



I PRACOWNIA FIZYCZNA

ĆWICZENIE

Wyznaczanie temperaturowej zależności
współczynnika lepkości cieczy za pomocą
wiskozymetru Höpplera

Opracowała:

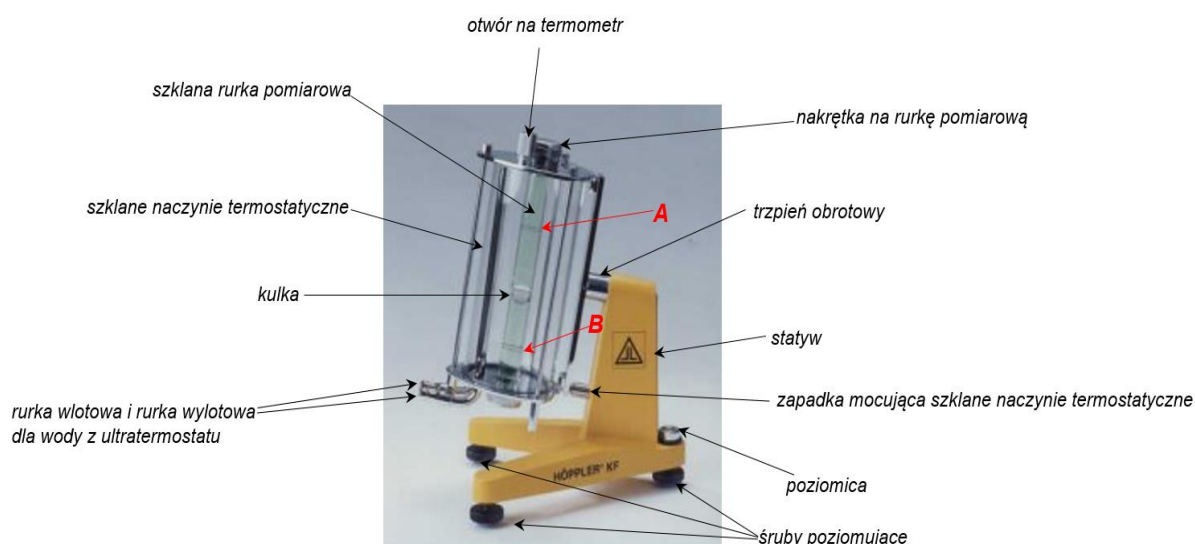
dr hab Iwona Lazar, prof. UŚ

Zagadnienia do kolokwium wstępnego

- definicja lepkości cieczy, od czego zależy lepkość
- ciecz idealna i ciecz rzeczywista,
- prawo Stokesa
- prawo Archimedesesa
- zasady dynamiki Newtona
- ruch burzliwy i ruch laminarny (przykłady), liczba Reynoldsa
- budowa i zasada działania wiskozymetru Höpplera
- ultratermostat – budowa i zasada działania
- umiejętność wyprowadzenia wzoru (1) na obliczenie lepkości dynamicznej cieczy

Aparatura

- wiskozymetr Höpplera z zestawem kulek
- badane ciecze
- ultratermostat
- stoper
- linijka
- instrukcja wiskozymetru Höpplera
- instrukcja ultratermostatu



Rysunek 1: Wiskozymetr Höpplera. W ćwiczeniu mierzymy czas, w którym kulka przebywa ściśle określoną drogę między zaznaczonymi poziomami A i B.

Wzory, schematy

1. Wzór na obliczenie lepkości cieczy w różnych temperaturach $\eta(T)$, dla kulki opadającej na drodze o określonej długości – pomiędzy poziomami A i B (Rys. 1)

$$\eta(T) = t_T \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot K \quad (1)$$

η – współczynnik lepkości cieczy

t_T – czas opadania kulki pomiędzy poziomami A i B dla ustalonej temperatury

ρ_k – gęstość materiału, z którego wykonana jest kulka $\rho_k = 2,4 \left[\frac{g}{cm^3} \right]$

ρ_c – gęstość badanej cieczy, w której opada kulka w danej temperaturze (patrz Tabela 1)

K – stała wiskozymetru $K = 0,077 \left[\frac{mPa \cdot cm^3}{g} \right]$

2. Temperaturowa zależność współczynnika lepkości cieczy

$$\eta(T) = A \exp \left(\frac{E_A}{k_B \cdot T} \right) \quad (2)$$

A – stała, wielkość charakterystyczna dla danej cieczy

E_A – energia aktywacji lepkości

k_B – stała Boltzmanna

T – temperatura (w kelwinach)

Wzór (2) po zlogarytmowaniu ma postać funkcji liniowej $y = ax + b$

$$\ln \eta = \frac{E_A}{k_B} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (3)$$

gdzie $y = \ln \eta$; $a = \frac{E_A}{k_B}$; $x = \frac{1}{T}$; $b = \ln A$

Wykonanie ćwiczenia

1. Zapoznaj się z instrukcją obsługi wiskozymetru Höpplera oraz ultratermostatu.
2. Poproś laboranta o napełnienie rurki wiskozymetru Höpplera badaną cieczą oraz umieszczenie w niej odpowiedniej kulki.
3. Wypoziomuj wiskozymetr przy pomocy śrub poziomujących oraz poziomicy (Rys. 1).

4. Odciągnij zapadkę mocującą szklane naczynie wiskozymetru i obróć je o 180° (aż do zaskoczenia zatrasku).

Uwaga: W rurce pomiarowej nie może znajdować się pęcherz powietrzny, bo zaburzy ruch kulki.

5. Włącz ultratermostat i ustaw temperaturę na 20°C (patrz instrukcja ultratermostatu).
6. Odczytaj temperaturę początkową T_0 płaszcza wodnego (jeśli nie umieszczono termometru w wiskozymetrze, odczytaj wskazania na ultratermostacie). Należy poczekać ok. 10 minut aż układ osiągnie równowagę termodynamiczną. Ustal dokładność odczytu temperatury.
7. Odciągnij zapadkę mocującą naczynie wiskozymetru i obróć je o 180° . Zmierz czas opadania kulki t_T pomiędzy poziomami A i B w temperaturze początkowej T_0 . Czynność tę powtórz kilkakrotnie, aby móc określić wartość średnią czasu opadania kulki t_T oraz dokładność jego wyznaczenia Δt_T (ilość powtórzeń uzgodnić z Prowadzącym ćwiczenie).

Uwaga: Zdecyduj, czy pomiar czasu opadania kulki od linii A do linii B rozpoczyna się, gdy jej początek (lub koniec) przekracza zaznaczone linie. Naczynie wiskozymetru obracaj raz w prawo, a raz w lewo, aby przewody doprowadzające wodę z ultratermostatu nie splotły się.

8. Ustaw na ultratermostacie temperaturę wyższą (najlepiej wg Tab.1) i poczekać ok. 10 minut aż układ osiągnie równowagę termodynamiczną. Po ustabilizowaniu się temperatury, zmierz kilkakrotnie czas opadania kulki w tej wyższej temperaturze.
9. Przeprowadź takie pomiary dla kolejnych wyższych temperatur (co 5 stopni wg Tab.1). **Dla wody destylowanej nie przekraczaj temperatury 80°C , a dla metanolu oraz izopropanolu nie przekraczaj temperatury 50°C .**
10. Takie same pomiary przeprowadź dla temperatur malejących, obniżając temperaturę kolejno o 5 stopni.

Opracowanie wyników

1. Odczytaj z Tabeli 1 wartości gęstości badanej cieczy ρ_c uwzględniając jej temperaturę.
2. Dla każdej temperatury T oszacuj niepewność pomiarową ΔT i podaj wartości w kelwinach.
3. Dla wszystkich temperatur oblicz średni czas opadania kulki t_T oraz oszacuj niepewność pomiarową Δt_T (zależnie od ilości pomiarów metodą odchylenia standardowego lub korzystając z testu t -studenta, przyjmując próg ufności $\alpha = 0,05$).

4. Korzystając z wzoru (1), oblicz współczynniki lepkości badanej cieczy η oraz ich niepewności pomiarowe $\Delta\eta$ metodą różniczki zupełnej. Wyprowadź jednostkę lepkości.

Uwaga: Przyjmij, że ρ_k i K nie zależą od temperatury.

5. Przedstaw na jednym wykresie zależności $\eta = \eta(T)$ dla cyklu grzania i chłodzenia. Zaznacz błędy pomiarowe na wykresach.
6. Porównaj otrzymane wartości lepkości badanej cieczy η w wybranych temperaturach z wartościami tablicowymi (Tab.1).
7. Dla każdej wartości lepkości badanej cieczy wyznaczonej z wzoru (1), oblicz wartości $\ln \eta$ i $\frac{1}{T}$ oraz ustal niepewności pomiarowe $\Delta(\ln \eta)$ i $\Delta(\frac{1}{T})$.
8. Przedstaw na wykresie zależność $\ln \eta = f(\frac{1}{T})$ i zaznacz błędy pomiarowe.
9. Metodą regresji liniowej wyznacz współczynniki $a = \frac{E_A}{k_B}$ i $b = \ln A$, a następnie oblicz dla badanej cieczy wartość stałej A oraz energii aktywacji lepkości E_A – patrz równanie (3).
10. Zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

	Woda	Woda	Metanol	Metanol	Izopropanol	Izopropanol
T[K]	ρ [g/cm ³]	η [mPa·s]	ρ [g/cm ³]	η [mPa·s]	ρ [g/cm ³]	η [mPa·s]
293.15	0.9982	1.002	0.7915	0.608	0.78550	2.3810
298.15	0.997	0.897	0.7868	0.557	0.78090	2.012
303.15	0.9956	0.797	0.7819	0.529	0.77680	1.728
308.15	0.994	0.726	0.7774	0.487	0.7722	1.485
313.15	0.9922	0.653	0.7729	0.458	0.768	1.325
318.15	0.9902	0.597	0.769	0.425	0.76329	1.176
323.15	0.988	0.548	0.765	0.396	0.7593	1.04

Tabela 1. Temperaturowe zależności gęstości oraz lepkości dla wody, metanolu oraz izopropanolu. **Uwaga:** mPa = 10⁻³ Pa

Literatura

- Pod red. Z. Józwiaka i G. Bartosza, *Biofizyka*, PWN, Warszawa 2005.
- D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa 2003.
- T. Dryński, *Ćwiczenia Laboratoryjne z Fizyki*, PWN, Warszawa 1977.
- J. Taylor, *Wstęp do analizy błęd pomiarowego*, PWN, 1999.
- H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, PWN, Warszawa 2003.