

Dynamika



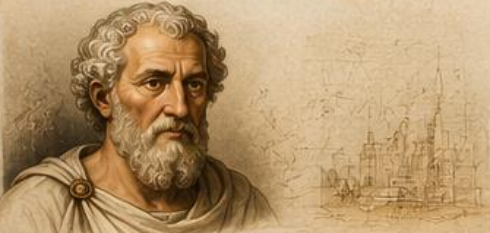
DYNAMIKA – STAROVĚCÍ VYNÁLEZCI A PRŮKOPNÍCI

Od geniálních myšlenek k převratným strojům – základy mechaniky, které formovaly svět

ARCHIMÉDES ZE SYRAKUS

(287–212 př. n. l.)

řecký matematik, fyzik a vynálezce



- Zákon páky a rovnováhy sil
- Výpočet těžiště a vztlakové síly
- Archimédův zákon (vztlak)
- Kladkostroje a mechanické zařízení
- První systematické úvahy o statice

ARCHIMÉDŮV DRÁP

Zvedal nepřátelské lodě pomocí soustavy kladek a pák.

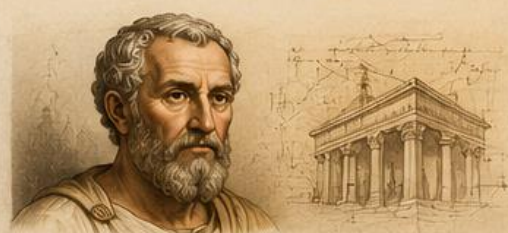


„Dejte mi pevný bod a pohnu Zemí.“

HERÓN ALEXANDRIJSKÝ

(10–70 n. l.)

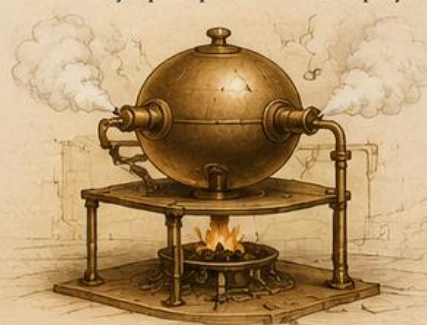
řecký matematik a vynálezce



- Mechanické automaty a divadelní zařízení
- Pneumatika a hydraulika
- Aeolipila – první parní turbína (reakční pohon)
- Převody, kladky, šrouby a jiné mechanismy

AEOLIPILA

První známý parní stroj – kulová nádoba, z níž unikající pára způsobovala rotační pohyb.

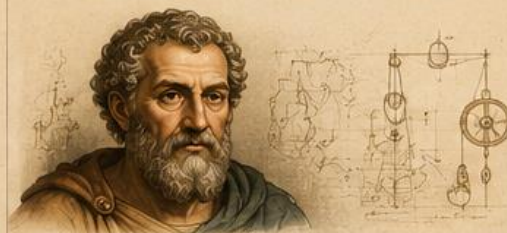


„Nic není nemožné tomu, kdo ví, jak na to.“

FILÓN BYZANTSKÝ

(cca 280–220 př. n. l.)

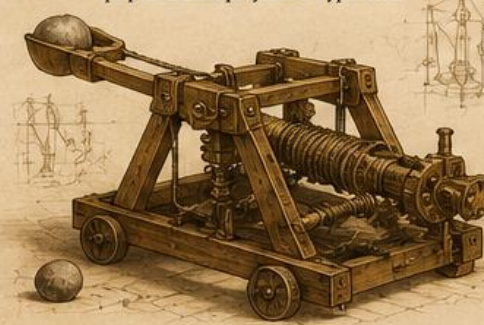
řecký inženýr a autor spisů o strojích



- Popis a návrh mnoha strojů a zbraní
- Samonabíjecí katapult a balistické stroje
- Převody, navijáky a zvedací zařízení
- Praktická mechanika a vojenská technika

SAMONABÍJECÍ KATAPULT

Katapult, který po výstřelu automaticky připravil další projektil k vypuštění.

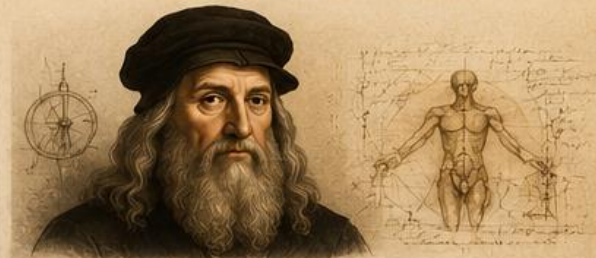


„Síla není v svalzech, ale v důmyslu.“

LEONARDO DA VINCI

(1452–1519)

italský myslitel, umělec a vynálezce

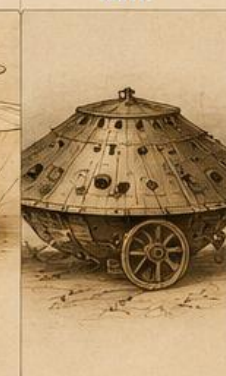


- Studium pohybu, tření a odporu prostředí
- Návrhy strojů, zařízení a mechanismů
- Vojenská technika a dopravní prostředky
- Létající stroje a šroubovitý vrtulník

VRTULNÍK



TANK



STUDIE TŘENÍ



„Zkoušavost je ta jediná učitelka, které lze věřit.“

DALŠÍ PRŮKOPNÍCI MECHANIKY

CTESIBIUS Z ALEXANDRIE

(cca 283–222 př. n. l.)

průkopník hydrauliky a pneumatiky

- Vodní hodiny a automaty
- Vzduchové a vodní čerpadla
- Ventily a regulátory tlaku
- Základy pneumatiky a zařízení



„Představivost je počátkem stvoření. Představuješ si to, co si přeješ, chceš to, co si představuješ, a nakonec vytvoříš to, co chceš.“

1 Historie a vývoj, významné osobnosti

DYNAMIKA

HISTORIE A VÝVOJ

Co znamená slovo dynamika?

Slovo „dynamika“ pochází z řeckého výrazu *dynamis* (δύναμις), což znamená „síla, moc, schopnost působit“.

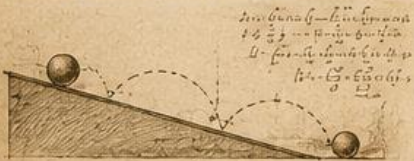
V fyzice je dynamika část mechaniky, která se zabývá příčinami pohybu – silami a jejich účinky na tělesa.

GALILEO GALILEI

(1564–1642)



- Zkoumal pohyb těles a jako první se pokusil popsat pohyb pomocí experimentů a matematiky.
- Zavedl pojem setrvačnosti – těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu, pokud na něj nepůsobí vnější síla.
- Zkoumal pád těles, šikmé roviny a pohyb kyvadla.



Konec 16. století

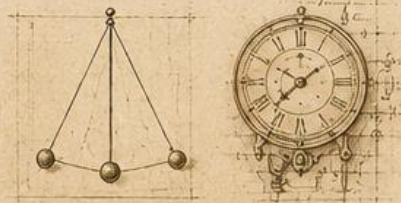
Základy experimentálního studia pohybu

CHRISTIAAN HUYGENS

(1629–1695)



- Rozpracoval teorii setrvačnosti a odstředivé síly.
- Zkoumal kyvadlové hodiny a pohyb po kružnici.
- Ve spise *Horologium Oscillatorium* (1673) popsal princip kyvadlových hodin.



17. století

Rozvoj mechaniky a teorie pohybu

JAKOB BERNOULLI

(1654–1705)



- Zabýval se pohybem tekutin a jejich silovými účinky.
- Odvodil rovnici popisující vztah mezi rychlostí proudu tekutiny, tlakem a výškou:

$$p + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho gh = \text{konst.}$$

(Bernoulliho rovnice)

- Jeho práce položily základy hydrodynamiky.



Konec 17. století

Dynamika tekutin a síly v proudech

ISAAC NEWTON

(1643–1727)



- Formuloval tři základní zákony dynamiky:
 1. zákon setrvačnosti
 2. zákon síly ($\vec{F} = m\vec{a}$)
 3. zákon akce a reakce
- Zavedl pojem hybnosti a gravitační síly.
- Jeho dílo *Principia* (1687) položilo základy klasické mechaniky.



Konec 17. století

Zákony pohybu a univerzální gravitace

„Příroda je napsána jazykem matematiky.“

– Galileo Galilei

„Jestliže jsem viděl dále, je to tím, že jsem stál na ramenou obrů.“

– Isaac Newton

*„Věda není jen soubor znalostí,
ale způsob myšlení.“*

1 Současnost, významné osobnosti

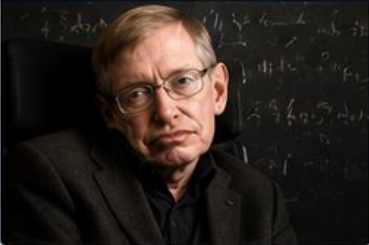
DYNAMIKA – SOUČASNÁ ÉRA

FYZICI, KTEŘÍ ZKOUMAJÍ NEJVĚTŠÍ MĚŘÍTKA VESMÍRU

Od černých děr po vznik a osud vesmíru – jejich myšlenky posouvají hranice poznání a pomáhají nám porozumět dynamice celého kosmu.

STEPHEN HAWKING

(1942–2018)



- Britský teoretický fyzik a kosmolog.
- Zabýval se černými děrami, vznikem vesmíru a kvantovou gravitací.
- Proslul pracemi o Hawkingově záření a singularitách v černých dírách.
- Autor populárních knih o vesmíru, které inspirovaly miliony lidí.



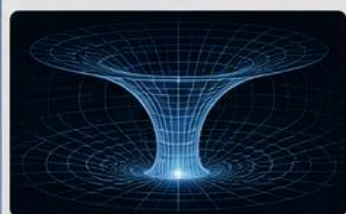
„Dívejte se vzhůru ke hvězdám, a ne dolů k nohám.“
Snažte se dávat smysl tomu, co vidíte, a ptejte se, proč existuje vesmír.“
– Stephen Hawking

LEONARD SUSKIND

(1944)



- Americký teoretický fyzik.
- Průkopník teorie strun a autor koncepce krajiny (landscape) možných vesmírů.
- Zabývá se černými děrami a holografickým principem.
- Spoluzakladatel Stanfordova institutu pro teoretickou fyziku.



„Možná žijeme v jednom z mnoha možných vesmírů.“
Naším úkolem je zjistit, jaké zákony v něm platí.“
– Leonard Susskind

MICHIO KAKU

(1947)



- Americký teoretický fyzik a popularizátor vědy.
- Zabývá se teorií strun, kvantovou gravitací a astrofyzikou.
- Autor mnoha knih o vesmíru, budoucnosti lidstva a pokročilých technologiích.
- Aktivně zkoumá možnost mezihvězdného cestování a využití energie hvězd.



„Vesmír je plný zázraků, které teprve začínáme chápat. A budoucnost může být úžasnější, než si dokážeme představit.“
– Michio Kaku

J. D. BARROW

(1952)



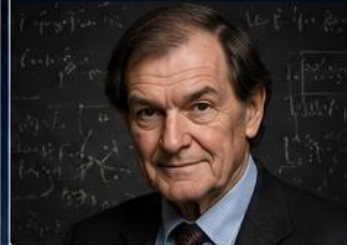
- Britský teoretický fyzik a kosmolog.
- Zabývá se vznikem a vývojem vesmíru, teorií všeho a multivesmíry.
- Autor knih o kosmologii a popularizátor vědy.
- Spolupracoval na projektech týkajících se temné energie a kosmologických modelů.



„Vesmír není jen podivnější, než si myslíme, je podivnější, než si dokážeme myslet.“
– J. D. Barrow

ROGER PENROSE

(1931)



- Britský matematický fyzik.
- Práce o singularitách v černých dírách a počátku vesmíru.
- Objevil Penroseovy diagramy, které popisují strukturu časoprostoru.
- Zabývá se kvantovou gravitací a teorií vědomí.



„Skutečné porozumění vyžaduje nejen logiku, ale i představivost.“
– Roger Penrose

KIP THORNE

(1940)



- Americký teoretický fyzik.
- Práce o červích dírách, černých dírách a gravitaci.
- Konzultant a spoluvůdce vědeckých základů filmu *Interstellar*.
- Autor knih o černých dírách a povaze časoprostoru.



„Černé díry nejsou vězení, Mohou být branami k novým možnostem.“
– Kip Thorne

SPOLEČNÉ TÉMA: DYNAMIKA NEJVĚTŠÍCH MĚŘÍTEK



ČERNÉ DÍRY

jeho vznik, povaha a vliv na vesmír



STRUKTURA VESMÍRU

jeho vývoj, expanze a temná energie



KVANTOVÁ GRAVITACE

sjednocení gravitace s kvantovou mechanikou



MULTIVESMÍRY

existence mnoha možných vesmírů a realit



POČÁTEK A OSUD

velký třesk, osud vesmíru a hranice poznání

„Jsme jen malá část vesmíru, ale vesmír je v každém z nás.“

1 Záhady starověkých civilizací

ZÁHADY STAROVĚKU – TECHNOLOGIE PŘED NAŠÍ DOBU?

STOPY POKROČILÝCH ZNALOSTÍ, NEBO SYMBOLICKÉ VIZE DÁVNÝCH CIVILIZACÍ?

VIMÁNY – MAHÁBHÁRATA

(Indie, cca 1500–500 př. n. l.)



„Vimy se pohybují ve vzduchu, ma souší i ve vodě, rychle a tiše, podle vůle ovládajících.“
– Mahábhárata, Vánapárva



POPISY VE STAROINDICKÝCH TEXTECH

- Vimány – létající města a stroje řízené myslí.
- Použití „božských zbraní“ (astra) s ničivou silou.
- Příklady: Pušpaka Vimana, Tripura Vimana.
- Pohon: energie ze Slunce, rtuti nebo mantrických sil.

INTERPRETACE

Většina badatelů považuje vimány za mytologické a symbolické popisy, nikoli za důkaz skutečné technologie. Inspirují však úvahy o dávných znalostech astronomie, metalurgie a energie.

SUMĚŘI – STAROVĚKÉ RELIÉFY A TEXTY

(Mezopotámie, cca 3500–2000 př. n. l.)



ZNÁMÉ MOTIVY

- Reliéfy zobrazující létající disky, křídlaté stroje a **nebeská vozidla**.
- Některé interpretace ukazují na „hodinky“, pokročilé nástroje a mapy hvězdné oblohy.
- Texty (např. Epos o Gilgamešovi) obsahují popisy strojů, mechanismů a nebeských jevů.

INTERPRETACE

Oficiální věda tyto motivy chápe jako symboly bohů a nebe. Alternativní teorie v nich vidí možné záznamy dávných technologií. Důkazy však chybí a interpretace jsou sporné.

AZTÉKOVÉ – LÉTAJÍCÍ STROJE?

(Mezopamerika, cca 1300–1521 n. l.)



MOŽNÉ VÝKLADY MOTIVŮ

- Reliéfy z chrámů znázorňují objekty připomínající letadla, vrtulníky nebo ponorky.
- Některé scény ukazují piloty v jakýchsi kokpitech.
- Propojení s božstvy a jejich cestami po nebi.

INTERPRETACE

Většina archeologů považuje motivy za mytologické a náboženské symboly. Archeoastronautické teorie je vykládají jako zobrazení skutečných strojů.

MAYOVÉ – PALENQUE

(Mezoamerika, cca 200 př. n. l. – 900 n. l.)



VÍKO HROBKÝ KRÁLE PAKALA

- Slavný reliéf z Palenque je často interpretován jako „pilot v kokpitu kosmického stroje“.
- Zobrazuje ovládací prvky, trysky a kosmické symboly.
- Může znázorňovat cestu duše do jiných světů.

INTERPRETACE

Archeologové: náboženský a kosmologický příběh. Alternativní teorie: zobrazení pokročilé technologie nebo mezihvězdného cestování.

ANTIKYTHERA MECHANISMUS – PRVNÍ ANALOGOVÝ POČÍTAČ

(Řecko, cca 150–100 př. n. l.)



Objeven v roce 1901 u řeckého ostrova Antikythera. Přístroj s více než 30 ozubenými koly dokázal předpovídat astronomické jevy s překvapivou přesností.

CO DOKÁZAL:

- Pohyb Slunce, Měsíce a planet.
- Fáze Měsíce a zatmění.
- Olympijské hry a kalendáře.
- Zvěrokruh a astronomické cykly.



Ukazatel polohy Slunce

Ukazatel polohy Měsíce

Fáze Měsíce

Zvěrokruh

Kalendářní stupnice

Předpověď zatmění



VÝZNAM

Antikythera mechanismus je důkazem, že starověké civilizace měly hluboké znalosti mechaniky, astronomie a matematiky. Dodnes zůstává záhadou, odkud Řekové získali tak pokročilé technologie pro svou dobu.

LEGENDY A MÝTY

Mnohé starověké kultury zanechaly zobrazení a texty, které mohou být chápány jako **mýty**, symboly, nebo skryté záznamy technologií. Je na nás, abychom báдали, zkoumali a rozlišovali mezi vírou, fantazií a vědou.



MYTOLOGIE



SYMBOLIKA



POZOROVÁNÍ NEBE



TECHNICKÉ POZNATKY



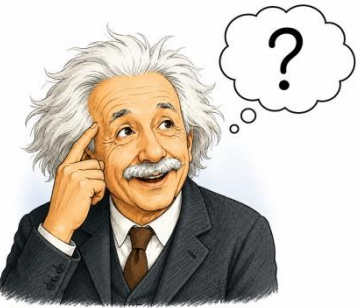
VĚDA

BUDOUCNOST

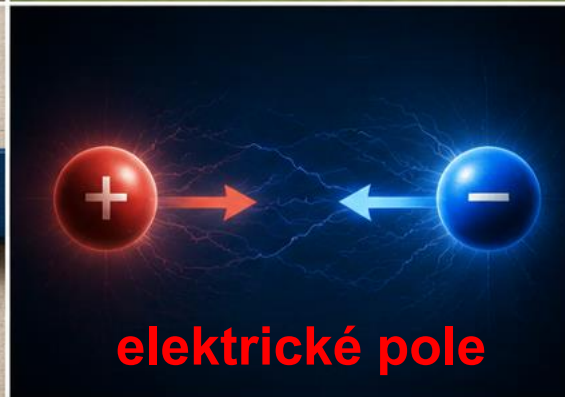


„Historie není jen to, co víme, ale i to, co teprve odhalujeme.“

2. Vzájemné působení těles. Izolované těleso.



Jakým způsobem na sebe můžou působit dvě tělesa?
Zkuste vymyslet několik konkrétních příkladů a pojmenovat účinky konkrétní síly
zobrazené na obrázku.



2. Vzájemné působení těles. Izolované těleso.

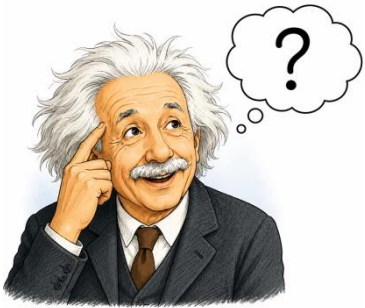
- tělesa v přímém kontaktu na sebe působí silou
- silové působení na dálku

síla – $\vec{F}$ $[F] = 1 \text{ N}$ (newton)



síla = force
RAF – Royal Air Force

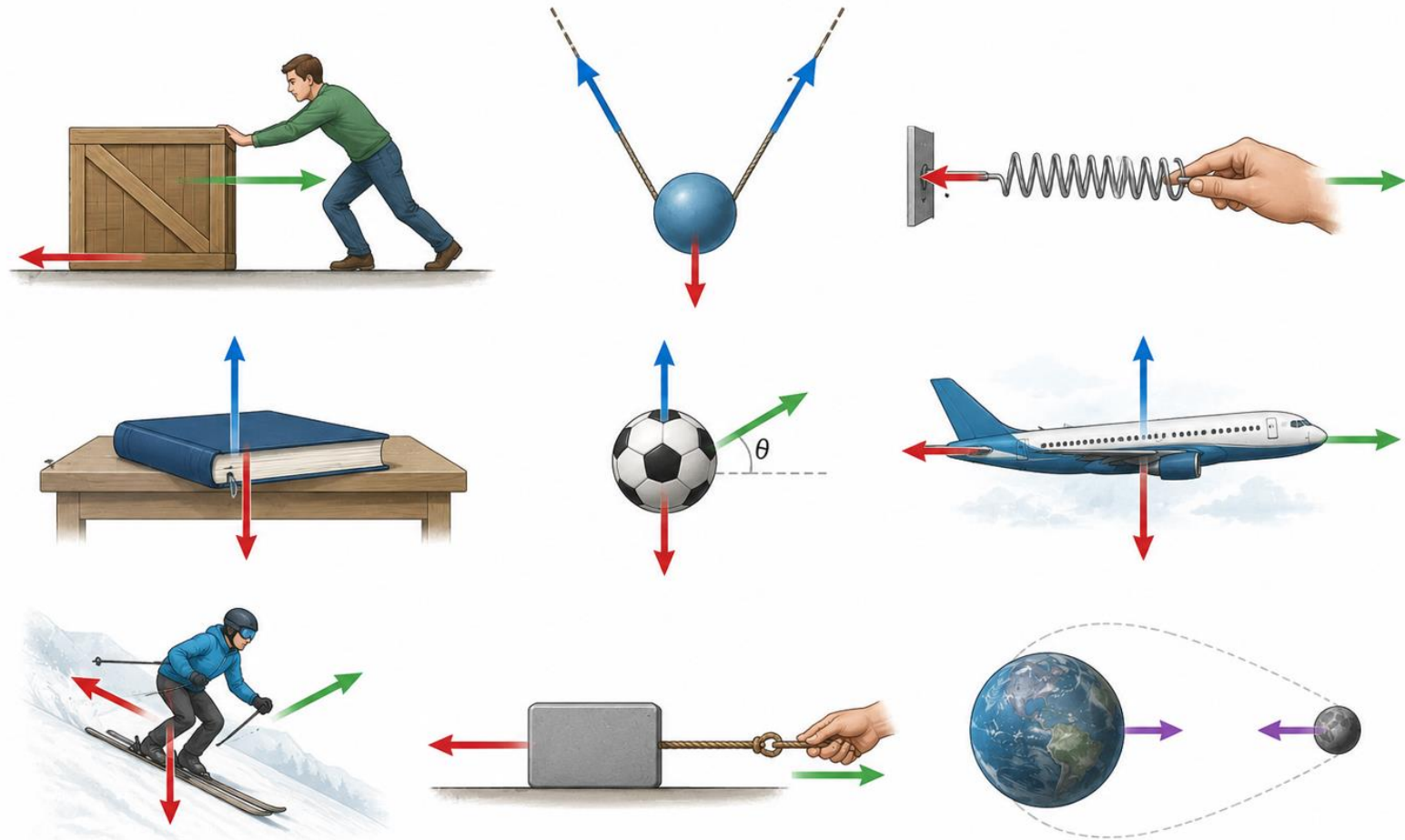
- **vektorová veličina → velikost, směr**



Na kterém obrázku je působící síla vyznačena špatně?

Má síla vždy pohybový účinek?

Kdy je těleso v klidu?



→ působící síla

→ proti síla

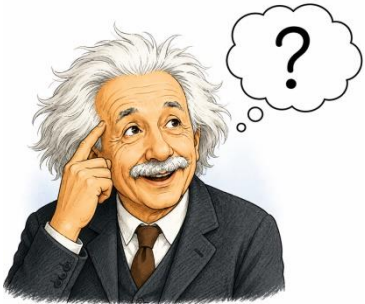
→ reakční (podpůrná) síla

→ gravitační síla

2. Vzájemné působení těles. Izolované těleso.

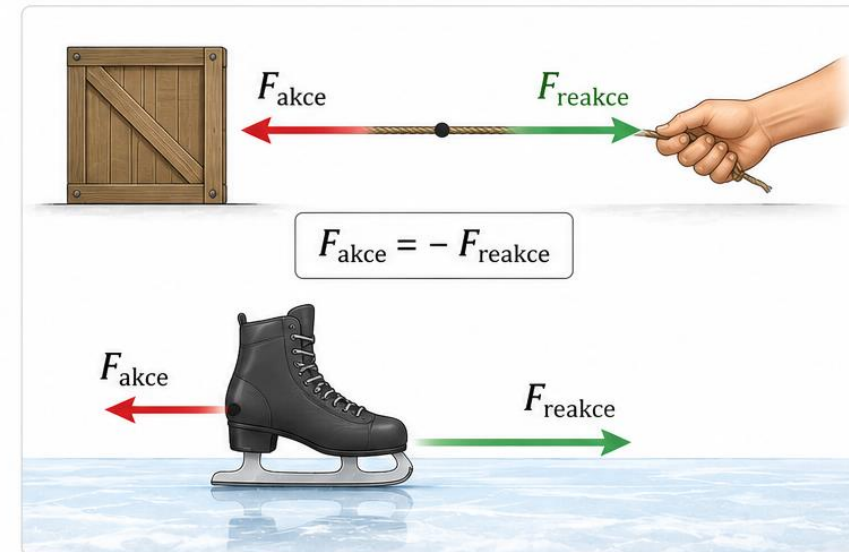
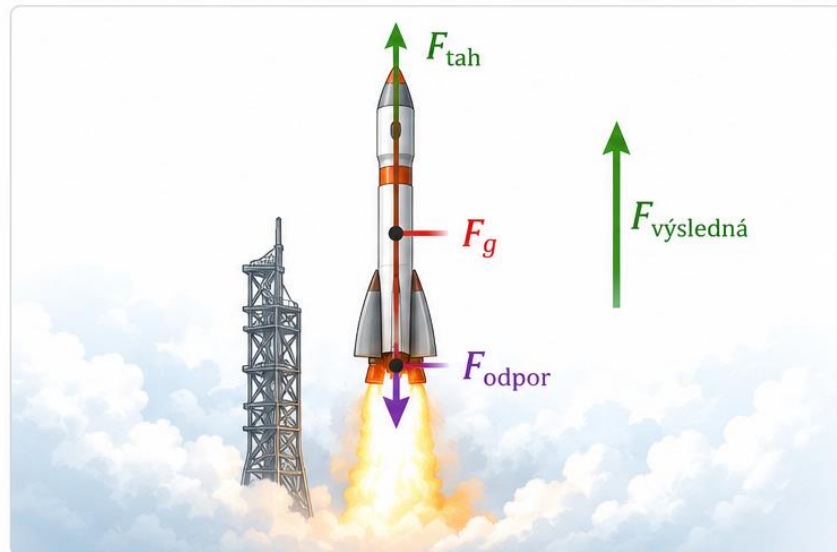
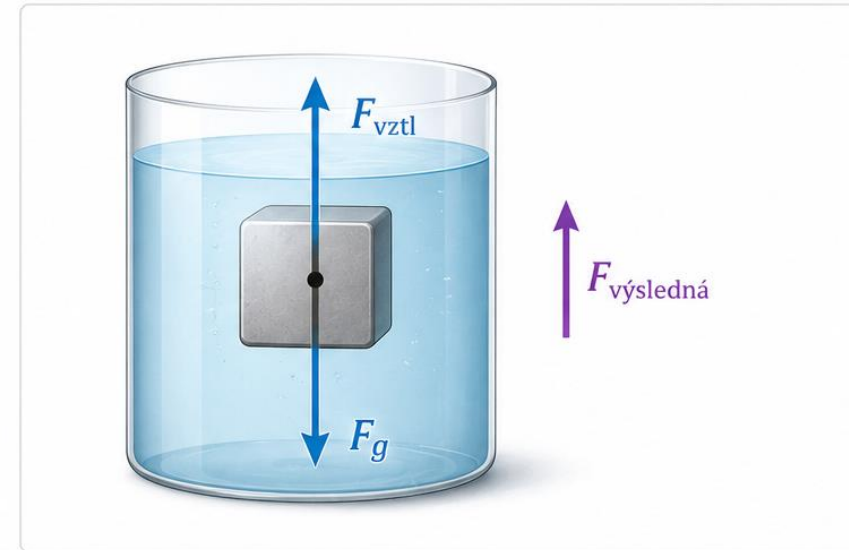
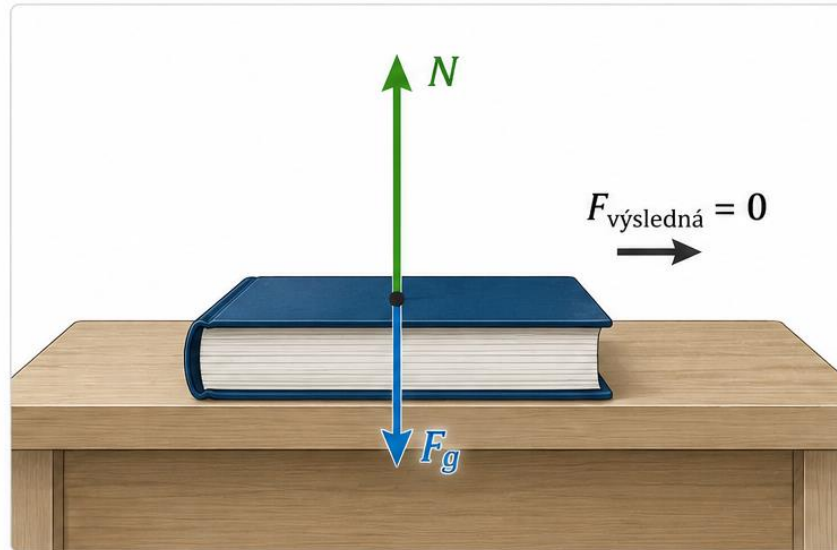
Výslednice sil

- působí-li na HB více sil najednou, lze je nahradit jednou silou, která má na HB stejný účinek jako jednotlivé působící síly



Na kterém obrázku není výsledná síla nulová, i když jsou jednotlivé síly stejně velké?

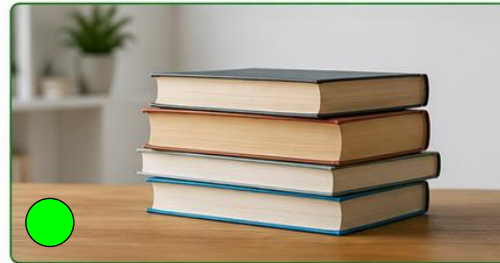
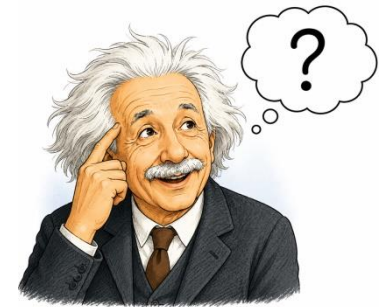
Síly vyznačující zákon akce a reakce – každá síla působí na jiné těleso a proto je nelze sčítat.



2. Vzájemné působení těles. Izolované těleso.

Izolované těleso

- těleso, na které nepůsobí žádné síly
- v praxi nelze realizovat, protože každé těleso je ovlivňováno silovým působením okolních těles
- **model izolovaného tělesa** – zavádíme z důvodu zjednodušení, výsledná síla působící na těleso je nulová (těleso je v relativním klidu nebo se pohybuje rovnoměrným přímočarým pohybem)



Knihy leží na stole.



Auto jede po přímé silnici konstantní rychlostí.



Míč je kopnutý a zrychluje.



Květináč stojí na parapetu.



Vlak jede po přímé trati konstantní rychlostí.



Auto brzdí a zpomaluje.



Batoh leží na zemi.



Plavec plave rovnoměrně přímo.



Lyžař zatáčí a mění směr pohybu.

Kterou situaci lze považovat za model izolovaného tělesa?

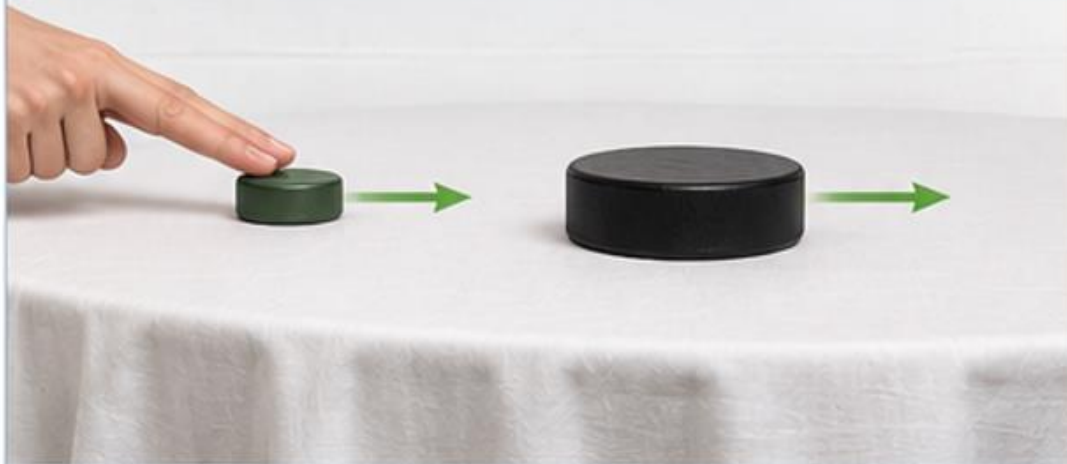
3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.

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

„Každé těleso setrvává ve svém klidovém stavu nebo rovnoměrném přímočarém pohybu, s výjimkou případů, kdy je nuceno tento stav změnit působícími silami.“

SETRVAČNOST – VLASTNOST HMOTY

Setrvačnost je vlastnost tělesa bránit se změně svého pohybu. Čím větší hmotnost, tím větší setrvačnost.



Lehký předmět se snáze rozjede i zastaví.
Těžký předmět mění svůj pohyb obtížněji.

ZÁKON SETRVAČNOSTI V PRAXI

V běžných situacích pozorujeme projevy setrvačnosti.

NÁHLÉ ZASTAVENÍ



ROZJEZD



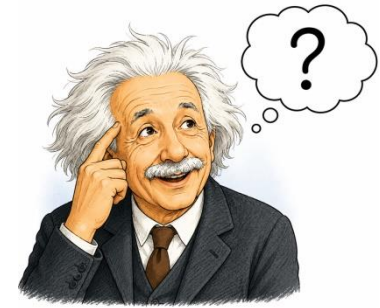
Tělo se setrvačností pohybuje vpřed.

Nemá-li člověk zapnuté bezpečnostní pásy, bývá výsledek fatální.

Při rozjezdu se tělo setrvačností pohybuje vzad.

Snaží se zachovat původní polohu.

3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.

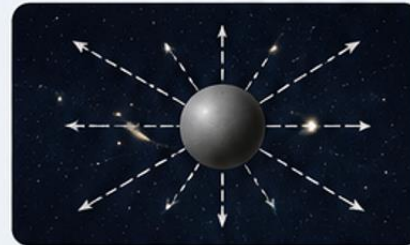


Odkud se bere setrvačnost?
Čeho je důsledkem?

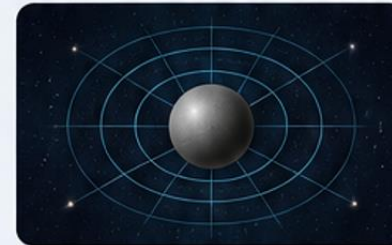
Z Einsteinovy OTR vyplývá, že setrvačnost je důsledkem zakřivení prostoročasu.

MACHŮV PRINCIP

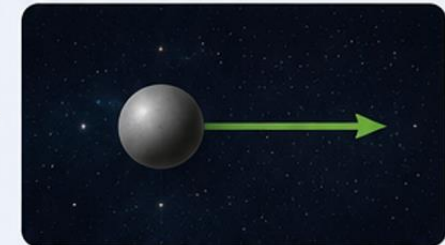
Podle Machova principu je setrvačnost tělesa dána jeho vzájemným působením s ostatní hmotou ve vesmíru.



Hmotnost „cítí“ ostatní hmotu ve vesmíru.



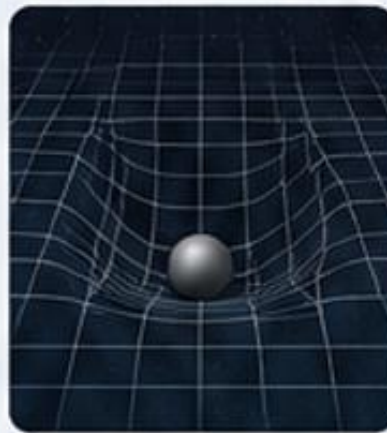
Tyto vzdálené hmoty určují, co vnímáme jako zrychlení.



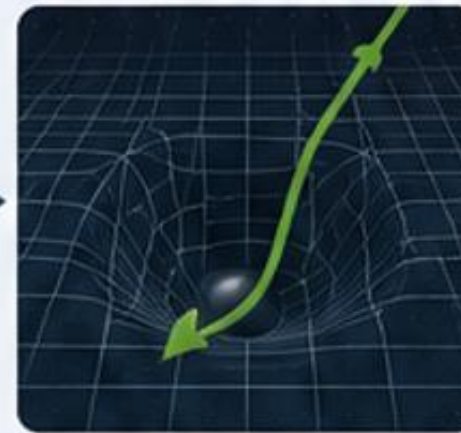
Bez této vazby by pojem zrychlení a setrvačnosti neměl smysl.

SETRVAČNOST PODLE EINSTEINA – OBEČNÁ TEORIE RELATIVITY

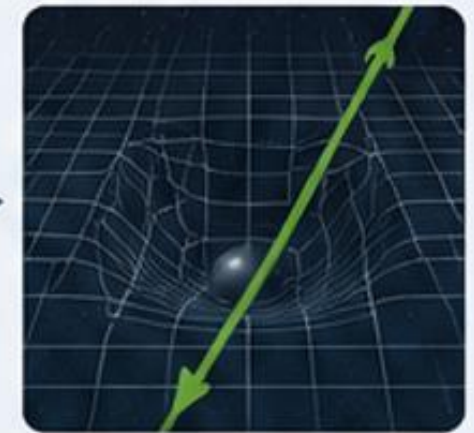
Einstein ukázal, že setrvačnost není jen vlastností hmoty, ale důsledkem zakřivení prostoročasu hmotou.



Hmotnost zakřivuje prostoročas.



Těleso se pohybuje po „nejrovnější“ možné dráze – geodetice.



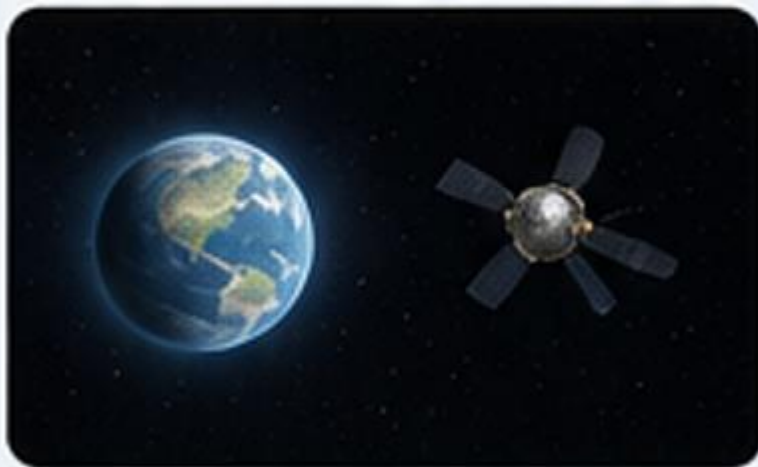
To vnímáme jako setrvačnost – těleso se pohybuje rovnoměrně, pokud na něj nepůsobí jiná hmota.

3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.

INERCIÁLNÍ VZTAŽNÁ SOUSTAVA

Inerciální vztažná soustava je taková, ve které platí zákon setrvačnosti – nepůsobí v ní žádné „skryté“ síly.

INERCIÁLNÍ SOUSTAVA



Např. vesmír daleko od hvězd – těleso se pohybuje rovnoměrně přímo, pokud na něj nepůsobí síly.

NEINERCIÁLNÍ SOUSTAVA



Např. vozík na horské dráze – v této soustavě působí setrvačné (zdánlivé) síly.

3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.



GALILEŮV PRINCIP RELATIVITY



Žádným mechanickým experimentem nelze rozlišit klid od rovnoměrného přímočarého pohybu.

MYŠLENKOVÝ EXPERIMENT – LOĎ



Uvnitř uzavřené kajuty probíhají všechny děje stejně, ať už loď stojí v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře. Nemůžeme to zjistit žádným mechanickým pokusem.

FORMULACE PRINCIPU



Ve všech inerciálních vztažných soustavách mají zákony mechaniky stejný tvar.

Žádným mechanickým experimentem uvnitř soustavy nelze rozlišit, zda je soustava v klidu, nebo se pohybuje rovnoměrně přímočaře.

CO TO ZNAMENÁ?

- ✓ Rovnoměrný přímočarý pohyb je z hlediska mechaniky ekvivalentní klidu.
- ✓ Neexistuje žádný mechanický pokus uvnitř soustavy, který by odhalil její rovnoměrný pohyb.
- ✓ Všechny inerciální soustavy jsou rovnocenné.

3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.

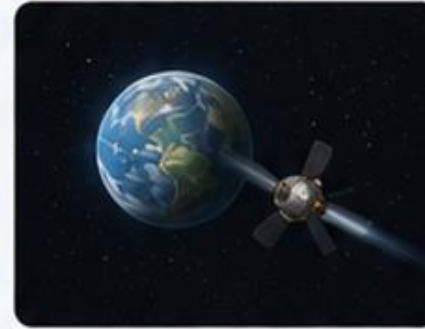
PŘÍKLADY INERCIÁLNÍCH VZTAŽNÝCH SOUSTAV



Vlak jedoucí stálou rychlostí po přímé trati.



Auto jedoucí konstantní rychlostí po dálnici.



Kosmická loď daleko od působení jiných těles.

NEINERCIÁLNÍ SOUSTAVA



Na horské dráze můžeme účinky zrychlení rozpoznat (tlak do sedačky, změna tíhy).

JEDNODUCHÁ DEMONSTRACE



Míček hozený svisle vzhůru dopadne zpět do ruky, ať už vlak stojí, nebo jede stálou rychlostí.

MATEMATICKÉ VYJÁDRĚNÍ

Galileova transformace mezi vztažnými soustavami v klidu vůči sobě nebo v rovnoměrném pohybu:

$$x' = x - vt$$

$$y' = y$$

$$z' = z$$

$$t' = t$$

v – stálá rychlost soustavy S' vzhledem k S ve směru osy x
 t – čas, který je ve všech inerciálních soustavách stejný (absolutní čas podle Galilea)

DŮSLEDKY PRINCIPU



Zákony mechaniky mají ve všech inerciálních soustavách stejný tvar.



Pohyb rovnoměrný a přímočarý je „nepozorovatelný“ zevnitř soustavy.



Setrvačný pohyb není ničím výjimečný – je přirozeným stavem tělesa.

3. První Newtonův zákon – zákon setrvačnosti.

OD GALILEA K EINSTEINOVÍ

GALILEO GALILEI
(1564–1642)



Formuloval princip relativity
kolem roku 1632.



ISAAC NEWTON
(1642–1727)



Zákon setrvačnosti:
Těleso setrvává ve stavu klidu
nebo rovnoměrného přímočarého
pohybu, pokud není nuceno
vnější silou tento stav změnit.



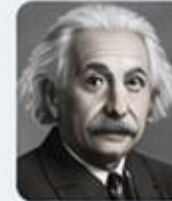
ERNST MACH
(1838–1916)



Machův princip:
Setrvačnost tělesa je dána
jeho vzájemným působením
s hmotou ve vesmíru.



ALBERT EINSTEIN
(1879–1955)



V obecné teorii relativity
je setrvačnost důsledkem
zakřivení časoprostoru
hmotou a energií.



SHRNUTÍ



Galileův princip relativity je základním kamenem klasické mechaniky.
Říká nám, že **všechny inerciální soustavy jsou si rovny**
a příroda se v nich chová stejně.

*„Kniha přírody je napsána
jazykem matematiky.“*

– Galileo Galilei

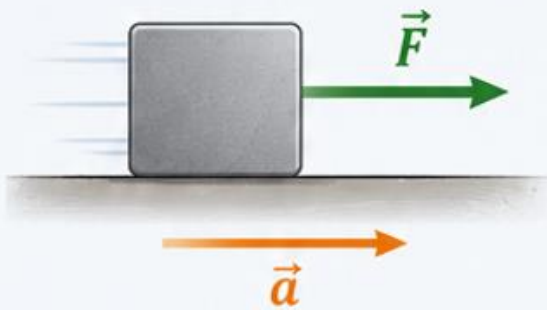
4. Druhý Newtonův zákon – zákon síly.

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

Působí-li na těleso o hmotnosti m síla F , uděluje tomuto tělesu zrychlení a , které je přímo úměrné velikosti působící síly a nepřímo úměrné hmotnosti tělesa.

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

CO ZÁKON ŘÍKÁ?



Těleso se pohybuje takovým zrychlením, které má **stejný směr** jako výsledná síla.

Čím **větší je síla**,
tím **větší je zrychlení**.

Čím **větší je hmotnost**,
tím **menší je zrychlení**.

JEDNOTKY

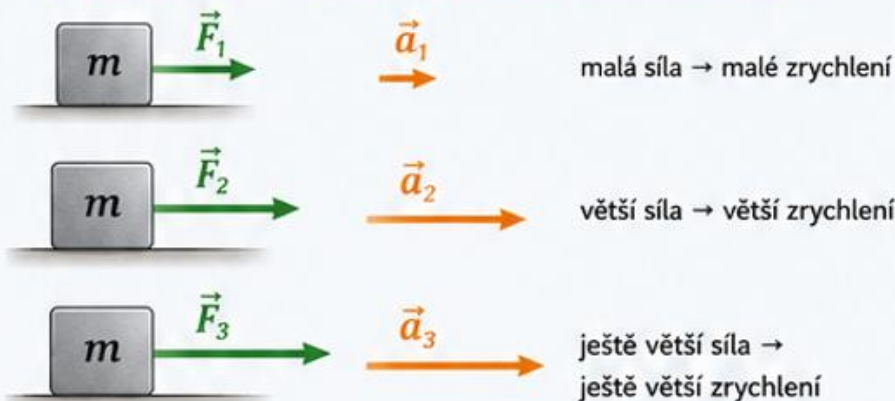
Síla: 1 N (newton)
 $1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

Zrychlení: $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$

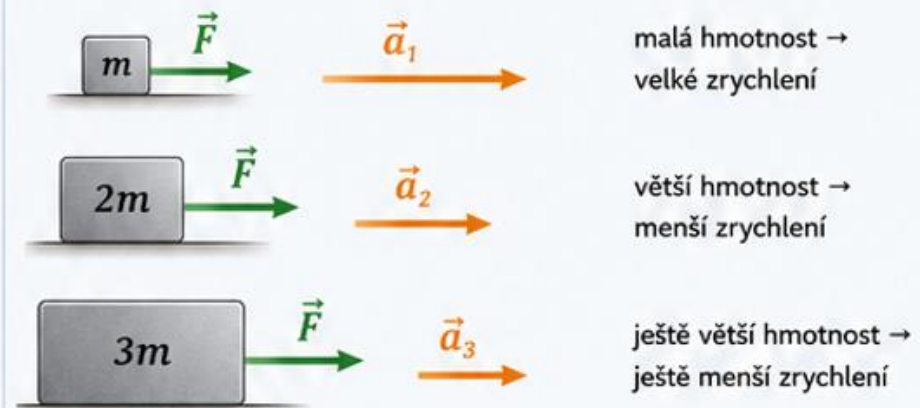
Hmotnost: 1 kg

PŘÍKLADY

1) VĚTŠÍ SÍLA → VĚTŠÍ ZRYCHLENÍ (hmotnost stejná)



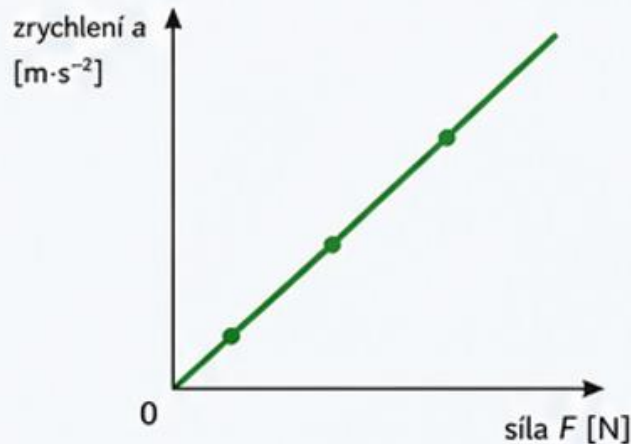
2) VĚTŠÍ HMOTNOST → MENŠÍ ZRYCHLENÍ (síla stejná)



4. Druhý Newtonův zákon – zákon síly.

ZÁVISLOSTI ZRYCHLENÍ

1) ZÁVISLOST ZRYCHLENÍ NA SÍLE (hmotnost konstantní)



Při konstantní hmotnosti je zrychlení přímo úměrné působící síle.

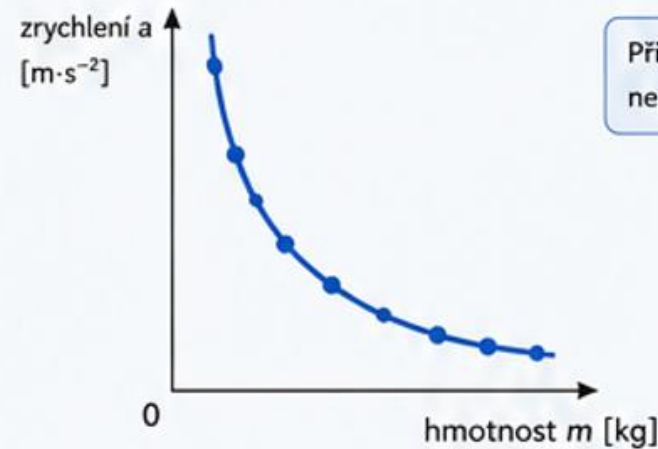
$$a \propto F$$

nebo

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

Zdvojnásobíme-li sílu, zrychlení se zdvojnásobí.

2) ZÁVISLOST ZRYCHLENÍ NA HMOTNOSTI (síla konstantní)



Při konstantní síle je zrychlení nepřímo úměrné hmotnosti.

$$a \propto \frac{1}{m}$$

nebo

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

Zdvojnásobíme-li hmotnost, zrychlení se zmenší na polovinu.

DŮSLEDKY ZÁKONA



Stejná síla udělí různým tělesům různé zrychlení.



Těžší těleso se rozjede hůře (menší zrychlení).



Menší síla může způsobit znatelné zrychlení u lehkého tělesa.



Směr zrychlení je stejný jako směr výsledné síly.

PŘÍKLAD



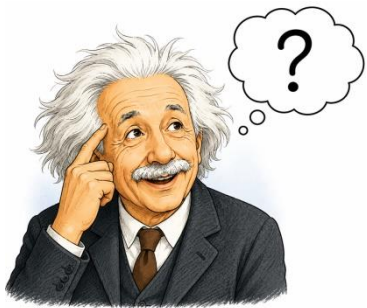
Síla, kterou působíš na vozík, určuje, jakým zrychlením se bude rozjíždět.

Čím těžší náklad, tím menší zrychlení.

Setrvačná hmotnost vs. gravitační hmotnost

- setrvačnou hmotnost určíme dynamicky ze vztahu $m = F/a$ pokud těleso nelze klasicky zvážit

5. Třetí Newtonův zákon – zákon akce a reakce.

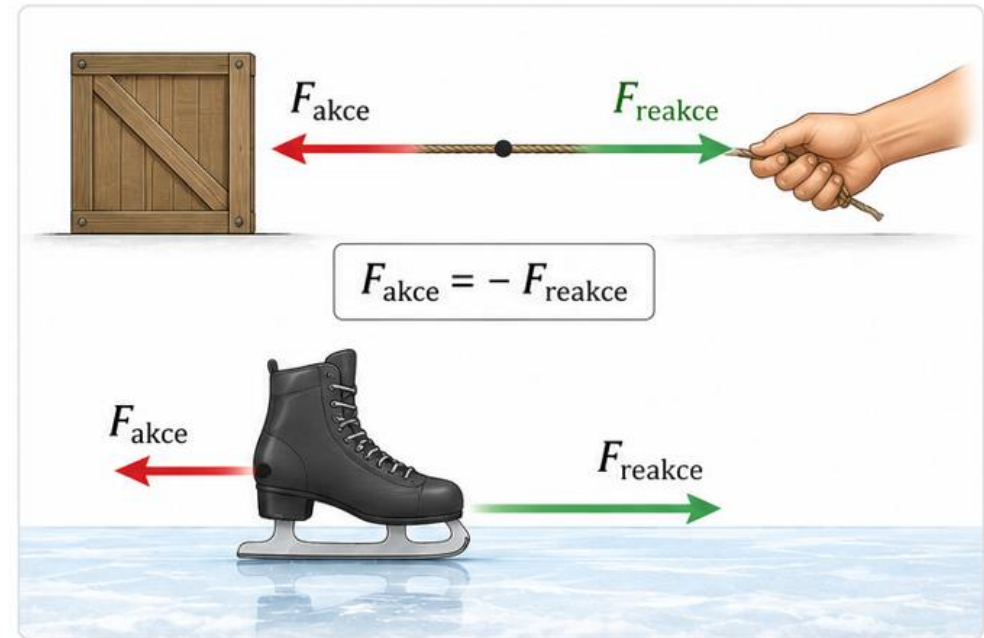


Kde už jsme se setkali se zákonem akce a reakce?

Při určování výslednice dvou sil opačného směru a stejné velikosti.

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

„Na akci je vždy opačná a stejná reakce; nebo: akce dvou těles na sebe jsou vždy stejné a směřují v opačných směrech.“



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

F_1 – **akce**
 F_2 – **reakce**

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

- síly mají **stejnou velikost**
- síly mají **opačný směr**
- účinky sil se vzájemně neruší
- **výslednice sil není nulová**, protože každá síla působí na jiné těleso

5. Třetí Newtonův zákon – zákon akce a reakce.

1) ZPĚTNÝ RÁZ PŘI STŘELBĚ Z PUŠKY



2) „NEPOSEDNÁ“ HASIČSKÁ HADICE

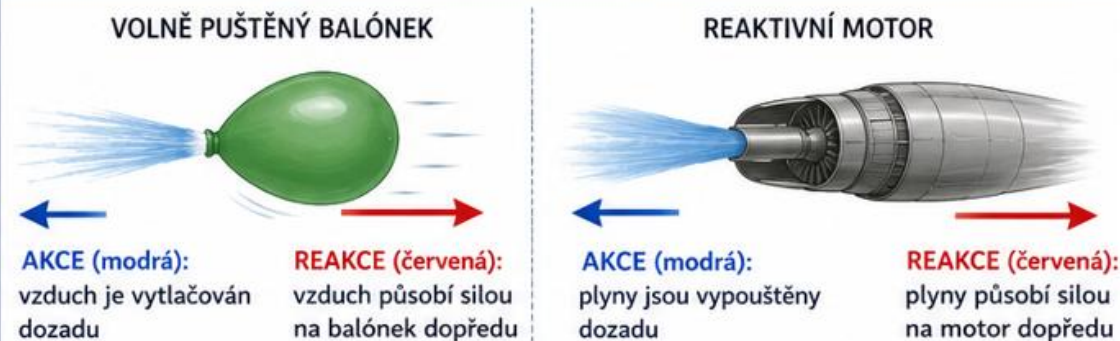


3) BOJOVÉ SPORTY



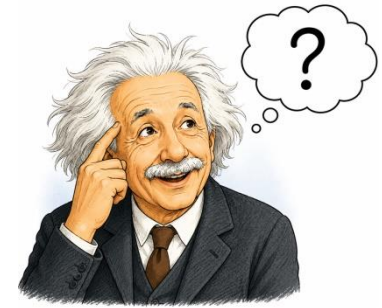
4) VYUŽITÍ V PRAXI – REAKTIVNÍ MOTORY

(princip volně puštěného nafouknutého balónku)

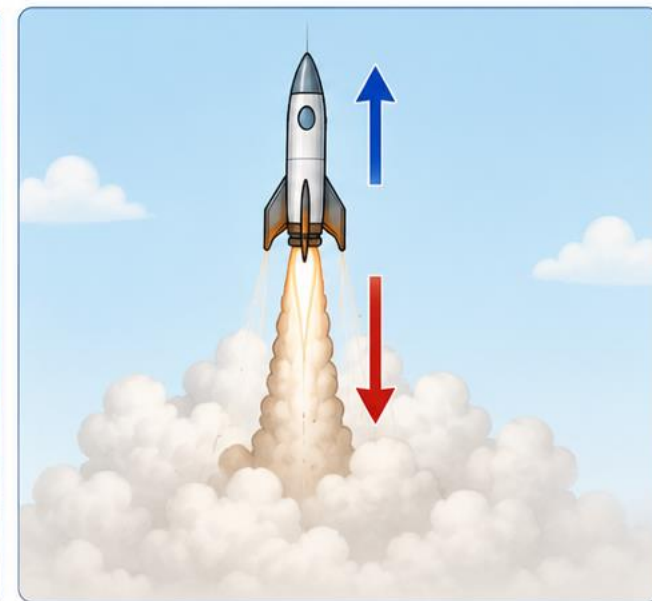
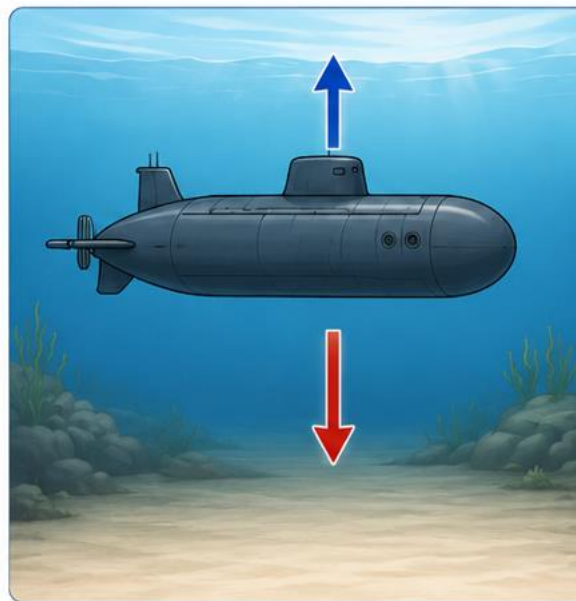
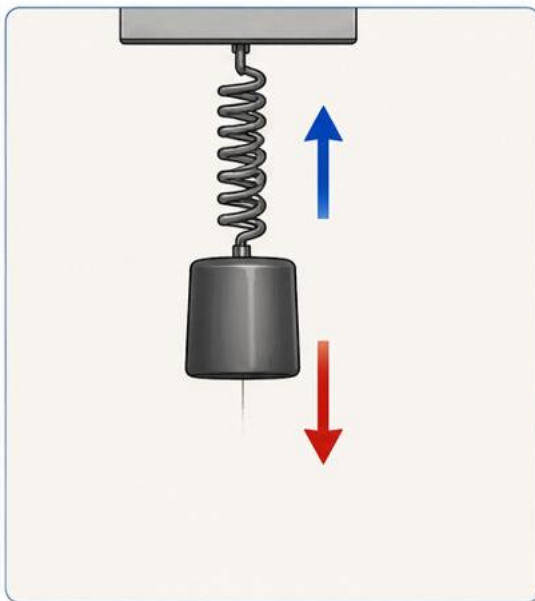
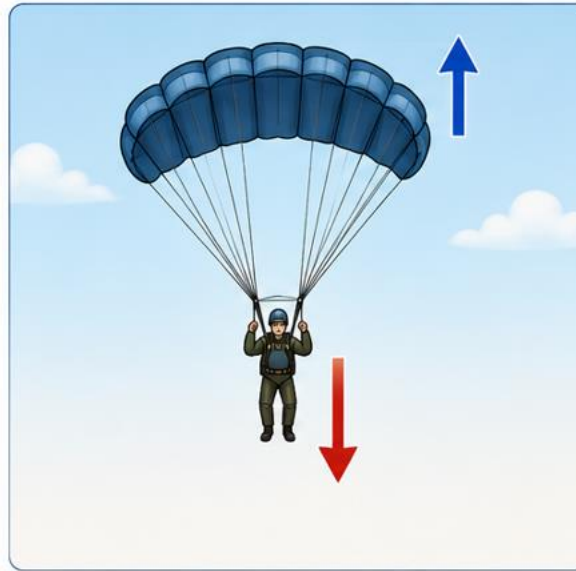
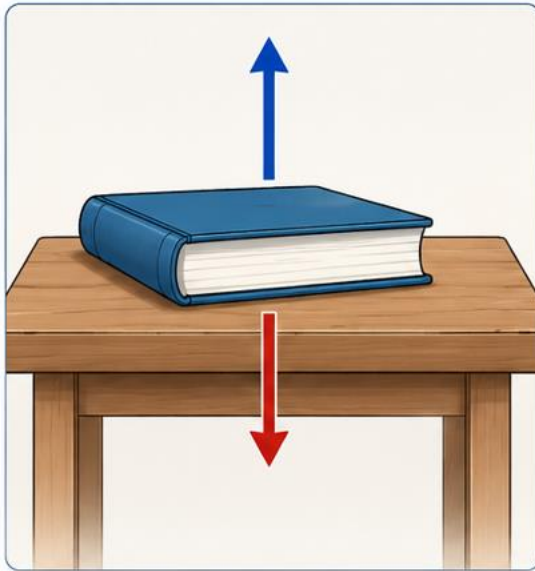


Stejný princip: něco (plyn/vzduch) urychlíme dozadu → získáme pohyb dopředu.

5. Třetí Newtonův zákon – zákon akce a reakce.



Který z obrázků zobrazuje akci a reakci?



5. Třetí Newtonův zákon – zákon akce a reakce.

VYPADÁ TO JAKO AKCE A REAKCE, ALE NENÍ!

Síly mohou mít stejnou velikost a opačný směr, ale pokud působí na stejné těleso, nejde o akci a reakci.

1) KNIHA NA STOLE



Obě síly působí na **knihu**.
Skutečná akce–reakce: **Země** působí na **knihu** a **knihu** působí na **Zemi**.

2) PADÁK KLESAJÍCÍ STÁLOU RYCHLOSTÍ



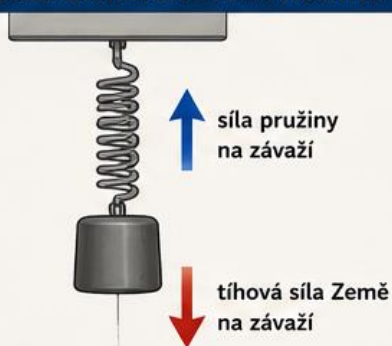
Obě síly působí na **padák**.
Skutečná akce–reakce: **padák** působí na **vzduch** a **vzduch** působí na **padák**.

3) AUTO JEDOUČÍ KONSTANTNÍ RYCHLOSTÍ



Obě síly působí na **auto**.
Skutečná akce–reakce: **auto** působí na **silnici** (třením) a **silnice** působí na **auto**.

4) ZÁVAŽÍ ZAVĚŠENÉ NA PRUŽINĚ



Obě síly působí na **závaží**.
Skutečná akce–reakce: **závaží** působí na **pružinu** a **pružina** působí na **závaží**.

5) PONORKA V HLOUBCE (STÁLOVÁNÍ)



Obě síly působí na **ponorku**.
Skutečná akce–reakce: **ponorka** působí na **vodu** a **voda** působí na **ponorku**.

6) RAKETA LETÍCÍ STÁLOU RYCHLOSTÍ



Obě síly působí na **raketu**.
Skutečná akce–reakce: **raketa** působí na **plyny** (spaliny) a **plyny** působí na **raketu**.

JAK POZNÁM SKUTEČNOU DVOJICI AKCE A REAKCE?

- ✓ Síly mají stejnou velikost.
- ✓ Vznikají současně.
- ✓ Mají opačný směr.
- ✓ Působí na **různá tělesa**.

PŘÍKLADY SKUTEČNÝCH DVOJIC AKCE A REAKCE:



6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

BITVA NA BÍLÉ HOŘE

8. listopadu 1620

KDO PROTI KOMU?

STAVOVSKÉ VOJSKO



VS.

VOJSKO HABSBUKŮ



České stavy
pod vedením
Fridricha Falckého

Katolická liga
pod vedením
Jana T'Sercla z Tilly



asi 22 000 mužů
převážně pěchota,
málo zkušeností,
slabé velení



asi 30 000 mužů
zkušená armáda,
výborné dělostřelectvo,
disciplinovaná pěchota

KDY A KDE?



8. listopadu 1620



Bílá hora u Prahy
(dnes součást Prahy 6)



VÝSLEDEK



ROZHODNÉ VÍTĚZSTVÍ HABSBUKŮ

Stavovské vojsko se rozpadlo
a ustoupilo z Čech.
Fridrich Falcký uprchl do exilu.



DŮSLEDKY PRO ČESKÉ ZEMĚ



Obnovení vlády
Habsburků bez omezení.
Ztratily svou
politickou samostatnost.



Rekatolizace země.
Potlačení nekatolických
vyznání, především
protestantů.



Odchod stavů a
intelektuálů do exilu.
Oslabení vzdělanosti,
kultury a hospodářství.



Poprava 27 českých
pánů a rytířů
(21. 6. 1621 na Staroměstském
náměstí v Praze).



Centralizace moci
a posílení absolutismu
v českých zemích.



V řadách vítězné armády bojoval
i mladý důstojník z Francie,
který později proslul jako filozof
a matematik.

CESTA K BITVĚ



1618
Pražská defenestrace



1619
Povstání stavů



1620
Příchod vojska
Katolické ligy



8. 11. 1620
Bitva na Bílé hoře



Bitva na Bílé hoře znamenala
konec stavovského povstání
a začátek dlouhého období
habsburské absolutní vlády
v českých zemích.

RENÉ DESCARTES

(1596–1650)

Otec moderní filozofie a analytické geometrie

„Myslím, tedy jsem.“

(Cogito, ergo sum.)



Narodil se 31. března 1596
v La Haye (Francie).



Byl filozof, matematik a vědec,
který hledal jisté základy poznání.



Jeho dílo ovlivnilo filozofii,
vědu i matematiku na staletí.

KLÍČOVÉ MYŠLENKY



POCHYBOVÁNÍ

Vše, co mohu pochybovat,
je třeba odmítnout jako nejisté,
abych našel něco naprosto jistého.



COGITO

Jediné, o čem nelze pochybovat,
je samotné myšlení.
Pokud pochybuji, myslím,
a tedy jsem.



DUALISMUS

Svět se skládá ze dvou rozdílných
látek: mysl (res cogitans)
a hmoty (res extensa).



JISTOTA A JASNOST

Pravdivé je jen to, co je chápáno
jasně a zřetelně rozumem.

ŽIVOTNÍ MILNÍKY

1596
Narozen ve Francii

1618–1620
Vojenská služba
(války v Evropě)

1628
Usadil se v Nizozemsku,
věnoval se vědě
a filozofii

1637
Vydání
„Rozpravy o metodě“

1641
Vydání
„Meditací o první
filozofii“

1650
Zemřel ve Stockholmu
13. února 1650

6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

DESCARTOVA METODA

1 PŘIJÍMEJ JEN TO, CO JE JISTÉ

Nepřijímej nic za pravdivé, co není zjevně pravdivé.



2 ROZDĚLUJ PROBLÉMY

Rozděl každý problém na co nejmenší části.



3 POSTUPOJ OD JEDNODUCHÉHO KE SLOŽITÉMU

Začínej od nejjednoduššího a postupuj krok za krokem.



4 ÚPLNÉ PŘEZKOUMÁNÍ

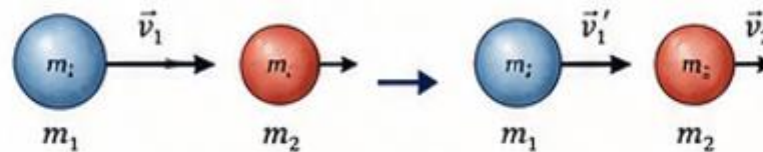
Udělej úplné výčty a přehledy, aby nic nebylo opomenuto.



PŘÍNOS VE FYZICE

ZÁKON ZACHOVÁNÍ POHYBU (HYBNOSTI)

Descartes vyslovil princip, že celková hybnost uzavřeného systému se nemění.



$$m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2 = m_1 \vec{v}_1' + m_2 \vec{v}_2'$$

HMOTA A POHYB

Pohyb vysvětloval jako vlastnost hmoty.

Jako první používal pojem množství pohybu (hybnost).

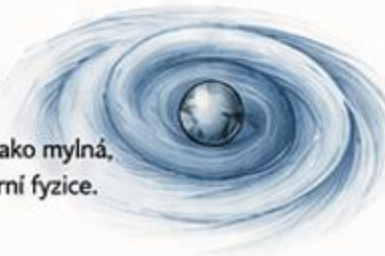
Hybnost tělesa: $\vec{p} = m \vec{v}$



TVAR VESMÍRU

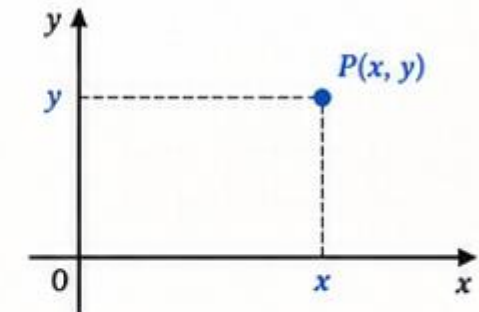
Země je kulatá a pohybuje se ve vírech (vírová teorie).

Tato představa se později ukázala jako mylná, ale byla důležitým krokem k moderní fyzice.



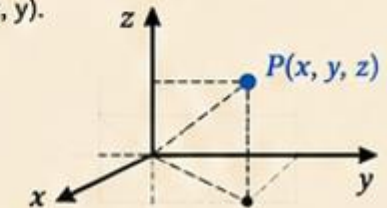
PŘÍNOS PRO MATEMATIKU: ANALYTICKÁ GEOMETRIE

Descartes spojil algebru s geometrií. Zavedl soustavu souřadnic, která umožňuje popisovat geometrické útvary pomocí rovnic.



SOUSTAVA SOUŘADNIC

Každý bod v rovině lze určit uspořádanou dvojicí čísel (x, y).



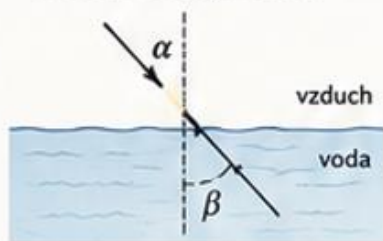
Tím vznikla analytická geometrie (geometrie souřadnic).

6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

OBJEVY V OPTICE

ZÁKON LOMU SVĚTLA

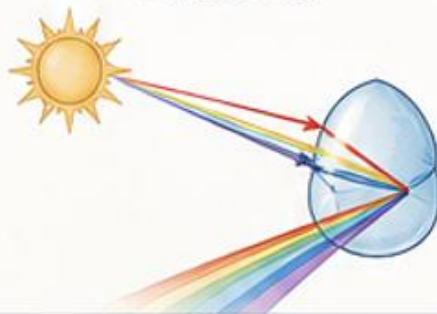
Descartes odvodil zákon lomu světla na základě mechanického modelu světelných částic.



$$n_1 \sin \alpha = n_2 \sin \beta$$

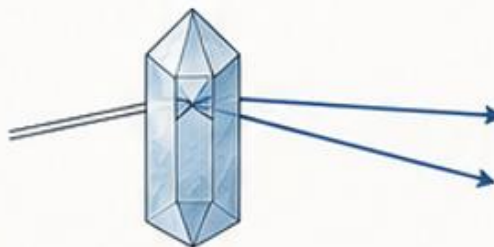
VYSVĚTLENÍ DUHY

Poprvé správně vysvětlil vznik duhy jako důsledek lomu a odrazu světla v kapkách vody.



DVOJLOMOVOST KRÝSTALŮ

Pozoroval, že některé krystaly lámají světlo ve dvou směrech. Byl prvním, kdo tento jev popsal.



TEORIE SVĚTLA

Považoval světlo za proud velmi jemných částic, které se šíří obrovskou rychlostí.



VOJÁK A CESTOVATEL

V mládí sloužil jako voják v nizozemské armádě a zúčastnil se bitvy na Bílé hoře (1620) na straně protestantů.



VÝZNAM JEHO VĚDECKÉ PRÁCE



Položil základy klasické mechaniky – předpoklad zachování hybnosti.



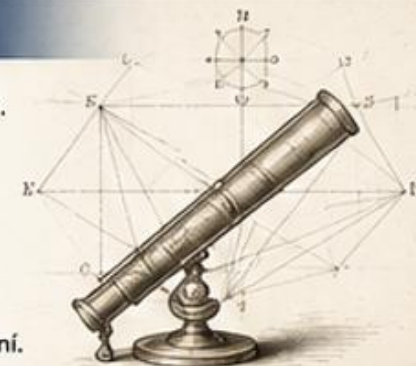
Významně přispěl k rozvoji optiky a studiu světla.



Zavedl matematické nástroje (souřadnice, rovnice), které se staly jazykem moderní fyziky.



Propojil matematiku, fyziku a filozofii do jednotného systému myšlení.



hybnost – $\vec{p}$ [p] = $kg \cdot m \cdot s^{-1}$

- vektorová veličina
- směr okamžité rychlosti
- charakterizuje pohybový stav tělesa

$$p = mv$$

6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

1) BOWLINGOVÁ KOULE

Hmotnost: 5,0 kg

Rychlost: 2,0 m/s



2) TENISOVÝ MÍČEK

Hmotnost: 0,050 kg

Rychlost: 200 m/s

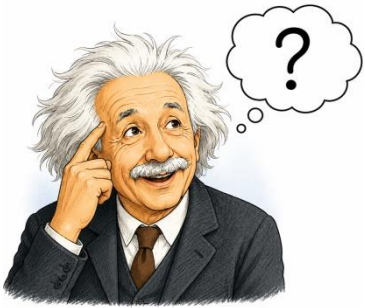


Která koule bude působit na kuželku po nárazu větší silou?

Bude-li každá koule působit na kuželku po stejnou dobu,
bude silový účinek obou koulí stejný, protože obě mají stejnou hybnost:

$$p_1 = m_1 v_1 = 5 \cdot 2 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \text{ kg m s}^{-1} \quad p_2 = m_2 v_2 = 0,05 \cdot 200 \text{ kg} \frac{\text{m}}{\text{s}} = 10 \text{ kg m s}^{-1}$$

6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.



Platí zákon síly
formulovaný vztahem
 $F = ma$ obecně?

**Neplatí. Platí pouze pro tělesa
s konstantní hmotností.**

Dokážete uvést příklad tělesa, u kterého se
při pohybu mění hmotnost?

Změna hybnosti

$$F = ma = m \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Zobecněný zákon síly

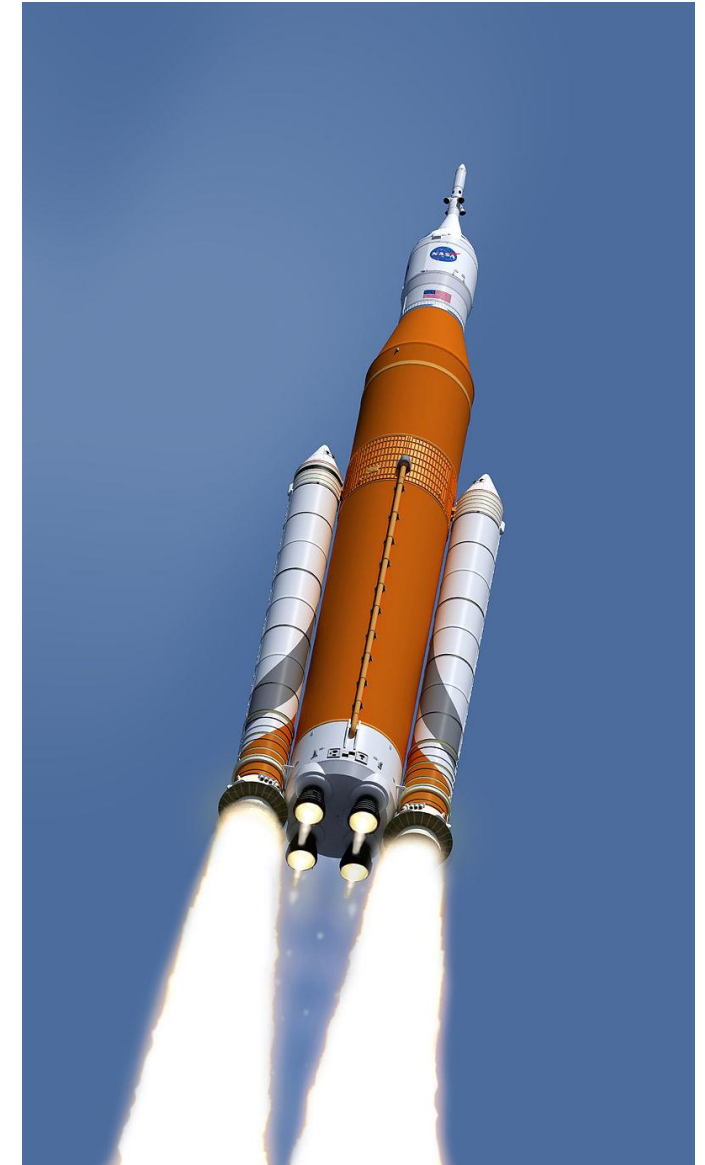
$$F = \frac{\Delta p}{\Delta t}$$

Impulz síly – I

$$[I] = \text{N} \cdot \text{s}$$

$$I = F \Delta t$$

- vyjadřuje časový účinek síly
- malá síla působící dlouhou dobu může uvést těleso do pohybu
- velká síla působící malý okamžik těleso do pohybu neuvede

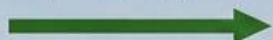


6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

1) MALÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ DLOUHOU DOBU

Člověk tlačí na zaparkované auto malou silou po delší dobu.

malá síla
($\approx 300 \text{ N}$)



působení: několik sekund

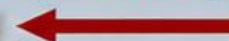


Výsledek: auto se dá do pohybu.
 $I = F \Delta t$ je dostatečně velký.

2) VELKÁ SÍLA PŮSOBÍCÍ VELMI KRÁTKOU DOBU

Kladivo udeří do auta velkou silou, ale jen na velmi krátký okamžik.

velká síla
($\approx 20\,000 \text{ N}$)



působení: jen několik milisekund



Výsledek: auto se téměř nepohne.
 $I = F \Delta t$ je velmi malý.



Proč malé působení síly po dlouhou dobu rozjede auto, zatímco krátký úder mnohem větší silou téměř ne?



Pohybový účinek síly nezávisí jen na velikosti síly, ale i na době, po kterou síla působí. Rozhoduje impuls síly: $I = F \Delta t$ (změna hybnosti).

6. Hybnost. Změna hybnosti. Impulz síly.

1) AIRBAG – RYCHLÉ NAFOUKNUTÍ



Doba nafouknutí:
 $\approx 20\text{--}50\text{ ms}$



Síla plynu:
velká



Výsledek:
airbag se prudce
rozvine a zachytí
řidiče

Velká síla působí po velmi krátkou dobu.

2) POUŤOVÝ BALÓNEK – POMALÉ NAFOUKNUTÍ



Doba nafukování:
několik sekund
(5–30 s)



Síla plynu:
malá



Výsledek:
balónek se pomalu
nafoukne do velké
velikosti

Malá síla působí po dlouhou dobu.



Co mají společného airbag a pouťový balónek?



V obou případech rozhoduje nejen velikost síly, ale i **doba** jejího působení.
Účinek síly závisí na **impulzu síly**: $I = F \cdot \Delta t$ (změna hybnosti).

7. Zákon zachování hybnosti.

Izolovaná soustava těles

- skupina těles, na kterou nepůsobí žádná vnější síla nebo je výslednice vnějších sil nulová
- Př. puška s nábojem v zásobníku, biliárové koule před rozstřelem

1) DVA BRUSLAŘI NA LEDĚ
Dva bruslaři stojí v klidu a odstrčí se.



Před odstrčením: celková hybnost = 0
Po odstrčení: součet hybností zůstává nulový.
 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$

2) KOSMONAUTI VE VESMÍRU
Dva kosmonauti se od sebe odrazí.



Před odrazem: celková hybnost = 0
Po odrazu: součet hybností zůstává nulový.
 $m_1 v_1 + m_2 v_2 = 0$

3) VÝSTŘEL Z PUŠKY (ZPĚTNÝ RÁZ)
Kulka letí vpřed, puška se pohne vzad.



Před výstřelem: celková hybnost = 0
Po výstřelu: $m_{kulka} v_{kulka} + m_{puška} v_{puška} = 0$

4) ČLOVĚK NA SKEJTU HÁZÍ MÍČ
Míč letí dopředu, člověk se pohne dozadu.



Před hodem: celková hybnost = 0
Po hodu: $m_{míč} v_{míč} + m_{člověk} v_{člověk} = 0$



ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI:

V izolované soustavě těles se celková hybnost soustavy zachovává.

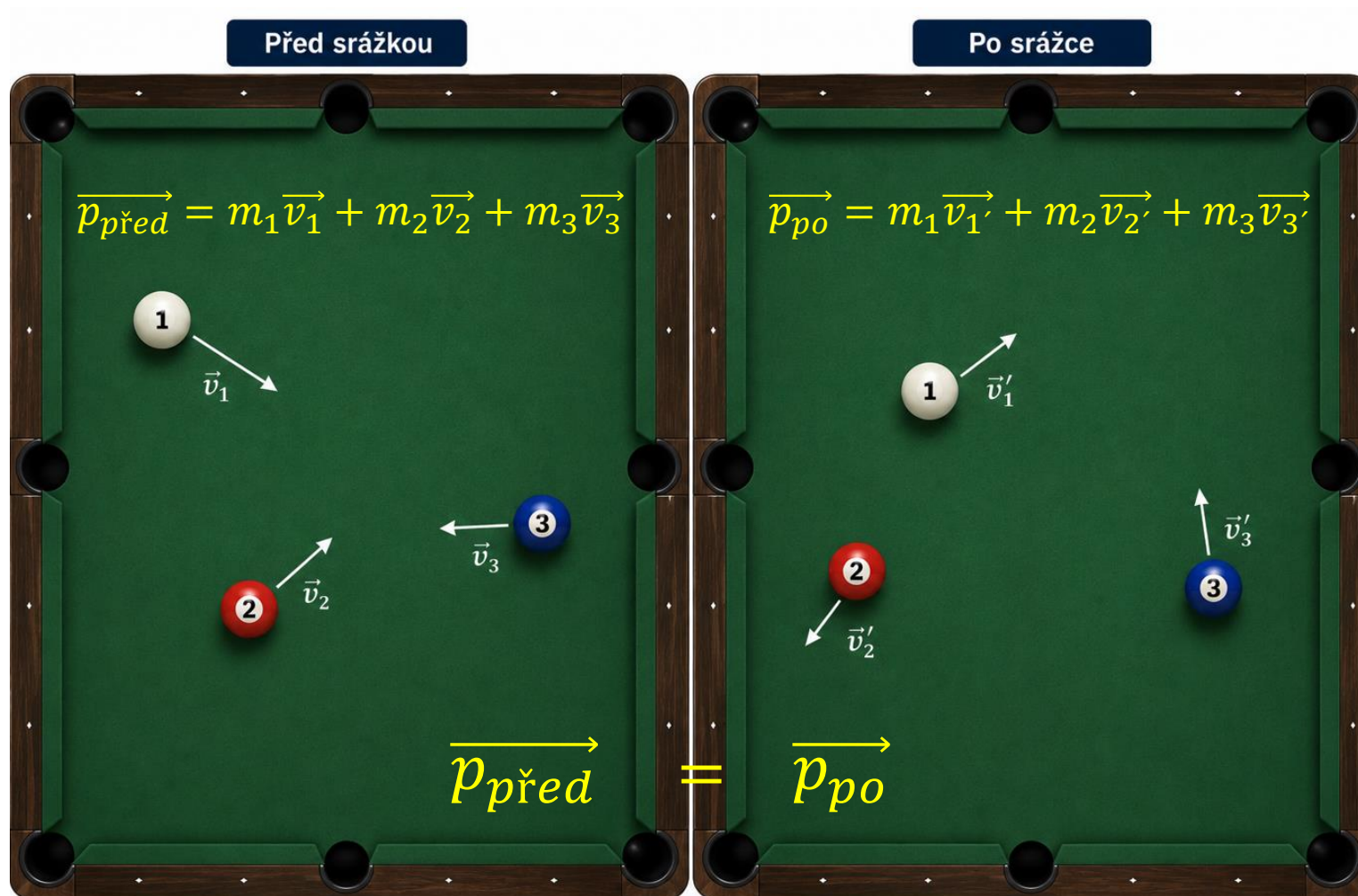
$$\vec{p}_{\text{celkem před}} = \vec{p}_{\text{celkem po}}$$

7. Zákon zachování hybnosti.

Zákon zachování hybnosti

Celková hybnost izolované soustavy hmotných bodů (těles) se vzájemným působením nemění a zůstává konstantní (stálá).

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



7. Zákon zachování hybnosti.

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI

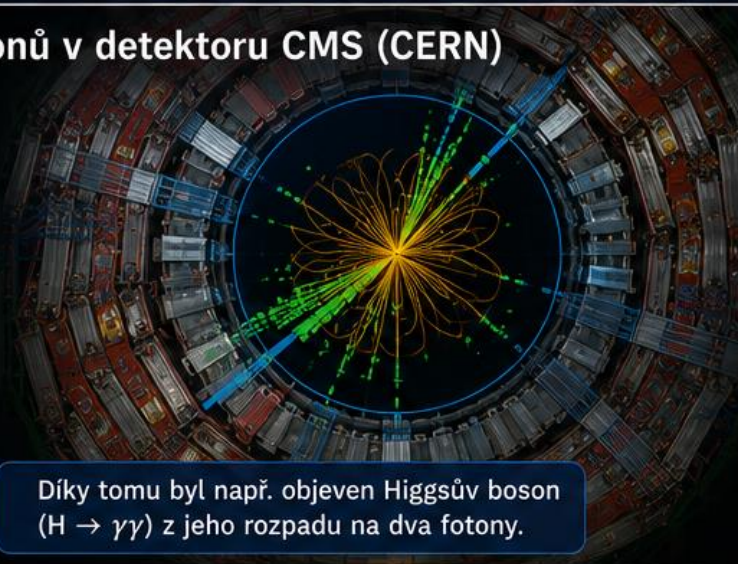
Od Higgsova bosonu až po srážky černých děr – hybnost se vždy zachovává.

1 Srážky protonů v detektoru CMS (CERN)

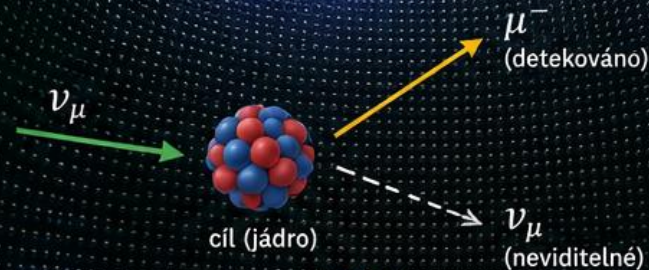
Dva protony se srazí téměř rychlostí světla. Vzniknou nové částice, které často okamžitě zaniknou.

Z měřených částic (fotonů, mionů, ...) využijeme zákon zachování hybnosti a energie k určení neviditelných částic.

Díky tomu byl např. objeven Higgsův boson ($H \rightarrow \gamma\gamma$) z jeho rozpadu na dva fotony.



2 Neutrino a „chybějící“ hybnost



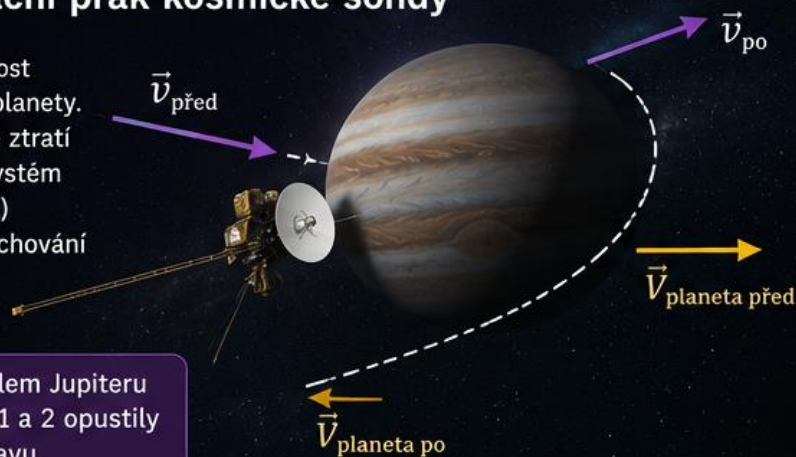
Neutrino proletí detektorem bez stopy. Z naměřených částic (detekovaný mion) a ze zákona zachování hybnosti poznáme, že zde neutrino bylo!

Částice může být objevena, aniž by byla přímo pozorována.

3 Gravitační prak kosmické sondy

Sonda získá rychlost průletem kolem planety. Planeta nepatrně ztratí hybnost – celý systém (planeta + sonda) splňuje zákon zachování hybnosti.

Díky průletu kolem Jupiteru sondy Voyager 1 a 2 opustily Sluneční soustavu.



4 Srážka a splynutí černých děr (LIGO)

Gravitační vlny odnášejí část hybnosti do prostoru.

Nově vzniklá černá díra dostane „kopanec“ (recoil) a pohybuje se určitou rychlostí.

Při splynutí dvou černých děr se zachovává celková hybnost systému (obě díry + gravitační vlny).

Některé černé díry byly urychleny na více než 1000 km/s a mohou být dokonce vymrštěny ze své galaxie.



Od mikrosvěta ...



... až po největší objekty ve vesmíru

$$\vec{p}_{\text{celkem před}} = \vec{p}_{\text{celkem po}}$$

Celková hybnost izolované soustavy těles se zachovává.

7. Zákon zachování hybnosti – příklad 1.

Srážka vagónků – dokonale nepružná (spojí se)

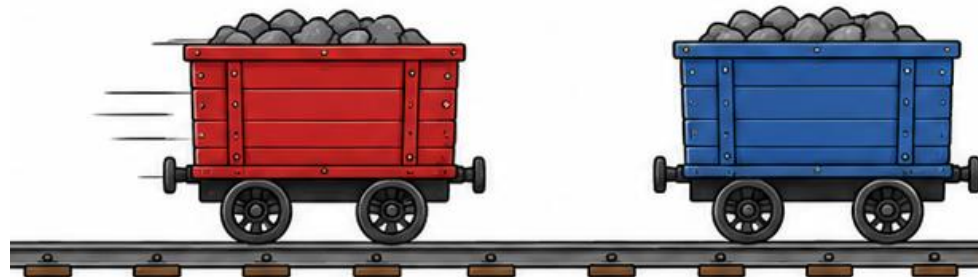
PŘED SRÁŽKOU

$$m_1 = 2,0 \text{ kg}$$

$$m_2 = 3,0 \text{ kg}$$

$$v_1 = 3,0 \text{ m/s}$$

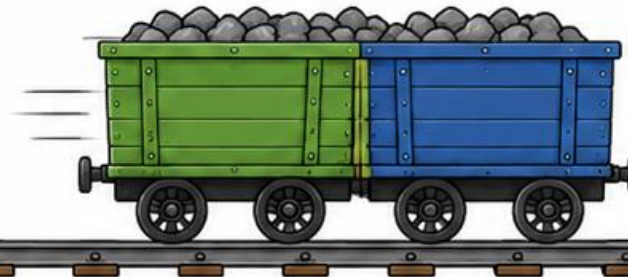
$$v_2 = 0 \text{ m/s}$$



PO SRÁŽCE

$$m_{12} = m_1 + m_2 = 2,0 + 3,0 = 5,0 \text{ kg}$$

$$\vec{v}'$$



·HYBNOST PŘED SRÁŽKOU:

$$p_1 = m_1 v_1 = 2,0 \text{ kg} \cdot 3,0 \text{ m/s} = 6,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$p_2 = m_2 v_2 = 3,0 \text{ kg} \cdot 0 \text{ m/s} = 0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$p_{\text{před}} = p_1 + p_2 = 6,0 + 0 = \mathbf{6,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI:

celková hybnost se zachovává

$$\vec{p}_{\text{před}} = p_{\text{po}}$$

·HYBNOST PO SRÁŽCE:

$$m_{12} = 5,0 \text{ kg}$$

$$p_{\text{po}} = m_{12} v' = 5,0 \text{ kg} \cdot v'$$

Protože $p_{\text{před}} = p_{\text{po}}$:

$$6,0 = 5,0 \cdot v'$$

$$v' = \frac{6,0}{5,0} = \mathbf{1,2 \text{ m/s}}$$

VÝSLEDEK: Po nárazu se oba vagónky spojí a pokračují společně rychlostí 1,2 m/s doprava.

7. Zákon zachování hybnosti – příklad 2.

Srážka vagónků – dokonale nepružná (spojí se)

SITUACE 2: Oba vozíky jedou stejným směrem, rychlejší narazí do pomalejšího.

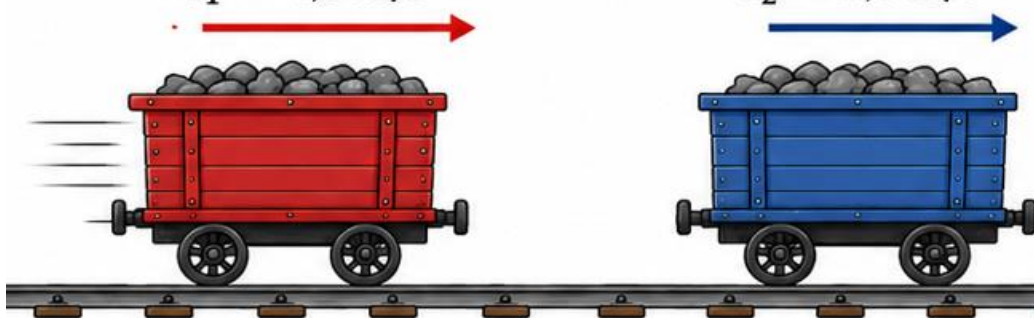
PŘED SRÁŽKOU

$$m_1 = 2,0 \text{ kg}$$

$$v_1 = 4,0 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 3,0 \text{ kg}$$

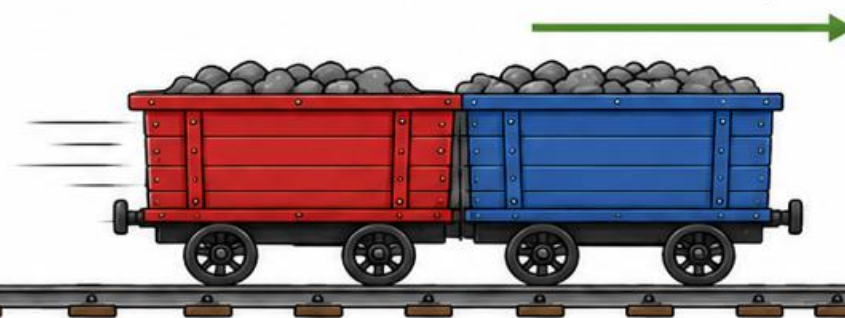
$$v_2 = 1,0 \text{ m/s}$$



PO SRÁŽCE

$$m_{12} = m_1 + m_2 = 2,0 + 3,0 = 5,0 \text{ kg}$$

$$v'$$



·HYBNOST PŘED SRÁŽKOU:

$$p_1 = m_1 v_1 = 2,0 \text{ kg} \cdot 4,0 \text{ m/s} = 8,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$p_2 = m_2 v_2 = 3,0 \text{ kg} \cdot 1,0 \text{ m/s} = 3,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$p_{\text{před}} = p_1 + p_2 = 8,0 + 3,0 = \mathbf{11,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}}$$

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI:

celková hybnost se zachovává

$$\vec{p}_{\text{před}} = p_{\text{po}}$$

·HYBNOST PO SRÁŽCE:

$$m_{12} = 5,0 \text{ kg}$$

$$p_{\text{po}} = m_{12} v' = 5,0 \text{ kg} \cdot v'$$

Protože $p_{\text{před}} = p_{\text{po}}$:

$$11,0 = 5,0 \cdot v'$$

$$v' = \frac{11,0}{5,0} = \mathbf{2,2 \text{ m/s}}$$

VÝSLEDEK: Po nárazu se oba vagónky spojí a pokračují společně rychlostí 2,2 m/s doprava.

7. Zákon zachování hybnosti – příklad 3.

Srážka vagónků – dokonale nepružná (spojí se)

SITUACE 3: Vagónky jedou proti sobě, po nárazu se spojí a pokračují jedním směrem.

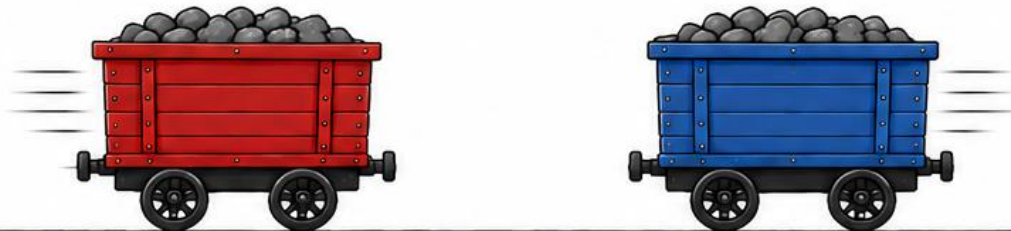
PŘED SRÁŽKOU

$$m_1 = 2,0 \text{ kg}$$

$$v_1 = 2,0 \text{ m/s}$$

$$m_2 = 3,0 \text{ kg}$$

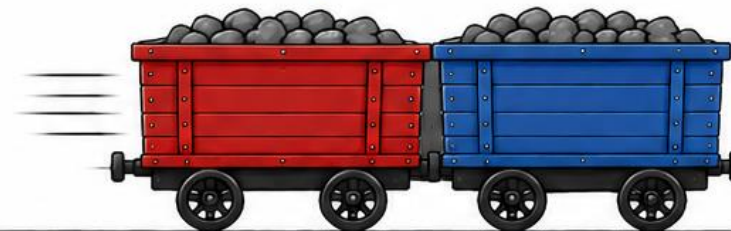
$$v_2 = -4,0 \text{ m/s}$$



PO SRÁŽCE

$$m_{12} = m_1 + m_2 = 2,0 + 3,0 = 5,0 \text{ kg}$$

$$\vec{v}'$$



·HYBNOST PŘED SRÁŽKOU:

$$p_1 = m_1 v_1 = 2,0 \text{ kg} \cdot 2,0 \text{ m/s} = 4,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$p_2 = m_2 v_2 = 3,0 \text{ kg} \cdot (-4,0 \text{ m/s}) = -12,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

$$\vec{p}_{\text{před}} = p_1 + p_2 = 4,0 + (-12,0) = -8,0 \text{ kg} \cdot \text{m/s}$$

ZÁKON ZACHOVÁNÍ HYBNOSTI:

celková hybnost se zachovává

$$\vec{p}_{\text{před}} = p_{\text{po}}$$

·HYBNOST PO SRÁŽCE:

$$m_{12} = 5,0 \text{ kg}$$

$$p_{\text{po}} = m_{12} v' = 5,0 \text{ kg} \cdot v'$$

Protože $p_{\text{před}} = p_{\text{po}}$:

$$-8,0 = 5,0 \cdot v'$$

$$v' = \frac{-8,0}{5,0} = -1,6 \text{ m/s}$$

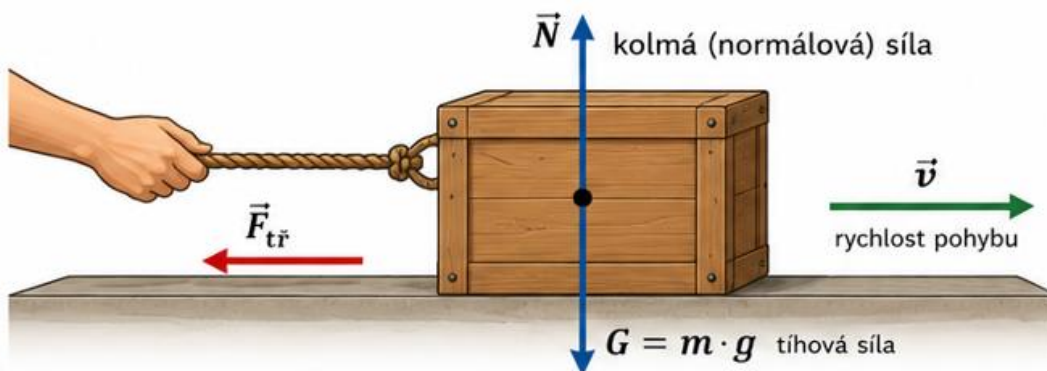
VÝSLEDEK: Po nárazu se oba vagónky spojí a pohybují se rychlostí $v' = -1,6 \text{ m/s}$,
tj. **směrem doleva.**

Záporné znaménko rychlosti znamená pohyb vlevo.

8. Smykové tření.

SMYKOVÉ TŘENÍ

Smykové tření je **třecí síla**, která působí mezi dvěma povrchy, které se vůči sobě **pohybují smykem**.



VZOREC

$$F_{tř} = \mu \cdot N$$

$F_{tř}$... velikost smykové třecí síly [N]

μ ... součinitel smykového tření [-]

N ... velikost kolmé (normálové) síly [N]

Smyková třecí síla vždy působí **proti směru pohybu**.

VLASTNOSTI

- Závisí na materiálech a drsnosti povrchů.
- Je úměrná kolmé síle N , nezávisí na velikosti styčné plochy.
- Téměř nezávisí na rychlosti pohybu (při běžných rychlostech).
- Součinitel smykového tření μ je bezrozměrné číslo (tabulkově zjištěné empiricky).

PŘÍKLADY SOUČiniteLE SMYKOVÉHO TŘENÍ μ

dvojice materiálů	μ
dřevo – dřevo	0,2 – 0,5
ocel – ocel (suchý kontakt)	0,2 – 0,6
ocel – led	0,02 – 0,05
guma – beton (suchý)	0,6 – 1,0
sáně (dřevo) – sníh	0,05 – 0,1

PŘÍKLADY Z PRAXE



tlačení bedny po podlaze



brzdění auta – tření pneumatik o vozovku



lyžování – tření lyží o sníh umožňuje zatáčení a brzdění

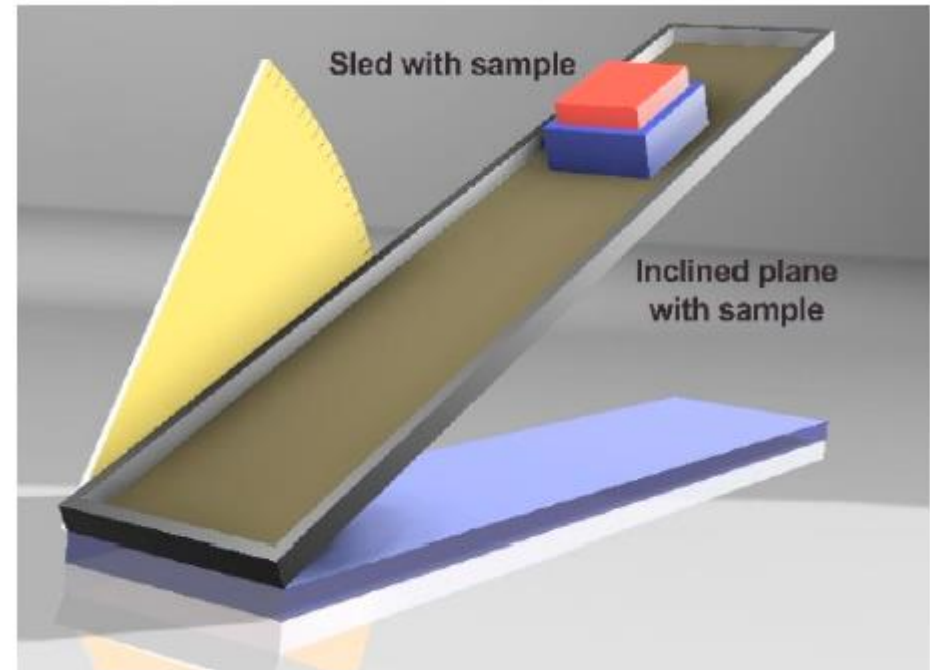
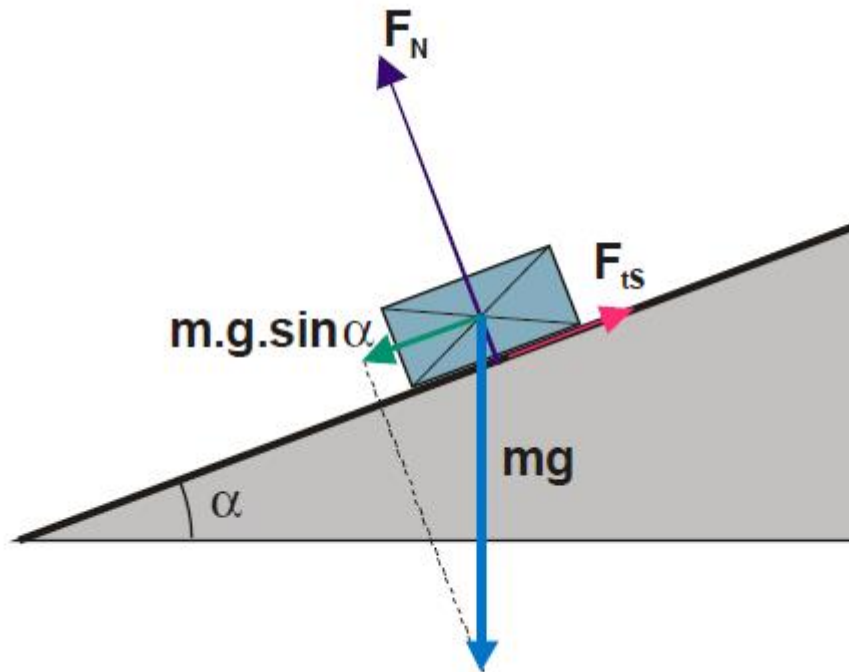


bruslení a hokej – tření bruslí o led umožňuje pohyb



tření mezi nástrojem a obrobkem při obrábění

9. Nakloněná rovina.



Síly působící na těleso neuvažujeme-li tření:

- svisle dolů působí tíhová síla $F_G = mg$
- kolmo na nakloněnou rovinu působí reakce roviny na těleso F_N
- **výsledná síla ve směru pohybu**
 $F = mg \sin \alpha$
- pohybová rovnice: $ma = mg \sin \alpha$
- vztah pro zrychlení: **$a = g \sin \alpha$**

Síly působící na těleso uvažujeme-li tření:

- svisle dolů působí tíhová síla $F_G = mg$
- kolmo na nakloněnou rovinu působí reakce roviny na těleso F_N
- výsledná **síla ve směru pohybu**
 $F = mg \sin \alpha$ je menší o **třecí sílu**
 $F_t = f mg \cos \alpha$ působící proti pohybu
- pohybová rovnice:
 $ma = mg (\sin \alpha - f \cos \alpha)$
- vztah pro zrychlení:
 $a = g (\sin \alpha - f \cos \alpha)$

10. Dostředivá a odstředivá síla.

DOSTŘEDIVÁ A ODSTŘEDIVÁ SÍLA

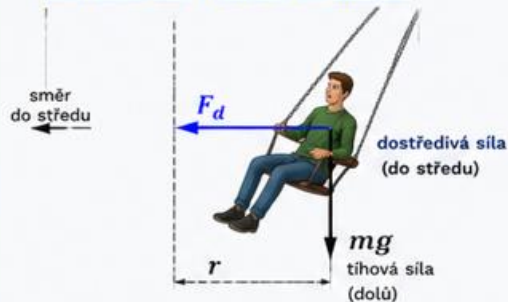
Při pohybu po kružnici potřebuje těleso dostředivou sílu směřující do středu kružnice.

V neinerciální soustavě se projevuje zdánlivá (odstředivá) síla směřující od středu.

1) POZOROVATEL NA ZEMI (inerciální soustava)

- Pozorovatel stojí na nehybné zemi.
- Vidí, že jezdec se pohybuje po kružnici.
- Na jezdce působí skutečná síla směrem do středu – dostředivá síla F_d .
- Tuto sílu zajišťuje řetíz sedáčky (tah, napětí).

SKUTEČNÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ NA JEZDCE:



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

m ... hmotnost jezdce [kg]
 v ... velikost rychlosti [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]
 r ... poloměr kružnice [m]

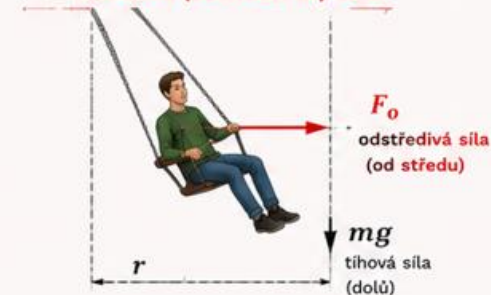
Dostředivá síla je skutečná síla, která mění směr rychlosti tělesa a směřuje vždy do středu kružnice.



2) POZOROVATEL NA KOLOTOČI (neinerciální soustava – v pohybu)

- Pozorovatel je spolu s jezdcem na kolotoči.
- Jezdec se vůči němu zdá být v klidu.
- Aby mohl tento stav popsat Newtonovými zákony, zavede fiktivní (zdánlivou) sílu – odstředivou sílu F_o .
- Tato síla směřuje od středu kružnice ven.

ZDÁNLIVÁ (ODSTŘEDIVÁ) SÍLA:



$$F_o = m \frac{v^2}{r} \quad |F_o| = |F_d| = m \frac{v^2}{r}$$

Velikost je stejná, směr opačný.

Stejná situace,
jiný pohled – jiná síla.

Odstředivá síla není skutečná síla,
je to setrvačná (fiktivní) síla v neinerciální soustavě.

PŘÍKLADY Z PRAXE

1) AUTOMOBIL V ZATÁČCE



Třecí síla mezi pneumatikami a vozovkou zajišťuje dostředivou sílu. Bez ní by vůz pokračoval přímo vlivem setrvačnosti (odstředivý účinek).

2) VYHAZOVÁNÍ VODY Z KÝBLE



Při rychlém roztočení chybí dostředivá síla (voda není „tažena“ ke středu) a voda vlivem setrvačnosti odlétá ven.

3) PRÁNÍ V PRAČCE



Buben při vysokých otáčkách působí dostředivou silou na prádlo a voda je vytlačována na stěny bubnu.

4) LABYRINT SMRTI (WALL OF DEATH)



Motocykl má dostatečnou rychlost, aby tření poskytlo dostředivou sílu udržující ho na stěně kružnice.

5) PLANETY NA OBĚŽNÉ DRÁZE



Gravitační síla Slunce působí jako dostředivá síla a drží planety na kružnicové (eliptické) dráze.

Shrnutí:

- Dostředivá síla F_d je skutečná síla směřující do středu kružnice a způsobuje zakřivení trajektorie.
- Odstředivá síla F_o je zdánlivá (setrvačná) síla směřující od středu, kterou pozorujeme v neinerciální soustavě.

$$F_d = F_o = m \frac{v^2}{r}$$

11. Setrvačné síly v neinerciálních soustavách.

SETRVAČNÉ SÍLY V NEINERCIÁLNÍCH VZTAŽNÝCH SOUSTAVÁCH

Newtonovy zákony platí přímo pouze v inerciálních soustavách. V neinerciálních soustavách musíme zavést setrvačné síly.

→ skutečná síla
→ setrvačná síla (zdánlivá)

1 ROZJÍŽDĚJÍCÍ SE DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK



Autobus se rozjíždí dopředu.

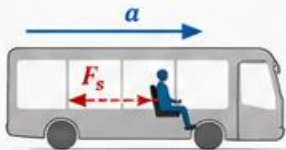
Pozorovatel v autobuse:

Zdá se mu, že je tlačén dozadu.

Setrvačná síla:

$$F_s = ma$$

směřuje proti zrychlení autobusu.



Setrvačná síla vždy směřuje proti zrychlení soustavy.

2 BRZDÍCÍ DOPRAVNÍ PROSTŘEDEK



Auto prudce brzdí.

Pozorovatel v autě:

Zdá se mu, že je vrhán dopředu.

Setrvačná síla:

$$F_s = ma$$

směřuje ve směru původního pohybu.



3 ODSŤŘEDIVÁ SÍLA – ROTUJÍCÍ SOUSTAVA

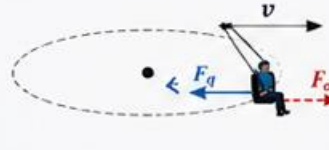


Pozorovatel na kolotoči cítí, že je „tlačen“ od středu ven.

Odstředivá síla (setrvačná):

$$F_o = m \frac{v^2}{r}$$

směřuje od středu kružnice.



V inerciální soustavě (stojící na zemi) nepoužíváme odstředivou sílu – tam působí pouze dostředivá síla.

4 VOLNÝ PÁD Z VĚŽE



Při náhlém pádu se zdá, že nás něco „tlačí“ do sedadla.

Setrvačná síla:

$$F_s = ma$$

směřuje vzhůru, opačně než zrychlení pádu (dolů).



Pocit „tíhy“ nebo „beztíže“ je důsledkem setrvačných sil.

5 HORSKÁ DRÁHA – SMYČKA

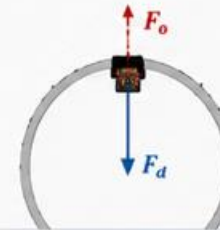


V horní části smyčky působí na tělo setrvačná síla od středu ven.

Odstředivá síla (setrvačná):

$$F_o = m \frac{\omega^2}{r}$$

může způsobit „pocit lehkosti“ nebo i odlepení od sedačky.



6 ODSŤŘEDIVKA (LABORATOŘ)

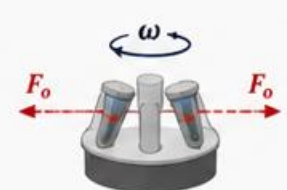


Vzorky jsou v rotujícím bubnu „tlačeny“ od středu ven.

Odstředivá síla (setrvačná):

$$F_o = m \omega^2 r = m \frac{v^2}{r}$$

závisí na úhlové rychlosti ω a poloměru r .



DALŠÍ PŘÍKLADY A ZAJÍMAVOSTI

SATELITY NA OBEŽNÉ DRÁZE



V družicové soustavě obíhající Zemi působí odstředivá síla od Země. V inerciální soustavě je družice zadržována gravitací (dostředivou silou), odstředivou sílu nezavádíme.

SKOK DO VZDUCHU Z ROTAČNÍ PLATFORMY



Po odrazu si člověk zachová tečnou rychlost platformy. Zdá se mu, že je „hozen“ stranou – je to projev setrvačnosti.

VESMÍR – ROTUJÍCÍ KOZMICKÉ SOUSTAVY



V rotujících galaxiích se hmotné objekty zdají „tlačeny“ od středu. Skutečnou příčinou je gravitace, ne odstředivá síla (setrvačná síla by nestačila držet hvězdy na oběžné dráze).

ČÁSTICOVÉ URYCHLOVAČE



Částice se pohybují po kružnici v urychlovači. Zdá se, že je „tlačí“ od středu, ale ve skutečnosti je drží dostředivá síla magnetického pole.

SPORT: ZATÁČKA NA KOLE



Cyklista v zatáčce musí naklonit kolo, aby výslednice skutečných sil (tíha + tření) poskytla dostředivou sílu. Odstředivá síla je jen zdánlivý pocit „tahu ven“.

PŘEHLED SETRVAČNÝCH SIL

Síla	Vzniká v...	Směr	Vzorec
Setrvačná síla (linární)	zrychlená soustava	proti zrychlení soustavy	$F_s = ma$
Odstředivá síla	rotující soustava	od středu rotace	$F_o = m \frac{\omega^2}{r}$ $= m \frac{v^2}{r}$

V inerciální soustavě tyto síly nezavádíme – vystačíme si se skutečnými silami (gravitace, tření, tah, tlak...).

Setrvačné síly = zdánlivé síly, které nám pomáhají popsat pohyb v neinerciálních soustavách.



KLÍČOVÁ MYŠLENKA

Setrvačné síly nejsou způsobeny interakcí mezi tělesy. Vznikají proto, že pozorujeme pohyb z neinerciální soustavy (zrychlené nebo rotující). Umožňují nám použít Newtonovy zákony i tam, kde soustava není inerciální.



ZAJÍMAVOST

Pocit „přimáčknutí“ v zatáčce, „odhození“ na kolotoči nebo „hození dopředu“ při brzdění má stejný původ – setrvačnost. Naše tělo chce zachovat svůj stav pohybu.

CORIOLOISOVA SÍLA

Setrvačná síla působící v rotující vztažné soustavě.

DEFINICE

Coriolisova síla je setrvačná (zdánlivá) síla, která působí na těleso pohybující se v rotující soustavě (např. na povrchu Země).

Neexistuje v inerciální soustavě – je důsledkem rotace.

VZOREC

$$\vec{F}_C = -2m \vec{\omega} \times \vec{v}$$

kde

m ... hmotnost tělesa [kg]

$\vec{\omega}$... úhlová rychlost rotace soustavy [$\text{rad} \cdot \text{s}^{-1}$]

$\vec{v}$... rychlost tělesa vzhledem k rotující soustavě [$\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$]

$\vec{F}_C$... Coriolisova síla [N]

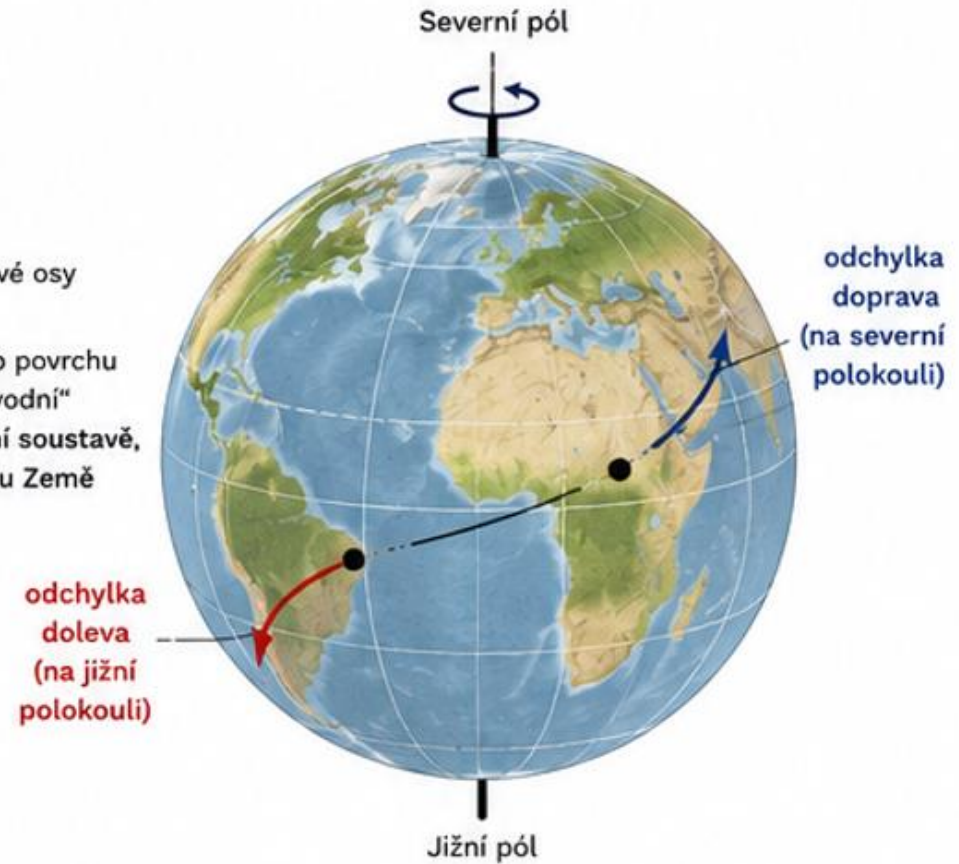
- Směr síly je kolmý na směr rychlosti $\vec{v}$ a na osu rotace $\vec{\omega}$.
- Na severní polokouli odchyluje doprava, na jižní doleva.



PROČ VZNIKÁ?

Země se otáčí kolem své osy od západu k východu.

Těleso se pohybující po povrchu si zachovává svou „původní“ setrvačnost v inerciální soustavě, ale vzhledem k povrchu Země se odchyluje.



12. Coriolisova síla.

KONKRÉTNÍ PŘÍKLADY

1) METEOROLOGIE – HURIKÁNY A CYKLONY



Na severní polokouli se níže (hurikány) stáčí proti směru hodinových ručiček, výše po směru. Bez Coriolisovy síly by se vítr pohyboval přímo od oblasti vysokého tlaku k nízkému.

→ Určuje směr rotace tlakových útvarů a atmosférických proudění.

2) BALISTIKA – STŘELBA NA DLOUHÉ VZDÁLENOSTI



Střela vystřelená na severní polokouli je odchylována doprava (na jižní doleva).

Při střelbě na velké vzdálenosti (desítky kilometrů) je nutné Coriolisovu sílu zohlednit.

→ Dělostřelectvo, odstřelovači, raketové střely.

3) TOK ŘEK A OCEÁNSKÝCH PROUDŮ



Řeky na severní polokouli mají tendenci narážet pravým břehem (odchylka doprava), na jižní levým.

Oceánské proudy jsou Coriolisovou silou významně ovlivněny (např. Golfský proud).

→ Ovlivňuje erozi břehů a směr mořských proudů.

4) OPOTŘEBENÍ KOLEJÍ



Vlak jedoucí na severní polokouli má tendenci být odchylován doprava, takže kola více narážejí na pravou kolejnici (vnější kolejnice v obloucích).

Tento efekt je měřitelný, i když malý.

→ Vliv na údržbu a životnost železničních tratí.

5) LETECTVÍ A NÁMOŘNÍ NAVIGACE



Při dlouhých letech letadla (mezikontinentální trasy) a plavbách lodí je nutné Coriolisovu sílu zohlednit, jinak by došlo k odchylce od plánované trasy.

→ Ovlivňuje kurzy, spotřebu paliva i čas.

6) FYZIKA – KYVADLO FOUCAULTOVA TYPU



Rovina kmitů kyvadla se vzhledem k Zemi otáčí, protože Země rotuje pod kyvadlem.

→ Přímý důkaz rotace Země.

12. Coriolisova síla.

CO NENÍ CORIOLISOVA SÍLA – PŘÍKLAD: VODA VE VÝLEVCE



Voda odtéká z výlevky a zdá se, že se stáčí (na severní polokouli obvykle doprava). Tento jev **NENÍ** způsoben Coriolisovou silou!

Proč?

- Rychlost rotace vody je velmi malá.
- Vliv tření stěn, tvar výlevky a nerovnoměrné proudění jsou mnohem silnější než vliv Coriolisovy síly.



Coriolisova síla je v tomto případě zanedbatelná (o mnoho řádů menší).

V praxi tedy směr odtoku vody ve výlevce neurčuje rotace Země, ale podmínky proudění v odpadu.

KDY JE CORIOLISOVA SÍLA VÝZNAMNÁ?

- ⌚ - při velkých vzdálenostech
- ⚡ - při velkých rychlostech
- ⬇ - v pohybech na rozsáhlých škálách (atmosféra, oceány)
- ⌚ - při dlouhých časech působení

Čím větší je m , v a doba působení, tím větší je vliv Coriolisovy síly.

SHRNUTÍ

- ✓ Coriolisova síla je setrvačná síla v rotující soustavě.
- ✓ Působí kolmo na rychlost a osu rotace.
- ✓ Na severní polokouli odchyluje doprava, na jižní doleva.
- ✓ Je důležitá v meteorologii, balistice, navigaci, oceánografii, geofyzice i technice.

MATEMATICKY STRUČNĚ

$$\vec{F}_C = -2m \vec{\omega} \times \vec{v}$$

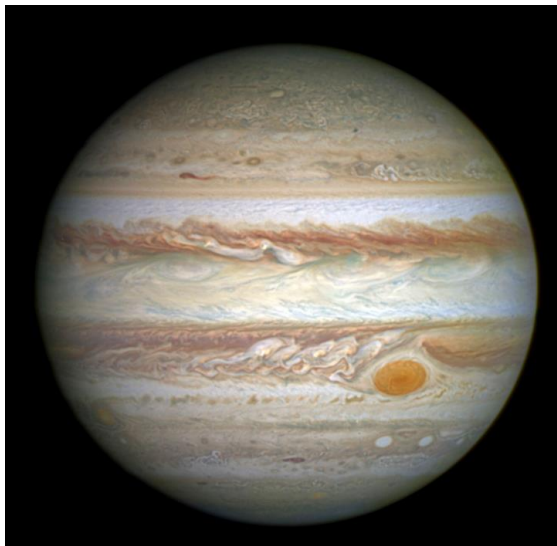
$$|F_C| = 2m \omega v \sin \varphi$$

φ ... úhel mezi směrem $\vec{\omega}$ a $\vec{v}$ (na Zemi prakticky určuje zeměpisná šířka a směr pohybu)

ZAJÍMAVOSTI

- ★ Na rovníku ($\varphi = 0^\circ$) je Coriolisova síla nulová.
- ★ Na pólech ($\varphi = 90^\circ$) je největší.
- ★ Coriolisova síla je jedním z faktorů formujících klima na Zemi.

Bez ní by byly hurikány, oceánské proudy i počasí našich šířek zcela jiné.



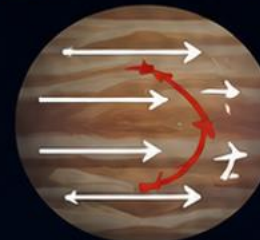
Velká rudá skvrna na Jupiteru

1 VZNIK BOUŘE



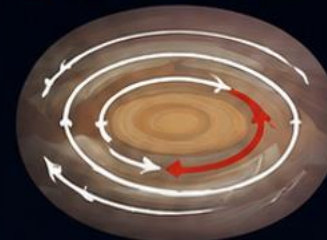
Teplý plyn stoupá vzhůru a vzniká oblačná bouře.

2 ODCHVILKA POHYBU



Proudící plyn je Coriolisovou silou **odchylován doprava** (Jupiterova jižní polokoule).

3 UZAVŘENÍ CÍRKULACE



Plyn se stáčí do stabilní, uzavřené vířivé struktury.

4 STABILNÍ ANTICYKLÓNA



Výsledkem je mohutná, dlouhotrvající anticyklóna – Velká rudá skvrna.

12. Coriolisova síla.

CORIOLISOVA SÍLA VE VESMÍRU

Setrvačná síla působící v rotujících soustavách od hvězd až po galaxie.

Odchyluje pohybující se hmotu na „severní“ straně doprava, na „jižní“ doleva a formuje víry, proudy a struktury v celém vesmíru.

CO JE CORIOLISOVA SÍLA?

Vzniká v rotující soustavě.

Působí kolmo na směr pohybu i osu rotace.

Na severní straně rotace odchyluje doprava, na jižní doleva.



KDE CORIOLISOVA SÍLA HRAJE DŮLEŽITOU ROLI

1 PLYNNÍ OBRI – JUPITER A SATURN



Rychlá rotace planet vytváří silnou Coriolisovu sílu v jejich atmosférách. Ta organizuje pásy proudění a obrovské víry, např. Velkou rudou skvrnu na Jupiteru.

DŮSLEDKY:

- stabilní pásy a trysky v atmosféře
- dlouhotrvající víry (např. Velká rudá skvrna)
- hexagonální vír na severním pólu Saturnu



Šestiúhelníkový vír na severním pólu Saturnu.

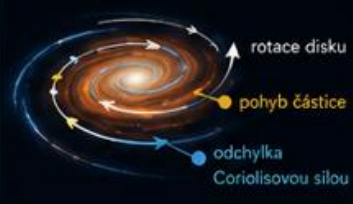
2 AKREČNÍ DISKY KOLEM ČERNÝCH DĚR



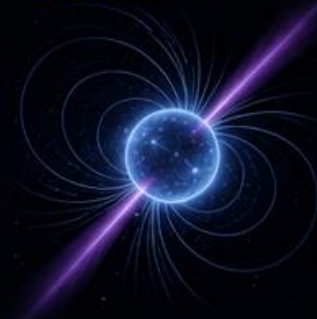
Plyn padající do černé díry rotuje rychle a Coriolisova síla ovlivňuje jeho pohyb. Podporuje vírové (turbulentní) struktury a přenos hybnosti venwards.

DŮSLEDKY:

- umožňuje hmotě spirálovitě padat dovnitř
- vznik turbulence a vírů v disku
- ovlivňuje ohřev disku a vznik výtrysků (jetů)



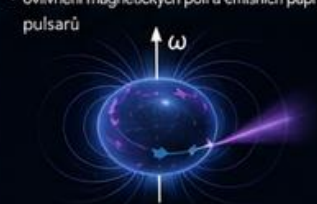
3 NEUTRONOVÉ HVĚZDY A PULSARY



Neutronové hvězdy se otáčejí extrémně rychle (až stovky až tisíce otáček za sekundu). Coriolisova síla v jejich tenké atmosféře ovlivňuje proudění hmoty a šíření termionukleárních plamenů při erupcích.

DŮSLEDKY:

- asymetrické šíření horkých skvrn
- nerovnoměrné ochlazování
- ovlivnění magnetických polí a emisních paprsků pulsarů



4 TVORBA A STABILITA SPIRÁLNÍCH GALAXIÍ



V rotujících galaxiích Coriolisova síla působí na mezihvězdný plyn a prach. Podílí se na tvorbě spirálních ramen tím, že podporuje víry a vlnové struktury.

DŮSLEDKY:

- vznik a udržení spirálních ramen
- regulace pohybu plynu mezi rameny
- ovlivnění tvorby hvězd v galaktických discích



5 HVĚZDNÉ DISKY A PROTOPLANETÁRNÍ DISKY



V rotačních galaxiích kolem mladých hvězd ovlivňuje Coriolisova síla proudění plynu a prachu a pomáhá vytvářet víry, které mohou urychlit vznik planetesimál.

DŮSLEDKY:

- vznik vírů a tlakových pastí
- koncentrace prachu a pevných částic
- podpora akrece a formování planet



6 PRŮDĚNÍ V GALAKTICKÝCH KUPÁCH



V rotujících galaktických kupách ovlivňuje Coriolisova síla pohyb horkého plynu uvnitř kup a může přispívat ke vzniku vírů a šikmých rázových vln.

DŮSLEDKY:

- ovlivnění distribuce horkého plynu
- tvorba vírů a šikmých struktur
- dopad na šíření rázových vln a chladnutí plynu



Frame dragging, rotující (Kerrová) černá díra a strhávání prostoročasu v ergosféře

- rotující černá díra nepůsobí na své okolí jen běžnou gravitační přitažlivostí, ale její obrovský moment hybnosti doslova kroutí a vtahuje samotnou tkaninu prostoru a času do rotace spolu se sebou:

<https://www.sciencedaily.com/releases/2025/12/251218060556.htm>

