Қайтымды процестер өтетін адиабатты оқшауланған жүйенің энтропиясы

Егер осындай жүйенің күйін өзгертетін процесс қайтымды болса, онда энтропияның өзгерісі нолге тең, себебі

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

Себебі адиабаттық процесте $\delta Q = 0$

Адиабатты оқшауланған жүйедегі қайтымды процестердің энтропиясы өзгермейді

Қайтымды процестер өтетін адиабатты оқшауланған жүйенің энтропиясы

Адиабаттық процесс қоршаған ортамен жылу алмасусыз өтеді

Процесс қайтымды болса, онда энтропияның өзгерісі нолге тең

$$dS = \frac{dQ}{T}$$

$$\boxed{dQ_{дене} = -dQ_{коры}}$$

Дене $dQ_{дене}$ жылу алса, онда оның энтропиясы $dQ_{дене}/T$ шамаға өзгереді. Бірақ, бұл кезде жылу көзі осыған тең жылу мөлшерін жоғалтады.

Жылу алмасу процесі *қайтымды* болғандықтан, дененің температурасы жылу көзінің температурасымен бірдей. Әйтпесе, екеуінің арасында қайтымсыз жылуөткізгіштік процесі басталады. Сондықтан

$$dQ_{дене}/T = -dQ_{коры}/T$$

немесе

$$dS_{дене} = -dS_{коры}$$

Осыдан оқшауланған жүйенің энтропиясының жалпы өзгерісі нолге тең болады

$$dS = dS_{дене} + dS_{коры} = 0$$

Кез келген қайтымды процестер өтетін адиабатты оқшауланған жүйенің энтропиясы өзгермейді.

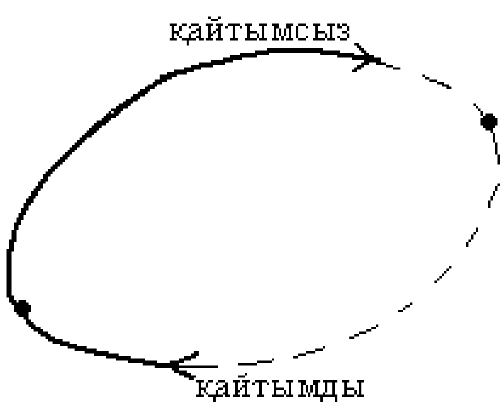
Қайтымсыз процестер өтетін оқшауланған жүйенің энтропиясы. Энтропияның өсу заңы

Қайтымсыз процестер өтетін оқшауланған жүйенің энтропиясының өзгерісі өте ерекше болады. Дөңгелек қайтымсыз процестерде

$$\oint \frac{dQ}{T} \prec 0$$

Бұл мына дербес теңдеудің жалпылауынан шығады $\frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \prec 0$

Дене 1-ші тепе-теңдік күйден 2-ші тепе-теңдік күйге қайтымсыз өтетін тепе-теңдік процесті қарастырайық (сурет, тұтас сызық). Ауысудың қайтымсыздығы аралық күйлердің тепе-теңдіксіз болатынын көрсетеді. Осы қайтымсыз ауысуда жүйенің энтропиясы қалай өзгереді? Сұраққа жауап беру үшін, жүйені бастапқы күйіне басқа қайтымды жолмен (суретте пунктир сызық) қайтарайық.



Бұл дөңгелек процесс қайтымсыз, себебі оның бір бөлігі қайтымсыз болады. Сондықтан:

$$\oint \frac{dQ}{T} \prec 0$$

Қарастырып отырған дөңгелек процеске былай жазылады:

$$\oint \frac{dQ}{T} = \int_1^2 \frac{dQ}{T} + \int_2^1 \frac{dQ}{T} \qquad (1)$$

Бұл өрнектің оң жағындағы екінші мүше қайтымды процеске қатысты, демек

$$\int_2^1 \frac{dQ}{T} = S_1 - S_2 \,. \tag{2}$$

Сондықтан, (1)-ші теңдеуді (2) ескеріп, мына түрде жазамыз:

$$\int_1^2 \frac{dQ}{T} + S_1 - S_2 \prec 0 \quad \text{немесе} \qquad S_2 - S_1 \succ \int_1^2 \frac{dQ}{T} \,. \tag{3}$$

Егер жүйе адиабатты оқшауланған болса,

$$S_2 - S_1 \succ 0 \,,$$

немесе

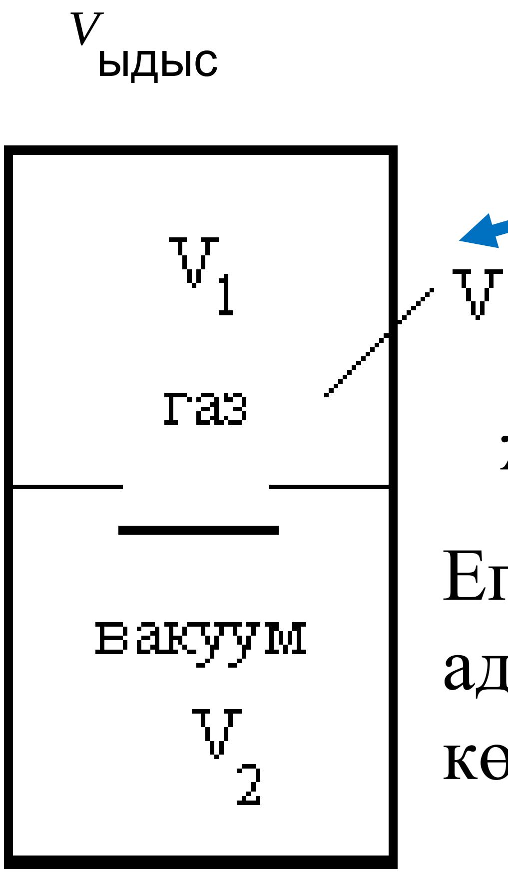
$$S_2 \succ S_1 \,. \tag{4}$$

Осыдан, қайтымсыз процестер өтетін адиабатты оқшауланған жүйенің *энтропиясы өседі.*

Энтропияның ең маңызды ерекшеліктерінің біреуі болып – қайтымсыз процестердегі *энтропияның өсу заңы* болады.

Қайтымсыз процестердегі энтропияның өсу заңын термодинамиканың екінші бастамасы деп атайды.

Идеал газдың бос кеңістікте адиабаттық ұлғайғандағы энтропиясының өсуі



Қабырғалары жылу өткізбейтін екі бөліктен тұратын көлемі V ыдыс

Ыдыстың V_1 және V_2 бөліктері тесігі бар қалқамен жабылған.

Егер қалқаның тесігін ашсақ, онда газ адиабатты ұлғайып ыдыстың барлық көлеміне жайылады

$$\left(V = V_1 + V_2\right)$$

Бос кеңістікке қайтымды изотермдік ұлғайғандағы бір моль газдың энтропиясының өзгерісі мынаған тең:

$$\Delta S = R\,ln\frac{V}{V_1}$$

$V \succ V_1$ онда $\Delta S \succ 0$

демек газ ұлғайғанда *энтропия өседі*.

ТАСЫМАЛДАУ ПРОЦЕСТЕРІ

Тасымалдау құбылыстары

Диффузия

Концентрация градиенті бар болуы себебінен жүйенің бір бөлігінен екіншісіне массаның тасымалдауы

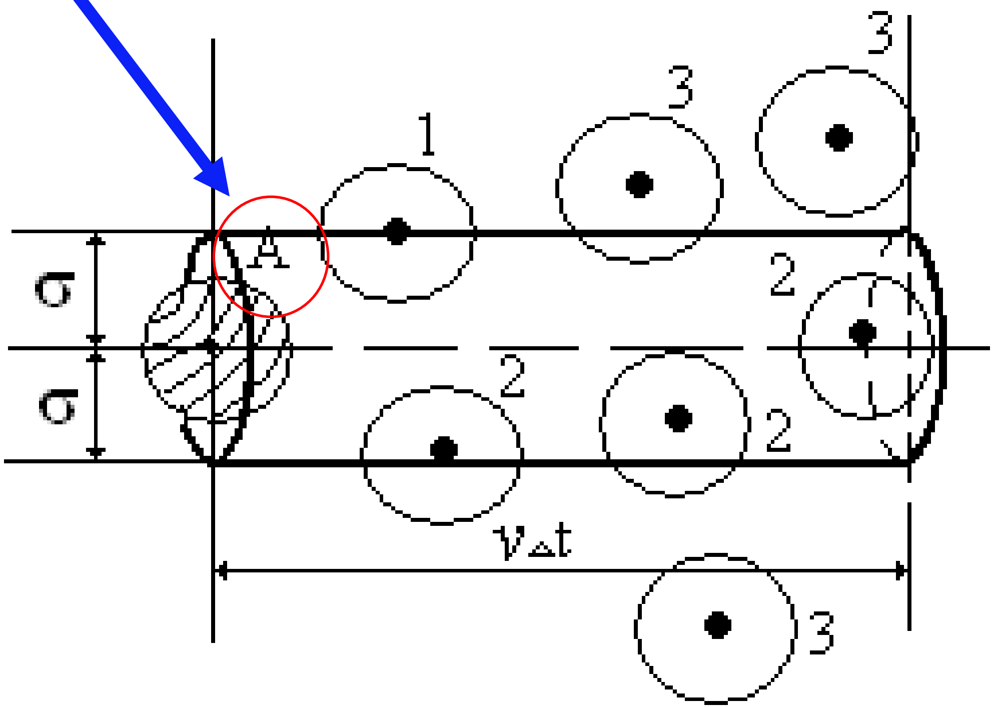
Жылуөткізгіштік

Температура градиенті болу нәтижесінде жылулық энергияның жүйенің бір бөлігінен екіншісіне тасымалдауы жылуөткізгіштік деп аталады

Тұтқырлық

Ағын жылдамдықтарының градиенті бар болуы себебінен газ немесе сұйық арқылы жүйенің бір бөлігінен екіншісіне импульстің тасымалдауы

А молекула түзу сызықтың бойымен қозғалады, ал қалғандары қозғалмайды



Соқтығысады

1 2

Соқтығыспайды

3

Соқтығысу саны бірлік көлемдегі молекула санын цилиндрдің көлеміне көбейткенге тең

$$z' = \pi\sigma^2 \bar{\upsilon} n \quad (1)$$

цилиндрдің көлемі

Бірлік уақытта соқтығысатын молекулалардың орташа саны

$$z = \sqrt{2}\pi\sigma^2 \bar{\upsilon} n \qquad (2)$$

Бірлік уақытта молекуланың соқтығысуының орташа саны соқтығысу жиілігі деп аталады.

Газдың бірлік көлемінде бірлік уақыттағы соқтығысу саны:

$$z_v = \frac{n}{2} z = \frac{\sqrt{2}}{2}\pi\sigma^2 \bar{\upsilon} n^2 \qquad (3)$$

Массалары m_{01} және m_{02} екі молекулалар арасында соқтығысу болса, онда газдың бірлік көлемінде бірлік уақыттағы олардың барлық соқтығысу саны

$$z_{12} = 2n_1 n_2 \sigma_{12}^2 \left(\frac{2\pi kT\left(m_{01} + m_{02}\right)}{m_{01} m_{02}} \right)^{1/2} \qquad (4)$$

$$\sigma_{12} = \frac{\sigma_1 + \sigma_2}{2}$$

молекулалар диаметрі

Егер *i* және *j* молекулалар арасындағы бірлік уақытта бірлік көлемде соқтығысу саны z_{ij} болса, онда *i* молекулалардың соқтығысу жиілігі:

$$\nu_i = \frac{\sum_j z_{ij}}{n_i} \qquad (5)$$

Сондықтан еркін жүру жолының орташа уақыты

$$\tau_i = \nu_i^{-1} \qquad (6)$$

Еркін жүру жолының орташа ұзындығы мен уақыты

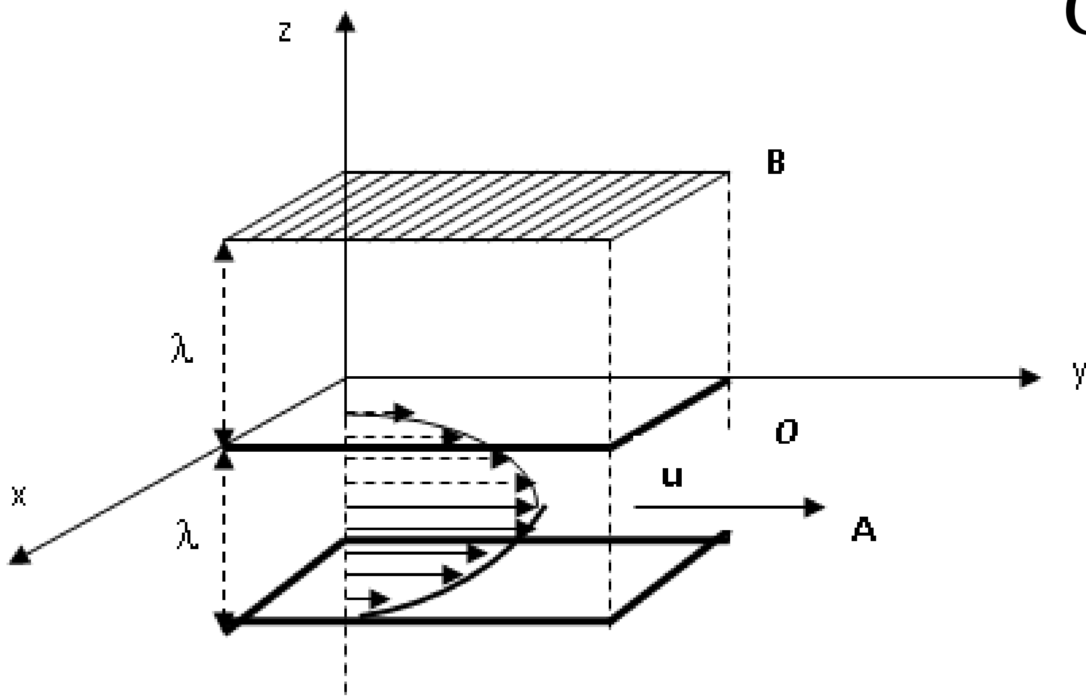
Еркін жүру жолының орташа ұзындығы

$$\lambda = \frac{\bar{\upsilon}}{z} = \frac{\bar{\upsilon}}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n\bar{\upsilon}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n} \qquad (7)$$

Еркін жүру жолының уақыты

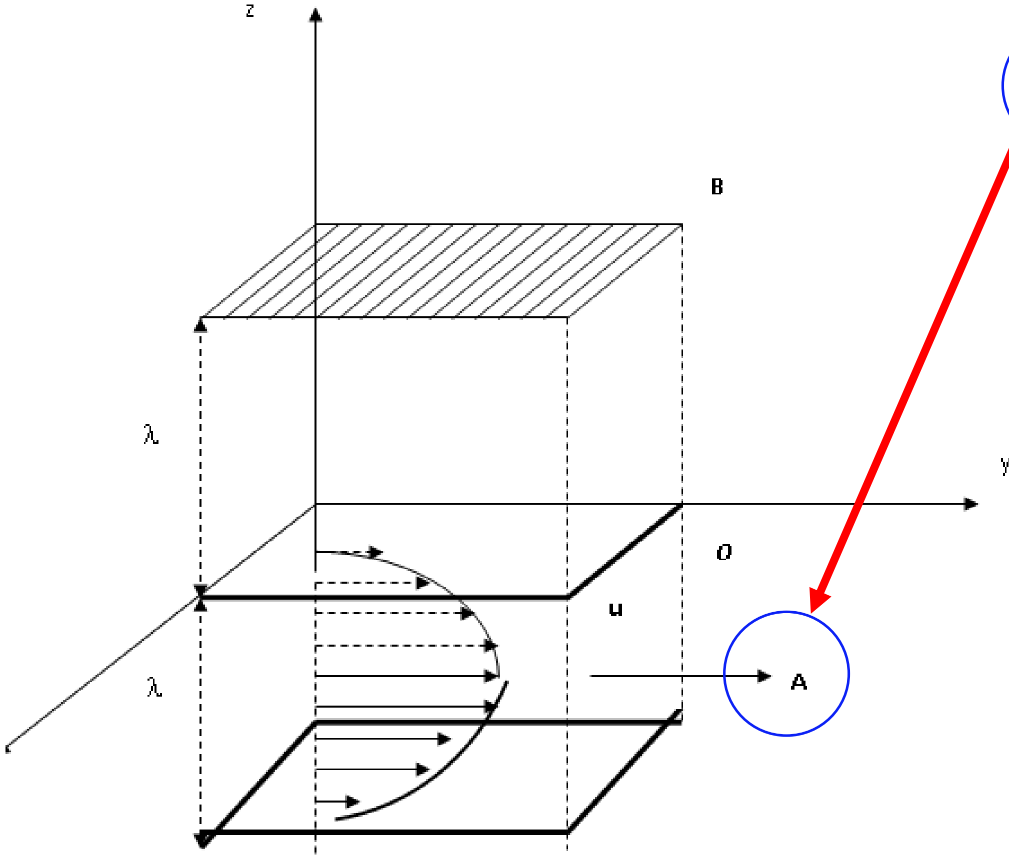
$$\tau = \frac{\lambda}{\bar{v}} = \frac{1}{\sqrt{2}\pi\sigma^2 n\bar{\upsilon}} \qquad (8)$$

Тасымалдаудың жалпы теңдеуі



G

деп белгіленген шаманың (демек молекулалар саны, У бағытта импульсі немесе энергиясы) О жазықтық арқылы (+Z) бағытта өтетін ағынының тығыздығын қарастырайық. OZ осі ыдыстың ішіндегі газдағы байқалған градиентпен бағыттас және А, О мен В жазықтықтардың ауданына перпендикуляр делік



A жазықтықтан шыққан молекулалардың ағынының тығыздығы G_A

Егер О-дағы G-нің мәні G_0 болса, онда былай жазуымызға болады:

$$G_A = G_0 - \lambda \frac{dG}{dz}; G_B = G_0 + \lambda \frac{dG}{dz}$$

(9)

G -ның қорытқы Ψ_G ағынның тығыздығы

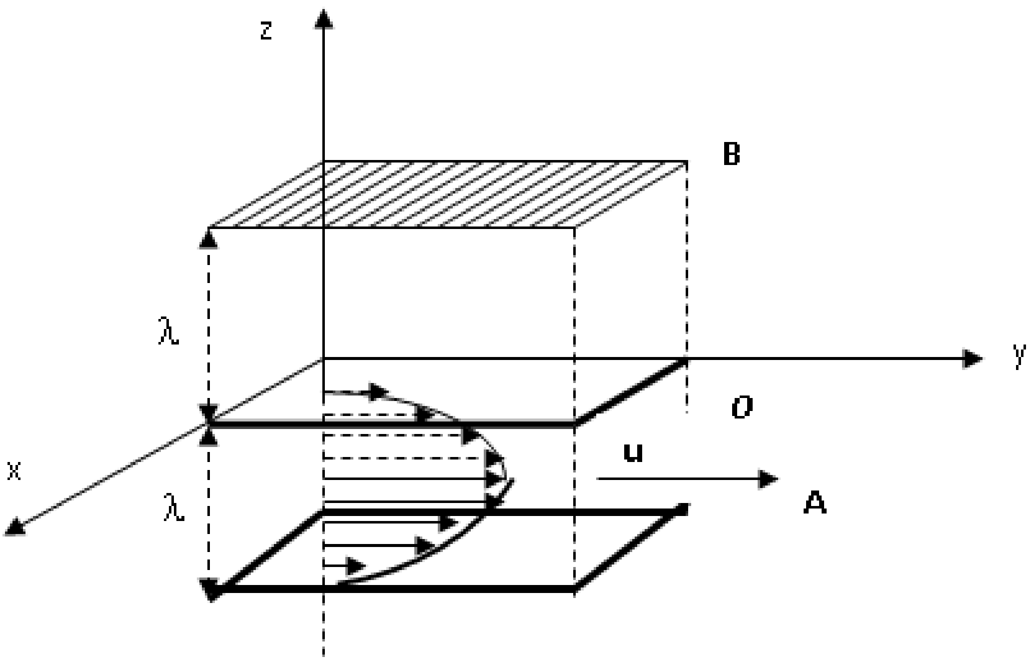
$$\boxed{\Psi_G = \frac{1}{6} n \langle \upsilon \rangle (G_A - G_B) = -\frac{1}{3} n \langle \upsilon \rangle \lambda \left(\frac{dG}{dz} \right)}$$

тасымалдаудың жалпы теңдеуі (10)

$$\boxed{\vec{j}^{\,n} = n\vec{\upsilon}}$$

бірлік ауданнан бірлік уақытта өтетін молекула ағынының тығыздығы.

Диффузия



Суреттегі жазықтықтар орналасқан көлемнің барлық жерінде қысым бірдей, температура тұрақты болса, онда молекулалардың ағынының тығыздығы үшін (10)-ші теңдеуді мына түрде жазамыз:

$$\Psi_{ni} = j_{iz} = -\frac{1}{3}\langle \upsilon_i \rangle \lambda \frac{dn_i}{dz} \qquad (12)$$

$$j_i = -\frac{1}{3}\langle \upsilon_i \rangle \lambda \frac{dm_{0i}n_i}{dz} = -\frac{1}{3}\langle \upsilon_i \rangle \lambda \frac{d\rho_i}{dz} \qquad (13)$$

Егер dn_i / dz және $d\rho_i / dz$ градиенттері бірге тең болса

$$D = \frac{1}{3}\langle \upsilon \rangle \lambda \qquad (14)$$

Алдыңғы теңдеулерді пайдаланып

$$j_{iz}^{n} = -D_i \frac{dn_i}{dz} \qquad (15)$$

$$j_{iz}^{m} = -D_i \frac{d\rho_i}{dz} \qquad (16)$$

Газ қоспасындағы диффузиялық ағын ∇n немесе $\nabla\rho$ ∇C концентрация градиентіне тура пропорционал және оған қарсы бағытта өтеді:

$$j_i^n = -D_i \, grad n_i$$

$$j_i^m = -D_i \, grad \rho_i \qquad (17)$$

$$j_i = -\rho D_i \, grad c_i$$

$$c_i = \rho_i / \rho$$

i компоненттің салыстырмалы концентрациясы

ρ_i -i компоненттің парциалдық тығыздығы

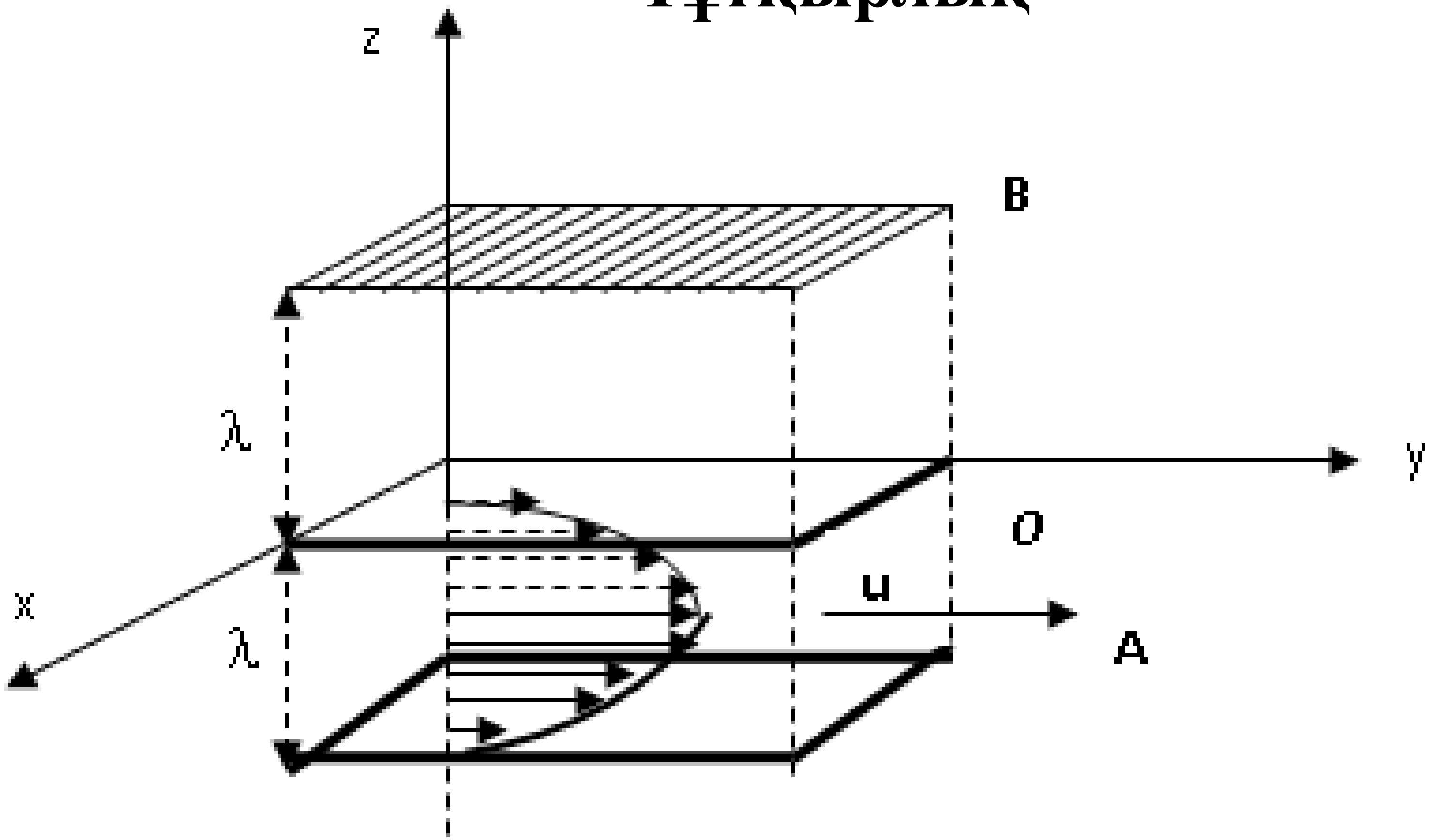
D_i- i компоненттің парциалдық диффузия коэффициенті.

Диффузиялық ағын векторлық шама, сондықтан былай анықталады:

$$\vec{j}^{\,m} = -D\,grad\rho \qquad (18)$$

(15)-(18) өрнектерді *Фиктің бірінші заңы* деп атайды.

Тұтқырлық



Барлық нақты газ бен сұйықтарға тән қасиет оның *тұтқыр* болуы немесе *ішкі үйкелістің* болуы. Егер А және О немесе О және В жазықтықтармен шектелген аралықта газ (сұйық) ағысы Y бағытта байқалса, онда газ ағынының жылдамдығы қабаттарды бөліп тұрған бетке перпендикуляр z бағытында қабаттан қабатқа өзгеріп отырады, демек $\vec{u} = \vec{u}(z)$

Суреттегі қабаттар дөңгелек тұтіктің ойша алынған қабырғаларының беті деп есептесек, онда кез келген қабаттың радиусы бойындағы жылдамдық былай өзгеретінін көрсетуге болады:

$$u = u_0\left(1-\frac{r^2}{R^2}\right) \qquad (1)$$

түтіктің радиусы

түтіктің ортасындағы жылдамдық

түтіктің ортасынан r қашықтықтағы жылдамдық

Екі қабатының арасындағы шекарада *ішкі ұйкеліс күші*

$$F = -\eta \frac{du}{dz} \qquad (2)$$

Импульс ағынының тығыздығы

$$\Psi_{nmu} = -\frac{1}{3}\langle \upsilon \rangle \lambda n m_0 \frac{du_y}{dz} \qquad (3)$$

(2)-ші өрнекті (3)-пен салыстырып, тұтқырлық коэффициентін анықтайтын формуланы мына түрде жазамыз:

$$\eta = \frac{1}{3} m_0 n \langle \upsilon \rangle \lambda = \frac{1}{3} \rho \langle \upsilon \rangle \lambda \qquad (4)$$

(4)-ші формула бойынша элементар кинетикалық теориясы бойынша тұтқырлық коэффициенті қысымға тәуелсіз болады.