

2.3.10 Adiabatický děj

Předpoklady: 2309

Adiabatický děj - děj, při kterém plyn s okolím nevyměňuje žádné teplo.

Jak ho realizovat?

Dvě možnosti:

- plyn je tepelně izolovaný,
- děj v plynu proběhne tak rychle, že výměna tepla nestihne proběhnout.

Energetický pohled:

Například rychlé vypuštění plynu ze sifonové bombičky:

- Děj proběhne velice rychle $\Rightarrow Q = 0$.
- Plyn konal práci (rozpínal se) $\Rightarrow W > 0$.
- Plyn se silně ochladil $\Rightarrow \Delta U < 0$.

Vztah mezi W a ΔU :

1. termodynamický zákon: $Q = \Delta U + W$

Dosadíme adiabatický děj ($Q = 0$): $0 = \Delta U + W \Rightarrow W = -\Delta U \Rightarrow$ pokud plyn při adiabatickém ději koná práci tak na úkor vnitřní energie.

Rovnici pro tento děj nezískáme ze stavové rovnice.

Platí: $p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$. **Poissonův zákon**

Jiná formulace: $p \cdot V^\kappa = konst$

$\kappa = \frac{c_p}{c_v}$ **Poissonova konstanta** (známe z minulé hodiny)

Př. 1: Porovnej velikost Poissonovy konstanty s číslem 1.

Protože platí $c_p > c_v$, je velikost zlomku $\kappa = \frac{c_p}{c_v} > 1$.

Hodnoty κ najdeme v tabulkách, přibližně platí $\kappa = \frac{5}{3}$ pro jednoatomové molekuly a $\kappa = \frac{7}{5}$ pro molekuly dvou atomové. Pro vzduch: $\kappa = 1,40$ (spočítali jsme minulou hodinu).

Př. 2: Vzduch v pneumatice automobilu je stlačen na 2,5 atm. Urči jaký objem by zaujímal, pokud bychom ho nechali adiabaticky rozpínat tak, aby se jeho tlak vyrovnal s atmosférickým tlakem. Duše pneumatiky má objem 35 litrů.

$p_1 = 2,5 \text{ atm} = 250000 \text{ Pa}$, $V_1 = 35 \text{ l} = 0,035 \text{ m}^3$, $p_2 = 1 \text{ atm} = 100000 \text{ Pa}$, $V_2 = ?$

$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$

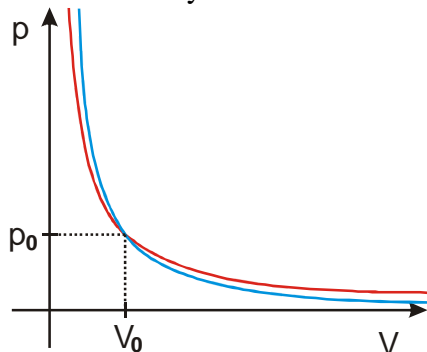
$$V_2^\kappa = V_1^\kappa \frac{p_1}{p_2}$$

$$V_2 = \sqrt[\kappa]{V_1^\kappa \frac{p_1}{p_2}} = V_1 \sqrt[\kappa]{\frac{p_1}{p_2}} = 0,035 \cdot \sqrt[1,4]{\frac{250000}{100000}} \text{ m}^3 = 0,067 \text{ m}^3 = 67 \text{ l}$$

Vzduch z pneumatiky by zaujímal objem 67 litrů.

pV diagram: křivka adiabata, podobná izotermně.

Př. 3: Na obrázku je nakreslena izoterma a adiabata stejného množství plynu s dvouatomovými molekulami. Rozhodni, která křivka je která.



Vydeme z bodu $[V_0; p_0]$ v tomto bodě se obě křivky protínají \Rightarrow plyn může z tohoto bodu jít po obou křivkách.

Budeme sledovat rozpínání:

- **izotermické rozpínání** \Rightarrow Zmenšuje se hustota plynu (a počet nárazů), teplota a rychlost molekul zůstává stejná, stejná je i síla nárazů \Rightarrow tlak plynu se zmenšuje.
- **adiabatické rozpínání** \Rightarrow Zmenšuje se hustota plynu (a počet nárazů), teplota a rychlost molekul také klesá \Rightarrow klesá i síla nárazů (plyn koná práci na úkor své vnitřní energie, nepřijímá teplo) \Rightarrow tlak plynu se zmenšuje více než u izotermického děje.

\Rightarrow Adiabata je nakreslena modře, protože modrá křivka klesá z bodu $[V_0; p_0]$ rychleji.

Př. 4: Vzduch v pneumatice je stlačen na tlak 2,4 atm. Při jeho rychlém vypuštění dojde přibližně k adiabatickému rozepnutí. Pomocí Poissonovy a stavové rovnice urči, jak se změní jeho teplota pokud měl vzduch v pneumatice teplotu svého okolí 20°C.

$$p_1 = 2,4 \text{ atm} = 240000 \text{ Pa}, \quad p_2 = 100000 \text{ Pa}, \quad T_1 = 20^\circ\text{C} = 293 \text{ K}, \quad T_2 = ?$$

Rovnice adiabatického děje $p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$ neobsahuje teplotu \Rightarrow začneme stavovou rovnicí.

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow T_2 = \frac{p_1 V_2}{p_2 V_1} T_1 - \text{neznáme objemy, počáteční objem si zřejmě můžeme zvolit}$$

(nezajímá nás kolik plynu uteklo), konečný objem musíme vypočítat z Poissonovy rovnice

$$p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$$

$$V_2^\kappa = \frac{p_1}{p_2} V_1^\kappa \quad / \sqrt[\kappa]{}$$

$$V_2 = \sqrt[\kappa]{\frac{p_1}{p_2} V_1^\kappa} = \sqrt[\kappa]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot V_1$$

$$\text{Dosadíme do vztahu pro } T_2: T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \frac{p_2 \sqrt[k]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot V_1}{p_1 V_1} T_1 = \frac{p_2}{p_1} \sqrt[k]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1$$

$$\text{Dosazení: } T_2 = \frac{p_2}{p_1} \sqrt[k]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1 = \frac{100000}{240000} \sqrt[1,40]{\frac{240000}{100000}} \cdot 293 \text{ K} = 228 \text{ K} = -45^\circ \text{C}$$

Při adiabatickém vypuštění by se vzduch z pneumatiky ochladil na -45°C .

Dodatek: Vztah je samozřejmě možné upravit: $T_2 = \sqrt[k]{\frac{p_2}{p_1} \frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1 = T_1 \sqrt[k]{\frac{p_2^{k-1}}{p_1^{k-1}}}$. Studenti však v tento okamžik většinou ještě nemají probrané učivo o racionálních mocninách.

Využití adiabatického děje:

- adiabatická expanze: ochlazování plynů (dosahování velmi nízkých teplot),
- adiabatická komprese: komprese ve spalovacích motorech.

Př. 5: Vztah $p_1 V_1^k = p_2 V_2^k$ popisuje adiabatický děj pomocí změny tlaku a objemu. Najdi vztahy, které popisují adiabatický děj pomocí: a) teploty a objemu b) teploty a tlaku.

Budeme postupovat jako v příkladě 3, v Poissonově rovnici nahradíme nechtěnou veličinu vztahem ze stavové rovnice:

a) teplota a objem \Rightarrow v Poissonově rovnici nahradíme tlak:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow p_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2}$$

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \Rightarrow p_1 V_1^k = \frac{p_1 V_1 T_2}{T_1 V_2} V_2^k$$

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

$$T_1 V_1^{k-1} = T_2 V_2^{k-1}$$

a) teplota a tlak \Rightarrow v Poissonově rovnici nahradíme objem:

$$\frac{p_1 V_1}{T_1} = \frac{p_2 V_2}{T_2} \Rightarrow V_2 = \frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1}$$

$$p_1 V_1^k = p_2 V_2^k \Rightarrow p_1 V_1^k = p_2 \left(\frac{p_1 V_1 T_2}{p_2 T_1} \right)^k$$

$$p_1 V_1^k = p_2 \frac{p_1^k V_1^k T_2^k}{p_2^k T_1^k}$$

$$\frac{p_2^k T_1^k}{p_2} = \frac{p_1^k T_2^k}{p_1}$$

$$p_2^{k-1} T_1^k = p_1^{k-1} T_2^k$$

Plyny za velmi nízkého tlaku

Velmi nízký tlak \Rightarrow velmi nízká hustota molekul \Rightarrow

- zmenšuje se počet srážek (**střední srážková frekvence z**),
- prodlužuje se dráha molekul mezi srážkami (**střední volná dráha molekuly λ**).

Při velmi nízkých tlacích (10^{-3} Pa) je střední volná dráha větší než metr \Rightarrow molekuly se nesrážejí mezi sebou, pouze se odrážejí od stěn nádoby.

Plyny za velmi vysokého tlaku

Velmi vysoký tlak \Rightarrow zvětšuje se hustota (roste frekvence srážek a zkracuje se střední volná dráha) \Rightarrow přitažlivé síly mezi molekulami i jejich vlastní objem přestávají být zanedbatelné. Při dostatečném tlaku (vzhledem k teplotě) se objeví vazby mezi molekulami a plyn zkapalní (takto se vyrábějí kapalně technické plyny).

Shrnutí: