



**ĆWICZENIE
8**

**WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI CIECZY
NA PODSTAWIE PRAWA STOKESA**

Instrukcja wykonawcza

1. Wykaz przyrządów

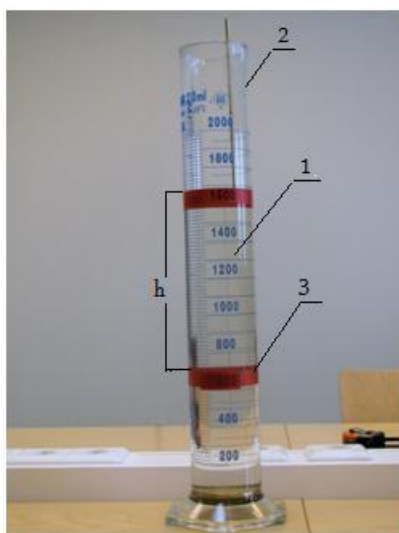
- Naczynie cylindryczne z badaną cieczą
- Areometr
- Zestaw kulek
- Waga
- Śruba mikrometryczna
- Linijka z podziałką milimetrową
- Stoper
- Wiskozymetr Höpplera

2. Cel ćwiczenia

- Obserwacja ruchu ciał spadających w ośrodku ciągłym.
- Wyznaczenie współczynnika lepkości cieczy.

3. Przebieg pomiarów

3.1. Pomiar lepkości cieczy metodą Stokesa za pomocą szerokiego cylindrycznego naczynia szklanego



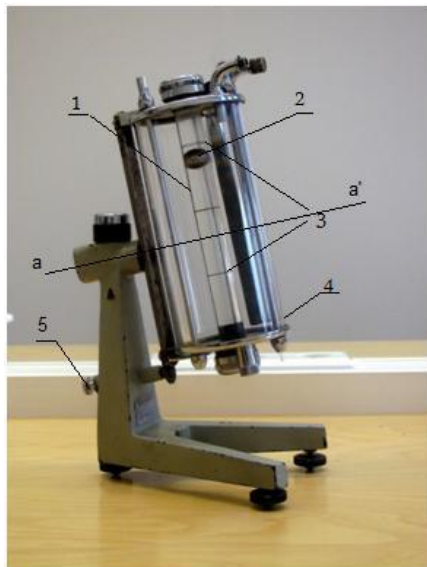
Rys.1. Urządzenie do pomiaru współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa:

- 1 - ciecz
- 2 - cylinder szklany
- 3 - pierścienie
- h - odległość między pierścieniami

- pomiary wykonać dla kilku kulek wskazanych przez prowadzącego ćwiczenia;
- kulki dokładnie oczyścić, wysuszyć i każdą z nich zważyć na wadze;
- zmierzyć śrubą mikrometryczną średnicę kulek; pomiaru średnicy d każdej kulki dokonać co najmniej 10 razy w różnych kierunkach;
- za pomocą linijki z podziałką milimetrową zmierzyć odległość h między pierścieniami nałożonymi na naczynie; górny pierścień powinien znajdować się w odległości nie mniej niż 6 cm od powierzchni cieczy; odległość między pierścieniami jest równa drodze h przebytej przez kulkę ruchem jednostajnym;

- e) zmierzyć wielokrotnie (nie mniej niż 10 razy) czas spadania t każdej kulki na drodze h ; kulkę puszczać swobodnie tuż nad powierzchnią cieczy tak, aby jej tor w przybliżeniu pokrywał się z osią naczynia;
- f) wyznaczyć areometrem gęstość ρ_c badanej cieczy.

3.2. Pomiar współczynnika lepkości cieczy metodą Stokesa za pomocą wiskozymetru Höpplera



Rys.2. Wiskozymetr Höpplera:

- 1 - rurka
- 2 - kulka
- 3 - kreski, między którymi mierzy się czas spadania kulki
- 4 - osłona termostatyczna
- 5 - urządzenie aretujące

Nie rozkręcać wiskozymetru !!!

Do wiskozymetru nie wrzucać żadnych kulek !!!

- a) wypoziomować wiskozymetr;
- b) przyjąć temperaturę badanej cieczy jako temperaturę otoczenia; dla danej kulki zamkniętej w rurce z badaną cieczą kilkakrotnie zmierzyć stoperem czas t spadania kulki na drodze między skrajnymi kreskami znaczącymi;
- c) kulkę wprowadzić w ruch przez odaretowanie rurki wraz z osłoną termostatyczną i jej obrót wokół osi o 180° .

5. Opracowanie wyników

a) dla szerokiego naczynia cylindrycznego

1. Obliczyć wartości średnie średnicy kulek \bar{d} oraz ich niepewności pomiarowe $u(d)$.
2. Obliczyć wartości średnie czasów opadania kulek \bar{t} między pierścieniami oraz ich niepewności pomiarowe $u(t)$.
3. Obliczyć gęstość kulki ρ_k korzystając ze wzoru (1) oraz jej niepewność $u_c(\rho_k)$.

$$\rho_k = \frac{6m}{\pi \cdot d^3} \quad (1)$$

4. Obliczyć współczynnik lepkości cieczy η korzystając z poniższego wzoru i jego niepewność pomiarową $u_c(\eta)$.

$$\eta = \frac{d^2 \cdot g \cdot t \cdot (\rho_k - \rho_c)}{18h} \quad (2)$$

5. Wyznaczyć wartość średnią $\bar{\eta}$ ze wszystkich pomiarów.
6. Oszacować niepewność pomiaru współczynnika lepkości $u(\bar{\eta})$ (stosując odchylenie standardowe).

b) dla wiskozymetru Höpplera

1. Obliczyć średni czas opadania kulki \bar{t} i jego niepewność $u(t)$.
2. Obliczyć współczynnik lepkości badanej cieczy, dla danej temperatury pomiaru, korzystając z poniższego wzoru oraz jego niepewność.

$$\eta = k \cdot (\rho_k - \rho_c) \cdot t \quad (3)$$

Dane potrzebne do obliczeń:

Wiskozymetr 8/1	Wiskozymetr 8/3	Wiskozymetr 8/5
$k = 0,1228 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$	$k = 1,193225 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$	$k = 10,06 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$
$\rho_k = (8,14 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$	$\rho_k = (8,14 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$	$\rho_k = (7,74 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$
$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$	$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$	$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$
Wiskozymetr 8/2	Wiskozymetr 8/4	Wiskozymetr 8/6
$k = 0,7941 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$	$k = 0,7805 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$	$k = 5,431 \cdot 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}^2$
$\rho_k = (2,41 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$	$\rho_k = (2,41 \pm 0,01) \text{ g/cm}^3$	$\rho_k = (2,413 \pm 0,001) \text{ g/cm}^3$
$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$	$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$	$\rho_c = (1,261 \pm 0,005) \text{ g/cm}^3$

6. Informacje dodatkowe

Należy ocenić czas reakcji studenta przy włączaniu i wyłączaniu stopera i uwzględnić go w obliczeniach niepewności czasu $u(t)$.

7. Proponowane tabele (do zatwierdzenia u prowadzącego)

Tabela 1. Pomiary parametrów oraz czasów opadania dla kulki 1 wraz z obliczonym współczynnikiem lepkości cieczy

lp.	m 10 ⁻³ [kg]	d 10 ⁻³ [m]	h [m]	t [s]	ρ_k [kg/m ³]	ρ_c [kg/m ³]	η [Ns/m ²]
1							
2							
3							
⋮							
n							
\bar{X}							
ΔX							
$u(X)$							
$u_c(X)$							

$\bar{\eta} =$

$u(\bar{\eta}) =$

Tabela 2. Pomiary parametrów i czasów opadania dla kulki w wiskozymetrze Höpplera wraz z obliczonym współczynnikiem lepkości cieczy

lp.	t [s]	k [m ² /s ²]	ρ_k [kg/m ³]	ρ_c [kg/m ³]	η [Ns/m ²]
1					
2					
3					
...					
n					
\bar{X}					
ΔX					
$u(X)$					
$u_c(X)$					