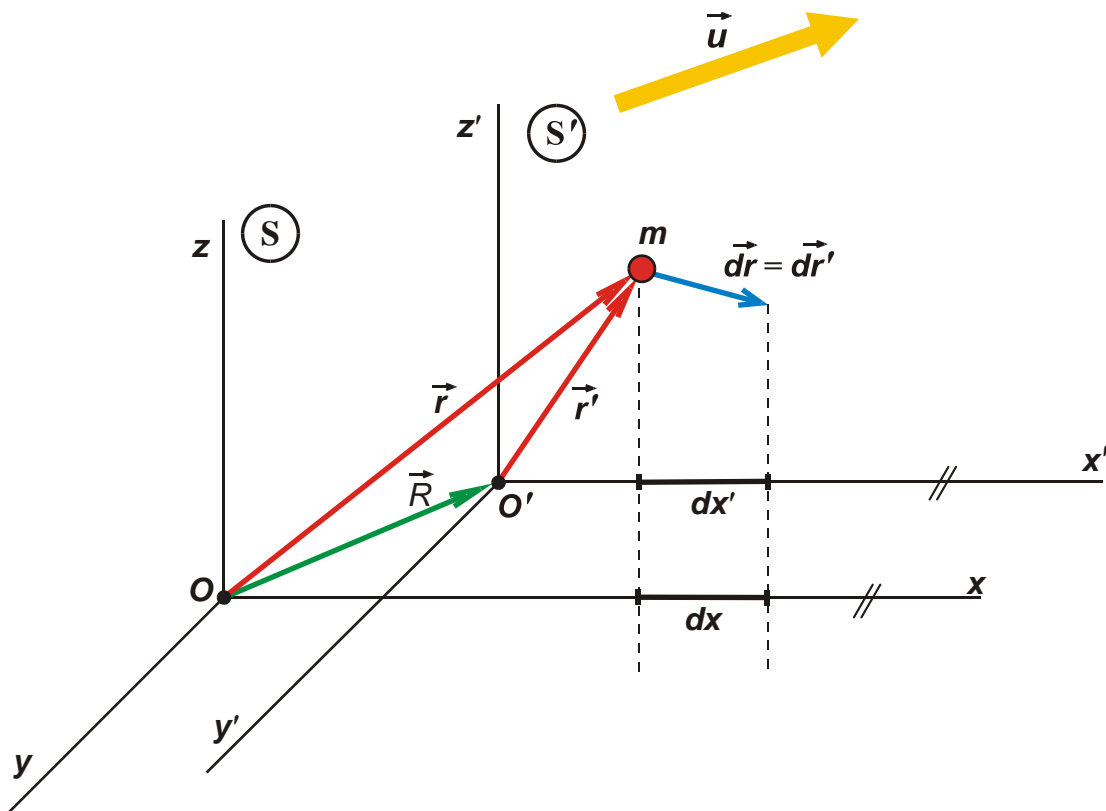


## Inerciální a neinerciální soustavy

Vraťme se nyní k relativním pojmům klidu a pohybu obsaženým v Newtonov zákonu setrvačnosti, které závisí na volbě vztažné soustavy souadnic.

Představme si dva kartézské souadné systémy  $S$  a  $S'$ , které se vůči sobě pohybují nějakým jednoduchým způsobem - například tak, že  $S$  je v klidu (viz náčrtek) a  $S'$  se pohybuje směrem doprava, přičemž jejich osy zůstávají stále rovnoběžné (tak vypadá posuvný pohyb, nebo-li translace).

V obou těchto systémech pak budeme sledovat jeden a tentýž hmotný bod  $m$ , který se zcela nezávisle na souadných systémech pohybuje v prostoru (viz obr.).



Na obrázku jsou vyznačeny tři polohové vektory:

$\vec{r} = (x, y, z)$                       pr. vodi hmotného bodu v soustavě  $S$

$\vec{r}' = (x', y', z')$                       pr. vodi hmotného bodu v soustavě  $S'$

$\vec{R} = (R_x, R_y, R_z)$                       pr. vodi bodu  $O'$  v soustavě  $S$

Vidíme, že zřejmě platí:

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}$$

vztah mezi pr. vodiči v soustavě  $S$  a  $S'$

Prove me derivaci této rovnice :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d\vec{r}'}{dt} + \frac{d\vec{R}}{dt}$$

A uvaľme význam vzniklých členů :

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \vec{v}$$

rychlost hmotného bodu v soustavě S

$$\frac{d\vec{r}'}{dt} = \frac{d'\vec{r}'}{dt} = \vec{v}'$$

rychlost hmotného bodu v soustavě S'

$$\frac{d\vec{R}}{dt} = \vec{u}$$

uná-ivá rychlost soustavy S' (vzhledem k S)

Název uná-ivé rychlosti pochází z popisu situace, kdy je hmotný bod v klidu v soustavě S' (např. sedící cestující ve vozidle), ale stejně se pak pohybuje v i soustavě S, protože je árkovanou soustavou (vozidlem) šuná-enö rychlostí u.

Pozn. : Povšimněte si také ve druhé rovnici toho detailu, že rychlost v árkované soustavě musí být samozřejmě po ítána z mění v této soustavě, tj. že přítok dráhy (jeho ti souřadnice) musí být změněn na osách této soustavy, a proto je příslušný matematický výraz diferenciál árkovaného průvodiče - označen je další árkou, jako diferenciál definovaný (mění) v soustavě S'. Z obrázku je dobře vidět, že rovnost obou diferenciálů (árkovaných a neárkovaných, měněných v S a v S') nastane pouze za podmínky rovnoběžnosti souřadných os obou soustav, což je právě případ posuvného pohybu soustavy S' (pokud by ovšem soustava S' konala například rotační pohyb, byla by situace úplně jiná - viz výklad na závěr této kapitoly).

Pak tedy pro rychlosti hmotného bodu platí podobná rovnice jako pro průvodiče :

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{u}$$

vztah mezi rychlostmi v soustavě S a S'

Další derivací pak dostáváme vztah pro zrychlení:

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} + \frac{d\vec{u}}{dt}$$

Významy jednotlivých členů rovnice budou analogické :

$$\frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{a}$$

zrychlení hmotného bodu v soustavě S

$$\frac{d\vec{v}'}{dt} = \vec{a}'$$

zrychlení hmotného bodu v soustavě S'

$$\frac{d\vec{u}}{dt} = \vec{a}_u$$

uná-ivé zrychlení soustavy S'

Pro zrychlení hmotného bodu platí potom rovnice :

$$\vec{a} = \vec{a}' + \vec{a}_u$$

vztah mezi zrychleními v soustav  $S$  a  $S\emptyset$

Získané vztahy vyuflijme dále pro rozbor dvou základních p ípad pohybu soustavy  $S\emptyset$  :

1) rovnom rný p ímo arý pohyb soustavy  $S\emptyset$

Uná-ivá rychlost je v tomto p ípad konstantní :

$$\vec{u} = konst.$$

Uvařime pak situaci, ře v soustav  $S$  pro n jaké t leso platí 1. Newton v zákon - tedy ře se toto t leso bez p sobení sil pohybuje v soustav  $S$  rovnom rným p ímo arým pohybem, nebo je v klidu. Jeho rychlost je tedy konstantní, v etn nuly :

$$\vec{v} = konst.$$

Z vý-e uvedených p evodních vztah pro rychlosti mezi ob ma soustavami pak plyne, ře rychlost t lesa v soustav  $S\emptyset$  bude také konstantní ó to znamená, ře i v této soustav se t leso pohybuje rovnom rným p ímo arým pohybem, nebo je v klidu :

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} = konst.$$

Zákon setrva nosti tedy platí v soustav  $S$ , i v soustav  $S\emptyset$

Takové sou adné soustavy se pak nazývají inerciální (inercie = setrva nost).

Nalezneme nyní konkrétní matematický transforma ní vztah mezi sou adnicemi inerciálních soustav. Vyuflijeme nejprve vý-e odvozenou obecn platnou rovnici pro pr vodi e :

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{R}$$

Jestliffe p ijmemo ist formální p edpoklad, ře soustava  $S$  je šprvotníõ (šstaráõ) a soustava  $S\emptyset$  je šdruhotnáõ (šnováõ), pak by v p evodním vztahu m ly stát šnové sou adniceõ na levé stran rovnice :

$$\vec{r}' = \vec{r} - \vec{R}$$

Vektorovou rovnici m řeme rozepsat do t í rovnic skalárních :

$$x' = x - R_x$$

$$y' = y - R_y$$

$$z' = z - R_z$$

Uná-ivá rychlost soustavy  $S_0$  je vlastn rychlostí pohybu jejího po átku  $O_0$  v soustav  $S$ . Uvařme dále, ře tento pohyb je mořno rozlořit na t i jednoduché pohyby na sou adných osách  $x$ ,  $y$  a  $z$  (viz odstavec řKinematika hmotného bodu) a ře konstantní uná-ivá rychlost znamená konstantní sou adnice jejího vektoru - a tyto sou adnice udávají jednotlivé konstantní rychlosti pohyb na t chto osách :

$$\vec{u} = (u_x, u_y, u_z)$$

Na kařdé sou adné ose soustavy  $S$  se tedy d je oby ejný **p ímo arý rovnom rný pohyb**, jehoř rovnice je nejstar-í fyzikální rovnicí, kterou znáte :  $s = v \cdot t$

Tento jednoduchý vztah platí ov-em **za p edpokladu**, ře v ase  $t = 0$  je dráha nulová, tj. ře bod  $O_0$  je v míst bodu  $O$ , jinak e eno - ře **v nulovém ase ob soustav splývají**. Potom tedy pro v-echny t i sou adnice bodu  $O_0$  v soustav  $S$  - tj. pro vykonané dráhy na sou adných osách  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , bude :

$$R_x = u_x \cdot t$$

$$R_y = u_y \cdot t$$

$$R_z = u_z \cdot t$$

Tyto t i skalární vztahy m ře také p ípadn nahradit jedna vektorová rovnice (ale dále ji nepouřijeme) :

$$\vec{R} = \vec{u} \cdot t$$

Kdyř získané skalární výrazy dosadíme do obecných rovnic, vzniknou hledané konkrétní transforma ní vztahy mezi ob ma inerciálními soustavami :

$$x' = x - u_x \cdot t$$

$$y' = y - u_y \cdot t$$

$$z' = z - u_z \cdot t$$

**Galileovy transformace**

Nebo vektorov :

$$\vec{r} = \vec{r}' + \vec{u} \cdot t$$

K tomu p istupuje řsamozejmýř vztah mezi asy :

$$t = t'$$

Pro obrácený p evod sou adnic, z nové soustavy  $S_0$  do staré  $S$ , je pak vhodné, aby na levých stranách transforma ních rovnic byly sou adnice ne řrkované :

$$x = x' + u_x \cdot t$$

$$y = y' + u_y \cdot t$$

$$z = z' + u_z \cdot t$$

$$t = t'$$

**Galileovy transformace obrácené** (inverzní)

Pozn. : Tyto transformační rovnice, které jsou zejména neoddelitelně spojeny s principy klasické mechaniky, byly zásadně poprvé Einsteinovou (speciální) teorií relativity a nahrazeny v ní jinými vztahy pro inerciální systémy, tzv. **Lorentzovými transformacemi**.

Prozkoumejme dále také **platnost 2. Newtonova zákona** v soustavě  $S_0$ . Předpokládejme tedy, že pro hmotný bod v soustavě  $S$  již neplatí zákon setrvačnosti, ale že se p sobením n jakých t les za al pohybovat podle zákona síly :

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

A podívejme se, zda bude tato rovnice platit i v árkované soustavě  $S$ . Při **konstantní uná-ivé rychlosti** soustavy  $S_0$  je ovšem její **uná-ivé zrychlení nulové** :

$$\vec{a}_u = \frac{d\vec{u}}{dt} = \frac{d}{dt}(\text{konst}) = 0$$

A z p evodních vztahů plyne **rovnost zrychlení** hmotného bodu v obou inerciálních soustavách :

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{a}_u = \vec{a}$$

Pohybová rovnice v  $S_0$  má tedy tvar :

$$m \cdot \vec{a}' = m \cdot (\vec{a} - \vec{a}_u) = m \cdot \vec{a} = \vec{F} = \vec{F}'$$

Vidíme jasně, že v obou soustavách jsou **stejná zrychlení** i **stejná působící síly**.

Pohybová rovnice platí tedy v **nezmeněném tvaru** v každé inerciální soustavě, tj. je **(formálně) stejná ve všech inerciálních soustavách**.

Je to jinak? Ano :

**Pohybové rovnice jsou invariantní vůči Galileov transformaci.**

Tato skvělá vlastnost pohybových rovnic, která velmi zjednodušuje matematické výpočty a umožní také jinou, elegantní **definici inerciálních** soustav, tj. jako **soustav, ve kterých platí Newtonovy zákony**, však zcela **znemožňuje** nalezení oné základní, významné inerciální soustavy, předpokládané Newtonem, tj. **absolutního prostoru**.

Nyní diskutujme druhý důležitý případ pohybu soustavy  $S_0$ :

## 2) **nerovnoměrný (posuvný) pohyb soustavy $S_0$**

Uná-ivá rychlost soustavy  $S_0$  je nyní obecně **proměnnou** veličinou, tj. může se měnit jak velikost, tak také směr a orientace jejího vektoru :

$$\vec{u} \neq \text{konst.}$$

Soustava  $S\emptyset$  se tedy pohybuje **nerovnomrným křivočárým pohybem** v inerciální soustavě  $S$  (pozor - stále to musí být **translace** **ó** **posuvný pohyb**, při kterém osy soustavy zachovávají svůj směr - to je především předpoklad platnosti používaných transformačních vztahů).

Pozn. : O translaci, případně rotaci se mluví zejména při popisu **obecného pohybu pevných těles**, ostatně každá **soustava souadnic je vždy spojena s nějakým hmotným tělesem**, jak si uvědomíme později ve speciální teorii relativity. Jiná definice popisuje **translaci** jako takový pohyb, při kterém **všechny body tělesa** (zde souadnicových os) se pohybují po geometricky **stejných drahách**.

Názorně si můžeme translaci představit jako například pohyb kurzoru počítačové myši na obrazovce, lodíky na Ruském kole, balistického kyvadla, auta po křivočáré dráze **ó** nesmolobý se ale v zatáčkách natáčet do směru svého pohybu.

Při křivočárém pohybu **ó**řávkované soustavy je ovšem její **úhlové zrychlení nenulové** :

$$\vec{a}_u = \frac{d\vec{u}}{dt} \neq 0$$

Potom i v případě konstantní rychlosti nějakého tělesa v soustavě  $S$  - tj. jestliže by v  $S$  pro toto těleso **platil zákon setrvačnosti** - podle obecných **ó**řevodních vztahů ale v soustavě  $S\emptyset$  rychlost tělesa **ú**hlí konstantní nebude :

$$\vec{v}' = \vec{v} - \vec{u} \neq konst.$$

**Zákon setrvačnosti tedy v  $S\emptyset$  neplatí**, **ó**řávkovaná soustava je nyní **neinerciální soustavou** a protože je **úhlové zrychlení nenulové**, bude **zrychlení** hmotného bodu v soustavě  $S\emptyset$  **ó**dlíčné od zrychlení v  $S$  :

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{a}_u$$

A pohybová rovnice v  $S\emptyset$  má potom tvar :

$$m \cdot \vec{a}' = m \cdot (\vec{a} - \vec{a}_u) = m \cdot \vec{a} - m \cdot \vec{a}_u = \vec{F} + \vec{F}^* = \vec{F}'$$

V **neinerciální** soustavě **ó**jí tedy **pohybová rovnice není invariantní**, nebo **změní svůj tvar** **ó** na její pravé straně se kromě **přivodní** **ó** sobící síly objevuje **nová síla** závisující na **úhlovém zrychlení** soustavy :

$$\vec{F}^* = -m \cdot \vec{a}_u$$

**setrvačná síla** (v neinerciální soustavě)

Tato síla vlastně **nutí těleso pokračovat, setrvávat** v **ó**řivodním pohybu, **nevyjaduje** však přisobení **ó**řádného dalšího hmotného objektu (tak jsou definovány **skutečné síly** v Newtonových zákonech), proto se **setrvačná síla** také nazývá silou **zdánlivou**, nebo **fiktivní**.

Je to ovšem síla naprosto reálně přisobící, jak každě z nás sám na sobě **ó** pociťuje ve zrychlujícím nebo brzdícím dopravním prostředku. (Přivod této síly vysvětluje Obecná teorie relativity.)

Celkem tedy : V inerciálních systémech vždy invariantní **pohybová rovnice**, která má na pravé straně pouze skutečnou sílu, **v neinerciálním systému neplatí!**

Abychom získali platný matematický vztah, musíme na pravou stranu rovnice **přidat** k pravé straně skutečnou sílu je-t **sílu setrvačnou** :

$$m \cdot \vec{a}' = \vec{F}' = \vec{F} + \vec{F}^*$$

pohybová rovnice v neinerciální soustavě

Nezapomejme, že vztah pro setrvačnou sílu byl odvozen za předpokladu nerovnoměrného křivočarého pohybu neinerciální soustavy  $S\phi$ , v kterém se obecně mění jak velikost, tak také směr a orientace úhlové rychlosti.

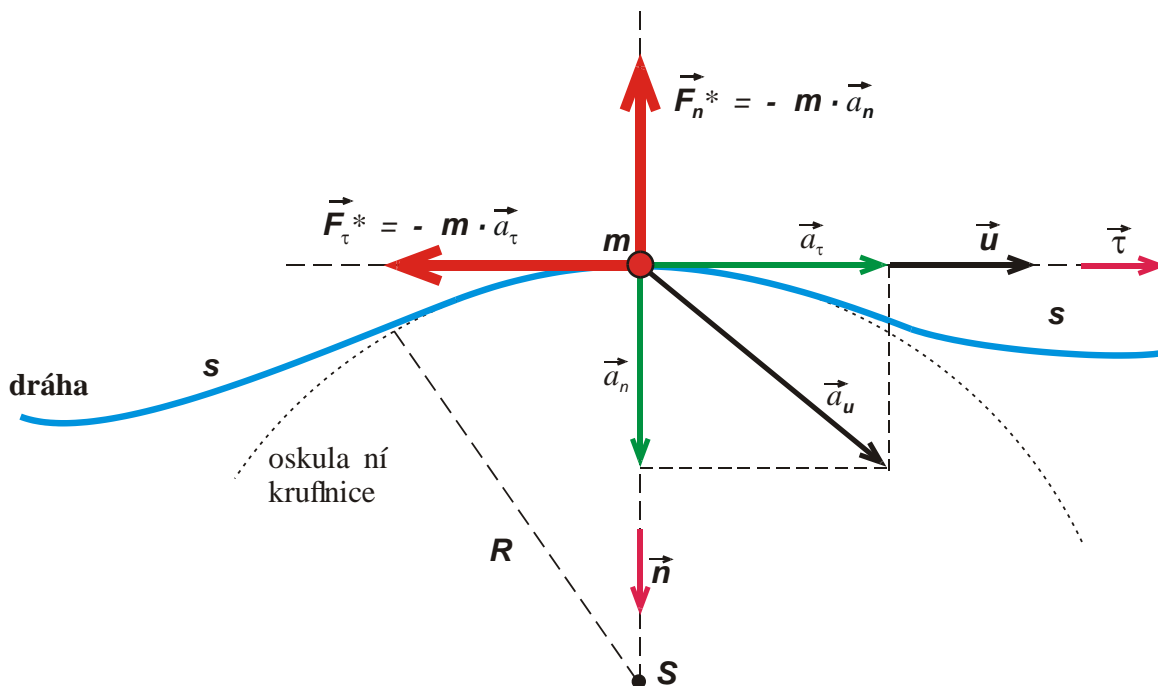
Můžeme nyní dobře uplatnit naše obecné znalosti z kinematiky a rozložíme úhlové zrychlení neinerciální soustavy na tečnou a normálovou složku (bylo by u nich logické také použít stejný index  $u$ , ale pro zjednodušení zápisu ho vynecháme):

$$\vec{a}_u = \vec{a}_n + \vec{a}_\tau$$

Po dosazení do vztahu pro setrvačnou sílu:

$$\vec{F}_n^* = -m \cdot (\vec{a}_n + \vec{a}_\tau) = -m \cdot \vec{a}_n - m \cdot \vec{a}_\tau = \vec{F}_n^* + \vec{F}_\tau^*$$

Dostáváme tedy dvě složky setrvačné síly, které lze velmi dobře znázornit a interpretovat (viz obr.):



Dosa me za normálové a te né zrychlení známé vztahy, pouze místo obecné rychlosti  $v$  poufijeme uná-ívou rychlost  $u$ .

První síla na pravé stran má opa ný sm r než dost edivé zrychlení, odtud také její název:

$$\vec{F}_n^* = -m \cdot \vec{a}_n = -m \cdot \frac{u^2}{R} \cdot \vec{n} = -m \cdot \vec{\omega} \times \vec{\omega} \times \vec{r}$$

odst edivá síla

Velikost odst edivé síly je ov-em stejná jako velikost síly dost edivé:

$$F_n^* = F_n = m \cdot \frac{u^2}{R}$$

Druhá síla pak mí í proti sm ru te ného zrychlení (viz obr.) :

$$\vec{F}_\tau^* = -m \cdot \vec{a}_\tau = -m \cdot \frac{du}{dt} \cdot \vec{\tau} = -m \cdot \vec{\varepsilon} \times \vec{r}$$

Eulerova (setrva ná) síla

Její velikost je samoz ejm také stejná jako velikost te né síly:

$$F_\tau^* = F_\tau = m \cdot \frac{du}{dt}$$

Z vlastní zku-nosti (nap íklad z dopravních prost edk , v situaci kdyfl zatá í, brzdí a zrychlují) m fleme potvrdit, fle ob setrva né síly skute n reáln existují.

Z obou vztah je z ejmé, fle v obecném p ípad **nerovnom rného k ívo arého pohybu** soustavy  $S\emptyset$  kdy se m ní jak velikost, tak i sm r a orientace uná-ívé rychlosti, jsou ob setrva né síly **nenulové**.

Odlí-ná situace m fle nastat pouze ve speciálních p ípadech:

- a) Jestlifle se neinerciální soustava  $S\emptyset$  pohybuje **rovnom rným k ívo arým pohybem**, tedy s konstantní velikostí uná-ívé rychlosti, ale s prom nlivým sm rem ( $u = konst.$ ), pak je sice te né zrychlení nulové, ale v fdy existuje zrychlení dost edivé, dané zak ívením dráhy, a setrva nou sílu tvo í pouze síla odst edivá:

$$\vec{F}^* = -m \cdot \vec{a}_n = \vec{F}_n^*$$

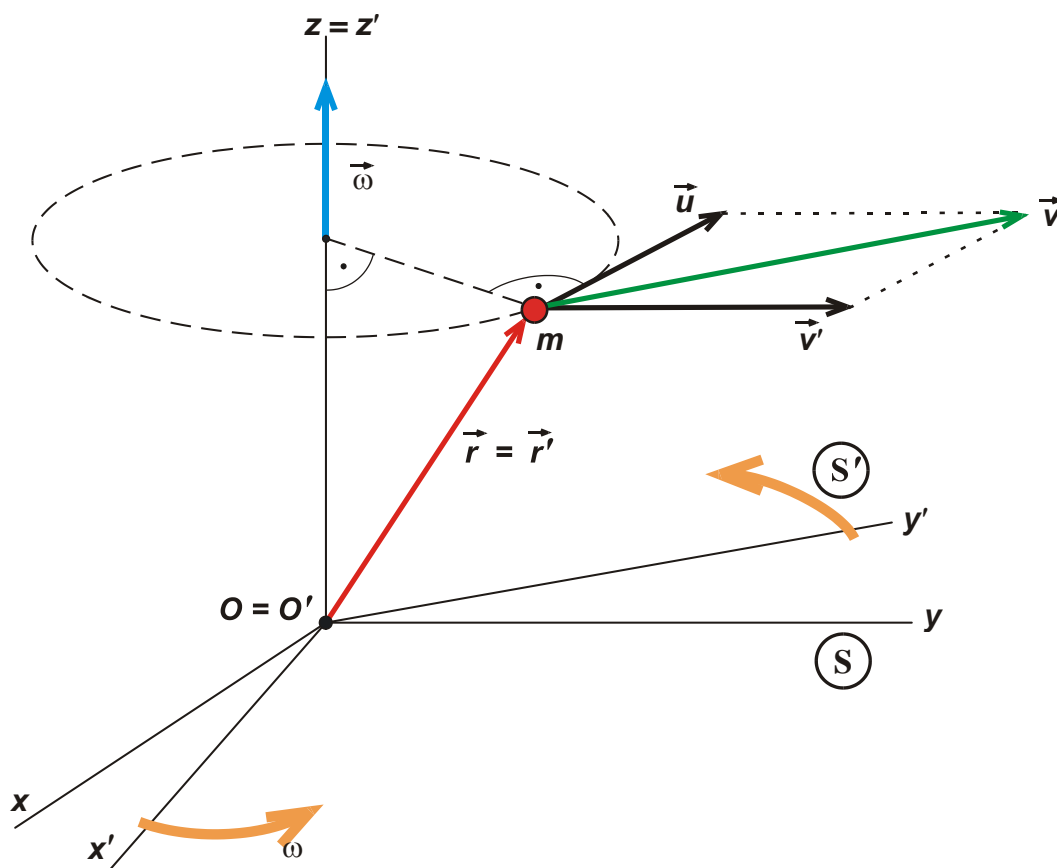
- a) Jestlifle se neinerciální soustava  $S\emptyset$  pohybuje **nerovnom rným p ímo arým pohybem**, který je možno charakterizovat prom nnou velikostí uná-ívé rychlosti ( $u \approx konst.$ ), ale konstantním sm rem a orientací, pak je nulové dost edivé zrychlení, ale existuje te né zrychlení a setrva nou sílu tvo í pouze Eulerova síla:

$$\vec{F}^* = -m \cdot \vec{a}_\tau = \vec{F}_\tau^*$$

V nejobecnějším případě je ovšem pohyb neinerciální soustavy  $S\phi$  (stejně jako obecný pohyb tělesa – viz kapitola 8 Dynamika tuhého tělesa) vředy vytvářen spojením pohybu translačního s pohybem rotacním. Proto na závěr prozkoumáme ještě základní případ pohybu neinerciální soustavy  $S\phi$ :

### 3) rotací pohybu soustavy $S\phi$

Předpokládejme, že inerciální soustava  $S$  je v klidu v níž nakreslíme a neinerciální soustava  $S\phi$  se otáčí úhlovou rychlostí  $\omega$  kolem společných os  $z = z\phi$  a jejich počátky obou soustav splývají ( $O = O\phi$ ).



Opět sledujeme průběh jediného hmotného bodu  $m$  v soustavě  $S$  i  $S\phi$ . Protože počátky obou soustav splývají, jsou tyto vektory totálně:

$$\vec{r} = \vec{r}'$$

Souadnice tohoto vlastního jediného vektoru jsou ovšem různé v obou soustavách, ale hlavně jsou různé jeho časové změny (derivace), tedy i derivace podle času v těchto soustavách.

Jestliže si nejprve představíme, že hmotný bod je v i-ávkované soustavě v klidu (tj. je se soustavou  $S_0$  například pevně spojený), pak nám bude zřejmé, že je touto soustavou uná-en a že společně s ní koná kruhový pohyb. Jeho uná-ivá rychlost je tedy rovna **obvodové rychlosti** kruhového pohybu:

$$\vec{u} = \vec{\omega} \times \vec{r}$$

Obecně se ovšem hmotný bod může v soustavě  $S_0$  je-t navíc pohybovat nějakou rychlostí  $\vec{v}'$ , potom podle principu skládání rychlostí je jeho **výsledná rychlost** v klidové soustavě  $S$  rovna součtu obou těchto rychlostí:

$$\vec{v} = \vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

**skládání rychlostí v soustavě  $S$**

Rychlosti hmotného bodu jsou ovšem určeny časovými pí-ír stky ó derivacemi - pí-ír stky -ných pí-ír stky v obou soustavách:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d'\vec{r}'}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

Z této rovnosti pí-ír stky můžeme pak psát:

$$\frac{d\vec{r}}{dt} = \frac{d'\vec{r}'}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{r}$$

Vytvořili jsme tedy rovnici platnou pro **jeden a tentýž vektor** pí-ír stky e ve **dvou r-íznych** soustavách, inerciální  $S$  a neinerciální  $S_0$ , která vysvětluje šelkový ó pí-ír stky pí-ír stky e (časovou změnu, derivaci) v inerciální soustavě  $S$  jako součet jeho **vlastního pí-ír stky** v  $S_0$  a pí-ír stky od **uná-ivého rota ního pohybu** v soustavě  $S_0$ .

Posunout do pí-ír stky můžeme ovšem vektor jakékoliv fyzikální veličiny a tím se tento vektor dostane do stejně situace jako pí-ír stky a stejným způsobem (jako vektory) se budou skládat jeho pí-ír stky od rota ního pohybu i od jeho vlastní změny v  $S_0$ .

Dostaneme tak velmi **obecný vztah mezi derivacemi libovolného vektoru**  $\vec{A}$  ve dvou r-íznych vztafných soustavách ó v inerciální  $S$  a v neinerciální soustavě  $S_0$ , rotující úhlovou rychlostí  $\vec{\omega}$ :

$$\frac{d\vec{A}}{dt} = \frac{d'\vec{A}'}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{A}$$

Představa, že jakákoliv vektorová fyzikální veličina se chová stejně jako polohový vektor z mechaniky je ovšem poněkud nezvyklá, celkem ale jde pouze o maximálně názorné šodvození ó obecného, velmi nenázorného vztahu z matematické analýzy, platícího pro libovolné vektorové spojité funkce, který dokonce ani nepotřebuje předpoklad společných pí-ír stky a rota ních os obou soustav.

My tento vztah vyuffijeme pro **výpo et zrychlení** hmotného bodu **v neinerciální soustav** . Nejprve ho aplikujeme na vektor rychlosti v soustav  $S\phi$  :

$$\frac{d\vec{v}'}{dt} = \frac{d'\vec{v}'}{dt} + \vec{\omega} \times \vec{v}'$$

Na pravé stran rovnice hned dostáváme hledané zrychlení :

$$\vec{a}' = \frac{d'\vec{v}'}{dt} = \frac{d\vec{v}'}{dt} - \vec{\omega} \times \vec{v}'$$

V prvním lenu na pravé stran dosadíme za árkovanou rychlost z po áte ního základního vztahu pro skládání rychlostí a provedeme derivace podle standardních pravidel pro derivace :

$$\vec{a}' = \frac{d}{dt}(\vec{v} - \vec{\omega} \times \vec{r}) - \vec{\omega} \times \vec{v}' = \frac{d\vec{v}}{dt} - \frac{d\vec{\omega}}{dt} \times \vec{r} - \vec{\omega} \times \frac{d\vec{r}}{dt} - \vec{\omega} \times \vec{v}'$$

Na pravé stran rovnice vznikly nyní známé veli iny **zrychlení** , **úhlového zrychlení** a **rychlosti** hmotného bodu v soustav  $S$  , tedy ne árkované veli iny :

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{\varepsilon} \times \vec{r} - \vec{\omega} \times \vec{v} - \vec{\omega} \times \vec{v}'$$

A pro rychlost v  $S$  pouffijeme je-t jednou vztah pro skládání rychlostí a provedeme roznásobení a sdružení len v poslední rovnici :

$$\vec{a}' = \vec{a} - \vec{\varepsilon} \times \vec{r} - \vec{\omega} \times (\vec{v}' + \vec{\omega} \times \vec{r}) - \vec{\omega} \times \vec{v}' = \vec{a} - \vec{\varepsilon} \times \vec{r} - \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2\vec{\omega} \times \vec{v}'$$

Po vynásobení hmotností dostaneme ihned **pohybovou rovnici v rotující soustav** :

$$m \cdot \vec{a}' = m \cdot \vec{a} - m \cdot \vec{\varepsilon} \times \vec{r} - m \cdot \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r}) - 2 \cdot m \cdot \vec{\omega} \times \vec{v}' = \vec{F} + \vec{F}_1^* + \vec{F}_2^* + \vec{F}_3^* = \vec{F}'$$

Vidíme, že krom **skute né síly**  $\vec{F}$  p sobící v inerciální soustav musíme do pohybové rovnice v neinerciální rotující soustav zapo ítat dal-í celkem **t i zdánlivé síly** :

$$\vec{F}_1^* = \vec{F}_\tau^* = -m \cdot \vec{\varepsilon} \times \vec{r}$$

**Eulerova (setrva ná) síla**

$$\vec{F}_2^* = \vec{F}_n^* = -m \cdot \vec{\omega} \times (\vec{\omega} \times \vec{r})$$

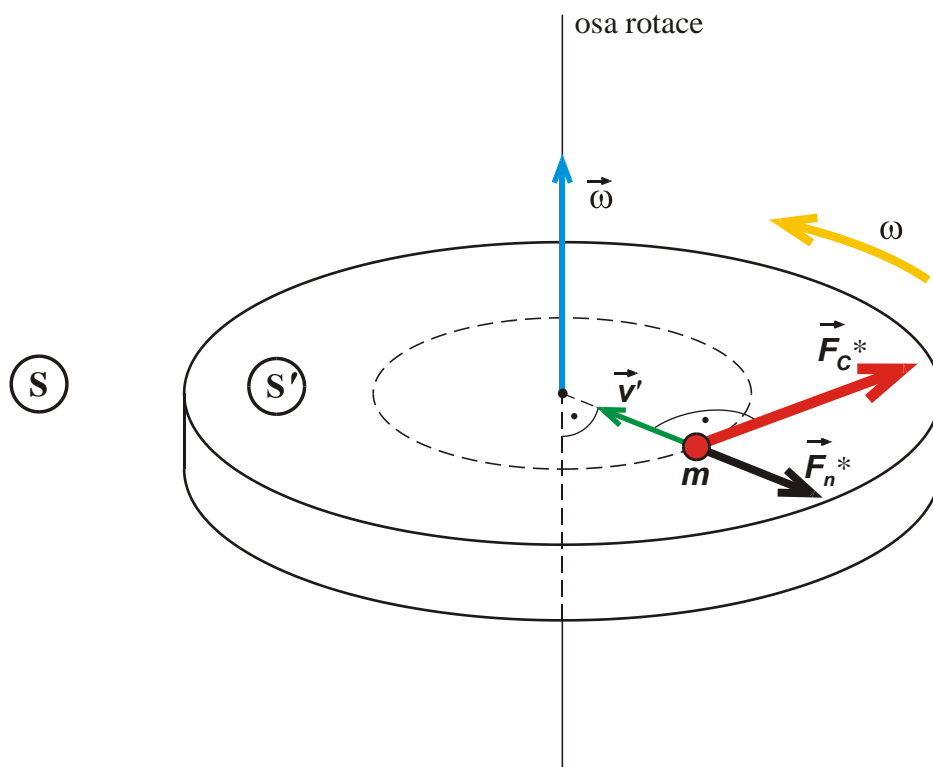
**odst edivá síla**

Krom t chto dvou o ekávaných a známých sil existuje je-t dal-í síla napohled pon kud komplikovaných vlastností :

$$\vec{F}_3^* = \vec{F}_C^* = -2m \cdot \vec{\omega} \times \vec{v}'$$

**Coriolisova síla**

Vzorec nám ukazuje, že tato síla se objevuje pouze v případě **vlastního pohybu** hmotného bodu v neinerciální soustavě takovou rychlostí, která není rovnoběžná s osou rotace (viz obr.).



Z důvodu relativně malé velikosti Coriolisovy síly na povrchu Země v běžném fluktuálním pohybu nepociťujeme, přesto je to velmi důležitá a za určitých okolností může mít v některých technických aplikacích výrazný vliv.

(Může například způsobit vír vytékající kapaliny, odlišného směru na severní i jižní polokouli, odklánění dráhy padajícího tělesa, státní roviny matematického kyvadla atd.)