

Dynamika (z řeckého dynamis = síla)

= obor mechaniky, studující příčiny pohybu těles.

PROČ?

ZA JAKÝCH
PODMÍNEK?

Uvedení tělesa z klidu do pohybu nebo z pohybu do klidu je vždy podmíněno působením jiných těles na dané těleso, podobně je tomu při každé změně velikosti nebo směru rychlosti tělesa → vzájemné působení těles se projevuje silami.

Výrok: „na těleso působí síla.“ je zkráceným výrokem „na těleso působí jiné těleso nebo pole silou.“

Zakladatelé: Galileo Galilei, Isaac Newton, Christiaan Huygens [hajchens]

Základem jsou Newtonovy pohybové zákony → Udávají vztah mezi pojmy hmoty a síly

1. Newtonův pohybový zákon - Zákon setrvačnosti
2. Newtonův pohybový zákon - Zákon síly
3. Newtonův pohybový zákon - Zákon akce a reakce



1. Newtonův pohybový zákon

Znění:

Každé izolované těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrně přímočarém pohybu, pokud není nuceno vnějšími silami tento stav změnit.

- Označováno také jako zákon setrvačnosti
- Izolované těleso – těleso, na které nepůsobí žádné síly.
 - Těleso ale v pozemských podmínkách neexistuje → pouze model izolovaného tělesa
- Model izolovaného tělesa – těleso, na které působí síly tak, že jejich výslednice je nulová

Např. kulička na hladké vodorovné podložce – tíhová síla se ruší stejně velkou silou opačného směru, kterou na kuličku působí podložka.



Setrvačnost těles v praxi:

1. v klidu - každé uvedení tělesa do pohybu

- V rozjíždějícím se autobusu máme tendenci setrvat v klidu → proto padáme směrem proti směru rozjíždění.

2. v pohybu - náhlé brzdění těles, náhlá změna směru rychlosti

- Zabrzdí-li prudce autobus, padáme ve směru jeho pohybu.
- Stejně tak (pokud se nedržíme nebo nesejíme) padáme, projíždí-li autobus rychle „ostrou“ zatáčku.



Inerciální vztažná soustava

(inertia – lat. Setrvačnost)

- vztažná soustava, ve které izolované těleso (nebo model) setrvává v klidu nebo rovnoměrně přímočarém pohybu →

Platí zde Newtonovy pohybové zákony.

Neinerciální vztažná soustava

- Soustava, která se vzhledem k inerciální vztažné soustavě pohybuje jinak než rovnoměrným přímočarým pohybem
- V této soustavě těleso nezůstává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.
- V neinerciální soustavě neplatí zákon setrvačnosti
Např. Jízda v autobuse



2. Newtonův pohybový zákon

Znění:

Okamžité zrychlení tělesa je přímo úměrné působící síle a nepřímo úměrné setrvačné hmotnosti tělesa.

- Těleso v inerciální vztažné soustavě – pokud na toto těleso začnou působit jiná tělesa silami, změní se pohybový stav tělesa.

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a} \quad (\text{také nazýváno pohybová rovnice})$$

Jednotka – Newton = $\text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

1 Newton = velikost síly, která tělesu o hmotnosti 1 kg udělí zrychlení o velikosti $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$.

- Síly udělují tělesu zrychlení dle druhého pohybového zákona nezávisle na tom, zda těleso bylo původně v klidu nebo v pohybu.
- Označováno také jako zákon síly.



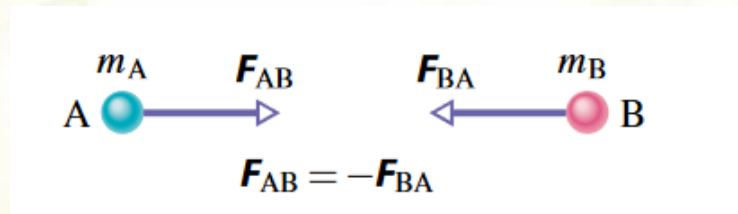
3. Newtonův pohybový zákon

Znění:

Dvě tělesa na sebe vzájemně působí stejně velkými silami opačného směru. Tyto síly vznikají a zanikají současně.

- Silové působení těles je vždy vzájemné:

$$\mathbf{F}_{AB} = -\mathbf{F}_{BA}$$



- Těleso A působí silou F_{BA} na těleso B a těleso B působí silou F_{AB} na těleso A.
- Akce a reakce jsou síly působící na různá tělesa, proto se ve svých účincích navzájem neruší.
- Označováno také jako zákon akce a reakce



Síla

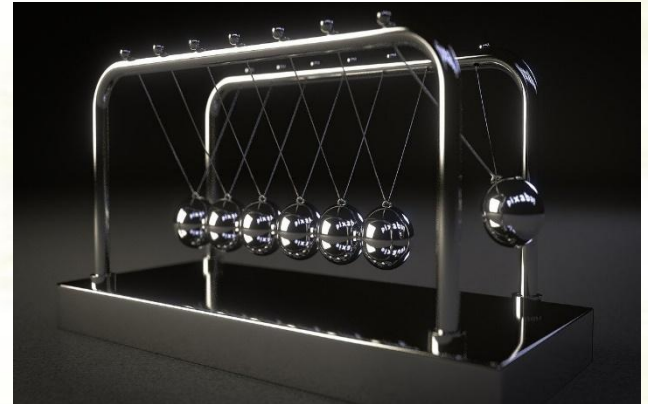
- vyjadřuje míru vzájemného působení mezi dvěma tělesy

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$$

- Vektorová veličina, určená **velikostí**, **směrem** a **působišťem**.

Silové působení se projevuje:

- a) Deformací těles
- b) Změnou pohybového stavu



Hmotnost m

- Základní jednotka soustavy SI – 1 kilogram (kg)
- Kilogram je základní jednotkou soustavy SI
- zjišťujeme ji vážením, tedy na základě přitažlivosti Země a daného tělesa



Hybnost a Zákon zachování hybnosti

- Vektorová veličina, má stejný směr jako vektor \vec{v} a charakterizuje pohyb tělesa úplněji než rychlost

$$\vec{p} = m \cdot v \quad [p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

- Celková hybnost izolované soustavy (soustava těles, na kterou nepůsobí žádné vnější síly)

$$p = p_1 + p_2 + \dots + p_N = \textit{konst.}$$



Impuls síly \vec{I}

- Vektorová fyzikální veličina, mající stejný směr jako síla
- Charakterizuje časový účinek síly na těleso (hmotný bod)

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

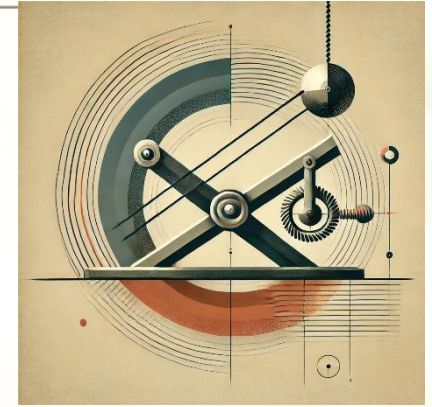
- Jednotka N.s (newtonsekunda)
- Impuls síly odpovídá změně hybnosti tělesa:

$$\vec{I} = \Delta p = m \cdot \Delta v$$



Typy sil

1. Tíhová
2. Třecí
3. Normálová
4. Tahová
5. Dostředivá
6. Gravitační
7. Tlaková



Tíhová síla G

$$G = m \cdot g$$

- rozumíme sílu, kterou je těleso přitahováno k astronomickému objektu (Zemi) v jeho těsné blízkosti

Třecí síla F_t

$$F_t = f \cdot F_N = \mu \cdot F_N$$

F_N ... normálová (kolmá) síla
 f nebo také μ ...součinitel tření

- Klouže-li těleso po podložce, nebo snažíme-li se je do klouzavého pohybu uvést, brání tomuto pohybu vazby mezi tělesem a podložkou.
- Závisí na kvalitě materiálů.

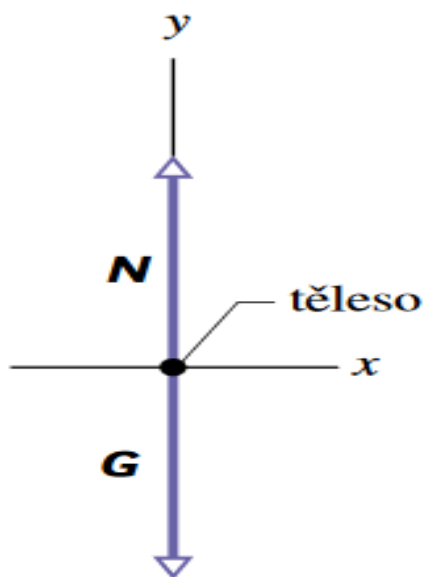


Normálová síla

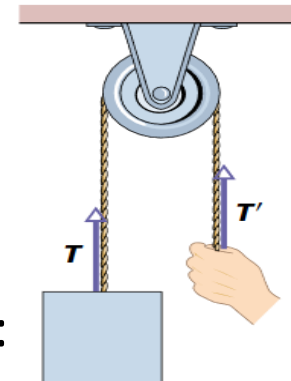
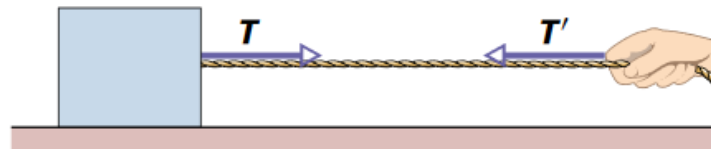
$$N = F_N$$

(Normálová=kolmá)

$$N = m \cdot g$$



Tahová síla T



Pokud těleso visí na laně v klidu:

$$F_T = m \cdot g$$

Pokud se těleso zavěšené na laně pohybuje se zrychlením nahoru:

$$F_T = m \cdot g + m \cdot a = m \cdot (g + a)$$

Pokud se těleso zavěšené na laně pohybuje se zrychlením dolů:

$$F_T = m \cdot g - m \cdot a = m \cdot (g - a)$$

Je-li těleso taženo na provaze, vlákně, lanku či něčem podobném, říkáme, že je lanko napínáno.



Dostředivá síla F_d

Působí-li na těleso jedna nebo více sil současně a výsledkem jejich působení je pohyb po kružnici, pak výslednici těchto sil nazýváme dostředivá síla.

Kolmá na směr rychlosti a směřuje do středu kružnice

$$F_d = m \cdot a_d = \frac{m \cdot v^2}{r} = m \cdot \omega^2 \cdot r$$

Bez této síly by těleso pokračovalo rovnoměrně přímočaře
Například: síla pneumatiky, která tlačí auto do zatáčky.

POZOR!

Odstředivá síla – zdánlivá setrvačná síla, která se projevuje jen v neinerciální (rotující) soustavě
Není skutečnou silou, ale pouze důsledkem setrvačnosti
Např. v autě při zatáčení - „něco nás tlačí“ ven
Při rychlém otáčení nádoby s vodou se voda nevylije apod.
Vzorec na výpočet je stejný.



Tlaková síla F a tlak p

- Působí kolmo na povrch tělesa
- Může způsobit jeho deformaci
- Ta závisí tedy na velikosti síly F a obsahu plochy S

$$p = \frac{F}{S}$$



Gravitační síla F_g

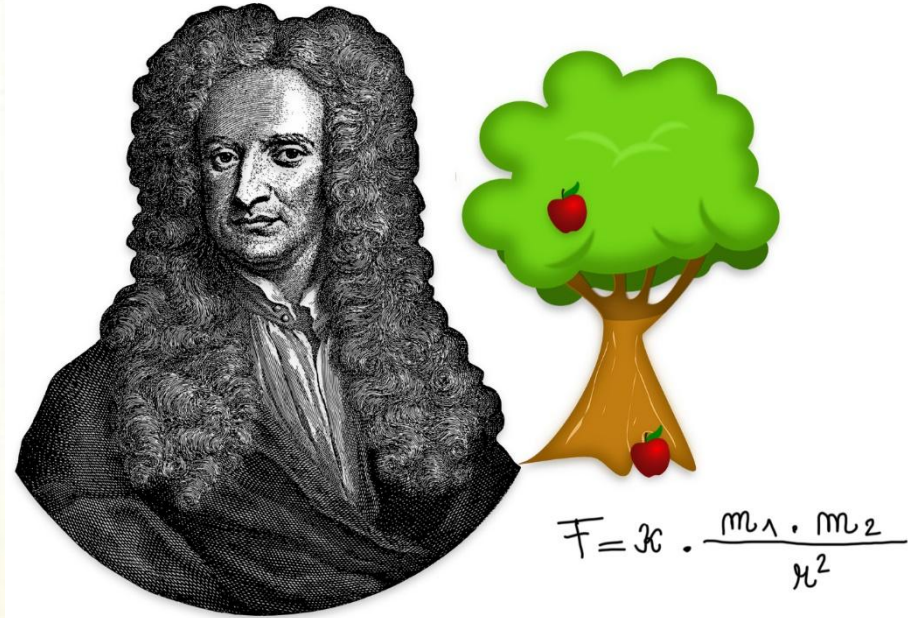
Síla, kterou se přitahují dvě tělesa v důsledku jejich hmotnosti

Pro těleso o hmotnosti m v gravitačním poli Země se gravitační síla vypočítá podle Newtonova gravitačního zákona.



Newtonův gravitační zákon

- Vyjadřuje matematický popis velikosti gravitační síly
- Každá dvě tělesa se přitahují stejně velkými gravitačními silami opačného směru
- Umožňuje předpovídat: pohyb těles na Zemi i ve vesmíru (planety, galaxie, komety) a také pohyb oběžných drah (elipsy – Keplerovy zákony)



Tento zákon formuloval Isaac Newton na základě analýzy pohybu Měsíce kolem Země, planet kolem Slunce a na základě znalosti Keplerových zákonů.

F ... velikost gravitační síly

κ ... (kappa) gravitační konstanta =
 $6,67259 \cdot 10^{-11} \text{ N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$

m_1, m_2 ... hmotnost hmotných bodů



Příklady



Česká zemědělská univerzita v Praze

**Technická
fakulta**



19



Příklad 1

Na těleso o hmotnosti 5 kg působí síla, která způsobí jeho zrychlení $3\text{m}\cdot\text{s}^{-2}$. Jaká je velikost této síly?

Newtonův zákon síly:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}$$

$$\vec{F} = 5 \cdot 3 = 15 \text{ N}$$



Příklad 2

Auto o hmotnosti 800 kg se pohybuje po silnici, kde součinitel tření je 0,05. Jaká je třecí síla?

$$F_t = \mu \cdot F_N$$

Jedná se o vodorovnou plochu, tedy normálová síla je stejná jako tíhová.

$$F_t = \mu \cdot m \cdot g$$

$$F_t = 0,05 \cdot 800 \cdot 9,81$$

$$F_t = 392,4 \text{ N}$$



Příklad 3

Jak velkou silou působí člověk s hmotností $m=75$ kg na podlahu kabiny výtahu když:

a) Je výtah v klidu?

$$\vec{F} = m \cdot \vec{g} = 75 \cdot 9,81 = 735,75 \text{ N}$$

b) Se výtah pohybuje svisle vzhůru se zrychlením $a=2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$?

$$\vec{F} = m \cdot (\vec{g} + \vec{a}) = 75 \cdot (9,81 + 2) = 885,75 \text{ N}$$

c) Se výtah pohybuje svisle dolů se zrychlením $a=2 \text{ m}\cdot\text{s}^{-2}$?

$$\vec{F} = m \cdot (\vec{g} - \vec{a}) = 75 \cdot (9,81 - 2) = 585,75 \text{ N}$$



Příklad 4

Automobil o hmotnosti $m=1$ tona se pohybuje rychlostí $v=72$ km.h⁻¹. Určete jeho hybnost.

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

$$\vec{p} = 1000 \cdot 20 = 20\,000 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$



Příklad 5

Koule o hmotnosti 0,5 kg narazí kolmo na stěnu rychlostí 10 m/s a odrazí se zpět stejnou rychlostí. Jaká je změna její hybnosti?

Hybnost koule před nárazem:

$$\vec{p}_1 = m \cdot v$$
$$\vec{p}_1 = 0,5 \cdot 10 = 5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Hybnost koule po nárazu:

$$\vec{p}_2 = m \cdot v = 0,5 \cdot (-10) = -5 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Rychlost je stejná, pouze opačná.

Změna hybnosti – definována jako rozdíl konečné hybnosti a počáteční hybnosti:

$$\Delta p = \vec{p}_2 - \vec{p}_1 = -5 - 5 = -10 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$$

Při záměně hybností by nám vyšel špatný směr výsledné změny.



Příklad 6

Těleso o hmotnosti $m=200$ g, které bylo na začátku v klidu, působením stálé síly dosáhlo na konci šesté sekundy rychlosti o velikosti $v=3$ m.s⁻¹. Určete velikost síly působící na těleso.

Těleso se působením stálé síly začne pohybovat rovnoměrně zrychleným pohybem se zrychlením $a = \frac{v}{t}$.

Z druhého pohybového zákona pak dostáváme rovnici

$$F = m \cdot a = m \cdot \frac{v}{t}, \text{ dosadíme tedy číselně}$$

$$F = m \cdot \frac{v}{t} = 0,2 \cdot \frac{3}{6} = 0,1 \text{ N}$$



Příklad 7

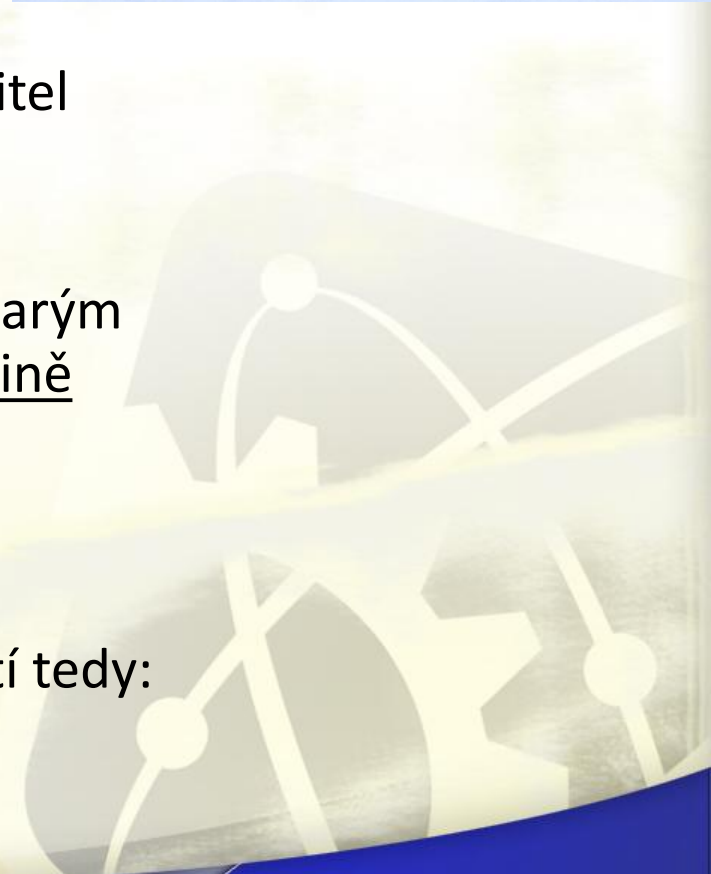
Psí spřežení táhnoucí na sněhu sáně po vodorovné rovině je schopno vyvinout ve vodorovném směru maximální sílu $F=500$ N. Jaká je maximální hmotnost sání i se zátěží, kterou může spřežení utáhnout rovnoměrným přímočarým pohybem, je-li součinitel tření $f=0,05$? Tíhové zrychlení je $9,81$ m.s⁻².

Poněvadž se sáně pohybují rovnoměrným přímočarým pohybem, je síla táhnoucí sáně po vodorovné rovině stejně velká jako síla třecí.

$$F = f \cdot F_N = f \cdot m \cdot g$$

Z tohoto vzorce si vyjádříme požadované m a platí tedy:

$$m = \frac{F}{f \cdot g} = \frac{500}{0,05 \cdot 9,81} = 1019,37 \text{ kg}$$



Příklad 8

Hokejový puk o hmotnosti 170 g změní svou rychlost z 10 m.s^{-1} na 30 m.s^{-1} za 0,02 s. Jaký impuls síly na něj působí a jaká je působící síla?

$$\vec{I} = \vec{F} \cdot \Delta t$$

Ale zároveň víme, že $\vec{I} = m \cdot \Delta v$

Dosadíme tedy:

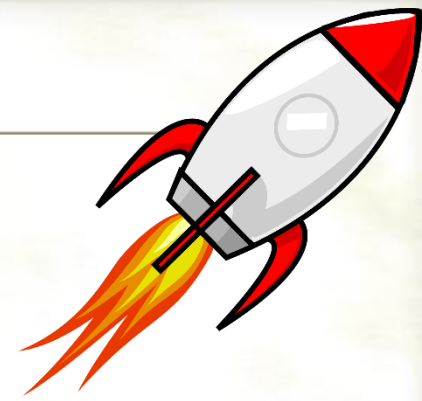
$$\vec{I} = 0,17 \cdot (30 - 10) = 0,17 \cdot 20 = 3,4 \text{ kg.m.s}^{-1}$$

Síla je definovaná jako:

$$\vec{F} = \frac{\vec{I}}{\Delta t} = \frac{3,4}{0,02} = 170 \text{ N}$$



Příklad 9



Jaká je hmotnost rakety, která dosáhne při tažné síle motoru 320 kN za 2,5 min od startu rychlosti 6 km.s⁻¹?

$$F = m \cdot a$$

$m = \frac{F}{a}$, ale zde neznám a , takže:

$$a = \frac{v}{t} = \frac{6000}{150} = 40 \text{ m.s}^{-2}$$

$$m = \frac{F}{a} = \frac{320\,000}{40} = 8000 \text{ kg} \rightarrow 8 \text{ tun}$$



Příklad 10

Chlapec tlačí po vodorovné podlaze bednu o hmotnosti 40 kg. Na bednu působí stálá třecí síla o velikosti 80 N. Tíhové zrychlení $g=9,81 \text{ m.s}^{-2}$.

- a) Jak velkou vodorovnou silou působí chlapec na bednu, pohybuje-li se bedna se zrychlením o velikosti $0,5 \text{ m.s}^{-2}$?

$$F = F_T + m \cdot a = 80 + 40 \cdot 0,5 = 100 \text{ N}$$

- b) Jakou hodnotu má součinitel smykového tření mezi bednou a podlahou?

$$f = \frac{F_T}{F_N} = \frac{80}{m \cdot g} = \frac{80}{40 \cdot 9,81} = 0,20$$



Příklad 11

Na těleso o hmotnosti 10 kg působí v jednom bodě dvě navzájem kolmé síly o velikostech 3 N a 4 N. Určete zrychlení tělesa.

Tělesu o $m=10$ kg uděluje zrychlení výslednice těchto dvou sil. Výslednici určíme z Pythagorovy věty.

$$F = m \cdot a$$
$$a = \frac{F_V}{m} = \frac{\sqrt{F_1^2 + F_2^2}}{m} =$$
$$a = 0,5 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$



Příklad 12

Jakou gravitační silou se přitahují dva lidé o hmotnostech 80 kg a 60 kg, pokud stojí 2 metry od sebe? (Gravitační konstanta $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \text{N} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{kg}^{-2}$)

$$F_g = G \cdot \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2}$$

$$F_g = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{80 \cdot 60}{2^2}$$

$$F_g = 6,674 \cdot 10^{-11} \cdot \frac{4800}{4}$$

$$F_g = 8 \cdot 10^{-8} \text{N}$$

