

SPRAWOZDANIE Z ĆWICZENIA LABORATORYJNEGO

| | | | |
|---|------|----------------|-------------|
| Temat: Wyznaczanie współczynnika lepkości powietrza metodą kapilarną. | | | |
| Wydział | AEil | Kierunek | Informatyka |
| Nr grupy | 1 | Rok akademicki | 2023/2024 |
| Rok studiów | 2 | Semestr | 3 |

| | |
|------|-----------------|
| L.P. | Imię i nazwisko |
| 1. | Karol Pitera |
| 2. | Dominik Kłaput |
| 3. | |

| | |
|---------------|------------|
| Data pomiarów | 06.12.2023 |
|---------------|------------|

Ocena poprawności elementów sprawozdania

| data oceny | wstęp i cel ćwiczenia | struktura sprawozdania | obliczenia | rachunek niepewność i | wykres | zapis końcowy | wnioski |
|---------------|--------------------------|---------------------------|------------|-----------------------------|--------|------------------|---------|
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |
| | | | | | | | |

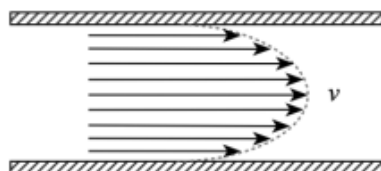
Ocena końcowa:

| | |
|-----------------------------|--|
| Ocena lub liczba punktów | |
| Data i podpis | |

Wstęp teoretyczny

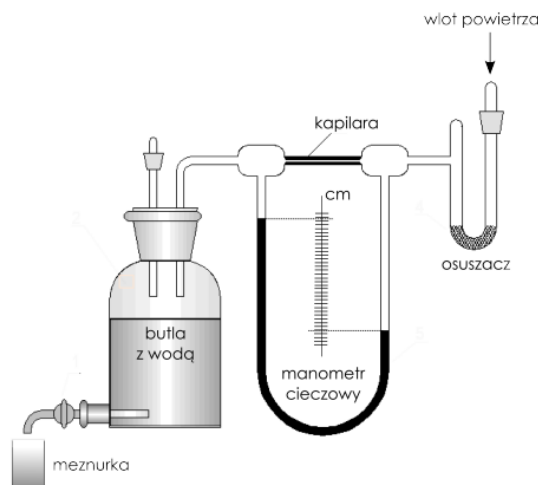
Zjawisko lepkości jest jednym ze zjawisk transportu, związanym z makroskopowym ruchem płynu (gazu lub cieczy). Zachodzi w całej objętości poruszającego się płynu, dlatego nazywany jest również oporem wewnętrznym.

W przypadku przepływu płynu przez rurkę kapilarną, którą obserwowaliśmy podczas laboratorium, przepływ jest najszybszy w jej osi, a prędkość warstw jest tym mniejsza, im mniejsza jest odległość między ścianką i rozważaną warstwą.



Rys. 1: Rozkład prędkości warstw płynu w kapilarze

Układ pomiarowy do wyznaczania współczynnika lepkości powietrza został przedstawiony poniżej. Jego głównym elementem jest rurka kapilarna o znanym promieniu $r = 0.4 \text{ mm}$ i długości $l = 100 \text{ mm}$. Pomiarowi podlega czas wypływu pewnej objętości wody z butli, który jest taki sam, jak przepływ takiej samej objętości powietrza przez kapilarę pod wpływem różnicy ciśnień między końcami kapilary. Różnica ciśnień jest mierzona pośrednio przy pomocy manometru wodnego, poprzez odczytanie różnicy poziomów Δh słupów wody w ramionach manometru. Objętość V wypływającej wody mierzy się menzurką.



Rys. 2: Układ pomiarowy

Głównym celem laboratorium było wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza dla temperatury i ciśnienia panujących w pracowni. Ponadto opracowaliśmy szereg wielkości fizycznych, dzięki którym lepiej rozumiemy badany temat.

Opracowane wielkości fizyczne: gęstość powietrza, średnią prędkość jego cząsteczek, długość drogi swobodnej pomiędzy zderzeniami, średnica efektywna cząsteczek powietrza oraz liczba Reynoldsa dla przepływu powietrza przez rurkę kapilarną.

Opracowanie pomiarów

1. Dla każdej i-tej trójki danych: V_i , Δh_i i t_i , na podstawie poniższego wzoru obliczyliśmy współczynnik lepkości powietrza:

$$\eta_i = \frac{\pi r^4 \rho_w g}{8l V_i} \Delta h_i t_i.$$

Gdzie:

- $\pi = 3,14$
- gęstość wody $\rho_w = 997 \text{ kg/m}^3$
- Przyspieszenie ziemskie $G = 9,8 \text{ m/s}^2$
- promień rurki kapilarnej $r = 0,4 \text{ mm}$
- długość rurki $l = 100 \text{ mm}$

| Lp. | Objętość wody $V_i, \text{ cm}^3$ | Różnica poziomów $\Delta h_i, \text{ cm}$ | Czas wypływu $t_i, \text{ s}$ | Współczynnik lepkości $\eta_i, \mu\text{P}\cdot\text{s}$ |
|-----|--------------------------------------|--|----------------------------------|---|
| 1 | 150 | 4 | 74.24 | 19.466 |
| 2 | 150 | 4 | 82.37 | 21.597 |
| 3 | 150 | 4 | 76.28 | 20.001 |
| 4 | 150 | 4 | 77.75 | 20.386 |
| 5 | 150 | 4 | 76.41 | 20.035 |
| 6 | 200 | 4 | 104.56 | 20.562 |
| 7 | 200 | 4 | 109.43 | 21.519 |
| 8 | 200 | 4 | 106.32 | 20.908 |
| 9 | 200 | 4 | 112.4 | 22.103 |
| 10 | 200 | 4 | 103.25 | 20.304 |

Rys.3: Tabela z obliczonymi współczynnikami lepkości powietrza dla wykonanych pomiarów

2. Określenie niepewności pomiarowych $u_b(V)$, $u_b(\Delta h)$ oraz $u_b(t)$.

Niepewności manometru oraz menzurki określiliśmy na podstawie przedziałki i wynoszą:

- Manometr - $u_b(\Delta h) = 2 \text{ mm}$

- Menzurka - $u_b(V) = 5 \text{ cm}^3$

Natomiast niepewności stopera $u_b(t)$ wyznaczyliśmy dla każdego pomiaru z osobna:

| Lp. | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| $u_b(t), \text{ s}$ | 0,022 | 0,024 | 0,023 | 0,023 | 0,023 | 0,031 | 0,033 | 0,032 | 0,034 | 0,031 |

Rys.4: Tabela przedstawiająca niepewności stopera dla każdego pomiaru

3. Korzystając z prawa przenoszenia niepewności opisanego przez poniższy wzór, dla każdej trójki danych V_i , Δh_i oraz t_i obliczyć niepewność wyznaczonego z nich współczynnika lepkości $u(\eta_i)$.

$$u(\eta_i) = \sqrt{\left(\left(\frac{\partial \eta_i}{\partial V_i}\right) \cdot u_b(V)\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial \eta_i}{\partial \Delta h_i}\right) \cdot u_b(\Delta h)\right)^2 + \left(\left(\frac{\partial \eta_i}{\partial t_i}\right) \cdot u_b(t)\right)^2}$$

| Lp. | Współczynnik lepkości η_i , $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ | Niepewność pomiarowa $u(\eta_i)$, $\mu\text{Pa}\cdot\text{s}$ |
|-----|--|--|
| 1 | 19.466 | 3.947 |
| 2 | 21.597 | 4.379 |
| 3 | 20.000 | 4.055 |
| 4 | 20.386 | 4.133 |
| 5 | 20.035 | 4.062 |
| 6 | 20.562 | 4.144 |
| 7 | 21.519 | 4.337 |
| 8 | 20.908 | 4.214 |
| 9 | 22.103 | 4.455 |
| 10 | 20.304 | 4.092 |

Rys.5: Tabela przedstawiająca niepewności standardowe obliczone na podstawie wzoru opisującego prawo przenoszenia niepewności

4. Obliczyć średnią ważoną współczynnika lepkości powietrza η i niepewność średniej ważonej $u(\eta)$ i zapisać wynik wraz z niepewnością w prawidłowym formacie, z jednostką.

Średnią ważoną współczynnika lepkości powietrza:

$$\eta_{\text{śr}} = 20.63 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

Niepewność średniej ważonej:

$$u(\eta_{\text{śr}}) = 1.32 \mu\text{Pa}\cdot\text{s}$$

5. Obliczanie gęstości powietrza:

| Temperatura [°C] | Ciśnienie [hPa] |
|------------------|-----------------|
| 23 | 985 |

Rys.6:Dane pomiarowe wykorzystane w obliczeniach

Wyznaczenie gęstości powietrza. Do obliczeń skorzystano z poniższego wzoru:

$$\rho_p = \frac{\rho_0 \mu}{RT}$$

Gdzie:

- Masa molowa powietrza $\mu = 28,87 \cdot 10^{-3} \text{ kg/mol}$

- Uniwersalna stała gazowa $R = 8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$

Gęstość powietrza:

$$\rho_p = 1,155 \text{ kg/m}^3$$

6. Niepewności pomiarowe:

Poniżej określiliśmy niepewności pomiarowe termometru $u_b(T)$ i barometru $u_b(\rho_p)$ na podstawie skali urządzeń pomiarowych:

$$u_b(T) = 1^\circ\text{C}$$

$$u_b(\rho_0) = 1 \text{ hPa}$$

7. Następnie wyznaczyliśmy niepewność standardową gęstości powietrza, korzystając z poniżej podanego wzoru opisującego prawo przenoszenia niepewności.

$$u(y) = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left[\frac{\partial y}{\partial x_i} u(x_i) \right]^2}.$$

Gdzie:

y - gęstość powietrza,

x_1 – Temperatura zmierzona w laboratorium **T**, °C

x_2 - Ciśnienie zmierzone w laboratorium **p**, hPa

Niepewność standardowa gęstości powietrza:

$$u(\rho_p) = 0.15 \text{ kg/m}^3$$

Zatem:

Gęstość powietrza:

$$\rho_p = 1,15(15) \text{ kg/m}^3$$

8. Obliczanie średniej arytmetycznej prędkości cząsteczek powietrza.

$$v = \sqrt{\frac{8RT}{\pi\mu}}$$

Gdzie:

R – uniwersalna stała gazowa

T – temperatura

μ - masa molowa powietrza

Zatem:

$$v = 465,91 \text{ cm/s}$$

9. Wyznaczanie pomiarowej korzystając z prawa przenoszenia niepewności.

$$u(v) = \sqrt{\left[\frac{4R}{\pi\sqrt{RT\mu}} \cdot u(T)\right]^2}$$

Zatem:

$$u(v) = 1,255 \text{ [cm/s]}$$

10. Obliczanie długości średniej drogi swobodnej cząsteczek powietrza.

$$\lambda = \frac{3\eta}{\rho_p v}$$

Gdzie:

η – współczynnik lepkości

ρ_p – gęstość powietrza

Zatem:

$$\lambda = 1,15 \cdot 10^{-7} \text{ [m]}$$

11. Wyznaczanie niepewności korzystając z prawa przenoszenia niepewności.

$$U(\lambda) = 0,136 \cdot 10^{-7} \text{ [m]}$$

12. Obliczanie średnicy efektywnej cząsteczek powietrza.

$$d = \sqrt{\frac{kT}{\sqrt{2}\pi\lambda p_0}}$$

Gdzie:

k – stała Boltzmannna

T – temperatura

p_0 – ciśnienie

λ – długość średniej drogi swobodnej cząstki

Zatem:

$$d = 2,85 \cdot 10^{-10}$$

13. Wyznaczanie niepewności korzystając z prawa przenoszenia niepewności.

$$u(d) = 2,8 \cdot 10^{-11}$$

14. Obliczanie liczby Reynoldsa dla każdej trójki danych V, Δh i t.

| Lp. | V_i, cm^3 | $\Delta h_i, \text{cm}$ | t_i, s | $v_p, \text{m/s}$ | Re_i |
|-----|--------------------|-------------------------|-----------------|-------------------|---------|
| 1 | 150 | 4 | 74,24 | 4,01961 | 90,0502 |
| 2 | 150 | 4 | 82,37 | 3,62287 | 81,1622 |
| 3 | 150 | 4 | 76,28 | 3,91211 | 87,6419 |
| 4 | 150 | 4 | 77,75 | 3,83814 | 85,9849 |
| 5 | 150 | 4 | 76,41 | 3,90545 | 87,4928 |
| 6 | 200 | 4 | 104,56 | 3,80535 | 85,2503 |
| 7 | 200 | 4 | 109,43 | 3,636 | 81,4564 |
| 8 | 200 | 4 | 106,32 | 3,74236 | 83,8391 |
| 9 | 200 | 4 | 112,4 | 3,53992 | 79,304 |
| 10 | 200 | 4 | 103,25 | 3,85363 | 86,3319 |

v_p – prędkość przepływu powietrza przez rurkę kapilarną

Re_i – liczba Reynoldsa

Wnioski

Dla każdego uzyskanego wyniku, otrzymana liczba Reynoldsa okazała się niższa niż wartość krytyczna liczby Reynoldsa ($Re_i < 1160$). W związku z tym wiemy że przy każdym powtórzeniu eksperymentu przepływ przez powietrza rurkę kapilarną okazał się być laminarny.

Podczas tego badania wiele pomiarów było obarczonych znacznym błędem ze względu na duży udział czynnika ludzkiego np. reakcja przy zatrzymaniu stopera lub określenie wysokości płynu w menzurce.

Doprowadziło to do zauważalnych rozbieżności pośród pomiarów czasowych, jednak po przeprowadzeniu obliczeń otrzymaliśmy całkiem miarodajne wyniki.