

## 1.9. Efectul Joule-Thompson

Efectul Joule-Thompson (1845) constă în variația temperaturii unui gaz real la scăderea adiabatică a presiunii prin traversarea unui orificiu îngust sau a unui perete poros.

Procesul Joule-Thomson este ireversibil: peretele poros se opune puternic, iar entalpia gazului  $H=U+PV$  se conservă, astfel încât pentru două stări diferite  $H_1=H_2$  și  $U_2-U_1=P_1V_1-P_2V_2$ , reprezentând relația pentru lucrul efectuat.

Coeficientul Joule-Thomson (Kelvin) este definit

$$\mu_{JT} = \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H, \text{ astfel folosind proprietățile Jacobianului (1.58)–}$$

(1.60) se obține:

$$\begin{aligned} \mu_{JT} &= \left( \frac{\partial T}{\partial P} \right)_H = \frac{\partial(T, H)}{\partial(P, H)} = \frac{\partial(T, H)}{\partial(P, T)} \cdot \frac{\partial(P, T)}{\partial(P, H)} = \frac{\partial(T, H)}{\partial(P, T)} \Big/ \frac{\partial(P, H)}{\partial(P, T)} \\ &= - \left( \frac{\partial H}{\partial P} \right)_T \Big/ \left( \frac{\partial H}{\partial T} \right)_P = - \left( T \left( \frac{\partial S}{\partial P} \right)_T + V \right) \Big/ T \left( \frac{\partial S}{\partial T} \right)_P \\ &= - \left( -T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P + V \right) \Big/ c_p = \frac{1}{c_p} \left( T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right) \\ &= \frac{V}{c_p} (\alpha_p T - 1), \end{aligned}$$

unde  $\alpha_p = \frac{1}{V} \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P$  este coeficientul izobar de dilatare termică

(vezi p.1.2).

Dependența de temperatură a coeficientului  $\mu_{JT}$  pentru diferite gaze la presiune atmosferică este reprezentată în Fig.3. Pentru un mol de gaz ideal,  $V=RT/P$ , astfel încât  $\left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P = \frac{R}{P} = \frac{V}{T}$  și  $\mu_{JT}^{id} = 0$ . Prin urmare, efectul Joule-Thomson se datorește anume faptului că gazele

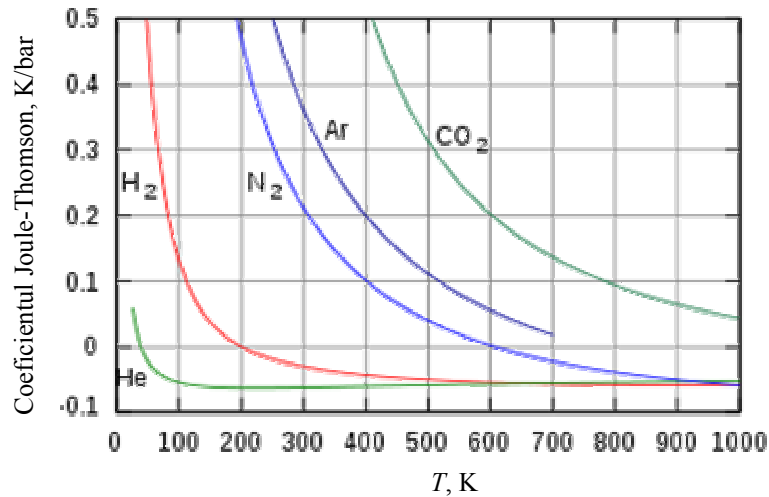


Fig.3. Coeficientul Joule-Thomson pentru diferite gaze la presiune atmosferică.

nu sunt ideale. Pentru gazele reale caracterizate de ecuația lui van der Waals, se obține:

$$\begin{aligned} \mu_{JT}^{vW} &= \frac{1}{c_p} \left( T \left( \frac{\partial V}{\partial T} \right)_P - V \right) = \frac{1}{c_p} \left( -T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T - V \right) \\ &= -\frac{\lambda}{c_p} \left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T, \end{aligned}$$

unde

$$P = \frac{RT}{V-b} - \frac{a}{V^2}, \quad \lambda = T \left( \frac{\partial P}{\partial T} \right)_V + V \left( \frac{\partial P}{\partial V} \right)_T = \frac{2a}{V^2} - \frac{RTb}{(V-b)^2},$$

iar deoarece  $\left( \frac{\partial V}{\partial P} \right)_T < 0$  și  $c_p > 0$ , atunci semnul coeficientului

Joule-Thomson coincide cu semnul lui  $\lambda$ , adică  $sign \mu_{JT}^{vW} = sign \lambda$ . Pentru  $\lambda=0$  există un efect deosebit – punct de inversie, pentru care

temperatura de inversie este  $T_i = \frac{2a}{Rb}$ , astfel încât  $\lambda < 0$  pentru  $T > T_i$  și

$\lambda > 0$  pentru  $T < T_i$ . Când coeficientul de dilatare al gazului real e mai mare decât al gazelor perfecte, are loc scăderea temperaturii gazului ( $O_2$ ,  $N_2$ , aer); în caz contrar se produce o creștere a temperaturii gazului ( $He$ ,  $H_2$ ). Pentru gazele cu densitate mare există puncte de inversie inferior și superior [1].

Acest efect este utilizat în tehnică pentru obținerea temperaturilor foarte joase și pentru lichefierea gazelor prin *procedeele* Linde (1895).

### 1.10. Lucrul maxim. Ciclul Carnot. Randamentul motoarelor

Ciclul Carnot a fost propus în anul 1820 de inginerul francez Nicolas Léonard Sadi Carnot în scopul îmbunătățirii randamentului motoarelor termice. Este un ciclu teoretic reversibil, alcătuit din două

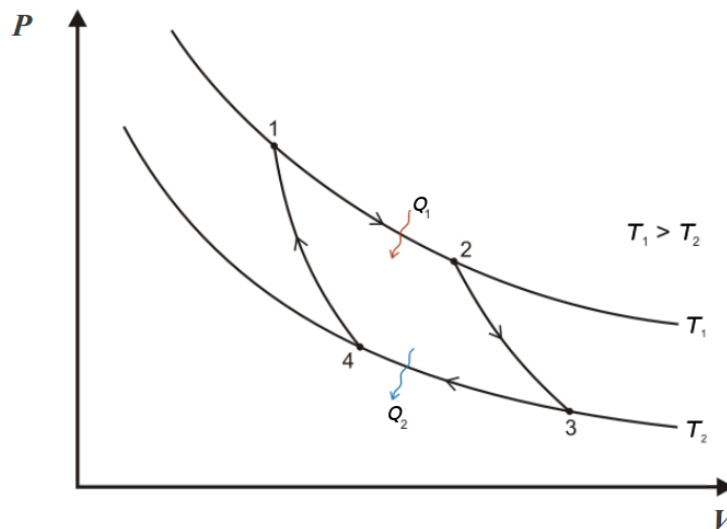


Fig.4. Reprezentarea în diagrama  $P$ - $V$  a ciclului Carnot.