



*Ćwiczenie Nr B11*

Temat: *Pomiar współczynnika napięcia powierzchniowego cieczy metodą rurek włoskowatych*

## 1. LITERATURA

- Praca zbiorowa, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, openstax, (<https://openstax.org/books/fizyka-dla-szk%C3%B3%C5%82-wy%C5%BCszych-tom-1/pages/1-wstep>)
- D. Halliday, R. Resnick, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN 1994
- Praca zbiorowa, Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki na Politechnice Szczecińskiej, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 1994-2003
- Praca zbiorowa, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 2007

## 2. PROBLEMY TEORETYCZNE

- Oddziaływanie międzycząsteczkowe (siły spójności i przylegania, ciśnienie wewnętrzne cieczy),
- Napięcie powierzchniowe (definicja współczynnika napięcia powierzchniowego).
- Przyleganie (kąt zetknięcia),
- Włoskowatość.
- Jak powstaje menisk wklęsły i wypukły.

## 3. ZAGADNIENIA DOŚWIADCZALNE

- Wyznaczyć średnice wewnętrzne rurek włoskowatych (mierząc wysokość wzniesienia wody w każdej rurce)

$$d = \frac{4\sigma}{\rho g \bar{h}}$$

- Wyznaczyć współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy badanej

$$\sigma_x = \frac{\rho_x \cdot g \cdot d \cdot \bar{h}_x}{4}$$



gdzie:  $\sigma$  - współczynnik napięcia powierzchniowego wody,  $\rho$  - gęstość wody,  $\bar{h}$  - średnia wartość wysokości wzniesienia wody w rurce włoskowatej;  $\sigma_x, \rho_x, \bar{h}_x$  - odpowiednie wielkości dla cieczy badanej.

#### 4. ZESTAW POMIAROWY

Rurki włoskowate, linijka z podziałką milimetrową, pompka, woda destylowana, ciecz badana.

#### 5. WYKONANIE ĆWICZENIA

1. Wlać do płaskiego, szklanego naczynka zabarwioną wodę destylowaną. Rurkę włoskową przepłukać wodą destylowaną. Oczyszczoną rurkę umieszczoną w statywie zanurzyć pionowo do wody, przy pomocy strzykawki usunąć (wydmuchać) pęcherzyki powietrza z rurki i odłączyć strzykawkę. Zmierzyć wysokość słupa wody  $h_w$  w rurce, mierząc od poziomu wody w naczynku do środka menisku.
2. Powtórzyć pomiar dziesięciokrotnie dla każdej rurki.
3. Wyniki pomiarów i obliczeń zapisać w tabeli 1:

Tabela 1.

Nr rurki	$h[mm]$										$\bar{h}[mm]$	$u(\bar{h})[mm]$	$d[mm]$	$u(d)[mm]$	
1															
2															
3															
4															

$$\Delta h = \dots\dots\dots$$

4. Wylać wodę destylowaną i do naczynka nalać badanej cieczy. Przemyć rurki. Czynności opisane w punktach 1 i 2 powtórzyć dla tej cieczy. Wyniki pomiarów zapisać w tabeli 2:

Tabela 2.

Nr rurki	$h_x[mm]$										$\bar{h}_x[mm]$	$u(\bar{h}_x)[mm]$	$\sigma_x \left[ \frac{N}{m} \right]$	$u(\sigma_x) \left[ \frac{N}{m} \right]$	
1															
2															
3															
4															

5. Wylać badaną ciecz i uporządkować stanowisko pomiarowe.



## 6. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

1. Dla każdej rurki i dla obu cieczy obliczyć wartość średnią wzniesienia włoskowatego  $\bar{h}$  (lub  $\bar{h}_x$ ) oraz niepewność pomiarową  $u_A(\bar{h})$ . Niepewność tę obliczamy jako

$$u(\bar{h}) = \sqrt{u_A^2(\bar{h}) + u_B^2(\bar{h})},$$

$$\text{gdzie } u_A(\bar{h}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (h_i - \bar{h})^2}{10 \cdot (10-1)}}; \quad u_B(\bar{h}) = \frac{\Delta h}{\sqrt{3}}$$

$\Delta h$  - niepewność maksymalna pomiaru wysokości słupka cieczy.

2. Korzystając z danych z tabeli 1 obliczyć średnicę każdej rurki ze wzoru:

$$d = \frac{4\sigma}{\rho g \bar{h}}$$

$$\text{Dla wody: } \rho = (1000 \pm 5) \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad \sigma = (72,6 \pm 0,2) \cdot 10^{-3} \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

3. Obliczyć niepewność wyznaczenia średnicy rurek korzystając ze wzoru:

$$u(d) = \sqrt{\left(\frac{\partial d}{\partial \sigma}\right)^2 \cdot u^2(\sigma) + \left(\frac{\partial d}{\partial \rho}\right)^2 \cdot u^2(\rho) + \left(\frac{\partial d}{\partial \bar{h}}\right)^2 \cdot u^2(\bar{h}) =}$$

$$= d \cdot \sqrt{\frac{u^2(\sigma)}{\sigma^2} + \frac{u^2(\rho)}{\rho^2} + \frac{u^2(\bar{h})}{\bar{h}^2}}$$

$$\text{i pamiętając, że } u(\rho) = \frac{\Delta \rho}{\sqrt{3}} \quad \text{i} \quad u(\sigma) = \frac{\Delta \sigma}{\sqrt{3}}$$

4. Obliczyć współczynnik napięcia powierzchniowego cieczy badanej (dla każdej rurki osobno) według wzoru :

$$\sigma_x = \frac{\rho_x \cdot g \cdot d \cdot \bar{h}_x}{4}$$

5. Badaną cieczą jest 92% wodny roztwór alkoholu etylowego. Znajdź gęstość  $\rho_a$  tego alkoholu w tablicach i oblicz gęstość  $\rho_x$  badanego roztworu :

$$\rho_x = 0,92\rho_a + 0,08\rho \quad (\rho - \text{gęstość wody})$$

6. Obliczyć niepewności wyznaczenia napięcia powierzchniowego dla każdej rurki korzystając ze wzoru:

$$u(\sigma_x) = \sqrt{\left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial \rho_x}\right)^2 \cdot u^2(\rho_x) + \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial d}\right)^2 \cdot u^2(d) + \left(\frac{\partial \sigma_x}{\partial \bar{h}_x}\right)^2 \cdot u^2(\bar{h}_x) =}$$

$$= \sigma_x \cdot \sqrt{\frac{u^2(\rho_x)}{\rho_x^2} + \frac{u^2(d)}{d^2} + \frac{u^2(\bar{h}_x)}{\bar{h}_x^2}}$$



$$u(\rho_x) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_x}{\partial \rho_a}\right)^2 \cdot u^2(\rho_a) + \left(\frac{\partial \rho_x}{\partial \rho}\right)^2 \cdot u^2(\rho)} = \\ = \sqrt{0,92 \cdot u^2(\rho_a) + 0,08 \cdot u^2(\rho)}$$

gdzie  $\rho_a$  - gęstość alkoholu;  $\rho$  - gęstość wody

7. Obliczyć wartość średnią  $\bar{\sigma}$  współczynnika napięcia powierzchniowego dla cieczy badanej z wartości wyliczonej dla 4 rurek oraz niepewność tej średniej:

$$\bar{\sigma} = \frac{\sum_{i=1}^4 \sigma_i}{4} \quad u(\bar{\sigma}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (\sigma_i - \bar{\sigma})^2}{4 \cdot (4-1)}}$$

Wynik końcowy przedstawić w postaci

$$\sigma = \bar{\sigma}(u(\bar{\sigma}))$$

[Np. zapis  $x=71(5)cm$  oznacza, że  $\bar{x} = 71cm$  a  $u(\bar{x}) = 5cm$   
a zapis  $x = (71 \pm 5)cm$  oznacza, że  $\bar{x} = 71cm$  a  $\Delta x = 5cm$ ]