

Жылуфизика және техникалық физика
кафедрасы

КӨПКОМПОНЕНТТІК ГАЗ КОСПАСЫНДАҒЫ ДИФФУЗИЯЛЫК ТҰРАКСЫЗДЫҚ

Дәріскер:
Асембаева М.К.



1.1 Диффузия ағыны. Фик заңы

Әртекті газдарда диффузия құбылысы газдың біртекті құрамын орнату бағыттылығын білдіреді. Затты құрайтын атомдар мен молекулалардың жылулық қозғалысы нәтижесінде уақыт пен кеңістіктегі байқалатын заттың қайта бөлініп үлестірілуін диффузия деп айтады. Диффузия молекулалардың жылулық қозғалысы тудыратын қайтымсыз процесс. Әдеттегі диффузияны концентрация градиенті болуы себебінен массаның (заттың) бір аймақтан екіншіге тасымалдауы деп қарастырады.

Диффузияның негізгі эмпирикалық заңы, Фик заңы, изотропты реакцияға түспейтін сыртқы күштер әсер етпейтін изотермдік қоспалар үшін диффузия жылдамдығы мен тығыздық градиенті арасында сызықтық қатынасты тағайындайды, пропорционалдық коэффициенті ретінде диффузия коэффициенті алынады. Демек, газ қоспасындағы i - компоненттің \vec{j}_i диффузиялық ағыны c_i концентрация градиентіне $grad c_i$ —ға пропорционал [1-5]:

$$\vec{j}_i = -D_i grad c_i , \quad (1.1)$$

мұндағы \vec{j}_i - диффузиялық ағын i —заттың, яғни бірлік аудан арқылы бірлік уақытта тасымалданған зат мөлшері; c_i — диффузия кезінде тасымалданған (диффундирленген) i -компоненттің (заттың) концентрациясы, D_i — пропорционалдық коэффициент, физикалық тұрақты, диффузия коэффициенті

И.Пригожиннің теоремасы бойынша механикалық тепе-теңдіктегі еркін санақ жүйесіне қатысты \vec{j}_i диффузиялық ағынды былай анықтайды [2]:

$$\vec{j}_i^a = \rho_i (\vec{v}_i - \vec{v}^a), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.2)$$

мұндағы v^a - санақ жүйесінің еркін жылдамдығы, ρ_i - i компоненттің тығыздығы, демек бірлік көлемнің массасы.

Диффузия процесін қарастырғанда санақ жүйелерінің әр түрлі жылдамдықтарын қолданады. Олардың барлығы компоненттердің v жылдамдықтарының орташа есептелгені ретінде мына түрде жазылады:

$$\vec{v}^a = \sum_{i=1}^n a_i \vec{v}_i, \quad \left(\sum_{i=1}^n a_i = 1 \right), \quad (1.3)$$

мұндағы a_1, a_2, \dots, a_n - нормаланған шамалар.

Егер \vec{j}_i диффузиялық ағын масса центрі қозғалысына қатысты анықталатын болса, онда нормаланған шаманың орташасын есептегенде біз c_i массалық концентрацияны таңдаймыз:

$$c_i = \frac{\rho_i}{\rho}, \quad \left(\sum_{i=1}^n \rho_i = \rho \right), \left(\sum_{i=1}^n c_i = 1 \right). \quad (1.4)$$

Онда i заттың диффузиялық ағыны масса центрінің қозғалысына қатысты

$$\vec{j}_i = \rho_i (\vec{v}_i - \vec{v}), \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (1.5)$$

мұндағы ρ_i - i компоненттің тығыздығы, v_i - i компоненттің диффузиялық жылдамдығы, v - зат элементінің массалар центрінің жылдамдығы, демек санақ жүйесінің жылдамдығы, массалық жылдамдық, мынаған тең болады:

$$\vec{v} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i \vec{v}_i}{\rho} = \sum_{i=1}^n c_i \vec{v}_i, \quad \rho = \sum_{i=1}^n \rho_i - \text{ТОЛЫҚ ТЫҒЫЗДЫҚ}, \quad c_i = \frac{\rho_i}{\rho}. \quad (1.6)$$

(1.5) және (1.6) теңдеулерден *n* диффузиялық ағындардың *n*–1- ғана тәуелсіз болады, демек

$$\sum_{i=1}^n \vec{j}_i = 0. \quad (1.7)$$

Фик заңың (1.1) теңдеу түрінде тек белгілі жағдайларда, демек белгілі шарттарды сақтағанда қолдануға болады, өйткені ол бақылаудың жуық нәтижесі. Орташа массалық жылдамдықпен қозғалатын координат жүйесіне қатысты газдың *i* молекулаларының ағынының жылдамдығы *i* компоненттің *диффузиялық жылдамдығы* болады, демек

$$\vec{V}(r, t)_i = (\vec{v}_i - \vec{v}). \quad (1.8)$$

Диффузиялық жылдамдық осы айтылғаннан молекулалардың жылулық қозғалысының орташа жылдамдығы болатындығы айқын. *i* молекуланың жылулық жылдамдығы деп *v* орташа массалық жылдамдықпен қозғалатын координат жүйесіне қатысты жылдамдығын айтады, былай анықталады:

$$\vec{V}_i(\vec{v}_i, \vec{r}, t) = (\vec{v}_i - \vec{v}). \quad (1.9)$$

Кейбір жағдайда молекулалардың орташа сандық жылдамдығын қолданады:

$$\bar{w}_i(\vec{r}, t) = \frac{1}{n} \sum_i n_i \bar{v}_i, \quad (1.10)$$

мұндағы $n = \sum_i n_i$ - қоспаның молекулалар санының жалпы тығыздығы. Осы $\bar{w}_i(\vec{r}, t)$ жылдамдық орташа массалық жылдамдықпен былай байланысты:

$$\bar{w}_i(\vec{r}, t) = v(\vec{r}, t) + \sum_i \frac{n_i}{n} \vec{V}_i. \quad (1.11)$$

Ең алдымен Фик заңы қозғалмайтын ортадағы молекулалық тасымалдауға қатысты. Әр түрлі есептерде қарастырылатын молекулалардың еркін жүру жолының орташа ұзындығы барлық сипатты ұзындықтардан кіші болуы тиіс. Бұл шарт кнудсен аймағында газдың төменгі қысымдарында бұзылады. Изотермдік процестерде тәуелсіз диффузия жуықтауында Фик заңы дұрыс орындалады. Тәуелсіз диффузия жуықтауы тек үш жағдайда қатаң дәлелденуі мүмкін: бинарлық диффузияға, демек екі компоненттен тұратын заттың қоспасына; сұйытылған қоспа үшін, яғни бір компонентінің концентрациясы екіншісінен едәуір жоғары және қоспаның барлық компоненттерінің диффузия коэффициенті бірдей деп есептелетінде. Егер бұл шарттар орындалмаса, онда тым күрделі изотермдік емес және көпкомпоненті диффузия құбылыстары пайда болады, оларды егжей-тегжейлі келесі тарауларда қарастырамыз. Тәуелсіз диффузия жуықтауында әр компоненттің ағыны тек өзінің концентрация градиентіне тәуелді деп қабылданады.

Онда Фик заңы (1.1) - формула бойынша мына түрде жазылады [5]:

$$\vec{j} = -Dgradc + \vec{v}c . \quad (1.12)$$

Мұндағы \vec{v} -қоспа ағынының орташа массалық жылдамдығы, немесе орташа көлемдік жылдамдығы немесе бөлшектердің ағынын анықтайтын орташа мольдік жылдамдық болуы мүмкін. Идеал газдар үшін орташа көлемдік жылдамдық орташа мольдік жылдамдықпен дәл келеді. Егер концентрациялар мен ағындар мольдік өлшемді болса, онда бинарлық диффузия үшін (1.12) теңдеу түріндегі Фик заңы кез келген концентрацияларда орындалады. Бірақ, бұл кезде қоспаның \vec{v} орташа көлемдік жылдамдығын қолданады.

Тасымалдау процестерінің мәселелерін гидродинамиканың теңдеулер жүйесімен бірлесіп қарастырғанда орташа массалық жылдамдықпен байланысты санақ жүйесін қолдану ыңғайлы. Ал қоспаның концентрациялары мен ағындарын мольдік емес, массалық өлшемдермен келтіру керек. Тәуелсіз диффузия жуықтауында барлық жағдайда газдар қоспасы ағынының орташа массалық жылдамдығы мен орташа көлемдік жылдамдығы айырмашылығы ескерілмейді, демек Фик заңын (1.12) теңдеу түрінде қолдануға болады.