Meritve

Naravoslovje:

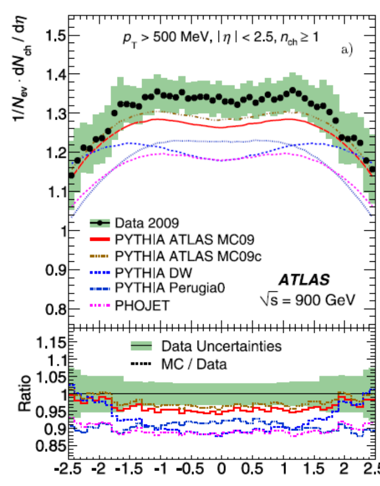
→ Opazovanje pojavov → meritev → splošne zakonitosti → teorija →

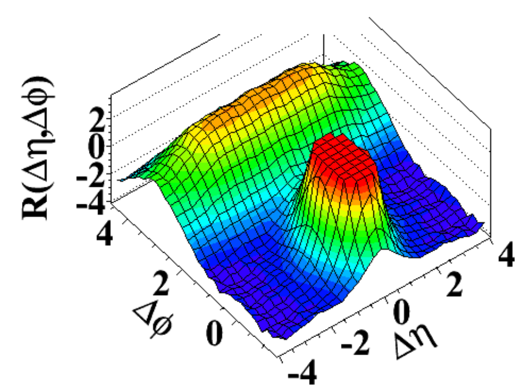
- 1000 meritev teorije ne more potrditi, ena sama jo lahko ovrže !

- Fizikalna količina ↔ meritev
  - skalarne količine: št. vrednost + enota
  - vektorske količine: 3 št. vrednosti (smer) + enota
- Mehanika: 3 osnovne enote (od 7)
  - Čas [s]; nihaji atoma Cs
  - Dolžina [m]; pot svetlobe v vakumu
  - Masa [kg]; prakilogram
- Vse ostale enote izpeljanke iz osnovnih; npr. W = J/s = kg.m^2/s^3
- Ostale (ne-mehanske) osnovne enote: tok [A], temperatura [K], svetilnost [cd], množina snovi [mol]

- Meritve: rezultat + <u>napaka</u>
  - npr: c = 301000 km/s
    - Nova fizika ?
    - Nenatančen poskus
    - Napaka pri interpretaciji

    c = 301000 km/s ± 1200 km/s
    - skladno z dosedanjim znanjem
- Predstavitev meritev
  - Tabela
  - Graf (2-D, ~3-D)
    - Merske točke z napako





Mehanika

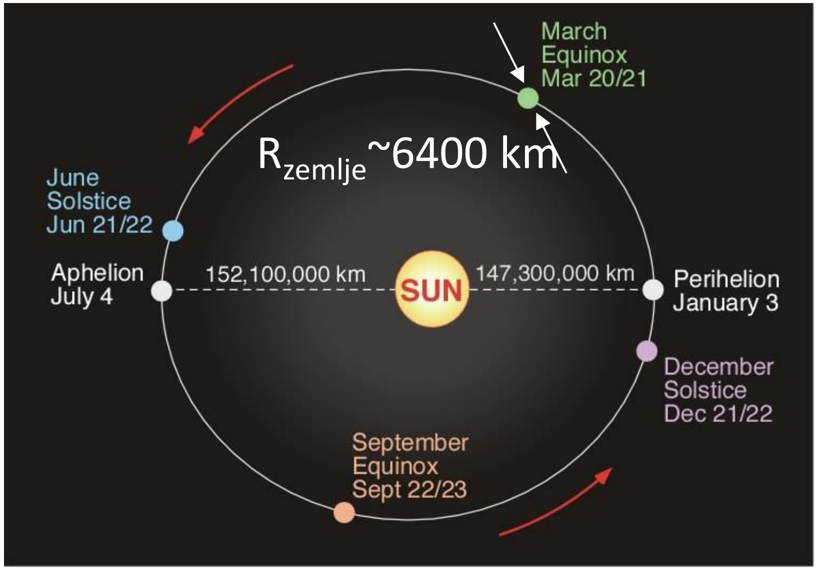
Gibanje

- Opis gibanja – <u>kinematika</u>
- Napoved gibanja – dinamika

Kaj opisujemo ?

- Od preprostega k zapletenemu
- Točkasto telo → sistem t.t. → togo telo → deformacije

    Abstrakcija: povzamemo le lastnosti telesa, ki so bistvene za gibanje



Mehanika

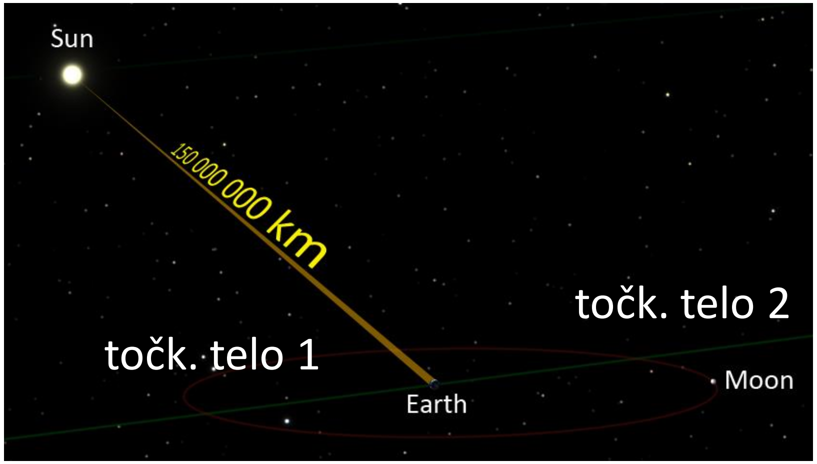
Gibanje

- Opis gibanja – kinematika
- Napoved gibanja – dinamika

Kaj opisujemo ?

- Od preprostega k zapletenemu
- Točkasto telo → sistem t.t. → togo telo → deformacije

  Abstrakcija: povzamemo le lastnosti telesa, ki so bistvene za gibanje



Mehanika

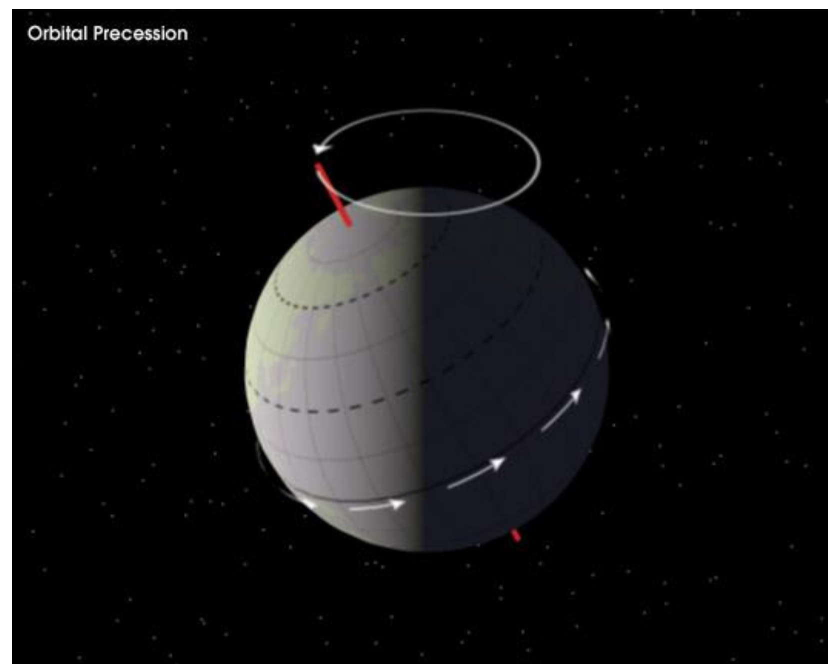
Gibanje

- Opis gibanja – kinematika
- Napoved gibanja – dinamika

Kaj opisujemo ?

- Od preprostega k zapletenemu
- Točkasto telo → sistem t.t. → togo telo → deformacije

  Abstrakcija: povzamemo le lastnosti telesa, ki so bistvene za gibanje



Mehanika

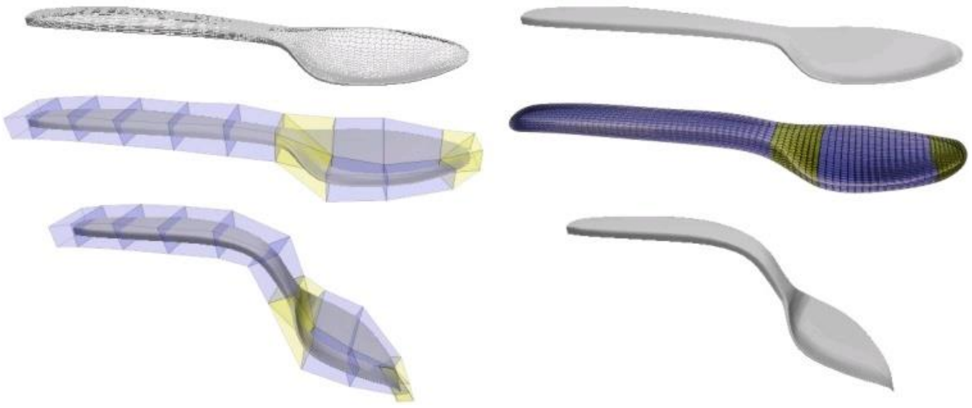
Gibanje

- Opis gibanja – kinematika
- Napoved gibanja – dinamika

Kaj opisujemo ?

- Od preprostega k zapletenemu
- Točkasto telo → sistem t.t. → togo telo → deformacije

  Abstrakcija: povzamemo le lastnosti telesa, ki so bistvene za gibanje



Mehanika

Gibanje

- Opis gibanja – <u>kinematika</u>
- Napoved gibanja – dinamika

Kaj opisujemo ?

- Od preprostega k zapletenemu
- Točkasto telo → sistem t.t. → togo telo → deformacije

  Abstrakcija: povzamemo le lastnosti telesa, ki so bistvene za gibanje

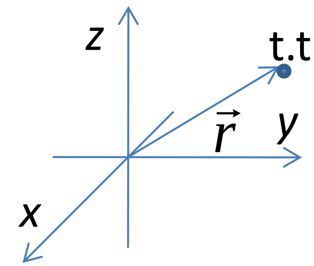
Kje opisujemo ?

- Opazovalni sistem
  - Koordinatni sistem
  - Ura

Točkasto telo: lega v opazovalnem sist.

- Radij vektor: $\vec{r} = (x, y, z) \quad [\mathrm{m}]$

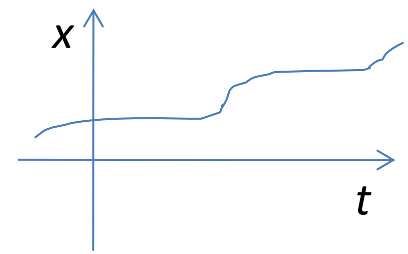
Opis gibanja:



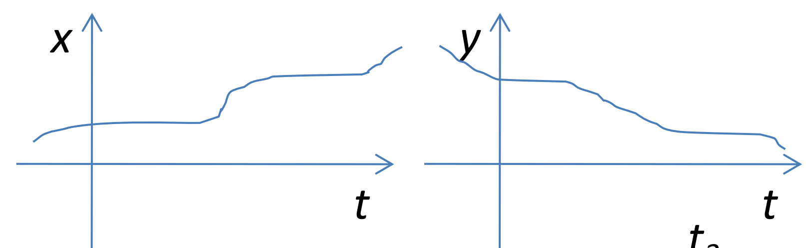
$$\boxed{\vec{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))}$$

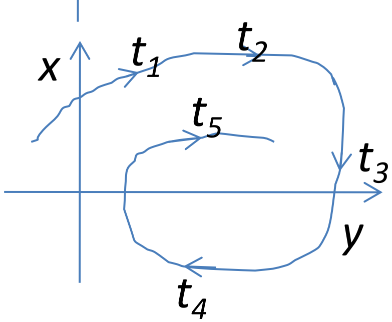
Graf: tir $\vec{r}(t)$

- 1-D: $x(t)$

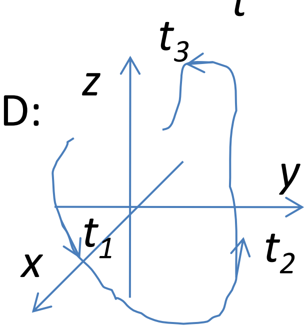


- 2-D:





3-D:



3 projekcije

Kinematika

- Premik: $\vec{r} - \vec{r}\,' = \Delta\vec{r}$

  Δ - diferenca (razlika): konec - začetek

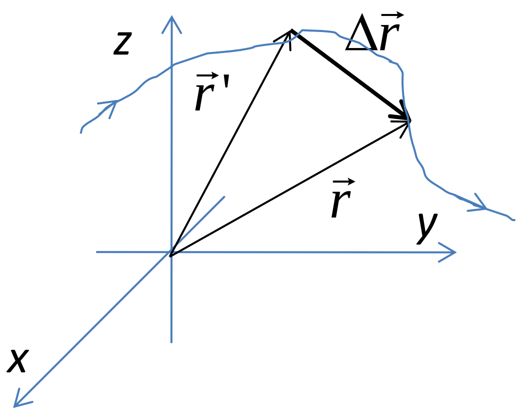
  d – diferencial: zelo majhna razlika

- Pot: $s = \int_{\vec{r}\,'}^{\vec{r}} |d\vec{r}| = \int_{\vec{r}\,'}^{\vec{r}} ds \quad [\mathrm{m}]$

  $$ds^2 = dx^2 + dy^2 + dz^2$$

  – 1-D: $s = \int_{x'}^{x} |dx|$

  – 3-D: krivuljni integral (težko)



- Časovni interval: $t - t' = \Delta t$

- Hitrost

  – Povprečna na časovnem intervalu

  $$\boxed{\bar{\vec{v}} = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} \quad [\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}}]}$$

- Trenutna hitrost: interval → trenutek

  – Limitni proces: diferenca → diferencial

  $$dt = \lim_{\Delta t \to 0} \Delta t$$

  $$\boxed{\begin{aligned} \vec{v} &= \lim_{\Delta t \to 0} \bar{\vec{v}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}} = \vec{r}\,'(t) \\ \vec{v} &= (v_x, v_y, v_z) = (\frac{dx}{dt}, \frac{dy}{dt}, \frac{dz}{dt}) \end{aligned}}$$

  – Odvod radij vektorja po času

  – Smer tangente na tir

Kinematika

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} \Rightarrow \int_{\vec{r}\,'}^{\vec{r}} d\vec{r} = \int_{t'}^{t} \vec{v}\,dt$$

$$\boxed{\vec{r} = \vec{r}\,' + \int_{t'}^{t} \vec{v}\,dt}$$

- Pospešek: sprememba hitrosti
  - Povprečni $\boxed{\bar{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad [\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}]}$
  - Trenutni

$$\boxed{\begin{aligned} \vec{a} &= \lim_{\Delta t \to 0} \bar{\vec{a}} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} \\ \vec{a} &= \left(\frac{dv_x}{dt}, \frac{dv_y}{dt}, \frac{dv_z}{dt}\right) = \left(\frac{d^2x}{dt^2}, \frac{d^2y}{dt^2}, \frac{d^2z}{dt^2}\right) \end{aligned}}$$

Pospešek: komponenti glede na hitrost

- $\vec{a} \parallel \vec{v}$ - spreminja velikost hitrosti

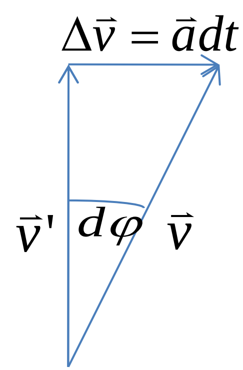
$$d\vec{v} = \vec{a}\,dt \parallel \vec{v} \Rightarrow |\vec{v}| = |\vec{v}\,'| + |\vec{a}|\,dt$$

označevanje velikosti vektorja:

$$|\vec{v}| = v$$

- $\vec{a} \perp \vec{v}$ - spreminja smer hitrosti

npr. pri kroženju



Kinematika

Premo enak. pospešeno gibanje:

$\vec{a}$ konstanten (smer in velikost)

$$\vec{v}(t) = \int_{t'}^{t} \vec{a}\,dt = \vec{v}' + \vec{a}t$$

po premici: ena dimenzija

$$v(t) = v' + at$$

$$s(t) = \int_{t'}^{t} v(t)\,dt = s' + v't + a\frac{t^2}{2}$$

izrazimo t; vstavimo

$$v^2(t) = v'^2 + 2as$$

Kinematika – prosti pad

Prosti pad – zgled za enakomerno pospešeno gibanje

$$a_y = -g = \frac{dv_y}{dt}$$

$$\int_{v_y'}^{v_y} dv_y = \int_{t'}^{t} -g\,dt$$

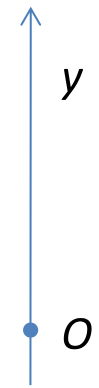
$$\boxed{v_y - v_y' = -g(t - t')}$$

$$t' = 0: v_y = v_y' - gt$$

$$v_y = \frac{dy}{dt} \Rightarrow$$

$$\int_{y'}^{y} dy = \int_{t'=0}^{t} v_y\,dt = \int_{0}^{t} (v_y' - gt)\,dt$$

$$\boxed{y = y' + v_y' t - \frac{g}{2} t^2}$$



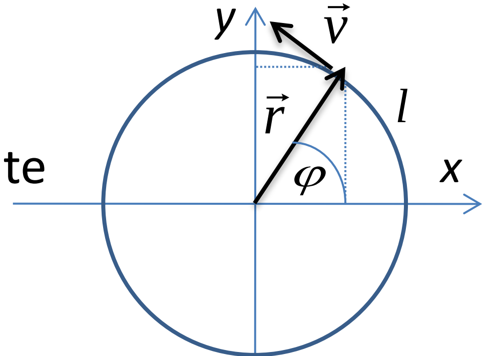
$$\downarrow \quad \vec{g} = (0, -g, 0)$$

Kinematika – enakomerno kroženje

Kroženje – zgled za gibanje v dveh dimenzijah

$\varphi(t)$ – kot

- Polarne koordinate
- r = konst.

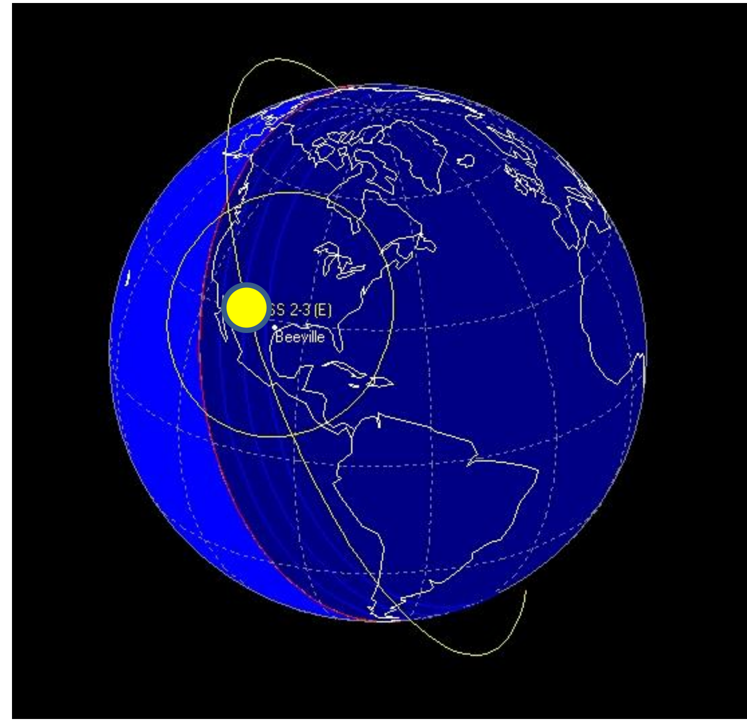


$\Delta\varphi = \varphi - \varphi'$ – zasuk

Ločna mera: radian: $\varphi = l/r$ [rd]

Kotna hitrost

$$\boxed{\omega = \frac{d\varphi}{dt} = \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} \quad [\mathrm{s}^{-1}] \\ \Rightarrow \varphi(t) = \varphi(t') + \omega t}$$



Frekvenca: obrati v časovni enoti

$$\boxed{\upsilon = \frac{1}{t_0} \quad [\mathrm{s}^{-1} = \mathrm{Hz}]}$$

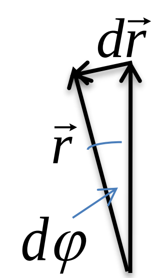
Hertz

t_0 – obhodni čas

Obrat – zasuk 2π:

$$\boxed{\omega = \frac{2\pi}{t_0} = 2\pi\upsilon}$$

$\vec{v}$ smer tangente $\perp \vec{r}$



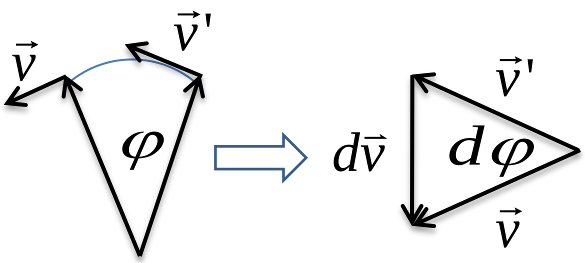
$$|d\vec{r}| = |\vec{r}|d\varphi = rd\varphi$$

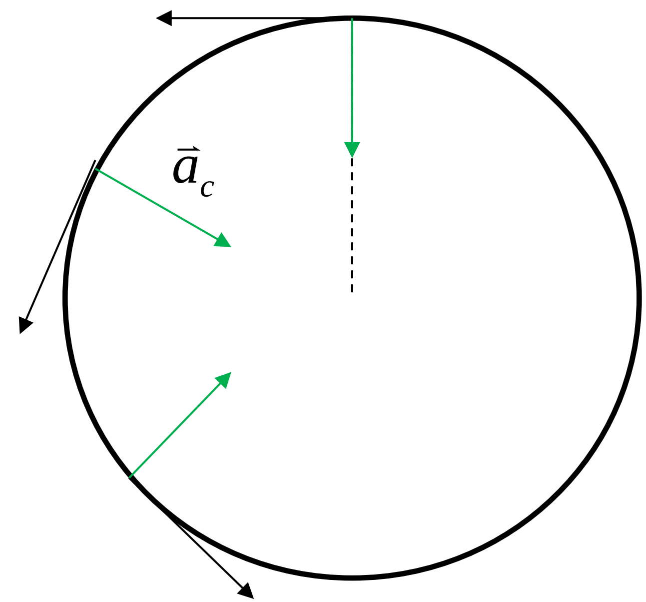
$$|\vec{v}| = \left|\frac{d\vec{r}}{dt}\right| = \frac{dr}{dt} = \frac{rd\varphi}{dt} = r\omega$$

Kinematika – enakomerno kroženje

Hitrost (vektor!) spreminja smer →

<u>pospešeno</u> gibanje



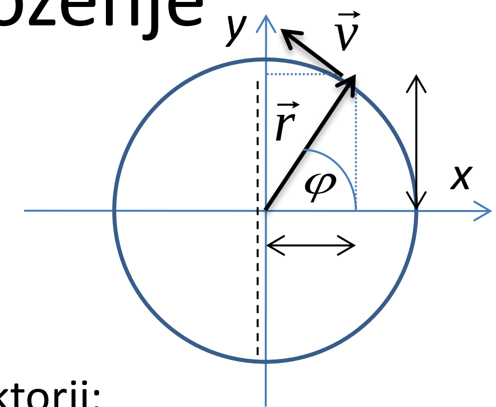


$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v d\varphi}{dt} = v\omega = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

Smer : centripetalni, radialni, sredotežni pospešek

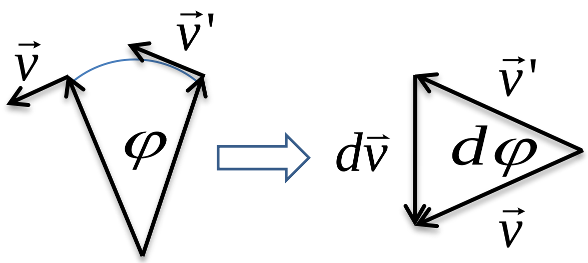
$$\boxed{a_c = v\omega = \omega^2 r = {}^{v^2}\!/_{r}}$$

Kinematika – enakomerno kroženje



Hitrost (vektor!) spreminja smer →

<u>pospešeno</u> gibanje



$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{v d\varphi}{dt} = v\omega = r\omega^2 = \frac{v^2}{r}$$

Smer : centripetalni, radialni, sredotežni pospešek

$$\boxed{a_c = v\omega = \omega^2 r = {v^2}/{r}}$$

opis z vektorji:

$$\vec{r} = r(\cos\varphi, \sin\varphi) = r(\cos\omega t, \sin\omega t)$$

$$\vec{v} = \frac{d\vec{r}}{dt} = r\left(\frac{d}{dt}\cos\omega t, \frac{d}{dt}\sin\omega t\right) =$$

$$= r(-\omega\sin\omega t, \omega\cos\omega t)$$

posredno odvajanje!

$$\vec{v}\cdot\vec{r} = 0 \Rightarrow \vec{v} \perp \vec{r}$$

$$\vec{v}\cdot\vec{r} = v_x\cdot x + v_y\cdot y + v_z\cdot z = v\cdot r\cdot\cos\vartheta$$

skalarni produkt!

$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -r\omega^2(\cos\omega t, \sin\omega t) = -\omega^2\vec{r}$$

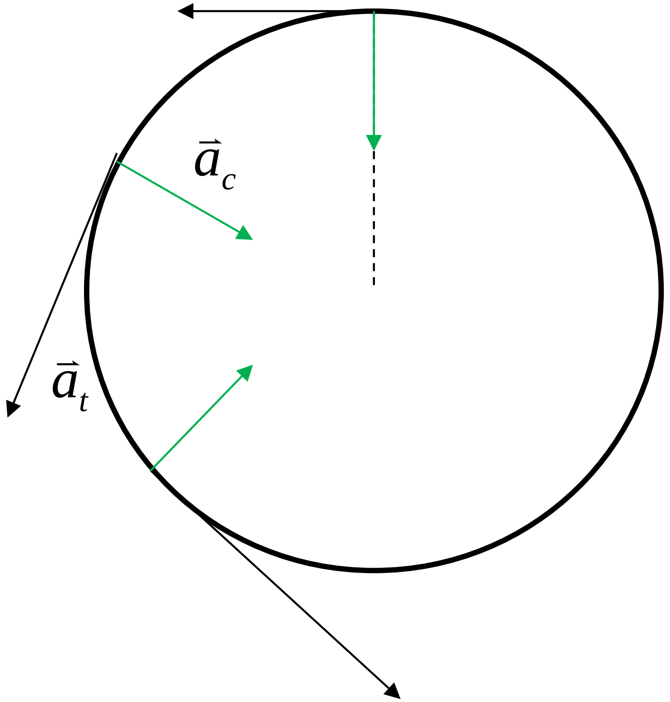
$$\Rightarrow \vec{a} \parallel -\vec{r} \qquad \vec{a} = \vec{a}_c$$

Kinematika – neenakomerno kroženje

$\varphi = \varphi(t)$ – kot

$\Delta\varphi = \varphi - \varphi'$ – zasuk

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$ - kotna hitrost



Lok $\quad l = \varphi \cdot r$

Obodna hitrost $\quad v = \omega \cdot r$

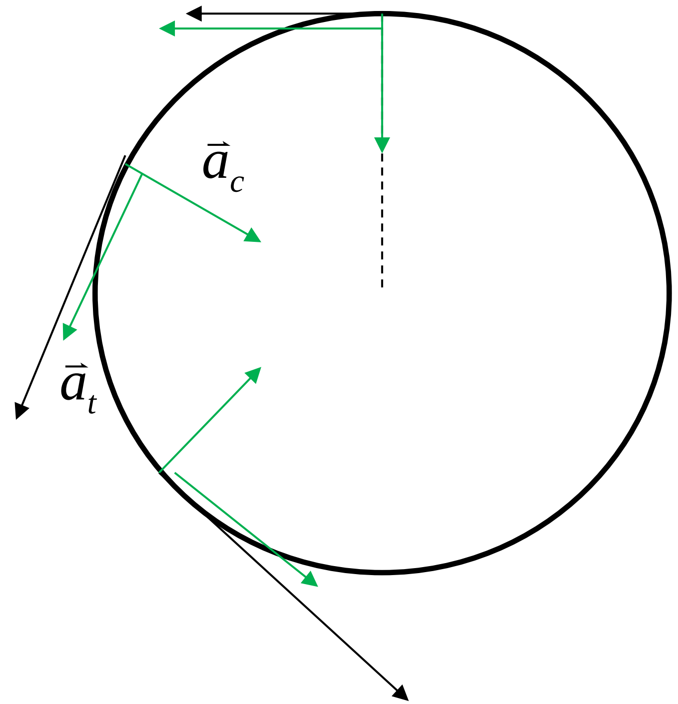
Kinematika – neenakomerno kroženje

$\varphi = \varphi(t)$ – kot

$\Delta\varphi = \varphi - \varphi'$ – zasuk

$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ - kotna hitrost

$\alpha = \frac{d\omega}{dt}$ - kotni pospešek [s^{-2}]



Lok $l = \varphi \cdot r$

Obodna hitrost $v = \omega \cdot r$

Tangentni pospešek $a_t = \alpha \cdot r$

Skupni pospešek $\vec{a} = \vec{a}_c + \vec{a}_t$

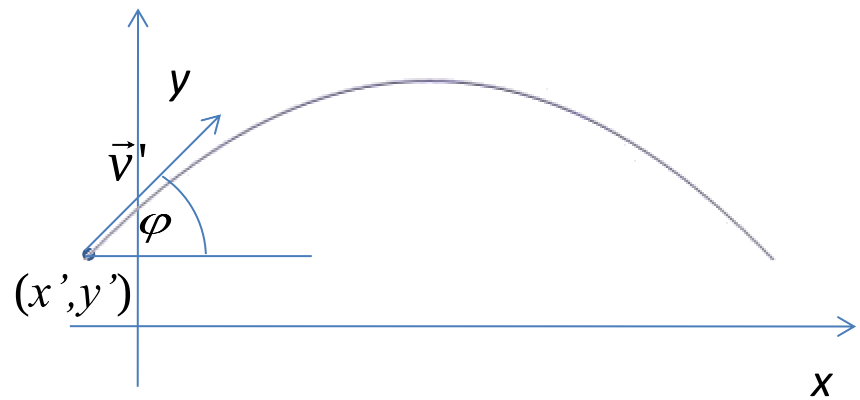
$\vec{a}_c$ - spreminja smer hitrosti

$\vec{a}_t$ - spreminja velikost hitrosti

Poševni met

Zgled gibanja v 2-D

- Enakomerno v vodoravni smeri
- Enakomerno pospešeno v navpični smeri
- Gibanji v obeh smereh neodvisni



$$a_x = 0 \quad a_y = -g \quad |\vec{v}'| = v_0$$

$$v_x = v_x' = v_0 \cos\varphi$$

$$x = x' + v_0 \cos\varphi \cdot t$$

$$v_y = v_y' - gt = v_0 \sin\varphi - gt$$

$$y = y' + v_0 \sin\varphi \cdot t - \frac{g}{2} t^2$$

Tir: $$y - y' = \mathrm{tg}\,\varphi (x - x') - \frac{g}{2v_0^2 \cos^2\varphi}(x - x')^2$$ parabola

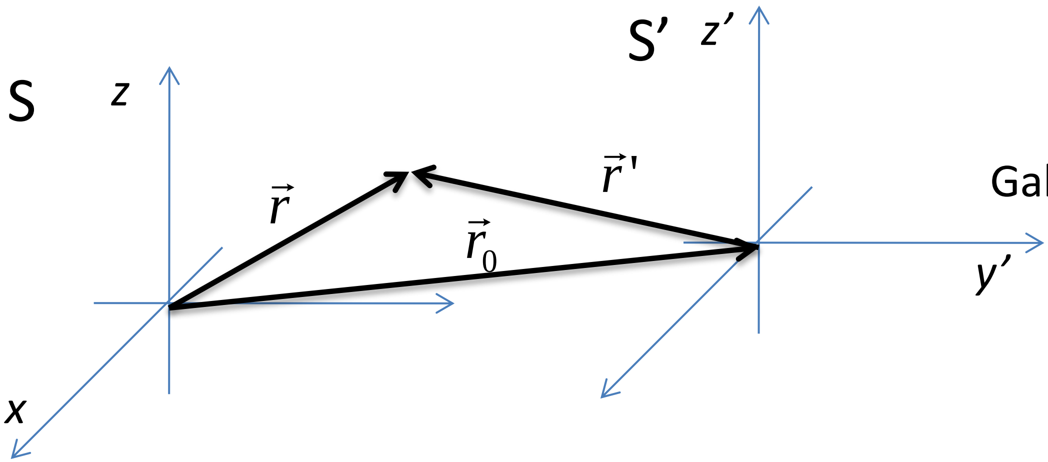
Domet: $$y = y' \Rightarrow t = 0, \frac{2v_0 \sin\varphi}{g}$$ 2 x čas do najvišje točke

$$d = x - x' = \frac{v_0^2}{g} 2\sin\varphi\cos\varphi = \frac{v_0^2}{g}\sin 2\varphi$$ max za $\varphi = \pi/4$

Relativno gibanje

Opis gibanja iz različnih opazovalnih sistemov: S in S’

- Uri tečeta enako: $t = t'$
- Osi koordinatnih sistemov vzporedni



$$\vec{r} = \vec{r}\,' + \vec{r}_0$$

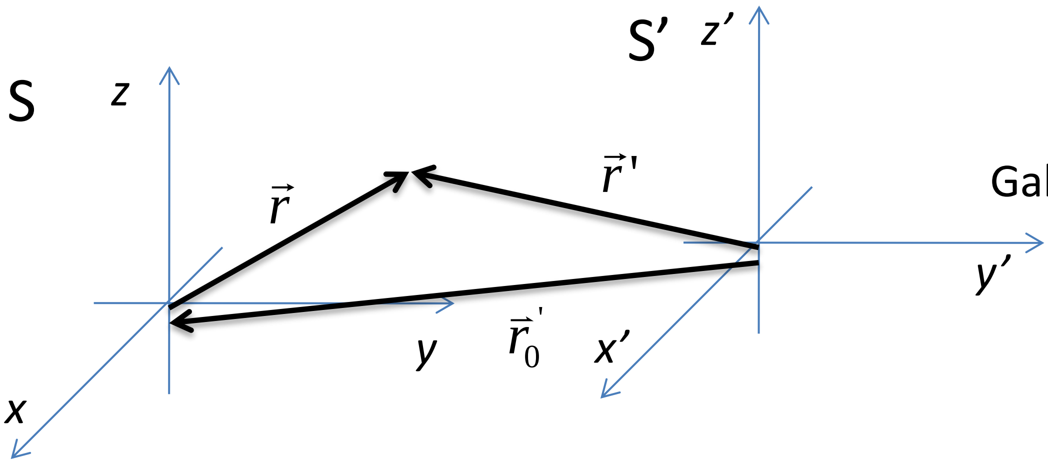
$$\boxed{\underbrace{\vec{r}\,'}_{\text{v S'}} = \underbrace{\vec{r} - \vec{r}_0}_{\text{v S}}}$$

Gallilejeva transformacija: S → S’

Relativno gibanje

Opis gibanja iz različnih opazovalnih sistemov: S in S’

- Uri tečeta enako: $t = t'$
- Osi koordinatnih sistemov vzporedni



$$\vec{r} = \vec{r}\,' + \vec{r}_0$$

$$\boxed{\underbrace{\vec{r}\,'}_{\text{v S’}} = \underbrace{\vec{r} - \vec{r}_0}_{\text{v S}}}$$

Gallilejeva transformacija: S → S’

$$\boxed{\underbrace{\vec{r}}_{\text{v S}} = \underbrace{\vec{r}\,' - \vec{r}_0^{\,'}}_{\text{v S’}}}$$

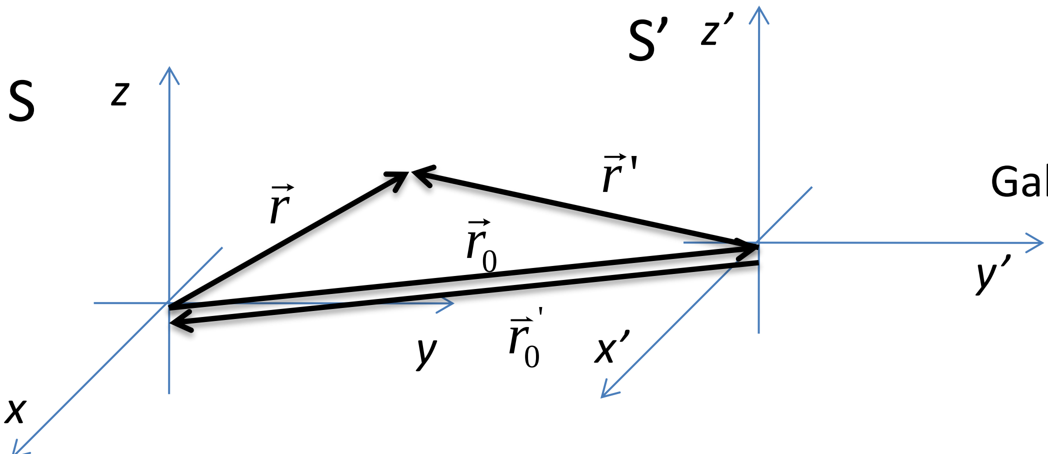
obratna tr.: S’ → S

sistema sta ekvivalentna → <u>načelo relativnosti</u>

Relativno gibanje

Opis gibanja iz različnih opazovalnih sistemov: S in S’

- Uri tečeta enako: $t = t'$
- Osi koordinatnih sistemov vzporedni



$$\vec{r} = \vec{r}\,' + \vec{r}_0$$

$$\boxed{\underbrace{\vec{r}\,'}_{\text{v S'}} = \underbrace{\vec{r} - \vec{r}_0}_{\text{v S}}}$$

Gallilejeva transformacija: S → S’

$$\boxed{\underbrace{\vec{r}}_{\text{v S}} = \underbrace{\vec{r}\,' - \vec{r}_0\,'}_{\text{v S'}}}$$

obratna tr.: S’ → S

$$\vec{v}\,' = \frac{d\vec{r}\,'}{dt} = \frac{d}{dt}(\vec{r} - \vec{r}_0) = \frac{d\vec{r}}{dt} - \frac{d\vec{r}_0}{dt} = \vec{v} - \vec{v}_0$$

sistema sta ekvivalentna → <u>načelo relativnosti</u>

inercialni opazovalni sistemi: se gibljejo premo in enakomerno drug proti drugemu

Zemlja <u>ni zares</u> inercialni op. sist. (vetrovi, tokovi, ...)

ponavadi lahko neinercialnost na Zemlji zanemarimo (idealizacija)

v in. op. sist.: $\vec{a}_0 = 0 :$ $\boxed{\vec{a}\,' = \vec{a} - \vec{a}_0 = \vec{a}}$ pospeški v vseh in. op. sist. enaki