

4. Přenosové vlastnosti částic

Difúze, koagulace, termofóreza - vyplývají z náhodného pohybu molekul i částic
 - stochastické (náhodné) jevy

4.1 Difúze částic

- v laminárním proudu - molekulární (tepelná, Brownova) difúze
- v turbulentním proudu - turbulentní difúze

Přenos částic v proudícím plynu

$$\vec{j} = \vec{v} \cdot C - D \cdot \vec{\nabla} C$$

$$\vec{\nabla} C = \left(\vec{i} \frac{d}{dx} + \vec{j} \frac{d}{dy} + \vec{k} \frac{d}{dz} \right) C$$

j ($\text{kg/m}^2 \cdot \text{s}$) hustota toku částic

Nabla operátor

D (m^2/s) součinitel difúze

Brownova (tepelná) difúze

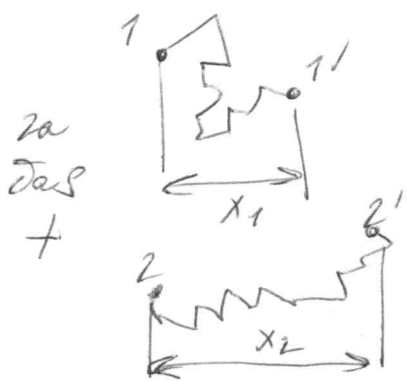
$$D_B = \frac{RT}{3\pi\eta a} \quad (\text{m}^2/\text{s})$$

$$B = \frac{1}{3\pi\eta a} \left(1 + K_c \frac{r_m}{a} \right)$$

střední přesuv částice difúzí \bar{x} (m)

z "teorie náhodných pohybů"

$$\bar{x} = \sqrt{\frac{4D_B t}{\pi}} \quad (\text{m})$$



jestliže $t = 1s \Rightarrow \bar{x}_1 = \sqrt{\frac{4DB \cdot t}{\pi}}$

vznam posuvu částice za 1s

\bar{x}_1 ... míra intenzity přenosu částice molekulárním difúzí

\bar{x}_1 lze porovnat s teoretickou hodnotou u_p

pro standardní podmín. $\eta = 18,15 \cdot 10^{-6} \text{ Pa} \cdot \text{s}$, $\rho = 1,2 \text{ kg/m}^3$,

$r_m = 0,065 \mu\text{m}$) a $\rho_p = 1000 \text{ kg/m}^3$

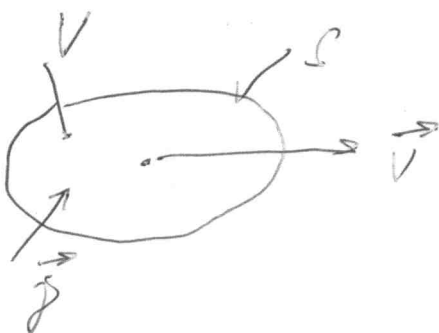
$a \text{ (}\mu\text{m)}$	0,01	0,1	1	10
$\bar{x}_1 \text{ (cm/s}^2)$	$4,36 \cdot 10^{-8}$	$2,88 \cdot 10^{-5}$	$5,92 \cdot 10^{-6}$	$1,75 \cdot 10^{-6}$
$u_p \text{ (m/s)}$	$5,8 \cdot 10^{-8}$	$8,16 \cdot 10^{-7}$	$3,53 \cdot 10^{-5}$	$3,05 \cdot 10^{-3}$

částice $a \approx 1 \mu\text{m}$ - významný vliv \bar{x}_1

$0,1 < 1 \mu\text{m}$ - \bar{x}_1 a u_p srovnatelné

$a < 0,1 \mu\text{m}$ - $\bar{x}_1 > u_p$

Diferenciální rovnice konvektivní difúze



vztknutý element

změna koncentrace uvnitř elementu
vlivem toho částic \vec{j} přes hranice elementu

$$\vec{j} = \vec{v}C - D \cdot \vec{\nabla}C$$

Bilance hmotnosti částic v elementu : změna koncentrace částic je rovna toku částic přes hranice oblasti

diferenciální rovnice konvektivní difúze

$$\frac{dC}{dt} + (\vec{v} \cdot \vec{\nabla})C = D \cdot \Delta C$$

Δ Delta operátor

$$\Delta = \nabla^2 = \nabla \cdot \nabla$$

$$\vec{v} = \vec{i} v_x + \vec{j} v_y + \vec{k} v_z$$

$$\Delta = \frac{d^2}{dx^2} + \frac{d^2}{dy^2} + \frac{d^2}{dz^2}$$

$$\vec{\nabla} = \vec{i} \frac{d}{dx} + \vec{j} \frac{d}{dy} + \vec{k} \frac{d}{dz}$$

skalární rovnice

$$v_x \frac{d}{dx} + v_y \frac{d}{dy} + v_z \frac{d}{dz}$$

pro neustálý případ a dvourozměrné proudění :

$$\frac{dC}{dt} + v_x \frac{dC}{dx} + v_y \frac{dC}{dy} = D \left(\frac{d^2C}{dx^2} + \frac{d^2C}{dy^2} \right)$$

Podobnostní kritéria

nejjednodušší případ - stacionární laminární dvourozměrné proudění

$$v_x \frac{dC}{dx} + v_y \frac{dC}{dy} = D_B \frac{d^2C}{dx^2} + D_B \frac{d^2C}{dy^2}$$

Integrované analogy

$$\frac{v \cdot C}{L} \sim D_B \frac{C}{L^2}$$

komplex K_1

K_2

$$\frac{K_1}{K_2} = \frac{\frac{vC}{L}}{\frac{D_B C}{L^2}} = \frac{vL}{D_B} = Pe$$

Pecletovo difúzní krit.

$$Re = \frac{vL}{\nu}$$

$$Sc = \frac{Pe}{Re} = \frac{\nu}{D_B} \quad \text{Schmidtovo kritérium}$$

4.2 Koagulace částic

stacionární částic při vzájemném styku částic s vhodnými povrchovými vlastnostmi

Změna počtové koncentrace C_N ($1/m^3$) u tepelné a turbulentní koagulace

$$-\frac{dC_N}{dt} = K_K \cdot C_N^2 \quad K_K \text{ (m}^3/\text{s)} \text{ konstanta koagulace}$$

$$-\int_{C_{N10}}^{C_N} \frac{dC_N}{C_N^2} = K_K \int_0^t dt$$

$$-\int_{C_{N10}}^{C_N} C_N^{-2} dC_N = K_K \int_0^t dt$$

$$\int_{C_{N10}}^{C_N} C_N^{-2} dC_N = \left. -\frac{C_N^{-1}}{-1} \right|_{C_{N10}}^{C_N} = \frac{1}{C_N} - \frac{1}{C_{N10}}$$

$$\frac{1}{C_N} - \frac{1}{C_{N10}} = K_K \cdot t$$

$$\frac{C_{N10} - C_N}{C_N \cdot C_{N10}} = K_K \cdot t$$

$$C_{N10} - C_N = K_K t \cdot C_N \cdot C_{N10}$$

$$C_{N10} = C_N + K_{K1B} \cdot C_N \cdot C_{N10} = C_N (1 + K_{K1B} \cdot C_{N10})$$

$$C_N = \frac{C_{N10}}{1 + K_{K1B} \cdot C_{N10}}$$

konstanta Brownovské koagulace $K_{K1B} = 4\pi a D_B \text{ (m}^3/\text{s)}$

$$K_{K1B} = 4\pi a \cdot 2TB = 4\pi a \cdot 2T \frac{1}{3\pi \eta a} \left(1 + K_c \frac{\rho_m}{a}\right)$$

$$K_{K1B} = \frac{4 \cdot 2T}{3\eta} \left(1 + K_c \frac{\rho_m}{a}\right)$$

v klidném prostředí nebo v laminárním proudění -
- velmi nízké hodnoty K_{K1B}

turbulentní koagulace K_{K1t} o 2-3 řády větší než K_{K1B}

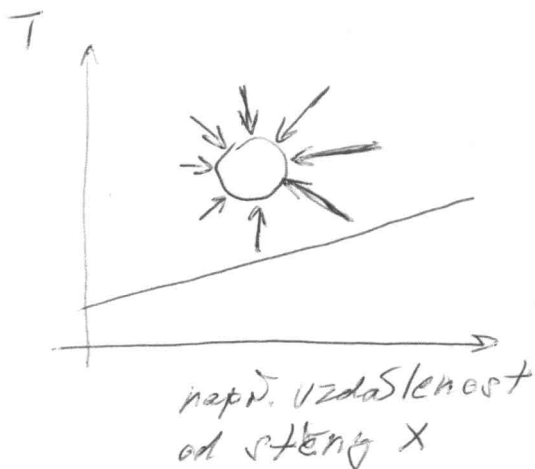
Kinematika koagulace

- např. v klidném prostředí u polydispersních souborů, kde částice mají rozdílné pádové rychlosti

akustická koagulace

- kinetický částice v kvantovém prostředí, větší částice kineticky s menší amplitudou

4.3 Termoforeza



tam, kde se částice nacházejí v prostředí s vprávným teplotním gradientem

termoforetická síla \vec{F}_T ve směru klesající teploty (proti gradientu teploty)

pro částice $a \gg \lambda_m$... $\vec{F}_t \sim -a \cdot \vec{\nabla} T$
 $a \ll \lambda_m$... $\vec{F}_t \sim -a^2 \cdot \vec{\nabla} T$

\vec{F}_t působí ve směru klesající teploty