

Sturmova fontána

JIŘÍ KOHOUT

Oddělení fyziky, Katedra matematiky, fyziky a technické výchovy, Fakulta pedagogická, Západočeská univerzita v Plzni

Sturmova fontána je starobylá pomůcka sloužící k demonstraci atmosférického tlaku. Je tvořena nádobou s otvory, do níž je nalita voda. Po otevření otvorů začne voda vytékat, v důsledku poklesu tlaku vzduchu v uzavřené nádobě však výtok po chvíli přestane. Do nádoby vede na obou koncích otevřená trubička, jejíž dolní konec je umístěn několik milimetrů nad dnem misky s otvorem, do které voda z nádoby teče. Poté, co hladina vody v misce poklesne tak, že se uvolní dolní konec trubičky, dostane se do nádoby vzduch a výtok se obnoví. Tím se však po chvíli opět tento konec zaplaví v důsledku stoupající hladiny v misce, v nádobě klesne tlak a výtok se opět zastaví. Proces se cyklicky opakuje. Zařízení je možné vyrobit ve škole a zkoumat vliv různých parametrů na periodu výtoků.

Úvod – fontány ve školské fyzice

Ve sbornících z předchozích veletrhů učitelů fyziky lze nalézt hned několik příspěvků [1-3] týkajících se fontán a jejich využití ve výuce či v zájmové činnosti žáků. Popisované pokusy jsou rovněž celkem klasickou součástí praktik školních pokusů na fakultách připravujících učitele fyziky a jejich popis a videozáznamy z realizace lze nalézt i na serverech jako je youtube.com apod. Poněkud matoucí může být pojmenování jednotlivých typů fontán, kdy se pro principiálně stejný experiment realizovaný typicky se dvěma lahvemi a nálevkou užívá někdy název Heronova fontána [2,3], někdy naopak Pascalova kouzelná fontána [1]. V [1] je pak pod pojmem Heronova sluneční fontána uveden jednoduchý pokus pouze s jednou lahví, v níž je zvýšen tlak vzduchu v důsledku intenzivního záření. Název Pascalova fontána lze najít (pro to, co je běžně označováno jako Heronova fontána) příležitostně ještě v němčině, v angličtině a francouzštině je pod tímto názvem někdy označován klasický pokus na demonstraci Pascalova zákona (tzv. ježek).

Bez ohledu na pojmenování však zůstává faktem, že v oblasti fontán se klasicky realizují dva výše popsané typy experimentů. Již od 17. století je však známá ještě další, v určitém ohledu ještě zajímavější, fontána nesoucí název **Sturmova** podle svého tvůrce, německého matematika a astronoma Johanna Christopa Sturma (1635-1703). Vzhledem k tomu, že pracuje cyklicky, se pro ni užívá rovněž název přerušovaná (anglicky *intermittent*). Ačkoliv jde o velmi starý experiment, v běžně dostupných českých ani zahraničních zdrojích se toho o něm dozvíme velice málo. Osobně jsem se ke Sturmově fontáně dostal v zásadě náhodou, když jsem v jednom kanadském muzeu v Montreálu získal ze známosti knihu *The art of teaching physics* [4] zabývající se starými fyzikálními pomůckami shromážděnými v 18. století francouzským popularizátorem vědy Jean Antoinem Nollem, jež se po jeho smrti soustředily ve fyzikálním kabinetu v Dijonu. Část těchto pomůcek se klikatými cestami osudu dostala právě do onoho montrealského muzea, některé další (včetně právě Sturmovy fontány) skončily například v muzeu v Ženevě. Nolletova sbírka pomůcek je natolik unikátní, že zaslouží bližší komentář.

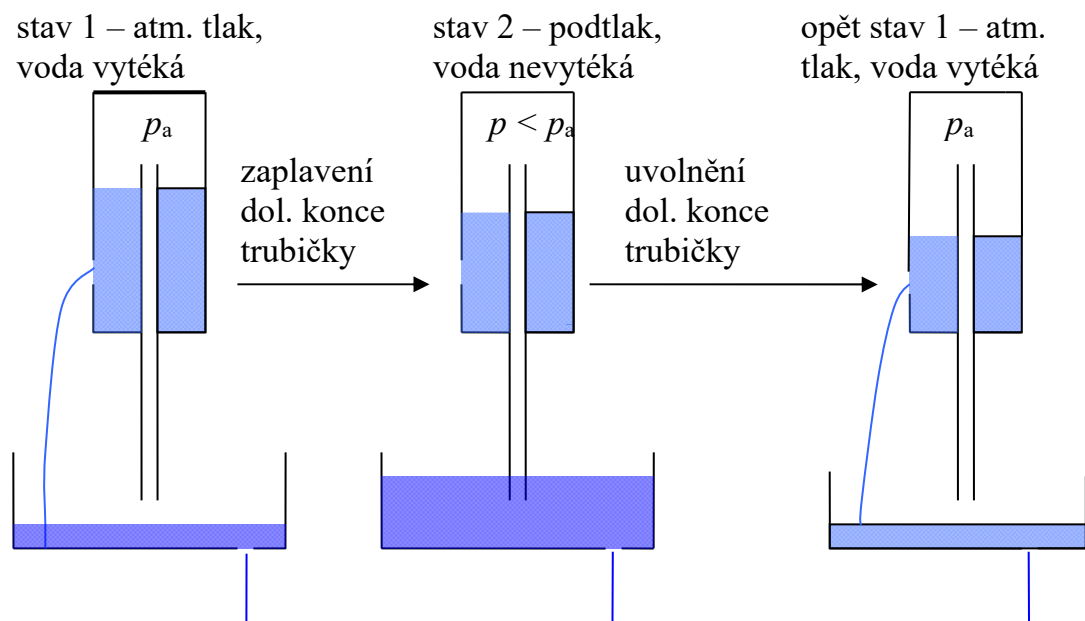
Jean Antoine Nollet a jeho přínos k popularizaci fyziky

J. A. Nollet se narodil v roce 1700 do chudé rodiny. I přesto díky pomoci místního kněze mohl vystudovat. Pozornost na sebe upoutal globusem, který daroval hraběti z Clermontu, jenž mu následně umožnil dostat se do tehdejších vědeckých kruhů. Postupem času se etabloval hlavně v oblasti elektřiny, kde platil za předního francouzského odborníka. Hodně experimentoval s kondenzátory a realizoval na dvoře ve Versailles např. pokus, kdy se 180 příslušníků gardy držících se za ruce začalo komicky svíjet po připojení lidského řetězu k Leydenské láhvi. Velký úspěch měly vedle popularizačních představení i jeho přednášky z fyziky, v nichž využíval více než 300 zpravidla vlastnoručně vyrobených pomůcek. Nollet se stal v roce 1753 profesorem fyziky na univerzitě v Paříži a v roce 1762 direktorem francouzské akademie věd. Zemřel v roce 1770.

Mnohé z pomůcek využívaných Nolletem se dodnes objevují ve školské fyzice. Namátkou jde například o známý pokus s dvojkuželem valícím se zdánlivě vzhůru po nakloněné rovině, již zmiňovanou Heronovu fontánu, Archimedův šroub či cameru obscuru. Nollet stál rovněž u zrodu dnes hojně užívané techniky elektrostatického sprejování, vynalezl elektroskop a uvádí se, že objevil princip hromosvodu dříve než Diviš a Franklin, ale z náboženských důvodů toto zařízení principálně odmítal a i po jeho popsání Franklinem jej označil jako přestupek vůči Bohu. Součástí jeho sbírek byla i již uvedená Sturmova fontána, jejíž princip popíšeme v další podkapitole.

Princip Sturmovy fontány

Součástí výuky fyziky na základní škole je klasicky pokus s PET lahví opatřenou víčkem, z níž otvorem v plášti vytéká voda. Po chvíli se výtok utlumí v důsledku vzniku podtlaku vzduchu v lahvi a vyrovnání atmosférického tlaku vně se součtem tlaku vzduchu v lahvi a hydrostatického tlaku vodního sloupce. Sturmova fontána, jejíž schéma činnosti je na obrázku 1, tento jednoduchý pokus rozvíjí tím, že voda z otvoru vytéká do misky, v níž je vytvořen malý otvor. Klíčová pro funkci zařízení je však trubička, jejíž dolní konec je nad dnem misky a horní konec nad hladinou vody v uzavřené nádobě. Tato trubička je při dobrém utěsnění jediným přívodem vzduchu do nádoby. Při vhodně zvolené velikosti otvorů v nádobě a misce bude hladina vody v misce stoupat a po chvíli dojde k zaplavení dolního konce trubičky. V té chvíli však začne vznikat v nádobě podtlak a výtok se po chvíli zastaví. Následně však klesne hladina vody v misce natolik, že se uvolní dolní konec trubičky, do nádoby se nasaje vzduch a výtok se obnoví. Proces se cyklicky opakuje tak dlouho, dokud se daří zaplavovat dolní konec trubičky.



Obr 1. schéma činnosti Sturmovy fontány

Není překvapivé, že hlavním faktorem ovlivňujícím periodu cyklu a dobu výtoku v rámci cyklu je velikost otvoru v nádobě ve vztahu k otvoru v misce. Velké otvory by přitom měly odpovídat malé periodě. Intuitivně se dá rovněž čekat, že velký otvor v nádobě a malý otvor v misce povedou k tomu, že voda bude téci pouze krátkou dobu a poté se bude dlouho čekat na to, než se uvolní dolní konec trubičky a výtok se obnoví. Uvedené úvahy byly v principu experimentálně potvrzeny v práci [5], kde byly zaznamenány periody v poměrně širokém rozpětí 35 až cca 80 s.

Výroba Sturmovy fontány a její využití ve škole

Fontánu lze vyrobit pomocí PET lahve, do níž vytvoříme otvor požadované velikosti ideálně ostrým hrotem, na něž se umísťují magnetky, případně nažhaveným hřebíkem. Jako podstavnou misku lze užít obyčejnou plastovou jídelní misku, do níž uděláme ve dně odpovídající otvor. Využít lze rovněž podstavec pro Segnerovo kolo, které se občas ve školních sbírkách nachází. Části misky s otvorem dáme na hranu stolu a pod něj umístíme nádobu, do níž bude odtékat voda z misky. Jednoznačnější nejsložitější je správné provedení trubičky či hadičky (optimální je asi skleněná trubička) skrz zátku PET láhve tak, aby nevznikla netěsnost. Vhodnou možností je použít gumovou nebo korkovou zátku, která dobře pasuje do hrdla PET láhve, a následně v ní vyvrtat díru požadovaného průřezu korkovrtem nebo pomocí soustruhu. Touto dírou pak lze protáhnout odpovídající trubičku. Ideální je mít k dispozici rovnou gumové zátky s otvorem dané velikosti. Ty lze při troše štěstí pořídit v prodejně laboratorní techniky za celkem symbolickou cenu (10 Kč, společně s trubičkou pak za 20 Kč). Samozřejmě je zde stále určité riziko netěsností, některé tipy, jak se dá u konstrukcí tohoto typu uvedené riziko omezit, lze nalézt v práci [2].

Je třeba si dát pozor na to, že pro trubičky malého vnitřního průměru (méně než 8 mm) nebude fontána dobře fungovat, protože v hrdle trubičky ulpí po jeho zaplavení a následném uvolnění určité množství vody, která brání průchodu vzduchu skrz trubičku PET láhve a obnovení výtoku vody. Proto je lepší použít trubičky většího průměru, u nichž je ale zase ob-

tížnější provedení odpovídajícím otvorem v gumové zátce v hrdle lahve. Možné řešení je užít lahve s větším průměrem hrdla (např. od mléka apod.).

Pokud již popsaná situace s trubičkou malého vnitřního průřezu nastane, je možné ošetřit vnitřní část hrdla trubičky hydrofobní impregnací na sklo, kterou lze snadno pořídit na internet (jedná se však již o částky v řádu stokorun). Rozumné je rovněž na skleněnou trubičku nasadit kousek gumové s větším vnitřním průměrem, u níž již uvedený problém s ulpěním vody nenastane. S pružnou gumovou trubičkou na konci se navíc v případě potřeby snáze manipuluje.

Sturmovu fontánu lze ve škole využít různým způsobem. Při nedostatku času je možné pustit video ukazující funkci fontány dostupné např. na <https://www.youtube.com/watch?v=uK6mHjnRAA> a následně diskutovat se žáky fyzikální mechanismus. V této souvislosti se je možné ptát, zda uvedené zařízení nefunguje jako perpetuum mobile. Žáci si totiž ne vždy uvědomí, že bez otvoru v misce, jímž odtéká voda pryč, by zařízení nikdy nemohlo pracovat, a že v důsledku úbytku vody v soustavě fontána po chvíli přestane fungovat. Samozřejmě ideální je při dostatku času si fontánu rovnou vyrobit a podrobněji prozkoumat její funkci. Jak již bylo řečeno, časově náročnější je provedení trubičky skrz hrdlo PET láhve, je zde však možné využít provázanost s prací v dílnách v rámci technické výchovy. Alternativně lze žákům již dát připravenou soustavu zátka s otvorem – trubička a nechat je udělat zbytek. Po vyrobení fontány lze testovat vliv velikosti otvorů na periodu cyklu a rovněž na to, jakou část cyklu voda teče. V rámci toho je možné realizovat i laboratorní práci. Celkově Sturmova fontána nabízí rozšíření stávajících možností experimentování při výuce příslušného tematického celku a je vhodnou ukázkou toho, jak starobylá fyzikální pomůcka může najít uplatnění i v současné školské fyzice.

Literatura

- [1] Novobilská V: *Mechanické vlastnosti kapalin a plynů demonstrováné pomocí improvizovaných prostředků – plastových lahví*. In: Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 1. Západočeská univerzita Plzeň 1996. s. 5-9.
- [2] Dvořák L: *Pár věcí z tábora 6*. In: Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 8. Ed.: Šerý M. Jihočeská univerzita České Budějovice 2003. s. 58-63.
- [3] Černá M: *Jednoduché pokusy*. In: Sborník z konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 11. Ed.: Holubová R. Univerzita Palackého Olomouc 2006. s. 83-86.
- [4] Pyenson L a Gauvin J. F. *The Art of Teaching Physics*. Septentrion Sillery, Quebec 2002.
- [5] Maroto Centeno J.A., Quesada-Peréz, M., Bueno González-Tejero J.E. Use of copies of old scientific instruments for physics teaching. In: Ed.: I. V. Eriksson: *Science Education in the 21st century*. Nova Science Publishers New York 2008. s. 279-290.