

# FYZIKÁLNÍ SEKCE

Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity v Brně

---

## KORESPONDENČNÍ SEMINÁŘ Z FYZIKY

4. ročník — 1997/1998

### Třetí série úloh (25 bodů)

Svět, v němž žijeme, je souborem těles vytvořených z látek tří základních skupenství — pevného, kapalného a plynného. Jejich chování a vlastnosti ve svém vlastním zájmu respektujeme a snažíme se jich i záměrně využívat. Často při tom vystačíme jen se svou smyslovou zkušeností (mnozí lidé se s ní dokonce spokojí po celý život), hlubší poznání věcí, příčin a souvislostí však vyžaduje činnost rozumovou.

Tato série úloh se zabývá některými zajímavými vlastnostmi kapalného skupenství, které mají původ v jevech probíhajících na hranicích kapaliny s jiným prostředím. Jejich podrobné vysvětlení se neobejde bez detailních znalostí molekulové struktury látek a vyšetření mezimolekulárního působení. Popsat je však a najít jejich vzájemnou souvislost lze i na základě jednodušších úvah opírajících se o pojem povrchového napětí.

Vzpomeňme například na rčení typu „... jeho chování bylo poslední kapkou do poháru mé trpělivosti ...“ a představme si takový pohár s vodou, po okraj plný. I nefyzikové vědí (ze zkušenosti), že hladina kapaliny nebude přesně vodorovná, ale zakřivená, a vzpomenou si (ze školy), že je to důsledek přitažlivých mezimolekulárních sil. Odpovědět na otázku, jak velké ještě může být vyklenutí hladiny nad okrajem poháru, aby se rovnováha porušila přidáním sebemenší kapky, je úkol fyzikálně obtížný a matematicky náročný. Pochopit však a vysvětlit alespoň kvalitativně, proč padající voda zaujímá tvar kapek, proč se voda vylitá na stůl nerozleje do souvislé tenké vrstvy, ale vytvoří — podle materiálu podložky — větší či menší kapky různých tvarů, proč kovová mince může plavat na vodní hladině, ... je možné i poměrně snadno. Následující úlohy jsou cvičením v tomto směru.

#### ÚLOHA č.1 (8 bodů)

Proveďte následující „domácí experimenty“, popište jejich průběh a výsledky a pokuste se je vysvětlit.

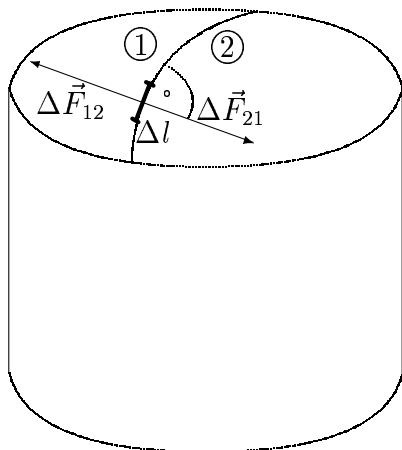
- (a) Misku nebo talíř naplňte vodou a hladinu poprašte mletým pepřem. Špejlí potřebnou koncentrovaným saponátem (např. Jarem) se dotkněte hladiny při okraji misky.

- (b) Do misky nebo talíře s vodou vložte smyčku z tenké niti o průměru asi 5 cm tak, aby plavala na hladině a zformujte ji do oválného tvaru. Špejlí potřenou saponátem se dotkněte hladiny uvnitř smyčky.
- (c) Do misky s vodou kápněte několik kapek olivového oleje lisovaného za studena (tzv. panenský olivový olej). (Kapky by se měly zpočátku po hladině pomalu rozlékat a tvořit tenký film. Po několika desítkách sekund se však film začne stahovat zpět do tvaru kapky. Shlukování můžete urychlit dotykem špejle potřené saponátem.)
- (d) Dvě slámky (brčka) opatřete těsně při okraji několika závity niti a nafoukněte jimi mýdlové (bublifukové) bubliny různých velikostí tak, aby se od slámek neoddělily. (Ovinutí okraje slámek usnadní vytváření bublin.) Slámky spojte opačnými konci, aby si bubliny mohly vyměňovat vzduch. (Tato operace je poměrně náročná a je nutno ji provést rychle. Můžete si vypomoci hadičkami vhodných průměrů, případně vložením obou slámek do úst.)
- (e) Položte na vodní hladinu dvacetihaléřovou minci. (Tento úkon vyžaduje jistou zručnost; usnadnit si jej můžete kouskem filtračního či toaletního papíru položeného na hladinu, na nějž minci umístíte; až papír nabobtná, opatrně jej ponořte a vyjměte. Mince — měla by být čistá a nepoškozená — zůstane na hladině.)
- (f) Na vodní hladinu položte dvě dvacetihaléřové mince a dvě víčka od minerálky. Těmito plavoucími předměty lze opatrně pohybovat po hladině zaostřenou špejlí. Přibližte postupně na vzdálenost asi 3 mm minci k víčku, dvojici mincí, dvojici víček a sledujte jejich další chování.

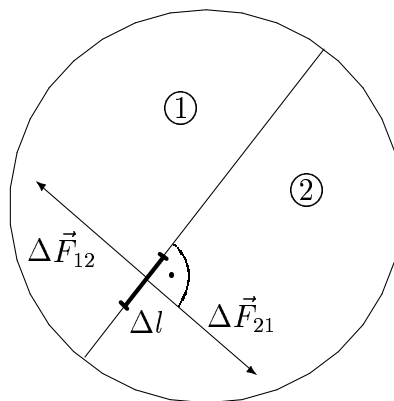
## ÚLOHA č.2 (4 body)

Pokusy v úloze č. 1 jsme ověřili, že povrchová vrstva kapaliny se chová jako napjatá pružná blána. Rozdělíme-li si hladinu kapaliny myšlenou křivkou na dvě části, můžeme tvrdit, že jedna část působí na druhou v každém bodě této křivky elementární silou, která je ke křivce kolmá a současně je tečná k hladině (obr. 1). Velikost této síly připadající na jednotku délky uvažované křivky definuje veličinu zvanou *povrchové napětí*

$$\sigma = \frac{|\Delta \vec{F}_{21}|}{\Delta l} \quad [\text{Nm}^{-1}] .$$



Pohled na blánu shora

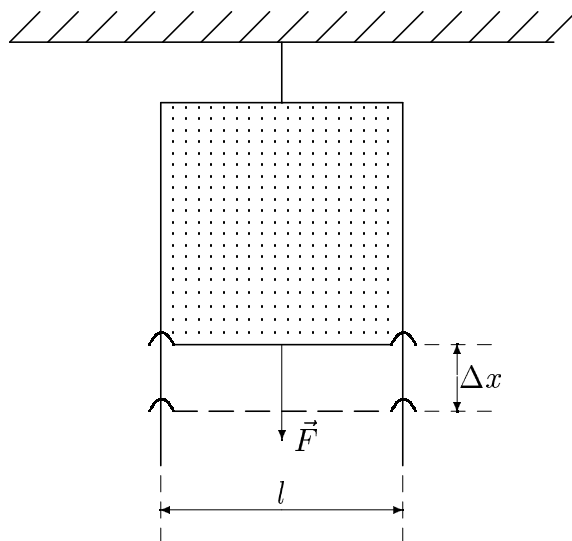


Obr. 1

Napjaté pružné bláně také samozřejmě přísluší určitá energie (podobně jako například napjaté pružině — prodloužené o délku  $\Delta x$  — přísluší pružná energie  $\frac{1}{2}k\Delta x^2$ , kde  $k$  je tuhost pružiny).

Uvažujte o následujícím pokusu: v obdélníkovém drátěném rámečku, jehož jedna strana se může volně (bez tření) pohybovat, je vytvořena tenká kapalinová vrstva (např. z mýdlového roztoku) – viz obr. 2.

- Určete velikost síly  $\vec{F}$ , jíž musíme na pohyblivou stěnu rámečku působit, aby blána udržela svůj tvar. Jakou práci vykoná síla  $\vec{F}$ , posuneme-li tuto stranu o vzdálenost  $\Delta x$ ? Povrchové napětí kapaliny  $\sigma$  považujte za známé.
- Ukažte, že pružná energie povrchové blány vztahovaná na jednotku plochy je číselně rovna povrchovému napětí  $\sigma$  [ $\text{Jm}^{-2}$ ].



Obr. 2

Následující myšlenkový pokus není realistický, umožňuje však získat představu o typických hodnotách pružné energie povrchové vrstvy kapaliny v běžných situacích.

- Určete, z jaké výšky by musela spadnout kapka vody o průměru  $d = 6 \text{ mm}$ , aby se v principu mohla rozpadnout na dvě stejně velké kapky? Změní se výsledek, budeme-li požadovat, aby objemy vzniklých kapek byly v poměru 1 : 2? Pokud ano, jak? Hodnotu povrchového napětí vody vyhledejte v tabulkách.

### ÚLOHA č.3 (6 bodů)

V popularizační literatuře se objevil nápad využít úvah o energii povrchové vrstvy kapaliny k odhadu velikosti molekul. Tento postup vychází z představy, že při vypaření kapalinového tělesa (o povrchu  $S$ ) dochází k jeho přeměně na jednotlivé molekuly, které lze považovat za elementární kapalinová tělíska, jejichž úhrnný povrch je podstatně větší.

- (a) Využijte této myšlenky k přibližnému vyjádření velikosti molekul kapaliny pomocí její hustoty  $\rho$ , povrchového napětí  $\sigma$  a měrného skupenského tepla vypařování  $l_v$ .
- (b) Číselný výpočet proveďte pro vodu. Potřebné hodnoty najděte v tabulkách.
- (c) Pokuste se kriticky posoudit předpoklady, z nichž postup vychází a na základě toho zhodnotit jeho kvalitu.

#### **ÚLOHA č.4** (7 bodů)

Nádobu — nejraději kovovou — o rozměrech většího hrnku naplňte vodou a postavte ji tak, aby její okraj byl co nejpřesněji vodorovný. Vodu opatrně doplňujte až po okraj a sledujte tvar hladiny. (Čím je vyklenutí hladiny větší, tím opatrněji je třeba si počínat. Lze použít injekční stříkačku s hadičkou, jejíž konec je ponořen až ke dnu. Při doplňování vody se tak nejlépe udržuje stabilita hladiny. Hadičkou se ovšem nesmí hýbat; doporučujeme pracovat s pomocníkem.)

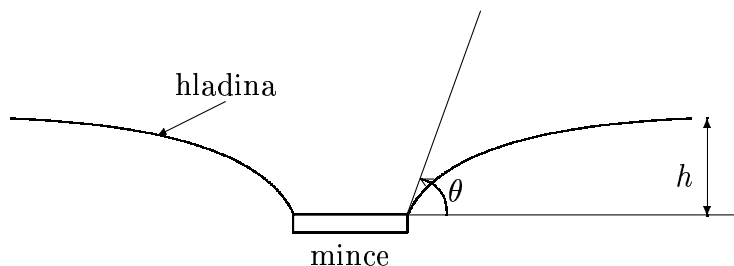
- (a) Pomocí dvou průsvitných pravítek s dobře čitelnou stupnicí umístěných před a za nádobou „zaměřte“ hladinu a zjistěte její maximální dosažitelné převýšení nad okraj nádoby. Sledujte a zakreslete při tom tvar hladiny v bezprostřední blízkosti okraje nádoby.
- (b) Posuďte fyzikální správnost i formulační přesnost následujícího tvrzení, které bylo otištěno v populárním článku o povrchovém napětí v příloze „Akademie“ Lidových novin ze dne 19. 12. 1997:  
*„Váha vody v čepičce vyvolává na úrovni okraje sklenice tlak úměrný výšce čepičky. Překoná-li při postupném dolévání tento tlak jistou kritickou hodnotu, povrchová blána kapaliny se u okraje čepičky protrhne. Z čepičky se vylije právě tolik vody, aby se obnovila rovnováha. Výška čepičky se tímto způsobem sama ustaví na své maximální hodnotě.“*
- (c) Přesný výpočet tvaru hladiny vody v okolí plovoucí mince či tvaru hladiny přesahující okraj nádoby je, jak už jsme konstatovali na str. 1, příliš obtížný. Hodnoty některých parametrů charakterizujících tvar hladiny lze však určit na základě jednoduchých fyzikálních úvah.

Uvažujte o plovoucí dvacetihaléřové minci z úlohy 1(e).

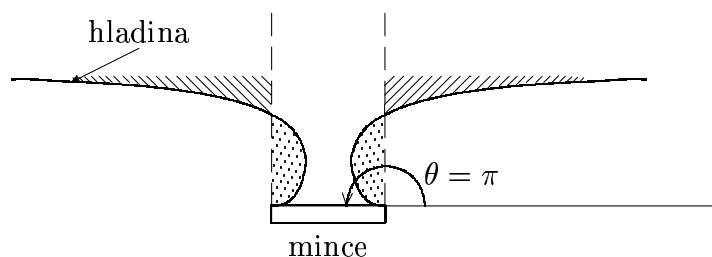
- Vyjmenujte všechny síly, které na minci působí.
- Uvažujte o síle  $\vec{F}_p$ , již působí kapalina na okraj mince díky existenci povrchového napětí. Rozhodněte, zda její směr závisí na úhlu  $\theta$ , který svírá hladina kapaliny v místě styku s okrajem mince s vodorovnou rovinou (viz obr. 3a), a určete jej.
- Najděte závislost velikosti  $F_p$  této síly na povrchovém napětí  $\sigma$  a úhlu  $\theta$ . Porovnejte hodnoty  $F_p$  pro  $\theta = \frac{\pi}{2}$  a  $\theta = \pi$ .
- Vyjádřete i ostatní síly působící na minci a запиšte podmínku pro to, aby mince v klidu spočívala na hladině. Ponor mince pod úroveň hladiny ve velké vzdálenosti od mince označte  $h$ , obsah podstavy mince  $S$ , tloušťku mince  $t$ , hustotu materiálu mince  $\rho$ , vody  $\rho_0$ , atmosférický tlak  $p_a$ .

Poznámka: Nezalekněte se skutečnosti, že v bodech hladiny se tlak mění skokem. Rozvažte, jak asi vypadají plochy (v řezu křivky) spojující místa stejného tlaku v kapalině.

- Pro případ  $\theta = \pi$  určete poměr objemů  $V_1/V_2$ , kde  $V_1$ , resp.  $V_2$ , je objem kapaliny vyznačený v řezu znázorněném na obr. 3b šrafováním, resp. tečkováním.



Obr. 3a



Obr. 3b

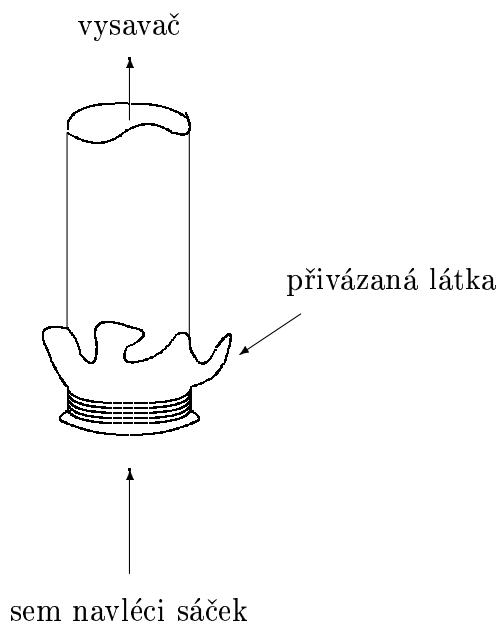
### ÚLOHA č.5 – prémiová

Moderní technologie umožnily výrobu tkanin s velmi zajímavými vlastnostmi: jde o látky, které nepropouští kapaliny — jsou *nepromokavé* a přitom propouští plyny — jsou *prodyšné*. (U konkrétních komerčních materiálů se ovšem stupeň těchto vlastností v širokém rozsahu liší a navíc závisí i na druhu (ne)propouštěného média a jeho znečištění.)

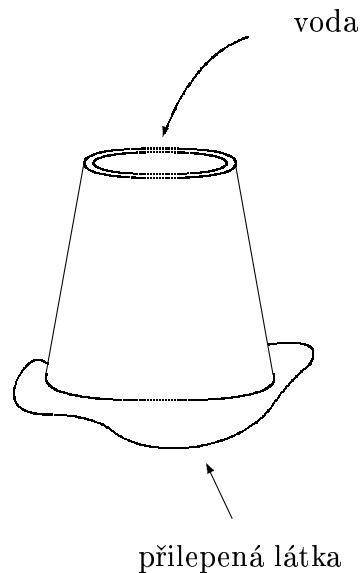
- Vysvětlete, na jakém principu mohou být tyto látky založeny, tj. pokuste se na základě uvedených informací odhadnout, jakou mají strukturu a jaké fyzikální vlastnosti asi mají vlákna, z nichž jsou zhotoveny.
- Představte si, že jste dostali od výrobce textilu za úkol vyvinout tkaninu, která by současně vyhověla — zdánlivě protichůdným — požadavkům nepromokavosti a prodyšnosti.  
(Úlohu řešte z fyzikálního hlediska, praktické otázky, jako jsou případné výrobní problémy, krejčovské vlastnosti, cena apod., ponechte stranou.)
- Materiálů uvedených vlastností existuje celá řada. (V prodejnách textilu lze občas koupit tkaninu Porotex.) Příkladáme ústřížek látky TEFLON HT<sup>1</sup>, který sice není špičkovým materiálem tohoto druhu, lze s ním však snadno provést jednoduché experimenty, jimiž lze současnou existenci popsanych vlastností ověřit.

<sup>1</sup>Autoři zadání považují za svoji milou povinnost poděkovat pracovníkům firmy Pasko Brno, jejichž zájem a laskavost umožnily realizaci této části úlohy.

Pomůcky: malý kelímek od jogurtu, lepidlo Butacel, vysavač s pružnou hadicí a trubkovým nástavcem, igelitový pytlík známého objemu (asi 5 litrů), guma (např. modelářská nebo prádlová), motouz, lepicí páska, saponát (např. Jar).



Obr. 4a



Obr. 4b

- Ověřte prodyšnost přiložené látky. Ústřížek tkaniny přetáhněte — rubem ven — přes ústí trubkového nástavce vysavače (pozor na poškození tkaniny) a důkladně přivažte několikerým omotáním gumou (viz obr. 4a). Druhý konec trubky spojte se sacím otvorem vysavače. Sáček nafoukněte na zhruba známý objem a zavažte na mašličku dost daleko od kraje. Volný okraj sáčku pak navlečte na konec trubky s tkaninou, vzduchotěsně připevněte a poté mašličku rozvažte. Spusťte vysavač a změřte, za jak dlouho vysaje vzduch z pytlíku. Nepřiměřeně dlouhou či krátkou dobu sání můžete upravit použitím pytlíku s vhodnějším objemem. (Přesný návod nelze poskytnout vzhledem k rozptýlu sacích podtlaků různých vysavačů.) V návodu vysavače vyhledejte údaj o sacím podtlaku, zjistěte plochu tkaniny a z těchto údajů určete přibližně prodyšnost látky i kvantitativně.
- Ověřte nepropustnost přiložené látky. Rozprostřete na stole ústřížek tkaniny rubem dolů. Do dna kelímku od jogurtu vyřízněte díru, horní okraj kelímku dobře očistěte od zbytků víčka a jogurtu (nejlépe na hrubším skelném plátně). Na takto upravený okraj naneste rovnoměrně silnou vrstvu lepidla a ihned přiložte na tkaninu (viz obr. 4b). Kelímek mírně zatěžte a nechte asi dvě hodiny schnout. Po zaschnutí lepidla (membrána by měla spolehlivě těsnit) nalijte opatrně otvorem ve dně kelímku vodu asi tak do poloviny jeho výšky. Ponechte kelímek ve vertikální poloze a v jednom místě potřete tkaninu saponátem. Pozorujte a popište děj, který bude následovat, a fyzikálně jej vysvětlete.