



Úloha č. 16 – Wirtzova pumpa

Dalibor Repček

Úvodní soustředění TMF, 4. 11. 2024




Zadání problému

- Original assignment:

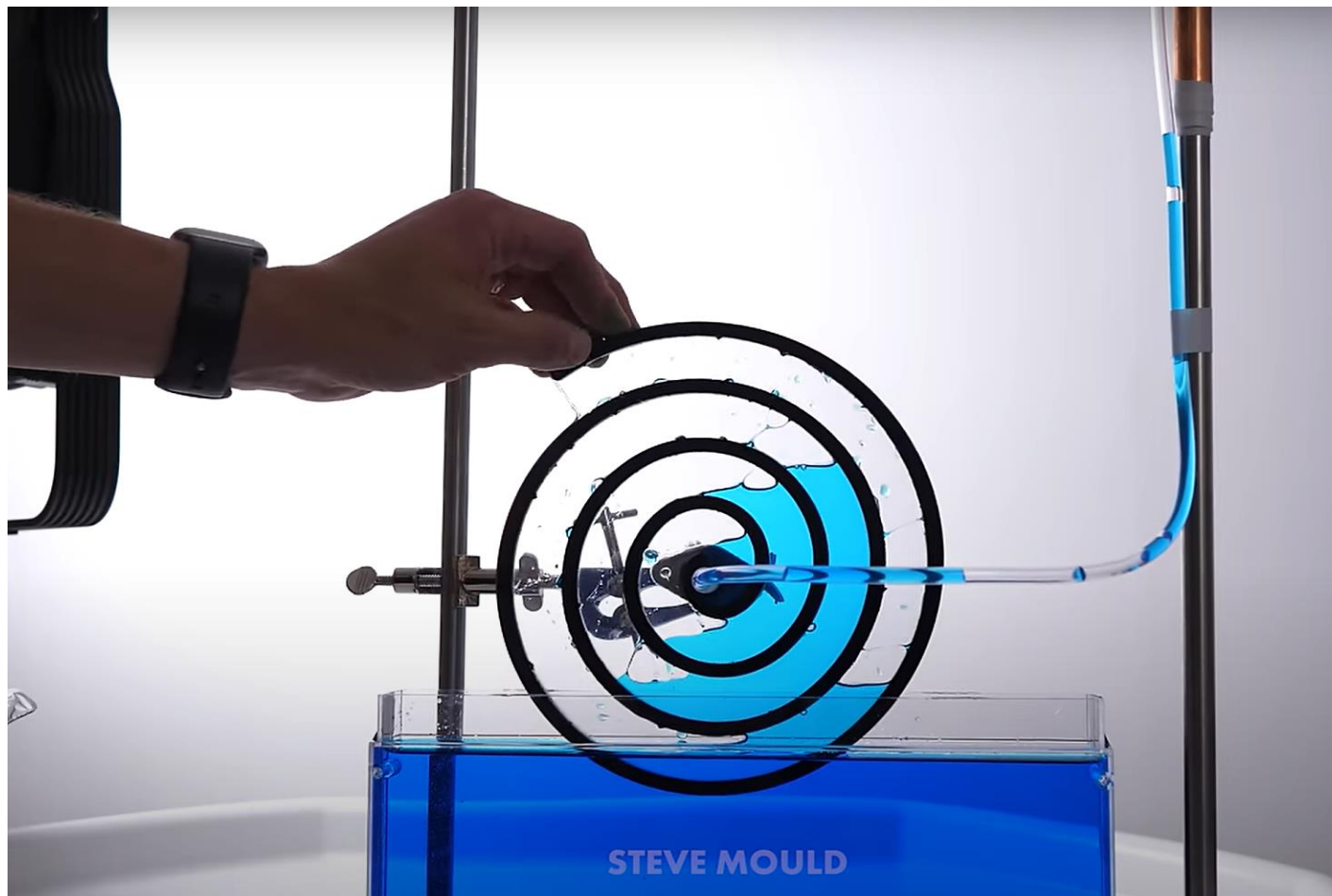
A Wirtz Pump is a hollow spiral, mounted vertically. It is arranged such that one end dips below water once per revolution, while the other end (at the center of the spiral) is connected to a vertical tube. When rotated, it can be used to pump water to a great height. Explain this phenomenon and investigate how relevant parameters affect the pumping height.

- Český překlad:

Wirtzova pumpa je dutá **spirála** upevněná na svislo. Je postavená tak, že jeden konec se ponořuje pod vodu jednou za otáčku, zatímco druhý konec (ve středu spirály) je připojený ke svislé trubičce. Točením spirály může být voda pumpována do velké výšky. **Vysvětlete tento jev** a prozkoumejte, jak **relevantní parametry** ovlivňují **výšku, do které lze vodu vytlačit**.



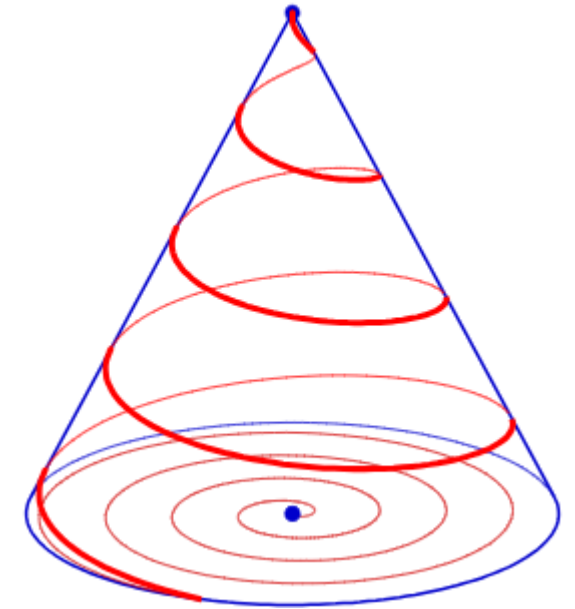
Zadání problému



<https://www.youtube.com/watch?v=wCxRHueX6jQ>

Co je spirála?

- 2 varianty dimenzionality:
 - Rovinná spirála
 - Kuželovitá spirála (conical spiral/conical helix)
- 3D varianta asi nepřináší nic kvalitativně nového
- Není šroubovice (helix)
- Několik typů spirál
 - **Archimedova**– $r(\alpha)=k\alpha$
 - Fermatova
 - Logaritmická
 - Hyperbolická
 - ...



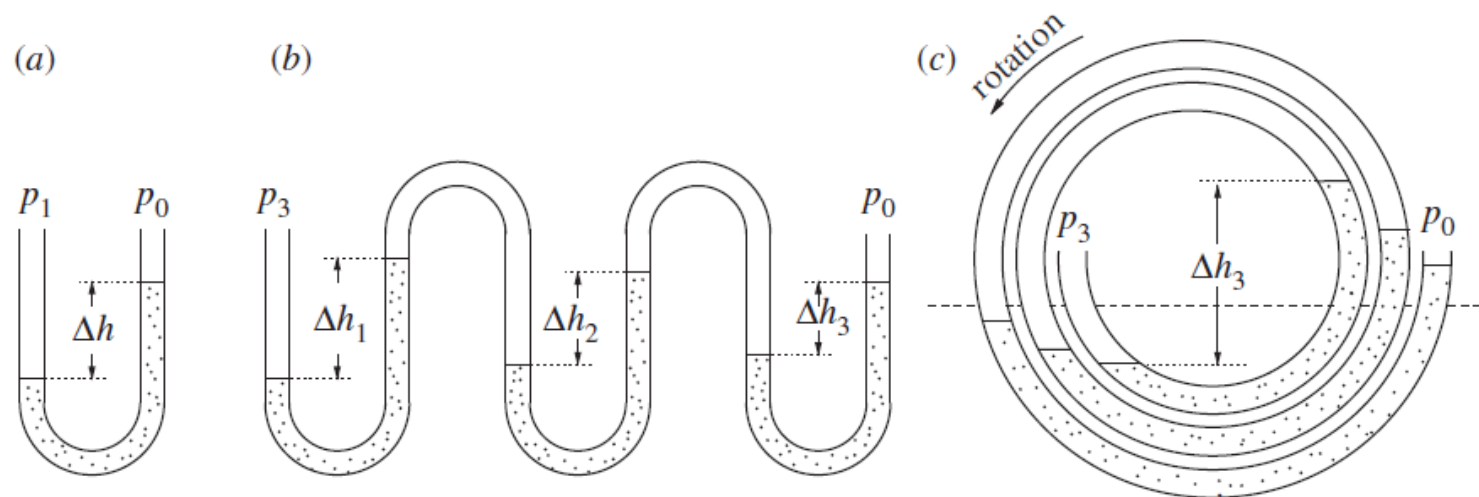
https://en.wikipedia.org/wiki/Conical_spiral

Jak začít?

- Stavba Wirtzovy pumpy má technická úskalí
- Reference kit IYPT: https://kit.ilyam.org/FDD_2025_IYPT_Reference_kit.pdf
 - <https://www.youtube.com/watch?v=wCxRHueX6jQ>
 - <https://www.youtube.com/watch?v=mN9iLNHGOYI>
 - <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2017.0533>
 - Obsahuje odkazy na další užitečnou literaturu
- Další videa na YouTube
- Rešerše dostupných informací
- Teprve poté stavět

Jednoduchý teoretický popis I

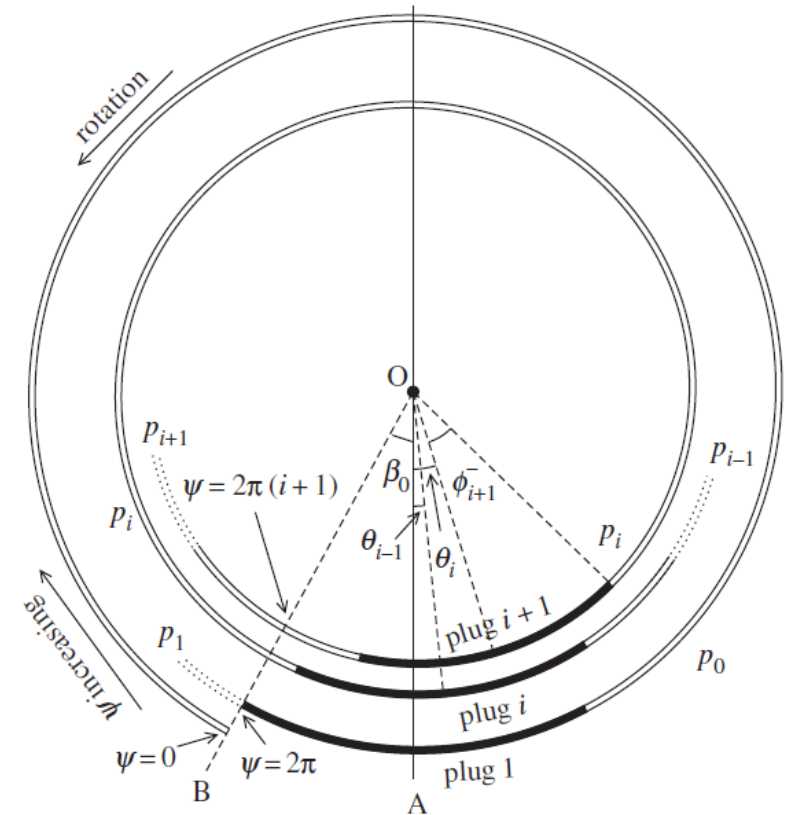
- Článek J. H. B. Deane and J. J. Bevan. *A hydrostatic model of the Wirtz pump*. Proc. R. Soc. A **474**, 2211, 20170533 (2018)
 - <https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2017.0533>



- Spirála \leftrightarrow spojené manometrické trubice, $\Delta p = \Delta h \rho_v g$
- Celkový tlak = součet hydrostatických tlaků jednotlivých trubic

Jednoduchý teoretický popis II

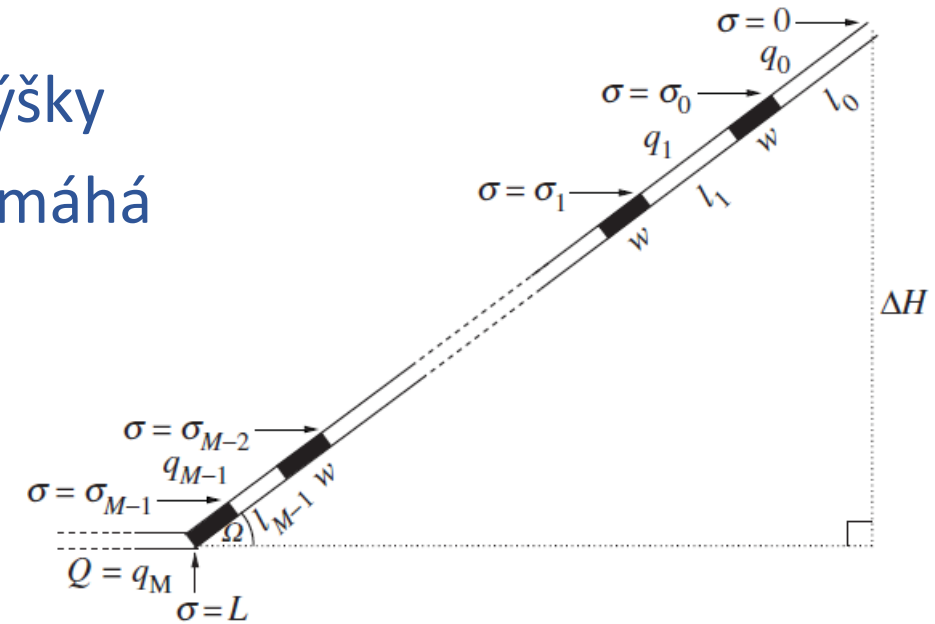
- Předpoklady:
 - Střídání segmentů vody a vzduchu
 - Vodní segmenty jsou celistvé; voda je nestlačitelná
 - Pumpování probíhá pomalu \rightarrow v segmentech vzduchu platí Boyleův–Mariottův z. ($pV = konst.$)
 - Vzduch je nehmotný a nerozpouští se ve vodě
- Závěry:
 - Celkový tlak (p_N) na výstupu spirály je dán rekurentním vztahem z tlaků předcházejících segmentů, ale je nutné jej vyhodnotit numericky
 - Aplikací na válcovou šroubovici (kat. Junior) se rekurze výrazně zjednoduší



<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2017.0533>

Výtlaček vody a „air lift“

- Wirtzova pumpa \rightarrow přetlak \rightarrow výtlaček vody do výšky
- Přirozené střídání segmentů vody a vzduchu pomáhá pumpovat vodu do větší výšky \rightarrow tzv. „air lift“
- Vlivem air liftu dosáhneme i dvojnásobné výšky pumpování (vizte diskutovaný článek)
- Maximalizace výšky pumpování \leftrightarrow kombinace hydrostatického přetlaku na výstupu spirály a efektu air liftu



<https://royalsocietypublishing.org/doi/full/10.1098/rspa.2017.0533>

Reálná Wirtzova pumpa I

- Některé předpoklady jednoduchého modelu často nejsou splněny
 - **Celistvost segmentů vody** (ovlivňuje vnitřní poloměr trubice s povrchovým napětím a viskozitou)
 - Platnost Boyleova–Mariottova zákona?
 - ...
- Reprodukovat experiment, kde předpoklady platí → porovnat kvalitativní chování s případem, kde evidentně neplatí
- Zkoumat parametry systematicky a maximalizovat výšku pumpování
 - Vnitřní poloměr trubice
 - Hloubka ponoru spirály/relativní množství nabírané vody vůči obvodu spirály
 - Počet otáček ve spirále
 - Rozměry spirály, atd.

Reálná Wirtzova pumpa II

- Poloměr jdoucí k nule je problematický
- Délka segmentu vody je konstantní → přelévání a probublávání mezi krátkými vnitřními otáčkami spirály
- Řešení → spirála s nenulovým počátečním poloměrem



<https://www.youtube.com/watch?v=wCxRHueX6jQ>

Reálná Wirtzova pumpa III

- Technická výzva při napojení rotující trubice na výstupu spirály se statickou vertikální trubicí
 - Výstup zavést do středu spirály
 - Otočné/Rotační spojky hadic
- Pro lepší viditelnost použít průhledné (průsvitné) hadice + obarvit vodu



<https://www.youtube.com/watch?v=mN9iLNHGOYI>



Slovo závěrem

- Wirtzova pumpa je známá 3 století → množství literatury a dokumentace
 - Úloha s různorodými typy řešitelských výzev
 - Technické výzvy – sestavení funkční pumpy
 - Experimentální výzvy – kvalitativní pozorování jevu; proměřování množství relevantních fyzikálních parametrů; porovnání s existující teorií
 - Teoretické výzvy – numerická implementace existující teorie; její případné zjednodušení či rozšíření; diskuse vlivu zanedbaných fyzikálních jevů a parametrů
 - Každý si v úloze najde svůj díl zábavy
- 