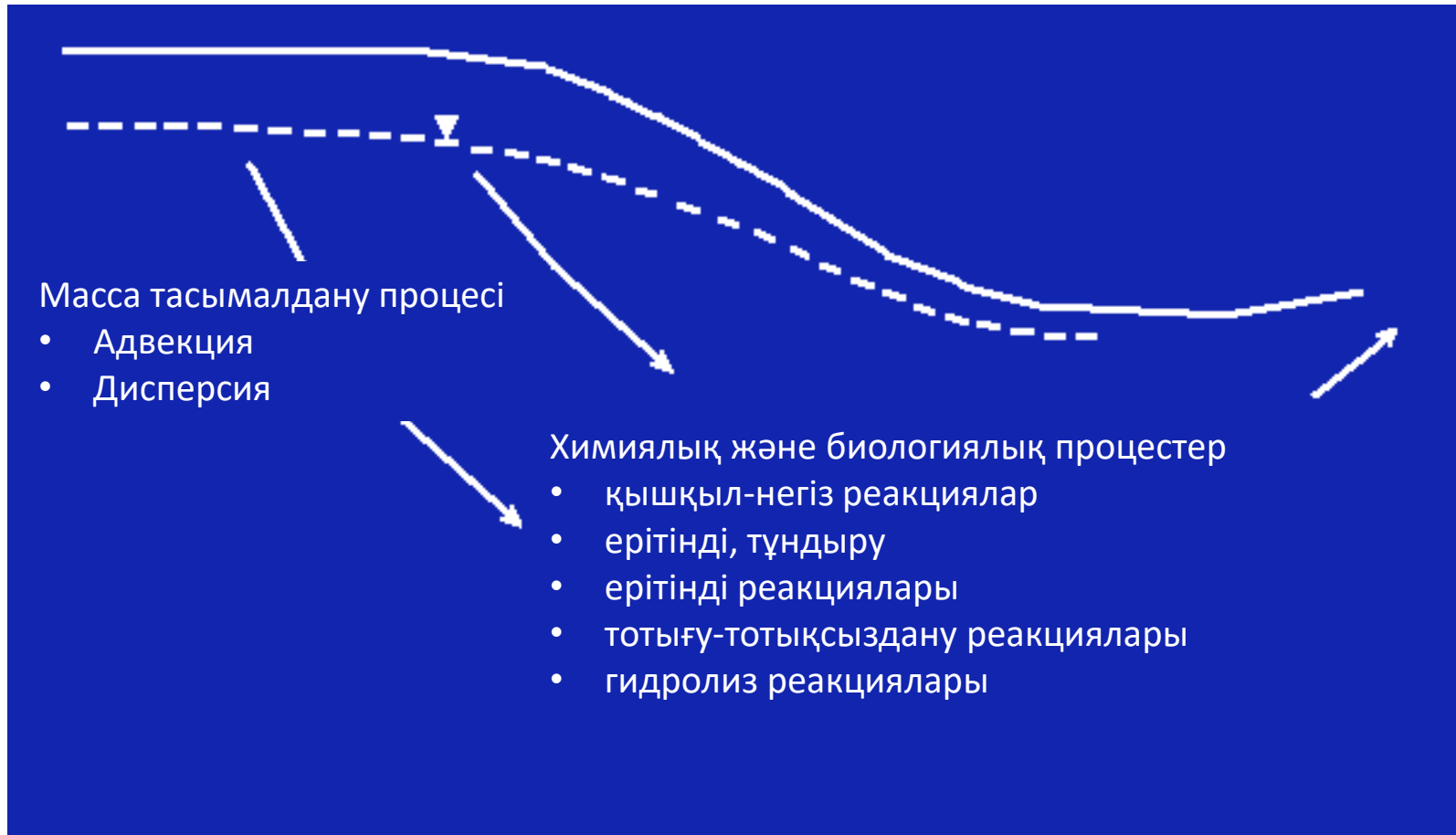


**ДИФФУЗИЯ.
ГИДРОДИНАМИКАЛЫҚ
ДИСПЕРСИЯ**

Масса тасымалдану процесі



Адвекция

- **Адвекция** - бұл судың ағысына байланысты массаның тасымалдануы.
- Тасымалдау бағыты мен жылдамдығы жер асты суларының ағынымен сәйкес келеді.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = -u \frac{\partial C}{\partial x} + D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

Диффузия

Диффузия – бөлшектің (молекула, атом, ион, т.б.) жылулық қозғалысының әсерінен затты жүйенің бір бөлігінен екінші бөлігіне *тасымалдайтын процесс*. Атомдар мен молекулалардың жылулық қозғалысы хаосты, сол себепті бір заттың ішінде **диффузия** бөлшектерді бір жерден екінші жерге ретсіз тасымалдайды. Алайда, егер жүйе екі не одан да көп заттардан тұратын болса, және олардың концентарциясы әр нүктеде бірдей болмаса онда концентрацияны теңестіруге ұмтылатын **бағытталған диффузиялық ағыс** орын алады.

Алғаш Диффузия заңдылығын **Фик** (Fick's law) ашты. Бірінші заңы – *заттың диффузиялық ағысы оның концентрациясының градиентіне пропорционал және кему бағытын қарай бағытталған*

$$J_d = - D \cdot \text{grad}C$$

Мұндағы J_d – диффузиялық ағыс, яғни диффузия арқылы тасымалданатын бірлік ауданнан өтетін заттың мөлшері

J_d – диффузиялық ағыс [моль. $L^{-2} T^{-1}$],

D - диффузия коэффициенті [$L^2 T^{-1}$],

C – концентрация [моль. L^{-3}].

Диффузия

X өсі бойымен 1D қозғалыс үшін

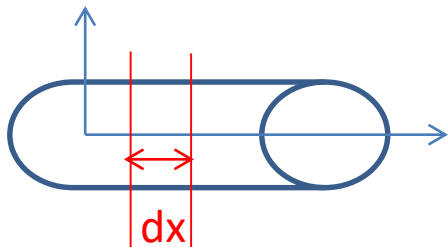
$$J_D = -D \frac{dC}{dx}$$

Декарт координаталар жүйесінде

$$J_D = -D \left(\frac{dC}{dx} + \frac{dC}{dy} + \frac{dC}{dz} \right)$$

Егер J_D уақыт бойынша өзгерсе ортада диффузияланатын заттың мөлшері көбейеді немесе азаяды.

X өсі бойымен 1D диффузия жағдайында ортаның бекітілген нүктесінде концентрацияның уақытқа байланысты өзгеру заңдылығын анықтайық. Ауданы 1см^2 болатын цилиндрдегі диффузияны қарастырамыз. Кішкентай аудандағы заттың



мөлшерінің уақыт бойынша өзгерісі кірген және шыққан ағыстардың айырмашылығына тең

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} dx = -D \frac{\partial C(x, t)}{\partial x} + D \frac{\partial C(x + dx, t)}{\partial x}$$

Диффузия

$C(x + dx, t)$ -ны dx дәрежесі бойынша қатарға жіктеу арқылы Фиктің екінші заңының теңдеуін аламыз.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2}$$

3D жағдай үшін

$$\frac{\partial C(x, t)}{\partial t} = D \left(\frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} \right)$$

Егер бастапқы және шекаралық шарт берілсе осы теңдеуді интегралдап кез келген уақытта ортадағы концентрацияның таралуын анықтауға болады.

Диффузия

Кеуекті ортадағы диффузия еркін ортадағы диффузия сияқты заңдылықтарға ие. Көлденең қима ω арқылы өтетін L бағытындағы Q диффузиялық ағын Фик заңымен анықталады:

$$Q_D = -D_M \omega \frac{\partial c}{\partial x}, \quad (***)$$

D_M –кеуектегі молекулярлық диффузия коэффициенті.

Диффузия ағыс градиенті жоқ және кеуектердегі сұйық статикалық жағдайда болғанда пайда болады. Жерасты суы жағдайында диффузия **өте баяу процесс**.

Диффузия

Кейбір әдебиеттерде Диффузия теңдеуі мына түрде кездеседі:

$$Q_D = -D_M^* n \omega \frac{\partial c}{\partial l}.$$

мұнда көлденең қиманың ауданы кеуектілік қимасы аумағында беріледі. $nD_M^* = D_M$

Құмды орта үшін: $D_M = \chi n D_M^0$

Мұндағы D_M^0 - еркін ортадағы молекулярлық диффузия коэффициенті, реті 10^{-4} м²/сут; χ - кеуекті ортадағы фильтрация жолының ирелеңдігін сипаттайтын параметр (Кликенберг тәжірибесі бойынша цементтелмеген құм үшін $\chi = 0,5-0,7$, ал цементтелген құм үшін $\chi = 0,25-0,5$).

Диффузия

Сазды жыныстарда диффузиялық ағын қос электр қабатындағы иондардың қозғалғыштығының төмендеуіне және қабырға қабаттарындағы құрылымдық сұйықтықтардың жоғары тұтқырлығына байланысты қабырғаға жақын сұйық қабаттардағы диффузияның тежелуімен қиындайды. Бұл жағдайда η_M түзету коэффициенті енгізіледі:

$$D_M = \chi \eta_M n D_M^0$$

бетон балшықтары үшін $\eta_M = 0,2$ және морена және лесс тәрізді саздақтар үшін $\eta_M = 0,4-0,5$.

Тәжірибе жүзінде анықталған мәндер бойынша балшықты жыныстар үшін диффузия коэффициентінің реті 10^{-5} м²/сут. Тығыз жыныстар үшін D_M айтарлықтай төмен болады. Балшық тастар (аргиллит) үшін қысым 305 кг/см² болғанда 10^{-8} м²/сут дейін төмендейді.

Диффузия

(***) түріндегі Фик заңы изотермиялық процестер үшін және тәуелсіз диффузия үшін орынды.

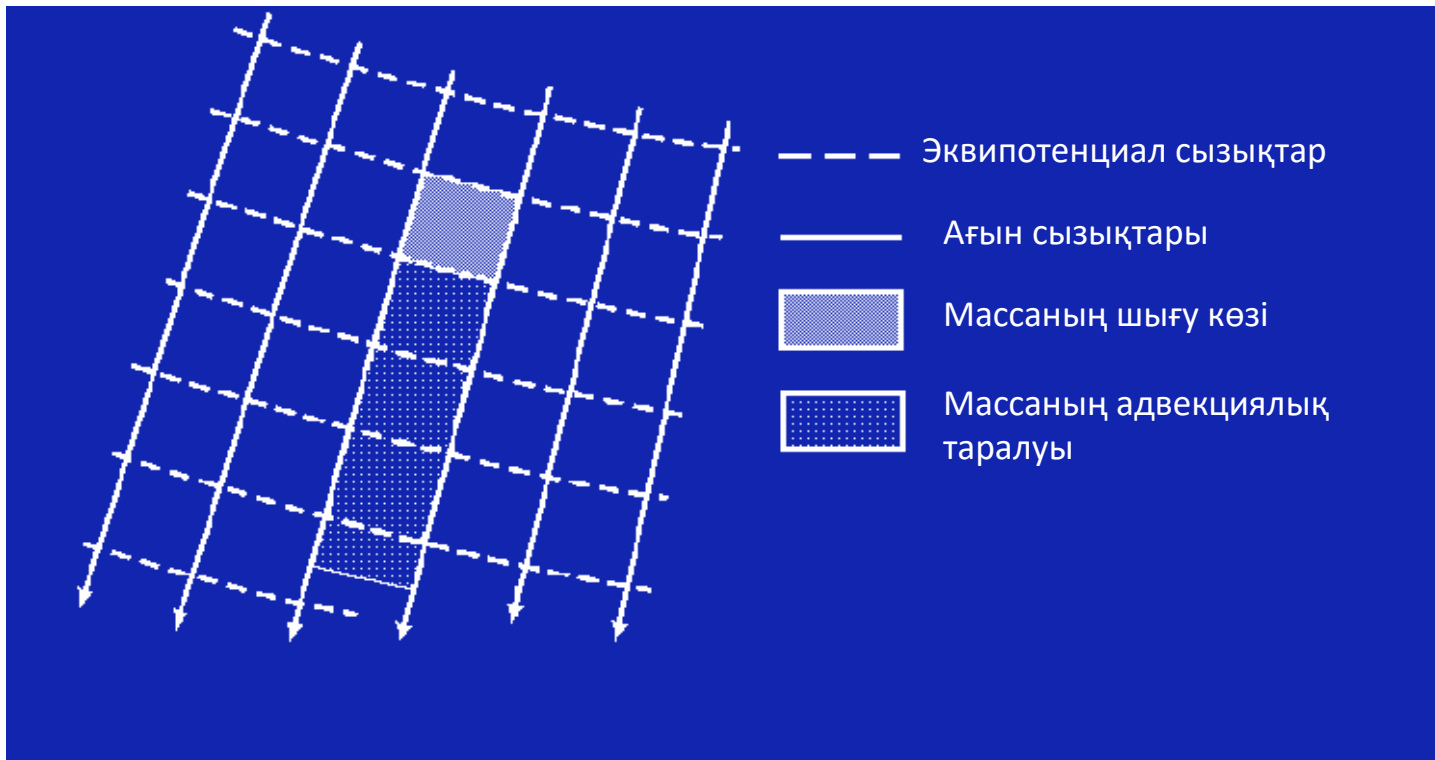
Фильтрацияның өте үлкен жылдамдықтарында диффузиялық-конвективті тасымалдау топырақтың кеуектеріндегі су бөлшектерінің араласуы есебінен күшейеді, бұл жылдамдық өрісінің кеуек ішінде біртекті еместігіне байланысты. Бұл процесс әдетте фильтрациялық немесе гидравликалық дисперсия (гидродисперсия) деп аталады.

Зерттеулер көрсеткендей, гидродисперсия молекулярлық диффузия сияқты тәуелділіктермен анықталады, бірақ бұл жағдайда дисперсия коэффициенті фильтрация жылдамдығының шамасы мен бағытына байланысты болады.

Дисперсия

Дисперсия – механикалық араласу процесі, кеуектер арқылы сұйықтың қозғалуы нәтижесінде пайда болады.

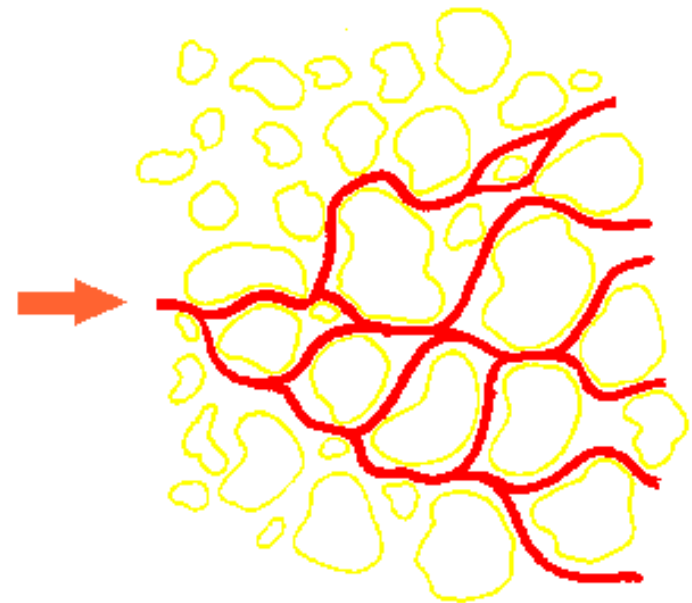
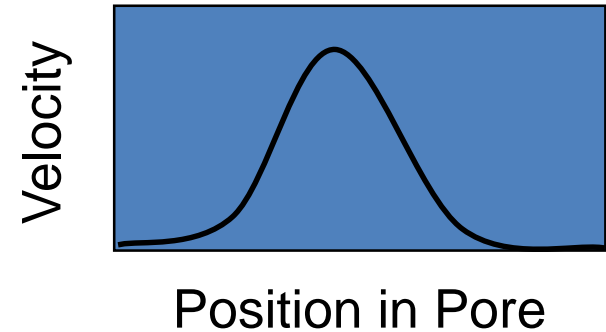
Гидродинамикалық дисперсия диффузия мен дисперсияның қосындысынан тұрады.



Дисперсия концепсиясы

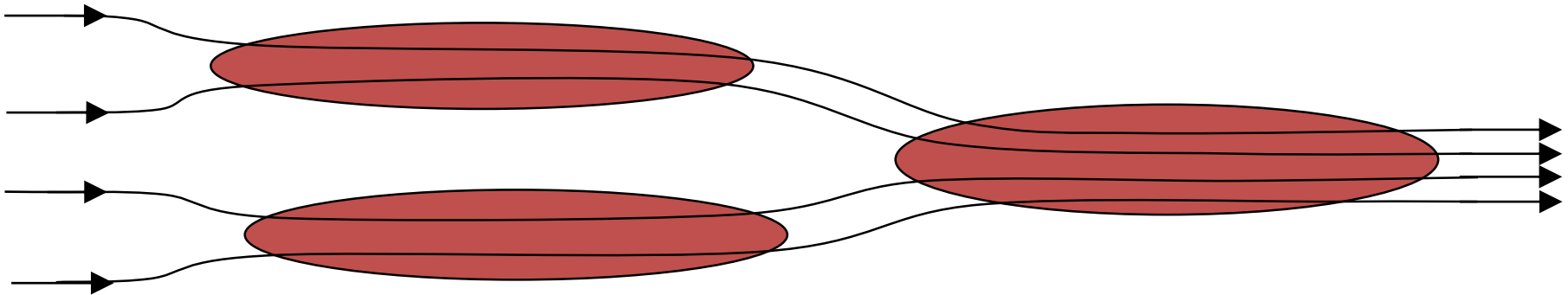
Механикалық дисперсия кеуекті ортаға зат мөлшерін екі түрлі жолмен таратады:

- Микробасштамтағы кеуектердегі жылдамдық айырмашылығы әсерінен
- Кеуектер жүйесіндегі қисықтық салдарынан болатын траектория айырмашылығы әсерінен

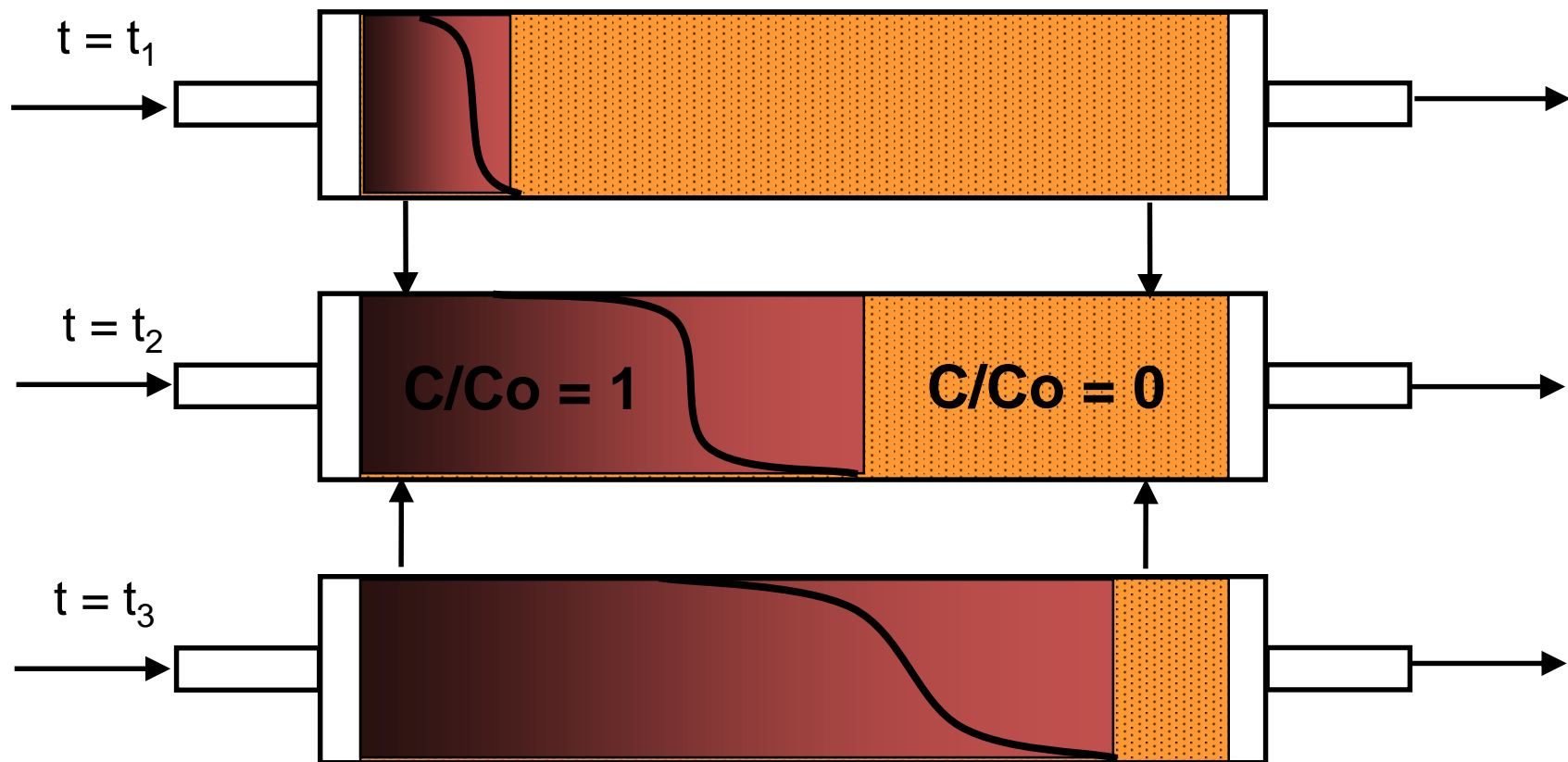


Макроскопиялық Дисперсия

- Ағыс жүйелеріндегі жылдамдық пен қисықтық жолдарының кездейсоқ өзгерістері литологиялық гетерогенділік бойынша үлкенірек масштабта құрылады.
- Гетерогенділік ағыс жүйелердегі **макроскопиялық дисперсияға** жауапты



Бөлшектердің үздіксіз тасымалдануы



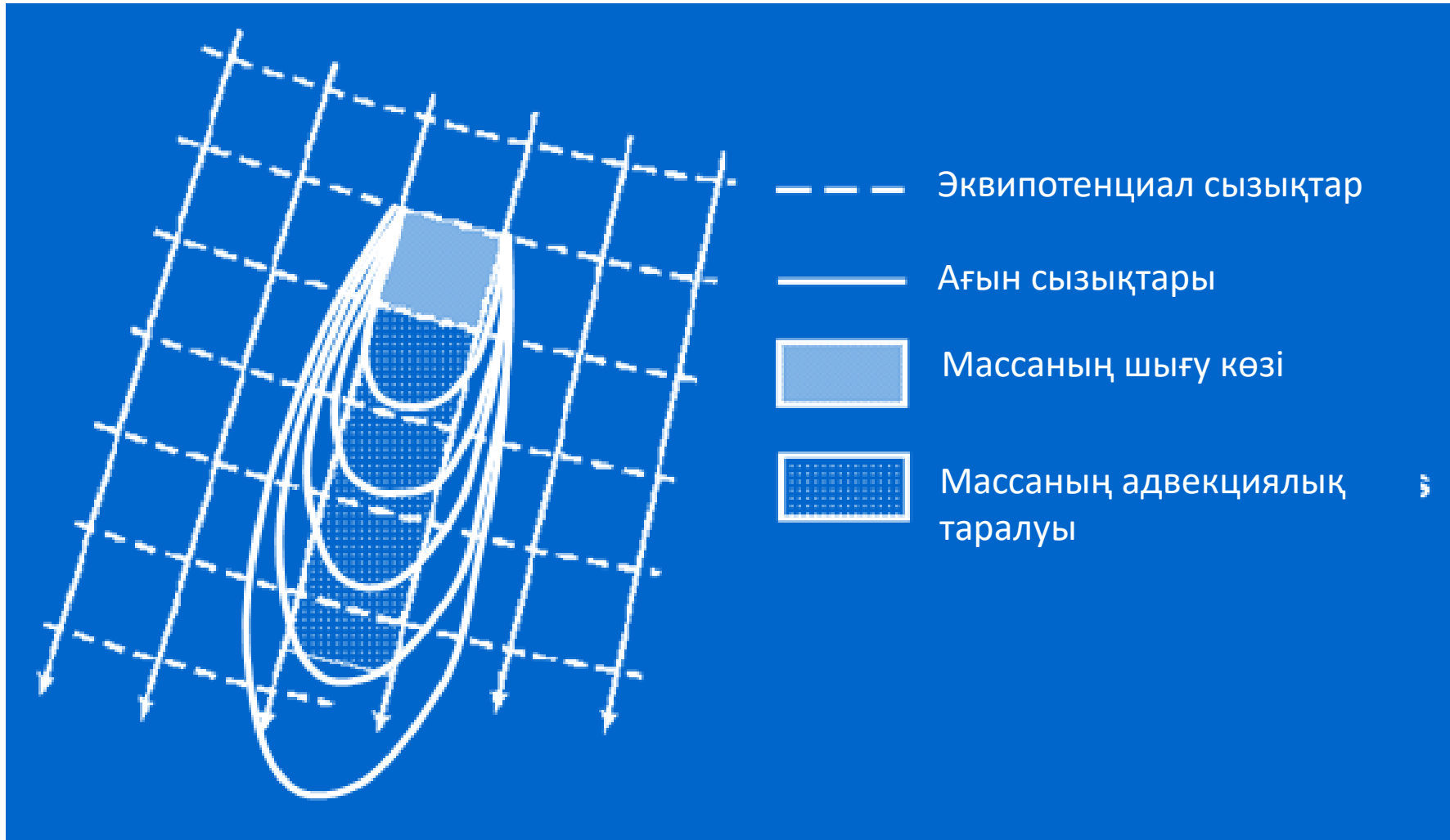
Дисперсия

Гидродинамикалық дисперсия
молекулярлық диффузия мен механикалық
дисперсияның қосындысынан тұрады.

$$D = D_m + D_d$$

- Бойлық дисперсия (D_L) ағыс бағытына параллель
- Көлденең дисперсия (D_T) ағыс бағытына нормаль

БОЙЛЫҚ ЖӘНЕ КӨЛДЕНЕҢ ДИСПЕРСИЯ



БОЙЛЫҚ ЖӘНЕ КӨЛДЕНЕҢ ДИСПЕРСИЯ

Дисперсия коэффициенті былай жазылуы мүмкін:

$$D_L = \alpha_L \cdot v \quad \text{және} \quad D_T = \alpha_T \cdot v$$

мұндағы α_L және α_T бойлық және көлденең дисперсиялылық (dispersivities).

Олардың өлшем бірлігі ұзындық өлшем бірлігіне тең және кеуекті ортаның сипаттаушы қасиеттері.

Олар груттың түріне және фильтрация ағысының бағытына тәуелді. Біртекті ұсақ түйіршікті құм үшін $\alpha_L = 0,1-1$ см, $\alpha_T = 0,05-0,1\alpha_L$. Кейбір тәжірибелік мәліметтерге сүйенсек әктастар мен долмиттерде α_L шамасы 10-100 м болады.

БОЙЛЫҚ ЖӘНЕ КӨЛДЕНЕҢ ДИСПЕРСИЯ

$$D_{xx} = \alpha_L \frac{V_x^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_y^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_z^2}{|\vec{V}|} + D^*$$

$$D_{xy} = D_{yx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_x V_y}{|\vec{V}|}$$

$$D_{yy} = \alpha_L \frac{V_y^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_x^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_z^2}{|\vec{V}|} + D^*$$

$$D_{xz} = D_{zx} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_x V_z}{|\vec{V}|}$$

$$D_{zz} = \alpha_L \frac{V_z^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_x^2}{|\vec{V}|} + \alpha_T \frac{V_y^2}{|\vec{V}|} + D^*$$

$$D_{yz} = D_{zy} = (\alpha_L - \alpha_T) \frac{V_y V_z}{|\vec{V}|}$$

$$|\vec{V}| = \sqrt{V_x^2 + V_y^2 + V_z^2} \quad - \text{ жылдамдық векторының модулі}$$

D^* - молекулярлық диффузия

Молекулярлық диффузия

Кеуекті ортадағы диффузия коэффициенті сұйықтағы диффузия коэффициентінен аз, себебі кеуекті ортада кеуек қабырғаларымен соқтығысу орын алады.

$$J = - D_d \cdot [\text{grad}(nC) + \tau / V]$$

V – орташа химиялық көлем [$\text{моль}^{-1}\text{L}^3$],

n - кеуектілік

τ – кеуекті ортаның қисықтылығы (извилистость)

Шөгінділерге арналған Фик заңы

Бұл теориялық функция практикада қолдануға оңтайландырылып жазылған:

$$J = -D^*_d \cdot n \cdot \text{grad}(C)$$

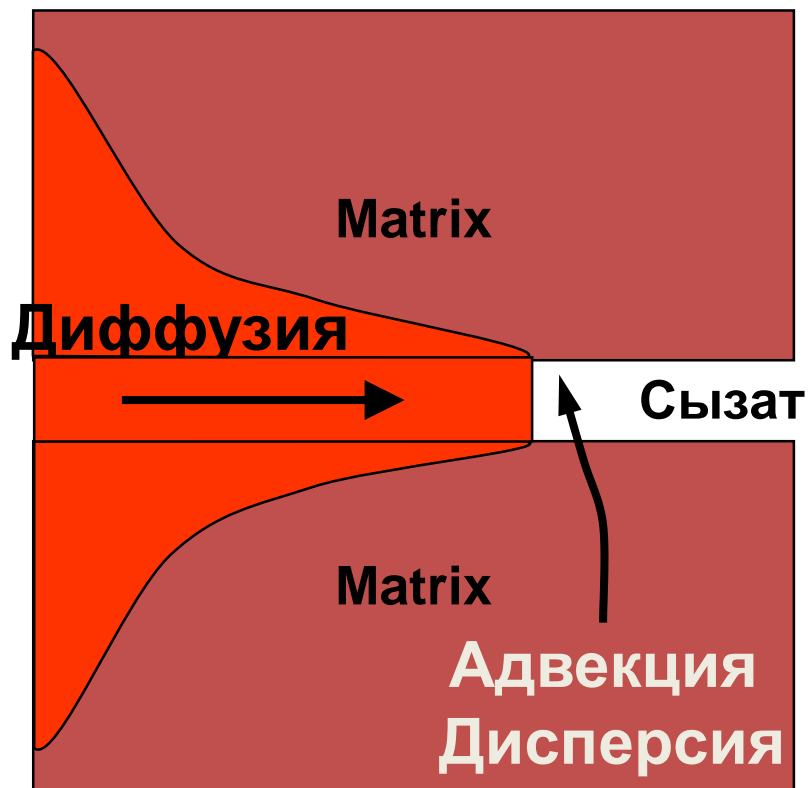
мұндағы D^*_d – қисықтықты (tortuosity) есепке алғандағы диффузия коэффициенті

Көп жағдайда ол осылай жазылады:

$$J = -D'_d \cdot \text{grad}(C) = -u \cdot n \cdot D_d \cdot \text{grad}(C)$$

мұндағы D'_d – эффективті диффузия коэффициенті, D_d – ерітінді ионның өзіндік диффузиялық коэффициенті, n - кеуектілік, ал u - өлшемсіз фактор <бірлік.

Сызатты орта



Болжамдар:

- Адвекция мен дисперсия тек сызатты ортада пайда болады
- Сызаттан кеуекті ортаға қарай диффузия жүруі мүмкін

ПЕКЛЕ САНЫ

- D/D_d диффузия коэффициентіне бөлу арқылы дисперсия коэффициенттерін қалыпқа келтіретін ыңғайлы қатынас.
- $v \cdot d_m / D_d$ - **адвекция** мен **диффузиялық тасымалдау** қатынасын білдіретін өлшемсіз сан Пекле саны (N_{PE}) деп аталады.