

LABORATORIUM BIOFIZYKI

Ćwiczenie nr B04

Temat:

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY ZA POMOCĄ WISKOZYMETRU RHEO
wg HÖPPLERA

LITERATURA:

1. D. Halliday, R. Resnick, J. Walker, *Podstawy fizyki*, PWN, Warszawa 2003.
2. H. Szydłowski, *Pracownia fizyczna wspomagana komputerem*, PWN, Warszawa 2003.

LITERATURA UZUPEŁNIAJĄCA:

1. B. Turczyński, *Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki medycznej*, skrypt ŚAM, Katowice 1999.
2. J. Terlecki (red.), *Ćwiczenia laboratoryjne z biofizyki i fizyki*, PZWL, Warszawa 1999.

ZAGADNIENIA TEORETYCZNE:

1. Lepkość cieczy, współczynnik lepkości, jednostka w układzie SI.
2. Zależność lepkości cieczy od temperatury i prędkości ścinania.
3. Prawo Newtona, pomiar lepkości cieczy newtonowskich.
4. Ciecze nienewtonowskie, badanie ich lepkości i anomalii płynności; lepkość strukturalna.

PROGRAM ĆWICZENIA:

1. Praktyczne zapoznanie się z ruchem kulki w ośrodku lepkim pod wpływem siły ciężkości.
2. Zapoznanie się z zasadą działania wiskozymetru Höpplera.
3. Wyznaczenie współczynnika lepkości gliceryny.

WPROWADZENIE DO ĆWICZENIA:

Lepkość cieczy (czyli tarcie wewnętrzne) ma istotny wpływ na przepływ cieczy czy gazów, ponieważ jest parametrem, który występuje w całej objętości substancji. W przypadku przepływu cieczy przez rurkę, możemy zauważyć, że najszybciej ciecz przepływa przez centrum rurki, a najwolniej przy jej krawędziach, zbliżając się do zera. Jest to związane z oporem lepkości, który jest proporcjonalny do powierzchni ślizgających się po sobie warstewek cieczy oraz do tak zwanego gradientu prędkości (zmiana prędkości na jednostkę odległości od środka rurki). Wyraża to równanie lepkości:

$$T = \eta S \frac{\Delta v}{\Delta l},$$

gdzie η to współczynnik lepkości cieczy.

Współczynnik lepkości η zależy od rodzaju cieczy (dla każdej cieczy posiada inną wartość, związane jest to z siłami międzycząsteczkowymi) oraz od temperatury cieczy (maleje ze wzrostem temperatury, z racji tego, że w wyższej temperaturze cząsteczki poruszają się szybciej, co z kolei osłabia siły międzycząsteczkowe).

Wiskozymetr jest przyrządem pomiarowym służącym do określania lepkości różnych substancji płynnych. Obejmuje duży zakres pomiarowy, przy niewielkiej niepewności pomiaru. Stosowany jest w różnych dziedzinach naukowych, w chemii głównie do badań nad ropą i bituminami, w medycynie, w przemyśle spożywczym i w wielu innych. Obejmuje wiele dziedzin wykonujących pełen zakres badań reologicznych. Znajduje częste zastosowanie w badaniach reologicznych wodnych roztworów biopolimerów oraz w medycynie, w badaniach reologicznych białek.

Opis przyrządu pomiarowego:

Wiskozymetr za pomocą, którego dokonywane będą pomiary to wiskozymetr Rheo. Stanowi znaczne ulepszenie wiskozymetru Höpplera. W przeciwieństwie do niego kulka nie opada swobodnie, tutaj kulka jest obciążana dowolnie. Szklana kulka jest wykonana z dokładnością mniejszą od 0,001 mm. Jest przyklejona kitem do pręta, dzięki czemu można uzyskać wymuszony ruch. Każda z kulek umieszczana jest w uchwycie wahadła zawsze w ten sam sposób i w tym samym położeniu. Umożliwia to zapadka mocująca znajdującą się na końcówce każdego z drążków.

WYKONANIE ĆWICZENIA:

Uwaga! W tym ćwiczeniu należy zachować szczególnie dokładną czystość pręta z kulką oraz zbiornika pomiarowego przed jego napełnieniem. W przeciwnym razie wykonane pomiary będą niepoprawne, a wyniki nie będą miarodajne.

Należy przemyć wspomniane elementy wodą destylowaną, następnie wysuszyć i ochłodzić do temperatury otoczenia.

Podczas wykonywanych badań dodatkowo należy zadbać o zachowanie stałej temperatury (którą notujemy).

1. Napełnić zbiornik pomiarowy (z napisem „0.1”) olejem rzepakowym i umieścić go w wiskozymetrze. Zabezpieczyć zbiornik za pomocą obrotowej nakładki.
2. Umieścić element wyporowy w zbiorniku pomiarowym.
3. Zrównoważyć siłę wyporu cieczy działającą na element wyporowy ustawiając suwak na ramieniu wiskozymetru na wartość 0.6.
4. Pokrętle ślimakowym ustawić wskazówkę czujnika mikrometrycznego na wartość 0 (**czynność tę należy wykonywać powoli**).
5. Na szalce umieścić odważniki odpowiadające wartości $A=40\text{p/cm}^2$.
6. Po zwolnieniu blokady, za pomocą stopera zmierzyć czas przebycia drogi (30 mm) przez element wyporowy.
7. Powtórzyć pomiar czasu spadku elementu wyporowego 5-krotnie (punkty 4-6).
8. Powtórzyć pomiary (punkty 4-7) dla odważników o wartościach 30p/cm^2 , 20p/cm^2 i 10p/cm^2 .
9. Wyniki umieścić w tabeli:

A	40p/cm ²	30p/cm ²	20p/cm ²	10p/cm ²	
L.p.	t [s]	t [s]	t [s]	t [s]	τ [°C]
1					
2					
3					
4					
5					
$\bar{t}$ [s]					
$A \cdot \bar{t}$					

10. Obliczyć wartość średnią α iloczynów $A \cdot \bar{t}$ z ostatniego wiersza tabeli, tzn. $\alpha = \frac{\sum_{i=1}^4 (A \cdot \bar{t})_i}{4}$.
11. Współczynnik lepkości η dla badanego oleju wyznaczyć z równania: $\eta = \alpha \cdot 0.1056$ (stała użyta w równaniu odpowiada zbiornikowi z napisem „0.1”).
12. **Wszystkie powyższe czynności powtórzyć dla gliceryny.**
Uwaga – korzystamy teraz ze zbiornika pomiarowego z napisem „1”, zaś suwak na ramieniu wiskozymetru ustawiamy na wartość 0.9 (punkt 3 instrukcji).
13. Odczytujemy stężenie procentowe gliceryny (informacja zawarta jest na zbiorniku z gliceryną).
14. Współczynnik lepkości η dla gliceryny wyznaczyć z równania: $\eta = \alpha \cdot 0.9689$ (stała użyta w równaniu odpowiada zbiornikowi z napisem „1”).

15. Zmierzyć temperaturę otoczenia τ (jest to zarazem temperatura badanych cieczy).
16. Porównać otrzymane wyniki współczynników lepkości z wartościami tablicowymi.

UWAGA – ponieważ współczynnik lepkości silnie zależy od temperatury, dla temperatur innych niż podane w tablicach, dla gliceryny należy skorzystać z zależności Arrheniusa-Guzmanna:

$$\eta_{C_3H_5(OH)_3(99\%)}(\tau) = 1000 \cdot e^{-25.742 + \frac{7598.975}{\tau + 273.15} [cP]},$$

zaś dla badanego oleju należy skorzystać z przybliżonej zależności:

$$\eta_{olej\,rzepakowy}(\tau) = 196.45 \cdot e^{-0.046\tau} [cP],$$

gdzie τ jest temperaturą badanej cieczy (w stopniach Celsjusza).

UWAGA – wartości współczynników lepkości wyznaczone na podstawie powyższych wzorów wyrażone są w centypuazach cP (jest to podwielokrotność jednostki lepkości dynamicznej używanej w układzie CGS, tzw. Puaz; symbol P). W układzie SI jednostką lepkości dynamicznej jest Pa·s. Można wykazać, że 1Pa·s = 10P.

INFORMACJE DODATKOWE:

1. Jako niepewność pomiarową czasu spadku elementu wyporowego przyjąć $\Delta t = 0.1s$.
2. Niepewność pomiarową średniej pięciu czasów spadku (dla danego odważnika) obliczyć z zależności:

$$\Delta \bar{t} = \sqrt{\frac{1}{20} \sum_{i=1}^5 (t_i - \bar{t})^2} \cdot 2.78,$$

gdzie czynnik 2.78 odpowiada wartości krytycznej rozkładu Studenta przy poziomie ufności równym 95%.

3. Niepewność pomiarową $\Delta(A \cdot \bar{t})$ iloczynu $A \cdot \bar{t}$ wyznaczyć ze związku: $\Delta(A \cdot \bar{t}) = A \cdot \Delta \bar{t}$.
4. Jako niepewność pomiarową $\Delta \alpha$ wartości α przyjąć maksymalną z wartości wyliczonych w punkcie 3.
5. Jako niepewność pomiarową współczynnika lepkości przyjmujemy wielkość obliczoną ze wzoru: $\Delta \eta = K \cdot \Delta \alpha$ gdzie K jest wartością współczynnika zależnego od rodzaju zbiornika pomiarowego użytego do obliczeń (punkt 11 i 14 niniejszej instrukcji).
6. Otrzymane wyniki porównujemy z wartością tablicową zgodnie z zależnością: $|X - X_T| \leq \Delta X + \Delta X_T$; gdzie X to wielkość zmierzona, zaś X_T to jej wartość tablicowa. Gdy powyższa relacja jest spełniona to otrzymany wynik jest zgodny z wartością tablicową.