Klasična fizika

- Predavatelj: Marko Mikuž
  - e-pošta: Marko.Mikuz@ijs.si
  - telefon: 01/477 3634
  - GSM: 041 643397
- Asistenti
  - Enej Ilievski: Aaa-Kar [24 sodih, 25 lihih]
  - Nejc Košnik: Kas-Oho [22 sodih, 27 lihih]
  - Matej Pregelj: Ohp-Žžž [22 sodih, 27 lihih]
- Režim preverjanj znanja:
- Pisni del:
  - 4 kolokviji
    - Po 4 naloge, 3 = 100%
    - Dodatek za domače naloge in sodelovanje pri vajah za izboljšanje *pozitivne* ocene
  - 2 pisna izpita (junij, september)
    - 4 naloge, 4 = 100%
- Ustni izpit: junij, september, po dogovoru

- Klasična fizika
  - Mehanika (1)
  - Toplota (2)
  - Elektrika in magnetizem (2)
  - Optika (2)
- Literatura
  - Halliday, Resnick, Walker; Fundamentals of Physics (Extended ?), Wiley & Sons
  - Strnad: Fizika I, II, DZS
  - skripta prof. Seligerja (v učilnici)

Meritve

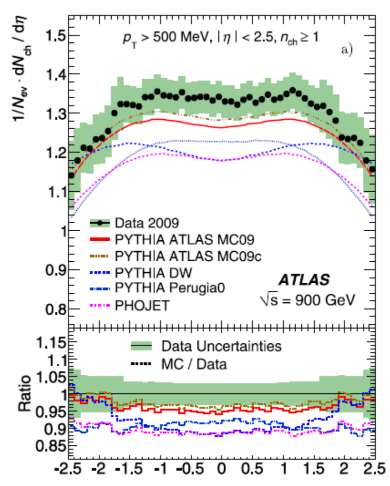
Naravoslovje:

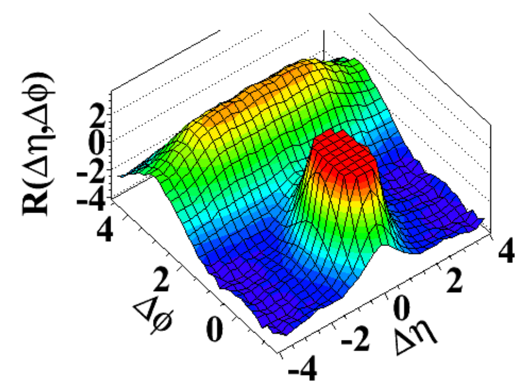
→ Opazovanje pojavov → meritev → splošne zakonitosti → teorija →

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

- Fizikalna količina ↔ meritev
  - Primerjava: <u>enota</u> + predpis
- Mehanika: 3 osnovne enote (od 7)
  - Čas [s]; nihaji atoma Cs
  - Dolžina [m]; pot svetlobe v vakumu (c)
  - Masa [kg]; Kibblova tehtnica (h)
- Vse ostale enote izpeljanke iz osnovnih; npr. W = J/s = kg.m^2/s^3
- Še tok [A], temperatura [K], množina snovi [kmol], svetilnost [cd]

- Meritve: rezultat + <u>napaka</u>
  - npr: c = 301000 km/s
    - Nova fizika ?
    - Nenatančen poskus
    - Napaka pri interpretaciji
- Predstavitev meritev
  - Tabela
  - Graf (2-D, ~3-D)
    - Merske točke z napako
    - Teorija → modelska funkcija
    - Skladnost meritve z napovedjo ?





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

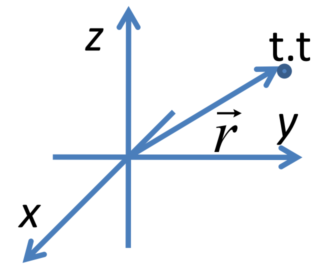
Kje opisujemo ?

- Opazovalni sistem
  - Koordinatni sistem
  - Ura

Točkasto telo: lega v opazovalnem sist.

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

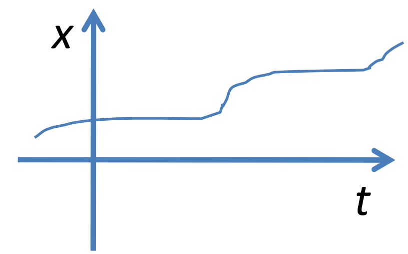
Opis gibanja:



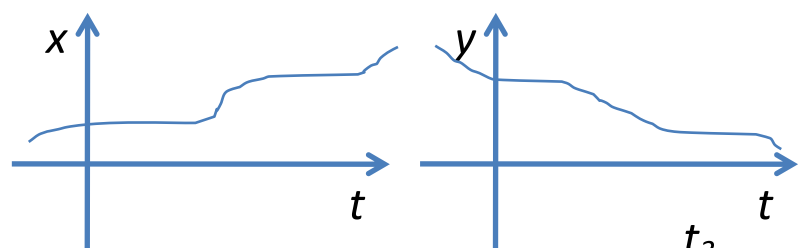
$$\boxed{\vec{r}(t) = (x(t), y(t), z(t))}$$

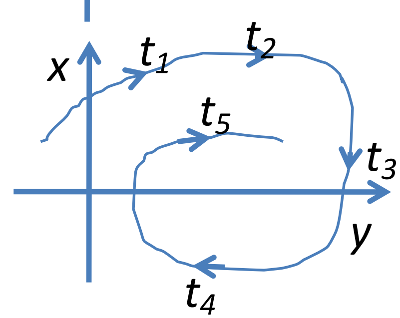
Graf: tir $\vec{r}(t)$

- 1-D: *x(t)*

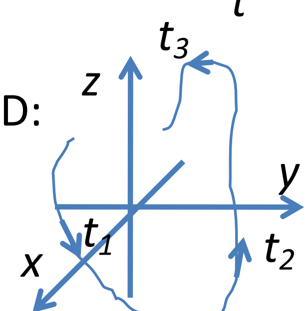


- 2-D:





3-D:



3 projekcije

Kinematika

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

  Δ - diferenca (razlika): konec - začetek

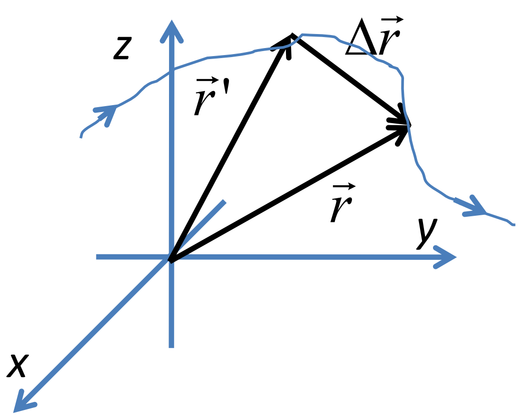
  d – diferencial: zelo majhna razlika

- 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

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

  - Smer sekante na tir

- 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

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

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

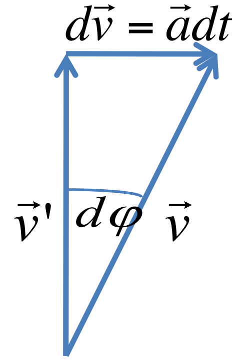
- Pospešek: sprememba hitrosti
  - Povprečni $\boxed{\overline{\vec{a}} = \frac{\Delta\vec{v}}{\Delta t} \quad [\frac{\mathrm{m}}{\mathrm{s}^2}]}$
  - Trenutni

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

Pospešek: komponenti glede na hitrost

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

  $d\vec{v} = \vec{a}dt \parallel \vec{v} \Rightarrow |\vec{v}| = |\vec{v}\,'| + |\vec{a}|dt$
- $\vec{a} \perp \vec{v}$ - spreminja smer hitrosti



$$\sin d\varphi = \frac{|\vec{a}|dt}{|\vec{v}|}$$

$$\Rightarrow d\varphi = \frac{a}{v}dt$$

$$|\vec{v}| = \sqrt{|\vec{v}\,'|^2 + |\vec{a}|^2 dt^2} \approx$$

$$\approx |\vec{v}\,'|(1 + \frac{1}{2}\left(\frac{|\vec{a}|}{|\vec{v}|}\right)^2 dt^2) \approx |\vec{v}\,'|$$

Kinematika – prosti pad

Prosti pad – zgled za enakomerno pospešeno gibanje v 1-D

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

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

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

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

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

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

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

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

$$t = \frac{-v_y' \pm \sqrt{v_y'^{\,2} - 2g(y - y')}}{-g}$$

$$v_y = \sqrt{v_y'^{\,2} - 2g(y - y')}$$

$$\boxed{v_y^{\,2} = v_y'^{\,2} - 2g(y - y')}$$

Hitreje, a več matematičnega znanja:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{dv}{dx}\frac{dx}{dt} = v\frac{dv}{dx}$$

$$\int_{v'}^{v} v\,dv = \int_{x'}^{x} a\,dx \Rightarrow \frac{1}{2}(v^2 - v'^2) = a(x - x')$$

$$\boxed{v^2 = v'^2 + 2a(x - x')}$$

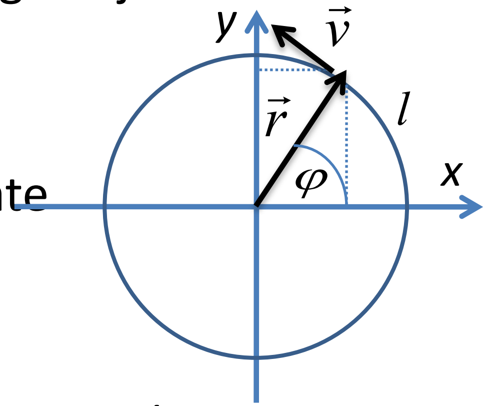
Kinematika – enakomerno kroženje

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

$$\boxed{\omega = \frac{d\varphi}{dt} \quad [\frac{\text{rd}}{\text{s}} = \text{s}^{-1}]}$$

Frekvenca: obrati v časovni enoti

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

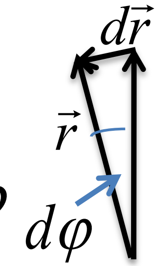
Hertz

t_0 – obhodni čas

Obrat – zasuk 2π:

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

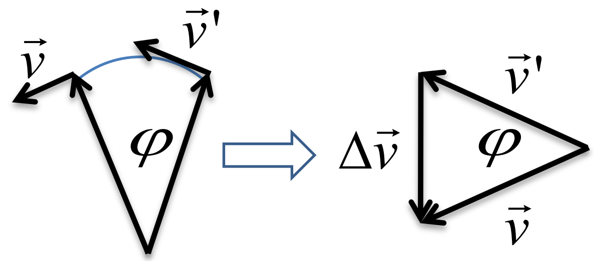
$\vec{v}$ smer tangente $d\vec{r}$



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

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

Hitrost (vektor!) spreminja smer → pospešeno gibanje



$$|\vec{a}| = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta\vec{v}|}{\Delta t} = 2v \lim_{\Delta t, \Delta\varphi \to 0} \frac{\sin(\Delta\varphi/2)}{\Delta t}$$

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

Smer $\vec{a}_c \parallel \Delta\vec{v}$: centripetalni, radialni, sredotežni pospešek

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 $v = \omega \cdot r$

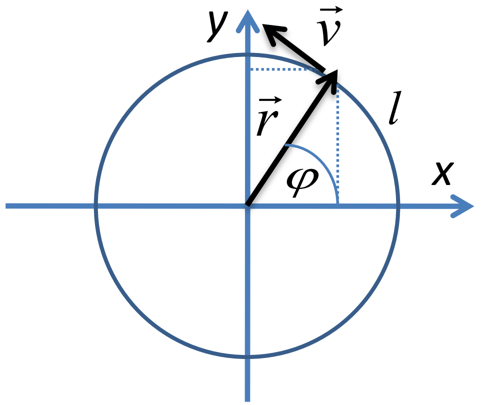
Tangentni pospešek $a_t = \alpha \cdot r$

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

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

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

Opis z vektorji: enakomerno kroženje



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

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

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

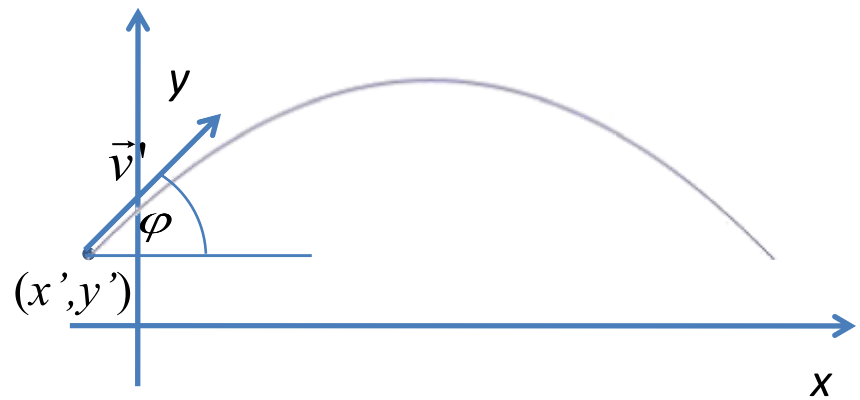
$$\vec{a} = \frac{d\vec{v}}{dt} = -r\omega^2(\cos\omega t, \sin\omega t) = -\omega^2\vec{r}$$

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

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

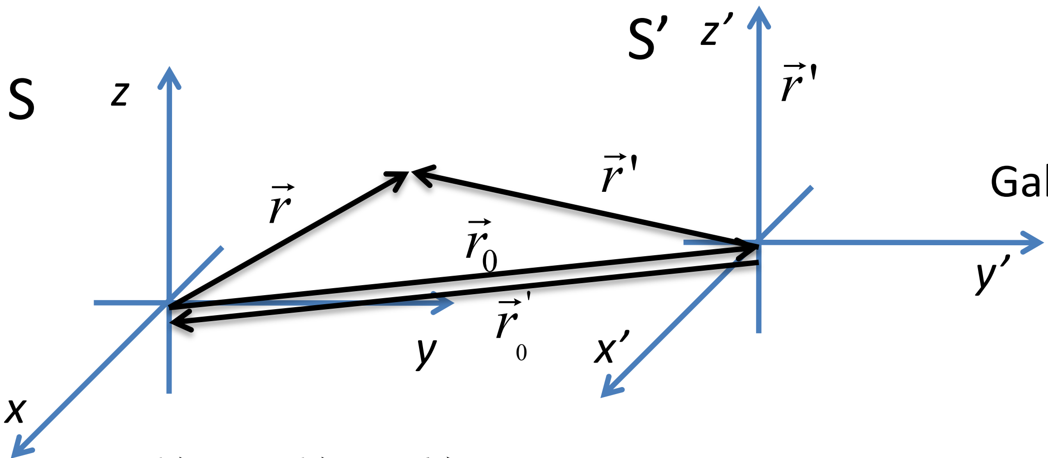
Domet: $y = y' \Rightarrow t = 0, \dfrac{2v_0 \sin\varphi}{g}$ 2 x čas do najvišje točke

$$d = x - x' = \frac{v_0^2}{g} 2 \sin\varphi \cos\varphi = \frac{v_0^2}{g} \sin 2\varphi$$ 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’

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

obratna tr.: S’ → S

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

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, stolp v Pisi)

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