

Wydział FiIS	Imię i nazwisko 1. Kinash Viktoriia 2. Kotłowska Karolina 3. Such Katarzyna		Rok 2	Grupa 2	Zespół 2
PRACOWNIA FIZYCZNA WFIS AGH	Temat: Współczynnik lepkości				Nr ćwiczenia 13
Data wykonania 19.04.2021	Data oddania 25.04.2021	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

1 Cel ćwiczenia

Wyznaczenie współczynnika lepkości gliceryny metodą Stokesa, zapoznanie się z własnościami cieczy lepkiej.

2 Wykonanie ćwiczenia

2.1 Opis problemu

Do wykonania doświadczenia użyliśmy następujących przedmiotów:

- kulek o niewielkiej średnicy
- śruby mikrometrycznej
- wagi z dokładnością do 1mg
- przyrządu do badania spadania kulki w cieczy (wysokie naczynie wypełnione gliceryną)
- termometru

Na początku zmierzaliśmy średnice wybranych czterech kulek śrubą mikrometryczną. Kolejno zważyliśmy je na wadze cyfrowej. Kolejnym krokiem było wykonanie 3 pomiarów dla każdej z kulek z użyciem wysokiego naczynia wypełnionego gliceryną. Odczytaliśmy z termometru temperaturę otoczenia, po czym wrzucaliśmy kulkę do naczynia i mierzyliśmy jej czas przelotu na odcinku 80cm. Wyniki wpisywaliśmy do tabeli.

3 Wyniki

Droga spadania kulki: $l = 800$ [mm]

Średnica cylindra: $D = 39$ [mm]

Temperatura: $21^{\circ}C$

Prędkość przelotu kulki:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{0,8}{8,47} = 0,094 \frac{m}{s} \quad (1)$$

gdzie l - droga spadania kulki, t - czas spadania kulki, np. dla pierwszego pomiaru pierwszej kulki

Współczynnik lepkości:

$$\eta = \frac{(m - \rho V)g}{6\pi r v_{gr} (1 + 2,4 \frac{r}{R})} = \frac{(0,000123kg - 1249,99 \frac{kg}{m^3} \cdot 0,007m^3) \cdot 9,81 \frac{kgm}{s^2}}{6\pi \cdot 0,0016m \cdot 0,094 \frac{m}{s} (1 + 2,4 \cdot \frac{0,0016m}{0,0195m})} = 0,3 [Pa \cdot s] \quad (2)$$

gdzie:

m - masa kulki,

$\rho = 1249,99 \frac{kg}{m^3}$ - gęstość cieczy

$V = \frac{4}{3}\pi r^3$ - objętość kulki

$g = 9,81 \frac{kgm}{s^2}$ - przyspieszenie ziemskie

r - promień kulki, $r = \frac{d}{2}$ d - średnica

R - promień cylindra, $r = \frac{D}{2}$ D - średnica

v_{gr} - prędkość graniczna (taka gdy kulka porusza się ruchem jednostajnym)

np. dla pierwszego pomiaru pierwszej kulki.

numer pomiaru	średnica [mm]	masa [g]	czas spadku [s]	prędkość [$\frac{m}{s}$]	wsp. lepkości [$Pa \cdot s$]
1	3,15	0,123	8,47	0,094	0,300
2	3,15	0,121	8,57	0,093	0,298
3	3,16	0,12	8,5	0,094	0,291
wartości średnie	3,153	0,121	8,513	0,094	0,297

Tabela 1: Wyniki pomiarów i wartości średnie pomiarów dla pierwszej kulki.

numer pomiaru	średnica [mm]	masa [g]	czas spadku [s]	prędkość [$\frac{m}{s}$]	wsp. lepkości [$Pa \cdot s$]
1	3,547	0,165	6,81	0,117	0,278
2	3,546	0,162	6,75	0,119	0,278
3	3,547	0,161	6,66	0,120	0,264
wartości średnie:	3,547	0,163	6,74	0,119	0,270

Tabela 2: Wyniki pomiarów i wartości średnie pomiarów dla drugiej kulki.

numer pomiaru	średnica [mm]	masa [g]	czas spadku [s]	prędkość [$\frac{m}{s}$]	wsp. lepkości [$Pa \cdot s$]
1	4,43	0,24	5,56	0,144	0,235
2	4,42	0,241	5,53	0,145	0,236
3	4,42	0,24	5,56	0,144	0,236
wartości średnie:	4,423	0,24	5,55	0,144	0,236

Tabela 3: Wyniki pomiarów i wartości średnie pomiarów dla trzeciej kulki.

numer pomiaru	średnica [mm]	masa [g]	czas spadku [s]	prędkość [$\frac{m}{s}$]	wsp. lepkości [$Pa \cdot s$]
1	3,546	0,161	6,66	0,120	0,264
2	3,545	0,16	6,68	0,120	0,263
3	3,544	0,162	6,71	0,119	0,269
wartości średnie:	3,545	0,161	6,683	0,120	0,265

Tabela 4: Wyniki pomiarów i wartości średnie pomiarów dla czwartej kulki.

Średnie wartości liczyliśmy korzystając ze wzoru:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{9,46}{3} = 3,153[mm] \quad (3)$$

np. dla pomiaru średnicy pierwszej kulki.

4 Opracowanie wyników pomiarów

Niepewność standardowa współczynnika lepkości:

$$u(\eta) = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\eta_i - \bar{\eta})^2}{n(n-1)}} = \sqrt{\frac{0,0001}{3 \cdot 2}} = 0,004 [Pa \cdot s] \quad (4)$$

np. niepewność obliczona dla drugiej kulki

dla pierwszej kulki - $u(\eta) = 0,003 [Pa \cdot s]$

dla drugiej kulki - $u(\eta) = 0,004 [Pa \cdot s]$

dla trzeciej kulki - $u(\eta) = 0,0004 [Pa \cdot s]$

dla czwartej kulki - $u(\eta) = 0,002 [Pa \cdot s]$

numer kulki	wartość obliczona (średnia) $\eta [Pa \cdot s]$	wartość teoretyczna $\eta [Pa \cdot s]$
1	$0,297 \pm 0,003$	0,475
2	$0,270 \pm 0,004$	0,475
3	$0,236 \pm 0,0004$	0,475
4	$0,265 \pm 0,002$	0,475

Tabela 5: Porównanie wartości współczynnika lepkości z wartościami teoretycznymi.

Wyznaczone wartości współczynnika lepkości i wartości tablicowe nie są równe w granicach niepewności (dla każdej kulki).

Średnia prędkość spadania dla pierwszej kulki (obliczona wcześniej): $v = 0,094 \frac{m}{s}$

Liczba Reynoldsa:

$$Re = \frac{v l \rho}{\eta} = \frac{0,094 \frac{m}{s} \cdot 0,00315m \cdot 1249,99 \frac{kg}{m^3}}{0,297 Pa \cdot s} = 1,246 \quad (5)$$

gdzie:

v - prędkość spadania kulki

l - wymiar liniowy: $l=2r=d$

$\rho = 1249,99 \frac{kg}{m^3}$ - gęstość cieczy

η - współczynnik lepkości

5 Wnioski

5.1

Wyniki, które otrzymaliśmy nie są bliskie wartościom teoretycznym oraz nie leżą w granicach niepewności pomiarowych.

5.2

Współczynnik lepkości badanej cieczy (gliceryna) jest zależny od temperatury i stężenia. Nawet niewielka zmiana tych parametrów powoduje znaczącą zmianę tej wartości. Im większa temperatura przy ustalonym stężeniu, tym mniejsza wartość współczynnika lepkości. Im większe stężenie przy stałej temperaturze, tym większa wartość współczynnika.

5.3

Uzyskana na podstawie pomiarów wartość liczby Reynoldsa, która oscyluje w granicy rzędu jedności, świadczy o przepływie laminarnym kulki w roztworze.

5.4

Błąd pomiarowy wynika z różnych powodów: niejakościowy sprzęt (zawsze istnieje pewna niedokładność przy użyciu wagi cyfrowej, linijki, suwmiarki, śruby mikrometrycznej, kalkulatora; co więcej, zaobserwowałyśmy małe bąbelki powietrza zawarte w cieczy - przeszkoda dla kulki, która powinna poruszać się jednostajnie), niedokładne dane wejściowe (np. niedokładnie określone jest stężenie roztworu użytego w doświadczeniu) i niedokładność przy odczytywaniu pomiarów - czynnik ludzki (przy użyciu linijki, suwmiarki, śruby mikrometrycznej).

5.5

Pełna eliminacja powyższych problemów nie jest możliwa w rzeczywistości, ale możemy stwierdzić, że gdyby się udało ograniczyć je w sposób znaczący, wartości zmierzone dla poszczególnych oporów pokrywałyby się z wartościami wyliczonymi teoretycznie i leżałyby w granicach niepewności.