

## 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] Szczeniowski S.: *Fizyka doświadczalna*, cz. 2, PWN, Warszawa.
- [4] *Metody wykonywania pomiarów i szacowania niepewności pomiarowych*,  
<http://ftims.pg.edu.pl/documents/10673/20436990/wstep.pdf>

#### 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.



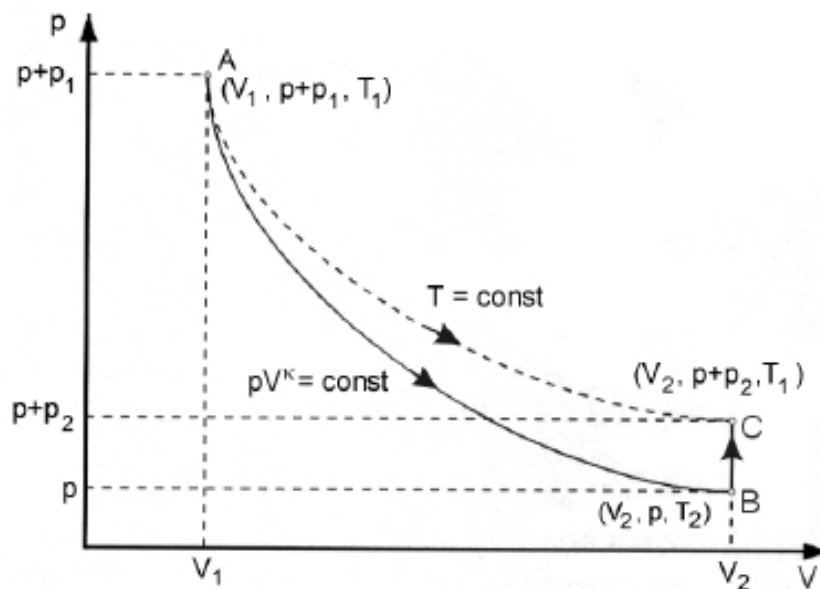
Rysunek C4.1. Zdjęcie układu pomiarowego

##### 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  $\kappa$  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  $\kappa$  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.