

Fizika I

DINAMIKA ČESTICE

Dinamika čestice

- ▶ Opisali smo različite vrste gibanja:
 - ▶ Jednoliko pravocrtno i jednoliko ubrzano,
 - ▶ Jednoliko kružno i jednoliko ubrzano kružno...

Zbog čega se tijela gibaju na određeni način?

Što je uzrok promjeni gibanja?

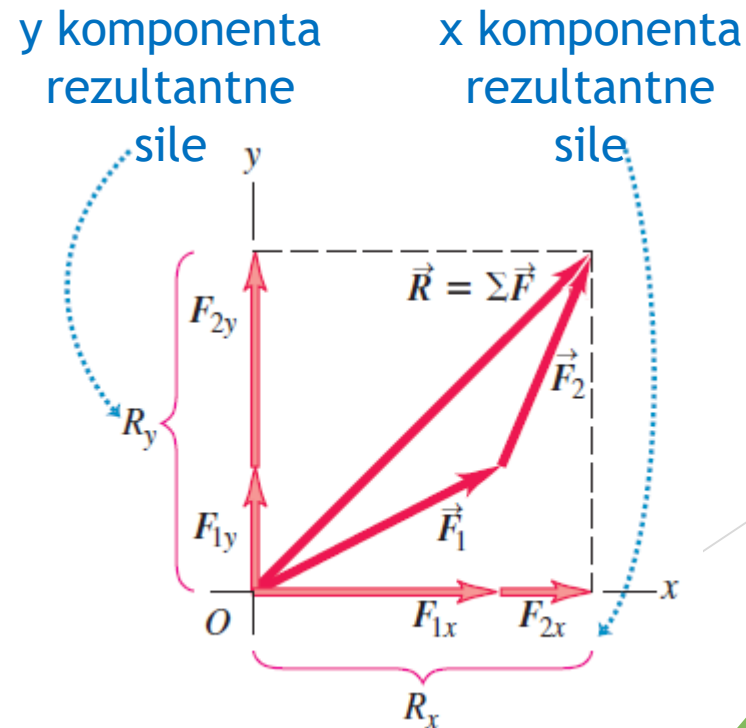
Gibanja su posljedica međudjelovanja (interakcije).



SILA

- ▶ Sila je interakcija između dva tijela ili između tijela i okoline.
- ▶ Sila je **vektorska veličina**.
- ▶ Ako djeluje **više sila istodobno**, one se **vektorski zbrajaju**.
- ▶ **Rezultanta** svih sila određuje način gibanja čestice.
- ▶ Rezultanta može biti **različita od nule** ili **jednaka nuli**.

$$\vec{R} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n$$



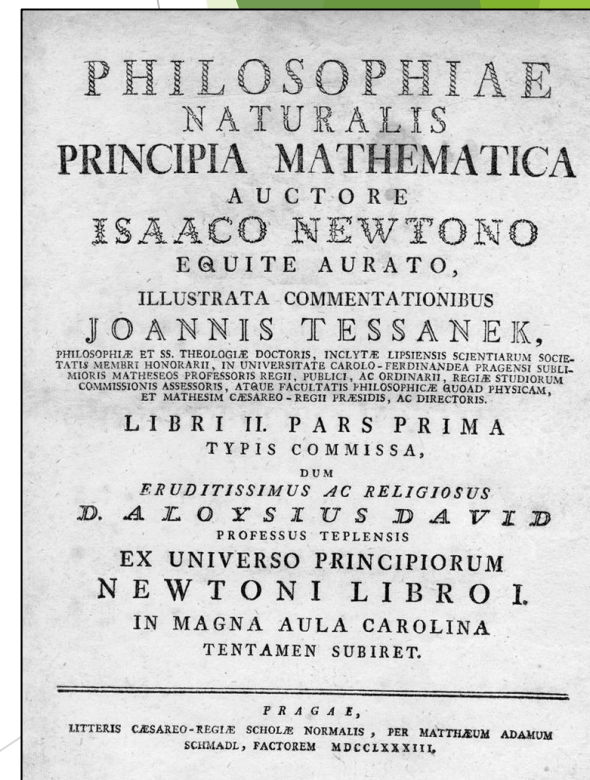
Zakoni gibanja

► Tri temeljna zakona gibanja: **Newtonovi zakoni (aksiomi)**

1. **Zakon inercije (ustrajnosti)**
2. **Veza sile i akceleracije**
3. **Zakon akcije i reakcije**

Određuju ponašanje tijela u ovisnosti o silama.

► Isaac Newton (1642.-1727.)

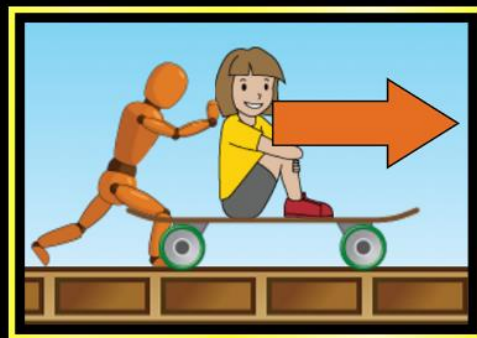


Simulacija: 1. Newtonov zakon

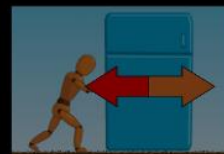
Sile i gibanje: Osnove



Sile na pravcu



Gibanje



Trenje



Ubrzanje

1. Newtonov zakon - zakon inercije

Tijelo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikoga gibanja na pravcu ako na njega ne djeluju sile ili je rezultanta svih sila jednaka nuli!

To nam opisuje **slobodnu česticu**.

$$\vec{F} = 0 \quad \text{ili} \quad \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0$$

$$\vec{v} = \textit{konst.}$$

$$\vec{a} = 0$$



Položaj tijela i njegovu brzinu određujemo s obzirom na neko drugo tijelo. Sustav vezan uz to tijelo nazivamo **referentni sustav**.

Inercijski sustav je sustav koji miruje ili se jednoliko giba. U stvarnosti imamo približno inercijske sustave (sustav vezan za Zemlju - laboratorijski sustav)

Prvi Newtonov zakon vrijedi samo u inercijskim sustavima.

- ne vrijedi u ubrzanim sustavima

Sile na zrakoplov

Četiri sile:

► **Težina**

(prema dolje, gravitacija)

► **Uzgon**

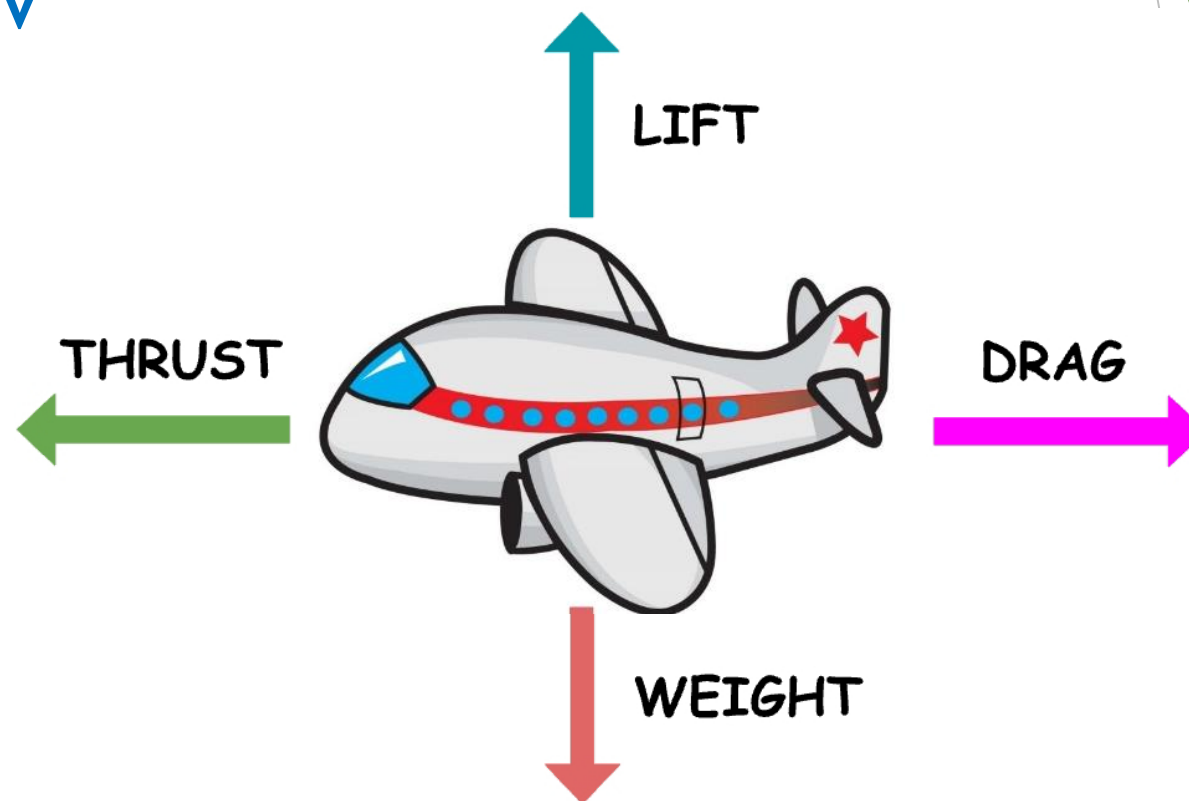
(prema gore, tlakovi u fluidu,
oblik krila)

► **Potisak**

(prema naprijed, motor, propeler)

► **Otpor**

(prema natrag, vjetar)



- Vektorski zbroj sila je nula!
- Gibanje je jednoliko po pravcu.

Simulacija: 2. Newtonov zakon

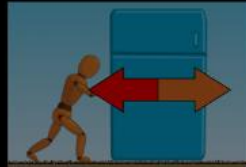
Sile i gibanje: Osnove



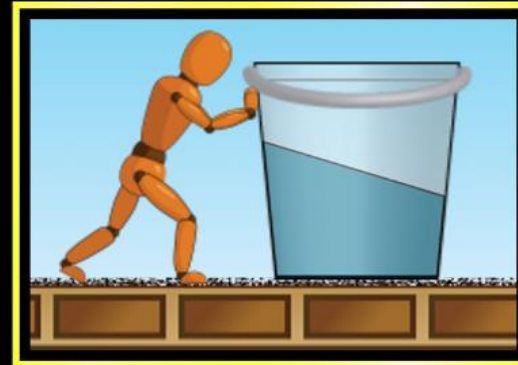
Sile na pravcu



Gibanje

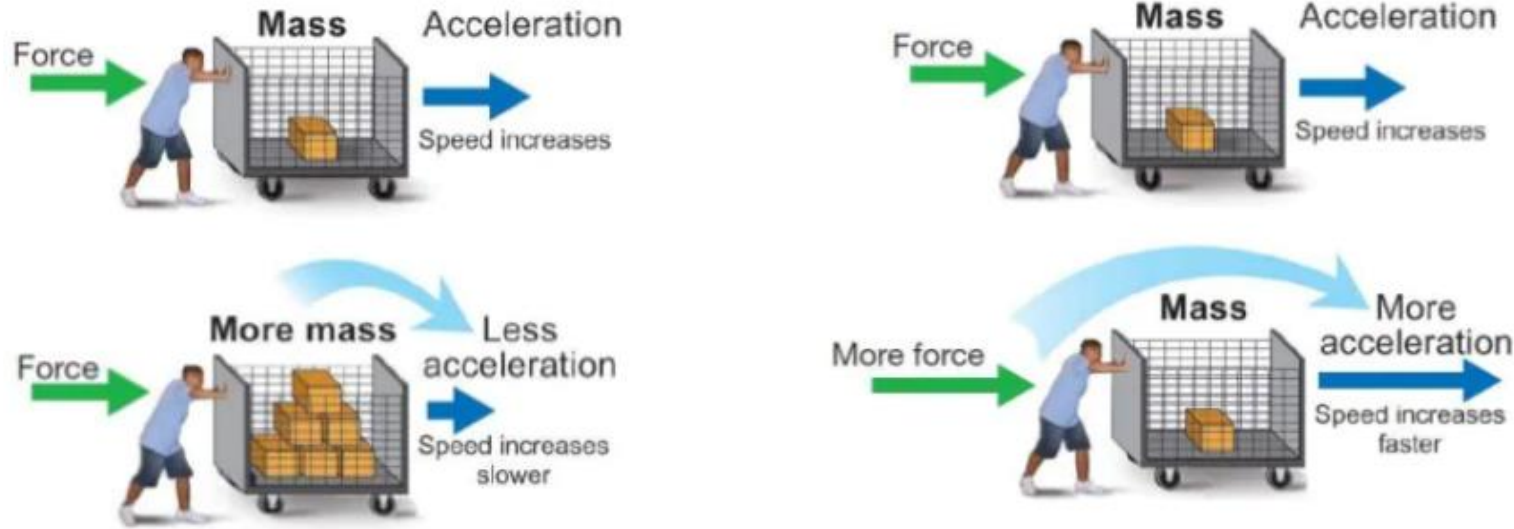


Trenje



Ubrzanje

2. Newtonov zakon - jednađba gibanja



Tijelo na koje djeluje ukupna sila F dobiva akceleraciju a koja je razmjerna sili, a obrnuto razmjerna masi m tijela

$$a = F/m$$

$$F = ma$$

► Sila djeluje na tijelo:

$$\vec{F} \neq 0 \quad ili \quad \vec{F}_R = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \neq 0$$

- Pod djelovanjem sile, tijelo mijenja stanje gibanja, **dobiva akceleraciju**.

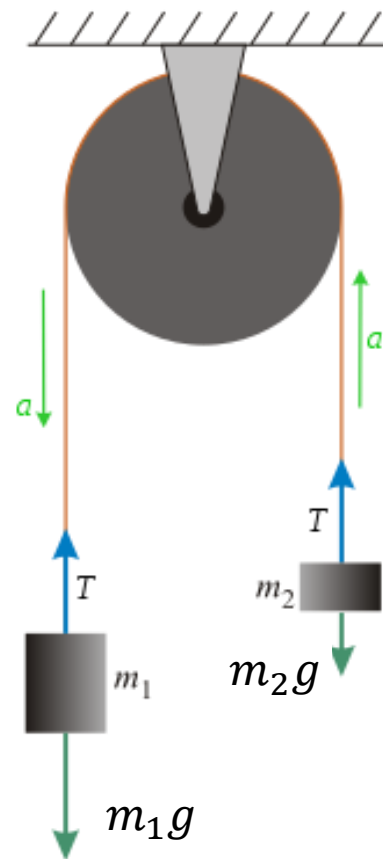
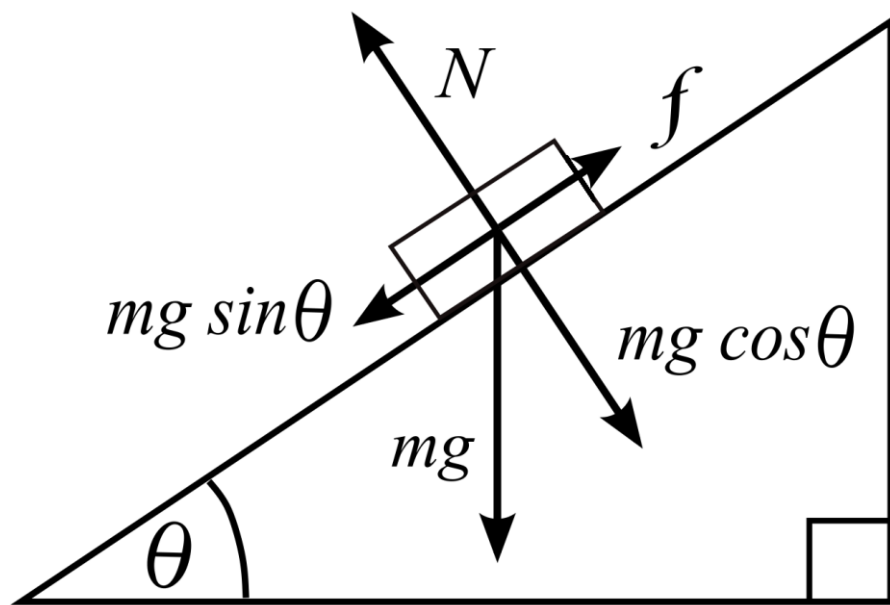
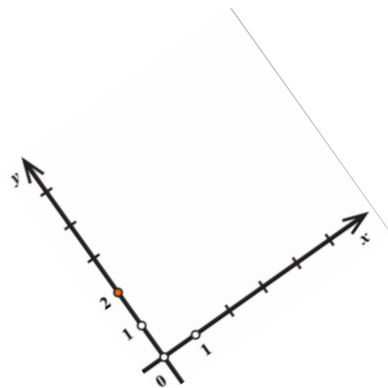
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

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

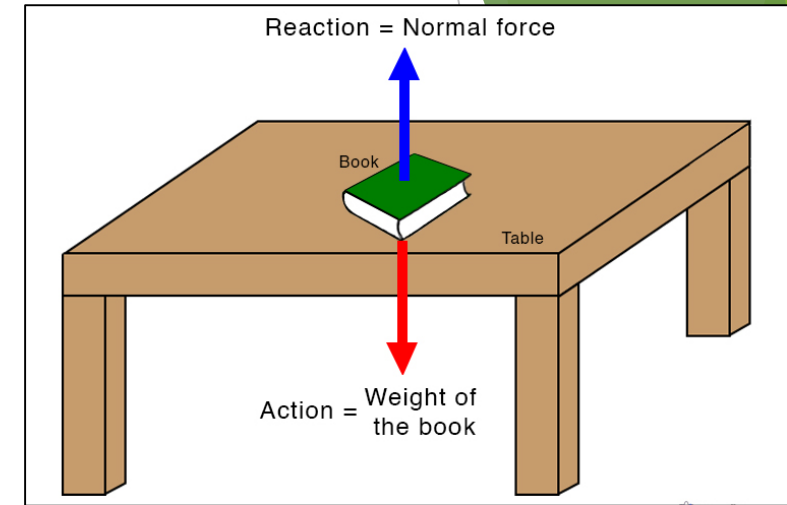
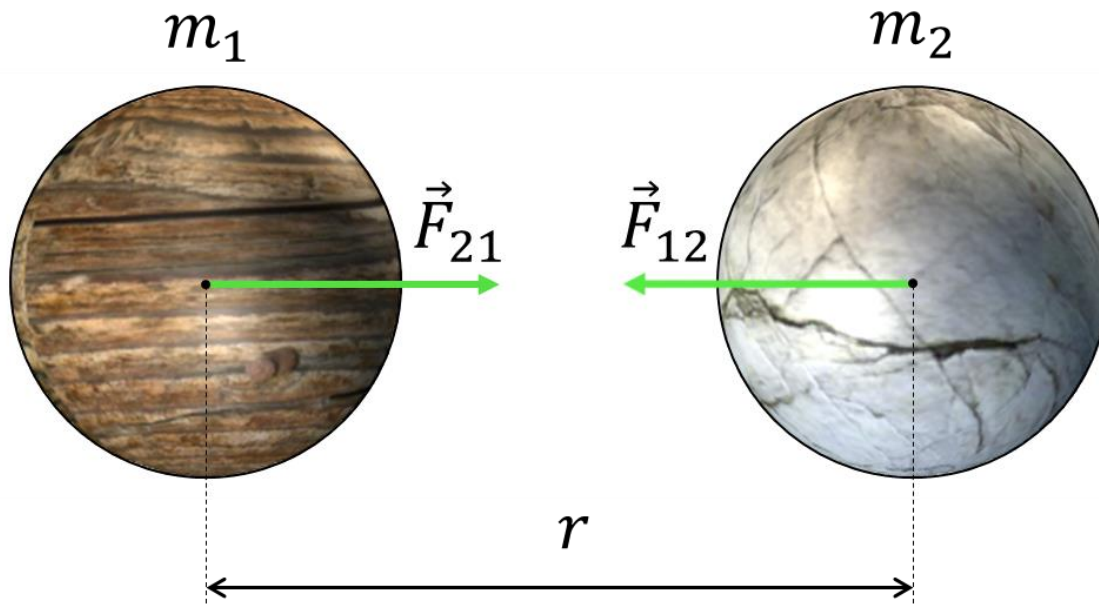
- Masa ***m*** je mjera tromosti tijela.
- Drugi Newtonov zakon predstavlja **jednadžbu gibanja**. Ukoliko znamo sve sile koje na tijelo djeluju, možemo odrediti **ubrzanje**, **brzinu** i **položaj** tijela u svakom idućem trenutku.

Atwoodov uređaj

Kosina
rastavljanje sile



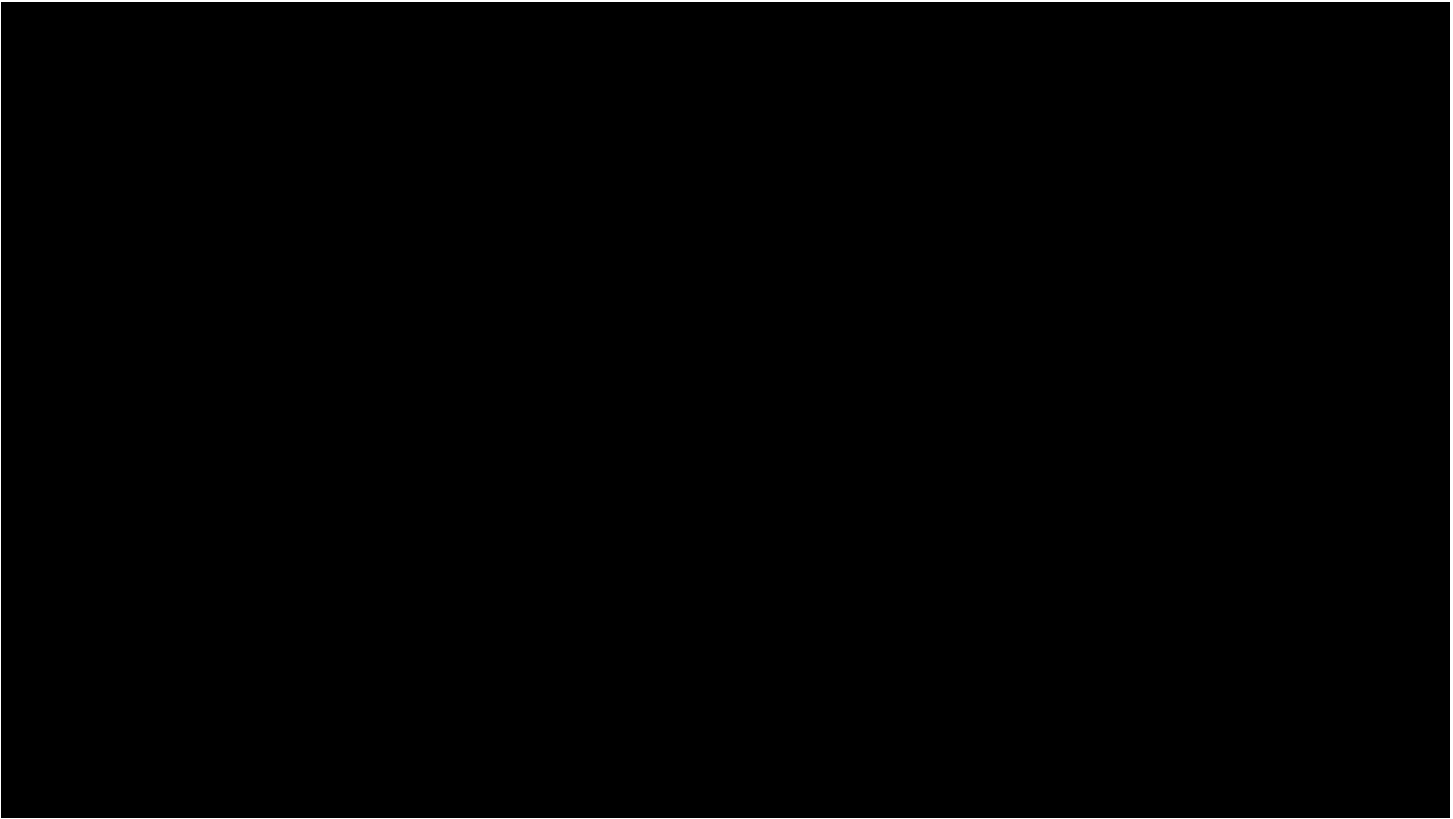
3. Newtonov zakon - zakon akcije i reakcije



Svakoj sili javlja se protusila jednaka po iznosu, a suprotna po smjeru (te se sile ne poništavaju!)

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





Impuls sile

da bismo opisali djelovanje sile na tijelo uvodimo *impuls sile*:

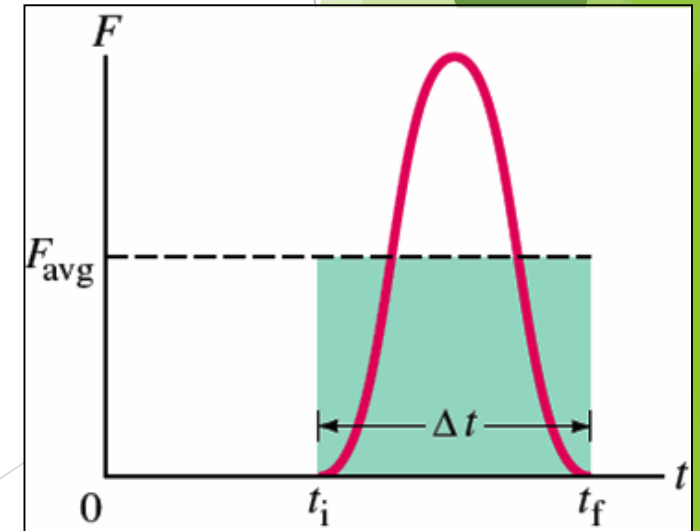
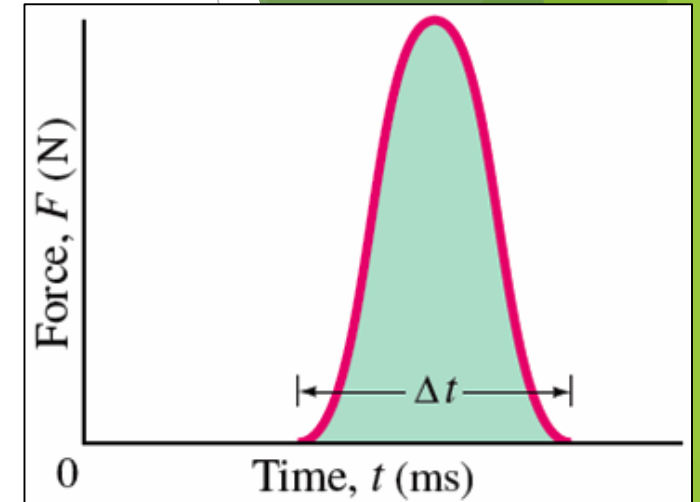
$$\vec{I} = \vec{F} \Delta t$$

ili

$$\vec{I} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F}(t) dt$$

Impuls sile = promjeni količine gibanja

$$\vec{I} = \Delta \vec{p}$$



Količina gibanja (zalet)

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

2. Newtonov zakon može se napisati pomoću količine gibanja

$$d\vec{p} = m d\vec{v} = d(m\vec{v})$$

konstantna
masa

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

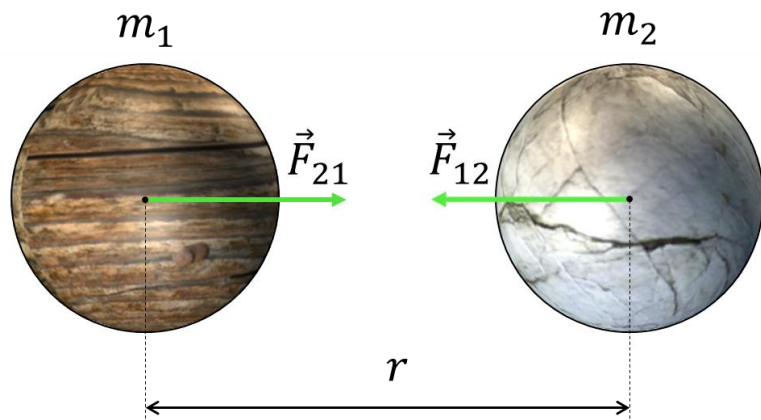
$$\vec{F} = \frac{d\vec{p}}{dt}$$

$$\vec{F} = 0 \Rightarrow \frac{d\vec{p}}{dt} = 0$$

Općenitiji zapis 2. NZ jer vrijedi i za slučajeve kad se mijenja masa tijela

Zakon očuvanja količine gibanja

3. Newtonov zakon



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

$$\vec{F}_{12} + \vec{F}_{21} = 0$$

$$\vec{F}_{12} = \frac{d\vec{p}_2}{dt} \quad \vec{F}_{21} = \frac{d\vec{p}_1}{dt}$$

$$\frac{d\vec{p}_1}{dt} + \frac{d\vec{p}_2}{dt} = 0$$

$$\frac{d}{dt}(\vec{p}_1 + \vec{p}_2) = 0$$

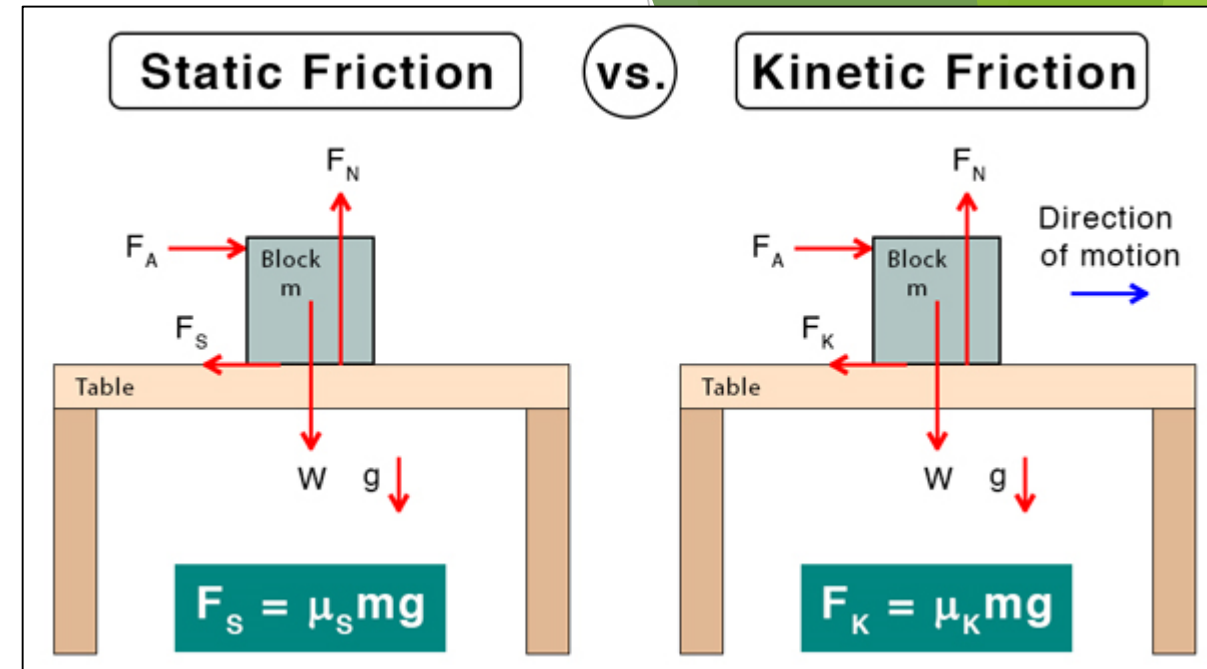
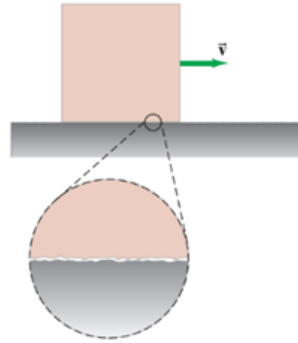
Zatvoreni
sustav

Ukupna količina gibanja zatvorenog sustava je konstantna.



Trenje

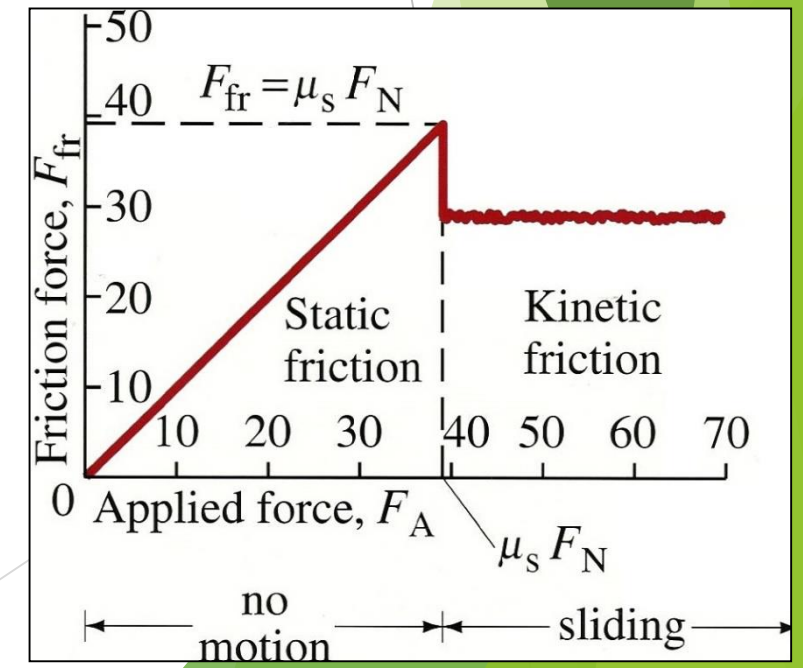
- Trenje je uvijek prisutno kad imamo dvije površine u kontaktu.



- Imamo dvije vrste trenja:
 - Statičko trenje (trenje mirovanja).
 - Kinetičko trenje (trenje gibanja).

$$F_{\text{tr}} \equiv \mu_k F_N \quad (\text{iznosi sila}) \quad F_N - \text{sila reakcije podloge}$$

$$\mu_s > \mu_k \Rightarrow F_{\text{tr}} (\text{max, stat}) > F_{\text{tr}} (\text{kin})$$



Materijali	μ_s	μ
drvo i drvo	0,5	0,3
čelik i čelik (bez podmazivanja)	0,15	0,09
čelik i čelik (s podmazivanjem dodirnih površina)	0,03	0,03
guma i beton (suhi)	1,0	0,7
čelik i teflon	0,04	0,04

Simulacija: Sila trenja

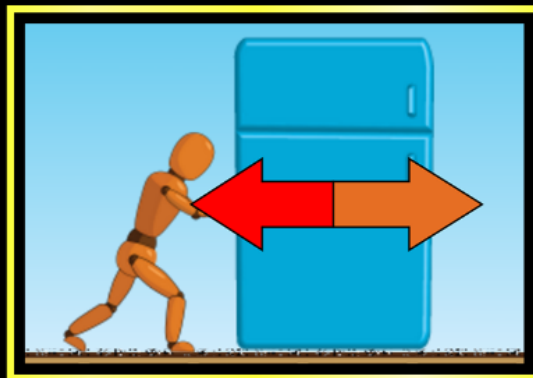
Sile i gibanje: Osnove



Sile na pravcu



Gibanje

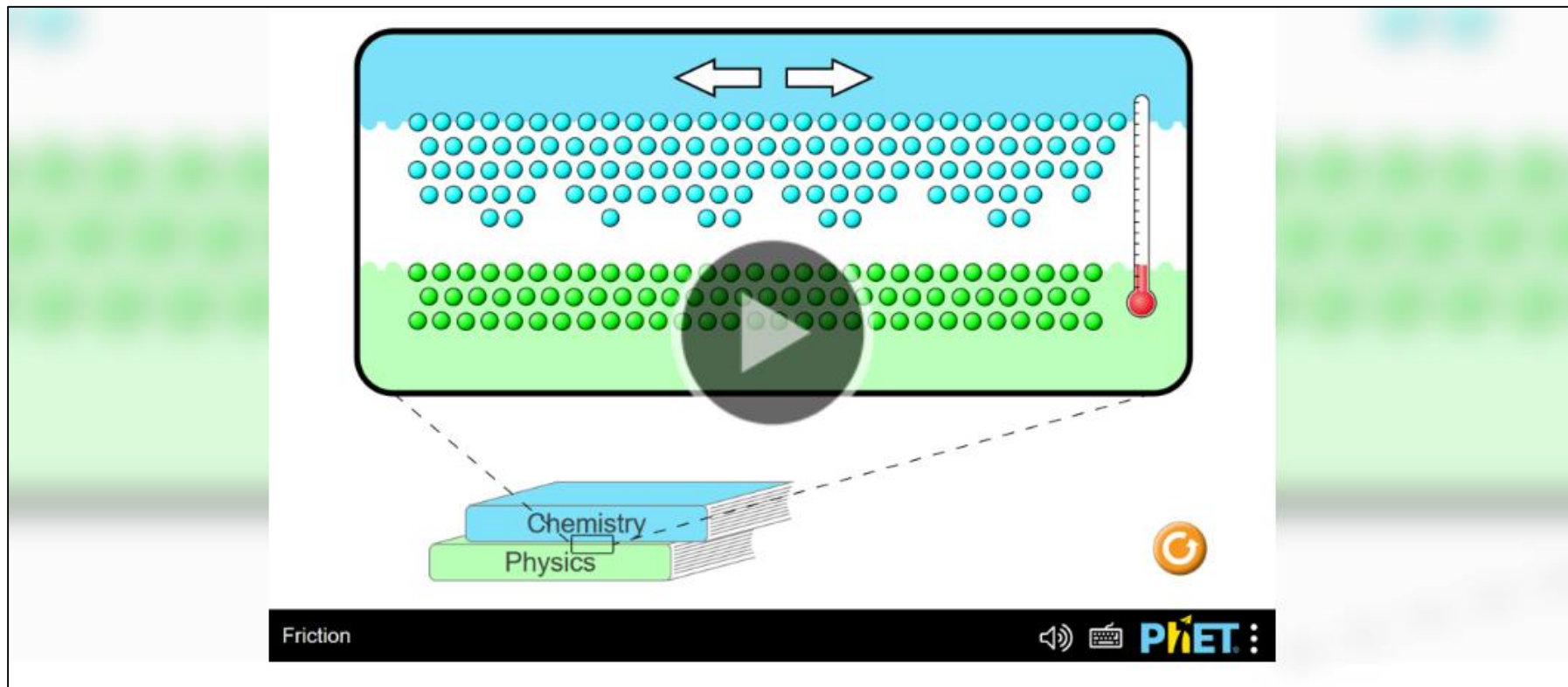


Trenje



Ubrzanje

Simulacija: Sila trenja





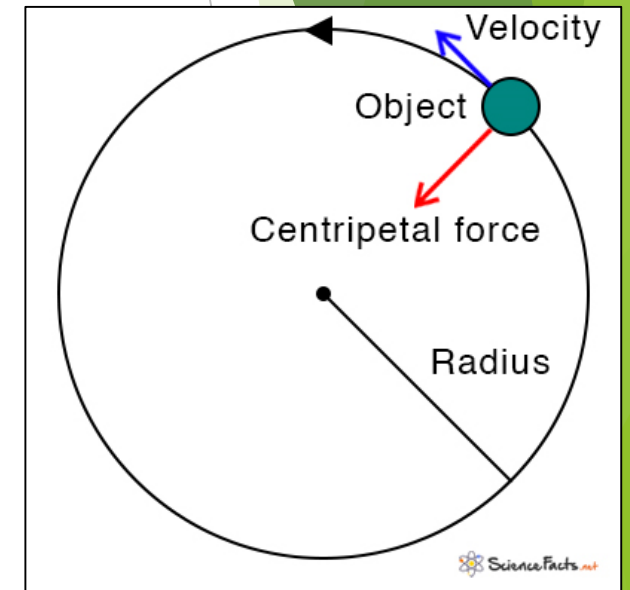
Centripetalna sila

- ▶ Tijelo se ne giba pravocrtno → 1. NZ ne vrijedi - sila na tijelo $\neq 0$.
- ▶ Promjena smjera brzine → postoji centripetalna akceleracija.

- ▶ 2. NZ → Imamo centripetalnu silu

$$F_{cp} = ma_r = m\omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

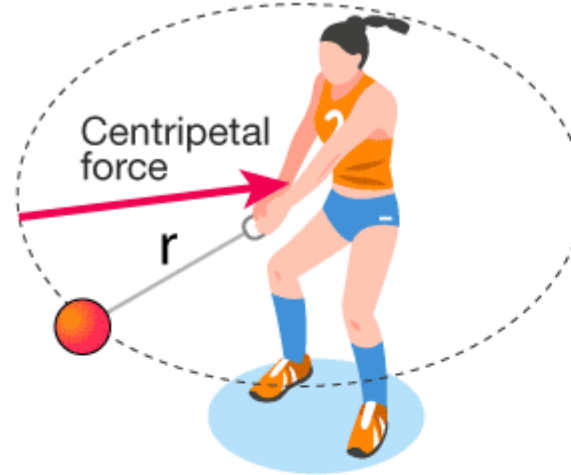
$$\vec{F}_{cp} = -m\omega^2 \vec{r}$$



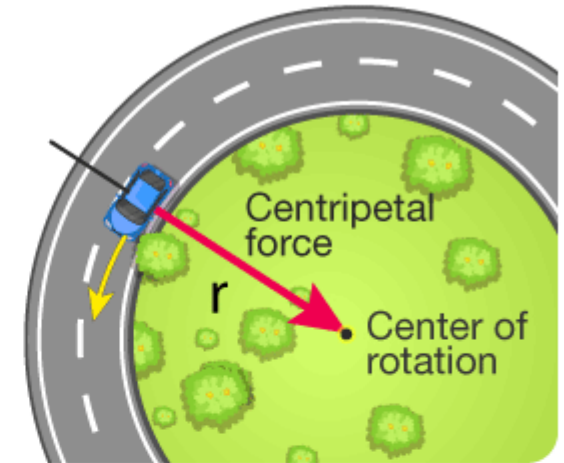
- ▶ Centripetalna sila je ukupna sila koja je potrebna da bi se tijelo mase m gibalo brzinom v po kružnoj putanji polumjera r . Ona je uvijek usmjerena prema središtu kružnice.

Centripetalna sila

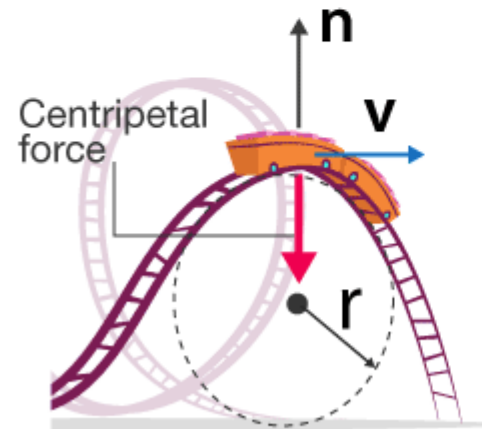
- ▶ Centripetalna sila **nije** nova vrsta sile, već poseban **naziv** za **svaku silu koja mijenja smjer brzine** i čini da se tijelo giba po krivocrtnoj putanji.



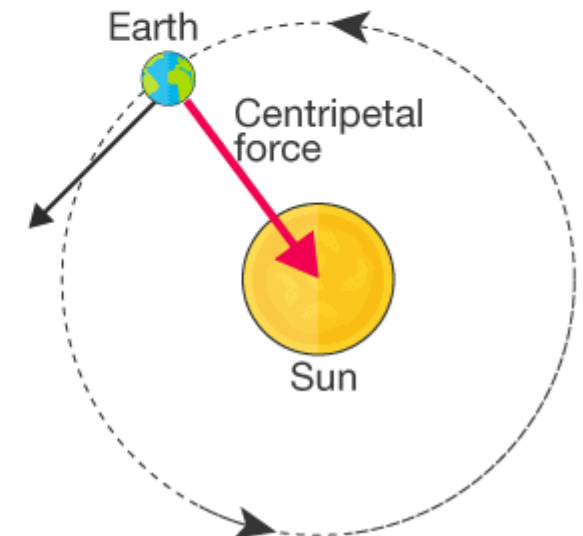
(a) Spinning a ball on a string or twirling a lasso



(b) Turning a car



(c) Going through a loop on a roller coaster



(d) Planets orbiting around the Sun

Masa i težina

- ▶ Masa je svojstvo svakog tijela koje određuje njegovo ponašanje pri djelovanju sile: što je masa tijela veća, ono je tromije, teže ga je ubrzati ili usporiti, tj. promijeniti mu stanje gibanja.
- ▶ Tijelo se opire promjeni stanja svojega gibanja. Svojstvo tijela da održava svoje stanje gibanja (odnosno, u posebnom slučaju, mirovanja) zovemo ustrajnost, tromost ili inercija.
- ▶ Masa je kvantitativna mjera tromosti tijela.
- ▶ Težina (sila teža) je sila koja djeluje na svako tijelo koje se nalazi na Zemljinoj površini. Razmjerna je masi tijela, m , i može se pisati kao

$$\vec{F}_g = \vec{G} = m\vec{g}$$

- ▶ $\vec{g}$ - akceleracija sile teže; $g = 9,81 \text{ m/s}^2$

Masa i težina

- ▶ Masa i težina su dvije različite veličine: masa je osobina tijela i iskazuje se jedinicom kilogram, a težina je sila i njezina mjerna jedinica je njutn!
- ▶ Masa tijela kojom je određena težina tijela naziva se teška masa, za razliku od trome mase koja se pojavljuje u 2. Newtonovom zakonu. Sva dosadašnja mjerenja upućuju na to da su teška i troma masa jednake, pa se mogu pokratiti u jednadžbi gibanja:

$$m\vec{a} = m\vec{g}$$

- ▶ Masa nekog tijela ovisi o njegovu volumenu i o materijalu od kojeg je tijelo napravljeno. Materijal karakterizira *gustoća*

$$\rho = \frac{m}{V}$$

- ▶ Vrijedi samo za homogena tijela.

Mass 50 Kg
Weight 490 N



Earth
 $g = 9.8 \text{ m/s}^2$

Mass 50 Kg
Weight 185 N



$g = 3.7 \text{ m/s}^2$

Mass 50 Kg
Weight 80 N



Moon
 $g = 1.6 \text{ m/s}^2$

Dinamika sustava materijalnih točaka - čestica

- ▶ Sustav od n čestica mase m_i i položaja $\vec{r}_i$:

Karakteriziraju ga:

- ▶ UKUPNA MASA:

$$M = \sum_{i=1}^n m_i$$

- ▶ POLOŽAJ CENTRA MASE:

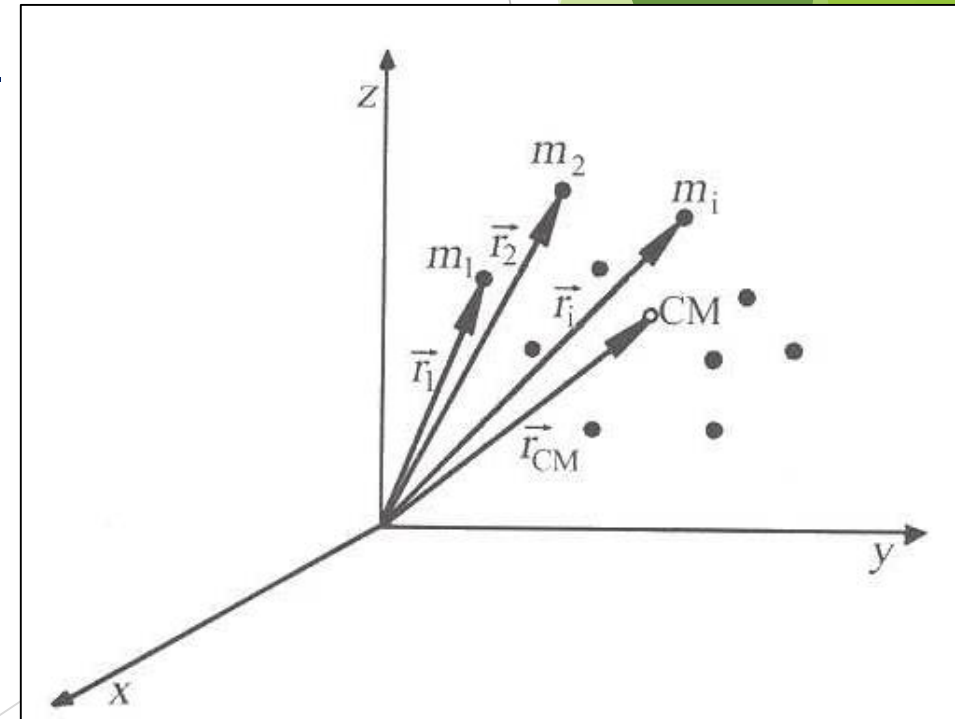
$$\vec{r}_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{M}$$

- ▶ Komponente u pravokutnom koordinatnom sustavu:

$$x_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i x_i}{M}$$

$$y_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i y_i}{M}$$

$$z_{CM} = \frac{\sum_{i=1}^n m_i z_i}{M}$$



JEDNADŽBA GIBANJA ZA SUSTAV MNOŠTVA ČESTICA

- ▶ 2. Newtonov zakon za česticu i :
- ▶ Treći Newtonov zakon:

$$m_i \vec{a}_i = \vec{F}_{vi} + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n \vec{F}_{i,j}$$

$$\sum_{\substack{i,j=1 \\ j \neq i}}^n \vec{F}_{i,j} = 0$$

- ▶ $\vec{F}_{vi}$ - vanjske sile
- ▶ $\vec{F}_{i,j}$ - unutarnje sile - među česticama i i j

- ▶ Ostaje :

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{vi}$$

- ▶ Akceleraciju možemo raspisati kao

$$\vec{a}_i = \frac{d^2 \vec{r}_i}{dt^2}$$
$$\frac{d^2}{dt^2} \sum_{i=1}^n [m_i \vec{r}_i] = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{vi}$$

Zbrojimo za sve čestice:

$$\sum_{i=1}^n m_i \vec{a}_i = \sum_{i=1}^n \vec{F}_{vi} + \sum_{\substack{i,j=1 \\ j \neq i}}^n \vec{F}_{i,j}$$

JEDNADŽBA GIBANJA ZA SUSTAV MNOŠTVA ČESTICA

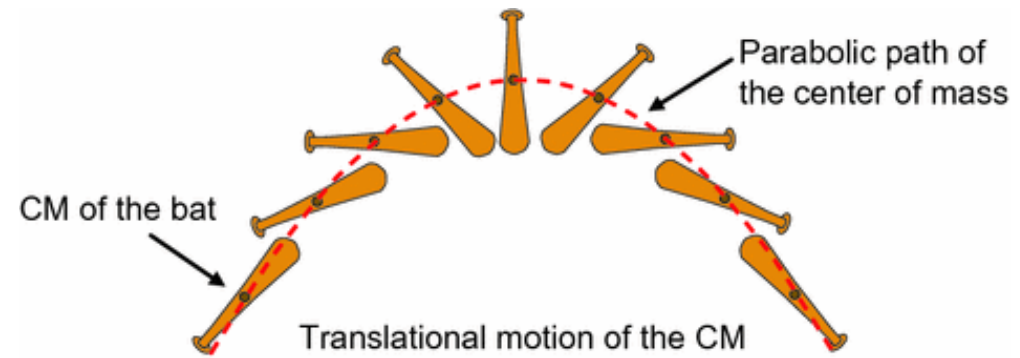
- ▶ Ako podijelimo s ukupnom masom M , a umjesto sume po svim vanjskim silama stavimo $\vec{F}_v$, ukupnu vanjsku silu, dobijemo:

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{M} = \frac{1}{M} \vec{F}_v$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \vec{r}_{CM} = \frac{1}{M} \vec{F}_v$$

$$\vec{F}_v = M \vec{a}_{CM}$$

- ▶ 2. Newtonov zakon za česticu mase M na koju djeluje sila $\vec{F}_v$!
- ▶ sustav čestica ponaša se kao da je sva masa smještena u jednoj točki - centru masa!



CM ide po paraboli!