

Měření hustoty pevných látek

Úkol č. 1: Změřte hustotu ocelového hřebíku a křemenného oblázku hydrostatickou metodou.

Pomůcky

Kovový hřebík, křemenný oblázek, laboratorní váhy, sada závaží, nit, dřevěný můstek, kádinka, destilovaná voda, drátek, teploměr s rozsahem 0 - 100°C.

Teorie

Měření hustoty látek hydrostatickou metodou používáme, má-li zkoumané těleso nepravidelný tvar a jeho objem tudíž nelze určit výpočtem. Metoda je založena na platnosti Archimédova zákona a spočívá ve dvojím vážení zkoumaného tělesa. Nejprve těleso zvážíme na vzduchu (kde vztlakovou sílu zanedbáme) a poté ve vodě či jiné kapalině známé hustoty. Má-li zkoumané těleso o objemu V na vzduchu hmotnost m , je jeho hustota

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

Měření objemu V nahradíme druhým vážením. Na těleso úplně ponořené do kapaliny o známé hustotě ρ_k působí podle Archimédova zákona vztlaková síla F_{vz} , jejíž velikost je

$$F_{vz} = V \rho_k g, \quad (2)$$

kde g je tíhové zrychlení. Je-li při vážení v kapalině těleso vyváženo závažím o hmotnosti m' , znamená to, že velikost výslednice tíhové F_G a vztlakové síly působící na zkoumané těleso je rovna $m'g$

$$F_G - F_{vz} = m'g. \quad (3)$$

Po dosazení za tíhovou i vztlakovou sílu dostáváme $mg - V \rho_k g = m'g$, a odtud pro objem tělesa

$$V = \frac{m - m'}{\rho_k}. \quad (4)$$

Spojením vztahů (1) a (4) obdržíme výsledný vztah pro měření hustoty látek hydrostatickou metodou

$$\rho = \frac{m}{m - m'} \rho_k. \quad (5)$$

Postup měření

1. Nit, na kterou budeme zavěšovat zkoumané těleso (hřebík, oblázek), vyvážíme zavěšením stejné niti nad druhou miskou.
2. Zkoumané těleso zvážíme metodou tří kyvů na vzduchu (hmotnost m).
3. Těleso zavěšíme na nit, miskou vah přemostíme můstkem, na který umístíme kádinku s destilovanou vodou tak, aby celé těleso bylo ponořeno a nedotýkalo se stěn ani dna kádinky.
4. Případné vzduchové bublinky na povrchu ponořeného tělesa odstraníme drátkem.
5. Metodou tří kyvů zjistíme hmotnost m' tělesa ve vodě.
6. Změříme teplotu destilované vody a z tabulek určíme její hustotu ρ_k .
7. Naměřené hodnoty dosadíme do vztahu (5).

Chyba měření

Chybu měření vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (5) je zřejmé, že pokud ρ_k jakožto tabelovanou hodnotu budeme považovat za konstantu, nepřímo měřená hustota je funkcí dvou přímo měřených veličin $\rho = \rho(m, m')$. Z teorie chyb potom vyplývá pro výpočet střední chyby hustoty výraz

$$\bar{\Delta\rho} = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial m}\right)^2 |\bar{\Delta m}|^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m'}\right)^2 |\bar{\Delta m'}|^2}. \quad (6)$$

Po dosazení parciálních derivací

$$\frac{\partial\rho}{\partial m} = \frac{-m'}{(m-m')^2} \rho_k \quad \text{a} \quad \frac{\partial\rho}{\partial m'} = \frac{m}{(m-m')^2} \rho_k$$

do (6) postupnými úpravami dostaneme

$$\bar{\Delta\rho} = \frac{\rho_k}{(m-m')^2} \sqrt{(m' |\bar{\Delta m}|)^2 + (m |\bar{\Delta m'}|)^2}. \quad (7)$$

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

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.1.2 Měření hustoty pevných látek hydrostatickou metodou, s. 43-44.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.4.1 Měření hustoty látek pevných, s. 99-100.

Úkol č. 2: Změřte hustotu skleněných perliček pomocí pyknometru.

Pomůcky

Skleněné perličky, laboratorní váhy, sada závaží, pyknometr, destilovaná voda, filtrační papír, nálevka, teploměr s rozsahem 0 - 100°C, cedník.

Teorie

Měření hustoty pevných látek pyknometrem používáme k měření hustoty malých tělísek. Určitý počet tělísek zvážíme (získaný údaj označme m) a poté pyknometrem změříme jejich celkový objem V . Hustotu tělísek pak určíme podle vztahu (1).

Při měření objemu V postupujeme následujícím způsobem. Nejprve zvážíme pyknometr naplněný destilovanou vodou (tuto hodnotu označme m'), pak do pyknometru nasypeme již zvážena tělíška (část vody z pyknometru vyteče – objem vyteklé vody je roven hledanému objemu tělísek V) a zvážíme pyknometr s tělísky a zbytkem vody (tuto hmotnost označme m''). Pro hmotnost vyteklé vody m''' platí

$$m'' = m' + m - m''', \quad (8)$$

odkud vyjádříme

$$m''' = m + m' - m''. \quad (9)$$

Známe-li hmotnost vyteklé vody a její hustotu ρ_0 při dané teplotě, určíme snadno z definičního vztahu hustoty také její objem V , který odpovídá objemu ponořených tělísek

$$V = \frac{m'''}{\rho_0}. \quad (10)$$

Spojením vztahů (1), (7) a (8) obdržíme konečný výpočetní vztah pro měření hustoty pevných látek pyknometrem

$$\rho = \frac{m}{m + m' - m''} \rho_0. \quad (11)$$

Postup měření

1. Metodou tří kyvů zvážíme větší počet skleněných perliček (hmotnost m).
2. Pyknometr nejprve vypláchneme a poté naplníme destilovanou vodou asi do poloviny výšky zabroušeného hrdla.
3. Opatrně zasuneme zátku a z kapiláry tak vyteče přebytečná část vody (hladina vody v zavřeném pyknometru musí být vždy v úrovni horního ústí kapiláry).
4. Pyknometr opatrně osušíme filtračním papírem (aniž bychom přitom vysáli vodu z kapiláry) a zvážíme metodou tří kyvů (hmotnost m'). Při manipulaci s pyknometrem jej vždy držíme za hrdlo, abychom ho nezahřívali tělesným teplem.

5. Do pyknometru s destilovanou vodou vsypeme skleněné perličky. Pokud použijeme k tomuto účelu nálevku, i tak vsypáváme perličky postupně, aby nedošlo k zacpání jejího stonku.
6. Pyknometr s vodou a skleněnkami osušíme filtračním papírem a zvážíme metodou tří kyvů (m'').
7. Hustotu destilované vody ρ_0 určíme podle její teploty z tabulek.
8. Naměřené hodnoty dosadíme do vztahu (11).

Chyba měření

Chybu měření i v tomto případě vyhodnotíme jako chybu nepřímého měření. Ze vztahu (9) vyplývá, že nepřímo měřená hustota je funkcí tří přímo měřených veličin $\rho = \rho(m, m', m'')$, ρ_0 lze považovat s velkou dávkou přesnosti za konstantu. Vztah pro výpočet střední chyby hustoty nabývá tvaru

$$\bar{\Delta}\rho = \sqrt{\left(\frac{\partial\rho}{\partial m}\right)^2 |\bar{\Delta}m|^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m'}\right)^2 |\bar{\Delta}m'|^2 + \left(\frac{\partial\rho}{\partial m''}\right)^2 |\bar{\Delta}m''|^2}, \quad (12)$$

který můžeme po dosazení parciálních derivací

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

upravit na

$$\bar{\Delta}\rho = \frac{\rho_0}{(m + m' - m'')^2} \sqrt{\left((m' - m'')^2 |\bar{\Delta}m|^2 + m^2 \left(|\bar{\Delta}m'|^2 + |\bar{\Delta}m''|^2\right)\right)}. \quad (13)$$

Výpočet středních chyb vážení $\bar{\Delta}m$, $\bar{\Delta}m'$ a $\bar{\Delta}m''$ provedeme podle vztahu pro metodu tří kyvů.

Doporučená literatura

SKLENÁK, L. *Základní praktikum z fyziky I*. 1. vyd. Ostrava: PdF v Ostravě, 1988. 4.1.3 Měření hustoty pevných látek pyknometrem, s. 44-45.

BROŽ, J. A KOL. *Základy fyzikálních měření I*. 1. vyd. Praha: SPN, 1983. 2.1.4.1 Měření hustoty látek pevných, s. 100-101.

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