

Ćwiczenie C4

Wyznaczanie stosunku $\kappa = C_p/C_v$ dla powietrza metodą Clementa-Desormesa

C4.1. Cel ćwiczenia

Celem ćwiczenia jest wyznaczenie wykładnika adiabaty dla powietrza metodą Clementa-Desormesa.

C4.2. Zagadnienia związane z tematyką ćwiczenia

- Kinetyczno-molekularna teoria gazów,
- ciepło właściwe, ciepło molowe,
- stopnie swobody drobin,
- równanie Mayera,
- pierwsza zasada termodynamiki,
- przemiany termodynamiczne,
- równanie Poissona,
- prawo Boyle'a-Mariotte'a.

C4.3. Literatura

- [1] Jaworski B., Piński A.: *Elementy fizyki*, cz. 1, PWN, Warszawa.
- [2] Halliday D., Resnik R., Walker J.: *Podstawy fizyki*, cz. 1, PWN, Warszawa.
- [3] Szczęniowski S.: *Fizyka doświadczalna*, cz. 2, PWN, Warszawa.
- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*,
http://www.mif.pg.gda.pl/index.php?node=mat_dla_stud_v2

C4.4. Przebieg ćwiczenia i zadania do wykonania

Układ doświadczalny

Rysunek C4.1 przedstawia zdjęcie układu pomiarowego, który składa się z: **1** – 50-litrowej butli szklanej, **2** – manometru wodnego, **3** – pompki i **4** – termometru.



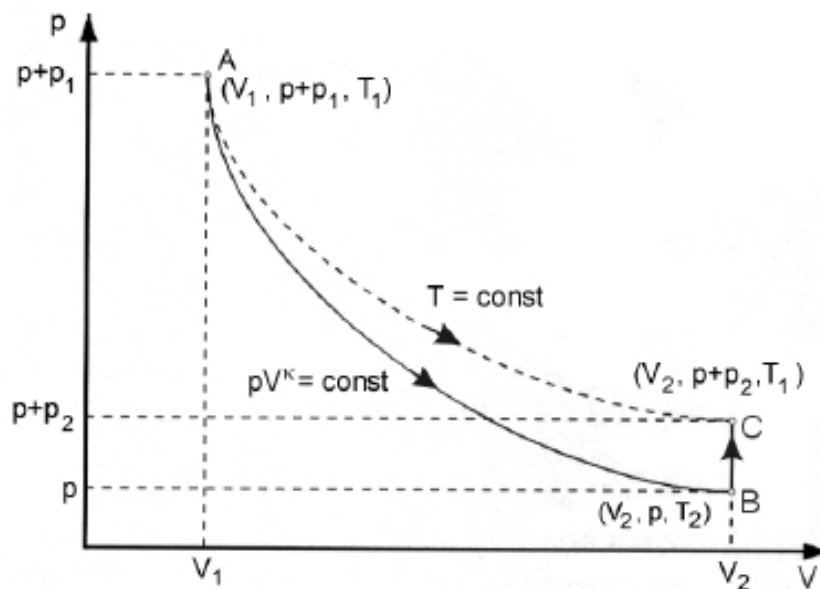
Rysunek C4.1. Zdjęcie układu pomiarowego

Przebieg doświadczenia

Istotę metody Clementa-Desormesa wyjaśnia rysunek C4.2, z którego wynika, że przejście gazu ze stanu A do C można zrealizować dwoma sposobami:

1. drogą dwóch, następujących po sobie przemian: adiabatycznej ($A \rightarrow B$) oraz izochorycznej ($B \rightarrow C$), lub
2. bezpośrednio, drogą przemiany izotermicznej ($A \rightarrow C$).

Do wyznaczenia wartości κ metodą Clementa-Desormesa wystarczą pomiary nadciśnienia w butli przed przemianą adiabatyczną (p_1) i po przemianie izochorycznej (p_2), wyrażone przez odpowiednie różnice wysokości słupka cieczy h_1 oraz h_2 w ramionach manometru cieczowego.



Rysunek C4.2. Istota metody Clementa-Desormesa

Przemiany gazu przeprowadzamy w sposób następujący:

1. Za pomocą pompki zwiększamy ciśnienie w butli, zamykamy korek i czekamy na wyrównanie się temperatury gazu w butli i gazu otaczającego butlę.
2. Po wyrównaniu się temperatury, odczytujemy na manometrze wodnym różnicę ciśnień h_1 (punkt A na rysunku C4.2).
3. Otwieramy kurek i po wyrównaniu się ciśnień zamykamy go. Jeśli czas otwarcia kurka nie jest zbyt długi, to w przybliżeniu zachodzi przemiana adiabatyczna, ponieważ szybkość wymiany ciepła z otoczeniem jest ograniczona małą przewodnością cieplną szkła. Termometr wskaże obniżenie się temperatury gazu w butli (punkt B na rysunku C4.2).
4. Po wyrównaniu się temperatury gazu w butli z temperaturą otoczenia (punkt C na rysunku C4.2), odczytujemy różnicę ciśnień h_2 .
5. Pomiary należy powtórzyć 10-12 razy. Przy powtarzaniu pomiaru za każdym razem należy ustawić taką samą wartość nadciśnienia początkowego h_1 .

Zadania do wykonania

C4.1. Wyznaczyć $\kappa = C_p/C_v$ dla powietrza, powtarzając pomiar przynajmniej 10-12 razy.

C4.2. Obliczyć średnią wartość κ i określić niepewność jej wyznaczenia.

Uzupełnienie do zadania C4.1

Przedstawiona na rysunku C4.2 przemiana adiabatyczna $A \rightarrow B$ zachodzi zgodnie z równaniem:

$$(p + p_1) V_1^\kappa = p V_2^\kappa \quad (\text{C4.1})$$

natomiast przemiana izotermiczna $A \rightarrow C$ jest opisana równaniem

$$(p + p_1) V_1 = (p + p_2) V_2 \quad (\text{C4.2})$$

Z równań (C4.1) i (C4.2) otrzymujemy związek:

$$\left(1 + \frac{p_2}{p}\right)^\kappa = \left(1 + \frac{p_1}{p}\right)^{\kappa-1}. \quad (\text{C4.3})$$

Po rozwinięciu obu stron równania (C4.3) w szereg Maclaurina, z uwzględnieniem założeń: $p_1 \ll p$ i $p_2 \ll p$, otrzymujemy zależność:

$$\kappa = \frac{p_1}{p_1 - p_2}. \quad (\text{C4.4})$$

Używając do pomiaru p_1 i p_2 manometru wodnego, dla którego $p_1 = \rho g h_1$ oraz $p_2 = \rho g h_2$ ostatecznie otrzymujemy:

$$\kappa = \frac{h_1}{h_1 - h_2}, \quad (\text{C4.5})$$

gdzie h_1 i h_2 są różnicami poziomów słupa wody w manometrze, odpowiadające ciśnieniom p_1 i p_2 .

C4.5. Rachunek niepewności

Niepewność wyznaczenia wykładnika adiabaty obliczamy jako odchylenie standardowe na podstawie serii pomiarów.