

Plynné látky

Ideální plyn

- 1) Počet částic je velký
- 2) Rozměry částic ideálního plynu jsou ve srovnání s průměrnou vzdáleností částic od sebe zanedbatelné
- 3) Kolize částic jsou zcela elastické a částice na sebe jinými silami nepůsobí (tj. nejsou např. elektricky nabitě) → mimo kolizi částice mají pouze kinetickou energii (a samozřejmě jadernou apod.) → potenciální energie celé soustavy je prakticky 0
- 4) Kolize s částicemi stěn nádoby jsou rovněž zcela elastické
- 5) Částice následují Newtonovy pohybové zákony
- 6) Doba srážek je ve srovnání s dobou volného letu velmi malá
- 7) ... (nepodstatné)

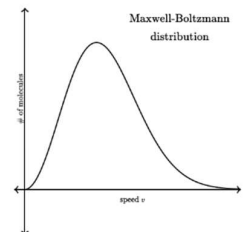
Vnitřní energie monoatomického ideálního plynu je tedy rovna součtu kinetických energií

Polyatomické plyny vykonávají také kmitavý a otáčivý pohyb

Při vysokých T a nízkém p lze většinu plynů považovat za ideální- což je tedy i za normálních podmínek ($p=1\text{atm}$, $T=0^\circ\text{C}$, ale standard teploty „normálních podmínek“ se liší- $0-22^\circ\text{C}$)

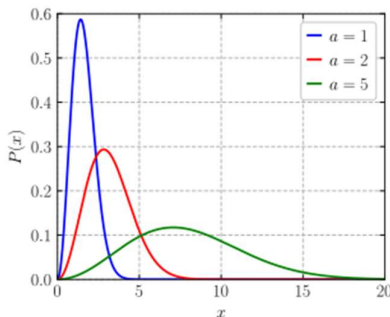
Rozdělení molekul podle rychlostí

Distribuce rychlostí lze určit např. Lammertovým experimentem- dva kotouče se štěrbinami (pootočenými o úhel θ) jsou umístěny ve vakuu a otáčejí se se společnou úhlovou rychlostí → páry rtuti mají různé rychlosti, přes obě štěrbinu k detekční desce však projdou pouze ty částice, které za dobu kdy se 2. pootočená štěrbinu otočí do pozice 1. štěrbinu urazí celou vzdálenost mezi štěrbinami → po změření všech rychlostí by grafické zobrazení vypadalo třeba takto:



Plyn má tedy interval tzv. nejpravděpodobnějších rychlostí (v_p)

Nejpravděpodobnější rychlost však závisí na teplotě – Maxwell-Boltzmannova distribuce (a na obr. je násobek teploty):



Střední kvadratická rychlost (square-root-mean velocity)

$$\overline{v^2} (\overline{v_k}, v_{srm}) = \frac{v_1^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$$

Odvození

Představme si přímočaře letící částici s rychlostí v_x , která urazí 2 délky krychlové nádoby se stranou a (1 kolize se stěnou) za Δt - (N je počet částic)

$$F = \frac{\Delta P}{\Delta t} = \frac{m * \Delta v_x}{\frac{2a}{v_x}} = \frac{m * v_x^2}{a}$$

$$\frac{F}{N} = \frac{m}{a} * \frac{v_x^2 + v_2^2 + \dots + v_N^2}{N}$$

$$F = \frac{N * m * \overline{v_x^2}}{a}$$

$$\frac{F}{a * a} = \frac{N * m * \overline{v_x^2}}{a * a * a}$$

$$p = \frac{N * m * \overline{v_x^2}}{V}$$

Vnitřní energie a teplota ideálního plynu

Energie všech částic se neskládá pouze z v_x (avšak průměrné rychlosti ve všech osách jsou prakticky stejné: (N je počet částic)

$$v_{tot}^2 = v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$$

$$p * V = N * m * \frac{\overline{v_{tot}^2}}{3} \quad \langle * \frac{3}{2} \rangle$$

$$\frac{3}{2} p * V = N * \frac{1}{2} m * \overline{v_{tot}^2} = N * E_K$$

$$\text{Bolzmannova konstanta} - k_B = \frac{p * V}{T * N} = 1,38 * 10^{-23} \text{ J/K}$$

$$\frac{3}{2} * \frac{p * V}{N * T} = \frac{E_K}{T}$$

$$E_{K-\text{částice}}(0) = \frac{1}{2} m_0 * v_k^2 = \frac{3}{2} k_B * T$$

Vztah objevil Boltzmann a Maxwell jej teoreticky prokázal

Uvažujeme-li monoatomický (He, Ne, Ar) plyn pak je $E_k * N$ (N =počet částic) celková vnitřní energie plynu

$$v_k (v_{srm}) = \sqrt{\frac{3 * k_B * T}{m_0}}$$

Rychlost částic vzduchu je při pokojové teplotě kolem 500m/s

Tlak ideálního plynu

Tlak je způsoben nárazy částic na stěny nádoby- jelikož je pohyb částic chaotický, tak tlak kolísá kolem své střední hodnoty- fluktuace tlaku

Při vyšších počtech částic se fluktuace stávají nevýznamnými

$$\frac{3}{2} p * V = N * \frac{1}{2} m * \overline{v_{tot}^2}$$

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

$$p = \frac{1}{3} * \frac{m}{V} * v_k^2 = \frac{1}{3} * \rho * v_k^2$$

Stavová rovnice ideálního plynu (m=const.)

Stavové veličiny ekvilibriálního ideálního plynu:

- T
- p
- V
- N (počet částic)/n (látkové množství)/m (hmotnost)

Většinou uvažujeme konstantní hmotnost plynu

$$k_B = \frac{p * V}{T * N} = 1,38 * 10^{-23} J/K$$

$$p * V = N * k_B * T$$

$$\text{Univerzální plynová konstanta} - R = N_A * k_B = 8,314$$

$$p * V = n * R * T$$

Víme tedy, že vztah $\frac{p*v}{T}$ je konstanta

Izotermický děj (m=const.)

$$T = \text{const.} \rightarrow p * V = \text{const.}$$

Boyle-Mariotteův zákon- při izotermickém ději s ideálním plynem je tlak nepřímo úměrný objemu

Skutečné plyny v extrémních podmínkách (vysoké p a nízké T) se již velmi značně odlišují

Na PV diagramu je izotermický děj tzv. izotermou (hyperbola)

Izochorický děj (m=const.)

$$V = \text{const.} \rightarrow \frac{p}{T} = \text{const.}$$

Gay-Lussacův zákon- při izochorickém ději s ideálním plynem je tlak přímo úměrný teplotě

Skutečné plyny v extrémních podmínkách (vysoké p s nízké T) se již velmi značně odlišují

Na PV diagramu je izochorický děj tzv. izochorou (vertikální úsečka) → jelikož plocha pod PV diagramem je práce ($W=p*\Delta V$) → při izochorickém ději se může přenášet teplo, ale práce se nekoná

Izobarický děj (m=const.)

$$p = \text{const.} \rightarrow \frac{V}{T} = \text{const.}$$

Charlesův zákon- při izobarickém ději s ideálním plynem je objem přímo úměrný teplotě

Na PV diagramu je izobarický děj tzv. izobarou (horizontální úsečka)

Adiabatický děj (m=const.)

$$Q = 0$$

$$\Delta U = W + 0$$

Adiabatický děj musí proběhnout rychle, nebo v tepelně izolovaní nádobě

Pokud je práce konána na plyn (adiabatické stlačení) teplota se zvyšuje (zvyšuje se ΔU), pokud plyn koná práci (adiabatická expanze) teplota se snižuje

Poissonův zákon:

- $p * V^\kappa = \text{const.}$
- Poissonova konstanta – $\kappa = \frac{c_p \text{ (měrná tepelná kapacita při izobarickém ději)}}{c_v \text{ (měrná tepelná kapacita při izochorickém ději)}}$
- $c_V = \frac{Q_V}{m*\Delta t}$ & $c_p = \frac{Q_p}{m*\Delta t}$ (Q_v/Q_p = teplo při stálém objemu/tlaku)
- $c_p > c_v$
- Poissonova konstanta závisí na druhu plynu
 - o Monoatomický plyn- $\kappa \approx \frac{5}{3}$
 - o Diatomický plyn- $\kappa \approx \frac{7}{3}$

Na PV diagramu je adiabatický děj tzv. adiabatou (hyperbola s faktorem >1 → klesá strměji než izoterma)

Adiabatický děj užívají: vznětové motory (adiabatická komprese → zvýšení T vzduchu na zápalnou T nafty), sněhové hasící přístroje (prudká expanze CO_2 → ochlazení na tzv. suchý led)

Gay-Lussac combined
Boyle $\frac{P V}{T N} = k_B$ ideal
Charles Avogadro