

ĆWICZENIE Nr 26

Wyznaczanie gęstości powietrza metodą rozrzedzania (Regnaulta)

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: μ – masa cząsteczkowa; R – stała gazowa. Stąd

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

Uwzględniając (1) otrzymujemy $p = d \frac{R}{\mu} T,$

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

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

i

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

Odejmując od dolnego równania górne, otrzymamy:

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

stąd

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

Zakładając, że przy obydwu napełnieniach kolby temperatura pozostaje nie zmieniona. Jest to w przeważającej liczbie przypadków słuszne. Jeśli nawet występują pewne różnice, to za temperaturę T przyjmujemy we wzorze (3) 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

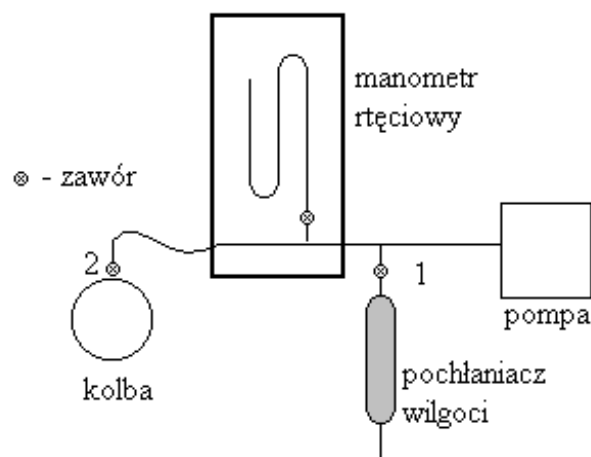
$$m_2 - m_1 = m'' - m'$$

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 :

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

Wykonanie pomiarów

Do wykonania pomiarów wykorzystujemy układ zmontowany wg poniższego schematu:



1. Mierzmy ciśnienie atmosferyczne P_A (przy pomocy 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 czynności przy obsłudze pompy.

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

	Oznaczenie	1	2	3
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.
9. Obliczamy gęstość powietrza ze wzoru (5) dla każdego pomiaru, liczymy średnią.
10. Przeprowadzamy dyskusję wyników i rachunek błędów.
11. Wyciągamy wnioski.

LITERATURA

1. T. Dryński - „Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki” § 11 ze zmianami.