

FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně

KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY

5. ročník — 1998/1999

Vzorová řešení 1. série úloh (25 bodů)

Vzorové řešení úlohy č.1 (8 bodů)

V kuchyni nastalo období dešťů

- (a) Uvnitř konvice se během varu vytváří tzv. sytá pára. Tak nazýváme páru, která je v termodynamické rovnováze s kapalinou, nad níž vzniká. Sytá pára je průhledná. Po opuštění konvice se sytá pára rozpíná, v důsledku toho se ochlazuje a začíná kondenzovat. Bílá mlha, kterou pozorujeme ve větší vzdálenosti od hubičky, je projevem rozptylu světla na drobounkých kapičkách vody - řada řešitelů místo správného pojmu rozptyl použila nevhodný pojem lom. Vysvětlení těchto pojmů je následující: uvažujme o nějakém optickém prostředí málo pohlcujícím světlo, do kterého vchází rovnoběžný světelný svazek. Je-li index lomu ve všech místech prostředí stejný (říkáme, že prostředí je opticky homogenní, příkladem může být sytá pára), pak z prostředí vychází opět rovnoběžný svazek, nejvýše odchýlený od svazku vcházejícího o určitý úhel. Dochází k lomu a dané prostředí se nám jeví průhledné. Je-li index lomu v různých místech prostředí různý (říkáme, že prostředí je opticky nehomogenní, příkladem mohou být drobounké kapičky vody nerovnoměrně rozmístěné ve vzduchu, tedy mlha), pak paprsky světelného svazku vycházejí z prostředí pod různými úhly. Vidíme rozptýlené světlo a dané prostředí se nám jeví jako průsvitné. Podrobný fyzikální rozbor chování světelného svazku při průchodu rozptylujícím prostředím přesahuje rámec středoškolské fyziky.
- (b) Při styku vodní páry s ochlazenou naběračkou dochází k tepelné výměně, při které pára odevzdává skupenské teplo kondenzace a vznikají kapičky vody. Ty se postupně spojují ve větší kapky a stékají po vnitřním povrchu naběračky. K tomuto procesu dochází, je-li teplota naběračky nižší nebo rovna teplotě rosného bodu – tak nazýváme teplotu, při níž se vodní pára ve vzduchu stane sytou a při odebrání tepla začne kondenzovat. Teplota rosného bodu závisí na množství vodní páry obsažené v ovzduší. Při provedení pokusu můžeme pozorovat, že se množství kondenzující páry snižuje s rostoucí teplotou naběračky. Protože se pára v naběračce hromadí, zvyšuje se v ní vlhkost vzduchu a tím se zvyšuje i teplota rosného bodu. Chladnější okolní vzduch udržuje teplotu naběračky pod teplotou rosného bodu a pára bude kondenzovat i nadále, i když ne tak razantně jako na počátku.

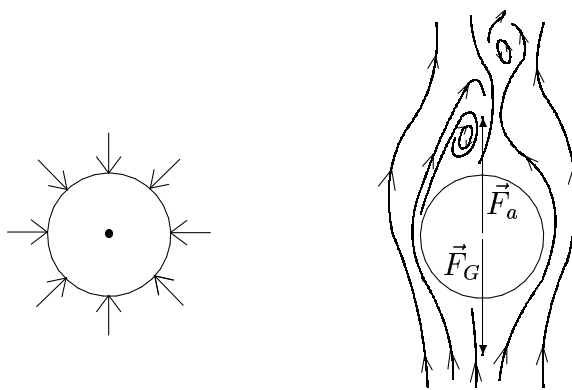
- (e) Při ohřívání vody v konvici musíme dodat více tepla, než je vypočtené teplo Q . Kromě vody musíme ohřát na teplotu varu vody i konvici a část tepla se spotřebuje na ohřev okolního vzduchu. Zatímco teplo předané vzduchu bychom počítali obtížně, celkem snadno můžeme spočítat teplo Q_k dodané konvici. Předpokládejme, že máme železnou konvici o hmotnosti $m_k = 1\text{ kg}$. Měrná tepelná kapacita železa je $c_{Fe} = 452\text{ J kg}^{-1}\text{ K}^{-1}$, počáteční teplota t_0 i konečná teplota t_v jsou stejné jako v předchozím případě. Pak $Q_k = 1 \cdot 452 \cdot (100 - 20)\text{ J} = 36160\text{ J}$. Teplo dodané konvici představuje asi 7% tepla potřebného k vypaření 200 ml vody. Dalším zdrojem odlišností vypočtené a skutečné hodnoty tepla byl pouhý odhad počáteční teploty vody, zanedbání vlivu rozpuštěných minerálních látek na bod varu, závislosti bodu varu na tlaku a c_v a l_v na tlaku a teplotě.
- (f) Z výpočtu v bodě (d) plyne, že největší teplo může předat pokožce sytá (průhledná) vodní pára a způsobit tak nejvážnější zranění. Vařící voda předá při ochlazení na teplotu těla teplo skoro $8\times$ menší (k odhadu byly použity výpočty provedené stejným způsobem jako v bodě (d)). V případě bílé zkondenzované páry záleží na tom, kolik energie již odevzdala svému okolí, t.j. na vzdálenosti od hrdla konvice. Závažnost poranění závisí ovšem i na množství páry nebo vody, která by se dostala do kontaktu s kůží, a době, po kterou by probíhala tepelná výměna. Proto by vám během tohoto experimentu hrozilo větší nebezpečí od vařící vody, které je plná konvice, než od páry, která se uvolňuje postupně.

Vzorové řešení úlohy č.2 (6 bodů)

Tanec ve větrném proudu

Přesné fyzikální vysvětlení tohoto experimentu je velmi obtížné. Vysoušeč vlasů je díky své konstrukci zdrojem turbulentního proudění, takže řada našich úvah bude pouze přibližná.

- (a) Míček umístěný do středu proudu vzduchu se ustálí tak, aby výslednice všech sil na něj působících byla rovna nule, tj.
- v horizontální rovině (rovina kolmá na směr proudění) ve středu proudu vzduchu, je-li ze všech stran obtékán symetricky. Pak je průmět výsledné tlakové síly proudícího vzduchu do této roviny nulový (obr.1a)).



obr.1 a) b)

- ve vertikálním směru v místě, kde je svislá složka výslednice sil působících na míček rovna nule.

Při tomto experimentu působí na míček následující síly (obr.1b)):

- * tíhová síla

$$\vec{F}_G = m\vec{g},$$

kde m je hmotnost míčku a $\vec{g}$ tíhové zrychlení.

- * síla aerostatická vztlaková (daná Archimedovým zákonem)

$$\vec{F}_{vz} = -V\rho\vec{g},$$

kde V je objem míčku, ρ hustota vzduchu a $\vec{g}$ tíhové zrychlení. Velikost této síly je vzhledem k velikosti tíhové síly zanedbatelná, a proto není v obrázku zakreslena.

- * síla odporová $\vec{F}_a$, která působí pouze na míček obtékáný proudícím vzduchem. Parametrem určujícím způsob proudění vzduchu je Reynoldsovo číslo R dané vztahem

$$R = \frac{\rho v d}{\eta},$$

kde $\eta = 14,5 \cdot 10^{-6} \text{ kg m}^{-1} \text{ s}^{-1}$ je dynamická viskozita vzduchu, $\rho = 1,2 \text{ kg m}^{-3}$ je hustota vzduchu, v je rychlost proudění vzduchu a d průměr vzdušného

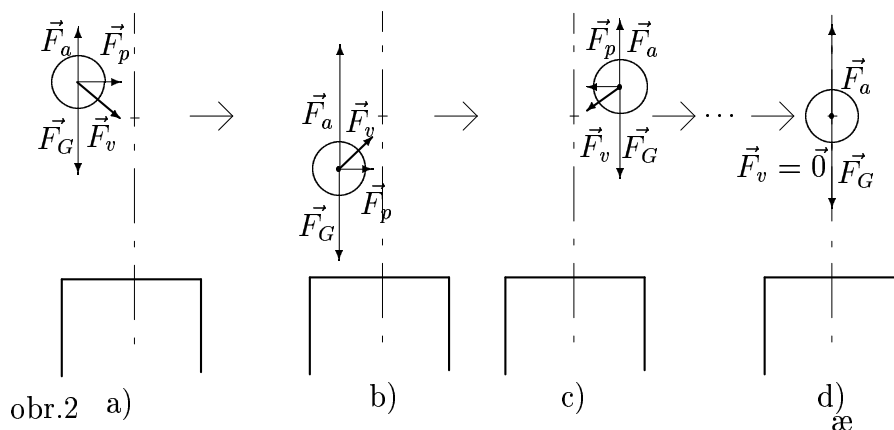
proudu. Odhadneme-li rychlost proudění vzduchu na $0,1\text{ms}^{-1}$ a $d \doteq 5\text{cm}$, hodnota Reynoldsova čísla je řádově 100. Tvar proudnic odpovídajících tomuto Reynoldsovu číslu je schematicky zachycen v obr. 1b. Velikost odporové síly popisující působení proudu na obtékaný míček je možné vyjádřit vztahem

$$F_a = \frac{1}{2} C \rho S v^2,$$

kde ρ je hustota vzduchu, S maximální průřez obtékaného tělesa ve směru kolmém na směr proudění, v velikost rychlosti proudění vzduchu, kterému nestojí v cestě žádné překážky. C je součinitel odporu, který závisí na tvaru obtékaného tělesa a na charakteru proudění (s výjimkou prudkých změn charakteru proudění je však tato závislost malá).

Poznámka: Směr odporové síly směřuje v dané situaci svisle vzhůru, proto je v dalším textu nazývána silou aerodynamickou (vztlakovou).

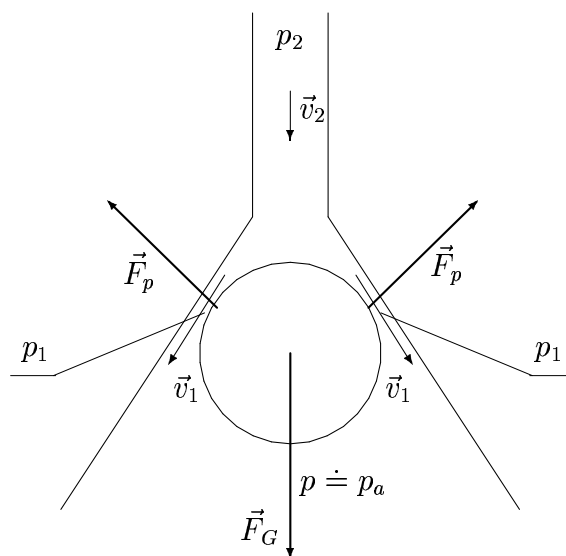
- (b) Míček umístěný ve středu vzdušného proudu by se otáčet neměl, je-li výsledný moment sil působících na míček nulový. Tato podmínka je však při experimentu prakticky nesplnitelná. Zde jsou uvedeny některé z příčin, proč se míček při pokusu otáčí:
- proudění je turbulentní, takže výsledný moment sil působících na povrch míčku je nenulový
 - při obtékání míčku ulpívá vzduch na jeho povrchu – vzniklé třecí síly mají nenulový moment
 - míček není dokonale kulatý
 - nestálý výkon fénu zapříčiňuje změny velikosti rychlosti proudu vzduchu
 - míček se nám nepodaří umístit do středu vzdušného proudu
 - vysoušeč vlasů není umístěn svisle vzhůru.
- (c) Je-li míček umístěn mimo střed vzdušného proudu, mění se tvar proudnic v okolí míčku – směrem ke středu proudu je hustota proudnic větší než na okrajích. Vzniklá tlaková síla $\vec{F}_p$ nutí míček k návratu do rovnovážné polohy.



Pokud se míček nepohybuje pouze ve vodorovné rovině, pak se mění i velikost síly aerodynamické - rychlost proudění klesá s výškou, a proto s výškou klesá i velikost aerodynamické síly. Výsledná síla $\vec{F}_v$ působící na míček je výslednicí síly aerodynamické $\vec{F}_a$, tíhové $\vec{F}_G$ a tlakové $\vec{F}_p$. Směr výsledné síly směřuje do rovnovážné polohy, proto míček vlastně kolem této polohy kmitá, Výchylky se postupně zmenšují, až se míček znovu ustálí ve středu proudu (viz obr. 2 a)-d)).

Při položení dlaně nad míček do proudu vzduchu dojde opět k změně tvaru proudnic - původní rovnovážná poloha nyní není rovnovážnou polohou. Míček se proto začne otáčet a kmitat ve svislém směru.

- (d) V případě, že ústí vysoušeče je nahrazeno vstupním otvorem vysavače, působí na míček stejné síly jako v případě (a). Je-li ústí vysavače nad míčkem, směřuje síla aerodynamická svisle vzhůru, a protože je mnohem větší než síla tíhová, směřuje výslednice sil svisle vzhůru. Je-li míček větší než vstupní otvor vysavače, pak je při praktickém provedení experimentu přitážen k otvoru vysavače. Pokud je menší, je samozřejmě vtažen dovnitř vysavače.
- (e) Míček umístěný u ústí trychtýře, obráceného směrem dolů, po silném fouknutí do užšího konce nevypadne, ale udrží se u něj, dokud nepřestaneme foukat. Pozorovaný jev lze vyložit následujícím způsobem: podáme pomocí dvou základních rovnic mechaniky tekutin (v našem případě budeme pro jednoduchost uvažovat ideální nestlačitelnou tekutinu):



obr. 3

æ

– rovnice kontinuity

$$S_1 v_1 = S_2 v_2,$$

kde S_1, S_2 jsou průřezy užší, respektive širší části nálevky, a v_1, v_2 hodnoty rychlosti proudu vzduchu v užší, respektive širší části nálevky. Je zřejmé, že platí $S_1 < S_2 \Rightarrow v_1 > v_2$.

– Bernoulliho rovnice

$$\frac{1}{2}\rho v_1^2 + p_1 = \frac{1}{2}\rho v_2^2 + p_2,$$

kde ρ je hustota vzduchu, p_1 tlak v užší části nálevky, p_2 v širší části.

Proč tedy míček drží v trychtýři? Vzduch obtéká míček, přičemž vzdálenost mezi míčkem a stěnou trychtýře je mnohem menší než průměr užší části nálevky (viz obr. 3). Z Bernoulliho rovnice plyne, že tlak p_1 je menší než p_2 . Ačkoliv tlakové pole pod míčkem je složité, můžeme tvrdit, že hodnota tlaku v těchto místech je blízká tlaku atmosférickému. Proto výsledná tlaková síla působící na míček směřuje vzhůru a kompenzuje sílu tíhovou.

Poznámky k řešení úlohy:

Častým nedostatkem došlých odpovědí bylo, že se řešitelé omezili pouze na slovní popis průběhu pokusů bez jakéhokoliv vysvětlení příčin. Nejzávažnější chyby a nedostatky v odpovědích byly:

- u otázky (a) chybějící popis sil působících ve svislém směru i v horizontální rovině.
- u otázky (b) především vysvětlení, z jakého důvodu by se míček neměl teoreticky otáčet.
- u otázky (c) opět vysvětlení chování míčku při vychýlení
- u otázky (e) časté nepochopení, jak měl experiment probíhat.

Vzorové řešení úlohy č.3 (7 bodů)

Teplá voda i balón nafoukne

- (a) Příčinou vstupu balónku do láhve je snížení teploty, které je doprovázeno zmenšením objemu balónku a snížením tlaku v něm – přesný výpočet provedeme v bodě (b). Po vložení láhve do vařící vody se teplota zvýší, což je doprovázeno zvětšením objemu balónku a zvýšením tlaku v něm.

Plastová láhev je nevhodná, protože při změně teploty se objem láhve mění působením tlaku okolního vzduchu na stěny láhve. V důsledku toho by byla změna objemu balónku méně výrazná než při užití skleněné láhve, u níž můžeme změnu objemu zanedbat.

- (b) Pro experiment byla použita skleněná láhev s objemem $2dcl$. Na láhev při pokojové teplotě $20^\circ C$ byl nasazen balónek tak, že se celkový objem vzduchu příliš nezměnil. Láhev pak byla umístěna do mrazničky, ve které byla teplota $-12^\circ C$. Po ochlazení se objem vzduchu zmenšil asi o $0,8dcl$, tedy na $1,2dcl$. Poté byla láhev umístěna do vařící vody $100^\circ C$ a objem vzrostl na $2,2dcl$. Absolutní změna teploty je

$$\Delta T = (393 - 261)K = 132K,$$

absolutní změna objemu je

$$\Delta V = (2, 2 - 1, 8)dcl = 0, 4dcl.$$

Relativní změna objemu je

$$\frac{\Delta V}{V_{20^\circ C}} = \frac{0, 4}{2} = 20\%.$$

Za předpokladu, že vzduch splňuje stavovou rovnici pro ideální plyn

$$\frac{pV}{T} = konst,$$

můžeme vypočítat tlak vzduchu při ochlazení a při ohřátí:

$$\begin{aligned} p_{-12^\circ C} &= \frac{V_{20^\circ C}}{V_{-12^\circ C}} \frac{T_{-12^\circ C}}{T_{20^\circ C}} p_{atm} \\ p_{-12^\circ C} &= \frac{2 \ 261}{1, 8 \ 293} p_{atm} = 0, 99 p_{atm} \\ p_{100^\circ C} &= \frac{V_{20^\circ C}}{V_{100^\circ C}} \frac{T_{100^\circ C}}{T_{20^\circ C}} p_{atm} \\ p_{100^\circ C} &= \frac{2 \ 373}{2, 2 \ 293} p_{atm} = 1, 16 p_{atm}. \end{aligned}$$

Nejedná se o žádný ze speciálních dějů v plynu. Mění se objem, teplota a tlak, takže nemůže jít o izochorický, izotermický ani izobarický děj. Také adiabatický děj nepřichází v úvahu, protože dochází k tepelné výměně s okolím.

- (c) Abychom zjistili hustotu vzduchu v balónku za pokojové teploty a při teplotě $100^\circ C$, musíme vypočítat hmotnost vzduchu. Vyjděme ze stavové rovnice, tentokrát ve tvaru

$$pV = \frac{m}{M_m} R_m T,$$

kde m je hmotnost plynu, $M_m = 28, 96 g mol^{-1}$ je molární hmotnost vzduchu a $R_m = 8, 31 J mol^{-1} K^{-1}$ je molární plynová konstanta. Po dosazení získáme hmotnost $m = 0, 238 g = 2, 38 \cdot 10^{-4} kg$. Hustota vzduchu při pokojové teplotě je podle vztahu $\rho_{20^\circ C} = \frac{m}{V_{20^\circ C}}$ rovna $\rho_{20^\circ C} = 1, 19 kg m^{-3}$ a pro vzduch o teplotě $100^\circ C$ $\rho_{100^\circ C} = 1, 08 kg m^{-3}$; hustota vzduchu při $100^\circ C$ je menší než při pokojové teplotě. Objem plynu v balónku při $100^\circ C$ je $V_b = 0, 2 dcl = 2 \cdot 10^{-5} m^3$, jeho hmotnost je $m_{pb} = 2, 16 \cdot 10^{-5} kg$. Aby se balónek vznesl, musí platit

$$F_{vz} > F_G,$$

kde F_{vz} je vztlačková síla a F_G je síla tíhová působící na balónek s plynem. Po vyjádření sil obdržíme vztah

$$V_b \rho_{20^\circ C} g > (m_{pb} + m_b) g,$$

kde $\rho_{20^\circ C}$ je hustota vzduchu při pokojové teplotě, $g = 9.81 \text{ m s}^{-2}$ je tíhové zrychlení a m_b je hmotnost balónku. Balónek, který byl použit pro tento experiment, měl hmotnost $3g$. Po dosazení však zjišťujeme, že platí opačná ostrá nerovnost, neboť

$$\begin{aligned} V_b \rho_{20^\circ C} g &= 2 \cdot 10^{-5} \cdot 1,19 \cdot 9,81 \text{ N} = 2,38 \cdot 10^{-5} \text{ N} \\ (m_{pb} + m_b)g &= (3 \cdot 10^{-3} + 2,16 \cdot 10^{-5}) \cdot 9,81 \text{ N} = 3,02 \cdot 10^{-3} \text{ N}, \end{aligned}$$

balónek se tedy nevznese. Aby se balónek vznesl, musel by mít objem

$$\begin{aligned} V_b &> \frac{(m_{pb} + m_b)}{\rho_{20^\circ C}} \\ V_b &> 0,0025 \text{ m}^3 = 2,5 \text{ l}. \end{aligned}$$

Při platnosti stavové rovnice a za předpokladu, že balónek vydrží maximální tlak $p = 5p_{atm}$, by musel plyn v balónku mít teplotu

$$\begin{aligned} T &= \frac{pVM_m}{m_{pb}R_m} \\ T &= \frac{5 \cdot 10^5 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 28,96 \cdot 10^{-3}}{2,16 \cdot 10^{-5} \cdot 8,31} \text{ K} = 2,0 \cdot 10^5 \text{ K}, \end{aligned}$$

což je nereálné, protože při takto vysoké teplotě nemůže existovat žádná látka v pevném skupenství.

- (d) Absorpční granule absorbují vodu obsaženou ve vzduchu. Po ochlazení balónek více „vleze“ do láhve. Změna objemu je větší právě o absorbovanou vodní páru a popřípadě i další molekuly vzduchu. Po ohřátí se objem plynu zvětší a absorbovaná vodní pára a ostatní molekuly se opět uvolní. Objem bude proto stejný jako bez použití granulí. Necháme-li stát nádobu po dokončení experimentu nějakou dobu při pokojové teplotě, pozorujeme, že objem vzduchu v láhvi je menší než na začátku experimentu. Tento jev je opět způsoben pohlcením vodní páry absorpčními granulemi.

Vzorové řešení úlohy č.4 (4 body)

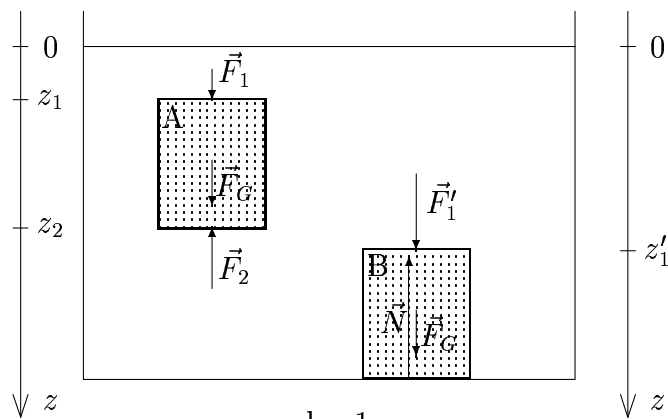
O kouzelníkovi, který popřel platnost Archimedova zákona

- (a) Mějme nádobu s kapalinou hustoty ρ . V nádobě jsou umístěny dva stejné válečky o hustotě ρ_v , objemu V_v a ploše podstavy S (viz obr. 1 – v obrázku není zakreslena síla $\vec{F}_p$). Výsledná síla, působící na váleček A, je dána vztahem

$$\vec{F} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \vec{F}_p + \vec{F}_G,$$

kde $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ a $\vec{F}_p$ jsou tlakové síly, kterými působí okolní kapalina na obě podstavy a plášť válečku, a $\vec{F}_G$ je tíhová síla. Protože se váleček nepohybuje ve vodorovné rovině, je výsledná síla působící na jeho plášť nulová, tj.

$$\vec{F}_p = \vec{0}.$$



obr. 1

Pro velikosti tlakových sil $\vec{F}_1$, $\vec{F}_2$ působících na podstavy platí:

$$F_1 = p_{z1}S = \rho g z_1 S,$$

$$F_2 = p_{z2}S = \rho g z_2 S,$$

kde p_{z1} , resp. p_{z2} představuje hydrostatický tlak v hloubce z_1 , resp. z_2 pod volnou hladinou kapaliny v nádobě. Výslednice těchto sil se nazývá vztlaková síla $\vec{F}_{vz}$. Protože $z_2 > z_1$, bude i $F_2 > F_1$. $\vec{F}_{vz}$ proto směřuje nahoru a pro její velikost dostaneme:

$$F_{vz} = F_2 - F_1 = \rho g (z_2 - z_1) S = V \rho g,$$

kde V je objem ponořené části tělesa. Výslednice sil působících na váleček A tedy bude:

$$\vec{F} = \vec{F}_{vz} + \vec{F}_G.$$

Je-li $\rho_v \leq \rho$, ustálí se váleček v rovnovážné poloze, kde bude $\vec{F}_{vz}$ kompenzovat $\vec{F}_G$. Z podmínky $F = 0$ můžeme určit, jak velký bude objem V ponořené části tělesa:

$$V \rho g = V_v \rho_v g \quad \Rightarrow \quad V = V_v \frac{\rho_v}{\rho}.$$

Tělesu A v našem experimentu odpovídá neupravený voskový váleček, pod který se díky nerovnostem podstavy dostane voda.

Pro výslednici sil působících na váleček B platí:

$$\vec{F}' = \vec{F}'_1 + \vec{F}'_p + \vec{F}_G + \vec{N},$$

kde $\vec{N}$ je tlaková síla, kterou na váleček působí podložka. Dále je

$$F'_1 = p_{z'1}S = \rho g z'_1 S,$$

kde $p_{z'1}$ je hydrostatický tlak v hloubce z'_1 . Stejně jako v případě A platí:

$$\vec{F}'_p = \vec{0}.$$

Pro výslednici $\vec{F}'$ tedy dostáváme:

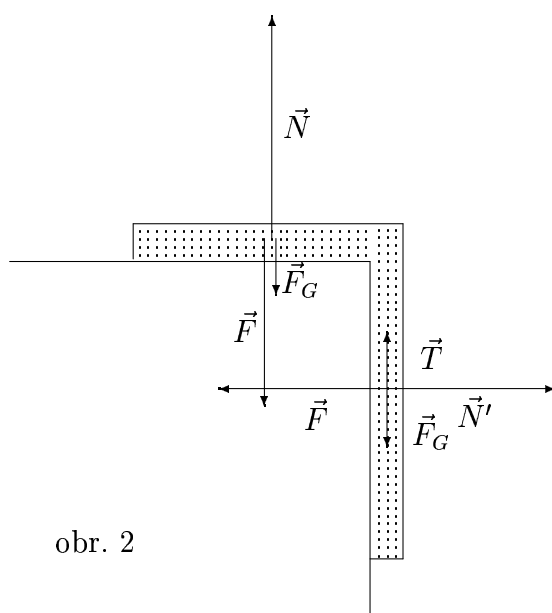
$$\vec{F}' = \vec{F}'_1 + \vec{F}_G + \vec{N}.$$

Těleso B je v klidu, tudíž musí být splněno:

$$F' = 0 \Rightarrow N = F'_1 + F_G.$$

Váleček B je přitlačen k podložce (dnu nádoby) silou o velikosti $F'_1 + F_G$. Je zřejmé, že na váleček B nelze aplikovat Archimédův zákon.

- (b) Situace B nastane, jestliže váleček s hladkou podstavou (upravený podle návodu v zadání) při nalévání kapaliny do nádoby přidržíme u dna. Pokud podstava válečku nebo dno nádoby nejsou dostatečně hladké, nezabráníme proniknutí kapaliny pod váleček a nastane případ A. Stejně tomu bude, i když při uvolňování válečku nebudeme dost opatrní a nakloníme jej.
- (c) Položíme-li na těleso tenkou zlatou fólii a tupým předmětem vytlačíme vzduch, nastane obdobná situace jako u válečku B (viz obr. 2).



obr. 2

Okolní vzduch působí na fólii tlakovou silou o velikosti:

$$F = Sp_a,$$

kde S je plocha fólie a p_a je atmosférický tlak. Síla $\vec{F}$ přitlačí fólii k tělesu ze všech stran. Na vodorovných stěnách na fólii působí tíhová síla $\vec{F}_G$, tlaková síla vzduchu $\vec{F}$ a tlaková síla podložky $\vec{N}$, přičemž je splněno:

$$\vec{N} + \vec{F}_G + \vec{F} = \vec{0} \Rightarrow N = F + F_G.$$

Na svislých stěnách se k silám působícím na fólii přidává i třecí síla $\vec{T}$:

$$\vec{N}' + \vec{T} + \vec{F}_G + \vec{F} = \vec{0}.$$

Odtud:

$$T = F_G,$$

$$N' = F.$$

Tímto způsobem lze pozlacovat sochy z libovolných materiálů.

Poznámky k řešením účastníků korespondenčního semináře:

Chceme-li popsat pohybový stav tělesa, musíme započítat všechny síly, kterými na těleso působí okolí. Nelze proto vynechat síly $\vec{F}_G$ a $\vec{N}$, jak učinila většina řešitelů bodu (a).

Početná skupina řešitelů tvrdila, že i na váleček B působí kapalina vztlakovou $\vec{F}_{vz}$. Je nutno si uvědomit, že existence vztlakové síly je podmíněna přítomností kapaliny pod tělesem, což u válečku B zjevně není splněno.

Nelze ani tvrdit, že váleček B u dna drží podtlak. Jednak mezi hladkou podstavou válečku a dnem nádoby není žádná dutina, v níž by mohl podtlak vzniknout, jednak podtlak nemůže nic držet. Fyzikálně správná formulace zní: Váleček leží na dně v klidu, protože výslednice všech sil, které na něj působí ($\vec{F}_G, \vec{N}, \vec{F}'_1$), je nulová.

Nesprávně pokus interpretovali i řešitelé, kteří vysvětlovali chování válečku B adhezivními silami mezi podstavou tělesa B a dnem nádoby, protože jejich vliv není rozhodující.

Vzorové řešení úlohy č.5 - prémiové

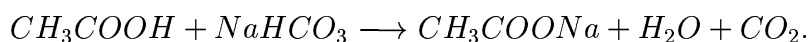
Relaxace nad konvicí speciálního čaje

- (a) Při experimentu popsaném v zadání úlohy dochází k opakovanému výstupu bezinek a dýňových semínek na hladinu a jejich následnému sestupu na dno. Popsaný pohyb je umožněn přichycením bublinek vznikajícího plynu na předměty přítomné v roztoku. Na otázku, jaké bublinky to jsou a jak vznikají, si odpovíme až v závěru řešení.

Zaměříme se na fyzikální popis chování studovaných objektů. Před přidáním obou chemikálií leží bezinka v klidu na dně. Na bezinku přitom působí pouze tíhová síla F_G svisle dolů a hydrostatická vztlaková síla F_{vz} (určená Archimedovým zákonem) svisle vzhůru. Protože je hustota bezinky větší než hustota vody, je také $F_G \geq F_{vz}$, a bezinka setrvává na dně. Po přidání chemikálií vznikají bublinky, které postupně obalují bezinku. Průměrná hustota soustavy bezinka – bublinky postupně klesá; v okamžiku, kdy překročí hustotu okolní kapaliny, se soustava začne pohybovat vzhůru, neboť tíhová síla působící na soustavu je menší než síla hydrostatická vztlaková. Na hladině se bublinky uvolní, vzroste průměrná hustota soustavy, tíhová síla F_G je větší než síla vztlaková F_{vz} a bezinka sestupuje opět ke dnu. Cestou se na ni opět váží bublinky a celý koloběh se opakuje.

Některým řešitelům se nepodařilo popsany koloběh uskutečnit a tělíška jim ihned po přidání chemikálií vystoupala na hladinu, kde zůstala. Při tomto experimentu je podstatné, v jakém poměru je připraven roztok, tj. zda jeho hustota nepřesáhla hustotu bezinek, či zda se nevyvíjí tolik bublinek, že vztlaková síla neustále převládá nad silou tíhovou. Dále nelze zanedbat schopnost povrchu testovaných předmětů poutat na sebe bublinky.

- (b) Jestliže konvici zakryjeme víkem, dojde k hromadění plynu vzniklého chemickou reakcí v prostoru nad hladinou. Tlak v kapalině se zvýší, a proto je objem bublinek menší než v případě (a). Velikost hydrostatické vztlakové síly působící na soustavu je menší a pohyb soustavy je pomalejší než v situaci (a).
- (c) Průběh experimentu na tvaru použité nádoby nezávisí, může-li soustava konat svůj pohyb bez nárazu na stěnu. Vlivem těchto nárazů se z ní uvolňují bublinky, což vede ke zpomalení výstupu a sestupu.
- (d) Rozdíl v pohybu dýňového semínka a bezinky při stejné hmotnosti je dán rozdílným povrchem a hustotou obou útvarů. Dýňové semínko má za daných předpokladů větší povrch a menší hustotu než bezinka a může se na něm zachytit více bublinek, proto by se mělo pohybovat rychleji než bezinka. Na každé těleso pohybující se v kapalině působí kromě síly tíhové a hydrostatické vztlakové také síla odporová. Její vliv může způsobit odlišný výsledek experimentu.
- (e) Pozorované předměty se ve vroucí vodě chovají podobně jako v předešlém experimentu. Bublínky však vznikají při přechodu kapaliny do plynného skupenství a ne chemickou reakcí.
- (f) Plynem, který vzniká při reakci octa (kyseliny octové) a sody (hydrogenuhličitanu sodného), je oxid uhličitý (CO_2). Reakci můžeme zapsat tímto způsobem:



Chemických reakcí, jejichž výsledkem je vznik plynu v kapalině, je nepřeberné množství. V této části úlohy jste dobře využili svých znalostí chemie při navrhování reakcí, které by vedly ke stejnému fyzikálnímu efektu jako reakce sody a octa. Jen málo z vás se však zamyslelo nad problémem, jak zajistit popisovaný koloběh tělísek bez použití chemikálií. Řešení je prosté: stačí použít vodní vývěvu, protože snížením tlaku nad kapalinou se uvolňují plyny v ní absorbované.