

2.3.10 Adiabatický děj

Předpoklady: 020309

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) $\Rightarrow W_p > 0$.
- Plyn se silně ochladil $\Rightarrow \Delta U < 0$.

Vztah mezi W a ΔU :

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

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 dvouatomové. 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.

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

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

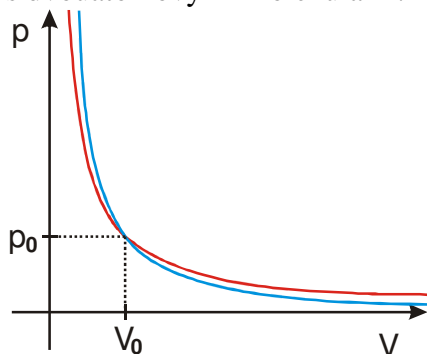
$$V_2^\kappa = V_1^\kappa \frac{p_1}{p_2}$$

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

Vzduch z pneumatiky by zaujímal objem 67 litrů.

pV diagram: křivka adiabata, podobná izotermě.

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



Vyjdeme 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.

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

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

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

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

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

$$\text{Dosadíme do vztahu pro } T_2: T_2 = \frac{p_2 V_2}{p_1 V_1} T_1 = \frac{p_2 \sqrt[1.40]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot V_1}{p_1 V_1} T_1 = \frac{p_2}{p_1} \sqrt[1.40]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1$$

$$\text{Dosazení: } T_2 = \frac{p_2}{p_1} \sqrt[1.40]{\frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1 = \frac{100000}{240000} \sqrt[1.40]{\frac{240000}{100000}} \cdot 293 \text{ K} = 228 \text{ K} = -45^\circ \text{C}$$

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

Dodatek: Vztah je samozřejmě možné upravit: $T_2 = \sqrt[1.40]{\frac{p_2}{p_1} \frac{p_1}{p_2}} \cdot T_1 = T_1 \sqrt[1.40]{\frac{p_2}{p_1} \frac{p_1}{p_2}}$. 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 $p_1 V_1^\kappa = p_2 V_2^\kappa$ 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 4, v Poissonově rovnici nahradíme nechtěnou veličinu vztahem ze stavové rovnice:

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

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

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

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

$$T_1 V_1^{\kappa-1} = T_2 V_2^{\kappa-1}$$

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

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

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

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

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

$$p_2^{\kappa-1} T_1^\kappa = p_1^{\kappa-1} T_2^\kappa$$

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: Při adiabatickém ději nedochází k výměně tepla s okolím, rovnice se nedá odvodit ze stavové rovnice.
--