

# 1. Molekulová stavba kapalin

## 1.1 Vznik kapaliny kondenzací

### Plyn

Vyjdeme z plynu. Plyn je soustava molekul pohybujících se neuspořádaně všemi směry. Pohybová energie molekul převládá nad energií polohovou. Každá molekula má jinou rychlost, a proto je obraz pohybové energie dosti složitý.

### Vznik kapaliny

V plynu existuje určité rozdělení rychlostí molekul. Vyskytují se oblasti, v nichž je pohybová energie molekul nižší než střední pohybová energie – **označujeme fluktuace pohybové energie v plynu**.

Začneme snižovat teplotu plynu do doby, kdy platí: střední pohybová energie dvou blízkých molekul je srovnatelná s jejich polohovou energií – **plyn má teplotu blízkou kapalnění**.

V určitých oblastech, které označíme jako **flukтуаční** má plyn i teplotu nižší a projevuje se polohová energie molekulových sil. V těchto oblastech se molekuly začnou spojovat v soudržné celky a to tímto způsobem:

molekuly se spojí po dvou. Vytvoří molekulové dvojčce, ve kterém kmitají. K nim se přidávají další molekuly a vzniká malá kapka.

Shlukování molekul nazýváme **kondenzací**. Místo kde ke kondenzaci dochází označíme jako **kondenzační jádro**. Tím nám vzniká kapalina.

Co vznik kapaliny urychlí?

Tvorbu kondenzačních jader urychlíme, bude-li v plynu přítomný prach či ionty plynu. Případně pokud nastane adiabatické rozpětí plynu nad kapalinou, páry se ochladí a pozorujeme mlhu.

## 1.2 Kapka a povrchová energie

Nejprve budeme zkoumat kapku. Kapka se rozpadne či rozteče, je-li tak velká, že tíhová síla působící na její části je větší než její přitažlivé molekulové síly.

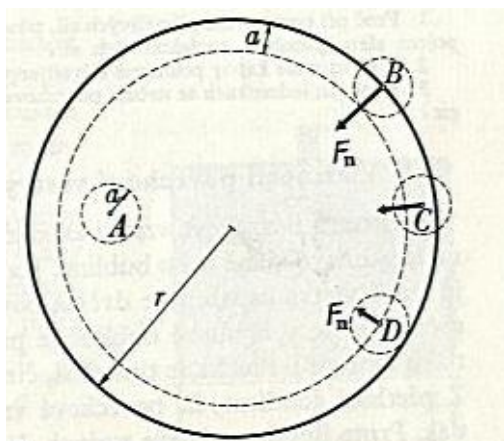
Jak to vypadá v beztlížném stavu (např. vesmír)?

Existují tam libovolně velké kapky a mají vždy tvar koule. Tzn. jedná se o tvar, kdy kapka má nejmenší povrch při daném objemu.



Na prvním obrázku vidíme tvar kapky v našich podmínkách. Má přibližný tvar koule. Na druhém obrázku vidíme kapku zdeformovanou a to díky použití sklíčka. Kapka zvětšuje svůj povrch, ale objem je stejný. Odstraníme-li sklíčko, tak se kapka vrátí do povodního tvaru.

## Vysvětlení pružnosti kapky



Aby vznikla soudržná soustava molekul, musí mezi molekulami působit přitažlivé síly. Představme si středový průřez kapkou o poloměru  $r$ . Molekulové síly působí na vzdálenost  $a$ . Vymezíme okolo zvolené vnitřní molekuly A sféru působení molekulových sil. Molekuly jsou okolo A rovnoměrně rozloženy. Molekula A je přitahována ze všech stran stejně a výslednice sil je nulová. Na přemístění vnitřní molekuly tedy není třeba žádná vnější síla. Molekula je ve volném rovnovážném stavu.

Vytvoříme u povrchu molekulu B. Síly působí jen na půlku a kapky. Výslednice molekulových sil působících na molekulu není nulová. Výslednice sil

působí do středu kapky.

Uvažujeme-li povrchovou vrstvu tloušťky  $a$ , platí: síla působící na molekuly blízko pod povrchem je poněkud menší (platí pro molekuly C a D). Tloušťka povrchové vrstvy je  $10^{-9}$  m. chceme-li posunout molekuly C, D směrem k povrchu musíme působit silou opačnou proti původní síle. Tím vykonáme práci a molekuly nabudou větší polohové energie.

Hustota polohové energie molekul v povrchové vrstvě se nazývá **povrchová energie**.

Jednotka je  $J \cdot m^{-2}$

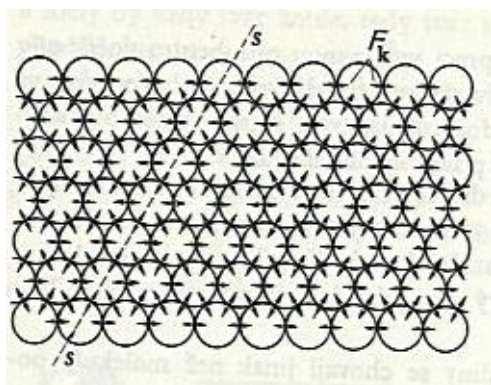
Při stlačování kapky se prací vykonanou působením vnější síly se kapka deformovala a zvětšila se její povrchová energie. **Po uvolnění se kapka vrátí do rovnovážného stavu s nejmenší povrchovou energií.**

Co se stane, když se dvě kapky dotknou?

Dotknou-li se navzájem dvě malé kapky spojí se v jednu větší, protože povrchová energie nové kapky je menší než součet povrchových energií jednotlivých kapek.

**Závěr:**

Kapalina zaujímá v rovnovážném stavu vždy takový tvar, aby její povrchová energie byla co nejmenší.



### 1.2.1 Povrchové napětí

Budeme zkoumat povrch kapaliny. Vybereme spolu sousedící molekuly, ležící na čáře  $s$ . I na povrchu působí mezi molekulami síly, které jsou vzhledem k povrchu kapaliny silami tečnými. Má-li vybraná řada molekul sousedící molekuly po obou stranách, tečné síly mají výslednici sil nulovou. Síla, která síla působí kolmo k řadě molekul na jednotku délky, určuje **povrchové napětí kapaliny**  $\sigma$ .

Vztah pro povrchové napětí:  $\sigma = \frac{F}{l}$       Jednotka:

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

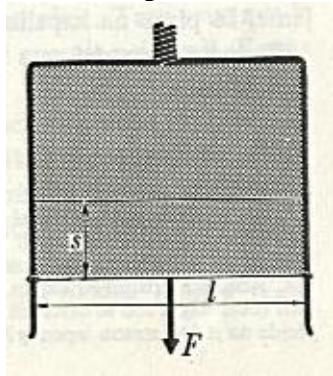
Na čem závisí povrchové napětí?

Na druhu kapaliny, na prostředí nad povrchem. S rostoucí teplotou povrchové napětí klesá.

**Závěr:**

Povrchové napětí se projeví na styku kapaliny s plynem či s jinou kapalinou nebo i s látkou pevnou.

## Odvození povrchového napětí



Chceme-li zvětšit povrch kulové plochy o  $\Delta S$ , posune se silou  $F$  okraj blány o délku  $\Delta s$ . Z toho vyplývá, že změna práce je následující:  $\Delta W = F \cdot \Delta s$ .

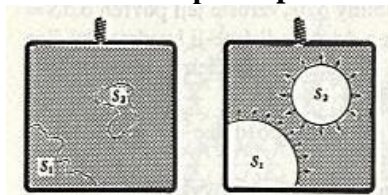
Za  $F$  dosadíme:  $F = \sigma \cdot l$  a dostaneme vztah:  $\Delta W = \sigma \cdot l \cdot \Delta s$ . To můžeme v konečném důsledku upravit do vztahu  $\Delta W = \sigma \cdot \Delta S$ .

$\Delta S$  - značí přírůstek plochy blány.

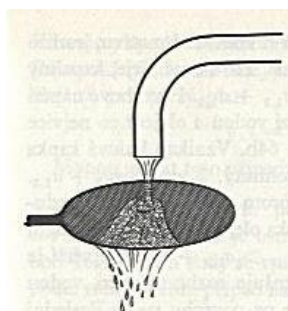
Tato práce zvětšuje energii blány o  $\Delta E$  a můžeme psát:  $\Delta E = \sigma \cdot \Delta S$

Z toho je povrchové napětí  $\sigma = \frac{\Delta E}{\Delta S}$ .

## Povrchové napětí v praxi:



1. Vytvoříme mydlinovou blánu na pevném rámečku a položíme na ni uzavřenou smyčku z tenké nití. Když propíchneme blánu uvnitř smyčky, povrchovým napětím se nit napne do kroužku.



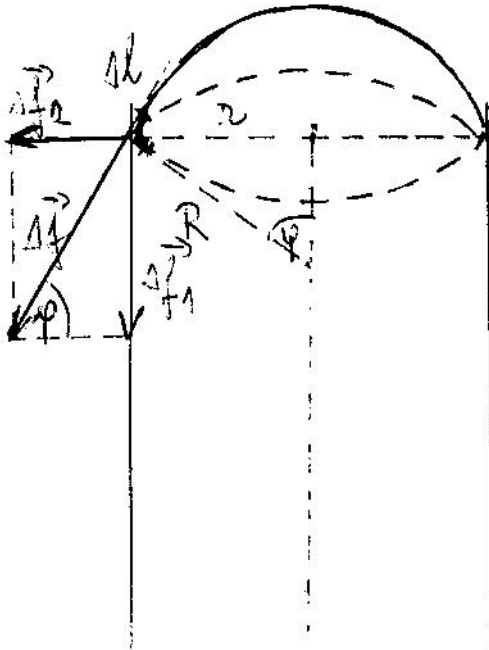
2. Slabý proud vody mydlinovou blánu v sítku neprotrhne. Platí to potud, pokud se molekuly blanky nárazem proudící vody nevzdálí vzájemně více, než je poloměr sféry molekulového působení.

3. Položíme-li jehlu nebo žiletku na povrch kapaliny, pozorujeme, že plave na kapalině a povrchová vrstva se pod ní prohne. Povrchové napětí se s rostoucí teplotou zmenšuje. Při kritické teplotě mizí.

## 1.3 Vlastnosti povrchové vrstvy kapaliny

Povrchová blána kapaliny se podobá napjaté pružné bláně. Snaží se nabýt tvaru rovny plochy. Vypnutá blána se snaží narovnat a působí tlakem na vrstvy ležící níže. Každá zakřivená povrchová vrstva působí na kapalinu přidavným tlakem, který se přičítá k tlaku, jenž by působil na tutéž kapalinu s rovinným povrchem. Je-li povrch vypuklý je přidavný tlak kladný, je-li vydutý pak je tlak záporný. Tlak označujeme jako **kapilární tlak**.

## Odvození kapilárního tlaku



Kapilární tlak se vypočítá  $p = \frac{F}{S}$ .

Musíme nejprve určit sílu F.

Síly povrchového napětí jsou tečny k povrchu. Celková síla F se vypočítá:

$F = \sum \Delta f_1$ . Určíme  $\Delta f_1$  a to takto:

$\sin \varphi = \frac{\Delta f_1}{\Delta f}$ .  $\Delta f_1$  je  $\Delta f_1 = \Delta f \cdot \sin \varphi$ .

Výsledný vztah dosadíme do celkové síly F:  $F = \sum \Delta f \cdot \sin \varphi$ .

Na část obvodu  $\Delta l$  působí síla  $\Delta f$ .

Výpočet  $\Delta f$  je:  $\Delta f = \sigma \cdot \Delta l$ .

Celková síla F bude mít tvar:

$F = \sum \sigma \cdot \Delta l \cdot \sin \varphi = \sigma \cdot \sin \varphi \cdot \sum \Delta l$ .

Určíme si  $\sin \varphi$  a to:  $\sin \varphi = \frac{r}{R}$ . Dále

určíme  $\sum \Delta l$ :  $\sum \Delta l = 2 \cdot \pi \cdot r$  (obvod kruhu) a oboje dosadíme do vztahu pro

sílu:  $F = \frac{\sigma \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2}{R}$ .

$\frac{\sigma \cdot 2 \cdot \pi \cdot r^2}{R}$

**Výpočet kapilárního tlaku:**  $p = \frac{F}{S}$ . Do vztahu dosadíme:  $p = \frac{R}{\pi \cdot r^2} = \frac{2 \cdot \sigma}{R}$

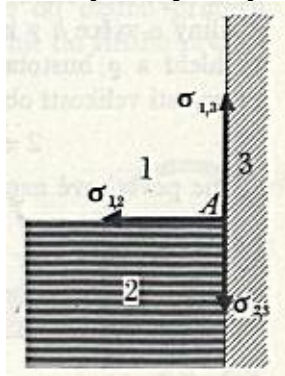
běžně se  $R=r$ .

**Pro povrch válce je kapilární tlak:**  $p = \frac{\sigma}{R}$ .

**Pro libovolně zakřivený povrch:**  $p = \sigma \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$ ,  $R_1, R_2$  – poloměry normálních řezů na sebe kolmých.

**Kapilární tlak pro bublinu:**  $p = \frac{4 \cdot \sigma}{R}$ .

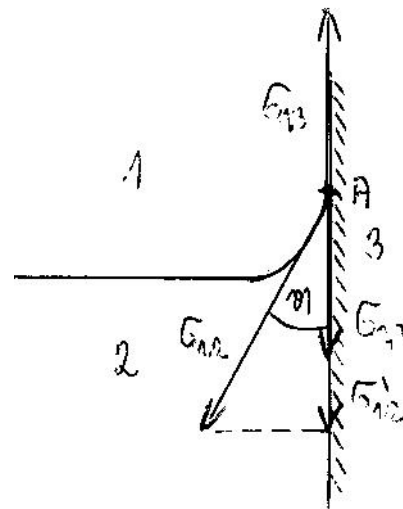
### 1.4 Styk kapaliny a tuhé látky



Stýká-li se kapalina s povrchem pevného tělesa a se vzduchem, stýkají v bodě A tři prostředí:

1 – vzduch, 2 – voda, 3 – stěna nádoby.

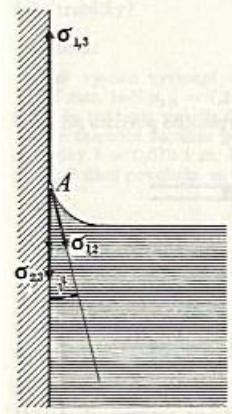
Povrchová napětí na jednotlivých rozhraních označíme  $\sigma_{1,2}$  - vzduch, voda;  $\sigma_{2,3}$  - voda, stěna;



$\sigma_{1,3}$  - stěna, vzduch.

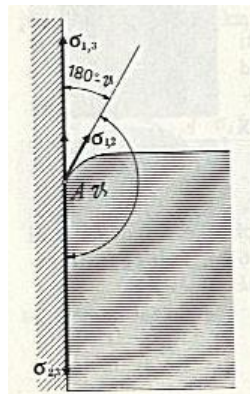
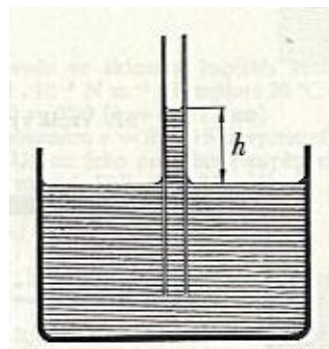
Deformovat se může jen rozhraní voda, vzduch. Rovnovážný stav nastane, jestliže vektor  $\sigma_{1,2}$  svírá s vektorem  $\sigma_{2,3}$  úhel  $\vartheta$  a bude platit:  $\sigma_{1,3} = \sigma_{2,3} + \sigma_{1,2} \cdot \cos \vartheta$ .

### Nastanou dva případy:



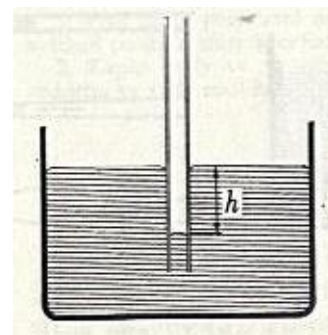
1)  $\sigma_{1,3} > \sigma_{2,3}$  - pak platí  $\cos \vartheta > 0$  - úhel je ostrý, jak ukazuje obrázek. Povrch vody se vyduje a vystoupí podél stěny. Tento případ nastává při styku vody se sklem a se vzduchem.

Ve vlasové trubičce (kapiláře) se povrch vody zvýší – kapilární elevace.



2)  $\sigma_{1,3} < \sigma_{2,3}$  - úhel je tupý. Tento případ nastává při styku rtuti se sklem a se vzduchem. Povrch kapaliny je při stěně vypuklý a snížený.

Ve vlasové kapiláře se povrch sníží – **kapilární deprese**. Tvar povrchu kapaliny v kapiláře – meniskus.



Je-li v kapiláře o vnitřním poloměru  $r$  povrch zvýšen (nebo snížen) proti povrchu ve vnější nádobě o výšku  $h$  a  $R$  je poloměr kapaliny v kapiláře, působí zde dva tlaky: tlak hydrostatický

$$p_1 = h \cdot \rho \cdot g \text{ a tlak kapilární } p_2 = \frac{2 \cdot \sigma_{1,2}}{R}. \text{ Oba tlaky se rovnají: } h \cdot \rho \cdot g = \frac{2 \cdot \sigma_{1,2}}{R}$$

$$\text{Určíme } h \text{ (rozdíl hladin v kapiláře a nádobě): } h = \frac{2 \cdot \sigma_{1,2}}{g \cdot \rho \cdot R}$$

Pro běžné výpočty se  $R=r$ .

### Praktické použití:

Vlhnutím stěn v domech souvisí s kapilární elevací. Výstup vody kořenovými kapilárami a kmenem stromu není možno vysvětlit jenom kapilárními jevy. Ve vodorovné kapiláře o

stálém průřezu se kapka nepohybuje. V kapiláře, jež se k jednomu konci zužuje se kapka kapaliny, jež jeví elevaci, pohybuje do užšího průřezu, kapka z kapaliny, jež jeví depresi, se pohybuje do širšího průřezu.

Proč se půda okopává? Jinak voda vyvztlíná a odpaří se.

Proč se půda stlačuje? Tím v půdě vytváříme kapiláry a voda se dostane k semenům.

### 1.5 Pára sytá a přehřátá

Máme kapalinu v uzavřené nádobě. Při chaotickém pohybu molekul rychlost některých směřuje k povrchu kapaliny. Práce některých z nich stačí k jejich úniku ze silového pole zbylých molekul, a proto tyto molekuly vyletují z kapaliny a stávají se molekulami páry. Srážky s jinými molekulami a se stěnami nádoby způsobí, že se některé vracejí zpět do kapaliny.

Při konstantní teplotě vznikne mezi kapalinou a párou v uzavřeném prostoru nad kapalinou termodynamická rovnováha. Páru nad kapalinou označíme jako **sytá pára**.

Díky tomu je hustota syté páry za dané teploty stejná. Při zvětšení objemu nebo teploty se rovnováha poruší a další molekuly se mění v páru až do ustanovení nové rovnováhy. Nejvyšší teplotu, při které ještě existuje termodynamická rovnováha,

nazýváme kritická teplota a po jejím překročení jsou v uzavřené nádobě pouze páry přehřáté.

Pro sytou páru neplatí stavová rovnice.

Páry, které nejsou v termodynamické rovnováze se svou kapalinou, se nazývají **páry přehřáté**. Za téže teploty je hustota a tlak menší než u sytých par. Jsou v otevřeném prostoru nad kapalinou, nebo v prostoru, kde není kapalina.

U kapaliny je za každé teploty při povrchu vrstva syté páry, z ní unikají molekuly dále do volného prostoru, kde tvoří páru přehřátou.

Sytá pára je přechodný stav mezi kapalinou a plynem.

Veškerý vývoj mezi kapalnou a plynnou látkou můžete pozorovat na spodním obrázku.

