

Laminární proudění, neboli Cesta v čase

H. Picmausová, M. Gondeková

Fakulta jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1

helenapicmausova@seznam.cz

Abstrakt

Pokus se zabývá vlastnostmi, významem, ale i matematickým popisem charakteristik laminárního a turbulentního proudového pole, jejich rozdíly a rozličným využitím.

1 Úvod

S problematikou proudění a obtékání tekutin se setkáváme každý den. Ať se vydáme na výlet lodí, přejdeme po mostě, nebo nám vítr vytrhne deštník z ruky. Studium laminárního a turbulentního proudění je nedílnou součástí stavitelství, dopravy i strojího průmyslu. Aplikace těchto poznatků může vést k výnosnějšímu získávání energie v turbínách elektráren, zvýšení výkonu kompresorových mříží, či aerodynamičtějšímu řešení karoserií automobilů. Naopak zanedbáním zákonitostí proudového pole může dojít ke kolapsu staveb nebo k ohrožení provozu v různých odvětvích těžkého průmyslu. Tento článek tedy představuje první nahlédnutí do zákonitostí mechaniky kontinua.

2 Reynoldsovo číslo

Pro účely popisu a rozlišení dvou základních režimů proudění- laminárního a turbulentního, se v mechanice tekutin používá tzv. Reynoldsovo číslo. Jedná se o bezrozměrnou tabulkovou hodnotu udávající vztah mezi hustotou a viskozitou kapaliny a rychlostí jejího proudění. Jeho konceptu prvně využívá ve svém pojednání z r. 1851 George G. Stokes, nicméně číslo nese svůj název podle britského fyzika Osborna Reynoldse, který jej v r. 1883 popularizoval. Vlastní výpočet je velmi snadný:

$$Re = \frac{\rho R v}{\eta},$$

kde η je viskozita, R průměr trubice, ρ hustota kapaliny a v rychlost proudění. Reynoldsova čísla menší než 2300 jsou typické pro laminární proudění, větší než 4000 potom pro turbulentní proudění. V intervalu mezi těmito hodnotami mluvíme o tzv. přechodném, či kritickém Reynoldsově čísle, kdy jeden typ proudění přechází v druhý.

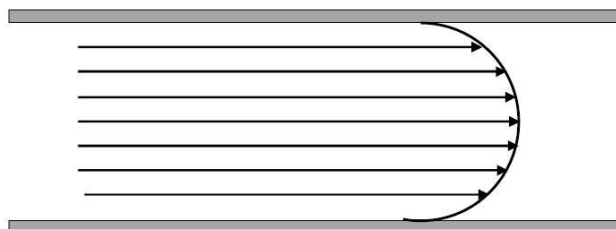
3 Laminární proudění

Obvykle se jedná o pomalé proudění vazké kapaliny. Nedochází při něm k mísení proudnic, neboli zavíření proudu. Proudnice jsou paralelní a platí pro ně Newtonův zákon viskozity. Při

laminárním obtékání tělesa dochází také k výrazně menšímu odporu prostředí než při obtékání vírovém.

Extrémní případ laminárního proudění představuje tzv. Stokesovo proudění, nastávající při Reynoldsově číslu výrazně menším než 1. Rychlost takového proudění je velmi nízká a vnitřní třecí síly jsou výrazně nižší než viskozita.

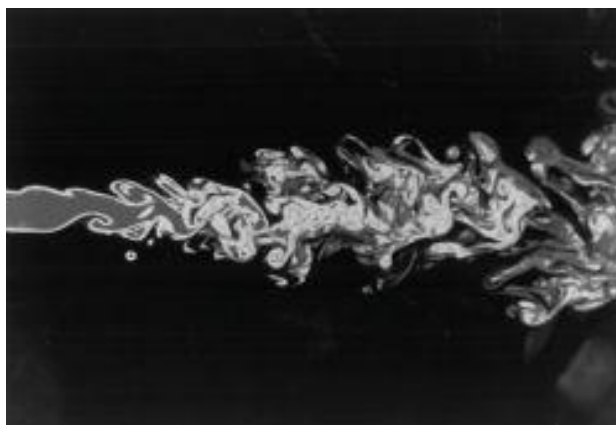
V našem pokusu bylo využito bezvodého glycerinu, tedy čiré látky s vysokou viskozitou, ideální k vizualizaci proudnic.



Obr. 1- Laminární proudění

4 Turbulentní proudění

Při hodnotách Reynoldsova čísla přesahujících 4000 dochází k tzv. turbulentnímu proudění. Jedná se o režim typický chaotickými změnami proudového pole. Vyskytují se zde nestabilní, vzájemně interagující vírové řady. Odpor prostředí se zvyšuje v důsledku zesílení, případně interakce, mezní vrstvy s odtrženými víry a proudovým polem. Dochází k výrazné disipaci energie (obzvláště při vzniku rázových vln u supersonických rychlostí). Omezení turbulentního proudění a odtrhávajících se vírových řad v průmyslu, stavitelství a řadě jiných oblastí znamená snížení namáhání materiálů, snížení energetických ztrát a zvýšení bezpečnosti.



Obr. 2- Turbulentní proudění

5 Experiment

Náš pokus začal zhlédnutím internetového videa demonstrující vlastnosti laminárního proudění. Tato ukázka se ovšem shledala se značnou mírou skepse ze strany internetových uživatelů, kteří se většinou domnívali, že se jedná o podvod. Proto jsme se rozhodly pokus zrekonstruovat a ověřit.

Protože se však sestavení celé aparatury prokázalo technicky velmi obtížným, požádaly jsme o pomoc Ústav termomechaniky AV ČR, v.v.i., kde nám byly potřebné díly zapůjčeny.

V aparatuře naplněné bezvodým glycerinem je vytvořeno pomalé proudění, které „rozmaže“ obarvenou kapku glycerinu. Po změně směru proudění se obarvená šmouha postupně vrací do své původní podoby, tj. kompaktní kapky. Nedošlo k zavíření proudu, což umožnilo příslovečnou „cestu v čase“.



Obr. 3- Experiment

Poděkování

Velký dík patří ing. Martinovi Kožíškovi za odborné konzultace a zapůjčení dílů experimentu, ing. Martinu Luxovi, PhD, za poskytnutí laboratorního zázemí a doporučenou literaturu, a ing. Vojtěchu Svobodovi, CSc., za podnětné připomínky a rady k praktickému provedení pokusu.

Reference:

- [1] Rott, N. *Note on the history of the Reynolds number*, Annual Review of Fluid Mechanics (1990). 22 (1): 1–11. doi:10.1146/annurev.fl.22.010190.000245.
- [2] Anderson, J. D. *Modern Compressible Flow: With Historical Perspective*, McGraw-Hill, New York (2003) 106, 494. ISBN: 978-0072424430
- [3] Feynman, R. P., Leighton, R. B., Sands, M. *Feynmanovy přednášky z fyziky s řešenými příklady 2/3*, Fragment, Praha (2001). 752-753
- [4] Rhodes, M., *Introduction to Particle Technology*, John Wiley & Sons, Ltd., West Sussex, England (2008), 99. ISBN: 978-0470014271
- [5] Dhawan S., Narasimha R. *Some properties of boundary layer flow during the transition from laminar to turbulent motion*, Journal of Fluid Mechanics, (1958). 3, pp 418-436 doi:10.1017/S00222112058000094