

## 1.8.6 Archimédův zákon II

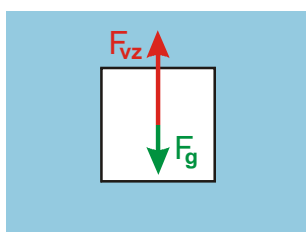
**Předpoklady:** 1805

**Pomůcky:** pingpongový míček, uříznutá PET láhev, plechovka (skleněná miska), akvářko, voda, hustoměr.

Co rozhoduje o tom, zda předmět bude plavat?

Výslednice dvou sil, které na těleso působí: gravitační síly Země a vztlakové síly vody.

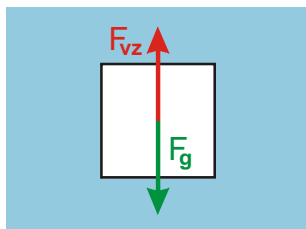
Tři možnosti (předpokládáme, že těleso je zcela ponořené).



Platí:  $F_{vz} > F_g$ .

$V\rho_k g > V\rho_t g \Rightarrow \rho_k > \rho_t$  - hustota kapaliny je větší než hustota tělesa.

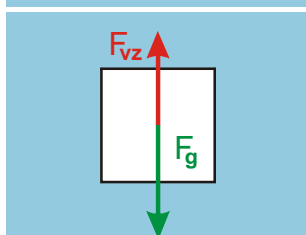
Výsledná síla působí směrem vzhůru  $\Rightarrow$  těleso vystoupá k hladině, částečně se vynoří  $\Rightarrow$  zmenší se ponořený objem  $\Rightarrow$  zmenší se vztlaková síla  $\Rightarrow$  nastolí se rovnováha  $\Rightarrow$  **těleso plave**.



Platí:  $F_{vz} = F_g$ .

$V\rho_k g = V\rho_t g \Rightarrow \rho_k = \rho_t$  - hustota kapaliny se rovná hustotě tělesa.

Na těleso působí nulová výsledná síla  $\Rightarrow$  těleso se nevynořuje ani neponořuje  $\Rightarrow$  **těleso se vznáší**.



Platí:  $F_{vz} < F_g$ .

$V\rho_k g < V\rho_t g \Rightarrow \rho_k < \rho_t$  - hustota kapaliny je menší než hustota tělesa.

Výsledná síla působí směrem dolů  $\Rightarrow$  těleso klesá ke dnu  $\Rightarrow$  **těleso neplave**.

**Př. 1:** Urči úvahou přibližný objem svého těla.

Lidské tělo se ve vodě přibližně vznáší  $\Rightarrow$  hustota lidského těla je přibližně stejná jako hustota vody  $1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3} = 1 \text{ kg} \cdot \text{l}^{-1} \Rightarrow$  při váze 75 kg musí mít lidské tělo přibližně objem 75 litrů.

**Pedagogická poznámka:** Následující dva příklady nejsou zrovna typické, ale velmi dobře vypovídají o tom, jakým způsobem žáci k problémům přistupují. V bodech 2b), 2c) a 3b) většina z nich opouští fyzikální zákony a formuluje své odpovědi, zcela bez zamyšlení dle pravidla, co plave je lehčí. V první fázi nikdy neříkám správnou odpověď, jen upozorňuji, které z odpovědí jsou špatné.

**Př. 2:** Do vody hodíme dvě koule. První koule plave, druhá klesne ke dnu. Které z následujících výroků můžeme na základě tohoto pokusu označit jako pravdivé, které jako nepravdivé a u kterých není možné o pravdivosti rozhodnout?

- a) První koule má větší hustotu než druhá.
- b) Na první kouli působí větší vztlaková síla než na druhou kouli.
- c) Na druhou kouli působí větší gravitační síla.

a) První koule má větší hustotu než druhá.

Nepravda.

První koule plave  $\Rightarrow$  má menší hustotu než voda.

Druhá koule klesá ke dnu  $\Rightarrow$  má větší hustotu než voda a tedy i než první koule.

b) Na první kouli působí větší vztlaková síla než na druhou kouli.

Není možné rozhodnout.

Vztlaková síla je určena hustotou kapaliny a ponořeným objemem. O velikostech koulí nemáme žádné informace (první koule může být obrovská dřevěná, druhá maličká železná).

c) Na druhou kouli působí větší gravitační síla.

Není možné rozhodnout.

Gravitační síla je sice určena hustotou koule, ale také jejím objemem. Obrovská dřevěná koule s malou hustotou je určitě přitahována větší gravitační silou než malá ocelová kulička.

**Př. 3:** Do vody hodíme dvě stejně velké koule. První koule plave, druhá klesne ke dnu. Které z následujících výroků můžeme na základě tohoto pokusu označit jako pravdivé, které jako nepravdivé a u kterých není možné o pravdivosti rozhodnout?

- a) První koule má menší hustotu než druhá.
- b) Na první kouli působí menší vztlaková síla než na druhou kouli.
- c) Druhá koule má větší ponořený objem.

a) První koule má menší hustotu než druhá.

Pravda.

První koule plave  $\Rightarrow$  má menší hustotu než voda.

Druhá koule klesá ke dnu  $\Rightarrow$  má větší hustotu než voda a tedy i než první koule.

b) Na první kouli působí menší vztlaková síla než na druhou kouli.

Pravda.

První koule plave  $\Rightarrow$  není ponořena celým objemem.

Druhá koule klesne ke dnu  $\Rightarrow$  je ponořena celým objemem.

Obě koule jsou stejně velké, vztlaková síla je určena ponořeným objemem, který je u druhé koule větší  $\Rightarrow$  na druhou kouli působí větší vztlaková síla.

c) Druhá koule má větší ponořený objem.

Pravda.

Vysvětleno v předchozím bodě.

**Pedagogická poznámka:** Objevují se žáci, kteří mají dobře bod c) a špatně bod b), u nich je největší pravděpodobnost, že svou chybu v bodě b) sami opraví.

**Př. 4:** Hustota ledu je přibližně  $920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ . Urči jaká část kry je pod hladinou a jaká část je nad hladinou.

$$\rho_l = 920 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \rho_v = 1000 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}, \frac{V_p}{V} = ?$$

Led plave:  $F_g = F_{vz}$ .

$$mg = V_p \rho_v g$$

$$V \rho_l = V_p \rho_v$$

$$\frac{V_p}{V} = \frac{\rho_l}{\rho_v} = \frac{920}{1000} = 0,92 \Rightarrow \text{pod vodou je ponořeno 92\% ledu (a rčení o desetíně objemu nad}$$

hladinou je tedy pravdivé)  $\Rightarrow$  pouze 8% objemu ledovce je nad hladinou.

**Pedagogická poznámka:** Studentům pomůže, když na tabuli napíšete, že chcete spočítat

$$\text{poměr } \frac{V_p}{V}.$$

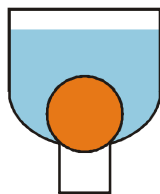
**Př. 5:** Vysvětli, jak je možné, že moderní lodě vyrobené z oceli (její hustota je skoro osmkrát větší než hustota vody) plavou.

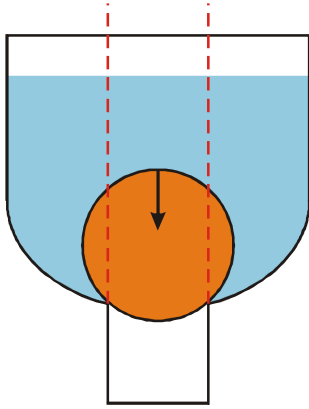
Nezáleží pouze na hustotě oceli. Velká část objemu lodi, který je pod vodou je vyplněna vzduchem. Do průměrné hustoty lodi by se tak musel připočítat i vzduch, který má hustotu naopak téměř osmsetkrát menší než voda. Když místo vzduchu zaplní voda, průměrná hustota lodi se zvýší a loď se potopí.

Snadno si můžeme ukázat na plechovce. Pokud je plechovka prázdná, na vodě plave. Když do plechovky nalijeme vodu, potopí se.

**Pedagogická poznámka:** Následující pokus je třeba ukázat, žáci nevěří, že míček opravdu plavat nebude. Čím je hladina vody v láhvi vyšší a průměr otvoru větší, tím je udržení míčku u dna jednodušší.

**Př. 6:** Odřízneme vrchní část PET láhve, k otevřenému otvoru přitlačíme pingpongový míček a napustíme vodu. Pingpongový míček zůstává dole a zacpává otvor, kterým pomalu prokapává voda. Jak je možné, že míček není nadlehčován vodou a zůstává na dně?





Míček není zcela ponořen (ze spodní strany není ve vodě)  $\Rightarrow$  neplatí pro něj Archimédův zákon.

Hydrostatický tlak na něj působí pouze ze shora (ne ze zdola jako u zcela ponořeného předmětu) a drží míček u otvoru.

Archimédův zákon platí pouze pro části míčku, které nejsou nad otvorem (označené červenou přerušovanou čarou).

**Př. 7:** Rozhodni, zda se míček z předchozího pokusu:

a) odlepí ode dna, když otvor láhve uzavřeme rukou,

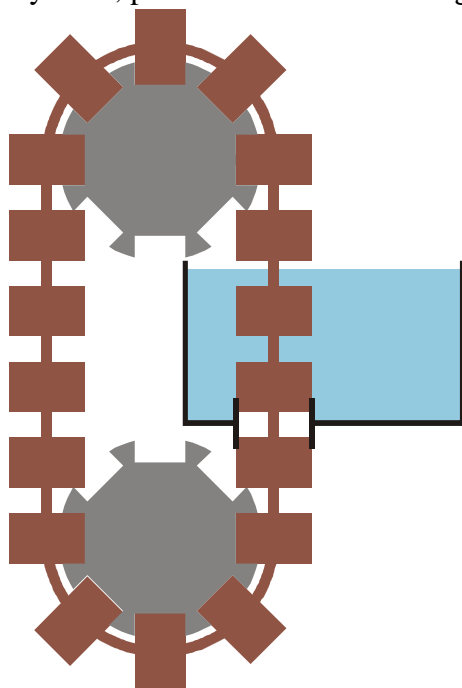
b) zůstane přilepený až do okamžiku, kdy vyteče veškerá voda, nebo zda se uvolní dřív?

a) Zavřeme otvor láhve rukou  $\Rightarrow$  začne se tam hromadit voda, zvětšuje se tlak  $\Rightarrow$  objeví se síla, která působí na míček směrem vzhůru  $\Rightarrow$  nejpozději ve chvíli, kdy se prostor pod míčkem zaplní vodou se míček odlepí a vyplave nahoru.

b) Na část míčku působí vztlačková síla, která nezávisí na hloubce, ve které se míček nachází. Hydrostatická síla, která drží míček u dna klesá s výškou hladiny.

$\Rightarrow$  V určitém okamžiku se obě síly vyrovnají a ihned po tom se míček odlepí ode dna a vyplave nahoru.

**Př. 8:** Na obrázku je náčrtek jednoho z pokusů o konstrukci perpetua mobile. Voda v nádrži nadlehčuje kusy korku, které neustále stoupají k hladině a tak roztáčejí kola. Vysvětli, proč zařízení nemůže fungovat naznačeným způsobem.



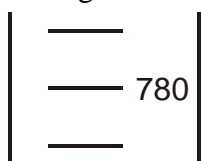
Situace podobná pokusu s pingpongovým míčkem. Kus korku, který má zajíždět do nádrže není ponořený a působí na něj pouze hydrostatický tlak směrem dolů. Tento tlak je větší (odpovídá celému sloupci vody nad horní stěnou kusu) než vztlaková síla, která působí na zcela ponořený kus výše  $\Rightarrow$  přístroj se roztočí na druhou stranu a to pouze do chvíle, než z nádrže vyteče všechna voda (energií, která stroj pohání je potenciální energie vody v nádrži).

**Pedagogická poznámka:** Při diskusi je třeba (stejně jako při rozborech jiných druhů perpetua mobile) odlišovat zmenšitelné (a tím odstranitelné) problémy (jako například tření) a nezmenšitelné principiální důvody, proč přístroj nemůže fungovat. Nejbystřejší samozřejmě ihned poznají, že jde o stejnou situaci jako u příkladu s pingpongovým míčkem.

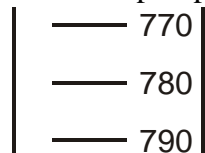
### Hustoměr

Zařízení pro měření hustoty kapalin, skleněná baňka s nízko posazeným těžištěm, ponoříme ji do kapaliny, hladina kapaliny ukáže hustotu (v různě hustých kapalinách se baňka ponoří různě hluboko).

**Př. 9:** Na obrázku je nakreslena stupnice hustoměru. Napiš k dílkům hodnoty  $790 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$  a  $770 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ .



Čím je hustota kapaliny menší, tím větší musí být ponořený objem, aby se nezměnila velikost vztlakové síly (a vyrovnala gravitační sílu působící na hustoměr)  $\Rightarrow$  v řidší kapalině se hustoměr potopí hlouběji.



**Pedagogická poznámka:** Při řešení příkladu ukazují hustoměr zdálky, po vyřešení ho pro ověření ukážu zblízka. Pokud hustoměr nemá konstantní průřez a je oceňován v obou částech následuje otázka, proč nejsou obě části stupnice stejně husté. Pokud žák nepřemýšlí, odpoví většinou špatně, protože většina stupnic má vyšší hodnoty výše.

Mísení kapalin (duha v brčku)

**Př. 10:** Objev Archimédova zákona je připisováno starověkému učenci Archimédovi. Jeho vladař, Syrakuzský tyran Hierón II si dal u místního zlatníka vyrobit královskou korunu z ryzího zlata. Zlatníkův výrobek se vládci velmi líbil, ale doneslo se mu, že zlatník jej podvedl a místo ryzího zlata (které mu vladař na korunu poskytl) vyrobil korunu z levnější slitiny zlata a stříbra. Zlatník svou vinu popíral a vladař nechtěl korunu roztavit, aby se zjistilo, zda jsou pomluvy oprávněné. Zadal tedy Archimédovi za úkol najít způsob, jak rozhodnout o pravosti koruny bez jejího roztavení. Archimédes si dlouho nevěděl rady (což bylo nepříjemné nejen z hlediska jeho pověsti), ale jednou si při koupeli všiml, jakým způsobem voda nadlehčuje jeho tělo. V tom okamžiku ho napadl i způsob, jak splnit vladařovo přání a radostně (nahý) vyběhl na ulici s vítězným pokřikem „Heuréka!“ („Mám to!“). Jakým způsobem Archimédes požadavek splnil? Hustota stříbra je menší než hustota zlata.

Archimédes si nechal přinést ryzí zlato o hmotnosti koruny. Korunu i zlato zavěsil na rovnoramennou váhu (která tak byla vyvážená) a pak obě strany váhy ponořil do vody.

- Kdyby byla koruna z ryzího zlata, měla by stejný objem jako zlato  $\Rightarrow$  byla by nadlehčována stejnou silou  $\Rightarrow$  rovnováha na páce by zůstala zachována.
- Kdyby byla koruna ze slitiny zlata a stříbra, měla by větší objem než zlato  $\Rightarrow$  byla by nadlehčována větší silou  $\Rightarrow$  rameno páky se zavěšenou korunou by začalo stoupat nahoru.

Protože rameno páky s korunou vystoupalo nahoru, byl zlatník popraven.

**Shrnutí:** O tom zda těleso plave nerozhoduje pouze velikost vztlakové síly, ale také velikost gravitační síly.