

## 1.8.7 Archimédův zákon III

**Předpoklady:** 1806

**Pomůcky:** odměrný válec, kus ledu, teplá voda.

Atmosférický tlak je obdobou hydrostatického tlaku v kapalinách  $\Rightarrow$  i v atmosféře musí na všechny předměty působit vztlaková síla a velikosti  $F_{vz} = V_p \rho g$ .

**Př. 1:** Vysvětli, proč vztlakovou sílu vzduchu v běžném životě příliš nepociťujeme.

Hustota vzduchu je řádově tisíckrát menší než hustota vody  $\Rightarrow$  vztlaková síla vzduchu je řádově tisíckrát menší než vztlaková síla vody  $\Rightarrow$  většinou si neuvědomujeme její existenci.

**Pedagogická poznámka:** Vysvětlení typu "už jsme na to zvyklí" bych nebral jako dostačující.

**Př. 2:** Urči, jakou vztlakovou silou na tebe působí vzduch. Hustota vzduchu je přibližně  $1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .

$$m = 75 \text{ kg}, \rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, F_{vz} = ?$$

Hustota lidského těla je přibližně stejná jako hustota vody  $\Rightarrow$  hmotnost v kilogramech se rovná přibližnému objemu v litrech  $\Rightarrow V = 75 \text{ l} = 0,075 \text{ m}^3$ .

$$F_{vz} = V \rho g = 0,075 \cdot 1,3 \cdot 10 \text{ N} = 0,98 \text{ N}$$

Vzduch působí na člověka o hmotnosti 75 kg vztlakovou silou přibližně 1 N.

**Př. 3:** Urči objem balónu, který by unesl člověka o hmotnosti 75 kg, náklad 50 kg a vlastní balón s košem o hmotnosti 100 kg. Balón je plněn horkým vzduchem o hustotě  $0,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Urči průměr balónu za předpokladu, že bude mít přibližně kulový tvar.

$$m = 75 + 50 + 100 \text{ kg} = 225 \text{ kg}, \rho = 1,3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \rho_b = 0,9 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, V = ?$$

Gravitační síla na balón s nákladem a náplň = vztlaková síla:  $F_g + F_{gb} = F_{vz}$ .

$$mg + V \rho_b g = V \rho g$$

$$m + V \rho_b = V \rho$$

$$m = V \rho - V \rho_b = V (\rho - \rho_b)$$

$$V = \frac{m}{(\rho - \rho_b)} = \frac{225}{1,3 - 0,9} \text{ m}^3 = 560 \text{ m}^3$$

$$V = \frac{4}{3} \pi r^3$$

$$r = \sqrt[3]{\frac{3V}{4\pi}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot 560}{4\pi}} \text{ m} = 5,1 \text{ m} \Rightarrow d = 10,2 \text{ m}$$

Balón musí mít objem  $560 \text{ m}^3$  a průměr  $10,2 \text{ m}$ .

**Pedagogická poznámka:** Někteří žáci samozřejmě zapomenou započítat hmotnost náplně balónu a hustotu teplého vzduchu započítají místo hustoty vzduchu normálního.

**Př. 4:** Jaké plyny můžeme využít k létání stroji lehčími než vzduch? Uveď jejich výhody a nevýhody.

Pokud chceme využít vztlakovou sílu vzduchu k létání, potřebujeme plyn s menší hustotou než vzduch:

- horký vzduch (montgolfiéra): nutnost neustálého ohřívání,
- vodík: nebezpečné kvůli hořlavosti, výhodné kvůli malé hustotě a ceně,
- hélium: bezpečné, ale drahé (jde o vzácný plyn).

**Př. 5:** Jaké jsou výhody a nevýhody vzducholodí?

Výhody: jednoduchá konstrukce, možnost stát na místě, levný provoz.

Nevýhody: obrovská velikost, pomalost, neovladatelnost za špatných podmínek.

1937: požár tehdejší největší vzducholodi Hindenburg  $\Rightarrow$  konec vzducholodí jako dopravního prostředku.

<http://www.youtube.com/watch?v=JSuR2IgnimA> (čas 1:55)

**Př. 6:** Je na povrchu Země těžší 1 kg železa nebo 1 kg peří?

Pokud pod slovem těžší myslíme sílu, kterou je nutné předmět zvedat nebo držet nad zemí, je těžší 1 kg železa. Hmotnost je v obou případech stejná, ale peří má menší hustotu  $\Rightarrow$  větší objem  $\Rightarrow$  působí na něj větší vztlaková síla vzduchu.

**Pedagogická poznámka:** Oba následující pokusy je možné provést, pokud led hodíte do teplé (vlažné) vody (roztaje se pak dostatečně rychle na to, aby pokus nezabral celou hodinu).

**Př. 7:** V nádobě je nalita voda, na hladině pluje kus ledu. Jak se změní výška hladiny, když led roztaje?

Led plave  $\Rightarrow$  gravitační síla ( $F_g = m_l g$ ) je stejně velká jako vztlaková síla (rovná se tíze vytlačené kapaliny  $F_{vz} = m_v g$ )  $\Rightarrow$  hmotnost ledu je stejná jako hmotnost vytlačené vody.

Roztátím se hmotnost ledu nezmění  $\Rightarrow$  přesně vyplní místo v kapalině, které předtím zaujímal led  $\Rightarrow$  výška hladiny se nezmění.

**Př. 8:** V nádobě je nalita voda, na hladině pluje kus ledu. V ledu je zamrzlá ocelová matice. Jak se změní výška hladiny, když led roztaje?

Led postupně taje, pro každý odtátý kousek ledu platí závěr předchozího příkladu  $\Rightarrow$  dokud zůstává matice v ledu, hladina se nemění.

Samotná matice neplave  $\Rightarrow$  vztlaková síla působící na matici je menší než gravitační síla  $\Rightarrow$  matice táhne led ke dnu a způsobuje, že je více ponořený.

V určitém okamžiku se matice z ledu uvolní  $\Rightarrow$  matice klesne ke dnu a přestane stahovat led  $\Rightarrow$  led se vynoří  $\Rightarrow$  hladina klesne.

Během tání zbytku ledu se již hladina nemění.

Celkově hladina vody v nádobě klesne.

**Př. 9:** V nádobě je nalita voda, na hladině pluje kus ledu. V ledu je velká vzduchová bublina. Jak se změní výška hladiny, když led roztaje?

Led postupně taje, pro každý odtátý kousek ledu platí závěr předchozího příkladu  $\Rightarrow$  dokud zůstává bublina v ledu, hladina se nemění.

V určitém okamžiku se bublina spojí v okolním vzduchem  $\Rightarrow$  stejná situace jako by v ledu existovala prohlubeň  $\Rightarrow$  hladina se nezmění.

Během tání zbytku ledu se již hladina nemění.

Celkově se hladina vody v nádobě nezmění.

**Př. 10:** Je možné připravit takový kousek ledu, aby po jeho roztátí hladina stoupla?

Museli bychom zajistit, aby na led působila síla směrem nahoru  $\Rightarrow$  například přivázat na led balónek naplněný plynem lehčím než vzduch.

Stejného efektu bychom dosáhli, kdyby uvnitř ledu byla zamrznutá bublina plynu lehčího než vzduch. Ve chvíli, kdy by se tato bublina spojila s okolním vzduchem, by plyn unikl  $\Rightarrow$  síla působící nahoru by přestala působit  $\Rightarrow$  led by se více ponořil  $\Rightarrow$  hladina vody by stoupla.

Tání zbytku ledu by již úroveň hladiny nezměnilo.

**Shrnutí:** Archimédův zákon platí i pro předměty, které jsou ponořeny ve vzduchu.