

## Viskozita glycerolu

Při pohybu tělesa tvaru koule v kapalině na něj kromě tíhové a vztlakové síly působí také síla odporová. Pro laminární proudění kapaliny je její velikost daná Stokesovým zákonem

$$F_{odp} = 6\pi\eta rv,$$

kde  $\eta$  je dynamická viskozita prostředí,  $r$  je poloměr tělesa a  $v$  je rychlost tělesa. Velikost této odporové síly je přímo úměrná rychlosti pohybu tělesa. Necháme-li těleso v kapalině volně padat, jeho rychlost se po nějaké době ustálí na terminální (konečné) rychlosti  $v_\infty$ . Vaším úkolem v této části bude tuto rychlost  $v_\infty$  změřit pro kovové kuličky o různých poloměrech a materiálech, které budete nechávat padat v glycerolu. Uvažujte, že glycerol padající kuličku obtéká laminárně, můžete tedy využít Stokesův vztah.

Vyznačte si na sklenici lihovým fixem úroveň (cca 1-2 cm pod hladinou), od které budete měřit čas pádu kuličky. Stejně tak si vyznačte i dolní hranici. Změřte délku měřeného úseku. Na pracovním místě máte 7 vzorků. Hliníkovou kuličku o poloměru  $r_1 = 3$  mm, ocelovou kuličku o poloměru  $r_2 = 2$  mm a 5 různých olověných kuliček o poloměrech  $r_3 =$  mm,  $r_4 =$  mm,  $r_5 =$  mm,  $r_6 =$  mm a  $r_7 =$  mm. Hustota hliníku je  $\rho_{Al} = 2700 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ , hustota oceli  $\rho_{ocel} = 7850 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a olova  $\rho_{Pb} = 11300 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1. Terminální rychlost  $v_\infty$  tělesa volně padajícího v kapalině lze vyjádřit jako

$$v_\infty = Cr^2(\rho_t - \rho_k)$$

kde  $r$  je poloměr tělesa,  $\rho_t$  je hustota tělesa,  $\rho_k$  hustota kapaliny a  $C$  je konstanta. Vyjádřete tuto konstantu použitím Stokesova vzorce a dalších potřebných vztahů.

2. Změřte délky pádů pro každý ze vzorků. Každé měření proveďte pětkrát. Naměřená data zapište do tabulky společně s průměrnými hodnotami a odchylkami. Vzorec pro výpočet výběrové směrodatné odchylky souboru dat  $x_1, \dots, x_N$  s aritmetickým průměrem  $\bar{x}$  je

$$s = \sqrt{\frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}$$

3. Pro každý materiál zakreslete do grafu hodnoty závislosti podílu  $\frac{v}{r^2}$  na hustotě i s chybovými úsečkami (použijte pouze jednu vhodně zvolenou hodnotu pro olovo). Zakreslená data vhodně proložte.
4. Pro olověné kuličky zakreslete do grafu závislost terminálních rychlostí  $v$  na druhé mocnině jejich poloměru. Zakreslená data vhodně proložte.
5. Na základě naměřených dat spočítejte viskozitu glycerolu. Nezapomeňte rovněž počítat i s odchylkami.