

Sastavili: grupa autora

Uredio: I. Horvat

Tehnički urednik: Z. Novak

Izdavač: Omega press

ISBN: 978-953-202-104-2

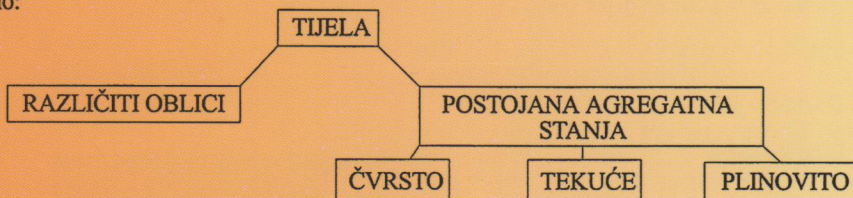


9 789532 021042

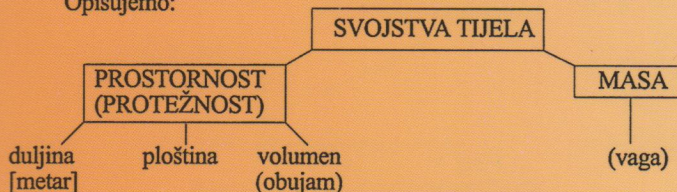
1. TVARI I TIJELA

1.1. OSNOVNI POJMOVI

Opažamo:



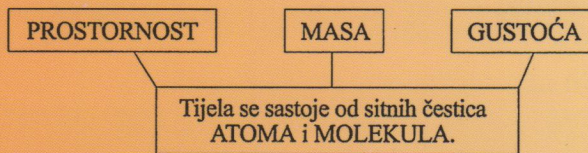
Opisujemo:



Pokusima:

- mjerimo svojstva
- mjerimo mjerilima
- mjerimo jedinicama SI-sustava.

Žaključujemo:



1.2. MEĐUNARODNI SUSTAV JEDINICA SI

OSNOVNE FIZIKALNE VELIČINE		MJERNE JEDINICE	
NAZIV	OZNAKA	NAZIV	OZNAKA
Duljina	l	metar	m
Masa	m	kilogram	kg
Vrijeme	t	sekunda	s
Temperatura	T	kelvin	K
Jakost električne struje	I	amper	A
Jakost svjetlosti	J, I_v	kandela	cd
Količina tvari	n	mol	mol

S pomoću osnovnih SI jedinica tvore se i izvedene jedinice uz dodavanje odgovarajućih predmeta, npr. kilometar od predmetka kilo i osnovne jedinice metar.

1.3. NEKI DECIMALNI PREDMECI ZA TVORBU DECIMALNIH JEDINICA

Veće izvedene jedinice			Manje izvedene jedinice		
predmetak	oznaka	naziv	predmetak	oznaka	naziv
10^1	da	deka	10^{-1}	d	deci
10^2	h	hekto	10^{-2}	c	centi
10^3	k	kilo	10^{-3}	m	mili
10^6	M	mega	10^{-6}	μ	mikro
10^9	G	giga	10^{-9}	n	nano
10^{12}	T	tera	10^{-12}	p	piko
10^{15}	P	peta	10^{-15}	f	femto
10^{18}	E	eksa	10^{-18}	a	ato

1.4. MJERNE JEDINICE ZA DULJINU (l)

$1 \text{ m} = 10 \text{ dm} = 100 \text{ cm} = 1000 \text{ mm}$
 $1 \text{ dm} = 1/10 \text{ m} = 0.1 \text{ m} = 10^{-1} \text{ m}$
 $1 \text{ cm} = 1/100 \text{ m} = 0.01 \text{ m} = 10^{-2} \text{ m}$
 $1 \text{ mm} = 1/1000 \text{ m} = 0.001 \text{ m} = 10^{-3} \text{ m}$

Pretvorbeni faktor je 10.

1.5. MJERNE JEDINICE ZA PLOŠTINU (A,S)

$1 \text{ m}^2 = 100 \text{ dm}^2 = 10^2 \text{ dm}^2$
 $1 \text{ m}^2 = 10\,000 \text{ cm}^2 = 10^4 \text{ cm}^2$
 $1 \text{ m}^2 = 1\,000\,000 \text{ mm}^2 = 10^6 \text{ mm}^2$
 $1 \text{ dm}^2 = 1/100 \text{ m}^2 = 0.01 \text{ m}^2 = 10^{-2} \text{ m}^2$
 $1 \text{ cm}^2 = 1/10\,000 \text{ m}^2 = 0.0001 \text{ m}^2 = 10^{-4} \text{ m}^2$
 $1 \text{ mm}^2 = 1/1\,000\,000 \text{ m}^2 = 0.000001 \text{ m}^2 = 10^{-6} \text{ m}^2$
 $1 \text{ dm}^2 = 100 \text{ cm}^2 = 10\,000 \text{ mm}^2$
 $1 \text{ cm}^2 = 100 \text{ mm}^2$

Pretvorbeni faktor je $100 = 10^2$.

1.6. MJERNE JEDINICE ZA VOLUMEN (V)

$1 \text{ m}^3 = 1000 \text{ dm}^3 = 10^3 \text{ dm}^3$
 $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000 \text{ cm}^3 = 10^6 \text{ cm}^3$
 $1 \text{ m}^3 = 1\,000\,000\,000 \text{ mm}^3 = 10^9 \text{ mm}^3$
 $1 \text{ dm}^3 = 1/1000 \text{ m}^3 = 0.001 \text{ m}^3 = 10^{-3} \text{ m}^3$
 $1 \text{ cm}^3 = 1/1\,000\,000 \text{ m}^3 = 0.000\,001 \text{ m}^3 = 10^{-6} \text{ m}^3$
 $1 \text{ mm}^3 = 1/1\,000\,000\,000 \text{ m}^3 = 0.000\,000\,001 \text{ m}^3 = 10^{-9} \text{ m}^3$

Pretvorbeni faktor je $1000 = 10^3$.

$1 \text{ L} = 10 \text{ dL} = 100 \text{ cL} = 1000 \text{ mL}$

$1 \text{ L} = 1 \text{ dm}^3$

$1 \text{ mL} = 1 \text{ cm}^3$

$1 \text{ kL} = 1000 \text{ L} = 1 \text{ m}^3$

1.7. MJERNE JEDINICE ZA MASU (m)

$1 \text{ kg} = 1000 \text{ g} = 100 \text{ dag}$
 $1 \text{ t (tona)} = 1000 \text{ kg}$
 $1 \text{ dag} = 10 \text{ g} = 1000 \text{ cg} = 10000 \text{ mg}$
 $1 \text{ cg} = 1/100 \text{ g} = 0.01 \text{ g} = 10^{-2} \text{ g}$
 $1 \text{ mg} = 1/1000 \text{ g} = 0.001 \text{ g} = 10^{-3} \text{ g}$

1.8. MJERNE JEDINICE ZA VRIJEME (t)

$1 \text{ h (sat)} = 60 \text{ min (minuta)}$
 $1 \text{ min} = 60 \text{ s (sekundi)}$
 $1 \text{ min} = 1/60 \text{ h}$
 $1 \text{ dan} = 24 \text{ h}$
 $1 \text{ dan} = 1\,440 \text{ min}$
 $1 \text{ dan} = 86\,400 \text{ s}$
 $1 \text{ god (godina)} = 365 \text{ dana}$

1.9. OSTALE FIZIKALNE VELIČINE I NJIHOVE MJERNE JEDINICE U SI SUSTAVU

Put (s) = m

Površina, ploština (A,S) = m^2

Volumen, obujam (V) = m^3

Gustoća (ρ) = kg/m^3

Sila (F) = N

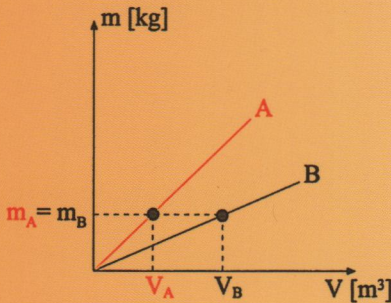
Moment sile (M) = Nm
 Koeficijent trenja (μ) = (nema jedinice)
 Tlak (p) = Pa
 Energija (E) = J
 Rad (W) = J
 Snaga (P) = W
 Korisnost (η) = (nema jedinice)
 Toplina (Q) = J
 Specifični toplinski kapacitet (c) = J / (kgK)
 Unutarnja energija (U) = J

1.10. IZNIMNO DOPUŠTENE JEDINICE

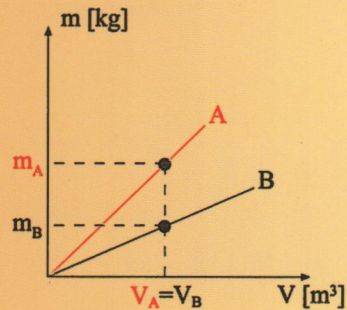
Vrijeme (t) = min
 Volumen (V) = L
 Tlak (p) = bar
 Temperatura (v) = °C

1.11. GUSTOĆA – ρ (ρ) je svojstvo tvari iz koje su građena tijela:

gustoća = masa/obujam	$\rho = m/V$	$[\rho] = 1\text{kg/m}^3$
$\rho \sim m$ gustoća je razmjerna masi	$\rho \sim 1/V$ gustoća je obrnuto razmjerna obujmu	$[\rho] = 1\text{g/cm}^3$
$m = \rho \cdot V$	$V = m/\rho$	$1\text{g/cm}^3 = 1000\text{kg/m}^3$



$$\left. \begin{array}{l} m = \text{const.} \\ V_A < V_B \\ \rho \sim 1/V \end{array} \right\} \Rightarrow \rho_A > \rho_B$$

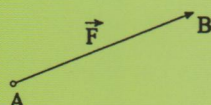


$$\left. \begin{array}{l} V = \text{const.} \\ m_A > m_B \\ \rho \sim m \end{array} \right\} \Rightarrow \rho_A > \rho_B$$

2. MEĐUDJELOVANJE TIJELA

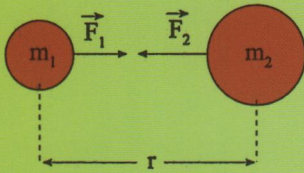
Međudjelovanje tijela očituje se kao **SILA** (F). Jedinica za silu je **njutr** (N), a mjerilo za silu je **dinamometar**. Fizikalne veličine mogu biti **VEKTORSKE** ili **SKALARNE**. Vektorske su veličine određene veličinom, smjerom i hvatištem, dok su skalarne veličine određene jedino veličinom.

Vektorske veličine	Skalarne veličine
Sila \vec{F}	masa m
Težina \vec{G}	vrijeme t
Trenje \vec{F}_t	gustoća ρ
Moment sile \vec{M}	tlak p
Brzina \vec{v}	energija E
Ubrzanje(akceleracija) \vec{a}	toplina Q



HVATIŠTE SILE je točka A u kojoj djeluje sila F .

2.1. GRAVITACIJSKA SILA (F)



Privlačno međudjelovanje dviju sila F_1 i F_2 kojima su mase m_1 i m_2 na udaljenosti r , naziva se GRAVITACIJSKA SILA. Ona je razmjerna masama tih tijela a obrnuto je razmjerna kvadratu njihove međusobne udaljenosti:

$$F \sim m_1; \quad F \sim m_2; \quad F \sim 1/r^2$$

2.2. TEŽINA (G)

SILA TEŽA – je sila kojom Zemlja privlači sva tijela. Ukoliko tijelo i podloga miruju, sila teža je TEŽINA TIJELA:

$G = m \cdot g$	$G \sim m$	$[G] = 1\text{N}$	Fizikalna veličina g je tzv. ubrzanje Zemljine sile teže (gravitacijsko ubrzanje). Konstanta g u našim krajevima iznosi: $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]} \approx 10 \text{ [m/s}^2\text{]}$. Na različitim dijelovima Zemlje kao i
$G = \rho \cdot V \cdot g$	$g = G/m$	$g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$ $g \approx 10 \text{ [m/s}^2\text{]}$	

na različitim planetima g ima različite vrijednosti. Npr. na polovima je zbog spljoštenosti Zemlje $g_p \approx 9,83 \text{ [m/s}^2\text{]}$, a na ekvatoru $g_e \approx 9,78 \text{ [m/s}^2\text{]}$, što znači da je isto tijelo teže na polovima, a lakše na ekvatoru. Dakle, na različitim dijelovima Zemlje kao i na različitim planetima, tijelo ima istu masu ali različitu težinu jer g varira. Iz toga slijedi da je **masa tijela STALNO svojsvo tijela**, dok **težina varira** jer ovisi o položaju tijela u prostoru.

2.3. TRENJE (F_{tr})

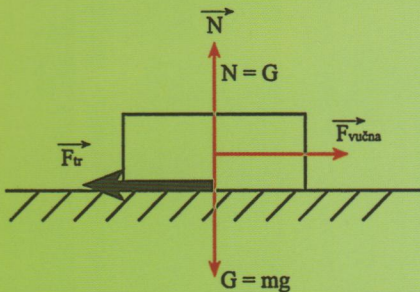
Trenje je sila koja se javlja kao posljedica gibanja tijela i uvijek je u suprotnom smjeru od gibanja tijela. Trenje, dakle, usporava gibanje tijela.

Kod trenja su bitne hrapavost dodirnih površina i veličina pritisne sile (tj. težina) tijela, a nije bitna veličina dodirnih površina:

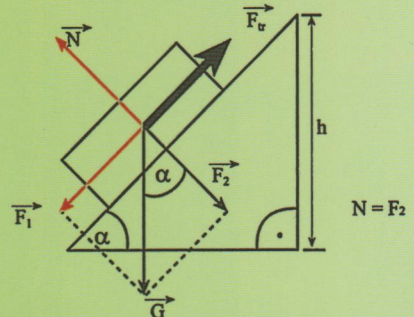
$F_{tr} = \mu \cdot F_p$	$F_{tr} \sim F_p$	$[F_{tr}] = 1\text{N}$	F_p = pritisna sila (težina) N = normalna sila podloge (okomita na podlogu) μ (m) = faktor (koeficijent) trenja Faktor trenja je neimenovani broj
$N = F_p \Rightarrow F_{tr} = \mu \cdot N$	$F_{tr} \sim N$	$\mu = F_{tr} / F_p$	

(nema jedinice) koji se najčešće izražava u postocima. Postoji trenje mirovanja i trenje gibanja: $\mu_{mir.} > \mu_{gib.}$. Također postoji trenje klizanja i trenje kotrljanja: $\mu_{kliz.} > \mu_{kotr.}$

2.3.1. Trenje na ravnoj podlozi



2.3.2. Trenje na kosini



2.4. **ELEKTRIČNA SILA**- je međudjelovanje naelektriziranih tijela, a može biti privlačna i odbojna. Tijela nabijena istoimenim nabojem (pozitivnim ili negativnim) odbijaju se, a tijela nabijena raznoimenim nabojem (jedno pozitivno, a drugo negativno) privlače se.

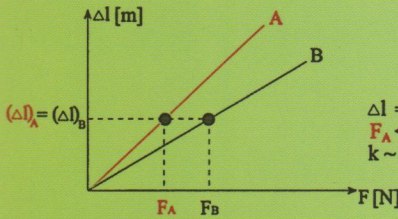
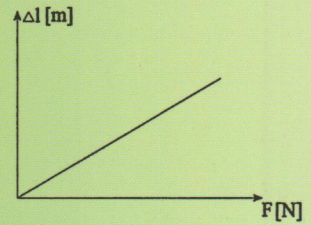
2.5. **MAGNETSKA SILA**- je međudjelovanje magneta, a može također biti privlačna i odbojna.

2.6. **ELASTIČNA SILA**- uzrokuje vraćanje tijela u prvotni oblik nakon deformacije, a tijela u kojima se javlja nazivaju se ELASTIČNA TIJELA. Čvrste tvari kojima se nakon deformacije ne vraća prvotni oblik nazivaju se PLASTICNIM.

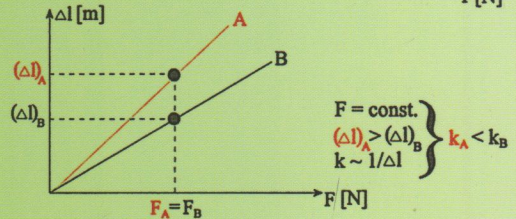
Produljenje opruge razmjerno je elastičnoj sili:

$\Delta l \sim F$	$F = k \cdot \Delta l$
$l = \text{duljina opruge}$	$\Delta l = F/k$
$\Delta l = \text{produljenje opruge}$	$\Delta l \sim 1/k$

$k = \text{koeficijent elastičnosti}$

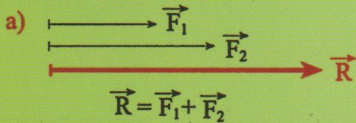


$\Delta l = \text{const.}$
 $F_A < F_B$
 $k \sim F$ } $k_A < k_B$



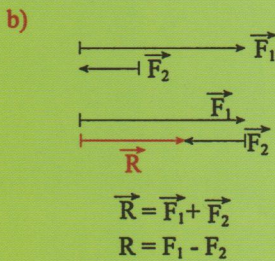
$F = \text{const.}$
 $(\Delta l)_A > (\Delta l)_B$
 $k \sim 1/\Delta l$ } $k_A < k_B$

2.7. SLAGANJE SILA



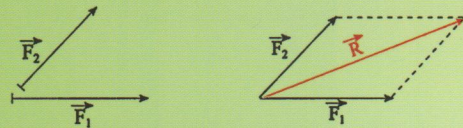
Sile \vec{F}_1 i \vec{F}_2 su KOMPONENTE (sastavnice), a sila \vec{R} je REZULTANTA (vektorski zbroj dviju ili više sila).

Rezultanta usporednih sila istoga smjera \vec{F}_1 i \vec{F}_2 jednaka je sili \vec{R} koja im je usporedna i istoga smjera (duljine se zbrajaju).



Rezultanta usporednih sila suprotnih smjerova je usporedna sila R kojoj je iznos jednak razlici iznosa sila F_1 i F_2 i ima smjer veće sile.

c) Neusporedne sile F_1 i F_2 zbrajaju se (slažu) po tzv. principu paralelograma (R predstavlja vektorski zbroj).

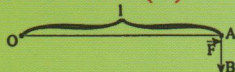


2.8. **TEŽIŠTE TIJELA** – Za svako tijelo postoji jedna točka koju možemo smatrati da sadrži ukupnu težinu tijela. To je hvatište sile teže, a ta točka naziva se **TEŽIŠTE** tijela. To je točka u kojoj poduprto tijelo miruje. Težište tijela ne mora se uvijek nalaziti u tijelu.

2.9. **VRSTE RAVNOTEŽA** – S obzirom na položaje točke oslonca i težišta tijela, ravnoteža može biti:

1) STABILNA	težište ispod točke oslonca	tijelo izvedeno iz ravnotežnog položaja VRAĆA se u prvotni položaj
2) LABILNA	težište iznad točke oslonca	tijelo izvedeno iz ravnotežnog položaja POSTAVLJA se u položaj stabilne ravnoteže
3) INDIFERENTNA	težište je u točki oslonca	tijelo izvedeno iz ravnotežnog položaja NE VRAĆA se u prvotni položaj, tj. ostaje u novom položaju.

2.10. **MOMENT SILE (M)** – definira se kao umnožak sile F i kraka sile l :

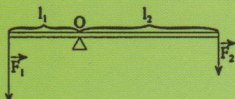


$M = F \cdot l$ $[M] = 1 \text{ Nm}$ $O = \text{točka oslonca, } A = \text{hvatište sile}$

Moment sile naziva se još i **ZAKRETNI MOMENT**. Općenito je: $M = F \cdot s$ ili $M = F \cdot l$; $s = l$

2.11. **POLUGA** - je jednostavni uređaj pomoću kojeg se manjom silom savladavaju veće sile.

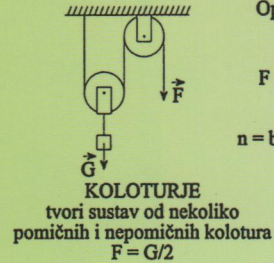
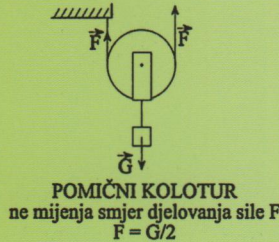
Na uravnoteženu polugu djeluju jednaki zakretni momenti sile $M_1 = M_2$, iz čega slijedi:



Zakon ravnoteže na poluzi:

$F_1 l_1 = F_2 l_2$

2.12. KOLOTURI I KOLOTURJE

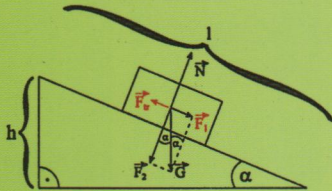


Općenito:

$$F = \frac{G}{n}$$

$n =$ broj kolotura

2.13. KOSINA- je uređaj slične namjene kao i poluga.



$$F_1 = F_{tr}$$

$$F_2 = N$$

$l =$ duljina kosine
 $h =$ visina kosine
 $\alpha =$ kut nagiba kosine
 $F_1 =$ sila koja djeluje niz kosinu
 $F_2 =$ sila kojom tijelo pritiska podlogu

$$F_1 : G = h : l$$

$$F_1 \cdot l = G \cdot h$$

$$F_1 = G \cdot h/l$$

$$F_2 = G \cdot \frac{\sqrt{l^2 - h^2}}{l}$$

2.14. TLAK (p)

PRITISAK- je sila koja okomito pritišće neku površinu. Što je površina veća, pritisak je manji. Što je pritisak veći, učinak mu je veći. Tlak (p) je izvedena jedinica a definira se kao djelovanje sile pritiska (F) na jediničnu površinu (A):

Općenito je:

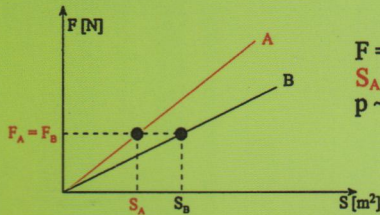
$$\text{tlak} = \frac{\text{sila pritiska}}{\text{ploština podloge}}$$

$$p = F/S$$

$$p = F/A$$

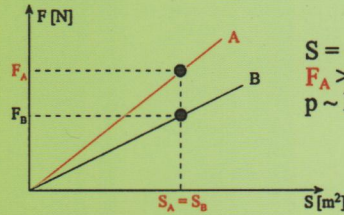
$$[p] = N/m^2 = 1 \text{ Pa}$$

Često se koristi i veća jedinica : 1 bar = 10^5 Pa = 1000 hPa ; 0.001 bar = 1 mbar = 1 hPa. Mjerila za tlak različiti su tlakomjeri.



$$F = \text{const.}$$

$$\left. \begin{matrix} S_A < S_B \\ p \sim 1/S \end{matrix} \right\} p_A > p_B$$



$$S = \text{const.}$$

$$\left. \begin{matrix} F_A > F_B \\ p \sim F \end{matrix} \right\} p_A > p_B$$

$$F = p \cdot S$$

$$p \sim F$$

$$p \sim 1/S$$

HIDRAULIČNI TLAK ($p=F/A$) izazvan je vanjskom silom F na vanjsku površinu A tekućine. **PASCALOV ZAKON**: hidraulični tlak razmjerno se prenosi u svim dijelovima tekućine.

HIDROSTATIČKI TLAK (p_{hidro}) nastaje kao posljedica težine same tekućine, a ovisi o njezinoj gustoći ρ i dubini h na kojoj se tlak određuje. To je prvi uočio Torricelli. Kako ne ovisi o obujmu niti o obliku stupca tekućine (iznad ravnih razina tekućine), što je neobično, ova se pojava naziva **hidrostatički paradoks**.

$$p = \rho \cdot g \cdot h$$

ATMOSFERSKI TLAK (p_{atm}) je tlak zraka na razini mora a posljedica je težine stupca atmosfere. On nije posvuda jednak. Tlak zraka na razini mora iznosi $p_0 = 101\,325$ [Pa] i naziva se standardni atmosferski tlak. Mjerilo za mjerenje tlaka je **BAROMETAR**.

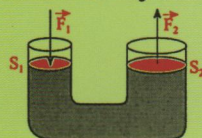
HIDRAULIČNA PRESA zasniva se na jednakosti tlakova u klipovima:

$$p_1 = F_1/S_1 \quad ; \quad p_2 = F_2/S_2$$

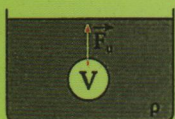
$$p_1 = p_2$$

$$F_1 : S_1 = F_2 : S_2$$

$$F_1 : F_2 = S_1 : S_2$$



2.15. UZGON (F_u) je sila koja djeluje na tijelo uronjeno u tekućinu, sa usmjerenjem prema gore:



$$F_u = \rho_{tek} \cdot g \cdot V_{tijela}$$

$$F_u \sim \rho_{tek}$$

$$F_u \sim V_{tijela}$$

$$F_u = G \quad (\text{Uzgon je jednak težini istisnute tekućine.})$$

$$G' = G - U \quad \begin{matrix} G = \text{težina tijela u zraku} \\ G' = \text{težina tijela u tekućini} \end{matrix}$$

$\rho_{tek} =$ gustoća tekućine

$V_{tijela} =$ volumen (uronjenog dijela) tijela

$$(F_u =) U = \text{uzgon}$$

2.16. ARIHMEDOV ZAKON – Uzgon je jednak težini istisnute tekućine kad uronimo tijelo u tekućinu. Postoje 3 mogućnosti (za tekućine): 1) $F_u < G \Rightarrow$ tijelo TONE; 2) $F_u = G \Rightarrow$ tijelo LEBDI; 3) $F_u > G \Rightarrow$ tijelo PLIVA.

3. ENERGIJA

3.1. ENERGIJA – je sposobnost tijela da vrši rad. Energija je skalarna fizikalna veličina, ona je opće svojstvo (stanje) materije kao što su gibanje, masa, prostornost i vrijeme. Postoje različite vrste energija: mehanička, toplinska, svjetlosna, električna, kemijska, nuklearna itd.

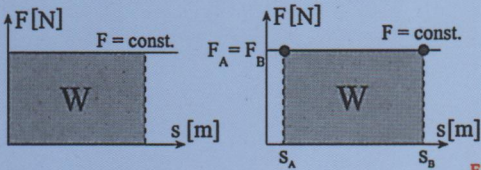
3.2. KINETIČKA ENERGIJA – je energija koju tijelo ima u stanju gibanja: $E_k \sim m$; $E_k \sim v^2$; $E_k = (mv^2)/2$; v = brzina tijela. Kinetička energija, gravitacijska energija i elastična energija tijela nazivaju se mehanička energija.

3.3. POTENCIJALNA ENERGIJA – Oblici energije u svezi s međudjelovanjem tijela nazivaju se potencijalna energija: $E_p = mgh$; $E_p \sim m$; $E_p \sim h$; $G = mg \Rightarrow E_p = G \cdot h$; h = visina tijela od promatrane površine. Postoje gravitacijska potencijalna, elastična potencijalna, električna potencijalna energija itd.

3.4. ZAKON OČUVANJA ENERGIJE: Energija se ne može stvoriti ni iz čega, niti može nestati, ali može prelaziti s tijela na tijelo i pretvarati se iz jednog oblika u drugi.

3.5. UNUTARNJU ENERGIJU TIJELA – čine kinetička energija i potencijalna energija njegovih molekula. Energija zatvorenog sustava je konstantna: $E_p + E_k = \text{const}$.

3.6. RAD (W) – je svladavanje sile (F) duž puta (s): $W = F \cdot s$ | $W \sim F$ | $W \sim s$ | $[W] = [J] = 1N \cdot 1m = 1Nm$
Općenito: rad = sila \times udaljenost. Obavljeni se rad definira i kao **PRETVORBA ENERGIJE** jer se tijelo pomiče.

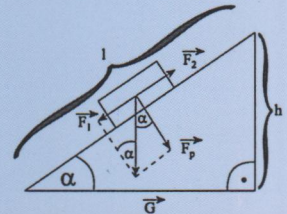


Rad na kosini:

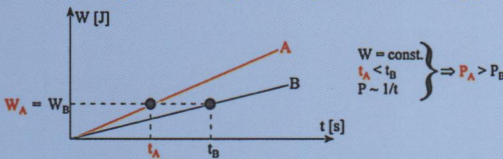
G = težina tijela
 F_1 = sila koja djeluje niz kosinu
 F_2 = sila koja drži ravnotežu na kosini (djeluje uz kosinu)
 h = visina kosine
 l = duljina kosine
 α = kut nagiba kosine

$$F_1 : G = h : l \quad F_1 \cdot l = G \cdot h$$

$$F_1 = F_2 \Rightarrow F_2 \cdot l = G \cdot h \Rightarrow F_2 = (G \cdot h) / l$$

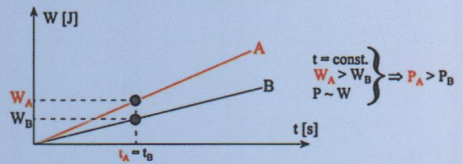


3.7. SNAGA (P) – je brzina vršenja rada: $P = W/t$ | $[P] = 1W = 1 J/s$ | $W = P \cdot t$ | $[W] = 1W \cdot 1s = 1J$
Općenito: snaga = rad/vrijeme = pretvorba energije/vrijeme. $P \sim W$ | $P \sim 1/t$ | $1J = 1Ws$



$$W = \text{const.} \Rightarrow P_A > P_B$$

$$t_A < t_B \Rightarrow P \sim 1/t$$



$$t = \text{const.} \Rightarrow P_A > P_B$$

$$W_A > W_B \Rightarrow P \sim W$$

3.8. KORISNOST (η) – je omjer dobivenog i uloženog rada, dobivene i uložene energije, dobivene i uložene snage: $\eta = W_d/W_u = E_d/E_u = P_d/P_u \Rightarrow \eta < 1$ ili $\eta < 100\%$. Općenito: $\eta = (\text{dobiveni rad})/(\text{uložena energija})$. Korisnost ili djelotvornost (ili faktor korisnosti) je neimenovani broj (nema jedinice) a najčešće se izražava u postocima.

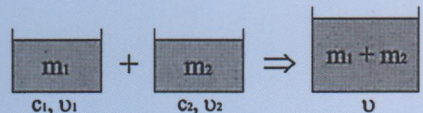
3.9. UNUTARNJA ENERGIJA, TOPLINA I TEMPERATURA – Dio unutarnje energije koji s toplijeg tijela prelazi na hladnije, naziva se **toplina (Q)**. Jedinica za unutarnju energiju i toplinu je džul (J). $q = Q/m$; q = energ. vrijednost, $[q] = 1 J/kg$ | $Q = \dot{m} \cdot q$ | $Q \sim m \Rightarrow$ toplina (količina topline) razmjerna je masi tijela.

TEMPERATURA (T) je skalarna fizikalna veličina koja opisuje energetsku razinu nekog tijela. Jedinica temperature je **kelvin (K)**. Mjerilo za temperaturu je **TERMOMETAR (TOPLOMJER)**. Što je veća brzina gibanja čestica, to je i temperatura tijela viša. Ako pri dodiru dva tijela nema prijelaza topline, ta dva tijela imaju jednaku temperaturu.

3.10. KALORIMetriJA (dio znanosti o toplini); $Q \sim m$; $Q \sim \Delta T$; $\Rightarrow Q = c \cdot m \cdot \Delta T$ | $\Delta T = |T_2 - T_1|$; $c = Q/(m \cdot \Delta T)$
Jedinica: $[c] = 1J/(kg \cdot K)$; c = specifični toplinski kapacitet (ovisi o vrsti tvari).

3.11. RICHMANNOVO PRAVILO:

Toplinska razmjena vrši se do uspostave toplinske ravnoteže: $Q_1 = Q_2$; $m_1 c_1 (v - v_1) = m_2 c_2 (v - v_2)$
Temperatura smjese: $v = (m_1 c_1 v_1 + m_2 c_2 v_2) / (m_1 c_1 + m_2 c_2)$

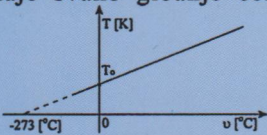


3.12. SVOJSTVA TVARI U ČVRSTOM, TEKUĆEM I PLINOVITOM AGREGATNOM STANJU, PROMJENE AGREGATNIH STANJA. – Postoje tri postojana agregatna stanja tvari:



Temperatura vrelišta viša je od temperature tališta. ISHLAPLJIVANJE je prelazanje neke tvari iz tekućeg u plinovito stanje samo s površine tekućine pri običnoj temperaturi zraka. Vrelište vode označeno je sa 100 °C, a talište sa 0 °C. To je tzv. **Celzijeva**

temperaturna ljestvica. Postoji pozitivna i negativna temperatura. Temperaturna ljestvica ima donju granicu pri kojoj prestaje svako gibanje čestica. To je tzv. **apsolutna ništica** i iznosi oko -273 °C.



Veza između temperature t (theta) i apsolutne temperature T : $T [K] = (273 + t) [°C]$

Kelvin je jednak stupnju Celzija: $K = °C$

3.13. ŠIRENJE ČVRSTIH TIJELA ZAGRIJAVANJEM – Povišenjem temperature, rastu međumolekularni prostori, te se povećava unutarnja energija tijela, što ima za posljedicu da se tijelima povećava obujam.

l_0 = duljina na temperaturi T_0
 Δl = promjena duljine zagrijavanjem
 ΔT = promjena (povišenje) temperature
 α = linearni koeficijent toplinskog širenja (ovisi o kemijskom sastavu i građi tijela)

Promjena duljine čvrstih tijela zagrijavanjem: $\Delta l = \alpha \cdot l_0 \cdot \Delta T$

$[\alpha] = K^{-1}$

V_0 = volumen na temperaturi T_0
 ΔV = promjena volumena zagrijavanjem
 γ = volumni koeficijent toplinskog rastezanja

Promjena volumena čvrstih tijela zagrijavanjem: $\Delta V = \gamma \cdot V_0 \cdot \Delta T$

$[\gamma] = K^{-1}$ $\Delta T = T - T_0$
 $\gamma = 3\alpha$ $V = V_0 + \Delta V$

Tequćine se za jednako povišenje temperature više šire nego čvrsta tijela, a manje nego plinovi. Tlak plina koji zagrijavamo u zatvorenoj posudi, povećava se s porastom temperature i obrnuto.

ANOMALIJA VODE – Voda pri 0 °C prelazi u čvrsto agregatno stanje (led), pri 100 °C prelazi u plinovito agregatno stanje (vodena para), a pri 4 °C ima najmanji obujam, tj. najveću gustoću.

4. GODIŠNJA SISTEMATIZACIJA GRADIVA

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	JEDINICA MJERE	OZNAKA	FORMULE
masa	m	kilogram	kg	$m = \rho V$ $m = G/g$ $m = Q/q$ $m = Q/(c\Delta T)$
put	s	metar	m	$s = W/F$ $[1m = 1J/N]$
površina	S, A	metar četvorni (kvadratni)	m ²	$S = F/p$
volumen (obujam)	V	metar kubični	m ³	$V = m/\rho$ $V = G/(\rho g)$
sila	F	njutt	N	$F = M/l$ $F = pS$ $F = W/s$ $1N = 1J/m$
težina	G	njutt	N	$G = mg$ $G = \rho Vg$
elastična sila	F	njutt	N	$F = k\Delta l$
moment sile	M	njutt-metar	Nm	$M = Fl$
gustoća	ρ (ro)	kilogram po metru kubičnom	kg/m ³	$\rho = m/V$ $\rho = G/(Vg)$
trenje	F_{tr}	njutt	N	$F_{tr} = \mu N$
faktor trenja	μ (mi)	—	—	$\mu = F_{tr}/N$
tlak/hidraulični tlak	p	njutt po metru kvadratnom	N/m ²	$p = F/S$
hidrostatički tlak	p_{hidro}	njutt po metru kvadratnom	N/m ²	$p_{hidro} = \rho gh$
uzgon	F_u	njutt	N	$F_u = \rho_{tek} g V_{tijela}$
energija	E	džul	J	$E_k = mv^2/2$ $E_p = mgh$
rad	W	džul	J	$W = Fs$ $W = Pt$ $[1J = 1Ws]$
snaga	P	vat	W	$P = W/t$
korisnost	η (eta)	—	—	$\eta = W_d/W_u$ $\eta = E_d/E_u$ $\eta = P_d/P_u$
toplina	Q	džul	J	$Q = mq$ $Q = mc\Delta T$
specifični toplinski kapacitet	c	džul po kilogramu i kelvinu	J/(kgK)	$c = Q/(m\Delta T)$
promjena duljine čvrstog tijela zagrijavanjem	Δl	metar	m	$\Delta l = \alpha l_0 \Delta T$ $\Delta T = T - T_0$
koeficijent toplinskog širenja čvrstih tijela	α (alfa)	recipročni kelvin	K ⁻¹	$\alpha = \Delta l / (l_0 \Delta T)$
promjena volumena čvrstog tijela zagrijavanjem	ΔV	kubični metar	m ³	$\Delta V = \gamma V_0 \Delta T$ $V = V_0 + \Delta V$
volumni koef. topl. rastezanja čvrstog tijela	γ (gama)	recipročni kelvin	K ⁻¹	$\gamma = 3\alpha$
temperatura	t (theta)	stupanj Celzija	°C	$T [K] = (273 + t) [°C]$
temperaturna smjesa tequćina	v	stupanj Celzija	°C	$v = (m_1 c_1 v_1 + m_2 c_2 v_2) / (m_1 c_1 + m_2 c_2)$

5. ELEKTRIČNA STRUJA

5.1. Međudjelovanje električno nabijenih tijela

Elektricitet je svojstvo privlačenja ili odbijanja tijela nabijenih određenom vrstom električnog naboja. Postoje dvije vrste električnog naboja: pozitivni (+) i negativni (-). Nositelji negativnog naboja su čestice koje se zovu elektroni, a nositelji pozitivnog su protoni. Elektroni i protoni ulaze u sastav atoma koji je električno neutralan jer sadrži jednak broj protona i elektrona. Svaki atom sastoji se iz dva dijela: pozitivne jezgre (sadrži protone i neutrone) i elektrona koji su u tzv. elektronskom omotaču.

Pozitivni i negativni naboji međusobno se PRIVLAČE, a istoimeni (oba + ili oba -) se ODBIJAJU.

Tijelo je neutralno ako ima jednak iznos pozitivnog i negativnog naboja. Ako ima višak elektrona, tijelo je negativno nabijeno, a ako ima manjak elektrona, tijelo je pozitivno nabijeno.

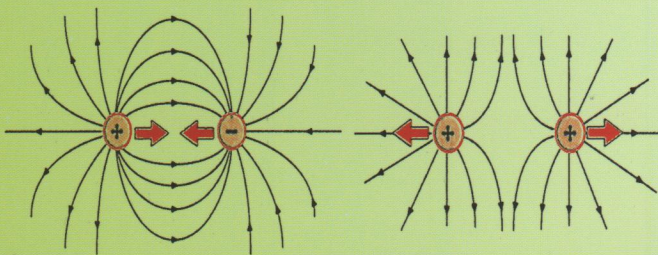
Prostor oko električno nabijenih tijela je ELEKTRIČNO POLJE koje predočavamo (inače nevidljivim) strelicama, tzv. silnicama:

U električnom polju očituje se električno međudjelovanje.

Elektroskop je uređaj kojim ispituujemo električne pojave.

U nekim tijelima ima elektrona koji nisu čvrsto vezani u atomima, te se među atomima slobodno gibaju i zato se zovu slobodni elektroni. Pojava da se tijela

elektriziraju premještanjem slobodnih pokretljivih elektrona (pri čemu se protoni ne premiještaju) naziva se električna influencija.



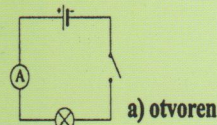
5.2. Električna struja, strujni krug i učinci električne struje

Električna struja je usmjereno gibanje elektrona. Struja će poteći ako je zatvoren strujni krug.

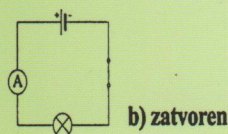
Jednostavni strujni krug čine:

naziv	shematska oznaka	uporaba
izvor električne struje		baterije, galvanski članci, akumulator, generator
trošila	ili	žarulja, razni električni uređaji
el. vodovi (vodiči)		žice kojima teče struja, obavijamo ih plastikom (izolatori)
električna mjerila		voltmetar, ampermetar, itd.
sklopka		prekidač strujnog kruga

Shematski jednostavni strujni krug predočavamo:



a) otvoren



b) zatvoren

Prema načinu provođenja električne struje tijelima, ona se dijele na:

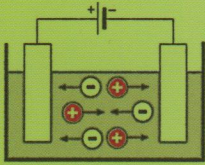
- 1) supravodiče (svojstvo najboljeg vođenja struje stječu pri niskim temperaturama),
- 2) vodiče ili konduktore (obiluju slobodnim elektronima zbog čega dobro vode struju),
- 3) poluvodiče ili semikonduktore (vode struju elektronima ili tzv. pozitivnim šupljinama),
- 4) izolatore (nemaju slobodnih elektrona i zato ne vode struju).

Djelovanja (učinci) električne struje su:

- 1) svjetlosni (očituju se svijetljenjem: žarulja itd.),
- 2) toplinski (očituju se toplinom koju daju neki el. uređaji: glačalo itd.),

- 3) kemijski,
- 4) magnetski.

Kemijski učinci očituju se u otopinama (elektrolitima) gdje su nositelji električne struje ioni:



- ⊕ kation
- ⊖ anion

Razrijeđeni plinovi mogu voditi struju također putem ionizacije, a nositelji struje u plinu su elektroni i ioni.

Magnetski učinci očituju se otklonima magnetske igle u blizini vodiča kojim teče struja. Promjenom smjera struje, mijenja se i smjer otklona magnetske igle, a otvaranjem strujnog kruga, magnetska igla vraća se u početno stanje (miruje). Dakle, oko strujnog kruga kojim teče struja nastaje magnetsko polje.

Magneti su tijela koja pokazuju magnetska svojstva, a slobodno ovješeni magnet postavlja se u smjer sjever - jug. Sjeverni magnetski pol pokazuje prema sjeveru i označava se sa N (north = sjever, eng.), a južni magnetski pol označava se sa S (south = jug, eng.) jer pokazuje prema jugu. Istoimeni magnetski polovi međusobno se odbijaju dok se raznoimeni privlače:



Postoje trajni (permanentni) i vremenski nestabilni magneti (lako se magnetiziraju i demagnetiziraju). Po obliku, vodiči mogu biti:

- a) ravni b) u obliku petlje ili c) u obliku zavojnice

Magnetska svojstva najizraženija su kod zavojnice. Dok zavojnicom teče struja, ona se ponaša kao elektromagnet.

5.3. Električni napon i električna struja

Količina naboja (Q) iskazuje veličinu električnog naboja koji teče strujnim krugom. Jedinica naboja je **1C (kulon)**. Najmanja količina naboja u prirodi je ona koju posjeduje jedan elektron i iznosi: $1e = 1,6 \cdot 10^{-19} [C]$.

Električna energija (E ili W) mjeri se **1J (džul)**. Električni potencijal (φ) jednak je omjeru promjene (pretvorene) električne energije ΔE i količine naboja Q.

$$[\varphi] = 1J/1C = 1V \text{ (volt)}$$

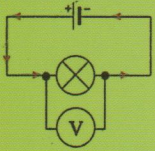
$$\varphi = \frac{\Delta E}{Q} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} \varphi \sim \Delta E \\ \varphi \sim 1/Q \end{array} \right.$$



Između dva tijela različitih potencijala (φ₁ i φ₂) postoji napon (U): $U = \Delta\varphi \Rightarrow U \sim \Delta\varphi$; $U = \varphi_1 - \varphi_2, \varphi_1 > \varphi_2$; $[U] = 1V$ tj. napon je jednak razlici potencijala. Uređaj kojim mjerimo napon je voltmetar.

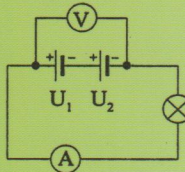
Dogovoreni smjer struje je od pozitivnog ka negativnom polu izvora, a stvarni smjer struje je obrnut (jer je struja gibanje elektrona).

Struja stalnog smjera je istosmjerna struja.



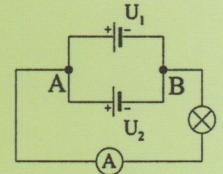
Spajanje električnih izvora:

- 1) serijski
 $U = U_1 + U_2$

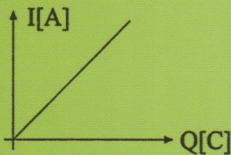


- 2) paralelno
 $U = U_1 = U_2$

A, B = točke grananja vodiča



Jakost struje (I) je omjer količine naboja (Q) i vremena (t):



$$I = \frac{Q}{t} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I \sim Q \\ I \sim 1/t \end{array} \right.$$

$$1A = \frac{1C}{1s}$$

$$Q = I \cdot t \\ 1C = 1A \cdot 1s = 1As \text{ (ampersekunda)}$$

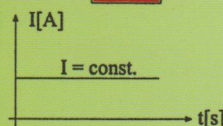
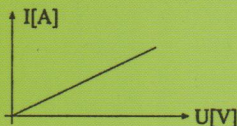
Instrumenti za mjerenje jakosti struje su ampermetar i galvanometar.

5.4. Ohmov zakon (temeljni zakon strujnog kruga):

Jakost struje = $\frac{\text{napon izvora struje}}{\text{otpor strujnog kruga}}$

$$I = \frac{U}{R} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} I \sim U \\ I \sim 1/R \end{array} \right.$$

Jakost struje u vodiču raste s porastom napona na njegovim krajevima i smanjenjem otpora.



$$R = U/I \Rightarrow R \sim U$$

$$[R] = 1V/1A = 1\Omega \text{ (om)}$$

5.5. Električni otpor i spajanje otpornika

$$R = \frac{\rho l}{S} \Rightarrow R \sim \rho; R \sim l; R \sim 1/S; \text{ gdje je } \rho = \text{otpornost (ovisi o vrsti materijala vodiča)}$$

Zakon električnog otpora: otpor (R) razmjeran je otpornosti (ρ) i duljini vodiča (l), a obrnuto razmjeran s površinom poprečnog presjeka vodiča (S).

$$\rho = RS/l \Rightarrow \rho \sim S; \rho \sim 1/l; [\rho] = 1 \Omega m \text{ (ommetar); otpornost mjerimo i nesustavnom jedinicom } [\Omega mm^2/m].$$

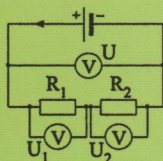
$U = I \cdot R$; Pad napona na otporniku jednak je umnošku jakosti struje (I) koja teče tim otpornikom i vrijednosti otpora (R) na njemu. $I \cdot R \sim R; [I \cdot R] = 1 V$

Spajanje trošila (otpornika)

1) serijsko

$$U = U_1 + U_2$$

$$R = R_1 + R_2$$

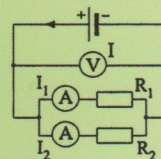


2) paralelno

$$U = U_1 = U_2$$

$$1/R = 1/R_1 + 1/R_2$$

$$I = I_1 + I_2$$



Napon izvora struje jednak je zbroju padova napona na otpornicima.

Ovdje nema pada napona.

5.6. Energija, rad i snaga el. struje

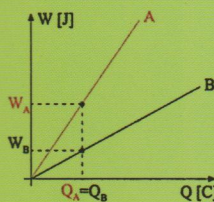
$$U = \Delta\phi = \Delta\varphi = \Delta E/Q \Rightarrow U = \Delta E/Q$$

$$\left. \begin{array}{l} \Delta E = U \cdot Q \\ Q = I \cdot t \end{array} \right\} \Rightarrow \Delta E = U \cdot I \cdot t$$

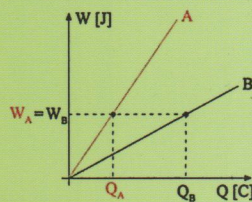
Električna energija je umnožak napona, jakosti struje i vremena.

Električna energija potrebna je da bi se izvršio rad električne struje: $\Delta E = W$

$$W = U \cdot I \cdot t; [W] = 1J = 1V \cdot 1A \cdot 1s = 1 VA s \text{ (voltampersekunda)}; W = U \cdot Q$$



$$\left. \begin{array}{l} Q = \text{konst.} \\ W_A > W_B \\ W \sim U \end{array} \right\} \Rightarrow U_A > U_B$$



$$\left. \begin{array}{l} W = \text{konst.} \\ Q_A > Q_B \\ Q \sim 1/U \end{array} \right\} \Rightarrow U_A > U_B$$

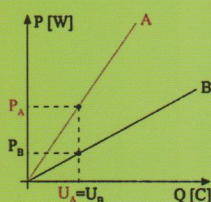
Snaga el. struje = $\frac{\text{el. energija (rad el. struje)}}{\text{vrijeme}}$

$$[P] = 1V \cdot 1A = 1VA \text{ (voltamper)}$$

$$[W] = 1J = 1W \cdot 1s = 1Ws \text{ (vatsekunda)}$$

$$[P] = 1W \text{ (vat)}$$

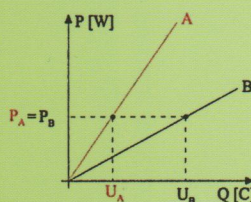
$$[W] = 1kWh \text{ (kilovatsat)} = 36 \cdot 10^5 [J]$$



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

$$W = P \cdot t$$

$$\left. \begin{array}{l} U = \text{konst.} \\ P_A > P_B \\ P \sim I \end{array} \right\} \Rightarrow I_A > I_B$$



$$\left. \begin{array}{l} P = \text{konst.} \\ U_A < U_B \\ U \sim 1/I \end{array} \right\} \Rightarrow I_A > I_B$$

$$U = \frac{P}{I}$$

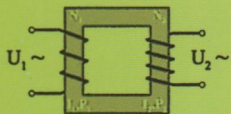
$$W = \frac{U^2}{R} t \quad W = I^2 R t \quad P = \frac{U^2}{R} \quad P = I^2 R$$

5.7. Izmjenična struja i elektromagnetska indukcija

Uzajamnim gibanjem zavojnice (kojom ne teče struja) i magneta, elektroni se u zavojnici na jednome njezinu kraju nagomilavaju, a na drugome ih je manjak. Na kraju s viškom elektrona inducirao se negativni električni naboj, a na kraju sa manjkom - pozitivni električni naboj. Između ta dva kraja induciran je napon, te može poteći struja. Takva struja zbog gibanja zavojnice i magneta, neprekidno mijenja smjer i naziva se IZMJENIČNA, a ova pojava naziva se ELEKTROMAGNETSKA INDUKCIJA. Prvi ju je uočio Faraday.

Strojevi koji po tom principu (načelu) proizvode izmjeničnu struju nazivaju se generatori. Nešto jednostavniji uređaji koji električnu energiju pretvaraju u mehanički rad su elektromotori. Shematski se izvor izmjenične struje označava:

Transformator je jednostavan uređaj kojim se izmjenični napon po potrebi može mijenjati, a sastoji se iz dvije zavojnice (primarne ili primara, te sekundarne ili sekundara) i zajedničke jezgre:



$$E_1 = E_2 \text{ Snaga primara jednaka}$$

$$P_1 = P_2 \text{ je snazi sekundara}$$

$$U_1 : U_2 = N_1 : N_2$$

naponi primara i sekundara razmjerni su odgovarajućim brojevima zavoja na zavojnicama

$$U_1 I_1 = U_2 I_2 \Rightarrow I_1 : I_2 = N_2 : N_1$$

jakosti primara i sekundara obrnuto su razmjerne odgovarajućim brojevima zavoja na zavojnicama

$N_1, N_2 =$ brojevi zavoja (namotaja) na zavojnicama

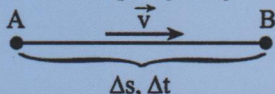
$$U_1 : U_2 = I_2 : I_1$$

Naponi primara i sekundara obrnuto su razmjerni odgovarajućim jakostima struje. Na taj način može se smanjivanjem napona sekundara dobiti mnogo jaču struju u njemu. Naš znanstvenik Nikola Tesla patentirao je veliki broj izuma o izmjeničnim strujama i njihovim primjenama u elektrotehnici i radio-tehnici.

6. GIBANJE SILA

6.1. Gibanje je promjena položaja tijela u prostoru. To znači: mora se prevaliti neki put (s), za šta je potrebno neko vrijeme (t). $[s] = 1m$ (metar) ; $[t] = 1s$ (sekunda).

Dakle, premještanjem u prostoru iz točke A u točku B načini se **pomak** (Δs) tijekom nekog **vremenskog intervala** ili **vremenskog razmaka** (Δt): $\Delta t = t_2 - t_1$. Uređaj za mjerenje vremena je **ura** (sat), a za vrlo kratke vremenske intervale je elektromagnetski vibrator. Tijelo koje se premjesti iz točke A u točku B giba se **brzinom** v .



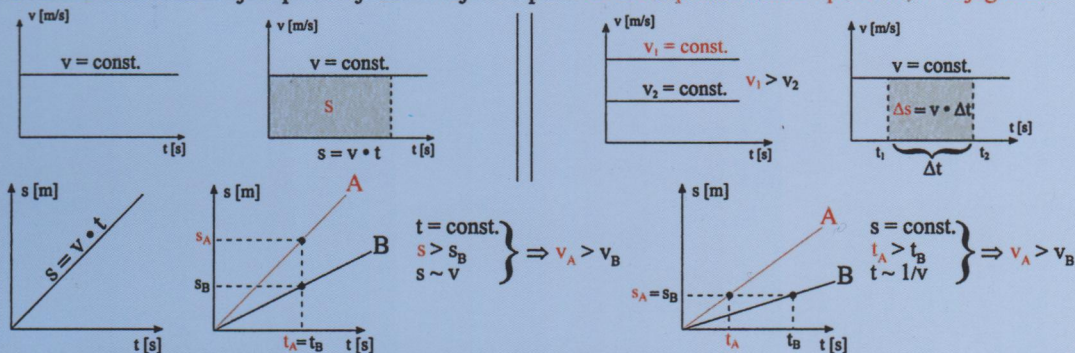
6.2 Brzina je omjer puta i vremena: $v = s/t$ ili $v = \Delta s/\Delta t$. Brzina je vektorska fizikalna veličina. $v \sim s$; $v \sim 1/t$

$$[v] = 1 \text{ m/s} = 1 \text{ ms}^{-1} \text{ (metar u sekundi)}$$

U upotrebi: $[v] = \text{km/h}$ ili $[v] = \text{km/s}$

$$s = v \cdot t \Rightarrow s \sim t$$

6.3. Jednoliko pravocrtno gibanje je gibanje pri kome je iznos i smjer brzine stalan (konstantan) jer u jednakim vremenskim intervalima tijelo prelazi jednake dijelove puta. **Grafički prikaz brzine i puta u v, t -dijagramu:**



6.4. Akceleracija (a) je promjena brzine u vremenskom intervalu:

$$v = a \cdot t$$

$$v \sim t$$

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} \Rightarrow \begin{cases} a \sim v \\ a \sim 1/t \end{cases}$$

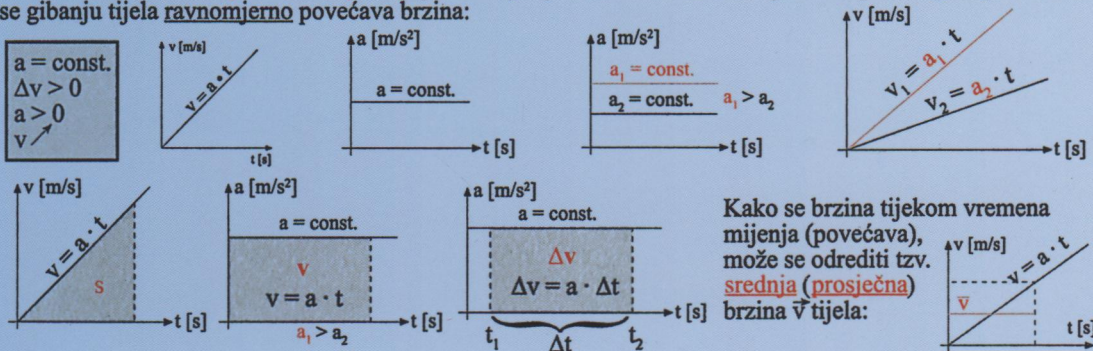
$$a = \frac{v_2 - v_1}{t_2 - t_1}$$

$$[a] = \frac{1 \text{ m/s}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ m/s}^2 = 1 \text{ ms}^{-2} \text{ (metar u sekundi na kvadrat)}$$

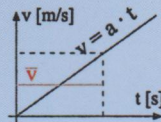
$$[a] = \frac{1 \text{ km}}{1 \text{ h}^2} = 1 \text{ kmh}^{-2} \text{ (kilometar po satu na kvadrat)}$$

Akceleracija je vektorska fizikalna veličina (a). **Ubrzanje** (akceleracija) je prirast (porast) brzine u vremenskom intervalu, a **usporenje** (retardacija) je smanjenje brzine u vremenskom intervalu.

6.5. Jednoliko ubrzano pravocrtno gibanje je kretanje tijela stalnom akceleracijom duž pravca gibanja. Pri tome se gibanju tijela **ravnomjerno povećava** brzina:



Kako se brzina tijekom vremena mijenja (povećava), može se odrediti tzv. **srednja (prosječna) brzina** \bar{v} tijela:



Primjer jednolikog ubrzanog pravocrtnog gibanja je SLOBODNI PAD: $a = g$; $g = 9,81 \text{ [m/s}^2\text{]}$.

6.6. Temeljni zakon gibanja

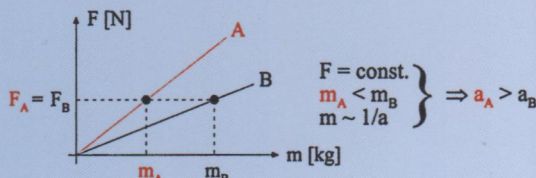
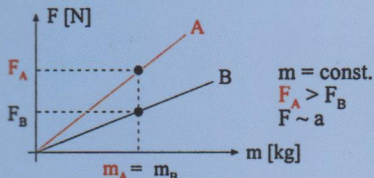
Tijelo koje se ne giba, ono miruje ($v = 0$). Njegovu gibanju opire se **tromost**, odnosno **masa** (m) tijela. Tijelo koje se giba jednoliko nastoji se i dalje tako gibati zbog svoje tromosti. Niti za jedno od ta dva stanja (mirovanja i jednolikog gibanja) nije potrebna **sila** (F). Međutim, ako na tijelo djeluje sila, ona izaziva promjenu brzine tj. akceleraciju: $a \sim F$; $a \sim 1/m$; $a = F/m$
Pod utjecajem stalne sile tijelo se giba jednoliko ubrzano.

$F = a \cdot m$ je temeljni zakon gibanja ili drugi Newtonov zakon mehanike

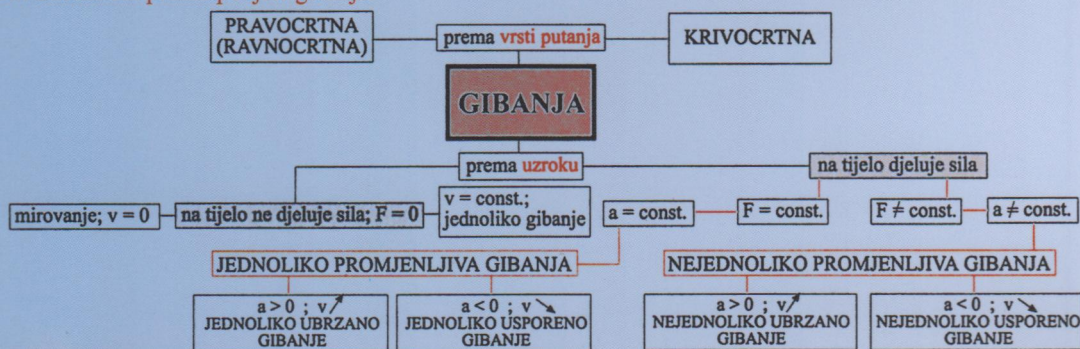
$$[F] = (1 \frac{m}{s^2}) \cdot (1 \text{ kg}) = 1 \text{ N (njutn)}$$

$$m = \frac{F}{a}$$

$$m \sim F$$

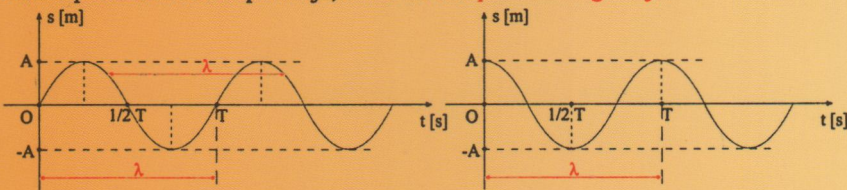


6.7. Shematski prikaz podjele gibanja:



7. VALOVI

Svako se sredstvo sastoji iz čestica koje međusobno povezuju elastične sile. Pobudi li se ma i jedna čestica sredstva na titranje (oscilaciju), ona će tu energiju titranja predavati okolnim česticama itd. Pri tome čestice prolaze kroz iste položaje, dakle izvode **periodično gibanje**.



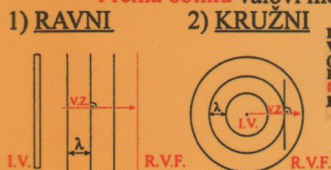
λ [lambda], grč. slovo
 λ = valna duljina (razmak od brijega do brijega vala ili od dolja do dolja); $[\lambda] = 1 \text{ m}$
 T = period titranja (vrijeme potrebno za izvođenje jednog titranja); $[T] = 1 \text{ s}$
 s = elongacija (udaljenost od ravnotežnog položaja)
 A = amplituda (najveća elongacija)

Prenošenje energije titranja čestice u nekom sredstvu je **VAL**. **Frekvencija** (f) ili **učestalost** je omjer broja titraja (n) i proteklog vremena (t): $f = n/t$

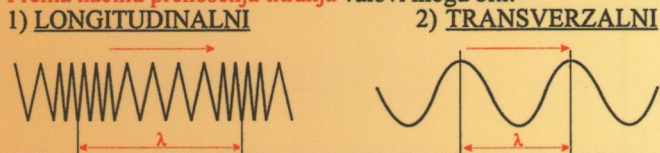
$$[f] = \frac{\text{neimenovani broj}}{1 \text{ s}} = 1 \text{ s}^{-1} = 1 \text{ Hz (herc)} \quad \left. \begin{matrix} n = 1 \\ t = T \end{matrix} \right\} \Rightarrow f = \frac{1}{T} \quad f \sim \frac{1}{T}$$

7.1. Vrste valova

Prema obliku valovi mogu biti:



Prema načinu prenošenja titranja valovi mogu biti:



Valne su zrake **okomite** na valnu frontu. Pomoću valne zrake i valne fronte opisuju se valno gibanje.

Čestice elastičnog sredstva **titraju u smjeru širenja vala**, a to se očituje **zgušnjavanjem i razrjeđivanjem**. Čestice elastičnog sredstva **titraju okomito na smjer širenja vala**, a to se očituje pojavom bregova i dolova.

7.2. Brzina vala (v)

$$\frac{\lambda}{v \cdot T}$$

$$s = \lambda \quad \left. \begin{array}{l} s = \lambda \\ t = T \end{array} \right\} \Rightarrow v = \frac{\lambda}{T} \Rightarrow \left\{ \begin{array}{l} v \sim \lambda \\ v \sim 1/T \\ \lambda = v \cdot T \\ \lambda \sim T \end{array} \right.$$

$$v = s/t$$

$$[v] = 1 \text{ m/s}$$

$$\frac{v}{\lambda \cdot f}$$

$$f = \frac{1}{T} \Rightarrow v = \lambda \cdot f$$

$$\left. \begin{array}{l} v \sim f \\ \lambda = \frac{v}{f} \end{array} \right\} \quad \left. \begin{array}{l} f \sim 1/\lambda \\ f = v/\lambda \end{array} \right.$$

Brzina širenja vala = valna duljina / period titranja

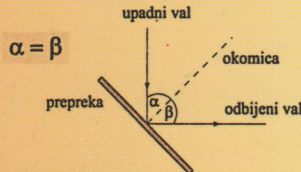
Brzina širenja vala = valna duljina × frekvencija

7.3. Odbijanje (refleksija) valova posljedica je dolaska vala do prepreke:

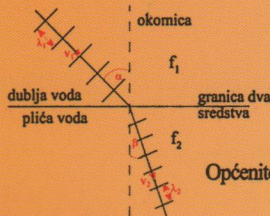
Pri odbijanju valova od prepreke upadni je kut jednak kutu odbijanja, a brzina i duljina vala ostaju nepromijenjene.

α [alfa] } grčka
 β [beta] } slova

α = upadni kut
 β = kut odbijanja



7.4. Lom (refrakcija) valova posljedica je dolaska valova na granicu dva različita sredstva:



$f_1 = f_2$
 $\lambda_1 > \lambda_2$
 $v_1 > v_2$
 $\alpha > \beta$

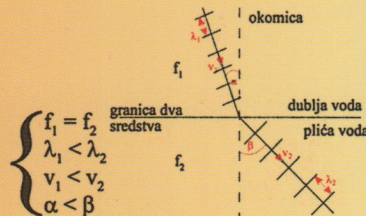
Pri prelasku iz dublje u pliću vodu val se lomi ka okomici tako da mu se brzina smanjuje, a frekvencija ostaje ista.

$$f = \text{const.}$$

$$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sim \frac{v_1}{v_2} \sim \frac{\alpha_1}{\beta_2}$$

Općenito:

Pri prelasku iz pliće u dublju vodu val se lomi od okomice tako da mu se brzina povećava, a frekvencija ostaje ista.

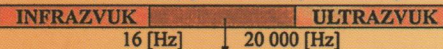


$$\left\{ \begin{array}{l} f_1 = f_2 \\ \lambda_1 < \lambda_2 \\ v_1 < v_2 \\ \alpha < \beta \end{array} \right.$$

7.5. Zvuk

Dio fizike koji proučava zvuk je **AKUSTIKA**. Tijelo koje titra je izvor zvuka, u zraku ili nekom drugom sredstvu, posredstvom čestica toga sredstva. Zvuk se ne može širiti samo u vakuumu (praznom prostoru), a u svakom sredstvu širi se kao **LONGITUDINALNI VAL**, dok se ponekad u čvrstim tijelima može širiti i kao **TRANSVERZALNI VAL**. Brzina zvuka različita je u različitim sredstvima: u željezu je oko 6000 [m/s], u vodi 1450 [m/s], u zraku od 333 do 334 [m/s], ovisno o temperaturi zraka. Sve zvukove dijelimo na:

1) **tonove** (nastaju pravilnim titranjem elastičnih tijela) i 2) **šumove** (nepravilnim titranjem). PAZVUK je nejasni zvuk, a JEKA (ODJEK) je zvuk koji se odbija od prepreke, a mi ga čujemo na velikoj udaljenosti od te prepreke.



Ljudsko uho može registrirati samo zvučne valove frekvencije od 16 do 20 000 [Hz], dok ostale ne može.

8. SVJETLOST

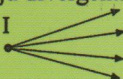
Optika je dio fizike koji proučava svjetlost, svjetlosne pojave i optičke instrumente.

8.1. Rasprostriranje svjetlosti

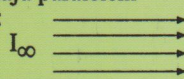
Izvori svjetlosti mogu biti: 1) prirodni (a - primarni, npr. Sunce; b - sekundarni - od njih se svjetlost odbija, npr. Mjesec) i 2) umjetni, npr. žarulja.

Svjetlost se rasprostire **PRAVOCRTNO**, a putanju svjetlosti opisujemo **ZRAKOM** odnosno **SNOPOM** svjetlosti (to je skup zraka). Izvori se svjetlosti (I) dijele na:

1) **točkaste** (daju divergentan snop svjetlosti): I

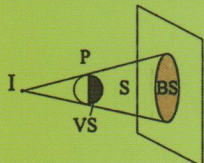
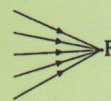


2) **vrlo udaljene** (daju paralelni snop svjetlosti): I_∞

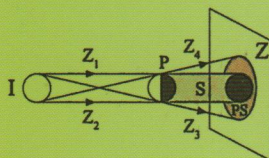


Osim paralelnog i divergentnog (rasipajućeg) snopa, postoji i konvergentan (sabirni) snop svjetlosnih zraka:

Zrake uređajima fokusiramo (sabiramo) u jednu točku F (fokus ili žarište). Svjetlost na svome putu stvara sjene, polusjene i potpune sjene (pomrčine).



I = točkasti izvor svjetlosti
P = predmet
VS = vlastita sjena
S = sjena
BS = bačena sjena predmeta
Z = zaslon



I = žarulja
S = potpuna sjena predmeta (ograničena zrakama Z₁ i Z₂)
PS = polusjena (ograničena zrakama Z₃ i Z₄)

7.2. Nastanak svjetlosti

Elektroni u vanjskim "luskama" (elektronskog omotača atoma) primanjem energije dovode atom u tzv. **POBUĐENO STANJE**. Da bi se atom vratio u "normalno" stanje, on emitira (zrači) maleni "paketić" svjetlosti (tzv. **KVANT** svjetlosne energije ili **FOTON**). "Rijeka" fotona čini **svjetlost**

8.3. Brzina svjetlosti

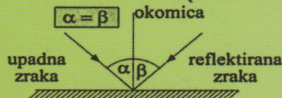
Najveća brzina u prirodi je brzina svjetlosti i u vakuumu iznosi približno: $c \approx 300\,000$ [km/s]. Koliko je brzina širenja svjetlosti u nekom optičkom sredstvu veća, to ona ima manju optičku gustoću.

8.4. Osnovni zakoni geometrijske optike

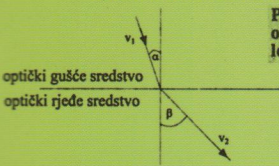
1) ZAKON PRAVOCRTNOG RASPROSTIRANJA SVJETLOSTI

2) ZAKON NEOVISNOSTI SNOPOVA SVJETLOSTI: jedan snop svjetlosnih zraka ne ometa drugi snop prolazeći njime.

3) ZAKON ODBIJANJA (REFLEKSIJE): upadni i reflektirani kut su jednaki, a zajedno sa (zamišljenom) okomicom leže u ravnini okomitoj na ravno zrcalo. Na hrpavim površinama svjetlost se odbija u različitim smjerovima (difuzno).

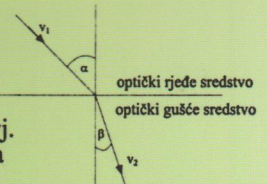


4) ZAKON LOMA (REFRAKCIJE):



Pri prelasku iz opt. gušćeg u opt. rjeđe sredstvo, svj. zraka lomi se od okomice: $\alpha < \beta$.

Pri prelasku iz opt. rjeđeg u opt. gušće sredstvo, svj. zraka lomi se ka okomici: $\alpha > \beta$.

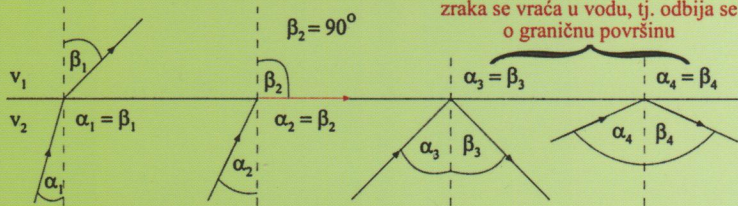


Zakon loma svjetlosti: $\frac{\alpha}{\beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$

n = tzv. indeks loma svj. za par opt. sredstava

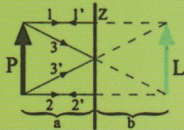
8.5. Potpuno odbijanje svjetlosti (totalna refleksija) je pojava pri kojoj svjetlost prelazi iz opt. gušćeg (v_1) u opt. rjeđe sredstvo (v_2). Pri tome se svjetlost na graničnoj površini ta dva sredstva potpuno odbija i vraća u prvo sredstvo: $v_1 < v_2$:

α_c je tzv. GRANIČNI KUT totalne refleksije (za vodu i zrak je $\alpha_c = 42^\circ$). Za svaki par opt. sredstava granični kut mijenja.



8.6. Zrcala - Svaka uglačana ravna površina tijela djeluje kao ZRCALO.

8.6.1. Ravna zrcala:

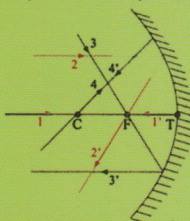


Z = zrcalo
P = predmet
L = lik (slika)

a = udaljenost P od Z
 b = udaljenost L od Z
 $a = b$

L = je prividna, nestvarna, virtualna ili imaginarna slika

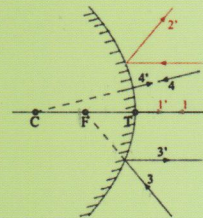
8.6.2. Sferna zrcala su zrcala koja su dijelovi sfere (kugline plohe). Zrcala mogu biti udubljena (konkavna) ili ispupčena (konveksna), a karakteristične zrake su:



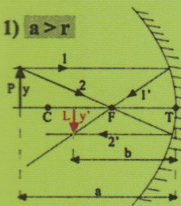
C = središte (centar) zakrivljenosti
T = tjeme zrcala
CT = optička os
F = žarište (fokus)
 f = fokusna duljina
 r = polupjerr zakrivljenosti

$r = |CT|$
 $f = |FT|$

$f = \frac{1}{2} r$

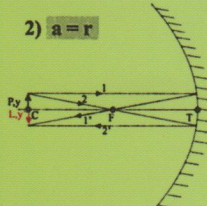


8.6.3. Konkavno zrcalo:



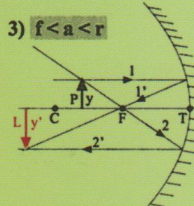
$a > b$
 $y > y'$
 L = realna slika
jednadžba ovog zrcala:

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



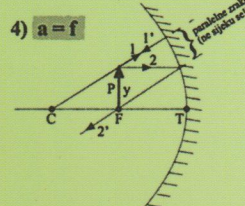
$a = b$
 $y = y'$
 L = realna slika
jednadžba ovog zrcala:

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

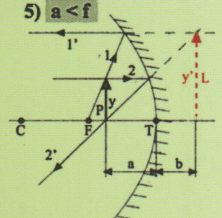


$a < b$
 $y < y'$
 L = realna slika
jednadžba ovog zrcala:

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



L_∞ (L je u beskonačnosti)
 b_∞



$y' < y$
 $b < 0$
 L = virtualna slika
jednadžba ovog zrcala:

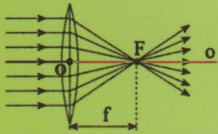
$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$

Linearno povećanje (m) jednako je omjeru veličine slike (y') i veličine predmeta (y):

$$m = \frac{y'}{y} \Rightarrow m = -\frac{b}{a} \quad \text{Za } \begin{cases} m > 0 \Rightarrow \text{uspravna slika L} \\ m < 0 \Rightarrow \text{obrnuta slika L} \end{cases}$$

8.7. Tanke leće su prozirna tijela omeđena dvjema plohama od kojih je barem jedna zakrivljena. Vrste leća:

1) **sabirne (konvergentne)**



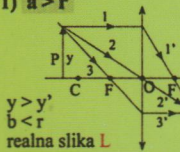
simbolički:



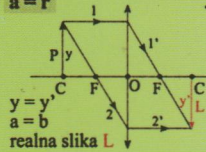
o = optička os leće
O = optičko središte
F = fokus (žarište)
f = žarišna (fokalna) dužina

8.7.1. Konvergentne leće:

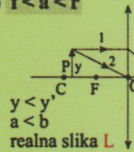
1) $a > r$



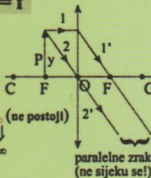
2) $a = r$



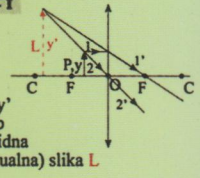
3) $f < a < r$



4) $a = f$

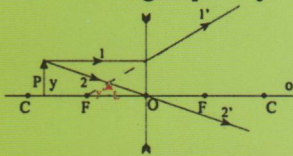


5) $a < f$



8.7.2. Divergentne leće:

Za svaki mogući položaj P (s obzirom na C, F i O), L je uvijek između F i O:



$a > b$
 $y > y'$
prividna (virtualna) slika L

8.7.3. Jednadžba tanke leće:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad \text{za divergentnu leću: } f < 0$$

$$\text{za imaginarnu sliku: } b < 0$$

8.7.4. Jakost leće (j) recipročna je vrijednost fokalne dužine:

$$j = \frac{1}{f} \quad [j] = \frac{1}{m} = 1 \text{ m}^{-1} = 1 \text{ dpt [dioptrija]} \quad \text{za konvergentne leće: } j > 0$$

$$\text{za divergentne leće: } j < 0.$$

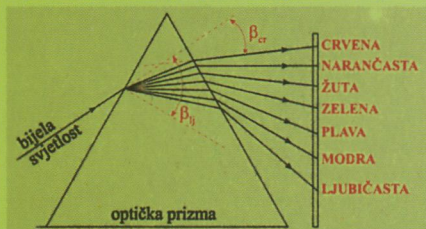
8.7.5. Povećanje (m):

$$m = \frac{y'}{y} = -\frac{b}{a} \quad \text{za } m > 0 \Rightarrow \text{uspravna slika L}$$

$$\text{za } m < 0 \Rightarrow \text{obrnuta slika L}$$

8.8. Rasap (dispersija) svjetlosti

Sunčeva (bijela) svjetlost složena je od svjetlosnih valova različitih valnih dužina i frekvencija. Snop bijele svjetlosti propušten optičkom (staklenom) prizmom rasipa se u tzv. **SPEKTAR BIJELE SVJETLOSTI**.



$$c = \lambda \cdot f$$

$$\lambda = \frac{c}{f}$$

$$f = \frac{c}{\lambda}$$

Crvena se svjetlost najmanje otklanja od upadnog smjera, ljubičasta najviše: $\beta_{cr} < \beta_{lj}$. Zato se ljubičasta svjetlost najviše raspršuje, a crvena najmanje. Naše oko zamjećuje svjetlost valnih dužina od $7,5 \times 10^{-7}$ [m] do 4×10^{-7} [m], odnosno frekvencija od 4×10^{14} [Hz] do $7,5 \times 10^{14}$ [Hz]:

$$\lambda_{cr} = \lambda_{max} \quad f_{cr} = f_{min}$$

$$\lambda_{lj} = \lambda_{min} \quad f_{lj} = f_{max}$$

Valna dužina obrnuto je srazmjerna kutu loma svjetlosne zrake:

$$\lambda \sim \frac{1}{\beta}$$

Svjetlost je elektromagnetski val i brzina joj je najveća u vakuumu ($c \approx 300\,000$ [km/h]) i nešto manja u drugim sredstvima (v):

$$v < c$$

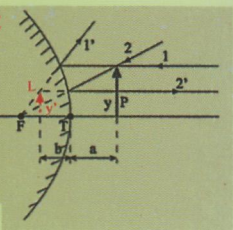
Svjetlost kao energija elektromagnetskog valnog spektra zauzima neznatni dio tog spektra:

	gama - zrake
	tvrdi meko } rtg - zračenje
	ultraljubičaste zrake $\lambda_{lj} = 4 \times 10^{-7}$ [m] $f_{lj} = 7,5 \times 10^{14}$ [Hz]
	vidljiva (bijela) svjetlost
	infracrvene (toplinske) zrake $\lambda_{cr} = 7,5 \times 10^{-7}$ [m] $f_{cr} = 4 \times 10^{14}$ [Hz]
	mikrovalovi
	ultrakratki kratki srednji dugi } radio valovi
	izmjenična struja tonske frekvencije električna energija

8.6.4. Konveksno zrcalo:

$y > y'$
 $b < 0$
 $f < 0$
virtualna slika L
jednadžba ovog zrcala:

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



FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	JEDINICA MJERE	OZNAKA	FORMULE
vrijeme	t	sekunda	s	$t = s/v$; $t = v/a$
količina naboja	Q	kulon (amper - sekunda)	C (As)	$Q = n e$ $Q = \Delta E/\varphi$ $Q = I t$ $Q = \Delta E/U = W/U$
električna energija	E, W	džul	J	$\Delta E = \Delta \varphi Q$ $\Delta E = U Q$ $\Delta E = U I t$
rad električne struje	W	džul (volt - amper - sekunda)	J (VAs)	$W = \Delta E$; $W = U Q$ $W = U I t$ $W = P t$ $W = I^2 R t$; $W = (U^2 t)/R$
snaga električne struje	P	vat (volt - amper) kilovat - sat	W (VA) kWh	$P = W/t$ $P = U I$ $P = I^2 R$ $P = U^2/R$
napon	U	volt	V	$U = \Delta \varphi$ $U = \Delta E/(I t)$ $U = \Delta E/Q$ $U = W/(I t) = W/Q$ $U = P/I$ $U^2 = (W R)/t$; $U^2 = P R$
pad napona	U	volt	V	$U = I R$
električni potencijal	φ	volt	V	$\Delta \varphi = U$; $\Delta \varphi = \Delta E/Q$
jakost struje	I	amper	A	$I = Q/t$; $I = U/R$ $I = \Delta E/(U t) = W/(U t)$ $I = P/U$ $I^2 = W/(R t)$ $I^2 = P/R$
električni otpor	R	om	Ω	$R = U/I$ $R = \rho (l/S)$ $R = W/(I^2 t)$; $R = (U^2 t)/W$ $R = P/I^2$; $R = U^2/P$
otpornost	ρ	om - metar (om - kvadratni milimetar po metru)	$\frac{\Omega m}{m}$	$\rho = (R S)/l$
spajanje trošila (otpornika)	serijski	$U = U_1 + U_2$ $I = I_1 = I_2$ $R = R_1 + R_2$ (I = const.)		
	paralelno	$U = U_1 = U_2$ $I = I_1 + I_2$ $1/R = 1/R_1 + 1/R_2$ (U = const.)		
transformator	$E_1 = E_2$ $P_1 = P_2$ $U_1 I_1 = U_2 I_2$		$I_1 : I_2 = N_2 : N_1$ $U_1 : U_2 = N_1 : N_2$ $U_1 : U_2 = I_2 : I_1$ (N = broj namotaja)	
put	s	metar	m	$s = v t$

FIZIKALNA VELIČINA	OZNAKA	JEDINICA MJERE	OZNAKA	FORMULE
brzina	v	metar u sekundi kilometar na sat	m/s km/h	$v = s/t$; $v = a t$
masa	m	kilogram	kg	$m = F/a$
akceleracija (ubrzanje)	a	metar po (u) sekundi na kvadrat	m/s ²	$a = v/t$; $a = F/m$
sila	F	njutn	N	$F = m a$
period titranja	T	sekunda	s	$T = 1/f$; $T = \lambda/v$
valna duljina	λ (lambda)	metar	m	$\lambda = v T$ $\lambda = v/f$; $\lambda = c/f$
frekvencija (učestalost)	f	herc	Hz	$f = n/t$ (n = broj titraja) $f = 1/T$ $f = v/\lambda$; $f = c/\lambda$
brzina širenja vala	v	metar u sekundi	m/s	$v = \lambda/T$; $v = \lambda f$
brzina širenja svjetlosti	c	kilometar u sekundi	km/s	$c = \lambda f$
odbijanje valova	$\alpha = \beta$	$\alpha =$ upadni kut $\beta =$ odbijeni kut		
lom valova	$f = \text{const.} \Rightarrow$	$\frac{\lambda_1}{\lambda_2} \sim \frac{v_1}{v_2} \sim \frac{\alpha}{\beta}$		
lom svjetlosti	$\frac{\alpha}{\beta} = \frac{v_1}{v_2} = n$	(n = indeks loma dva optička sredstva)		
ravna zrcala	$a = b$	$a =$ udaljenost P (predmeta) od zrcala $b =$ udaljenost L (lika slike) od zrcala		
sferna zrcala	$f = \frac{r}{2}$	$r =$ polumjer zakrivljenosti sfernog zrcala $f =$ žarišna (fokalna) daljina (udaljenost)		
	$m = \frac{y'}{y}$	$m =$ linearno povećanje	$m > 0 \Rightarrow$ uspravni lik L $m < 0 \Rightarrow$ obrnuti lik L	
	$m = -\frac{b}{a}$	$y =$ veličina P $y' =$ veličina L		
	$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$	jednadžba <u>KONKAVNIH</u> sfernih zrcala		
$b < 0 \Rightarrow \frac{1}{f} = \frac{1}{a} - \frac{1}{b}$	(virtualni lik L)			
tanke leće	$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b}$	jednadžba <u>TANKE LEĆE</u>		
	$f < 0 \Rightarrow$	divergentne leće		
	$b < 0 \Rightarrow$	imaginarni lik L		
disperzija (rasap) svjetlosti	$j = \frac{1}{f}$	$j =$ <u>JAKOST LEĆE</u>		
	$[j] = 1/m = 1m^{-1} = 1 \text{ dpt}$	(dioptriya)		
disperzija (rasap) svjetlosti	$\lambda \sim \frac{1}{\beta}$	(valna duljina obrnuto je srazmjerna kutu loma)		