Ćwiczenie 110.

Temat: <u>Sprawdzanie przemian gazowych.</u>

I. Literatura:

1. R. Resnick, D. Halliday, Fizyka, t. 1, PWN
2. Sz.Szczeniowski, Fizyka dośw., cz. II, PWN, W-wa 1971
3. Ćwiczenia laboratoryjne z fizyki w politechnice, praca zbiorowa pod red. T. Rewaja.

II. Tematy teoretyczne:

1. Równanie stanu gazu doskonałego, przemiany gazowe, I zasada termodynamiki,
2. Ciepło, temperatura, energia wewnętrzna, objętość molowa gazu.

III. Metoda pomiarowa:

Opisane tu doświadczenie polega na badaniu zachowania się gazów przy zmianie czynników zewnętrznych oddziaływujących na ten gaz. Mając możliwość zmiany objętości określonej porcji gazu zbadamy, jak te zmiany wpływają na jego temperaturę i ciśnienia. Zbadamy, czy teoretyczny wzór zwany „*Równaniem stanu gazu doskonałego*" ma zastosowanie do rzeczywistych gazów (w tym wypadku powietrza).

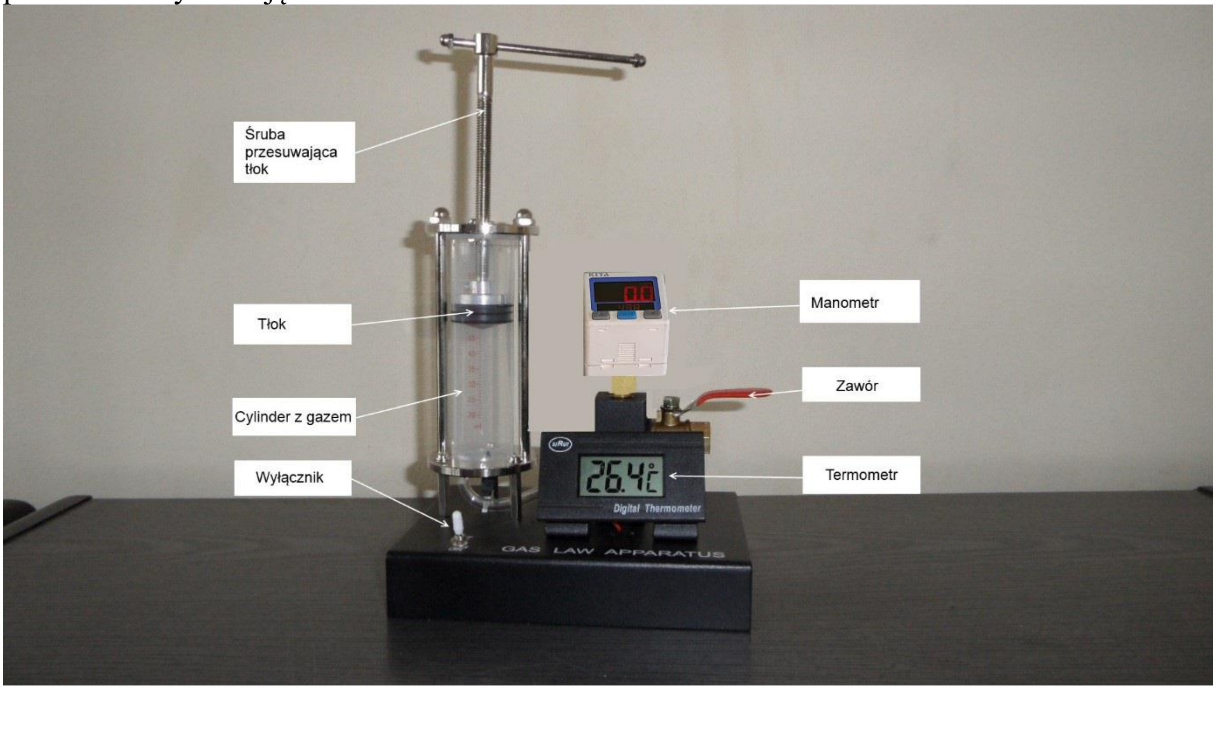
Równanie stanu gazu doskonałego ma postać:

$$\frac{\boldsymbol{p \cdot V}}{\boldsymbol{T}} = \boldsymbol{n \cdot R = const.}$$

n oznacza tu liczbę moli gazu, a $\boldsymbol{R} = 8{,}31 \frac{J}{K \cdot mol}$ to stała gazowa

Równanie to mówi, że ciśnienie $\boldsymbol{p}$, objętość $\boldsymbol{V}$ oraz temperatura $\boldsymbol{T}$ określonej porcji gazu (np. zamkniętego w naczyniu) są ze sobą ściśle powiązane. Oznacza to, że jeżeli np. zmienimy ciśnienie gazu to musi zmienić się również jego objętość lub temperatura (albo oba te parametry). Inaczej mówiąc, niemożliwa jest zmiana **tylko jednego** z parametrów p, V, T. Zbadamy to równanie w szczególnym przypadku, który od nazwiska osoby, która je badała jako pierwsza, nosi nazwę prawo_Boyle'a- Mariotta i opisuje przemianę izotermiczną, czyli taką, w której temperatura jest stała. Taką przemianę można zapisać wzorem $\boldsymbol{p \cdot V = const}$.

Sprawdzimy również, czy wyrażenie $\frac{p \cdot V}{T} = const$ oraz oszacujemy ile moli i ile cząsteczek gazu znajduje się w badanej porcji powietrza. W doświadczeniu wykorzystamy przyrząd przedstawiony na zdjęciu:



IV. Czynności pomiarowe:

W tym doświadczeniu wszystkie opisane poniżej czynności staramy się wykonywać powoli, aby temperatura gazu jak najmniej zmieniała się wskutek zmian ciśnienia i objętości.

1. Otwieramy zawór (pozycja „*0*”), aby powietrze mogło swobodnie przepływać między otoczeniem i cylindrem.
2. Za pomocą śruby przesuwamy tłok tak, aby jego dolna krawędź znalazła się na wysokości oznaczającej objętość cylindra równą 3*5 ml* (3*5 ml = 35 cm*^{3}) .
   Zamykamy zawór (pozycja „*1*”), włączamy termometr cyfrowy i manometr cyfrowy.

   Uwaga: *Jeśli wszystko wykonano prawidłowo, manometr powinien wskazywać 0,0 kPa. znacza to, że ciśnienie* **p** *wewnątrz cylindra jest równe ciśnieniu atmosferycznemu*.
3. Za pomocą śruby ustawiamy dolną krawędź tłoka niżej tak, aby objętość zmniejszyć o 5 ml. Zapisujemy (w kolumnie $p^{'}$) wartość ciśnienia wskazaną przez manometr oraz (w kolumnie t_1) temperaturę powietrza w cylindrze.
4. Powtarzamy czynności opisane w punkcie „3” dla kolejnych, coraz mniejszych objętości wskazanych w tabeli.
5. Po osiągnięciu objętości *20 ml* podnosimy powoli z powrotem tłok do góry. Co *5 ml* zapisujemy (teraz w kolumnie $p^{''}$) wartość ciśnienia wskazaną przez manometr oraz (w kolumnie t_2) temperaturę powietrza w cylindrze.
6. Po osiągnięciu objętości *35 ml* nadal przesuwamy tłok do góry zwiększając objętość o *5 ml*. Zapisujemy (nadal w kolumnie $p^{''}$) wartość ciśnienia wskazaną przez manometr oraz (nadal w kolumnie t_2) temperaturę powietrza w cylindrze.
   Uwaga: Teraz manometr wskaże ujemną wartość ciśnienia czyli całkowita wartość ciśnienia w cylindrze będzie mniejsza od ciśnienia atmosferycznego.
7. Powtarzamy czynności opisane w punkcie „6” dla kolejnych, coraz większych objętości wskazanych w tabeli drugiej.
8. Po osiągnięciu objętości 6*5 ml* zaczynamy opuszczać ponownie tłok w dół co *5 ml* zapisując (teraz w kolumnie $p^{'}$) wartości ciśnienia wskazywane przez manometr oraz (w kolumnie t_1) temperaturę powietrza w cylindrze.
9. Odczytujemy ciśnienie atmosferyczne z barometru znajdującego się pomieszczeniu i wyrażamy je w paskalach.
10. Wyniki pomiarów umieszczamy w tabeli, a pod tabelami zapisujemy niepewności maksymalne mierzonych wielkości. Przykładowa tabela podana jest na końcu instrukcji.

V. Opracowanie wyników pomiarów:

1. Uzupełnij tabelę. **Ważne:** Zwróć uwagę na to, w jakich jednostkach mają być wyrażone poszczególne wartości w tabeli.
2. Sporządź wykres zależności ciśnienia od objętości ***p=f(V)***. Oceń wizualnie, czy uzyskana krzywa ma kształt hiperboli.
3. Sporządź wykres zależności ciśnienia od odwrotności objętości ***p=f(1/V)*** (ciśnienie w Pa, objętość w m^3).
4. Metodą regresji liniowej dopasuj optymalną prostą do uzyskanych w punkcie „3” wyników i wyznacz współczynnik kierunkowy ***a*** prostej oraz jego niepewność **u(a)**. Uzasadnienie takiego postępowania podane jest poniżej:

   Prawo Boyle'a- Mariotta można zapisać w postaci: $p = \frac{const.}{V}$.

   W tym równaniu stała ***const = n·R·T*** pełni rolę współczynnika kierunkowego prostej ***p=f(1/V)***, *czyli* ***const = a.*** Wystarczy porównać to równanie z ogólnym równaniem prostej:

   $$\boldsymbol{p} = n \cdot R \cdot T \cdot \frac{\mathbf{1}}{\boldsymbol{V}}$$ czyli równanie typu

   $$\downarrow \;=\; \downarrow \;\cdot\; \downarrow$$

   $$y = a \cdot x$$ które jest równaniem prostej.

5. Oblicz średnią temperaturę $\bar{T}$ w czasie pomiarów oraz niepewności $\boldsymbol{u(T)}$. Skorzystaj ze wzorów: $u_a(\bar{T}) = \sqrt{\frac{\sum(T_i - \bar{T})^2}{10 \cdot 9}}$ (dla 10 pomiarów); $u_b = \frac{\Delta T}{\sqrt{3}}$;

$$u(\bar{T}) = \sqrt{u_a^2(\bar{T}) + u_b^2(\bar{T})}$$

6. Oblicz, ile moli powietrza (**n**) znajdowało się w cylindrze przy pomiarach. Skorzystaj ze współczynnika kierunkowego prostej wyznaczonego w punkcie „4”:

$$a = n \cdot R \cdot \bar{T} \quad \rightarrow \quad n = \frac{a}{R \cdot \bar{T}}$$

i niepewność $u(n) = n \cdot \sqrt{\left(\frac{u(a)}{a}\right)^2 + \left(\frac{u(\bar{T}}{\bar{T}}\right)^2}$

7. Korzystając ze stałej Avogadro *(N_A= 6,02·10^{23})* oszacuj liczbę **N** cząsteczek powietrza w cylindrze: $\boldsymbol{N = n \cdot N_A}$ i jej niepewność $u(N) = \boldsymbol{N_A} \cdot u(n)$

8. Oblicz średnią wartość wyrażenia **W=** $\boldsymbol{\frac{p \cdot V}{T}}$ oraz jego odchylenie standardowe od wartości średniej: $u_a(\bar{W}) = \sqrt{\frac{\sum(W_i - \bar{W})^2}{10 \cdot 9}}$ (dla 10 pomiarów).

Tabela 1

V ***[ml]***	$\boldsymbol{p_1'}$ ***[kPa]***	$\boldsymbol{p_1''}$ ***[kPa]***	$\boldsymbol{p_1}$ ***(*)*** ***[kPa]***	***p=p_at+p_1*** ***[Pa]***	$\boldsymbol{t_1}$ ***[^{0}C]***	$\boldsymbol{t_2}$ ***[^{0}C]***	***T(*)*** ***[K]***	***1/V*** ***[1/m^3]***	$\boldsymbol{\frac{pV}{T}}$ ***[J/K]***
20									
25									
30									
35	***0,0***								
40									
45									
50									
55									
60									
65									

(*) Uwaga: $\boldsymbol{p_1 = \frac{p_1' + p_1''}{2}}$; $\boldsymbol{T = \frac{t_1 + t_2}{2} + 273,16K}$ $\qquad p_{at} =$ ________ Pa

$\Delta \boldsymbol{t} = \Delta \boldsymbol{T} =$ ______; $\Delta \boldsymbol{p} =$ ______; $\Delta \boldsymbol{p_{at}} =$ ______; $\Delta \boldsymbol{V} =$ ______