

# Ćwiczenie: 8

AUTOR

## 1 Wstęp Teoretyczny

Pomiar współczynnika lepkości  $\eta$  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 ( $9.81 \frac{m}{s^2}$ )

$\rho_k$  - gęstość kulki

$\rho_c$  - 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  $\eta$ .

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
$u(X)$		$\pm 0.00005$	$\pm 0.001$	$\pm 0.21$		$\pm 10$	
$u_c(X)$	0.00000000004				$\pm 34$		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
$u(X)$		$\pm 0.00005$	$\pm 0.001$	$\pm 0.11$		$\pm 10$	
$u_c(X)$	0.00000000003				$\pm 54$		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
$u(X)$		$\pm 0.00005$	$\pm 0.001$	$\pm 0.15$		$\pm 10$	
$u_c(X)$	0.00000000002				$\pm 29$		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