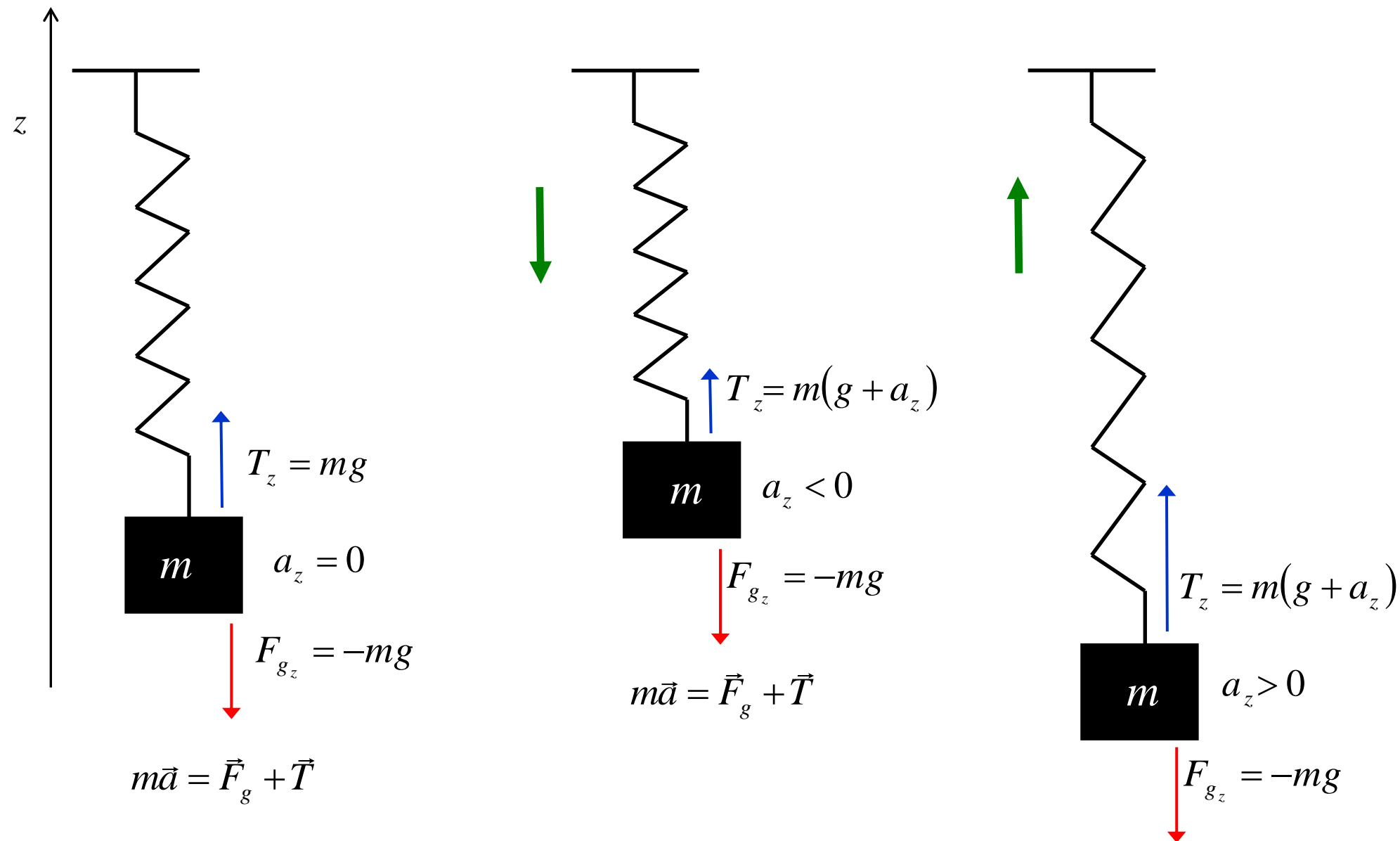


Co ukazuje váha?

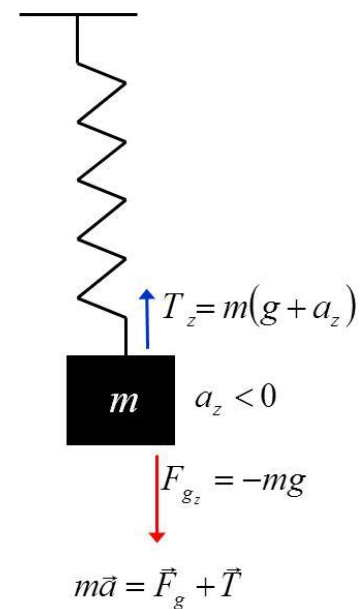
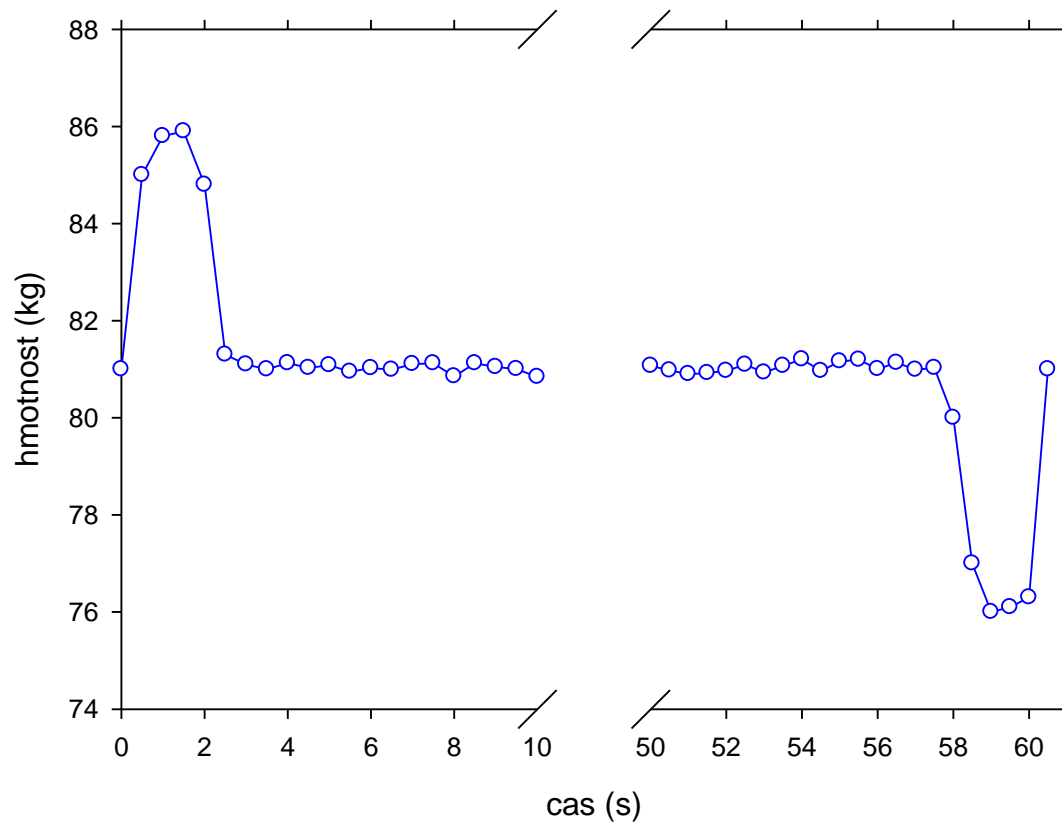
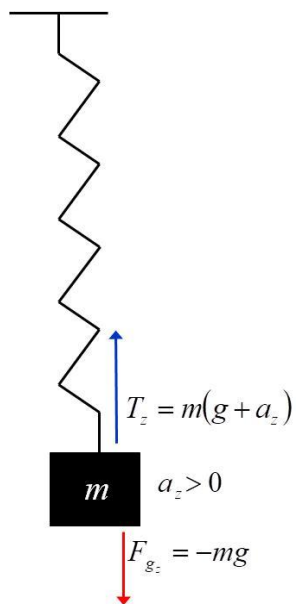


Co ukazuje váha?

výtah jedoucí nahoru

$$ma \approx 50 \text{ N}$$

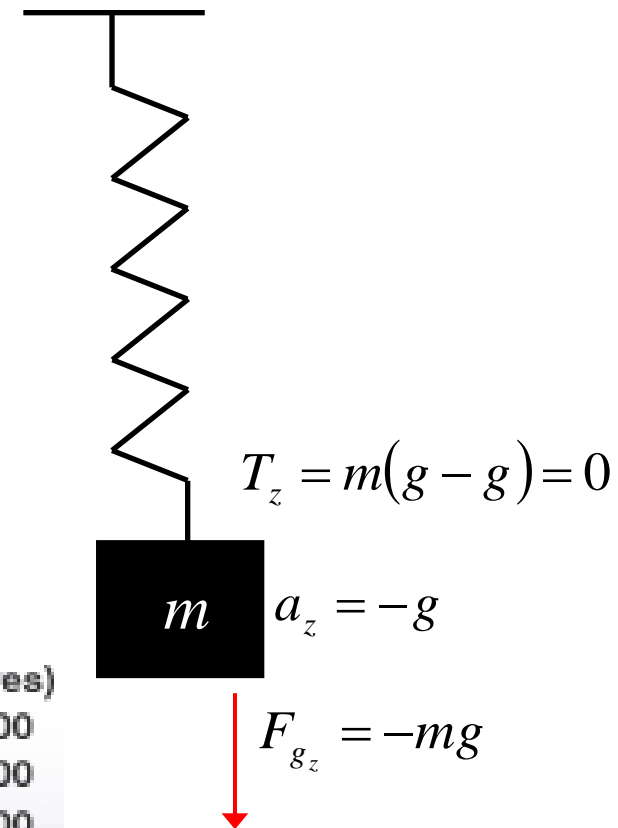
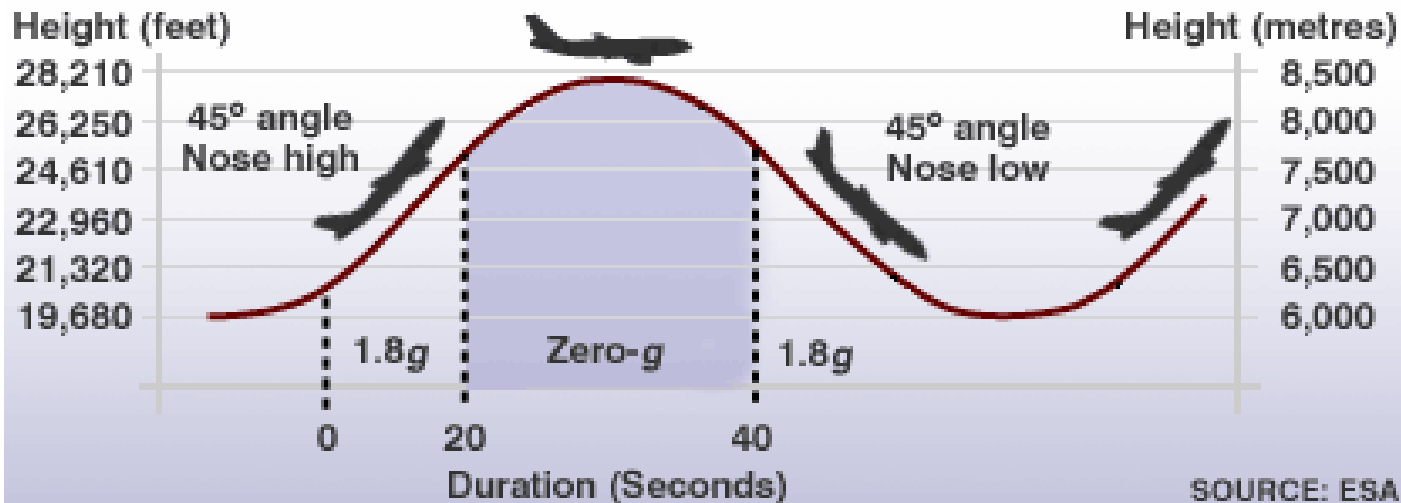
$$a \approx 0.6 \text{ ms}^{-2} = 0.06g$$



Stav beztíže

- parabolický let

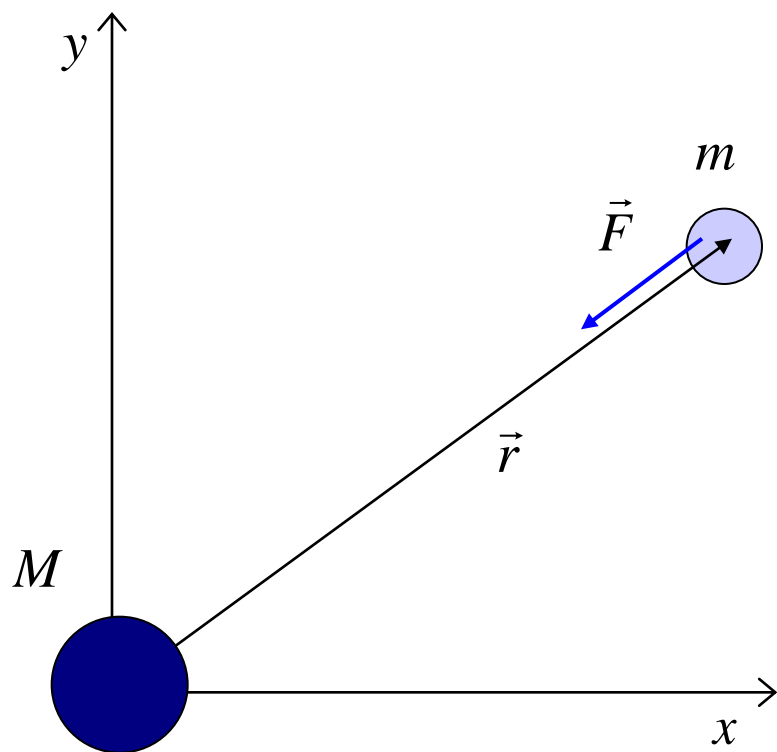
PARABOLIC FLIGHT



Gravitační pole

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

intenzita gravitačního pole

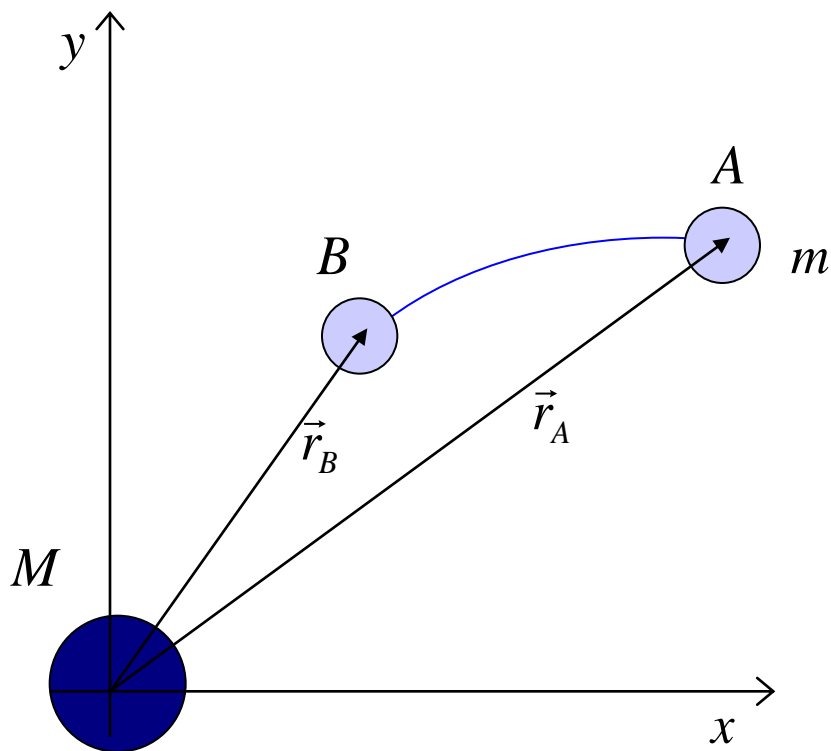
$$\vec{K} = -\kappa \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad [\text{N kg}^{-1}]$$

Síla která by v daném místě působila na těleso o jednotkové hmotnosti

Gravitační pole

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

intenzita gravitačního pole

$$\vec{K} = -\kappa \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad [\text{N kg}^{-1}]$$

Síla která by v daném místě působila na těleso o jednotkové hmotnosti

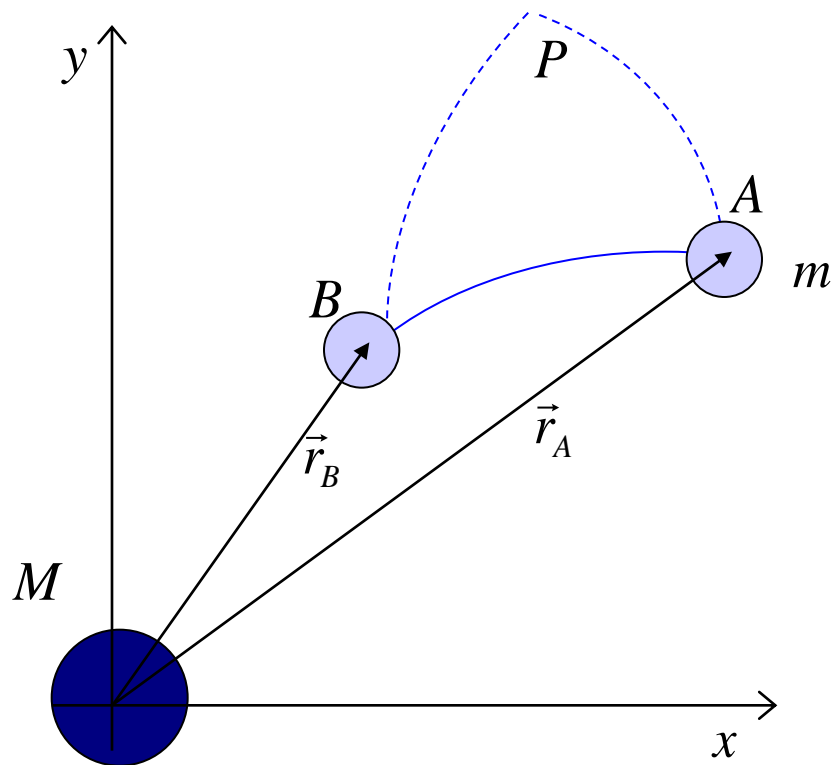
Při přemístění tělesa o hmotnosti m z bodu A do bodu B vykoná gravitační pole práci

$$W_{AB} = m \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{K} d\vec{r} = \Delta E_k = -\Delta E_p$$

Gravitační pole

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

Při přemístění tělesa o hmotnosti m z bodu A do bodu B vykoná gravitační pole práci

$$W_{AB} = m \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{K} d\vec{r} = \Delta E_k$$

Konzervativní pole – práce je určena jen počáteční a koncovou polohou a nezávisí na trajektorii

$$W_{AB} = \Delta E_k = -\Delta E_p = -E_p(B) + E_p(A)$$

$$W_{AB} = W_{AP} + W_{PB} = -W_{PA} + W_{PB}$$

$$W_{PA} = -E_p(A) + E_p(P)$$

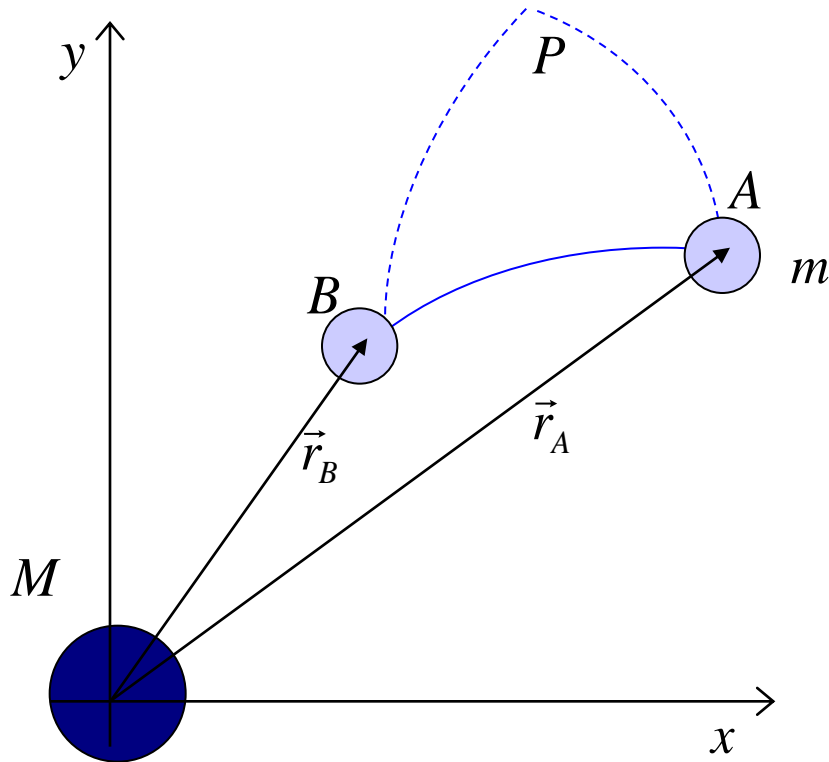
$$W_{PB} = -E_p(B) + E_p(P)$$

nulová hladina potenciální energie v P: $E_p(P) = 0$

Gravitační pole

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

Při přemístění tělesa o hmotnosti m z bodu A do bodu B vykoná gravitační pole práci

$$W_{AB} = m \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{K} d\vec{r} = \Delta E_k$$

Konzervativní pole – práce je určena jen počáteční a koncovou polohou a nezávisí na trajektorii

potenciální energie: $E_P(A) = -W_{PA}$

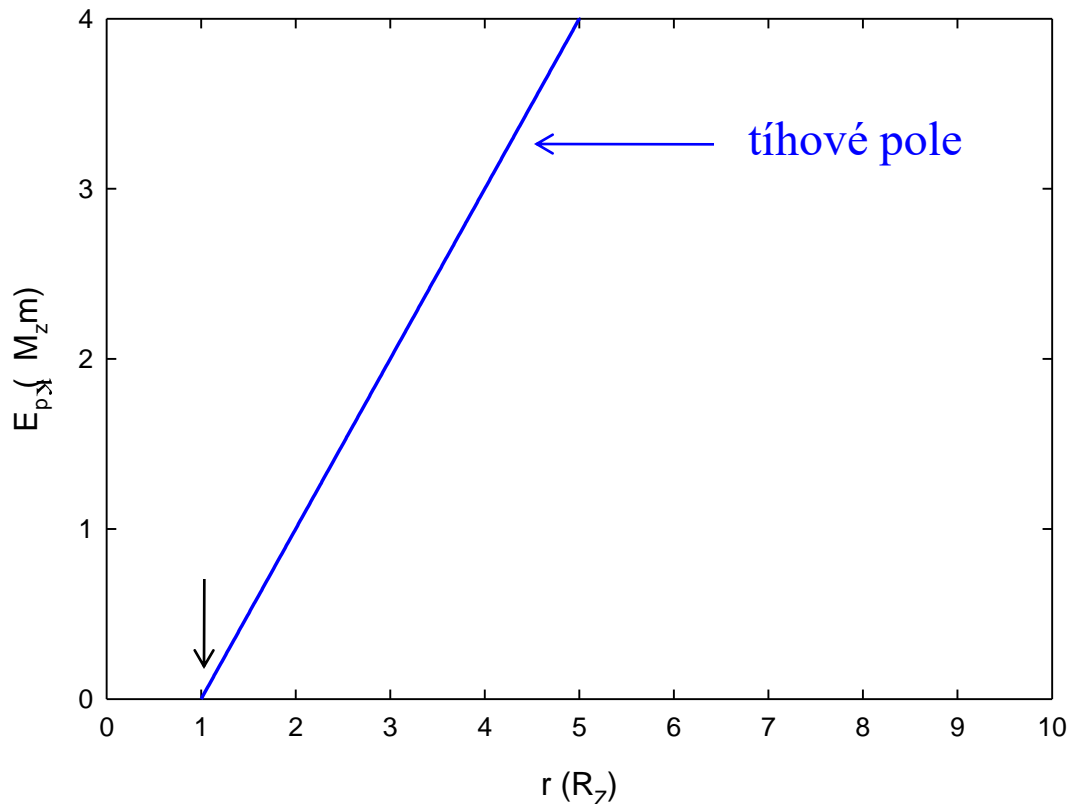
záporně vzatá práce, kterou musí pole vykonat při přenesení tělesa z bodu P do bodu A

podobně pro B $E_P(B) = -W_{PB}$

Gravitační pole

Potenciální energie v tíhovém poli: $mg(r - R_Z)$

Potenciální energie v gravitačním poli: $\kappa M_Z m \left(\frac{1}{R_Z} - \frac{1}{r} \right) = mg(r - R_Z) \frac{R_Z}{r}$

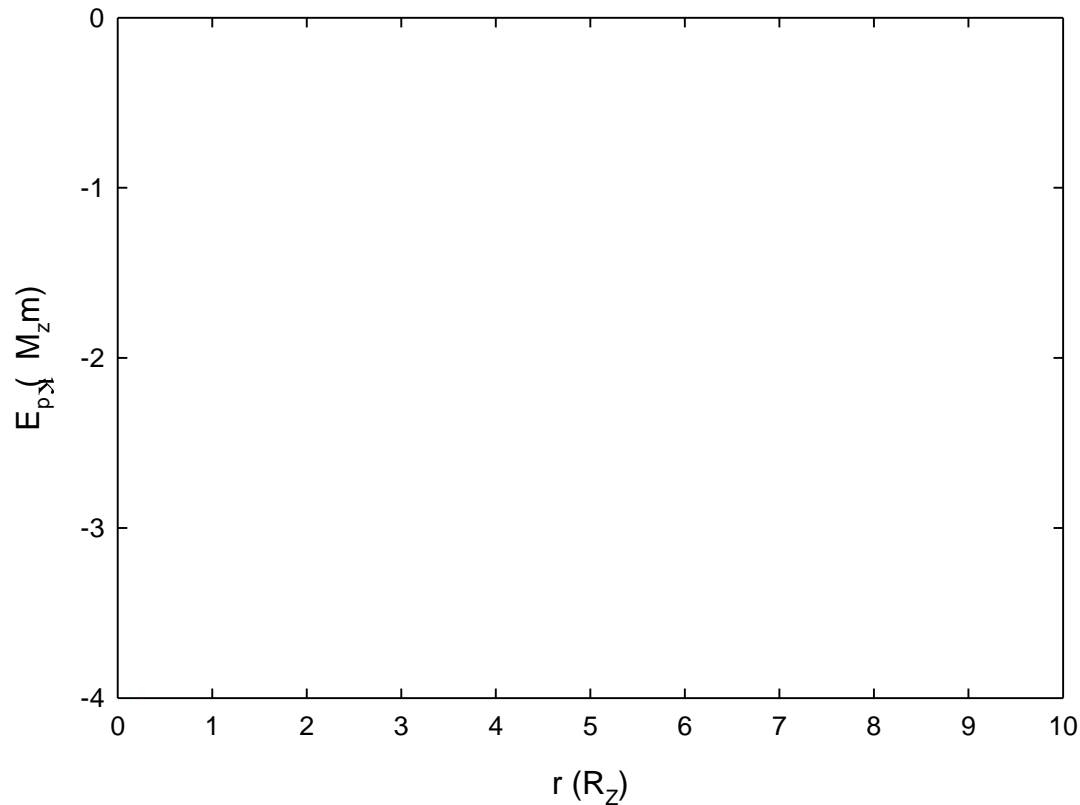


nulová hladina potenciální energie
na povrchu Země

← gravitační pole

Gravitační pole

Potenciální energie v gravitačním poli: $-\frac{\kappa M_Z m}{r}$

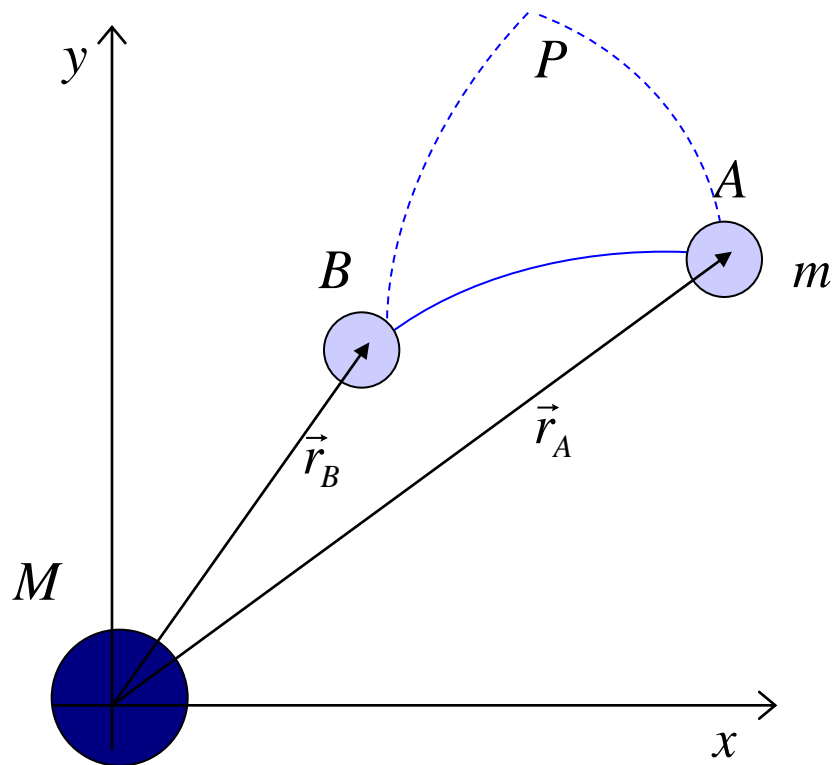


nulová hladina potenciální energie
v nekonečnu

Gravitační pole

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

Při přemístění tělesa o hmotnosti m z bodu A do bodu B vykoná gravitační pole práci

$$W_{AB} = m \int_{\vec{r}_A}^{\vec{r}_B} \vec{K} d\vec{r} = \Delta E_k$$

Konzervativní pole – práce je určena jen počáteční a koncovou polohou a nezávisí na trajektorii

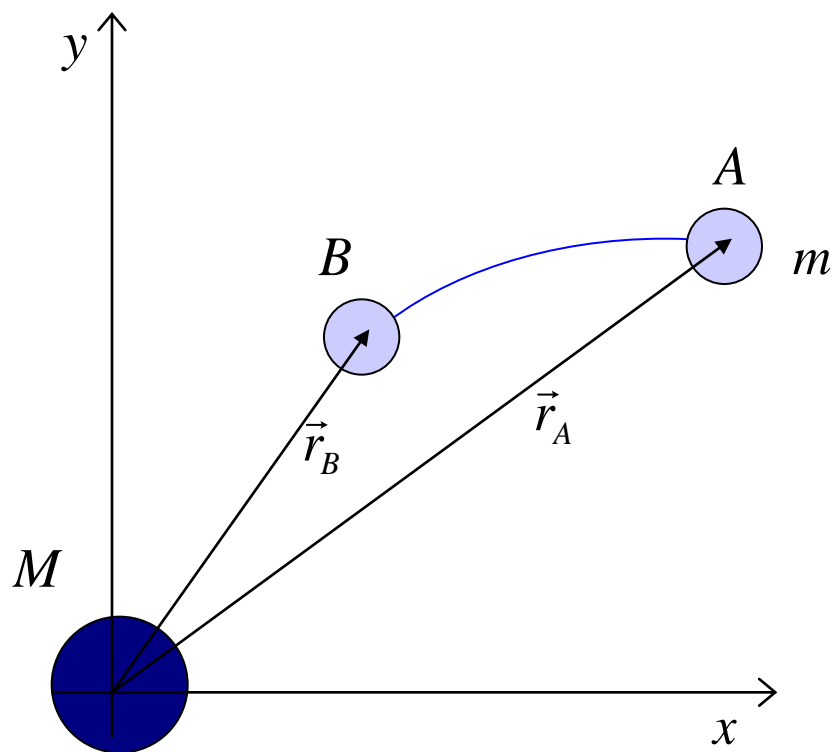
potenciál
$$\varphi(\vec{r}) = \frac{E_p(\vec{r})}{m} \quad [\text{J kg}^{-1}]$$

$-\varphi(A)$ práce, kterou musí pole vykonat při přenesení tělesa jednotkové hmotnosti z bodu P o nulovém potenciálu do bodu A

Gravitační pole hmotného bodu

gravitační zákon

$$\vec{F} = -\kappa \frac{mM}{r^2} \frac{\vec{r}}{r}$$



těleso o hmotnosti M vytváří gravitační pole

intenzita gravitačního pole:

$$\vec{K} = -\kappa \frac{M}{r^2} \frac{\vec{r}}{r} \quad [\text{ms}^{-2}]$$

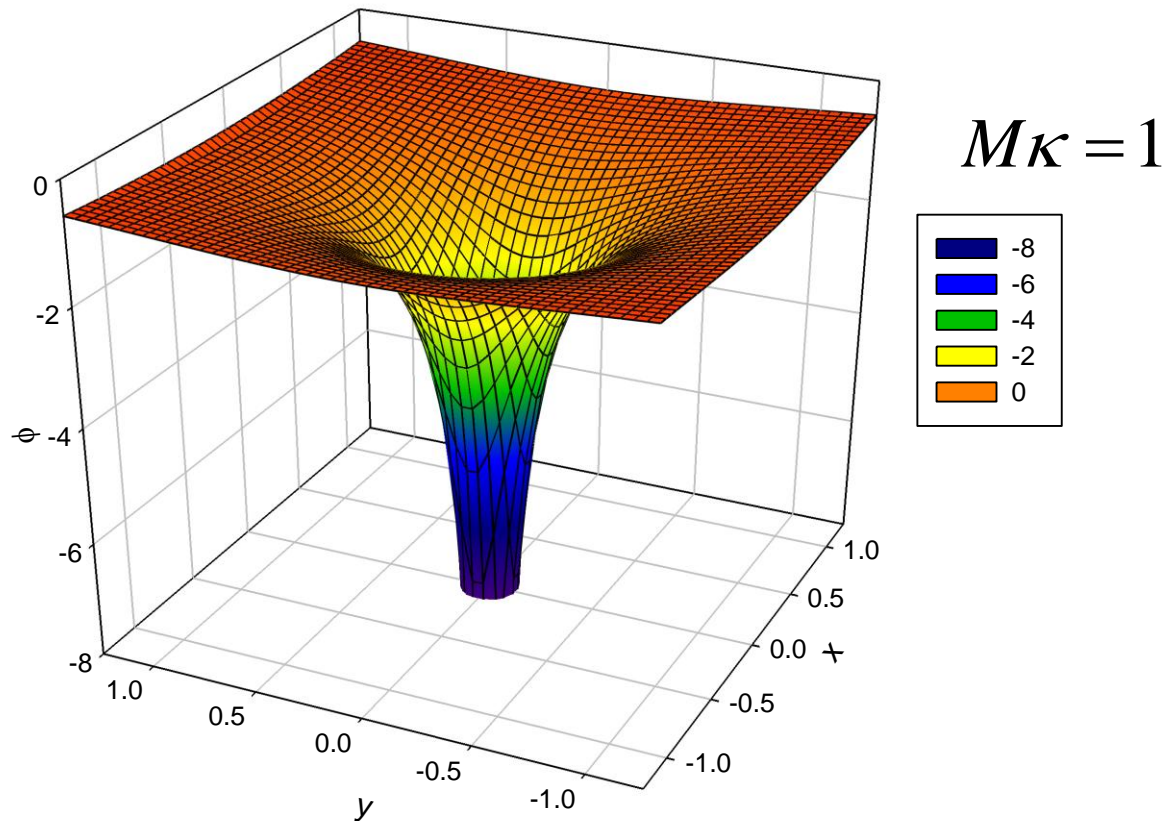
potenciál gravitačního pole:

$$\varphi(r) = -\kappa \frac{M}{r} \quad [\text{m}^2 \text{s}^{-2}]$$

$$\varphi(r = \infty) = 0$$

Gravitační pole hmotného bodu

potenciál gravitačního pole: $\varphi(r) = -\kappa \frac{M}{r}$



Souvislost potenciálu a intenzity pole

potenciál: $\varphi(\vec{r}) = \varphi(x, y, z)$

intenzita: $\vec{K}(\vec{r}) = \vec{K}(x, y, z)$

těleso o hmotnosti m :

potenciální energie: $E_p(\vec{r}) = m\varphi(\vec{r})$

síla: $\vec{F}(\vec{r}) = m\vec{K}(\vec{r})$

při posunutí o Δx se vykoná práce: $\Delta W = -\Delta E_p = F_x \Delta x \longrightarrow F_x = -\frac{\Delta E_p}{\Delta x} = -\frac{\partial E_p}{\partial x}$

podobně: $F_y = -\frac{\partial E_p}{\partial y}$ $K_y = -\frac{\partial \varphi}{\partial y}$ $K_x = -\frac{\partial \varphi}{\partial x}$

$$F_z = -\frac{\partial E_p}{\partial z} \quad K_z = -\frac{\partial \varphi}{\partial z}$$

Souvislost potenciálu a intenzity pole

potenciál: $\varphi(\vec{r}) = \varphi(x, y, z)$

intenzita: $\vec{K}(\vec{r}) = \vec{K}(x, y, z)$

těleso o hmotnosti m :

potenciální energie: $E_p(\vec{r}) = m\varphi(\vec{r})$

síla: $\vec{F}(\vec{r}) = m\vec{K}(\vec{r})$

$$\vec{K} = \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\nabla \varphi$$

$$\vec{F} = \left(-\frac{\partial E_p}{\partial x}, -\frac{\partial E_p}{\partial y}, -\frac{\partial E_p}{\partial z} \right) = -\nabla E_p$$

gradient



Souvislost potenciálu a intenzity pole

$$\vec{K} = \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\nabla \varphi$$

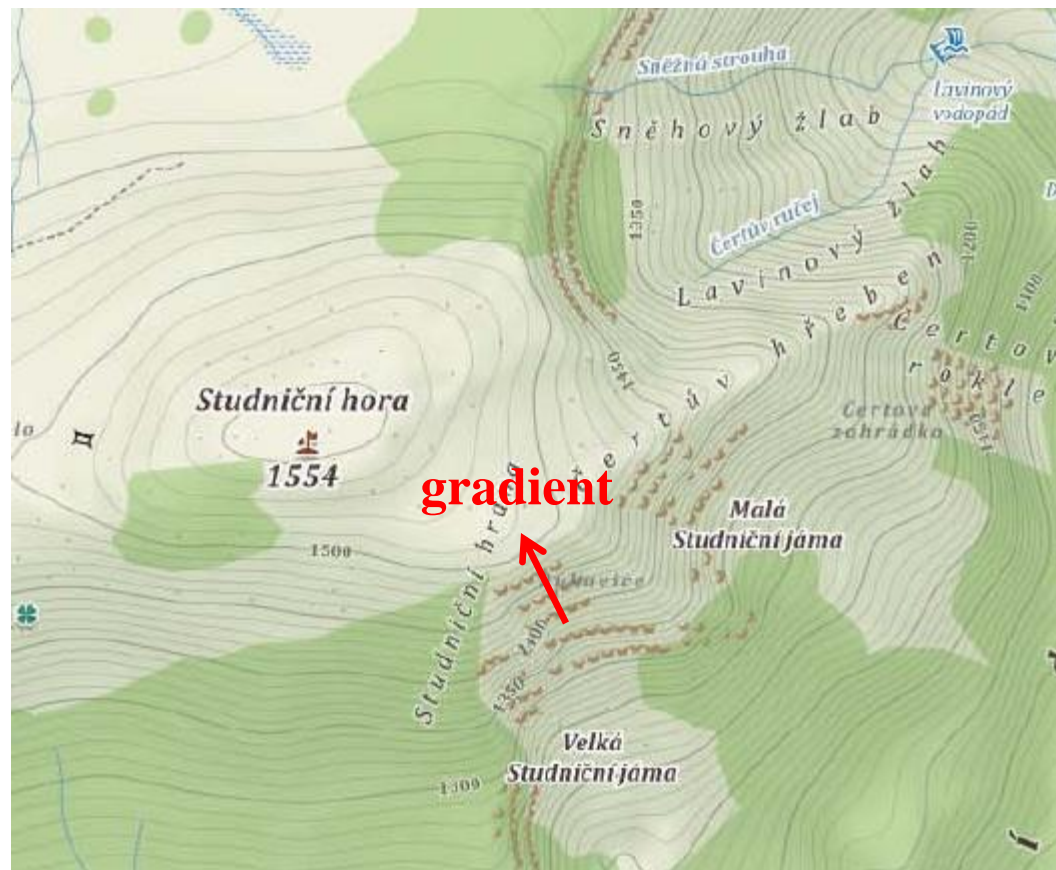
$$\vec{F} = \left(-\frac{\partial E_p}{\partial x}, -\frac{\partial E_p}{\partial y}, -\frac{\partial E_p}{\partial z} \right) = -\nabla E_p$$



Souvislost potenciálu a intenzity pole

$$\vec{K} = \left(-\frac{\partial \varphi}{\partial x}, -\frac{\partial \varphi}{\partial y}, -\frac{\partial \varphi}{\partial z} \right) = -\nabla \varphi$$

$$\vec{F} = \left(-\frac{\partial E_p}{\partial x}, -\frac{\partial E_p}{\partial y}, -\frac{\partial E_p}{\partial z} \right) = -\nabla E_p$$



Souvislost potenciálu a intenzity pole

Př. gravitační pole:

$$\varphi = -\kappa \frac{M}{r} = -\kappa \frac{M}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}}$$

$$\nabla \varphi = \left(\kappa \frac{M x}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}, \kappa \frac{M y}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}}, \kappa \frac{M z}{(x^2 + y^2 + z^2)^{\frac{3}{2}}} \right) = \kappa \frac{M \vec{r}}{r^3}$$

$$\vec{K} = -\nabla \varphi = -\kappa \frac{M \vec{r}}{r^3}$$

Kosmické rychlosti

I. kosmická rychlost: $v_I = \sqrt{gR_Z} = 7.9 \text{ km s}^{-1}$ rychlost potřebná k vynesení na oběžnou dráhu Země

II. kosmická rychlost: $v_{II} = \sqrt{2gR_Z} = 11.2 \text{ km s}^{-1}$ rychlost potřebná k opuštění gravitačního pole Země

III. kosmická rychlost: $v_{III} = \sqrt{\frac{2kM_S}{R_{ZS}}} = 42.1 \text{ km s}^{-1}$ rychlost potřebná k opuštění gravitačního pole Slunce, tj. k opuštění sluneční soustavy

Když využijeme oběžné rychlosti Země 29.7 km s^{-1} tak stačí $42.1 - 29.7 = 12.4 \text{ km s}^{-1}$