

## Využití setrvačných sil 1

Jan Podpěra\*, Gymnázium Jana Nerudy, Praha 1

Poměrně často se setkávám u studentů s otázkou, jaké má vykládaná oblast fyziky využití. Při hledání odpovědi můžeme být překvapeni tím, že téměř každá kapitola učebnice fyziky skrývá široké uplatnění. Pro ilustraci si ukážeme mnoho příkladů uplatnění tématu „*Setrvačné síly*“.

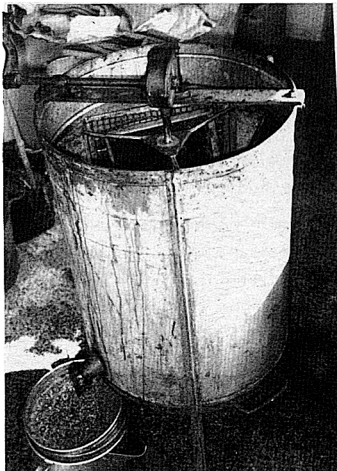
Při vysvětlování jednotlivých příkladů budeme používat dva pohledy. Jednou se budeme na situaci dívat z hlediska neinerciální vztažné soustavy spojené s daným zařízením; podruhé budeme problém zkoumat z hlediska vnějšího pozorovatele v inerciální vztažné soustavě. Abychom dobře rozlišili, v které soustavě daný příklad právě vysvětlujeme, uvedeme na začátku vysvětlování značku: (NS) = neinerciální vztažná soustava; (IS) = inerciální vztažná soustava.

Výklad v neinerciální vztažné soustavě podáme vždy. V inerciální soustavě podáme výklad jen příležitostně, a v tom případě uvedeme na začátku vysvětlování značku zavedenou v předchozím odstavci.

### PŘÍSTROJE A VYUŽITÍ SETRVAČNÝCH SIL V PRAXI

#### Medomet

Medomet slouží ke stáčení medu, tj. k oddělení tekutého medu od voskových pláství.



*medomet*



*zařízení k odzátkování buněk pláství*

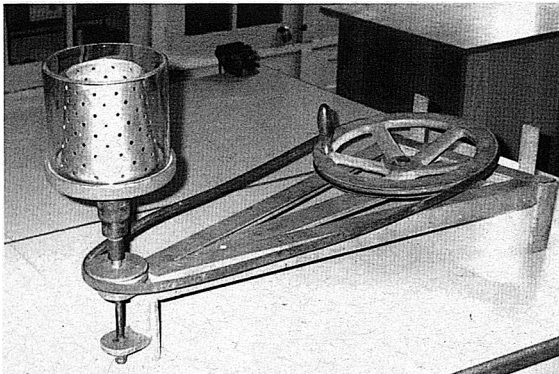
Včely si nejprve připraví plástve s šestibokými komůrkami pro med, poté je naplní medem, uloží do nich vajíčko a nakonec komůrky zavičkují včelím voskem. Když je celá plástev na-

\* podpera@volny.cz

plněna, včelař ji vyjme z úlu, odvíčkjuje a vloží do přihrádky medometu. Nakonec medomet uzavře a nádobu s plástvemi roztočí (viz foto).

- (NS) *Na otáčející se med působí odstředivá setrvačná síla, která jej vytlačuje z buněk pláství, med pak stéká po stěnách medometu a otvorem u jeho dna teče do předem připravených nádob.*
- (IS) *Roztočením medometu se uvede med do pohybu. Med získá určitou obvodovou rychlost. Setrvačnost jej nutí k zachování rovnoměrného přímočarého pohybu. Proto med vyletuje z plástve ve směru tečny k původní trajektorii a naráží na stěny přístroje a stéká dolů. Otvorem u dna pak teče do připravených nádob.*

### Odstřed'ování prádla



model odstředivky na prádlo

- (NS) *Buben pračky (ždímačky, sušičky) se otáčí vysokými otáčkami (1 600 otáček za minutu). Odstředivou silou je prádlo přitlačeno ke stěnám bubnu. Odstředivá síla působí také na vodu v prádle. Ta se otvory v bubnu dostává ven z pračky.*

### Odstředivá brzda

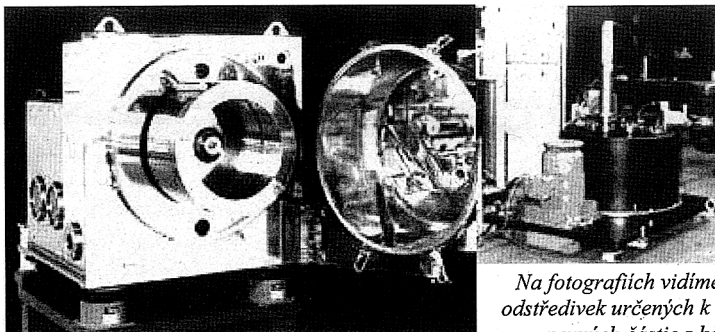
Odstředivá brzda je mechanická brzda, u které se využívá odstředivá síla k přitlačování čelisti spojené s otáčejícím se kolem na pevný brzdový buben.

### Odstředivá spojka

Odstředivá spojka je samočinná výsuvná třecí spojka, v níž se využívá odstředivá síla ke spojení nebo odpojení motoru a náhonu kol.

### Odstředivka, centrifuga

Odstředivka neboli centrifuga je stroj určený k rozdělování směsí kapalin nebo kapaliny a tuhých látek o různých hustotách pomocí odstředivé síly, obvykle v rotujícím bubnu. Odstředivky se mohou plnit a rozdělené složky odvádět opakovaně, např. butyrometry (tukoměry) - pro stanovení obsahu tuku v mléce nebo spojitě (odstředivky smetanové, cukrovarnické). Normální odstředivky mají počet otáček do  $3\,000\text{ min}^{-1}$ , odstředivky s větším počtem otáček nazýváme rychloběžné.



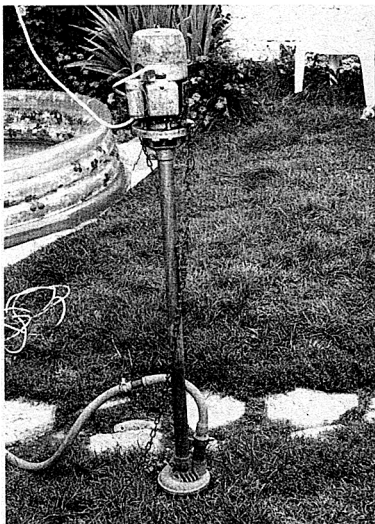
*Na fotografiích vidíme příklady odstředivek určených k oddělování pevných částic z kapalin.*

### Odstředivé čerpadlo



*odstředivé čerpadlo*

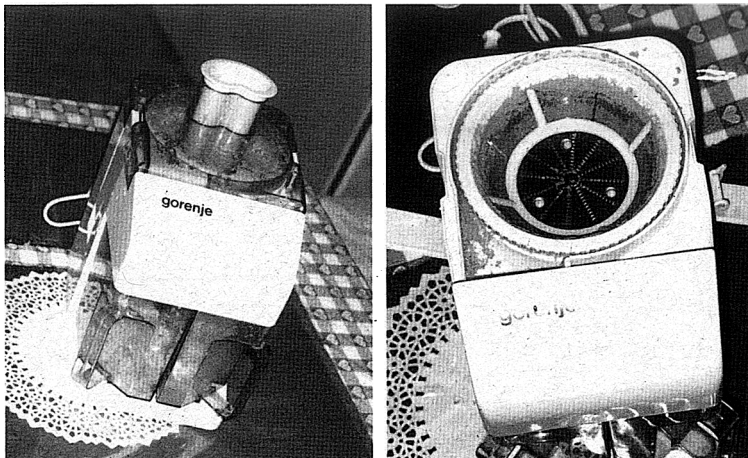
*odstředivé čerpadlo i s motorem*



Odstředivé čerpadlo je nejrozšířenější druh čerpadel. Rotor čerpadla uvede vodu do rychlého otáčivého pohybu. Odstředivá síla přitlačuje vodu k okraji a ta vývodem odtéká ven. U středu čerpadla vzniká podtlak a dovnitř je nasávána další voda z čerpaného prostoru.

### Odšťavovač

Na obrázku vidíme jeden z mnoha typů odšťavovačů. Do přístroje dáme shora kousky ovoce nebo zeleniny. Kotouč s hroty se roztočí na vysoké otáčky. Tím kousky „strouhá“ a žene je na okraj s otvory, kde z nastrouhaných kousků jako v odstředivce vyteče šťáva do jedné z nádob. Do druhé nádoby se pak přepadem dostávají odšťavené zbytky.



*Odšťavovač – na obrázku vpravo vidíme kotouč s hroty a nastrouhanou zeleninu na obvodu přístroje.*

### **Odstředivé lití**

Odstředivé lití je technologický postup při výrobě litých polotovarů. Roztavený kov se vlévá do rychle se otáčející formy, kde ho odstředivá síla přitlačuje na stěny formy. Tekutý kov pod tlakem lépe pronikne do všech detailů formy.

Odstředivé lití železa vynalezl německý inženýr Eckardt roku 1809. Tato metoda je kvalitou srovnatelná s normálním litím železa do formy. Při odstředivém lití železa se vytvářejí duté odlitky, aniž by se musela použít vnitřní jádra jako při klasickém lití.

### **Cyklón 1**

Cyklón je druh odlučovače tuhých částic z tekutin. Podmínkou je vyšší hustota tuhých částic, než je hustota tekutiny. Cyklón je válcová nádoba, v níž tekutina koná rychlý kruhový pohyb, takže částice jsou hnány odstředivou silou ke stěně. U suchého typu klouže zahuštěný prach po stěnách k výpusti na dně, u mokrého typu prach smývá a odnáší tenká vrstva kapaliny. Cyklón se hodí hlavně pro odstranění hrubších prachových částic nad 70 až 100 mikrometrů. Při odlučování částic kolem 10 mikrometrů bývá účinnost již jen asi 50–80 %.

### **Cyklón 2**

Cyklónem se nazývá také odstředivý odlučovač určený k oddělování unášených materiálů (semen, příměsí) z nosného proudu vzduchu. Cyklón je válec s tečným vstupem a osovým výstupem vzduchu nahoře a odloučeného materiálu dole. Používá se u pneumatických dopravníků, čističek osiv a odlučování popílku u komínů.

### **Mlékárenský odstředivý stroj**

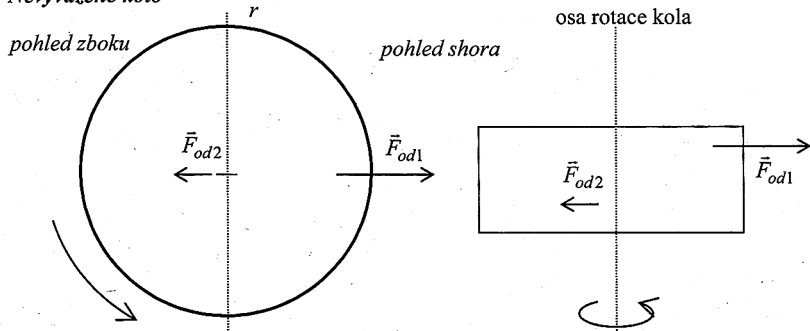
Smetana (tuk s bublinkami vzduchu) se usazuje na hladině mléka. Pro rychlejší oddělení smetany používáme odstředivý stroj.

Smetana má menší hustotu než zbylé mléko, v odstředivém stroji se tedy usazuje blíže středu otáčení. Po vypnutí stroje jednoduše odebereme smetanu z hladiny mléka.

### Vyvažování kol

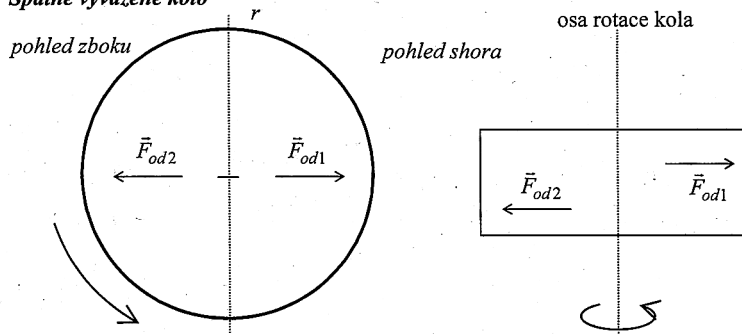
Kola u aut i jiných dopravních prostředků musí být dokonale vyvážená, aby se zbytečně nenamáhala osa kola.

#### Nevyvážené kolo



Mysleme si libovolnou rovinu  $r$ , která prochází osou rotace kola. Výslednice  $\vec{F}_{od1}$  všech odstředivých sil, které působí na jedné straně, není u špatně vyváženého kola kompenzována výslednicí  $\vec{F}_{od2}$  odstředivých sil, které působí na druhé straně kola. Pokud je vektorový součet  $\vec{F}_{od1} + \vec{F}_{od2}$  nenulový, pak kolo „hází“: osa je namáhána odstředivou silou.

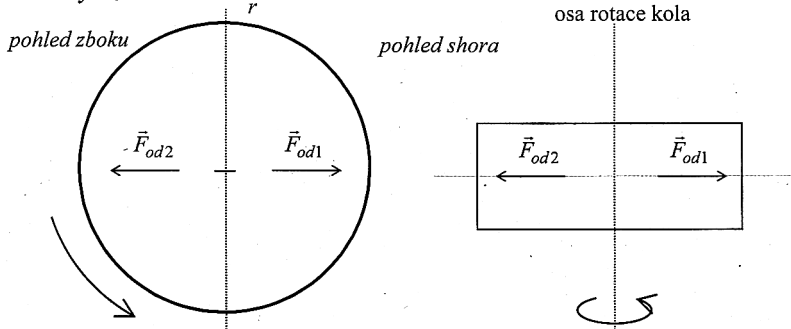
#### Špatně vyvážené kolo



Kolo má však také svou tloušťku. Odstředivé síly, které působí na opačných stranách, mohou mít stejnou velikost, ale kolo přesto nemusí být vyváženo. Na obrázku vidíme kolo z pohledu na jeho tloušťku. Výslednice odstředivých sil, které působí na opačných stranách kol, mají sice stejné velikosti, avšak neleží v jedné přímce. Vzniká tak dvojice sil  $\vec{F}_{od}$  a  $-\vec{F}_{od}$ , která má snahu stáčet hřídel kola.

U dobře vyváženého kola vymizí i výsledná síla, i výsledný moment všech dílčích odstředivých sil, které působí na jednotlivé části kola.

**Dobře vyvážené kolo**



Vyvažovací stroj roztočí kolo upnuté do ložisek vybavených snímači tlaku. Z údajů snímačů pak stroj vypočte, kam je třeba umístit protizávaží, aby bylo kolo vyváženo.

**Smyk – auto v zatáčce**

- (IS) Pokud vjede auto do zatáčky příliš velkou rychlostí, není schopno projet bezpečně zatáčkou. Dostává smyk a vyjíždí mimo silnici. Aby auto mohlo projíždět bezpečně zatáčkou, musí na něj působit dostatečně velká dostředivá síla. Tato dostředivá síla je vyvolána třením kol automobilu s vozovkou. V případě, že třecí síla nedosahuje potřebné velikosti pro danou dostředivou sílu, dostává auto smyk.
- (NS) Z hlediska automobilu můžeme vysvětlit situaci takto: Na pohybující se auto v zatáčce působí dostředivá síla  $\vec{F}_d$  a odstředivá setrvačná síla  $\vec{F}_{od}$ . Smyk nastává v případě, že je síla dostředivá (třecí) menší než odstředivá síla.

**Klopení zatáček**

Aby se zmenšilo nebezpečí nehody při průjezdu automobilu zatáčkou, bývá povrch silnice zatáčky klopen, tedy v příčném směru silnice klesá směrem ke středu zatáčky.

Kdybychom znali rychlost tak, aby výslednice tíhové a odstředivé síly byla kolmá k silnici, pak bychom tření ani nepotřebovali.

S klopenou dráhou se můžeme setkat i na stadionu, kde závodí dráhoví cyklisté.

Podobně jsou klopeny železniční koleje v zatáčkách; tam je situace snadnější, protože tam lze předepsat rychlost jízdy.



vlak v zatáčce

### Inerciální navigační systém

Tento systém se používá v letadlech pro určování jejich polohy, rychlosti a zrychlení.

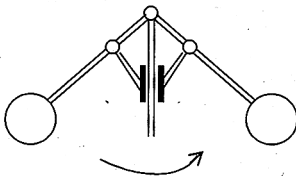
Zjednodušený model takového zařízení bychom si mohli zkonstruovat sami. Představme si, že chceme změřit polohu, zrychlení a rychlost našeho výtahu.

Na základě prodloužení pružiny můžeme vypočítat okamžité zrychlení. Ze zrychlení můžeme spočítat změnu rychlosti ze vztahu  $\Delta v = a \cdot \Delta t$ , kde  $a$  je zrychlení výtahu a  $\Delta t$  je dostatečně krátká doba měření. Známe-li počáteční rychlost (obvykle  $v_0 = 0$ ), můžeme spočítat rychlost  $v = v_0 + \Delta v$ . Z rychlosti pak spočítáme změnu polohy  $\Delta h = v \cdot \Delta t$ . Okamžitou hodnotu polohy dostaneme přičtením  $\Delta h$  k počáteční hodnotě  $h_0$ . Čím jsou doby  $\Delta t$  mezi měřeními zrychlení  $a$  menší, tím jsou výsledky přesnější.

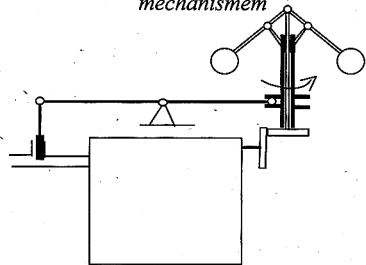
Inerciální navigační systém v letadlech je sice složitější, ale princip měření zrychlení a jeho přepočítání na rychlost a polohu je velmi podobný našemu zjednodušenému modelu. V letadlech se používají akcelerometry, které měří okamžité zrychlení ve všech třech souřadnicích. Rychlost a poloha se získávají integrací v palubním počítači.

### Wattův odstředivý regulátor

Wattův odstředivý regulátor



Wattův odstředivý regulátor s pákovým mechanismem



James Watt sestrojil roku 1784 odstředivý regulátor, který řídil přítok páry do parního stroje. Skládá se ze dvou těžkých koulí upevněných na ramenech délky  $l$  jako kyvadla na ose, kolem níž se přístroj točí. Ramena mají klouby a od nich příčky ke kroužku, který se smýká podél svislé osy. S rostoucími otáčkami regulátoru se kroužek posouvá vzhůru po ose a s ním i pákové zařízení, které řídí přítok páry do parního válce.

### LITERATURA

- [1] Halliday D., Resnick R., Walker J.: *Fyzika*. Vutium, Prometheus, Brno 2000.
- [2] Štoll I.: *Svět očima fyziky*. Prometheus, Praha 1996.
- [3] Macháček M.: *Encyklopedie fyziky*. Mladá fronta, Praha 1995.
- [4] Příhoda P., Holovská H.: *Průvodce astronomií*. Hvězdárna a planetárium hl. m. Prahy, Praha 1997.
- [5] Bednář J.: *Pozoruhodné jevy v atmosféře*. Academia, Praha 1989.
- [6] Patuří F. R.: *Kronika techniky*. Fortuna Print, Praha 1993.