

FYZIKA PRO I. ROČNÍK GYMNÁZIA - MECHANIKA

DYNAMIKA HMOTNÉHO BODU

Mgr. Monika Bouchalová

Gymnázium, Havířov-Město, Komenského 2, p.o.

3. DYNAMIKA

- 3.1. vzájemné působení těles
- 3.2. I. Newtonův pohybový zákon
- 3.3. II. Newtonův pohybový zákon
- 3.4. hybnost HB, změna hybnosti
- 3.5. III. Newtonův pohybový zákon
- 3.6. ZZ hybnosti

Dynamika

je část mechaniky, která se zabývá příčinami pohybu tělesa.
Zkoumá, proč se tělesa pohybují.

dynamis = řecky síla

- *relativistická mechanika* $v \rightarrow c$
- *klasická mechanika* $v \ll c$ (*makroskopický popis*)
- *kvantová mechanika* *mikrosvět*

3. 1. VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ TĚLES

A) přímým dotykem

tělesa se navzájem dotýkají

B) na dálku, prostřednictvím silového pole

tělesa nejsou ve vzájemném styku;

Síla působí prostřednictvím pole.

Př.: Síla

- gravitační
- magnetická
- elektrická

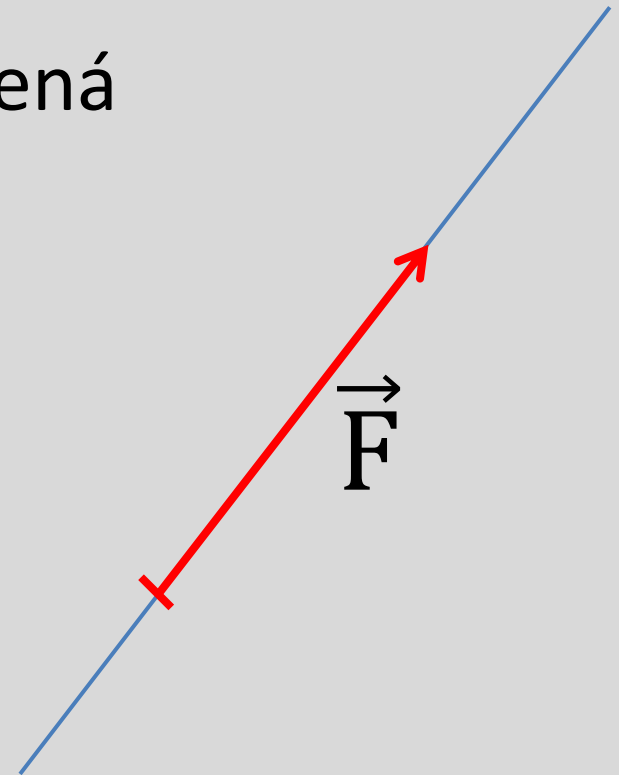
3. 1. VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ TĚLES

Síla \vec{F} – je vektorová veličina určená

- velikosti
- směrem
- polohou působišť

Jednotka $[F] = \text{N}$ (newton)

Znázorňujeme jí orientovanou úsečkou ležící na tzv. vektorové přímce. Délka úsečky vyjadřuje velikost síly.



3. 1. VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ TĚLES

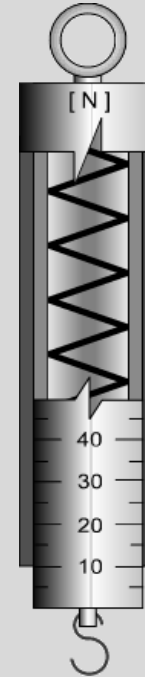
Účinky síly

A) deformační (statické)

Na deformačním účinku síly je založeno měření síly pomocí siloměru.

B) pohybové (dynamické)

dynamus = pohyblivý
síla má za následek změnu pohybového stavu tělesa



3. 1. VZÁJEMNÉ PŮSOBENÍ TĚLES

izolované těleso (IT)

těleso, na které nepůsobí žádná vnější síla – (neexistuje)

model IT

je těleso, na které působí síly tak, že jejich výslednice je nulová

IT, které je v pohybu, má stále stejnou rychlost.

Pohybuje se rovnoměrným přímočarým pohybem.

3. 2. 1. NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON ZÁKON SETRVAČNOSTI

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

... jinými slovy:

Nepůsobí-li na těleso síla,
pohybuje se těleso bez zrychlení, nebo je v klidu.

Klid a rovnoměrný přímočarý pohyb je ekvivalentní.
Oba dva tyto pohybové stavy mají nulové zrychlení.

Setrvačnost těles v praxi:

1. setrvačnost těles v klidu

se projevuje při každém uvedení tělesa do pohybu

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

Balón se kutálí směrem dozadu, dokud nenarazí na zadní stěnu...

2. setrvačnost těles v pohybu

náhlé brzdění těles, náhlá změna směru rychlosti.

Zabrzdí-li prudce autobus, padáme ve směru jeho pohybu.

Míč se kutálí dopředu...

3. 2. 1. NPZ - ZÁKON SETRVAČNOSTI

Inerciální vztažná soustava (IVS)

soustava, ve které izolované těleso setrvává v klidu nebo pohybu rovnoměrně přímočarém.

(soustava s nulovým zrychlením)

(inertia = latinsky nečinnost, setrvačnost)

Každá VS, která je vzhledem k IVS v klidu nebo pohybu rovnoměrně přímočarém je rovněž inerciální.

VS spojená se Zemí je inerciální.

Neinerciální vztažná soustava

soustava, ve které IT nezůstává v klidu nebo pohybu rovnoměrně přímočarém. (Soustava se zrychlením).

V NVS neplatí NPZ.

3. 2. 1. NPZ - ZÁKON SETRVAČNOSTI

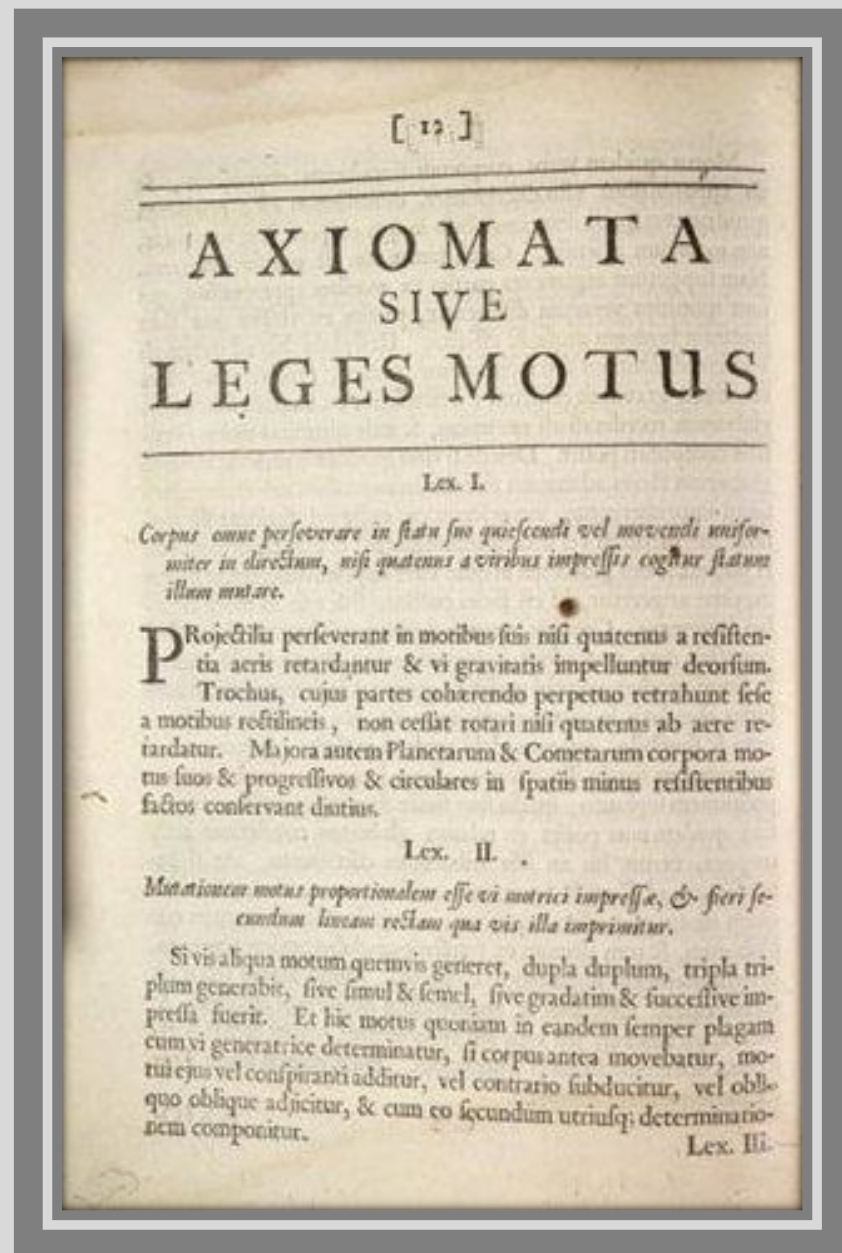
Zákon setrvačnosti.

Corpus omne perseverare in statu suo quiescendi vel movendi uniformiter in directum, nisi quatenus illud a viribus impressis cogitur statum suum mutare.

Jestliže na těleso nepůsobí žádná vnější síly nebo výslednice sil je nulová, pak těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu.

Obr.: 1

Newtonův první a druhý zákon v latině v původním vydání Philosophiae Naturalis Principia Mathematica (1687)



3. 3. 2. NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON

ZÁKON SÍLY

Velikost zrychlení HB je přímo úměrná velikosti výslednice sil působících na HB a nepřímo úměrná hmotnosti HB.

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

Směr zrychlení je shodný se směrem výslednice sil.

Stálá síla \mathbf{F} působící na těleso o hmotnosti m uvádí těleso do rovnoměrně zrychleného pohybu se zrychlením \mathbf{a} .

pohybová rovnice \rightarrow $\vec{F} = m \cdot \vec{a}$ $[F] = \text{N} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

1 N

je síla, která tělesu o hmotnosti 1 kg uděluje zrychlení $1 \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$.

3. 3. 2. NPZ - ZÁKON SÍLY

Neexistuje těleso, na které by nepůsobila síla.

Zavedli jsme model izolovaného tělesa, kde výslednice sil na ně působící je nulová.

Izolované těleso je v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře i tehdy, působí-li na ně dvě síly opačného směru.

Působí-li na těleso konstantní síla, pohybuje se těleso s konstantním zrychlením.

Př.: volný pád

\vec{F}_G - tíhová síla

\vec{g} - tíhové zrychlení

$$\vec{F}_G = m \cdot \vec{g}$$

Ve vakuu padají všechna tělesa s konstantním zrychlením \mathbf{g} svisle dolů.

2. NPZ umožňuje **dynamické měření hmotnosti tělesa:**

známe-li velikost výslednice sil

působících na těleso

a změříme-li zrychlení,

je možné hmotnost tělesa vypočítat.

$$m = \frac{F}{a}$$

Např.:

- hmotnost elementárních částic,
- hmotnost hvězd...

3. 3. 2. NPZ - ZÁKON SÍLY

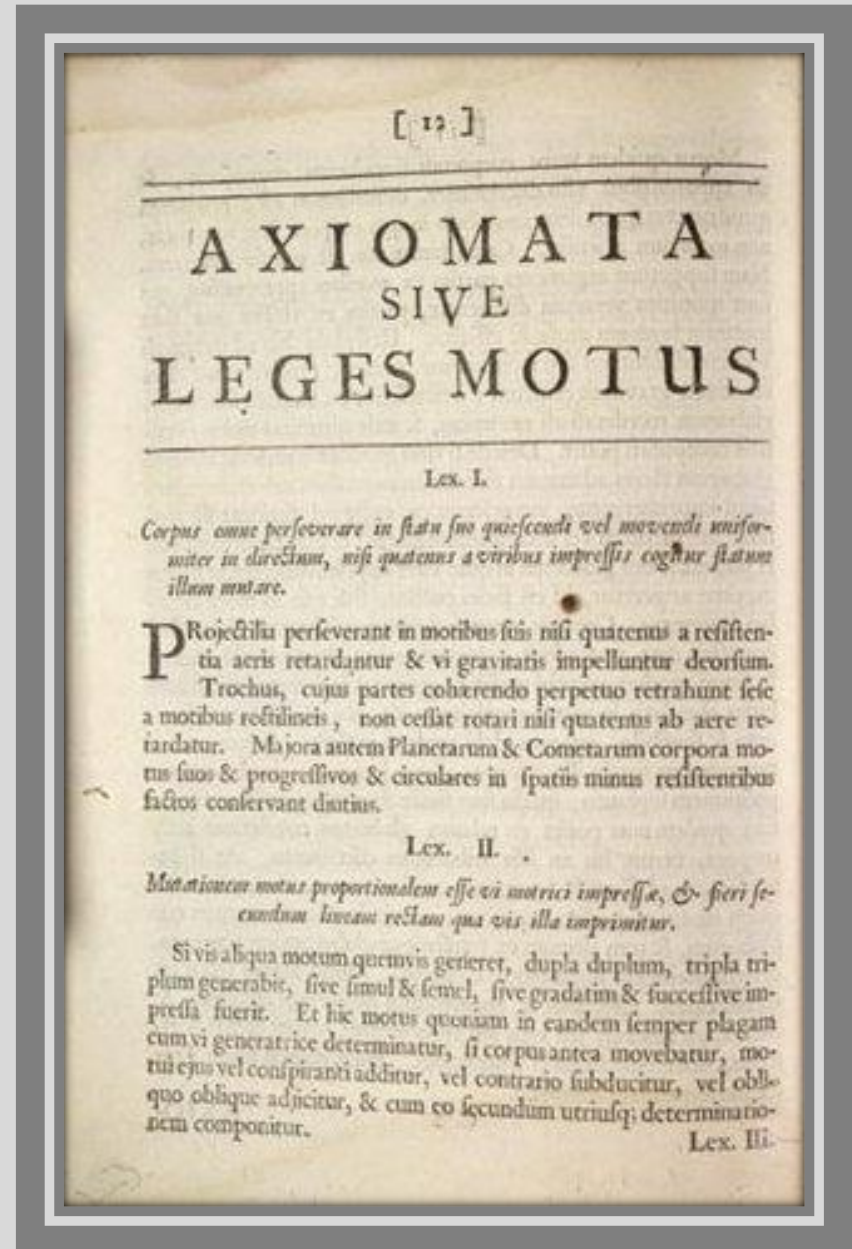
Zákon síly.

*Mutationem motus
proportionalem esse vi motrici
impressae et fieri secundam lineam
rectam qua vis illa imprimitur.*

*Jestliže na těleso působí síla, pak se
těleso pohybuje se zrychlením,
které je přímo úměrné působící síle
a nepřímo úměrné hmotnosti
tělesa.*

Obr.: 1

Newtonův první a druhý zákon v latině
v původním vydání Philosophiae Naturalis Principia
Mathematica (1687)



3. 4. 3. NEWTONŮV POHYBOVÝ ZÁKON

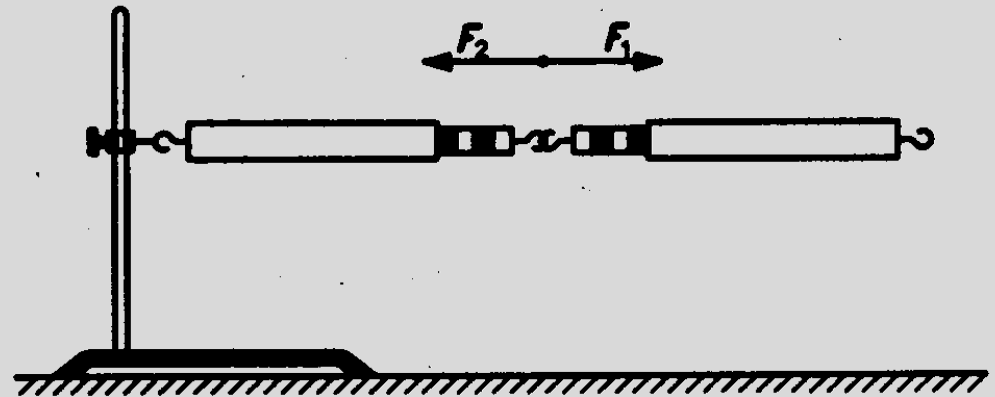
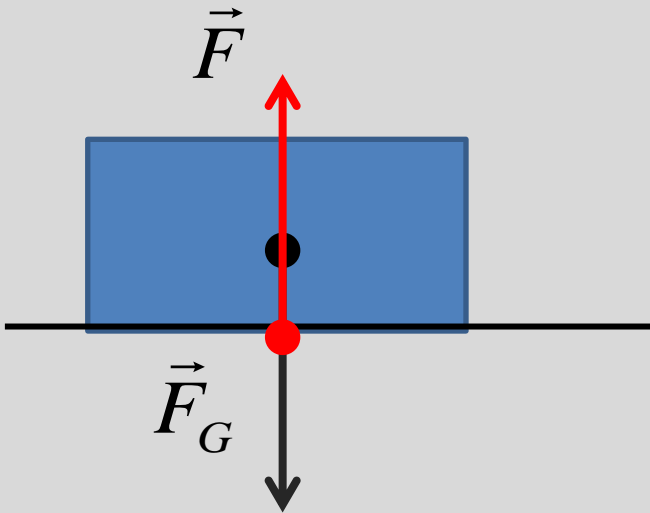
ZÁKON AKCE A REAKCE

Každá dvě tělesa na sebe vzájemně působí stejně velkými silami opačného směru.

(Jedné síle se říká akce, druhé reakce).

Tyto síly vznikají a zanikají současně.

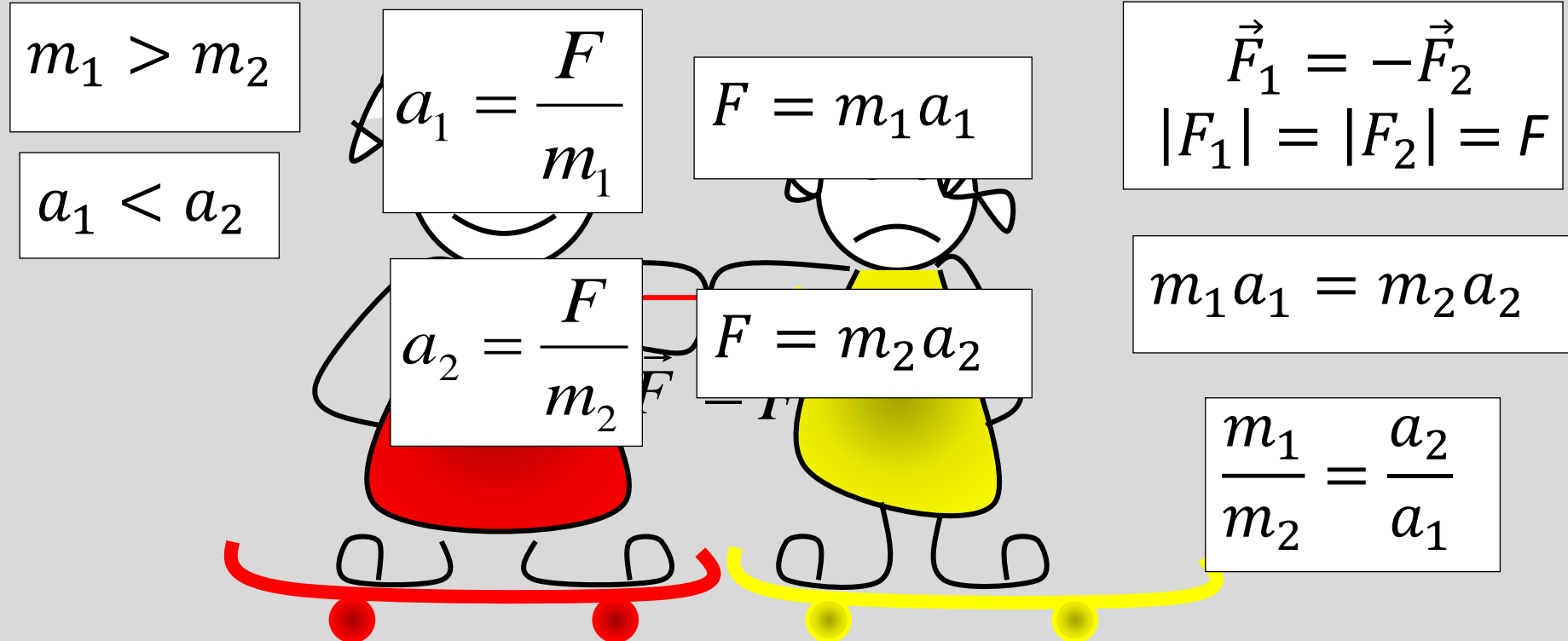
Síly se navzájem neruší.



3. 4. 3. NPZ – ZÁKON - ZÁKON AKCE A REAKCE

Kamarádky na skatu se od sebe navzájem odrazí.

Na obě působí stejně velká síla,
ale těžší se bude pohybovat
pomaleji (s menším zrychlením) než hubená.



Zákon akce a reakce.

Actioni contrariam semper et aequalem esse reactionem; sive: corporum duorum actiones in se mutuo semper esse aequales et in partes contrarias dirigi.

Proti každé akci vždy působí stejná reakce; jinak: vzájemná působení dvou těles jsou vždy stejně velká a míří na opačné strany.

3. 5. HYBNOST TĚLESA

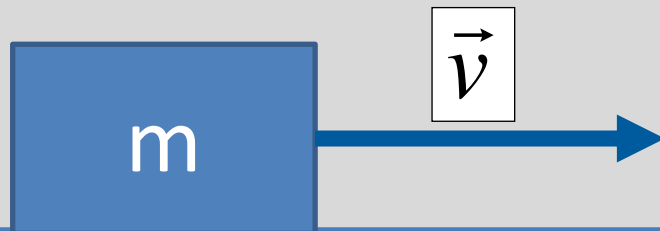
\vec{p} je vektorová fyzikální veličina

- součin hmotnosti a okamžité rychlosti tělesa

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

- jednotka $[p] = kg \cdot m \cdot s^{-1}$

- směr je totožný se směrem vektoru okamžité rychlosti
- charakterizuje pohybový stav tělesa v dané vztažné soustavě



3. 5. HYBNOST TĚLESA

Změna hybnosti

m – je konstantní

Δp – změna hybnosti způsobená silou F

v_1 – původní rychlost tělesa

v_2 – nová rychlost tělesa

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

$$\Delta \vec{p} = m \cdot (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)$$

vyjádříme-li sílu z 2NPZ \rightarrow

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

$$\vec{F} = m \cdot \frac{\Delta \vec{v}}{\Delta t}$$

**Časová změna hybnosti
se rovná působící síle.**

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

Takto zapsaný 2NPZ je obecnější, lze ho použít i pro popis dějů, v nichž se mění hmotnost těles.

Změna hybnosti může být způsobena i změnou hmotnosti.

Uved'te příklad...

Změna hmotnosti

- *dopravních prostředků spotřebou paliva;*
- *u raket, z níž unikají plyny při raketovém pohonu;*
- *sekačky na trávu, která posekanou trávu sbírá; ...*

3. 5. HYBNOST TĚLESA

$$\vec{F} = \frac{\Delta \vec{p}}{\Delta t}$$

impuls síly

- je součin síly a doby, po kterou síla působila

$$F \cdot \Delta t = \Delta p$$

$$[p] = N \cdot s$$

Abychom uvedli HB do pohybu, je třeba působit malou silou po dlouhý čas **nebo** kratší čas větší silou.

- je rovný změně hybnosti hmotného bodu
- má stejný směr jako změna hybnosti
- vyjadřuje časový účinek síly
- pro výpočty:

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

1. Jak mohou na sebe tělesa vzájemně působit?
2. Jaké mohou být účinky síly?
3. Co je to izolované těleso?
4. Co je to model izolovaného tělesa?

5. Vyslovte 1. NPZ. Pojmenujte jej.
6. Uveďte příklad setrvačnosti v klidu.
7. Uveďte příklad setrvačnosti v pohybu.
8. Co je to inerciální vztažná soustava?
9. Co je to neinerciální vztažná soustava?

10. Formulujte 2. NPZ. Pojmenujte jej.
11. Co znamená dynamické měření hmotnosti?
12. Jak je definován 1newton?

13. Formulujte 3. NPZ. Pojmenujte jej.
14. Uveďte příklad.

O

T

A

Z

K

U

?

Přes kladku je vedena nit a na každém konci je zavěšeno těleso.

Hmotnosti těles jsou m_1 a m_2 .

Určete jakou silou je nit napínána a jaké je zrychlení těles.

$$F_{G1} = m_1 \cdot g$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|$$

$$F_{G2} = m_2 \cdot g$$

$$F_1 = F_{G1} - F$$

$$F_2 = F' - F_{G2}$$

$$m_1 a = m_1 g - F$$

$$m_2 a = F - m_2 g$$

$$m_1 a + m_2 a = m_1 g - m_2 g \quad \text{sečteme rovnice}$$

$$a = \frac{g(m_1 - m_2)}{m_1 + m_2}$$

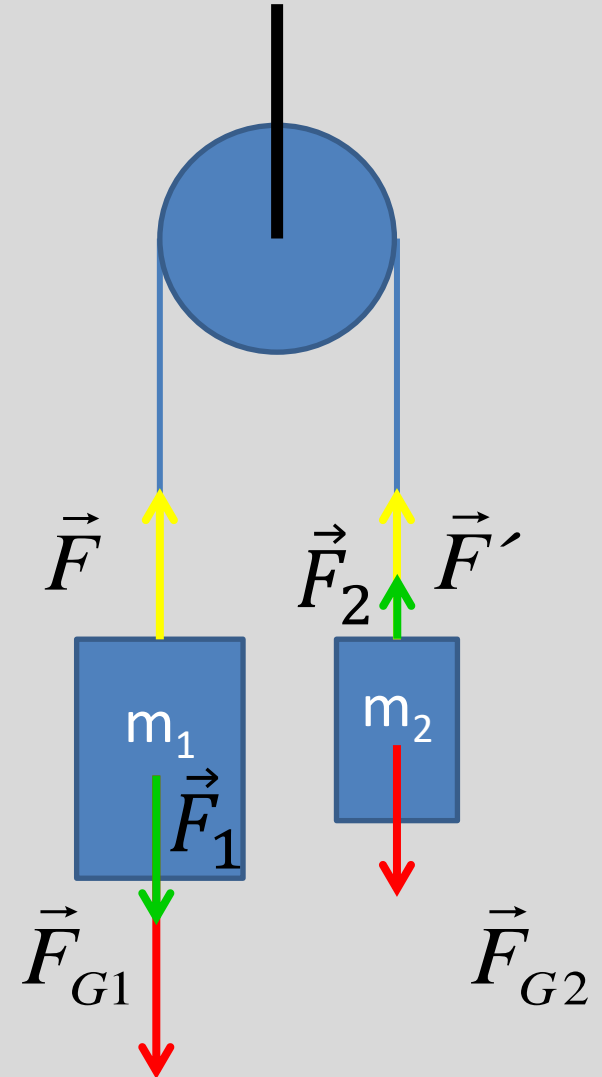
$$F = F_{G1} - F_1$$

nebo

$$F' = F_2 + F_{G2}$$

$$F = m_1(g - a)$$

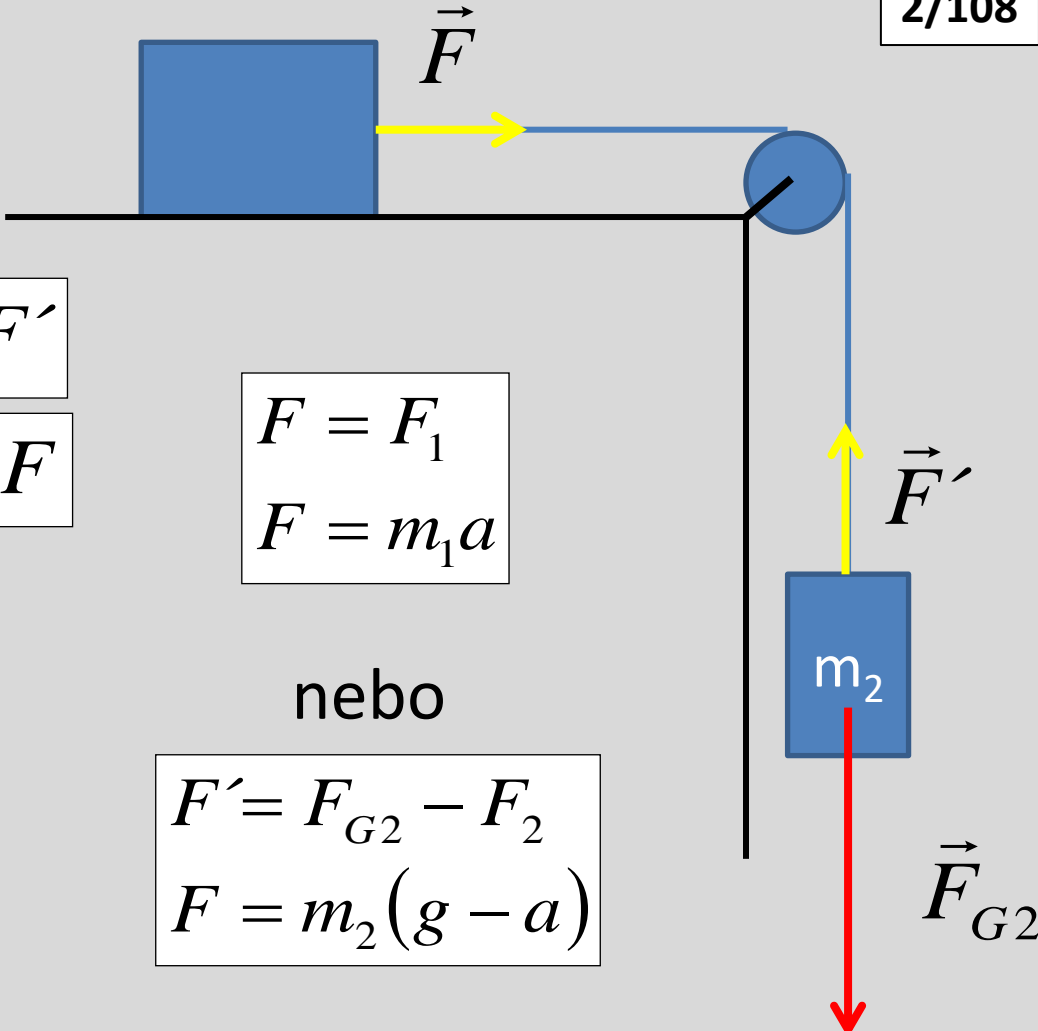
$$F = m_2(a + g)$$



Těleso o hmotnosti m_1 leží na podložce a je taženo nití vedenou přes kladku. Na druhém konci nitě visí těleso o hmotnosti m_2 . Určete jakou silou je nit napínána a jaké je zrychlení těles. Tření zanedbejte.

$$F_{G2} = m_2 \cdot g$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|$$



$$F_1 = F$$

$$F_2 = F_{G2} - F'$$

$$m_1 a = F$$

$$m_2 a = m_2 g - F$$

$$F = F_1$$

$$F = m_1 a$$

nebo

$$F' = F_{G2} - F_2$$

$$F = m_2 (g - a)$$

$$m_1 a + m_2 a = m_2 g$$

$$a = \frac{gm_2}{m_1 + m_2}$$

Těleso o hmotnosti m_1 leží na nakloněné rovině a je taženo nití vedenou přes kladku. Na druhém konci nitě visí těleso o hmotnosti m_2 . Určete jakou silou je nit napínána a jaké je zrychlení těles. Tření zanedbejte. Nakloněná rovina svírá s vodorovnou rovinou úhel α .

$$F_{G1} = m_1 \cdot g$$

$$F_{G2} = m_2 \cdot g$$

$$|\vec{F}| = |\vec{F}'|$$

$$\sin \alpha = \frac{F_{1'}}{F_{G1}}$$

$$F_{1'} = m_1 g \sin \alpha$$

$$F_1 = F - F_{1'}$$

$$m_1 a = F - m_1 g \sin \alpha$$

$$F_2 = F_{G2} - F'$$

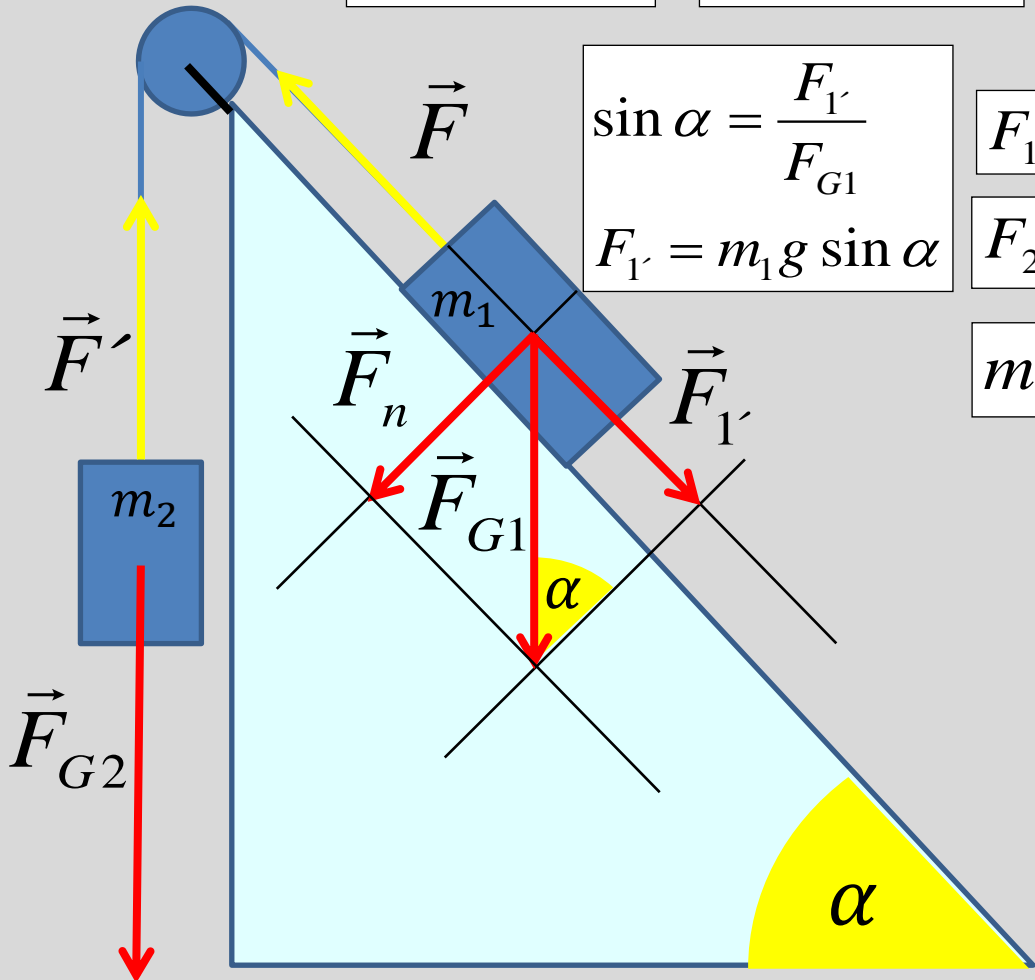
$$m_2 a = m_2 g - F'$$

$$m_1 a + m_2 a = m_2 g - m_1 g \sin \alpha$$

$$a = \frac{g(m_2 - m_1 \sin \alpha)}{m_1 + m_2}$$

$$F' = F_2 + F_{G2}$$

$$F = m_2(a + g)$$

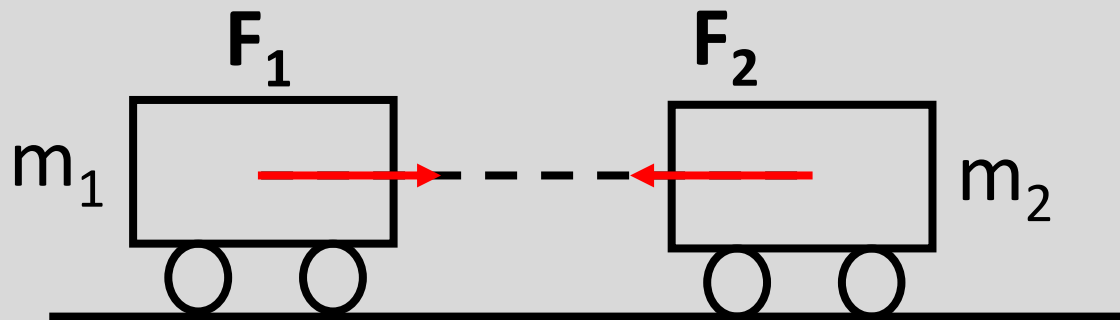


3. 6. ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

Izolovaná soustava je soustava, na kterou nepůsobí žádné vnější síly, nebo v níž výslednice všech vnějších sil působících na soustavu je nulová.

Př.: Dvě tělesa na sebe působí akcí a reakcí, ale nic jiného
→ tvoří izolovanou soustavu těles.

2 vozíky na kolejích:



3. 6. ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

Počáteční hybnost

$$p_{01}$$

$$p_{02}$$

Konečná hybnost

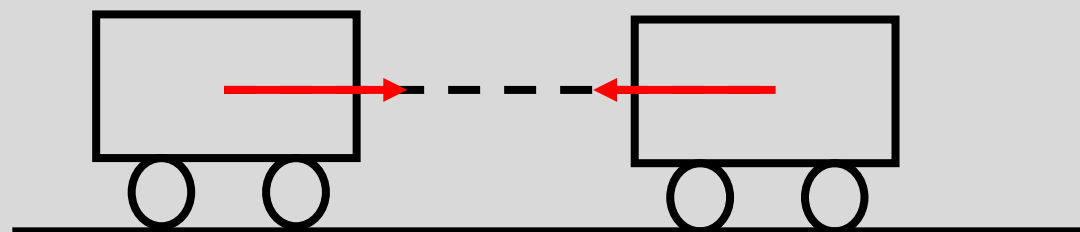
$$p_1$$

$$p_2$$

Změna hybnosti

$$\Delta p_1 = p_1 - p_{01}$$

$$\Delta p_2 = p_2 - p_{02}$$



z 2.NPZ

$$\vec{F}_1 = \frac{\Delta \vec{p}_1}{\Delta t}$$

$$\vec{F}_2 = \frac{\Delta \vec{p}_2}{\Delta t}$$

z 3.NPZ

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$\Delta \vec{p}_1 = -\Delta \vec{p}_2$$

$$\vec{p}_1 - \vec{p}_{01} = -(\vec{p}_2 - \vec{p}_{02})$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02}$$

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

Celková hybnost všech těles v izolované soustavě se vzájemným silovým působením nemění.

- Součet hybností všech těles izolované soustavy je stálý.

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \textit{konst.}$$

- Zachovává se směr i velikost celkové hybnosti.

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HMOTNOSTI

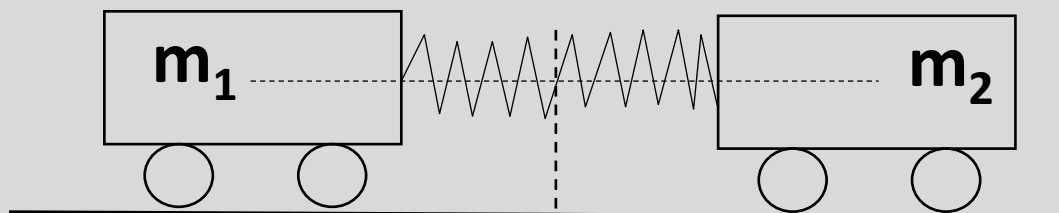
Celková hmotnost izolované soustavy těles je konstantní.

3. 6. ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

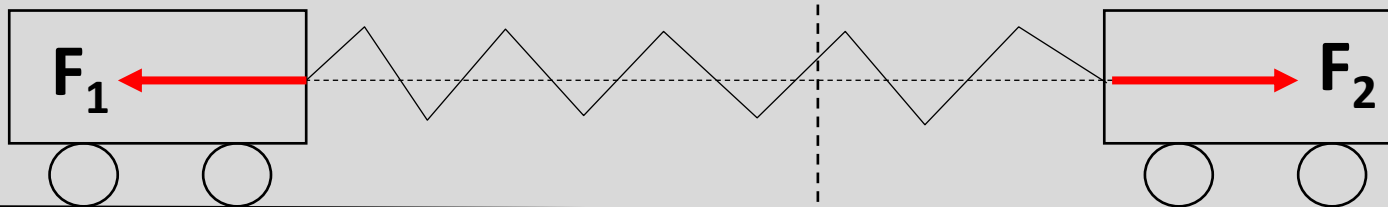
Př.: 2 vozíky spojené nití, mezi nimi pružina – přepálíme nit:

$$m_1 < m_2$$

$$v_1 > v_2$$



$$\vec{p} = 0$$



$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$$

$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0$$

celková hybnost soustavy je nulová

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2$$

$$m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2$$

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$$

$$m_1 \vec{v}_1 = -m_2 \vec{v}_2$$

Poměr velikostí rychlostí je opačný než poměr hmotností.

3. 6. ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

ZZ hybnosti má praktické využití v reaktivních motorech.

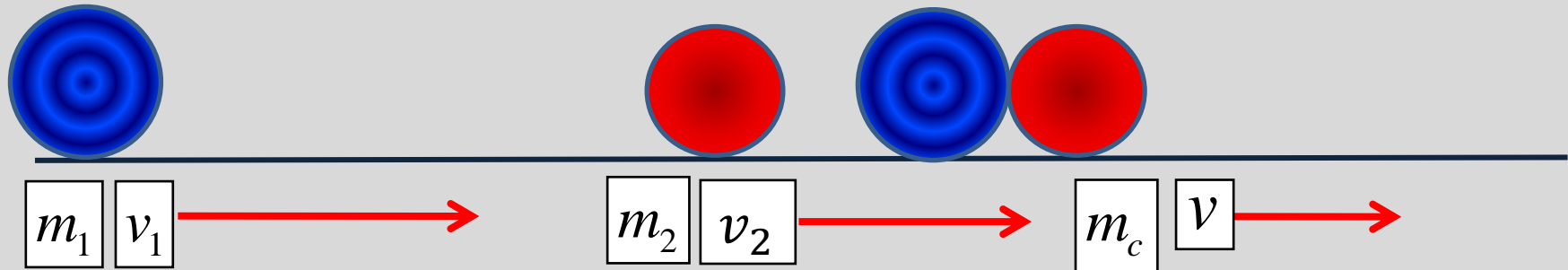
- Tryskami motoru unikají velkou rychlostí plyny vznikající spalováním paliva.
- Na základě ZZ hybnosti je raketa uvedena do pohybu opačným směrem.

Se ZZ hybnosti musí počítat střelec, který si při výstřelu z pušky opírá zbraň o rameno...



Obr.: 1

Těleso o **hmotnosti** m_1 se pohybuje po vodorovné rovině **rychlostí** v_1 a narazí na druhé těleso o **hmotnosti** m_2 , které se pohybuje **rychlostí** v_2 menší než rychlost v_1 . Po srážce se obě tělesa pohybují společně. **Určete velikost rychlosti těles. a) pohybují se ve stejném směru**



- m_1
- m_2
- v_1
- v_2
- $v = ?$

$$v_2 < v_1$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}$$

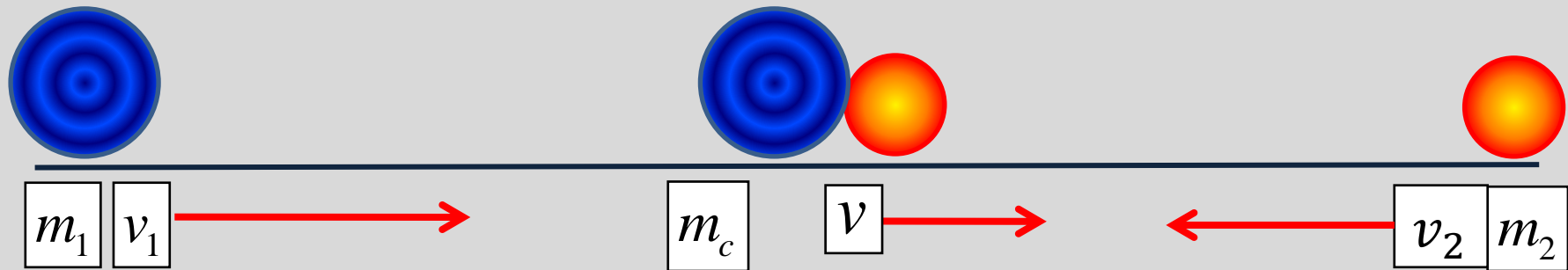
$$m_1 v_1 + m_2 v_2 = m_c v$$

$$v = \frac{m_1 v_1 + m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

$$m_c = m_1 + m_2$$

Těleso o **hmotnosti** m_1 se pohybuje po vodorovné rovině **rychlostí** v_1 a narazí na druhé těleso o **hmotnosti** m_2 , které se pohybuje **rychlostí** v_2 menší než rychlost v_1 . Po srážce se obě tělesa pohybují společně.

Určete velikost rychlosti těles. b) pohybují se proti sobě



$$m_c = m_1 + m_2$$

$$\vec{p}_1 + \vec{p}_2 = \vec{p}$$

$$m_1 v_1 - m_2 v_2 = m_c v$$

$$v = \frac{m_1 v_1 - m_2 v_2}{m_1 + m_2}$$

- m_1
- m_2
- v_1
- v_2
- $v = ?$

$$v_2 < v_1$$