



Podstawy Fizyki Ciepło

Praca zbiorowa

## Ćwiczenie F 26

### WYZNACZANIE GĘSTOŚCI POWIETRZA METODĄ ROZRZEDZANIA (REGNAULTA)

opr. tech. Mirosław Maś

Uniwersytet Przyrodniczo - Humanistyczny  
Siedlce 2019

## 1. Wstęp

W ćwiczeniu w praktyczny sposób wyznaczymy gęstość powietrza. Pomiary wykonamy korzystając z układu w skład, którego wchodzi:

1. pompa próżniowa z zaworem odcinającym atmosferę
2. manometr rtęciowy zamknięty
2. szklana kolba z zaworem o pojemności  $V = 1220$  ml
3. waga analityczna

Przed rozpoczęciem ćwiczenia należy sprawdzić czy zestaw laboratoryjny jest kompletny.

Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

Do ćwiczenia należy opanować następujące zagadnienia teoretyczne:

- pojęcie gęstości, jednostki;
- warunki normalne;
- wpływ ciśnienia na prawidłowość wykonania pomiarów;
- 
- 
- 
-

## 2. Wprowadzenie

Gęstość bezwzględna ciała albo masa właściwa jest zdefiniowana jako stosunek jego masy  $m$  do objętości  $V$ :

$$d = \frac{m}{V} \quad (1)$$

Gęstość bezwzględna gazu zależy, od temperatury i ciśnienia.

Wyjdźmy z równania Clapeyrona:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT,$$

gdzie:  $\mu$  – masa cząsteczkowa;  $R$  – stała gazowa.

Stąd

$$p = \frac{m}{V} \frac{R}{\mu} T.$$

Uwzględniając (1) otrzymamy

$$p = d \frac{R}{\mu} T,$$

a po przekształceniu

$$d = \frac{p\mu}{RT}. \quad (1a)$$

Dla warunków normalnych wzór (1a) zapisujemy w postaci:

$$d_0 = \frac{p_0\mu}{RT_0},$$

gdzie:  $T_0 = 273K$ ,  $p_0 = 760 \text{ mmHg}$ . (1b)

Dzieląc stronami (1a) przez (1b)

$$\frac{d}{d_0} = \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T};$$

stąd:

$$d = d_0 \frac{p}{p_0} \frac{T_0}{T}. \quad (2)$$

W opisywanym doświadczeniu postępujemy w prosty sposób: w celu wyznaczenia gęstości powietrza przeprowadzamy pomiary w dowolnych warunkach pokojowych, a następnie przeliczamy zgodnie z równaniem (2) na warunki normalne. W tym celu ważymy kolbę szklaną dwa razy: raz odpompowaną z powietrza do stanu rozrzedzenia, na jaki pozwala pompa, a następnie napełnioną suchym powietrzem o ciśnieniu atmosferycznym.

Oznaczmy przez  $p_1$  ciśnienie resztek powietrza po odpompowaniu kolby o objętości  $V$ , przez  $p_2$  ciśnienie po jej napełnieniu;  $m_1$  i  $m_2$  oznaczają odpowiednie masy powietrza. Z równania (2) mamy

$$m_1 = Vd_0 \frac{p_1 T_0}{p_0 T},$$

i

$$m_2 = Vd_0 \frac{p_2 T_0}{p_0 T}.$$

Odejmując od dolnego równania górne, otrzymamy:

$$m_2 - m_1 = Vd_0 \frac{p_2 - p_1 T_0}{p_0 T},$$

stąd ostatecznie

$$d_0 = \frac{m_2 - m_1 T}{V T_0} \frac{p_0}{p_2 - p_1} \quad (3)$$

Zakładając, że przy obydwu napełnieniach kolby temperatura powietrza jest stała, to za temperaturę  $T$  we wzorze (3) przyjmujemy temperaturę powietrza wypełniającego kolbę pod ciśnieniem atmosferycznym; masa powietrza pozostającego w kolbie po wypompowaniu jest bardzo mała, z tego względu jej temperatura nie wpłynie w sposób istotny na wynik ostateczny.

Jednak wahania temperatury podczas dokonywania obu ważeń mogą mieć poważny wpływ na wynik tych ważeń. Zgodnie z prawem Archimedesesa kolba doznaje działania siły wyporu ze strony otaczającego ją powietrza, siły równej ciężarowi wypartego powietrza. Poprawka w wyznaczonej masie, związana z istnieniem siły wyporu, jest tego samego rzędu, co i szukana masa powietrza. Można wyliczyć, że przy zmianie temperatury wynoszącej 1K siła wyporu, a więc i wynik ważenia ulegnie zmianie prawie o 0,4%. W pracowni, gdzie przebywa duża liczba osób, możliwe są znaczne zmiany temperatury i wilgotności powietrza. Aby wyeliminować powstający wskutek tego błąd, uciekamy się do pomysłu Regnaulta. Oznaczając przez  $m_k$  masę kolby, przez  $m_1$  masę powietrza przy pierwszym ważeniu, przez  $m_2$  masę powietrza przy drugim ważeniu, przez  $W_1$  i  $W_2$  parcie powietrza wywierane przy każdym z ważeń; wreszcie przez  $m'$  i  $m''$  masy odważników – napiszemy dla obu ważeń dwa równania:

$$\begin{aligned} m_k + m_1 - W_1 &= m' + W_1 \\ m_k + m_2 - W_2 &= m'' + W_2 \end{aligned}$$

Odejmując od dolnego równania górne, znajdziemy

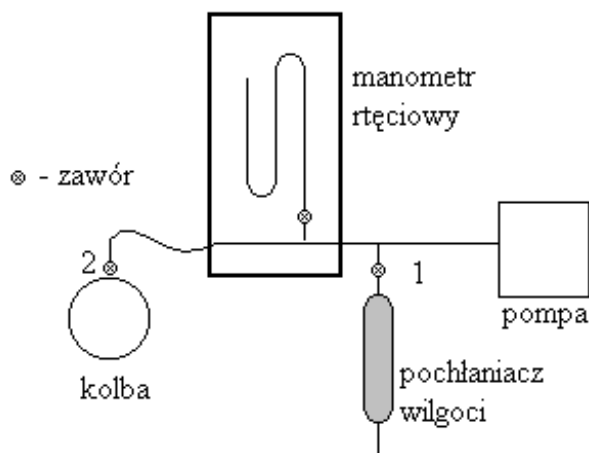
$$m_2 - m_1 = m'' - m'$$

Otrzymany wynik świadczy o tym, że przy takiej metodzie ważenia parcia archimedesowskie wzajemnie się kompensują. Wprowadzając otrzymany wynik do równania (2) otrzymujemy ostateczny wzór na  $d_0$ :

$$d_0 = \frac{m'' - m' T}{V T_0} \frac{p_0}{p_2 - p_1} \quad (4)$$

## 2. Przebieg pomiarów.

Do wykonania pomiarów wykorzystujemy układ zmontowany wg poniższego schematu:



1. Odczytujemy ciśnienie atmosferyczne  $P_A$  (z barometru),
2. Mierzmy temperaturę otoczenia  $T = t + 273K$ ,
3. Ważymy kolbę napełnioną powietrzem pod ciśnieniem atmosferycznym -  $m''$ .
4. W celu odpompowania powietrza dołączamy kolbę z otwartym zaworem (2) do końcówki węża
  - otwieramy zawór przy manometrze,
  - uruchamiamy pompę i zamykamy zawór (1),
  - po ustaleniu się różnicy poziomów rtęci  $h$  w manometrze – ze względu na użycie zamkniętego manometru rtęciowego wynik zapisujemy jako ciśnienie panujące w tej kolbie po odpompowaniu z niej powietrza.
  - zakręcamy zawór (2) i zawór manometru, otwieramy zawór (1) i wyłączamy pompę.

### UWAGA!

*Należy bezwzględnie przestrzegać kolejności otwierania i zamykania zaworów.*

*Przestrzeganie tych wymogów wpływa na prawidłową pracę pompy.*

5. Ważymy kolbę z resztkami powietrza  $m'$ .
6. Pomiar z punktu 1 –5 powtarzamy trzykrotnie.
7. Uzyskane wyniki pomiarów zapisujemy w tabeli:

	Oznaczenie	Serie pomiarowe			
		1	2	3	Śr.
Masa kolby napełnionej powietrzem	$m'' =$				
Masa kolby z resztkami powietrza	$m' =$				
Masa wypompowanego powietrza	$m'' - m' =$				
Ciśnienie atmosferyczne (kolba z powietrzem)	$P_A =$				
Ciśnienie w kolbie z resztkami powietrza	$h =$				
Temperatura powietrza	$t =$				
Objętość kolby	$V =$	1220 ml			
Ciśnienie normalne	$P_0 =$	760 mm Hg			
Gęstość powietrza	$d_0 =$				

Gęstość powietrza po uwzględnieniu oznaczeń z tabeli obliczamy ze wzoru:

$$d_0 = \frac{m'' - m'}{V} \frac{273 + t}{273} \frac{P_0}{P_A - h} \quad (5)$$

8. Błędy wartości mierzonych traktujemy jako błędy pojedynczych pomiarów, szacując ich wielkości w oparciu o dokładność używanych przyrządów
  - dokładności wagi 0,01g;
  - błędu odczytu  $P_A = 1$  mmHg
  - błędu odczytu  $h = 2$  mmHg
  - błędu odczytu  $t = 1$  °C.
9. Obliczamy gęstość powietrza ze wzoru (5) dla każdej serii pomiarów, liczymy średnią.
10. Błąd (niepewność pomiarową) liczymy podstawiając do wzorów wartości średnie.

$$\frac{\partial d_0}{\partial m'} = - \frac{1}{V} \frac{273 + t}{273} \frac{P_0}{P_A - h}$$

$$\frac{\partial d_0}{\partial m''} = \frac{1}{V} \frac{273 + t}{273} \frac{P_0}{P_A - h}$$

$$\frac{\partial d_0}{\partial P_A} = - \frac{m'' - m'}{V} \frac{273 + t}{273} \frac{P_0}{(P_A - h)^2}$$

$$\frac{\partial d_0}{\partial h} = \frac{m'' - m'}{V} \frac{273 + t}{273} \frac{P_0}{(P_A - h)^2}$$

$$\frac{\partial d_0}{\partial t} = \frac{m'' - m'}{V} \frac{1}{273} \frac{P_0}{P_A - h}$$

11. Przeprowadzamy dyskusję wyników.
12. Wyciągamy wnioski.

#### LITERATURA

1. T. Dryński - „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” § 11 ze zmianami.
2. A. Daniluk Instukcje ćwiczeń laboratoryjnych z fizyki