

2.3.7 Izotermický děj

izo = stejný $\Rightarrow$ **izotermický = při stálé teplotě** $\Rightarrow$ Při ději se může měnit tlak nebo objem plynu. Například pomalé stlačování a roztahování stříkačky, teplota plynu se stihne vyrovnávat s teplotou okolí $\Rightarrow$ při zmenšení objemu by se měl zvýšit tlak.

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{Boyle-Marriotův zákon} \quad \text{jiná formulace: } pV = \text{konst}$$

Př. 1: Na základě Boyle-Marriotova zákona rozhodni, jak se při izotermickém ději musí měnit objem, aby tlak klesal.

Podle Boyle-Marriotova zákona je součin pV konstantní $\Rightarrow$ pokud tlak klesá musí se objem zvětšovat, aby byl součin stále stejný.

Mikroskopický pohled na izotermický děj:

Molekuly se v průměru pohybují pořád stejně rychle (teplota se nemění). Zmenšování objemu $\Rightarrow$ molekuly jsou v nádobě hustěji $\Rightarrow$ častěji naráží do stěn (stejnou rychlostí) $\Rightarrow$ větší tlak.

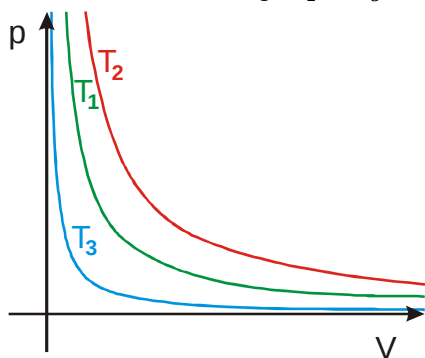
Př. 2: Vzduch ve stříkačce o objemu 20 ml a normálním tlaku jsme pomalu stlačili, že jeho tlak vzrostl na 350000 Pa. Jaký byl v tomto okamžiku jeho objem?

$$V_2 = \frac{p_1 V_1}{p_2} = \frac{100000 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{350000} \text{ m}^3 = 5,7 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 = 5,7 \text{ ml}$$

pV diagram Křivka se nazývá **izoterma**.

Postřeh: Je velmi podobná grafu lineární lomené funkce. Proč?

Př. 3: Na následujícím obrázku jsou nakresleny izotermy pro stejné množství plynu při různých teplotách T_1 , T_2 a T_3 . Porovnej navzájem tyto teploty.



Zvolíme si libovolný objem. Jednotlivé izotermy při tomto objemu ukazují různé hodnoty tlaku. Protože jde o stejný objem stejného plynu mohou rozdílné hodnoty tlaku způsobit pouze různě silné nárazy jednotlivých molekul $\Rightarrow$ větší tlak, znamená vyšší teplotu $\Rightarrow$ platí $T_3 < T_1 < T_2$.

Pedagogická poznámka: Při všech energetických rozborech je nutné, aby studenti rozlišovali W_p (práce konaná plynem, například plynem ve stříkačce) a W (práci konanou okolím, například rukou tlačící na píst stříkačky).

Energetický pohled = studujeme, jak se při izotermickém ději:

mění vnitřní energie ΔU , koná práce plynu W_p (nebo práce okolí W), vyměňuje teplo Q s okolím. Při všech dějích platí 1. termodynamický zákon v jednom ze svých dvou tvarů:

- $Q = \Delta U + W_p$ (přijaté teplo se změní na přírůstek vnitřní energie a práci vykonanou plynem)

- $\Delta U = W + Q$ (změna vnitřní energie se rovná přijatému teplu a práci vykonané okolím)

Izotermický děj: Teplota plynu se nemění $\Rightarrow$ vždy platí $\Delta U = 0$

Necháme stlačený plyn, aby odtlačil píst stříkačky a zvětšil svůj objem: plyn odtlačuje píst $\Rightarrow$ plyn zvětšuje svůj objem $\Rightarrow W > 0$.

Př. 4: Rozeber z energetického hlediska opačný průběh izotermického děje, při kterém plyn stlačíme ve stříkačce tak pomalu, aby se nezahřál.

Ruka stlačuje píst $\Rightarrow$ plyn zmenšuje svůj objem $\Rightarrow W < 0$ (kladnou práci koná ruka).

Okolní vzduch musí odebírat plynu ve stříkačce energii, aby se plyn nezahřál i když ruka na něm koná práci $\Rightarrow Q < 0$.

Př. 5: Vzduch ve stříkačce o objemu 20 ml a normálním tlaku jsme stlačili na 4 ml. Jaký by byl konečný tlak plynu, pokud by se teplota během stlačování neměnila? Jaký bude skutečný tlak? Proč?

$$V_1 = 20 \text{ ml} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad V_2 = 4 \text{ ml} = 4 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad p_1 = 100000 \text{ Pa} \quad p_2 = ?$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{100000 \cdot 2 \cdot 10^{-5}}{4 \cdot 10^{-6}} \text{ Pa} = 500000 \text{ Pa}$$

Tlak plynu se zvýšil na 500000 Pa. Skutečný tlak by měl být větší, protože při stlačování plynu se jeho teplota zvětšuje a tím pádem zrůstá jeho tlak.

Př. 6: Rozžhavený plyn v pístu motoru o počátečním tlaku 7 MPa zvětší během rozpínání svůj objem dvanáctkrát. Urči jeho tlak na konci rozpínání za předpokladu, že se jeho teplota neměnila. Jaký bude skutečný tlak? Proč? Odhadni shora i zdola práci, kterou plyn vykoná během rozpínání, pokud má píst objem 500 cm^3 .

$$V_2 = 12V_1, \quad p_1 = 7 \text{ MPa} = 7 \cdot 10^6 \text{ Pa}, \quad p_2 = ?$$

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

$$p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2} = \frac{7 \cdot 10^6 \cdot V_1}{12V_1} \text{ Pa} = \frac{7 \cdot 10^6}{12} \text{ Pa} = 580000 \text{ Pa}$$

Tlak plynu se snížil na 580000 Pa. Skutečný tlak bude menší, protože při rozpínání plynu se bude jeho teplota snižovat (okolí nestíhá dodávat teplo a udržovat jeho teplotu).

Odhad práce: umíme vypočítat práci v případě, že se tlak plynu nemění $\Rightarrow$ spočteme práci dvakrát: jednou pro původní tlak, podruhé pro konečný tlak $\Rightarrow$ získáme velmi velký interval, ve kterém by měla ležet skutečná hodnota vykonané práce.

$$V = V_2 = 500 \text{ cm}^3 = 5 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3$$

$$\Delta V = V_2 - V_1 = V_2 - \frac{V_2}{12} = \frac{11}{12} V_2$$

$$W_1 = p_1 \Delta V = 7 \cdot 10^6 \cdot \frac{11}{12} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ J} = 3200 \text{ J}$$

$$W_2 = p_2 \Delta V = 5,8 \cdot 10^5 \cdot \frac{11}{12} \cdot 5 \cdot 10^{-4} \text{ J} = 270 \text{ J}$$

Skutečná vykonaná práce je asi daleko blíže k nižší hodnotě (z obrázku izotermy je vidět, že tlak klesá čím dál pomaleji). Moc jsme se však nedozvěděli, protože naše odhady jsou příliš rozdílné.