Několik dalších pokusů s termocitlivými fóliemi

PAVEL KONEČNÝ
Přírodovědecká fakulta MU, Brno

Tato práce se zabývá využitím reverzních teplocitlivých fólií pro detekci změn teploty v experimentech s adiabatickou kompresí či expanzí plynu. Dále pro vizualizaci proudění v okolí sacího otvoru a zobrazení odklonění šikmého proudu vzduchu způsobené levitujícím míčkem (demonstrace 3. Newtonova zákona akce a reakce v mechanice tekutin), a pro nalezení uzlů a kmiten v Rubensově trubici.

Termocitlivá fólie

Reverzibilní termocitlivá fólie je speciální struktura na bázi nematických krystalů, která se podle teploty zbarvuje ve škále od černé přes načervenalou, žlutozelenou, zelenou a modrou znovu k černé. Změna je reverzibilní. Měří v rozsahu několika stupňů (podle typu) a jsou vyráběny pro teploty od cca 10 ^{o}C do 50 ^{o}C. Vzhledem k malé tepelné vodivosti a malé tepelné kapacitě rychle reagují na změny teploty. Velmi dobře zobrazují rozložení teploty v ploše.

V experimentech byla použita termocitlivá fólie firmy Omega s rozsahem 5 ^{o}C.

Technická data nalezneme např. v [1].

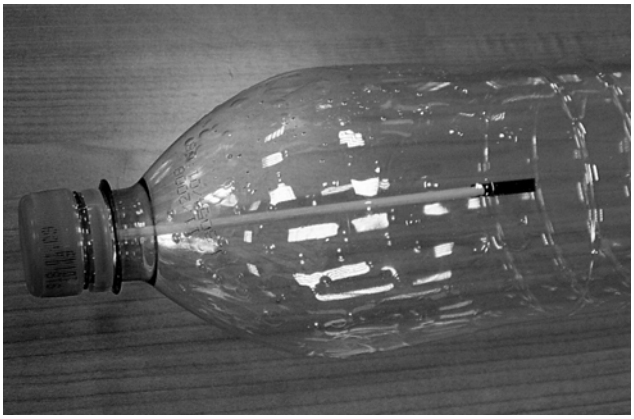
Zkušenosti s termocitlivými fóliemi

Reverzibilita není 100 %. Místa s výrazně odlišnou teplotní historií jsou v ploše patrná, nejzřetelněji na červenohnědé barvě, aniž by teplota přesáhla uváděnou kritickou hranici 100 ^{o}C. Barevné podání se mírně mění i po kontaktu s některými umělými hmotami, například potravinářskou fólií (pravděpodobně v důsledku průniku změkčovadel do termocitlivé fólie). Krátkodobé vystavení destilované vodě snášely dobře.

Adiabatický děj v plynu

Demonstrace změny teploty při adiabatickém ději v plynech není snadná věc. Plyn má za normálního tlaku o tři řády nižší hustotu než pevná látka a z toho plyne poměr tepelných kapacit. Zatímco přestup tepla mezi teploměrem a plynem je žádoucí, mezi stěnami nádoby a plynem je nežádoucí, ale v obou dvou případech funguje stejný mechanizmus přenosu tepla. Jediný způsob, jak nežádoucí jev eliminovat, je provést měření rychleji, než teplotní vlna od stěn nádoby ovlivní teploměr. Provést měření ale znamená ohřát/ochladit teploměr přibližně na teplotu prostředí. Z toho plyne že tepelná kapacita teploměru musí být menší, než tepelná kapacita malého zlomku objemu plynu v nádobě a teploměr by měl být umístěn co nejdál od stěn nádoby. Relativně malou tepelnou kapacitu má po odstranění samolepící vrstvy termocitlivá fólie.

Provedení



Obr.1

Pásek termocitlivé fólie o rozměru cca 5 x 25 mm s teplotním oborem těsně nad pokojovou teplotou (například 25–30 °C) vlepíme do hranolku z balsy (nebo špejle) asi 3x3x100–120 mm. Špejli druhým koncem zalepíme tavnou pistolí do víčka od PET láhve. Fólii je třeba zbavit všech zbytečných vrstev, aby její tepelná kapacita byla co nejmenší. Víčko zašroubujeme do větší a delší PET láhve viz obr. 1. Je-li teplota v místnosti nižší, než je dolní hranice teplotního oboru fólie, přihřejeme vzduch v láhvi (rukama) tak, aby fólie právě začala měnit svoji barvu z černé na červenohnědou. Poté láhev prudce zmáčkneme. Fólie na adiabatický ohřev reaguje se zpožděním cca 1–2 s odpovídající změnou barvy. Je důležité držet láhev ve vertikální pozici a mačkat ji co nejvýš od fólie, abychom omezili ohřev vlivem teplých rukou. Po uvolnění sevření se musí proužku vrátit původní barva.

Pro malé relativní změny teploty a tlaku při adiabatické kompresi vzduchu platí

$$\frac{\Delta T}{T} \approx \left(1-\frac{1}{\kappa}\right)\cdot\frac{\Delta p}{p} \qquad 1-\frac{1}{\kappa}=\frac{2}{7}$$

Změně teploty o 5 ^{o}C z pokojové teploty při adiabatické kompresi/expanzi odpovídá změna z normálního tlaku asi o 6 000 Pa.

Charakter proudění nasávaného vzduchu

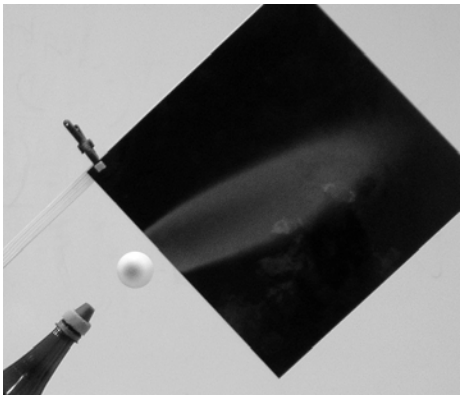
Obr. 2

Objasnění hydrodynamického paradoxonu s trubičkami vyskakujícími proti proudu nasávaného vzduchu [2] obsahuje tvrzení, že vzduch je nasáván ze všech stran. Toto tvrzení je vhodné demonstrovat. Pokud připravíme v rovině osy nařízlou průhlednou trubku velkého průměru (cca 10 cm, například z ručního šlehače), kam vložíme aršík termocitlivé fólie a trubku vybavíme jemně regulovatelným sáním výkonu (tak na úrovni ventilátoru), můžeme hrotem páječky vytvářet horkovzdušnou značku, která, jak je unášena podél fólie, vytváří tepelnou stopu zobrazující příslušnou proudnici. Viz obr. 2. Hrot pájky je zapotřebí podkládat dvojitým silným papírem izolujícím termocitlivou fólii před poškozením.

Na snímku je trajektorie „teplovzdušné“ částice dobře patrná a je z ní zřejmé, že otvor saje ze všech stran. Vzniklá stopa se udrží několik sekund až desítku sekund. Viz obr. 2.

Obr. 3

Zobrazení proudnic kolem sací trubky má, s využitím skupenského tepla výparného (pro vodu asi 2 500 $J \cdot g^{-1}$), ještě jednu variantu, viz obr. 3. Pokud termocitlivou fólii pokryjeme co nejjemnějšími kapičkami destilované vody pak je místo, kde se voda více odpařuje studenější. Fólie zobrazuje rozložení odparu vody. Teplotní obor použité fólie musí být o dost nižší, než je teplota okolí, nutno vyzkoušet. Při vyšších vlhkostech tento jev nefunguje. Nastavíme-li sání na určitou, poměrně malou hodnotu, zjistíme, že fólie se za překážkou (například ve formě tenké špejle) v úzkém proužku zbarvuje do odstínu odpovídající nižší teplotě. To je dáno turbulencí unášenou s nasávaným vzduchem. Turbulence zajišťuje větší lokální odpar a tedy větší chlazení.

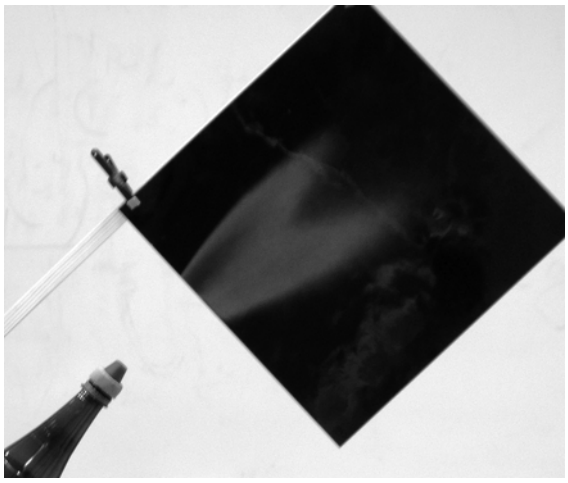


Obr. 4

Poznámka: tato metoda poskytuje jen velmi přibližné zobrazení proudnic. Tření vzduchu o termocitlivou fólii totiž charakter proudění výrazně ovlivňuje.

Levitace míčku

Dalším experimentem, je levitace míčku v šikmém proudu např. [3]. Z Newtonových zákonů plyne, že míček levituje, je-li součet všech sil, které na něj působí, roven nule. Příslušná vertikální síla působící na míček proti síle tíhové má původ v tlakovém poli, které se kolem obtékaného míčku vytváří. Toto tlakové pole však působí i na proud vzduchu. Vzhledem k tomu, že proud vzduchu je šikmý, tlakové pole ho skloní ještě o něco víc, viz obr. 4. Pozorovaný jev je současně demonstrace třetího Newtonova pohybového zákona.



Obr. 5

Zobrazit proudění lze kouřovou značkou a vhodným nasvětlením. Jiná možnost je použít termocitlivou fólii vhodného teplotního rozsahu (pro teplotu místnosti pod 25 °C

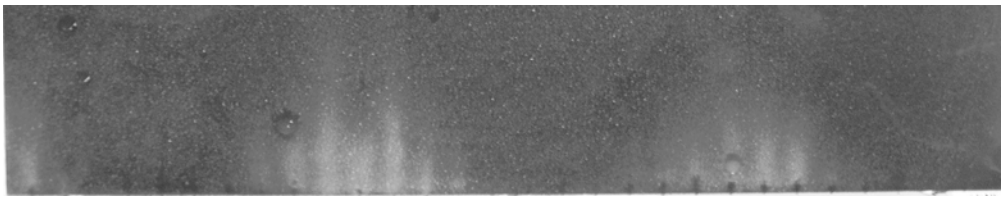
vyhovuje fólie 25–30 °C), kterou vložíme vertikálně do osy proudu vzduchu za místo, ve kterém by se nacházel levitující míček. Vhodnou teplotu nasávaného vzduchu zajistíme fénem. Zobrazíme směr proudu vzduchu bez míčku a s míčkem. Výhoda metody kromě relativní jednoduchosti je v tom, že oba obrazce jsou vidět současně, viz obr. 5. Poznámka: generátor vzduchu není stavěn na sání příliš teplého média.

Zobrazení uzlů a kmiten Rubensovy trubice

Rubensova trubice, podobně jako Kundtova trubice, je akustická rezonanční trubice. Bývá vyhotovena z tenkostěnné kovové trubky s řadou otvorů pravidelně rozmístěných v horní straně podél osy trubky. Kromě reproduktoru k buzení akustického signálu je vybavena trubičkou pro připouštění plynu [4]. (Zjednodušený přehled viz např. [6].)

Plyn uniká z řady horních otvorů pod tlakem, který je součtem stálého přívodního tlaku a místního akustického tlaku. Střední hodnota průtoku plynu pak určuje místa kmiten a uzlů [4], [5]. Je několik způsobů, jak je zobrazit. Přivádíme-li do trubice hořlavý plyn, pak to může být výška plamínků. Je to velmi efektní, ale s ohříváním trubice je spojeno její rozlaďování. Druhá možnost je využít termocitlivé fólie těsně přiložené k unikajícímu vzduchu a plnit trubici horkým vzduchem. Problém se stálostí ladění však zůstává. V obou případech musí mít otvory poměrně velký průměr. Čím větší únik plynu z rezonanční trubice, tím větší útlum.

Pokud pokryjeme termocitlivou fólii co nejjemnější rosou z destilované vody a těsně přiložíme k řadě horních otvorů, zviditelníme rozdíly intenzity pulsace vzduchu z otvorů i při stejné teplotě okolí a náplně trubice. Pulsace vzduchu a tedy i odpar vody je tím intenzivnější, čím je v místě otvoru větší akustický tlak. Čím větší odpar, tím nižší teplota. Vzhledem k skupenskému teplu výparnému cca 2 500 $J \cdot g^{-1}$ a skutečnosti, že se efekt selektivního ochlazení akumuluje, mohou být otvory v trubici mnohem menší. Trubice tak může mít menší útlum. Efekt nefunguje při velké okolní vlhkosti. Zobrazené polohy kmiten akustického tlaku viz obr. 6.



Obr. 6

Literatura

[1] http://www.omega.com/ppt/pptsc.asp?ref=LCS_LABELS&Nav=temf01
[2] Konečný P.: *Pokus o kvantitativní interpretaci jednoho hydrodynamického paradoxonu*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 7. ED.: Svoboda E., Dvořák L. Prometheus Praha, 2002
[3] Konečný P.: *Několik experimentů z hydrodynamiky*. In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 8. České Budějovice, 2003

[4] Geoge F. Spagna, Jr.: *Rubens flame tube demonstration: closer look at the flame.* In: Am. J. Phys.51, 848 (1983)
[5] G. Ficken and F.C. Stephenson, Phys. Tlach. 17, 306 (1979).
[6] Konečný P.:*Z jídelnho lístku fyzikální kavárny při ÚFE PŘF MU aneb Kundtova a Rubensova trubice* In: Sborník konference Veletrh nápadů učitelů fyziky 12. ED.: Svoboda E., Dvořák L. Prométheus Praha, 2007