

Ćwiczenie Nr 115.

Temat: Pomiar współczynnika lepkości cieczy za pomocą wiskozymetru Höpplera.

1. Literatura:

- a) Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod redakcją T. Rewaja,
- b) J. Massalski, M. Massalska, Fizyka dla inżynierów, cz. I, W-wa 1972
- c) M. Skorko, Fizyka
- d) <http://labor.zut.edu.pl/> (odnośnik do strony głównej)

2. Zagadnienia teoretyczne:

3. Zjawisko tarcia wewnętrznego w cieczach i gazach. Ruch ciała względem nieruchomej, lepkiej cieczy.
4. Prawo Stokes'a. Jednostka współczynnika lepkości w układzie SI.

5. Metoda pomiarowa:

Współczynnik lepkości cieczy należy wyznaczyć w oparciu o pomiar czasu opadania kulki w badanej cieczy znajdującej się w cylindrycznej, przezroczystej rurze, nachylonej do pionu pod kątem 10° .

6. Zestaw przyrządów:

Wiskozymetr Höpplera, termostat, dwa sekundomierze -wypożyczyć w pok. 619.

7. Przebieg pomiarów:

- a) Włączyć termostat i zaprogramować temperaturę stabilizacji. W tym celu zapoznać się z instrukcją obsługi termostatu. Jeżeli temperatura cieczy jest bliska 60°C ustawić temperaturę początkową na 60°C , jeżeli woda ma temperaturę bliską pokojowej ustawić początkową temperaturę na 25°C .
- b) Odczekać do momentu, gdy termostat ustabilizuje temperaturę
- c) Zapisać temperaturę wskazywaną przez termometr wewnątrz wiskozymetru (Zazwyczaj będzie się ona nieco różniła od tej, którą ustawiono na ultratermostacie).
- d) Odaretować wiskozymetr (odciągając zatrzask przytrzymujący) i obrócić cylinder o 180° .
- e) Zmierzyć czterokrotnie czas opadania kulki między skrajnymi poziomymi kreskami na wewnętrznym cylindrze,
- f) Zwiększając lub zmniejszając temperaturę na regulatorze temperatury co 5°C powtarzać czynności opisane w punktach (a) do (e).

Uwaga: jeśli początkową temperaturą była temperatura 25°C należy zwiększać temperaturę co 5°C aż do osiągnięcia 60°C , a jeśli początkową temperaturą była temperatura 60°C należy obniżyć temperaturę co 5°C aż do osiągnięcia 25°C (pamiętając o odkręceniu kranu w celu spowodowania przepływu wody przez układ chłodzący).

- g) Wyniki umieścić w tabeli:

| t' [°C] | T [K] | 1/T [K ⁻¹] | t[s] | | | | t _{sr} [s] | ρ _r [kg/m ³] | η [N · s m ⁻²] | u(η) [N · s m ⁻²] | lnη |
|---------|-------|------------------------|------|---|---|---|---------------------|-------------------------------------|----------------------------|-------------------------------|-----|
| | | | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | |

t' – temperatura w skali Celsjusza; T- temperatura w skali Kelvina

6. Opracowanie wyników pomiarów:

1. Ze wzoru

$$\rho_T = \rho_0 \cdot (1 - \beta \cdot \Delta T)$$

wyliczyć gęstość cieczy dla poszczególnych temperatur pomiarowych

ρ₀ – gęstość cieczy w temperaturze 25°C,

dla zastosowanego oleju ρ₀= 980±10 kg/m³,

β- współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy,

β= 3,0·10⁻³deg⁻¹, Δβ=0,3·10⁻³ deg⁻¹

2. Wyliczyć niepewności wyznaczenia gęstości cieczy $u(\rho_T)$ dla poszczególnych temperatur korzystając ze wzoru:

$$u(\rho_T) = \sqrt{\left(\frac{\partial \rho_T}{\partial (\Delta T)}\right)^2 \cdot \left(\frac{\Delta(\Delta T)}{\sqrt{3}}\right)^2} = \frac{\rho_0 \cdot \beta \cdot \Delta(\Delta T)}{3}$$

(niepewności ρ₀ i β przyjmujemy za pomijalnie małe)

ΔT = T – (25⁰+273); Δ(ΔT) -oznacza niepewność maksymalną różnicy temperatur ΔT

3. Współczynnik lepkości dla każdej temperatury wyznaczyć ze wzoru

$$\eta = K \cdot (\rho - \rho_T) \cdot t_{sr}$$

stała kulki K=1,224·10⁻⁶ N·m/kg,

gęstość kulki (stal) ρ=8140±40 kg/m³,

gęstość cieczy ρ_r (olej mineralny) w temperaturze T (należy obliczyć ze wzoru podanego w punkcie 1).

4. Wyznaczyć niepewności u(η) współczynnika lepkości w poszczególnych temperaturach korzystając z wzoru:

$$u(\eta) = \sqrt{\left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho}\right)^2 \cdot u^2(\rho) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial \rho_T}\right)^2 \cdot u^2(\rho_T) + \left(\frac{\partial \eta}{\partial t_{sr}}\right)^2 [u_A^2(t_{sr}) + u_B^2(t_{sr})]} =$$

$$= \frac{\eta}{\rho - \rho_T} \cdot \sqrt{u^2(\rho) + u^2(\rho_T) + \frac{(\rho - \rho_T)^2}{t_{sr}^2} \cdot [u_A^2(t_{sr}) + u_B^2(t_{sr})]}$$

We wzorze tym $u_A(t_{sr}) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^4 (t_i - \bar{t})^2}{4 \cdot (4-1)}}$, $u_B(t_{sr}) = \frac{\Delta t}{\sqrt{3}}$

Obliczając w niepewność maksymalną Δt należy uwzględnić dokładność użytego stopera, czas reakcji eksperymentatora przy włączaniu i wyłączeniu stopera, a być może także to, że przy poszczególnych pomiarach kąt obserwacji kulki był inny, więc na pomiar wpłynął efekt paralaksy.

5. Sporządzić wykres zależności współczynnika lepkości od temperatury $\eta=f(T)$,
6. Sporządzić wykres zależności logarytmu naturalnego współczynnika lepkości od odwrotności temperatury wyrażonej w kelwinach: $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$.

7. Dla wykresu $\ln \eta = f\left(\frac{1}{T}\right)$ metodą regresji liniowej wyznaczyć współczynniki

a i **b** oraz ich niepewności $u(a)$ i $u(b)$ równania prostej najlepiej dopasowanej do punktów pomiarowych. Ułożenie punktów pomiarowych na wykresie wzdłuż linii prostej wynika ze zgodności uzyskanych pomiarów z teoretyczną zależnością

$$\eta = \eta_0 \cdot e^{\frac{E}{k \cdot T}}$$

gdzie **E** jest energią, a **k** stałą Boltzmanna ($k=1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K). Uzyskana prosta ma równanie

$$\ln \eta = \ln \eta_0 + \frac{E}{k} \cdot \frac{1}{T}$$

$$\downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow \quad \downarrow$$

$$y = b + a \cdot x$$

zatem z nachylenia tej prostej na wykresie można wyznaczyć wartość energii

$$E = a \cdot k \quad \text{oraz jej niepewność } u(E) = k \cdot u(a).$$

Wynik końcowy wyrazić w elektronowoltach ($1\text{eV}=1,6 \cdot 10^{-19}\text{J}$) i zapisać w postaci

$$E = E(u(E)).$$

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

8. Wyliczoną energię wyrażoną w elektronowoltach porównać z energią ruchu termicznego w temperaturze pokojowej ($E_{term} \approx 0,025\text{eV}$).

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 (centypuaz) $=1\text{mPa} \cdot \text{s}$ (milipaskalosekunda).