



I PRACOWNIA FIZYCZNA

ĆWICZENIE

Wiskozymetr kulkowy Höpplera – pomiar lepkości cieczy

Opracowała:

dr hab Iwona Lazar, prof. UŚ

Cel

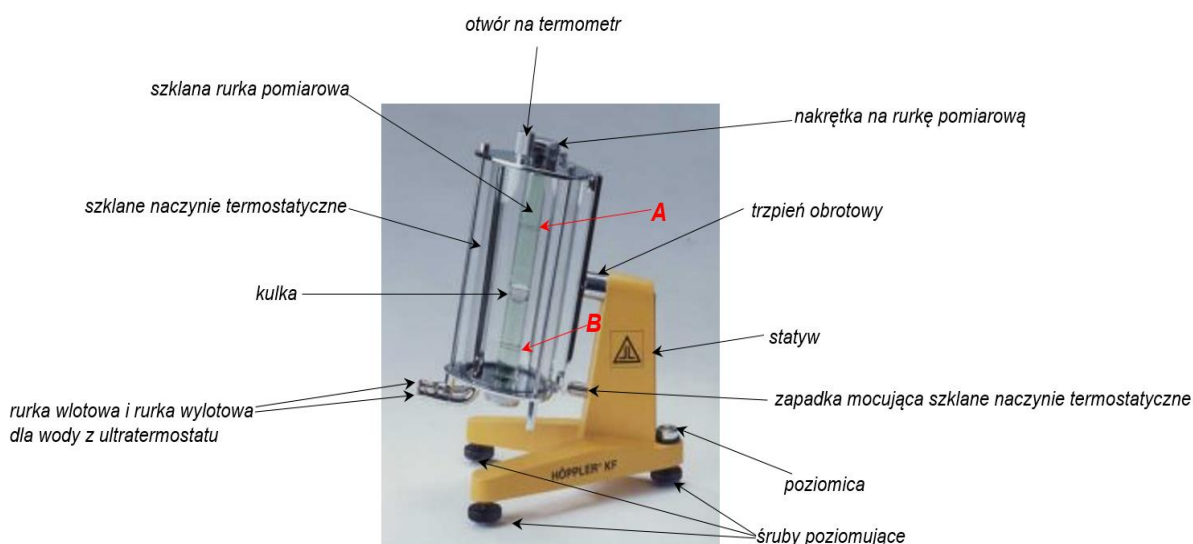
Pomiar lepkości cieczy za pomocą wiskozymetru kulowego Höpplera.

Zagadnienia do kolokwium wstępnego

- definicja lepkości dla cieczy i gazów, od czego zależy lepkość
- ciecz idealna i ciecz rzeczywista
- prawo Stokesa
- prawo Archimedesesa
- zasady dynamiki Newtona
- ruch burzliwy i ruch laminarny (przykłady)
- 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
- woda destylowana
- 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 η

$$\eta = \frac{(m_k - V \cdot \rho_c) \cdot g}{6\pi \cdot r_k \cdot v_k} \quad (1)$$

η – współczynnik lepkości cieczy

m_k – masa kulki

V – objętość kulki

ρ_c – gęstość cieczy, w której opada kulka

g – przyspieszenie ziemskie

r_k – promień kulki

v_k – prędkość, z jaką porusza się kulka podczas swobodnego spadku (ruch jednostajny) w badanej cieczy

2. Wzór na obliczenie prędkości kulki v_k podczas swobodnego spadku w badanej cieczy

$$v_k = \frac{x_k}{t_T} \quad (2)$$

x_k – droga przebyta przez kulkę – odległość między zaznaczonymi poziomami A i B (Rys. 1)

t_T – czas opadania kulki pomiędzy poziomami A i B w poszczególnych temperaturach

T – temperatura

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

$$\eta(T) = t_T \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot K \quad (3)$$

t_T – czas opadania kulki pomiędzy poziomami A i B w poszczególnych temperaturach

ρ_k – gęstość materiału, z którego wykonana jest kulka

ρ_c – gęstość cieczy, w której opada kulka

K – stała odczytana z instrukcji wiskozymetru Höpplera

Pozostałe wielkości występujące we wzorze (2) i (3) oznaczają to samo co we wzorze (1).

4. Temperaturowa zależność współczynnika lepkości cieczy

$$\eta(T) = A \exp\left(\frac{E_A}{k_B \cdot T}\right) \quad (4)$$

T – temperatura (w kelwinach)

A – stała, wielkość charakterystyczna dla danej cieczy

E_A – energia aktywacji lepkości

k_B – stała Boltzmanna

Wzór (4) po zlogarytmowaniu ma postać funkcji liniowej $y = ax + b$

$$\ln \eta = \frac{E_A}{k_B} \cdot \frac{1}{T} + \ln A \quad (5)$$

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. Wypoziomuj wiskozymetr przy pomocy śrub poziomujących oraz poziomicy (Rys. 1).
3. Odciągnij zapadkę mocującą szklane naczynie wiskozymetru i obróć je o 180° (aż do zaskoczenia zatrzaśnięcia). Upewnij się czy rurka pomiarowa wiskozymetru:
 - jest wypełniona wodą destylowaną
 - znajduje się w niej kulka szklana
 - nie ma pęcherza powietrznego.

Uwaga: Jeśli któryś z powyższych podpunktów nie jest spełniony, poproś o pomoc Laboranta.

4. Z instrukcji wiskozymetru Höpplera zapisz dane kulki znajdującej się w rurce pomiarowej (gęstość ρ_k , promień r_k , masa m_k i stała K).
5. Zmierz linijką kilkakrotnie odległość pomiędzy poziomami A i B , zaznaczonymi na rurce pomiarowej wiskozymetru Höpplera (Rys. 1), aby móc określić wartość średnią drogi opadania kulki x_k oraz dokładność jej wyznaczenia Δx_k (ilość powtórzeń uzgodnić z Prowadzącym ćwiczenie).
6. Włącz ultratermostat i ustaw temperaturę na 20°C (patrz instrukcja ultratermostatu).
7. 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.
8. 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 należy obracać raz w prawo, a raz w lewo, aby przewody doprowadzające wodę z ultratermostatu nie splotły się.

9. Ustaw na ultratermostacie temperaturę o 5 stopni wyższą i poczekaj ok. 10 minut aż układ osiągnie równowagę termodynamiczną. Po ustabilizowaniu się temperatury, zmierz kilkakrotnie czas opadania kulki w tej wyższej temperaturze.
10. Przeprowadź takie pomiary dla kolejnych wyższych temperatur co 5 stopni. Nie przekraczaj temperatury 80°C.
11. Takie same pomiary przeprowadź dla temperatur malejących, obniżając temperaturę kolejno o 5 stopni.

Opracowanie wyników

1. Odczytaj z tablic wartości gęstości wody destylowanej ρ_c uwzględniając jej temperaturę.
2. Oblicz objętość kulki V oraz jej niepewność pomiarową ΔV metodą różniczek zupełnej.
3. Dla każdej temperatury T oszacuj niepewność pomiarową ΔT i podaj wartości w kelwinach.
4. 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 $\alpha = 0,05$).
5. Oblicz wartość średnią drogi opadania kulki x_k oraz jej niepewność pomiarową Δx_k .
6. Dla każdej temperatury T oblicz prędkość kulki v_k , korzystając z wzoru (2) oraz wyznacz jej niepewność pomiarową Δv_k metodą różniczek zupełnej. Wyprowadź jednostkę prędkości.
7. Korzystając z wzorów (1) i (3), oblicz dwiema metodami współczynniki lepkości wody η oraz ich niepewności pomiarowe $\Delta \eta$ metodą różniczek zupełnej. Wyprowadź jednostkę lepkości na podstawie wzorów (1) i (3).

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

8. Przedstaw na jednym wykresie zależności $\eta = \eta(T)$, wyznaczone z dwóch różnych wzorów, tj. (1) i (3) w celu porównania. Zaznacz błędy pomiarowe na wykresach. Wykresy porównawcze zrobić dla cyklu grzania i chłodzenia
9. Porównaj otrzymane wartości lepkości wody η dla różnych temperatur z wartościami tablicowymi.
10. Dla każdej wartości lepkości wyznaczonej z wzoru (3) – patrz punkt 7– oblicz wartości $\ln \eta$ i $\frac{1}{T}$, ustal niepewności pomiarowe $\Delta(\ln \eta)$ i $\Delta(\frac{1}{T})$.
11. Przedstaw na wykresie zależność $\ln \eta = f(\frac{1}{T})$ i zaznacz błędy pomiarowe.
12. Metodą regresji liniowej wyznacz współczynniki $a = \frac{E_A}{k_B}$ i $b = \ln A$, a następnie oblicz dla wody destylowanej wartość stałej A oraz energii aktywacji lepkości E_A – patrz równanie (5).
13. Zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

Literatura

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