

Tepelná kapacita c

Obecná definice:

$$c = \frac{dQ}{dT} [\text{JK}^{-1}]$$

c - veličina extenzivní, intenzivní veličinou je

specifická (měrná) tepelná kapacita c_{sp} [$\text{JK}^{-1} \text{kg}^{-1}$]

molární tepelná kapacita c_{m} [$\text{JK}^{-1} \text{mol}^{-1}$].

Q a tedy i c závisí na způsobu provedení děje, a to především u plynů:

- netýká se dějů adiabatických ($Q = 0$)

- není definována pro děje izotermické (např. fázové přechody)

- je definována: tepelná kapacita při konstantním objemu c_V a při konstantním tlaku c_p :

$$c_V = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_V = \left(\frac{\partial U}{\partial T}\right)_V \quad c_p = \left(\frac{\partial Q}{\partial T}\right)_p = \left(\frac{\partial H}{\partial T}\right)_p.$$

Pro ideální plyn

$$c_V = \frac{dU}{dT} \quad c_p = \frac{dH}{dT}$$

Mayerův vztah

$$R = c_{p,m} - c_{V,m}$$

Závislost tepelné kapacity na teplotě - nelze vystihnout obecným vztahem, vyjadřuje se pomocí mocninných řad - např.:

$$c_p = a + bT + cT^2 + dT^{-3}$$

a, b, c, d - empirické konstanty

Pro ideální monoatomický plyn

- z kinetické teorie ideálního plynu vyplývá vztah

$$c_{V,m} = \frac{3}{2}R \Rightarrow c_{V,m} \text{ je konstantní.}$$

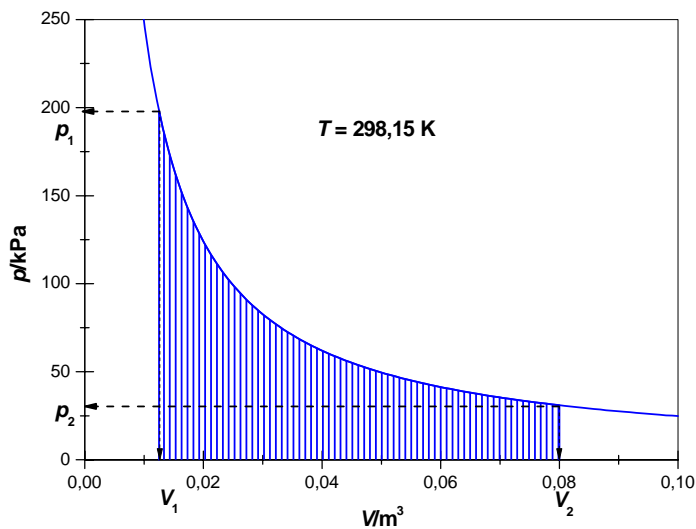
Aplikace I. věty TD na děje v uzavřeném systému

1) Děj izotermický $T = \text{konst.} \Rightarrow dT = 0$

Pro ideální plyn: $\Delta U = 0 \Rightarrow Q = -W \Rightarrow$ plyn koná práci na úkor dodaného tepla

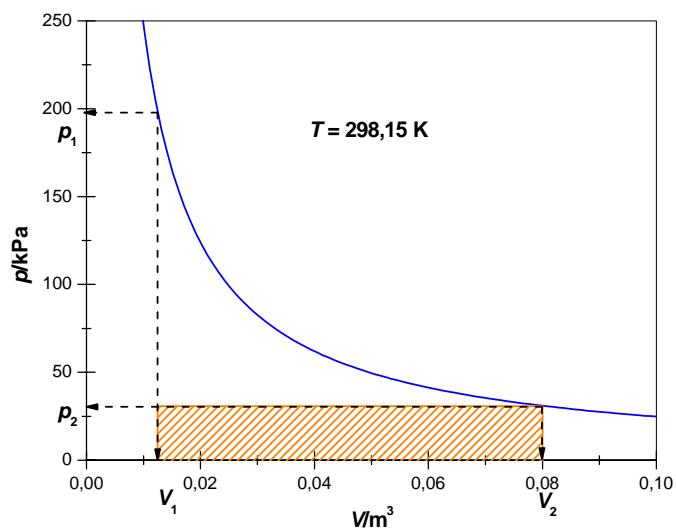
Objemové práce při expanzi z V_1 na V_2

a) *děj reverzibilní*

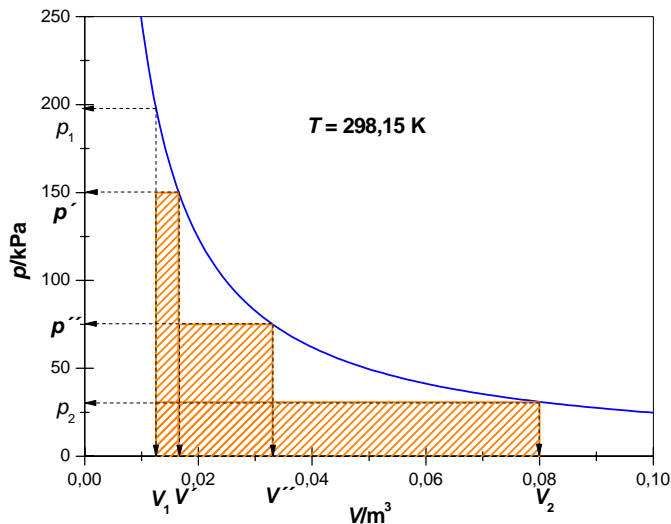


$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ex}} dV = - \int_{V_1}^{V_2} p_{\text{sys}} dV$$
$$W = - \int_{V_1}^{V_2} nRT \frac{dV}{V} = -nRT \ln \frac{V_2}{V_1}$$

b) *ireverzibilní děj* - může proběhnout mnoha způsoby

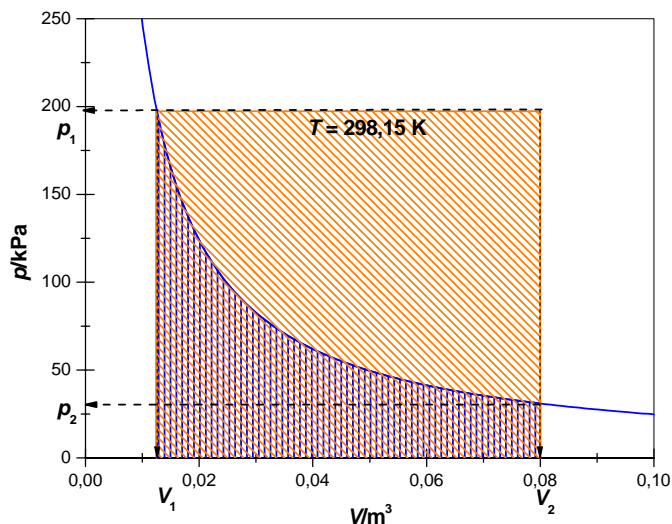


$$W = - \int_{V_1}^{V_2} p_{\text{ex}} dV = -p_2 \int_{V_1}^{V_2} dV = -p_2(V_2 - V_1)$$



$$W = [-p(V' - V_1)] + [-p''(V'' - V')] + [-p_2(V_2 - V'')]$$

Objemová práce při kompresi z objemu V_2 na objem V_1 :



////// ireverzibilní komprese

||||| reverzibilní komprese

Práce systémem přijatá bude nejmenší při reverzibilním průběhu.

2. Děj izochorický $V = \text{konst.} \Rightarrow dV = 0 \Rightarrow dW_{\text{obj.}} = 0$

$$dU = dQ_V = c_V dT = nc_{V,m} dT$$

$$\text{jestli - že } c_V \neq f(T) \quad \Delta U = Q_V = nc_{V,m} \int_{T_1}^{T_2} dT = nc_{V,m}(T_2 - T_1)$$

3. Děj izobarický $p = \text{konst.} \Rightarrow dp = 0, p_{\text{ex}} = p$

$$dQ_p = dH = c_p dT = nc_{p,m} dT$$

$$\text{jestli - že } c_p \neq f(T) \quad Q_p = \Delta H = nc_{p,m}(T_2 - T_1)$$

$$dW = -p dV \quad W = -p \int_{V_1}^{V_2} dV = -p(V_2 - V_1)$$

4. Děj adiabatický - Poissonova rovnice adiabaty

$$dQ = 0 \Rightarrow dU = dW$$

Pro ideální plyn

$$dU = c_V dT$$

Pro reverzibilní děj

$$dW = -p_{id,p} dV$$

$$c_{V,m} dT = -\frac{RT}{V} dV \quad \text{diferenciální rovnice}$$

separace proměnných

$$c_{V,m} \frac{dT}{T} = -R \frac{dV}{V}$$

integrace v určitých mezích

$$c_{V,m} \int_{T_1}^{T_2} \frac{dT}{T} = -R \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V}$$

$$c_{V,m} \ln \frac{T_2}{T_1} = R \ln \frac{V_1}{V_2}$$

Poissonův koeficient κ

$$\kappa = \frac{c_{p,m}}{c_{V,m}}$$

- definiční vztah

$$\frac{R}{c_{V,m}} = \frac{c_{p,m} - c_{V,m}}{c_{V,m}} = \kappa - 1$$

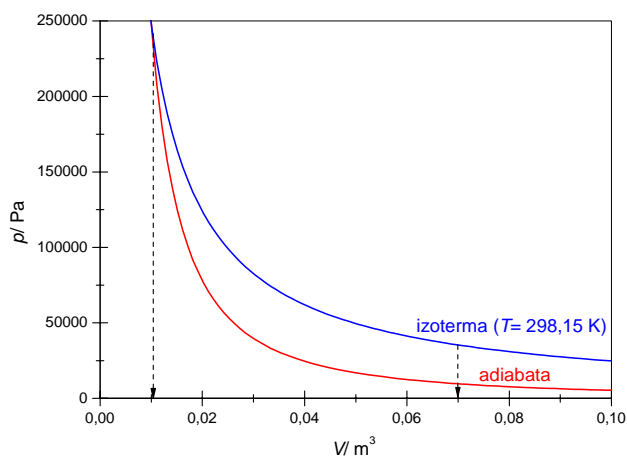
$$\ln \frac{T_2}{T_1} = \ln \left(\frac{V_1}{V_2} \right)^{\kappa-1}$$

$$TV^{\kappa-1} = \text{konst}$$

$$pV^\kappa = \text{konst}$$

! Poissonova rovnice adiabaty platí pro ideální plyn a reverzibilní děj!

Porovnání izotermy a adiabaty ideálního plynu



$$\text{izoterma } p = \frac{\text{konst}}{V} = \frac{nRT}{V}$$

$$\text{adiabata } p = \frac{\text{konst}}{V^\kappa}$$