

6 Wyznaczenie linii nasycenia dla wody

6.1 Wprowadzenie.

W zbiorniku o stałej objętości znajduje się pewna ilość wody w równowadze termodynamicznej z parą (2). Doprowadzając ciepło do tego układu, zmieniamy jego ciśnienie i temperaturę. Związek między ciśnieniem a temperaturą w tym procesie (izochorycznego ogrzewania) opisuje równanie różniczkowe Clausiusa – Clapeyrona:

$$\frac{dp_n}{dT_n} = \frac{r}{T_n(v'' - v')} \quad (1)$$

w którym:

- r [J/kg] – ciepło parowania,
- v'' [m³/kg] – objętość właściwa pary nasyconej,
- v' [m³/kg] – objętość właściwa cieczy.

Funkcję będącą rozwiązaniem tego równania nazywamy linią nasycenia. Doświadczenie jest realizowane w obszarze niskich ciśnień $0 \leq p \leq 10^5$ Pa, i dlatego dopuszczalne są pewne uproszczenia:

- para spełnia równanie Clapeyrona $pv = RT$, a więc $p_nv'' = RT_n$,
- $v'' \gg v'$ (dla wody $v'' > v' \cdot 10^3$),
- $r \cong \text{const}$.

Uwaga:

R jest indywidualną stałą gazową dla pary wodnej.

Po uwzględnieniu powyższych uproszczeń, rozwiązanie równania linii nasycenia przyjmie postać:

$$\frac{dp_n}{dT_n} \cong \frac{r}{T_n v''} = \frac{r}{R} \cdot \frac{p_n}{T_n^2} \quad (2)$$

Całkując powyższe równanie otrzymamy:

$$\ln \frac{p_{n,i}}{p_{n,1}} = \frac{r}{R} \left(\frac{1}{T_{n,1}} - \frac{1}{T_{n,i}} \right) \quad (3)$$

w którym:

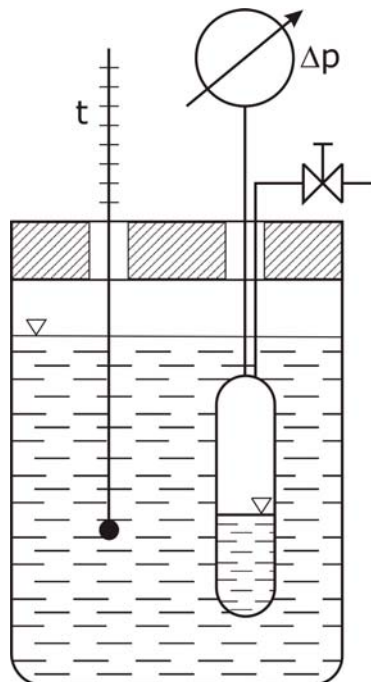
- $p_{n,1}; T_{n,1}$ – ciśnienie i temperatura nasycenia z pierwszego pomiaru,
- i – numer kolejnego pomiaru.

6.2 Opis doświadczenia.

Doświadczenie przeprowadzamy w zakresie od ciśnienia nasycenia odpowiadającego temperaturze otoczenia (a więc niskiego ciśnienia) do ciśnienia nie przekraczającego ciśnienia barometrycznego. Dlatego do pomiarów ciśnienia w układzie używamy wakuometru i barometru. Wskazanie wakuometru pokazuje różnicę ciśnienia nasycenia i ciśnienia barometrycznego przy danej temperaturze kąpieli wodnej:

$$\Delta p = p_n - p_b$$

Zbiorniczek z wodą i parą nasyconą ogrzewamy w kąpeli wodnej (patrz rys. 1). Przyjmujemy, że temperatura pary wodnej w zbiorniku jest równa temperaturze kąpieli t (wskazywanej przez termometr). Jest to dopuszczalne, ponieważ układ doświadczalny umożliwia powolny przyrost temperatury kąpieli wodnej w czasie trwania pomiaru. W trakcie ćwiczenia należy zarejestrować dla każdej wartości podciśnienia odczytanego ze wskazań wakuometru odpowiadającą mu temperaturę t kąpieli.



Rys. 1 Schemat stanowiska pomiarowego

6.3 Opracowanie wyników.

3.1. Dla każdej pary wartości ($\Delta p_{i,n}$) obliczyć ($p_{n,i}, T_{n,i}$) wykorzystując wzór:

$$\Delta p_i = p_{n,i} - p_b \quad (4)$$

Wyniki przedstawić na wykresie $p_n = f(T_n)$

3.2. Linię nasycenia przedstawić w nowym układzie współrzędnych $Y-X$, w którym:

$$Y_i = \ln \frac{p_{n,i}}{p_{n,1}} \quad (5)$$

$$X_i = \frac{1}{T_{n,1}} - \frac{1}{T_{n,i}} \quad (6)$$

Jeżeli doświadczenie jest poprawnie wykonane, to w nowym układzie współrzędnych punkty pomiarowe o współrzędnych (X_i, Y_i) układają się wokół linii prostej.

- 3.3. Wyznaczyć współczynnik kierunkowy $a_{\text{dośw}}$ tej prostej i porównać z teoretyczną wartością tego współczynnika (patrz wzór 3):

$$a_t = \frac{r}{R}$$

6.4 Pytania sprawdzające.

1. Podaj definicję następujących pojęć: faza, przemiana fazowa, linia przemian fazowych. Czy istnieje różnica między fazą i stanem skupienia? Objaśnij na przykładzie.
2. Co to jest ciepło parowania? Czy możliwa jest sytuacja, w której ciepło parowania jest równe zero?
3. Podaj definicję linii nasycenia, naszkicuj ją w układzie p - T . Jaki stan termodynamiczny jest początkiem, a jaki końcem linii nasycenia?
4. Wyprowadź i objaśnij równanie Clausiusa-Clapeyrona'a.
5. Czy podczas wrzenia cieczy przy stałym ciśnieniu zmienia się temperatura? Uzasadnij odpowiedź.