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 stopery.

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 ^{0}C ustawić temperaturę początkową na 60 ^{0}C, jeżeli woda ma temperaturę bliską pokojowej ustawić początkową temperaturę na 25^0C.
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^oC powtarzać czynności opisane w punktach (a) do (e).

Uwaga: jeśli początkową temperaturą była temperatura 25^0C należy zwiększać temperaturę co 5^oC aż do osiągnięcia 60^0C, a jeśli początkową temperaturą była temperatura 60^0C należy obniżać temperaturę co 5^oC aż do osiągnięcia 25^0C (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]				$t_{śr}$ [s]	ρ_T [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
ρ_0 – gęstość cieczy w temperaturze 25°C,
dla zastosowanego oleju ρ_0= 980±10 kg/m^3,
β- współczynnik rozszerzalności objętościowej cieczy,
β= 3,0·10^{-3}deg^{-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 ρ_0 i β przyjmujemy za pomijalnie małe)
ΔT =T – (25^0+273); $\Delta(\Delta T)$-oznacza niepewność maksymalną różnicy temperatur ΔT

3. Współczynnik lepkości dla każdej temperatury wyznaczyć ze wzoru

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

stała kulki K=1,224·10^{-6} N·m/kg,
gęstość kulki (*stal*) ρ=8140±40 kg/m^3,
gęstość cieczy ρ_T (*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:

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

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

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

Obliczając w niepewność maksymalną Δt należy uwzględnić dokładność użytego stopera, czas reakcji eksperymentatora przy włączaniu i wyłączaniu 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 η=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

$$\begin{array}{ccccccc}\ln\eta & = & \ln\eta_0 & + & \frac{E}{k}\cdot & \frac{1}{T} & \\ \downarrow & & \downarrow & & \downarrow & \downarrow & \\ y & = & b & + & a\cdot & x & \end{array}$$

zatem z nachylenia tej prostej na wykresie można wyznaczyć wartość energii

$E=a\cdot k$ oraz jej niepewność $u(E)=k\cdot u(a)$.

Wynik końcowy wyrazić w elektronowoltach 1eV=1,6·10^{-19}J) i zapisać w postaci

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

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

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

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 $Pa\cdot s=\frac{kg}{m\cdot s}$ *(paskalosekunda). Zachodzi relacja: 1cP lub 1cPs (centypuaz) =1mPa·s (milipaskalosekunda).*