

1 Základní pojmy

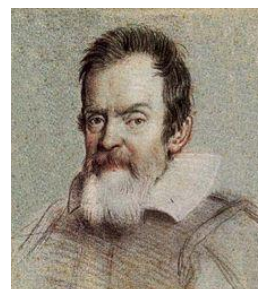
Dynamika – slovo odvozené z řeckého dynamis = síla – studuje příčiny změny pohybu tělesa, tj. síly

- zákony klasické dynamiky platí pro tělesa pohybující se rychlostmi malými ve srovnání s rychlostí světla (viz poznámka A. Einstein níže)
- zákony klasické dynamiky neplatí mikrokosmu, tj. pro svět elementárních částic, atomů a molekul

Osoby, které se zasloužily o rozvoj dynamiky:

Galileo Galilei (1564 – 1642)

- toskánský (část Itálie) profesor matematiky na univerzitě v Pise
- současník Johanese Keplera
- formuloval zákon volného pádu a pohyb na nakloněné rovině
- zastánce kopernikovské heliocentrické soustavy – dlouhodobé spory s církví, *Eppur si muove – přece se točí*, pod vlivem hrozby mučení a smrti (podobně jako Giordano Bruno) své myšlenky odvolal
- objevil 4 Jupiterovy měsíce
- sestavil první teploměr, dalekohled, vylepšil mikroskop,
- vynalezl sběrač rajčat, kuličkové pero
- formuloval princip setrvačnosti a princip relativity



Christian Huygens (1629 – 1695)

- holandský matematik, fyzik, astronom (objevil Saturnův měsíc Titan)
- vynalezl kyvadlové hodiny nebo setrvačnické kapesních hodinek
- formuloval zákony šíření vlnění (mechanického i světla), objevil odstředivou sílu



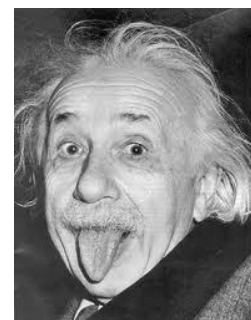
Isaac Newton (1643 – 1727)

- anglický fyzik, matematik, astronom, alchymista, teolog
- velmistr templářského řádu
- formuloval 3 základní zákony dynamiky a gravitační zákon
- optika – vynalezl zrcadlový dalekohled
- matematika – zakladatel diferenciálního a integrálního počtu – spory o prvenství s Leibnizem
- teologie – na základě studia bible vypočítal datum stvoření světa



Albert Einstein (1879 – 1955)

- německý fyzik, matematik
- vysvětlil Brownův pohyb, fotoelektrický jev (Nobelova cena)
- formuloval principy a zákony STR a OTR
- podílel se na vývoji atomové bomby
- Philadelphský experiment – USA torpédoborec Eldridge – pokus o změny časoprostoru
- poslal telegram Klementu Gottwaldovi, aby zrušil rozsudek smrti nad Miladou Horákovou



2 Vzájemná působení těles. Izolované těleso.

- tělesa na sebe působí silou

síla – F $[F] = \text{N (newton)} = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-2}$

- vektorová veličina – určujeme nejen velikost, ale také směr

účinek síly

- pohybový – míčové hry, dopravní prostředky, otáčení dveří
- deformační – pilíře mostu, lano jeřábu, prohnutí trampolíny
- tepelný – tření, průchod proudu vodičem
- vztlakový – Archimédův zákon, letadla

výslednice sil

- působí-li na hmotný bod více sil, lze je nahradit silou jedinou
- má na HB stejný účinek jako všechny působící síly
- získáme ji vektorovým součtem jednotlivých sil – hovoříme pak o skládání sil

izolované těleso, izolovaný HB

- těleso (nebo HB), na které nepůsobí žádné síly
- v dané vztažné soustavě setrvává v klidu (žádné těleso se samo od sebe nedá do pohybu)
- v praxi nelze realizovat, protože každé těleso je pod vlivem silových polí okolních těles

model izolovaného tělesa

- zavádíme pro zjednodušení reálné situace
- těleso, na které působí síly, ale jejich výslednice je nulová
- př. tělesa v klidu: kniha ležící na stole (síla, kterou je kniha přitahována k Zemi se ruší se silou, kterou stůl působí na knihu)
- **těleso v pohybu**: zanedbáme-li tření a odpor prostředí, pohybuje se těleso **rovnoměrným přímočarým pohybem**

Klid i pohyb tělesa je relativní – záleží na volbě vztažné soustavy (vztažného tělesa).

3 První Newtonův pohybový 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.“

Těleso setrvává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu (pohybuje se po přímce stálou rychlostí, zrychlení je nulové), dokud na něj nezapůsobí vnější síla, která tento stav změní.

setrvačnost

- vlastnost všech těles
- původ neznámý – nevíme, proč mají tělesa tuto vlastnost
- čím větší hmotnost tělesa, tím větší je jeho setrvačnost



Machův princip

- Ernst Mach (1838 Chrlice u Brna – 1916), rakouský fyzik a filozof
- setrvačnost je důsledek působení okolního vesmíru na těleso – tímto názorem ovlivnil Einsteina při formulaci obecné teorie relativity (OTR)
- Machův vlnostroj – demonstrace šíření vlny, Machovo číslo, kužel – nadzvuková letadla



Inerciální vztažná soustava (IVS)

- soustava, ve které platí zákon setrvačnosti (inertia = latinsky setrvačnost)
- př. auto jedoucí stálou rychlostí po rovné silnici, tělo člověka zachycené bezpečnostními pásy při rychlém zabrzdění (člověk vůči autu v klidu, setrvačností se pohybuje vpřed i po zabrzdění auta)
- ideální inerciální vztažná soustava neexistuje
- přibližně inerciální – soustava spojená s povrchem Země (neplatí, pokud vypouštíte družice či raketu – Země rotuje, pohybuje se kolem Slunce); soustava spojená se Sluncem a hvězdami

Neinerciální vztažná soustava

- soustava, ve které neplatí první pohybový zákon ani další pohybové zákony
- soustava, která se pohybuje se zrychlením vůči inerciální vztažné soustavě
- ačkoliv na těleso nepůsobí síla nebo je výslednice sil nulová, těleso mění svůj pohybový stav – zrychluje
- př. rotující Země a působící Coriolisova síla (např. řeky tekoucí na severní polokouli od severu na jih vymílají více západní břeh, řeky tekoucí od jihu na sever východní břeh; na jižní polokouli je tomu naopak; na severní polokouli se stáčíjí tlakové níže doleva a výše doprava, na jižní opět naopak)

Galileiho princip relativity

Žádným mechanickým pokusem provedeným uvnitř IVS nelze rozlišit, která soustava je v klidu a která v rovnoměrném přímočarém pohybu. Zákony mechaniky mají stejný tvar ve všech inerciálních vztažných soustavách.

4 Druhý Newtonův pohybový 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.

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

- směr zrychlení je totožný se směrem výslednice působících sil

pohybová rovnice

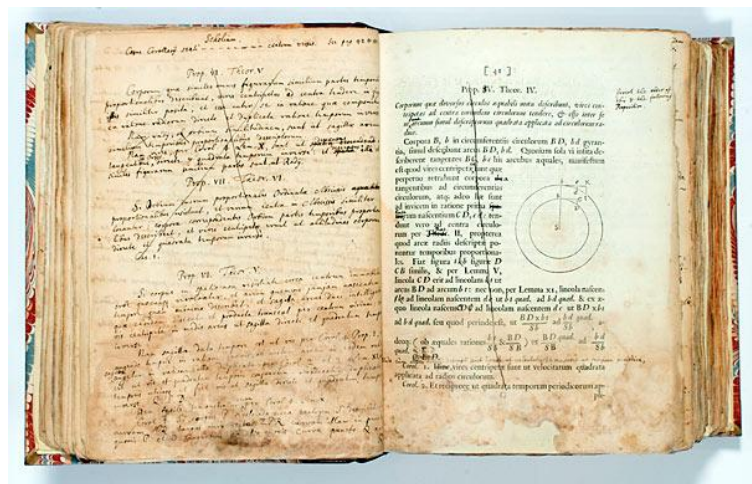
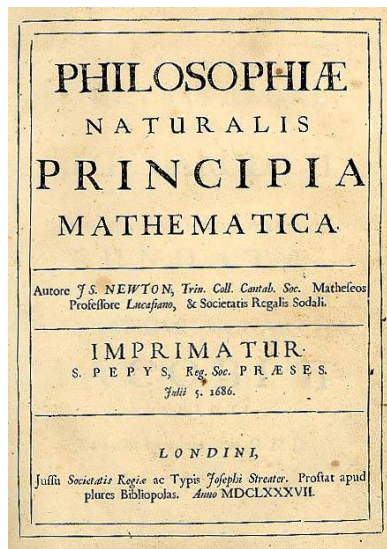
- vztah $\vec{F} = m \cdot \vec{a} = m \frac{d^2 \vec{r}}{dt^2}$ se nazývá pohybová rovnice
- umožňuje řešit konkrétní pohybové děje (např. určovat polohu a rychlost tělesa v závislosti na čase) za předpokladu, že se nemění hmotnost tělesa a jsou-li známy působící síly na těleso

dynamické měření hmotnosti

- ze vztahu $m = F / a$ hmotnost m nazýváme setrvačná hmotnost (existuje ještě gravitační hmotnost, která se objevuje v Newtonově gravitačním zákonu – experimenty dokázaly, že setrvačná i gravitační hmotnost tělesa má stejnou velikost)
- používá se tehdy, je-li nemožné zjistit hmotnost vážením – př. těleso v pohybu, elementární částice, hvězdy

Philosophiae Naturalis Principia Mathematica – Matematické principy přírodní filozofie

- vydal Isaac Newton v roce 1687, 1713, 1726
- obsahuje krom jiného formulace Newtonových pohybových zákonů, zákon všeobecné gravitace, položil zde základy klasické mechaniky a diferenciálního a integrálního počtu, odvodil Keplerovy zákony



5 Třetí Newtonův pohybový zákon – 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.“

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

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

- 1. síla se nazývá **akce**
- 2. síla se nazývá **reakce**
- účinky se sil se navzájem neruší – **výslednice není nulová**, protože síly působí na 2 různá tělesa
- př. zpětný ráz při střelbě z pušky, „neposedná“ hasičská hadice když pustíme vodu, bojové sporty
- využití v praxi: reaktivní motory (princip volně puštěného nafouknutého balónku)

Př. kámen padající na Zem (Země padající neměřitelně ke kameni) – působí na sebe vzájemně silami stejně velikými opačného směru; různá hmotnost znamená různé zrychlení – hmotnější Země se pohybuje řádově se zrychlením 10^{-23} ms^{-2} , což nelze pozorovat. Pozorujeme tedy pouze kámen padající se zrychlením 10 ms^{-2} .

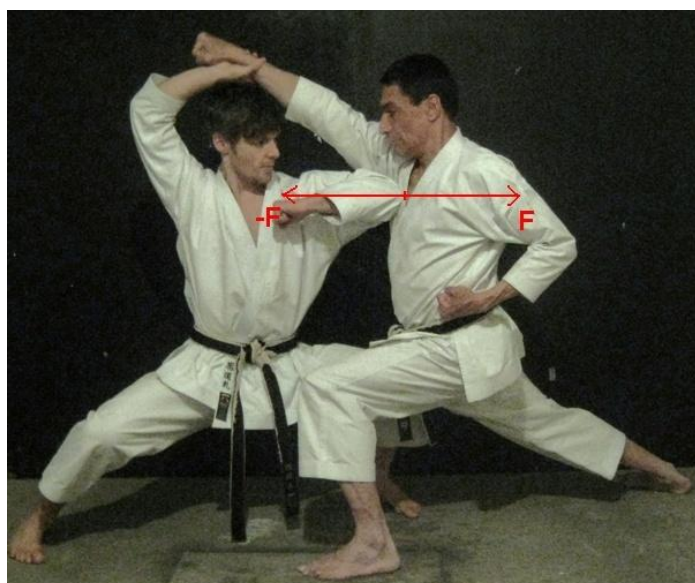


běžkyne působí na zem **akcí**,
země na běžkyni **reakcí**

proudové letadlo
akce - výtrysk plynů
reakce – pohyb letadla vpřed



bojové sporty



6 Hybnost hmotného bodu. Změna hybnosti. Impuls síly.

René Descartes (latinsky Renatus Cartesius 1596 – 1650)

- francouzský filozof, matematik, fyzik
- bojoval v bitvě na Bílé hoře 1620
- „*Ego cogito, ergo sum*“ – „*Myslím, tedy jsem*“
- matematika: zakladatel analytické geometrie (společně s Fermatem) a kartézského souřadného systému
- fyzika: zavedl pojem hybnost jako „množství pohybu“, tedy součin mv ; v optice formuluje zákony odrazu a lomu, vysvětlil duhu

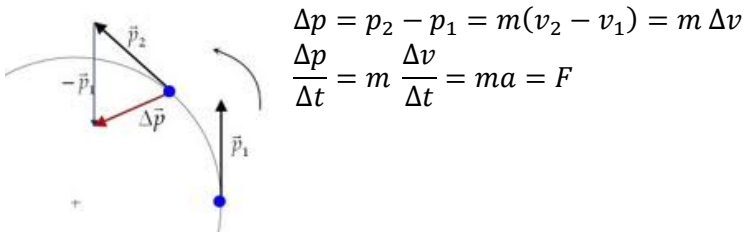


hybnost – p $[p] = \text{kg} \cdot \text{m} \cdot \text{s}^{-1}$

- vektorová fyzikální veličina
- směr hybnosti = směr okamžité rychlosti = směr tečny k trajektorii (po které se HB pohybuje) v daném bodě
- charakterizuje pohybový stav tělesa

$$p = m \cdot v$$

Změna hybnosti v čase



$$\Delta p = p_2 - p_1 = m(v_2 - v_1) = m \Delta v$$

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

$$F = \frac{dp}{dt} = \frac{\Delta p}{\Delta t} = ma \quad \text{druhý pohybový zákon}$$

- platí obecně – tedy i např. v případě, kdy se mění hmotnost tělesa (raketa, která spotřebovává palivo)

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

$$I = F \cdot \Delta t$$

- vyjadřuje časový účinek síly
- malá síla po dlouhou dobu dokáže těleso rozpohybovat; velká síla po krátkou dobu neuvede těleso do pohybu
- př. volejbalové podání – vrchní se spodní rotací: impuls síly musí směřovat pod těžiště



7 Zákon zachování hybnosti

Izolovaná soustava těles – skupina těles působí na sebe vzájemně silami podle principu akce a reakce, přičemž na ně nepůsobí žádná vnější síla (výslednice vnějších sil je nulová)

Celková hybnost soustavy těles – $\mathbf{p}$ je dána vektorovým součtem hybností jednotlivých těles

$$\mathbf{p} = \mathbf{p}_1 + \mathbf{p}_2 + \dots + \mathbf{p}_n$$

Př. dvě tělesa (např. lodičky plující k sobě)

Na začátku pohybu mají počáteční hybnosti p_{01} a p_{02} , za dobu Δt se jejich hybnost změní na p_1 a p_2 .

Podle zákona akce a reakce platí že $\mathbf{F}_1 = -\mathbf{F}_2$. Podle 2. Newtonova zákona platí $\Delta p_1 / \Delta t = -\Delta p_2 / \Delta t$ neboli po zkrácení změny času

$\Delta p_1 = -\Delta p_2$ vyjádříme tyto změny hybnosti

$p_1 - p_{01} = -(p_2 - p_{02}) = -p_2 + p_{02}$ na levou stranu převedeme počáteční hybnosti, na pravou konečné

$p_{01} + p_{02} = p_1 + p_2$ vidíme, že součet hybností na začátku děje je stejný jako součet hybností na konci děje

Zákon zachování hybnosti

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

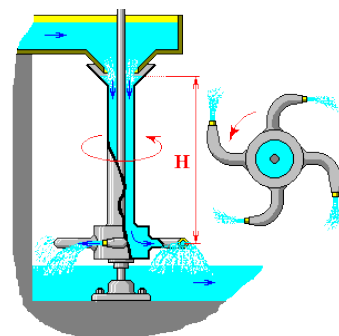
$$\vec{p} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2 + \dots + \vec{p}_n$$

Př. zpětný ráz pušky

Střela o hmotnosti m_1 opustí hlaveň rychlostí v_1 . Puška o hmotnosti m_2 na základě zákona akce a reakce se bude pohybovat opačným směrem (úder do ramene) rychlostí v_2 . Pro velikosti hybnosti (neuvažujeme směr) tedy platí $m_1 v_1 = m_2 v_2$. Z této rovnice můžeme vypočítat např. zpětnou rychlost pušky v_2 .

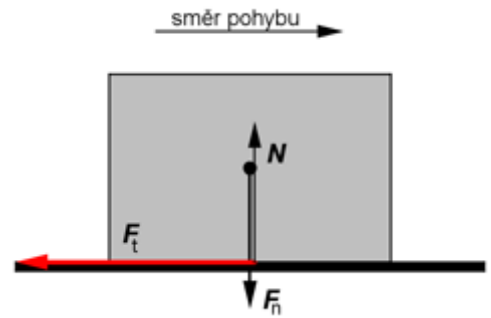
Další příklady na zákon zachování hybnosti

- Segnerovo kolo (dodnes využívané např. při úpravě a čištění vody)
- reaktivní motory a turbíny
- kulečnick
- srážka automobilů



8 Smykové tření a valivý odpor

- třecí síly působí v reálné situaci
- umožňují konání pohybu, práci strojů (bez jejich existence by to nebylo možné), hru na smyčcové nástroje, aj.
- původ v atomární struktuře látek (žádný povrch není dokonale hladký, vyčnívající atomy působí na okolní látky)
- **třecí síly působí vždy proti směru rychlosti tělesa**



smykové tření

- vzniká při posouvání jednoho tělesa po druhém
- způsobené především nerovnostmi povrchů obou těles

třecí síla – F_t $[F_t] = N$

$$F_t = f \cdot F_n$$

- směr proti směru rychlosti
- nezávisí na styčné ploše těles
- při malých rychlostech nezávisí na velikosti rychlosti pohybu těles
- při velkých rychlostech se třecí síla zmenšuje

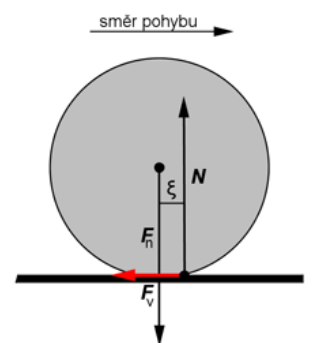
součinitel smykového tření – f $[f] = \text{bezrozměrné číslo, nemá jednotku}$

- koeficient, který závisí na materiálu styčných ploch
- najdeme v MFChT

kolmá tlaková síla na podložku – F_n

valivý odpor

- vzniká valením pevného tělesa kruhového průřezu po rovné podložce
- př. kola lokomotivy a kolejích



síla valivého odporu – F_v

$$F_v = \xi \cdot \frac{F_n}{R}$$

rameno valivého odporu – ξ

$[\xi] = m \text{ (metr)}$

poloměr válce – R

$[R] = m$

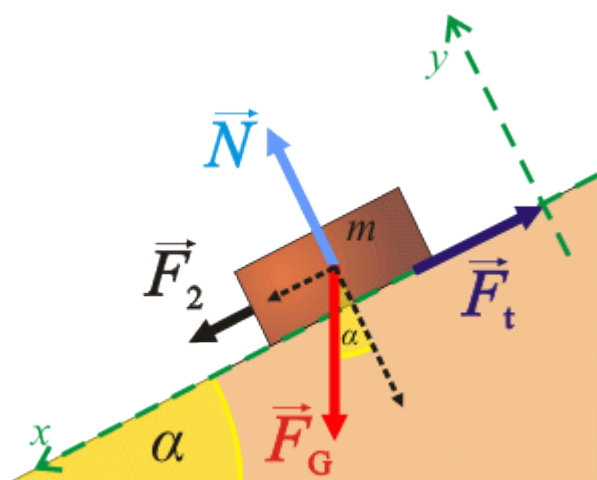
využití v praxi

- kuličková nebo válečková ložiska (uložení hřídelů – menší tření)
- pro stejná tělesa platí, že $F_t \gg F_v$ – těleso raději valíme než posouváme



9 Nakloněná rovina

S jakým zrychlením se pohybuje těleso po nakloněné rovině?



<http://fyzikalniulohy.cz>

$$\sin \alpha = \frac{F_2}{F_G} \quad \cos \alpha = \frac{F_n}{F_G} \quad \sin \alpha = \frac{h}{l}$$

F_2 – síla ve směru pohybu, která tělesu uděluje zrychlení

F_t – třecí síla působící proti pohybu

F_G – tíhová síla

F_n – je tlaková síla na nakloněnou rovinu – míří opačným směrem než reakce podložky N a má stejnou velikost

h – výška nakloněné roviny

l – délka nakloněné roviny

a) neuvažujeme tření

$$F_2 = F_G \cdot \sin \alpha \quad F_n = F_G \cdot \cos \alpha \quad h = l \cdot \sin \alpha$$

dosadíme-li doprvní rovnice za F_2 a F_G , dostaneme

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha$$

$$a = g \cdot \sin \alpha = g \frac{h}{l}$$

b) uvažujeme třecí síly

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

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot F_n$$

$$m \cdot a = m \cdot g \cdot \sin \alpha - f \cdot m \cdot g \cdot \cos \alpha$$

$$a = g \cdot \sin \alpha - f g \cos \alpha$$

Pozn.: Pro jaký úhel α je těleso v klidu nebo sjíždí bez zrychlení?

Platí, že $a = 0 \text{ ms}^{-2}$

$$0 = g \cdot \sin \alpha - f g \cos \alpha$$

Po úpravě (převědeme $g \sin \alpha$ na levou stranu a zkrátíme g)

$$\sin \alpha = f \cdot \cos \alpha$$

$$\frac{\sin \alpha}{\cos \alpha} = f$$

$$\tan \alpha = f$$

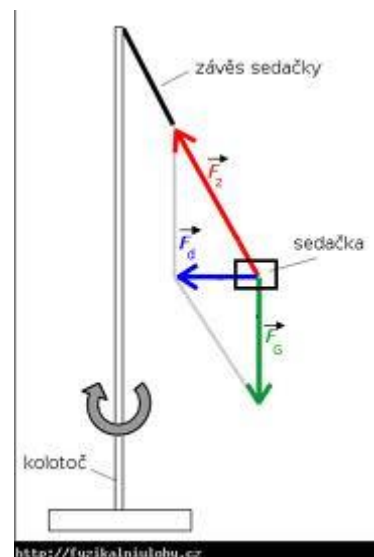
$$\alpha = \dots$$

10 Dostředivá síla

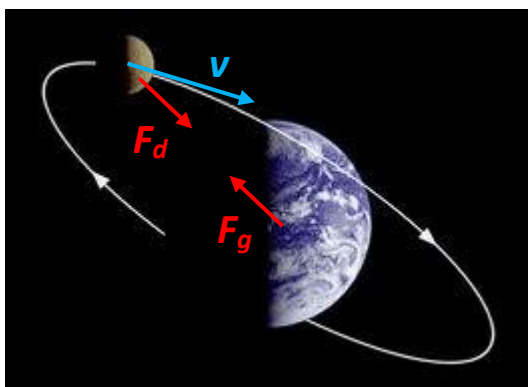
- působí na těleso, které se pohybuje rovnoměrným pohybem po kružnici nebo po obecně jiné zakřivené trajektorii
- má směr do středu kružnice (obecně má směr dop středu křivosti dané trajektorie)
- je kolmá ke směru okamžité rychlosti
- pohybový účinek této síly je změna směru rychlosti – z čehož plyne zakřivení trajektorie do tvaru kružnice
- přestane-li dostředivá síla působit, těleso se dále pohybuje ve směru tečny ke kružnici – př. odletující jiskry od brusky

dostředivá síla – F_d

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



Př. obíhání Měsíce kolem Země



Původ dostředivé síly je v tomto případě síla gravitační.
Z rovnosti obou sil lze pak vypočítat tzv. **kruhovou rychlost** v_k :

$$F_d = F_g$$

$$M_M \frac{v^2}{r} = G \frac{M_M M_Z}{r^2}$$

$$v_k^2 = G \frac{M_Z}{r^2}$$

$$v_k = \sqrt{G \frac{M_Z}{r^2}}$$

11 Inerciální a neinerciální vztažné soustavy

Inerciální vztažná soustava

- pro běžné pohyby je to soustava spojená s povrchem Země
- mechanické děje probíhají stejně v ČR jako v Mexiku
- stejné vyjádření zákonů nemusí nutně znamenat i stejné hodnoty veličiny v různých soustavách

Galileiho princip relativity

- zákony mechaniky jsou stejné ve všech inerciálních vztažných soustavách
- rovnice fyzikálních zákonů mají všude stejný tvar
- všechny inerciální soustavy jsou pro popis mechanických dějů rovnocenné

Obecný (Einsteinův) princip relativity

- všechny fyzikální zákony jsou stejné ve všech vztažných soustavách (i neinerciálních)

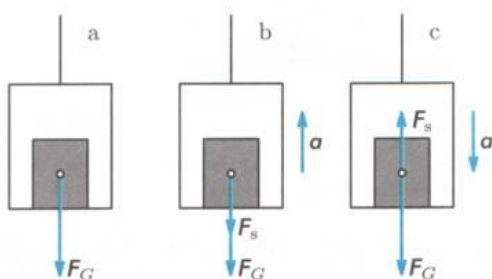
Neinerciální vztažná soustava

- každá soustava, která se vůči inerciální soustavě pohybuje jinak než rovnoměrně přímočaře
- pohybuje se zrychleně s **konstantním zrychlením a** – nejjednodušší neinerciální soustava
- pohybuje se zpomaleně
- otáčí se (rovnoměrně i nerovnoměrně)
- těleso nezůstává v klidu nebo v rovnoměrném přímočarém pohybu
- na těleso působí tzv. **setrvačná síla $F_s = -ma$**
- neplatí 1. a 3. Newtonův zákon

Setrvačné síly

- existují jen v neinerciálních soustavách
- vznikají jako důsledek zrychleného pohybu soustavy (nemají původ ve vzájemném silovém působení tělesa s jinými tělesy)
- neexistuje k nim reakce (dle 3. Newtonova zákona)
- mají reálné fyzikální účinky – lze je skládat s jinými silami (např. tíhovou silou apod.)
- při otáčivém pohybu je setrvačnou silou např. odstředivá síla nebo Coriolisova síla

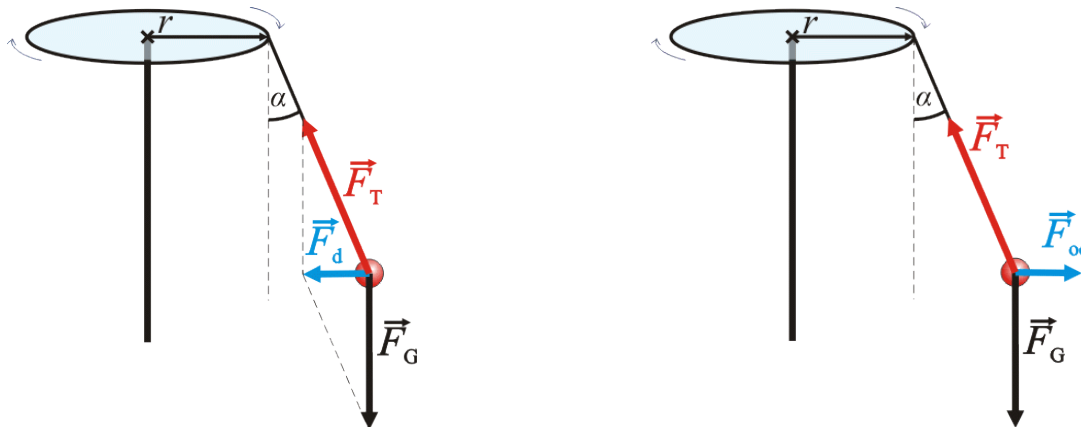
Př. výtah



- výtah v klidu nebo jedoucí rovnoměrným pohybem dolů či nahoru – na těleso působí pouze tíhová síla F_G
- výtah jede nahoru se zrychlením a – proti pohybu působí setrvačná síla F_s působící stejným směrem jako síla tíhová – výsledná síla F je tedy dána jako $F = F_G + F_s$
- výtah jede dolů se zrychlením a – proti pohybu působí setrvačná síla F_s působící opačným směrem jako síla tíhová – výsledná síla F je tedy dána jako $F = F_G - F_s$
- volný pád – výtah padá se zrychlením g : $F_s = -mg$, výsledná síla je $F = F_G - F_s = 0 \text{ N}$ – stav beztlíže

12 Otáčející se vztažné soustavy. Coriolisova síla.

Př. otáčející se kolotoč



Z pohledu pozorovatele na Zemi (mimo kolotoč)

- jedná se o **inerciální** vztažnou soustavu
- na sedačku působí dostředivá síla $F_d = m\omega^2 r$, která je výslednicí tíhové síly F_G a tahové síly F_T působící na řetěz sedačky
- po přetržení řetězu dostředivá síla zanikne a sedačka se pohybuje ve směru tečny k trajektorii – ve směru okamžité rychlosti

Z pohledu pozorovatele na sedačce kolotoče

- jedná se o **neinerciální** vztažnou soustavu
- na sedačku působí kromě tíhové síly F_G ještě setrvačná odstředivá síla $F_s = m\omega^2 r = mg \tan \alpha$; výslednicí tíhové síly F_G a setrvačné síly F_s je síla $-F_T$, která je stejně velká ale má opačný směr než F_T
- **celková výsledná síla působící na sedačku je $F = F_T - F_T = 0$ N, sedačka je tedy vůči kolotoči v klidu**
- po přetržení řetězu se z pohledu člověka na sedačce tato sedačka vzdaluje od středu kolotoče – osy otáčení

Coriolisova síla

- setrvačná síla vznikající v rotující soustavě z hlediska pozorovatele spojeného s rotující soustavou
- směr kolmý současně na vektor rychlosti a vektor úhlové rychlosti
- způsobuje viditelné stáčení trajektorie tělesa proti směru otáčení soustavy
- př. rotující Země: meteorologie (na severní polokouli se tlakové níže stáčí doleva, výše doprava; na jižní polokouli opačně); balistika: zakřivení trajektorie projektilu letícího ve směru poledníku – na severní polokouli se vychyluje doprava při pohybu od severu k jihu; vodní toky: větší podemílání pravých břehů u toků tekoucích od severu k jihu na severní polokouli

$$F_c = 2m \cdot v \cdot \omega \cdot \sin \varphi$$

m – hmotnost tělesa

v – rychlost tělesa

ω – úhlová rychlost rotující vztažné soustavy

φ – úhel, který svírá vektor rychlosti s vektorem úhlové rychlosti

Coriolisova síla ovlivňuje nejen počasí

DAGMAR JANDOVÁ

Někdy můžeme v předpovědi počasí slyšet, že tlaková níže nad severní Evropou bude v následujících dnech ovlivňovat i počasí ve střední Evropě. Fakt, že do tlakových níží neustále přiléká vzduch z tlakových výší za účelem vyrovnání tlaku, je známý. Proč se tedy níže rychle nevyplní a tlak nevyrovná?

Tak by tomu skutečně bylo, kdyby se Země neotáčela kolem své osy. Ale vzduch neproudí přímo „nejbližší cestou“ do tlakové níže, protože na něj působí zdánlivá síla, zvaná Coriolisova. Ta vzniká právě otáčením Země kolem své osy, proto se jí také říká uchylující síla zemské rotace.

Způsobuje, že se na severní polokouli všechny pohybující se objekty odchylují doprava, na jižní doleva. Má vliv na vše, co se pohybuje a není pevně spojeno se zemským povrchem, ať už se jedná o mořský proud, částice vzduchu nebo třeba vzržený granát.

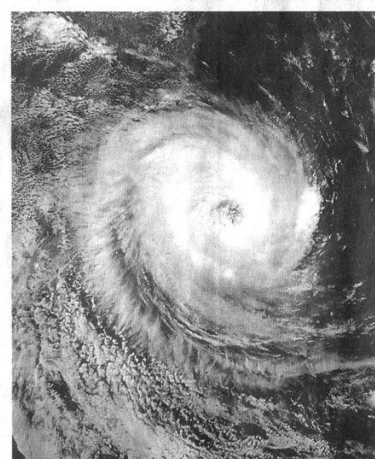
Yvštělení je prosté. Každý bod na Zemi musí za 24 hodin urazit stejnou úhlovou vzdálenost, a to 360 stupňů. Je lhotejně, jestli leží na rovníku, nebo na pólu. Jenže bod na rovníku se pohybuje rych-

lostí 1667 km/h, zatímco na 50. rovnoběžce je to už jen 1073 km/h a přímo na pólu nulovou rychlostí. Proudí-li vítr od jihu na sever, ocitá se na místě, kde se pod ním zem otáčí pomaleji než ve výchozím bodě. Pro pozorovatele to pak vypadá, jako by se vítr stáčil k východu, tedy doprava.

Při proudění od severu k jihu se analogicky stáčí k západu, tedy rovněž doprava. Na jižní polokouli je tomu naopak. Coriolisova síla působí vždy kolmo na směr pohybu a její velikost roste jednak se zvyšující se zeměpisnou šířkou, jednak s rychlostí pohybu. Tyto zákonitosti popsal roku 1835 Gustave-Gaspard de Coriolis.

Nejnápadnějším projevem této síly je spirálovitý tvar tlakových níží, patrný z družicových snímků. Z tlakových výší proudí vzduch ven a rovněž se stáčí, na družicových snímcích to však tolik zřetelné není, protože tlaková výše nebývá doprovázena výraznou oblačností.

Podzemní břežky a sítě koleje
Coriolisova síla má na svědomí i převládající západní proudění v naší zeměpisné síťce, pasáty směřující k rovníku či převládající východní větry v polárních oblastech. Ale známé jsou i jiné případy,



Cyklona. Coriolisova síla ovlivňuje tvar tropických tlakových níží. Foto NASA

např. větší podemílání pravých břehů řek, kam je proud vody urychluje vlivem rotujícího zemského povrchu tlačení více než vlevo (na jižní polokouli naopak).

Podobně síla ovlivňuje pohyb vlaku. Na tratích, kde vlaky jezdí pouze jedním směrem, se více opožďovává pravá kolejnice. Častou otázkou je, zda má Coriolisova síla vliv i na vír ve vypouštěném umyvadle. Správně by měla, ale v tomto případě to nemusí platit stoprocentně, na vzdálenosti pouhých několika centimetrů je rozdíl rychlosti rotace velmi malý, takže často převládá lokální vlivy, jako jsou nerovnosti povrchu, tvar nádob či původní směr proudění vody.

Neznalost zachránila Paříž

Coriolisova síla hraje roli také v balistice, počítá se s ní ve výpočtech trajektorie střel. V minulosti však najdeme nejen případ, kdy s ní vojáci nepočítali. Nejznámější je příběh, který se odehrál na sklonku 1. světové války. Němečtí dělostřelci osiřovali Paříž z nejbližší fronty, vzdálené 120 km severně od města. Souřadnice i veškeré výpočty byly správné, až na jeden detail – Coriolisovu sílu. A tak všechny granáty minulý cíl, dopadly necelý kilometr západně od města.