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 odvoď analogii Boyle-Mariottova zákona pro izobarický děj.

Stavová rovnice:

$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}$ izobarický 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.

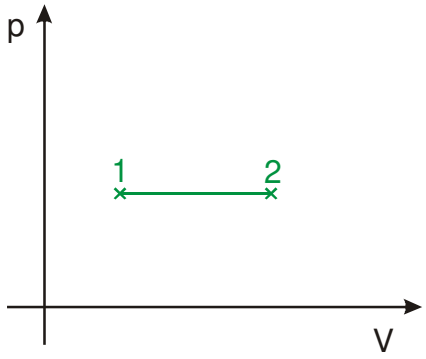
$T_1 = 0°C = 273{,}15\,K$ $T_2 = 50°C = 323{,}15\,K$ $V_2 = 5l = 5\cdot10^{-3}\,m^{-3}$ $V_1 = ?$

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

$V_1 = V_2\frac{T_1}{T_2} = 5\cdot10^{-3}\frac{273{,}15}{323{,}15}m^{-3} = 4{,}2\cdot10^{-3}\,m^{-3} = 4{,}21$

Při teplotě $0°C$ zaujímal plyn objem $4{,}21$.

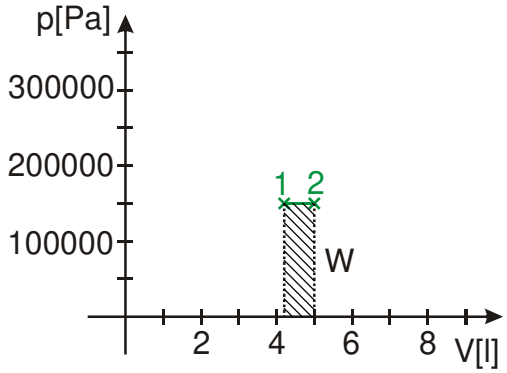
Př. 5: Nakresli pV diagram izobarického děje.



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)

$\Delta V = V_2 - V_1$

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

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 4) veličiny vystupující v 1. termodynamickém zákoně (ΔU , W , Q).

Plyn se zahříval $\Rightarrow \Delta U > 0$.
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	**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.

$M\left(vzduch\right) = 29 \cdot 10^{-3}\,\mathrm{kg \cdot mol^{-1}}$, $c_p\left(vzduch\right) = 1005\,\mathrm{J \cdot kg^{-1}K^{-1}}$, $n = 1\,\mathrm{mol}$, $T_1 = 273\,\mathrm{K}$,
$T_2 = 373\,\mathrm{K}$, $V_1 = 0{,}0224\,\mathrm{m^3}$, $p = 1{,}013 \cdot 10^5\,\mathrm{Pa}$ $Q_p = ?$, $Q_V = ?$, $c_V = ?$
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: $W = p\Delta V = 1{,}013 \cdot 10^5 \cdot \left(0{,}0306 - 0{,}0224\right)\mathrm{J} = 831\,\mathrm{J}$

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

Můžeme určit c_V :

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

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

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 $20°C$ na $80°C$. 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).

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

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

Vzduch vykonal práci 34 J.

Shrnutí: Při izobarickém ději se nemění tlak plynu.