1 дәріс

Сақталу заңдары. Импульстің сақталу заңы. Қозғалыс теңдеулері. Навье–Стокс теңдеуі. Массаның сақталу заңы. Үзіксіздік теңдеуі

Дәрістің мақсаты

Масса мен импульстің сақталу заңдарын түсіндіру, олардан қозғалыс және үзіксіздік теңдеулерін алу қағидаларын меңгеру, Навье–Стокс теңдеуіндегі мүшелердің физикалық мағынасын ажырату.

Дәрістің мазмұны

1. Сақталу заңдарының физикалық маңызы.
2. Импульс және оның сақталу шарттары.
3. Қозғалыс теңдеулері және материалдық туынды.
4. Навье–Стокс теңдеуіндегі күштер.
5. Массаның сақталуы және үзіксіздік теңдеуі.

1. Сақталу заңдарының маңызы

Сақталу заңдары – табиғаттың әмбебап және іргелі принциптері. Олар физикалық процестердің дамуын сипаттауда негізгі рөл атқарады. Қандай күрделі жүйе болмасын, оның қозғалысы мен өзгерісін талдау үшін ең алдымен энергия, масса, импульс сияқты шамалардың сақталуын қарастырамыз. Бұл заңдардың универсалдығы – олардың барлық физикалық теорияларда (механика, гидродинамика, электродинамика, кванттық физика) қолданылуынан көрінеді.

Мысалы, энергияның сақталу заңы жылу машиналарының жұмысын түсіндіруге мүмкіндік берсе, импульстің сақталу заңы соқтығыстар мен жарылыстарды талдауда қолданылады. Ал массаның сақталуы – химиялық реакциялар мен ағындар динамикасының негізін құрайды.

2. Импульстің сақталу заңы

Импульс – механиканың маңызды ұғымы, ол дененің қозғалыс күйін сипаттайды:

$$\vec{p} = m\vec{v}.$$

Ньютонның екінші заңы:

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}_{\text{сырткы}}.$$

Егер сыртқы күш нөлге тең болса, онда жүйенің толық импульсі өзгермейді:

$$\vec{p}_{\text{толық}} = const.$$

Бұл заң заманауи техникада кең қолданылады. Мысалы:

- Ракетаның ұшуы кезінде газ ағынының импульсі артқа бағытталса, ракета алға қозғалады.
- Жабық жүйеде соқтығысу кезінде денелердің импульсі сақталады (тек энергия түрленуі мүмкін).

3. Қозғалыс теңдеулері

Қозғалыс теңдеулері Ньютон заңдарына негізделген. Жалпы түрі:

$$m\frac{d^2\vec{r}}{dt^2} = \vec{F}.$$

Сұйықтық немесе газ үшін қозғалысты сипаттау күрделірек, себебі олар бөлшектер жиынтығы ретінде қарастырылады. Мұнда қысым күші, тұтқырлық және сыртқы денелік күштер ескеріледі.

Қозғалыс теңдеулері тек механикада ғана емес, электрмагнитизмде және кванттық механикада да бар. Бірақ сұйықтық динамикасында олардың негізінде **Навье–Стокс теңдеуі** жатыр.

4. Навье–Стокс теңдеуі

Сұйықтықтың қозғалысын толық сипаттайтын теңдеу:

$$\rho\left(\frac{\partial\vec{v}}{\partial t} + (\vec{v}\cdot\nabla)\vec{v}\right) = -\nabla p + \mu\nabla^2\vec{v} + \rho\vec{f}.$$

Мұндағы мүшелердің физикалық мағынасы:

- $\rho\frac{\partial\vec{v}}{\partial t}$ – инерция күші;
- $(\vec{v}\cdot\nabla)\vec{v}$ – конвективті жылдамдық өзгерісі;
- $-\nabla p$ – қысым градиентінің күші;
- $\mu\nabla^2\vec{v}$ – тұтқырлық күштері;
- $\rho\vec{f}$ – сыртқы денелік күштер (мысалы, ауырлық).

Бұл теңдеу – инженериядағы ең күрделі теңдеулердің бірі. Ол жел турбиналарының қалақшаларындағы ағынды, ұшақ қанаттарындағы құйындарды немесе құбырдағы сұйық қозғалысын сипаттауға қолданылады.

5. Массаның сақталу заңы

Материя жоғалмайды және жоқтан пайда болмайды. Бұл принципті алғаш рет М.В. Ломоносов пен А. Лавуазье нақты тұжырымдады. Сұйықтық пен газ динамикасында массаның сақталуы мына түрде айтылады:

Жүйеге кірген масса мен шыққан масса тең, яғни уақыт өте келе масса өзгермейді.

6. Үзіксіздік теңдеуі

Массаның сақталуының математикалық өрнегі – үзіксіздік теңдеуі:

$$\frac{\partial\rho}{\partial t} + \nabla\cdot(\rho\vec{v}) = 0.$$

Бұл теңдеу ағынның әрбір нүктесінде массаның тұрақты сақталуын көрсетеді.

Егер сұйықтық сығылмайтын болса (ρ=const):

$$\nabla \cdot \vec{v} = 0.$$

Қарапайым мысал: құбырдың бір учаскесіндегі қима ауданы A_1, ал екіншісінде A_2. Үзіксіздік шарты бойынша:

$$A_1 v_1 = A_2 v_2.$$

Бұл су құбырларындағы, жел каналдарындағы және турбомашиналардағы ағынды есептеуде қолданылады.

Қорытынды

Сақталу заңдары – табиғаттағы барлық процестерді түсіндіретін әмбебап принциптер. Импульстің сақталуы қозғалыстың жалпы сипатын, массаның сақталуы – заттың өзгермейтінін, ал Навье–Стокс пен үзіксіздік теңдеулері – сұйықтық пен газ қозғалысының нақты моделін береді.

Бұл заңдарсыз аэродинамика, гидравлика, энергетика және жалпы инженерлік есептерді шешу мүмкін емес. Олар – заманауи ғылым мен техниканың берік іргетасы.

Өзін өзі тексеруге арналған сұрақтар

1. Сақталу заңдары қандай физикалық шамаларды сипаттайды?
2. Тұйық жүйенің импульсі қандай жағдайда сақталады?
3. Қозғалыс теңдеуіндегі жергілікті және конвективтік үдеулердің айырмашылығы қандай?
4. Навье–Стокс теңдеуіндегі қысым, тұтқырлық және көлемдік күш мүшелерін түсіндіріңіз.
5. Массаның сақталу заңынан үзіксіздік теңдеуі қалай алынады?
6. Сығылмайтын сұйық үшін үзіксіздік теңдеуі қандай түрге келеді?
7. Құбыр қимасы тарылғанда орташа жылдамдық қалай өзгереді? Қандай шарттар қажет?
8. Қозғалыс теңдеулерін шешу үшін қандай бастапқы және шекаралық шарттар беріледі?