

BERNOULLIHO ROVNICE PRO PLYNY

Pomůcky:

dva papíry formátu A4, toaletní papír navinutý na roliče

Postup:

Bernoulliho rovnice se ve středoškolském učivu fyziky omezuje pouze na ideální kapalinu, tj. nestlačitelnou kapalinu bez vnitřního tření. Pro ní má rovnice, která popisuje proudění této kapaliny v daném místě, tvar: $\frac{1}{2}\rho v^2 + p = konst.$, kde ρ je hustota proudící kapaliny, v je velikost její rychlosti ve sledovaném bodě a p je její tlak v tomto bodě. Na základě rovnice je zřejmé, že s rostoucí rychlostí pohybu kapaliny v daném místě klesá v tomto místě tlak.

Pro plyny Bernoulliho rovnice v tomto tvaru neplatí, neboť plyn je velmi silně stlačitelný a tedy je jeho tlak velmi silně závislý na hustotě. Nicméně kvalitativní závěry (tj. že s rostoucí rychlostí klesá v daném místě tlak) platí i pro plyny. Tuto závislost lze prokázat několika způsoby:

1) Nejjednodušší je experiment, k němuž budeme potřebovat dva listy papíru formátu A4. Vezmeme je za kratší stranu každý do jedné ruky, mírně sklopíme hlavu směrem dolů a listy přidržíme v téměř svislé poloze pod ústy. Nyní mezi listy silně foukneme. Listy místo toho, aby se od sebe odchýlily, se k sobě přitáhnou.



2) K dalšímu experimentu budeme potřebovat pouze toaletní papír navinutý na roliče. Lze použít i právě používané balení - během experimentu nehrozí žádné zničení nebo kontaminace, takže jej lze potom opět použít na toaletě.



Toaletní papír přidržíme před ústy tak, aby podélná osa roličky byla ve vodorovné poloze tak, že papír by se odmotával směrem od nás. Odvineme asi 5 cm papíru, který necháme přesahovat z roličky dolů. Nad roličkou silně foukneme ústy. Přitom pozorujeme, že se odmotaný papír zvedá a vlaje ve vzduchu ve vodorovném směru. Přestaneme-li foukat, klesne papír vlivem tíhové síly zase zpět dolů.



Vysvětlení:

Fouknutím mezi listy papíru se zvýší velikost rychlosti proudícího vzduchu v prostoru mezi nimi. V souvislosti s tím poklesne v tomto prostoru atmosférický tlak (vyplývá z kvalitativního závěru Bernoulliho rovnice). Tlak vzduchu mimo prostor mezi listy je ale větší. Listy k sobě tedy stlačí atmosférická síla, která bude působit z místa většího tlaku směrem do místa nižšího tlaku vzduchu.

Fouknutím nad volným koncem toaletního papíru nad ním vytvoříme podtlak. S rostoucí rychlostí proudění (a dosud byl vzduch nad i pod papírem v klidu) totiž klesá tlak proudícího vzduchu. Proto na papír bude působit atmosférická síla, která bude mít opět směr z místa s vyšším tlakem (vzduch pod papírem) do míst s nižším tlakem. Vzhledem k velmi malé hmotnosti papíru udrží síla, která vznikla v důsledku nerovnováhy tlaků vzduchu, papír ve vodorovné poloze.

Přestaneme-li foukat, vyrovnají se opět tlaky vzduchu nad a pod papírem a zanikne síla, která papír zvedala. Papír se tedy vlivem své vlastní tíhové síly vrátí do původní polohy.