



Politechnika
Śląska



UCZELNIA
BADAWCZA
INICJATYWA DOSKONAŁOŚCI

PRACOWNIA FIZYCZNA 1

Instytut Fizyki
Centrum Naukowo Dydaktyczne



P1-C1. Badanie temperaturowej zależności współczynnika lepkości cieczy metodą wiskozymetru Höpplera

Zagadnienia

Tarcie wewnętrzne. Współczynnik lepkości cieczy, jednostka. Temperaturowa zależność współczynnika lepkości cieczy. Energia aktywacji przepływu lepkiego. Siły działające na kulkę poruszającą się w rurze wiskozymetru.

1 Wstęp teoretyczny

Siłę oporu lepkiego w cieczy, działającą na kulkę o promieniu r określa wzór Stockesa

$$F_o = -bv, \quad b = 6\pi r\eta,$$

gdzie η jest współczynnikiem lepkości cieczy. Wzór ten jest słuszny gdy kulka porusza się w nieograniczonej objętości cieczy. W przypadku, gdy ruch kulki odbywa się wzdłuż osi cylindra o promieniu R wyrażenie na siłę oporu przybiera postać [1]

$$F_o = -b'v, \quad b' = \left(1 + 2.4 \frac{r}{R}\right).$$

2 Układ pomiarowy

Na rys. 1 pokazano przekrój wiskozymetru Höpplera. Pomiar polega na mierzeniu czasu opadania stalowej kulki w rurze pomiarowej, wypełnionej olejem parafinowym. Rura pomiarowa otoczona jest płaszczem wodnym do którego pompuje się wodę zagrzaną lub schłodzoną w ultratermostacie. Do pomiaru temperatury oleju parafinowego służy rtęciowy termometr dziesiętny. Do prawidłowego ustawienia przyrządu służą: libella L oraz śruby regulacyjne w podstawie. Płaszcz wodny razem z rurą pomiarową mogą się obracać wokół osi O, a zatrzask Z utrzymuje układ w pozycji pomiarowej. Rura pomiarowa zamknięta jest korkami metalowymi z gumowymi wentylami, zabezpieczającymi przed uszkodzeniem podczas nagrzewania. Na rurze pomiarowej wytrawiono trzy rysy. Zaleca się pomiar czasu opadania przeprowadzać dla skrajnych rys. Mijanie rysy przez kulkę można odnieść do górnej, bądź dolnej granicy kulki. Pomiar wykonuje się przy zablokowanej rurze. Ogrzewanie wody stanowiącej płaszcz wodny odbywa się za pomocą ultratermostatu z pompą.

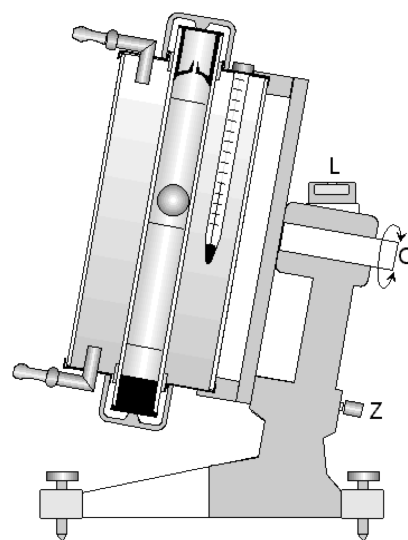


Fig. 1: Wiskozymetr Höpplera

3 Pomiary

1. Ustawić wiskozymetr poziomo używając poziomicy i śrub regulacyjnych.
2. Zmieniając temperaturę cieczy za pomocą w granicach od temperatury pokojowej do ok. 50°C mierzyć czas opadania kulki między skrajnymi poziomami obserwacyjnymi. Krok temperaturowy ustala prowadzący.
3. Dla każdej temperatury pomiary powtarzać trzykrotnie.
4. Pomiary należy wykonać dla co najmniej pięciu różnych temperatur.

$u_b(T), ^\circ\text{C}$				
$u_b(t), \text{s}$				
lp.	temperatura oleju, $^\circ\text{C}$	czas opadania kulki t, s		
		1	2	3
1.				

4 Opracowanie wyników pomiarów

1. Obliczyć wartości średnie czasu opadania kulki.
2. Obliczyć statystyczną niepewność typu $u_a(t_{sr})$ dla serii pomiarów czasu (odchylenie standardowe, pomnożone przez odpowiedni współczynnik Studenta Fishera).
3. Obliczyć całkowitą niepewność czasów $u(t_{sr}) = \sqrt{u_a^2(t_{sr}) + u_b^2(t)}$.
4. Dla każdej temperatury obliczyć współczynnik lepkości oleju parafinowego, stosując wzór empiryczny

$$\eta = K(\rho_k - \rho)t,$$

gdzie $K = 1.2018 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$ – stała aparaturowa, $\rho_k = 8150 \text{ kg/m}^3$ – gęstość stalowej kulki, ρ – gęstość oleju parafinowego w różnych temperaturach:

$T, ^\circ\text{C}$	$\rho, \text{kg/m}^3$
20	878.8
25	875.3
30	871.8
35	868.3
40	864.8
45	861.2
50	857.5

5. Korzystając z prawa przenoszenia niepewności obliczyć niepewność standardową wszystkich współczynników lepkości.

$T, ^\circ\text{C}$	t_{sr}, s	$u(t_{sr}), \text{s}$	$\eta, \text{Pa}\cdot\text{s}$	$u(\eta), \text{Pa}\cdot\text{s}$

6. Sporządzić wykres zależności współczynnika lepkości oleju parafinowego od temperatury. Na wykresie nanieść słupki niepewności dla poszczególnych punktów pomiarowych.
7. Sporządzić wykres zależności logarytmu naturalnego współczynnika lepkości od odwrotności temperatury wyrażonej w kelwinach $\ln(\eta) = f(1/T)$.
8. Metodą regresji liniowej dopasować prostą. Zapisać współczynniki regresji w odpowiednim formacie, z jednostkami.

9. Obliczyć współczynniki regresji $b = \ln A$ i $a = W/k$ (wraz z niepewnościami) zależności opisującej temperaturową zależność współczynnika lepkości¹

$$\eta(T) = Ae^{\frac{W}{kT}},$$

gdzie $k = 1.38 \cdot 10^{-23}$ J/K – stała Boltzmanna, W – energia aktywacji przepływu lepkiego dla oleju parafinowego.

10. Obliczyć energię aktywacji przepływu lepkiego W (wyrazić ją w J oraz w eV).
11. Korzystając z prawa przenoszenia niepewności obliczyć niepewność energii aktywacji przepływu lepkiego dla oleju parafinowego.
12. Zapisać wynik i jego niepewność w stosownym formacie osobno w jednostkach J oraz eV.

Literatura

- [1] A. K. Wróblewski and J. A. Zakrzewski. *Wstęp do fizyki*. Państwowe Wydawnictwo Naukowe, 1976.

¹ Należy zlogarytmować zależność $\eta(T)$ i porównać z równaniem prostej