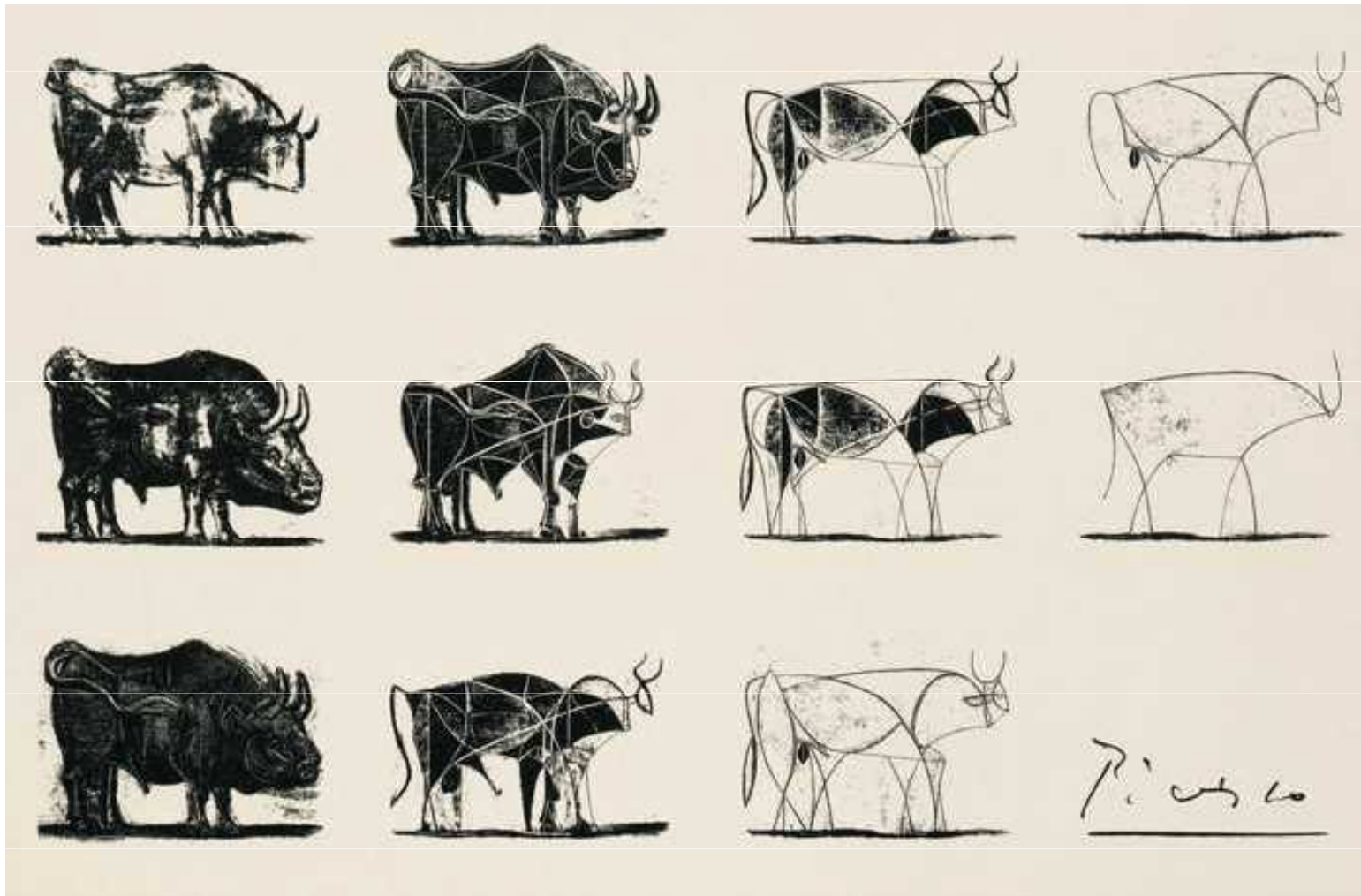


Dynamika



ما هو الـ

Dynamika

Dynamika studuje příčiny pohybu těles = síly, které pohyb způsobují. Základy dynamiky tvoří tři Newtonovy (pohybové) zákony, které jsou založeny na pojmu síla F , $[F]=N$.

Těleso je ve fyzice jakýkoli hmotný předmět (věc), který je objektem zkoumání fyziky.

Izolované těleso není ve vzájemném silovém působení s jiným fyzikálním tělesem.

Izolovaná soustava těles jsou tělesa, která na sebe navzájem působí silami a při tom na ně nepůsobí silami jiná tělesa.

Vztažná (nebo také referenční) **soustava** je zvolená skupina těles (příp. i jediné vztažné těleso), které jsou vzájemně v klidu, anebo zadaném či známém vzájemném pohybu (referenční tělesa).

Inerciální vztažné soustavy jsou všechny vztažné soustavy, které se vzhledem k sobě pohybují rovnoměrně přímočaře (tj. na tělesa působí pouze síly, mající svůj původ v jiných tělesech). V inerciálních vztažných soustavách platí 1. Newtonův pohybový zákon. Inerciální vztažné soustavy jsou v klasické newtonovské mechanice pro popis pohybu rovnocenné (na rozdíl od **neinerciálních vztažných soustav**).

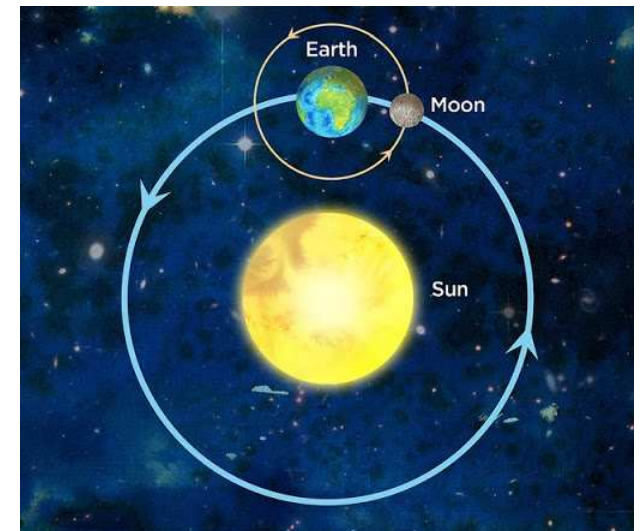
Každá vztažná soustava, která je vzhledem k dané inerciální soustavě v klidu nebo v pohybu rovnoměrně přímočarém, je rovněž inerciální. Ve skutečnosti inerciální vztažná soustava neexistuje.

Galileův princip relativity – zákony mechaniky jsou ve všech inerciálních vztažných soustavách stejné. Mechanickými pokusy nelze rozlišit zda se jedna inerciální vztažná soustava vůči jiné inerciální vztažné soustavě pohybuje nebo je v klidu (pokud pozorovatel nevidí okolí).

Neinerciální vztažná soustava se vzhledem k nějaké inerciální soustavě pohybuje se zrychlením. Jako **neinerciální vztažná soustava** se ve fyzice označuje taková vztažná soustava, v níž neplatí **Newtonovy pohybové zákony**. Inerciální i neinerciální vztažné soustavy jsou rovnocenné pouze v rámci obecné teorie relativity.

Naše Země není inerciální soustavou, protože se otáčí a objevují se síly odstředivé a síly Coriolisovy.

Za inerciální soustavu můžeme považovat soustavu s počátkem ve středu Slunce a osami mířícími ke stálícím (hvězdám na obloze).



Základní veličiny dynamiky

Důležitými veličinami dynamiky jsou **hmotnost** a **síla**. Tyto veličiny neumíme definovat klasickým způsobem, vlastnosti hmotnosti a síly vyplývají ze zákonů dynamiky.

Hmotnost (m , jednotka 1 kilogram [kg]) je skalární fyzikální veličina, charakterizuje schopnost těles klást odpor změnám pohybu, tj. setrvačné vlastnosti daného tělesa. V klasické mechanice je nezávislá na rychlosti.

Síla (F , jednotka 1 newton [N, $\text{kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$]) je vektorová fyzikální veličina, která je určená velikostí, směrem a polohou svého působišťe. Je mírou vzájemného působení těles (přímým kontaktem nebo silovým polem).

Silové působení se projevuje deformací tělesa nebo změnou pohybového stavu tělesa (zrychlení).

Síla se vždy projevuje při vzájemném působení těles.

- **při přímém styku** - tělesa se navzájem dotýkají
- **prostřednictvím silového pole** - tělesa nejsou ve vzájemné dotyku; síla působí prostřednictvím pole (gravitační, magnetické, elektrické, elektromagnetické, ...)

Síla může mít na těleso různý účinek:

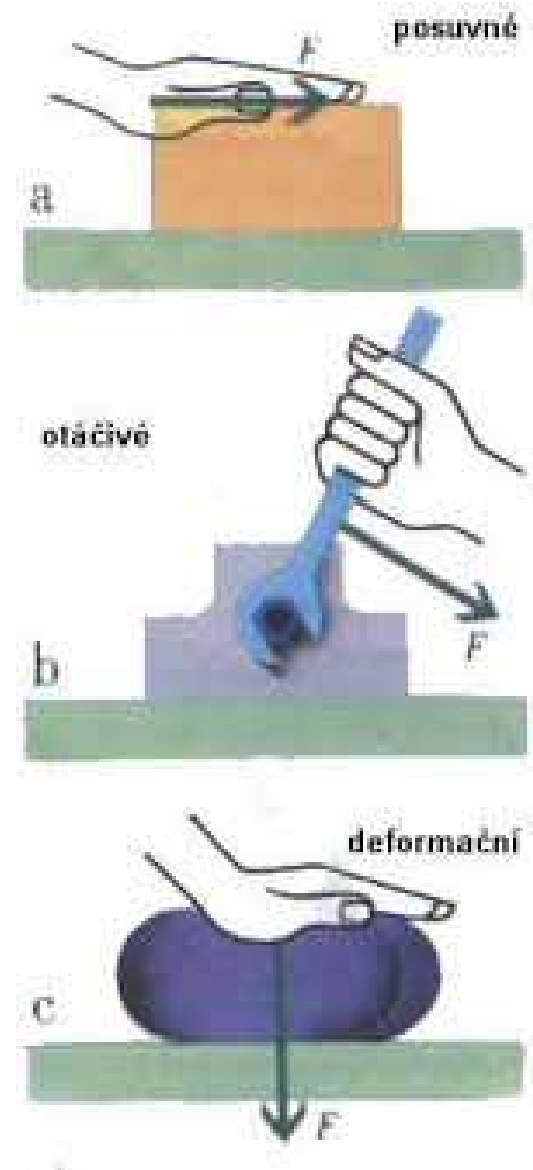
- **deformační** (statický) - síla má za následek deformaci tělesa
- **pohybový** (dynamický) - síla má za následek změnu pohybového stavu tělesa (posuvný nebo otáčivý pohyb)

Posuvné účinky síly:

vedení do pohybu
urychlení
zpomalení
zastavení
změna směru

Ve všech uvedených případech se mění velikost nebo směr rychlosti – tato změna závisí:

na velikosti působící síly
na hmotnosti tělesa



Síly působící na dálku prostřednictvím silových polí

Gravitační síla

Elektrická síla

Magnetická síla

Síly působící při vzájemném dotyku fyzikálních objektů

Dostředivá síla

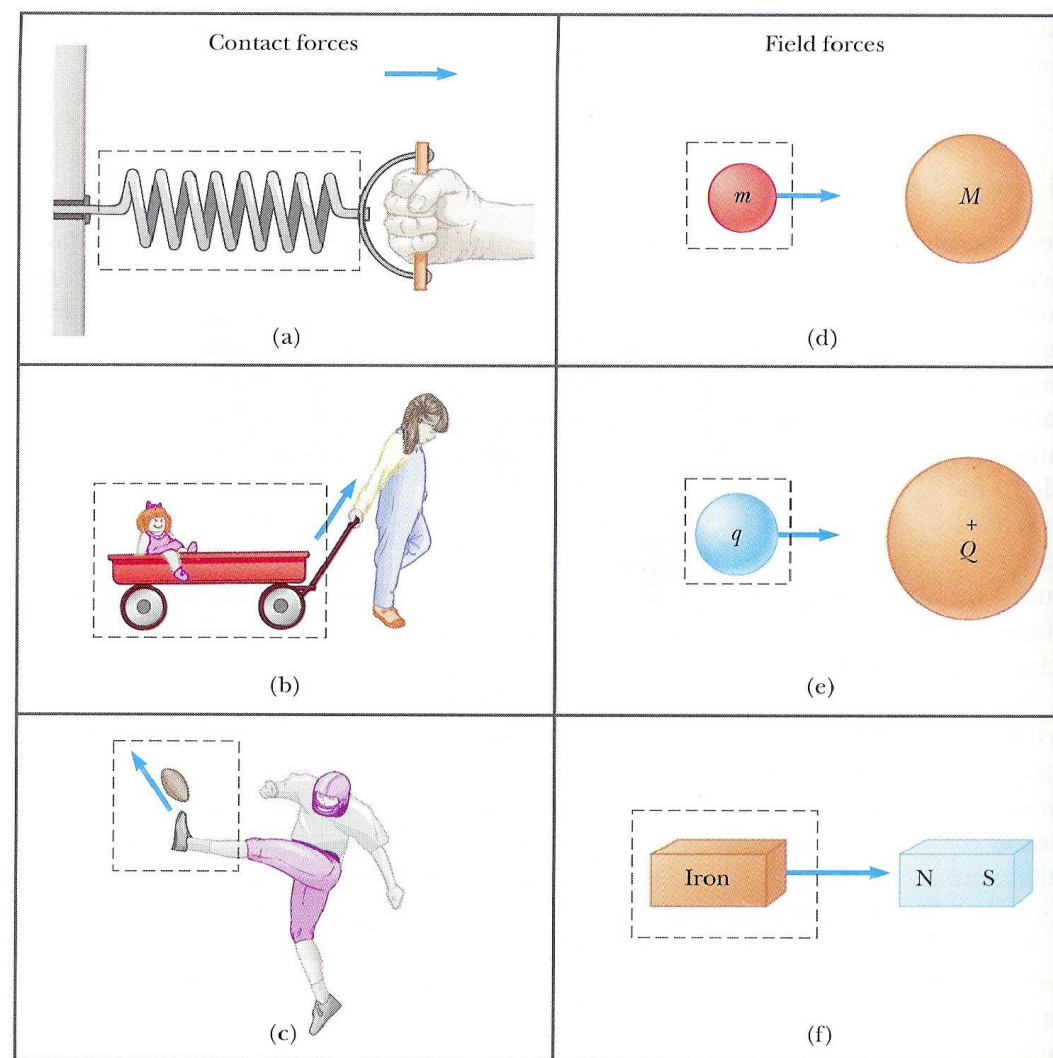
Třecí síla

Tahová síla

Tlaková síla (pevné látky, kapaliny, plyny)

Vztlaková síla (kapaliny, plyny)

Odporová síla (valivý odpor, odpor prostředí v kapalinách a plynech)



Skládání sil se společným působištěm

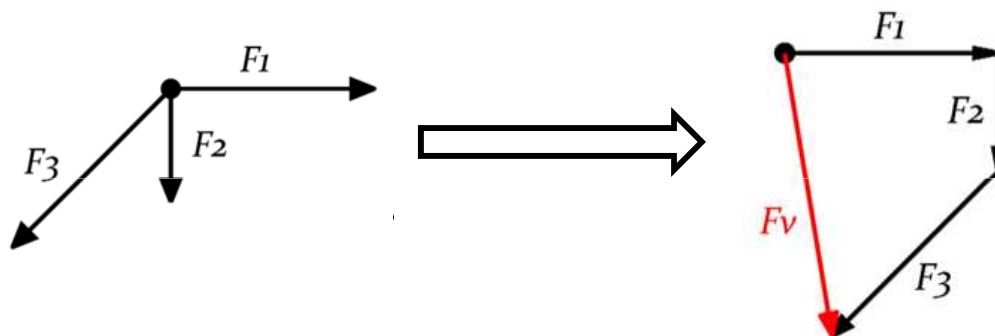
Působí-li současně na jedno těleso více sil, lze je vektorově sečíst a nahradit je jejich **výslednicí**, která má na těleso stejný účinek jako všechny působící síly. Působiště výslednice sil je totožné s působištěm jednotlivých složek a nazývá se **střed sil**. Síly působící v jednom bodě tělesa se skládají podle stejných pravidel jako síly působící na hmotný bod.

Skládání dvou sil se společným působištěm



Složky F_1, F_2	Směr výslednice F	Velikost výslednice F
		$F = F_1 + F_2$
		$F = F_1 - F_2$
		$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2}$
		$F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + 2F_1F_2 \cos \alpha}$

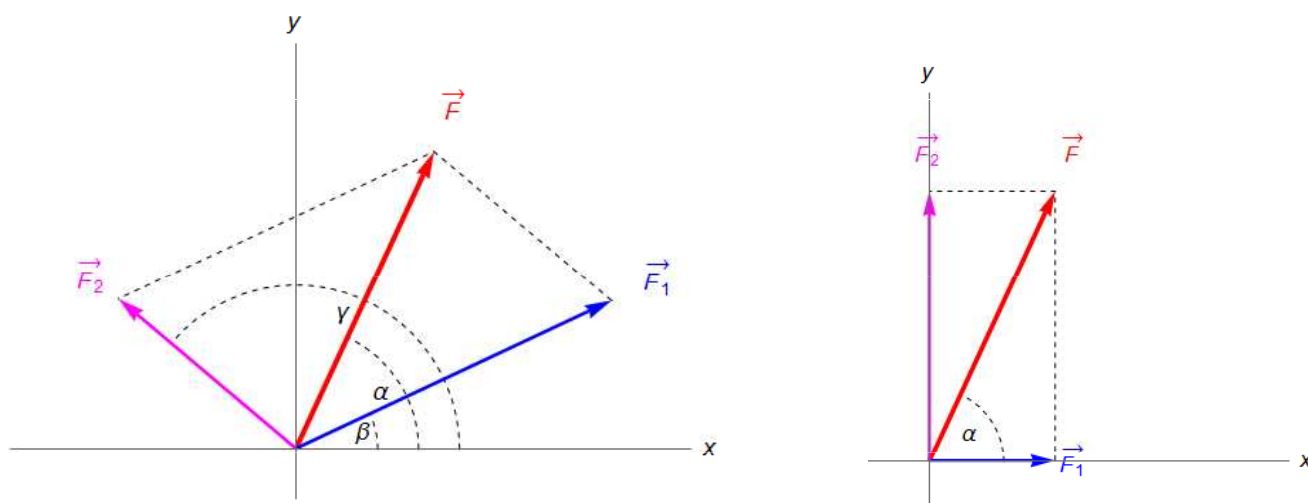
Skládání více sil se společným působištěm



Velikost výslednice

$$F_v = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 + F_3^2}$$

Rozklad síly na dvě různoběžné složky se společným působištěm



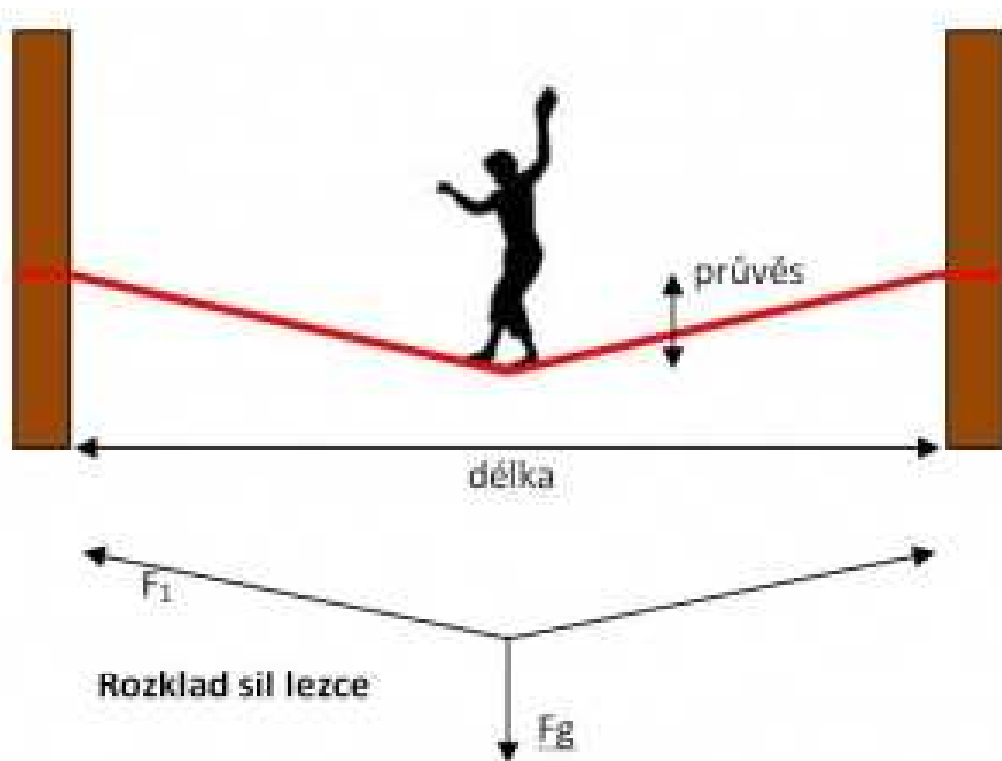
Velikost výslednice

$$F = \sqrt{F_x^2 + F_y^2}$$

Příklad

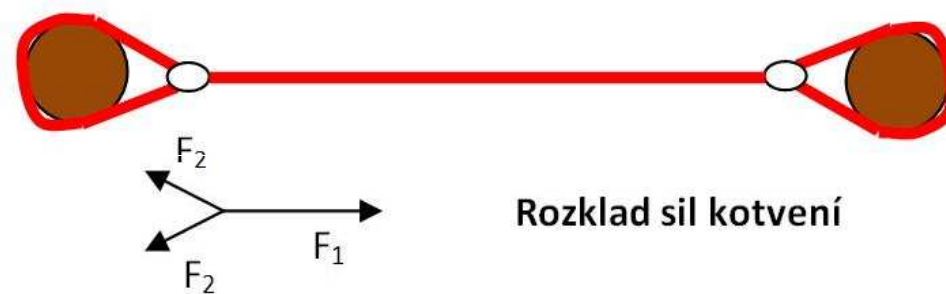
Provazochodec na laně.

Rozklad sil provazochodce



Síla, kterou je popruh tažen
 $F_1 = F_g / 2 * \cos(\alpha/2)$

Rozklad sil při ukotvení



Síla, kterou je popruh tažen
 $F_2 = F_1 / 2 * \cos(\beta/2)$

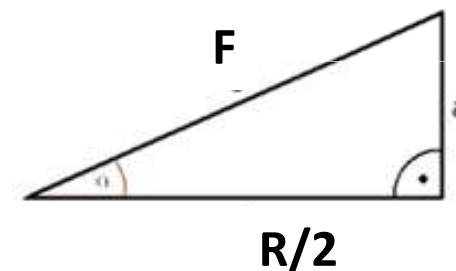
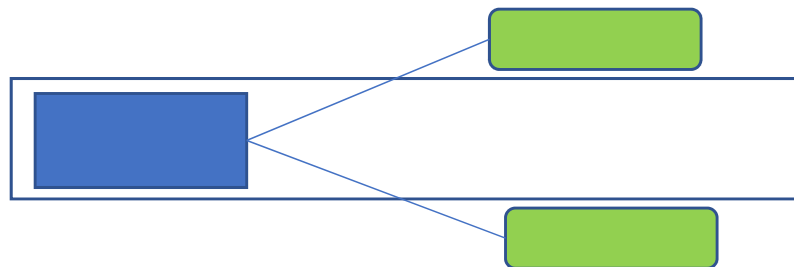
Příklad

Naloženou loď táhnou kanálem 2 tahače, jedoucí po obou březích kanálu. Určete velikost síly odporu vody, jestliže tažná lana jsou napínána stejnou silou o velikosti 3000 N a úhel mezi nimi je 60° . Loď se pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem.

$$F = 3000 \text{ N}$$

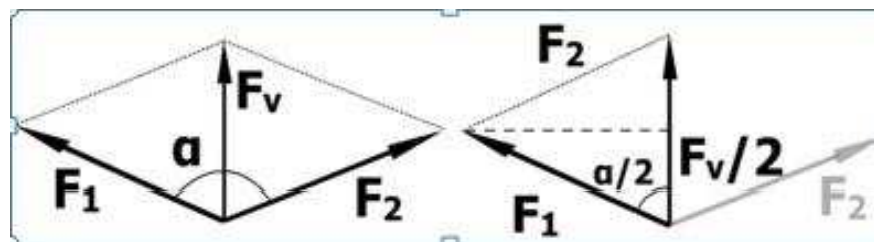
$$\alpha = 60^\circ$$

$$R = ?$$



Protože je to rovnoměrný pohyb, součet složek sil ve směru pohybu = odporová síla.

$$R = 2F \cos 30^\circ = 2F \frac{\sqrt{3}}{2} = \sqrt{3}F = 5196 \text{ N}$$

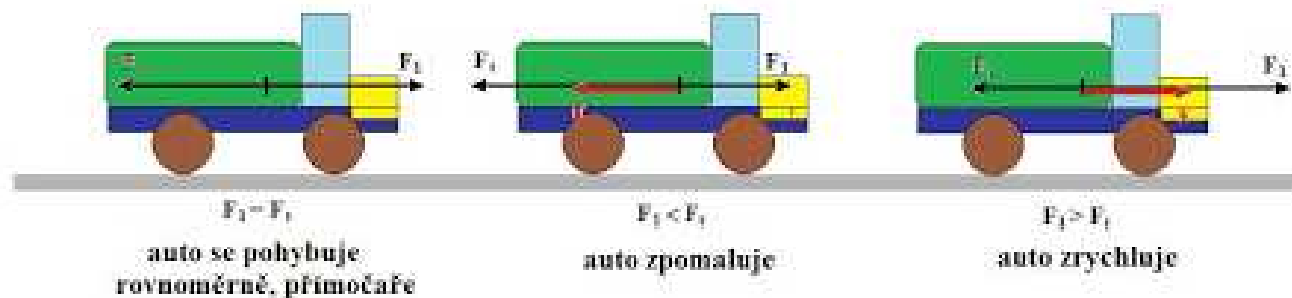


První Newtonův pohybový zákon - zákon setrvačnosti

Každé těleso setrvává v relativním klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, dokud není přinuceno silovým působením jiných těles tento stav změnit.

Vypovídá o chování těles, na která nepůsobí žádná vnější síla. Zákon platí pouze v inerciálních vztažných soustavách.

Podle prvního pohybového zákona je tedy klid a rovnoměrný přímočarý pohyb ekvivalentní. Oba dva typy pohybů jsou pohyby s nulovým zrychlením.



Hybnost

Hybnost je vektorová veličina (p , jednotka $1 \text{ kg}\cdot\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$) charakterizující pohybový stav tělesa - je mírou posuvného pohybu tělesa, je definovaná jako součin hmotnosti a okamžité rychlosti hmotného bodu

$$d\mathbf{p} = m \cdot d\mathbf{v}$$

$$d\mathbf{p}/dt = m \cdot d\mathbf{v}/dt = m \cdot \mathbf{a} = \mathbf{F} \quad (\text{síla})$$

Směr vektoru hybnosti je totožný se směrem vektoru okamžité rychlosti.

Je-li hmotnost tělesa konstantní, je hybnost přímo úměrná rychlosti. Změní-li se rychlost tělesa při konstantní hmotnosti, pak je změna hybnosti dána vztahem:

Příklad

Představme si letící tenisový míček a medicinbal. Oba letí rychlostí $30 \text{ km}\cdot\text{h}^{-1}$. Tenisák má hmotnost 58 gramů a medicinbal 3 kilogramy.

Úsilí, které musíme vynaložit na zastavení míče závisí jeho hmotnosti, větší námahu musíme vynaložit na zastavení medicinbalu. Závisí ale také na jeho rychlosti; určitě bude náročnější oba míče zastavit, kdyby letěly vyšší rychlostí.



Příklad

Rychlost, energie a míra penetrace vystřelených broků.



Distance From Muzzle (yd)	Average Pellet Velocity (ft/sec)	Average Pellet Energy (ft-lb)	Pellet Penetration (inches)
0	1200	4.03	2.57
10	967	2.62	1.98
20	808	1.82	1.57
30	688	1.33	1.26
40	594	0.99	1.02
50	517	0.75	0.82
60	451	0.57	0.66

Druhý Newtonův pohybový zákon - zákon síly

Popisuje chování tělesa pod vlivem síly:

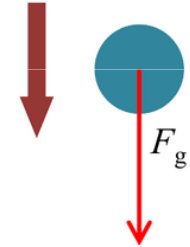
Velikost zrychlení a hmotného bodu je přímo úměrná velikosti výslednice sil F působících na hmotný bod a nepřímo úměrná hmotnosti tělesa m .

Směr zrychlení je shodný se směrem výslednice sil.

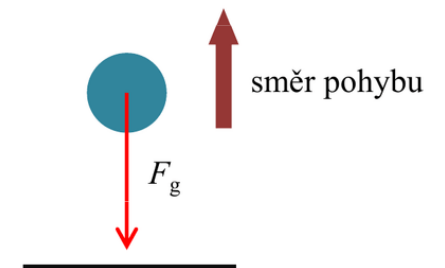
Síla je určena poměrem změny hybnosti a času, za který tato změna proběhla.

Čím větší je hmotnost tělesa, tím menší je zrychlení, které síla tělesu uděluje. Změna rychlosti tělesa působením určité síly je tím menší, čím větší je hmotnost tělesa. Hmotnost tělesa je tedy mírou jeho setrvačnosti (setrvačná hmotnost).

směr pohybu



Síla působící ve směru

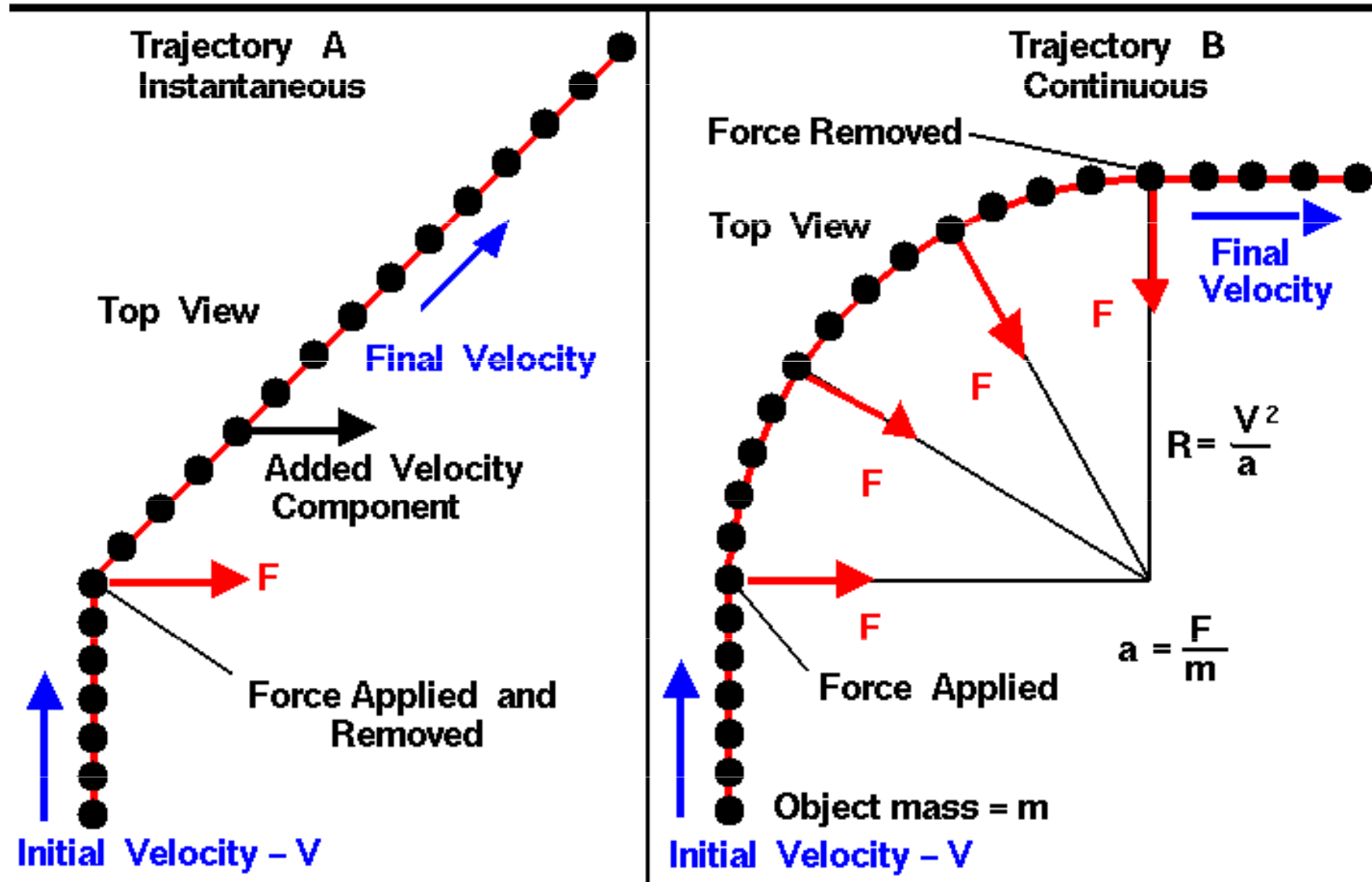


Síla působící proti směru rychlosti, těleso zpomaluje.

Změna směru rychlosti

Změna nárazem

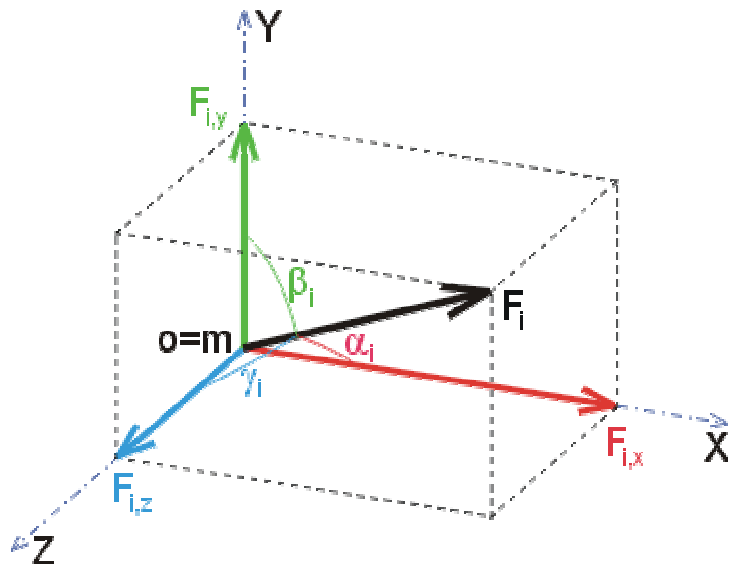
Změna plynulá



Pohybové rovnice

Známe-li trajektorii pohybu hmotného bodu v inerciální soustavě souřadné, můžeme z druhého Newtonova zákona stanovit sílu, která na hmotný bod působí.

Známe-li silové pole v nějakém prostoru, můžeme v tomto prostoru stanovit typ pohybu hmotného bodu. Známe-li též počáteční podmínky pohybu (případně jiné ekvivalentní údaje o pohybu), můžeme trajektorii hmotného bodu určit jednoznačně.



Pohybové rovnice

zákon síly

$$\vec{F} = m\vec{a} = m \frac{d^2\vec{r}}{dt^2}$$

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

$$a_y = \frac{F_y}{m}$$

$$a_z = \frac{F_z}{m}$$

počáteční podmínky

$$x(t=0) = x_0$$

$$y(t=0) = y_0$$

$$z(t=0) = z_0$$

$$v_x(t=0) = v_{x_0}$$

$$v_y(t=0) = v_{y_0}$$

$$v_z(t=0) = v_{z_0}$$

časová závislost souřadnic / rychlosti

$$x(t)$$

$$y(t)$$

$$z(t)$$

$$v_x(t)$$

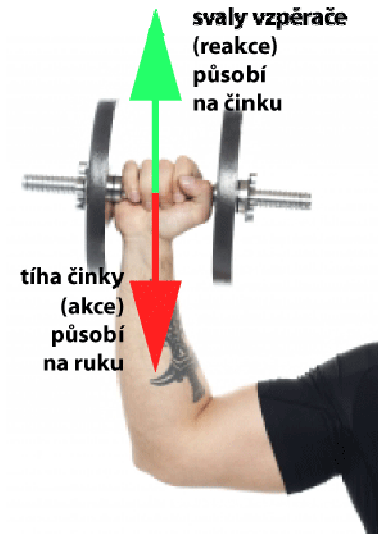
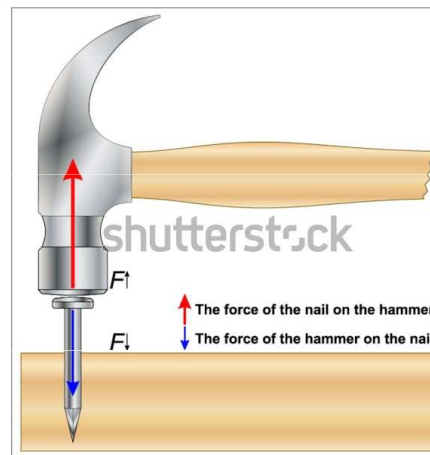
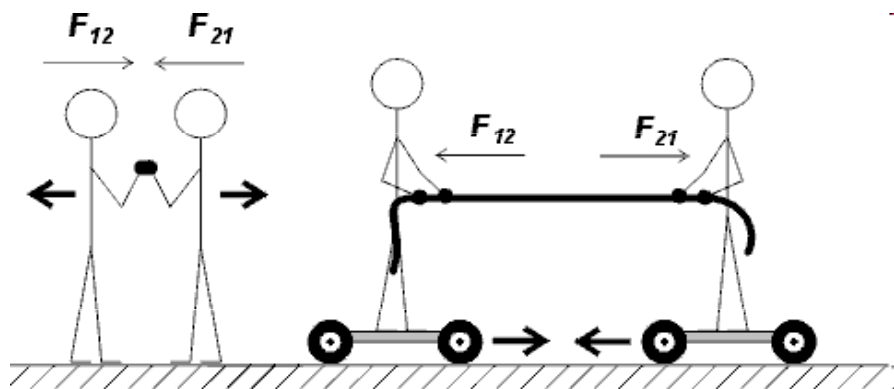
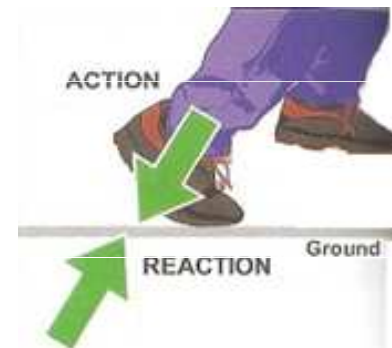
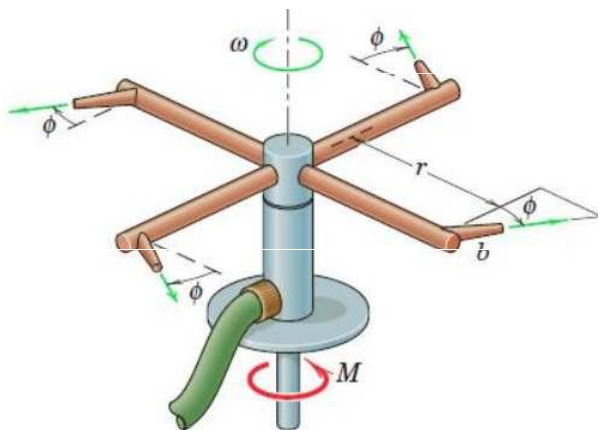
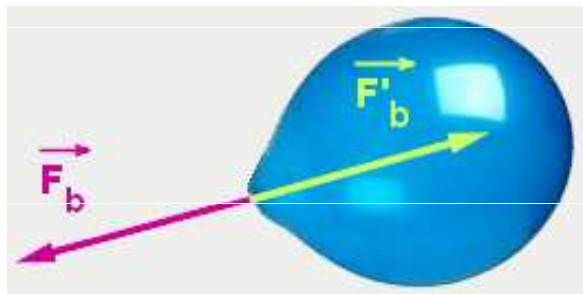
$$v_y(t)$$

$$v_z(t)$$

Třetí Newtonův zákon – zákon vzájemného působení těles, zákon akce a reakce

Jestliže těleso 1 působí silou (akce) na těleso 2, pak také těleso 2 působí na těleso 1 stejně velkou silou (reakce) opačného směru. Síly současně vznikají a zanikají.

Síly akce a reakce působí každá na jiné těleso, proto se navzájem nezruší.



	Co působí silou	Na co síla působí	Účinky síly
Akce	kladivo	na hřebík	<i>zatlučení hřebíku</i>
Reakce	<i>hřebík</i>	<i>na kladivo</i>	<i>odražení kladiva</i>
Akce	zachránce	na topícího se člověka	<i>pohyb směrem ke břehu</i>
Reakce	<i>topící se člověk</i>	<i>na zachránce</i>	<i>tlačí zachránce zpět</i>
Akce	vítr	na plachetnici	<i>pohání plachetnici</i>
Reakce	<i>plachetnice</i>	<i>na vítr</i>	<i>zastaví vítr</i>
Akce	lano jeřábu	na náklad cihel	<i>táhne cihly nahoru</i>
Reakce	<i>náklad cihel</i>	<i>na lano jeřábu</i>	<i>napíná lano</i>
Akce	kámen	na skleník	<i>rozbije sklo</i>
Reakce	<i>skleník</i>	<i>na kámen</i>	<i>zpomalí kámen</i>
Akce	skokan	na odrazový můstek	<i>posune můstek dozadu</i>
Reakce	<i>můstek</i>	<i>na skokana</i>	<i>vymrští skokana</i>

Hlavní důsledek třetího pohybového zákona

Uvažujme o dvou na sebe působících tělesech A a B, která jsou mechanicky oddělena od ostatních těles. Podle principu akce a reakce působí těleso A na těleso B silou \mathbf{F} a těleso B působí na těleso A silou $-\mathbf{F}$. Potom

a po úpravě

Hlavním důsledkem platnosti principu akce a reakce je **zákon zachování hybnosti** pro mechanicky izolovanou soustavu.

Vnitřní a vnější síly

Vnitřní síly = síly, kterými na sebe působí pouze tělesa dané soustavy. Jsou to síly akce a reakce a proto nemění pohybový stav soustavy (pohybový stav jednotlivých těles se měnit může). Celková hybnost soustavy zůstává konstantní a vektorový součet všech vnitřních sil je roven nule.

Vnější síly = nepůsobí uvnitř dané soustavy, působí na jednotlivá tělesa nebo na celou soustavu zvenčí. Pokud nemají nulovou výslednici, vždy změní pohybový stav soustavy.

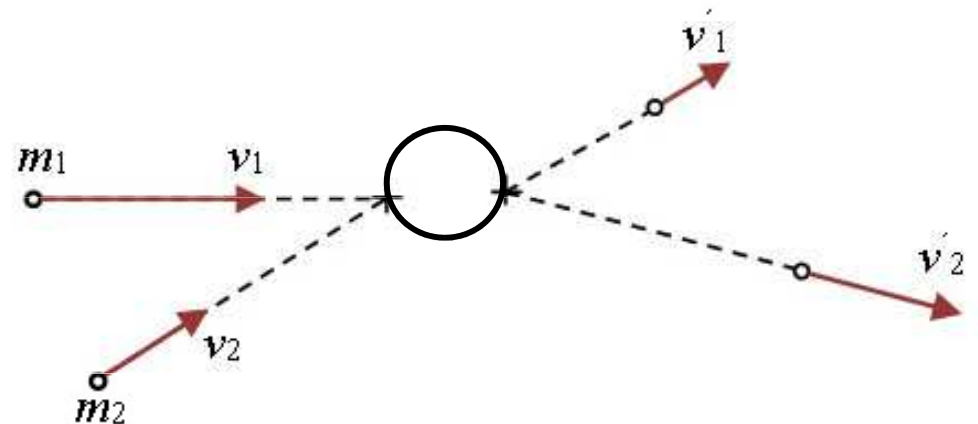
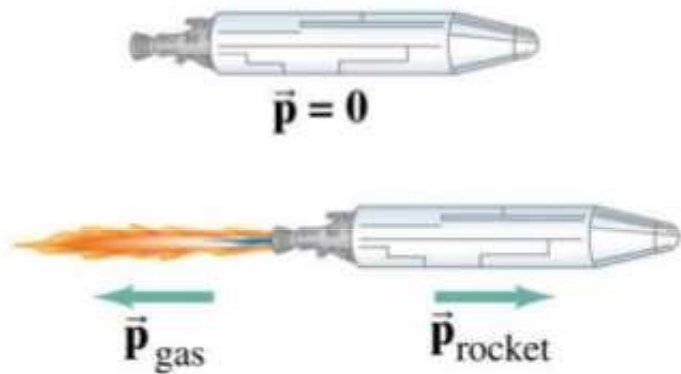
Zákon zachování hybnosti

V izolované soustavě působí na tělesa jen **vnitřní síly** (vzájemné síly mezi tělesy této soustavy), nikoli **vnější síly** (v důsledku působení jiných těles).

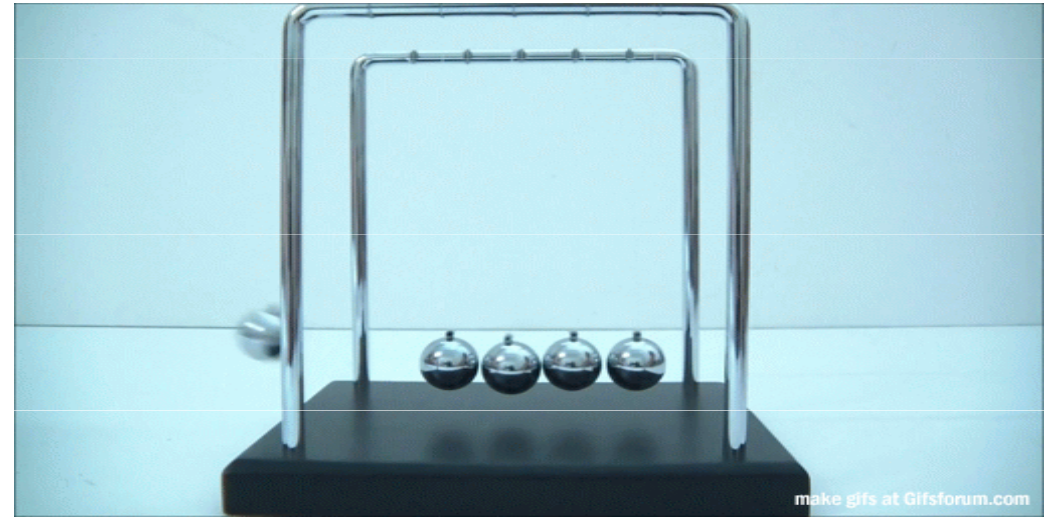
Celková hybnost všech těles v izolované soustavě se jejich vzájemným silovým působením nemění, tj. zachovává se směr i velikost celkové hybnosti. Jinými slovy, součet hybností všech těles izolované soustavy je stálý:

$$m_1 \cdot \mathbf{v}_1 + m_2 \cdot \mathbf{v}_2 + \dots + m_n \cdot \mathbf{v}_n = \text{konst}$$

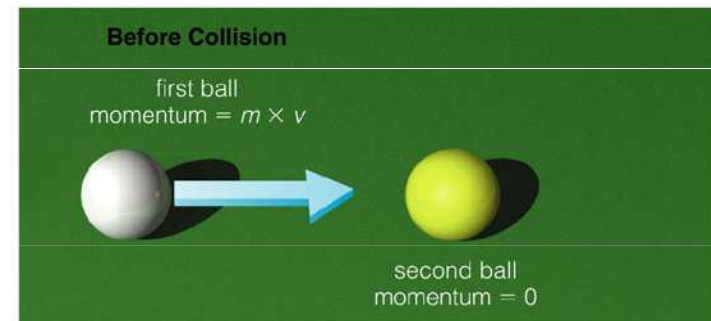
Zákon má význam např. pro teorii dokonale pružných rázů nebo teorii reaktivních motorů



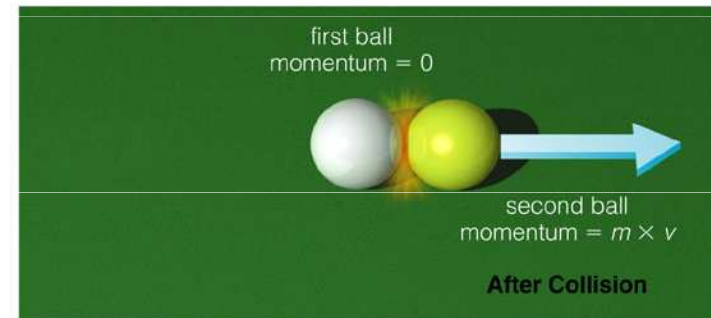
Newtonova houpačka (rázostroj)



Kulečník a billiard



The collision transfers momentum from the first ball to the second ball.



Příklad

Vozík o hmotnosti 1 kg se pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem rychlostí 10 m.s^{-1} po vodorovné rovině a narazí do stojícího vozíku o hmotnosti 8 kg. Dojde k pružné srážce, po níž se první vozík pohybuje opačným směrem (zpět) rychlostí 8 m.s^{-1} . Jakou rychlostí se bude pohybovat druhý (původně stojící) vozík?

$$m_1 = 1 \text{ kg}$$

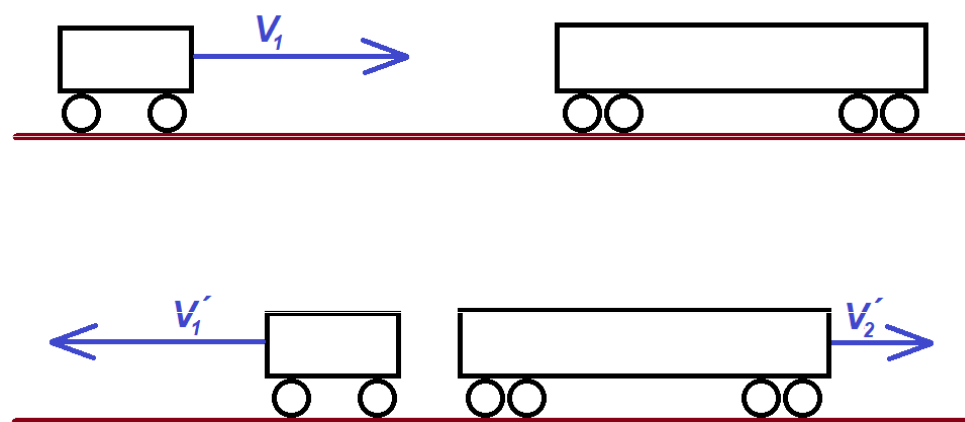
$$m_2 = 8 \text{ kg}$$

$$v_1 = 10 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_2 = 0 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_1' = 8 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v_2' = ?$$



$$m_1 \cdot v_1 - m_2 \cdot v_2 = -m_1 \cdot v_1' + m_2 \cdot v_2'$$

$$v_2' = [m_1 \cdot (v_1 + v_1') - m_2 \cdot v_2] / m_2 = [1 \cdot (10 + 8) - 8 \cdot 0] / 8 = \underline{2,25 \text{ m.s}^{-1}}$$

Příklad

Izolovanou soustavu těles tvoří střelná zbraň a střela. Před výstřelem, kdy střelec opírá pušku o rameno, je celková hybnost této soustavy nulová.

Při výstřelu vzniknou shořením střelného prachu plyny, které působí stejně velkými tlakovými silami jednak na střelu, jednak na závěr pušky. Tím jsou střela i zbraň uvedeny silami akce a reakce do pohybu opačnými směry a získají hybnosti \mathbf{p}_1 a \mathbf{p}_2 .

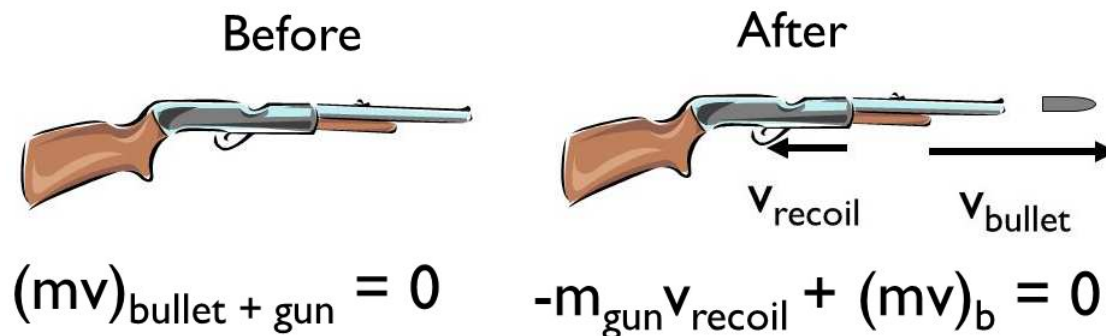
Podle zákona zachování hybnosti

$$\mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 = m_1 \cdot \mathbf{v}_1 + m_2 \cdot \mathbf{v}_2 = 0 \quad \text{odtud} \quad m_1 \cdot \mathbf{v}_1 = - m_2 \cdot \mathbf{v}_2$$

Hybnosti která získají střela a zbraň jsou stejně velké, ale opačného směru. Pro velikosti rychlosti platí

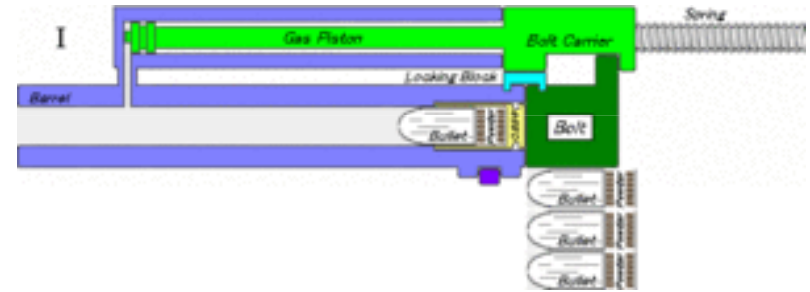
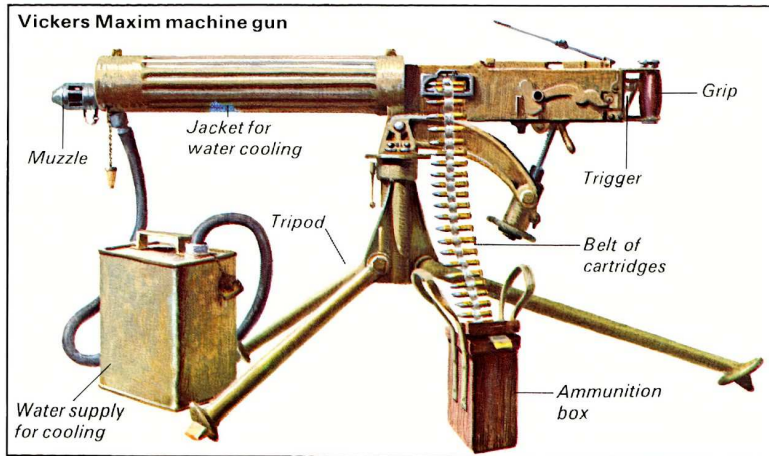
$$m_1 \cdot v_1 = m_2 \cdot v_2 \quad \text{a odtud} \quad m_1/m_2 = v_2/v_1$$

Velikost rychlosti střely a zbraně jsou v opačném poměru než jejich hmotnosti.



Využití zpětného rázu

Maximův kulomet



Samonabíjecí automatické zbraně



Impuls síly (silový popud)

Impuls síly (I , jednotka N.s) je vektorová veličina, vyjadřující časový účinek síly. Je roven změně hybnosti Δp tělesa, závisí na něm změna hybnosti tělesa. Tento vztah znamená, že změna hybnosti za určitý časový okamžik Δt je roven změně hybnosti tělesa, na něž síla působí (= **I. impulsová věta**).

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$dp/dt = m \cdot dv/dt = m \cdot a = F \quad (\text{síla})$$

$$dp = m \cdot dv/dt \cdot dt$$

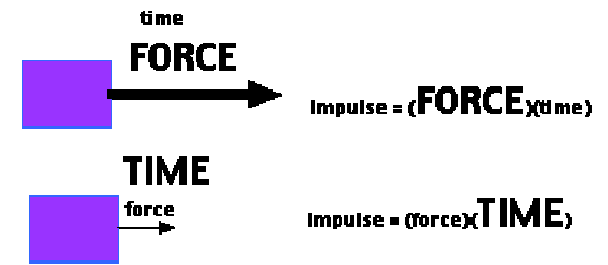
$$dp = F(t) \cdot dt \quad (\text{impuls síly})$$

$$F = \text{konst}$$

$$F \neq \text{konst}$$




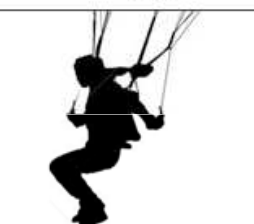
Je zřejmé, že stejné změny hybnosti může být dosaženo krátkodobým působením velké síly nebo delším působením síly malé. Nastane-li změna hybnosti za malý časový interval, působí velká síla (Proto bolí, když se klepneme kladívkem.)



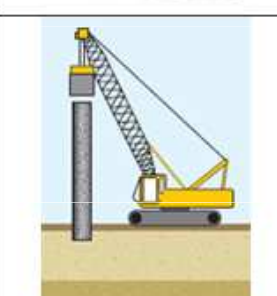
Malá síla po dlouhou dobu nedokáže těleso rozpohybovat, zatímco velká síla po krátkou dobu uvede těleso do pohybu.



Impulsová síla malá, delší čas působení

Impulsová síla velká, krátký čas působení

SITUATION	EXPLANATION
 High jumper lands on a mattress.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lengthen the time of impact ▪ Result in a smaller impulsive force
 Goods that are fragile wrapped with a soft but rigid material.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lengthen the time of impact ▪ Result in a smaller impulsive force
 Player wears gloves and swings the hand to the back when catching the ball.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lengthen the time of impact ▪ Result in a smaller impulsive force
 Parachutist bends his knees when he lands.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Lengthen the time of impact ▪ Result in a smaller impulsive force

SITUATION	EXPLANATION
 Pestle and mortar are made of hard rock.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impact time is shorter ▪ Produce larger impulsive force to destroy the food.
 Hammer head is made of hard material.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impact time is shorter ▪ Produce larger impulsive force to hit the nail.
 In construction, hard ram is felled on the upright pile with high velocity.	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Impact time is shorter ▪ Produce larger impulsive force to hit the pile.

Příklad

Jak velký impuls síly uvede do pohybu o rychlosti $0,36 \text{ km.h}^{-1}$ původně nehybné těleso o hmotnosti 50 kg ?

$$v' = 0 \text{ m.s}^{-1}$$

$$v = 0,36 \text{ km.h}^{-1} = 0,1 \text{ m.s}^{-1}$$

$$m = 50 \text{ kg}$$

$$I = m \cdot v - m \cdot v' = m \cdot \Delta v = 50 \cdot 0,1 = \underline{5 \text{ N.s}}$$

Příklad

Míč o hmotnosti $0,25 \text{ kg}$ získal úderem při odbíjené rychlost 14 m.s^{-1} . Jak velká byla síla úderu trvajícího $0,01 \text{ s}$?

$$m = 0,25 \text{ kg}$$

$$\Delta v = 14 \text{ m.s}^{-1}$$

$$\Delta t = 0,01 \text{ s}$$

$$F \cdot \Delta t = m \cdot \Delta v$$

$$F = m \cdot \Delta v / \Delta t = 0,25 \cdot 14 / 0,01 = \underline{350 \text{ N}}$$

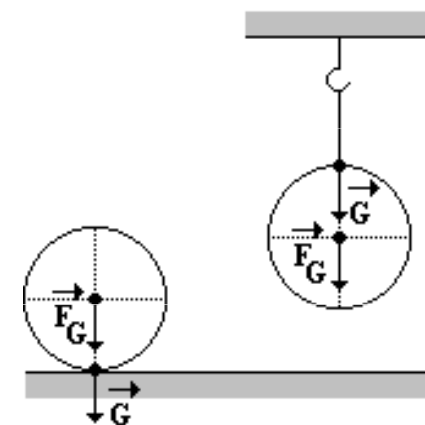
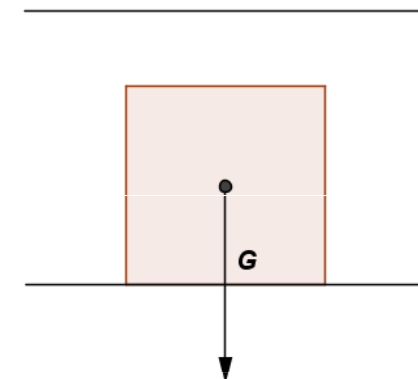
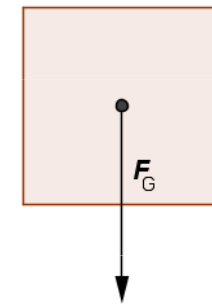
Tíha a tíhová síla

Tíhová síla (F_G) je síla, kterou Země působí na každé těleso při povrchu a uděluje mu tíhové zrychlení g .

$$F_G = mg$$

Je to vektorová veličina se svislým směrem. Důsledkem působení tíhové síly je volný pád. Protože tíhové zrychlení je na různých místech Země různé, je i velikost tíhové síly na různých místech Země jiná.

Tíha tělesa (G) je síla, kterou působí nehybné těleso na vodorovnou podložku nebo závěs. Tíha tělesa je důsledkem tíhové síly, kterou působí Země na těleso. Tíhová síla tedy vyvolává tíhu tělesa. Jestliže je těleso v klidu, má tíha i tíhová síla stejný směr i stejnou velikost a platí, že obě síly jsou stejně velké.



Příklad

Trenér asistuje svému svěřenci při zvedání nakládací činky o hmotnosti 100 kg v případě cvičení bench press. Trenér působí na nakládací činku silou 70 N a sportovec silou 920 N, oba směrem vzhůru. Podařilo se jim zvednout nakládací činku? Jakou výslednou silou bylo působeno na činku?

$$F_G = m \cdot g = 100 \cdot 9,81 = 981 \text{ N}$$

$$F = 70 \text{ N} + 920 \text{ N} + (-981 \text{ N}) = \underline{9 \text{ N}}$$

$F < F_g \Rightarrow$ Činku se podařilo zvednout.



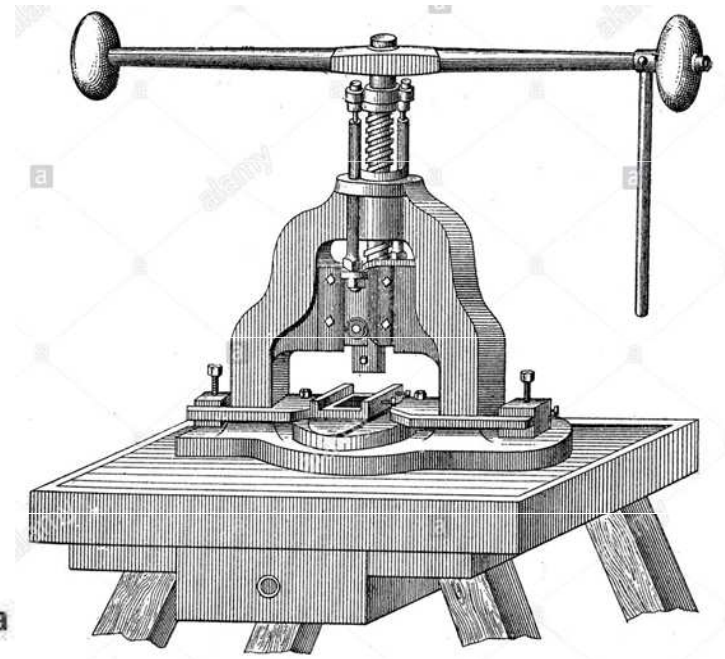
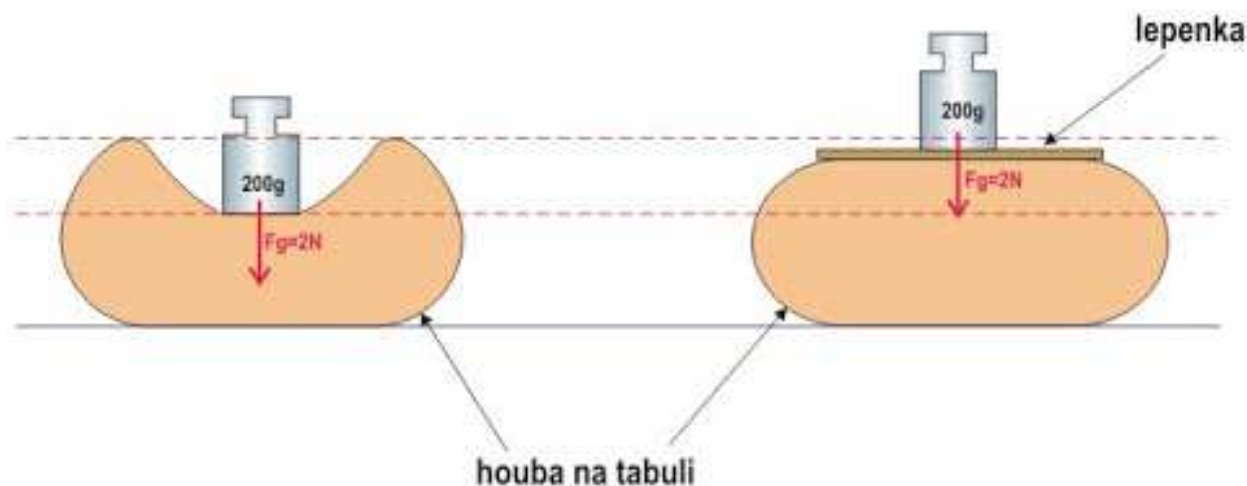
Tlak a tlaková síla

Tlaková síla je síla, působící kolmo na určitou plochu povrchu pevné látky nebo tekutiny.

$$F_{tl} = pS$$

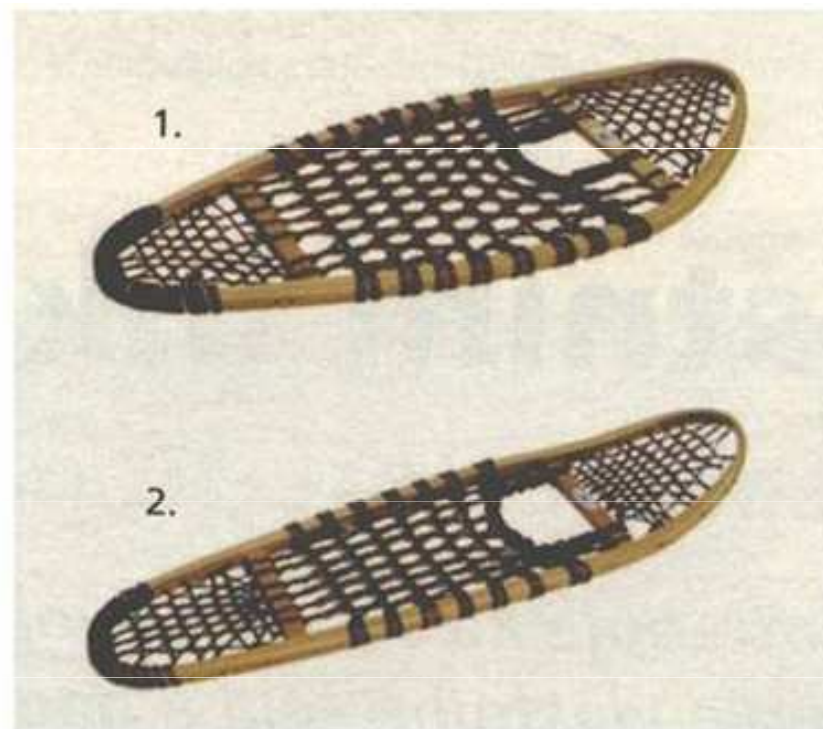
kde p je tlak a S je obsah plochy.

Tlak (p , Pa) je velikost síly, působící na jednotku plochy.



Zvětšením plochy S se zmenší hodnota tlaku p . Proto se při prolomení ledu doporučuje lehnout si na led, případně použít prkno.

Podobně lze snížit tlak i redukcí hmotnosti, což není vždy reálné.



Příklad

Cihla má rozměry 30 cm, 15 cm a 6 cm. Její hmotnost je 5,4 kg. Vypočítej tlak, který způsobuje na podložku ve všech polohách.

$$m = 5,4 \text{ kg}$$

$$a = 30 \text{ cm} = 0,3 \text{ m}$$

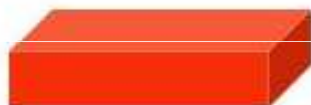
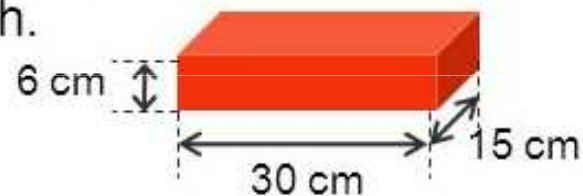
$$b = 15 \text{ cm} = 0,15 \text{ m}$$

$$c = 6 \text{ cm} = 0,06 \text{ m}$$

$$F = m \cdot g$$

$$F = 5,4 \cdot 10$$

$$F = 54 \text{ N}$$



$$S_1 = a \cdot b$$

$$p_1 = ? \text{ Pa}$$

$$p_1 = \frac{F}{S_1} = \frac{F}{a \cdot b}$$

$$p_1 = \frac{54}{0,3 \cdot 0,15}$$

$$\underline{\underline{p_1 = 1\,200 \text{ Pa} = 1,2 \text{ kPa}}}$$



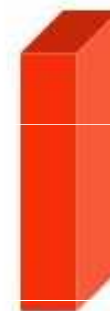
$$S_2 = a \cdot c$$

$$p_2 = ? \text{ Pa}$$

$$p_2 = \frac{F}{S_2} = \frac{F}{a \cdot c}$$

$$p_2 = \frac{54}{0,3 \cdot 0,06}$$

$$\underline{\underline{p_2 = 3\,000 \text{ Pa} = 3 \text{ kPa}}}$$



$$S_3 = b \cdot c$$

$$p_3 = ? \text{ Pa}$$

$$p_3 = \frac{F}{S_3} = \frac{F}{b \cdot c}$$

$$p_3 = \frac{54}{0,15 \cdot 0,06}$$

$$\underline{\underline{p_3 = 6\,000 \text{ Pa} = 6 \text{ kPa}}}$$

Nejmenší tlak 1,2 kPa vyvolá cihla položená na největší ploše, na další je tlak 3 kPa, na nejmenší ploše je největší tlak, tj. 6 kPa.

Příklad

Hmotnost tanku je 36 t, celková plocha jeho pásů je 4,5 m². Jaký tlak způsobuje tank na vodorovnou plochu?

$$m = 36 \text{ t} = 36000 \text{ kg} \Rightarrow F = 360000 \text{ N}$$

$$S = 4,5 \text{ m}^2$$

$$p = ?$$

$$p = F : S = 360000 : 4,5 = 80000 \text{ Pa} = \underline{80 \text{ kPa}}$$

Příklad

Jak velikou tlakovou silou musíme působit na plochu 2m², abychom vyvolali tlak 200 kPa?

$$S = 2 \text{ m}^2$$

$$p = 200 \text{ kPa} = 200\,000 \text{ Pa}$$

$$F = ?$$

$$F = p \cdot S = 200000 \cdot 2 = 400\,000 \text{ N} = \underline{400 \text{ kN}}$$

Statické a smykové (vlečné) tření

Vznikají při pohybu těles v látkovém prostředí. Působí proti směru pohybu. Jsou způsobeny nerovnostmi a deformacemi povrchu.

Síla F_v , kterou působíme na těleso, je kompenzována silou **statického tření** F_s (klidová třecí síla) až do určité hodnoty $F_{s \max}$.

F_N je **normálová síla** (kolmá tlaková síla) působící mezi tělesem a podložkou a μ_s je součinitel statického tření, bezrozměrná veličina (poměr třecí a normálové síly).

Těleso nemůže být uvedeno do pohybu, dokud je vnější vtištěná síla F_v v rovnováze se silou statického tření F_s . Je-li F_v větší než $F_{s \max}$, začne se těleso pohybovat. Pokud je tento pohyb rovnoměrný, je vtištěná síla F_v v rovnováze se silou **smykového (vlečného) tření** F_t (třecí síla za pohybu).

F_N je **normálová síla** (kolmá tlaková síla) působící mezi tělesem a podložkou a μ je součinitel smykového tření, bezrozměrná veličina (poměr třecí a normálové síly).

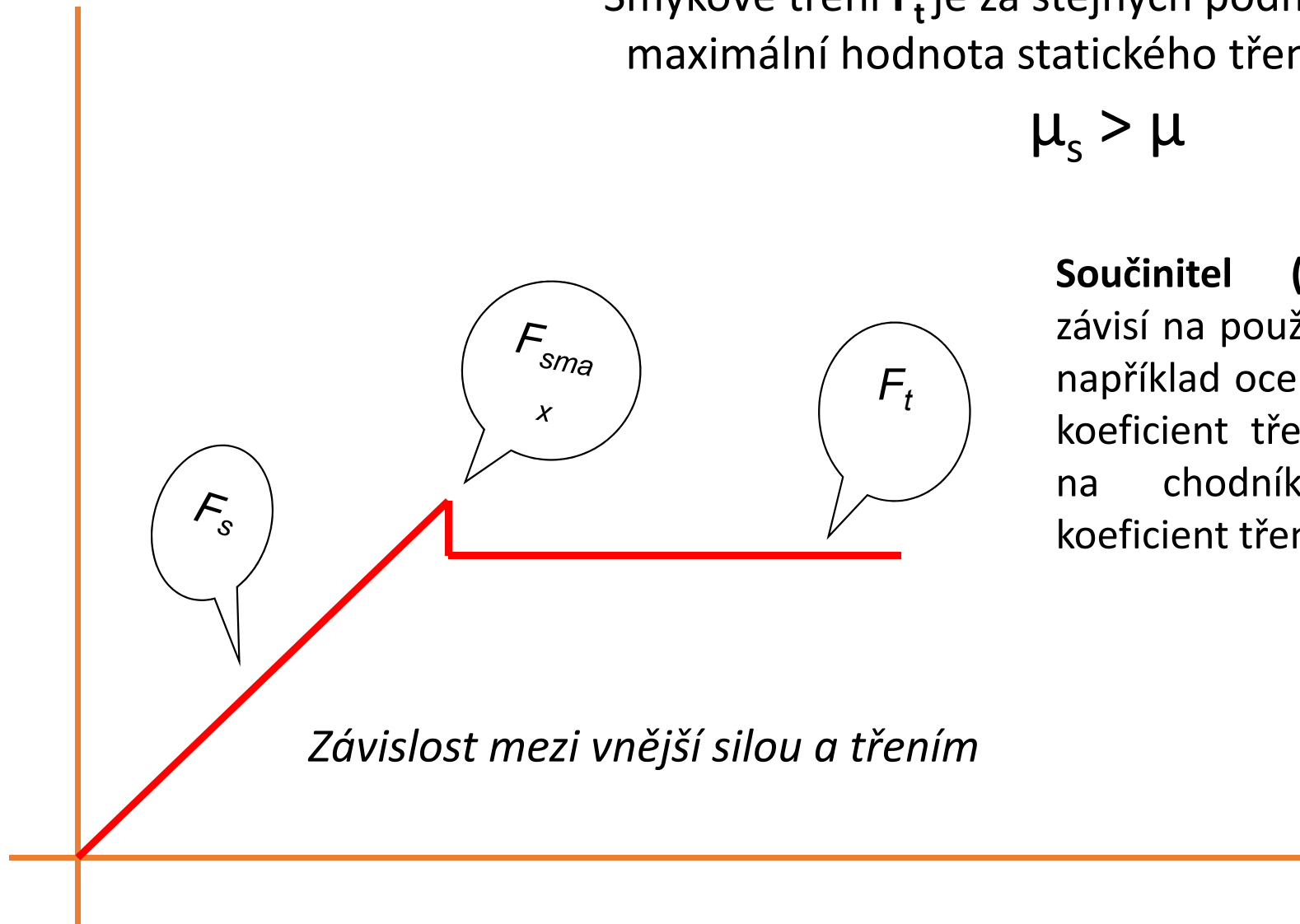


Hodnota μ závisí na relativní rychlosti těles (v rozmezí $1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ do několika $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$ je však tato závislost zanedbatelná). Hodnota μ závisí na druhu materiálu a kvalitě povrchů, ale nezávisí na mikroskopické ploše dotyku.

Smykové tření F_t je za stejných podmínek menší než maximální hodnota statického tření $F_{s \text{ max}}$. Odtud

$$\mu_s > \mu$$

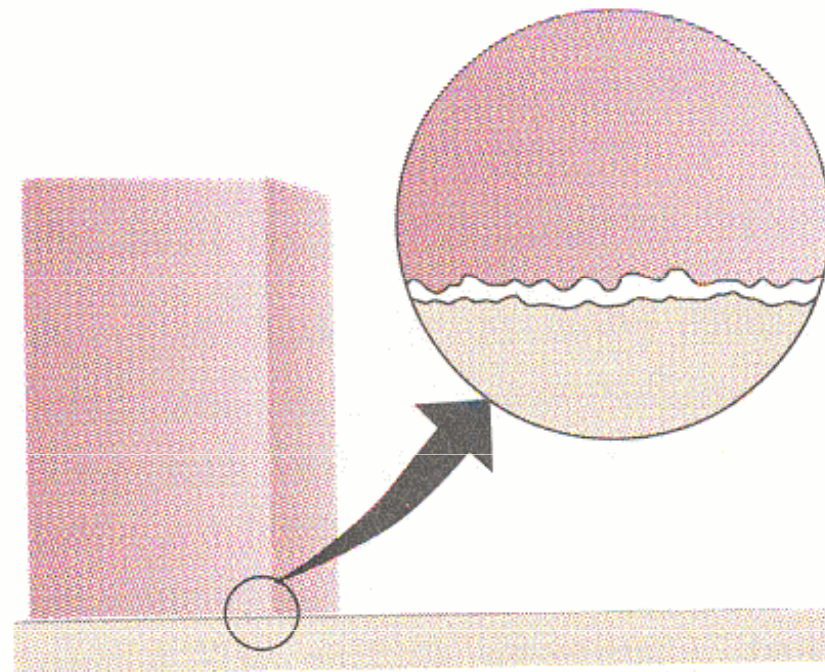
Součinitel (kluzného) tření závisí na použitých materiálech; například ocel na ledě má nízký koeficient tření, zatímco guma na chodníku má vysoký koeficient tření.



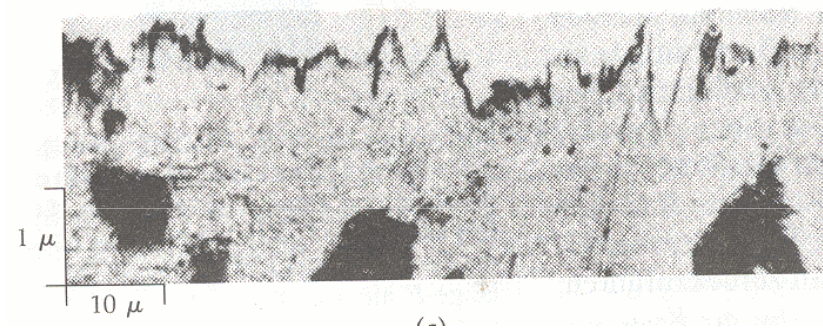
Tření vzniká vzájemným působením molekul (atomů, iontů) podložky a tělesa v místě skutečného kontaktu. Účinná plocha dotyku je značně menší než geometrická plocha vypočtená z rozměrů tělesa.

Maximální statické tření je úměrné mikroskopické dotykové ploše S_m . Ta je ovšem úměrná tlaku mezi povrchy F_N / S_m . Odtud

Tento součin je nezávislý na velikosti mikroskopického dotyku (tj. na obsahu styčných ploch) a závisí jen na tlakové síle. Proto platí vztah



Skutečný kontakt vzniká jen v místech, kde se dotýkají výstupky obou povrchů.



Mikroskopický snímek vyleštěného povrchu oceli. Nepravidelné výstupky dosahují velikosti až 10^{-5} cm.

Coulombův zákon tření

Tření za pohybu (přesněji velikost třecí síly u kinematičkého tření) není závislé na rychlosti.

Smykové tření splňující toto pravidlo (platí pouze v rozmezí $1 \text{ cm}\cdot\text{s}^{-1}$ do několika $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$). se v technické praxi nazývá také „suché“ tření. Zákon neplatí pro styk dvou těles promazaných tekutým mazivem nebo pro povrchy nedokonalé tuhosti, měnící s pohybem svou povrchovou mikrostrukturu a tím i své třecí vlastnosti.

Tření povrchu pevných těles s kapalinami nebo plyny se označuje jako **odpor prostředí**. Tření mezi částicemi či vrstvami tekutin se nazývá **vnitřním třením** (či přeneseně podle jeho projevu vazkostí či viskozitou).

Suché tření

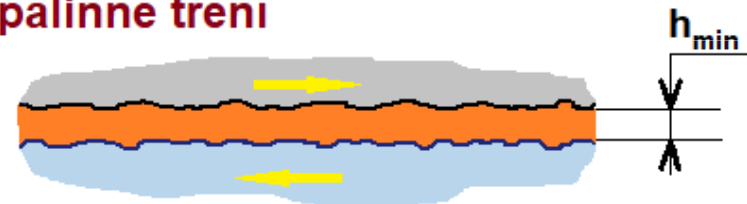


Polosuché (mezní) tření

$$h_{\min} = 0$$



Kapalinné tření



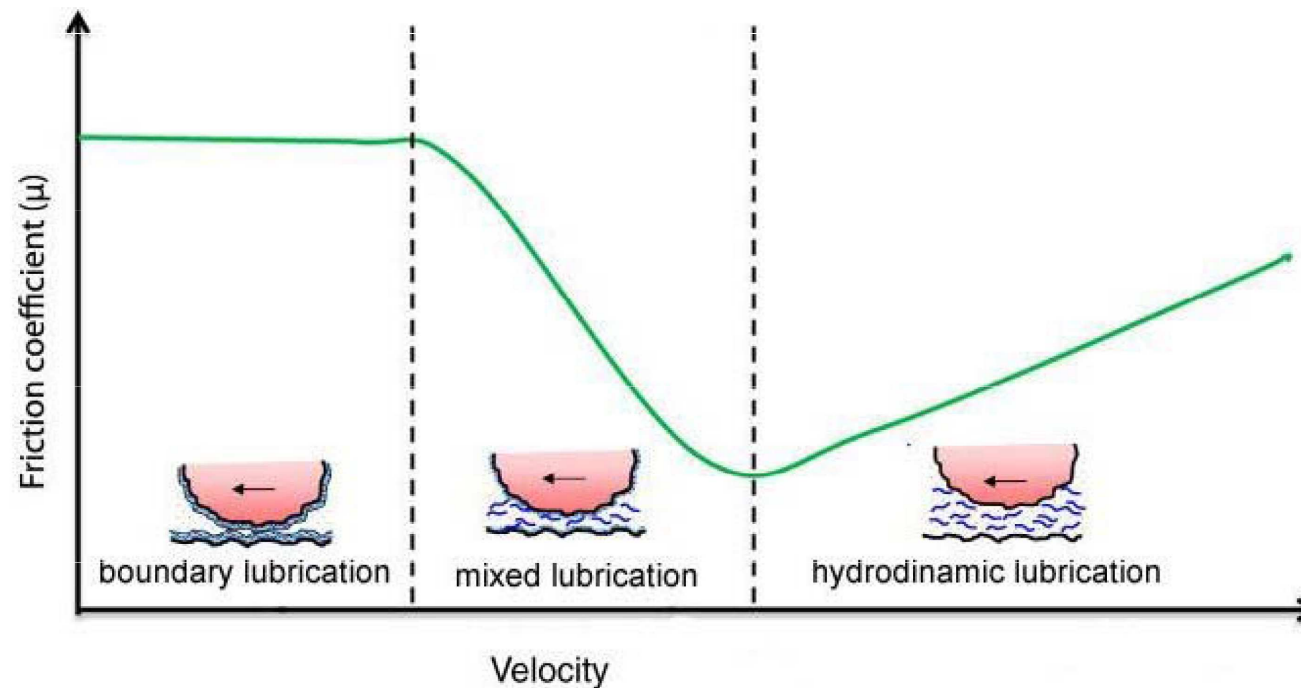
Maziva

Mazivo (lubrikant) je látka určená k omezení tření mezi dvěma povrchy.

Kapalná maziva typicky obsahují 90 % základového oleje (většinou ropné frakce) a do 10 % aditiv.

Plastická maziva (vazelína)

Prášková maziva (suchý grafit, PTFE, disulfid molybdenu, disulfid wolframu apod.)

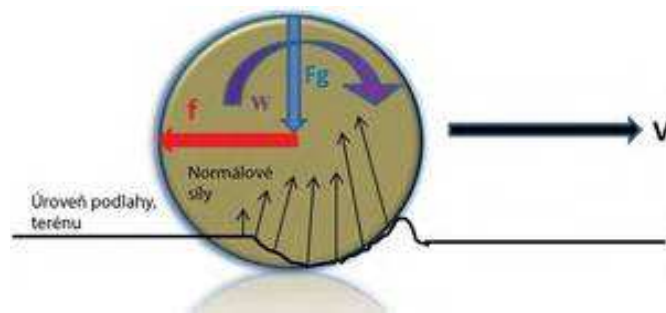


Valivý odpor (valivé tření)

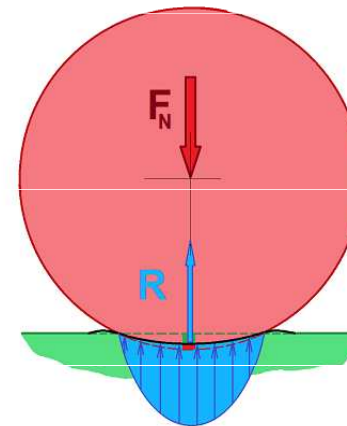
Valivý odpor (nepřesně valivé tření, neboť se stýkající se povrchy navzájem netřou) je odpor, který působí na těleso kruhového průřezu při jeho valivém pohybu po podložce.

$$F_v = \xi \frac{F_N}{R}$$

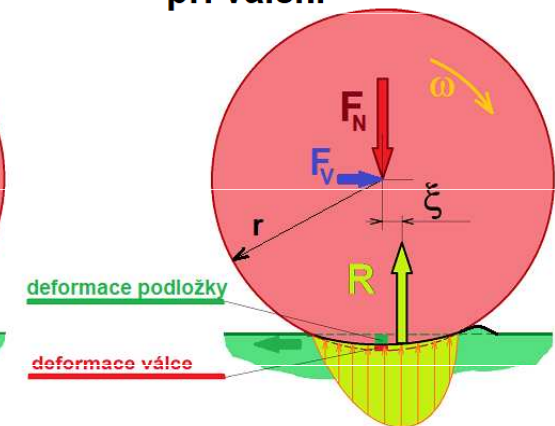
ξ je součinitel valivého odporu [m].



v klidu



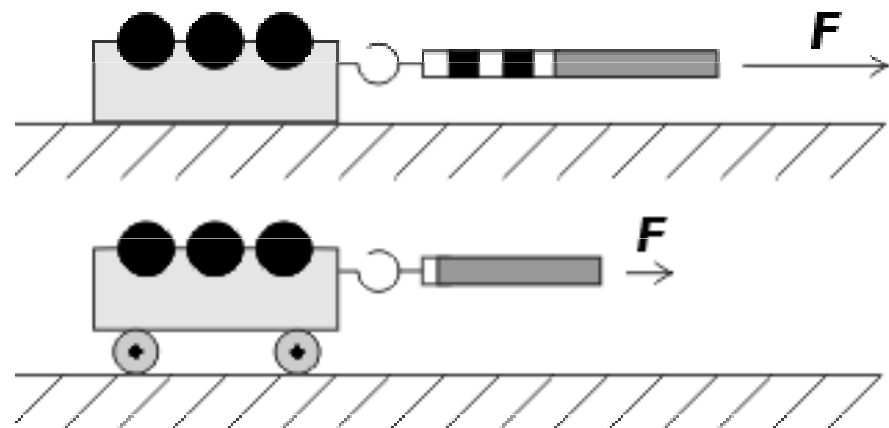
při valení



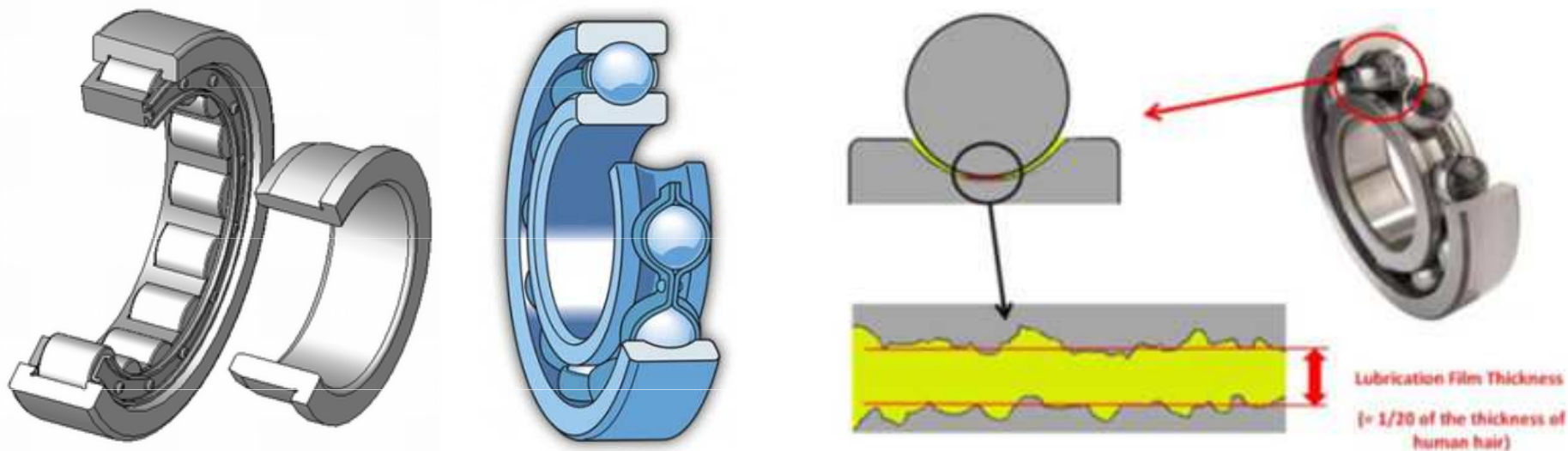
Velikost koeficientu ξ pro valení pneumatiky auta po betonu je 0,01 až 0,02 m. Při valení kola vagonu po koleji je 0,001 až 0,002 m.

Valivý odpor vzniká při deformaci pneumatiky a vozovky. Pokud je vozovka tuhá, dochází pouze k deformaci pneumatiky. Nejmenší valivé odpory mají logicky kolejová vozidla, naopak největší mají např. terénní vozidla a pouštní speciály. Pneumatika se stýká s vozovkou v ploše zvané stopa pneumatiky.

Za stejných podmínek je valivý odpor mnohem menší než třecí síla při smykovém tření.

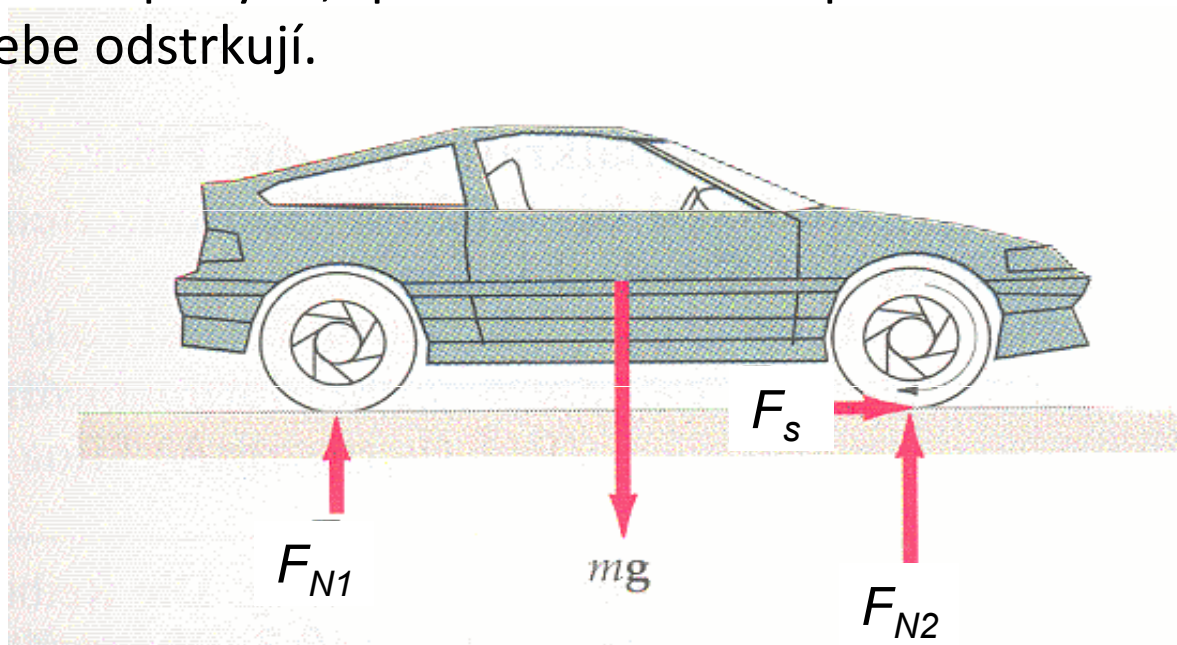


Toho se využívá u válečkových nebo kuličkových ložisek, používaných ke snížení tření.



Tření a jízda automobilu

Stojí-li auto na dokonale hladké ploše, mezi jeho pneumatikami a plochou není tření. V tomto případě by se kola auta sice točila, ale auto by nejelo vpřed. Aby auto získalo potřebné zrychlení, musí působit vnější síla. Aby se automobil dal po vodorovné silnici do pohybu, působí motorem poháněná kola na vozovku, v podstatě ji od sebe odstrkují.



Tíhová síla $m.g$ se rozloží na dvě paralelní složky F_{N1} a F_{N2} . Tyto složky vyvolají statické tření (pokud pneumatiky neprokluzují). Pneumatika působí na silnici vtištěnou silou $-F_v$ a podle předchozího výkladu pokud není překročena hodnota $F_{s \max}$, je síla statického tření rovna vtištěné síle. Síla tření F_s působí na pneumatiku podle principu akce a reakce. Tato síla působí zrychlení auta.

Rozjíždění auta. Pneumatiky auta působí na vozovku silou směřující proti směru pohybu, proto podle zákona akce a reakce musí vozovka působit stejně velkou silou na kola, ale opačného směru. Tření mezi vozovkou a pneumatikami je zde **silou hnací**. Toto platí při rozjíždění nebo jízdě stálou rychlostí. Pokud řidič stlačí plynový pedál silně, překročí vtištěná síla horní hranici statického tření, pneumatiky začnou prokluzovat, protože se **statické tření** změní na **smykové**, které je ovšem za stejných podmínek menší. Pro rychlý rozjezd auta je proto třeba volit jen takový výkon motoru, aby prokluzování nenastalo. Při zrychlování auta bez prokluzování pneumatik zůstává plocha dotyku pneumatiky a silnice v klidu. Jde tedy o **statické tření**. Při prokluzování pneumatik jde o tření smykové. Při statickém tření můžeme pro zrychlení auta psát $a = F_s/m$.

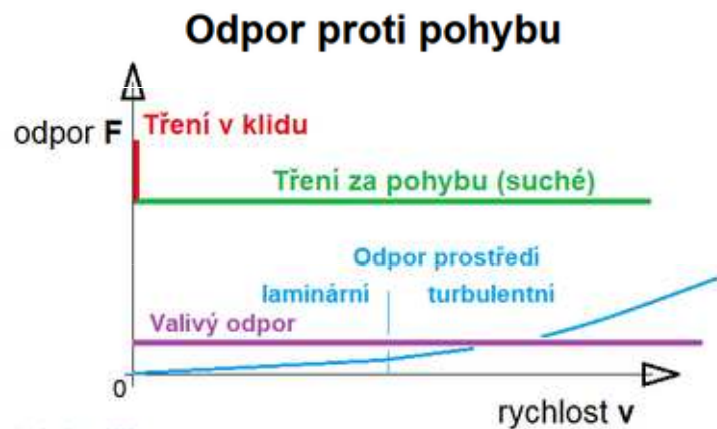
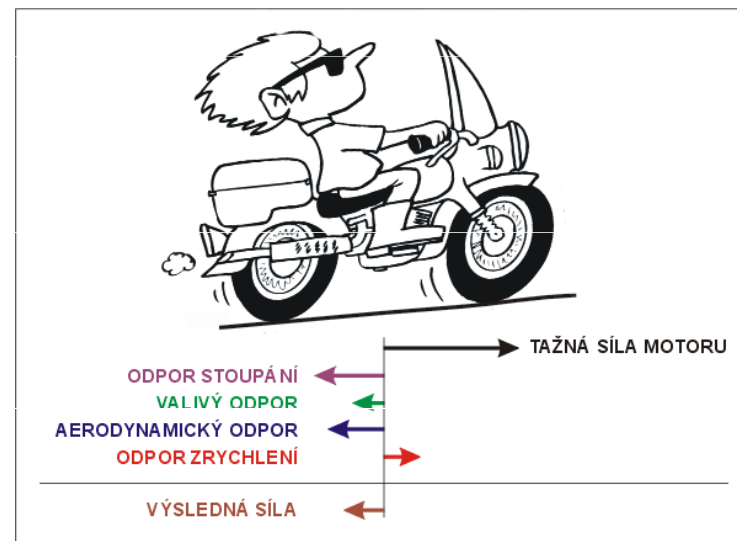
Brzdění auta. Je-li brzdící síla menší než maximální hodnota statického tření, je auto brzděno silou **statického tření**. Když však se brzdy zablokují a pneumatiky po silnici kloužou, jde o **tření smykové**, které je menší. Zablokování brzd tedy vede k prodloužení brzdné dráhy.

Auto jede po silnici stálou rychlostí. V tomto případě se pneumatiky odvalují po silnici a jde tedy o **tření valivé**, které je značně menší než tření smykové. Za této situace je značná část výkonu motoru (při jízdě po vodorovné silnici) spotřebována na překonání odporu vzduchu.

Pneumatika se při jízdě do jisté míry deformuje a tato deformace způsobuje odpor vůči valivému pohybu. Rovná plocha se může také deformovat, zvláště pokud je relativně měkká - např. písek: jízda po zpevněné vozovce je mnohem snadnější než po písečné pláži.

Valivý odpor měří ztrátu energie, když se předmět valí na určitou vzdálenost. Energie se rozptyluje:

- v důsledku tření na kontaktním rozhraní;
- v důsledku pružných vlastností materiálu;
- v důsledku nerovnosti valivého povrchu.

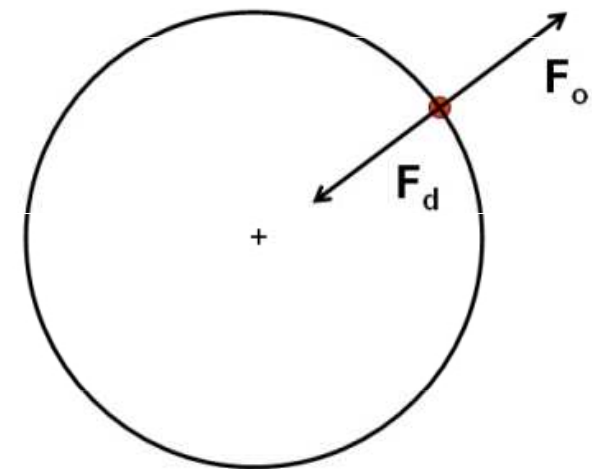


Dostředivá síla

Dostředivá (centripetální) **síla** je síla, která má směr do středu křivosti trajektorie tělesa při křivočarém pohybu (při pohybu po kružnici do středu kružnice). Má směr normály k trajektorii v daném místě, je tedy kolmá na vektor rychlosti (má stejný směr jako dostředivé zrychlení \mathbf{a}_d). Dostředivá síla způsobuje změnu směru vektoru rychlosti (dostředivé zrychlení), a tím zakřivení trajektorie, velikost vektoru rychlosti však nemění. Pro její velikost platí:

Protože směřuje do středu kružnice, udržuje hmotný bod na kruhové dráze.

Dostředivá síla existuje z pohledu pozorovatele v inerciálních vztažných soustavách.



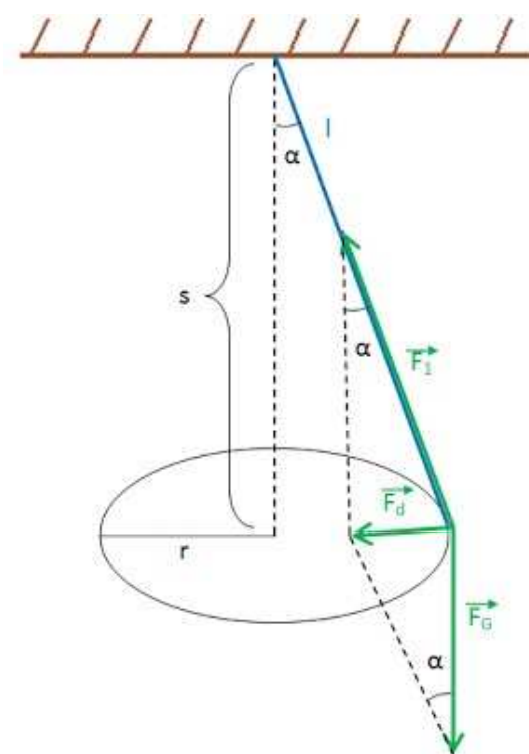
$$F_d = m \cdot a_d \quad a_d = \omega^2 r = v^2/r \quad \omega = 2\pi f$$

$$F_d = m\omega^2 r \quad \text{nebo} \quad F_d = mv^2/r$$

$$F_d = F_o$$

Dostředivá síla může mít původ v libovolném vzájemném silovém působení dvou těles. Může být realizována např. tahovou silou, gravitační silou (družice při pohybu kolem Země, planety při pohybu kolem Slunce), magnetickou (vychylování elektronů) apod.

Působí-li na hmotný bod při rovnoměrném pohybu po kružnici několik sil, je dostředivá síla jejich výslednice. Např. dostředivá síla F_d působící na sedačku řetízkového kolotoče je při otáčení kolotoče výslednicí tíhové síly F_g a tahové síly F_t řetězu.



Přestane-li dostředivá síla na těleso působit, pohybuje se těleso dále ve směru tečny ke kružnici. Proto jiskry, které odlétají od brusného kotouče při broušení kovů, mají směr tečen k brusnému kotouči v těch bodech, z nichž odlétají.

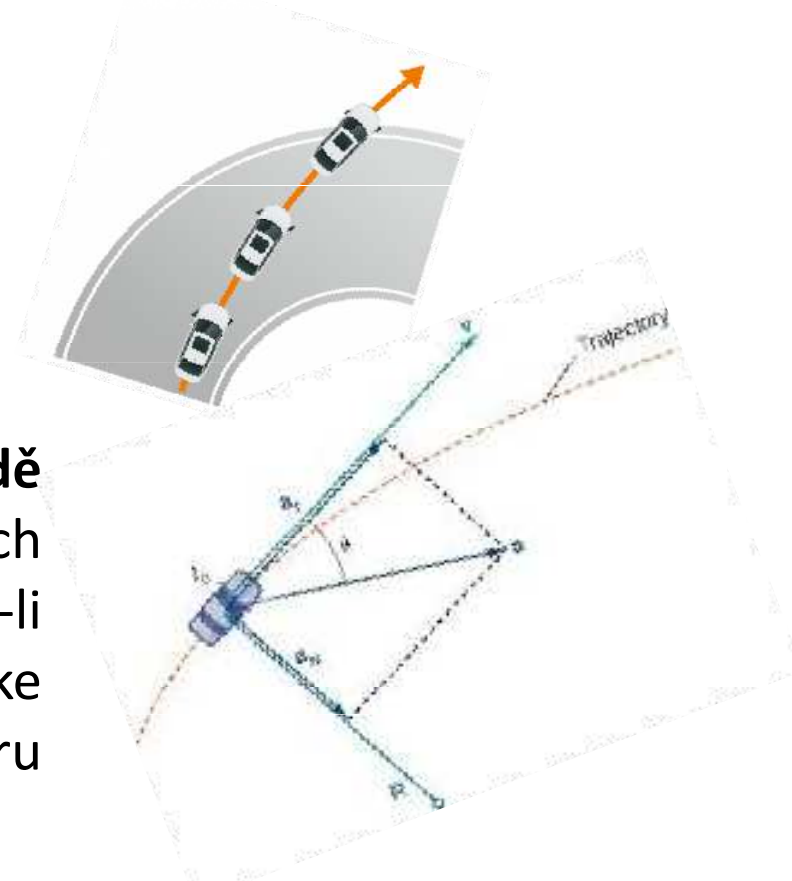
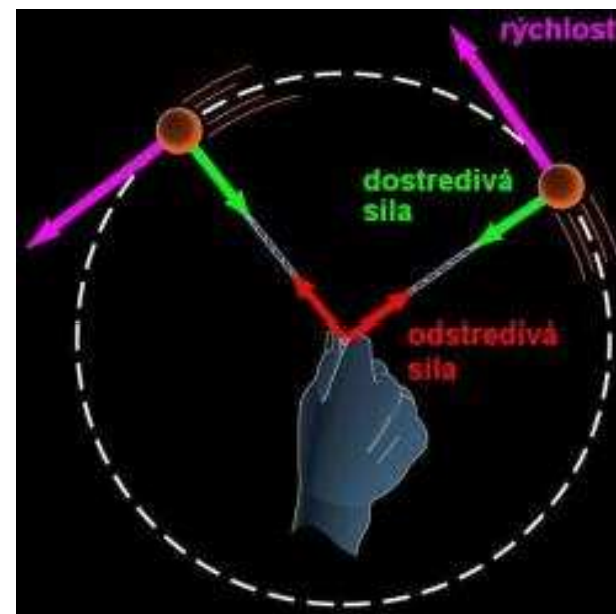


Roztočením **kuličky upevněné na niti** je dostředivá síla vyvolána silou ruky. Při rovnoměrném pohybu po kružnici působí ruka na kuličku prostřednictvím napjatého vlákna dostředivou silou. Zanikne-li dostředivá síla např. přetržením vlákna, kulička se od tohoto místa dále pohybuje ve směru rychlosti v , kterou měla v okamžiku zániku síly.



Hod kladivem

Působení dostředivé síly se uplatňuje také **při jízdě vozidla v zatáčce**. Dostředivou silou působí povrch vozovky na pneumatiky vozidla. Zanikne-li nedostatečným třením dostředivá síla, dochází ke smyku vozidla, které se pak dále pohybuje ve směru tečny k původní trajektorii vozidla.



Neinerciální vztažné soustavy

Neinerciální vztažná soustava je soustava, která se vzhledem k inerciální vztažné soustavě pohybuje jinak než rovnoměrným přímočarým pohybem. V neinerciální vztažné soustavě izolované těleso nezůstává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.

Pozorovatel, nacházející se v neinerciální vztažné soustavě, která se pohybuje se zrychlením \mathbf{a} , pozoruje pohyb izolovaného tělesa se zrychlením $-\mathbf{a}$. Tento pohyb vysvětluje existenci tzv. **setrvačné síly** působící na těleso o hmotnosti m :

$$\mathbf{F} = m \cdot \mathbf{a}.$$

Zrychlení, které udílí setrvačná síla tělesům, je pro všechna tělesa stejně velké (nezávisí na jejich hmotnosti).

Setrvačná síla je „zdánlivá“ (nepravá) síla způsobující změnu pohybového stavu (změnu rychlosti) těles v neinerciálních vztažných soustavách. Přitom je to síla, která v této soustavě nemá svůj původ, pouze účinek. Setrvačná síla se označuje jako „zdánlivá“ (nepravá), protože se ve skutečnosti nejedná o sílu, mající původ ve vzájemném působení (interakci) těles. Newtonovy pohybové zákony platí jen pro inerciální vztažné soustavy (z definice) a proto pokud je chceme použít k výpočtu v soustavě neinerciální, musíme je upravit, a to právě přidáním setrvačné síly.

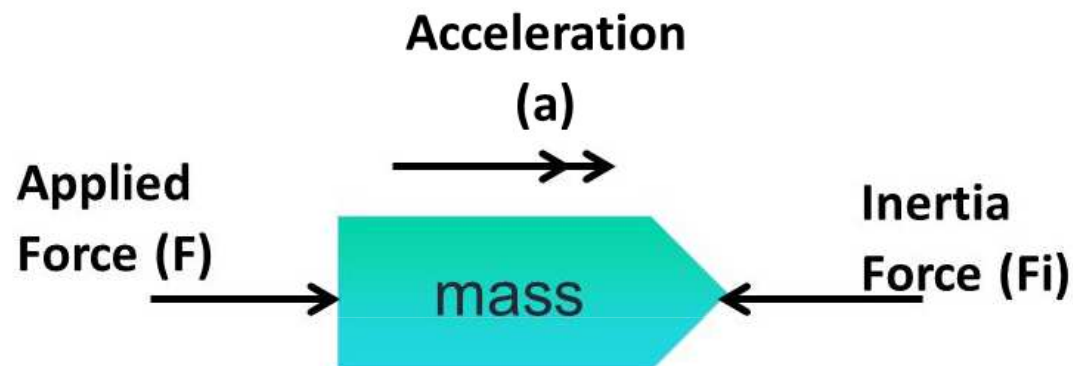
d'Alembertův princip

Součet aktivních (vnějších) sil (F_{akt}) a setrvačných sil (F_s) působících na těleso v neinerciálních soustavách je nulový (= aktivní síly jsou ve vzájemné rovnováze se setrvačnými silami):

$$F_{\text{akt}} + F_s = 0$$

$$F_{\text{akt}} = -F_s$$

To umožňuje převést dynamický problém na řešení statické rovnováhy.



$$F + F_i = 0 \quad \text{so } F = -F_i$$

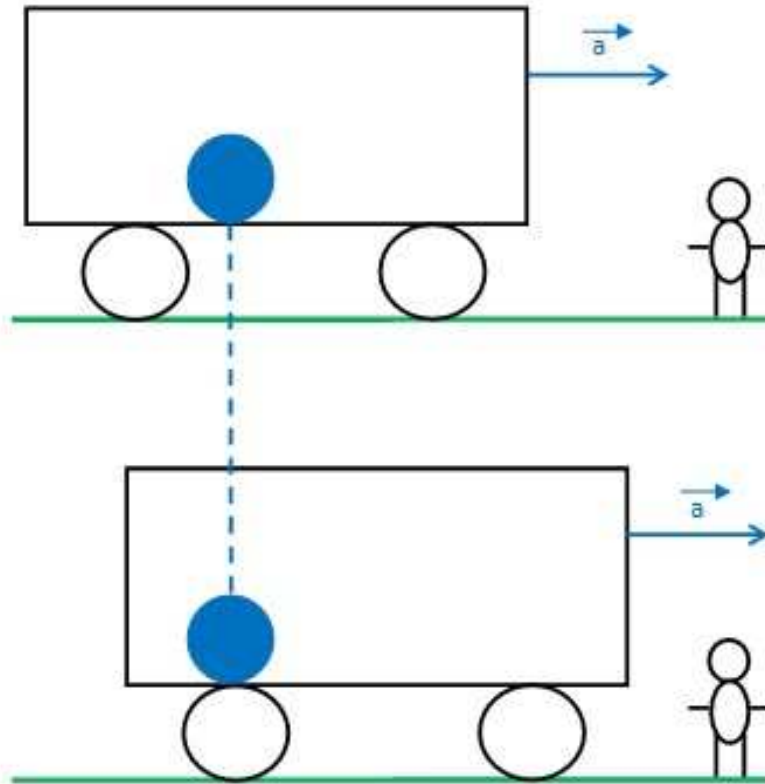
$$F = ma$$

$$\text{so } ma = -F_i$$

$$\text{or } F_i = -ma$$

Setrvačná síla

POHYB KULIČKY VZHLEDEM K POZOROVATELI NA NÁSTUPIŠTI (V IVS)

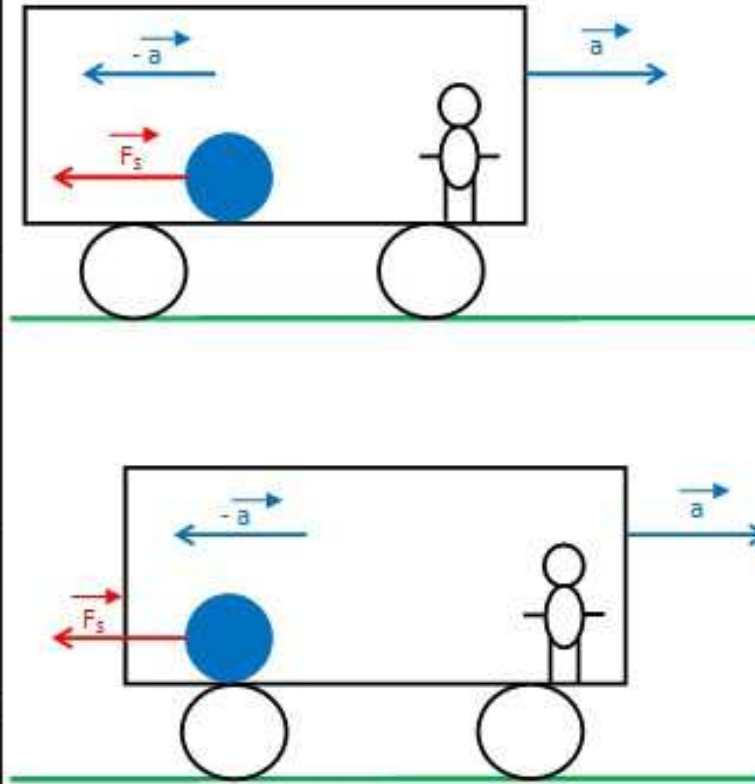


→ kulička vzhledem k IVS (spojená se zemským povrchem) je v klidu

→ zadní stěna vagónu se přibližuje ke kuličce

→ na kuličku nepůsobí žádná síla

POHYB KULIČKY VZHLEDEM K POZOROVATELI VE VAGÓNU (V NIVS)



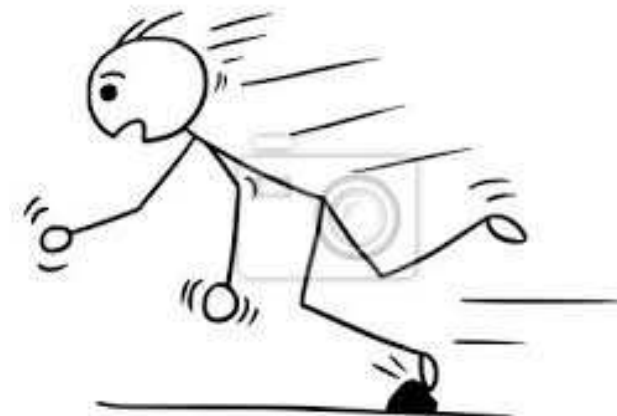
→ kulička se dala do zrychleného pohybu směrem k zadní stěně vozu se zrychlením $-a$

→ v NIVS na kuličku začala působit síla (F_s)

$$F_s = -m \cdot a$$

F_s ... SETRVAČNÁ SÍLA
 m ... hmotnost kuličky

Setrvačná síla



a

a) tramvaj brzdí



b

b) tramvaj se rozjíždí



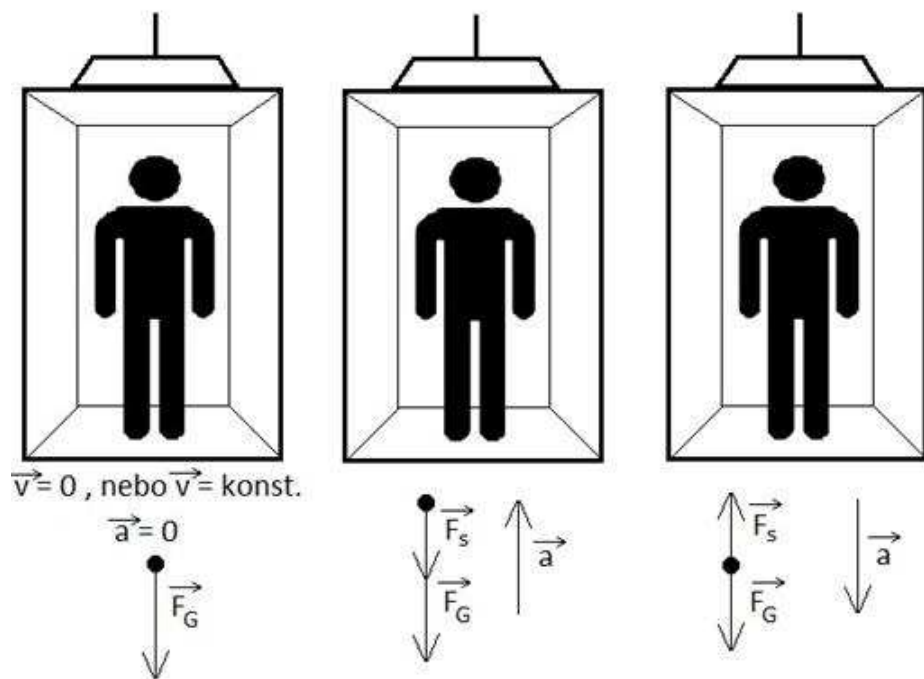
Bezpečnostní pásy

Airbagy

Dětské sedačky

Setrvačnost v gravitačním poli

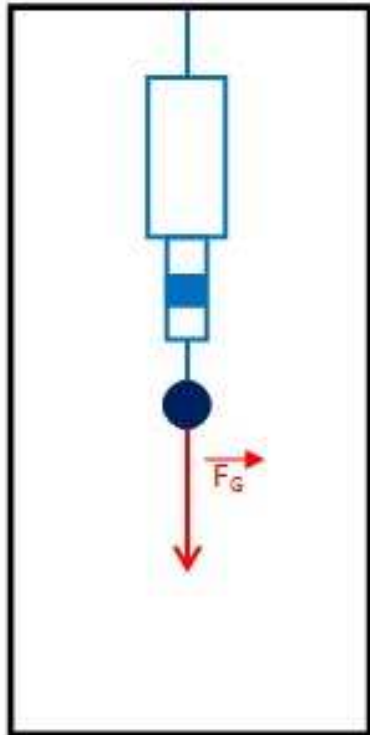
Při pohybu kabiny směrem vzhůru uděluje setrvačná síla tělesu zrychlení směrem dolů a na těleso působí výsledná síla rovná součtu obou sil. V kabině dochází k přetížení tělesa. Při pohybu kabiny směrem dolů uděluje setrvačná síla tělesu zrychlení směrem vzhůru a těleso působí silou rovnou rozdílu sil. V případě, že by se kabina pohybovala volným pádem, pak by na těleso působila nulová výsledná síla a těleso by bylo v beztížném stavu.



Ke značnému přetížení těles dochází např. v kabině kosmických lodí při jejich startu a letu do kosmického prostoru.

A

kabina v klidu nebo
pohybu rovnoměrném
přímočarém



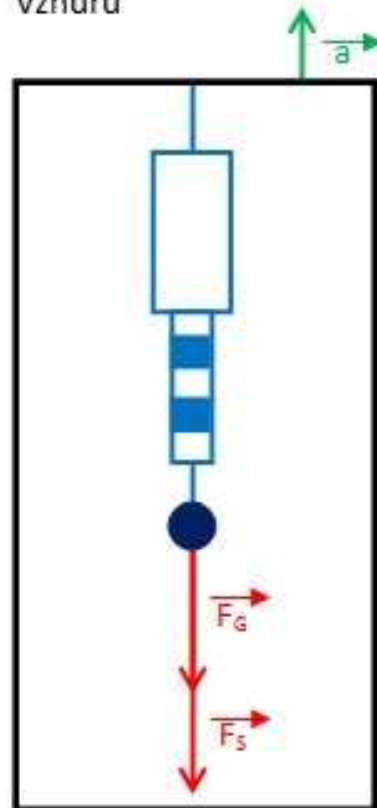
velikost výsledné síly:

$$|F| = |F_G|$$

$$F = mg$$

B

kabina se pohybuje se
zrychlením a směrem
vzhůru



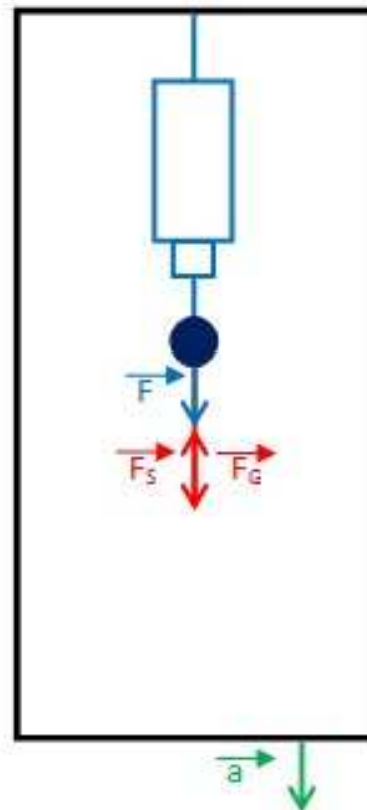
$$|F| = |F_G| + |F_s|$$

$$F = mg + \underline{ma}$$

(člověk pociťuje
zvětšení tíhy)

C

kabina se pohybuje se
zrychlením a směrem
dolů



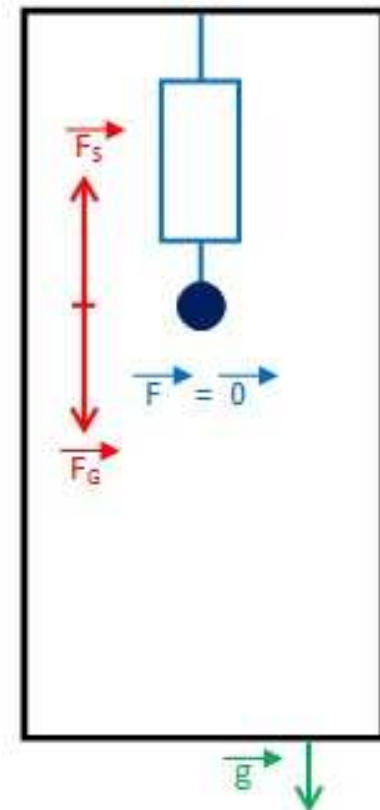
$$|F| = |F_G| - |F_s|$$

$$F = mg - \underline{ma}$$

(člověk pociťuje
zmenšení tíhy)

D

kabina se pohybuje
volným pádem

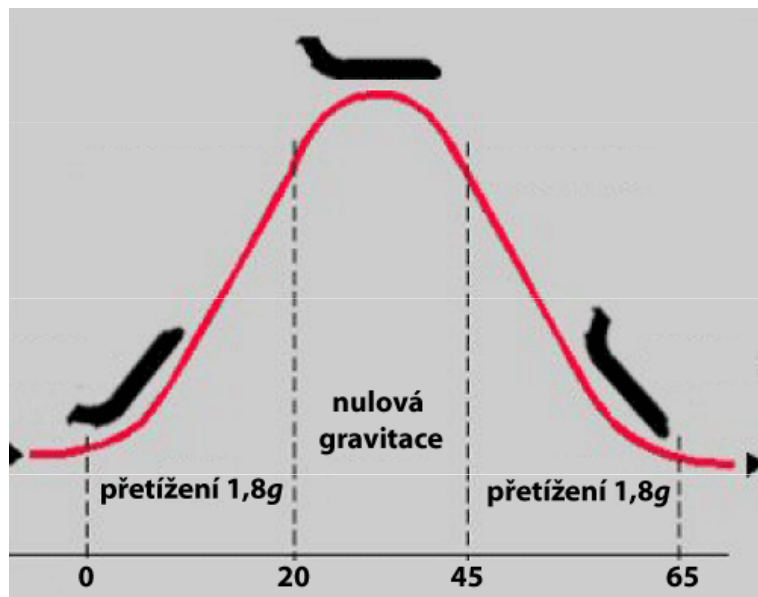


$$|F| = 0$$

BEZTÍŽNÝ STAV

Simulace beztížného stavu

Beztížný stav můžeme nasimulovat na pár sekund pomocí speciálně upraveného letadla při parabolickém letu. Ten probíhá tak, že letadlo zvedne přední část a stoupá pod úhlem 47° , při této fázi letí letadlo po přímce a pasažéři pociťují téměř dvojnásobné přetížení ($1,8g$). Pak letadlo zamíří na parabolickou trajektorii, kde jsou všechny síly kompenzovány (tah motoru kompenzuje odpor vzduchu, vztlak křídel je kompenzován záporným úhlem náklonu křídel) a na letadlo působí jen gravitační síla – letadlo padá volným pádem pod úhlem 42° . Vše je ve stavu beztíže po dobu 22 s. Po dobu dalších 25 s pasažéři opět pociťují dvojnásobné přetížení. Tato doba je nutná k dosažení běžných letových parametrů.



Odstředivá (centrifugální) síla

Odstředivá síla je síla působící na těleso, resp. hmotný bod, směrem od středu křivosti trajektorie. Existují dva odlišné typy sil, které mají odstředivý směr:

1. **reakce na dostředivou sílu v inerciální vztažné soustavě** (= síla skutečná).
2. **setrvačná odstředivá síla** v otáčející se neinerciální vztažné soustavě, má charakter zdánlivé síly, a proto k ní neexistuje žádná reakce.

Zaměňování těchto dvou druhů sil je nesprávné a často zavádějící, ale běžné.

Reakce na dostředivou sílu

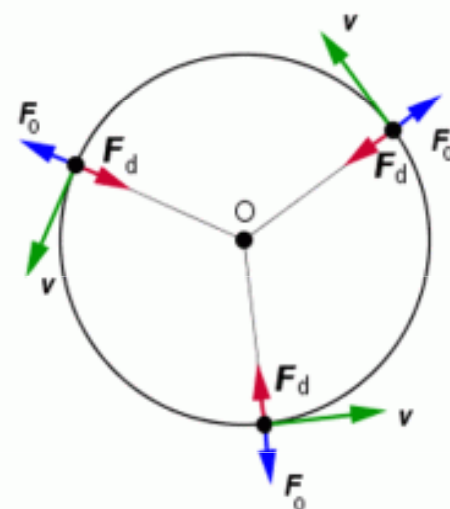
Těleso A, které se v inerciální vztažné soustavě pohybuje po zakřivené trajektorii, má dostředivé zrychlení. Podle druhého Newtonova zákona (zákon síly) musí být toto zrychlení způsobeno silou, kterou nějaké jiné těleso B působí na těleso A. Tato síla má stejný směr jako zrychlení, to znamená do středu, a proto se nazývá dostředivou silou. Podle třetího Newtonova zákona (zákon akce a reakce) musí také těleso A působit stejně velkou silou na těleso B, ale opačným směrem. To znamená, že tato reakce má směr od středu otáčení a lze ji označovat jako odstředivou sílu.

Aby železniční vůz projel levou zatáčkou a nepokračoval v pohybu přímým směrem (zákon setrvačnosti), musí na něj působit **dostředivá síla** směrem doleva. Na železnici tuto dostředivou sílu zajišťuje kolej a můžeme ji nazvat akcí. Zároveň s ní vzniká reakce, takže vůz působí na kolej stejně velkou silou, ale směrem doprava. Kdyby nebyla kolej dobře uložena, tato síla by s ní pohnula (což se občas i stane, zejména při spolupůsobení pnutí v extrémních vedrech). Míří směrem od středu oblouku, takže jí můžeme říkat **odstředivá síla**. Je to síla skutečná, ale působí na kolej, nikoli na jedoucí vůz. Nemá tedy význam sčítat ji se silami působícími na vůz. Situaci jsme popsali v inerciální vztažné soustavě spjaté se Zemí. V této soustavě není žádná odstředivá síla, která by působila na vůz.

Velikost odstředivé F_o působící na kolej je stejná jako velikost dostředivé síly F_d , kterou působí kolej na vůz.

$$F_o = F_d = ma_d = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r,$$

kde m je hmotnost vozu, v je okamžitá rychlost jízdy, $a = v^2/r$ je dostředivé zrychlení, r je poloměr křivosti oblouku a $\omega = v/r$ je úhlová rychlost.



Setrvačná odstředivá síla

Setrvačná odstředivá síla se zavádí v neinerciálních vztažných soustavách, kde mají předměty setrvačné zrychlení, které není způsobeno žádnými skutečnými silami, ale vlastním pohybem soustavy.

Ve vztažné soustavě spjaté s vozem také působí kolej na vůz skutečnou dostředivou silou, jenže vůz se nepohybuje. To můžeme přisoudit působení stejně velké síly opačného směru. Má směr od středu oblouku, jde tedy o odstředivou sílu. Na rozdíl od výše popsané síly působící na kolej, tato síla musí působit na vůz, aby se nepohyboval. Její velikost musí být právě taková, aby kompenzovala dostředivou sílu, to znamená

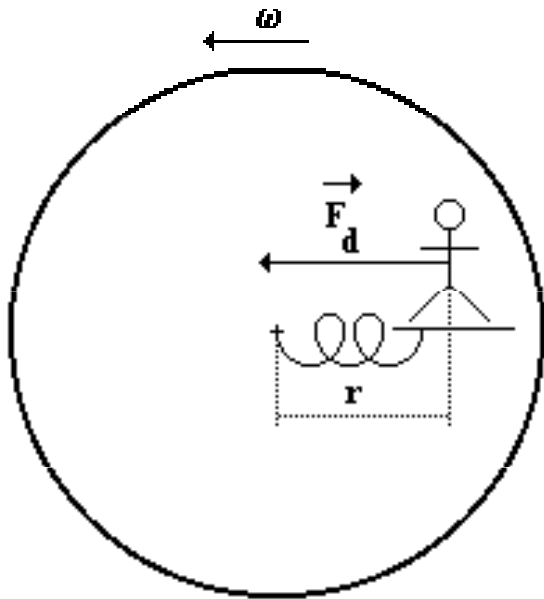
$$F_s = F_d = ma_d = \frac{mv^2}{r} = m\omega^2 r.$$

Setrvačné odstředivé zrychlení vozu je stejně velké jako dostředivé zrychlení:

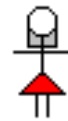
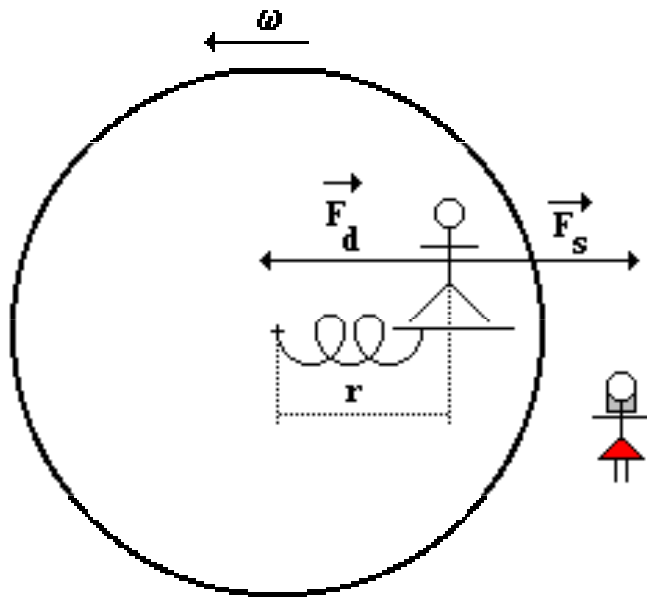
$$a_o = F_s/m = a_d$$

Proto v této soustavě setrvává vůz v klidu. **Setrvačná odstředivá síla** je úměrná hmotnosti předmětu, na který působí, takže pro každý předmět ve voze má jinou velikost. Naopak velikost odstředivého zrychlení a_o je pro všechny předměty v této soustavě společná.

Setrvačná odstředivá síla



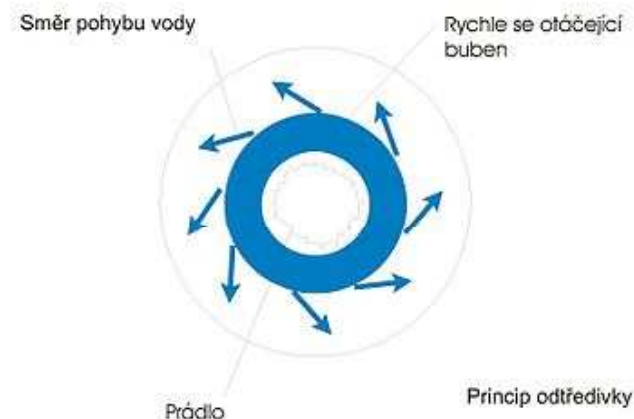
Z hlediska osoby stojící na zemi působí na osobu na sedačce **dostředivá síla** (pohybuje se po kružnici) o velikosti.



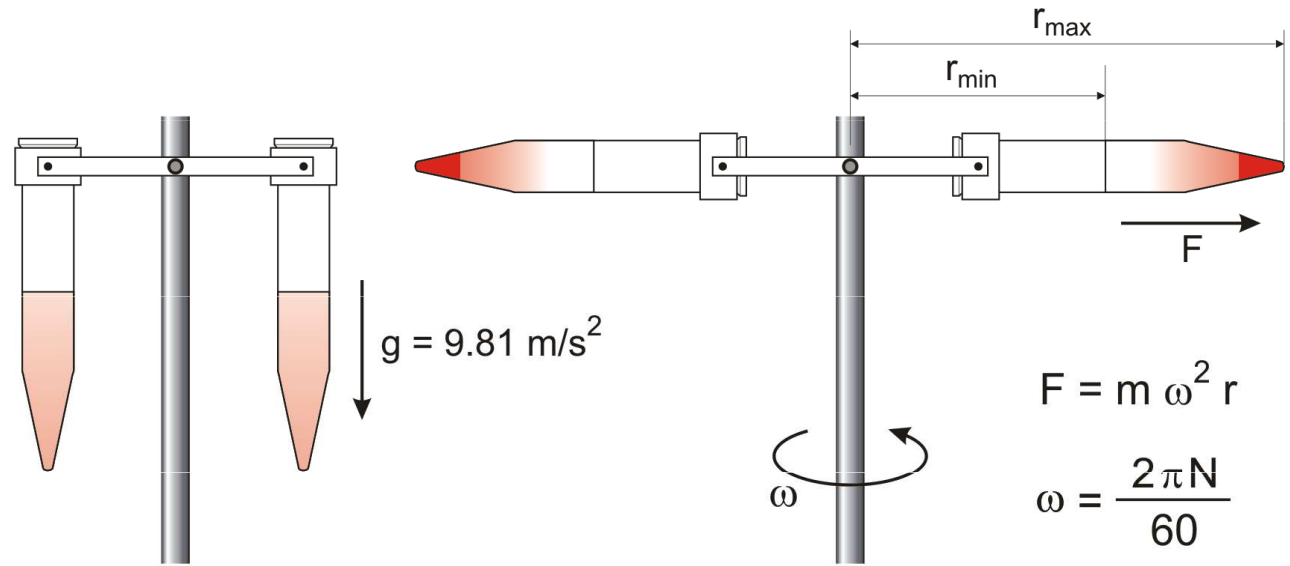
Osoba sedící na sedačce je vzhledem ke kolotoči (neinerciální vztažná soustava) v klidu. Přitom se ale pohybuje po kružnici - tedy působí na něj síla dostředivá. Má-li být osoba sedící na sedačce v klidu, musí být výslednice sil působících na sedačku nulová. Proto na sedačku působí ještě síla, která má stejnou velikost jako síla dostředivá, ale opačný směr a přitom nemá svůj původ v silovém působení ostatních těles. Jedná se o **setrvačnou odstředivou sílu**.

Ždímačka

Ždímačka slouží k odstranění přebytečné vody z právě vypraného prádla. Většina automatických praček v sobě ždímačku integruje. Z pohledu neinerciální vztažné soustavy se buben ždímačky otáčí v otáčející se vztažné soustavě, kde vzniká odstředivá síla F_o , která má směr od středu křivosti. Prádlo v bubnu pračky se pohybuje ve směru rotace bubnu. Čím rychleji se buben pohybuje, tím je větší odstředivá síla a prádlo se více přibližuje ke stěně bubnu. Na kapalinu působí odstředivá síla, což způsobuje, že kapalina pokračuje ve své trajektorii, která je přímočará. Stěna bubnu má otvory, kterými kapalina uniká, takto se prádlo zbavuje vody a je částečně sušeno. Směr pohybu vody po opuštění bubnu je ve směru odstředivé síly, a její výsledná dráha je přímočará.



Odstředivka

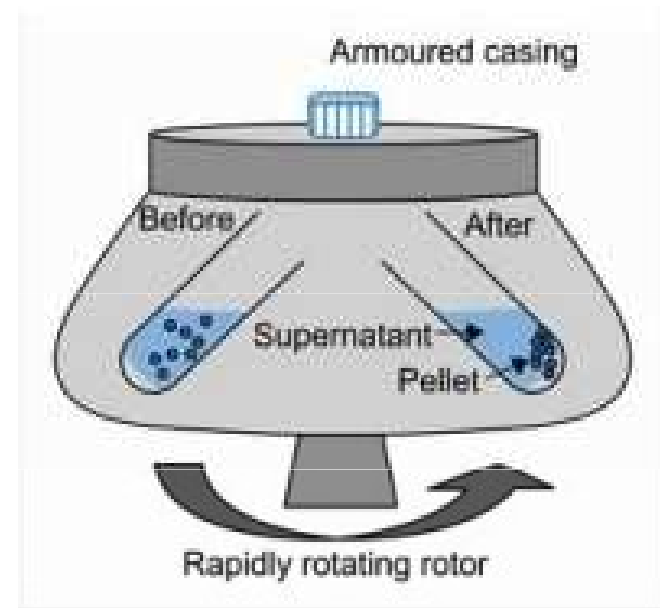
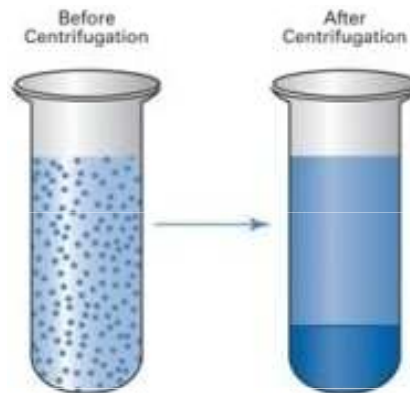


m = mass of particle

r = distance of particle from axis of rotation

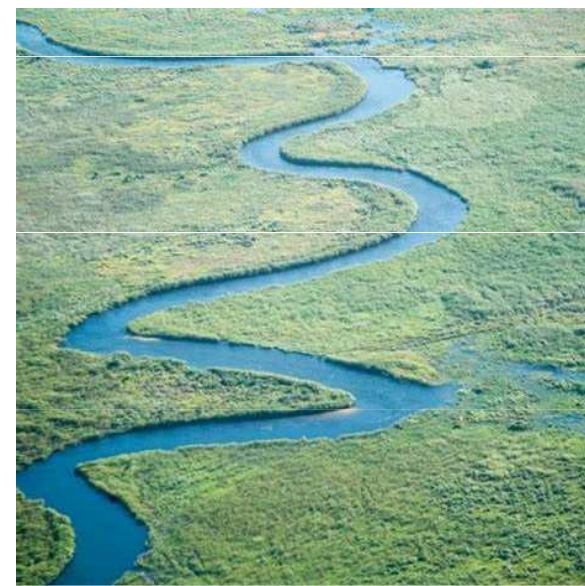
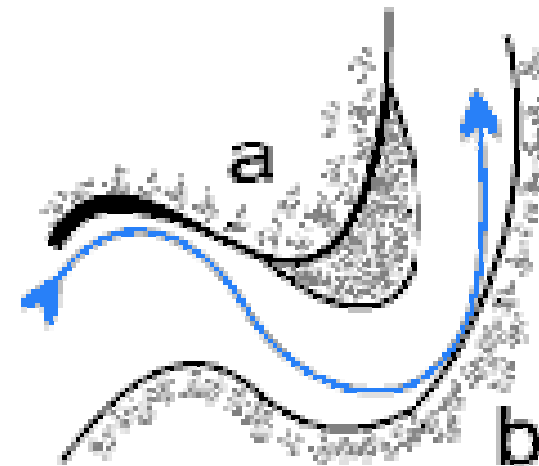
ω = average angular velocity (rad/s)

N = revolution per minute, r.p.m.



Meandry vodních toků

Meandr je zákrut řeky způsobený boční erozí – vymíláním břehů na jedné straně a usazováním na straně druhé. Na tvar říčních meandrů má vliv i Coriolisova síla.



Tg

Příklad

Určete potřebnou rychlost, kterou musí mít motocyklový kaskadér v drátěné kouli, aby mohl bezpečně projet vrcholem koule (tj. hlavou dolů). Koule má průměr 5 m.

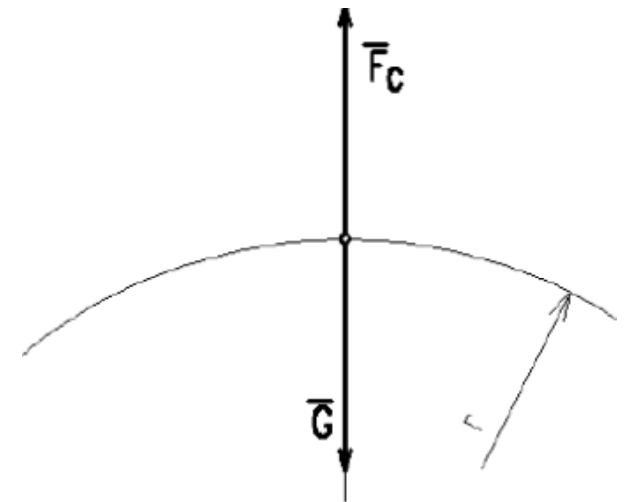
Pro bezpečný průjezd musí platit: $F_s > G$

$$m \frac{v^2}{r} > m \cdot g$$

$$r = 5 \text{ m}$$

$$v = ?$$

$$\text{tedy } v > \sqrt{g \cdot r} = \sqrt{9,81 \cdot 2,5} = \underline{\underline{4,95 \text{ (m} \cdot \text{s}^{-1})}}$$

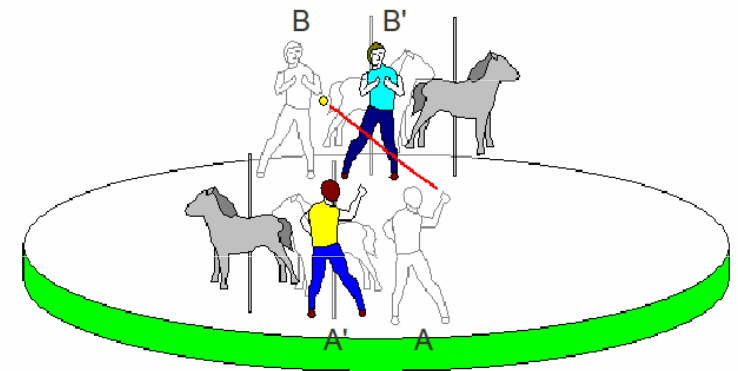
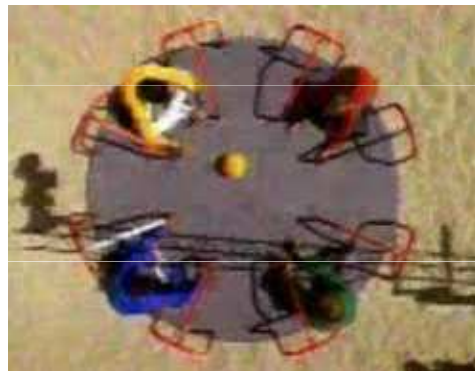


Coriolisova síla

Coriolisova síla působí na každé těleso, které se volně pohybuje v rotující soustavě. Má směr kolmý na spojnici těleso – osa otáčení. Pokud se těleso pohybuje od středu otáčení, tak způsobuje stáčení trajektorie pohybujícího se tělesa proti směru otáčení soustavy. Pokud se těleso pohybuje ke středu otáčení, tak způsobuje stáčení trajektorie pohybujícího se tělesa ve směru otáčení. Toto stáčení trajektorie se označuje jako **Coriolisův efekt** a je pozorovatelný pouze z neinerciální vztažné soustavy.

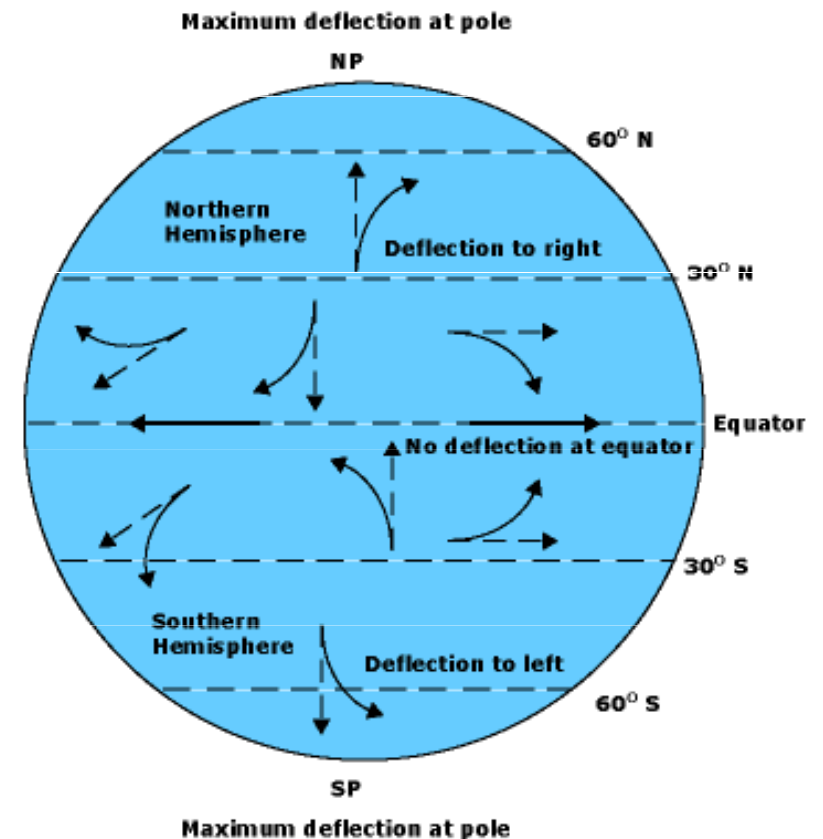
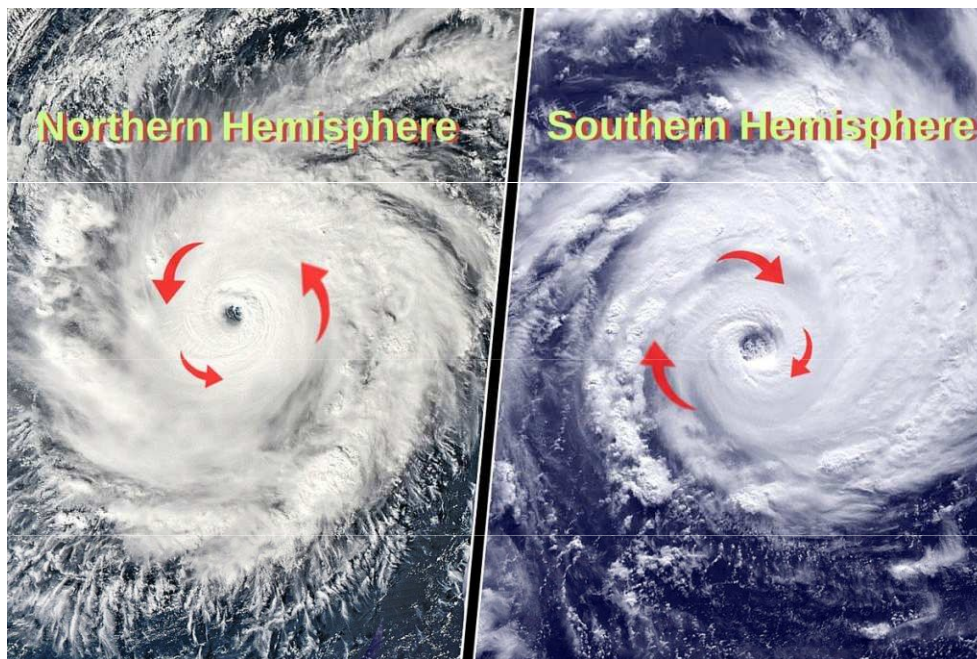
Příklad

Děti sedí na obvodu malého dětského kolotoče. Když se kolotoč netočí, tak není problém hodit míč jinému dítěti. Ve chvíli, kdy se kolotoč začne otáčet, tak děti mají problém se trefit. Rodič stojící na zemi nic takového nepozoruje, míč poletí stále přímočaře.



Coriolisova síla

Otáčející se neinerciální soustavou je Země. Z vesmíru bychom pozorovali, že jakákoli hmota pohybující se ve směru poledníku je odkláněna na severu doprava a na jihu doleva. Coriolisova síla ovlivňuje vznik cyklon, pasátů, apod. – na severní polokouli se kolem tlakových výší (anticyklon) vzduch pohybuje po směru hodinových ručiček, okolo tlakových níží (cyklon) ve směru opačném. Na jižní polokouli je tomu naopak.

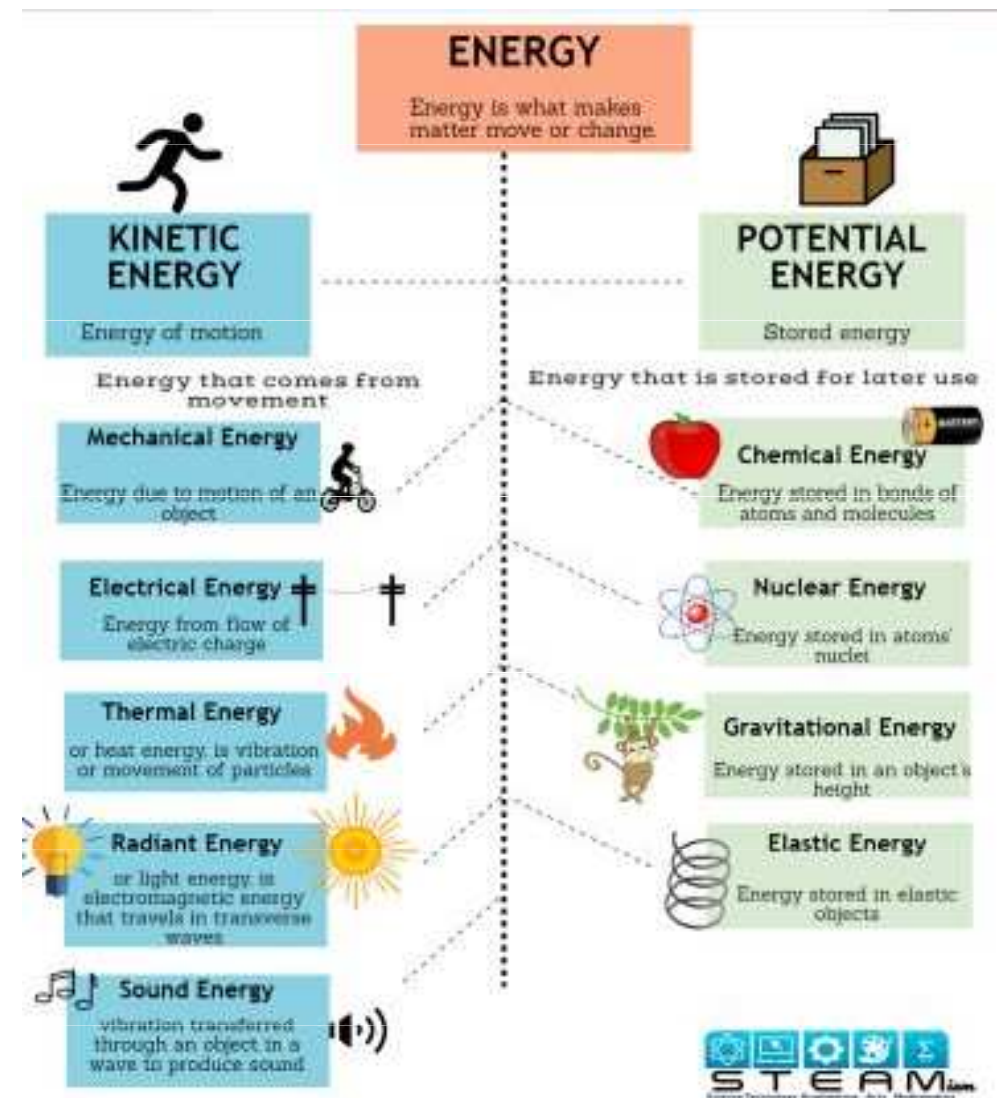


Hurikány vzniklé na Severní polokouli se točí proti směru hodinových ručiček a naopak.

Energie hmotného bodu a soustav hmotných bodů

Energie (E) je skalární fyzikální veličina, která charakterizuje formy pohybu hmoty. Různým formám hmoty odpovídají různé druhy pohybu. Jednotkou energie je Joule (J).

Mechanická energie charakterizuje mechanický pohyb těles a vzájemné silové působení těles (hmotných bodů, soustav hmotných bodů).



Hmotný bod má mechanickou energii, jestliže se vzhledem k určité vztažené soustavě pohybuje (kinetická energie), nebo se nachází v silovém působení jiných těles (potenciální energie).

Práce

Práce (W) jakožto fyzikální veličina je mírou této přeměněné energie. Její jednotkou je stejně jako u energie Joule (J).

Konáním práce se uskutečňuje přeměna energie z jednoho druhu na jiný (včetně přenosu energie z jednoho tělesa na druhé).

Mechanická práce

Mechanická práce vyjadřuje dráhový účinek působení síly na těleso (síla působící na fyzikální těleso posouvá tímto tělesem nebo jeho částí po určité dráze) nebo na silové pole, při kterém dochází k pohybu nebo deformaci tohoto tělesa, resp. ke změně rozložení potenciální energie v silovém poli. Mechanická práce je mírou přeměny mechanické energie a mírou přenosu energie z tělesa na těleso.

V izolované soustavě vyjadřuje mechanická práce předávání mechanické energie mezi tělesy či systémy těles. Těleso či systém, který koná mechanickou práci, ztrácí mechanickou energii, těleso či systém, na kterém je práce vykonávána, mechanickou energii získává. Mechanická práce jako veličina udává velikost této předané energie.

Mechanická práce při posuvném pohybu

Mechanická práce závisí na síle, která na těleso působí, na dráze, po které se těleso přemísťuje, a na úhlu, který svírá síla a trajektorie pohybu tělesa.

1) *Síla působí ve stejném směru jako pohyb tělesa.* Přemísťuje-li se těleso po přímce působením konstantní síly F rovnoběžné s trajektorií pohybu tělesa, pak lze velikost práce zapsat ve tvaru

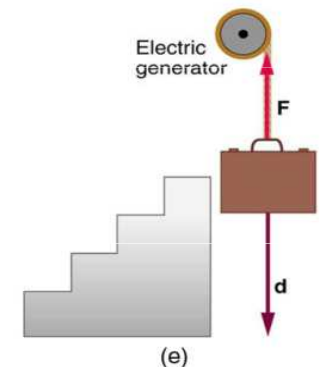
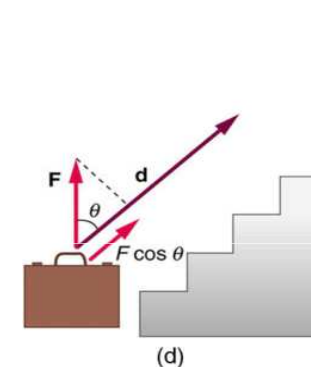
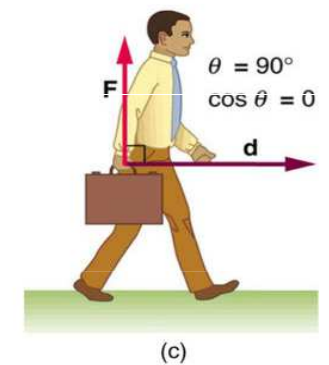
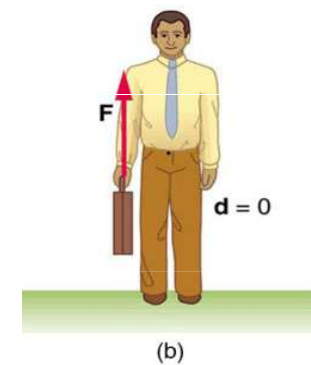
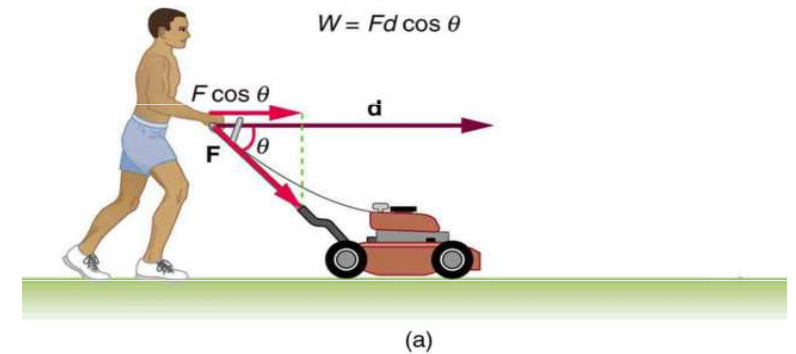
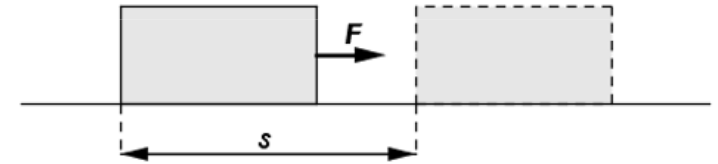
$$W = Fs$$

kde F je velikost působící síly a s je délka dráhy, kterou těleso urazilo.

2) *Síla působí v jiném směru než pohyb tělesa.* Práci koná složka síly rovnoběžná s trajektorií tělesa.

$$W = \mathbf{F} \cdot \mathbf{s}$$

$$W = Fs \cos \alpha$$



3) *Síla se mění nebo dráha je zakřivena.* V obecném případě, tedy i pokud je dráha zakřivena nebo síla je proměnná, použijeme pro výpočet integrál tzv. elementárních prací

$$W = \int_0^s \mathbf{F} \cdot d\mathbf{s} = \int_0^s (F \cos \alpha) ds$$

Mechanická práce při otáčivém pohybu

Mechanická práce závisí na **momentu síly**, který na těleso působí, na úhlu, o který se těleso otočí, a na úhlu, který svírá vektor momentu síly a osa otáčení tělesa. Otočí-li se těleso kolem neměnné osy otáčení působením konstantního momentu síly **M** rovnoběžného s osou otáčení tělesa o úhel α , pak lze velikost práce W zapsat ve tvaru

$$W = \mathbf{M} \cdot \boldsymbol{\alpha}$$

$$W = M\alpha$$

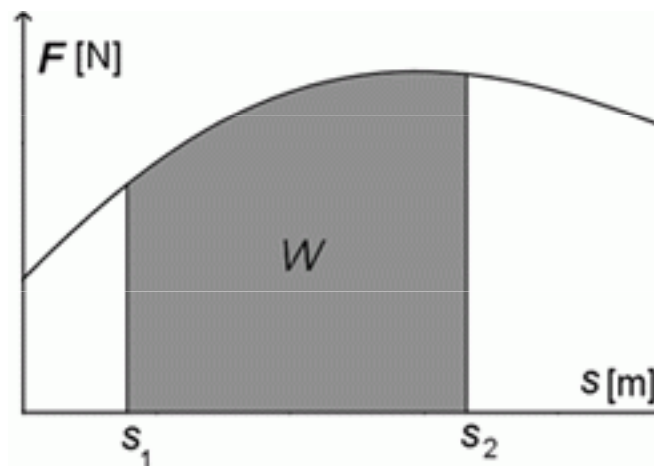
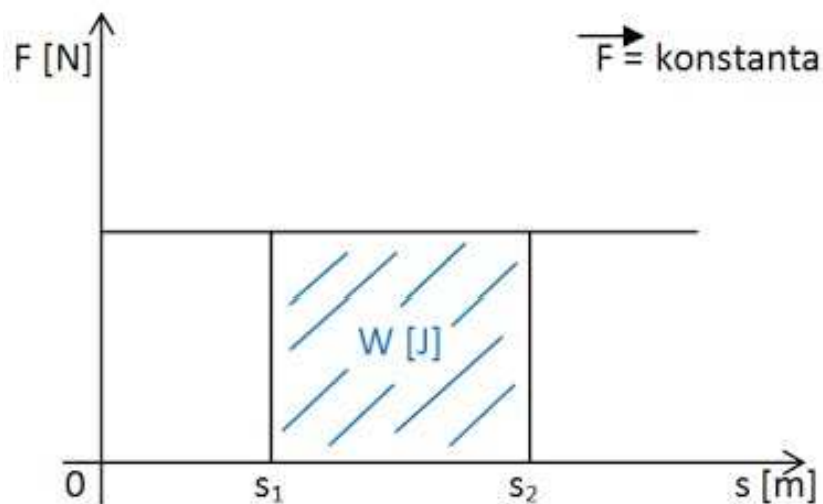
kde M je velikost působícího momentu síly a α je úhel, o který se těleso otočilo.

Práci koná složka **momentu síly** rovnoběžná s osou otáčení tělesa. **Úhel otočení** lze považovat za vektor (přesněji axiální vektor) směřující ve směru osy otáčení a orientovaný podle pravidla pravé ruky.

Pokud je moment síly proměnný, použijeme pro výpočet integrál tzv. *elementárních prací* $dW = \mathbf{M} \cdot d\alpha$

$$W = \int_0^\alpha \mathbf{M} \cdot d\alpha$$

Grafický výpočet mechanické práce



Kinetická energie

Kinetická energie (též pohybová energie) je jeden z druhů mechanické energie, kterou má pohybující se těleso. Je to tedy práce, kterou musíme vykonat, abychom urychlili těleso na určitou rychlost. Je-li těleso v klidu, má nulovou kinetickou energii. Protože pohyb těles je relativní, záleží hodnota kinetické energie na tom, z jaké vztažné soustavy těleso pozorujeme.

$$E_k = \frac{1}{2} m \cdot v^2$$

Pro soustavu n bodů

$$E_k = \frac{1}{2} m_1 v_1^2 + \frac{1}{2} m_2 v_2^2 + \dots + \frac{1}{2} m_n v_n^2$$

Soustavu hmotných bodů tvoří např. kulečnickové koule, střepiny po výbuchu granátů, tělesa sluneční soustavy, ...

Potenciální energie

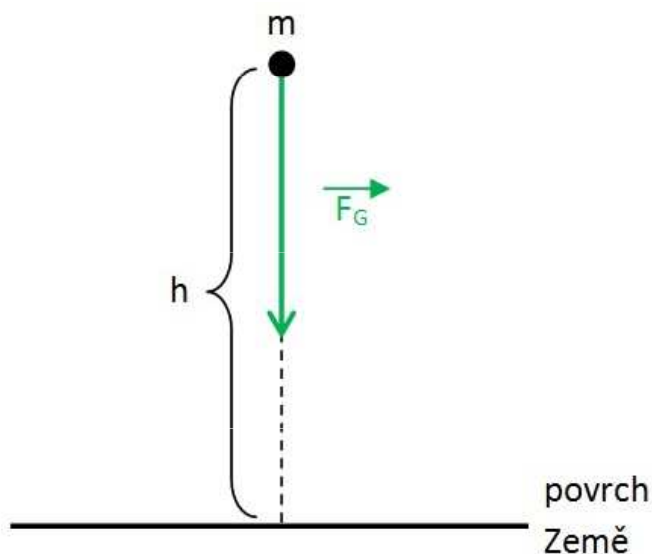
Potenciální energie (též polohová energie) je druh energie, kterou má každé těleso nacházející se v potenciálovém poli určité síly.

Potenciální energie tíhová

V případě, že lze silové působení popsat homogenním tíhovým polem s tíhovým zrychlením g (tedy v přiblížení, kdy zanedbáváme pokles tíhového zrychlení s výškou), lze potenciální energii tělesa s hmotností m , vyjádřit jednoduchým vztahem

$$E_p = mgh$$

kde h je výška nad úrovní, pro kterou je potenciální energie nulová (zpravidla zemský povrch).



Práce v gravitačním poli

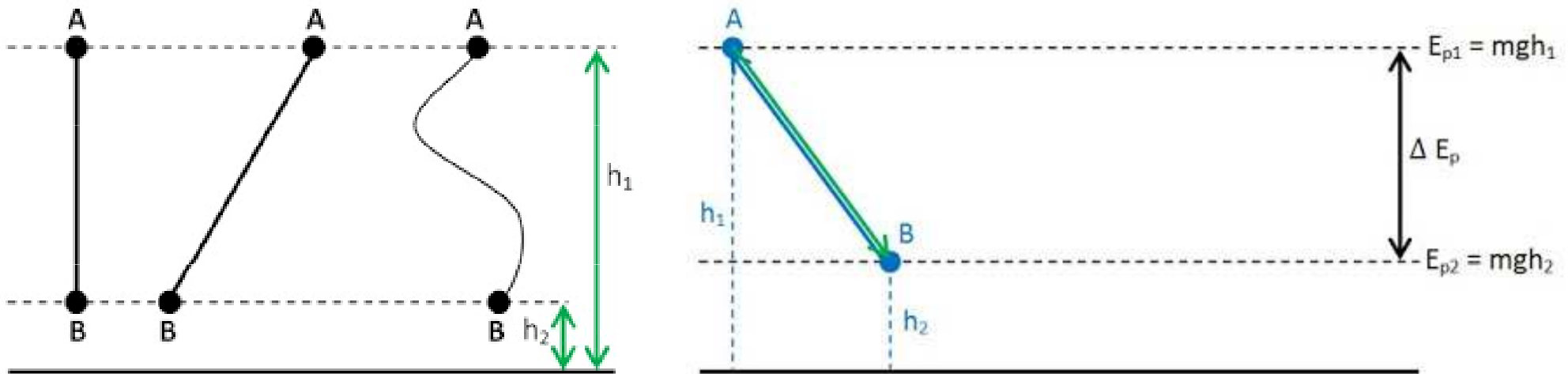
Mechanická práce vykonaná tíhovou silou se rovná úbytku tíhové potenciální energie tělesa, přesněji soustavy těleso – Země.

$$W = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = - (m \cdot g \cdot h_2 - m \cdot g \cdot h_1) = -\Delta E_p$$

Mechanická práce vykonaná vnější silou se rovná přírůstku tíhové potenciální energie tělesa, přesněji soustavy těleso – Země.

$$W = m \cdot g \cdot (h_1 - h_2) = m \cdot g \cdot h_1 - m \cdot g \cdot h_2 = \Delta E_p$$

Práce vykonaná tíhovou silou F_g nebo vnější silou F při přemístování v tíhovém poli Země závisí na počáteční a konečné výšce tělesa, nikoli na tvaru trajektorie po které se těleso pohybuje nebo dráze které při tom urazí.



Jakou práci vykoná prodavač, když zvedne bednu s lahvemi o hmotnosti 25 kg rovnoměrným pohybem svisle vzhůru na polici ve výšce 1,5 m?

Na bednu působí svisle dolů Země gravitační silou F_g , prodavač na bednu musí působit stejně velkou silou svisle vzhůru po dráze s (rovnoměrný pohyb) a vykoná práci W .

$$F = F_g$$

$$m = 25 \text{ kg}$$

$$s = 1,5 \text{ m}$$

$$W = ? \text{ J}$$

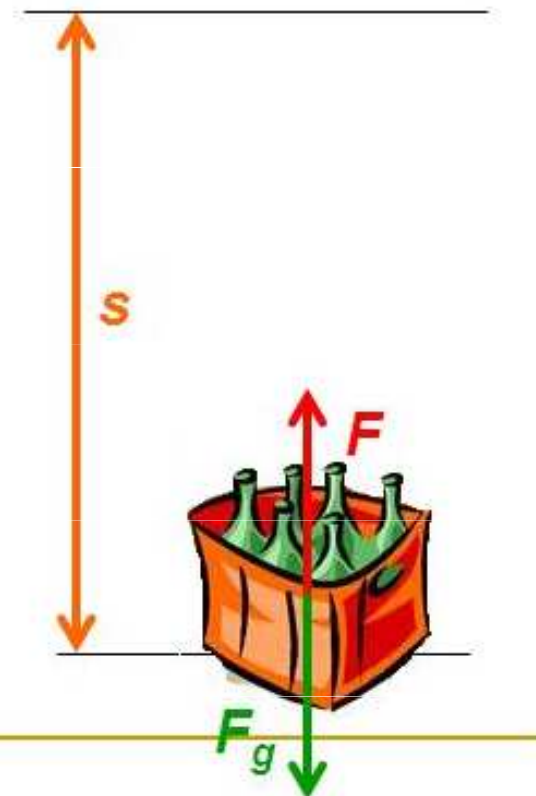
$$W = F \cdot s, \quad F = F_g = m \cdot g, \quad g = 10 \text{ N/kg}$$

$$W = m \cdot g \cdot s$$

$$W = 25 \cdot 10 \cdot 1.5$$

$$\underline{W = 375 \text{ J}}$$

Prodavač vykonal práci 375 J.



Mechanická energie

Součet kinetické a potenciální energie tvoří celkovou **mechanickou energii** tělesa (soustavy těles).

$$E = E_k + E_p$$

$$E = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 + m \cdot g \cdot h$$

Mechanická energie a mechanická práce jsou dvě různé veličiny. *Mechanická energie* charakterizuje určitý stav těles (pohybový stav, vzájemné působení těles), *mechanická práce* charakterizuje fyzikální děj, při kterém se stav těles mění.

Zákon zachování mechanické energie v izolované soustavě

V izolované soustavě (soustavě, kde nepůsobí žádné vnější síly jako tření nebo odpor prostředí) se při všech mechanických dějích mění potenciální energie v kinetickou a naopak, přičemž mechanická energie je konstantní

$$E = E_k + E_p = \text{konst}$$

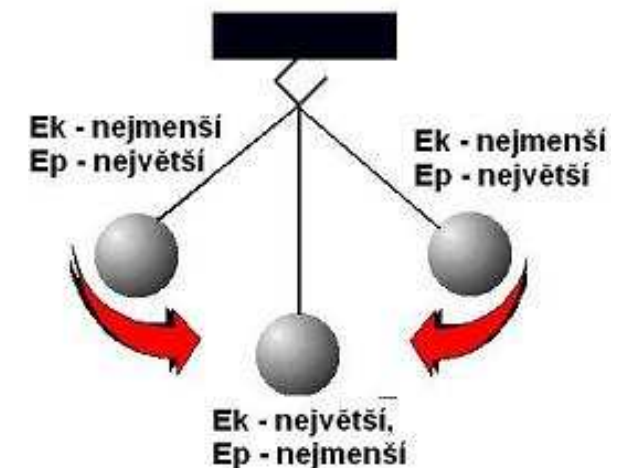
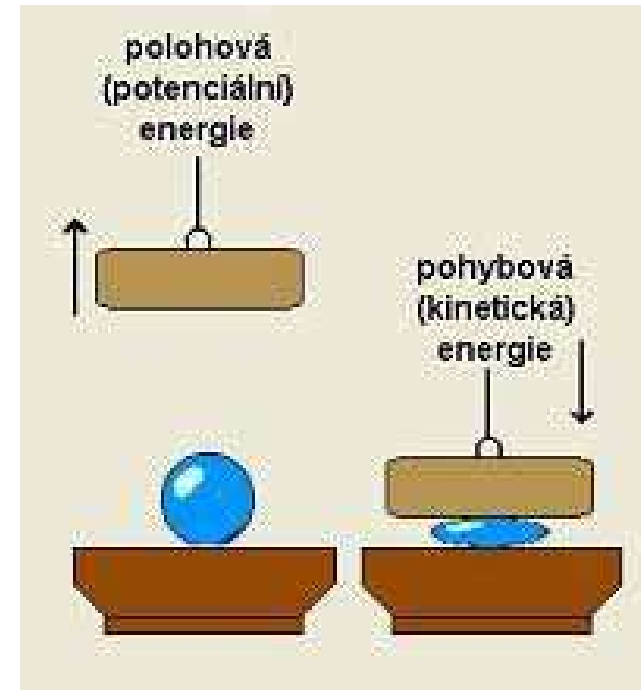
V izolované soustavě nemůže energie sama od sebe vznikat nebo zanikat, mění se pouze jeden druh energie v jiný.

Zákon zachování mechanické energie:

$$E_p + E_k = \text{konst.}$$

Rozšířená podoba:

$$E_p + E_k + W_{\text{deformační}} = \text{konst.}$$





© 2013 Encyclopædia Britannica, Inc.

Práce je konána člověkem během zvedání kladiva a natahování tětiny luku.

Příklad

Kámen o hmotnosti 2 kg padá volným pádem z věže o výšce 80 m. Jakou má kinetickou a jakou tíhovou potenciální energii pro $g = 10 \text{ m.s}^{-2}$

- Na začátku pádu
- V čase 1 s od počátku pádu
- Při dopadu?

Na začátku pádu

$$v = 0 \text{ proto } E_k = \underline{0 \text{ J}}$$

$$E_p = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 10 \cdot 80 = \underline{1600 \text{ J}}$$

V čase 1 s od začátku pádu

$$v = g \cdot t$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot (g \cdot t)^2 = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot (9,81 \cdot 1)^2 = \underline{100 \text{ J}}$$

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,81 \cdot 1^2 = 5 \text{ m}$$

$$E_k = m \cdot g \cdot (h - s) = \underline{1500 \text{ J}}$$

Při dopadu

$$s = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2 = \frac{1}{2} \cdot g \cdot (v/g)^2 = v^2/2 \cdot g \text{ odtud pro } s = h \text{ platí } v = \sqrt{2 \cdot h \cdot g}$$

$$E_k = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 = \frac{1}{2} \cdot m \cdot 2 \cdot h \cdot g = m \cdot g \cdot h = 2 \cdot 9,81 \cdot 80 = \underline{1600 \text{ J}}$$

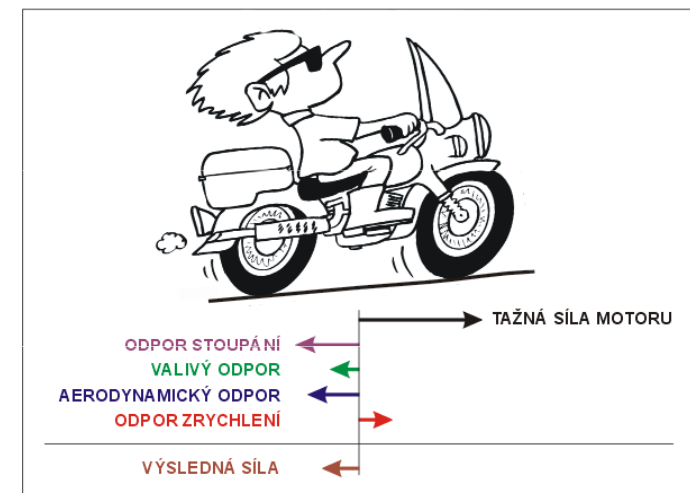
$$h = 0 \text{ proto } E_p = \underline{0 \text{ J}}$$

Konzervativní a disipativní síly

Konzervativní síly mohou konat práci, v izolovaném systému na uzavřené křivce je celková vykonaná práce nulová. Mezi konzervativní síly patří např. gravitační síla a elektrostatická síla.

Nekonzervativní (disipativní) síly jsou síly, jejichž práce na uzavřené křivce je nenulová. Při jejich působení tedy dochází k „rozptýlení“, disipaci energie (nejčastěji jako tepelná, případně též akustická energie). Jde například o síly tření (mechanické tření, viskozita, odpor vzduchu a kapaliny).

Gyroskopické síly jsou síly jejichž pole nelze popsat potenciální energií, protože nekonají práci již vzhledem ke své podstatě – působí kolmo ke směru pohybu. Nedochozí u nich tedy ani k disipaci energie. Příkladem je působení stacionárního magnetického pole na pohybující se nabitou částici (magnetická část Lorentzovy síly), ze zdánlivých sil pak Coriolisova síla.



Výkon

Výkon je skalární veličina vyjadřující, jak rychle se koná mechanická práce, vyjadřuje množství práce vykonané za jednotku času (P , jednotka Watt).

Průměrný výkon je podílem celkové práce W a doby t za kterou byla práce vykonána

$$P_s = \frac{W}{t}$$

Okamžitý výkon získáme ze vztahu

$$P = \frac{dW}{dt}$$

Mechanický výkon je mechanická práce vykonaná za jednotku času. Stroj, který má větší výkon, vykoná za stejný čas více práce.

$$P = \frac{dW}{dt} = \frac{\mathbf{F} \cdot d\mathbf{s}}{dt} = \mathbf{F} \cdot \mathbf{v} = Fv \cos \alpha = F_t v$$

kde F_t označuje složku síly ve směru pohybu (tečná složka síly) a α je úhel mezi vektorem rychlosti a vektorem působící síly.

$$P = M \cdot \omega$$

kde M je moment síly.

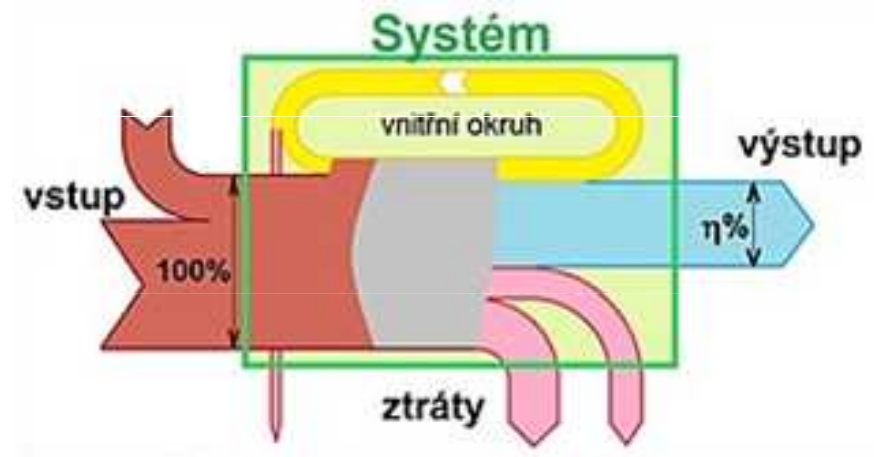
Příkon

Množství energie spotřebované za jednotku času se označuje jako **příkon**.

Účinnost

Vzájemný poměr výkonu (P') a příkonu (P) vyjadřuje poměrnou fyzikální veličinu nazývanou **účinnost**, která se často vyjadřuje v procentech (poměr násobený 100).

$$\eta = \frac{P'}{P}$$



Jeřáb zvedá břemeno $m = 5 \text{ t}$ za 20 s do výšky 5 m . Určete příkon elektromotoru (v kW), jehož účinnost je 70% .

$$m = 5 \text{ t} = 5000 \text{ kg}$$

$$t = 20 \text{ s}$$

$$h = 5 \text{ m}$$

$$\eta = 70 \% = 0,7$$

$$P_1 = W/t = m \cdot g \cdot h / t = 5000 \cdot 9,81 \cdot 5 / 20 = 12265,5 \text{ W}$$

$$P_2 = P_1 / \eta = 12265,5 / 0,7 = \underline{\underline{17,5 \text{ kW}}}$$

