

## 12. MĚŘENÍ HUSTOTY

### *Měřicí potřeby*

- 1) posuvné měřítko.
- 2) mikrometr
- 3) analytické váhy WA33.
- 4) speciální tlumené váhy OHAUS
- 5) předváha
- 6) pyknometr
- 7) tělesa z různých materiálů
- 8) různé kapaliny
- 9) dvě kádinky

### *Obecná část*

Hustota  $\rho$  je poměr hmotnosti  $m$  tělesa k jeho objemu  $V$ , tedy

$$\rho = \frac{m}{V} .$$

Takto získaná hodnota hustoty je ovšem průměrná hustota. Není-li hmota v tělese rozložena stejnoměrně, musíme použít lokální definice hustoty, která je

$$\rho = \frac{dm}{dV} .$$

### **Přímá metoda měření hustoty**

Tato metoda spočívá ve využití vzorce pro průměrnou hustotu tělesa. K tomu účelu je nutno zjistit vážením hmotnost  $m$  tělesa a objem  $V$  z jeho rozměrů. Tak lze ovšem určit objem pouze pro pravidelná tělesa.

Při přesném vážení těles je nutno použít tzv. redukce na vakuum, tzn. že je třeba započítat vztlakovou sílu vzduchu (nadlehčuje jak měřené těleso, tak závaží, kterým těleso vyvažujeme). Tato korekce může hrát dosti podstatnou roli u těles o malé hustotě a velkém objemu. Označíme-li měřenou hustotu  $\rho$ , hustotu vzduchu  $\rho_v$ , hustotu závaží  $\rho_z$ , pak lze pro rovnováhu na vahách psát rovnici

$$mg - \rho_v Vg = Zg - \rho_v V_z g ,$$

kde  $m$  je hmotnost tělesa,  $V$  jeho objem,  $Z$  je hmotnost závaží,  $V_z$  je jeho objem a  $g$  je gravitační zrychlení. V naší rovnici lze krátit  $g$ , takže je

$$m - \rho_v V = Z - \rho_v V_z$$

V rovnici je třeba ještě stanovit objem závaží  $V_z$ . To lze provést, známe-li hustotu materiálu, z něhož je závaží vyrobeno. Pak totiž je z rovnice pro hustotu závaží zřejmé

$$V_z = \frac{Z}{\rho_z} .$$

Uvážíme-li ještě, že hmotnost  $m$  tělesa lze pomocí hledané hustoty  $\rho$  zapsat ve tvaru  $m = \rho V$ , přechází naše rovnice na tvar

$$\rho V - \rho_v V = Z - \rho_v \frac{Z}{\rho_z},$$

odkud snadno

$$\rho = \frac{Z - \rho_v \frac{Z}{\rho_z} + \rho_v V}{V}.$$

### Stanovení hustoty pevných těles hydrostatickou metodou

Této metody se s výhodou používá pro stanovení hustoty nepravidelných těles, kde je stanovení objemu obtížné. Metoda je velmi jednoduchá. Nejprve zvážíme těleso na vzduchu a hmotnost vyvažujícího závaží označíme  $Z$  (pro jednoduchost dále nebudeme uvažovat vztlakovou sílu vzduchu). Poté těleso zvážíme, když je zcela ponořeno do vody. Hmotnost vyvažujícího závaží v tomto případě označíme  $Z'$ . Podle Archimedova zákona je zřejmé

$$Z' = Z - V\rho_{\text{vody}},$$

kde  $\rho_{\text{vody}}$  je hustota vody a  $V$  objem tělesa.  $Z$  této rovnice je pak pro objem  $V$

$$V = \frac{Z - Z'}{\rho_{\text{vody}}}.$$

Hledaná hustota  $\rho$  je pak zřejmé

$$\rho = \frac{Z\rho_{\text{vody}}}{Z - Z'}.$$

### Měření hustoty kapalin hydrostatickou metodou

Pro stanovení hustoty kapalin lze s výhodou použít Archimedova zákona. Nejprve stanovíme hmotnost závaží vyvažujícího měřené těleso na vzduchu  $Z$ . Potom zvážíme těleso zcela ponořené v kapalině známé hustoty  $\rho_1$  a hmotnost vyvažujícího závaží označíme  $Z_1$ . Nakonec pak zvážíme těleso zcela ponořené do kapaliny neznámé hustoty  $\rho_2$  a hmotnost vyvažujícího závaží označíme  $Z_2$ . Je-li objem tělesa  $V$ , lze z Archimedova zákona psát

$$Z_1 = Z - \rho_1 V,$$

$$Z_2 = Z - \rho_2 V.$$

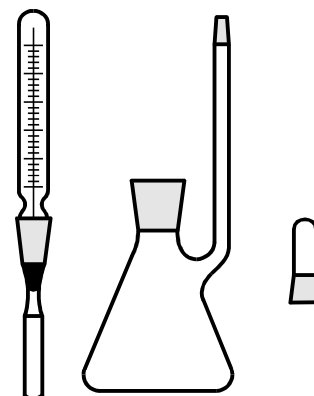
Z první rovnice vypočteme objem  $V$  a dosadíme do druhé rovnice, odkud stanovíme  $\rho_2$ . Máme

$$\rho_2 = \frac{Z - Z_2}{Z - Z_1} \cdot \rho_1$$

Má-li být měření správné, musí být teplota obou kapalin stejná.

### Měření hustoty kapalin pomocí pyknometru

Měření objemu kapaliny při stanovení její hustoty se lze vyhnout, použijeme-li pyknometr. Pyknometr (obr. 1) je



Obr. 1 Pyknometr

skleněná nádobka se zabroušeným hrdlem a zátkou ve formě teploměru. Do stěny nádoby je zatavena trubička, jíž při uzavírání odteče přebývající kapalina.

Zvážíme nejprve prázdný suchý pyknometr a jeho hmotnost označíme  $Z$ . Pak pyknometr naplníme kapalinou známé hustoty  $\rho_1$  a znovu ho zvážíme. Zjištěnou hmotnost označíme  $Z_1$ . Pak pyknometr naplníme kapalinou neznámé hustoty  $\rho_2$  a znovu zvážíme. Označíme-li objem pyknometru  $V$ , máme zřejmě

$$Z_1 - Z = \rho_1 V,$$

$$Z_2 - Z = \rho_2 V.$$

Z první rovnice vypočítáme  $V$  a dosadíme do druhé rovnice. Pak pro neznámou hustotu  $\rho_2$  máme zřejmě

$$\rho_2 = \frac{Z_2 - Z}{Z_1 - Z} \cdot \rho_1.$$

Má-li být měření správné, musí být teplota obou kapalin stejná.

### **Měření hustoty drobných tělísek pomocí pyknometru**

Vyšetřovaná tělíska zvážíme nejprve na vzduchu (hmotnost  $Z$ ). Potom pyknometr naplníme kapalinou o známé hustotě  $\rho_1$  (v našem případě použijeme vodu) a zvážíme (hmotnost  $Z_1$ ). Nakonec do prázdného pyknometru nasypeme tělíska, doplníme vodou a zvážíme (hmotnost  $Z_2$ ). Při započtení opravy na vztlak lze odvodit pro hledanou hustotu  $\rho$  tělísek vztah

$$\rho = \frac{Z \cdot (\rho_1 - \rho_v)}{Z + Z_1 - Z_2} + \rho_v,$$

kde  $\rho_v$  je hustota vzduchu.

### ***Měření***

Při měření hustoty pevných látek zjistíme nejprve hmotnost vzorků. Hmotnost vzorků budeme zjišťovat pomocí analytických vah WA33 (popis viz. kapitola „Přístroje užívané ve fyzikální praktikě“).

Vzorky nejprve zvážíme na předváze a zjištěnou hmotnost na analytických vahách přednastavíme. Pak provedeme přesné vážení. Poté pomocí posuvného měřítka či mikrometru stanovíme jejich rozměry. Prostým podělením obou hodnot příslušných danému tělesu pak získáme hodnotu hustoty tělesa.

Při měření hustoty těles a kapalin hydrostatickou metodou použijeme speciální váhy OHAUS. Jejich obsluha je velmi jednoduchá. Tyto váhy jsou tlumené vířivými proudy a navažování se provádí přesouváním jezdců na jednotlivých ramenech. Jezdec s gramovým závažím a jezdec pro vyšší závaží je třeba posouvat tak, aby zapadly do výřezů na rameni. Jen tak platí údaj, který čteme ve výřezu závaží. Centigramový jezdec se může po svém rameni pohybovat spojitě. Při vážení je vhodné přidržit zobáčky vah sevřeným palcem a ukazováčkem a druhou rukou lehce posouvat centigramový jezdec po rameni. Po přesunutí jezdece sevření zobáčků uvolníme a lehce klepneme ukazováčkem na pohyblivý zobáček vah. Po zastavení odečteme polohu rysek na zobáčcích.

Nekryje-li se poloha obou rysek, zobáčky opět sevřeme palcem a ukazováčkem a opravíme polohu jezdce. Celý postup opakujeme tak dlouho, až se rysky při zastavení vah kryjí.

Vzorek samozřejmě nejprve zvážíme na předváze. Zjištěnou hmotnost vzorku nastavíme na váze OHAUS. Pak vzorek zavěsíme na vahadlo a zjistíme hmotnost vyvažujícího závaží  $Z$ . Pak vzorek sejmeme, na podložku umístíme kádinku s vodou, měřené těleso ponoříme do vody a znovu ho zavěsíme na vahadlo. Zkontrolujeme, zda je těleso zcela ponořeno, a stanovíme hmotnost vyvažujícího závaží  $Z'$ . Předem je však třeba zjistit hmotnost závěsu  $z$ . Tuto hmotnost odečítáme od zjištěné hodnoty  $Z$  i  $Z'$ . Ze stanovených hmotností a ze známé hustoty vody stanovíme pak hustotu tělesa.

Při stanovení hustoty kapalin hydrostatickou metodou postupujeme obdobně. V zásadě je vhodné navázat tímto měřením na předchozí měření. Po skončení měření hustoty tělesa jej sejmeme z vahadla a pečlivě osušíme. Nyní vyměníme kádinku s vodou za kádinku s neznámou kapalinou, těleso do ní znovu ponoříme a zavěsíme na vahadlo. Zkontrolujeme, zda těleso je zcela ponořeno, a stanovíme hmotnost vyvažujícího závaží  $Z_2$ . Z hodnot  $Z$ ,  $Z' = Z_1$ ,  $Z_2$  a  $\rho_1$  stanovíme nyní hustotu  $\rho_2$ .

Při měření hustoty kapaliny pomocí pyknometru postupujeme, jak bylo naznačeno v obecné části. Jen je nutné dodat, že pyknometr po vyprázdnění musíme vždy pečlivě vysušit pomocí malého množství lihu, a po naplnění neméně pečlivě osušit. Jen tak se vyhneme hrubým chybám při měření. Vážení provádíme na analytických vahách, samozřejmě s předvážením.

Při měření hustoty tělísek je rovněž nutné pyknometr po naplnění důkladně osušit. Výhodou je, že odpadá nutnost vážit prázdný suchý pyknometr.

### ***Pracovní úkol***

Podle pokynů vyučujícího proveďte některé z těchto úkolů:

- 1) Změřte hustotu dvou daných těles přímou metodou. Jedním z těles bude i závěsný váleček, který použijete pro měření hydrostatickými metodami. Hustotu závaží vah (mosaz) zjistíte ve fyzikálních tabulkách. Rozměry těles měřte  $10\times$ .
- 2) Změřte hustotu závěsného válečku hydrostatickou metodou.
- 3) Změřte hustotu neznámé kapaliny hydrostatickou metodou.
- 4) Změřte hustotu téže neznámé kapaliny pomocí pyknometru. Hodnotu hustoty porovnejte s hodnotou získanou hydrostatickou metodou.
- 5) Změřte hustotu skleněných kuliček pyknometrickou metodou.
- 6) Stanovte směrodatné chyby v určení hustot v úkolech 1) a 2). U závěsného válečku porovnejte hodnoty získané přímou a hydrostatickou metodou. Pro splnění tohoto úkolu je nezbytné si prostudovat kapitolu „Chyby měření“ v úvodní části skript.