

Wydział	Imię i nazwisko 1. 2.		Rok	Grupa	Zespół
PRACOWNIA FIZYCZNA WFiIS AGH	Temat:				Nr ćwiczenia
Data wykonania	Data oddania	Zwrot do popr.	Data oddania	Data zaliczenia	OCENA

Ćwiczenie nr 22: Próżnia. Własności gazów

Cel ćwiczenia

Zapoznanie się z układem próżniowym, pompą próżniową i pomiarem ciśnienia podczas pompowania układu. Sprawdzenie prawa Boyle’a–Mariotte’a dla powietrza w temperaturze pokojowej.

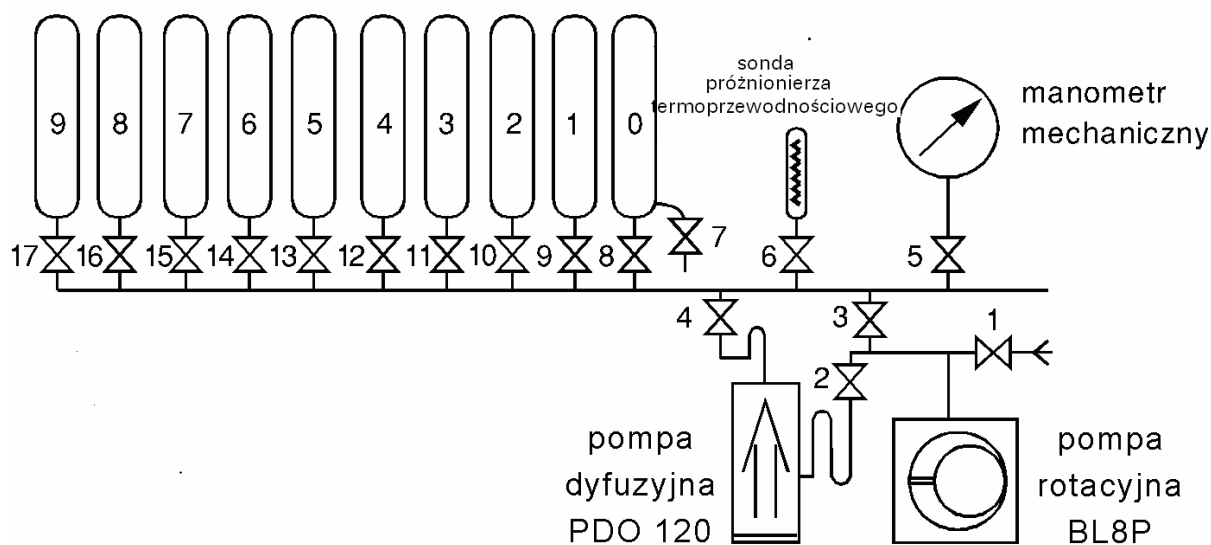
Zagadnienia kontrolne

1. Pojęcie „gazu doskonałego”.
2. Równanie stanu gazu doskonałego. Warunki normalne.
3. Przemiany gazowe: izotermiczna, izobaryczna, i izochoryczna.
4. Ciśnienie. Jednostki ciśnienia w układzie SI i inne powszechnie stosowane.
5. Mierniki ciśnienia: manometr i próżniomierz termoprzewodnościowy.
6. Metody otrzymywania próżni. Pompa rotacyjna.
7. Dopasowanie prostej metodą najmniejszych kwadratów (podstawy metody).

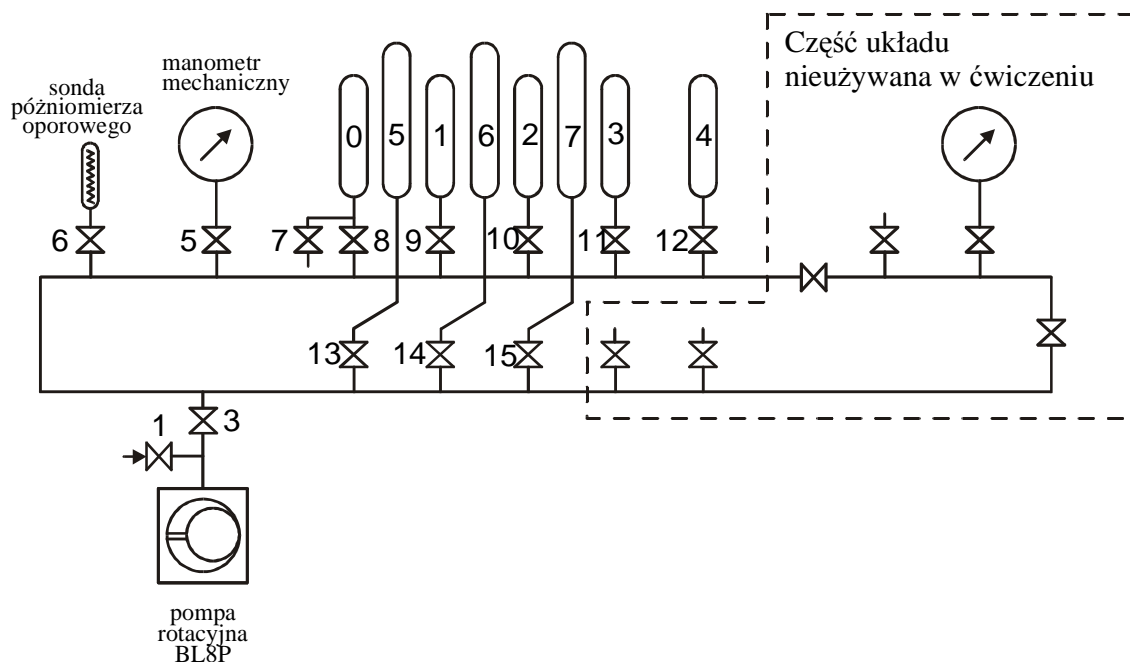
<i>Ocena i podpis:</i>

1. Układ pomiarowy

Ćwiczenie może być wykonywane na jednym z dwóch układów pomiarowych, nazwanych „Układ 1” i „Układ 2”. Schematy układów próżniowych przedstawione są odpowiednio na rys. 1w i rys. 2w. Są to układy szklane, wykonane ze szkła typu „pyrex”. Pod względem funkcjonalnym obydwa układy są identyczne, a numeracja zaworów – taka sama. Różnią się natomiast objętością butli: Układ 1 zbudowany jest z 10 szklanych butli o pojemności $1,24 \text{ dm}^3$ każda, objętość połączeń szklanych, kranów i obydwu mierników ciśnienia wynosi $V_p = 0,66 \text{ dm}^3$. Układ 2 zawiera 5 butli szklanych o pojemności $1,24 \text{ dm}^3$ i trzy butle szklane o pojemności $2,48 \text{ dm}^3$, analogiczna objętość połączeń wynosi $V_p = 0,48 \text{ dm}^3$.



Rys. 1w. Zestaw 1. W ćwiczeniu pompa dyfuzyjna jest nieużywana, a kran 2 i 4 – zamknięte.



Rys. 2w. Zestaw 2.

W pomiarach wykorzystuje się tylko pompę rotacyjną, umożliwiającą odpompowanie układów do ciśnienia ok. 10^{-2} hPa. Stan próżni odczytujemy z manometru mechanicznego i próżniomierza oporowego. Wyskalowane są, odpowiednio, w kg/cm^2 i Tr (zestaw 1) oraz MPa i hPa (zestaw 2). Przeliczenie jednostek objaśnia przypis na str. 1 opisu.

2. Wykonanie ćwiczenia

Uwaga. Wszystkie czynności związane z wykonaniem ćwiczenia muszą być wykonane dokładnie według instrukcji. Nieprzestrzeganie podanych poniżej zasad może doprowadzić do uszkodzenia układu próżniowego.

Największa liczba operacji podczas wykonywania ćwiczenia to otwieranie i zamykanie kranów próżniowych, i na tę sprawę należy zwrócić szczególną uwagę. Krany należy zamykać i otwierać przekręcając **wolno** kurek kranu. Najlepiej uchwycić kurek ręką prawą podtrzymując równocześnie ręką lewą korpus kranu. W razie pojawienia się smug na kurku kranu kilkakrotnie przekręcić kurkiem w lewo i prawo o około 1/4 pełnego obrotu.

Kran jest otwarty, gdy zaznaczona na czerwono część kurka wskazuje czerwony znak na rurce szklanej.

1. Zapoznanie z układem próżniowym:

- a) Zapoznaj się z układem próżniowym, porównaj układ pomiarowy z jego schematem (rys. 1w lub rys. 2w), określ położenie w układzie pomiarowym zaznaczonych na schemacie kranów i ich wzajemnych połączeń.
- b) Zbadaj położenie ruchomego kurka kranu względem nieruchomego korpusu kranu w stanach: „kran otwarty” i „kran zamknięty”.
- c) Obróć kurek kranu - w tym celu jedną ręką podtrzymuj nieruchomy korpus kranu a drugą ręką delikatnie obracaj kurek w kierunku zgodnym z ruchem wskazówek zegara.
- d) Zapowietrz układ - w tym celu otwórz zawory od nr 5 do nr 17. Zawory nr 1 - 4 mają być zamknięte.
- e) Zamknij zawór nr 7.
- f) Włącz do sieci próżniomierz oporowy.

2. Pompowanie układu za pomocą pompy rotacyjnej. Pomiar ciśnienia w funkcji czasu pompowania w zakresie próżni wstępnej i średniej.

Uwaga: pomiar zmian ciśnienia w zakresie próżni wstępnej wykonujemy przy pomocy manometru mechanicznego. Zmiany ciśnienia są bardzo szybkie, rzędu pojedynczych sekund, dlatego pomiar wymaga sprawnego współdziałania dwu osób. Jedna obserwuje wskazania manometru i daje umówiony sygnał dźwiękowy, gdy jego strzałka osiągnie wartości zadane w tab. 1. Druga osoba odczytuje w tym momencie czas na sekundomierzu i zapisuje jego wartość (tylko pełne sekundy).

- a) Włącz pompę rotacyjną i jednocześnie uruchom sekundomierz. (Sekundomierza nie należy zatrzymywać do końca pomiaru).
- b) Wykonuj pomiary wg. metody opisanej powyżej.

Po szybkim pomiarze w zakresie próżni niskiej wskazówka manometru ustala się na wartości $\Delta p = -1 \text{ bar}$ (-1 kG/cm^3), a wskazówka próżniomierza termoprzewodnościowego pozostaje początkowo nieruchoma. Jest tak dlatego, że efektywny zakres pomiarowy tego przyrządu zaczyna się od 1 hPa (zestaw 2) lub 0,5 Tr (zestaw 1). Wkrótce zauważymy ruch wskazówki.

- c) Wykonaj pomiar zależności $P(t)$ w zakresie próżni średniej przez zapis czasów t , odpowiadających wskazaniom próżniomierza podanych w jednym z dwu wariantów tabeli 2. Z okna sekundomierza spisujemy wartości czasu w minutach i sekundach, które później przeliczymy na sekundy.
- d) Pomiar prowadzić około 20 minut.
- e) Po tym czasie najpierw zamknąć zawór 3 (by odciąć pompę od układu). Następnie wyłączyć pompę i zapowietrzyć przez otwarcie zaworu 1.

3. Sprawdzanie szczelności układu

- a) Uruchom na nowo sekundomierz.
- b) Obserwuj wskazania próżniomierza. Jeżeli układ próżniowy jest w należyтым stanie, nie obserwujemy zauważalnych zmian ciśnienia. Obserwację prowadź przez czas ok. 10 min.
- c) Jeżeli układ wykazuje pewną nieszczelność, zanotuj czas w którym zostaną uzyskane (w odwrotnej kolejności) wartości ciśnień podane w tabeli 2.
- d) Jeżeli w tym czasie ciśnienie nie wzrosło powyżej 0,5 hPa, nawet dla nieznacznie nieszczelnego układu można wykonać sprawdzenie prawa Boyle'a-Mariotte'a. W przypadku większego wzrostu ciśnienia wezwać prowadzącego zajęcia.

4. Sprawdzenie prawa Boyle'a- Mariotte'a

- a) Odłączyć od układu wszystkie butle (zamknij krany 8-17 w zestawie 1 i krany nr 8 - 15 w zestawie 2).
- b) Wpuść powietrze do zbiornika nr 0 (otwórz kran nr 7 na kilka sekund, a następnie zamknij). Jest to pierwszy pomiar, gdzie powietrze w objętości butli zerowej V_0 przypisujemy ciśnienie równe ciśnieniu atmosferycznemu.
- c) Otwórz kran nr 8, odczytaj ciśnienie wskazywane przez manometr mechaniczny. Teraz ta sama ilość powietrza jest rozprężona do objętości $V_0 + V_p$ będącej sumą objętości butli 0 i objętości połączeń V_p .
- d) Otwieraj kolejne zawory, rozprężając powietrze do kolejnych zbiorników. Notuj numer kolejnego otwartego zbiornika i wskazania manometru.
- e) Odczytaj ciśnienie atmosferyczne na barometrze.
- f) Po zakończeniu pomiarów zapowietrz układ przez otwarcie zaworu 7.

3. Wyniki pomiarów

Tabela 1. Pompowanie układu próżniowego – zakres próżni niskiej.

Wskazania manometru: Δp [at] układ1 Δp [bar] układ2	Przybliżone ciśnienie $p \approx 1 + \Delta p$ [bar]	Ciśnienie w układzie $p = p_0 + \Delta p$ [hPa]	Czas [s]
-0,3	0,7		
-0,5	0,5		
-0,6	0,4		
-0,7	0,3		
-0,8	0,2		
-0,9	0,1		
-0,96	0,04		

Tabela 2. Pompowanie układu próżniowego – zakres próżni średniej.

Zestaw 2

p [hPa]	Czas t [min . s]	Czas t [s]
1		
0,7		
0,5		
0,4		
0,3		
0,2		
0,15		
0,1		
0,09		
0,08		
0,07		
0,06		
0,05		

Zestaw 1

p [Tr]	p [hPa]	Czas t [min . s]	Czas t [s]
$5 \cdot 10^{-1}$			
$3 \cdot 10^{-1}$			
$2 \cdot 10^{-1}$			
10^{-1}			
$9 \cdot 10^{-2}$			
$8 \cdot 10^{-2}$			
$7 \cdot 10^{-2}$			
$6 \cdot 10^{-2}$			
$5 \cdot 10^{-2}$			
$4 \cdot 10^{-2}$			
$3 \cdot 10^{-2}$			
$2 \cdot 10^{-2}$			

4. Opracowanie wyników

Pomiar ciśnienia w funkcji czasu

1. Manometry mechaniczne w obu układach pokazują różnicę Δp pomiędzy ciśnieniem w układzie próżniowym i ciśnieniem atmosferycznym; Δp jest ujemne. Manometr w zestawie 1 jest wyskalowany w kG/cm^2 a w zestawie 2 w barach. Wartość różnicy ciśnień Δp (z manometru) przelicz na ciśnienie bezwzględne p (w hektopaskalach) przy użyciu wzorów:

$$p [\text{hPa}] = p_0 [\text{hPa}] + \Delta p [\text{bar}] \cdot 1000 [\text{hPa} / \text{bar}] \quad \text{dla zestawu 2,}$$

$$p [\text{hPa}] = p_0 [\text{hPa}] + \Delta p [\text{kG/cm}^2] \cdot 980,7 [\text{hPa} / (\text{kG} / \text{cm}^2)] \quad \text{dla zestawu 1.}$$

2. Jeżeli pomiar w zakresie próżni średniej wykonano próżniomierzem wyskalowanym w torach, zamień je na hektopaskale (druga kolumna tabeli prawej).
3. Wykonaj wspólny wykres $p(t)$ zmierzony przy pompowaniu układu w zakresie próżni niskiej i średniej. Wykres wykonać przy użyciu papieru logarytmicznego posiadającego co najmniej 4 dekady na obydwu osiach.
4. Uzyskaną wartość ciśnienia końcowego porównać z wartością znamionową dla używanej pompy próżniowej.

Sprawdzanie prawa Boyle'a-Mariotte'a.

5. Ze wskazań manometru mechanicznego Δp oblicz ciśnienie bezwzględne jak w pkt. 1.
6. Oblicz całkowitą objętość gazu jako sumę objętości połączeń V_p i objętości butli wypełnionych gazem, $V = V_p + \sum V_i$.
7. Wykonaj wykres zlinearyzowany: ciśnienie p w funkcji $1/V$. Zaznacz odcinki niepewności pomiaru ciśnienia odpowiadające najmniejszej działce manometru. Tak zdefiniowane odcinki przedstawiają błąd graniczny.
8. Do punktów pomiarowych dopasuj prostą przechodzącą przez początek układu współrzędnych. Dopasowanie można wykonać metodą graficzną lub najmniejszych kwadratów.
9. Oceń zgodność danych doświadczalnych z prawem Boyle'a-Mariotte'a. Zgodność zachodzi, jeżeli dopasowana prosta przecina wszystkie odcinki błędów granicznych.