

# Laboratorium Podstaw Fizyki

Numer ćwiczenia: 8

**Temat ćwiczenia:** Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy na podstawie prawa Stokesa

**Nazwisko i imię prowadzącego kurs:** mgr Paulina Kamyczek

Wykonawca:	
Imię i nazwisko, nr indeksu, wydział	Tymon Tobolski 181037 Jacek Wieczorek 181043 Wydział Elektroniki
Termin zajęć: dzień tygodnia, godzina	3.11.2010 środa 9.15-11.00
Numer grupy ćwiczeniowej	5
Data oddania sprawozdania:	
<b>Ocena końcowa</b>	

Zatwierdzam wyniki pomiarów.

Data i podpis prowadzącego zajęcia: .....

**Adnotacje dotyczące wymaganych poprawek oraz daty otrzymania poprawionego sprawozdania**

## 1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie współczynnika lepkości przykładowej cieczy za pomocą pomiaru czasu spadania kulki w cylindrycznym naczyniu wypełnionym cieczą oraz za pomocą wiskozymetru Hopplera.

## 2. Pomiar współczynnika lepkości cieczy za pomocą szklanego naczynia cylindrycznego

### 2.1. Pomiar średnicy i masy kulek oraz obliczenie gęstości

Pomiar średnicy  $d$  kulek został wykonany za pomocą suwmiarki, dziesięciokrotnie dla każdej z trzech kulek. Masa  $m$  została określona przy wykorzystaniu wagi elektronicznej. Wyniki pomiarów znajdują się w tabeli 1.

Wykorzystane wzory:

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d_i \\ \Delta \bar{d} &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (d_i - \bar{d})^2} \\ \bar{r} &= \frac{\bar{d}}{2} \\ \Delta \bar{r} &= \frac{\Delta \bar{d}}{2} \\ \rho_k &= \frac{m}{\frac{4}{3}\pi r^3} \\ \Delta \rho_k &= \left[ \left| \frac{\Delta m}{m} \right| + \left| \frac{3\Delta r}{r} \right| \right] \rho_k\end{aligned}$$

Przykładowe obliczenia (kulka nr 1):

$$\begin{aligned}\bar{d} &= \frac{5,6 + \dots + 5,7}{10} = 5,72mm \\ \Delta \bar{d} &= \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} [(5,6 - 5,72)^2 + \dots + (5,7 - 5,72)^2]} = 0,00622222 \approx 0,0063mm \\ \bar{r} &= \frac{5,72}{2} = 2,86mm \\ \Delta \bar{r} &= \frac{0,0063}{2} \approx 0,0032mm \\ \rho_k &= \frac{0,283}{\frac{4}{3}\pi(0,286)^3} = 2,888 \frac{g}{cm^3} \\ \Delta \rho_k &= \left[ \left| \frac{0,0002}{2,888} \right| + \left| \frac{3 * 0,00032}{0,286} \right| \right] \rho_k = 0,011465 \approx 0,012 \frac{g}{cm^3}\end{aligned}$$

<i>Kulka</i>	$m[g]$	$\Delta m[g]$	$d[mm]$	$\bar{d}[mm]$	$\Delta \bar{d}[mm]$	$\bar{r}[mm]$	$\Delta \bar{r}[mm]$	$\rho_k[g/cm^3]$	$\Delta \rho_k[g/cm^3]$
1	0,283	0,0002	5,6 5,7 5,7 5,8 5,8 5,8 5,7 5,6 5,7 5,8	5,72	0,0063	2,86	0,0032	2,888	0,012
2	0,233	0,0002	5,8 5,8 5,9 6,0 5,8 5,9 5,7 5,8 5,9 6,0	5,86	0,01	2,93	0,005	2,211	0,013
3	0,7168	0,0002	8,0 7,9 8,2 8,1 7,9 8,0 8,1 8,0 7,8 8,0	8	0,014	4,0	0,07	2,674	0,015

Tabela 1. Wyniki pomiarów masy oraz średnicy kulek

## 2.2. Pomiar czasu spadania kulek w naczyniu

Pomiar został wykonany za pomocą stopera, dziesięciokrotnie dla każdej kulki osobno. Zmierzony został czas  $t$ , w którym każda z kulek pokonuje spadając w cieczy określony dystans  $h$ . Wyniki pomiarów znajdują się w tabeli 2.

Wykorzystane wzory:

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i$$

$$\Delta \bar{t} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2}$$

Przykładowe obliczenia (kulka 1):

$$\bar{t} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 8,298s$$

$$\Delta \bar{t} = \sqrt{\frac{1}{10 * (10 - 1)} \sum_{i=1}^{10} (t_i - 8,298)^2} = 0,0245955 \approx 0,025s$$

Obliczenie współczynnika lepkości:

$$g = 9,81 \frac{m}{s^2}$$

$$h = 24,8cm = 0,248m$$

$$\rho_c = 1,25 \frac{g}{cm^3}$$

$$\eta = \frac{2r^2 * g * t * (\rho_k - \rho_c)}{9h}$$

$$\eta_1 = \frac{2 * (2,86 * 0,001)^2 * 9,81 * 8,298 * (2,888 - 1,25) * 10^3}{9 * 0,248} = 0,9773 \frac{kg}{s * m}$$

$$\eta_2 = \frac{2 * (2,93 * 0,001)^2 * 9,81 * 13,145 * (2,211 - 1,25) * 10^3}{9 * 0,248} = 0,9537 \frac{kg}{s * m}$$

$$\eta_3 = \frac{2 * (4 * 0,001)^2 * 9,81 * 5,086 * (2,674 - 1,25) * 10^3}{9 * 0,248} = 1,0185 \frac{kg}{s * m}$$

$$\Delta \eta = \left| \frac{4rgt(\rho_k - \rho_c)\Delta r}{9h} \right| + \left| \frac{2r^2g(\rho_k - \rho_c)\Delta t}{9h} \right| + \left| \frac{2r^2gt\Delta \rho_k}{9h} \right| + \left| \frac{2r^2gt\Delta \rho_c}{9h} \right| + \left| \frac{2r^2gt(\rho_k - \rho_c)\Delta h}{9h^2} \right|$$

$$\Delta \eta_1 = 0,0022 \frac{kg}{s * m}$$

$$\Delta \eta_2 = 0,0031 \frac{kg}{s * m}$$

$$\Delta \eta_3 = 0,0035 \frac{kg}{s * m}$$

$$\bar{\eta} = 0,983 \frac{kg}{s * m}$$

$$\Delta \bar{\eta} = 0,024 \frac{kg}{s * m}$$

<i>Kulka</i>	$t[s]$	$\bar{t}[s]$	$\Delta\bar{t}[s]$
1	8,37	8,298	0,025
	8,47		
	8,36		
	8,42		
	8,24		
	8,24		
	8,40		
	8,10		
	7,98		
	8,40		
2	13,20	13,145	0,036
	13,09		
	13,51		
	13,11		
	13,28		
	13,27		
	13,13		
	12,87		
	12,89		
	13,10		
3	5,11	5,086	0,009
	5,1		
	5,15		
	5,07		
	5,01		
	4,99		
	4,99		
	4,99		
	5,21		
	5,24		

Tabela 2. Wyniki pomiarów czasu spadania kulek.

<i>Kulka</i>	$\eta[kg/(s * m)]$	$\Delta\eta[kg/(s * m)]$	$\bar{\eta}[kg/(s * m)]$	$\Delta\bar{\eta}[kg/(s * m)]$
1	0,9773	0,0022	0,983	0,024
2	0,9537	0,0031		
3	1,0185	0,0035		

Tabela 3. Obliczone wartości współczynnika lepkości.

### 3. Wyznaczanie współczynnika lepkości cieczy przy pomocy wiskozymetru

Pomiar został dokonany z wykorzystaniem stopera. Zmierzony został czas  $t$ , w którym kulka umieszczona w wiskozymetrze pokonała oznaczony dystans. Pomiar został powtórzony pięciokrotnie. Wyniki znajdują się w tabeli 4.

Lp	$t[s]$	$\bar{t}[s]$	$\Delta\bar{t}[s]$	$k[m^2/s^2]$	$\rho_k[kg/m^3]$	$\Delta\rho_k[kg/m^3]$	$\rho_c[kg/m^3]$	$\Delta\rho_c[kg/m^3]$
1	162,78	161,76	1,0	0,0000001216	8120	10	1235	5
2	162,62							
3	161,26							
4	160,5							
5	161,62							

Tabela 4. Wyniki pomiarów czasu spadania kulki.

Wykorzystane wzory i obliczenia:

$$\begin{aligned}\bar{t} &= \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i = 161,76s \\ \Delta\bar{t} &= \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (t_i - \bar{t})^2} \approx 1,0s \\ \eta &= k * (\rho_k - \rho_c) * t = 0,1354 \frac{kg}{s * m} \\ \Delta\eta &= |k * t * \Delta\rho_k| + |k * t * \Delta\rho_c| + |k * (\rho_k - \rho_c) * \Delta t| \approx 0,0011 \frac{kg}{s * m} \\ \eta &= 0,1354 \pm 0,0011 \frac{kg}{s * m}\end{aligned}$$

### 4. Wnioski

Wartość współczynnika lepkości otrzymana w wyniku pomiarów wiskozymetrem znacznie różni się od wyniku otrzymanego przez pomiar czasu opadania kulek w cylindrze wypełnionym cieczą. Wpływ na to może mieć wiele różnych czynników jak np. różne właściwości cieczy umieszczonych w cylindrze i w wiskozymetrze. Ciecze o zbliżonej gęstości mogą mieć różną lepkość.

Obliczona wartość współczynnika lepkości dla trzech różnych kulek były zbliżone. Na niewielką różnicę pomiędzy wartościami może mieć wpływ fakt, iż kulki nie były idealnie suche, nie zawsze opadały w tym samym miejscu cylindra. Istotnym powodem mógłbyć czas reakcji podczas pomiaru czasu.