

Sprawozdanie 2

Jan Bronicki
Nr indeksu: 249011
Marcin Radke
Nr indeksu: 241554
Ćwiczenie: 8

1 Wstęp Teoretyczny

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

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

Gdzie:

d - średnica kulki

g - przyspieszenie ziemskie ($9.81 \frac{m}{s^2}$)

ρ_k - gęstość kulki

ρ_c - gęstość cieczy (gliceryny)

h - długość trasy tonącej w glicerynie kulki

Lepkość zostanie wyznaczona na podstawie danych otrzymanych przez obserwację kulki tonącej w glicerynie. Dzięki analizie ruchu kulki, znając jej parametry takie jak masa i średnica, które przekładają się na gęstość. Można zanalizować siły oporu, które stawia ciecz co przekłada się na współczynnik lepkości η .

W naszym eksperymencie wykorzystamy następujące przyrządy:

- Naczynie cylindryczne z badaną cieczą (w tym wypadku z gliceryną)
- Areometr do zbadania gęstości cieczy
- Trzy różne kolorowe kulki (Biała, Czarna i Niebieska)
- Waga
- Suwmiarka do pomiaru średnicy kulek
- Stoper
- Linijka z podziałką milimetrową

2 Otrzymane pomiary i ich opracowanie

| Nr pomiaru | d[m] | m[kg] | t[s] |
|------------|-------|-----------|--------|
| 1 | 0.008 | 0.000486 | 18.61 |
| 2 | 0.008 | 0.00048 | 18.48 |
| 3 | 0.008 | 0.0004824 | 20.36 |
| 4 | 0.008 | 0.0004844 | 18.18 |
| 5 | 0.008 | 0.000498 | 18.14 |
| 6 | 0.008 | 0.0004916 | 18.38 |
| 7 | 0.008 | 0.0004924 | 18.9 |
| 8 | 0.008 | 0.0004954 | 18.16 |
| 9 | 0.008 | 0.0004812 | 18.25 |
| 10 | 0.008 | 0.0004916 | 18.5 |
| Srednia: | 0.008 | 0.0004883 | 18.596 |

(a) Pomiary kulki Białej

| Nr pomiaru | d[m] | m[kg] | t[s] |
|------------|-------|------------|-------|
| 1 | 0.006 | 0.0002364 | 21.83 |
| 2 | 0.006 | 0.000235 | 22.24 |
| 3 | 0.006 | 0.0002516 | 21.61 |
| 4 | 0.006 | 0.0002474 | 21.56 |
| 5 | 0.006 | 0.0002464 | 21.67 |
| 6 | 0.006 | 0.0002418 | 21.3 |
| 7 | 0.006 | 0.0002376 | 21.57 |
| 8 | 0.006 | 0.0002358 | 21.18 |
| 9 | 0.006 | 0.0002422 | 22.08 |
| 10 | 0.006 | 0.0002377 | 21.16 |
| Srednia: | 0.006 | 0.00024119 | 21.62 |

(b) Pomiary kulki Czarnej

| Nr pomiaru | d[m] | m[kg] | t[s] |
|------------|-------|------------|-------|
| 1 | 0.006 | 0.0002364 | 21.83 |
| 2 | 0.006 | 0.000235 | 22.24 |
| 3 | 0.006 | 0.0002516 | 21.61 |
| 4 | 0.006 | 0.0002474 | 21.56 |
| 5 | 0.006 | 0.0002464 | 21.67 |
| 6 | 0.006 | 0.0002418 | 21.3 |
| 7 | 0.006 | 0.0002376 | 21.57 |
| 8 | 0.006 | 0.0002358 | 21.18 |
| 9 | 0.006 | 0.0002422 | 22.08 |
| 10 | 0.006 | 0.0002377 | 21.16 |
| Srednia: | 0.006 | 0.00024119 | 21.62 |

(c) Pomiary kulki Niebieskiej

Rysunek 1: Tabele dla kulki białej, czarnej i niebieskiej, kolejno

Gęstość cieczy została wyznaczona Areometrem:

$$\rho_c = 1330 \pm 10 \left[\frac{kg}{m^3} \right]$$

Gęstość kulki obliczamy z następującego wzoru:

$$\rho_k = \frac{6m}{\pi d^3}$$

Niepewność gęstości kulki:

$$u_c(\rho_k) = \sqrt{\left(\frac{6}{\pi d^3}\right)^2 \cdot u^2(\bar{m}) + \left(\frac{12m}{\pi d^4}\right) \cdot u^2(d)}$$

Wzór na niepewność lepkości:

$$u(\eta)_c = u_c(y) = \sqrt{\sum_{j=1}^k \left(\frac{\partial f}{\partial x_j}\right)^2 \cdot u^2(x_j)} =$$

$$= \sqrt{\left(\frac{2 \cdot d \cdot g \cdot \bar{t} \cdot (\rho_k - \rho_c)}{18h}\right)^2 \cdot u_c^2(d) + \left(\frac{d^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_c)}{18h}\right)^2 \cdot u_c^2(t) + \left(\frac{d^2 \cdot g \cdot \bar{t}}{18h}\right)^2 \cdot u_c^2(\rho_k) + \left(\frac{-d^2 \cdot g \cdot \bar{t}}{18h}\right)^2 \cdot u_c^2(\rho_c) + \left(\frac{-d^2 \cdot g \cdot (\rho_k - \rho_c)}{18h^2}\right)^2 \cdot u_c^2(h)}$$

Niepewność czasu:

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

Niepewność masy:

$$S_{\bar{m}} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (m_i - \bar{m})^2}$$

3 Przykładowe obliczenia

Gęstość kulki:

$$\rho_k = \frac{6 \cdot 0.0004883}{\pi \cdot 0.008^3} \approx 1821.45 \frac{kg}{m^3}$$

Niepewność gęstości kulki:

$$u_c(\rho_k) = \sqrt{\left(\frac{6}{\pi \cdot 0.008^3}\right)^2 \cdot 0.00000000004^2 + \frac{12 \cdot 0.0004883}{\pi \cdot 0.008^4} \cdot 0.00005^2} \approx 35 \frac{kg}{m^3}$$

Niepewność czasu:

$$S_{\bar{t}} = \sqrt{\frac{1}{10.9} \cdot 3,96444} \approx 0.21 s$$

Lepkość:

$$\eta = \frac{0.008^2 \cdot 9.81 \cdot 18.596 \cdot (1821.45 - 1330)}{18 \cdot 0.341} \approx 0.94 \frac{Ns}{m^2}$$

| | $\bar{m}[kg]$ | $\bar{d}[m]$ | $h[m]$ | $\bar{t}[s]$ | $\rho_k \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\rho_c \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\eta \left[\frac{Ns}{M^2} \right]$ |
|----------|---------------|---------------|-------------|--------------|----------------------------------------|----------------------------------------|--------------------------------------|
| X | 0.0004883 | 0.008 | 0.341 | 18.60 | 1821.45 | 1330 | 0.9348 |
| $u(X)$ | | ± 0.00005 | ± 0.001 | ± 0.21 | | ± 10 | |
| $u_c(X)$ | 0.00000000004 | | | | ± 34 | | 0.070 |
| | $\bar{m}[kg]$ | $\bar{d}[m]$ | $h[m]$ | $\bar{t}[s]$ | $\rho_k \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\rho_c \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\eta \left[\frac{Ns}{M^2} \right]$ |
| X | 0.00024119 | 0.006 | 0.341 | 21.62 | 2132.59 | 1330 | 0.9984 |
| $u(X)$ | | ± 0.00005 | ± 0.001 | ± 0.11 | | ± 10 | |
| $u_c(X)$ | 0.00000000003 | | | | ± 54 | | 0.070 |
| | $\bar{m}[kg]$ | $\bar{d}[m]$ | $h[m]$ | $\bar{t}[s]$ | $\rho_k \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\rho_c \left[\frac{kg}{m^3} \right]$ | $\eta \left[\frac{Ns}{M^2} \right]$ |
| X | 0.00040912 | 0.008 | 0.341 | 21.62 | 1526.1 | 1330 | 0.743 |
| $u(X)$ | | ± 0.00005 | ± 0.001 | ± 0.15 | | ± 10 | |
| $u_c(X)$ | 0.00000000002 | | | | ± 29 | | 0.12 |

4 Wnioski

- Na podstawie pomiarów lepkość cieczy wyszła w przybliżeniu lepkości gliceryny
- Wyniki nie są dokładne, ponieważ w roztworze mogła znajdować się woda
- Czas reakcji człowieka oraz że kulki nie są idealnymi kulami są powodami dużych różnic w czasach opadania kulki
- Wyniki lepkości wyznaczonej ze wzorów różnią się z powodu dużych niepełności pomiarowych masy i obwodu kulek