| KATEDRA FYZIKY VŠB-TU OSTRAVA | | |
|---|---|---|
| Student | NÁZEV PRÁCE<br>**Měření povrchového napětí z kapilární elevace** | Číslo práce<br>5a |
| Skupina/Osob. číslo | | Datum |
| Spolupracoval | | Podpis studenta: |

## Cíle měření:

Změřit hodnoty povrchového napětí destilované vody a etanolu.

## Měřicí prostředky:

Skleněná nádoba s etanolem a kapilárami známých poloměrů (konkrétní hodnoty včetně odpovídajících nejistot jsou uvedeny na nástěnce), gumový nasávací balónek, teploměr (v místnosti), digitální výškoměr

## Kompendium teorie:

### Kapilární elevace a deprese

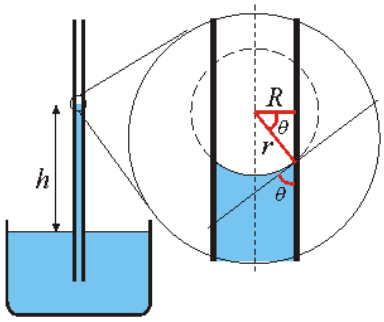
Hladina kapaliny v úzké trubici (kapiláře) není rovinná, její povrch se zakřivuje a tvoří tzv. meniskus, který je buď vydutý nebo vypuklý. Zároveň pozorujeme, že při vydutém menisku vystoupí hladina v kapiláře výše, než je okolní vodorovný povrch kapaliny. Tento jev se nazývá kapilární elevace (kapilarita znamená vzlínavost). Je-li naproti tomu vrchlík nahoru vypuklý, stojí kapalina v kapiláře níže, než je okolní vodorovná hladina a vzniká kapilární deprese.

Změny výšky hladiny v kapiláře jsou spojeny s existencí kapilárního tlaku, který vzniká díky zakřivení povrchu. Těsně pod vydutým povrchem je tlak menší než těsně pod rovinným povrchem kapaliny v okolí kapiláry, a to o kapilární tlak. Proto kapalina vystoupí v kapiláře do takové výšky, aby hydrostatický tlak odpovídající tomuto sloupci kapaliny vyrovnal rozdíl vnitřních tlaků. U kapilární deprese je tomu opačně. Těsně pod vypuklým povrchem v kapiláře je vnitřní tlak větší než těsně pod rovinným povrchem kapaliny v okolí kapiláry, a to o kapilární tlak. Proto kapalina klesne v kapiláře o takovou výšku, aby byl kapilární tlak kompenzován. Pro volný povrch kapaliny kulového tvaru je kapilární tlak $p_k$ dán vztahem

$$p_k = \frac{2\sigma}{r},$$

kde $r$ je poloměr zakřiveného povrchu v kapiláře a $\sigma$ je povrchové napětí kapaliny. V případě kapilární elevace vystoupí kapalina do takové výšky, aby hydrostatický tlak $p = h\,\rho\,g$ odpovídající sloupci kapaliny hustoty $\rho$ a výšky $h$ byl stejný jako kapilární tlak.

Pro poloměr kulové plochy dále platí $r = \frac{R}{\cos\vartheta}$, kde $R$ je poloměr kapiláry a $\vartheta$ krajový úhel (viz obrázek).




Z podmínky rovnováhy obou tlaků (hydrostatického a kapilárního) plyne vztah pro výpočet povrchového napětí vztah

$$\sigma = \frac{h\,\rho\,g\,R}{2\cos\vartheta}.$$

V případě smáčení skleněné stěny kapiláry vodou a etanolem je krajový úhel tak malý, že $\cos\vartheta = 1$. Například pro vodu ve skleněné nádobě je krajový úhel přibližně 8°.

## Pokyny k vlastnímu měření:

1. Změřte teplotu okolí. Uvedená hodnota bude považována za konstantní po celou dobu měření.
2. Umístěte výškoměr tak, aby při pohledu do dalekohledu procházela svislá osa nitkového kříže středem první kapiláry. Vodorovnou částí nitkového kříže zaměřte horní okraj zobrazované hladiny kapaliny v nádobě. Stiskem žlutého tlačítka ZERO/ABS výškoměr vynulujte.
3. Vodorovnou částí nitkového kříže zaměřte hladinu kapaliny v kapiláře a na displeji zobrazenou výšku *h* zapište.
4. Měření proveďte opakovaně desetkrát. Při každém opakování měření nejprve stiskněte gumový balónek a vložte kovovou koncovku do silikonového nástavce kapiláry. Nasajte pomalu kapalinu do kapiláry (MAXIMÁLNĚ ASI DO 2/3 VÝŠKY KAPILÁRY NAD HLADINOU, KAPALINA NESMÍ BÝT NASÁTA AŽ DO GUMOVÉHO BALÓNKU!!!), balónek odstraňte a kapalinu v kapiláře nechte volně klesnout.
5. V MFCH tabulkách najděte hustotu měřené kapaliny pro danou teplotu. Zjištěné hodnoty zapište do formuláře.
6. Do formuláře zapište odpovídající poloměr kapiláry *R*.
7. Vypočtěte hodnotu povrchového napětí $\bar{\sigma}$ jako

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

kde $\bar{h}$ je výběrový průměr získaný na základě opakovaného měření výšky hladiny kapaliny v kapiláře.

8. Postupem popsaným v bodech 2. až 7. proveďte měření také pro kapiláry (nádoby) 2, 3 a 4.
9. Vypočtěte pro každou kapiláru a kapalinu absolutní a relativní nejistotu nepřímého měření povrchového napětí a proveďte porovnání s hodnotou povrchového napětí pro danou teplotu a kapalinu uvedenou v MFCH tabulkách (pomocí relativní odchylky od tabulkové hodnoty v procentech).

**Formulář**

**TABULKA 1**

kapalina:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hustota [kg.m$^{-3}$] | $\rho$ = | | | | | | | | | | |
| poloměr kapiláry [mm] | $R$ = | | | | | | | | | | |
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | výběrový průměr |
| $h$ [mm] | | | | | | | | | | | |

**VÝPOČET HODNOTY POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ K TABULCE 1**

**VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ K TABULCE 1**

$u_R = u_{\mathrm{B}R} =$

$$u_{\mathrm{A}h} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{10}\left(\bar{h} - h_i\right)^2} =$$

$u_{\mathrm{B}h} =$

$$u_h = \sqrt{u_{\mathrm{A}h}^2 + u_{\mathrm{B}h}^2} =$$

$$u_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma}{\partial h}u_h\right)^2 + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial R}u_R\right)^2} =$$

$$u_{\mathrm{r}\sigma} = \frac{u_\sigma}{\sigma}\cdot 100\ \% =$$

**TABULKA 2**

kapalina:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hustota [kg.m$^{-3}$] | $\rho$ = | | | | | | | | | | |
| poloměr kapiláry [mm] | $R$ = | | | | | | | | | | |
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | výběrový průměr |
| $h$ [mm] | | | | | | | | | | | |

**VÝPOČET HODNOTY POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ K TABULCE 2**

**VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ K TABULCE 1**

$u_R = u_{\mathrm{B}R} =$

$$u_{\mathrm{A}h} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^{10} \left(\bar{h} - h_i\right)^2} =$$

$u_{\mathrm{B}h} =$

$$u_h = \sqrt{u_{\mathrm{A}h}^2 + u_{\mathrm{B}h}^2} =$$

$$u_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma}{\partial h} u_h\right)^2 + \left(\frac{\partial \sigma}{\partial R} u_R\right)^2} =$$

$$u_{\mathrm{r}\sigma} = \frac{u_\sigma}{\sigma} \cdot 100\ \% =$$

**TABULKA 3**

kapalina:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hustota [kg.m$^{-3}$] | $\rho$ = | | | | | | | | | | |
| poloměr kapiláry [mm] | $R$ = | | | | | | | | | | |
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | výběrový průměr |
| $h$ [mm] | | | | | | | | | | | |

**VÝPOČET HODNOTY POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ K TABULCE 3**

**VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ K TABULCE 3**

$u_R = u_{\mathrm{B}R} =$

$$u_{\mathrm{A}h} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{10}\left(\bar{h} - h_i\right)^2} =$$

$u_{\mathrm{B}h} =$

$$u_h = \sqrt{u_{\mathrm{A}h}^2 + u_{\mathrm{B}h}^2} =$$

$$u_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma}{\partial h}u_h\right)^2 + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial R}u_R\right)^2} =$$

$$u_{r\sigma} = \frac{u_\sigma}{\sigma}\cdot 100\ \% =$$

**TABULKA 4**

kapalina:

| | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| hustota [kg.m$^{-3}$] | $\rho$ = | | | | | | | | | | |
| poloměr kapiláry [mm] | $R$ = | | | | | | | | | | |
| $i$ | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | výběrový průměr |
| $h$ [mm] | | | | | | | | | | | |

**VÝPOČET HODNOTY POVRCHOVÉHO NAPĚTÍ K TABULCE 4**

**VÝPOČET NEJISTOTY MĚŘENÍ K TABULCE 1**

$u_R = u_{BR} =$

$$u_{Ah} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)}\sum_{i=1}^{10}\left(\bar{h} - h_i\right)^2} =$$

$u_{Bh} =$

$$u_h = \sqrt{u_{Ah}^2 + u_{Bh}^2} =$$

$$u_\sigma = \sqrt{\left(\frac{\partial\sigma}{\partial h}u_h\right)^2 + \left(\frac{\partial\sigma}{\partial R}u_R\right)^2} =$$

$$u_{r\sigma} = \frac{u_\sigma}{\sigma}\cdot 100\ \% =$$

## ZÁVĚR