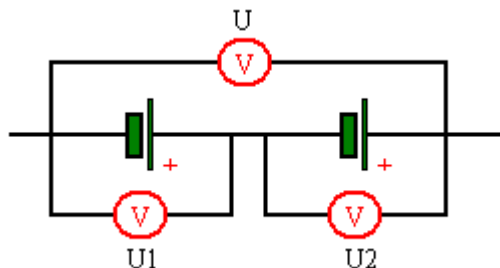
Pretvorena energija (ΔE) jednaka je radu (W). Napon je rad po jedinici naboja.

$$U = \frac{W}{Q} \left[\frac{\text{J}}{\text{C}} = \text{V} \right]$$

Instrument koji mjeri napon zove se voltmetar. Voltmetar se prilikom mjerenja napona priključuje paralelno na izvor.



Baterija je električni izvor istosmjerne struje određenog napona. Ima dvije priključnice plus (+) i minus (-). Te priključnice imaju različitu električnu potencijalnu energiju. Razlika tih električnih potencijalnih energija naziva se napon.

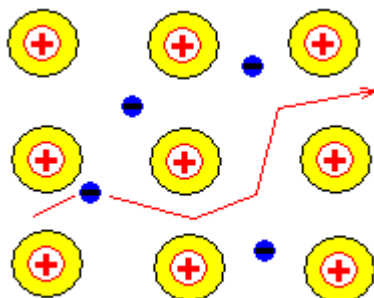


Izvori se mogu spajati serijski, tada je ukupni napon jednak zbroju pojedinih napona:

$$U = U_1 + U_2$$

Omski otpor

Svako trošilo pri sobnoj temperaturi ima neki otpor (R). Otpor vodiča nastaje zbog svojstva materijala da se opire protjecanju struje. Preciznije, slobodni elektroni koji se usmjerenom kreću kroz vodič na svom putu nailaze na atomske jezgre koje titraju i ometaju im prolaz međusobnim sudaranjem. Što je temperatura vodiča viša to će njegov otpor biti veći jer će njegove jezgre jače titrati i više ometati kretanje slobodnim elektronima.



Otpor je specifičan za svaki vodič jer ovisi o materijalu, npr. specifični otpor bakra je manji od specifičnog otpora željeza. Taj specifični otpor (ρ) određen je u laboratoriju i može se naći u tablicama. Otpor vodiča - žice ovisi i o duljini (l) vodiča i o presjeku (S) vodiča. Instrument kojim se mjeri omski otpor zove se ommetar.

$$R = \rho \frac{l}{S} [\Omega]$$

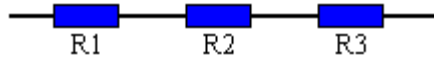
l - duljina žice u metrima [m]

S - presjek žice u četvornim milimetrima [mm^2]

ρ - specifični otpor materijala (za bakar $\rho_{\text{Cu}} = 0,017 \frac{\Omega \text{mm}^2}{\text{m}}$)

Za razliku od vodiča kod poluvodiča (npr. silicij) omski otpor se snižuje s povećanjem temperature jer time dobivamo sve veći broj slobodnih elektrona (pri istom naponu izvora poraste struja). Kod veoma niskih temperatura poluvodiči mogu potpuno izgubiti omski otpor, tada ih zovemo supravodiči. Ovo je moguće objasniti tzv. zonskim modelom poluvodiča u što nećemo ulaziti.

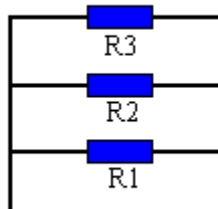
Serijski spoj otpora



Ukupni otpor serijskog spoja otpora :

$$R=R1+R2+R3$$

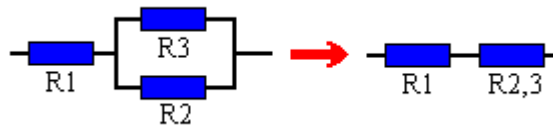
Paralelni spoja otpora



Ukupni otpor paralelnog spoja otpora:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R1} + \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

Kombinirani spoj otpora (serijski + paralelni)

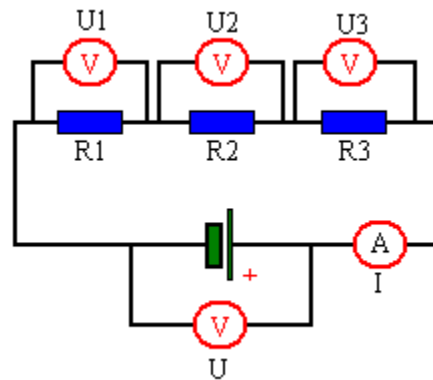


Ukupni otpor R odredi se tako što prvo izračunamo paralelni spoj otpora R2 i R3, pa dobiveni paralelni otpor zbrojimo sa njemu serijski spojenim otporom R1.

$$\frac{1}{R2,3} = \frac{1}{R2} + \frac{1}{R3}$$

$$R=R1+R2,3$$

Serijski spoj omskih otpora i padovi napona

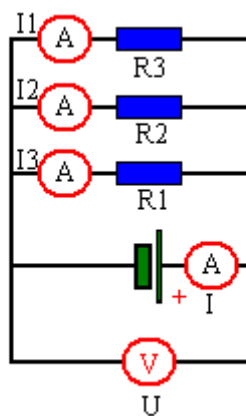


I je jakost struje u strujnom krugu
U je napon izvora
U1, U2, U3 su padovi napona na otporima R1, R2, R3.

$$U=U1+U2+U3$$

Kod serijskog spoja otpora napon na izvoru jednak je zbroju izmjerenih napona na pojedinim otporima. Na pojedinim otporima izmjerimo tzv. padove napona. Pad napona se mjeri tako što se voltmetar priključi paralelno na otpornik kroz koji teče struja. Na pojedinim otporima napon je manji od napona izvora. Kroz sve otpornike teče struja jednake jakosti (I).

Paralelni spoj omskih otpora i grananje struja



Kod paralelnog spoja otpora nema padova napona. Znači da je na svim otporima napon jednak naponu izvora. Struja koju daje izvor grana se na svakom otporniku. Ukupna struja (I) jednaka je zbroju struja u pojedinim granama (I1, I2, I3).

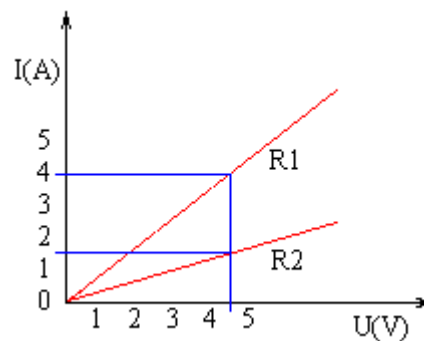
$$I=I1+I2+I3$$

Omov zakon

Omov zakon povezuje jakost struje (I), napon (U) i omski otpor (R):

$$R = \frac{U}{I} \left[\frac{V}{A} = \Omega \right]$$

Ako se temperatura nekog vodiča ne mijenja otpor vodiča ima stalnu vrijednost pa ukoliko povisimo napon dva puta otpor će mu ostati nepromijenjen, ali će mu se zato struja povisiti dva puta. Imamo proporcionalni odnos koji se može prikazati pravcem otpora u tzv. U-I dijagramu (U-I karakteristika nekog vodiča)



Iz U-I dijagrama vidimo da će vodič s manjim otporom (R1) kod istog napona provoditi jaču struju od vodiča s većim otporom (R2). Karakteristika vodiča s većim otporom je položajija. Različiti materijali imaju različite otpore pa su i njihjive U-I karakteristike različite.

Elektroničke elemente smo podijelili u dvije velike skupine:

- I. Pasivni (otpornici, zavojnice i kondenzatori) - vrijedi Omov zakon.
- II. Aktivni (diode, tranzistori i integrirani krugovi) - ne vrijedi Omov zakon

Električni rad

Energija je sposobnost vršenja rada. Električna energija se pretvara na trošilima u druge oblike energije. Ta pretvorba energije jednaka je radu.

Znamo da je $U = \frac{W}{Q} \left[\frac{J}{C} = V \right]$ i $I = \frac{Q}{t} \left[\frac{C}{s} = A \right]$ pa iz toga slijedi:

$$W = UQ = UI t \text{ [J]}$$

U elektrotehnici se umjesto džula (J) može pisati voltampersekunda (VAs), jer vrijedi:

$$1 \text{ J} = 1 \text{ VAs}$$

Kako se radi o maloj vrijednosti energije koristi se kilovoltampersat (KVAh):

$$1 \text{ KVAh} = 3600000 \text{ J}$$

U elektrotoplinskim uređajima električna energija pretvara se u toplinu (Q_t), a toplina je jednaka radu (W), pa možemo napisati Džulov zakon:

$$Q_t = UI t \text{ [J]}$$

Za toplinu znamo da vrijedi: $Q_t = m c \Delta t \text{ [J]}$ gdje je:

m - masa tijela [kg]

c - specifični toplinski kapacitet tijela koji ovisi o materijalu $\left[\frac{J}{kg K} \right]$

Δt - razlika temperature u st. kelvina ili st. celzijusa [K ili °C]

Ukoliko izjednačimo ove izraze dobijemo prirast temperature nekoga tijela koje se zagrijava pretvorbom električne energije u toplinsku energiju.

$$m c \Delta t = UI t \Rightarrow \Delta t = \frac{UI t}{m c} \text{ [K]}$$

Koristeći Ohm zakon možemo izvesti još neke korisne formule za električni rad:

$$W = \frac{U^2}{R} t \quad \text{i} \quad W = RI^2 t$$

Električno brojilo je instrument koji mjeri potrošnju električne energije ili električni

Električna snaga

Jedan od važnih podataka koji se navodi na svim uređajima i strojevima je snaga. Električna snaga kazuje koliko se električne energije pretvori u druge oblike energije u određenom vremenu. Snaga je rad izvršen u jedinici vremena pa možemo napisati:

$$P = \frac{W}{t} \left[\frac{J}{s} = W \right]$$

$$P = \frac{U I t}{t} \left[\frac{V A s}{s} = W \right]$$

Dobijemo da je električna snaga jednaka umnošku napona i struje.

$$P = UI \left[VA = W \right]$$

Koristeći Ohmov zakon dobijemo:

$$P = \frac{U^2}{R}$$

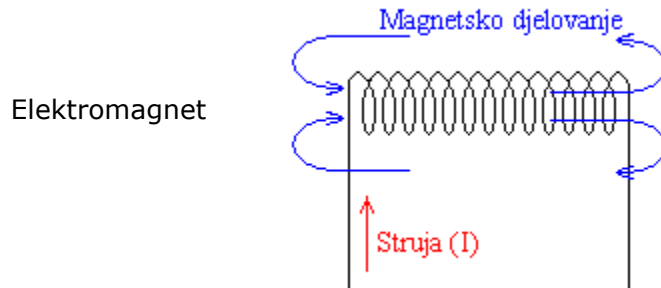
i

$$P = RI^2$$

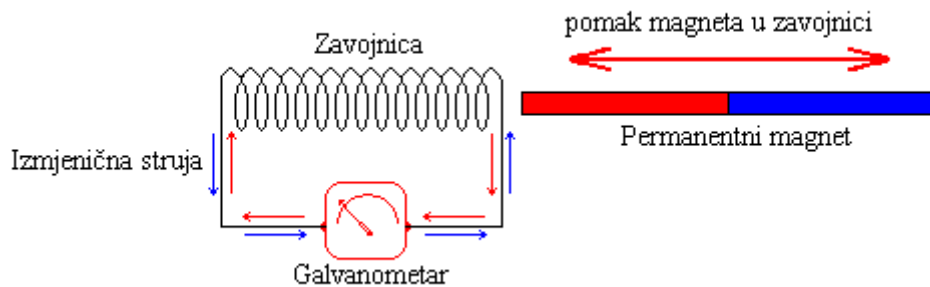
U elektronici kad govorimo otpornicima, uvodi se pojam disipacije, jer dolazi do zagrijavanja otpornika za vrijeme njihovog rada. To zagrijavanje je ovdje štetna i neželjena pojava (znamo da se i sam otpor time mjenja). Zbog disipacije otpornici imaju različite veličine, a time i mase, uz jednak omski otpor. Time je izbjegnuto njihovo preveliko zagrijavanje i moguće pregaranje otpornika prilikom dugotrajnog rada. Otpornik veće snage je zato veći od otpornika manje snage kako bi se manje zagrijavao pri protjecanju jače struje ili višem naponu.

Elektromagnetska indukcija

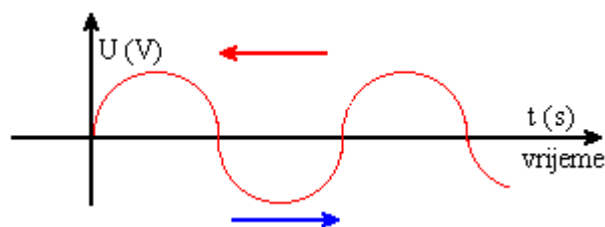
Povezanost električnih i magnetskih pojava je jedno od najvažnijih otkrića u povijesti elektriciteta. Kad kroz zavojnicu teče električna struja ona postaje elektromagnet.



Kao što magnetsko djelovanje zavojnice nastaje kao posljedica protjecanja struje kroz nju, tako je moguće i obratno djelovanje. Pomicanjem permanentnog magneta kroz zavojnicu u njoj možemo inducirati (pobuditi) električnu struju. Što je magnetsko djelovanje jače to je i inducirana struja jača.



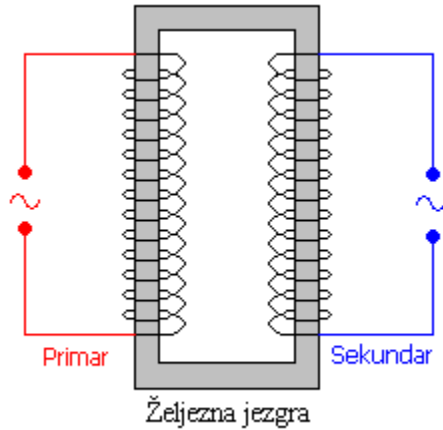
Galvanometar je osjetljivi ampermetar koji mjeri i najslabiju struju. Kad pomičemo magnet kroz zavojnicu u njoj se inducira struja koja pomiče kazaljku galvanometra. Pomak magneta u jednom smjeru pomiče elektrone u žici u jednom smjeru, dok pomak magneta u drugom smjeru pokreće elektrone u suprotnom smjeru. Izmjeničnim pomacima magneta stvaramo izmjeničnu struju. Struja stalno mijenja svoj smjer u ovisnosti od promjena smjera magneta. Broj promjena smjera u jednoj sekundi naziva se frekvencija (f) i mjeri se u hercima (Hz). Gradska mreža koristi izmjeničnu struju proizvedenu u generatoru i njena frekvencije iznosi 50 Hz, znači da u jednoj sekundi elektroni promjene svoj smjer 100 puta. Napon gradske mreže iznosi 220 V.



Prikaz izmjenične struje ima oblik vala. Brijeg vala ima suprotan smjer od dola vala.

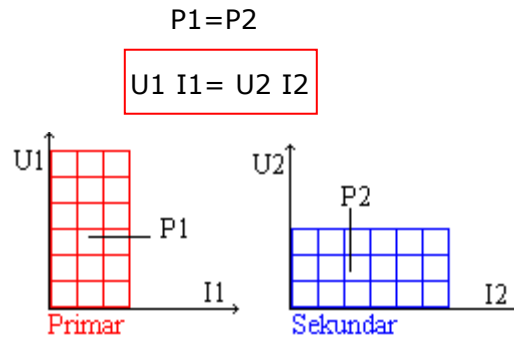
Transformator

Transformator je električni stroj koji povisuje odnosno snizuje napon izmjenične struje na principu elektromagnetske indukcije. Frekvencija izmjeničnog napona i struje ostaje nepromjenjena. Transformator se sastoji iz željeznog jezgra i dvije zavojnice koje se zovu primarna i sekundarna zavojnica. Primarna zavojnica spaja se na mrežu, a sekundarna na trošilo.



Na primaru se električna energija pretvara u drugi oblik - magnetsku energiju. magnetska energija se prenosi preko željezne jezgre do sekundara. Na sekundaru se magnetska energija ponovno pretvara u električnu energiju. U idealnom slučaju električna energija na primaru jednaka je električnoj energiji na sekundaru ($W_1=W_2$) ili snaga na primaru jednaka je snazi na sekundaru ($P_1=P_2$)

Snaga primara (P_1) predstavljena površinom jednaka je površini snage sekundara (P_2)



Za transformator vrijede ovi transformatorski odnosi:

$$\left. \begin{aligned} \frac{U_1}{U_2} &= \frac{I_2}{I_1} \\ \frac{U_1}{U_2} &= \frac{N_1}{N_2} \end{aligned} \right\} \frac{I_2}{I_1} = \frac{N_1}{N_2}$$

U_1 i I_1 su napon i struja primara

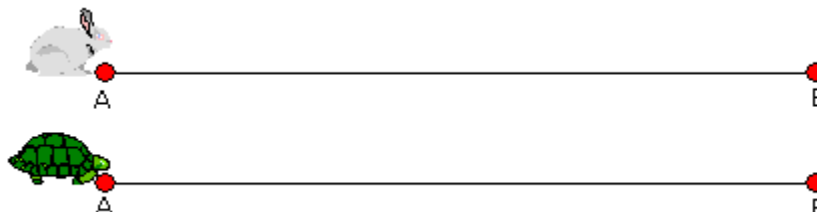
U_2 i I_2 su napon i struja sekundara

N_1 i N_2 su broj zavoja primarne i sekundarne zavojnice.

GIBANJE

Jednoliko gibanje

Zamislamo da se dva tijela (zec i kornjača) gibaju iz točke A u točku B. Ako oba tijela krenu istovremeno u točku B prvo će stići zec. Zašto?



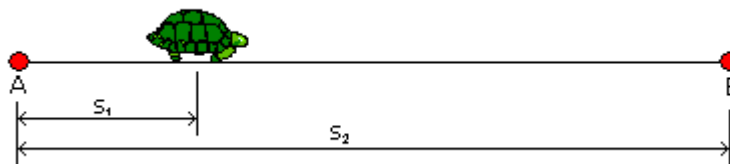
Zec se kreće većom brzinom nego kornjača. Oni se kreću nekom prosječnom ili srednjom brzinom iako u pojedinom trenutku između točke A i B ta tijela idu malo brže pa malo sporije. Srednja brzina zeca ili kornjače ovisi o ukupnom prijeđenom putu i o ukupnom vremenu koje je za to potrebno. Srednja brzina je omjer puta i vremena.

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right]$$

\bar{v} - srednja brzina tijela u ms^{-1}

Δs - prijeđeni put u m

Δt - proteklo vrijeme u s



Iz slike je vidljivo da kornjača treba još prijeći put od $\Delta s = s_2 - s_1$ i da za to treba neko vrijeme od $\Delta t = t_2 - t_1$.

$$\bar{v} = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{s_2 - s_1}{t_2 - t_1}$$

Neka je tijelo u početnoj točki A i ako je u trenutku $t_1=0$ s krenulo, u tom početnom trenutku prijeđeni put $s_1=0$ m. Kad uvrstimo te početne uvjete u formulu za srednju brzinu i dobijemo:

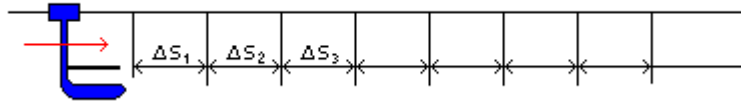
$$\bar{v} = \frac{s_2 - 0}{t_2 - 0} = \frac{s_2}{t_2}$$

Ako isпустimo indekse (broj 2) i znak za srednju vrijednost brzine (crtica iznad v) dobijemo prepoznatljivu formulu za brzinu jednolikog gibanja tijela koje je krenulo na put iz stanja mirovanja:

$$v = \frac{s}{t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{ms}^{-1} \right]$$

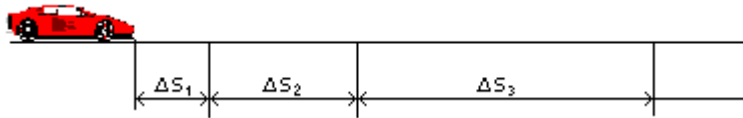
Jednoliko ubrzano gibanje

Kada se vozimo na žičari gibamo se jednoliko stalnom brzinom. U jednakim vremenskim intervalima prijeđemo uvijek jednake putove.



$$\Delta S_1 = \Delta S_2 = \Delta S_3 = \Delta S_4 = \dots \text{za uvijek jednaki } \Delta t$$

Kada sjednemo u automobil i krenemo gibamo se jednoliko ubrzano. U jednakim vremenskim intervalima prelazimo različite putove.



$$\Delta S_1 < \Delta S_2 < \Delta S_3 < \Delta S_4 < \dots \text{za uvijek jednaki } \Delta t$$

Brzina automobila postaje sve veća i veća dok se ne počne gibati jednoliko s nekom stalnom brzinom. Ako sa Δv označimo prirast brzine, a sa Δt pripadajući vremenski interval možemo izračunati koliko ubrzanje ima automobil. Ubrzanje ili akceleracija je fizikalna veličina koja se označava s malim slovom a .

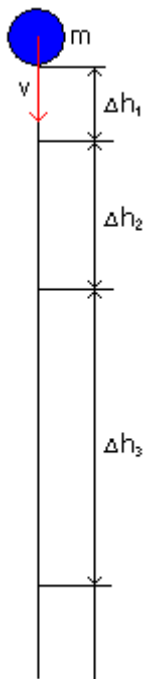
$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

Ako automobil krene jednoliko ubrzano iz stanja mirovanja možemo staviti da je za $t_1 = 0$ i brzina $v_1 = 0$. Zanemarimo indekse (broj 2) i dobijemo prepoznatljivu formulu za ubrzanje ili akceleraciju:

$$a = \frac{v}{t} \left[\frac{\frac{m}{s}}{s} = \frac{m}{s^2} = ms^{-2} \right]$$

Kada tijelo jednoliko usporava kažemo da ima negativnu akceleraciju - retardaciju.

Slobodan pad



Problemom slobodnog pada znanstveno se je bavio još Galileo Galilej (1564-1642).

Slobodan pad je poseban slučaj jednolikog ubrzanog gibanja. Kada neko tijelo određene mase pustimo da pada s neke visine h ono zbog djelovanja stalne privlačne sile Zemlje povećava svoju brzinu, giba se jednoliko ubrzano. Δt je jednak za svaki Δs .

Ubrzanje koje nastaje usljed privlačne sile Zemlje zove se gravitacija i označava se s malim slovom g . Za Zemlju

gravitacija $g=9,81 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$, ili približno $10 \left[\frac{\text{N}}{\text{m}} \right]$. Ovo je poznato iz formule za težinu $G = m g$ koja se je učila kada se je govorilo o sili. Sada se uvodi za g "nova" mjerna jedinica ms^{-2} .

Brzina koju ima tijelo pri slobodnom padu: $v = g t \left[\text{ms}^{-1} \right]$

Jednako vrijedi i za brzinu v koju ima tijelo koje se giba jednoliko ubrzano po ravnoj podlozi s određenom akceleracijom a : $v = a t \left[\text{ms}^{-1} \right]$

Visinu h s koje tijelo pada iz stanja mirovanja možemo odrediti mjereći vrijeme t slobodnog pada:

$$h = \frac{g}{2} t^2 [\text{m}]$$

Koristeći ovu formulu na isti način možemo odrediti i put s koji prijeđe neko tijelo koje se giba s nekom akceleracijom a :

$$s = \frac{a}{2} t^2 [\text{m}]$$

Korisno je znati i formulu za vrijeme slobodnog pada koja se izvede iz prethodnih:

$$t = \sqrt{\frac{2h}{g}} [\text{s}]$$

Temeljni zakon gibanja

Isaac Newton je još u 18 stoljeću postavio temeljni zakon gibanja. Povezao je silu F s akceleracijom a i masom m .

$$F = m a \text{ [N]}$$

$$G = m g \text{ [N]}$$

Podsjetimo se snage P [W] i povežimo je s brzinom kod jednolikog gibanja:

$$P = \frac{W}{t} = \frac{F s}{t} = F \frac{s}{t} = F v$$

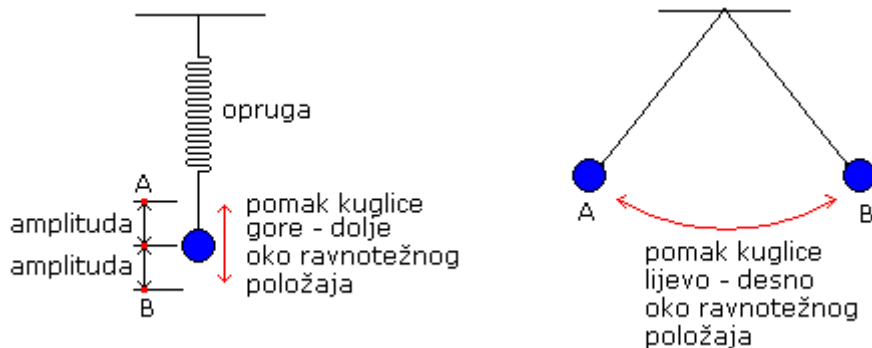
$$P = F v \text{ [W]}$$

VALOVI

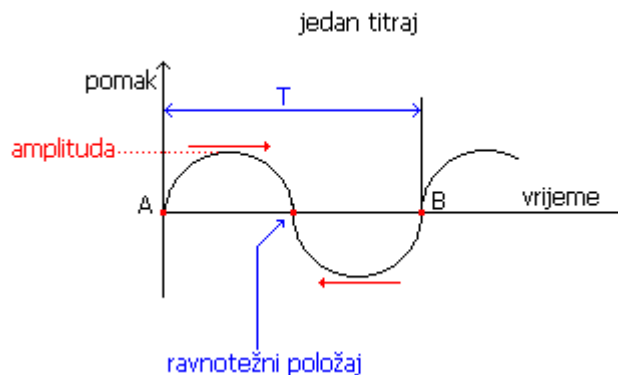
Postanak i vrste valova

Česticu koja titra zovemo izvorom vala. Titranje jedne čestice u nekom sredstvu prenosi se na druge čestice, nastaje val. Val je širenje titraja kroz neko sredstvo. Val prenosi energiju s jednog mjesta na drugo. Val putuje, ali čestice ne putuju, one samo titraju oko svojeg ravnotežnog položaja.

Primjer titranja čestice su opruga i njihalo:



Najveća udaljenost kuglice koja titra od ravnotežnog položaja zove se amplituda. Kad čestica dođe iz točke A u točku B i ponovno se vrati iz točke B u točku A ona je napravila jedan titraj. Vrijeme potrebno da se napravi jedan titraj zove se period titranja i označava se s velikim slovom T , a mjeri se u sekundama s .



Frekvencija titraja f je omjer broja titraja n i vremena t . Mjerna jedinica za frekvenciju je $\text{Hz} = \text{s}^{-1}$ (herc).

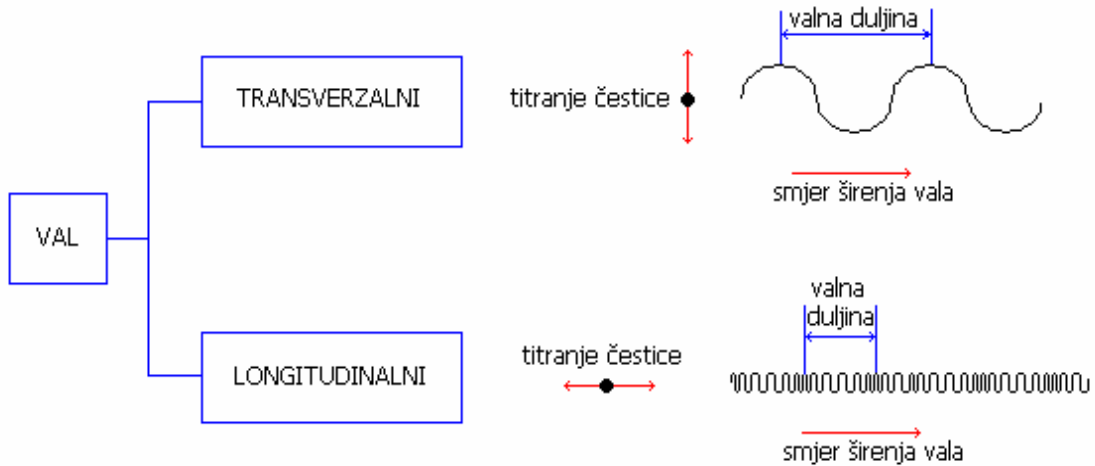
$$f = \frac{n}{t} \left[\frac{1}{s} = \text{s}^{-1} = \text{Hz} \right]$$

Za $n=1$ (jedan titraj) dobijemo:

$$f = \frac{1}{T} [\text{Hz}]$$

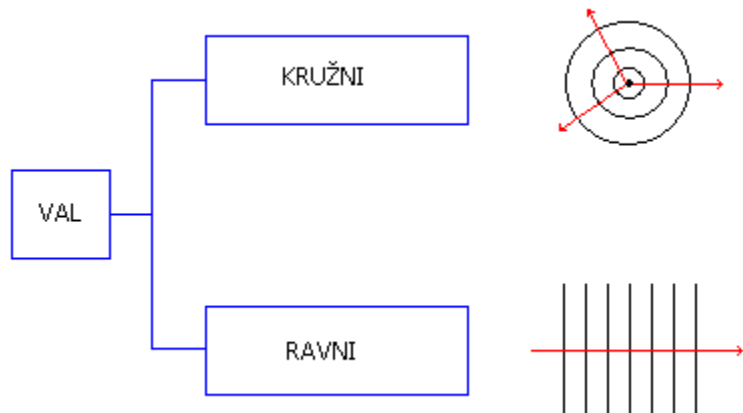


$$T = \frac{1}{f} [s]$$



Kod transverznog vala čestice titraju okomito na smjer širenja vala, a kod longitudinalnog vala čestice titraju u smjeru širenja vala.

Valnu duljinu označujemo s grčkim slovom λ (lambda) i mjeri se u metrima m. Valna duljina je udaljenost koju prijeđe val za vrijeme jednog perioda T. Iz slike se vidi da je to kod transverznog vala udaljenost između dva brijega (dola) ili kod longitudinalnog vala udaljenost između dva "zgušnjavanja" ("razrjeđivanja").



Strelica predstavlja valnu zraku koja pokazuje smjer širenja vala. Prvi val koji se širi kružno u svim smjerovima ili ravno u jednom smjeru zove se valna fronta. Smjer širenja vala je okomit na valnu frontu.

Valove na vodi vidimo i oni spadaju u transverzalne valove. Postoje i valovi koje ne vidimo, ali ih čujemo, to su zvučni valovi i oni spadaju u longitudinalne valove.

Brzina vala

Valovi se gibaju jednolikom brzinom.

Brzina jednolikog gibanja računa se po formuli $v = \frac{s}{t} \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} = \text{ms}^{-1} \right]$.

Ako uzmemo da je put $s = \lambda$ i da je vrijeme $t = T$ dobijemo za brzinu vala $v = \frac{\lambda}{T}$.

Uvrstimo li još $f = \frac{1}{T}$ dobijemo prepoznatljivi izraz za brzinu vala:

$$v = \lambda f \left[\text{ms}^{-1} \right]$$

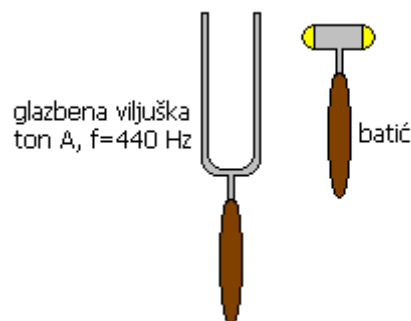
Zvuk

Zvuk je longitudinalni val s frekvencijom od 20 Hz do 20000 Hz. Izvor zvuka je neko tijelo koje titra. Valovi zvuka prenose energiju zrakom, vodom i čvrstim tijelom različitom brzinom. Brzina zvuka u zraku kod 0 °C iznosi 330 ms⁻¹, a kod 15 °C iznosi 340 ms⁻¹. U vodi je brzina zvuka oko 1500 ms⁻¹. U željezu iznosi oko 5000 ms⁻¹. Točnije podatke možemo naći u tablicama.

Titranje žica proizvodi zvuk. Zvuk nastaje u grlu čovjeka titranjem glasnica. Ljudsko uho ima opnu koja prima te zvučne valove. Uho je jedna vrsta antene pomoću koje čujemo. Postoje zvučne frekvencije koje čovjek ne čuje, ali neke životinje te frekvencije čuju:

- $f < 20$ Hz (infrazvuk) - osjete ga ptice, gmazovi... predznaci potresa?
- $f > 20000$ Hz (ultrazvuk) - osjete ga psi, šišmiši...

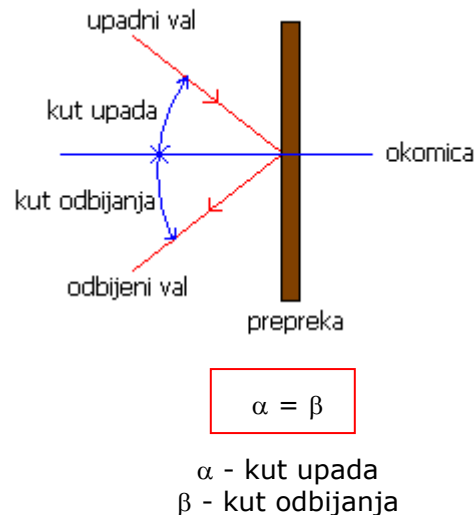
Razlikujemo šum i ton. Šum nastaje nepravilnim titranjem nekog tijela, šuškanjem papira, padom vode i slično. Ton nastaje pravilnim titranjem nekog tijela, to je zvuk stalne frekvencije. Ton stalne frekvencije proizvodi glazbena viljuška.



Osim što naše uho reagira na različite frekvencije ono reagira i na jačinu zvuka (glasnoća). Jačina zvuka mjeri se u decibelima (db). Prejak zvuk od npr. 100 db može trajno oštetiti uho. Dugotrajno izlaganje jakom zvuku (buka) djeluje na živce.

Odbijanje valova

Valovi se na preprekama odbijaju tako da je kut upada jednak kutu odbijanja. Frekvencija, valna duljina i brzina odbijenog vala se ne mijenja.

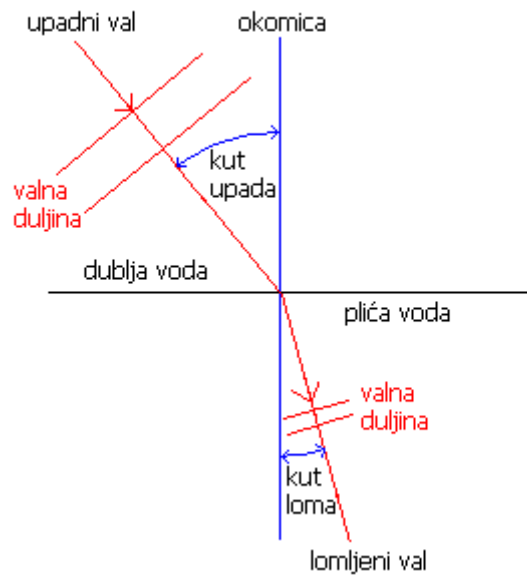


Lom valova

Valovi se lome kad prelaze iz jednog sredstva u drugo sredstvo. Valovi na vodi lome se kad prelaze iz dublje vode u pliću i obratno jer dvije različite dubine vode predstavljaju dva različita sredstva. Kad val ide iz dublje u pliću vodu ili obratno mijenja mu se brzina i valna duljina dok mu frekvencija ostaje nepromijenjena



Pogled na površinu vode kad val prelazi iz dublje u pliću vodu prikazuje lom vala.



α - kut upada, kut pod kojim val dolazi iz dubine
 β - kut loma, kut pod kojim se val lomi u plićaku

v_α - brzina vala u dubljoj vodi
 v_β - brzina vala u pločoj vodi

$$\frac{\alpha}{\beta} \approx \frac{v_\alpha}{v_\beta}$$

omjer brzina približni je jednak odnosu kutova

SVJETLOST

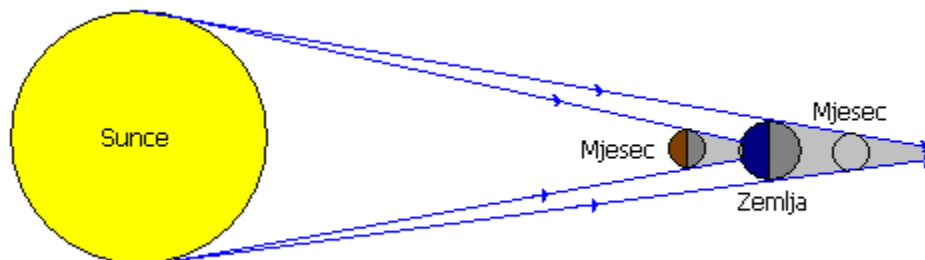
Svjetlost, sjena, pomrčina

Svjetlost je jedan oblik energije.



Točkasti izvor svjetlosti je neki izvor svjetlosti koji je jako malen u odnosu na udaljenost s koje se promatra. Npr. zvijezde i sl. .

Zraka svjetlosti je uzak snop svjetlosti. Zrake svjetlosti se šire pravocrtno. To je jedno od svojstava svjetlosti. Zbog pravocrtnog širenja svjetlosti tijela u prostoru nisu jednako osvijetljena sa svih strana. Zbog pravocrtnog širenja svjetlosti neprozirna tijela imaju sjenu. Zbog sjena nastaju pomrčine Sunca i pomrčina Mjeseca.



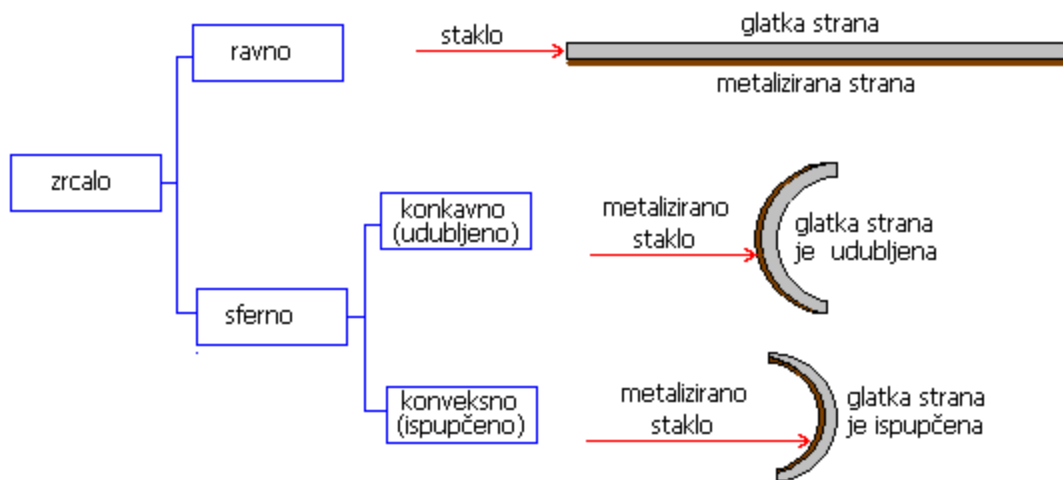
Pomrčina Sunca nastaje kada se Mjesec nađe između Sunca i Zemlje jer tada Mjesec baca svoju sjenu na površinu Zemlje.

Pomrčina Mjeseca nastaje kada se Zemlja nađe između Sunca i Mjeseca jer tada Zemlja baca svoju sjenu na površinu Mjeseca.

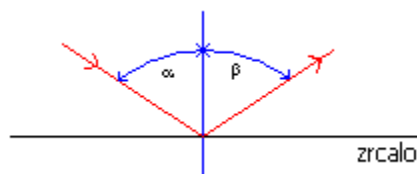
Naročito su zanimljive potpune pomrčine Sunca i Mjeseca. U prošlosti su se često predviđale i neznanstveno povezivale s raznim mogućim katastrofama, kao i danas.

Zrcalo

Zrcalo je svaka uglačana površina od koje se odbija svjetlost, npr. to može biti izglačana površina metala, ali i mirna površina vode. Zrcala nastaju tako da se na jednu stranu staklene površine nanese tanak sloj metala (metaliziranje) koji se potom oboji kako bi se zaštitio od oštećenja. Ogdledamo se na glatkoj strani zrcala.



Zakon odbijanja ili refleksije svjetlosti



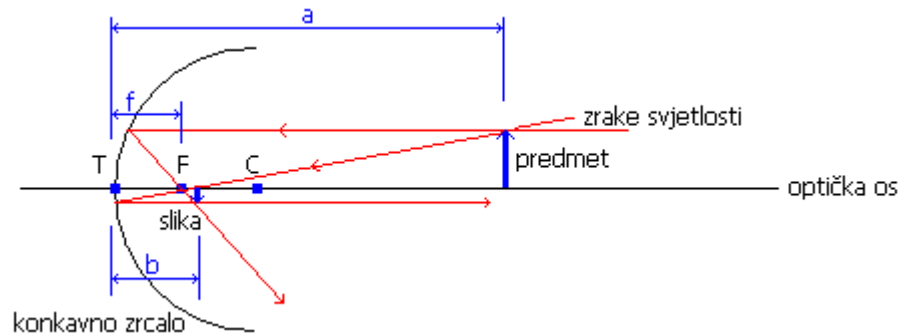
$$\alpha = \beta$$

kut upada zrake svjetlosti α jednak je kutu odbijanja β

Gledajući se u ravnom zrcalu sa neke udaljenosti vidimo svoje lice na drugoj strani "unutar" zrcala na jednakoj udaljenosti. Lijeva strana lica vidi se kao desna, a desna kao lijeva. Zanimljivo je čitati tekst u zrcalu. Slavni Leonardo pisao je tako da se je to moglo pročitati samo pomoću zrcala, zašto? Slika unutar zrcala je prividna, uspravna i jednaka predmetu ispred zrcala.

Pokus

Uzmemo konveksno zrcalo (može i običnu žlicu), pogledamo u njega i vidimo svoju sliku obrenutu i umanjenu. Na ravnom zrcalu slika je "normalna", a zašto na ovom zrcalu nije?



Točke na optičkoj osi: T - tjeme zrcala
C - centar zrcala (radijus sfere - kugle)
F - fokus ili žarište zrcala

Udaljenost od T do F ili od C do F zove se fokalna (f) ili žarišna udaljenost i ona je jednaka polovici radijusa sfere (r):

$$f = \frac{r}{2}$$

Vidimo da jedna zraka svjetlosti ide preko vrha predmeta kroz fokus do zrcala i odbija se od zrcala paralelno s optičkom osi. Druga zraka svjetlosti ide preko vrha predmeta paralelno s optičkom osi do zrcala i odbija se kroz fokus. U sjecištu zraka dobijemo vrh slike našeg predmeta. Slika je ispod optičke osi pa je obrnuta i umanjena u što smo se uvjerali gledajući svoj lik u "žlici".

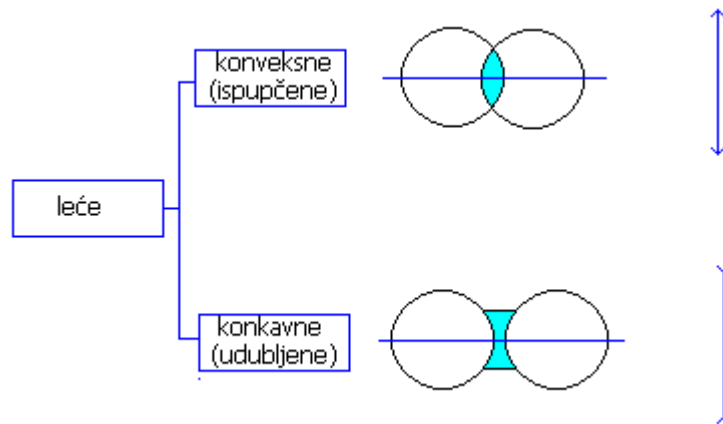
Važno je zapaziti da se predmet nalazi izvan centra zrcala i ta udaljenost predmeta od tjemena se označava s malim slovom a. Udaljenost slike od tjemena se označava s malim slovom b. Ukoliko se sve crta u mjerilu možemo neke tražene vrijednosti izmjeriti. Pomoću jednadžbe sfernog zrcala neke podatke možemo i izračunati:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f}$$

Udaljenost a i b i fokalnu udaljenost f obično zadajemo u cm.

Leće

Leća je prozirno tijelo koje lomi svjetlost, sastoji se od dvije plohe od kojih je barem jedna zakrivljena.



Ispupčene leće skupljaju svjetlost (zovu se još i sabirne leće) dok udubljene leće šire svjetlost (zovu se još i rastresne leće).

Svjetlost se lomi kad prelazi iz jednog optičkog sredstva u drugo optičko sredstvo. Kod prijelaza iz rjeđeg u gušće optičko sredstvo svjetlost se lomi ka okomici pa je kut loma β manji od kuta upada α . Vrijedi i obratno.



Za svjetlost vrijedi sve što vrijedi za valove na vodi. Lom je posljedica promjene brzine svjetlosti u drugom sredstvu, pri prijelazu iz optički rjeđeg sredstva u optički gušće sredstvo brzina svjetlosti se smanji, smanji joj se i valna duljina dok joj frekvencija ostaje nepromjenjena.

Zakon loma:

$$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{v_{\alpha}}{v_{\beta}}$$

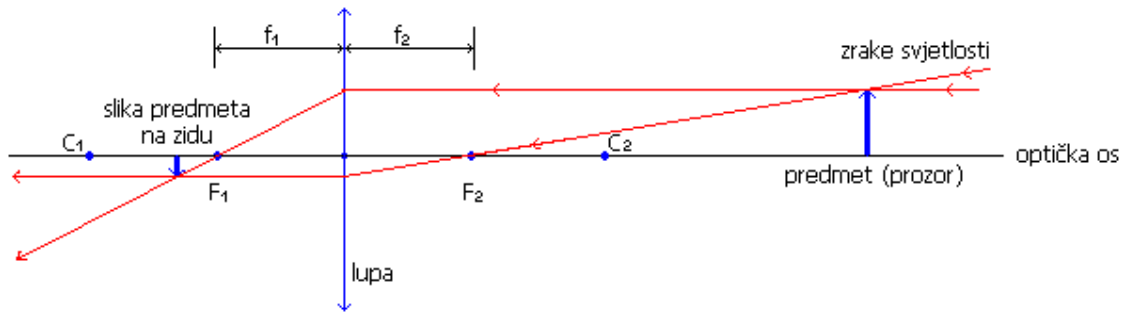


Omjer $\frac{v_\alpha}{v_\beta} = n$ zove se indeks loma svjetlosti i možemo ga naći u tablicama.

Za prijelaz svjetlosti iz zraka u vodu $n=1,33$,
 Za prijelaz svjetlosti iz zraka u staklo $n=1,53$.

Pokus

Uzmemo lupu i na određenoj udaljenosti od zida nasuprot prozora ulovimo na na zidu sliku prozora učionice. Slika je obrnuta i umanjena. Zašto?



Sliku smo uhvatili na zidu pa znači da je realna. Pored toga ta slika je obrnuta i umanjena. Primjetimo da nastaje u sjecištu dviju zraka.

Lupa je konveksna (ispupčena) leća, često se zove povećalo. Budući da lupa ima dvije zaobljene površine nastala je kao presjek dviju kugli (sfera) pa znači da ima dva centra i dva fokusa za razliku od sfernog zrcala. Fokalna duljina $f = \frac{r}{2}$, gdje je r radijus ili plumjer sfere. Svaka leća pa tako i lupa ima svoju jakost j koja se mjeri u dioptrijama dp .

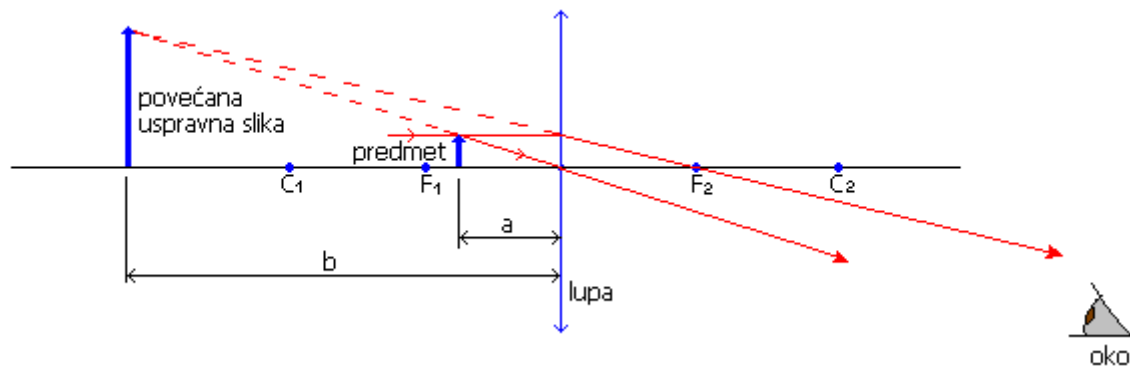
Jakost leće

$$j = \frac{1}{f} \left[\frac{1}{m} = m^{-1} = dp \right].$$

Često kažemo da je neka dioptrija minus ili plus, minus (-) dioptrija se odnosi na ispupčene leće, a plus (+) dioptrija se odnosi na udubljene leće. Minus leće služe za korekciju vida kod kratkovidnog oka dok plus leće služe za korekciju vida kod dalekovidnog oka.

Pokus

Pogled kroz lupu daje uvećanu sliku. Zašto?



Vidimo da se predmet koji promatramo nalazi između leće i fokusa, unutar žarišne duljine leće. Zrake se sijeku tako da daju prividnu, uvećanu i uspravnu sliku predmeta koju vidimo okom.

Ako udaljenost predmeta od leće označavamo s malim slovom a , a udaljenost slike od od leće s malim slovom b , možemo napisati jednadžbu leće:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = \frac{1}{f} = j$$



Lupa

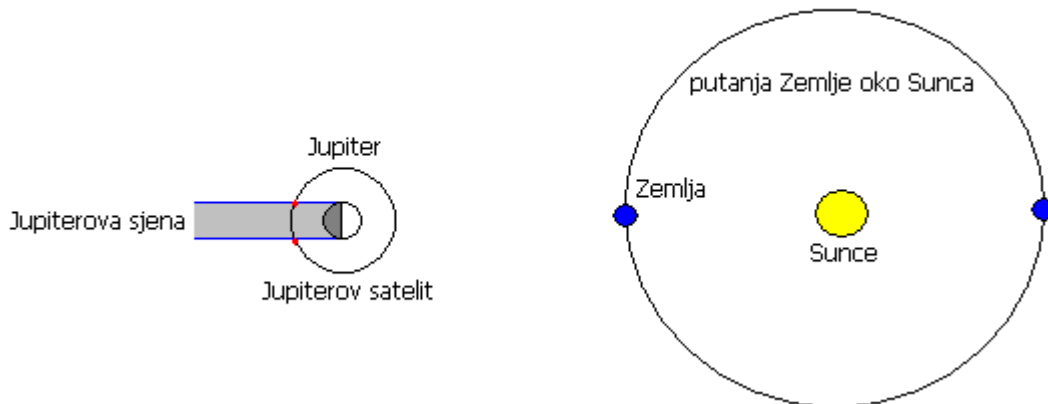
Brzina svjetlosti

Brzina svjetlosti označava se s malim slovom c . To je najveća moguća brzina u Svemiru. U zraku iznosi približno 300000 kms^{-1} ($c=3 \cdot 10^8 \text{ ms}^{-1}$). Brzina svjetlosti u optički gušćim sredstvima kao što su voda i staklo je manja od one u zraku:

- I. u vodi je brzina svjetlosti oko 230000 kms^{-1}
- II. u staklu je brzina svjetlosti oko 200000 kms^{-1} .

Bilo je pokušaja da se dokaže kako je brzina svjetlosti beskonačna.

Zanimljiv je način na koji je danski astronom Olaf Römer (1644-1710) odredio brzinu svjetlosti. Römer je mjerio vrijeme koje Jupiterov satelit provede u sjeni Jupitera za dva položaja Zemlje u odnosu na putanju oko Sunca. Mjerio je vrijeme u trenutku kad je Zemlja najbliža Jupiteru i nakon 6 mjeseci kad je Zemlja najdalje od Jupitera. Dobio je razliku od 22 minute. Zaključio je da je ta razlika nastala zbog toga što je u daljem položaju Zemlje od Jupitera svjetlost prelazila veći put koji je jednak promjeru Zemljine putanje koja je tada već bila približno procjenjena. Römer je podijelio promjer putanje Zemlje sa 22 minute i dobio približnu vrijednost za brzinu svjetlosti.



Pored ove astronomske metode određivanja brzine svjetlosti danas su razvijene i razne metode mjerenja brzine svjetlosti na znatno manjim udaljenostima u laboratorijskim uvjetima.

Svjetlost je dvojne prirode, što znači da je svjetlost istovremeno i val i roj čestica. A. Einstein je dokazao ovu tvrdnju i za to je dobio Nobelovu nagradu. Kada je to prvi

put iznio u javnosti izazvao je podsmijeh "ozbiljnih" znanstvenika. Sama građa te dvojne čestice svjetlosti koja se zove foton nije ni danas objašnjena.

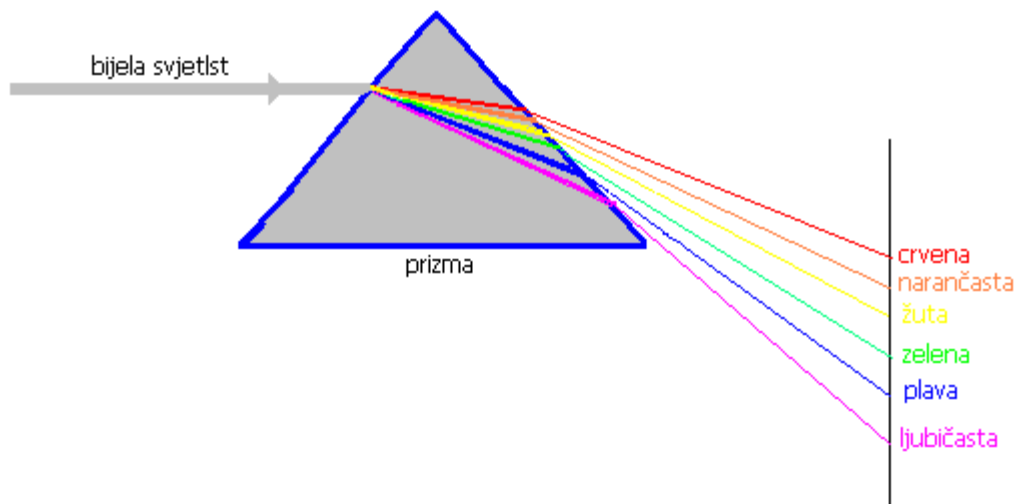
Duga, elektromagnetski valovi

Do sada smo govorili o svjetlosti kao o valu određene brzine, valne duljine i frekvencije. Svjetlost kojom nas obasjava Sunce ili žarulja naziva se bijela svjetlost i sastavljena je od svjetlosti različitih valnih duljina i frekvencija, ali jednakih brzina. Za bijelu svjetlost kažemo da je sastavljena od različitih svjetlosnih boja koje se pomješane stapaju u jednu tzv. bijelu boju. Da je to tako vidimo pomoću rasapa svjetlosti na kapljicama vode jer tada nastaje duga. Dugin spektar boja čine: **crvena**, **narančasta**, **žuta**, **zelena**, **plava**, i **ljubičasta** boja.

Svaka boja ima svoju valnu duljinu i svoju frekvenciju, a brzina u zraku im je jednaka (vrijedi $c=\lambda f$).

Pokus

Trebamo se uvjeriti u činjenicu da je naša bijela svjetlosna zraka sastavljena od jednobojnih zraka svjetlosti različitih boja propuštajući bijelu zraku svjetlosti kroz prizmu.



Uočimo da se svaka boja, val određene valne duljine lomi različito na prizmi. Lomi se zbog toga što se brzine svjetlosti smanje u optički gušćem sredstvu. Crvena svjetlost se najmanje lomi, a ljubičasta najviše. Očito su brzine u prizmi za svaku boju različite, različite su im i valne duljine, ali frekvencije su im jednake. Frekvencija svake pojedine boje se ne mijenjaju kao što se ne mijenja frekvencija vala na vodi koji nailazi iz dublje u pliću vodu.

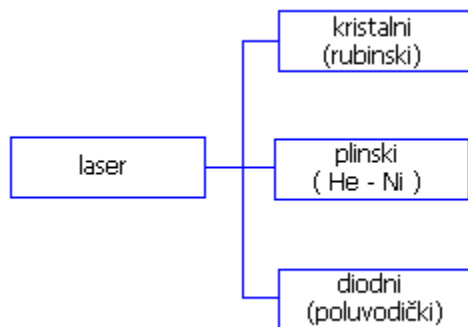
Bitno je reći za svjetlost da je to elektromagnetski val koji prenosi energiju s jednog mjesta na drugo. Običan val treba imati neko sredstvo pomoću kojega se energija prenosi, zrak, voda i slično, dok elektromagnetskom valu nije potrebno nikakvo sredstvo, on se širi i u vakumu kroz Svemir u prostoru bez zraka. Osim svjetlosti kroz vakum se šire i radiovalovi jer i radiovalovi spadaju u elektromagnetske valove.

Laser

Prvi je laser napravljen 1960. Laser je izvor svjetlosti koji daje svjetlosnu zraku jedne valne duljine i frekvencije (zato su laserske zrake jednobojne). Princip rada lasera objasnio je A. Einstein 40 godina prije njegovog nastanka.

Naziv LASER nastao je kao kratica od riječi:

Light	-	pojačanje
Amplificatio by	-	svjetla sa
Stimulated	-	stimuliranom
Emission of	-	emisijom
Radiation	-	radijacije



Kad govorimo o laseru moramo se dotaknuti i optičkih kablova (svjetlovoda) koji se danas koriste umjesto bakrenih žica u telefoniji (Internet komunikacija). Gubici prilikom prijenosa svjetlosti na velike udaljenosti pritom su zanemarivi. Na jednoj strani kabla svjetlost se modulira, a na drugoj se demodulira - pomoću fotodioda svjetlost se pretvara u električni signal. Kod optičkih kablova obično se koriste valne duljine lasera od 10 μm pa ja lalo odrediti frekvenciju laserske zrake u vakumu:

$$f = \frac{c}{\lambda} = \frac{3 \cdot 10^8}{10 \cdot 10^{-6}} = 3 \cdot 10^4 [\text{GHz}]$$

Ovo su nevidljive zrake za ljudsko oko i zalaze u infracrveno područje svjetlosti, kao kod daljinskog za TV.

