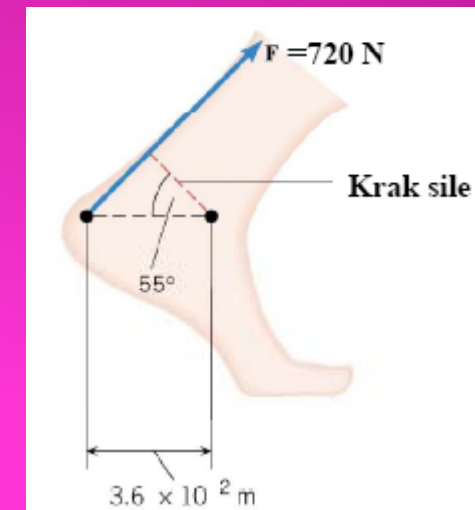
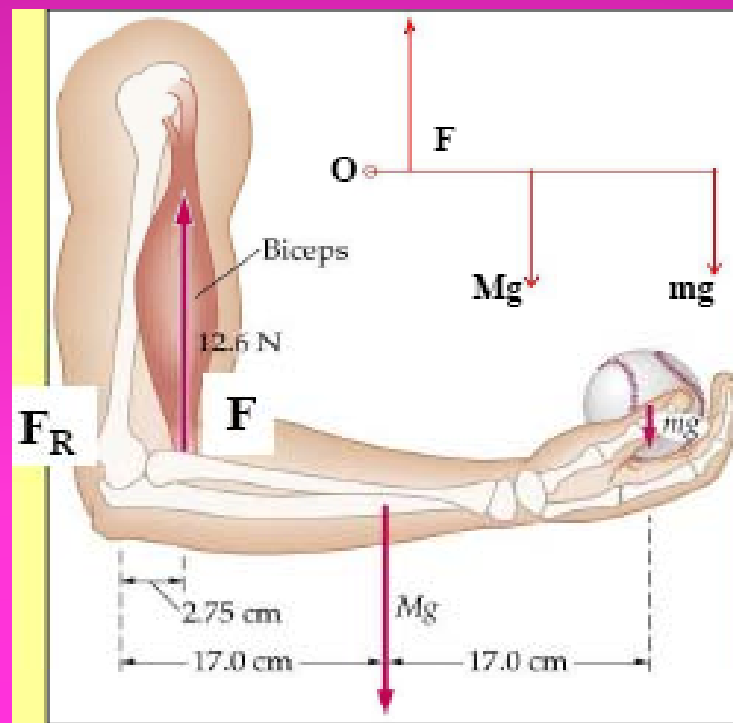




# BIOMEHANIKA

## SILA, MOMENT SILE, POLUGE



## SADRŽAJ

- POJAM SILE
- MOMENT SILE
- POLUGE

## SILA

Šta je “sila” ??

**Sila je mjera interakcije između dva tijela.**

Klasifikacija sila

1. Kontaktne sile (sile koje djeluju u kontaktu dva ili više tijela)

2. Nekontaktne sile (sile koje djeluju na daljinu)

Karakteristike sila

➤ **Sila je vektorska veličina**

➤ **Sile mogu izazvati deformaciju tijela**

➤ **Sile tijelu mogu dati ubrzanje**

➤ **Sile uvijek djeluju u paru**

➤ **Intenzitet sile je mjerljiva veličina !!!! (na osnovu 2 i 3 osobine)**

➤ **Sila se mjeri u njutnima:**  $\frac{kg \cdot m}{s^2} = 1N$  (*Newton*)

➤ **Učinak djelovanja sile na tijelo mjerimo promjenom energije tijela.**

## NEWTONOVI ZAKONI MEHANIKE

Oblast fizike koja proučava i opisuje interakcije između tijela naziva se dinamika.

Temelje dinamike je uspostavio Isaac Newton (1642.-1727.)  
***pojam: push-pull (povuci-potegni) !!!***

**Newtonovi zakoni:**

**I zakon inercije**

**II zakon sile**

**III zakon akcije i reakcije**

## I Newtonov zakon

*Tijelo je u translacijskoj ravnoteži ako je rezultanta sila koja djeluje na njega jednaka nuli:*

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = 0$$

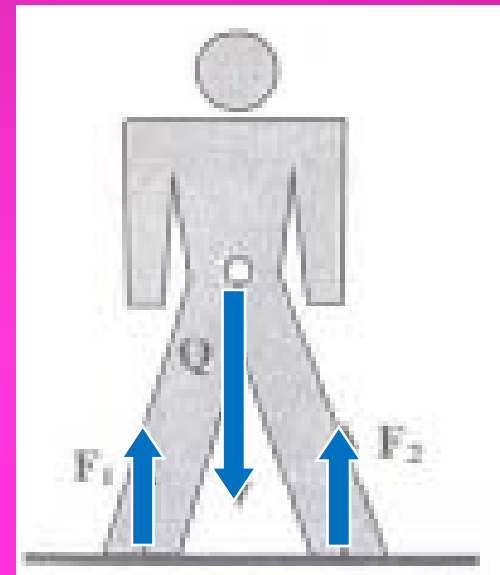
*Tijelo tada miruje ili se kreće jednoliko po pravcu.*

***Pogrešna je interpretacija da tijelo miruje zato što na njega ne djeluje nikakva sila !!!!!!!!!!!***

***Na svako tijelo djeluje gravitacijska sila-težina tijela!!!!***

**Matematički zapis prvog Newtonovog zakona**

$$F_R=0, v=\text{const}, a=0$$



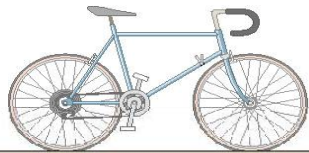
## Inercija i inercijalni sistemi



Penny  
(0.003 kg)



Book  
(2 kg)



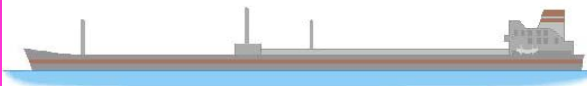
Bicycle  
(15 kg)



Car  
(2000 kg)



Jetliner  
( $1.2 \times 10^5$  kg)



Supertanker  
( $1.5 \times 10^8$  kg)

Inercija je svojstvo tijela da nastoji zadržati stanje mirovanja ili jednolikog pravolinijskog kretanja.

Da bi se inercija tijela mogla kvantitativno izraziti, uvodi se pojam mase tijela.

SI jedinica mase: 1 kg

Sistem referencije u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon zove se inercijalni referentni sistem.

Zemlja je dobar inercijalni referentni sistem.

## Impuls tijela

Koristeći već poznate pojmove mase i brzine, u dinamici se uvodi još jedan pojam, fizička veličina koju zovemo impuls.

Impuls tijela jednak je proizvodu njegove mase i njegove brzine:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

SI jedinica: kg m/s

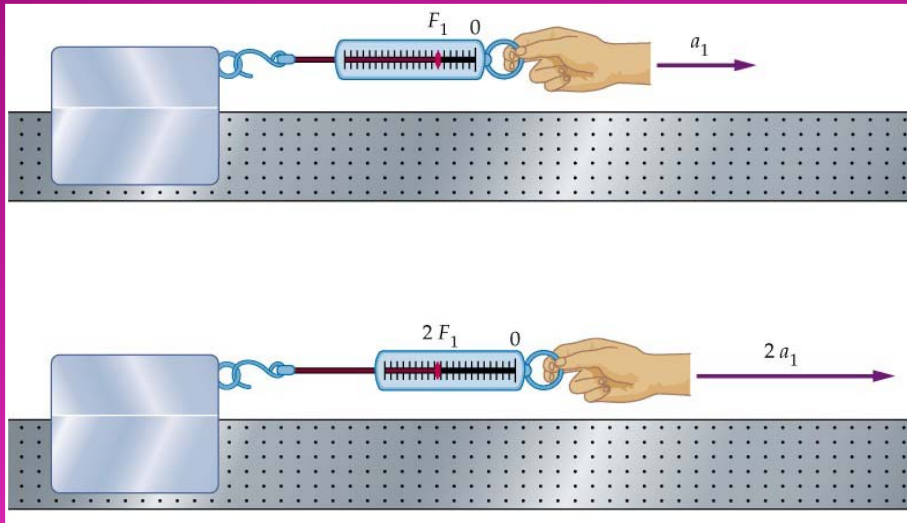
$$\vec{F}_R = 0, \vec{p} = m \cdot \vec{v} = \text{const}$$

- Impuls ima smjer brzine čestice.
- Korištenjem impulsa, prvi Newtonov zakon može se iskazati na sljedeći način:

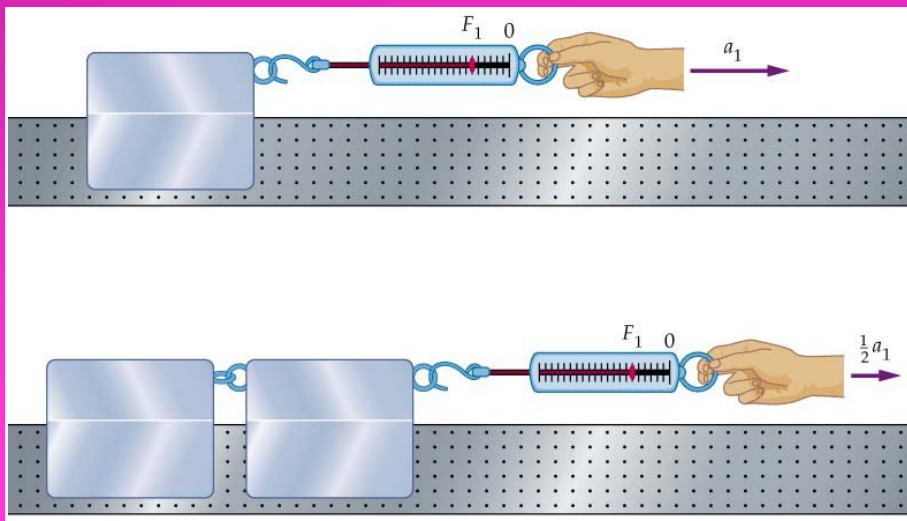
***Kada je vanjska sila koja djeluje na tijelo jednaka nuli, impuls tijela ostaje sačuvan. (zakon o održanju impulsa)***

## II Newtonov zakon

$$a \sim F$$



$$a \sim \frac{1}{m}$$



Zbir svih sila (rezultujuća sila) koje djeluju na tijelo, daju tom tijelu njegovo ubrzanje!!

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m} \text{ ili } \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

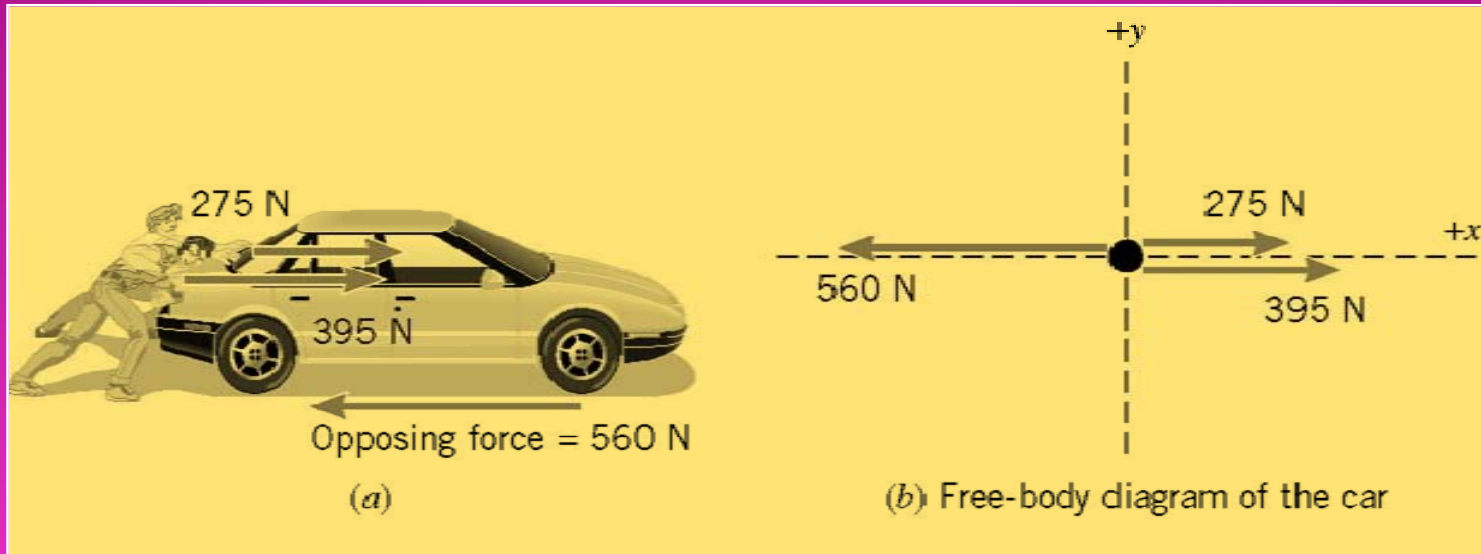
Ubrzanje ima smjer vanjske rezultirajuće sile.

Sila ima iznos od 1 N ako tijelu mase 1 kg daje ubrzanje od 1 m/s<sup>2</sup>.



## Primjer

Dva čovjeka guraju automobil. Prvi djeluje silom od 275 N a drugi silom od 395 N u istom smjeru. Sila koja se suprotstavlja guranju iznosa 560 N i djeluje u suprotnom smjeru. Ako je masa auta 1850 kg, odredi ubrzanje automobila



$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 = (+275N) + (+395N) + (-560N)$$

$$F_R = +110N$$

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{+110N}{1850kg} = +0.059 \frac{m}{s^2}$$

Pozitivni predznak znači da ubrzanje ima smjer +x ose, dakle isti kao i sile kojima dva čovjeka guraju automobil.

### III Newtonov zakon

*Dok prva dva Newtonova zakona razmatraju djelovanje sile na jedno tijelo, III Newtonov zakon opisuje međudjelovanje dva tijela.*



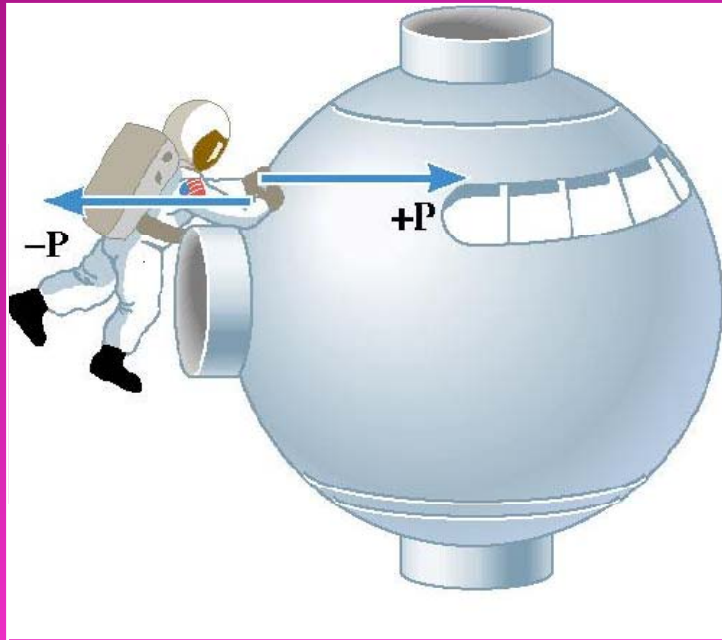
***Dva tijela djeluju jedno na drugo silama koje su iste po intenzitetu i pravcu a suprotnog su smjera.***

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

***Jednu silu zovemo sila akcije a drugu sila reakcije. One uvijek imaju hvatišta u dva različita tijela !!!!***

## Primjer

Astronaut mase  $m_a=92$  kilograma djeluje silom  $P=+36\text{N}$  na svemirsku sondu mase  $m_s=11000$  kg. Odrediti ubrzanje astronauta i sonde.



Po trećem Newtonovom zakonu, sonda djeluje na astronauta silom jednakog intenziteta a suprotnog Smjera:

$$P = - 36 \text{ N.}$$

Premda su sile akcije i reakcije po iznosu jednake, one, po drugom Newtonovom zakonu, tijelima na koja djeluju ne daju isto ubrzanje. !!

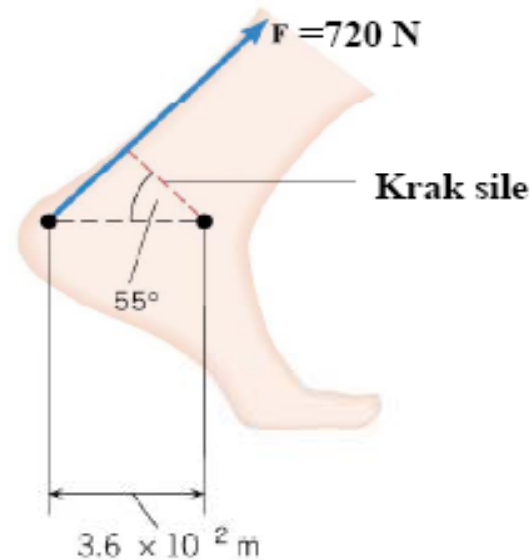
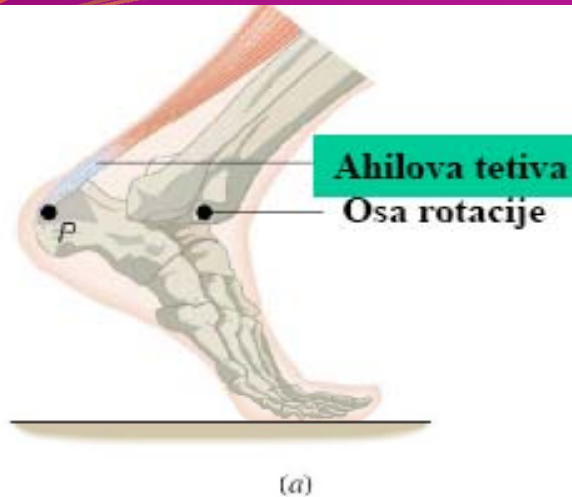
**Ubrzanje sonde je:**

$$a_s = \frac{P}{m_s} = \frac{+36\text{N}}{11000\text{kg}} = +0.0033\text{m} / \text{s}^2$$

**Na isti način se računa ubrzanje astronauta:**

$$a_a = \frac{-P}{m_a} = \frac{-36\text{N}}{92\text{kg}} = -0.39\text{m} / \text{s}^2$$

## Moment sile



Moment sile u sebi uključuje obje veličine od kojih zavisi rotaciono kretanje krutog tijela - silu i krak sile.

Moment sile = (intenzitet sile) x (krak sile)

$$M = F \cdot l$$

Moment sile je pozitivan ako sila nastoji rotirati tijelo u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu.

Moment sile je negativan ako sila nastoji rotirati tijelo u smjeru kazaljke na satu.

SI jedinica: Newton · metar = Nm

### Primjer: Nožni zglob ( $F=720 \text{ N}$ )

$$l = d \cdot \cos \theta$$

$$l = 3.6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \cos 55^\circ$$

$$l = 2.06 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M = F \cdot l$$

$$M = -720 \text{ N} \cdot 2.06 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M = -14.87 \text{ Nm}$$

## Kruto tijelo u ravnoteži

Šta nazivamo krutim tijelom??

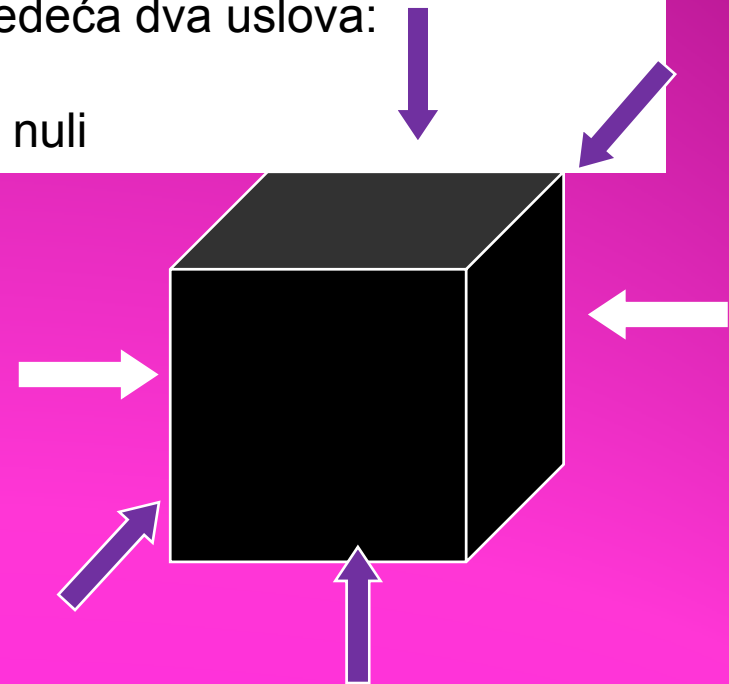
Tijela koja pod dejstvom vanjskih sila ne mijenjaju formu nazivaju se *kruta tijela*.

Za kruto tijelo kažemo da je u stanju ravnoteže ako se ne mijenja niti njegova translatorna brzina niti se mijenja njegova ugaona brzina rotacije.

U stanju ravnoteže moraju biti ispunjena sljedeća dva uslova:

- ✓ Suma svih vanjskih sila jednaka je nuli
- ✓ Suma momenata vanjskih sila jednaka je nuli

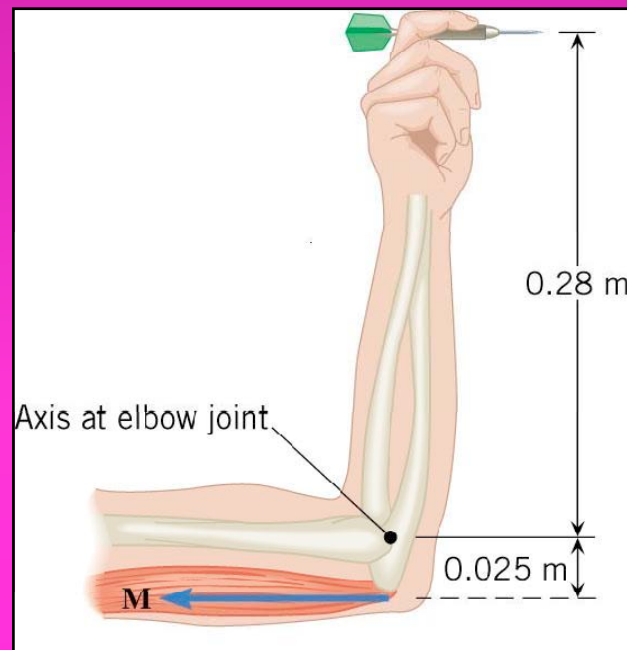
$$\sum \vec{F}_{vanjske} = 0, \quad \sum F_{x,vanjske} = 0, \quad \sum F_{y,vanjske} = 0$$
$$\sum M = 0$$





# BIOMEHANIKA

## Poluge



➤ Definicija poluge

➤ Klasifikacija prostih poluga

poluge I vrste

poluge II vrste

poluge III vrste

poluge sile i poluge brzine

➤ Aplikacija poluga na lokomotorni sistem čovjeka

Donja vilica kao jednakokraka poluga

Most



## Poluge

Šta nazivamo polugom ??

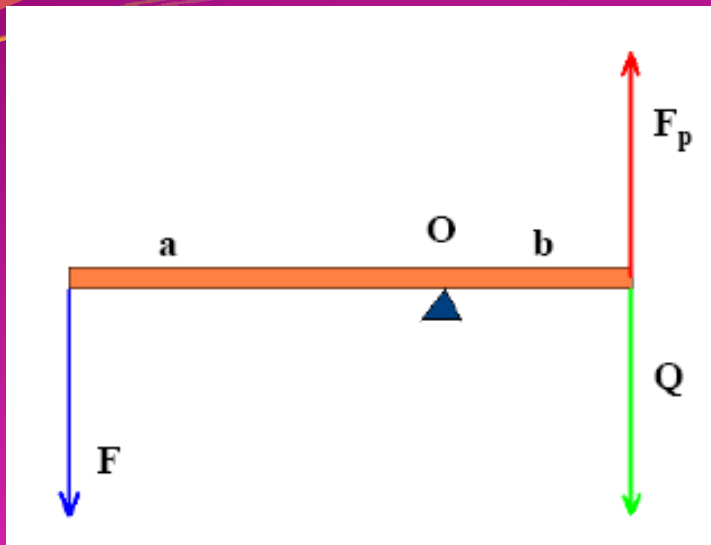
***Poluga je kruto tijelo koje se može okretati oko ose ili oslonca ako na njega djeluje sila.***

U praktičnoj primjeni na polugu uvijek djeluju dvije sile.

### ***Poluge djelimo na dva načina***

- Prema uzajamnom položaju napadnih tačaka sila
  - Poluge I, II i III vrste
- Prema vrijednosti koeficijenta prijenosa "k"
  - Poluge sile
  - Poluge brzine





$F$  = dejstvujuća sila  
 $F_p$  = preinačena sila može se razlikovati od sile  $F$  po smjeru i iznosu  
 $Q$  = sila otpora ili tereta  $Q = -F_p$

Stanje rotacijske ravnoteže će se postići kada je zbir svih momenata sila s obzirom na tačku O jednak nuli:

$$M_F + M_Q = 0$$

a kako je

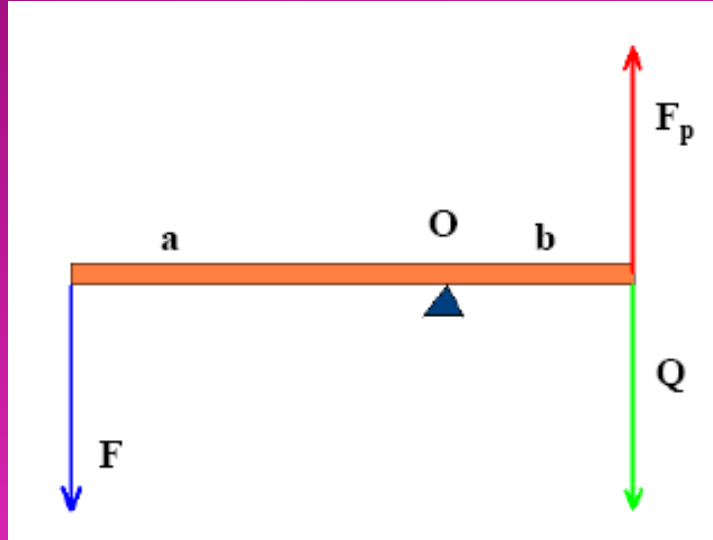
$$M_F = F a \text{ i } M_Q = Q b$$

Arhimedov zakon proste poluge.

$$F \cdot a + (-Q \cdot b) = 0$$

$$F \cdot a = Q \cdot b$$

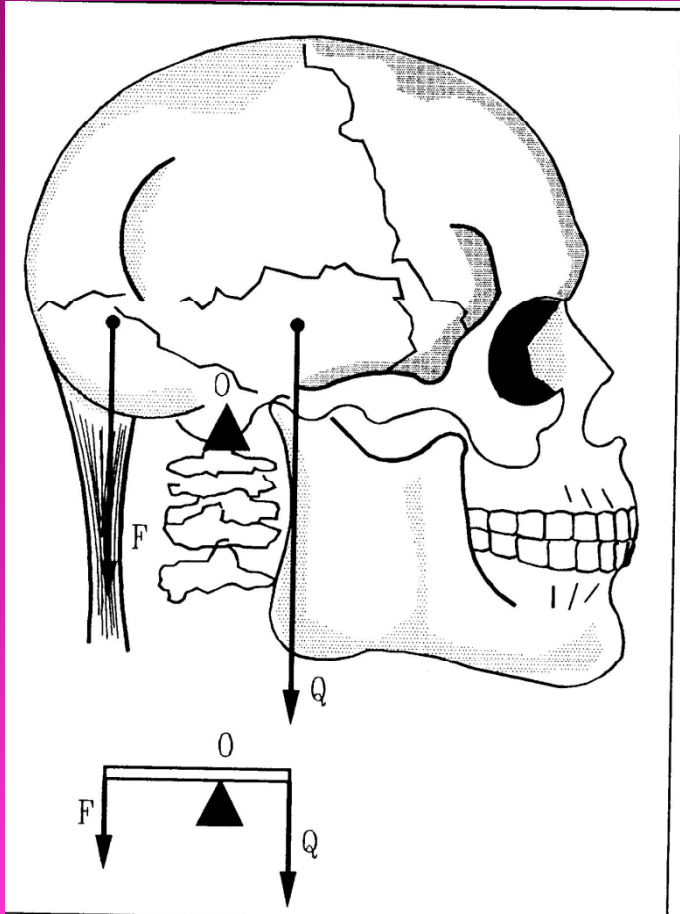
Koeficijent prijenosa poluge. Koeficijent prijenosa ( mehanička prednost) poluge definisan je kao količnik iznosa prenesene sile i dejstvujuće sile.



$$k = \frac{F_p}{F} = \frac{Q}{F} = \frac{a}{b}, \quad F_p = k \cdot F$$

- Kada je  $k > 1$  ( $a > b$ ) prenesena sila je po iznosu veća od dejstvujuće sile
- Kada je  $k < 1$  ( $a < b$ ) prenesena sila je po iznosu manja od dejstvujuće sile

## Poluge I vrste



Osobine:

- Dvokrake poluge
- Imaju oslonac između aktivne sile i tereta.
- Ako su krakovi sila isti, ravnokrake poluge.
- U općem slučaju su raznokrake poluge.

Glava čovjeka u normalnom položaju.

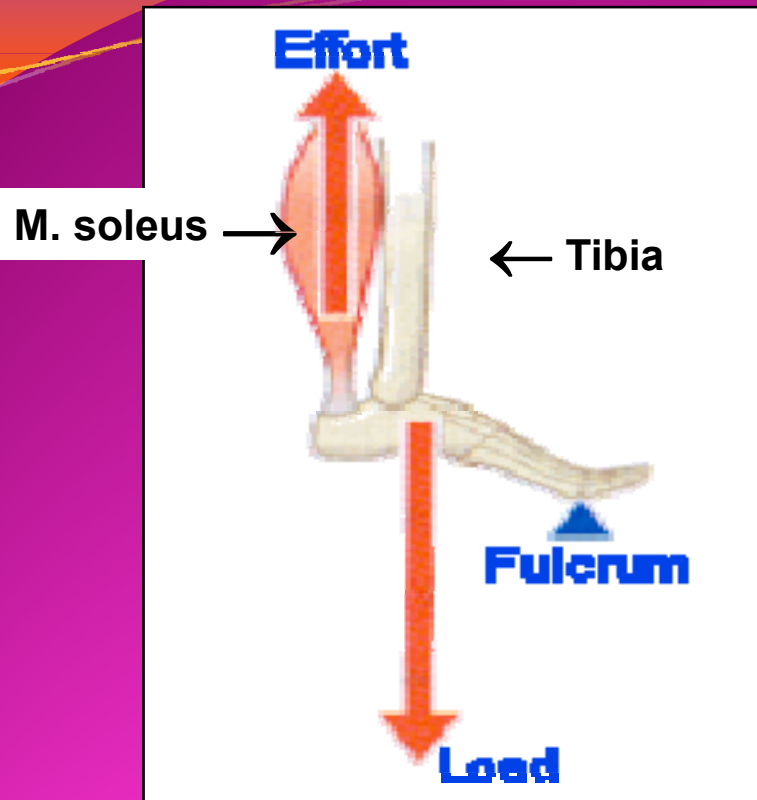
**Aktivna sila**- kontrakcija vratnih mišića pripojenih za potiljačnu kost glave.

**Teret**- Težina glave

**Oslonac**- na spoju lobanje i prvog vratnog pršljena.

**Veliki coef. prijenosa. Dovoljna je nekoliko puta manja sila  $F$  od sile  $Q$  da bi glava bila u ravnoteži.**

## Poluge II vrste

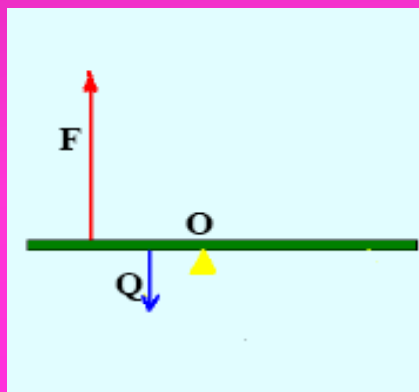


### Osobine

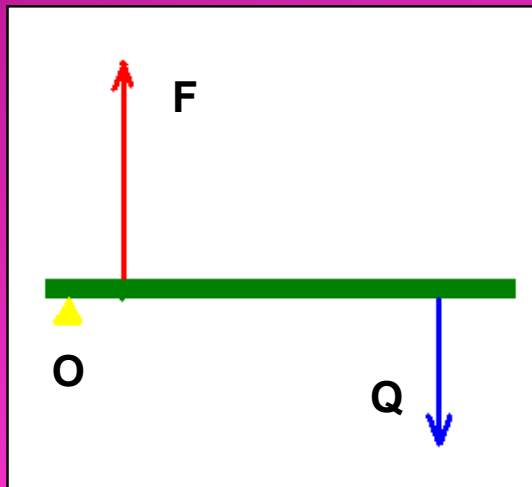
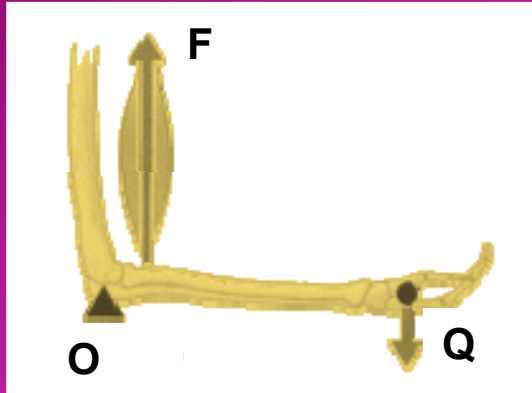
- ❑ Napadna tačka tereta  $Q$  nalazi se između oslonca i napadne tačke aktivne sile
- ❑ Jednokraka poluga.

### Stopalo pri uzdizanju na prste

- Aktivna sila potiče od potkoljениčnih mišića.
- Pravac djelovanja sile  $Q$  ( pola težine čovjeka) prolazi kroz tibiju i skočni zglob.
- Veliki koeficijent prijenosa pa relativno slabi mišići podižu čitavo tijelo



## Poluge III vrste



### Osobine

- ❑ Napadna tačka aktivne sile  $F$  nalazi se između oslonca i napadne tačke tereta  $Q$
- ❑ Sila  $F$  je značajno veća od sile  $Q$ .
- ❑ Jednokraka poluga
- ❑ Najčešća vrsta poluga u ljudskom tijelu.

Podlaktica-Oslonac u centru zgloba lakta.  
Aktivna sila  $F$  potiče od kontrakcije bicepsa.  
Teret  $Q$  može biti težina predmeta u šaci.

### Primjer.

Koeficijent prijenosa poluge podlaktice je  $1/10$ .  
Biceps djeluje silom od  $2830\text{N}$ .  
Odrediti ukupnu silu tereta  $Q$ .

$$k = \frac{Q}{F} \Rightarrow Q = k \cdot F = 0.1 \cdot 2830\text{N} = 283\text{N}$$

## Poluga sile

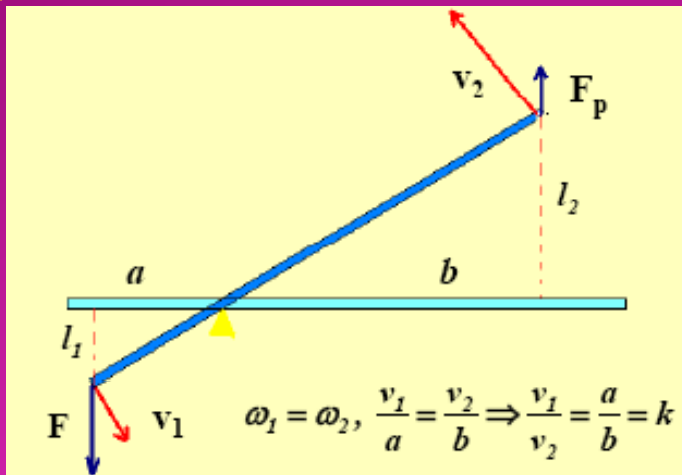
- ❑ Ako je koeficijent prijenosa poluge veći od 1,  $k > 1$ , kažemo da je to poluga sile.
- ❑ Ako je koeficijent prijenosa poluge manji od 1,  $k < 1$ , kažemo da je to poluga brzine
- ❑ Poluge druge vrste su poluge sile, a poluge treće vrste poluge brzine.
- ❑ Poluge prve vrste mogu biti kako poluge sile tako i poluge brzine



Poluga sile transformira aktivnu, djelujuću, silu u prenesenu silu  $F_p$  većeg intenziteta.

Zubarska kliješta. Sistem od dvije poluge sa istim osloncem. Krak aktivne sile znatno duži od kraka tereta.

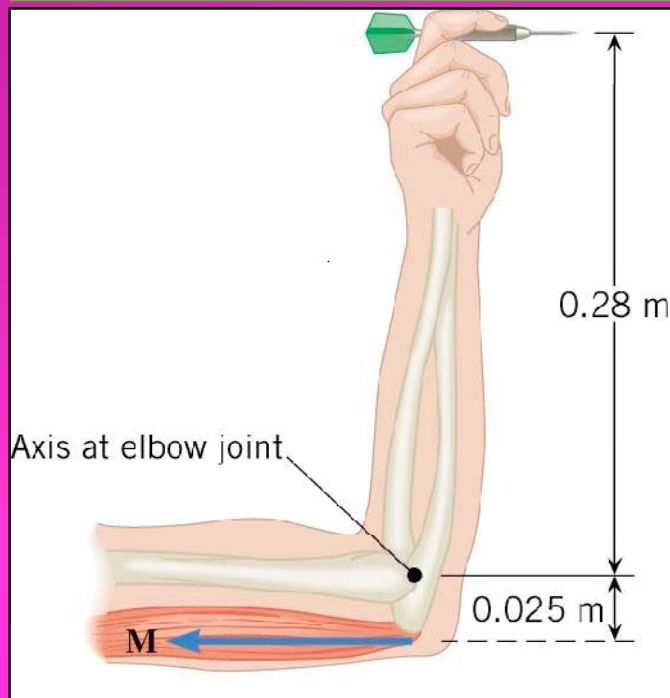
## Poluge brzine



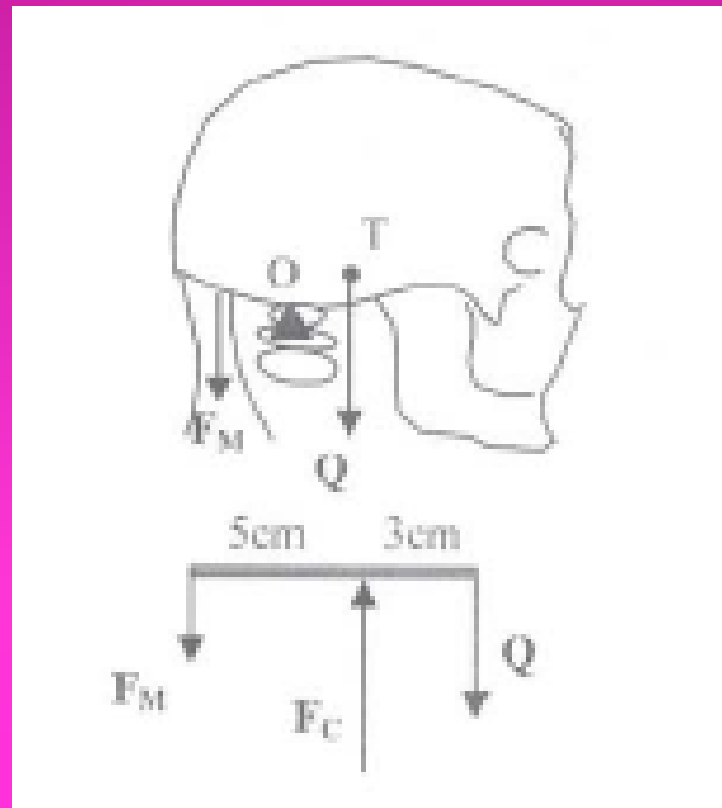
$$l_1 : l_2 = a : b, \quad \frac{l_1}{t} : \frac{l_2}{t} = a : b, \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{a}{b} = k$$

$$v_2 = \frac{v_1}{k}$$

**Kako je  $k < 1$  za poluge brzine, to je brzina  $V_2$  veća od brzine  $v_1$ .**

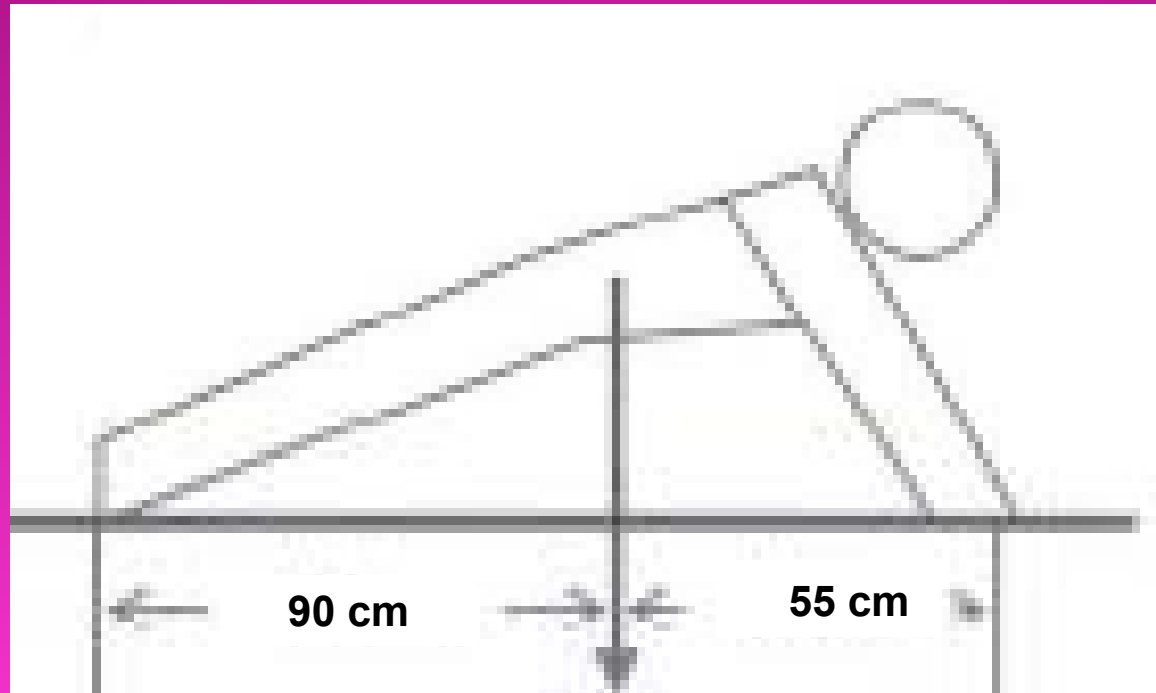


Da bi čovjek držao glavu u vertikalnom položaju ravnotežu težini glave održava sila vratnog mišića  $F_M$ . Odrediti veličinu ove sile za slučaj kada je masa glave 3 kg, kao i silu reakcije prvog cervikalnog pršljena  $F_C$ . Rastojanje od napadne tačke težine glave do tačke oslonca na prvom cervikalnom pršljenu iznosi 3 cm dok je rastojanje od tačke oslonca do napadne tačke sile vratnog mišića 5 cm.

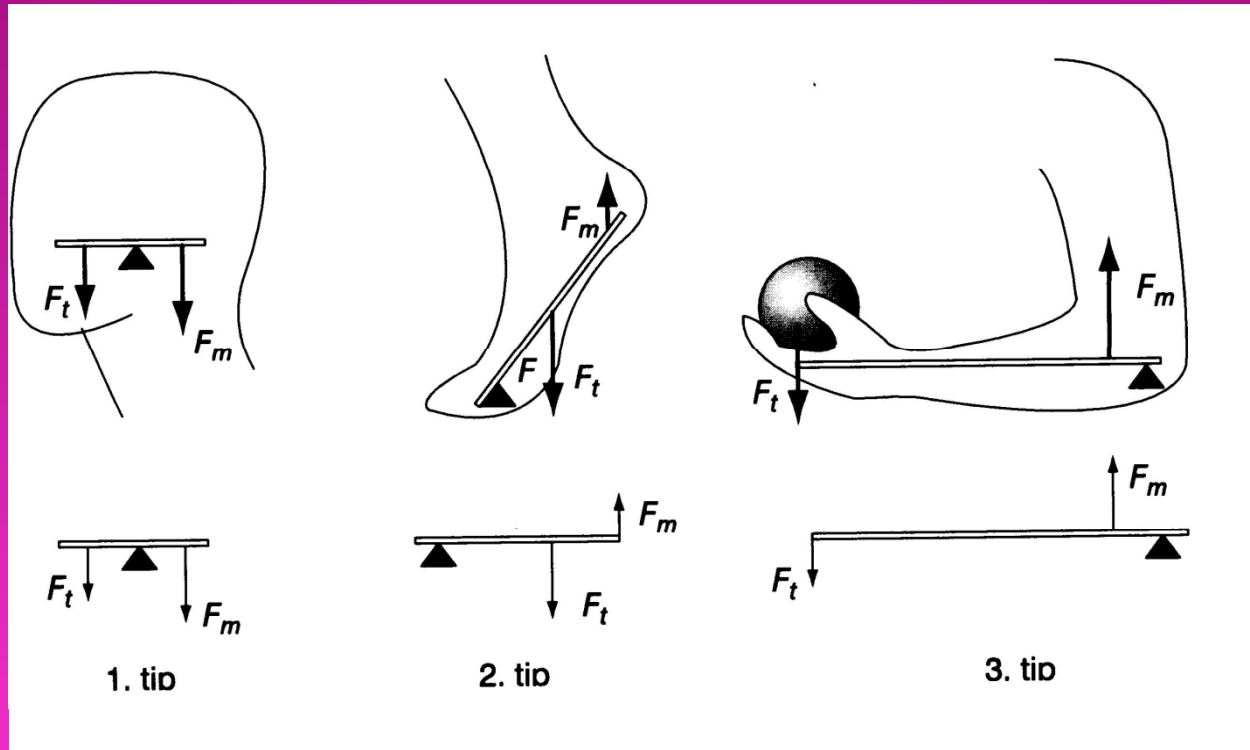




Osoba mase 60 kg podiže se iz ležećeg položaja na ruke, kao na slici.  
Koliko će biti vertikalne komponente sila kojima pod djeluje na ruke čovjeka?



## REZIME O POLUGAMA



1. Poluga ravnoteže, efikasnost manja od 1
2. Poluga snage, efikasnost veća od 1,
3. Poluga brzine, efikasnost mnogo manja od 1