

WYZNACZANIE WSPÓŁCZYNNIKA LEPKOŚCI POWIETRZA I STOSUNKU c_p/c_v **Cel ćwiczenia**

Ćwiczenie składa się z 3 części, których celem jest wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza i stosunku c_p/c_v oraz zapoznanie się z wybranymi zagadnieniami dotyczącymi przemian gazowych i ruchem lepkich ośrodków ciągłych.

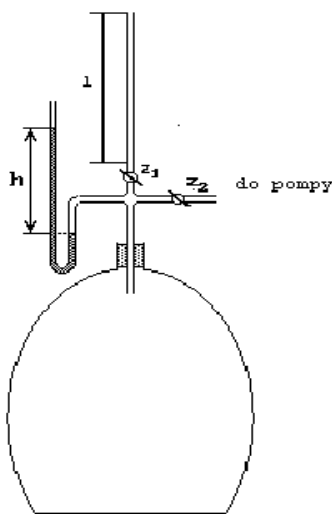
Zagadnienia do przygotowania

1. Lepkość płynów (cieczy i gazów), lepkość względna. Ruch laminarny i turbulentny.
2. Prawo Hagen - Poiseuille'a oraz prawa przemian gazowych (prawo Clapeyrona).
3. Ciepło właściwe gazu. Definicja C_p i C_v .
4. Znaczenie zjawiska lepkości w przyrodzie.
5. Przykłady przemian gazowych - z życia codziennego
6. Prawo ciągłości przepływu
7. Prawo Bernoulliego
8. Prawo Poiseuille'a

Opis i przebieg ćwiczenia.**1. Wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza i stosunku c_p/c_v** **1. Opis doświadczenia i przyrządów.**

Aparatura składa się z następujących elementów (Rys. 1.):

1. Zbiornika powietrza o pojemności ok. 40 litrów
2. Kapilary, przez którą wypływa powietrze ($l = 0.5\text{m}$, $r = 0.5\text{mm}$)
3. Manometru wodnego
4. Pompki pompującej powietrze do zbiornika



Rysunek 1. Zestaw do wyznaczenia lepkości powietrza i stosunku c_p/c_v

Pomiar lepkości powietrza sprowadza się do mierzenia czasu, w którym słupek cieczy manometrycznej opada między zaznaczonymi poziomami. Na podstawie uzyskanych wartości oblicza się współczynnik lepkości powietrza:

$$\eta = \frac{\pi \cdot r^4 \cdot p_0}{8 \cdot l \cdot V_z} \cdot \frac{t}{\ln \frac{p_1}{p_1 + 2p_0} - \ln \frac{p_2}{p_2 + 2p_0}} \quad (1)$$

2. Pomiary

Wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza

- Odczytać na barometrze wartość ciśnienia atmosferycznego.
- Przy pomocy pompki zwiększyć ciśnienie w butli. **UWAGA:** słup cieczy manometrycznej nie może przekroczyć poziomu ok. 5 cm od górnej krawędzi rurki.
- Odczytać wartość wysokości słupa cieczy h_1
- Otworzyć zawór Z_1 , ustalić dowolną wysokość $h_2 < h_1$, odczytać h_2 .
- Zwiększyć ciśnienie w zbiorniku do wartości nieco powyżej h_1 , zamknąć zawór Z_2 .
- Otworzyć zawór Z_1 i zmierzyć czas t , w którym słup cieczy manometrycznej opada od wartości h_1 do h_2 .
- Pomiar powtórzyć 10- krotnie.

Wyznaczenie $\kappa = c_p/c_v$:

- Zamknąć zawór Z_1 i tworzyć zawór Z_2
- Za pomocą pompki uzyskać nadwyżkę ciśnienia w balonie ok. 20 cm (h_1)
- Zamknąć Z_2 . Odczytać różnicę poziomów h_1 cieczy w manometrze odpowiadającą nadciśnieniu p_1
- Otworzyć zawór Z_1 (efektywniejsze jest wyjęcie całkowite zaworu, ale trzeba to robić bardzo **ostrożnie**, tak aby nie połamać szklanej rurki)
- W momencie wyrównania poziomów cieczy w manometrze, natychmiast zamknąć zawór Z_1 i odczekać do ustalenia poziomu cieczy (obserwować proces, żeby ustalić kiedy poziom cieczy się ustabilizuje) - odczytać h_2
- Pomiary powtórzyć 10 razy. Uzupełnić tabelę:

Lp.	h_1 []	h_2 []
1		
...		

3. Opracowanie wyników.

Wyznaczenie współczynnika lepkości powietrza

- Obliczyć średni czas wypływu powietrza $\bar{t}$ korzystając ze wzoru na średnią arytmetyczną i Δt ze wzoru na odchylenie standardowe:

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

- Obliczyć lepkość powietrza ze wzoru (1)
- Ze wzoru $p = \rho gh$ obliczyć wartości ciśnienia atmosferycznego p_0 , i nadwyżki ciśnień p_1 i p_2 , przyjmując wartości gęstość: cieczy manometrycznej $\rho_c = 1.01 \text{ g/cm}^3$, rtęci $\rho_{Hg} = 13.55 \text{ g/cm}^3$
- Określić błąd pomiaru $\Delta \eta$ korzystając z metody różniczki zupełnej:

$$\frac{\Delta \eta}{\eta} = \frac{\Delta t}{t} + \frac{\Delta p_0}{p_0} + \frac{\Delta h_1}{h_1} + \frac{\Delta h_2}{h_2}$$

gdzie Δp_0 , Δh_1 i Δh_2 szacujemy na podstawie dokładności odczytu tych wielkości (błąd systematyczny)

- Wyznaczona wartość porównać z danymi literaturowymi. Skomentować wynik. Jeśli występują znaczące różnice między wielkością uzyskaną w wyniku pomiarów a wielkością tablicową, podać ich przypuszczalne przyczyny.

Wyznaczenie $\kappa = c_p/c_v$:

- Dla każdej pary h_1 h_2 obliczyć $\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2}$, następnie $\bar{\kappa}$ oraz $\Delta \kappa$ jako średni błąd średniej arytmetycznej
- Uzyskany wynik porównać z danymi zamieszczonymi w tablicach fizycznych. Skomentować wynik. Jeśli występują znaczące różnice między wielkością uzyskaną w wyniku pomiarów a wielkością tablicową, podać ich przypuszczalne przyczyny.
- Opisać i wyjaśnić przebieg doświadczenia. Jakie zjawiska były obserwowane.

2. Obserwacja prawa Clapeyrona

1. Opis doświadczenia i przyrządów.

Zestaw do badania prawa Clapeyrona składa się ze szczelnie połączonych ze sobą: strzykawki z blokadą tłoka oraz manometru (rys.2)



Rys. 2. Zestaw do badania prawa Clapeyrona

Uwaga! Manometr połączony ze strzykawką za pośrednictwem węża posiada skalę w zakresie -1 do 1,5 bara i służy do wskazań nadwyżki ciśnienia gazu zamkniętego w zestawie. Oznacza to, iż rzeczywiste ciśnienie tego gazu ma wartość, jaką wskazuje manometr, powiększoną o 1 bar (przyjmujemy umownie, że ciśnienie atmosferyczne wynosi 1 bar).

Pamiętajmy, że powietrze wypełnia nie tylko strzykawkę, ale również wężyk łączący ją z manometrem - przyjmujemy, że jest to **dodatkowe 10 ml**. Wartość tę (x) możemy wyznaczyć dokładnie posługując się zasadą dwóch stanów doświadczalnych, w których V_1 i V_2 odczytane na strzykawce, p_1 i p_2 odczytane na manometrze, przy równaniu $p_1(V_1 + x) = p_2(V_2 + x)$ dadzą nam szukaną wartość.

2. Pomiary

- Przysuwając tłok zmniejszamy objętość o połowę, tj. do ok. 20 ml. Odczytaj i zanotuj wartość uzyskanego ciśnienia.

- Przysuwając tłok zwiększamy objętość dwukrotnie, tj. do ok. 80 ml. Odczytaj i zanotuj wartość uzyskanego ciśnienia.

3. Opracowanie wyników.

Opisz i wyjaśnij obserwowane zjawiska.

3. Badanie przepływu cieczy

Cel doświadczenia

Zbadanie wpływu średnicy przewodu oraz ciśnienia na prędkość przepływu cieczy.

Wprowadzenie

W organizmach żywych płyny (np. krew) krążą w układzie naczyniowym. Zmiany w średnicy naczynia (np. miażdżyca) wpływają na przepływ. W tym doświadczeniu sprawdzisz, jak to działa w uproszczonym modelu.

Zjawiska obserwowane w symulacji można wyjaśnić kilkoma podstawowymi prawami fizycznymi:

- **Prawo ciągłości przepływu:** strumień objętościowy cieczy jest stały, co oznacza, że zmniejszenie przekroju poprzecznego skutkuje zwiększeniem prędkości przepływu.

$$A_1 v_1 = A_2 v_2$$

- **Prawo Bernoulliego:** w cieczy idealnej wzrost prędkości przepływu powoduje spadek ciśnienia.

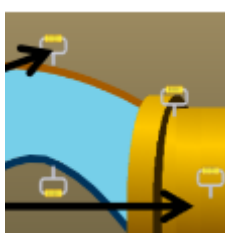
$$P + \frac{1}{2} \rho v^2 + \rho g h = \text{const}$$

- **Prawo Poiseuille'a:** dla cieczy lepkich przepływ przez rurę zależy m.in. od czwartej potęgi promienia rury, co oznacza, że nawet niewielka zmiana średnicy ma duży wpływ na opór przepływu.

$$Q = \frac{\pi r^4 \Delta P}{8 \eta l}$$

Pomiary

1. Wejdź na stronę: <https://phet.colorado.edu/en/simulation/fluid-pressure-and-flow>
2. Uruchom symulację i przejdź do zakładki "Flow".
3. W symulacji mamy dwa zbiorniki połączone rurą. „Uchwyty” umożliwiają zmianę kształtu/wysokości strumienia wody i rur końcowych.



4. Zaznaczenie opcji pomiaru strumienia (Flux meter) pozwala na pomiar przekroju rury

5. Zmierz prędkość przepływu i ciśnienie cieczy dla:
 - **Wąskiej rury**
 - **Szerokiej rury**
6. Pomiar wykonaj dla wody i krwi (gęstość krwi w warunkach fizjologicznych mieści się w zakresie $1050 \div 1060 \text{ kg/m}^3$).
7. Zapisz zaobserwowane prędkości w tabeli 3:

Tabela 3. Zależność prędkości przepływu i ciśnienia od średnicy rury i rodzaju (gęstości) cieczy.

Średnica rury [m]	Prędkość przepływu [m/s]	Ciśnienie [kPa]

Odpowiedz na pytania:

1. Jak zmieniła się prędkość przepływu i ciśnienie cieczy po zwiększeniu średnicy rury?
2. Czy wnioski z tego eksperymentu można odnieść do układu krwionośnego człowieka? W jaki sposób?
3. Co może się stać z ciśnieniem krwi, gdy naczynia krwionośne ulegną zwężeniu?

Literatura

1. Dryński T. (red), *Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki*
2. Szydłowski H., *Pracownia fizyczna*
3. Feynman R.P. i in., *Feynmana wykłady z fizyki*
4. Orear J., *Fizyka* tom I
5. Resnick R., Halliday D., *Fizyka*
6. Encyklopedia fizyki
7. <https://openstax.org>