

7) STRUKTURA A VLASTNOSTI PLYNŮ

REÁLNÝ PLYN

- Volně se pohybující částice (jednoatomové a víceatomové molekuly)
- Rychlost a směr se neustále mění
- Rozpínavý, přitažlivé síly mezi molekulami malé

IDEÁLNÍ PLYN

1. Rozměry molekul jsou zanedbatelné vzhledem ke vzdálenostem mezi nimi
 2. Nepůsobí na sebe přitažlivými silami
 3. Vzájemné srážky molekul a srážky molekul se stěnou nádoby jsou dokonale pružné (*pružná srážka = setkání dvou těles, kdy se celková kinetická energie těchto těles nemění*)
- Lze využít, pokud se podmínky plynu příliš neliší od normálních podmínek

STŘEDNÍ KINETICKÁ ENERGIE PŘIPADAJÍCÍ NA JEDNU MOLEKULU

- Rychlost molekul se neustále mění → E_k se neustále mění
- Srážky pružné → celková E_k se (za stálé teploty) nemění

$$E_0 = \frac{E_k}{N}$$

$$E_0 = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{1}{2} m_0 \frac{3kT}{m_0} = \frac{3}{2} kT$$

m_0

hmotnost jedné molekuly

STŘEDNÍ KVADRATICKÁ RYCHLOST (v_k)

- Rychlost, kterou se pohybují všechny molekuly daného ideálního plynu
- Její hodnota je určena tak, že celková kinetická energie molekul plynu vypočtená pomocí této rychlosti je stejná jako součet kinetických energií všech molekul, které se pohybují obecně různými rychlostmi

$$v_k = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

$$k \doteq 1,38 \cdot 10^{-23} \text{ J} \cdot \text{K}^{-1}$$

Boltzmannova konstanta

RYCHLOST MOLEKUL VS TEPLOTA

- S rostoucí teplotou se zvyšuje velikost rychlosti molekul → zvyšuje se střední kvadratická rychlost → a tedy i kinetická energie molekuly

$$E_0 = \frac{1}{2} m_0 v_k^2 = \frac{1}{2} m_0 \frac{3kT}{m_0} = \frac{3}{2} kT$$

- Molekuly dvou ideálních plynů se **stejnou teplotou** mají **stejnou střední kinetickou energii**
- Střední kvadratické rychlosti molekul těchto dvou plynů jsou ale různé v důsledku rozdílných hmotností molekul obou plynů

TLAK V IDEÁLNÍM PLYNU

- S rostoucí teplotou roste E_0 → roste v_k → větší nárazy na stěny nádoby → roste tlak

$$p = \frac{1}{3} \frac{N}{V} m_0 v_k^2 \quad p = \frac{1}{3} \rho v_k^2$$

N počet molekul v plynu

STAVOVÁ ROVNICE PRO IDEÁLNÍ PLYN

- Plyn v rovnovážném stavu lze charakterizovat T, p, V a N (popř. látkovým množstvím n nebo hmotností plynu m)

$$pV = NkT$$

$$n = \frac{N}{N_A}$$

N počet částic v látce
 N_A Avogadrova konstanta

$$pV = nR_m T$$

$R_m = kN_A = 8,31 \text{ J} \cdot \text{K}^{-1} \cdot \text{mol}^{-1}$ je molární plynová konstanta

$$pV = \frac{m}{M_m} R_m T$$

M_m molární hmotnost

STAVOVÁ ROVNICE IDEÁLNÍHO PLYNU STÁLÉ HMOTNOSTI

- Mění se p, V a T, ale m zůstává konstantní (plyn v uzavřené nádobě = nemění se jeho množství)

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

STAVOVÉ ZMĚNY IDEÁLNÍHO PLYNU

- Při změně stavu ideálního plynu se mění současně tlak, teplota i objem
- Pokud zůstává jedna z veličin konstantní, jedná se o jednoduché děje s ideálním plynem (izoděje)

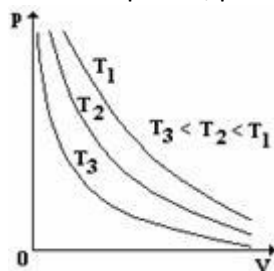
Název děje	konstantní stavová veličina
děj izotermický	teplota
děj izobarický	tlak
děj izochorický	objem

IZOTERMICKÝ DĚJ

- Teplota plynu je **stálá**
- **Zákon Boyleův – Mariottův:** Při izotermickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je tlak plynu nepřímo úměrný jeho objemu.

$$pV = konst.$$

- Graf: **izoterma** (větev hyperboly – tvar dán teplotou, při níž děj probíhá)



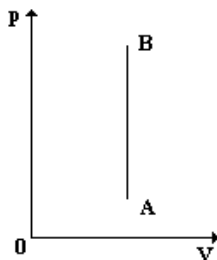
- Teplota plynu se nemění → střední kinetická energie molekul se nemění → vnitřní energie plynu se nemění ($\Delta U = 0$ J)
- Z 1. termodynamického zákona: Teplo přijaté ideálním plynem při izotermickém ději se rovná práci, kterou plyn při tomto ději vykoná ($Q = W'$)
- Jelikož se veškeré teplo dodané plynu se okamžitě mění na práci, realizace takového děje je v praxi téměř nemožná

IZOCHORICKÝ DĚJ

- **Objem** plynu je **stálý**
- **Zákon Charlesův:** Při izochorickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je tlak plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě. (kolikrát se zvýší teplota, tolikrát se zvýší tlak – například papiňák)

$$\frac{p}{T} = konst.$$

- Graf v pV diagramu: **izochora** (úsečka rovnoběžná s osou p)



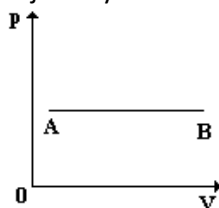
- Při zvýšení teploty dodáme plynu teplo $Q = m \cdot c \cdot \Delta T$
- Nemění se objem → nevykonává se práce ($W' = 0$)
- Teplo přijaté ideálním plynem při izochorickém ději se rovná přírůstku jeho vnitřní energie ($Q = \Delta U$)

IZOBARICKÝ DĚJ

- **Tlak** plynu je **stálý**
- **Zákon Gay – Lucassův:** Při izobarickém ději s ideálním plynem stálé hmotnosti je objem plynu přímo úměrný jeho termodynamické teplotě.

$$\frac{V}{T} = konst.$$

- Graf v pV diagramu: **izobara** (tlak plynu je stálý → úsečka rovnoběžná s osou V)



- Při zvýšení teploty dodáme plynu teplo $Q = m \cdot c_p \cdot \Delta T$
- Plyn koná práci W
- Teplo přijaté ideálním plynem při izobarickém ději se rovná součtu přírůstků jeho vnitřní energie a práce, kterou plyn vykoná ($Q = \Delta U + W'$)
- Například: válec s pístem

ADIABATICKÝ DĚJ

- Mění se všechny stavové veličiny (tlak, teplota, objem)
- **Neprobíhá** při něm **tepelná výměna mezi** plynem a **okolím** ($Q = 0 \text{ J}$)

$$\Delta U = W$$

- **Adiabatická komprese:**

- Vnější síly konají práci na stlačení plynu
- Roste vnitřní energie → **plyn se zahřívá**
- Z praxe – při rychlém pumpování kola pumpičkou, se ventilek zahřívá
- vznícení pohonných látek ve válcích vznětových motorů

- **Adiabatická expanze:**

- Vnější síly práci přijímají, práci vykonává expandující plyn na úkor své vnitřní energie (**plyn se ochlazuje**)
- Z praxe – při rychlém otevření plné tlakové láhve s plynem dojde k jejímu ochlazení (někdy vznikne i námraza)

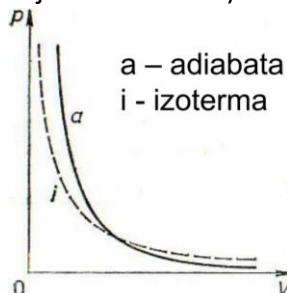
- **Poissonův zákon:**

$$p_1 V_1^K = p_2 V_2^K$$

K

Poissonova konstanta (kappa) $K = [1]$

- Graf: **adiabata** (klesá vždy strměji než izoterma)



POLYTROPICKÝ DĚJ

- Izotermický děj – probíhá pomalu a vyžaduje dokonalou tepelnou výměnu mezi plynem a okolím

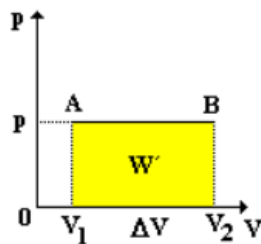
- Adiabatický děj – probíhá rychle a vyžaduje dokonalou izolaci
- **Reálné děje** – něco mezi → polytropické děje

PRÁCE PLYNU PŘI IZOBARICKÉM DĚJI

- Plyn ve válcové nádobě působí na píst o obsahu S tlakovou silou a při zvětšování objemu koná práci
- Je-li tlak stálý, je stálá i tlaková síla ($F = p \cdot S$)
- Posune-li se píst pod vlivem této síly o ΔS , plyn vykoná práci

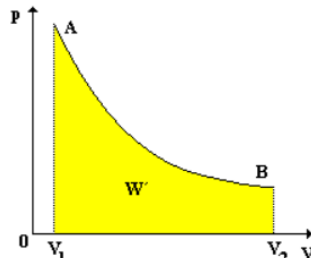
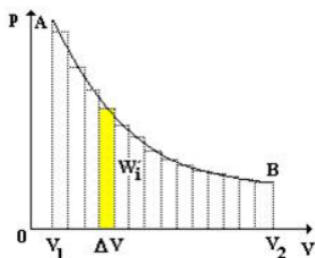
$$W' = F \Delta s = p S \Delta s = p \Delta V$$

- $\Delta V > 0$: plyn zvětšuje svůj objem (expanze) a **práce vykonaná plynem** je kladná
 - $\Delta V < 0$: plyn zmenšuje svůj objem (komprese) a práce vykonaná plynem je záporná (**práci koná okolí**)
- Práce vykonaná plynem (W') = OBSAH PLOCHY GRAFU



PRÁCE PLYNU PŘI PROMĚNNÉM TLAKU

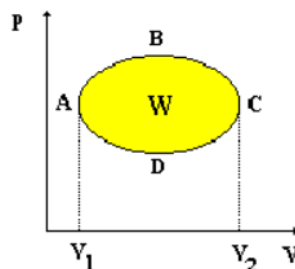
- Izotermický nebo adiabatický děj → tlaková síla působící na píst není stálá
- Objem plynu se postupně zvětšuje o tak malé přírůstky, že tlak plynu při každé z těchto změn lze považovat za stálý (nahrazení plochy obdélníčky a následné jejich sečtení)



$$W' = \sum p_i \Delta V \dots$$

KRUHOVÝ (CYKLICKÝ) DĚJ

- **Počáteční stav soustavy = koncový stav**
- Objem plynu se nemůže neustále zvětšovat → práci, kterou může vykonat je omezená
- Děj se může opakovat → tepelný stroj může **trvale vykonávat práci**



- Celková změna vnitřní energie po jednom cyklu nulová $\Delta U = 0$

- Těleso, od kterého pracovní látka přijme teplo Q_1 = **ohříváč**
- Těleso, kterému pracovní látka předá teplo Q_2 = **chladič**
- Celkové teplo, které látka přijme:

$$Q = Q_1 - Q_2$$

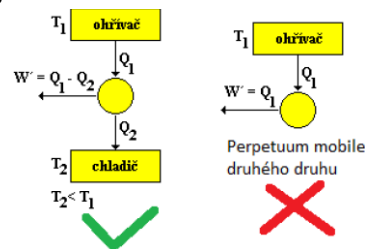
- **Z 1. termodynamického zákona:** Celková práce vykonaná pracovní látkou během jednoho cyklu kruhového děje je rovna celkovému teplu, které přijme během tohoto cyklu od okolí
 $Q = W'$

- Teplo odebrané ohříváči
 - Část se využije k práci
 - Zbytek se odevzdá chladiči
 - Pro účinnost kruhového děje platí:

$$\eta = \frac{W'}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1} < 1$$

DRUHÝ TERMODYNAMICKÝ ZÁKON

- **Není možné** sestavit **periodicky** pracující tepelný stroj, který by **jen přijímal teplo** od určitého tělesa (ohříváče) a **vykonával stejně velkou práci**
- Jiná (ekvivalentní formulace): **teplo nemůže samovolně** (bez konání práce) **přecházet z tělesa chladnějšího na těleso teplejší**



TEPELNÉ MOTORY

- Motor = přeměna vnitřní energie paliva na mechanickou (pohybovou)

FÁZE	ZÁŽEHOVÝ MOTOR	VZNĚTOVÝ MOTOR	POHYB PÍSTU VE VÁLCI
SÁNÍ	vzduch + benzin	vzduch	dolů
STLAČENÍ	až na 1/8 objemu (zahřátí plynu)	až na 5% (ohřev plynu)	nahoru
VÝBUCH	zapálení směsi jiskrou	vstřik nafty → samovznícení	dolů
VÝFUK	výfuk zplodin do okolí	výfuk zplodin do okolí	nahoru

- Plyn koná práci jen při fázi výbuchu (posune píst)
- V ostatních fázích:
 - Setrvačnost
 - Ostatní válce v motoru
- Teoretická maximální účinnost tepelného motoru:

$$\eta \leq \eta_{\max} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} < 1$$

T_1 teplota plynu při výbuchu

T_2 teplota plynu při výfuku

- Skutečná účinnost nižší (zážehový 30 % a vznětový 40 %)
- Kliková hřídel – odebírání se z ní výkon zajišťující pohyb automobilu (roztočení kol automobilu)