

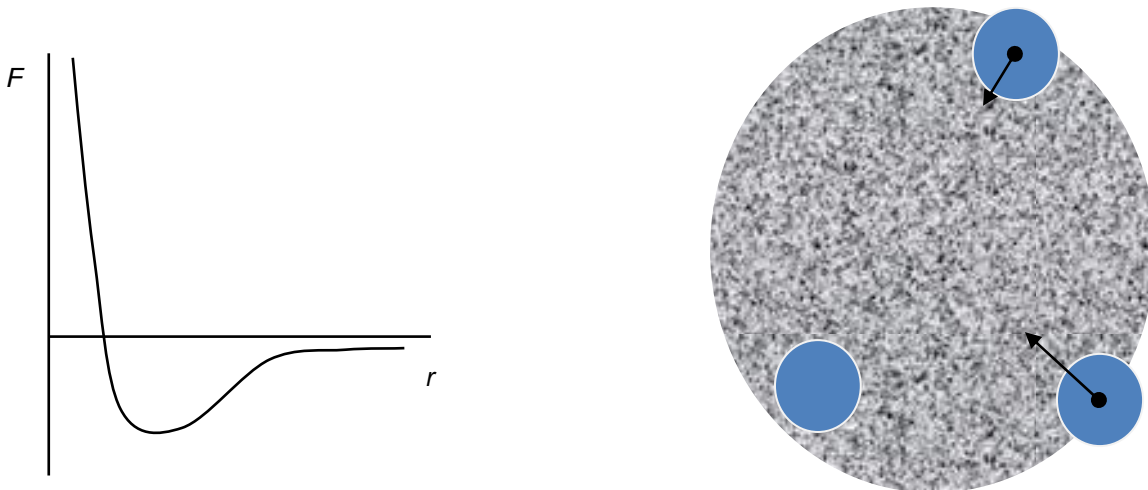
# STRUKTURA A VLASTNOSTI KAPALIN

## 1. Povrchové napětí

### a) Fyzikální jev

Povrch kapalin se chová jako napjatá pružná membrána (důkaz – vodoměrka, malé kapičky – koule)

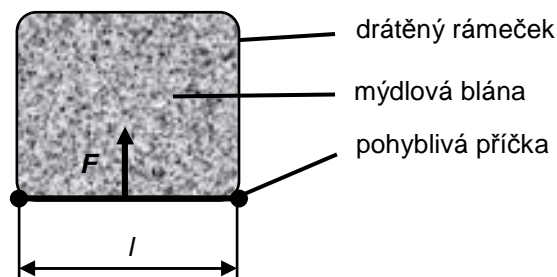
Vysvětlení:



Sféra molekulového působení  $\approx 10r_0 \approx 1 \text{ nm}$ , okolo 300 molekul

Výsledná síla působící na molekulu není nulová když „koule“ není vyplněna stejnými molekulami  $\Rightarrow$  molekuly blízko povrchu jsou přitahovány dovnitř kapaliny (výslednice má odlišnou velikost pro různou vzdálenost od povrchu).

### b) Fyzikální veličina ( $\sigma$ , v AJ $\gamma$ )



$$l \uparrow \Rightarrow F \uparrow \Rightarrow \frac{F}{l} = \text{konst.} \approx \text{druh kapaliny}$$

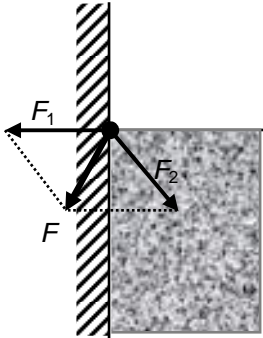
$$\sigma = \frac{F}{l}$$

$$[\sigma] = \text{N} \cdot \text{m}^{-1}$$

- vlastnost materiálu – v tabulkách, velká hodnota pro rtuť (- vzduch)
- ovlivněna teplotou (proč – jak?)
- přidáním saponátu do vody se sníží povrchové napětí – použití. Vysvětlí.

## 2. Zakřivení povrchu kapaliny v blízkosti stěny nádoby

Hladina kapaliny je kolmá k výslednici sil působící na jednotlivé molekuly (proč?)



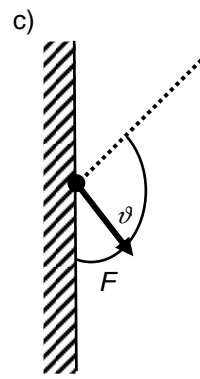
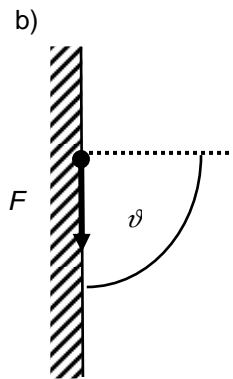
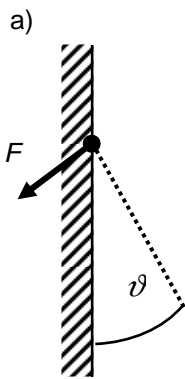
$F_1$  ... přitažlivá síla způsobená částicemi stěny nádoby

$F_2$ ... přitažlivá síla způsobená částicemi kapaliny v nádobě

přitažlivá síla molekul vzduchu a tíhová síla jsou zanedbatelné vzhledem k dvěma předchozím (jaké by byly jejich směry?)

Načrtni tvar povrchu kapaliny blízko stěny nádoby podle uvedené teorie

$\vartheta$  ... stykový úhel – mezi .....



$$0 < \vartheta < 90^{\circ}$$

voda ve skle

rtuť v měděné nádobě

$$\vartheta = 90^{\circ}$$

$$90^{\circ} < \vartheta < 180^{\circ}$$

rtuť ve skle

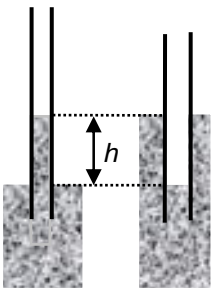
Dokonči obrázky – doplň hladinu kapaliny!

### 3. Kapilární jevy

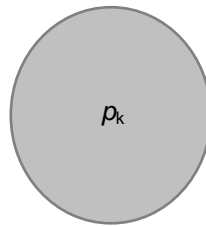
Povrchové napětí + odlišný stykový úhel + úzká kapilára (relativně více molekul v kontaktu s nádobou)  $\Rightarrow$  kapalina uvnitř vystoupá (kapilární elevace) / klesne (kapilární deprese).



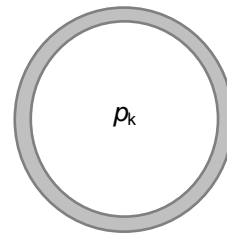
- rovnice



$$h\rho g = \frac{2\sigma}{R}$$



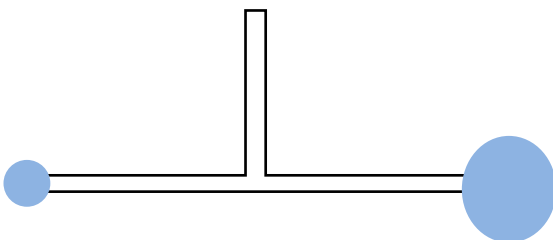
$$p_k = \frac{2\sigma}{R}$$



$$p_k = \frac{4\sigma}{R}$$

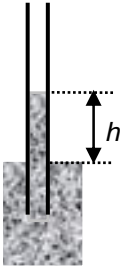
$R$  ... poloměr kapiláry, kapky, bubliny

Experiment: Odhadni, která z bublin na koncích trubičky zanikne. Srovnej s experimentem. Proved' diskusi.



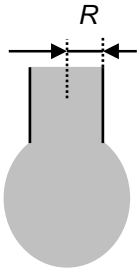
#### 4. Měření povrchového napětí

- pomocí zvýšení hladiny v kapiláře při kapilární elevaci



$$h\rho g = \frac{2\sigma}{R} \Rightarrow \sigma = \frac{h\rho g R}{2}$$

- kapková metoda



kapka odpadne, právě když její tíha lehce překročí povrchovou sílu držící ji pohromadě.

$$mg = \sigma l$$

$$mg = \sigma 2\pi R \Rightarrow \sigma = \frac{mg}{2\pi R}$$

Tato metoda může být vylepšena použitím dvou kapalin – jedné o známém povrchovém napětí – a téže kapiláry. Co je výhodou této metody?

$$m_1 g = \sigma_1 2\pi R$$

$$m_2 g = \sigma_2 2\pi R$$

vydělíme-li rovnice:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2} \quad \text{přesnější pro např. 50 kapek každé kapaliny}$$

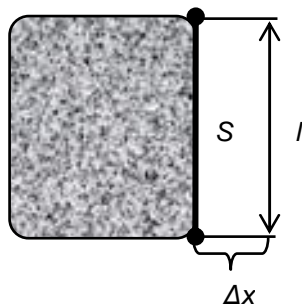
$$\frac{50m_1}{50m_2} = \frac{M_1}{M_2} = \frac{\sigma_1}{\sigma_2}$$

Měření: 1 ... voda,  $\sigma_1 = 72 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$ ,  $50m_1 =$

2 ... etanol,  $\sigma_2 = ?$ ,  $50m_2 =$

## 5. Povrchová energie

Povrchové vrstvě přiřazujeme energii, kterou nazýváme povrchová energie. Je jednou ze složek vnitřní energie kapaliny.  
= energie potřebná k vytvoření jednotkové plochy nového povrchu (zvětšení povrchu o  $1 \text{ m}^2$ )



$$\text{Plošná hustota povrchové energie} = \frac{\Delta W}{\Delta S} = \frac{F \Delta x}{2l \Delta x} = \frac{\sigma 2l \Delta x}{2l \Delta x} = \sigma$$

$$[\sigma] = \text{J} \cdot \text{m}^{-2} (= \text{N} \cdot \text{m} \cdot \text{m}^{-2} = \text{N} \cdot \text{m}^{-1} = [\sigma])$$

Povrchové napětí se shoduje s plošnou hustotou povrchové energie nejen rozměrem jednotky, ale i číselně. Označuje se také jako kapilární konstanta.

L3/133-135a, b, xc, 138, 141-5

### Příklady:

1. Zápalka délky 4,4 cm plave na hladině vody. Nalijeme-li opatrně trochu mýdlového roztoku na jednu stranu hladiny rozdělené zápalkou, začne se zápalka pohybovat směrem od roztoku k čisté vodě. Určete sílu (včetně směru) působící na zápalku.

$$\sigma_{\text{voda}} = 73 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\sigma_{\text{mýdlo}} = 40 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

2. Kapalina vytéká z nádoby úzkou kapilárou o poloměru 0,8 mm. Za jednu sekundu odpadne jedna kapka. Jak dlouho bude trvat, než z nádoby vyteče kapalina o hmotnosti 25 g?

$$\sigma = 22 \cdot 10^{-3} \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$g = 9.81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

3. Určete tlak vzduchu v kulové bublině o průměru  $10^{-3}$  mm v hloubce 80 cm pod hladinou vody. Atmosférický tlak vzduchu je 1000 hPa.

$$\sigma = 73 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$\rho_{\text{voda}} = 10^3 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$g = 10 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

4. Určete hmotnost vody, která vystoupí v kapiláře o vnitřním průměru 0,7 mm v důsledku kapilární elevace. Předpokládejte, že voda dokonale smáčí stěny kapiláry. Stykový úhel  $\vartheta = 0^\circ$ .

$$\sigma = 73 \text{ mN} \cdot \text{m}^{-1}$$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

5. Kapilára o průměru 1 mm byla svisle ponořena do nádoby s kapalinou. Kapalina vystoupila do výšky 1,1 cm nad volný povrch kapaliny v nádobě. Do jaké výšky vystoupí stejná kapalina, jestliže do ní ponoříme kapiláru o průměru 1,5 mm? Předpokládejte, že kapalina dokonale smáčí stěny kapiláry.

6. Dvě skleněné kapiláry o poloměrech 1 mm a 1,5 mm ponoříme svisle do etanolu. Vypočtete  $\sigma$ , jestliže rozdíl výšek hladin je v důsledku kapilární elevace 1,9 mm.

$$\rho = 789 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$$

$$g = 9,81 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$$

## 6. Objemová roztažnost

$\beta$  ... součinitel objemové roztažnosti

$$\beta = \frac{\Delta V}{V_0 \Delta t} \quad \{\beta\} = \{\Delta V\} \Leftrightarrow V_0 = 1 \text{ m}^3 \wedge \Delta t = 1 \text{ K}$$

$$[\beta] = \text{K}^{-1}$$

	voda	etanol	glycerol
$\frac{\beta}{10^{-5} \text{K}^{-1}}$	18	110	50

L3/147-149, 151-153

### Výsledky:

1. 1,45 mN
2. 36 min 58 s
3. 400 kPa
4. 16 mg
5. 0,73 cm
6. 22 mN·m<sup>-1</sup>