

## Ćwiczenie Nr 102.

### Temat: Wyznaczanie bezwzględnego współczynnika lepkości cieczy metodą Stokes'a

#### I. Literatura:

- a) S.Frisz, A.Timoriewa, Kurs fizyki, t.I, PWN , W-wa 1967,
- b) J.Massalski, M.Massalska, Fizyka dla inżynierów, cz. I, WNT, W-wa 1971,
- c) T.Dryński, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, PWN, W-wa 1970.
- d) Instrukcja obsługi mikrometru: <http://labor.zut.edu.pl/> w zakładce INSTRUKCJE

#### II. Tematy teoretyczne:

1. Zjawisko lepkości. Siła lepkości. Współczynniki lepkości. Ciecze idealne i rzeczywiste.
2. Przepływ laminarny i turbulentny. Równanie ciągłości strugi i równanie Bernoulliego.

#### III. Metoda pomiarowa:

Bezwzględny współczynnik lepkości cieczy wyznaczony jest z pomiaru czasu opadania kulek w cylindrze z cieczą badaną.

#### IV. Zestaw przyrządów:

Ciecze badane w cylindrach szklanych , stoper, metalowe kulki, śruba mikrometryczna, pęseta (Przyrządy podkreślone wypożyczyć w pok. 619 pod zastaw legitymacji).

#### V. Czynności pomiarowe:

1. Wybrać 20 kulek i zmierzyć mikrometrem ich średnice  $d$ . Zmierzone kulki zgromadzić w wieczku od metalowego pudełka z kulkami.
2. Wyznaczyć masę wybranych w punkcie 1 kulek. Waga dostępna jest w pok. 619. W celu zważenia kulek należy wytarować wagę wraz z znajdującym się koło wagi szklanym naczynkiem wagowym, po czym przesypać kulki do tego naczynka.
3. Włączyć oświetlenie cylindrów z badanymi cieczami.
4. Wrzucić kolejno 10 kulek do cylindra i zmierzyć czas ich opadania od poziomu A do B. Pomiary powtórzyć wrzucając do drugiego cylindra pozostałe 10 kulek.
5. Zmierzyć odległość  $h$  od wybranego poziomu A do poziomu B.
6. Wyniki zapisać w tabeli, uwzględniając dokładności użytych przyrządów oraz gęstość zastosowanego oleju silikonowego (podane są na stanowisku).

Rodzaj cieczy	$R_1$ (promień rury)	$d$ [mm]	$\bar{R}$ [m]	$u(\bar{R})$ [m]	$t$ [s]	$\bar{t}$ [s]	$u(\bar{t})$ [s]	$\eta$ [ $\frac{kg}{m \cdot s}$ ]	$u(\eta)$ [ $\frac{kg}{m \cdot s}$ ]
Gliceryna									
Olej									
Masa 20 kulek $m$ [kg] = .....					$u(m)$ = ..... (dokładność wagi)				
$\Delta R =$ $R$ - średni promień kulek		$\Delta R_1 = \dots$ $R_1$ - promień wewnętrzny rury			$\Delta h =$ $h$ - droga opadania kulek				
$\Delta t =$		$\rho_{c1} = \dots$ (gliceryna)			$\rho_{c2} = \dots$ (olej silikonowy)				

## VI. Opracowanie wyników pomiarów.

1. Obliczyć wartość średnią średnicy  $d$  a następnie promienia  $R$  kulek ( $R = \frac{1}{2}d$ ). Promień  $R$  wyrazić w metrach.
2. Obliczyć objętość 20 zważonych kulek:

$$V = 20 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

3. Obliczyć średnią gęstość użytych kulek:

$$\rho = \frac{m}{V}$$

4. Obliczyć niepewność wyznaczenia promienia kulek  $u(\bar{R})$  :

$$u(\bar{R}) = \sqrt{u_A^2(\bar{R}) + \left(\frac{\Delta R}{\sqrt{3}}\right)^2}$$

gdzie

$$u_A(\bar{R}) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{20} (d_i - \bar{d})^2}{20 \cdot 19}}$$

5. Obliczyć niepewność wyznaczenia objętości 20 kulek:

$$u(V) = \frac{\partial V}{\partial R} \cdot u(R) = 3 \cdot 20 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot u(R) = 80 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot u(R)$$

6. Obliczyć niepewność wyznaczenia gęstości kulek:

$$u(\rho) = \sqrt{\left[\frac{\partial \rho}{\partial m} \cdot u(m)\right]^2 + \left[\frac{\partial \rho}{\partial V} \cdot u(V)\right]^2} = \rho \cdot \sqrt{\left[\frac{u(m)}{m}\right]^2 + \left[\frac{u(V)}{V}\right]^2}$$

7. Obliczyć wartość średnią czasu opadania kulek dla każdej cieczy.

8. Obliczyć bezwzględny współczynnik lepkości dla każdej cieczy ze wzoru:

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho - \rho_c}{h} \cdot g \cdot R^2 \cdot t \cdot \frac{1}{1 + 2,4 \cdot \frac{R}{R_1}}$$

R- średni promień kulek; R<sub>1</sub>- promień wewnętrzny rury

Gęstość pierwszej cieczy (gliceryny) odczytać z tablic fizycznych uwzględniając dokładność podanych tam wartości

9. Obliczyć niepewności pomiarowe współczynnika lepkości dla każdej z cieczy:

$$\begin{aligned} u(\eta) &= \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho}\right)^2 \cdot u^2(\rho) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho_c}\right)^2 \cdot u^2(\rho_c) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial R}\right)^2 \cdot u^2(R) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)^2 \cdot u^2(t) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial h}\right)^2 \cdot u^2(h)} = \\ &= \eta \cdot \sqrt{\frac{u^2(\rho)}{(\rho - \rho_c)^2} + \frac{u^2(\rho_c)}{(\rho - \rho_c)^2} + \left(\frac{1}{R} - \frac{1}{R_1 + 2,4 \cdot R}\right)^2 \cdot u^2(R) + \frac{u^2(t)}{t^2} + \frac{u^2(h)}{h^2}} \end{aligned}$$

Pominięto dla uproszczenia obliczeń niepewność pomiaru promienia rury, gdyż ma ona niewielki wpływ na dokładność pomiarów.

Niepewności  $u(t)$  oraz  $u(R)$  powinny uwzględniać zarówno niepewności typu A jak i niepewności typu B, czyli:

$$u(t) = \sqrt{u_A^2(t) + u_B^2(t)} = \sqrt{u_A^2(t) + \left(\frac{\Delta t}{\sqrt{3}}\right)^2} \quad \text{dla 10 kulek} \quad u_A(t) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{10} (\bar{t} - t_i)^2}{10 \cdot 9}}$$

$\Delta t$  - niepewność maksymalna pomiaru czasu uwzględniająca zarówno dokładność użytego czasomierza jak i (znacznie większy!) czas reakcji eksperymentatora.

5. Zapisz wyniki końcowe w postaci  $\eta = \bar{\eta}(u(\bar{\eta}))$ .

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

7. Odszukaj w tablicach lepkość gliceryny i porównaj z uzyskanymi przez Ciebie wynikami. Postaraj się wyjaśnić znaczne rozbieżności.

Lepkości różnych olejów silikonowych przyjmują wartości różniące się od siebie nawet o kilka rzędów wielkości, tak więc nie znając symbolu konkretnego oleju nie możemy porównać zmierzonej wartości z wartością tablicową.

*Uwaga: W technice często nadal stosuje się jednostkę lepkości dynamicznej zwaną puazem (oznaczenie P lub Ps). W Polsce nie jest ona legalna i powinna być zastąpiona przez  $\text{Pa}\cdot\text{s} = \frac{\text{kg}}{\text{m}\cdot\text{s}}$  (paskalosekunda). Zachodzi relacja:  $1\text{cP}$  lub  $1\text{cPs}$  (centypuaz)  $= 1\text{mPa}\cdot\text{s}$  (milipaskalosekunda).*