

VÁŽENÍ

Při určování hmotnosti se využívá úměrnosti mezi tíhou tělesa a jeho hmotností. Zjišťování tíhy obvykle provádíme váhami a tento proces nazýváme **vážení**. Vážení náleží k nejpřesnějším měřením, protože při něm lze dosáhnout relativní přesnosti až 10^{-5} %. Již při vážení na jednoduchých praktikantských vahách dosahujeme relativní přesnosti 0,1 % .

Váhy charakterizujeme **váživostí** (maximální zatížení, pro které jsou váhy konstruovány), dosahovanou citlivostí C , $C = \frac{\Delta r}{\Delta x}$, kde Δr je přírůstek výchylky ukazatele přístroje a Δx je pří-

růstek měřené veličiny, který tuto změnu způsobil, nebo nejistotou odvozenou z chyby čtení. Chyba může být udána jako absolutní nebo relativní.

Váhy rozdělujeme podle různých kritérií: podle principu, přesnosti, způsobu odečtu údaje aj.

Torzní váhy určují tíhu na základě stočení torzně namáhaného vlákna. Velikost úhlu stočení je možné určit s velkou přesností např. zrcátkovou metodou. Tento typ vah je vhodný pro stanovení malých hmotností, u moderních torzních vah se např. dosahuje chyby 0,001 mg při váživosti 250 mg, nebo chyby 2 mg při váživosti 10 g.

Laboratorní analytické váhy jsou určeny k určování malých hmotností. Váživost se pohybuje pro různé typy těchto vah v rozmezí řádů 10^1 až 10^2 g, odpovídající absolutní chyba v rozmezí 10^{-5} až 10^{-3} g . V klasickém provedení to jsou mechanické rovnoramenné váhy, které jsou brzděné nebo nebrzděné. Brzděné váhy jsou opatřeny zařízením (obvykle vzduchovými brzdícími válci), které velmi rychle utlumí kmity vah. V moderním elektronickém provedení váhy pracují tak, že tíha tělesa se převádí na deformaci pružného členu a velikosti této deformace odpovídá odezva elektrické povahy (např. změna elektrického odporu tenzometru). Údaj tohoto typu vah má digitální formu.

Praktikantské váhy se užívají v laboratorních podmínkách pro určování hmotností v rozmezí 500 až 1000 g. Jsou to nebrzděné (netlumené) rovnoramenné váhy robustnější konstrukce než váhy analytické. Nepřesnost se obvykle pohybuje v řádu 10^{-2} g .

Vážení na praktikantských vahách musí respektovat skutečnost, že před ustálením vahadlo vah vykonává tlumené kmity okolo rovnovážné polohy. Při zjišťování rovnovážné polohy nečekáme na ustálení kmitavého pohybu, ale stanovíme ji ze tří po sobě jdoucích krajních poloh

kmitajícího jazýčku vahadla, výpočtem ze vztahu $n = \frac{1}{2} \left[a_2 + \frac{1}{2} (a_1 + a_3) \right]$. Tak určíme nulovou

polohu vah, kterou označíme n_0 . Při vážení tělesa neznámé hmotnosti m na praktikantských vahách obvykle nejsme schopni v krátké době najít takovou hodnotu závaží, při které by rovnovážná poloha jazýčku odpovídala nulové poloze. Použijeme proto interpolační metodu vysvětlenou v odstavci.

Zvolíme dvě různé hodnoty hmotnosti závaží $Z_1 < Z_2$ tak, aby jim odpovídající rovnovážné polohy jazýčku n_1 a n_2 splňovaly nerovnost $n_1 < n_0 < n_2$, tj. aby jedna ležela vlevo a druhá vpravo od nulové polohy. Hledanou hmotnost m určíme ze vztahu

$$m = Z_1 + \frac{n_0 - n_1}{n_2 - n_1} (Z_2 - Z_1) . \quad (1)$$

V případě, že známe citlivost C vah, můžeme určit hledanou hmotnost m pouze z jednoho vážení, tj. známe pro závaží Z_1 odpovídající rovnovážnou polohu n_1 . Pro hmotnost m použijeme vztah

$$m = Z_1 + \frac{n_0 - n_1}{C} . \quad (2)$$

Jestliže citlivost není známa, určíme jí z dvojího vážení pomocí vztahu

$$C = \frac{n_2 - n_1}{Z_2 - Z_1} . \quad (3)$$

Příklad:

Před vážením byla určena nulová poloha vah $n_0 = 10,5$. Stupnice byla očíslována tak, že nula byla vpravo na okraji stupnice, deset dílků uprostřed a dvacet na levém okraji. Předmět klademe na levou, závaží na pravou misku. Při prvním vyvážení byla hmotnost závaží $Z_1 = 20,48$ g a rovnovážná poloha $n_1 = 8$. Druhé vyvážení bylo pro závaží $Z_2 = 20,54$ g a rovnovážná poloha $n_2 = 11$. Po vážení byla zkontrolována rovnovážná poloha a bylo zjištěno, že se nezměnila. Ze získaných údajů je možno zjistit citlivost vah podle vztahu (3)

$$C = \frac{11 - 8}{20,54 - 20,48} = \frac{3}{0,06} = 50 \text{ dílek} \cdot \text{g}^{-1} .$$

Hmotnost předmětu m určíme podle vztahu (1) interpolační metodou nebo pomocí citlivosti (2). Dosazením do vztahu (1) dostaneme

$$m = 20,48 + \frac{10,5 - 8}{11 - 8} (20,54 - 20,48) = 20,53 \text{ g} .$$

Ze známé citlivosti můžeme odhadnout chybu vážení. Vidíme, že změně závaží o 6 cg odpovídá změna výchylky o 3 dílky. Jednomu dílku stupnice vah, což je chyba čtení, odpovídá přívazek 2 cg a to je zároveň mezní hodnota potřebná pro určení nejistoty typu B. Předpokládáme-li rovnoměrné rozdělení hodnot v rozmezí ± 2 cg, pak $u_{mB} = \frac{2}{\sqrt{3}} \text{ cg} = 1,2 \text{ cg}$. Výsledek proto zapíšeme ve tvaru $m = (20,530 \pm 0,012) \text{ g}$.