Rekapitulacija zadnjih predavanja

- Djelovanje sila na tijelo u ravnini
  - ➔ Načelo reza i izolacije
  - ➔ Moment sile i spreg sila
  - ➔ Vrste veza između tijela, oslobađanje veza, sile reakcije veza
  - ➔ Sila trenja i ravnoteža tijela
  - ➔ Ravnoteža na kosini

U ovom predavanju

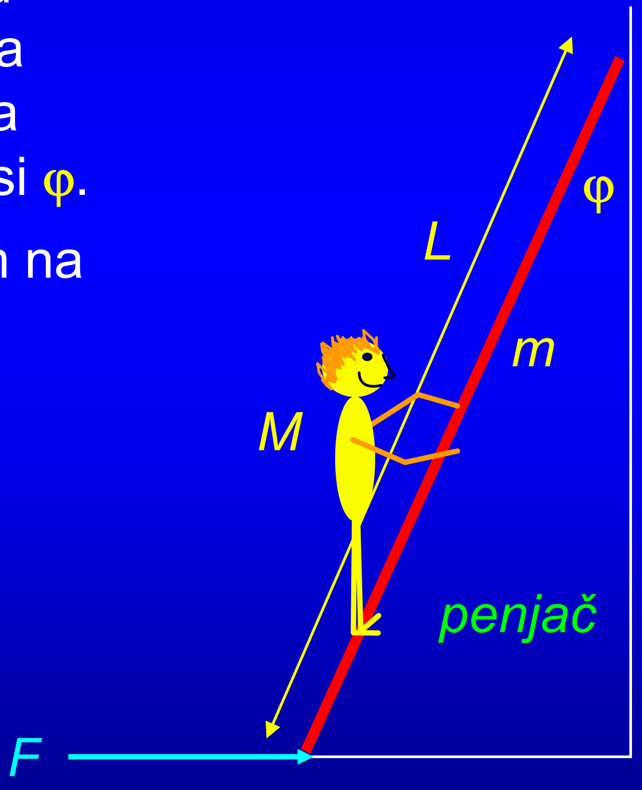
Proširenje znanja iz statike na kinematiku i dinamiku

- ➔ Primjer statičke ravnoteže (penjsč na ljestvama)
- ➔ Modeli trenja
- ➔ D'Alambertov zakon (poučak)
- ➔ Dinamika rotacijskog gibanja
- ➔ Rad i kinetička energija, moment količine gibanja

NASTAVAK predavanja od 02.04.2008

Primjer statičke ravnoteže

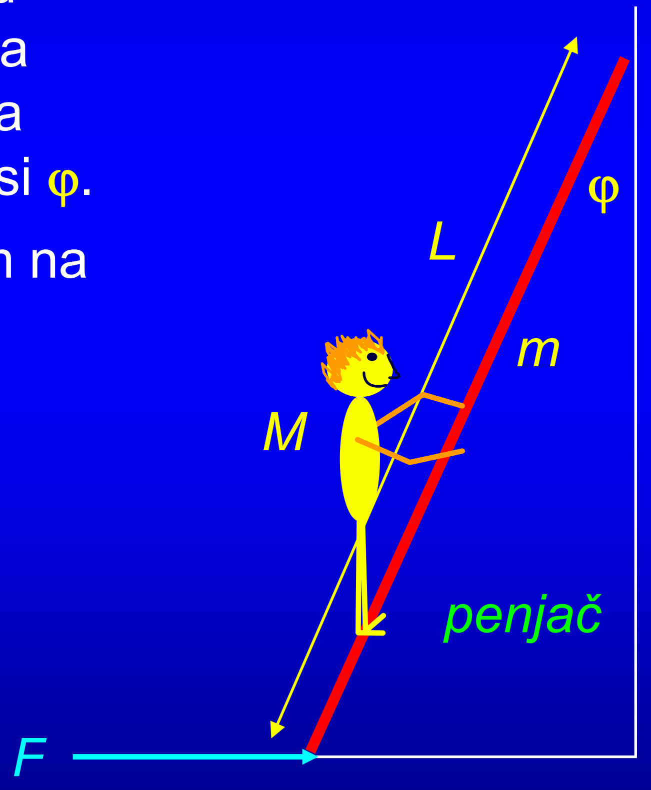
- Penjač mase *M* penje se uz ljestve dužine *L*, mase *m* koja se oslanja na glatki zid (nema trenja između zida i ljestvi). Sila trenja *F* između ljestvi i poda sprječava klizanje. Kut između ljestvi i zida iznosi φ.
- Kako se mijenja iznos sile *F* s visinom na kojem se nalazi penjač?



Statika – ravnoteža SILA i MOMENATA

Primjer: Statička ravnoteža Ljestve-zid

- Penjač mase *M* penje se uz ljestve dužine *L*, mase *m* koja se oslanja na glatki zid (nema trenja između zida i ljestvi). Sila trenja *F* između ljestvi i poda sprječava klizanje. Kut između ljestvi i zida iznosi φ.
- Kako se mijenja iznos sile *F* s visinom na kojem se nalazi penjač?

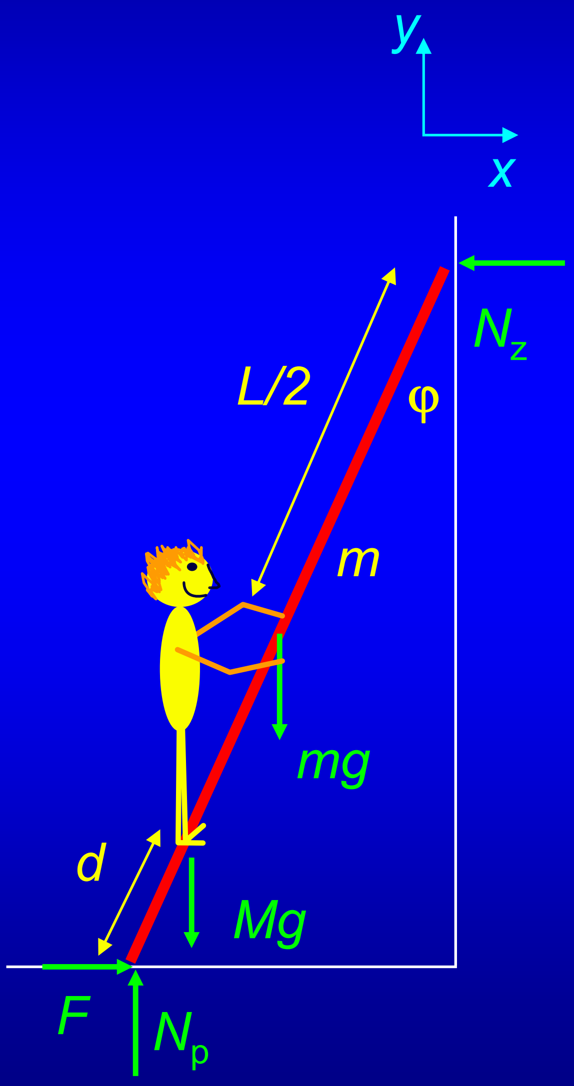


Primjer: Statička ravnoteža Ljestve-zid

- Razmatra se djelovanje svih sila
- S obzirom na gravitaciju i trenje, postoje normalne (reakcijske) sile trenja N_p i N_z na mjestima veze ljestvi s podom i sa zidom.
- Koristi se uvjet za ravnotežu sila $\Sigma F = 0$ u oba smjera x i y :

$$x: \quad N_z - F = 0 \qquad (5)$$

$$y: \quad N_p - Mg - mg = 0 \qquad (6)$$



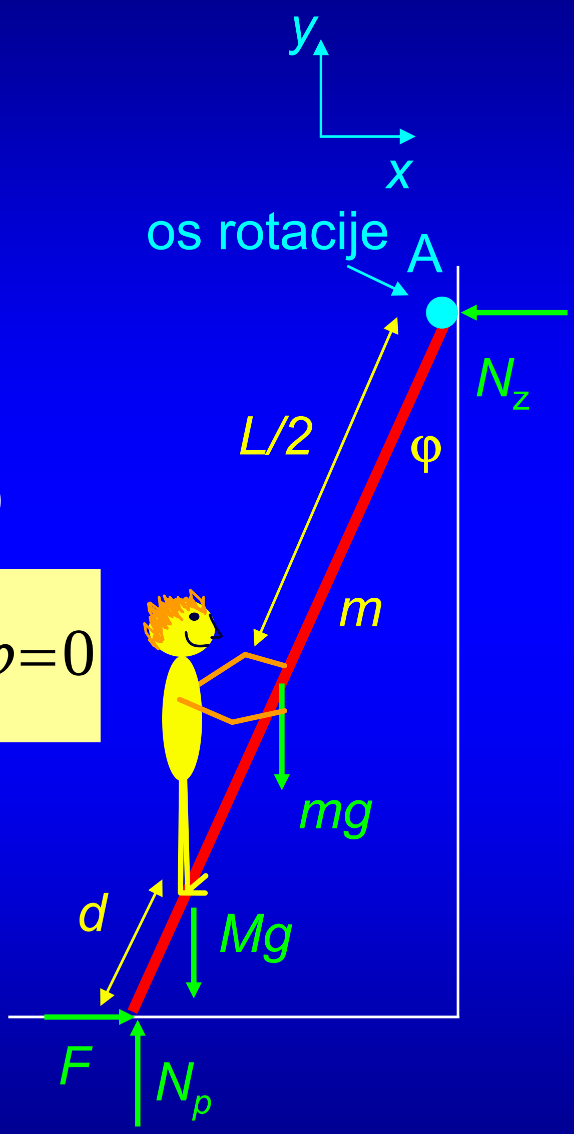
Primjer: Statička ravnoteža Ljestve-zid

- Za postavljanje drugog uvjeta za ravnotežu sustava na slici, $\Sigma M = 0$, treba se odabrati os rotacije.
- Odabirom točke A za os rotacije, eliminira se jedna reakcijska sila, N_z, koja ne treba za proračun. Suma momenta za os rotacije A (smjer osi z iznosi (7)

$$\frac{L}{2}\sin\varphi \cdot mg + (L-d)\sin\varphi \cdot Mg + F \cdot L\cos\varphi - N_p \cdot L\sin\varphi = 0$$

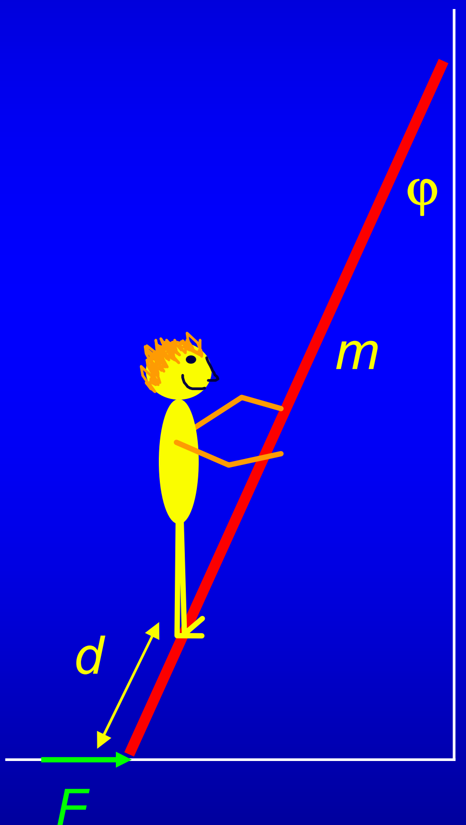
- Uvrštenjem za $N_p = Mg + mg$ iz (6) i uvrštenjem u (7), dobije se za silu F iznos :

$$F = Mg \tan\varphi \left(\frac{d}{L} + \frac{m}{2M} \right)$$



Primjer: Statička ravnoteža Ljestve-zid

- Izračunata sila je $$F = Mg \tan\varphi \left(\frac{d}{L} + \frac{m}{2M} \right)$$
- Za zadani koeficijent statičkog trenja μ_s, povećavajte kut dok ne dođe do klizanja ljestvi. Koliko on iznosi?
- Koji je kritični iznos sile F kod koje dolazi do klizanja? ($\mu_s N_p = \mu_s g (M + m)$).
- Ako sila pređe gornju vrijednost, dolazi do klizanja
- Moralne norme:
  - ➔ Ne povećavajte previše kut φ! Vodite računa o penjaču !

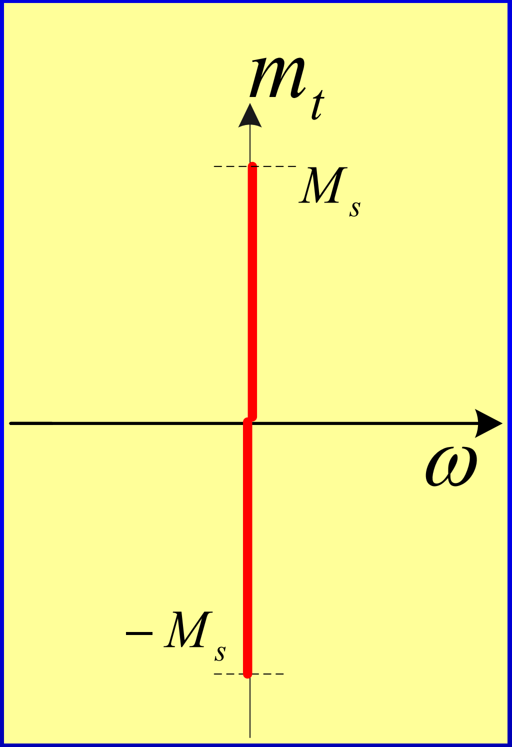


MODELI TRENJA

- Za potrebe analize, projektiranja i simulacije mehatroničkog sustava potrebno je postaviti ***matematičke modele trenja***.

- Sustavi koji se analiziraju sadrže osnovne tipove trenja: *trenje mirovanja* (statičko trenje), *trenje klizanja* (Coulumbovo trenje) i *viskozno trenje* (tekućinsko trenje).

Modeli trenja (I)
Model statičkog trenja (trenje mirovanja)

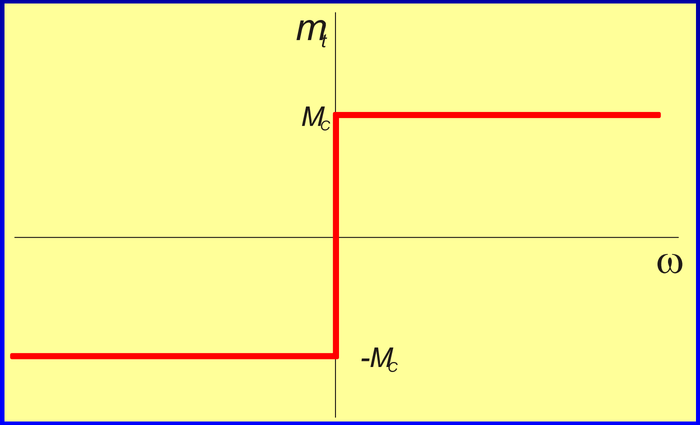


$$m_t = \pm M_s, \; _{\omega=0}$$

☞ *Statičko* trenje ili *trenje mirovanja* modelira se prema slici. Radi se o momentu (sili u translacijskom gibanju) koji se opire gibanju u samom početku gibanja.

☞ Engleski naziv *stiction* upravo upućuje na prirodu ovog trenja; okretni dio sustava je upravo *zalijepljen* za nepokretni dio, sve dok razvijeni okretni moment ne pređe iznos trenja mirovanja, M_s.

Modeli trenja (II)
Coulumbov model (trenje klizanja)

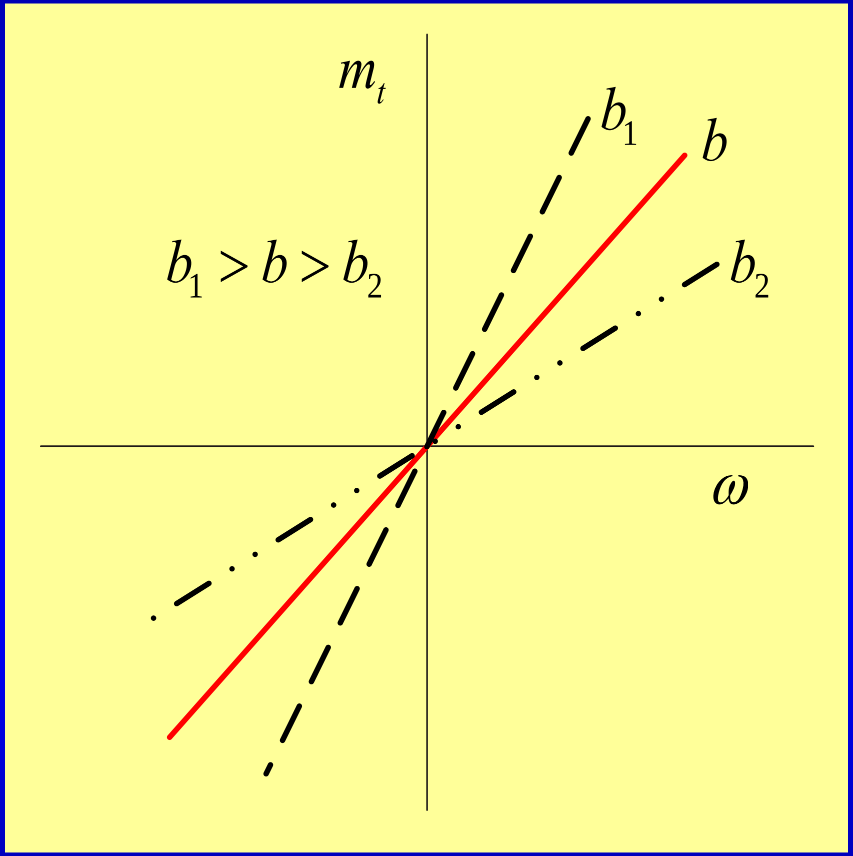


$$m_t = M_c \operatorname{sgn} \omega = M_c \frac{\omega}{|\omega|}$$

- ☞ Zasniva na *Coulumbovu zakonu trenja* i predstavlja konstantan otpor trenja koji se opire smjeru gibanja. Iznos momenta trenja klizanja označava se s M_C.
- ☞ Primjenjiv je *kod malih brzina* i sa *sporim promjenama brzine*. Model je prikladan zbog svoje jednostavnosti .
- ☞ Zbog *velike pogreške pri velikim brzinama vrtnje i brzini ω=0*, i za zahtjevnije sustave mora se koristiti potpuniji model trenja

Modeli trenja (III)

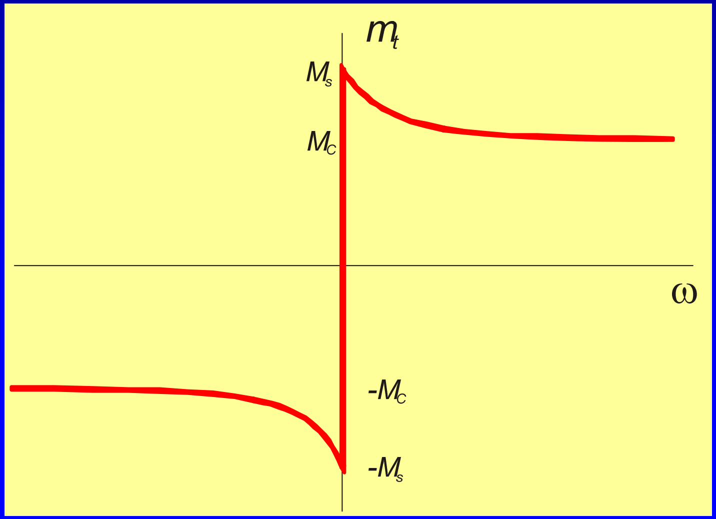
Viskozno trenje



$$m_t = b\omega$$

☞Veoma česta aproksimacija trenja u elektromehaničkom sustavu je ***viskozno trenje (tekućinsko trenje)***.

Modeli trenja (IV)
Stribeckov model (I)



$$m_t = \left(M_C + \left(M_S - M_C \right) e^{-\left(\omega / \Omega_k\right)^{\delta}} \right) sgn\,\omega$$

$$sgn\,\omega = \begin{cases} 1,\ za\ \omega > 0 \\ -1,\ za\ \omega < 0 \end{cases}$$

☞ *Stribeck* je 1902 uočio da je prijelaz s trenja mirovanja na trenje klizanja postupan .

☞ Gibanjem dolazi do utiskivanja maziva između dodirnih ploha, ali neki dijelovi ostaju nepodmazani. Smanjenjem nepodmazane površine, trenje se postepeno smanjuje (Stribeckov efekt).

Modeli trenja (V)
Stribeckov model (II)

☞ Stribeckova brzina vrtnje Ω_k i parametar δ u izrazu se određuju empirijski.

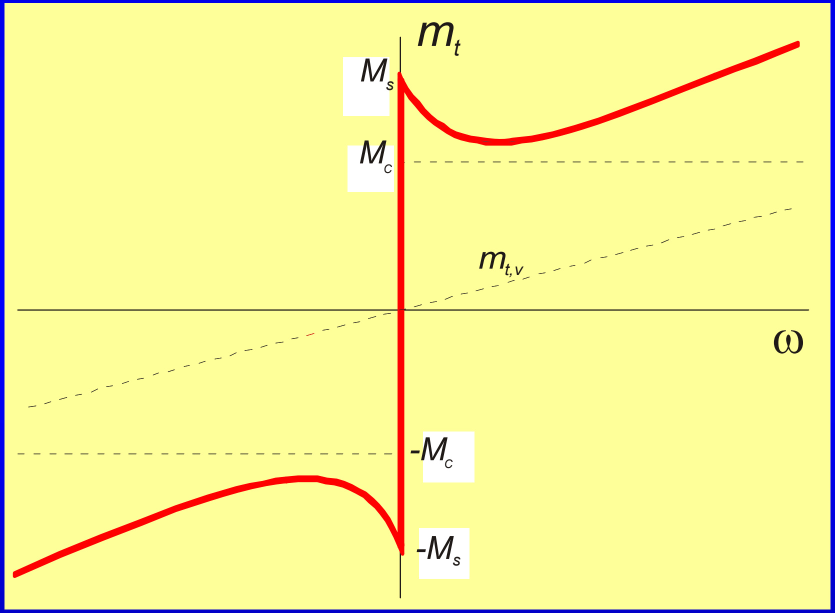
☞ Oblici Stribeckova modela u ovisnosti o parametru δ. *Tustinov* (δ=1) i *Gaussov* (δ=2) model

☞ Ovakav model pogodan je pri malim brzinama vrtnje.

☞ *Pri većim brzinama pogreška modela raste zbog utjecaja viskoznog trenja*. Zbog diskontinuiteta u ω=0, vrijednost trenja može poprimiti bilo koju vrijednost između M_s i $-M_s$, što je negativna karakteristika ovog modela

Modeli trenja (VI)
Stribeck – Reynoldsov model (I)

$$m_t = \left(M_C + (M_S - M_C) e^{-(\omega/\Omega_k)^{\delta}} \right) sgn\,\omega$$



$$sgn\,\omega = \begin{cases} 1, za\ \omega > 0 \\ -1, za\ \omega < 0 \end{cases}$$

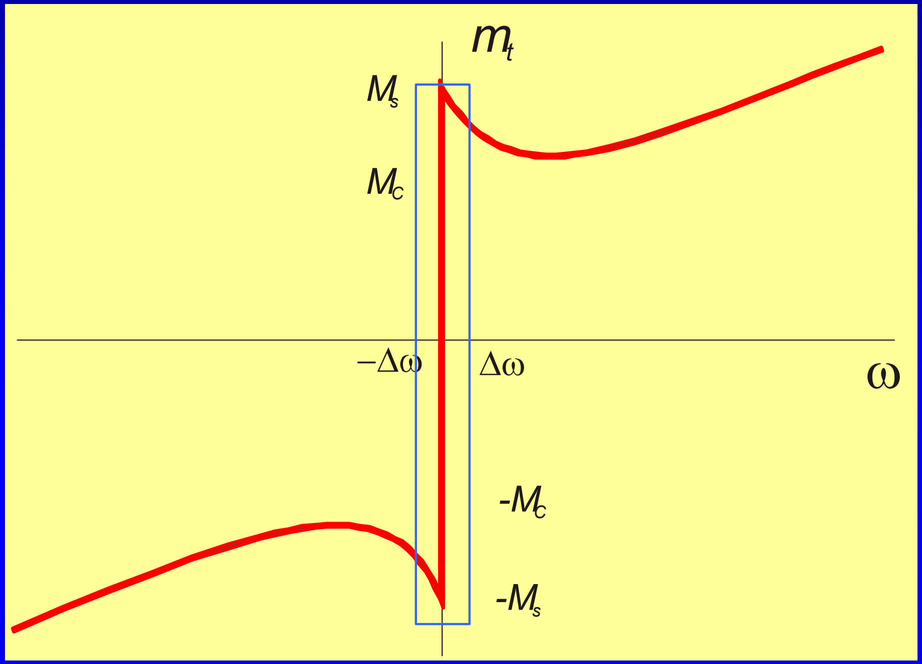
$$m_{t,v} = b \cdot \omega$$

b-koeficijent viskoznog trenja [Nm/rad/s].

Modeli trenja (VII)
Stribeck – Reynoldsov model (II)

☞ Ovakav model trenja vjerno prikazuje trenje u svim područjima brzina vrtnje. Ostaje problem već spomenut u prethodnom modelu, a to je diskontinuitet u ω=0. Stoga je ovaj model pogodan u sustavima koji nemaju promjenu smjera brzine vrtnje.

Modeli trenja (VIII)
Karnopp – Reynoldsov model (I)



$$m_t = \begin{cases} M_S sgn\,\omega; \quad za \quad |\omega| < \Delta\omega \\ \left[M_C + (M_S - M_C)e^{-(\omega/\Omega_k)^\delta}\right] sgn\,\omega + b\omega; \; za \; |\omega| > \Delta\omega \end{cases}$$

$\pm\Delta\omega \rightarrow$ pojas oko ω=0

Kinematika i Dinamika - podsjetnik

- Kinematika – Proučava zakonitosti, tj. geometrijska svojstva GIBANJA, pri čemu se ne razmatraju sile koje uzrokuju ta gibanja.
- Primjer: rotacijsko gibanje koje je opisano osnovnim jednadžbama

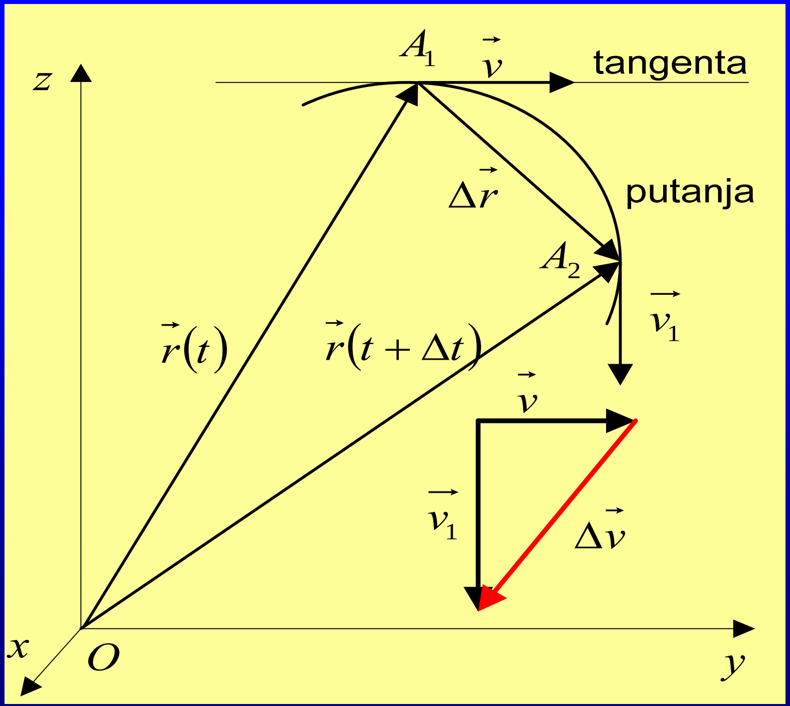
$$\boxed{\begin{aligned} &\alpha = \textit{konst.} \\ &\omega = \omega_0 + \alpha t \\ &\theta = \theta_0 + \omega_0 t + \frac{1}{2}\alpha t^2 \end{aligned}}$$

- Slično vrijedi i za translacijsko gibanje

- Dinamika – Proučava zakonitosti GIBANJA i SILA (MOMENATA) koje su izazvale ta gibanja
- Primjer: rotacijsko gibanje izazvano momentom, translacijsko gibanje izazvano gravitacijskom ili nekom drugom vanjskom silom.
- Do sada je obrađena 1D kinematika i dinamika

Kinematika – definiranje prostornih vektora položaja, brzine i ubrzanja

- Kinematika predstavlja geometriju gibanja, prema Lagrangeu to je geometrija s 4 dimenzije (x, y, z i t).
- Dakle, može se reći da su osnovi kinematički pojmovi prostor i vrijeme a na osnovi njih se izvode glavne kinematičke veličine kao što su brzina i ubrzanje.
- Položaj čestice (točke tijela u prostoru) određen je vektorom položaja ***r*** = ***r****(t).* Napomena, r je prostorni vektor!



U nekom konačnom vremenu Δt točka promijeni položaj na putanji, čime se i vektor ***r*** promijeni za vektorsku veličinu Δ***r***,

Srednja brzina određena je omjerom prirasta vektora položaja Δ***r*** i prirasta pripadajućeg vremena Δt

$$v_s = \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t}$$

Kinematika – definiranje prostornih vektora položaja, brzine i ubrzanja

- Kad Δt teži nuli dobije se vektor trenutne brzine ili, kraće, brzine ***v***, tj.

$$\vec{v} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{r}}{\Delta t} = \frac{d\vec{r}}{dt} = \dot{\vec{r}}$$

- Vektor brzine ***v***, leži na pravcu tangente na putanji, u točki koja odgovara njezinu položaju u trenutku *t*.
- Pri gibanju uvijek postoji prirast vektora brzine, koji se zbiva u vremenu Δt. Srednje (prosječno) ubrzanje određeno je izrazom

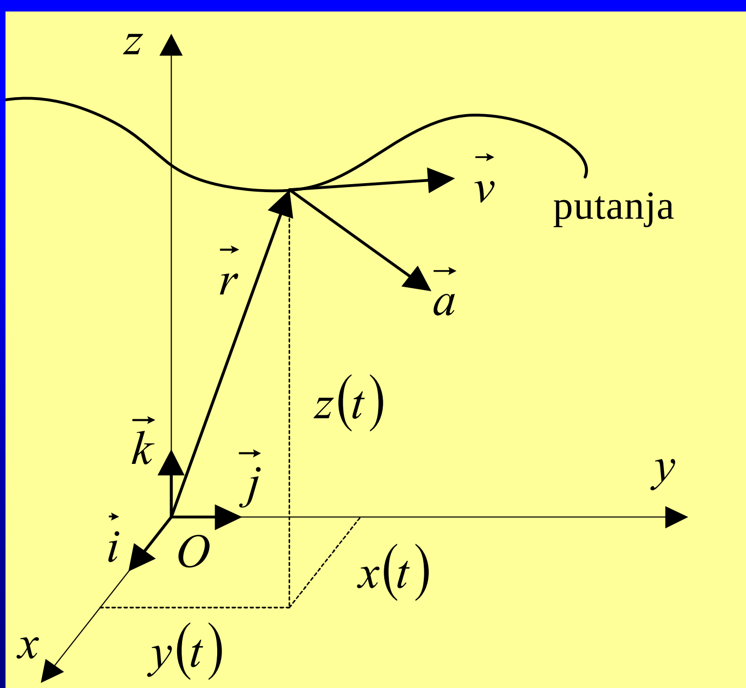
$$\overrightarrow{a_s} = \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

- Vektor trenutnog ubrzanja dobije se kada interval vremena teži k nuli,

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t} = \frac{d\vec{v}}{dt} = \dot{\vec{v}} = \ddot{\vec{r}}$$

Kinematika – definiranje prostornih vektora položaja, brzine i ubrzanja

- Analiza gibanja se može provesti u različitim koordinatnim sustavima. Ovdje će samo primjera radi biti prikazana Decartesov koordinatni sustav
- U Descartesovou koordinatnom sustavu smjerovi osi *x*, *y* i *z* određeni su jediničnim vektorima ***i***, ***j*** i ***k***. Položaj čestice je određen koordinatama *x*=*x*(*t*) , *y*=*y*(*t*) i *z*=*z*(*t*), koje su ujedno i parametarske jednadžbe putanje gdje je parametar vrijeme *t*



Vektor položaja ***r*** glasi

$$\vec{r}(t) = x(t)\cdot\vec{i} + y(t)\cdot\vec{j} + z(t)\cdot\vec{k}$$

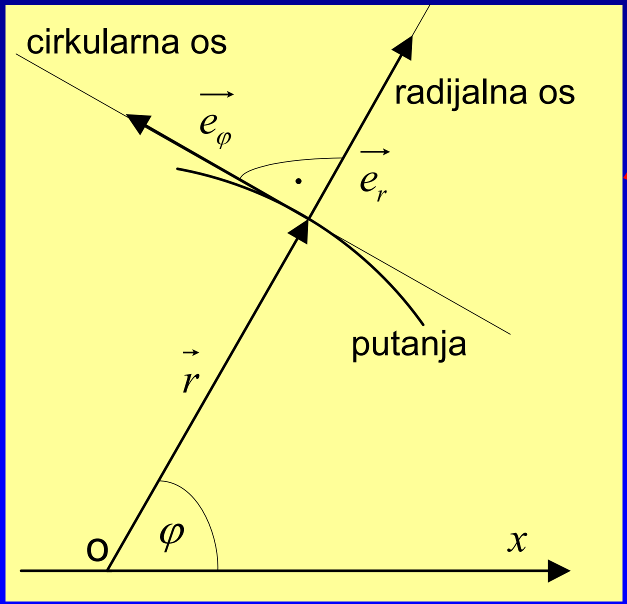
Vrijedi također

$$\vec{v} = \dot{x}\cdot\vec{i} + \dot{y}\cdot\vec{j} + \dot{z}\cdot\vec{k} \qquad \vec{a} = \ddot{x}\cdot\vec{i} + \ddot{y}\cdot\vec{j} + \ddot{z}\cdot\vec{k}$$

$$v = \left|\vec{v}\right| = \sqrt{v_x^2 + v_y^2 + v_z^2} = \sqrt{\dot{x}^2 + \dot{y}^2 + \dot{z}^2}$$

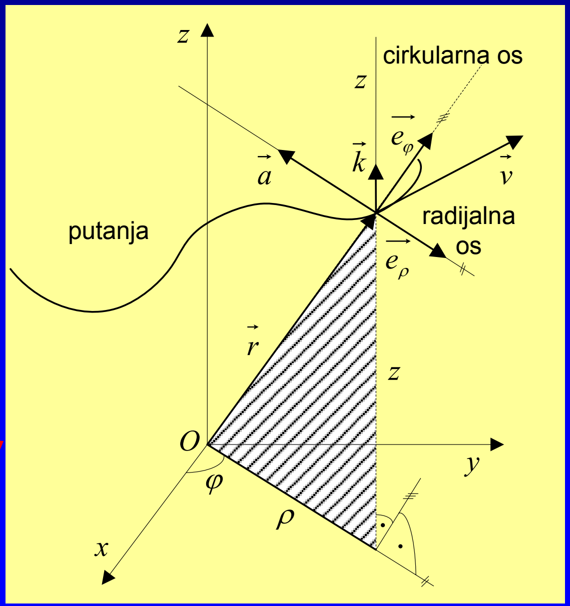
$$a = \left|\vec{a}\right| = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{\ddot{x}^2 + \ddot{y}^2 + \ddot{z}^2}$$

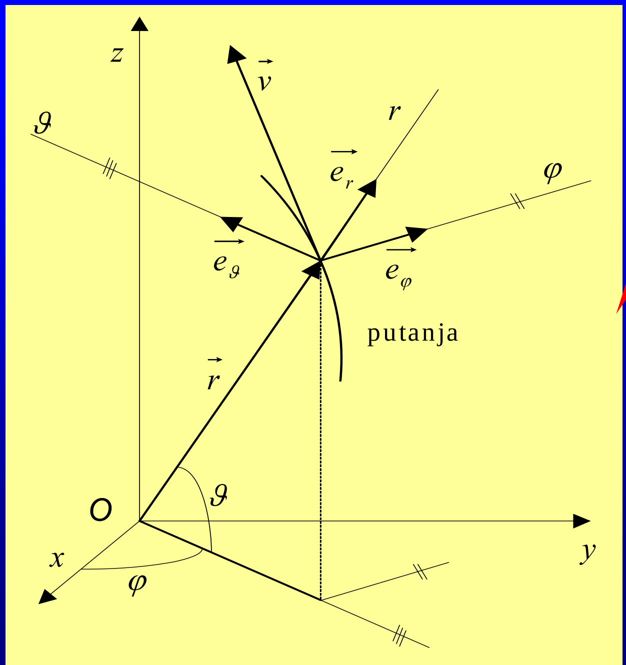
Kinematika – mogući sustavi prikaza gibanja tijela



Polarni KS – prikaz pomoću radijalne ***r*** i cirkularne φ osi, te jediničnih vektora $\boldsymbol{e_r}$ i $\boldsymbol{e_\varphi}$

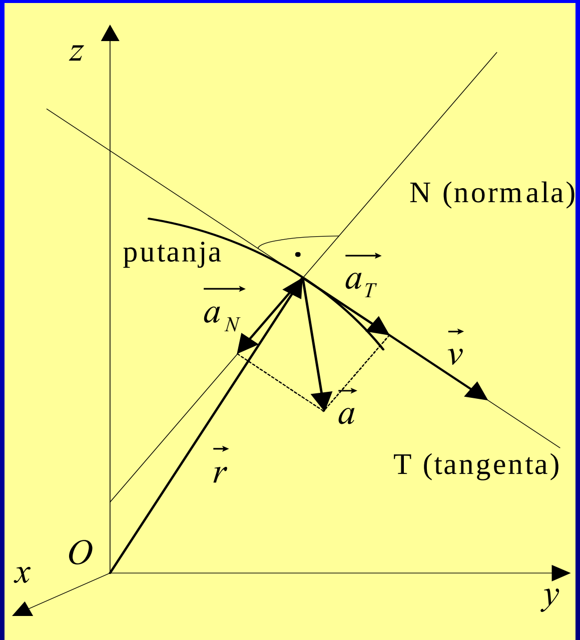
Cilindrični KS – prikaz pomoću koordinata ρ, φ i Decartesove koordinatu ***z*** **.** Tri okomite osi su funkcije vremena, parametarski zapis





Sferni KS – prikaz pomoću radijalnog ***r*****,** i dva cirkularna smjera, φ i υ **.**

Prirodni KS – prikaz pomoću **tangencijalne** (smjer brzine), **normalne** komponente i osi **z**



Dinamika – D'Alambertovo načelo

- Svaki problem iz dinamike gibanja se može preuređenjem jednadžbi gibanja riješiti poznatim metodama statike.
- Drugi Newtonov zakon opisuje gibanje čestice vektorskom jednadžbom

$$\overrightarrow{F_R} = m \cdot \vec{a}$$

gdje je F_R rezultantna sila koja djeluje na česticu mase m

- Jednadžba gibanja može se prikazati i u implicitnom obliku

$$\overrightarrow{F_R} - m \cdot \vec{a} = \vec{0}$$

- što uz $-m \cdot \vec{a} = \vec{L}$ daje

$$\overrightarrow{F_R} + \vec{L} = \vec{0}$$

Tu je L tzv. inercijska sila (D'Alambertove sile) koja nema odlike stvarne sile i omogućava da se svaki zadatak dinamike promatra kao dinamička ravnoteža svih sila, uključujući i inercijsku.

Dinamika – D'Alambertovo načelo

- Postoje nedoumice oko prihvaćanja $-m \cdot \vec{a} = \vec{L}$ za "silu". Te nedoumice imaju i nastavnici mehanike objašnjavajući studentima D'Alambertov "formalizam" kojim načelo statičke ravnoteže praktički izjednačava s dinamičkom ravnotežom! Ne radi se o aktivnoj sili kao tipu sile s kojim smo do sada radili.
- U literaturi se može pronaći pristup da se u slučaju korištenja D'Alambertove inercijske sile *L*, kao "ravnopravne" aktivnoj sili, koristi pojam "pseudo" ravnoteže kako sila tako i momenata
- To za sobom povlači također da se D'Alambertova sila *L* nazove "pseudo-silom", što se također može naći u literaturi
- Primjer načela pseudo-ravnoteže momenta koji nam je poznat je u dinamici elektromotornog pogona

$$\sum_{i}^{m,u,t} m_i = m_m - m_u - m_t = 0$$

$$m_m = m_u + m_t = J\frac{d\omega}{dt} + m_t$$

Dinamika translacije – izvršeni rad, količina gibanja, kinetička energija

- Promjena kinetičke energije je pokazatelj izvršenog rada rezultantne sile za vrijeme gibanja čestice iz položaja *1* u položaj *2*.

$$E_{k2} - E_{k1} = W_{12}$$

tj.

$$\frac{m \cdot v_2^2}{2} - \frac{m \cdot v_1^2}{2} = \int_1^2 \vec{F} \cdot d\vec{r}$$

- Zakon pokazuje da nema promjene brzine vrtnje čestice (a samim tim i kinetičke energije) bez rezultantne sile.

Količina gibanja je vektorska veličina umnoška mase čestice i njezine brzine.

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

Derivacija količine gibanja po vremenu daje rezultantnu silu koja uzrokuje gibanje čestice

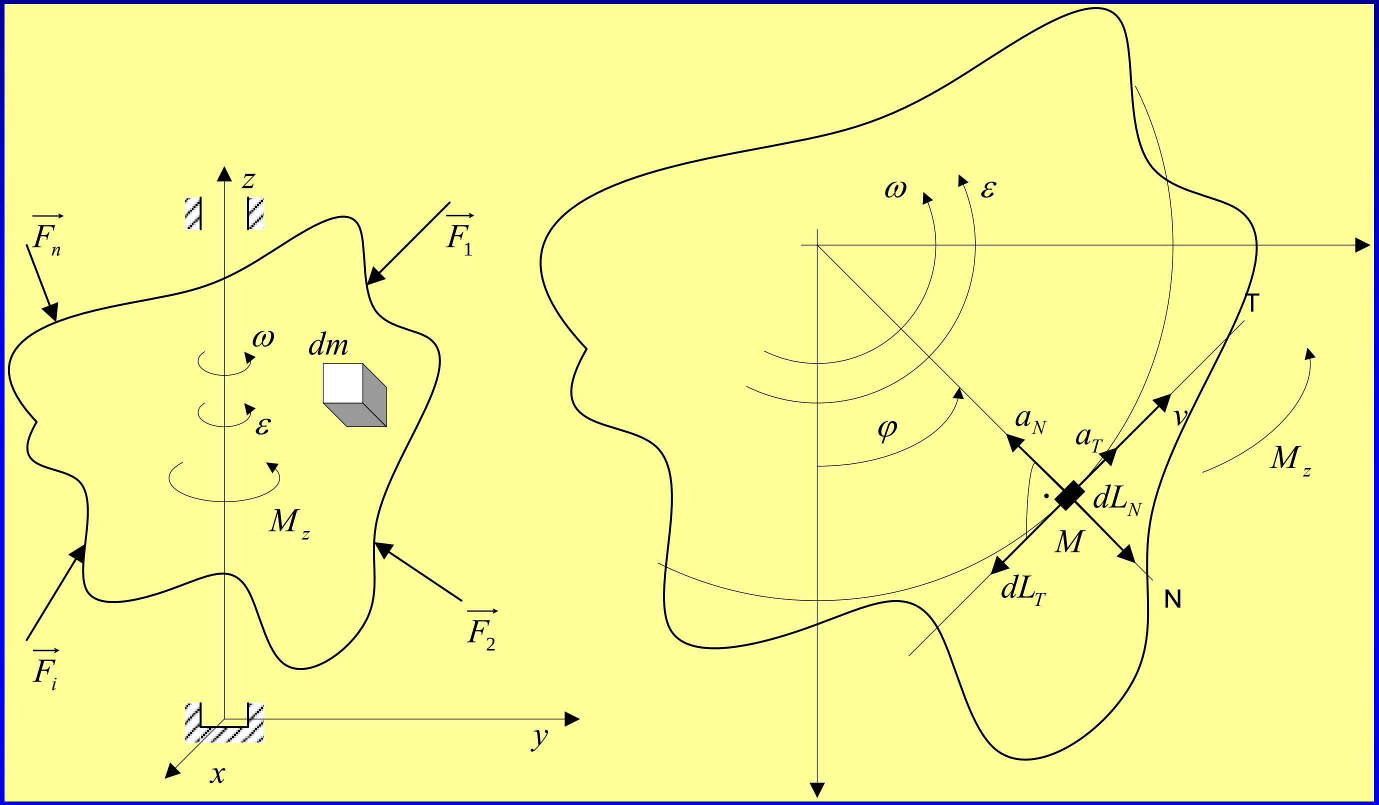
$$\frac{d\vec{B}}{dt} = \vec{F_R} = m \cdot \vec{a}$$

Zakon količine gibanja
Razlika količine gibanja jednaka je impulsu sile
Ako je u intervalu 1-2 impuls *I* jednak nuli, onda nema promjene brzine

$$\vec{B_2} - \vec{B_1} = \vec{I}$$

$$m \cdot \vec{v_2} - m \cdot \vec{v_1} = \int_{t_1}^{t_2} \vec{F_R} \cdot dt$$

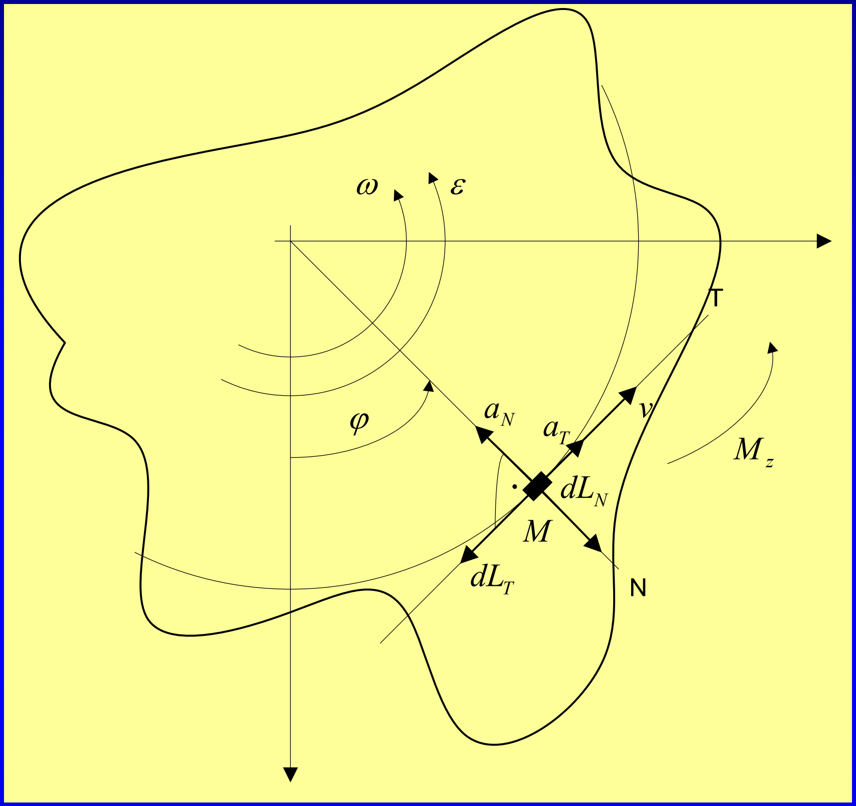
Dinamika rotacije



- Na tijelo mase *m*, koje rotira oko osi *z*, djeluju vanjske sile, F_1 ,F_2 ... , F_n i vanjski moment M_z. Tijelo rotira kutnom brzinom ω i ima ubrzanje ε.

$$M_z = J_z \cdot \ddot{\varphi} = J_z \cdot \varepsilon$$

Dinamika rotacije



- Iznos ukupnog ubrzanja je

$$a = \sqrt{a_T^2 + a_N^2}$$

- Promatrani dio tijela mase *dm*, ima tangencijalnu a_T i normalnu a_N komponentu ubrzanja
- Tangencijalna komponenta ima isti smjer kao i brzina , dok se normalne komponenta poklapa s pravcem okomice spuštenom iz točke *M* na os rotacije
- U suprotnom smjeru vektora a_T i a_N djeluju tangencijalna dL_T i normalna komponenta dL_N inercijalne sile *L*
- Uz polumjer rotacije *b,* i kutno ubrzanje ε, iznosi sila su

$$dL_T = a_T \cdot dm = b \cdot \varepsilon \cdot dm$$

$$dL_N = a_N \cdot dm = b \cdot \omega^2 \cdot dm$$

Dinamika rotacije

- Suma momenata svih sila, F_1 , F_2,..., F_n i svih inercijalnih sila, L_1, L_2,. .. , L_n mora biti jednaka nuli. Dinamička ravnoteža. Aktivni rotacijski moment i inercijalni (pseudo-moment od tangencijalne komp. D'Alambertove sile)

$$\boxed{\sum M_z^{F_i+L_i} = 0}$$

- Aktivni moment M_z koji dolazi od tangencijalne komponente ubrzanja, kao rezultat djelovanja sila, F_1 , F_2,..., F_n je u ravnoteži sa sumom D'Alambertovih pseudo-sila

$$\boxed{M_z - \int_m dL_T \cdot b = 0}$$

- Aktivni moment M_z koji dolazi od tangencijalne komponente ubrzanja, kao rezultat djelovanja sila, F_1 , F_2,..., F_n

$$\boxed{M_z = \int_m b \cdot \varepsilon \cdot dm \cdot b} \quad \boxed{M_z = \varepsilon \cdot \int_m b^2 \cdot dm} \quad \boxed{M_z = J_z \cdot \varepsilon}$$

"Translacijski ekvivalent" $\longrightarrow$ $\boxed{F = m \cdot a}$

Dinamika rotacije – kinetička energija

- Kinetička energija za rotaciju tijela oko osi iznosi

$$E_k = \frac{J_z \cdot \omega^2}{2} = \frac{J_z \cdot \dot{\varphi}^2}{2}$$

- Zakon kinetičke energije za rotaciju tijela oko osi *z* glasi

$$E_{k2} - E_{k1} = W_{1,2}$$

tj.

$$\frac{J_z \cdot \omega_2^2}{2} - \frac{J_z \cdot \omega_1^2}{2} = \int_{\varphi_1}^{\varphi_2} M_z \cdot d\varphi$$

- Kinetički moment $J_z \cdot \omega$ ekvivalent je momentu količine gibanja u translacijskom gibanju. Zakon kinetičkog momenta glasi

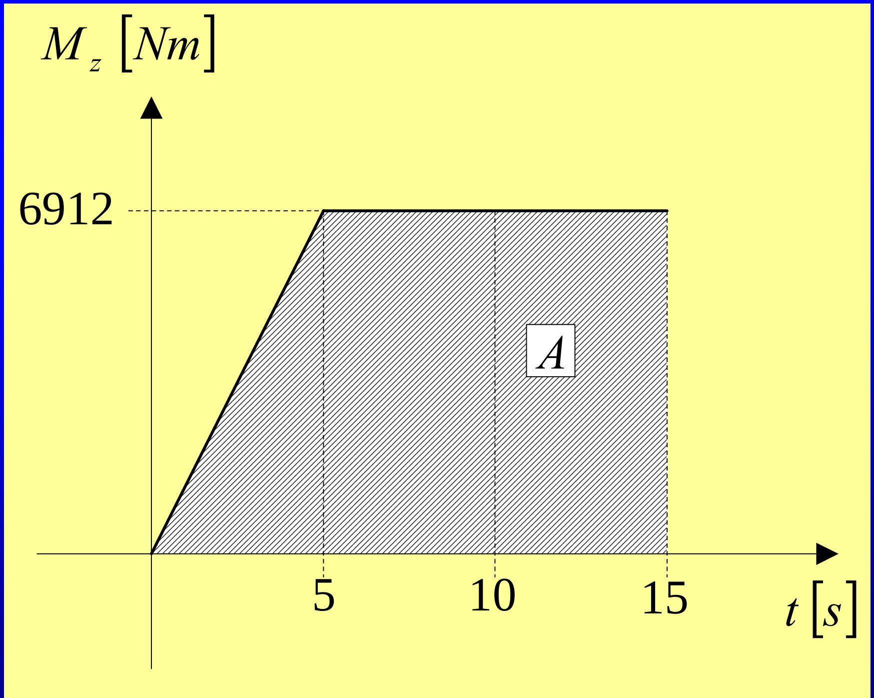
$$J_z \cdot \omega_2 - J_z \cdot \omega_1 = \int_{t_1}^{t_2} M_z \cdot dt$$

- Ako postoji razlika između s lijeve i s desne strane jednadžbe, onda je moguće gibanje tijela bez obzira što je $M_z=0$, odnosno

$$J_{z1} \cdot \omega_1 = J_{z2} \cdot \omega_2$$

Dinamika rotacije – Primjer 1.

- Rotor električnog stroja, momenta tromosti J_z=550kgm^2 u odnosu na os vrtnje , povećava brzinu vrtnje s n_1=1500rpm na neku novu brzinu n_2. Do promjene brzine dolazi pod djelovanjem momenta M_z koji se mijenja prema zakonu prikazanom na slici. Koliku brzinu vrtnje postiže rotor na kraju periode ubrzavanja koji traje 15 s?



Dinamika rotacije – Rješenje Primjera 1.

- Zakon kinetičkog momenta povezuje sve zadane vrijednosti

$$J_z \cdot \omega_2 - J_z \cdot \omega_1 = \int_{t_1}^{t_2} M_z \cdot dt$$

$$J_z \cdot \left(\frac{n_2 \cdot \pi}{30} - \frac{n_1 \cdot \pi}{30} \right) = \int_{t_1=0}^{t_2=15} M_z \cdot dt$$

- Integral $\int_{t_1=0}^{t_2=15} M_z \cdot dt$ jednak je površini A ispod krivulje na slici

$$J_z \cdot \frac{\pi}{30} \cdot (n_2 - n_1) = A$$

$$\boxed{n_2 = n_1 + \frac{30 \cdot A}{\pi \cdot J_z}}$$

$$\boxed{n_2 = 3000 \min^{-1}}$$

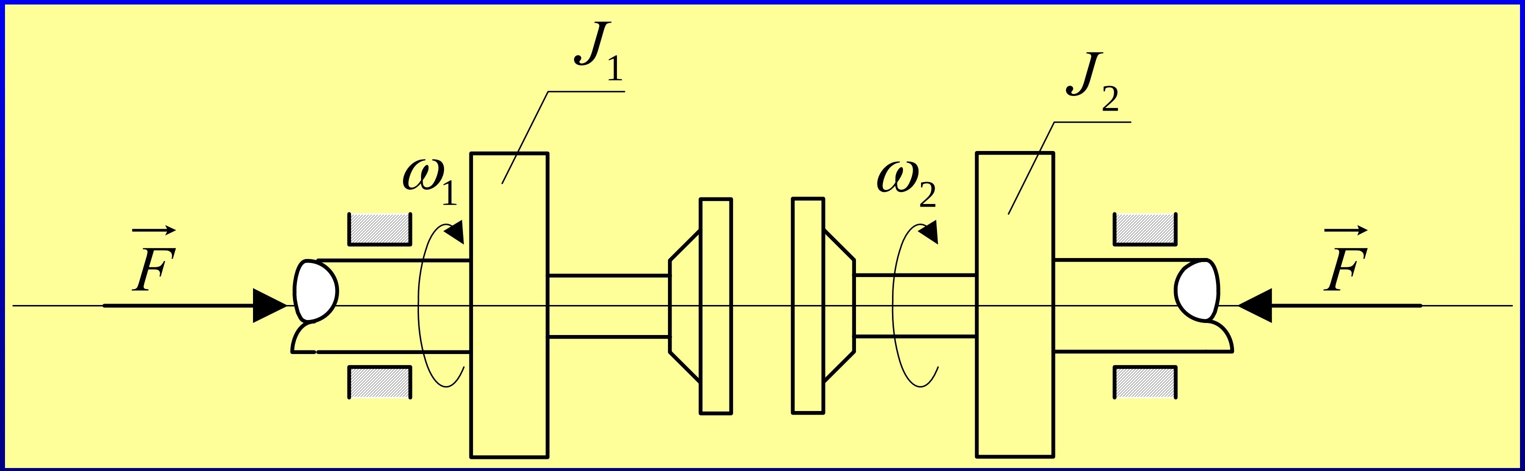
Dinamika rotacije – Primjer 2.

- Dva vratila spajaju se međusobno pomoću tarne spojke pod djelovanjem sila F. Ako su momenti tromosti ventila, zajedno s dijelovima koji na njima rotiraju oko osi rotacije, J_1 i J_2, odrediti zajedničku kutnu brzinu ω nakon spajanja ?

  a) Prije spajanja vratilo 2 miruje, a vratilo 1 rotira kutnom brzinom ω_1

  b) Prije spajanja kutne brzine vratila ω_1 i ω_2 su istog smjera

Koliko se energije u oba slučaja pretvara na spojci u toplinu?



Dinamika rotacije – Rješenje primjera 2.

a) Prije spajanja vratilo 2 miruje, a vratilo 1 rotira kutnom brzinom ω_1

U trenutku spajanja, na vratilo djeluju samo unutrašnji momenti spojke oko osi rotacije

$$J_1 \cdot \omega_1 = \left(J_1 + J_2\right) \cdot \omega \longrightarrow \omega = \omega_1 \cdot \frac{J_1}{J_1 + J_2}$$

Gubitak energije je razlika kinetičkih energija na početku i na kraju

$$E_G = \frac{J_1 \cdot \omega_1^2}{2} - \frac{\left(J_1 + J_2\right) \cdot \omega^2}{2} = \frac{1}{2} \cdot \left[J_1 \cdot \omega_1^2 - \omega_1^2 \cdot \left(\frac{J_1}{J_1 + J_2} \right)^2 \cdot \left(J_1 + J_2\right) \right]$$

$$\boxed{E_G = \frac{1}{2} \cdot \frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2} \cdot \omega_1^2}$$

Dinamika rotacije – Rješenje primjera 2.

b) Prije spajanja kutne brzine vratila ω_1 i ω_2 su istog smjera

Vrijedi zakon o održanju količine gibanja

$$J_1 \cdot \omega_1 + J_2 \cdot \omega_2 = \left(J_1 + J_2\right) \cdot \omega \longrightarrow \omega = \frac{J_1 \cdot \omega_1 + J_2 \cdot \omega_2}{J_1 + J_2}$$

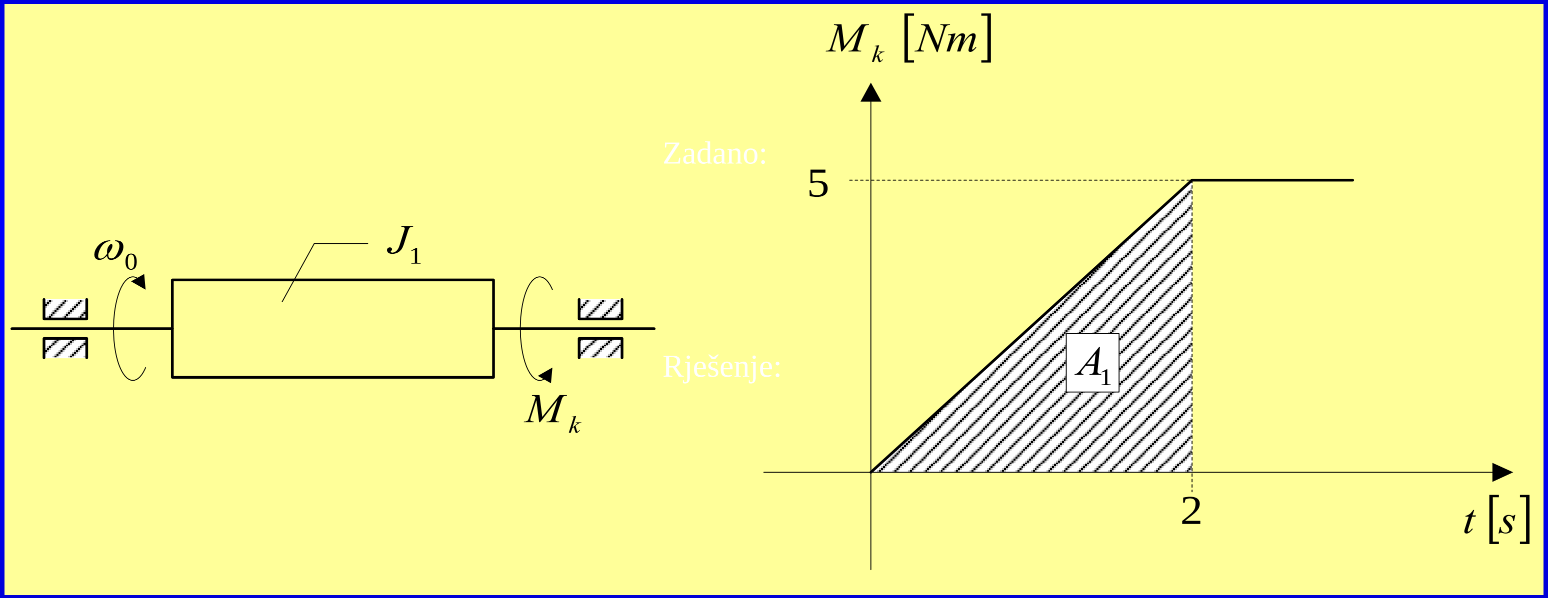
Gubitak energije je

$$E_G = \frac{J_1 \cdot \omega_1^2}{2} + \frac{J_2 \cdot \omega_2^2}{2} - \frac{\left(J_1 + J_2\right) \cdot \omega^2}{2}$$

$$\boxed{E_G = \frac{1}{2} \cdot \frac{J_1 \cdot J_2}{J_1 + J_2} \cdot \left(\omega_1 - \omega_2\right)^2}$$

Dinamika rotacije – Primjer 3.

- Rotor s momentom inercije J_1=20kgm^2 ima u trenutku kada počne kočenje brzinu rotacije ω_0=15ms^{-1}. Moment kočenja mijenja se prema dijagramu prikazanom na slici. Odrediti vrijeme nakon kojeg će se rotor zaustaviti.



Zadano: $J_1 = 20\ kg\, m^2$ $\omega_0 = 15\ s^{-1}$

Rješenje: $t = 7\ s$

LITERATURA

1. D. Horvat, *Fizika I, Mehanika i toplina*, Hinus, Zagreb, 2004.
2. O. Muftić, *Mehanika i statika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1989.
3. S. Jecić, *Mehanika II, Kinematika i Dinamika*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1989
4. D. Bazjanac, *Tehnička mehanika, II dio, KINEMATIKA*, Tehnička knjiga, Zagreb, 1968.