

Ćwiczenie Nr 102b.

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.

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. 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]	η $\left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$	$u(\eta)$ $\left[\frac{kg}{m \cdot s} \right]$
Gliceryna									
Olej uniwersalny									
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 uniwersalny)				

VI. Opracowanie wyników pomiarów.

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

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

- Obliczyć średnią gęstość użytych kulek:

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

- 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; R₁- 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:

$$u(\eta) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho}\right)^2 \cdot u^2(\rho) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial R}\right)^2 \cdot u^2(R) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t}\right)^2 \cdot u^2(t) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial h}\right)^2 \cdot u^2(h) =}$$

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

Pominięto dla uproszczenia obliczeń niepewności pomiaru promienia rury (R₁) oraz gęstości cieczy (ρ_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:

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

Δt - 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.

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:

1cP lub 1cPs (centy puaz) = 1mPa·s (milipaskalosekunda).