

Жылуфизика және техникалық физика
кафедрасы

КӨПКOMPONENTTİK ГАЗ КОСПАСЫНДАҒЫ ДИФФУЗИЯЛЫК ТҰРАКСЫЗДЫҚ

Дәріскер:
Асембаева М.К.



1.2 Сиретілген газдардың элементар кинетикалық теориясы. Диффузия коэффициенті

Сиретілген газдардың элементар кинетикалық теориясында газ молекулалары өткізбейтін серпімді сфералар (шарлар) деп қарастырылады және екі молекуланың өзара соқтығысуы ескеріледі. Осы жағдай молекуланың еркін жүру жолының орташа ұзындығы деген шаманы теорияға кіргізуге мүмкіндік береді. Бұл шама молекуланың өзара соқтығысулар арасында жүріп өтетін орташаланған қашықтығына тең болады.

Фик заңы бойынша D_i диффузия коэффициенті c_i бөлшектер концентрациясының градиенті бірге тең болғанда сан жағынан i молекулаларының ағынының тығыздығына тең болады. Ағын тығыздығы векторының бағыты градиентке қарама-қарсы келеді. Қарапайым элементар кинетикалық теорияда D_i тасымалдау коэффициенті молекулалардың еркін жүру жолының орташа ұзындығының шамасы арқылы анықталады [1-5]:

$$D_i = \frac{1}{3} v l = \xi \frac{\sqrt{\pi m k T}}{\pi \sigma^2} \frac{1}{\rho}, \quad (1.13)$$

мұндағы $v = \sqrt{8kT / \pi m}$ - молекулалардың орташа арифметикалық жылдамдығы, l - еркін жүру жолының орташа ұзындығы, $\xi = \frac{3}{8}$, $\rho = mn = \frac{pm}{kT}$ - газдың тығыздығы, m - молекула массасы, k - Больцман тұрақтысы, T - температура, σ - молекула диаметрі.

(1.13) теңдеудің бөліміндегі $\pi\sigma^2$ шама қатты сфералық молекуланың соқтығысу эффективтік қимасы деп аталады. Бұл шама молекуланы қоршаған жорамалдаған сфераның қимасы. Бұл сфераның ішіне ешқандай басқа молекула центрі кіре алмайды. Осы қарапайым элементар кинетикалық теориясында диффузияны, тұтқырлықты және жылуөткізгіштікті еркін жүру жолының орташа ұзындығымен байланысты құбылыстарға жатқызады. Мұнда диффузия коэффициенті температураның $3/2$ дәрежесіне тура пропорционал, яғни $D_i \sim \sqrt{T^3}$, ал $D_i \sim 1/p$, демек қысымға кері пропорционал өзгеретінін көреміз.

Дегенмен нақты газдарда тасымалдау құбылыстарын қарастырғанда еркін жүру жолының орташа ұзындығы арқылы сипаттау жеткіліксіз болады, өйткені теориялық есептеулермен эксперименттік мәліметтер аралығында едәуір ауытқулар байқалады. Фик заңы қозғалмайтын ортадағы молекулалық тасымалдауды сипаттайды, тәуелсіз диффузия жуықтауында изотермдік процестерде орындалады. Тәуелсіз диффузия жуықтауында қоспадағы әр компоненттің ағыны өзінің концентрациясының градиентіне тәуелді. Жалпы жағдайда диффузиялық ағындар қоспадағы барлық компоненттердің градиенттеріне, температура мен қысымға тәуелді болады. Тұйықталған сауытта диффузия процесінде газ қоспасы механикалық тепе-теңдікте болады, сондықтан сыртқы күштер әсері болмағанда жүйенің қысымы тұрақты. Сонымен, (1.1) және (1.12) Фик заңы изотермдік-изобарлық диффузияны сыртқы күштер өрісінің әсері болмағанда сипаттайды.

1.3 Қысым мен температураның газдардағы диффузияға әсері

Төменгі және орташа қысымдар аралығында газдардың диффузия коэффициенті қысымға кері пропорционал өзгереді. Мұндай диффузия коэффициентінің қысымға тәуелділігі эксперимент бойынша дәлелденеді және сиретілген газдардың теорияларымен сипатталады.

Неғұрлым тәжірибеде қысым атмосфералық қысымнан жоғары болса, сөғұрлым диффузия коэффициентінің қысымға кері пропорционалдығы орындалмайды [1, 3, 6]. Метанның өздік диффузия коэффициентін $0,8 < T_r < 1,9$ келтірілген температура аралығында және $0,3 < p_r < 7,4$ келтірілген қысым аралығында тәжірибеде зерттеген. Келтірілген температура мен қысым былай анықталады:

$$T_r = \frac{T}{T_k}, \quad p_r = \frac{p}{p_k}, \quad (1.14)$$

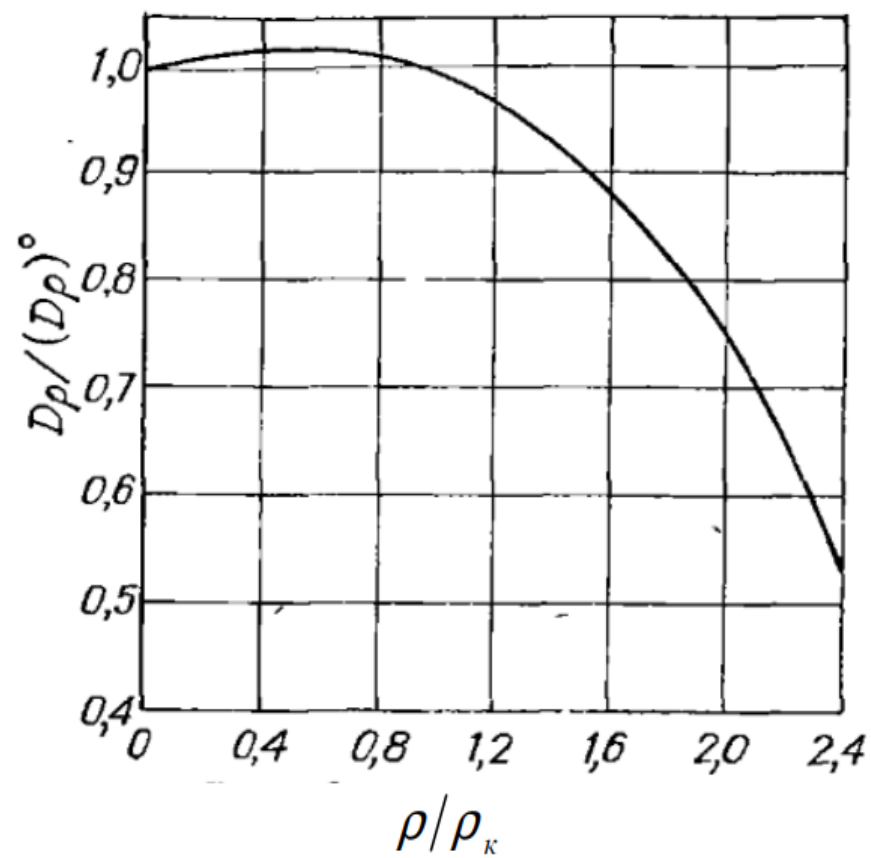
мұндағы T_k , p_k - метанның критикалық температурасы (190,6 К) мен қысымы (45,4 атм), T және p тәжірибе қысымы.

Қарастырылған температура мен қысым аралығында келтірілген метанның $\frac{D\rho}{(D\rho)^0}$ өздік диффузия коэффициентінің келтірілген ρ_r тығыздыққа тәуелділігі келесі түрде тағайындалған:

$$\frac{D\rho}{(D\rho)^0} = 1 + 0,053432\rho_r - 0,030182\rho_r^2 - 0,029725\rho_r^3, \quad (1.15)$$

мұндағы D – өздік диффузия коэффициенті T температура және p қысымда, ρ - тығыздық, $(D\rho)^0$ - төменгі қысымдағы T температурадағы мәндердің көбейтіндісі, $\rho_r = \rho/\rho_k$ - келтірілген тығыздық, ρ_k - критикалық тығыздық.

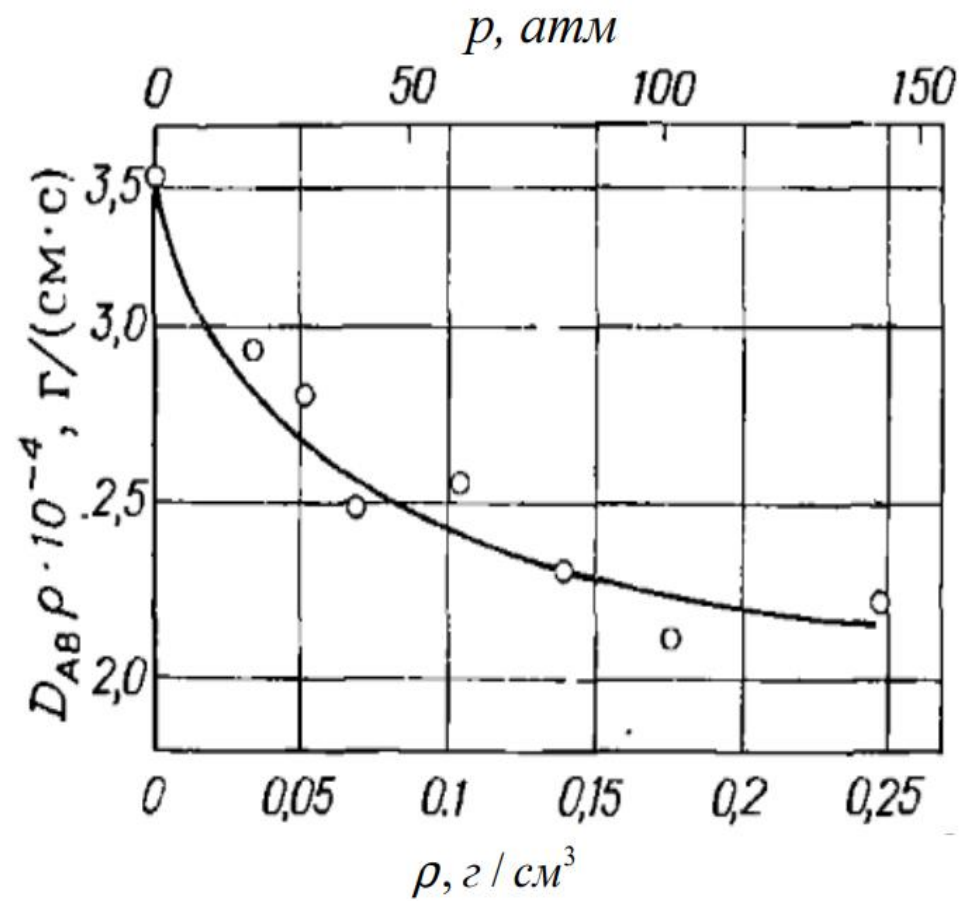
(1.15) теңдеудің графигі 1.1-суретте көрсетілген.



1.1-сурет. Метанның келтірілген диффузия коэффициентінің келтірілген тығыздығынан тәуелділігі

Осы графиктен мәндері $\rho_r=1$ -ден кіші болғанда тығыздықтың әсері әлсіз екенін байқаймыз, сондықтан $D\rho \approx (D\rho)^0$. Эксперимент мәліметтері де $\rho_r < 1$ кезінде $\frac{D\rho}{(D\rho)^0}$ қатысы бірге жуық екенін дәлелдейді. Келтірілген тығыздық $\rho_r > 1$ -ден жоғары болғанда, (1.12) өрнекке сәйкес $D\rho$ көбетіндісінің мәндері елеулі төмендейді. Бұл кездегі газ тығыз күйде болады. Мұндай қысым мен тығыздыққа тәуелділікті басқа да ғалымдар [7] эксперименттік зерттеулерінде бақылаған. Сонымен, өздік диффузия үшін келтірілген тығыздық бірден кіші болғанда $D\rho$ көбетіндісінің мәндері тұрақты дерлік деуге болады. Келтірілген тығыздық аса жоғары кезінде $D\rho$ көбетіндісінің мәндері ρ_r өскен сайын тез кеми бастайды.

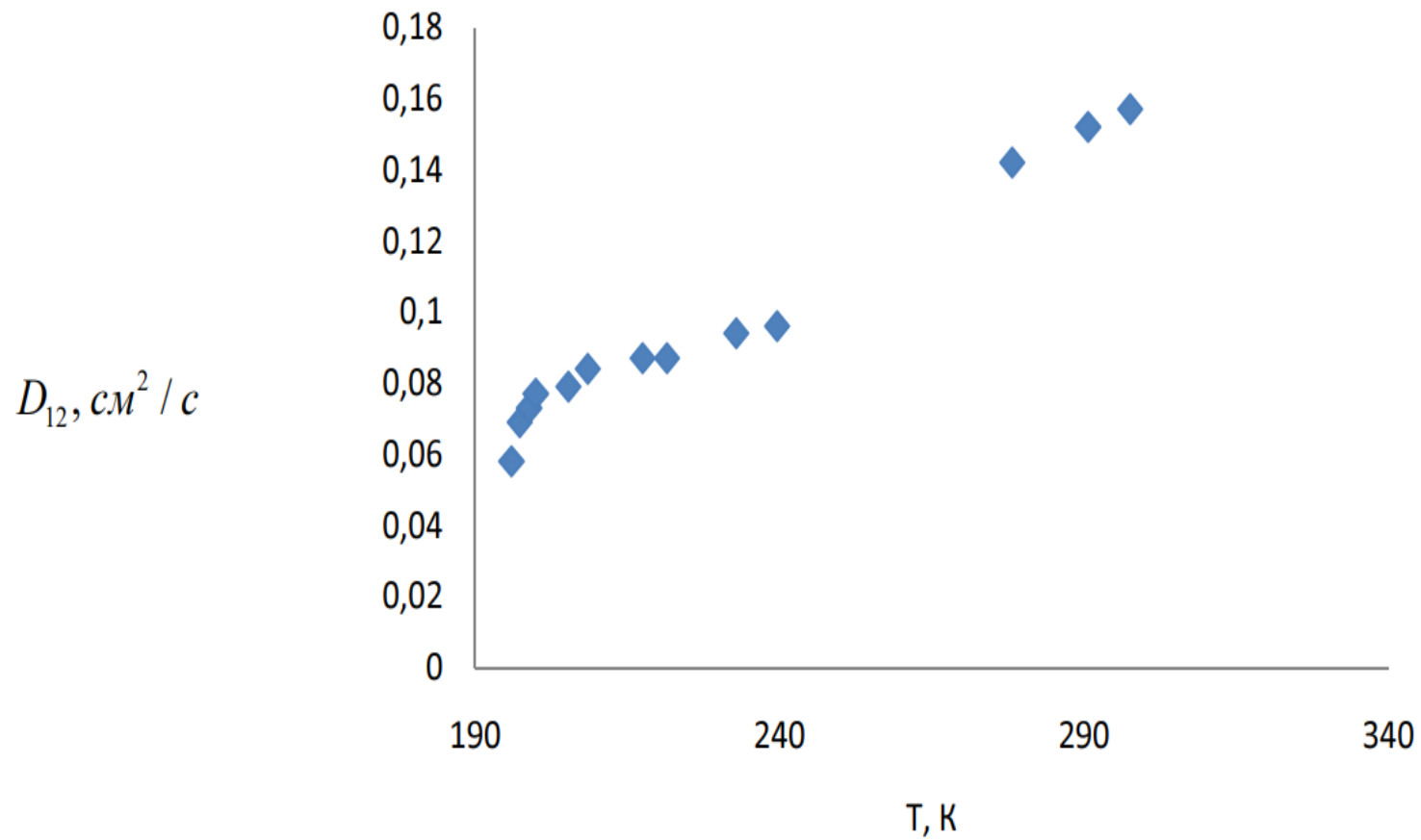
Бинарлық қоспаның D_{12} өзара диффузия коэффициентінің қысымға тәуелділігін зерттеген авторлар [7] $D_{12}\rho_{12}$ көбейтіндісінің мәндері тіпті



1.2 сурет. Аргон – метан жүйесінің $D_{12}\rho$ көбейтіндінің тығыздық пен қысымға тәуелділігі

1.1 кесте. Төменгі температураларда және $p=0,1$ МПа қысымда аргон-көмірқышқыл газ жүйесінің өзара диффузия коэффициенттері

<i>Ar-CO₂ жүйесі</i>		
<i>P/c</i>	<i>T, К</i>	<i>D₁₂⁰, см² / с</i>
1	196,0	0,058±0,001
2	197,3	0,069±0,001
3	198,9	0,073±0,002
4	200,0	0,077±0,002
5	205,3	0,079±0,002
6	208,5	0,084±0,002
7	217,5	0,087±0,002
8	221,5	0,087±0,002
9	232,9	0,094±0,003
10	239,6	0,096±0,003
11	278,2	0,142±0,003
12	290,7	0,152±0,004
13	297,6	0,157±0,004



1.3 сурет. $Ar-CO_2$ жүйесінің өзара диффузия коэффициентінің температураға тәуелділігі, $p=0.1$ МПа

1.3-суреттен көретініміз, көмірқышқыл газының қанығу сызығының жақын маңында диффузия процесі баяулайтынын байқаймыз және D_{12}^0 шамасы кенет төмендейді. Температура 196 К –де D_{12}^0 мәні жалпы температуралық тәуелділік қисығынан төмен жатыр ($\approx 15\%$ жуық). Бұл ауытқу тәжірибе қателігінің (2-3%) шамасына сәйкес келмейді. Температура 220 К төмендеген сайын тәжірибелік D_{12}^0 мәндері теориялық есептегендермен үйлеспейді. Әсіресе, үлкен ауытқулар көмірқышқыл газының қанығу сызығына жанасатын температура аймағында байқалады.

Тәжірибеде қысым немесе температураны өзгерте отырып көмірқышқыл газының қанығу сызығының маңайында D_{12} өзара диффузия коэффициентінің температуралық тәуелділігінің сипаттамасын талдау үшін $Ar-CO_2$ жүйесін 0,2; 0,3; 0,5 МПа зерттедік. Өлшеулер нәтижелері 1.2÷1.4 кестелерде келтірілген.