

Тасымал құбылыстар-массаның (диффузия), энергияның (жылу өткізгіштік) және молекулалардың, импульстің (ішкі үйкеліс және динамикалық тұтқырлық) тасымалы нәтижесінде тепе-теңдіктің орнығу процесін айтады.

Бұл процестер тепе-теңсіз жүйелерде, яғни жүйеде тығыздық градиенті dp/dx , температура градиенті dT/dx және бөлшектердің жылдамдық градиенті du/dx , болған жағдайда молекулалардың жылулық қозғалысы салдарынан орындалады.

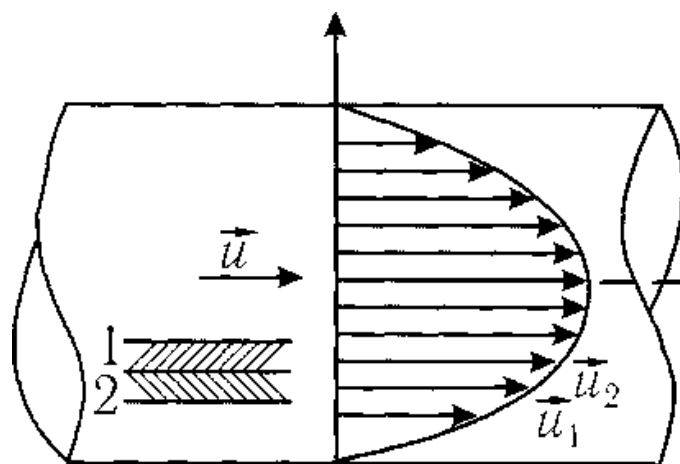


Рис. 1

Тұтқырлық құбылысы кезінде ағынның жылдамырақ қозғалатын бөлігінен баяуырақ қозғалатын бөлігіне импульстің тасымалдануы орын алады. Сұйықтың немесе газдың тасымалдануы кезінде (мысалы, түтікше ішімен) оның қабаттарының жылдамдықтары әртүрлі болады: ламинарлы ағыс кезіндегі жылдамдықтардың бір ось бойымен таралуы 1-суретте келтірілген (тілше ұзындығы сол бөліктегі жылдамдық шамасын көрсетеді). Бұл құбылыстың орын алуы бейберекет (хаосты) жылулық қозғалыстағы молекулалар бір қабаттан екінші қабатқа өтуі мен басқа молекулалармен үздіксіз соқтығысуы салдарынан импульстерімен алмасуы нәтижесінде болады. 2-қабаттың молекулалары 1-қабатқа өткенде өзінің бағытталған қозғалысының $m_0 \bar{u}_2$ импульсін тасымалдайды, ал 2-қабатқа импульсі төмендеу $m_0 \bar{u}_1$ молекулалар өтеді. Нәтижесінде 2-қабат сәл тежеледі, ал 1-қабат үдей түседі. Тәжірибелер көрсеткендей бір қабаттан екінші қабатқа S бет арқылы берілетін dp импульс жылдамдық градиентіне, S бет ауданы және dt тасымал уақытына тура пропорционал болады:

$$dp = -\eta \frac{du}{dx} S dt.$$

Нәтижесінде қабаттар арасында ішкі үйкеліс күші (Ньютон заңы) пайда болады:

$$F = \left| \frac{d\vec{p}}{dt} \right| = \eta \frac{du}{dx} S, (1)$$

мұндағы η – ортаның тұтқырлық коэффициенті.

Идеал газ үшін тұтқырлық коэффициенті:

$$\eta = \frac{1}{3} \lambda \nu \rho. (2)$$

Молекулалардың еркін жүру жолының орташа ұзындығы:

$$\lambda = \frac{kT}{\sqrt{2} \pi d^2 P}, (3)$$

мұндағы $k = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{\text{Дж}}{\text{К}}$ – Больцман тұрақтысы,

d – молекулалардың эффективті диаметрі (ауа үшін $d \cong 4 \cdot 10^{-10} \text{ м}$),

T, P – сәйкесінше газдың температурасы мен қысымы.

Молекулалардың жылулық қозғалысының орташа жылдамдығы:

$$\nu = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}, (4)$$

Мұндағы: $R = 8,31 \text{ Дж/моль К}$ – универсаль газ тұрақтысы

M – бір моль газдың массасы (ауа үшін $M = 28,9 \text{ г/моль}$).

Идеал газ күйінің теңдеуінен газдың тығыздығы

$$\rho = \frac{PM}{RT}. (5)$$

Ламинарлы ағысы кезінде радиусы r және ұзындығы L түтікше арқылы t уақыт ішінде ағып өтетін газ немесе сұйықтың көлемі:

$$V = \frac{1}{\eta} \frac{\pi r^4}{8L} \Delta P \cdot t, (6)$$

мұндағы ΔP – капилляр ұштарындағы қысымдар айырмасы.

Ағынғы нормаль S бет арқылы тасымалданатын dQ/dt жылу ағыны тасымал бағытындағы dT/dx температура градиентіне тәуелді (Фурье заңы) болады:

$$q = dQ/dt = -\lambda S \frac{dT}{dx}, (7)$$

Мұндағы λ – идеал газ үшін жылуөткізгіштік коэффициенті

$$\lambda = \frac{1}{3} \rho \lambda \nu C_v (8)$$

Мұндағы $C_v = iR/2M$ – тұрақты қысымдағы меншікті жылу сыйымдылығы, i – число степеней свободы молекулы газа.