

2.3.9 Izobarický děj

Předpoklady: 020305, 020306, 020308

izobarický = při stálém tlaku \Rightarrow Při izobarickém ději se může měnit teplota a objem.

Př. 1: Úpravou stavové rovnice odvod analogii Boyle-Mariottova zákona pro izobarický děj.

Stavová rovnice:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \quad \text{izobarický děj} \Rightarrow p_1 = p_2$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \quad \text{Gay-Lussacův zákon}$$

jiná formulace: $\frac{V}{T} = konst$

Př. 2: Na základě Gay-Lussacova zákona rozhodni, jak se při izobarickém ději musí měnit objem, když teplota roste.

Podle Gay-Lussacova zákona je podíl $\frac{V}{T}$ konstantní \Rightarrow pokud teplota roste, musí se objem také zvětšovat, aby byl podíl $\frac{V}{T}$ stále stejný.

Př. 3: Vyřeš předchozí příklad bez použití vzorce na základě změn pohybu částic plynu (mikroskopický pohled).

Mikroskopický pohled:

Vyšší teplota \Rightarrow větší rychlost částic \Rightarrow větší síla nárazů \Rightarrow aby byl stejný tlak, musí být silnějších nárazů menší počet \Rightarrow musí se zvětšit objem, aby snížila hustota částic.

Př. 4: Teplota vzduchu uzavřeného v pohyblivém pístu udržujícím stálý tlak vzrostla z 0°C na 50°C . Urči původní objem plynu, pokud na konci děje plyn zaujímal objem 5 litrů.

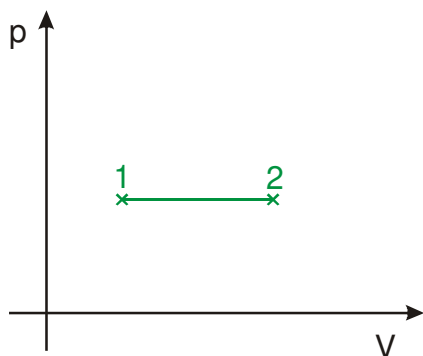
$$T_1 = 0^\circ\text{C} = 273,15 \text{ K} \quad T_2 = 50^\circ\text{C} = 323,15 \text{ K} \quad V_2 = 5 \text{ l} = 5 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 \quad V_1 = ?$$

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}$$

$$V_1 = V_2 \frac{T_1}{T_2} = 5 \cdot 10^{-3} \frac{273,15}{323,15} \text{ m}^3 = 4,2 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3 = 4,2 \text{ l}$$

Při teplotě 0°C zaujímal plyn objem 4,2 l.

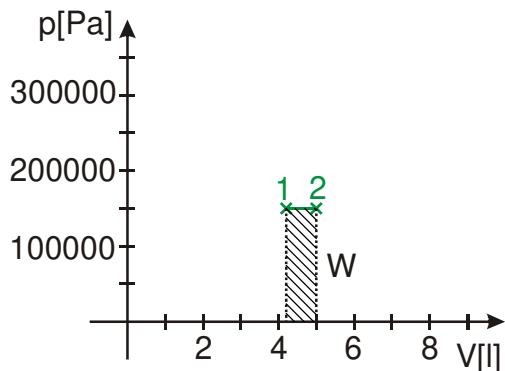
Př. 5: Nakresli pV diagram izobarického děje.



Nakreslená křivka se analogicky jako v předchozích hodinách označuje jako izobara.

Postřeh: U izobarického děje můžeme díky konstantnímu tlaku snadno počítat vykonanou práci.

Př. 6: Plyn v příkladu 4 působil po celou dobu zahřívání na píst tlakem 150000Pa . Nakresli pV diagram s vyznačenými hodnotami pro tento děj a spočti práci, kterou plyn v průběhu zahřívání vykonal.



Vzorec pro práci: $W_p = p\Delta V$ (při konstantním tlaku)

$$\Delta V = V_2 - V_1$$

$$W_p = p\Delta V = p(V_2 - V_1) = 150000 \cdot (5 \cdot 10^{-3} - 4,2 \cdot 10^{-3}) \text{ J} = 120 \text{ J}$$

Plyn v pístu vykonal práci 120 J.

Pedagogická poznámka: Nejčastější chybou je nepřevedení objemu na základní jednotku.

V prvním okamžiku nikdy neupozorňuji na chybu, pouze říkám, že výsledek není dobře.

Energetický pohled

Př. 7: Rozhodni, zda je některá z veličin vystupujících v 1. termodynamickém zákoně (ΔU , W , Q) při izobarickém ději vždy nulová.

Mění se objem plynu \Rightarrow koná se práce ($W \neq 0$).

Mění se teplota plynu \Rightarrow mění se vnitřní energie ($\Delta U \neq 0$).

Plyn přijímá nebo odevzdává teplo ($Q \neq 0$).

\Rightarrow Všechny tři energetické veličiny jsou u izobarického jevu obecně nenulové.

Př. 8: Rozhodni, jak se změnilo při izobarickém zahřívání plynu (příklad 4) veličiny vystupující v 1. termodynamickém zákoně (ΔU , W , Q).

Plyn se zahřívá $\Rightarrow \Delta U > 0$.

Plyn zvětšoval objem $\Rightarrow W_p > 0$ (plyn koná práci na okolí).

\Rightarrow Platí: $Q = \Delta U + W_p \Rightarrow$ plyn musel přijímat energii $\Rightarrow Q > 0$.

Stejně jako u ostatních látek i u plynů při izochorickém ději platí, že přijaté teplo je přímo úměrné změně teploty $\Rightarrow Q = m \cdot c_p \cdot \Delta t$.

- m - hmotnost plynu
- Δt - změna teploty
- c_p - měrná tepelná kapacita plynu při stálém tlaku

Př. 9: Rozhodni, proč se pro plyny používají dvě hodnoty tepelné kapacity (c_p a c_v) a která z nich je větší.

Srovnáme izochorické a izobarické zahřívání plynu:

Izochorické zahřívání

platí 1. termodynamická věta $Q = \Delta U + W$

$\Delta U > 0$ (zahříváme o stejné $\Delta t \Rightarrow$ stejné ΔU)

$W = 0$ (objem se nemění)

Izobarické zahřívání

$W > 0$ (objem se zvětšuje)

Při izobarickém ději musí plyn přijmout více tepla. Teplo musí zrychlit molekuly a ještě vykonat práci (zvětšit objem).

$$c_v < c_p$$

Př. 10: Na příkladu 1 molu vzduchu, který se izobaricky a izochoricky ohřeje z normálních podmínek o 100 K, urči měrnou tepelnou kapacitu vzduchu při stálém objemu a poměr $\frac{c_p}{c_v}$ (Poissonova konstanta). Získanou hodnotu porovnej s údaji v tabulkách.

Hodnotu molární hmotnosti a c_p pro vzduch je možné najít v tabulkách.

$$M(\text{vzduch}) = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}, c_p(\text{vzduch}) = 1005 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}, n = 1 \text{ mol}, T_1 = 273 \text{ K},$$

$$T_2 = 373 \text{ K}, V_1 = 0,0224 \text{ m}^3, p = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Pa } Q_p = ?, Q_v = ?, c_v = ?$$

Určíme teplo přijaté při izobarickém zahřívání:

$$Q_p = mc_p \Delta T = n \cdot M c_p \Delta T = 1 \cdot 29 \cdot 10^{-3} \cdot 1005 \cdot 100 \text{ J} = 2914 \text{ J}$$

Rozdíl mezi teplem potřebným k izobarickému a izochorickému zahřívání se rovná práci nutné k rozepnutí plynu ($Q_p = Q_v + W$) \Rightarrow potřebujeme určit práci $W = p\Delta V \Rightarrow$ musíme určit, jak se změní objem plynu při izobarickém ohřívání.

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{T_2}{T_1} V_1 = \frac{373}{273} \cdot 0,0224 \text{ m}^3 = 0,0306 \text{ m}^3$$

$$\text{Teď určíme práci: } W = p\Delta V = 1,013 \cdot 10^5 \cdot (0,0306 - 0,0224) \text{ J} = 831 \text{ J}$$

$$Q_V = Q_p - W = 2914 - 831 \text{ J} = 2083 \text{ J}$$

Můžeme určit c_V :

$$Q_V = mc_V \Delta T \Rightarrow c_V = \frac{Q_V}{m \Delta T} = \frac{Q_V}{n \cdot M \cdot \Delta T} = \frac{2083}{1 \cdot 0,029 \cdot 100} \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1} = 718 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1} \text{K}^{-1}$$

$$\frac{c_p}{c_V} = \frac{1005}{718} = 1,40$$

Spočtená hodnota Poissonovy konstanty se rovná se hodnotě uvedené v tabulkách.

Poznámka: Na první pohled je trochu divné, že existuje molární hmotnost vzduchu, když neexistují žádné molekuly vzduchu, z jejichž složení bychom mohli molární hmotnost spočítat. Hodnota v tabulce je však váženým průměrem z atomových hmotností molekul, ze kterých se vzduch skládá.

Př. 11: 2 g vzduchu se při izobarickém rozpínání zahřály z 20°C na 80°C. Urči práci, kterou při tomto ději vzduch vykonal. Molární hmotnost vzduchu je možné najít v tabulkách.

$$M_{\text{vzduchu}} = 29 \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{mol}^{-1}$$

Přesto známe ze zadání až podezřele málo veličin.

Vzorec pro práci plynu: $W = p \Delta V \Rightarrow$ zkusíme vyjádřit ΔV pomocí stavové rovnice (p neindexujeme; tlak se nemění, je stále stejný).

$$\text{stavová rovnice na počátku děje: } pV_1 = \frac{m}{M} RT_1 \Rightarrow V_1 = \frac{m}{pM} RT_1$$

$$\text{stavová rovnice na konci děje: } pV_2 = \frac{m}{M} RT_2 \Rightarrow V_2 = \frac{m}{pM} RT_2$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = \frac{m}{pM} RT_2 - \frac{m}{pM} RT_1 = \frac{m}{pM} R(T_2 - T_1) = \frac{m}{pM} R \Delta T$$

$$\text{Dosadíme do vzorce pro práci: } W = p \Delta V = p \frac{m}{pM} R \Delta T = \frac{m}{M} R \Delta T \text{ (v tomto vztahu už}$$

všechno známe a můžeme do něj dosazovat).

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 80 - 20^\circ\text{C} = 60^\circ\text{C} = 60 \text{ K}$$

$$W = \frac{m}{M} R \Delta T = \frac{2 \cdot 10^{-3}}{29 \cdot 10^{-3}} 8,31 \cdot 60 \text{ J} = 34 \text{ J}$$

Vzduch vykonal práci 34 J.

Shrnutí: Při izobarickém ději se nemění tlak plynu.