



Wprowadzenie teoretyczne

Doświadczenie „CHARLES”

Jeden **mol** to liczność materii (np. atomów, cząsteczek, jonów bądź elektronów), która zawiera $6,02214076 \cdot 10^{23}$ elementów. Mol jest liczbą, więc jest bezwymiarowy. Jednak liczbę tą spotykamy również jako stałą Avogadra N_A , która wiąże ilość moli z liczbą elementów substancji N :

$$n = \frac{N}{N_A},$$

gdzie n – liczba moli, N – liczba elementów substancji, N_A – stała Avogadra opisująca ilość elementów w jednym molu substancji, posiada jednostkę $1/\text{mol}$, ($N_A = 6,02214076 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$).

Jeden mol danej substancji posiada masę równą masie cząsteczkowej wyrażonej w gramach. Np. 1 mol helu posiada masę 4 g, 1 mol wodoru atomowego - 1 g, 1 mol wodoru cząsteczkowego - 2 g, 1 mol wody - 18 g.

Stężenie molowe gazu $c_m = \frac{n}{V}$ to ilość cząstek gazu wyrażona w molach przypadająca na jednostkę objętości.

W temperaturze 0°C i przy ciśnieniu 1 atm objętość 1 m^3 powietrza zawiera 44,6 moli cząsteczek powietrza (azotu N_2 , tlenu O_2 , dwutlenku węgla CO_2 i innych), więc stężenie molowe powietrza wynosi $44,6 \text{ mol/m}^3$. W temperaturze 25°C stężenie jest mniejsze i wynosi $40,9 \text{ mol/m}^3$.

Ciśnienie to siła działająca na pewną powierzchnię: $p = \frac{F}{s}$

Podstawową jednostką ciśnienia w układzie SI jest pascal ($1\text{Pa} = 1\text{N/m}^2$). Jest to jednostka zdefiniowana przy pomocy jednostek podstawowych układu SI. W praktycznych zastosowaniach technicznych często stosuje się jednostki pozaukładowe: milimetr słupa rtęci (mm_{Hg}), atmosfera (atm), bar, psi, metr słupa wody.

Równanie Clapeyrona opisuje gaz doskonały. Z dobrym przybliżeniem opisuje także rozrzedzone gazy rzeczywiste. To zależność pomiędzy ciśnieniem p , objętością V , i temperaturą T wyrażoną w skali bezwzględnej (Kelwina), która zachodzi w szczerłym układzie tj. dla stałej ilości cząsteczek gazu wyrażona w molach:

$$p V = n R T$$

gdzie $R = 8,314 \left[\frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \right]$ jest stałą gazową.

Równanie Clapeyrona sformułowano na podstawie wcześniej odkrytych praw: Boyle'a-Mariotte'a, Charlesa i Gay-Lussaca.

Przemiana izotermiczna – Prawo Boyle'a

Jeżeli $T = \text{const}$ i zbiornik jest szczelny ($n = \text{const}$), wówczas z równania Clapeyrona wynika, że: $p \cdot V = \text{const}$

W przemianie izotermicznej pomiędzy ciśnieniem a objętością powstaje zależność: $p(V) = nRT V^{-1}$

Przemiana izobaryczna – Prawo Gay-Lussaca

Jeżeli $p = \text{const}$, wówczas z równania Clapeyrona wynika, że: $V/T = \text{const}$

W przemianie izobarycznej pomiędzy objętością a temperaturą powstaje zależność: $V(T) = nR / pT$

Przemiana izochoryczna – Prawo Charlesa

Jeżeli zbiornik jest szczelny a jego objętość jest stała $V = \text{const}$, wówczas z równania Clapeyrona wynika, że:

$$p/T = \text{const}.$$

Ciśnienie jest więc proporcjonalne do temperatury ($p = \text{const} \cdot T$) i kiedy temperatura gazu w zbiorniku rośnie, wtedy ciśnienie również rośnie, a kiedy temperatura gazu maleje to ciśnienie również maleje.

Pytania do przygotowania:

„CHARLES”

1. Zapisz wzorem równanie Clapeyrona.
2. Zapisz równanie stanu gazu doskonałego.
3. Zapisz podstawowy wzór teorii kinetycznej gazów (średnia energia kinetyczna cząsteczek gazu).
4. Podaj definicję ciśnienia i jego podstawową jednostkę w układzie SI.
5. Scharakteryzuj co najmniej trzy pozaukładowe jednostki ciśnienia.
6. Wyjaśnij co to jest temperatura i podaj jej jednostkę w układzie SI.
7. Wyjaśnij co to jest temperatura zera bezwzględnego.
8. O ile Kelwinów wzrośnie temperatura, jeśli wzrost wyniesie 1°C ?
9. Wyjaśnij co to jest przemiana termodynamiczna.
10. Scharakteryzuj przemianę izotermiczną i podaj równanie stanu ją opisujące.
11. Scharakteryzuj przemianę izobaryczną i podaj równanie stanu ją opisujące.
12. Scharakteryzuj przemianę izochoryczną i podaj równanie stanu ją opisujące.
13. Scharakteryzuj przemianę adiabatyczną i podaj równanie stanu ją opisujące.
14. Przedstaw izobarę na wykresie $V(T)$ i izochorę na wykresie $p(T)$.
15. Podaj wartości parametrów ciśnienia, temperatury i objętości jednego mola gazu w warunkach normalnych.

Wskazówki do wykonania pomiarów

1. Umieścić szklaną kolbę z powietrzem w kąpeli wodnej. W razie potrzeby uzupełnić poziom wody korzystając wyłącznie z wody destylowanej.
2. Włączyć termostat i ustawić temperaturę wody na około 70°C .
3. Włączyć termometr umieszczony w kolbie i barometr różnicowy. Obserwować przyrost temperatury i towarzyszący mu wzrost ciśnienia wewnątrz kolby.
4. Gdy temperatura powietrza w kolbie osiągnie około 50°C , wyjąć zbiornik z kąpeli wodnej, osuszyć ręcznikiem papierowym i przygotować się do zapisywania pomiarów.
5. Odczekać aż temperatura opadnie o 2°C .
6. W trakcie ostygnięcia kolby wykonać 10 pomiarów ciśnienia powietrza znajdującego się wewnątrz naczynia i jego temperatury. Dokonywać odczytów co około 1°C .
7. W przypadku wyłączenia się termometru lub manometru, przyrząd należy włączyć i kontynuować pomiary.
8. Wykonać obliczenia zgodnie z instrukcją i sporządzić wykres próbny w arkuszu kalkulacyjnym. W obliczeniach pamiętać o używaniu jednostek podstawowych układu SI dla temperatury i dla ciśnienia.
9. Sporządzić protokół z pomiarów i niepewności pomiarowych.

UWAGA:

Układ można rozszczelnić tylko w sytuacji, w której temperatura kolby jest taka sama jak temperatura otoczenia.

Zauważ, że tym samym ciśnieniom wewnętrznym podczas ogrzewania i ostygnięcia odpowiadają różne odczyty temperatur. Jest to spowodowane powolną reakcją termometru na zmiany temperatury gazu. Pomiary wykonujemy podczas ostygnięcia, które zachodzi wolniej niż ogrzewanie. Wtedy pomiary obciążone są mniejszym błędem systematycznym.

„CHARLES”

Student 1: Wyznaczanie stężenia molowego powietrza.

Student 2: Sprawdzanie prawa Charlesa.

Baza teoretyczna

Równanie stanu gazu doskonałego Clapeyrona:

$$p \cdot V = nRT$$

gdzie p – ciśnienie gazu, V – objętość gazu, n – liczba moli gazu,

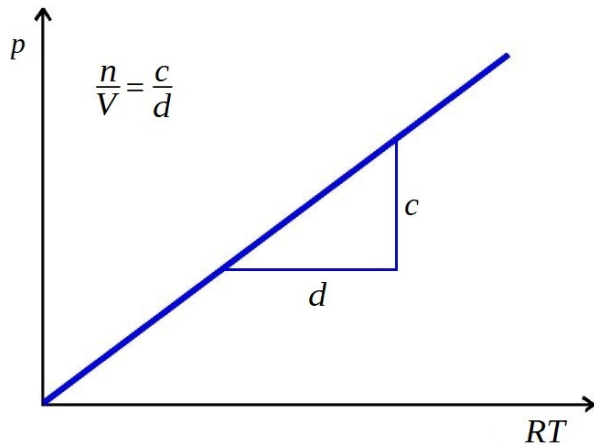
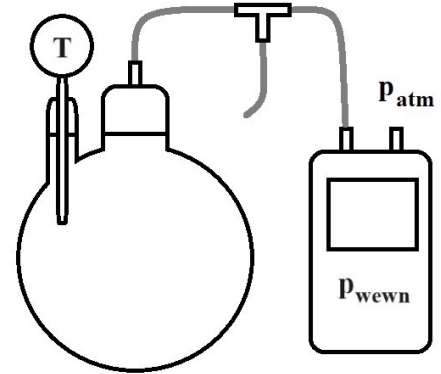
$R = 8,314 \left[\frac{J}{mol \cdot K} \right]$ stała gazowa, T – temperatura w kelwinach.

W kolbie ciśnienie gazu można wyrazić jako sumę ciśnienia wewnętrznego i zewnętrznego (atmosferycznego):

$$p = p_{atm} + p_{wewn}$$

Prawo Charlesa: w szczelnym naczyniu, o stałej objętości V , ciśnienie gazu p jest proporcjonalne do jego temperatury T :

$$p = const \cdot T$$



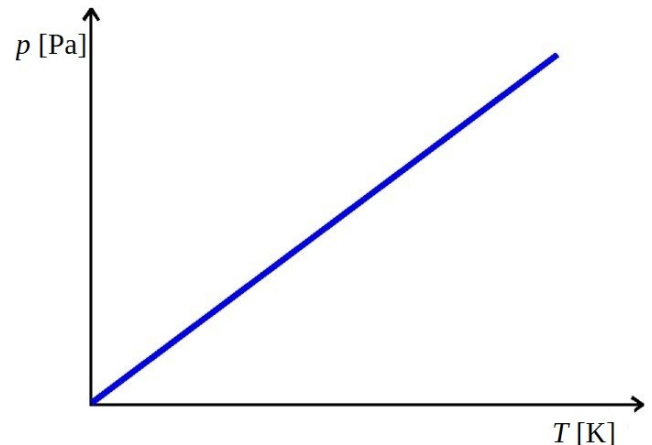
$$\underbrace{p_{wewn} + p_{atm}}_Y = \underbrace{\frac{n}{V}}_a \cdot \underbrace{RT}_X$$

Zatem, aby **wyznaczyć stężenie molowe powietrza** należy:

- wykonać pomiary zależności ciśnienia powietrza znajdującego się wewnątrz naczynia od jego temperatury,
- sporządzić wykres zależności

$$p = f(R \cdot T)$$

- odczytać stężenie molowe powietrza jako współczynnik kierunkowy tego wykresu



Zatem, aby **sprawdzić prawo Charlesa** należy:

- wykonać pomiary zależności ciśnienia od temperatury,
- sporządzić wykres zależności

$$p = f(T)$$

- zanalizować jego liniowość

„CHARLES”

Student 1: Wyznaczanie stężenia molowego powietrza.

I. **Metodyka** (ideowy plan ćwiczenia)

II. **Przebieg ćwiczenia**

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. **Wyniki**

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_{wewn}	[Pa]										
t	[°C]										

$$p_{atm} = \dots \text{ [hPa]} = \dots \text{ [Pa]}$$

$$\Delta p_{wewn} =$$

$$\Delta p_{atm} =$$

$$\Delta t =$$

III.2. **Obliczenia** (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$p = p_{wewn} + p_{atm} =$$

$$R \cdot T =$$

$$\Delta(p) = \Delta p_{wewn} + \Delta p_{atm} =$$

$$\Delta(RT) = R \cdot \Delta T =$$

III.3. **Wyniki obliczeń**

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p	[...]										
$R \cdot T$	[...]										

III.4. **Wykres**

+ obliczenie n/V (nachylenia prostej „najlepszego dopasowania”)

+ obliczenie $(n/V)'$ (nachylenia prostej odchylonej)

+ obliczenie $\Delta(n/V) = |n/V - n/V'|$

IV. **Podsumowanie**

Wyznaczone stężenie molowe powietrza wynosi ...

Dokładność metody wynosi: ...

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.

„CHARLES”

Student 2: Sprawdzanie prawa Charlesa.

I. **Metodyka** (ideowy plan ćwiczenia)

II. **Przebieg ćwiczenia**

II.1. Przebieg czynności

II.2. Szkic układu pomiarowego

III. **Wyniki**

III.1. Wyniki pomiarów

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p_{wewn}	[Pa]										
t	[°C]										

$$p_{atm} = \dots \text{ [hPa]} = \dots \text{ [Pa]}$$

$$\Delta p_{wewn} =$$

$$\Delta p_{atm} =$$

$$\Delta t =$$

III.2. **Obliczenia** (przykładowe – odnoszą się np. do pomiaru nr 3)

$$p = p_{wewn} + p_{atm} =$$

$$T =$$

$$\Delta(p) = \Delta p_{wewn} + \Delta p_{atm} =$$

$$\Delta(T) =$$

III.3. Wyniki obliczeń

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
p	[...]										
T	[...]										

III.4. Wykres

IV. Podsumowanie

Ponieważ na wykresie ... można poprowadzić prostą przechodzącą przez wszystkie prostokąty niepewności pomiarowych, nie ma podstaw do stwierdzenia odstępstwa od ...

Ewentualnie: Odstępstwo od liniowości w zakresie ... może wynikać z

Dodatkowe wnioski, spostrzeżenia, przyczyny niepewności pomiarowych.