



## Ćwiczenie Nr B10

**Temat: Wyznaczanie bezwzględego współczynnika lepkości cieczy metodą Stokes'a.**

### I. Literatura:

- a) 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>)
- b) D. Halliday, R. Resnick, Fizyka dla szkół wyższych, tom 1, Wydawnictwo Naukowe PWN 1994
- c) Praca zbiorowa, Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki, Wydawnictwo Uczelniane Politechniki Szczecińskiej 2007

### II. Tematy teoretyczne:

1. Zjawisko lepkości. Siła lepkości. Współczynniki lepkości.
2. Ciecze idealne i rzeczywiste.
3. Przepływ laminarny i turbulentny.
4. 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, miarka metrowa

### 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 sali laboratoryjnej. W celu zważenia kulek należy wytarować wagę wraz z znajdującym się koło wagi szklanym naczynkiem wagowym, po czym przesypać kulki do tego naczynka.
3. Wrzucić kolejno 10 kulek do cylindra i zmierzyć czas ich opadania pomiędzy wyznaczonymi poziomami (A i B). Pomiary powtórzyć wrzucając do drugiego cylindra pozostałe 10 kulek.
4. Zmierzyć odległość  $h$  od wybranego poziomu A do poziomu B.



5. Wyniki zapisać w tabeli, uwzględniając dokładności użytych przyrządów oraz gęstość mierzonych cieczy (pomiar gęstości wykonać przy stanowisku do badania gęstości cieczy).

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									
Masa 30 kulek $m$ [kg] = .....					$u(m) = \dots\dots\dots$ (dokładność wagi)				
$R =$ $\Delta R =$ $R$ - średni promień kulek			$R_1 =$ $\Delta R_1 =$ $R_1$ - promień wewnętrzny rury			$h =$ $\Delta h =$ $h$ - droga opadania kulek			
$\Delta t =$			$\rho_{c1} = 1,25945(5) \frac{g}{cm^3}$ (gliceryna)						
			$\rho_{c2} =$ $\frac{g}{cm^3}$						



## VI. Opracowanie wyników pomiarów.

1. Obliczyć wartość średnią średnicy  $d$  a następnie promienia  $R$  kulek ( $R=1/2d$ ).  
Promień  $R$  wyrazić w metrach.
2. Obliczyć objętość 30 zważonych kulek:

$$V = 30 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^3$$

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

$$u_A(\bar{R}) = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{30} (d_i - \bar{d})^2}{30 \cdot 29}}$$

5. Obliczyć niepewność wyznaczenia objętości 30 kulek:  $u(V) = \frac{\partial V}{\partial R} \cdot u(R) = 3 \cdot 30 \cdot \frac{4}{3} \cdot \pi \cdot R^2 \cdot u(R) = 120 \cdot \pi \cdot R^2 \cdot u(R)$
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;  $R_1$ - promień wewnętrzny rury

(gęstość pierwszej cieczy (gliceryny) odczytać z tabeli)

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

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

Pominięto dla uproszczenia obliczeń niepewności pomiaru promienia rury ( $R_1$ ) oraz gęstości cieczy ( $\rho_c$ ), gdyż mają one niewielki wpływ na dokładność pomiarów lepkości.

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  $\bar{x} = 71cm$  a  $u(\bar{x}) = 5cm$ ]

*Uwaga: W technice często nadal stosuje się jednostkę lepkości dynamicznej zwaną puazem (oznaczenie P lub Ps).*

*W Polsce powinna być zastąpiona przez  $Pa \cdot s = \frac{kg}{m \cdot s}$  (paskalosekunda).*

*Zachodzi relacja:*

*1cP lub 1cPs (centypuaz) = 1mPa·s (milipaskalosekunda).*