Pomiar stosunku c_p/c_v dla powietrza

(1 tydzień, 7 pkt.) lub (1 tydzień, 10 pkt.)

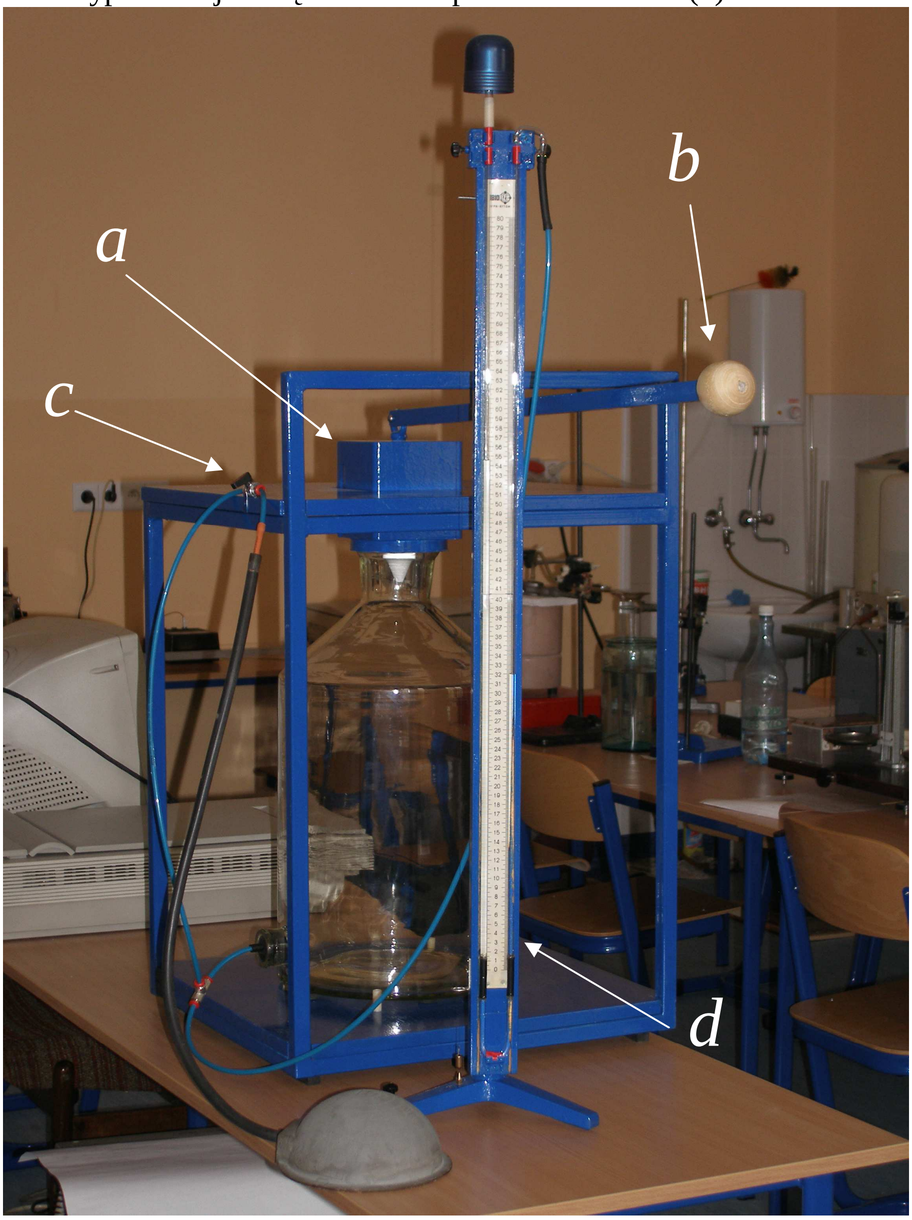
Zagadnienia: ciepło, temperatura, ciepła właściwe c_p i c_v , gaz doskonały, przemiany gazowe.

Cel doświadczenia

Celem doświadczenia jest wyznaczenie stosunku ciepeł właściwych c_p/c_v dla powietrza.

Budowa układu

Układ pomiarowy składa się z butli szklanej, pompki powierza, zaworu klapowego butli (*a*) otwieranego dźwignią (*b*), zaworu umożliwiającego napompowanie powietrza (*c*), oraz wypełnionej wodą U-rurki do pomiaru ciśnienia (*d*).



Ilościowy opis zjawisk

Zwiększamy ciśnienie w butli wpompowując pewną ilość powietrza. Obserwujemy poziomy wody w U-rurce i czekamy na wyrównanie temperatur. W butli znajduje się N moli gazu pod siśnieniem p_0+dgh_1 w temperaturze T_0 i objętości V_0. Jest to stan (1). Otwieramy na ok. 1 sekundę klapę butli i dokonujemy przemiany adiabatycznej w czasie której z butli wydostaje się pewna ilość gazu ΔN i wyrównuje się ciśnienie. Jest to stan (2). W tym stanie mamy $N-\Delta N$ moli gazu pod siśnieniem p_0 objętości V_0. Dla stanów (1) i (2) można zapisać równania adiabaty pamiętając o skorygowaniu liczby moli. Tak więc dla tej samej liczby moli N:

$$\left(p + dgh_1\right)V^{\kappa} = p\left(V + \Delta V\right)^{\kappa}. \tag{9.1}$$

ΔV i ΔN są związane proporcjonalnością:

$$\frac{\Delta N}{N} = \frac{\Delta V}{V}. \tag{9.2}$$

Dalej następuje ogrzewanie zamkniętej butli i wzrost ciśnienia, a po wyrównaniu temperatury butli i otoczenia osiągnięty zostaje stan równowagi (3). W stanie (3) mamy $N-\Delta N$ moli gazu pod siśnieniem p_0+dgh_2, objętości V_0 i temperaturze T_0. Dla stanów (1) i (3) z równania Clapeyrona

$$\frac{\left(p + dgh_1\right)V}{NT} = \frac{\left(p + dgh_2\right)V}{\left(N - \Delta N\right)T}. \tag{9.3}$$

Przekształcone równania (9.1) i (9.3) po wstawieniu N z (9.2) do (9.3) tworzą układ:

$$\begin{cases} \left(1 + \dfrac{dgh_1}{p}\right) = \left(1 + \dfrac{\Delta V}{V}\right)^{\kappa} \\ 1 + \dfrac{dgh_1}{p} = \dfrac{\left(1 + \dfrac{dgh_2}{p}\right)}{\left(1 - \dfrac{\Delta V}{V}\right)} \end{cases}, \tag{9.4}$$

z którego pozbywamy się $\Delta V/V$ otrzymując związek pomiędzy h_1, h_2 oraz κ:

$$1 + x_1 = \left(1 + \frac{x_1 - x_2}{1 + x_1}\right)^{\kappa}, \quad x_1 = \frac{dgh_1}{p}, \quad x_1 = \frac{dgh_2}{p}, \tag{9.5}$$

gdzie dla skrócenia zapisu wprowadzono x_1, x_2. Z tego równania można wyznaczyć κ:

$$\kappa = \frac{\ln\left(1 + x_1\right)}{\ln\left(1 + \dfrac{x_1 - x_2}{1 + x_1}\right)}. \tag{9.6}$$

Wykonanie doświadczenia

Sprawdzamy czy U-rurka stoi pionowo. Sprawdzamy czy przy otwartym zaworze poziomy wody w obu ramionach U-rurki są takie same. Jeśli nie są, pamiętamy o dokonaniu odpowiedniej korekty wyników lub zgłaszamy problem obsłudze technicznej. Następnie uczymy się otwierać i zamykać zawór 1. Zawór należy otwierać szeroko (by wypuścić cały nadmiar powierza) i starać się go zamknąć możliwie szybko (by były spełnione założenia przemiany adiabatycznej i izochorycznej). Z drugiej strony należy zadbać o to, by nie zamykać zaworu zbyt gwałtownie, bo wtedy powodujemy wzrost ciśnienia w butli. Można to łatwo sprawdzić. Otwieramy zawór i obserwujemy wyrównanie poziomów w U-rurce. Następnie powoli opuszczamy zawór i obserwujemy, że można zamknąć układ bez wzrostu ciśnienia. Po kolejnym otwarciu zamykamy zawór szybko i obserwujemy wzrost ciśnienia w butli spowodowany dużą prędkością klapy zaworu.

Po opanowaniu właściweg zamykania klapy zaworu wykonujemy właściwe pomiary. Napełniamy butlę powietrzem. Czekamy kilka minut aż ustali się temperatura i nie będziemy obserwować zmiany położeń poziomów wody w U-rurce. Odczytujemy h_1. Otwieramy zawór, wypuszczając powietrze a następnie szybko i delikatnie zamykamy. Obserwujemy wzrost temperatury gazu skutkujący zmianą poziomu wody w U-rurce. Po ustaleniu się temperatury odczytujemy h_2.

Opracowanie danych

1. Metoda dla mniej zaawansowanych:

Z wyrażenia (9.5) można wyznaczyć x_2. Następnie zakładając, że x_1 jest małe, ograniczając się do wyrazów pierwszego rzędu i podstawiając wprowadzone x_1, x_2(lub h_1, h_2) otrzymujemy:

$$h_2 = \frac{\kappa - 1}{k} h_1 . \tag{9.7}$$

Wzór ten zgadza się z [2]. Wyznaczamy zależność pomiędzy h_1, h_2 i z wartości współczynnika kierunkowego otrzymujemy wartość κ. Należy pamiętać, że wyrażenie (9.7) jest prawdziwe dla małych x_1, x_2, czyli

$$\frac{dgh_1}{p} << 1, \quad \frac{dgh_2}{p} << 1 . \tag{9.8}$$

2. Metoda dla bardziej zaawansowanych.

Z wyrażenia (9.5) można wyznaczyć x_2. Następnie Zakładając, że x_1 jest małe i ograniczając się do wyrazow drugiego rzędu

$$x_2 = \frac{\kappa - 1}{k} x_1 - \frac{\kappa + 1}{2\kappa^2} x_1^2 + \dots . \tag{9.9}$$

Po przekształceniu:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\kappa - 1}{k} - \frac{dg(\kappa + 1)}{2p\kappa^2} h_1 . \tag{9.10}$$

Dane eksperymentalne można opracować przedstawiając zależność h_2/h_1 od h_1 i odczytując wartości odpowiednich współczynników. Metoda ta jest lepsza od metody dla mniej zaawansowanych ponieważ we wzorze (9.9) uwzględnione są dwa wyrazy rozwinięcia natomiast we wzorze (9.7) tylko jeden.

Inna metoda polega na przekształceniu (9.6):

$$\ln\left(1 + 2\frac{dgh_1}{p} - \frac{dgh_2}{p}\right) = \frac{1+\kappa}{\kappa} \ln\left(1 + \frac{dgh_1}{p}\right) . \tag{9.3}$$

Widać, że wykreślenie ln(1+2h_1/pdg–h_2/pdg) w zależności od ln(1+h_1/pdg) pozwala na wysnaczenie współczynnika kierunkowego zależnego od κ. Przy tym sposobie opracowania musimy zmierzyć dodatkowo ciśnienie atmosferyczne p (odczytać ciśnienie z barometru znajdującego się na Pracowni) oraz uwzględnić odczytaną z tablic gęstość wody destylowanej d w U-rurce.

Literatura

[1] D. Halliday, R.Resnick, J. Walker, Podstawy Fizyki, tom 2, PWN, Warszawa 2003, str. 224-244

[2] H.Szydłowski, Pracownia Fizyczna, PWN, Warszawa 1999, str 405-406

[3] http://encyclopedia.airliquide.com: Ratio of specific heats (Gamma:Cp/Cv) (1.013 bar and 21 °C (70 °F)) : 1.4028