2.3.9 Izobarický děj

Předpoklady: 2305, 2306, 23008

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

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

Stavová rovnice:

$\frac{p_1V_1}{T_1}=\frac{p_2V_2}{T_2}$ izochorický děj $\Rightarrow$ $p_1=p_2$

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

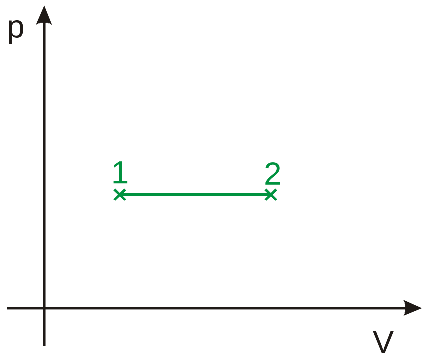
$T_1=0°C=273{,}15\,K$ $T_2=50°C=323{,}15\,K$ $V_2=5\,l=5\cdot10^{-3}\,m^{-3}$ $V_1=?$

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

$V_1=V_2\frac{T_1}{T_2}=5\cdot10^{-3}\frac{273{,}15}{323{,}15}m^{-3}=4{,}2\cdot10^{-3}\,m^{-3}=4{,}2\,l$

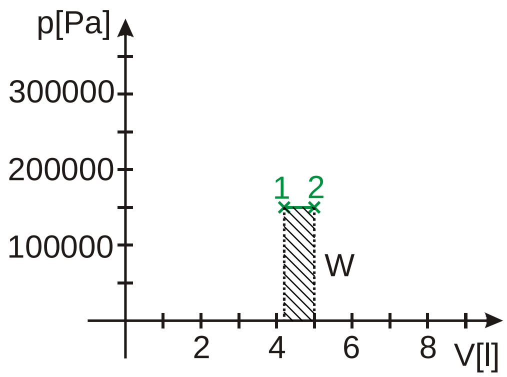
Při teplotě $0°C$ zaujímal plyn objem $4{,}2\,l$.

Př. 5: Nakresli pV diagram izobarického děje.



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

Př. 6: Plyn v příkladě 3 působil po celou dobu zahřívání na píst tlakem $150000\,\mathrm{Pa}$. 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)

$\Delta V = V_2 - V_1$

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

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 změnily při izobarickém zahřívání plynu (příklad 3) veličiny vystupující v 1. termodynamickém zákoně (ΔU, W, Q).

Plyn se zahříval $\Rightarrow \Delta U > 0$.
Plyn zvětšoval objem $\Rightarrow W > 0$.
$\Rightarrow$ Platí: $Q = \Delta U + W$ $\Rightarrow$ Plyn musel přijímat energii $\Rightarrow Q > 0$.

Stejně jako u ostatních látek a 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	**Izobarické zahřívání**
platí 1. termodynamická věta $Q = \Delta U + W$	
$\Delta U > 0$ (zahříváme o stejné Δt $\Rightarrow$ stejné ΔU)	
$W = 0$ (objem se nemění)	$W > 0$ (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.

$M(vzduch) = 29 \cdot 10^{-3}\ \mathrm{kg \cdot mol^{-1}}$, $c_p(vzduch) = 1005\ \mathrm{J \cdot kg^{-1} K^{-1}}$, $n = 1\ \mathrm{mol}$, $T_1 = 273\ \mathrm{K}$, $T_2 = 373\ \mathrm{K}$, $V_1 = 0{,}0224\ \mathrm{m^3}$, $Q_p = ?$, $Q_V = ?$, $c_V = ?$

Určíme teplo přijaté při izobarickém zahřívání:

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

Rozdíl mezi teplem potřebným k izobarickém a izochorickém 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.

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

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

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

Můžeme urči c_V :

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

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

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 $20°\mathrm{C}$ na $80°\mathrm{C}$. Urči práci, kterou při tomto ději vzduch vykonal. Molární hmotnost vzduchu je možné najít v tabulkách.

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

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)

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

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

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

Dosadíme do vzorce pro práci: $W = p\Delta V = p\frac{m}{pM}R\Delta T = \frac{m}{M}R\Delta T$ (v tomto vztahu už všechno známe a můžeme do něj dosazovat.).

$\Delta T = T_2 - T_1 = 80 - 20°\mathrm{C} = 60°\mathrm{C} = 60\,\mathrm{K}$

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

Vzduch vykonal práci 34 J.

Shrnutí: Při izobarickém ději se nemění tlak plynu.