

## Měření hustoty kapalin

Úkol č. 1: Změřte hustotu lihu pomocí pyknometru.

### **Pomůcky**

Pyknometr, fén, denaturovaný líh, nálevka, filtrační papír, laboratorní váhy, sada závaží, destilovaná voda, teploměr s rozsahem 0 - 50°C.

### **Teorie**

Při měření hustoty kapalin pyknometrem využíváme skutečnosti, že pyknometr obsahuje (při stejné teplotě) vždy tentýž objem různých kapalin. K určení neznámé hustoty provádíme trojí vážení (všechna metodu tří kyvů). Nejprve zvážíme prázdný a suchý pyknometr, jeho hmotnost označme  $m_p$ . Pak jej naplníme kapalinou neznámé hustoty  $\rho$  a vyvážíme závažím o hmotnosti  $m$ . Nakonec zaměníme zkoumanou kapalinu kapalinou známé hustoty  $\rho_0$  (obvykle destilovanou vodou) a pyknometr opět zvážíme, získaný údaj označme  $m_0$ . Objem  $V$  zkoumané kapaliny má hmotnost  $m - m_p$  a její hustota je tedy

$$\rho = \frac{m - m_p}{V}. \quad (1)$$

Stejný objem destilované vody má hmotnost  $m_0 - m_p$  a můžeme jej tedy vyjádřit pomocí známé hustoty  $\rho_0$  jako

$$V = \frac{m_0 - m_p}{\rho_0}. \quad (2)$$

Dosazením za  $V$  z (2) do (1) dostáváme pro hledanou hustotu  $\rho$

$$\rho = \frac{m - m_p}{m_0 - m_p} \rho_0. \quad (3)$$

### **Postup měření**

1. Vypláchnutý pyknometr vysušíme proudem teplého vzduchu, počkáme až se ochladí na teplotu místnosti a metodou tří kyvů ho zvážíme i se zátkou (hmotnost  $m_p$ ).
2. Pyknometr nejprve propláchneme a poté naplníme do poloviny výšky zabroušeného hrdla zkoumanou kapalinou (lihem).
3. Opatrně zasuneme zátku, z kapiláry přitom vyteče přebytečná část kapaliny. Hladina kapaliny v zavřeném pyknometru musí být vždy v úrovni horního ústí kapiláry.

4. Pyknometr opatrně osušíme filtračním papírem (aniž bychom přitom vysáli kapalinu z kapiláry) a zvážíme metodou tří kyvů (hmotnost  $m$ ). Při manipulaci s pyknometrem jej vždy držíme za hrdlo, abychom ho nezahřívali tělesným teplem.
5. Měřenou kapalinu z pyknometru vylijeme, propláchneme jej destilovanou vodou a poté jej destilovanou vodou naplníme.
6. Metodou tří kyvů určíme hmotnost  $m_0$  pyknometru s destilovanou vodou.
7. Změříme teplotu destilované vody a z tabulek určíme její hustotu  $\rho_0^*$ .
8. Naměřené hodnoty dosadíme do vztahu (3).

### Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (3) vyplývá, že nepřímě měřená hustota je funkcí přímo měřených veličin  $\rho = \rho(m, m_0, m_p)$ , pokud  $\rho_0$  jakožto tabelovanou hodnotu budeme považovat za konstantu. Pro střední chybu hustoty potom platí

$$\bar{\Delta\rho} = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial m}\right)^2 |\bar{\Delta m}|^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m_0}\right)^2 |\bar{\Delta m}_0|^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m_p}\right)^2 |\bar{\Delta m}_p|^2}. \quad (4)$$

Po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\rho}{\partial m} = \frac{\rho_0}{m_0 - m_p}, \quad \frac{\partial\rho}{\partial m_0} = \frac{\rho_0(m_p - m)}{(m_0 - m_p)^2} \quad \text{a} \quad \frac{\partial\rho}{\partial m_p} = \frac{\rho_0(m - m_0)}{(m_0 - m_p)^2}$$

do (4) můžeme postupnými úpravami získat vztah

$$\bar{\Delta\rho} = \frac{\rho_0}{m_0 - m_p} \sqrt{|\bar{\Delta m}|^2 + \frac{(m - m_p)^2 |\bar{\Delta m}_0|^2 + (m - m_0)^2 |\bar{\Delta m}_p|^2}{(m_0 - m_p)^2}}. \quad (5)$$

Střední chyby vážení  $\bar{\Delta m}$ ,  $\bar{\Delta m}_0$  a  $\bar{\Delta m}_p$  určíme postupem obvyklým pro metodu tří kyvů.

### Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.1.4 Měření hustoty kapalin pyknometrem, s. 46-47.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.4.2 Měření hustoty kapalin, s. 101-102.

MÁDR, V., KNEJZLÍK, J., KOPEČNÝ, J. *Fyzikální měření*. Praha: SNTL, 1991. 2.5 Hustota, s. 92-94.

\* Teplota destilované vody by se od teploty zkoumané kapaliny neměla lišit o více než 4 °C.

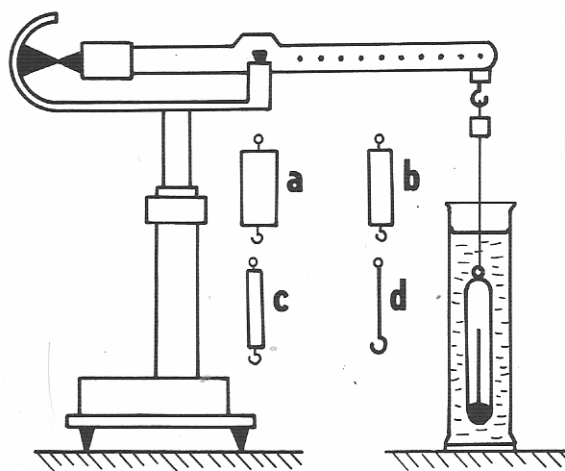
Úkol č. 2: Změřte hustotu lihu Mohrovými – Westphalovými vážkami.

### Pomůcky

Denaturovaný líh, destilovaná voda, Mohrovy-Westphalovy váhy, kádinka.

### Teorie

Mohrovy – Westphalovy váhy jsou nerovnoramenné pákové váhy (obr. 1). Na konci delšího ramene je zavěšeno skleněné ponorné tělísko s teploměrem, hmotnost tělíska je volena tak, že váhy (je-li tělísko na vzduchu) jsou v rovnováze. Ponoříme-li tělísko do kapaliny v odměrném válci, aniž by se přitom dotýkalo stěn a dna, rovnováha se poruší, neboť proti tíze tělesa působí vztlaková síla. Rovnováhu lze obnovit zavěšováním závaží z příslušenství vah na očíslované háčky na delším rameni vahadla. Hmotnost největšího závaží (a) je taková, že ponoříme-li celé tělísko do destilované vody o teplotě 4 °C, ruší se vztlaková síla tíhou tohoto závaží, zavěšeného na 10. háček, tzn. nad tělískem. Hmotnost dalších závaží je desetkrát (b), stokrát (c) a tisíckrát (d) menší než hmotnost největšího závaží.



Obrázek 1: Mohrovy – Westphalovy váhy

Vztlaková síla, působící na tělísko při jeho ponoření do kapaliny je úměrná hustotě této kapaliny. Vyrovnáme-li tuto vztlakovou sílu vhodnou kombinací zavěšených závaží, lze z pořadí obsazených háčků a použitých závaží určit hustotu neznámé kapaliny následujícím způsobem. Poloha závaží (a) udává stovky, (b) desítky, (c) jednotky a (d) desetiny číselné hodnoty hustoty v desítkové soustavě. Nejtěžší závaží jsou obvykle dvě, abychom mohli měřit hustoty větší než  $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . V těchto případech zavěsíme jedno z nejtěžších závaží na 10. háček (nad tělísko) a dále již postupujeme výše uvedeným způsobem.

Například, obnoví-li se rovnováha při zavěšení závaží (a) na 7. háček, závaží (b) na 4. háček, závaží (c) na 4. háček a závaží (d) na 1. háček, je hustota kapaliny, v níž je tělísko ponořeno,  $\rho = 744,1 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

Kontrolu vah provádíme kontrolním měřením hustoty destilované vody. Váhy jsou správné, jestliže výše popsaným způsobem naměříme tabulkovou hodnotu  $\rho_{\text{tab}}$  destilované

vody pro danou teplotu. Jestliže naměříme odlišnou hodnotu  $\rho'$ , je nutno opravit naměřenou hustotu zkoumané kapaliny  $\rho_{\text{chybná}}$  na správnou hodnotu  $\rho_{\text{správná}}$  podle vztahu

$$\rho_{\text{správná}} = \frac{\rho_{\text{tab}}}{\rho'} \rho_{\text{chybná}}. \quad (6)$$

### Postup měření

1. Po vyjmutí ze skříňky váhy zkompletujeme a pomocí stavěcího šroubu ustavíme nosný sloupek do svislé polohy. Kontrolu svislosti můžeme provést zavěšením olovnice.
2. Na poslední (10.) háček ramene zavěsíme opatrně ponorné tělísko (nachází se v krabičce ve víku skříňky) a pomocí otočného šroubu na konci ramene uvedeme váhy do rovnovážného stavu.
3. Ponorné tělísko ponoříme celé do zkoumané kapaliny tak, aby se nedotýkalo stěn ani dna kádinky.
4. Zavěšováním závaží různých hmotností na háčky vahadla obnovíme rovnováhu\*\*.
5. Z pořadí obsazených háčků a hmotností na nich zavěšených závaží (viz příklad v teoretické části) určíme hustotu  $\rho$  zkoumané kapaliny.
6. Provedeme kontrolu vah kontrolním měřením hustoty destilované vody a v případě potřeby provedeme opravu naměřené hustoty zkoumané kapaliny.
7. Porovnáme výsledky naměřené oběma metodami mezi sebou a též s hodnotou uváděnou výrobcem lihu.

### Chyba měření

Měření provádíme co nejpečlivěji, chybu měření nestanovujeme.

### Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.1.5 Měření hustoty kapalin Mohrovými – Westphalovými vahami, s. 43-44.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.4.2 Měření hustoty kapalin, s. 101-102.

---

\*\* Při používání Mohrových – Westphalových vážek dáváme pozor na nejlehčí závažíčko ve formě tenkého drátku.