

Práca 3 HUSTOTA

Úloha 3.1 Stanovenie hustoty tuhých látok pyknometricky

3.2 Stanovenie hustoty kvapalných látok pyknometricky

HUSTOTA (označenie - ρ) homogénnej látky je veličina definovaná ako podiel hmotnosti látky (m) a objemu (V), ktorý látka zaberá.

$$\rho = \frac{m}{V} \quad [\text{kg m}^{-3}] \quad (1)$$

Hustota sa číselne rovná hmotnosti objemovej jednotky látky.

Základnou jednotkou hustoty v SI je kg m^{-3} .

Slovenské normy umožňujú používať tiež ďalšie jednotky, napr. g cm^{-3} . Prevody medzi jednotkami hustoty sú zhrnuté v tabuľke 3.1.

Tabuľka 3.1 Prevodové vzťahy medzi jednotkami hustoty

jednotka	prevody
1 kg m^{-3}	$= 0,001 \equiv 1 \cdot 10^{-3} \text{ kg dm}^{-3}$ $= 0,000\,001 \equiv 1 \cdot 10^{-6} \text{ kg cm}^{-3}$
1 kg m^{-3}	$= 1 \text{ g dm}^{-3}$ $= 0,001 \text{ g cm}^{-3}$
1 g cm^{-3}	$= 1\,000 \equiv 1 \cdot 10^3 \text{ g dm}^{-3} = 1 \text{ kg dm}^{-3}$ $= 1\,000\,000 \equiv 1 \cdot 10^6 \text{ g m}^{-3} = 1\,000 \text{ kg m}^{-3}$

Hustota je významnou fyzikálnou veličinou používanou pre charakteristiku látok. Hustota je tiež kritériom čistoty chemického individua. Často sa využíva na stanovenie koncentrácie roztokov.

Pri príprave roztokov však dochádza často k zmenám objemu, preto hustotu nemožno určiť výpočtom z hustoty čistých zložiek, ale ju treba najprv odmerať.

Závislosť hustoty od teploty

Hustota látok závisí od teploty a tlaku. Pri väčšine tuhých a kvapalných látok uvažujeme len vplyv teploty, pretože vplyv tlaku vzhľadom na ich malú stlačiteľnosť je zanedbateľný.

- Objem väčšiny látok zvyšovaním teploty plynule rastie a hustota je podľa vzťahu (1) nepriamo úmerná objemu. Hustota látok preto zvyšovaním teploty klesá.
- Výnimkou je voda, v teplotnom intervale 0-4 °C. Objem vody zvyšovaním teploty v tomto intervale mierne klesá, a preto hustota vody rastie. Pri zvyšovaní teploty nad 4 °C už hustota vody klesá (pozri tabuľku priloženú pri práci v laboratóriu).

Pri údajoch o hustotách kvapalín v tabuľkách, musí byť udaná i teplota, pri ktorej bola hustota stanovená (najčastejšie sú to teploty 20 alebo 25 °C).

Stanovenie hustoty

Hustotu kvapalín môžeme určiť rôznymi experimentálnymi metódami.

V rámci laboratórnych cvičení z Farmaceutickej fyziky budeme merať hustoty:
pyknometricky

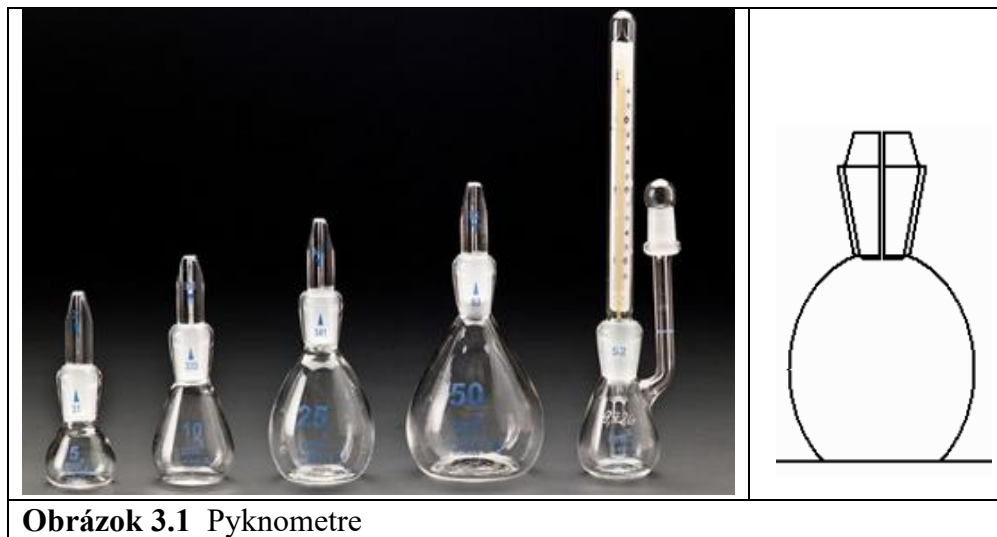
hustomerom

Mohrovými-Westphalovými vázkami

Európsky liekopis 11.2 popisuje aj modernú metódu merania hustoty kvapalín pomocou denzitometra s kmitajúcou trubicou v tvare U. Tento prístroj meria frekvenciu vynútených kmitov trubice, ktoré závisia od hustoty kvapaliny naplnenej v meracej trubici.

Úloha 3.1 Stanovenie hustoty tuhých látok pyknometricky

Na pyknometrické merania sa používa pyknometer (obrázok 3.1).



Pyknometer - je malá sklenená nádobka opatrená zátkou so zábrusom. Stredom zátky prechádza kapilára. Ak je pyknometer naplnený úplne po horný okraj kapiláry, obsahuje pri danej teplote vždy rovnaký objem kvapaliny.

Pyknometrické stanovenie je veľmi presné stanovenie hustoty, lebo hmotnosti rovnakých objemov látok porovnávame vážením na analytických váhach.

Stanovenie hustoty tuhých látok - (ρ_S) pyknometricky je založené na porovnaní hmotnosti určitého objemu tuhej látky s hmotnosťou rovnakého objemu kvapaliny so známou hustotou. Najčastejšie sa používa destilovaná voda, lebo jej hustota je tabelovaná v širokom rozsahu teplôt a tlakov.

Pyknometricky je možné stanoviť hustotu **neporéznych** tuhých látok, ktoré sa **nerozpúšťajú** v porovnávacej kvapaline.

Na stanovenie hustoty tuhej látky potrebujeme poznať jej hmotnosť a objem. Kým hmotnosť dokážeme presne stanoviť jednoduchým vážením, zistiť objem tuhej látky môže byť problémom, hlavne keď má nepravidelný tvar, alebo je zložená z viacerých malých kúskov. Na obrázku 3.2 je schéma stanovenia objemu vody vytlačenej tuhou látkou, ktorý sa rovná objemu samotnej tuhej látky.

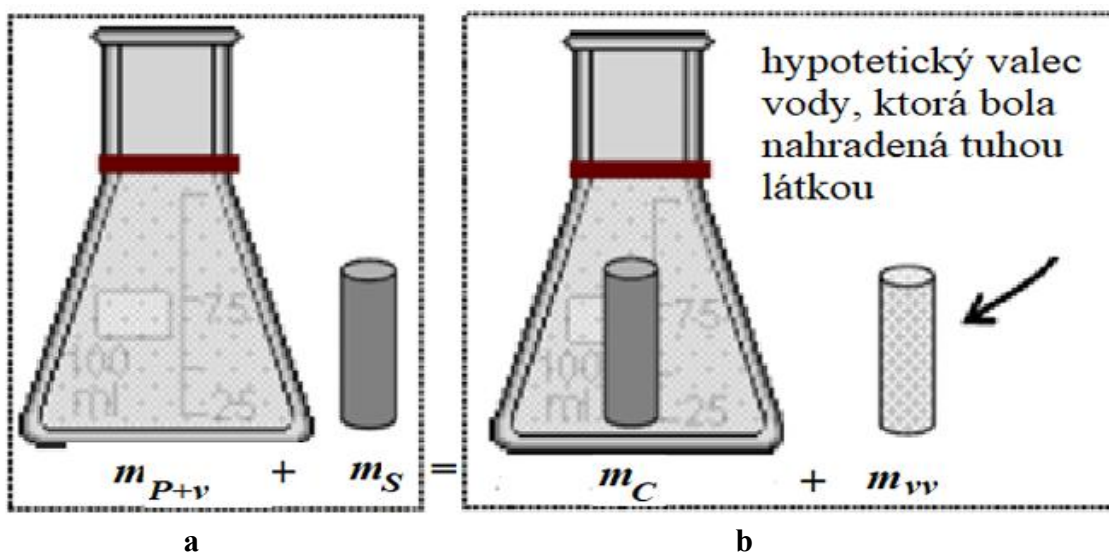
Súčet hmotností všetkých objektov na ľavej strane obrázku (3.2 časť a) sa rovná súčtu hmotností všetkých objektov na pravej strane obrázku (časť b), čo popisuje vzťah (2):

$$m_{p+v} + m_S = m_C + m_{vv} \quad [g] \quad (2)$$

m_{p+v} je hmotnosť pyknometra s vodou [g]

m_S je hmotnosť tuhej látky (S = solidus) [g]

m_C je hmotnosť pyknometra s tuhú látkou a vodou [g]
 m_{vv} je hmotnosť destilovanej vody vytlačenej tuhú látkou [g]



Obrázok 3.2 a Vľavo, pyknometer naplnený vodou a vedľa tuhú látku
b Vpravo, pyknometer naplnený vodou a tuhú látkou a vedľa voda vytlačená tuhú látkou

Hmotnosť tuhej látky (m_S) vypočítame z rozdielu hmotnosti pyknometra s tuhú látkou (m_T) a hmotnosti prázdneho pyknometra (m_P) podľa vzťahu (3):

$$m_S = m_T - m_P \quad [g] \quad (3)$$

Pre objemy tuhej látky (V_S) a vytlačenej vody (V_{vv}) platí:

$$V_S = \frac{m_S}{\rho_S} \quad \text{a} \quad V_{vv} = \frac{m_{vv}}{\rho_v} \quad (4)$$

m_S je hmotnosť tuhej látky ($S = \text{solidus}$) [g]
 m_{vv} je hmotnosť destilovanej vody vytlačenej tuhú látkou [g]
 ρ_S je hustota tuhej (neznámej látky) [g cm⁻³ alebo kg m⁻³]
 ρ_v je hustota vody [g cm⁻³ alebo kg m⁻³]

Z obrázku 3.2 je zrejmé, že:

$$V_S = V_{vv} \quad (5)$$

Po dosadení objemov tuhej látky a vytlačenej vody zo vzťahu (4) do (5), môžeme výslednú hustotu tuhej látky (ρ_S) vypočítať podľa upraveného vzťahu:

$$\rho_S = \frac{m_S}{m_{vv}} \rho_v \quad [kg m^{-3}] \quad (6)$$

Cieľ práce

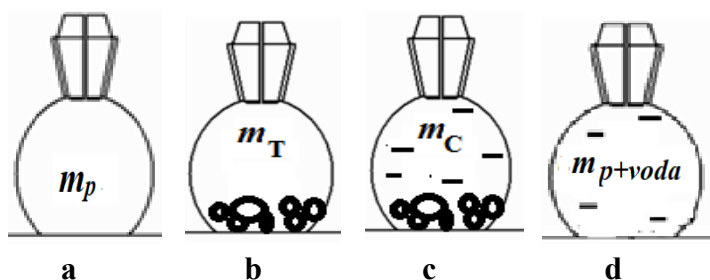
- Pyknometricky stanoviť hustotu dvoch tuhých látok vo forme drobných teliesok.
- Pomocou tabuliek určiť druh materiálu, z ktorého sú telieska vyrobené.

Pomôcky

pyknometer, analytické váhy, destilovaná voda, tuhú látky - drobné telieska, laboratórny teplomer, filtračný papier,

Postup

1. Skontrolujte pyknometer (má byť suchý, čistý). Ak nie je, vymyte ho destilovanou vodou, alkoholom a vysušte vodnou vývevou.
2. Suchý a čistý pyknometer spolu so zátkou, odvážte na analytických váhach - obrázok 3.3a.
Hmotnosť prázdneho pyknometra (m_p) budete používať v oboch častiach práce, preto ju zapíšete do tabuliek 3.2 aj 3.4.



Obrázok 3.3 Označenie hmotnosti pri stanovení hustoty tuhých látok

3. Do pyknometra nasypete prvú tuhú látku (drobné telieska aspoň do polovice jeho objemu). Pyknometer zazátkujete a odvážte - obrázok 3.3b. Hmotnosť m_{T1} (index 1 - označuje prvú tuhú látku T - telieska) zapíšete do tabuľky 3.2.
4. Po odvážení prvej tuhej látky všetky telieska z pyknometra vysypete do Petriho misky. Do pyknometra nasypete druhú tuhú látku asi do polovice. Pyknometer so zátkou odvážte a hmotnosť (m_{T2}) zapíšete do tabuľky 3.2.
5. Do pyknometra s telieskami nalejte destilovanú vodu až po okraj a pyknometer, zazátkujete. Nadbytočná voda vytečie cez kapiláru v zátku. Pyknometer opatrne poutierajte filtračným papierom. Skontrolujte, či je kapilára naplnená až po okraj a ak je, celú sústavu odvážte - obrázok 3.3c. Hmotnosť (m_{C2}) zapíšete do tabuľky 3.2.
6. Po odvážení destilovanej vody z pyknometra vylejte, drobné telieska látky 2 vysypete na filtračný papier, vysušte ich a odložte k ostatným.
7. Do pyknometra nasypete telieska prvej tuhej látky, pyknometer doplníte destilovanou vodou a rovnakým postupom zistíte hmotnosť (m_{C1}) zapíšete do tabuľky 3.2.
8. Pyknometer naplníte iba destilovanou vodou a po zazátkovaní, osušení a kontrole správneho naplnenia pyknometer s vodou odvážte - obrázok 3.3d. Hmotnosť pyknometra s vodou (m_{p+v}) zapíšete do oboch tabuliek 3.2 aj 3.4.
9. Odmerajte teplotu vody laborátnym teplomerom. V tabuľke s hustotou destilovanej vody pri odmeranej teplote nájdete v zásuvke pri úlohe. Obe hodnoty (teplotu vody aj hustotu) zapíšete do tabuliek 3.2 a 3.4

Spracovanie výsledkov

1. Zo vzťahu (3) vypočítajte hmotnosť tuhej látky (m_s).
2. Zo vzťahu (2) vypočítajte hmotnosť vody vytlačenej tuhú látkou (m_{vv}).
3. Dosadením m_{vv} a m_s do vzťahu (6) vypočítajte hustotu tuhej látky (ρ_s).

4. Vypočítané hustoty tuhých látok (ρ_s) zapíšte do tabuľky 3.2.

Tabuľka 3.2 Namerané a vypočítané hodnoty pre stanovenie hustoty tuhých látok pyknometricky

t°C	$m_P =$[g]	$m_{P+v} =$[g]	$\rho_v =$[kg m ⁻³]						
tuhá látka		m_T [g]	m_C [g]	m_{vv} [g]	m_S [g]	ρ_s [g cm ⁻³]	ρ_s [kg m ⁻³]	ρ_s tab. [kg m ⁻³]	materiál
1									
2									

5. Z tabuľky 3.3, obsahujúcej zoznam tuhých látok s ich hustotami, vyberte podľa experimentálne stanovených hustôt, o aké tuhé látky sa jedná.

Hustoty vybraných látok (ρ_s tab.) aj s ich názvami zapíšte do tabuľky 3.2 aj do záveru protokolu.

Tabuľka 3.3 Hustoty niektorých tuhých látok

$t = 20$ °C

materiál tuhej látky	hustota tuhej látky ρ_s [kg m ⁻³]	materiál tuhej látky	hustota tuhej látky ρ_s [kg m ⁻³]
guma	960 - 1 300	polyetylén	970 - 990
hliník	2 600 - 2 800	riečne perly	2 200 - 2 400
keramika	2 000 - 3 000	sklo tabuľové	2 400 - 2 700
meď	8 400 - 8 960	spájka	7 200 - 8 200
mosadz	8 100 - 8 750	striebro	10 500
olovo	11 340	zinok	6 800 - 7 140

Úloha 3.2 Stanovenie hustoty kvapalín pyknometricky

Pyknometrické stanovenie hustoty kvapalín je založené na určení hmotnosti známeho objemu kvapaliny. Princíp spočíva v porovnaní hmotnosti vzorky (m_k) s hmotnosťou referenčnej kvapaliny (najčastejšie destilovanej vody - m_v) v tej istej nádobe - pyknometri.

Zo vzťahu (1) pre objem skúmanej kvapaliny (V_k), ktorá presne naplňa pyknometer a pre objem vody (V_v), ktorá presne naplňa ten istý pyknometer, platí:

$$V_k = \frac{m_k}{\rho_k} \quad V_v = \frac{m_v}{\rho_v} \quad (7)$$

ρ_k je hustota skúmanej (neznámej) kvapaliny [kg m⁻³]

ρ_v je hustota destilovanej vody [kg m⁻³]

V_v je objem vody [cm³, dm³, m³]

V_k je objem kvapaliny [cm³, dm³, m³]

Ak pri práci s vodou aj so skúmanou kvapalinou bol pyknometer dokonale naplnený (neobsahoval vzduchové bubliny, aj kapilára v zátke bola úplne naplnená), objemy vody (V_v) a neznámej kvapaliny (V_k) sa rovnajú:

$$V_v = V_k \quad (8)$$

Po dosadení objemov skúmanej kvapaliny a vody zo vzťahu (7) do (8), môžeme výslednú hustotu kvapaliny (ρ_k) vypočítať:

$$\rho_k = \frac{m_k}{m_v} \rho_v \quad [\text{kg m}^{-3}] \quad (9)$$

Vo vzťahu (9) hmotnosť neznámej kvapaliny (m_k) určíme vážením tak, že odvážime pyknometer presne naplnený skúmanou kvapalinou (m_{P+k}). Podobne hmotnosť (m_v) určíme odvážením pyknometra presne naplneného vodou (m_{P+v}).

Výsledný vzťah pre výpočet hustoty skúmanej kvapaliny (ρ_k) má tvar:

$$\rho_k = \frac{m_{P+k} - m_P}{m_{P+v} - m_P} \rho_v \quad [\text{kg m}^{-3}] \quad (10)$$

Cieľ práce

- Stanoviť hustoty pripravených vodných roztokov alkoholov pyknometrom.
- Nakresliť závislosť hustoty meraných roztokov od objemových percent alkoholu

$$\rho_K = f(\Phi_k).$$

- Vyhodnotiť trend nakreslenej závislosti (priamka, krivka....)

Pomôcky

pyknometer, analytické váhy, pipety, destilovaná voda, skúmané kvapaliny (vodno-alkoholové), filtračný papier, laboratórny teplomer

Postup

1. Hmotnosť prázdneho pyknometra so zátkou (m_P) ste zistili pri meraní hustoty tuhých látok v časti 3.1, preto ju prepíšte do tabuľky 3.4.

2. Rovnako hmotnosť pyknometra s destilovanou vodou (m_{P+v}) odpíšte z tabuľky 3.2.

3. Pyknometer opláchnite roztokom skúmanej kvapaliny číslo 1 a rovnako ako v prípade destilovanej vody pripravte pyknometer so vzorkou na meranie. Odvážte tento roztok a hmotnosť (m_{P+k1}) zapíšte do tabuľky 3.4.

4. Rovnako odvážte i ostatné roztoky (m_{P+k2} , m_{P+k3} a m_{P+k4}). Hmotnosti zapíšte do tabuľky 3.4.

5. Po skončení vážení pyknometer opláchnite vodou, destilovanou vodou a odložte.

Tabuľka 3.4 Namerané a vypočítané hodnoty na stanovenie hustoty kvapalín pyknometricky

t °C $m_P =$ [g] $m_{P+v} =$ [g] $\rho_v =$ [kg m⁻³]

roztok	Φ_{ki} [%]	m_{P+ki} [g]	m_{ki} [g]	m_v [g]	ρ_{ki} [g cm ⁻³]	ρ_{ki} [kg m ⁻³]
1						
2						
3						
4						

Spracovanie výsledkov

Do tabuľky 3.4:

1. Zapište hustotu destilovanej vody pri zmeranej teplote z tabuľky priloženej pri práci.
2. Zo zásobných fliaš s roztokmi odpíšte objemové percenta roztokov (Φ_{ki}).
3. Vypočítajte hustotu neznámych kvapalín (ρ_{ki}) podľa vzťahu (10).
4. Nakreslite na počítači závislosť hustoty meraných roztokov (ρ_{ki}) od ich objemových percent (Φ_{ki}) $\rightarrow [\rho_{ki} = f(\Phi_{ki})]$ a zhodnot'te typ závislosti (lineárna, nelineárna).