

# Rotující soustavy

Zdeněk Hubáček

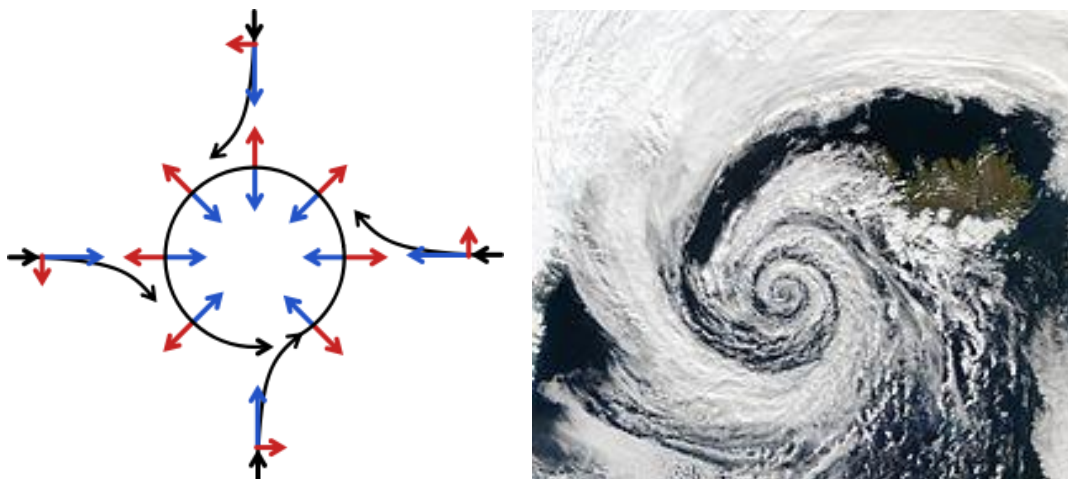
Gymnázium Kroměříž

Abstrakt

*Příspěvek byl věnován možnostem vizualizace zdánlivých sil působících v otáčejících se soustavách. Předvedeny byly pomůcky, na kterých lze pozorovat stáčení proudů, jež by bez současné rotace soustavy směřovaly od okraje k ose uspořádání, a vznik vírů. Konkrétně to byly pomůcky ohnivé, vodní tornádo a vodní točna.*

## Zdánlivé síly v rotujících soustavách

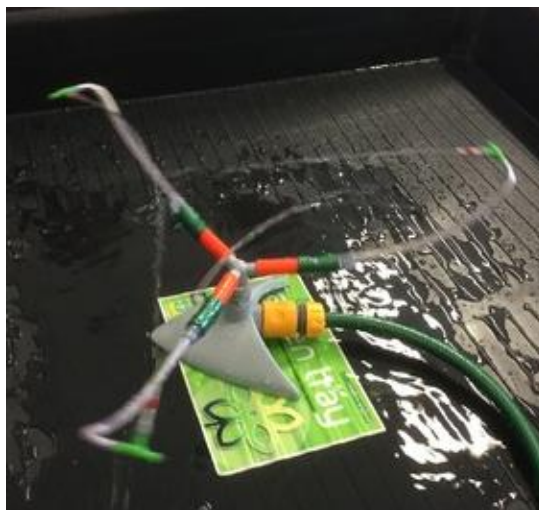
Všeobecně známá a často žáky různě zmiňovaná je **síla odstředivá**, která vzniká jako důsledek snahy tělesa setrvat v pohybu po tečně k trajektorii. Oblíbený experiment s vodou, která se „udrží“ v kelímku obráceném dnem vzhůru, bychom samozřejmě neměli zapomenout provést. Pro žáky bude určitě zajímavé i video [1]. Zajímavé aplikace jsou i odstředivé ventilátory, rozmetače soli, odstředivé spojky.



Obr. 1. Vlevo schematické znázornění proudění vzduchu okolo tlakové níže na severní polokouli. Sílu způsobenou rozdílem tlaku znázorňují modré šipky, Coriolisovu sílu (vždy kolmou k rychlosti) červené šipky. Vpravo tlaková níže nad Islandem [2]

**Coriolisova síla**, která je zodpovědná za stáčení velkých a dlouho trvajících vzdušných a mořských proudů se v malém provedení demonstruje obtížně, pokud vše ponecháme na malé úhlové rychlosti, se kterou se otáčí Země. Stačí se, alespoň myšlenkově, přemístit na desku kolotoče, na kterém přecházíme od středu k okraji, nebo od okraje ke středu a hned ucítíme, že nám něco podráží nohy. Přemisťujeme se totiž mezi místy s různou obvodovou rychlostí a musíme tedy obvodově zrychlit, nebo zpomalit, abychom byli vůči desce v klidu. Těleso, které není na desku kolotoče vázáno, jako třeba vržený míč, se pak z hlediska kolotoče zdánlivě pohybuje po velmi zajímavých křivkách, avšak jeho pohyb je vzhledem k okolí kolotoče přímočarý.

Méně rozměrnou variantou, na které lze předvést stáčení proudů vody je točna s tryskami v radiálním směru, které lze namířit k ose, nebo od ní. Zejména předpověď směru odklonu vodního paprsku v případě, kdy tryska směřuje k ose, bývá často chybná.



Obr. 2. Uspořádání točny s rotujícími vodními paprsky, otáčí se proti směru hodinových ručiček, točna právě vykonává asi 1/4otáčky za sekundu



Obr. 3 Detail ramene – uspořádání prvků postupně od zahradní rotační zavlažovací stříčky: hadice 0,5 palce, uřezaná inj. stříkačka 5 ml, PVC trubička 6/4 délky 120 mm, hliníková tubička 4 mm ohnutá do L, PVC trubička 6/4, T kus akvaristika vzduchování, tryska – dvě lisovací kabelové dutinky 4 mm, 2 mm

Nejjednodušší však je pozorování stáčení proudů ve vírech, které vznikají v menších, dobře roztočených objemech vzduchu a vody. Jevy jako tornádo, firenado či obyčejný vodní vír, se totiž dají poměrně dobře předvést v malém provedení.

Pro studenty bude možná zajímavé zařízení využívající Coriolisovu sílu, které dává smartphonu informaci o tom, že s ním otáčíte. Je to MEMS gyro (MicroElectroMechanical System) popis funkce je například zde [3].

Poznamenejme ještě, že někteří šarlatáni pomocí víru ve výlevce dokazují, na které polokouli se vyskytují, ale je to jen jejich trik, vír totiž umějí na obě strany a někdy si i špatně pamatují, jaký smysl rotace víru udělit.

## Ohnivě tornádo

Video ničivého úkazu zvaného „firenado“ najdete snadno na webu. Jeho neškodnou variantu lze vyrobit s využitím ložiska spinneru a koše na papír, zjednodušený popis a provedení ukazuje následující obrázek 4. Velikosti drátěného koše mohou být rozmanité. Jako hořák slouží miska s vatičkou namočenou v lihu. Bez vatičky by mohlo dojít k vylití. Plamen „saje“ vzduch směrem k ose rotace. Vzduch je zároveň strháván rotujícím košem. Důsledkem je spirálovitý plamen. Je vidět, že spirálovitý plamen je významně vyšší než plamen klidný. Změna je pravděpodobně způsobena lepším přísunem vzduchu, detailní vysvětlení však bude asi komplikovanější. Potřebné otáčky košíku jsou v řádu jednotek Hz. Vyšší otáčky způsobí „sfouknutí“ plamene, košík začne působit jako odstředivý ventilátor.



Obr. 4. Spinner je nasunut na bukovém kolíku vetknutém do překližkové destičky. Osazení košíku na spinner je provedeno plastovými vršky od mléka.



Obr. 5. Vlevo v klidu, vpravo se točí

### **Tornádo v lahvi**

Experiment je klasický a na jeho provedení se lze podívat například v [4]. Zajímavý je postup svařování PE vršků na teflonové pánvi. Postup jsem okopíroval od precizního Slatera Harrisona. Návod uvedený v [4] je natolik detailní, že se omezím pouze na stručné okomentování obrázků a zkrácený návod. Dovolím si tvrdit, že jde s jistotou o jednodušší, a pro žáky zajímavější variantu, než 3D tisk dvojvršku.

Postup svařování PE vršků:

Z PET lahve odřízneme hrdlo, které tvoří svařovací držák (vyrobíme dva kusy), vršky na držácích přitiskneme na rozehřátou pánev (teplotu nutno vyzkoušet) a počkáme, až se PE nataví. Přitiskneme vršky a komplet vhodíme do studené vody, aby se PE zchladil a ztuhl. Otvor 10–15 mm vrtáme vrtákem na dřevo. Pánev již raději nepoužívejte na vaření.



Obr. 6. Ukazuje vybavení pro svařování PE vršků



Obr. 7. Hotová dvojláhev, stačí nalít vodu a roztočit.

## Zajímavé odkazy na závěr

Web [www.ventusky.com](http://www.ventusky.com) po kliknutí na „Tlak vzduchu“, krásně barevně ukazuje tlakové výše a níže a šipkami směr větru. Je zde vidět, že na jižní polokouli má vítr kolem výší a níží opačný směr.

Experimenty k rotujícím soustavám můžete se svými studenty vyzkoušet i v Interaktivní fyzikální laboratoři [https://kdf.mff.cuni.cz/ifl/rotujici\\_soustavy.zip](https://kdf.mff.cuni.cz/ifl/rotujici_soustavy.zip).

Zájemcům o problematiku doporučuji ještě další dostupnou literaturu [5], [6], [7], [8], [9].

## Literatura

- [1] [https://www.youtube.com/watch?v=OTcdutlcEJ4&list=PLQbD4tOMETThNL4H5HmbY7sY\\_u3gAkwcw&index=27&t=93s](https://www.youtube.com/watch?v=OTcdutlcEJ4&list=PLQbD4tOMETThNL4H5HmbY7sY_u3gAkwcw&index=27&t=93s)
- [2] [https://cs.wikipedia.org/wiki/Coriolisova\\_s%C3%ADla](https://cs.wikipedia.org/wiki/Coriolisova_s%C3%ADla)
- [3] <https://www.youtube.com/watch?v=eqZgxR6eRjo>
- [4] <https://sciencetoymaker.org/vortex/how-to-make-the-vortex/>
- [5] Dvořák L.: Inerciální a neinerciální systémy názorně. In: Dílny Heuréky 2013. Ed.: V. Koudelková, L. Dvořák. P3K, Praha, 2014. s. 14-34. Dostupné online: [https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2013.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2013.pdf)
- [6] Bezděk A., Kovařík F.: Coriolisova síla. Torricelliho pokus. Brnkačka. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 3. Ed. K. Rauner. PedF ZČU Plzeň, 1998. s. 40-41. Dostupné online: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/03-04-Bezdek.html> .
- [7] Jílek M.: Kroužek fyziky pro středoškolské studenty. In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 7. Ed. E. Svoboda, L. Dvořák. Prometheus, Praha 2002. s.164-167. Dostupné online: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/07-08-Jilek.html> .
- [8] Konečný P.: Proudění tekutiny v rotující soustavě, aneb prozradí nám vír ve výlevce, na které polokouli se nacházíme? In: Veletrh nápadů učitelů fyziky 10. Ed. L. Dvořák. Prometheus, Praha 2006. s.148-153. Dostupné online: <http://vnuf.cz/sbornik/prispevky/10-21-Konecny.html> .
- [9] Zacharov P.: Oblačnost. In: Dílny Heuréky 2016. Ed. V. Koudelková. Matfyzpress, Praga, 2017. s. 143- 149. Dostupné online: [https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky\\_2016.pdf](https://kdf.mff.cuni.cz/heureka/sborniky/DilnyHeureky_2016.pdf)