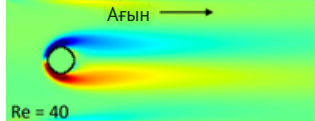


Сұйықтықты математикалық модельдеу

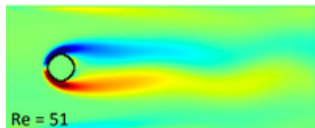
Satmagambetov Assylzhan (<https://github.com/Assylzhan09>)

Теориялық шолу сандық есептеулер

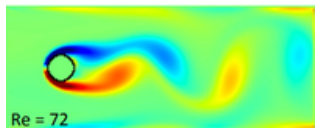
Дөңгелек тосқауыл
арқылы құйынды төгу
(түстер қысымды көрсетеді)



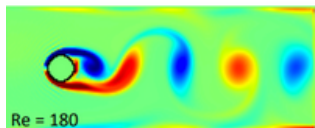
Ламинарлық
ағын



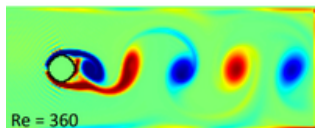
Тұрақсыз
ағынға
айналу



Құйынды
ағын

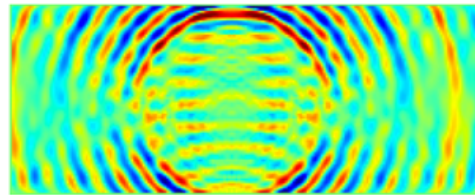


Күшті ағын

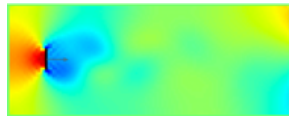


Өте күшті
ағын

Дыбыс толқындары
(түстер қысымды көрсетеді)



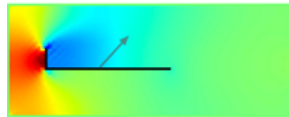
Кедергіге күш салу
(түстер қысымды көрсетеді)



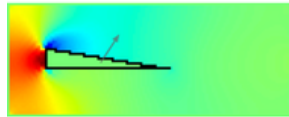
Сызықтық кедергі
құйындыларды
төгеді, сондықтан
күш тербеледі



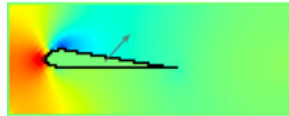
Спойлер құйынды
төгуді тоқтатады



Тік бұрыш төмен
қысымды аймақты
тудырады, демек,
жоғары күш



Сына тік бұрыштан
онша
ерекшеленбейді

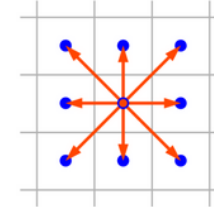


Қанаттың сынадан
айырмашылығы
жоқ

Ағын →

Жұмыс принципі торлы Больцман әдісі

- Квадрат тормен екі өлшемді кеңістікті дискреттеу
- Тек 9 негізгі орын ауыстыруға және жылдамдыққа рұқсат етіңіз
- Модельдеу айналымына n - әрбір тор орнындағы 9 тығыздық. рұқсат етілген 9 жылдамдықпен молекулалардың саны



$$\vec{e}_0 = 0$$

$$\vec{e}_1 = (1, 0) \quad \vec{e}_5 = (1, 1)$$

$$\vec{e}_2 = (0, 1) \quad \vec{e}_6 = (-1, 1)$$

$$\vec{e}_3 = (-1, 0) \quad \vec{e}_7 = (-1, -1)$$

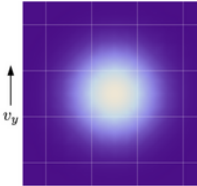
$$\vec{e}_4 = (0, -1) \quad \vec{e}_8 = (1, -1)$$

- Осылардан біз жалпы тығыздық ρ және макроскопиялық ағыс жылдамдығы \vec{u} есептей аламыз:

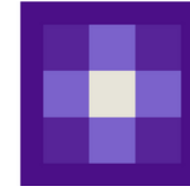
$$\rho = \sum n_i \quad u_x = \frac{(n_1 + n_5 + n_8) - (n_3 + n_6 + n_7)}{\rho} \quad u_y = \frac{(n_2 + n_5 + n_6) - (n_4 + n_7 + n_8)}{\rho}$$

- Жылулық жылдамдықтардың θ моделі Больцманның таралуын дискреттейді. Салмақтар үздіксіз және дискретті үлестірімдердің 4-ші ретіне дейінгі моменттерді теңестіру арқылы анықталады.

Больцманның таралуы



Дискретті жуықтау



$$w_0 = \frac{4}{9}$$

$$w_1 = w_2 = w_3 = w_4 = \frac{1}{9}$$

$$w_5 = w_6 = w_7 = w_8 = \frac{1}{36}$$

- Толық (дискреттелген) жылдамдық - бұл ағынның жылдамдығына және жылу жылдамдығына:

$$\vec{e}_i = \vec{u} + \vec{v} \quad (|\vec{v}| \ll 1)$$

Больцман үлестіріміне қосылыңыз және тепе-теңдік тығыздықтарын алу үшін U бойынша екінші ретке дейін кеңейтіңіз:

$$D(\vec{v}) \rightarrow \frac{m}{2\pi kT} \exp\left(-\frac{m}{2kT}|\vec{e}_i - \vec{u}|^2\right) \quad \dots \quad n_i^{\text{eq}} = \rho w_i \left[1 + 3\vec{e}_i \cdot \vec{u} + \frac{9}{2}(\vec{e}_i \cdot \vec{u})^2 - \frac{3}{2}|\vec{u}|^2\right]$$

- Әрбір уақыт қадамы кезінде әрбір торлы жасушаның ішіндегі молекулалар соқтығысады және осы тепе-теңдік мәндеріне қарай босаңсу уақытына T тәуелді шамада (тұтқырлықтың жоғарылауымен артады) босаңсыды:

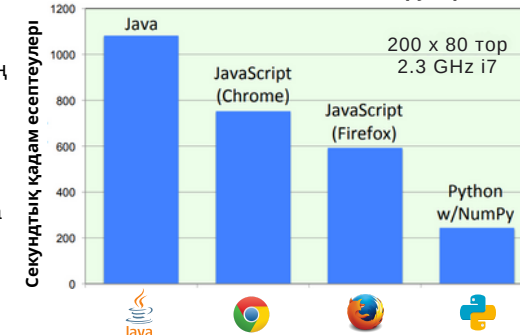
$$n_i \rightarrow n_i + \frac{1}{\tau}(n_i^{\text{eq}} - n_i)$$

- Алгоритм бұл соқтығысуларды молекулалар жылдамдықтарына сәйкес көрші жасушаларға жылжытатын «ағынмен» алмастырады. (Молекулалар тосқауылға соқтығысқанда, олардың орнына кері секіреді.)

- Профессионалдар мұны Fortran немесе C тілінде кодтайды, бірақ 10^4-тен 10^5-ке дейінгі торлы сайттар үшін бүгінгі дербес компьютерлерде сіз түсіндірілетін тілмен жұмыс істей аласыз. Менің Python/NumPy кодым тек 125 жолдан тұрады; Java немесе JS CUI басқару элементтерін қоспағанда, шамамен екі есе талап етеді.

- Теория, код мысалдары және сілтемелер туралы қосымша мәліметтер алу үшін вебті қараңыз.

Өнімділік салыстырулары



Құйынның төгілу жиілігі

әртүрлі тұтқырлыққа, тосқауылдың ені мен пішініне, тордың ажыратымдылығына арналған

