

# 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  ${}^{12}_6\text{C}$
- 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 též objem, za tzv. normálních podmínek  $V_m = 22415 \text{ cm}^3 \text{ mol}^{-1}$ .
- normální podmínky : tlak  $p = 101324 \text{ Pa}$ ; teplota  $T = 273 \text{ K}$

- Avogadrovo číslo určuje počet molekul v jednom molu  
 $N_A = 6.023 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ , 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  $1 \text{ cm}^3$ .
- 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  $v$  v intervalu  $\langle v, v + dv \rangle$

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

pravděpodobnost, že molekula má při dané teplotě rychlost  $v$  v intervalu  $\langle 0, \infty \rangle$

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

nejpravděpodobnější rychlost

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

střední kvadratická rychlost

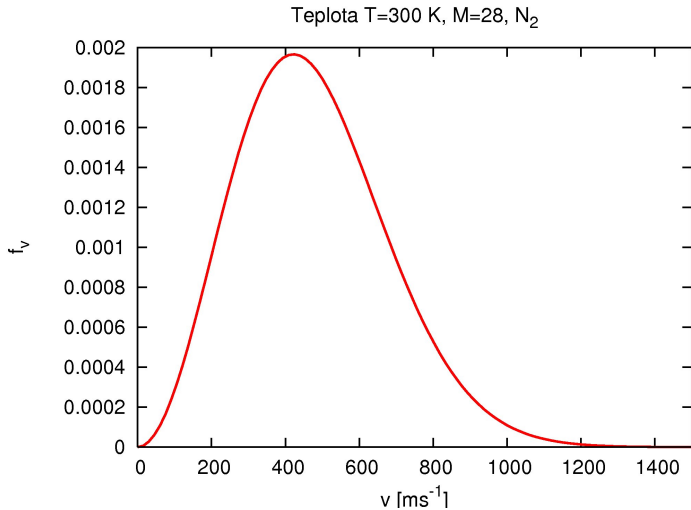
$$v_e = \sqrt{\frac{3}{2}} v_p = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}$$

střední aritmetická rychlost

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

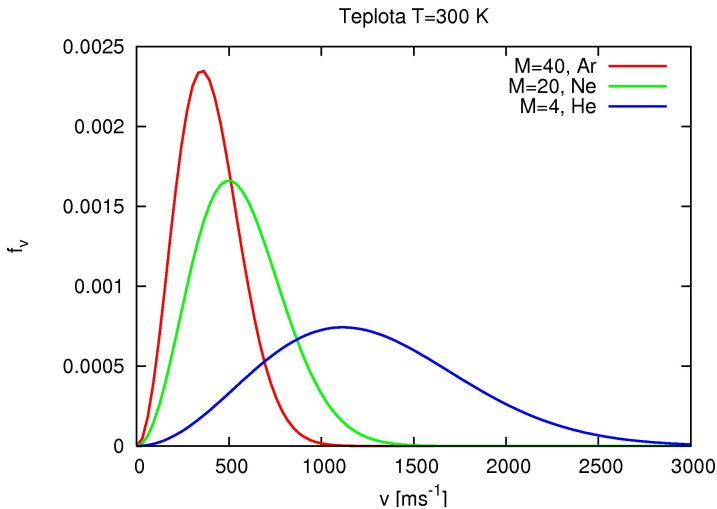
$$v_p < v_a < v_e$$

# Maxwellův rozdělovací zákon

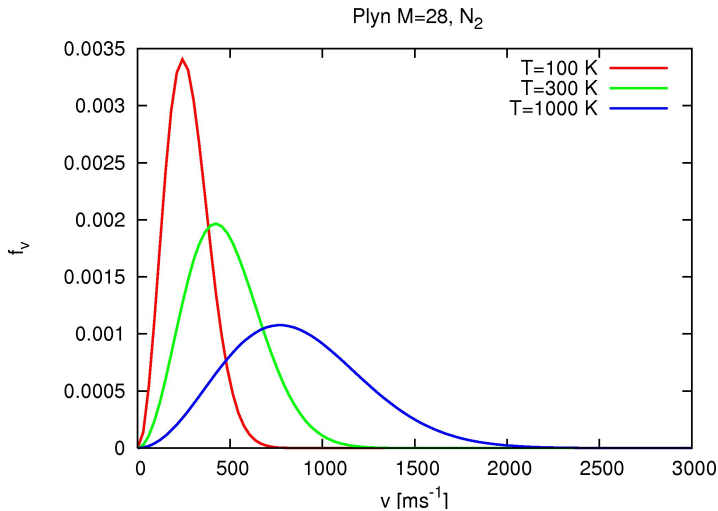




# Maxwellův rozdělovací zákon - různé plyny



# Maxwellův rozdělovací zákon - různé teploty



# Střední volná dráha

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

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

$n$  - je koncentrace,  $d$  - efektivní průměr molekuly  
zpřesnění

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

$T_\lambda$  je Sutherlandova konstanta pro daný plyn

# Střední volná dráha - Sutherlandova konstanta

Plyn	<i>Ne</i>	<i>Ar</i>	<i>He</i>	$N_2$	$O_2$	$CO_2$	$H_2O$
$T_\lambda$ [K]	55	145	80	110	125	254	650

# Počet částic dopadajících na jednotku plochy za jednotku času

Sférické souřadnice  $r, \varphi, \vartheta$

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

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

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

$$\begin{aligned}\nu_2 &= \frac{n_{v1}v_1}{4\pi} \int_0^{2\pi} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\vartheta \cos\vartheta d\vartheta d\varphi = \\ &= \frac{n_{v1}v_1}{2} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sin\vartheta \cos\vartheta d\vartheta = \frac{n_{v1}v_1}{2} \left[ \frac{\sin^2\vartheta}{2} \right]_0^{\frac{\pi}{2}} = \frac{n_{v1}v_1}{4} \\ \nu_2 &= \frac{1}{4} n_{v1}v_1\end{aligned}$$

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

# Tlak jako kinetické působení plynu

částice s rychlostí  $v_1$

$$l = 2m_0v_1\cos\vartheta$$

$$dp_1 = dv_2l = dv_22m_0v_1\cos\vartheta$$

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

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

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

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

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



# Vztah mezi koncentrací, tlakem a teplotou

Ze stavové rovnice plynu

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

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

$$p = nkT$$

$$p = nkT$$

$$p = \frac{1}{3}nm_0v_e^2$$

$$nkT = \frac{1}{3}nm_0v_e^2$$

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