

## 2.3.7 Izotermický děj

**Předpoklady:** 2305, 2306

**Pedagogická poznámka:** Tato hodina je první ze čtyř podobných, které probíhají stejným způsobem. Čím lépe studenti porozumí této hodině, tím snazší pro ně budou ostatní.

**izo = stejný**  $\Rightarrow$  **izotermický = při stálé teplotě**  $\Rightarrow$  Při ději se může měnit tlak a 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.

**Stavová rovnice:**

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

$$p_1 V_1 = p_2 V_2 \quad \text{Boyle-Marriotův zákon}$$

jiná formulace:  $pV = konst$

**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?

$$V_1 = 20 \text{ ml} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3, \quad p_1 = 100000 \text{ Pa}, \quad p_2 = 350000 \text{ Pa}, \quad V_2 = ?$$

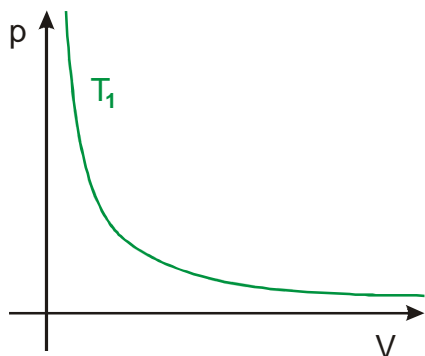
$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

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

V zkoumaném okamžiku měl plyn objem 5,7 ml .

**Dodatek:** Z výsledného vzorce ( $p_2 = \frac{p_1 V_1}{V_2}$ ) je vidět, že není nutné převádět objem na základní jednotku. Pokud jsou obě hodnoty uvedeny ve stejných jednotkách, převodní konstanta se vykrátí a výsledek je správný.

**pV diagram**



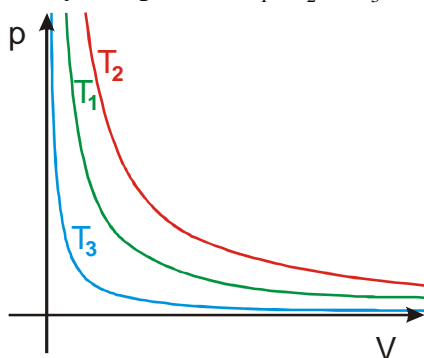
Křivka se nazývá **izoterma**.

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

Platí:  $pV = konst \Rightarrow p = \frac{konst}{V} \Rightarrow$  graf není jen podobný, je to přímo graf lineární lomené funkce.

Izotermy pro různé teploty se liší.

**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  $\Delta U$ ,
- 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 změnilo 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 odtláčil píst stříkačky a zvětšil svůj objem:

plyn odtláče píst  $\Rightarrow$  plyn zvětšuje svůj objem  $\Rightarrow W_p > 0$ .

Pokud má plyn hýbat pístem stříkačky (konat práci) a nemá se zmenšit jeho vnitřní energie, musí mu okolní vzduch dodávat teplo  $\Rightarrow Q > 0$

**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  $\Rightarrow W_p < 0$  (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 vzrůstá 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  $500 \text{ cm}^3$ .

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

$$p_1 V_1 = p_2 V_2$$

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

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.

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

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

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

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

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.

**Shrnutí:** Při izotermickém ději se nemění teplota plynu.