

Лекция №16

Термодинамические потоки. Явления переноса в газах: диффузия, теплопроводность и вязкость. Эффузия в разреженных газах. Физический вакуум. Броуновское движение. Производство энтропии в необратимых процессах.

Явление переноса.

Термодинамические потоки, переносимые вещества, возникающие из-за неравновесного состояния среды (физические параметры переносятся микроэлементами).

λ - длина свободного пробега молекул

Поток количества частиц.

Плотность потока частиц вдоль оси X :

$$j_x = \frac{N}{S_1 \cdot \Delta t} = n \cdot v_x$$

N - кол-во частиц

S_1 - перпендикулярная площадь, через которую прошли частицы

Δt - время за которое молекулы прошли S_1

n - концентрация частиц

v_x - скорость частиц

Плотность потока частиц вдоль любого направления:

$$j = \frac{1}{6} \langle v \rangle n$$

$\langle v \rangle$ - средняя скорость теплового движения молекул

Поток физической величины.

Поток физ. величины определяется векторной суммой потоков этой величины в разных направлениях.

Поток величины F (физ. величина, переносимая частицами) через площадку $S \perp X$ ($J_F = j_F \cdot S$):

$$J_F = -\frac{1}{3} \langle v \rangle n \cdot S \left. \frac{dF}{dx} \right|_x \lambda$$

Диффузия

Примеры процессов переноса

① Диффузия - процесс самопроизвольного выравнивания концентраций веществ в смеси.

$$D = \frac{1}{3} \langle v \rangle \lambda - \text{коэффициент диффузии}$$

Поток плотности: $J_p = -DS \frac{dp}{dx}$
(1^{ый} закон Фика)

② Теплопроводность - процесс выравнивания температуры в различных точках среды

$$f = \frac{3}{2} kT - \text{энергия теплового движения центра масс молекулы}$$

$$\alpha = \frac{1}{3} \langle v \rangle \rho \cdot C_{p0} \lambda - \text{коэффициент теплопроводности}$$

$$J_q = -\alpha \frac{dT}{dx} - \text{плотность потока теплоты}$$

$$J_q = -\alpha S \frac{dT}{dx} - \text{поток теплоты}$$

③ Вязкость (внутреннее трение) приводит к появлению силы сопротивления при движении тела в жидкости или газе

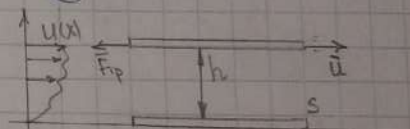
$$F_{тр} = \eta S \frac{u}{h}$$

η - коэффициент вязкости

h - расстояние между пластинами

S - площадь пластин

u - скорость пластины



Замечания:

$$1) \alpha = \eta \cdot C_{p0} = D \rho C_{p0}$$

2) Вакуум - состояние газа, где λ сравнимо с размером сосуда L :

Если $\lambda \ll L$ - низкий вакуум

Если $\lambda \gg L$ - высокий (глубокий) вакуум

Если $\lambda \sim L$ - средний вакуум

3) Эффузия - явление медленного истечения газа из малого отверстия

Эффузия в разреженном газе

Эффузия, где отверстие много больше длины свободного пробега молекул.

меньше длины свободного пробега

Тепловая эррозия - явление, при котором поток частиц направлен в сторону части с большей температурой.

$$j = \sqrt{\frac{2}{\pi n k}} \left(\frac{P_1}{\sqrt{T_1}} - \frac{P_2}{\sqrt{T_2}} \right) \quad \text{— плотность потока}$$

Изотермическая эррозия - явление, при котором молекулы с большей массой в меньшем количестве проходят через отверстие, чем молекулы с меньшей массой.

Броуновское движение

- беспорядочное движение малых частиц, взвешенных в жидкости или газе, происходящее под действием молекул окружающей среды.

Причина такого движения в тепловом движении молекул.

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta a}$$

- коэффициент диффузии броуновской частицы

a - радиус частицы

η - коэф. вязкости

Производство энтропии в необратимых процессах

При необратимых термодинамич. процессах энтропия возрастает

$$\sigma_s = \sum_{i=1}^N X_i j_i \quad \text{— производство энтропии в единицу объема в случае протекающих } N \text{ различн. проц.}$$

X_i - термодинамич. силы

j_i - соответств. плотности термодинамич. потоков

Вопросы на контр. вопросы:

① Явление диффузии заключается в том, что происходит взаимопроникновение и перемешивание частиц в газах, жидкостях, т.е. переносится масса.

Из-за разности температур и столкновений молекул произойдет процесс выравнивания средних кинетических

мол. энергия - процесс переноса энергии, т.е. процесс выравнивания температур, т.е. процесс переноса энергии.

Вязкость обуславливается внутренним трением между слоями II слоями жидкости или газа; внутр. трение приводит к переносу импульса.

③ Диффузия в разреженных газах - явление медленного перемещения газа из отверстия много меньшего диаметра свободного пробега молекул.

Условие равновесия для разреженных газов: $\frac{P_1}{\sqrt{T_1}} = \frac{P_2}{\sqrt{T_2}}$

Тепловая диффузия - явление, при котором поток молекул направлен в сторону части с большей температурой.

Изотермическая диффузия - явление, при котором молекулы с большей массой в меньшем количестве проходят через отверстие, чем молекулы с меньшей массой.

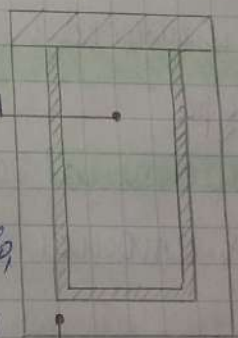
③ Вакуум - состояние газа, где длина свободного пробега молекул сравнима с размерами сосуда.

Виды вакуума: низкий, высокий (глубокий), средний.

Принцип работы термоса:

Для сохранения тепла внутри объема жидкости нужно, чтобы отсутствовали теплообмен.

Для этого используют вакуум, т.е. пространства не имеет никаких веществ \Rightarrow передавать тепло будет нечем.



④ Причиной броуновского движения является тепловое движение молекул

Коэф. диффузии броуновской частицы: $D = \frac{kT}{6\pi\eta a}$

⑤ Производство энтропии: $S_s = \sum_{i=1}^N X_i j_i$ X_i - термодинамич. силы j_i - соотв. плотности термодинамич. потоков

Производство энтропии в равновесном состоянии = 0.

Процесс локального равновесия - процесс, где каждый элемент системы в любой момент времени находится в равновесии.