# Konzervativní pole

- **konzervativní pole**

$$\oint \vec{F} d\vec{r} = 0$$

práce nezávisí na tvaru dráhy $\longrightarrow$ můžeme zavést potenciál a potenciální energii

zachovává se mechanická energie $E_k + E_p = \text{konst}$

konzervativní jsou všechna homogenní pole $\left(\vec{F} = \text{konst}\right)$ a pole centrálních sil $\left(\vec{F} = f(r)\frac{\vec{r}}{r}\right)$

- **nekonzervativní pole**

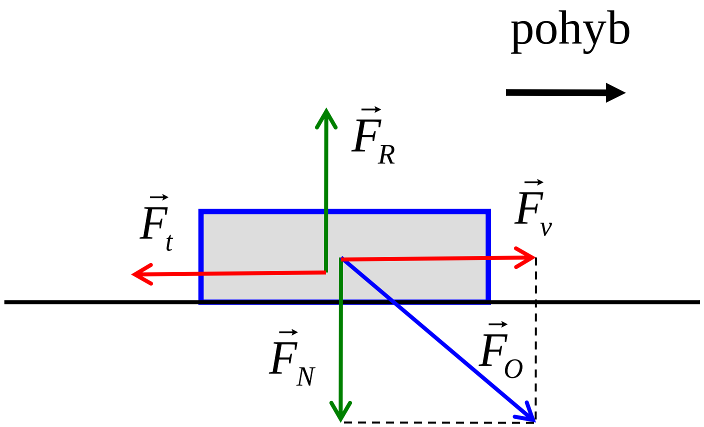
$$\oint \vec{F} d\vec{r} < 0$$

práce závisí na tvaru dráhy

kinetická energie pohybujícího se tělesa se snižuje

# Tření

- **smykové tření**




$$\vec{F} = \vec{F}_v + \vec{F}_N + \vec{F}_t + \vec{F}_R$$

- pokud je $F_v$ menší než kritická hodnota:

$$F_v < F_{vk} \longrightarrow \vec{F}_t = -\vec{F}_v \quad \text{(těleso se nepohybuje)}$$

- pokud je $F_v$ překročí kritickou hodnotu:

$$F_v > F_{vk} \longrightarrow F_t < F_v \quad \text{(těleso se začne pohybovat)}$$

$$\vec{F}_t = -\mu F_N \vec{e}_v$$

$\mu$ – koeficient smykového tření

$\vec{e}_v = \dfrac{\vec{F}_v}{F_v}$ – jednotkový vektor ve směru síly $F_v$

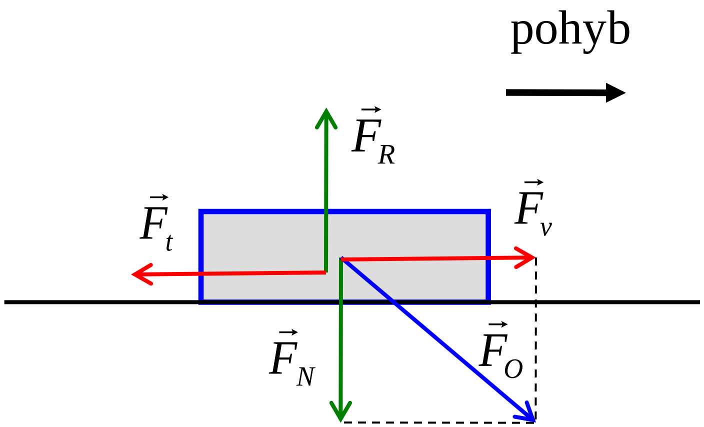
- $\mu_s$ – koeficient statického tření
- $\mu_k$ – koeficient kinematického tření

$$\mu_s \geq \mu_k$$

- typické hodnoty $\mu_s$ = 0.3 – 0.6

# Tření

- **smykové tření**




$$\vec{F} = \vec{F}_v + \vec{F}_N + \vec{F}_t + \vec{F}_R$$

- pokud je $F_v$ menší než kritická hodnota:

$$F_v < F_{vk} \longrightarrow \vec{F}_t = -\vec{F}_v \quad \text{(těleso se nepohybuje)}$$

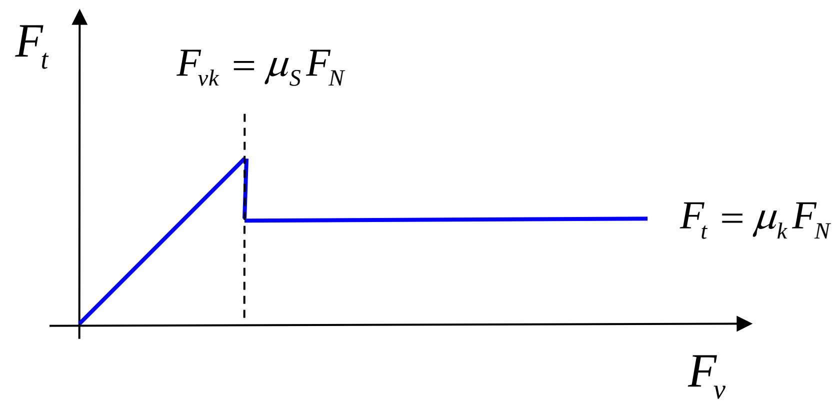
- pokud je $F_v$ překročí kritickou hodnotu:

$$F_v > F_{vk} \longrightarrow F_t < F_v \quad \text{(těleso se bude pohybovat)}$$

$$\vec{F}_t = -\mu F_N \vec{e}_v$$

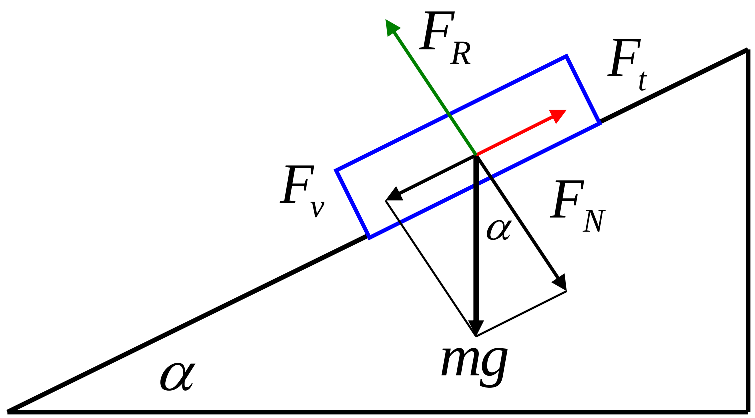
$\mu$ – koeficient smykového tření

$\vec{e}_v = \dfrac{\vec{F}_v}{F_v}$ – jednotkový vektor ve směru síly $F_v$



# Tření

- **určení statického koeficientu smykového tření**




$$F_t = \mu_s F_N = \mu_s mg \cos\alpha$$

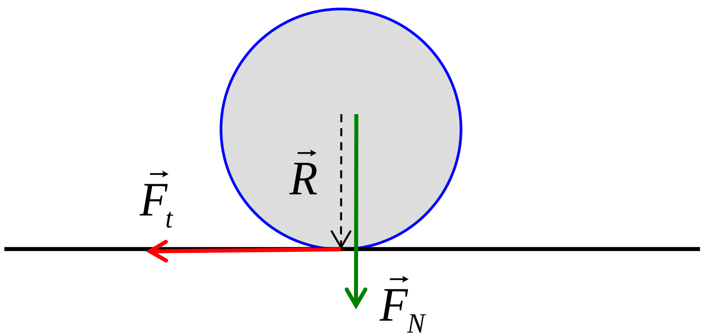
$$F_t = mg \sin\alpha$$

$$\mu_s = \mathrm{tg}\,\alpha$$

# Tření

- **valivé tření**

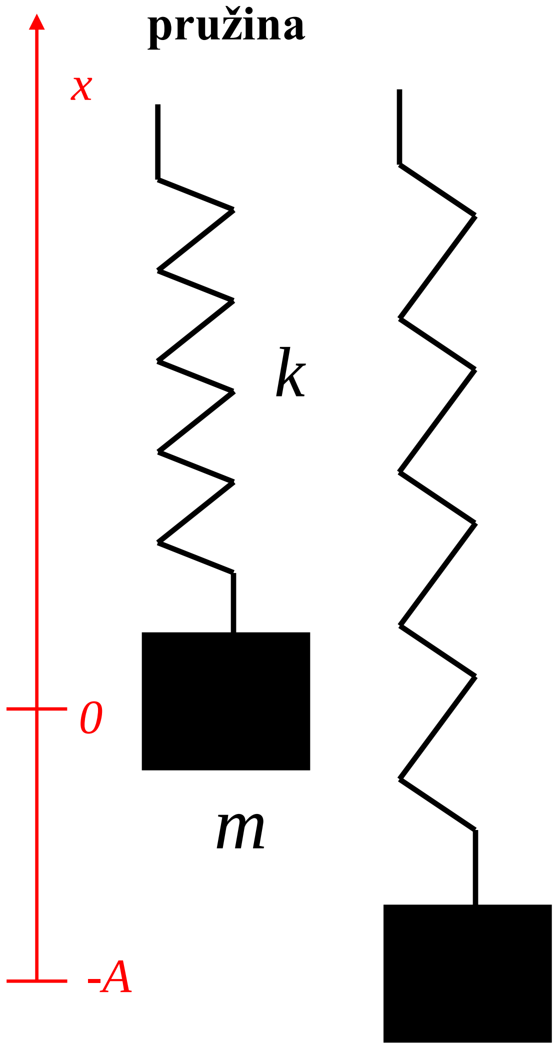
$\mu_V$ – koeficient valivého tření




$$\mu_V \equiv \frac{\left|\vec{R} \times \vec{F}_t\right|}{\left|\vec{F}_N\right|} = \frac{RF_t \sin\alpha}{F_N}$$

$$F_t = \mu_V \frac{F_N}{R}$$

# Harmonický oscilátor – pružina




$$ma_x = F_x$$

$$F_x = -kx$$

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$ **pohybová rovnice**

$$x(t=0) = -A$$

**počáteční podmínky**

$$v_x(t=0) = \dot{x}(t=0) = 0$$

**Řešení:**

$$x(t) = C_1 \sin\omega_1 t + C_2 \cos\omega_2 t$$

$$\dot{x}(t) = C_1\omega_1 \cos\omega_1 t - C_2\omega_2 \sin\omega_2 t$$

$$\ddot{x}(t) = -C_1\omega_1^2 \sin\omega_1 t - C_2\omega_2^2 \cos\omega_2 t$$

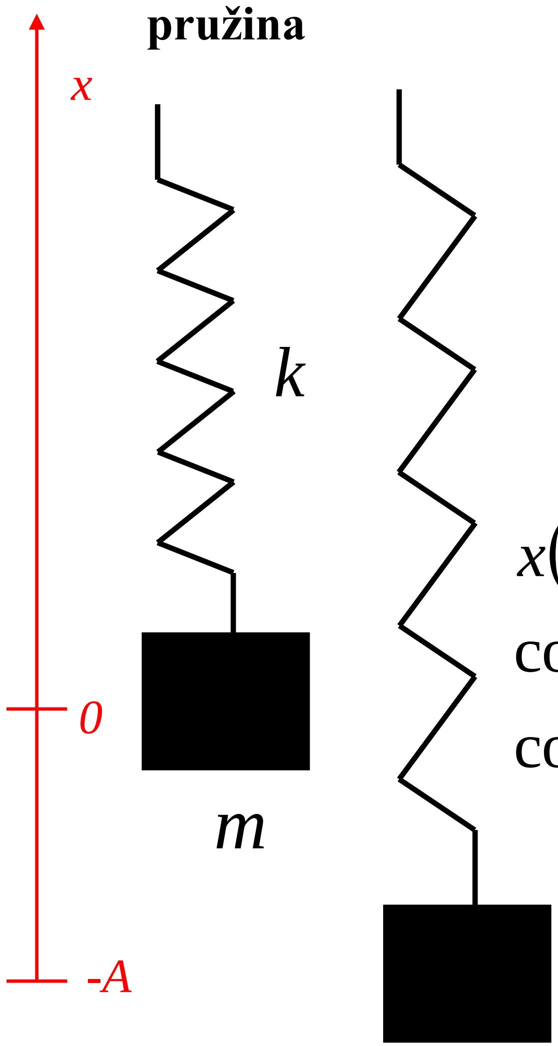
$$\omega = \omega_{1,2} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

$$\Rightarrow F_x = -m\omega^2 x$$

**z počátečních podmínek dostáváme:** $C_1 = 0 \quad C_2 = -A$

$$x(t) = -A\cos\omega t \qquad \omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

# Harmonický oscilátor – pružina




$$ma_x = F_x$$

$$F_x = -kx$$

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$ **pohybová rovnice**

$$x(t=0) = -A$$

**počáteční podmínky**

$$v_x(t=0) = \dot{x}(t=0) = 0$$

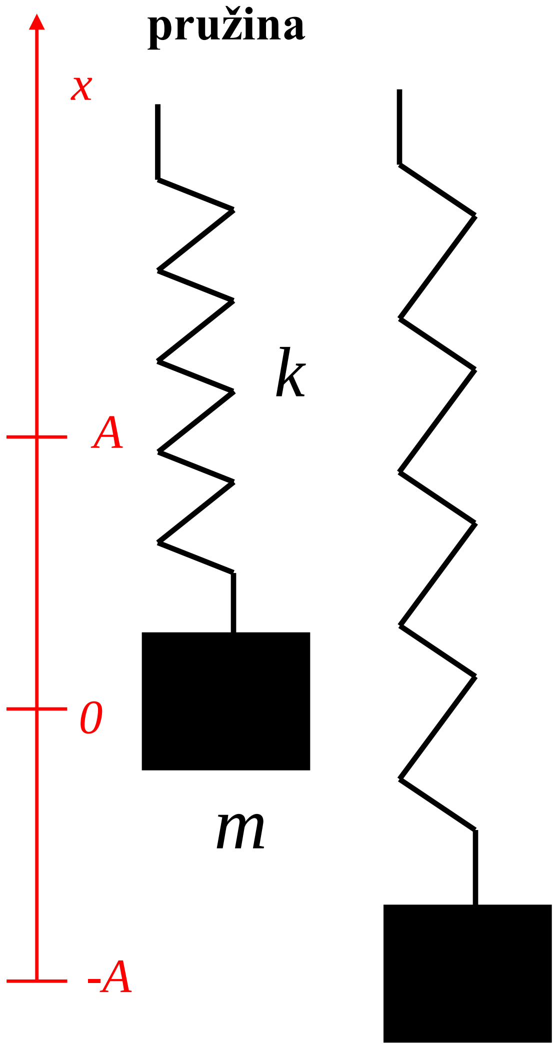
$$x(t) = x(t+T) \quad x(t) = -A\cos\omega t \quad x(t+T) = -A\cos\omega(t+T)$$

$$\cos\omega t = \cos\omega(t+T) = \cos\omega t \cdot \cos\omega T - \sin\omega t \cdot \sin\omega T \Rightarrow$$

$$\cos\omega T = 1, \quad \sin\omega T = 0 \quad \Rightarrow \quad \omega T = 2\pi$$

**perioda kmitů:** $$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$$

# Harmonický oscilátor – pružina



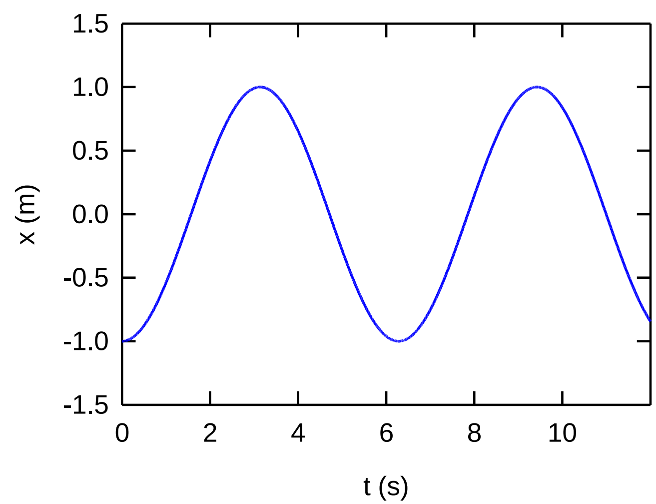

$$x(t) = -A\cos\omega t$$

$$v_x(t) = A\omega\sin\omega t$$

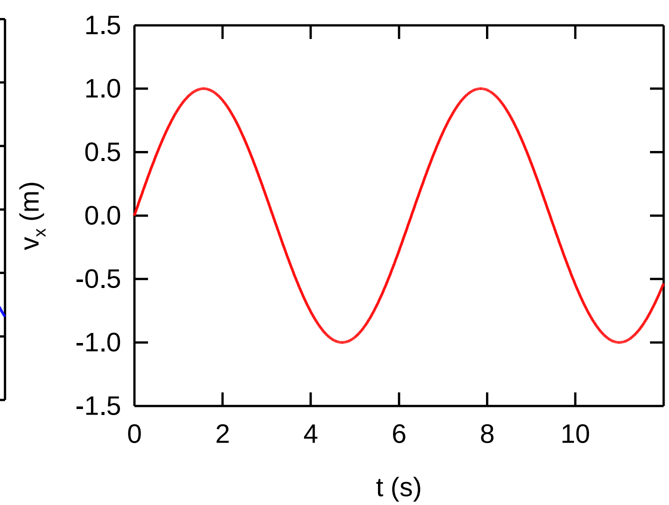
$$\omega = \frac{2\pi}{T} = \sqrt{\frac{k}{m}}$$

Př. $k = 1$, $m = 1$

poloha




rychlost



# Setrvačná a gravitační hmotnost

- 2. Newtonův zákon: $\vec{F} = m_s \vec{a}$

**$m_s$ – setrvačná hmotnost**

= míra setrvačnosti tělesa

- Gravitační zákon: $F_g = \kappa \frac{m_g M_g}{r^2}$

**$m_g$ – gravitační hmotnost**

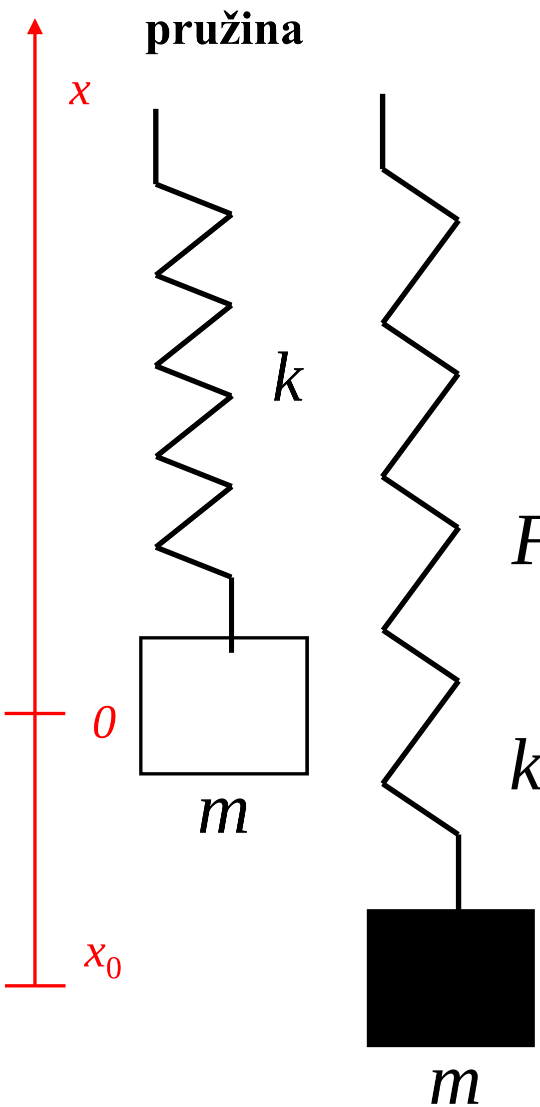
= míra velikosti gravitační síly

$$\frac{m_s}{m_g} = konst.$$

ekvivalence setrvačné a gravitační hmotnosti

**slabý princip ekvivalence**

# Setrvačná a gravitační hmotnost




$$ma_x = F_x$$

$$F_x = -kx$$

$$x(t) = -A\cos\omega t$$

$$F_g = \kappa \frac{m_g M_Z}{R_Z^2} = m_g g$$

$$kx_0 = \kappa \frac{m_g M_Z}{R_Z^2} = m_g g$$

$$F_x = F_g$$

***$m_s$* – setrvačná hmotnost**

= míra setrvačnosti tělesa

- změříme z periody kmitání pružiny

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi\sqrt{\frac{m_s}{k}}$$

***$m_g$* – gravitační hmotnost**

= míra velikosti gravitační síly

- změříme z natažení pružiny

$$x_0 = \frac{\kappa}{k}\frac{m_g M_Z}{R_Z^2} = \frac{m_g g}{k}$$

# Setrvačná a gravitační hmotnost

• 2. Newtonův zákon: $\vec{F} = m_s \vec{a}$

***$m_s$* – setrvačná hmotnost**

= míra setrvačnosti tělesa

• Gravitační zákon: $F_g = \kappa \frac{m_g M_g}{r^2}$

***$m_g$* – gravitační hmotnost**

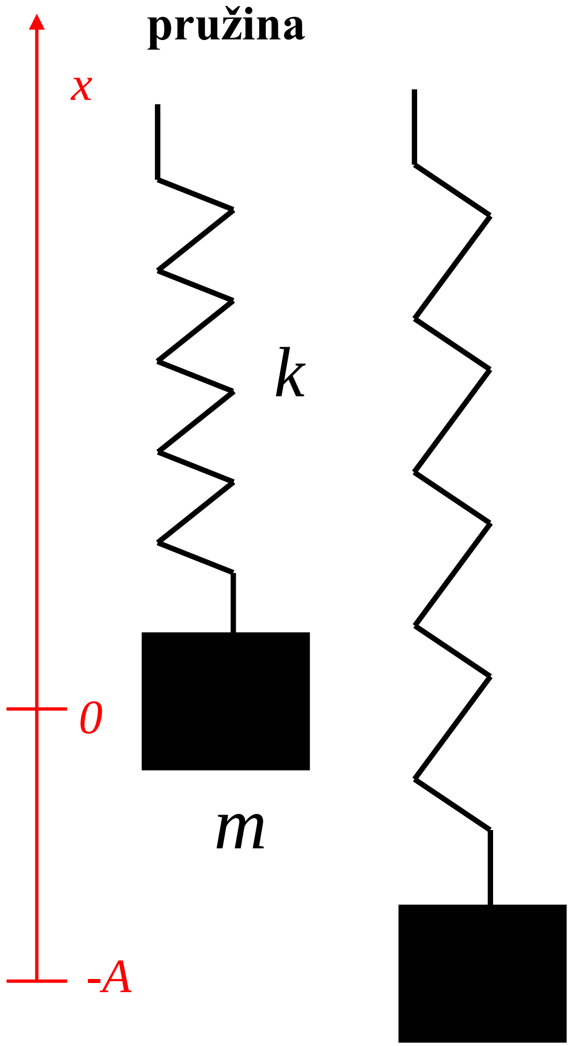
= míra velikosti gravitační síly

$$\frac{m_s}{m_g} = \frac{g}{x_0 \omega^2} = \frac{g T^2}{x_0 4\pi^2}$$

ekvivalence setrvačné a gravitační hmotnosti

**slabý princip ekvivalence**

# Harmonický oscilátor – pružina




$$a_x = \frac{F_x}{m}$$

$$F_x = -kx$$

$$a_x = -\frac{k}{m}x$$

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x$$ **pohybová rovnice**

**obecné řešení:**

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi)$$

**úhlová frekvence** $\omega = \sqrt{\frac{k}{m}}$

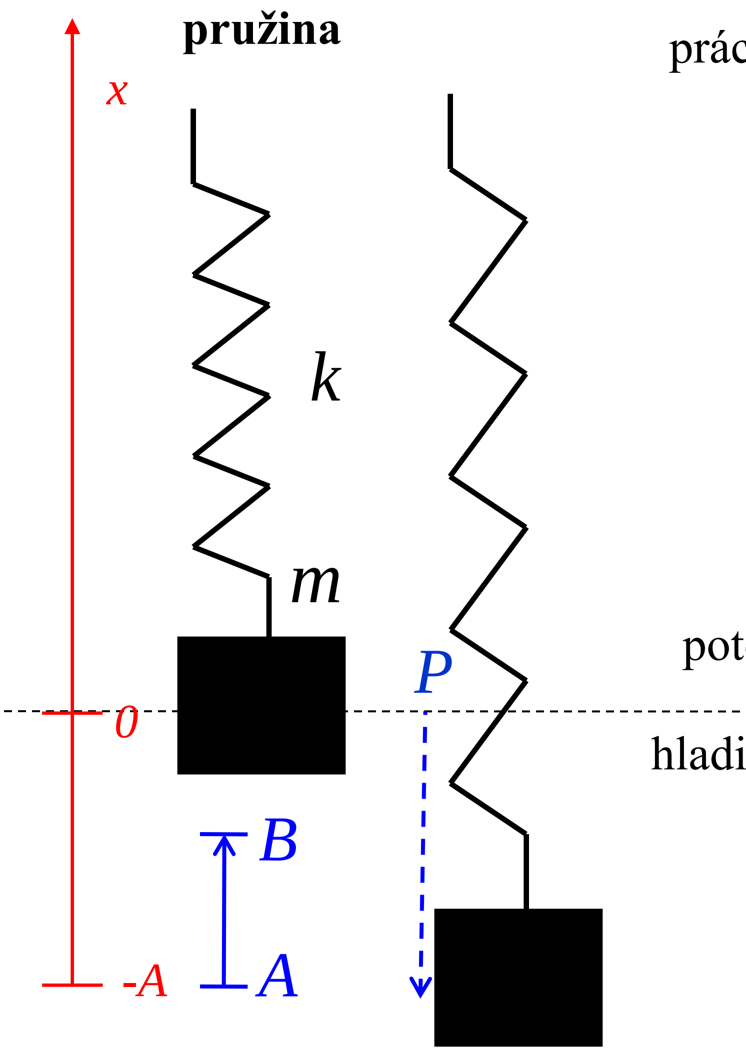
**fázový posuv**

$$x(t) = A\cos\varphi \sin\omega t + A\sin\varphi \cos\omega t$$

$$C_1 = A\cos\varphi, \quad C_2 = A\sin\varphi$$

$$x(t) = C_1 \sin\omega t + C_2 \cos\omega t$$

# Harmonický oscilátor – pružina




práce, kterou vykoná pružina při přesunu závaží z $A$ do $B$:

$$A_{AB} = \int_{x_A}^{x_B} -kx \, \mathrm{d}x = -\frac{1}{2} k \left( x_B^2 - x_A^2 \right)$$

$$A_{PA} = \int_{x_P}^{x_A} -kx \, \mathrm{d}x = -\frac{1}{2} k \left( x_A^2 - x_P^2 \right) = -\frac{1}{2} k \, x_A^2$$

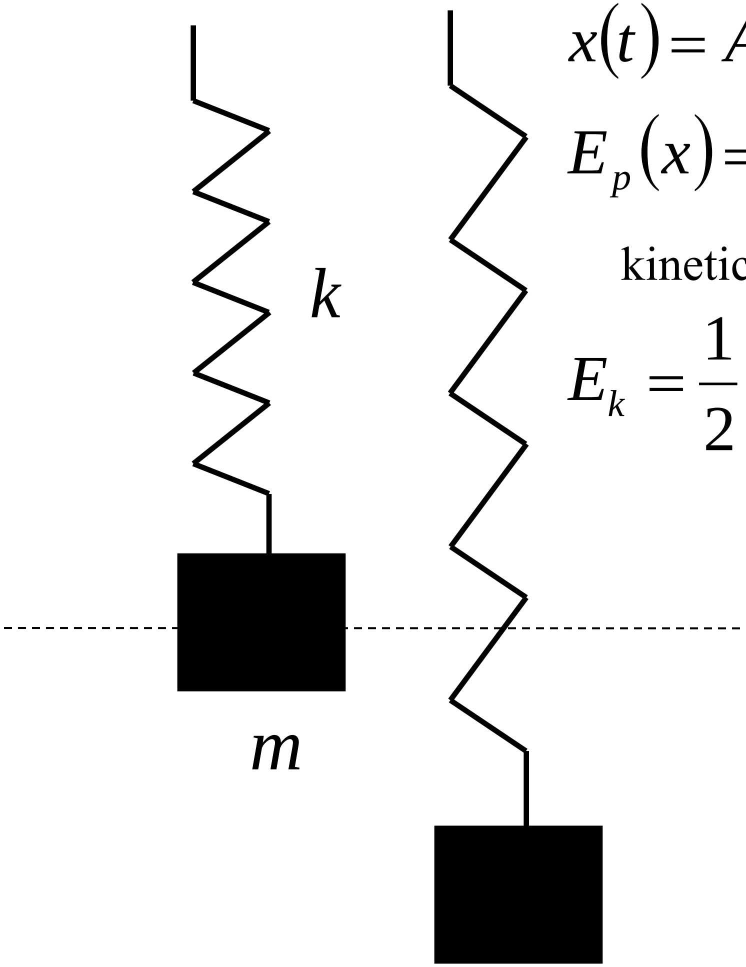
potenciální energie v bodu A: $E_p(A) = -A_{PA} = \frac{1}{2} k x_A^2$

hladina nulové potenciální energie

**potenciální energie pružiny:** $E_p(x) = \frac{1}{2} k x^2$

# Harmonický oscilátor – pružina

**pružina**




potenciální energie:

$$x(t) = A\sin(\omega t + \varphi), \quad \dot{x}(t) = A\omega\cos(\omega t + \varphi), \quad k = m\omega^2$$

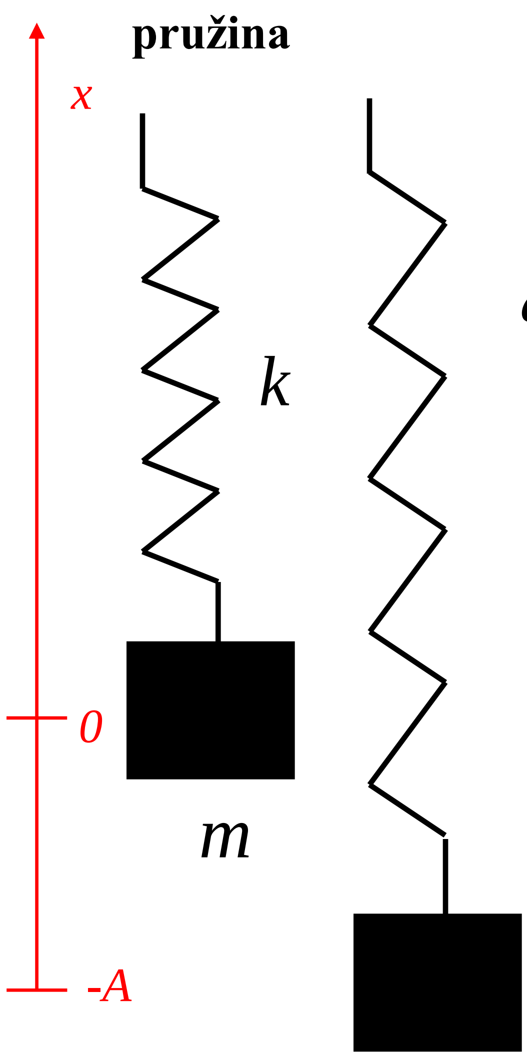
$$E_p(x) = \frac{1}{2}kx^2 = \frac{1}{2}kA^2\sin^2(\omega t + \varphi) = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\sin^2(\omega t + \varphi)$$

kinetická energie:

$$E_k = \frac{1}{2}mv_x{}^2 = \frac{1}{2}m\dot{x}^2 = \frac{1}{2}mA^2\omega^2\cos^2(\omega t + \varphi)$$

**celková energie :** $$E_M = E_k + E_p = \frac{1}{2}mA^2\omega^2$$

# Tlumené kmity




**Tlumící (odporová) síla:**

$$F_x = -h\dot{x}$$

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}, \quad 2\delta \equiv \frac{h}{m}$$

**Pohyboá rovnice:**

$$\ddot{x} = -\frac{k}{m}x - \frac{h}{m}\dot{x}$$

$$\boxed{\ddot{x} = -\omega_0^2 x - 2\delta\dot{x}}$$

řešení hledáme ve tvaru: $x = Ce^{\alpha t}$

$$C\alpha^2 e^{\alpha t} = -\omega_0^2 Ce^{\alpha t} - 2\delta C\alpha e^{\alpha t}$$

charakteristická rovnice: $\alpha^2 + 2\delta\alpha + \omega_0^2 = 0$

$$D = 4\delta^2 - 4\omega_0^2 \qquad \alpha_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$

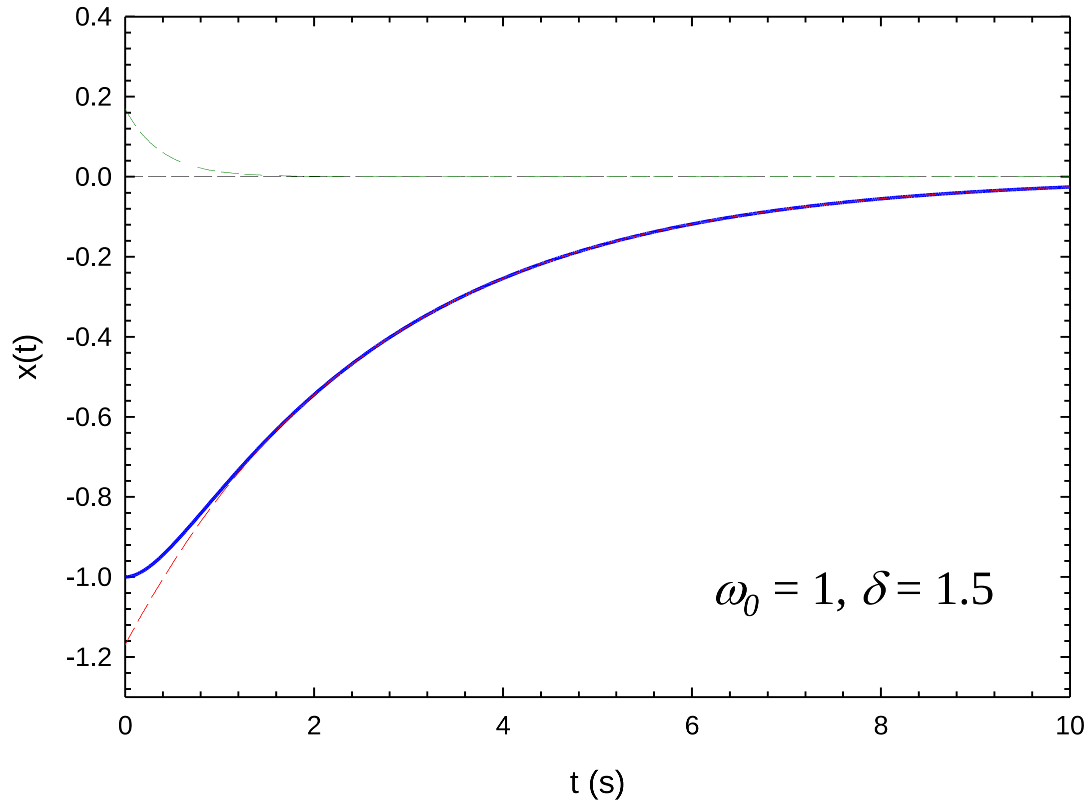
# Tlumené kmity – aperiodický pohyb

$$\ddot{x} = -\omega_0^2 x - 2\delta\dot{x}$$

**aperiodický pohyb:** $D > 0 \Rightarrow \delta > \omega_0$

$$x = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_2 e^{\alpha_2 t}$$

$$\alpha_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2}$$




konstanty $C_1$, $C_2$ určíme z počátečních podmínek:

např. $x(0) = -A \qquad C_1 + C_2 = -A$

$\dot{x}(0) = 0 \qquad C_1\alpha_1 + C_2\alpha_2 = 0$

$$C_1 = \frac{A\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$C_2 = \frac{-A\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2}$$

$$x = \frac{A\alpha_2}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_1 t} - \frac{A\alpha_1}{\alpha_1 - \alpha_2} e^{\alpha_2 t}$$

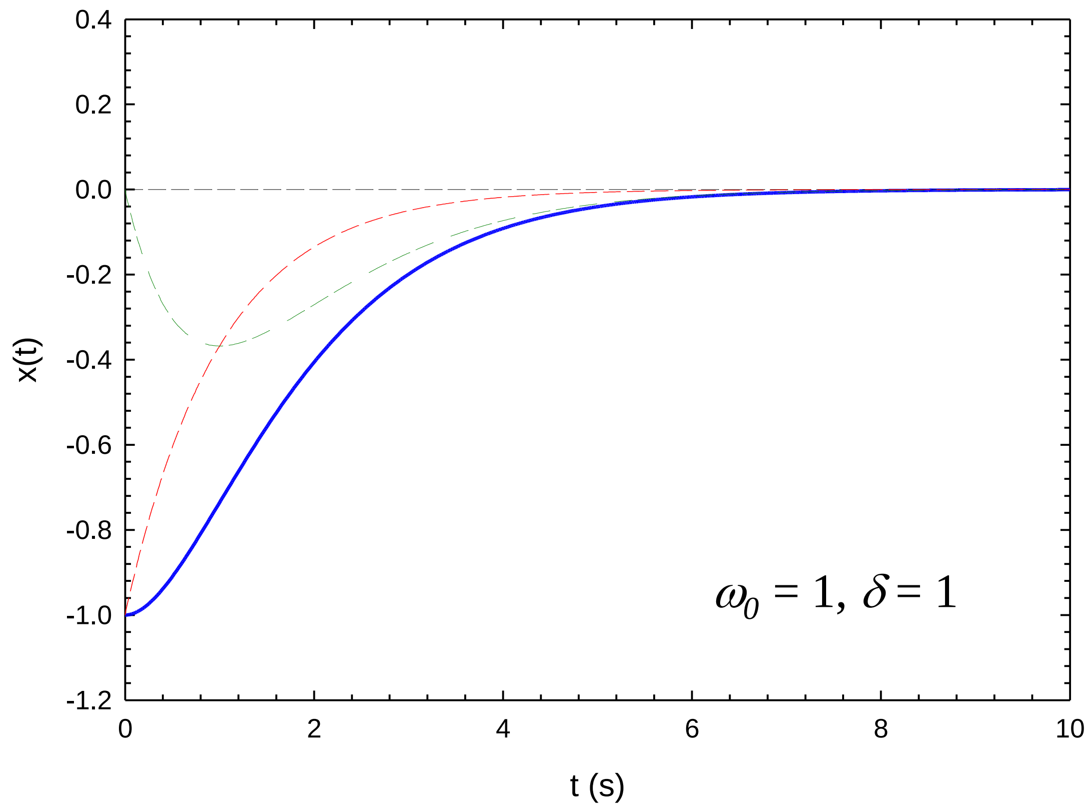
# Tlumené kmity – mezní aperiodický pohyb

$$\ddot{x} = -\omega_0^2 x - 2\delta \dot{x}$$

**mezní aperiodický pohyb:** $D = 0$

$$x = C_1 e^{\alpha t} + C_2 t e^{\alpha t}$$

$$\alpha = -\delta$$




konstanty $C_1$, $C_2$ určíme z počátečních podmínek:

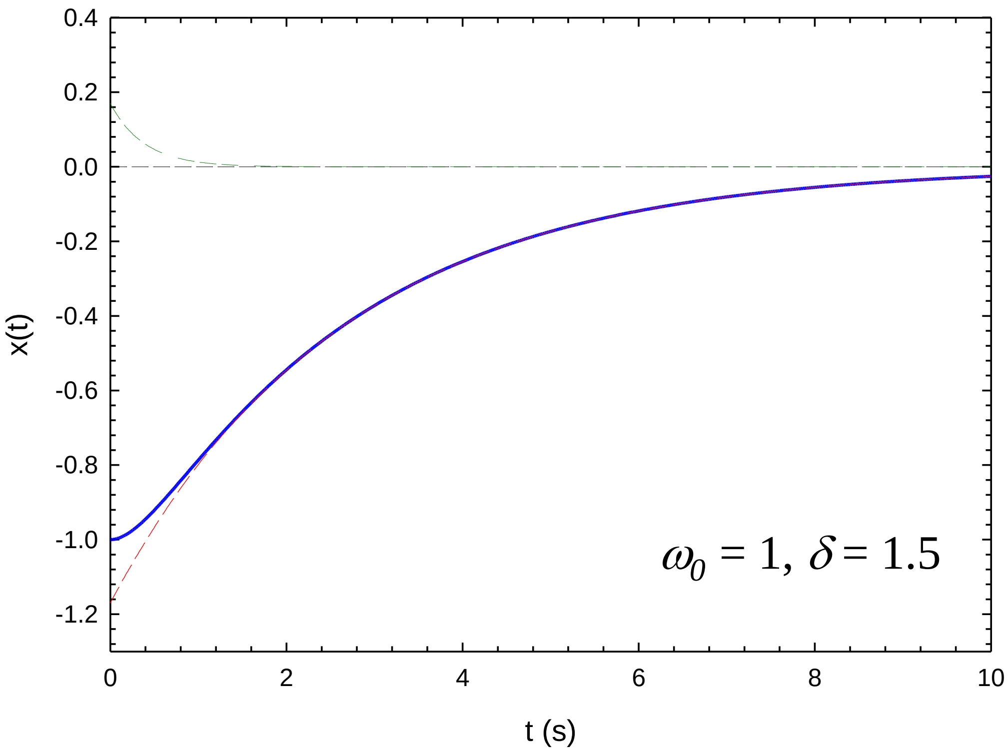
např. $x(0) = -A \quad C_1 = -A \quad C_2 = A\alpha$

$\dot{x}(0) = 0 \quad C_1\alpha + C_2 = 0$

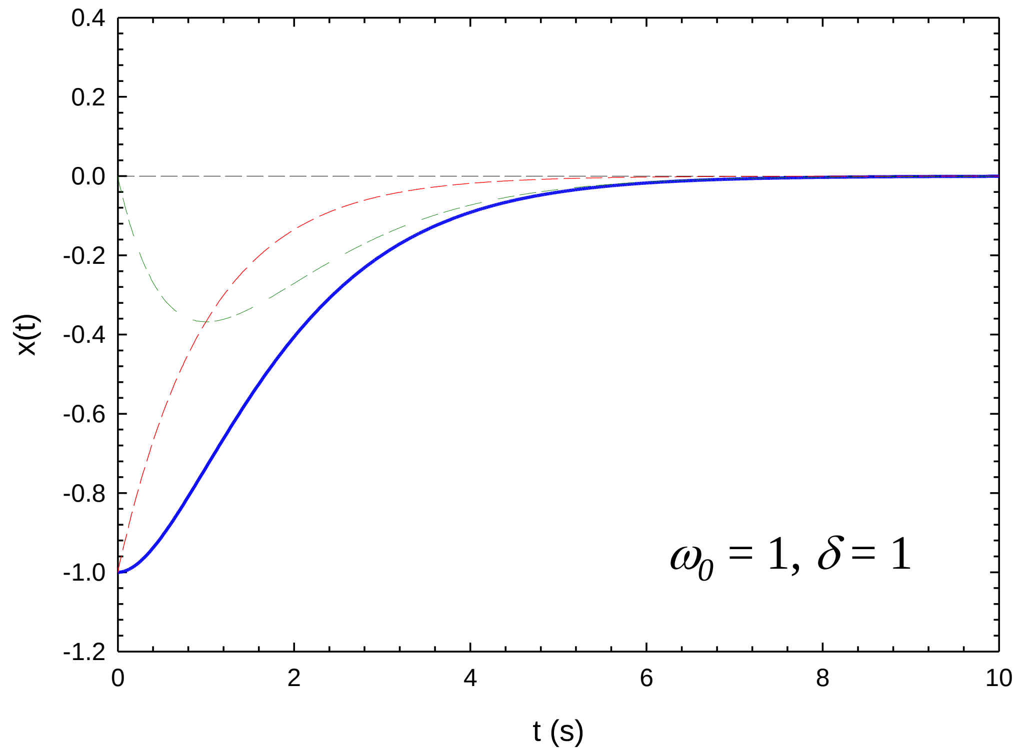
$$x = -Ae^{-\delta t} - A\delta t e^{-\delta t} = -Ae^{-\delta t}(1 + \delta t)$$

# Tlumené kmity

## aperiodický pohyb



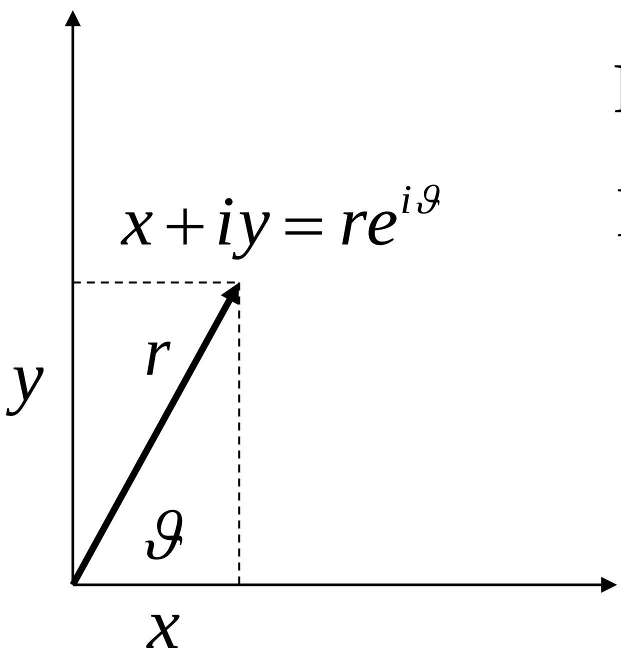

## mezní aperiodický pohyb



# Komplexní čísla

$$e^{i\vartheta} = \cos\vartheta + i\sin\vartheta$$

$$c = x + iy = re^{i\vartheta} = r\cos\vartheta + ir\sin\vartheta$$




$$\mathrm{Re}\{c\} = x = r\cos\vartheta \qquad r^2 = x^2 + y^2$$

$$\mathrm{Im}\{c\} = y = r\sin\vartheta \qquad \mathrm{tg}\,\vartheta = \frac{y}{x}$$

$$c* = x - iy = r\cos\vartheta - ir\sin\vartheta$$

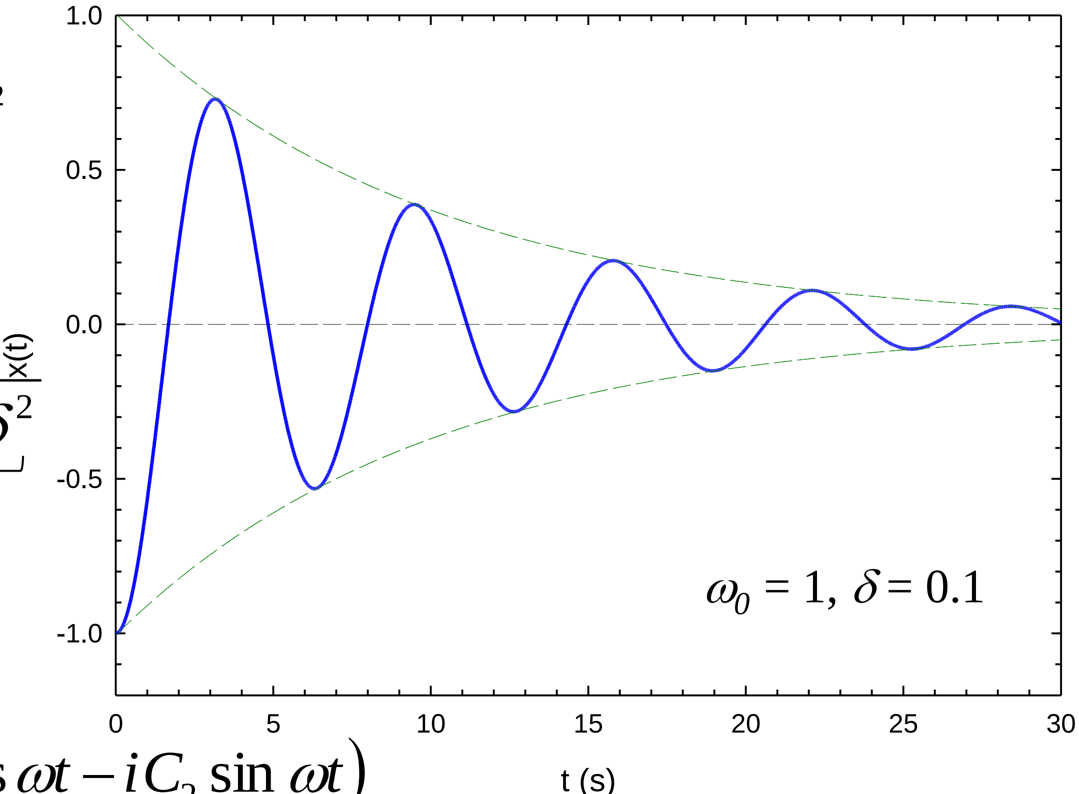
$$c \cdot c* = x^2 + y^2 = r^2$$

# Tlumené kmity – tlumený harmonický pohyb

$$\ddot{x} = -\omega_0^2 x - 2\delta\dot{x}$$

$$D = 4\delta^2 - 4\omega_0^2$$

**tlumený harmonický pohyb:** $D < 0$




$$\alpha_{1,2} = -\delta \pm \sqrt{\delta^2 - \omega_0^2} = -\delta \pm i\underbrace{\sqrt{\omega_0^2 - \delta^2}}_{\omega}$$

$$\alpha_{1,2} = -\delta \pm i\omega$$

$$x = C_1 e^{-\delta t} e^{i\omega t} + C_2 e^{-\delta t} e^{-i\omega t}$$

$$x = e^{-\delta t}\left(C_1 \cos\omega t + iC_1 \sin\omega t + C_2 \cos\omega t - iC_2 \sin\omega t\right)$$

$$x = e^{-\delta t}\left(D_1 \cos\omega t + D_2 \sin\omega t\right)$$

$$\left.\begin{aligned} D_1 &= C_1 + C_2 \\ D_2 &= i\left(C_1 - C_2\right) \end{aligned}\right\} \quad C_2 = C_1^*$$

$$x = A_T e^{-\delta t} \sin\left(\omega t + \varphi\right)$$

$$\dot{x} = A_T e^{-\delta t}\left[-\delta \sin\left(\omega t + \varphi\right) + \omega \cos\left(\omega t + \varphi\right)\right]$$

Konstanty $A$, $\varphi$ určíme z počátečních podmínek např.:

$$x(0) = -A \quad \dot{x}(0) = 0 \qquad \varphi = \operatorname{arctg}\frac{\omega}{\delta} \qquad A_T = \frac{-A}{\sin\varphi}$$

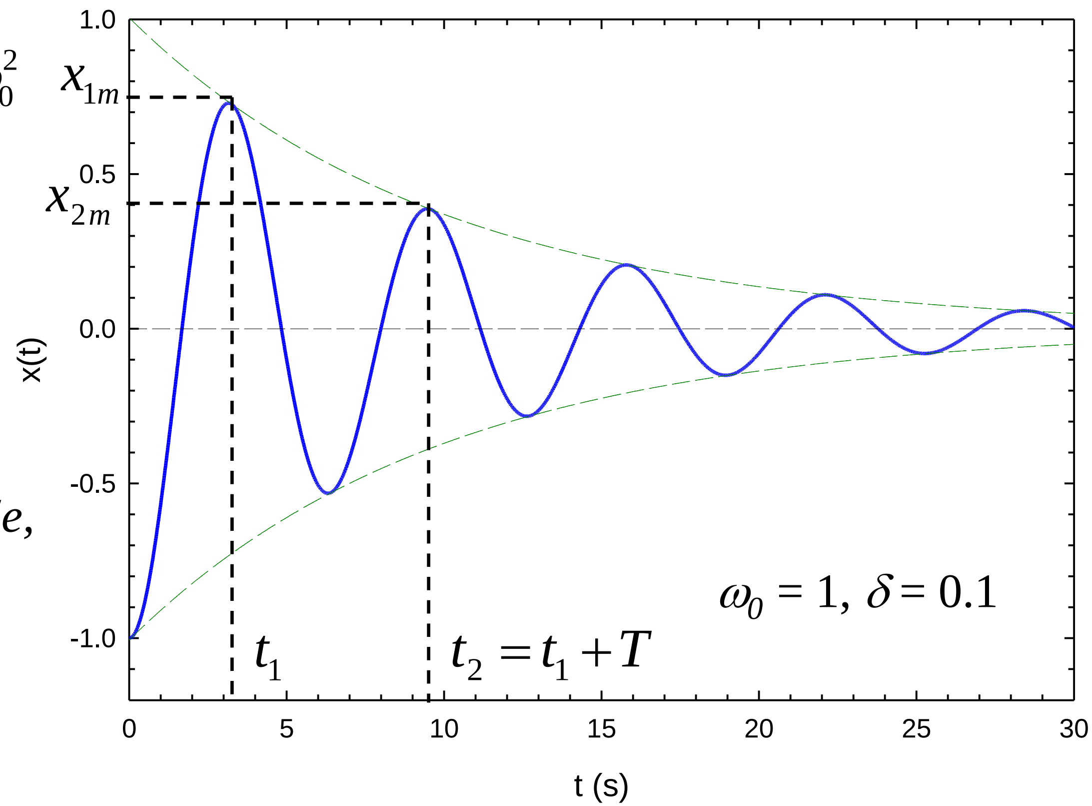
# Tlumené kmity – tlumený harmonický pohyb

$$\ddot{x} = -\omega_0^2 x - 2\delta \dot{x}$$

$$D = 4\delta^2 - 4\omega_0^2$$

**tlumený harmonický pohyb:** $D < 0$

$$x = A_T e^{-\delta t} \sin\left(\omega t + \varphi\right)$$




Dobu za kterou obálka kmitu klesne na $A_T/e$, nazýváme relaxační dobou :

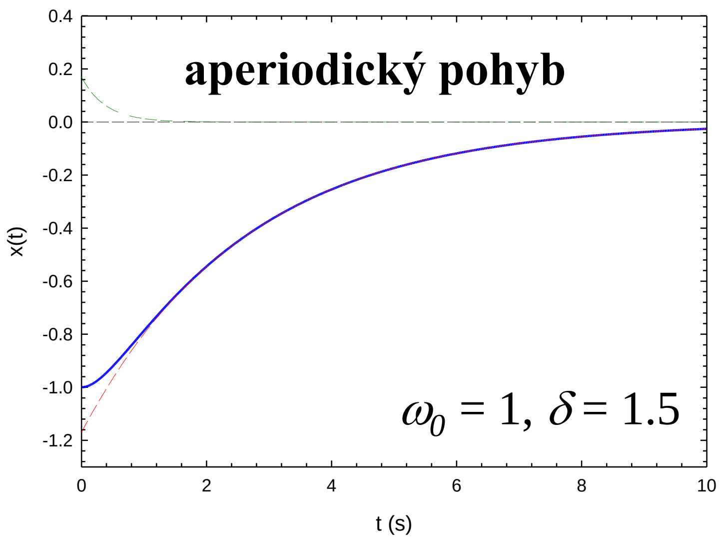
$$x' = A_T e^{-\delta t}$$

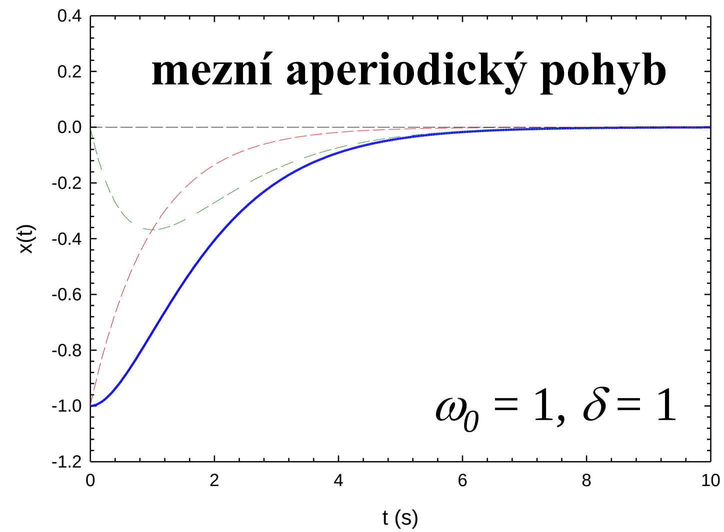
$$A_T / e = A_T e^{-\delta \tau} \Rightarrow \tau = \frac{1}{\delta}$$

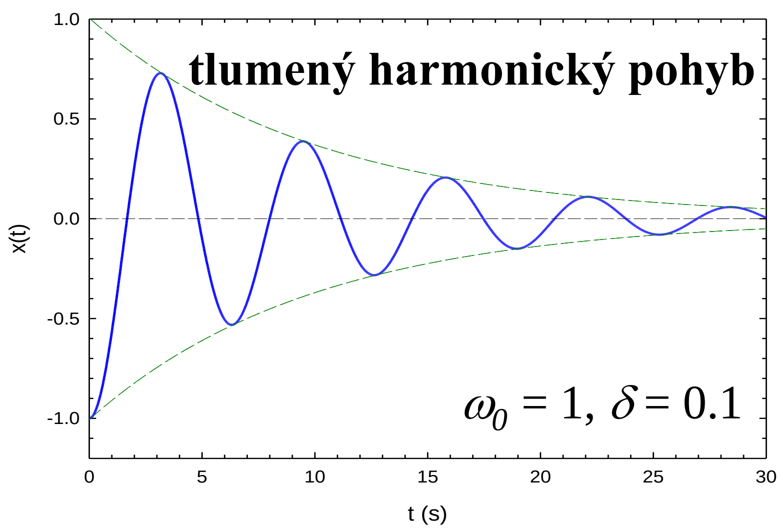
Poměr dvou po sobě následujících maxim nazýváme útlumem kmitů:

$$\beta = \frac{x_{1m}}{x_{2m}} = \frac{A_T e^{-\delta t_1} \sin\left(\omega t_1 + \alpha\right)}{A_T e^{-\delta\left(t_1 + T\right)} \sin\left(\omega\left(t_1 + T\right) + \alpha\right)} = e^{\delta T}$$

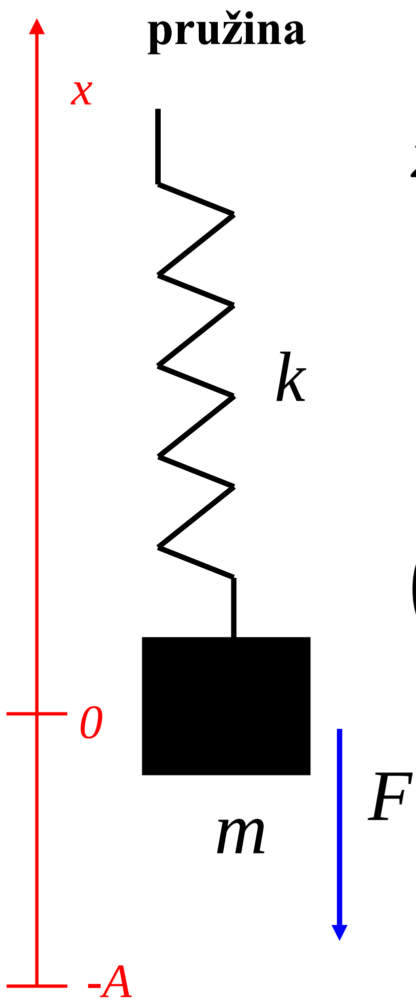
# Opakování - Tlumené kmity



# Nucené kmity




- budící síla: $F = F_0 \sin(\Omega t)$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t) \qquad \omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)$$

- obecné řešení: $x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi) + x_p$

partikulární řešení:

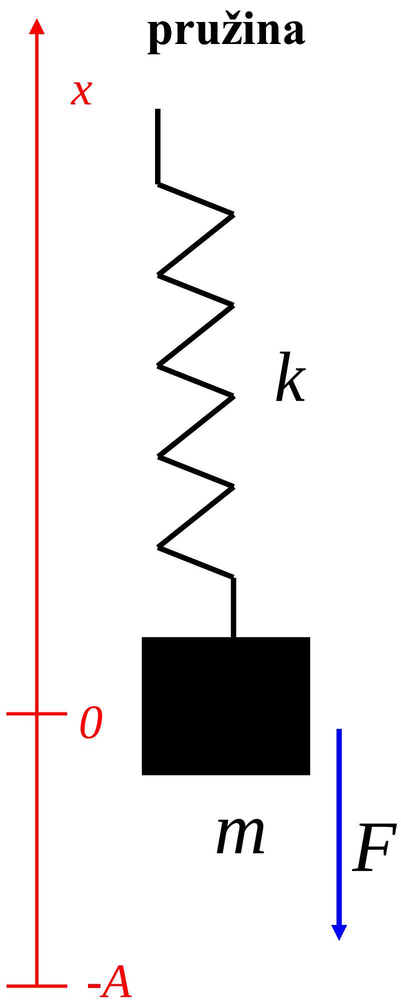
- partikulární řešení: $x_p = A_p \sin(\Omega t)$

$$\left(-A_p\Omega^2 + A_p\omega_0^2\right)\sin(\Omega t) = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t) \Rightarrow A_p\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right) = \frac{F_0}{m}$$

$$A_p = \frac{F_0}{m\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)} \qquad x_p = \frac{F_0}{m\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)}\sin(\Omega t)$$

$$x(t) = A\sin(\omega_0 t + \varphi) + \frac{F_0}{m\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)}\sin(\Omega t)$$

# Nucené kmity




• budící síla: $F = F_0 \sin(\Omega t)$

$$\ddot{x} + \frac{k}{m} x = \frac{F_0}{m} \sin(\Omega t) \qquad \omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m} \sin(\Omega t)$$

• obecné řešení: $x(t) = A \sin(\omega_0 t + \varphi) + \dfrac{F_0}{m(\omega_0^2 - \Omega^2)} \sin(\Omega t)$

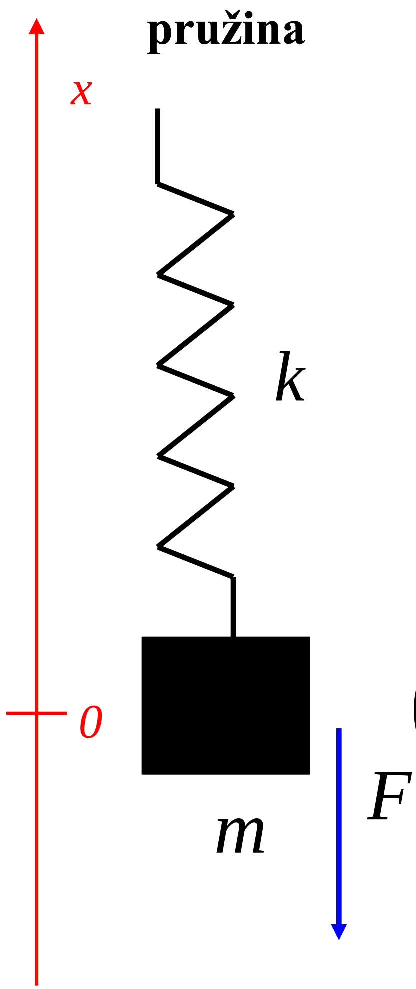
• počáteční podmínky: $x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = 0$

$$0 = A \sin\varphi \quad \Rightarrow \quad \varphi = N\pi$$

$$0 = A\omega_0 \cos\varphi + \frac{F_0 \Omega}{m(\omega_0^2 - \Omega^2)} \Rightarrow A = -\frac{\Omega}{\omega_0} \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \Omega^2)} \frac{1}{\cos N\pi}$$

$$x(t) = \frac{F_0}{m(\omega_0^2 - \Omega^2)} \left( \sin(\Omega t) - \frac{\Omega}{\omega_0} \sin(\omega_0 t) \right)$$

# Nucené kmity s tlumením




• budící síla:

$$F = F_0 \sin(\Omega t)$$

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}, \quad 2\delta \equiv \frac{h}{m}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \frac{h}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)$$

$$\boxed{\ddot{x} + 2\delta + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)}$$

• obecné řešení: $x(t) = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_1 e^{\alpha_2 t} + x_p$

• partikulární řešení: $x_p = A_p \sin(\Omega t + \alpha)$

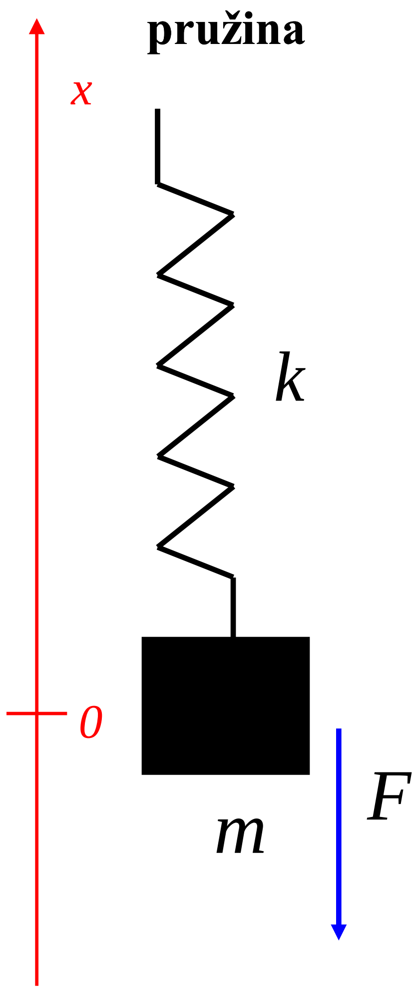
partikulární řešení:

$$\left(A_p\omega_0^2 - A_p\Omega^2\right)\sin(\Omega t + \alpha) + 2\delta A_p\Omega\cos(\Omega t + \alpha) = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)$$

$$A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)\cos\alpha - 2\delta\Omega\sin\alpha\right]\sin(\Omega t) +$$

$$+ A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)\sin\alpha + 2\delta\Omega\cos\alpha\right]\cos(\Omega t) = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)$$

# Nucené kmity s tlumením




• budící síla:

$$F = F_0 \sin(\Omega t)$$

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}, \quad 2\delta \equiv \frac{h}{m}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \frac{h}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)$$

$$\boxed{\ddot{x} + 2\delta + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}\sin(\Omega t)}$$

$$A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)\cos\alpha - 2\delta\Omega\sin\alpha\right] = \frac{F_0}{m}$$

$$A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)\sin\alpha + 2\delta\Omega\cos\alpha\right] = 0$$

• Pro $A_p$ různé od 0: $$\operatorname{tg}\alpha = -\frac{2\delta\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}$$

• Umocníme a sečteme: $$A_p = \frac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}$$

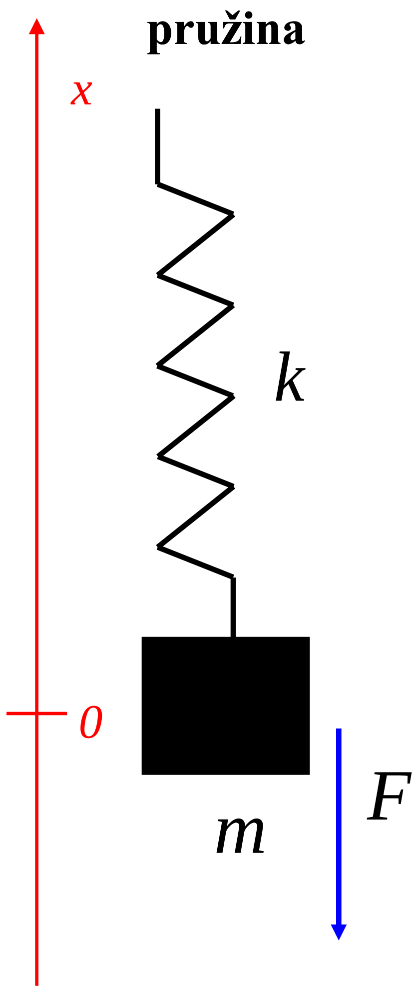
# Nucené kmity s tlumením – řešení v komplexní reprezentaci

**harmonický kmit:** $x = A\sin(\omega t + \varphi) \longrightarrow Ae^{i(\omega t+\varphi)}$

amplituda úhlová frekvence fázový posuv

$$Ae^{i(\omega t+\varphi)} = A\cos(\omega t+\varphi) + iA\sin(\omega t+\varphi)$$

# Nucené kmity s tlumením – řešení v komplexní reprezentaci




• budící síla:

$$F = F_0 e^{i\Omega t}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \frac{h}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}e^{i\Omega t}$$

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}, \quad 2\delta \equiv \frac{h}{m}$$

$$\boxed{\ddot{x} + 2\delta + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}e^{i\Omega t}}$$

• obecné řešení: $x(t) = C_1 e^{\alpha_1 t} + C_1 e^{\alpha_2 t} + x_p$

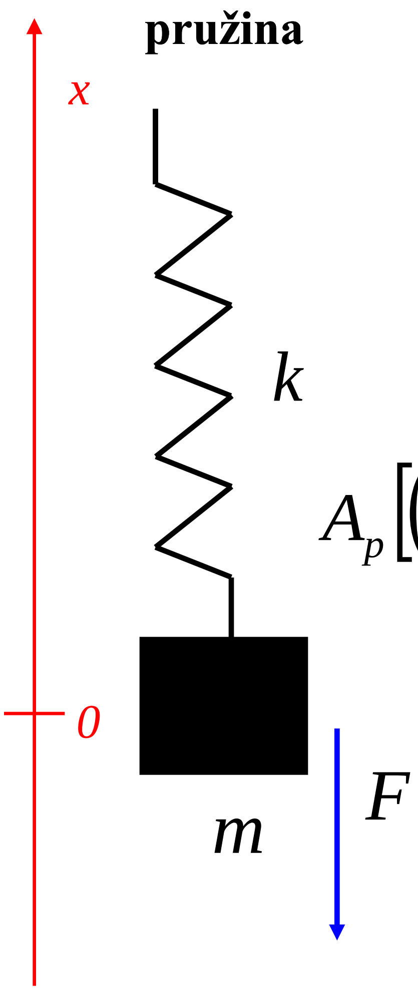
partikulární řešení:

• partikulární řešení: $x_p = A_p e^{i(\Omega t + \alpha)}$

$$\left(A_p\omega_0^2 - A_p\Omega^2\right)e^{i(\Omega t+\alpha)} + i2\delta A_p\Omega e^{i(\Omega t+\alpha)} = \frac{F_0}{m}e^{i\Omega t}$$

$$A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right) + i2\delta\Omega\right] = \frac{F_0}{m}e^{-i\alpha}$$

# Nucené kmity s tlumením – řešení v komplexní reprezentaci




• budící síla:

$$F = F_0 e^{i\Omega t}$$

**pohybová rovnice:**

$$\ddot{x} + \frac{h}{m}\dot{x} + \frac{k}{m}x = \frac{F_0}{m}e^{i\Omega t}$$

$$\omega_0^2 \equiv \frac{k}{m}, \quad 2\delta \equiv \frac{h}{m}$$

$$\boxed{\ddot{x} + 2\delta + \omega_0^2 x = \frac{F_0}{m}e^{i\Omega t}}$$

$$A_p\left[\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right) + i2\delta\Omega\right] = \frac{F_0}{m}e^{-i\alpha} \qquad \hat{K} = \left(\omega_0^2 - \Omega^2\right) + i2\delta\Omega = Ke^{i\beta}$$

$$K = \left|\hat{K}\right| = \sqrt{\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\delta^2\Omega^2}, \quad \mathrm{tg}\beta = \frac{2\delta\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}$$

$$A_p K e^{i\beta} = \frac{F_0}{m}e^{-i\alpha} \quad \Rightarrow \quad \mathrm{tg}\alpha = -\mathrm{tg}\beta = -\frac{2\delta\Omega}{\omega_0^2 - \Omega^2}$$

$$A_p = \frac{F_0}{mK} = \frac{F_0}{m\sqrt{\left(\omega_0^2 - \Omega^2\right)^2 + 4\delta^2\Omega^2}}$$