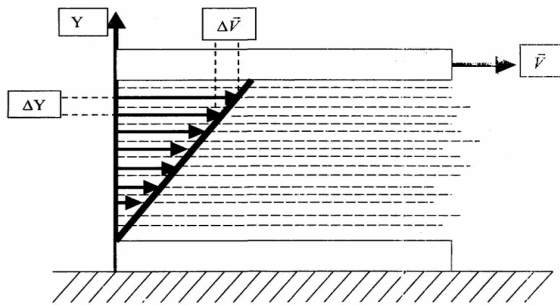


Теориядан қысқаша түсінік

Тұтқырлық (ішкі үйкеліс) деп, аққыш денелердің (сұйық пен газдың) бір қабатынан екінші қабатына дененің орынауыстыруына кедергі жасайтын қасиетін айтамыз.



Сұйықтың жоғарғы және төменгі қабаттарын өзара параллель жазық екі пластина және олсол сияқты жұқа қабаттардан тұрады деп қарастырайық. (1- сурет). Егер жоғары пластинаны, төменгі пластинаға қатысты солдан оңға қарай жылжытсақ, онда оған жабысқан сұйық молекулалары пластинамен бірге дәл сондай

жылдамдықпен қозғалады. Бұл молекулалар келесі қабаттың молекулаларын

1-сурет

ілестіреді де, процесс осылайша одан әрі жалғаса береді. Төменгі пластинаға жанасып жатқан молекулалар қабаты тыныштықта болады да, басқа қабаттар бірінің бетімен бірі сырғи отырып, орын ауыстырады. Төменгі қабаттан алыстаған сайын молекулалар қабатының жылдамдығы арта түседі. Сұйықтың тұтқырлығы жанасқан қабаттардың бір-біріне қарағанда ығысуына кедергі жасайтын күштің пайда болуы нәтижесінде байқалады. Бұл күштің табиғатын былай түсіндіруге болады: *әртүрлі жылдамдықпен қозғалған сұйық қабаттары бір-бірімен молекулалар ауысады*. Сонда жылдам қозғалатын қабаттағы молекулалар біраз қозғалыс мөлшерін баяу қозғалатын қабатқа береді. Ал баяу қозғалатын қабаттан шапшаң қозғалатын қабатқа өткен молекулалардың қозғалыс мөлшері артады. Соның нәтижесінде шапшаң қозғалатын молекулалар жылдамдығы баяулайды. Ал, ішкі үйкеліс күші сұйыққа баттарының қозғалу жылдамдықтарын теңестіруге тырысады. Сұйықтың тұтқырлығынан пайда болған кедергінің шамасы сұйық қабаттары жылдамдықтарының айырымына және олардың ара қашықтығына байланысты болады. Бір қабаттан екінші қабатқа өткен сұйық жылдамдығының өзгерісі артқан сайын, ішкі үйкелістің шамасы да артады. Сұйықтың көршілес екі қабатының жылдамдықтар айырымы сол қабаттардың жылдамдық бағытына түсірілген нормаль бойымен есептелінген ара қашықтығына ΔY қатынасының шегі:

$$\lim_{\Delta Y \rightarrow 0} \left(\frac{\Delta V}{\Delta Y} \right) = \frac{dV}{dY}$$

Жылдамдық градиенті деп аталады.

Ламинарлық (құйынсыз) ағыста сұйықтың екі қабатының арасына әсер ететін ішкі үйкеліс күші олардың жанасу бетінің ауданы мен жылдамдық градиентіне тура пропорционал болады:

$$F = \eta \cdot S \left(\frac{dV}{dY} \right) \quad - \text{Ньютон формуласы} \quad (1)$$

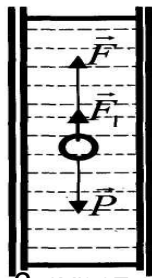
Мұндағы сұйықтың табиғатына және оның күйіне (мысалы температурасына) байланысты болатын шама η – ішкі үйкеліс коэффициенті немесе динамикалық тұтқырлық коэффициенті деп аталады.

Сұйықтың динамикалық тұтқырлығының, тығыздығына қатынасын кинематикалық тұтқырлық деп атаймыз: $\nu = \eta / \rho$

Егер (1) формуладан $dV/dY=1$ және $S=1$ деп алсақ, онда $\eta = F$. Яғни тұтқырлық, сан жағынан, бір-бірімен салыстырғанда жылдамдық градиенті бірге тең қозғалыстағы екі қабаттың жанасу бетінің әрбір бірлік ауданында пайда болатын ішкі кедергі күшіне тең. СИ жүйесінде тұтқырлық бірлігі үшін модулі 1 м/с жылдамдық градиенті 1м жана су бетінде 1Н ішкі үйкеліс күшін туғызатын тұтқырлық алынады. Бұл бірлік Паскаль-секунд (Па·с) деп аталады. Тұтқырлық коэффициенті температураға тәуелді. Сұйық пен газ үшін бұл тәуелділіктің елеулі айырмашылығы бар. Сұйық температурасы жоғарылаған сайын оның тұтқырлығы күрт азаяды. Газда керісінше, температура жоғарылаған сайын тұтқырлық коэффициенті артады. η коэффициентінің температураға байланысты бұлай өзгеруін сұйық пен газдың ішкі үйкеліс механизмінің әртүрлі болуынан деп түсіну қажет.

Кішкене шардың сұйық ішіндегі қозғалысы.

Сұйықтың тұтқырлық коэффициентін кішкене шардың тұтқыр ортадағы қозғалысы (Стокс тәсілі) бойынша анықтауға болады. Енді кішкене шардың тыныштықта тұрған тұтқыр сұйықтағы еркін түсуін қарастырайық (2-сурет). Бұл жағдайда оған үш күш әсер етеді:



2-сурет
шардың

$$P = mg \frac{\pi d^3 \rho g}{6} \quad (2)$$

Ауырлық күші:

мұндағы d – кішкене шардың диаметрі, P - кішкене

тығыздығы, g -еркін түсу үдеуі.

Кері итеруші күш (Архимед заңы бойынша): $F_1 = \frac{\pi d^3 \rho_1 g}{6} \quad (3)$

мұндағы ρ_1 - сұйық тығыздығы.

Сұйық қабаттардың арасындағы ішкі үйкеліс күшінің әсерінен пайда болатын, қозғалысқа қарсы бағытталған күш кедергі күші. Кішкене шардың бетіне жанасып тұрған сұйық қабат оған жабысады да, шармен бірге сондай жылдамдықпен қозғалады. Шарға жақын, іргелес жатқан сұйық қабаттары да қозғалысқа келеді. Бірақ кішкене шардан алыстаған сайын, сұйық қабаттарының жылдамдығы азая береді. Сондықтан ортаның кедергі күшін есептегенде, сұйық пен кішкене шар арасындағы үйкелісті ескермей-ақ, сұйық қабаттарының арасындағы үйкелісті есепке алу керек. Тәжірибе ортаның кедергі күші дененің қозғалыс жылдамдығына, оның геометриялық пішініне, сызықтық өлшемдеріне, бетінің күйіне және ортаның тұтқырлығына байланысты болатынын көрсетеді. Егер кішкене шар жан-жаққа шексіз жайылып жатқан сұйық ішінде, ешқандай құйын тудырмай (түсу жылдамдығы аз кішкене шар) түсетін болса онда Стокстың есептеуі бойынша кедергі күші мынаған тең:

$$F = 3\pi * \eta * v * d \quad (4)$$

мұндағы η -сұйықтың тұтқырлық коэффициенті, v –кішкене шардың жылдамдығы, d - оның диаметрі.

Үш күш те вертикаль бойымен: ауырлық күші төмен, ал кері итеруші күш пен кедергі күші жоғары қарай бағытталған. (2 - сурет)

Бастапқы кезде кішкене шардың жылдамдығы арта түседі оның жылдамдығы артқан сайын кедергі күші де артады. Сәлден соң, ауырлық күшін (P), F және F_1 күштердің қосындысы теңгереді. Сол мезеттен бастап, барлық күштердің қорытқы күші нөлге теңеледі, яғни:

$$P - (F_1 + F) = 0 \quad (5)$$

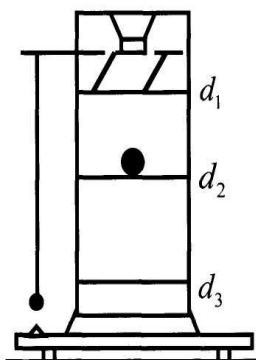
Әрі қарай кішкене шар $v = v_0$ жылдамдықпен бір қалыпты қозғалады. Мұндағы, тұтқырлық коэффициентін (5) формуладағы P, F_1 және F шамаларының мәндерін қойып төмендегіше табуымызға болады:

$$\frac{1}{6} \pi d^3 g \rho = 3\pi \eta v d + \frac{1}{6} \pi d^3 \rho_1 g \quad \text{немесе:}$$

$$\frac{1}{6} (\rho - \rho_1) \pi d^3 g = 3\pi \eta v d$$

бұдан:

$$\eta = (\rho - \rho_1) \frac{d^2 g}{(18v)}$$



Кішкене шардың жылдамдығын l / τ қатынасымен ауыстырсақ (мұндағы l -жол, τ -шардың бір қалыпты түсу уақыты), тұтқырлық коэффициентін есептеуге мүмкіндік беретін төмендегі өрнекті табамыз:

$$\eta = \frac{d^2 g \tau (\rho - \rho_1)}{(18l)} \quad (6)$$

Бұл формуланы диаметрі кішкене шар диаметрінен бірнеше есе үлкен цилиндр пішінді ыдыстың ортасы арқылы өтетін түзудің бойымен түскен кішкене шар үшін

ғана пайдалануға болады. Осы теңдіктің оң жағында тұрған физикалық шамаларды анықтап,

3-сурет тұтқырлық коэффициентін табуға болады.

Стокс тәсілімен сұйықтың тұтқырлық коэффициентін анықтауға арналған прибор ішіне зерттелетін сұйық (глицерин немесе кастор майы және т.б.) құйылған, таянышқа бекітілген цилиндр пішіндес ыдыстан тұрады (3-сурет). Реттеуіш бұрандалар мен тіктеуіштің көмегімен цилиндр пішіндес ыдыс вертикаль орналастырылады. Цилиндр сыртқы бетіне горизонталь сақина түрінде (d_1, d_2, d_3) үш белгі түсіріледі (1-екі белгінің ара қашықтығы).

Шар бір қалыпты қозғала бастайтын деңгей сұйық бетінен 5-8 см төменге сәйкес келеді. Лабораториялық жұмысты орындау үшін ұсақ болат немесе қорғасын шарлар пайдаланылады.