

3.3.4 Plavání ve vzduchu

Předpoklady: 030303

Pomůcky: vývěva, sifonová láhev s CO₂, houpačka s balónekem a modelínou, kartón na vážení, siloměr Vernier

Př. 1: Vysvětli pokus <https://www.youtube.com/watch?v=4uTCHsxCF8k>.

Situace s vyčerpaným vzduchem: páka je nakloněná na stranu, kde je skleněná baňka ⇒ skleněná baňka je těžší než závaží

Za normálního tlaku je páka vyvážená ⇒ na skleněnou baňku (a zřejmě i na závaží), začala působit směrem nahoru další síla, způsobená vzduchem.

Skleněná baňka i závaží na druhé straně jsou ponořeny ve vzduchu a tedy nadlehčovány podobně jako ve vodě. Na straně skleněné baňky působí kvůli většímu ponořenému objemu větší nadlehčovací síla ⇒ páka se po napuštění vzduchu může vyrovnat.

Pedagogická poznámka: Nemá příliš velkou cenu ptát se na začátku videa žáků, co se stane.

Téměř všichni typují správně, protože stupnice je jen na jednu stranu (kdyby to tak výrobce pomůcky tušil).

Při vysvětlování pokusu žáci upozorňovali místo objemu na plochu skleněné baňky. Ukázalo se, že vztlakovou sílu zaměňovali za odpor vzduchu (argumentovali padajícím parašutistou). Nejdřív jsme tedy hledali základní rozdíl mezi parašutistou a baňkou v pokusu (pohyb) a pak jsme si zvažili kartón ve vodorovné a svislé poloze (stejná hmotnost ⇒ žádné "nadmášení z plochy"). Došlo i na to, že velká plocha neznamená nutně velký objem (skládání papíru A4 do krabičky od sirek).

Dalším problémem při analýze pokusu byla skutečnost, že závaží vyvažuje průhledná skleněná baňka naplněná vzduchem.

Nejvýhodnější je začít rozbor situací při vyčerpaní vzduchu (tam totiž vzduch nehraje roli).

Př. 2: Jakou silou jsi nadlehčován okolním vzduchem ty?

Vztlaková síla je dána vzorcem: $F_{vz} = V \rho g$ ⇒ potřebujeme znát hustotu vzduchu a objem našeho těla.

Objem těla: známe svou hmotnost a víme, že naše hustota je přibližně stejná jako hustota vody, 1 kg vody má objem 1 litru ⇒ naše hmotnost v kilogramech přibližně odpovídá našemu objemu v litrech.

Učitel o hmotnosti 80 kg, má objem $V = 80 \text{ l} = 0,08 \text{ m}^3$

Vztlaková síla vzduchu: $F_{vz} = V \rho g = 0,08 \cdot 1,3 \cdot 10 \text{ N} = 1,04 \text{ N}$

Člověka o hmotnosti 80 kg nadlehčuje vzduch silou 1,04 N (tedy je jakoby o 100 g lehčí).

Dodatek: Jiný způsob výpočtu. Pokud má vzduch hustotu $1,3 \text{ kg/m}^3$, každý m^3 má hmotnost 1,3 kg, každý litr (tisíckrát menší objem) má hmotnost 1,3 g. Místo

člověka o objemu 80 litrů by mohlo být $80 \cdot 1,3 = 104 \text{ g}$ vzduchu, který Země přitahuje silou $F_g = 0,104 \cdot 10 \text{ N} = 1,04 \text{ N}$.

Př. 3: Proč nadlehčování vztlakem vzduchu necítíš?

Není velké (vypitím sklenky čaje se má hmotnost změnit daleko více), ale hlavně vztlaková síla vzduchu nás nadlehčuje neustále a proto nemáme srovnání s tím, jak to vypadá bez ní. Naopak je dost těžké připravit situaci, kdy by se nás netýkalo.

Př. 4: Hustota teplého vzduchu se pohybuje podle teploty zahřátí okolo 1 kg/m^3 . Jaký objem by musel mít balón, který by unesl náklad 400 kg?

Na 1 m^3 teplého vzduchu obklopeného studeným vzduchem působí:

- gravitační síla $F_g = mg = 1 \cdot 10 \text{ N} = 10 \text{ N}$,
- vztlaková síla okolního vzduchu $F_{vz} = V\rho g = 1 \cdot 1,3 \cdot 10 \text{ N} = 13 \text{ N}$.

\Rightarrow na 1 m^3 teplého vzduchu působí směrem vzhůru výsledná síla $13 - 10 \text{ N} = 3 \text{ N}$.

K unesení nákladu 400 kg musí na balón působit celková vztlaková síla

$$F = F_g = mg = 400 \cdot 10 \text{ N} = 4000 \text{ N}$$

Příklad dořešíme přímou úměrou

$$1 \text{ m}^3 \quad \dots \quad 3 \text{ N}$$

$$x \text{ m}^3 \quad \dots \quad 4000 \text{ N}$$

$$\frac{x}{1} = \frac{4000}{3} \text{ m}^3 = 1333 \text{ m}^3$$

Horkovzdušný balón, který unese 400 kg, musí mít objem 1333 m^3 .

Pedagogická poznámka: Žákům, kteří neví, po chvíli radím, aby si nakreslili síly, které působí na 1 m^3 horkého vzduchu, který je obklopen (ponořen do) studeným vzduchem. Příklad je jinak těžký a výsledek pro žáky velmi překvapivý. Zejména ve srovnání s objemem třídy $10 \times 8 \times 4 \text{ m}$: 320 m^3 .

Dodatek: Teplota vzduchu u horkovzdušných balónů samozřejmě kolísá, udává se okolo 100° , kdy je hustota suchého vzduchu trochu nižší než v příkladu - $0,95 \text{ kg/m}^3$.

Př. 5: Čím musí být vybaven horkovzdušný balón? Co je třeba udělat, aby balón stoupal? Co je třeba udělat, aby klesal?

Balón musí mít hořák, kterým je možné zahřívat vzduch (jinak by vzduch v balónu vychladl, zvětšila by se jeho hustota a balón by začal klesat).

Pokud chceme, aby balón stoupal, můžeme:

- vyhodit zátěž,
- zapnout hořák.

Pokud chceme, aby balón klesal, můžeme:

- přestat topit a čekat,

- upustit obsah balónu.

Př. 6: Z lehké černé fólie (velkých lehkých černých pytlů) se dají postavit i sluneční montgolfiéry. Nabereme do pytle vzduch, zavážeme ho a počkáme, až se vznese. Proč musí mít povrch těchto "slunečních vzducholodí" černou barvu? Kdy mohou létat?

Černá barva pohlcuje sluneční záření a tím se lépe zahřívá a lépe zahřívá i vzduch uvnitř. Taková montgolfiéra může létat pouze, když svítí slunce.

Př. 7: Zjisti hustotu hélia a spočti, jak velké rozměry by musela mít vzducholod', která by unesla náklad 100 tun.

Hustota hélia za normálních podmínek: údaje na internetu se liší, pohybují se od $0,176 \text{ kg/m}^3$ do $0,179 \text{ kg/m}^3$. Budeme používat zaokrouhlenou hodnotu $0,18 \text{ kg/m}^3$.

Řešíme podobně jako teplovzdušný balón.

Na 1 m^3 hélia obklopeného studeným vzduchem působí:

- gravitační síla $F_g = mg = 0,18 \cdot 10 \text{ N} = 1,8 \text{ N}$,
- vztlková síla okolního vzduchu $F_{vz} = V\rho g = 1 \cdot 1,3 \cdot 10 \text{ N} = 13 \text{ N}$.

\Rightarrow na 1 m^3 hélia působí směrem vzhůru výsledná síla $13 - 1,8 \text{ N} = 11,2 \text{ N}$.

K unesení nákladu 100 tun musí na balón působit celková vztlková síla

$$F = F_g = mg = 100\,000 \cdot 10 \text{ N} = 1\,000\,000 \text{ N}$$

Příklad dořešíme přímou úměrou

$$1 \text{ m}^3 \quad \dots \quad 11,2 \text{ N}$$

$$x \text{ m}^3 \quad \dots \quad 1\,000\,000 \text{ N}$$

$$\frac{x}{1} = \frac{1\,000\,000}{11,2} \text{ m}^3 = 8\,900 \text{ m}^3$$

Objem $8\,900 \text{ m}^3$ má například kvádr $10 \text{ m} \times 10 \text{ m} \times 89 \text{ m}$.

Př. 8: Tečku za využitím vzducholodí pro přepravu osob udělala v roce 1937 katastrofa vzducholodě Hindenburg. Najdi údaje o této vzducholodi. Jakou rychlostí se mohla pohybovat? Čím byla naplněna? Co způsobilo její zničení? Zkontroluj, zda jsou reálné údaje o celkovém vztlaku.

Led Zeppelin 129 Hindenburg měl průměr 41 m a délku 245 m (daleko větší než vzducholod' z předchozího příkladu), objem $200\,000 \text{ m}^3$, vztlak 240 tun , užitečné zatížení 112 tun .

Nejvyšší rychlost 135 km/h .

Vzducholod' byla plněna vodíkem.

Její zkázu během přistávání v Lakehurst v New Jersey, zřejmě způsobil elektrický výboj, který způsobil požár, během kterého vzducholod' za 34 sekund shořela. Zahynulo 13 cestujících (z 36), 22 členů posádky (z 61) a jeden zaměstnanec pozemního personálu.

Vzhledem k tomu, že 1 m^3 vodíku má větší vztlak než stejné množství hélia (vodík je lehčí), je při podceněném vztlaku 1 kg na 1 m^3 údaj o nosnosti reálný ($200\,000 \text{ m}^3$ unese $200\,000 \text{ kg}$).

Domácí bádání: Najdi na internetu fotografii horkovzdušného balónu. Zjisti její rozměry a spočti (předpokládej, že jde o kouli) její objem. Odpovídá výsledkům příkladu 4?

Žáci přinesou příště: prázdný obal od fixu nebo jiná krátká trubička s průměrem $0,7\text{-}1 \text{ cm}$.

Shrnutí: Předměty ponořené do vzduchu stejně jako předměty ponořené do vody nadlehčovány vztlakovou silou (daleko menší než ve vodě, kvůli daleko menší hustotě vzduchu).-