

<b>Zad. M 12</b>	<b>I PRACOWNIA FIZYCZNA Instytut Fizyki US</b>
<b>Temat:</b>	<b>Wyznaczanie stosunku <math>c_p/c_v</math> dla powietrza metodą Clementa i Desormesa</b>

*Cel:* wyznaczenie współczynnika  $\kappa = c_p/c_v$  – stosunku ciepła właściwego powietrza przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości metodą Clementa i Desormes’a. Zapoznanie się z przemianami gazów. Wykształcenie u studenta samodzielnego posługiwania się aparaturą pomiarową oraz umiejętności analizy i interpretacji wyników pomiarów.

*Przyrządy:* duża butla szklana (balon) w obudowie, manometr wodny, pompa, rurki z zaworami.

## 1. ZAGADNIENIA

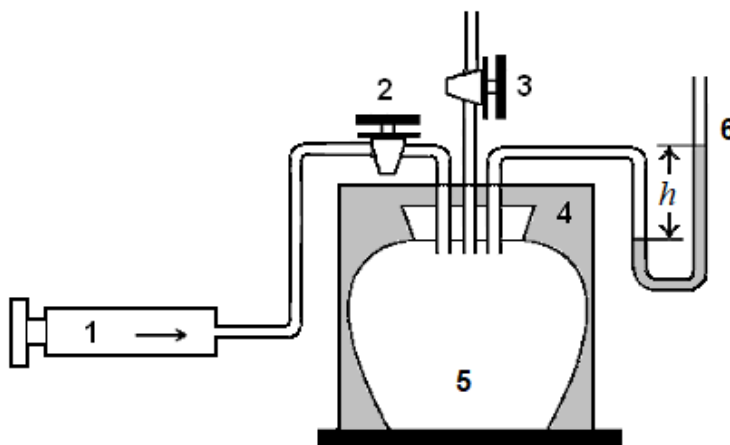
1. Przemiany gazów doskonałych, równanie Clapeyrona, pojęcie stałej gazowej.
2. Ciepło właściwe gazów przy stałym ciśnieniu i stałej objętości.
3. Interpretacja pojęcia ciepła właściwego gazów na gruncie teorii kinetyczno-molekularnej.
4. Zasada ekwipartycji energii. Zależność wielkości  $\kappa = c_p/c_v$  od budowy cząsteczek gazów.
5. Metoda Clementa-Desormesa wyznaczania  $\kappa$ . Zależność ciśnienia  $p$  od objętości  $V$  gazu w metodzie Clementa i Desormesa (cykl przemian gazu).

## 2. OPIS ZAGADNIENIA

Na podstawie literatury zapoznać się z opisem zjawiska i wyprowadzeniami wzoru (1).

## 3. PRZEBIEG WYKONANIA ĆWICZENIA

### A. Układ doświadczalny.



Rys. 1. Schemat układu pomiarowego. 1 – pompa; 2 i 3 – zawory; 5 – zbiornik, duża butla szklana (balon); 4 – obudowa butli; 6 – manometr cieczowy.

### B. Wykonanie doświadczenia.

1. Przed przystąpieniem do pomiarów należy sprawdzić działanie zaworów i pompy oraz szczelność układu.
2. Otworzyć przełot rurki połączonej z pompką poprzez odpowiedni obrót kurka zaworu „2”, zamknąć zawór „3”.

*Uwaga:* Kran otwierać i zamykać trzymając jedną ręką rurkę, drugą przekręcając kran. Po skończonych pomiarach kran zamknąć.

3. Za pomocą pompki ręcznej wtłoczyć do zbiornika „5” powietrze zwiększając ciśnienie gazu w balonie. **Pompować bardzo powoli, aby nie rozgrzewać gazu!**
4. Przekręcić kran zaworu „2” w celu odcięcia połączenia z pompką. Odczekać ok. 3 minuty, aby temperatura powietrza w zbiorniku wyrównała się (o czym świadczy ustalenie się poziomów cieczy w obu ramionach manometru).
5. Odczytać różnicę poziomów  $h$  cieczy w manometrze.
6. Otworzyć i zamknąć zawór „3” (możliwie jak najkrócej – na ok. 2 s) tak aby nastąpiło wyrównanie ciśnienia powietrza w zbiorniku z otoczeniem).
7. Odczekać (ok. 3 minuty) do ponownego wyrównania się temperatury gazu z temperaturą otoczenia (słupek cieczy w manometrze przestanie się podnosić). Odczytać różnicę poziomów między słupkami cieczy w manometrze i zapisujemy jako  $h'$ .
8. Pomiary według punktów 1 – 6 powtórzyć co najmniej 10 razy, za każdym razem ustalając inną początkową różnicę ciśnień.
9. Oszacować i zapisać niepewności graniczne odczytu wysokości –  $\Delta h$  i  $\Delta h'$ .

*Uwaga:* Ze względu na bezwładność cieczy w manometrze, wyrównanie ciśnień pomiędzy butlą a atmosferą następuje nieco wcześniej niż wyrównanie poziomów cieczy w ramionach manometru. Jeżeli zawór zamkniemy nieco za późno (lub za wcześnie) to uzyskamy wartość  $h_2$  nieco mniejszą (nieco większą) niż oczekiwana, a w efekcie zaniżoną (zawyżoną) wartość. Przed przystąpieniem do pomiarów właściwych konieczne jest więc wykonanie kilku pomiarów próbnych, w których zawór planowo otwarty był zbyt długo lub zbyt krótko. Pozwoli to na dobranie odpowiedniego momentu zamknięcia zaworu w trakcie przeprowadzania ćwiczenia.

#### 4. OPRACOWANIE WYNIKÓW POMIARÓW

##### A. Wyznaczenie wartości pomiarowych. Obliczenie niepewności pomiaru.

1. Dla każdej wyznaczonej pary wartości  $h$  i  $h'$  obliczyć wartość:

$$\kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{h}{h - h'}. \quad (1)$$

2. Obliczyć wartość średnią  $\kappa$  i jej niepewność jako odchylenie standardowe średniej. Wyniki obarczone znacznym błędem systematycznym należy odrzucić.
3. Obliczyć niepewność złożoną dla zmierzonych par wartości  $h$  i  $h'$ .

Z wzoru ogólnego

$$u_c(\kappa) = \sqrt{\sum_{j=1}^2 \left( \frac{\partial \kappa}{\partial x_j} \right)^2 u^2(x_j)} \quad (2)$$

gdzie przez  $x_i$  oznaczyliśmy  $h$  dla  $j = 1$  oraz  $h'$  dla  $j = 2$ ,  
lub korzystając ze wzoru dla metody elementarnej\*, dostajemy

$$u_c(\kappa) = \kappa^2 \frac{h'}{h} \sqrt{\left( \frac{u(h)}{h} \right)^2 + \left( \frac{u(h')}{h'} \right)^2}. \quad (3)$$

4. Obliczyć niepewność rozszerzoną przyjmując współczynnik rozszerzenia jako wartość współczynników rozkładu  $t$ -Studenta dla prawdopodobieństwa objęcia (poziomie ufności)  $1 - \alpha = 0,90$ .
5. Wyznaczyć liczbę stopni swobody  $i$  dla badanego w zbiorniku gazu korzystając z zależności:

$$i = \frac{2}{\kappa - 1}, \quad \left( \kappa = \frac{c_p}{c_v} = \frac{i + 2}{i} \right). \quad (4)$$

6. Wykonać wykres zależności  $h' = f(h)$ . Z (1) mamy

$$h' = Ah \quad \text{gdzie} \quad A = 1 - \frac{1}{\kappa}. \quad (5)$$

7. Wyznaczyć wartość  $\kappa$  na podstawie wartości  $A$  (współczynnik kierunkowy prostej)

$$\kappa = \frac{1}{1 - A}. \quad (6)$$

Niepewność pomiaru dla wartości średniej  $\kappa$  możemy obliczyć jako

$$u(\bar{\kappa}) = \frac{1}{(1 - A)^2} S_A, \quad (7)$$

gdzie  $S_A$  odchylenie standardowe współczynnika kierunkowego  $A$ .

## B. Zestawić wyniki i niepewności pomiaru.

### 5. Dokonać dyskusji wyników, zapisać wnioski i uwagi dotyczące doświadczenia.

1. Zinterpretować otrzymane wyniki, porównać uzyskane wartości – z (1) i na podstawie (5), z danymi tablicowymi i teoretycznymi.
2. Przeanalizować źródła ewentualnych rozbieżności.
3. Uzasadnić, dlaczego powietrze można traktować jako modelowy gaz dwuatomowy.
4. Zapisać wnioski i uwagi dotyczące przebiegu i realizacji doświadczenia.

## 6. LITERATURA

1. Wyznaczanie stosunku ciepła właściwego przy stałym ciśnieniu do ciepła właściwego przy stałej objętości metodą Clementa i Desormes'a. Zadanie doświadczalne XXXI olimpiady fizycznej st. wstępny: [http://www.olimpiada.fizyka.szc.pl/pdf/31OF1D2\\_roz757.pdf](http://www.olimpiada.fizyka.szc.pl/pdf/31OF1D2_roz757.pdf) (dostęp – kwiecień 2017).
2. A. Magiera (red.): I *Pracownia fizyczna*. Wyd. IV, IF UJ 2014, s. 96 – 102, <http://www.1pf.if.uj.edu.pl/documents/5046939/5227638/skrypt.pdf> (dostęp kwiecień 2017)
3. Szydłowski H.: *Pracownia fizyczna*. Wyd. IX (lub inne), PWN, Warszawa 1999, p. 22.4.
4. Zawadzki A., Hofmohl H.: *Laboratorium fizyczne*. Wyd. II (lub inne), PWN, Warszawa 1964, p. 3.12.

\* Złożoną niepewność standardową  $u_c(\kappa)$  można obliczyć też z zalecanego przez *Przewodnik GUM* wzoru, który wykorzystuje różnice skończone w miejsce formuły z pochodną, co umożliwia jego stosowanie bez znajomości rachunku różniczkowego zastępując w równaniu (2)  $(\partial\kappa/\partial x_j)u(x_j)$  przez

$$Z_j = \frac{1}{2} \left[ f(x_1, \dots, x_j + u(x_j), \dots, x_N) - f(x_1, \dots, x_j - u(x_j), \dots, x_N) \right],$$

gdzie zależność funkcyjna jest w naszym przypadku postaci  $f(x_1, x_2) \equiv f(h, h') = h/(h - h')$ .

To znaczy, że wartość  $u_j(\kappa)$  ( $\equiv (\partial\kappa/\partial x_j)u(x_j)$  – udziały niepewności) wyznacza się obliczając zmianę spowodowaną zmianą  $x_j$  o  $+u(x_j)$  i o  $-u(x_j)$ . Jako wartość  $u_j(\kappa)$  przyjmuje się  $|Z_j|$  (jako wartość odpowied-

niego współczynnika wrażliwości przyjmuje się  $Z_j/u(x_j)$ ), wówczas  $u_c^2(\kappa) = \sum_{j=1}^N Z_j^2$ .

### Porównywanie wyników

Chcąc porównać otrzymane wyniki z wynikiem tablicowym  $x^T$ , korzystamy z przedziałowego **kryterium zgodności wyników pomiarów**, czyli sprawdzamy czy dla naszych wyników spełniona jest nierówność:

$$|\bar{x} - x^T| \leq u(\bar{x}) + u(x^T).$$

Jeżeli powyższa nierówność nie zachodzi, należy zastąpić niepewność  $u$  przez **niepewność rozszerzoną**  $U$ . Jeśli i wówczas ta nierówność nie jest spełniona to znaczy, że wyniki nie są zgodne.