

# Hmotnost - veličina neveličina?

Jan Šupík

Fakulta Jaderná a fyzikálně inženýrská, Břehová 7, 115 19 Praha 1  
jansupik@gmail.com

## Abstrakt

V tomto projektu se zabývám hmotností, jednou z fundamentálních fyzikálních veličin. Dal jsem si za cíl teoreticky i experimentálně dokázat, že tuto veličinu je v podmínkách naší planety nemožné přesně změřit, protože každé těleso je nadlehčováno vztlakovou silou zemské atmosféry. To má mj. za důsledek také to, že lidé mnohdy nesprávně používají veličiny hmotnost a tíha. Dalším problémem je také fakt, že velikost jednoho kilogramu se s postupem času mění (bude dále vysvětleno).

## 1 Definice základních veličin

Pro pochopení problematiky nastíněné v abstraktu je nutno nejprve definovat základní pojmy. Hmotnost je definována jako veličina vyjadřující míru setrvačných a gravitačních účinků dvou vzájemně na sebe působících těles. Její jednotkou v soustavě SI je kilogram. Zde ale narážíme na problém, protože už sama definice kilogramu je sporná. Kilogram byl původně definován jako hmotnost jednoho litru vody při tlaku vzduchu 760 torr (101.324,72 Pa) a teplotě 3,98 °C (při této teplotě má voda nejvyšší hustotu). Tato definice ovšem není plnohodnotná, protože kilogram je zde definovaný na základě hydrostatického tlaku rtuti, který je zpětně definován pomocí hmotnosti. Kvůli těmto závažným nedostatkům byl roku 1889 kilogram, jako poslední jednotka, definován na základě prototypu, který byl vyroben tak, aby odpovídal původní definici. Kvůli malé odchylce při výrobě prototypu ale kilogram vody nemá objem 1l, ale 1,000028 l. Dalším problémem je fakt, že prototyp kilogramu pomalu ztrácí z nevysvětlitelného důvodu svoji hmotnost. Za posledních 100 let je lehčí asi o 50 mikrogramů, takže se tímto změnila i velikost kilogramu. Navíc kdybychom určovali hmotnost prototypu na rovníku a na pólech, dojdeme k rozdílným výsledkům (je zde jiné gravitační zrychlení). Proto by bylo dobré definovat kilogram na základě fyzikálních procesů a ne na základě prototypu, už z toho důvodu, že prototyp je nepřenositelný a nemůžeme ho libovolně vyrobit, což by při definici pomocí fyzikálních jevů bylo kdykoliv možné.

Tíha je definovaná jako síla, kterou působí těleso v gravitačním poli (Země) na podložku, nebo závěs. Její velikost je ovlivněna hlavně velikostí gravitační síly, popř. i setrvačnými silami, když je podložka, nebo závěs v pohybu. Z toho také vyplývá fakt, že by se měla tíha správně počítat jako výslednice sil působících na těleso, ale v praxi se počítá jinak.

## 2 Konfrontace veličin tíha a hmotnost

Podle mého názoru si většina lidí myslí, že vztah mezi tíhou a hmotností spočívá v tom, že pomocí hmotnosti se dá spočítat tíha tak, že hmotnost tělesa vynásobíme gravitačním zrychlením. Tento postup výpočtu tíhy je, jak jsem už naznačil, neúplný, protože tíha by se měla počítat jako výslednice sil působících na dané těleso. Problém je ale v tom, že tíhová síla není jediná síla působící na těleso. Když uvažujeme těleso vyskytující se v zemské atmosféře, působí na něho podle Archimédova zákona ještě vztlaková síla, která nadlehčuje

toho těleso silou rovnající se tíze vzduchu vytlačeného tělesem. Velikost této vztlakové síly lineárně roste s rostoucím objemem tělesa a s rostoucí hustotou vzduchu. Takže v zásadě lze říct, že tíha tělesa se počítá jako výslednice tíhové a vztlakové síly. Kdybychom ale chtěli velikost tíhy stanovit přesně, museli bychom brát ohled také na všechny ostatní síly působící na těleso (např. Coriolisova síla, odstředivá síla). Tyto další síly mají na velikost tíhy, na rozdíl od vztlakové síly, zanedbatelný vliv.

Vezměme nyní v úvahu následující situaci: Potřebujeme určit hmotnost objemného tělesa a máme k dispozici digitální váhy. Důležitý je fakt, že jsme na Zemi, a jsme proto obklopeni zemskou atmosférou. Atmosféra nadlehčuje těleso umístěné na vahách, takže naměřená hodnota je o něco menší, než je skutečná hmotnost tělesa, protože váhy určují hmotnost tělesa pomocí jeho tíhy. Navíc tíha tělesa je na každém místě planety jiná (je jiné gravitační zrychlení). To má za důsledek to, že ve vzduchu nemůžeme přesně změřit hmotnost tělesa a čím je těleso objemnější, tím nepřesněji jeho hmotnost změříme. Kdybychom chtěli provést toto měření přesně, museli bychom těleso vážit v absolutním vakuu a navíc na místě s daným gravitačním zrychlením.

### 3 Skutečná hmotnost tělesa

Abych ověřil správnost svých tvrzení, rozhodl jsem se je teoreticky i experimentálně dokázat. Mějme ve vzduchu o hustotě  $1,29 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$  ( $t=0 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $p=101,325 \text{ kPa}$ ) umístěné těleso o objemu  $10^{-3} \text{ m}^3$  a předpokládejme, že hmotnost, kterou nám ukazují přesné váhy, je  $1 \text{ kg}$ . Toto těleso je nadlehčováno vztlakovou silou  $0,012642 \text{ N}$ . Když tuto vztlakovou sílu započítáme do hmotnosti tělesa, zjistíme, že jeho skutečná hmotnost je  $1,00129 \text{ kg}$  (rozdíl hmotností je  $1,29 \text{ g}$ ).

Praktický důkaz jsem chtěl provést změřením hmotnosti tělesa ve vzduchu a poté ve vakuu, nepodařilo se mi ale zajistit dostatečně kvalitní vakuum. Tak jsem se uchýlil k inverzní metodě. Použil jsem odměrnou baňku o vnitřním objemu  $100 \text{ ml}$  (celkový objem asi  $105 \text{ ml}$ ). Nejprve jsem stanovil její hmotnost, když byl uvnitř baňky i vně baňky vzduch. Poté jsem z ní vodní vývěvou odčerpал vzduch a opět stanovil hmotnost (pomocí Archimédova zákona: hodnota, o kterou je baňka nyní lehčí, je přibližně stejná jako hodnota, o kterou by byla baňka těžší ve vakuu než uzavřená ve vzduchu, předpokládáme-li, že objem je konstantní). Tato metoda sice není nejpřesnější, protože zanedbává objem stěn baňky, nicméně i tak poskytla relevantní výsledky. Hmotnost baňky ve vzduchu byla  $103,889 \text{ g}$  a hmotnost po odčerpání vzduchu uvnitř  $103,762 \text{ g}$ . Po provedení dalších výpočtů jsem zjistil, že její reálná hmotnost je asi  $104,016 \text{ g}$  (rozdíl hmotností činí  $0,127 \text{ g}$  na  $105 \text{ ml}$  objemu). Tyto výsledky jsem také porovnal s teoretickým odhadem (viz výše) vztaženým na objem  $105 \text{ ml}$ . Vyšlo mi, že rozdíl hmotností by byl asi  $0,135 \text{ g}$ , což odpovídá experimentálním výsledkům (naměřená odchylka je způsobena rozdílnými hustotami vzduchu).

### 4 Závěr

Dokázal jsem, že všechna měření hmotnosti prováděná za normálních podmínek jsou nepřesná, protože každé těleso je nadnášeno sice malou, ale nenulovou vztlakovou silou zemské atmosféry. Skutečnou hmotnost tělesa lze změřit pouze v absolutním vakuu, což ale není běžně proveditelné, a na místě s daným gravitačním zrychlením. To má za následek jednak to, že neznáme přesnou hmotnost těles, ale podle mého názoru to může mít také vliv na velikost některých fyzikálních veličin, které vyplývají z hmotnosti (např. hustota, měrná tepelná kapacita apod.). Také jsem se zamyslel nad nezpochybnitelnou definicí kilogramu a

myslím, že nejlepší by bylo definovat kilogram pomocí Planckova vztahu  $E = h \cdot f = m \cdot c^2$ , kde  $h$  značí Planckovu konstanta,  $f$  frekvenci,  $c$  rychlost světla a  $m$  hmotnost.

## Reference

- [1] Hmotnost, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Hmotnost>
- [2] Kilogram, <http://cs.wikipedia.org/kilogram>
- [3] Tíha, <http://cs.wikipedia.org/wiki/Tíha>
- [4] J. Bureš, Fyzikální tabulky, <http://www.converter.cz/tabulky>
- [5] Ivan Štoll, *Mechanika*, Vydavatelství ČVUT, Praha, 2003, str. 56-62.