Teoretické základy vakuové fyziky

Plyny

- Plyny volné
  - plyny v statickém stavu, konstantní teplota a tlak v celém objemu
  - plyny v dynamickém stavu, různé teploty a tlak
- Plyny vázané
  - plyny vázané na povrchu, nebo v objemu pevné látky

Volné plyny v statickém stavu

Ideální plyn, předpoklady:

- molekuly a atomy plynu jsou velmi malé ve srovnání se vzdáleností mezi nimi
- molekuly a atomy plynu na sebe nepůsobí přitažlivými silami
- molekuly a atomy plynu jsou v neustálém náhodném pohybu
- molekuly a atomy plynu se neustále srážejí mezi sebou navzájem a se stěnami nádoby
- srážky atomů jsou dokonale pružné

Základní pojmy a zákony

- tlak plynu: nárazy molekul a atomů plynu na rovinnou stěnu o povrchu S se projevují, jako tlaková síla F na stěnu $p = \frac{F}{S}$
- molekulová (atomová) hmotnost M : poměr hmotnosti molekuly dané látky a $\frac{1}{12}$ hmotnosti atomu uhlíku $^{12}_{6}C$
- Avogadrův zákon: Stejné objemy různých plynů obsahují při stejném tlaku a teplotě stejný počet molekul.
- Mol je počet gramů stejnorodé látky číselně rovný molekulové hmotnosti
- 1 mol různých plynů má při stejném tlaku a teplotě vždy týž objem, za tzv. normálních podmínek $V_m = 22415\ cm^3 mol^{-1}$.
- normální podmínky : $tlak\ \ p = 101324\ Pa; teplota\ \ T = 273\ K$

- Avogadrovo číslo určuje počet molekul v jednom molu $N_A = 6.023 \times 10^{23} mol^{-1}$, tento počet je pro všechny látky stejný.
- Loschmidtovo číslo je podíl Avogadrova čísla a objemu molu $N_L = \frac{N_A}{V_m} = 2.69 \times 10^{19}$ (za normálních podmínek), udává počet molekul v objemu 1 cm^3.
- Daltonův zákon parciálních tlaků: $p = \sum_{i=1}^{j} p_i$
- tenze par - tlak nasycené páry při dané teplotě

Stavová rovnice plynu

stavová rovnice pro ideální plyn, látkové množství n kilomolů

$$\frac{pV}{T} = nR$$

R - je univerzální plynová konstanta, $R = kN_A$
$R = 8310\ [Jkmol^{-1}K^{-1}]$, $k = 1.38 \times 10^{-23}[JK^{-1}]$,
$N_A = 6.023 \times 10^{26}[kmol^{-1}]$

$$\frac{pV}{T} = nR = \frac{m}{M}R$$

Maxwellův rozdělovací zákon

$$f_v(v, T, m_0) = \frac{1}{N}\frac{dN}{dv}$$

pravděpodobnost, že dN molekul má rychlost v intervalu $< v, v + dv >$

$$f_v(v, T, m_0) = 4\pi\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2} v^2 exp\left(-\frac{m_0 v^2}{2kT}\right)$$

pravděpodobnost, že molekula má při dané teplotě
rychlost v intervalu $< 0, \infty >$

$$\int_0^{\infty} f_v(v)dv = 1$$

nejpravděpodobnější rychlost

$$v_p = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}$$

střední kvadratická rychlost

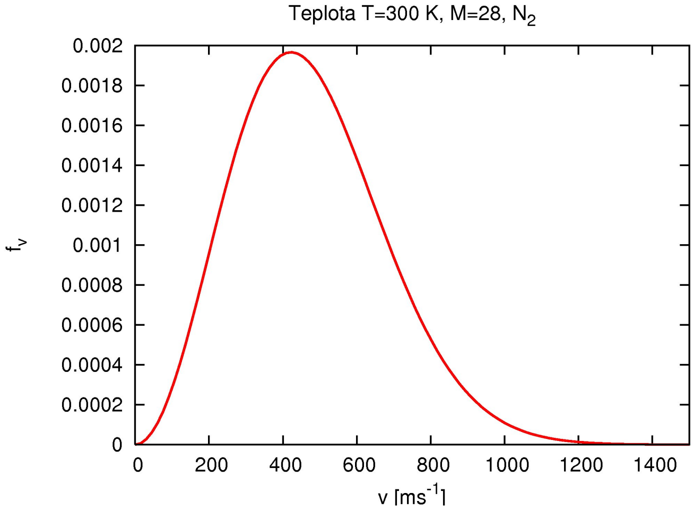
$$v_e = \sqrt{\frac{3}{2}}v_p = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

střední aritmetická rychlost

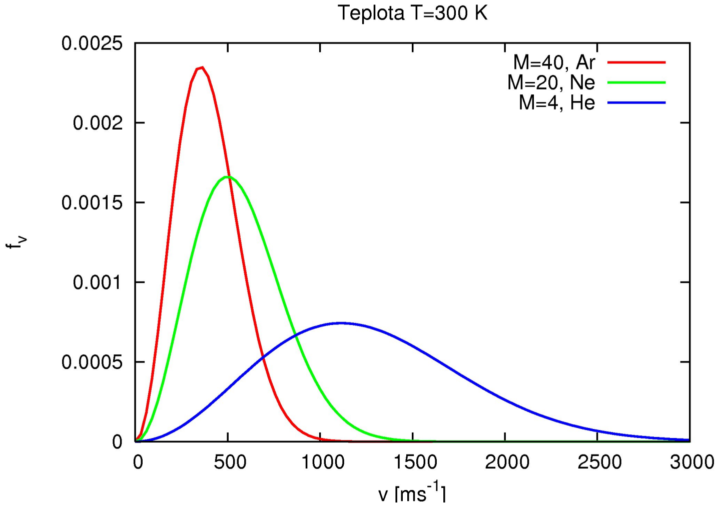
$$v_a = \sqrt{\frac{4}{\pi}}v_p = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}}$$

$$v_p \; < \; v_a \; < v_e$$

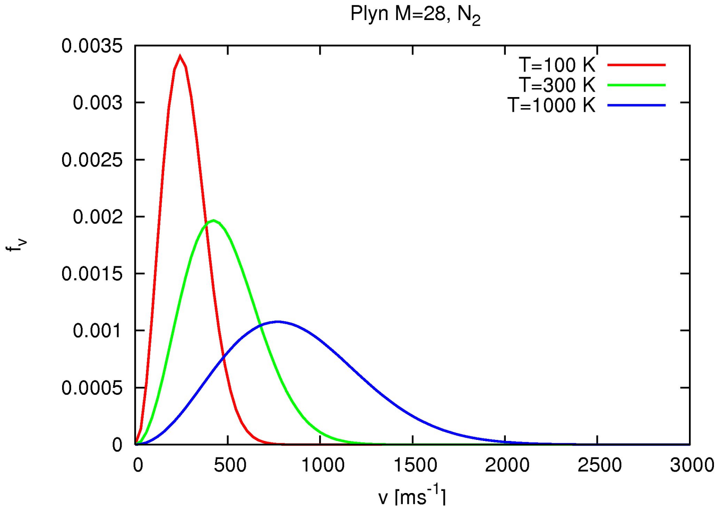
Maxwellův rozdělovací zákon



Maxwellův rozdělovací zákon - různé plyny



Maxwellův rozdělovací zákon - různé teploty



Střední volná dráha

Je průměrná vzdálenost mezi dvěma po sobě následujícími srážkami molekul(atomů) plynu.
střední volná dráha molekul

$$\boxed{\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}}$$

n - je koncentrace, d - efektivní průměr molekuly
zpřesnění

$$\boxed{\lambda = \frac{1}{\sqrt{2}n\pi d^2}\;\frac{1}{1+\frac{T_\lambda}{T}}}$$

T_λ je Sutherlandova konstanta pro daný plyn

Střední volná dráha - Sutherlandova konstanta

Plyn	Ne	Ar	He	N_2	O_2	CO_2	H_2O
T_λ[K]	55	145	80	110	125	254	650

Počet částic dopadajících na jednotku plochy za jednotku času

Sférické souřednice r, φ, ϑ

$$dS = r^2 sin\vartheta d\vartheta d\varphi$$

Počet částic s rychlostí v_1 dopadajících na element dS

$$\nu_1 = \frac{n_{v1} dS}{4\pi r^2} = \frac{n_{v1} r^2 sin\vartheta d\vartheta d\varphi}{4\pi r^2}$$

Počet částic dopadajících na plochu kolmou na osu z

$$d\nu_2 = \nu_1 v_1 cos\vartheta = \frac{n_{v1} sin\vartheta d\vartheta d\varphi}{4\pi} v_1 cos\vartheta$$

$$\nu_2 = \frac{n_{v1} v_1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} sin\vartheta cos\vartheta d\vartheta d\varphi =$$

$$= \frac{n_{v1} v_1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} sin\vartheta cos\vartheta d\vartheta = \frac{n_{v1} v_1}{2} \left[\frac{sin^2\vartheta}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{n_{v1} v_1}{4}$$

$$\nu_2 = \frac{1}{4} n_{v1} v_1$$

$$\boxed{\nu = \frac{1}{4} n v_a}$$

Tlak jako kinetické působení plynu

částice s rychlostí v_1

$$I = 2m_0v_1cos\vartheta$$

$$dp_1 = d\nu_2 I = d\nu_2 2m_0v_1cos\vartheta$$

$$p_1 = \frac{n_{v1}}{4\pi}2m_0v_1^2\int_0^{2\pi}\int_0^{\frac{\pi}{2}} cos^2\vartheta sin\vartheta d\vartheta d\varphi =$$

$$p_1 = n_{v1} m_0 v_1^2 \int_0^{\frac{\pi}{2}} cos^2\vartheta sin\vartheta d\vartheta =$$

$$= n_{v1} m_0 v_1^2 \left[\frac{cos^3\vartheta}{3} \right]_0^{\frac{\pi}{2}}$$

$$p_1 = \frac{1}{3} n_{v1} m_0 v_1^2$$

$$\boxed{p = \frac{1}{3} n m_0 v_e^2}$$

Vztah mezi koncentrací, tlakem a teplotou

Ze stavové rovnice plynu

$$\frac{pV}{T} = n_0 R = \frac{m}{M} R = \frac{m}{M} k N_A$$

$$n = \frac{N}{V} = \frac{m N_A}{M} \frac{1}{V} = \frac{pV}{Tk} \frac{1}{V}$$

$$\boxed{p = nkT}$$

$$p = nkT$$

$$p = \frac{1}{3} n m_0 v_e^2$$

$$nkT = \frac{1}{3} n m_0 v_e^2$$

$$v_e^2 = \frac{3kT}{m_0} \Rightarrow v_e = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$