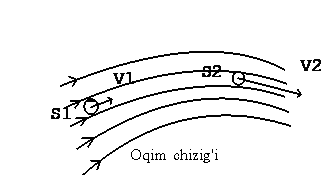
**5-Ma’ruza**

**Suyuqlik vа gаzlаrning umumiy xossаlаri**

**Reja:**

1. **Uzluksizlik tenglamasi**
2. **Bernulli tenglamasi**
3. **Qovushqoqlik**
4. **Suyuqlikning laminar va turbulent oqishi.**

Suyuqlikning harakatlanishi haqida fikr yuritish uchun qattiq jismlarga xos bo’lmagan yangi tushuncha va kattaliklardan foydalanamiz. Xususan, suyuqlikning harakatlanishini *oqish* deb, harakatlanayotgan suyuqlik zarralarining to‘plamini oqim deb yuritiladi. Oqimdagi har bir zarra muayyan paytda aniq *ϑ* tezlikka ega. Lekin suyuqlikning har bir individual zarrasi harakatini kuzatishdan ko‘ra boshqacharoq yo‘l tutgan ma’qul. Buning uchun *oqim chiziqlari* tushunchasidan foydalaniladi. Oqim chizig’i suyuqlik ichidagi shunday xayoliy chiziq, urinishi har bir nuqtasiga o‘tkazilgan urinma chiziq urinish nuqtasi orqali o’tayotgan suyuqlik zarrasi oniy tezligining yo‘nalishiga mos bo‘ladi (5.1-rasm). Oqim chiziqlari yordamida tezlik vektorining yo‘nalishinigina emas, balki tezlik qiymatini ham tasvirlash mumkin. Buning uchun suyuqlik harakati yo‘nalishiga perpendikulyar ravishda muayyan sohaga joylashtirilgan birlik yuzni teshib o‘tuvchi oqim chiziqlarining soni shu sohadagi suyuqlik zarralari tezligining qiymatiga proportsional qilib o‘tkazilishi lozim. Demak, tezligi kattaroq bo‘lgan sohalarda oqim chiziqlari zichroq bo‘lishi lozim**. 5.1-rasm**



5.2-rasm

Oqim chiziqlarining manzarasi vaqt o‘tishi bilan o‘zgarishi mumkin. Lekin oqim egallagan fazoning ixtiyoriy biror nuqtasidan o‘tayotgan suyuqlik zarralarining tezliklari o‘zgarmas bo‘lsa (ya’ni ayni vaqtda o‘tayotgan suyuqlik zarrasining tezligi ilgari shu nuqtadan o‘tayotgan paytda to‘liq zarralar ega bo‘lgan tezlikka teng bo‘lsa), oqim chiziqlarining shakli va vaziyati vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmaydi. Oqim chiziqlarining manzarasi o‘zgarmaydigan holdagi suyuqlikning harakatini barqaror harakat yoki ***statsionar oqish*** deb ataladi. Statsionar oqishdagi oqim chizig‘ining biror nuqtasidagi suyuqlik zarrasi shu oqim chizig‘i bo‘lib harakatini davom ettiraveradi. Boshqacha qilib aytganda, statsionar oqishdagi oqim chiziqlari suyuqlik zarralarining traektoriyasi sifatida ham xizmat qiladi.

Suyuqlik oqimining statsionar harakatini tekshirish uchun uni xayolan oqim naylariga ajratiladi va har bir oqim nayidagi harakat o‘rganiladi. Oqim nayi deganda suyuqlik oqimining shunday xayoliy qismi tushuniladiki, uning yon sirtlari oqim chiziqlaridan tashkil topgan bo‘lishi kerak (5.2-rasmga q.) Bunday nay ichidagi suyuqlik zarralari undan tashqariga chiqa olmaydi va nay tashqarisidagi zarralar uning ichiga kira olmaydilar. Odatda, oqim nayining ko‘ndalang kesimi yetarlicha kichik qilib olinadiki, natijada mazkur kesimning barcha nuqtalaridan utayotgan suyuqlik zarralarining tezliklarini birday deb hisoblash mumkin. Oqim nayi ichidagi suyuqlik ***sharra***deb ataladi. Oqim nayini kuzatish uchun uni bo‘yash lozim. Xususan, zilol suv oqimida bo‘yalgan suyuqlik sharrasi juda yaxshi kuzatiladi. 5.3-rasmda tasvirlangan oqim nayining (rasmda nayning yon sirtlarini qalin chiziq bilan ko‘rsatilgan) va  kesimlaridagi suyuqlik oqimining tezliklari mos ravishda * va * suyuqlikning zichliklari esa  va  bo‘lsin. Oqim nayining  va  kesimlaridan *1 s* davomida statsionar ravishda oqib o‘ta­yotgan suyuqlik massalari

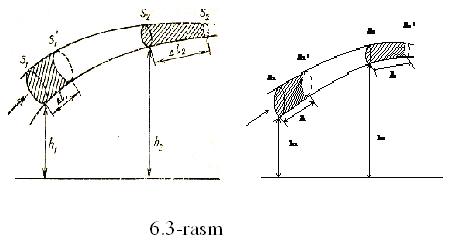
** va 

o‘zaro teng bo‘lishi kerak (aks holda, ya’ni  bo‘lgan holda suyuqlikning oqishi nostatsionar bo‘lib qoladi). Shuning uchun

 (5.1)

Munosabat o‘rinli. Siqilmas suyuqliklar (muayyan masalani hal qilayotganda siqilishni hisobga olmasa ham bo‘ladigan suyuqliklar) uchun  bo‘ladi. Natijada (5.1) quyidagi ko‘rinishga keladi:

 (5.2)



(5.1) ifoda siqiluvchan suyuqliklar uchun, (5.2) esa siqilmas suyuqliklar uchun ***uzilmaslik tenglamasidir.*** Oqim nayi ensizroq bo‘lgan sohalarda suyuqlikning oqim tezligi kattaroq, oqim nayi kengayib boradigan yo‘nalishda suyuqlik­ning oqim tezligi kamayib boradi.

Demak, siqilmas suyuqlik uchun oqim nayi ko‘ndalang kesimining yuzini shu kesimdan o‘tayotgan suyuqlikning oqim tezligiga ko‘paytmasi mazkur oqim nayi uchun doimiy kattalikdir.

**5.2.- §. Bernulli tenglamasi**

Suyuqliklar siqiluvchanlik va ichki ishqalanish (qovushoqlik) xossalariga ega. Suyuqlik harakatini o‘rganish chog‘ida bu xossalarning barchasini hisobga olmoqchi bo‘lsak masala ancha murakkablashadi. Shu sababli suyuqlik oqimi­ning takribiy (umumiy) manzarasini tekshirayotganda ideal suyuqlik modelidan foydalanish anchagina qulayliklar tug‘diradi. ***Ideal suyuqlik*** deganda qovushoqlikka ega bo‘lmagan (ya’ni qatlamlari orasida ishqalanish kuchlari ta’sir etmaydigan) siqilmas suyuqlik tushuniladi. Ideal suyuqlik uchun hosil qilingan xulosalarni siqiluvchanligi va qovushoqligi kuchsiz namoyon bo‘ladigan real suyuqliklarga ham qo‘llash mumkin.

Ideal suyuqlikning oqim tezligi va bosimi orasidagi bog‘lanishni aniqlaylik. Buning uchun ideal suyuqlik barqaror oqimi ichida ko‘ndalang kesimi yetarlicha kichik bo‘lgan oqim nayini xayolan ajrataylik. Oqim nayining  kesimidagi suyuqlik tezligi va bosimini mos ravishda *ϑ1* va *ρ1* bilan, kesimidagilarni esa *ϑ2* va *ρ2*  harflari bilan belgilaylik, ** va ** kesimlar markazlarining biror gorizontal sathdan balandliklari moc ravishda ** va ** bo‘lsin. ** va ** kesimlar bilan chegaralangan oqim nayi ichidagi suyuqlik massasining  vaqt davomida to‘liq energiyasining o‘zgarishini aniqlaylik. Shu vaqt davomida suyuqlikning tekshirilayotgan massasi oqim nayi bo‘lib o‘ng tomonga siljib qoladi va  vaqtning oxirida ** va ** kesimlar bilan chegara­langan hajmni egallaydi. Tekshirilayotgan suyuqlik massasining ** va ** kesimlar orasidagi qismi energiya o‘zgarishiga hech qanday hissa qo‘shmayotganligi uchun  vaqt davomidagi o‘zgarishni quyidagicha tasavvur qilish mumkin;  va  kesimlar orasidagi *t* massali suyuqlik



to‘liq energiyaga ega bo‘lgan vaziyatdan ** va ** kesimlar orasidagi hajmni egallagan



to‘liq energiyali vaziyatga o‘tib qolgandek bo‘ladi. Natijada tekshirilayotgan suyuqlik massasining ** va ** kesimlar bilan chegaralangan vaziyatdan ** va ** kesimlar bilan chegaralangan vaziyatga ko‘chishi tufayli uning to‘liq energiyasi

 (5.3)

miqdorga o‘zgaradi. Energiyaning bu o‘zgarishi, mexanik energiyaning saqlanish qonuniga asosan, tashqi kuchlarning bajargan ishiga teng bo‘lishi lozim. Mazkur holda ish bajaradigan tashqi kuchlar-oqim nayining tekshirilayot­gan qismiga suyuqlik tomonidan ta’sir etuvchi bosim kuchlaridir. Oqim nayining yon devorlariga ta’sir etuvchi bosim kuchlari suyuqlik zarralarining harakati yunalishiga perpendikulyar bo‘lganligi uchun ular hech qanday ish bajarmaydi. Shuning uchun ** va ** kesimlar orqali ta’sir etuvchi  va kuchlargina ish bajaradi. vaqt davomida  kesimdagi suyuqlik zarralari masofaga siljiganligi tufayli kuch bajar­gan ishning qiymati



ifoda bilan aniqlanadi. Bu ish musbat, chunki bosim kuchi suyuqlik zarralarining kuchli yo‘nalishida ta’sir etadi.  kuch va suyuqlik zarralarining ko‘chish yo‘nalishlari teskari bo‘lganligi tufayli u bajargan ish manfiy, ya’ni



Natijada tashqi kuchlarning to‘liq ishi quyidagi ifoda bilan aniqlanadi:

** (5.4)

5.3-rasmdan ko‘rinishicha, *-*oqim nayiga  vaqt davomida  kesim orqali kirayotgan suyuqlik hajmi,  esa kesimdan chiqayotgan suyuqlikning hajmi. Ikkinchi tomondan, o‘zilmaslik tenglamasiga asosan, .Shuning uchun



Natijada (5.5) ni quyidagicha yoza olamiz:

** (5.5)

Yuqorida qayt, qilganimizdek, ideal suyuqlikning statsi­onar oqimida  shart bajarilishi lozim. Binobarin, (5.2) va (5.5) ifodalarni birlashtirib quyidagi tenglikni hosil qilamiz:



Bu tenglikning ikkala tomonini  ga bo‘lib yuborsak va suyuqlik zichligi ekanligini hisobga olsak

 (5.6)

munosabat vujudga keladi.

** va  kesimlarni ixtiyoriy ravishda tanlagan edik, shuning uchun (5.6) munosabat oqim nayining ixtiyoriy kesimlariga ham taalluqlidir.

Demak, statsionar oqayotgan ideal suyuqlikning ixti­yoriy oqim chizig‘i bo‘lib

 (5.7)

Shart bajariladi. (5.7) ***Bernulli tenglamasi*** deb ataladi.

Bernulli tenglamasidagi qushiluvchi hadlarning fizik ma’nosi bilan tanishaylik:

1. *ρ-* harakatlanuvchi suyuqlik ichidagi bosimni aniqlatadi. Uni ***statik bosim***deb ataladi, (5.5) ga asosan *statik bosim*

 (5.8)

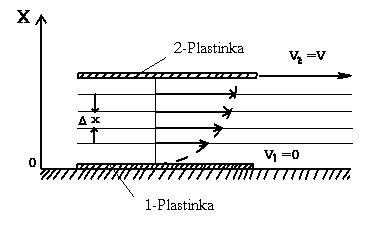
munosabat bilan aniqlanadi. Agar mazkur ifodada,  deb olsak,  bo‘ladi. Bundan Bernulli tenglamasidagi konstantaning ma’nosi kelib chiqadi: U tinch turgan suyuqlikning sanoq boshi tarzida qabul qilingan sathidagi (nolinchi sathdagi) bosimidir. U holda (5.8) ga asosan, oqim tezligi ortsa yoki oqim nayini nolinchi sathiga nisbatan balandroq ko‘tarilsa, statik bosimning qiymati ortadi, degan xulosaga kelamiz.

2. -***dinamik bosim****.* U suyuqlik ichidagi bosim suyuqlikning harakatlanishi tufayli qandaydir miqdorga kamayishini xarakterlaydi.

3. *ρgh-* ***gidravlik bosim****.* U oqim nayi *h* balandlikka ko‘tarilgan taqdirda statik bosimning qanchaga kamayi­shini ifodalaydi.

Bularni hisobga olib Bernulli tenglamasining mohiyatini quyidagicha ta’riflash mumkin: ***ideal suyuqlikning statsionar oqishidagi to***‘***liq bosim—dinamik, gidravlik va statik bosimlarning yig***‘***indisidan iborat bo***‘***lib, uning qiymati oqim nayining barcha kesimlari uchun birday bo***‘***ladi.***

**5.3.- §. Qovushqoqlik**



Suyuqlik qatlamlarining bir-biriga nisbatan harakatlanishi jarayonida ichki ishqalanish kuchlari vujudga keladi. Bunga quyidagi tajribada ishonch hosil qilish mumkin. Ikki o‘zaro parallel gorizontal plastinkalarning biri ikkinchisining tepasida joylashgan bo‘lib, ular oralig‘ida biror suyuqlik, masalan, suv qatlami mavjud (5.4-rasm). Pastdagi plastinka harakatlanmaydi, ya‘ni . Yuqoridagi plastinkani tezlik bilan harakatlantiraylik. Bu plastinkaga bevosita tegib turgan suyuqlik qatlami molekulyar tutinish kuchi tufayli plastinkaga yopishgan bo‘ladi va u bilan birgalikda *(* tezlik bilan) harakatlanadi. Pastdagi plastinkaga bevosita tegib turgan suyuqlik qatlami esa shu qo‘zg‘almas plas­tinkaga yopishganligi tufayli harakatlanmaydi, albatta. Oraliq qatlamlarning tezliklari esa 5.4-rasmda tasvirlangan. Suyuqlik har-bir qatlamining o‘ziga qo‘shni quyi qatlamga nisbatan tezligi harakatlanayotgan plastinka yo‘nalishida, qo‘shni yuqori qatlamga nisba­tan tezligi esa plastin­ka harakatiga teskari yo‘nalgan bo‘ladi. Bundan quyidagi xulosaga kelamiz:

Suyuqlikning ikki qo‘shni qatlamlariga oid molekulalar orasidagi o‘zaro tutinish tufayli quyi qatlam yuqori qatlam tezligini kamaytiradi va aksincha, yuqori qatlam quyi qatlam tezligini oshiradi. Suyuqlikning bir-biriga nisbatan harakatlanayotgan qatlamlari orasida vujudga kelayotgan bu kuchni ***ichki ishqalanish kuchi*** deb yuritiladi. Ichki ishqalanish kuchi bilan bog‘liq bo‘lgan suyuqlik xossasini esa ***qovushoqlik***deb ataladi.

Tajribalarning ko‘rsatishicha, suyuqlikning ikki qatlami orasidagi ichki ishqalanish kuchi  ning qiymati qatlamlarning bir-biriga tegish sohasining yuzi *()* ga va tezlik gradienti deb ataladigan  kattalikka to‘g‘ri proportsional:

 (5.9)

Bu ifoda Nyuton formulasi deb ataladi. Undagi tezlik gradienti suyuqlik qatlamlari tezliklarining bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o‘tganda (ya’ni qatlamlar sirtiga perpendikulyar bo‘lgan OX yo‘nalishda) o‘zgarish jadalligini harakterlaydi. (5.9) dagi suyuqlikning tabiatiga bog‘liq bo‘lib, u suyuqlikning qovushoqlik koeffitsienti deb yuritiladi. Ba’zan, oddiygina qovushoqlik deb ham ataladi.

Qovushoqlikning o‘lchov birligini munosabatdan foydalanib aniqlaymiz:

 (5.10)

qovushoqlikning SI dagi birligi sifatida shunday suyuqlikning qovushoqligi qabul qilinishi kerakki, tezlik gradienti  bo‘lgan holda mazkur suyuqlikning ikki bir-biriga tegib turgan qatlami orasidagi  sirtda 1 N ga teng ichki ishqalanish kuchi vujudga keladi. Bu birlik  deb ataladi. Haqiqatan, (5.10) da ** larning o‘rniga ularning SI dagi birliklarini qoyib  ni hosil qilamiz. Suyuqliklarning qovushoqligi temperaturaga teskari proportsional ravishda o‘zgaradi. Buning sababi-tempera­tura ortishi bilan suyuqlik molekulalari orasidaga o‘zaro ta’sirning susayishidadir.

Suyuqlik qatlamlarining tezliklari bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o‘tganda tekis o‘zgarmasligi ham mum­kin. Bunday hollarda Nyuton formulasidagi  o‘rniga uning limitini qo‘yish kerak:

 (5.11)

bundagi - suyuqlikning yuzli biror qatlamiga ta’sir etuvchi ichki ishqalanish kuchi,  esa shu qatlamga yaqinidagi tezlik gradienti. (5.12) ni quyidagi shaklda yozaylik:

 (5.12)

Mazkur munosabatning chap tomonidagi nisbatni ***urinma kuchlanish *** nomi bilan ham yuritiladi. U suyuqlik qatlamining birlik sirtiga ta’sir etuvchi ichki ishqalanish kuchini ifodalaydi. Demak urinma kuchlanishni

 (5.13)

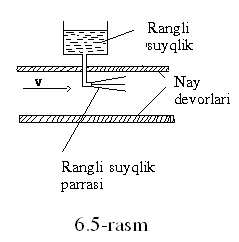
ko‘rinishda yoza olamiz. Umuman, suyuqlik qatlamining turli nuqtalarida urinma kuchlanish turlicha qiymatlarga ega bo‘lishi mumkin. Bunday holda qatlamning elementar sirti *(dS)* ga ta’sir etadigan ichki ishqalanish kuchi  shu qatlamning barcha qismiga ta’sir etadigan ichki ishqalanish kuchi esa

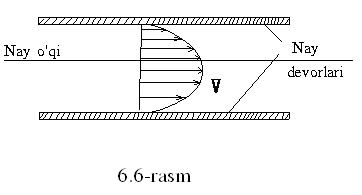
 (5.14)

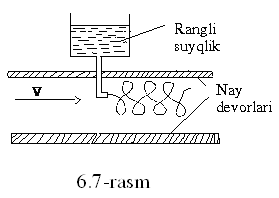
bo‘ladi.

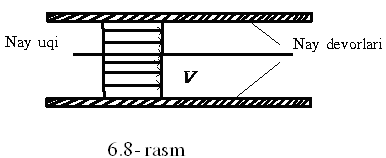
**5.4.- §. Suyuqlikning laminar va turbulent oqishi.**

Suyuqlik oqishining turlari haqida fikr yuritaylik. Avvalo, oldingi paragrafdagi tajribaga yana bir marta murojat etib suyuqlikning qatlamsimon oqishi qanday vujudga kelishi bilan tanishaylik. Molekulyar tutinish tufayli suyuqlikning qattiq jismga bevosita tegib turgan yupqagina qatlami shu qattiq jismga «yopishgan» bo‘ladi. Qattiq jism harakatlangan holda, masalan, 5.4-rasmda tasvirlangan tajribadagi yuqori plastinka harakatlanganda unga «yopishgan» suyuqlik qatlami ham harakatlanadi. Ichki ishqalanish kuchlari tufayli bu qatlam qo‘shni qatlamni ilashtiradi, u esa o‘ziga qo‘shni bo‘lgan yana bir qatlamni ilashtiradi va hokazo. Qattiq jism, sirtidan unga perpendikulyar yo‘nalishda uzoqlashilgan sari suyuqlik qatlamlarining tezliklari kamayib boradi. Suyuqlikning qatlamsimon oqishini kuzatish maqsadida shaffof shishadan yasalgan qo‘zg‘almas nayni gorizontal ravishda joylashtirib, uning ichidan biror suyuqlikni (masalan, suvni) tashqaridan bosim berish usuli bilan oqizaylik. Tashqaridan berilayotgan bosimga monand ra­vishda suvning oqish tezligini o‘zgartirish mumkin. Suv oqishining manzarasini kuzatish uchun suv oqimi ichiga biror rangli suyuqlik sharrasini kirgizamiz (5.5-rasm). Kuzatishlardan aniqlanishicha, suv oqimining unchalik katta bo‘lmagan tezliklarida rangli sharraning shakli nayning barcha qismlarida saqlanadi. Demak, suyuqlik zarralarining bir qatlamdan to‘liq qatlamga o‘tishlari kuzatilmaydi. Boshqacha qilib aytganda, suyuqlikning qatlamsimon oqishi sodir bo‘ladi. ***Suyuqlikning qatlamsimon oqishiga laminar oqish deb ataladi.***









Suvning naydagi oqish tezligini oshirib borsak, tezlikning bi­ror qiymatidan boshlab rangli suyuqlik sharrasi nay kesimi bo‘ylab yoyila boshlaydi (5.5-rasm). Demak, oqishning qatlamsimonligi buzilib, suyuqlikning aralashishi sodir bo‘ladi. ***Suyuqlik­ning aralashib harakatlanishini turbulent oqish deb ataladi.*** Tur­bulent oqish jarayonida suyuqlik zarralarining tezliklari xaotik ravishda o‘zgarib turadi. Shuning uchun nay kesimining u yoki bu nuqtasidagi suyuqlik zarrasining o‘rtacha tezligi haqida mulohaza yuritish mumkin. O‘rtacha tezliklarning nay o‘qidan uzoqlashilgan sari o‘zgarishi 5.8-rasmda tasvirlangan. Rasmdan ko‘rinib turibdiki, suyuqlikning aralashishi tufayli nay kesimining deyarli barcha qismida zarralar bir xil o‘rtacha tezliklar bilan harakatlanadi. Faqat nay devorlariga bevosita yaqin qatlamdagina o‘rtacha tezlik to‘liq qatlamlardagiga nisbatan kichik bo‘ladi. Bundan laminar oqishda suyuqlikning qovushoqligi nay kesimi­ning barcha qismida, turbulent oqishda esa faqat nay kesimining devorlarga juda yaqin qismida namoyon bo‘ladi degan xulosa kelib chiqadi.

Yuqorida qayd qilganimizdek, nay orqali oqayotgan suyuqlik tezligining biror kritik qiymatidan boshlab oqish turbulentlik harakteriga ega bo‘la boshlaydi. Suyuqlik oqishining xarakteri Reynolds soni (Re) deb ataladigan o‘lchamsiz kattalikka bog‘liq.

 (5.15)

-suyuqlik zichligi, -nay kesimi bo‘yicha suyuqlik oqishining o‘rtacha tezligi,  suyuqlikning qovushoqligi (dinamik qovushoqlik),

-nay kesimining o‘lchami, masalan, tsilindrsimon nayning diametri.

***Reynolds soni ifodasidagi suyuqlik xossasiga bog*‘*liq bo*‘*lgan  va  lar nisbatini kinematik qovushoqlik deb ataladigan***

 (5.16)

Buni hisobga olsak, (6.16) ifoda quyidagi ko‘rinishga keladi:

 (5.17)

Tajribalarning ko‘rsatishicha, oddiy sharoitlarda tsilindr­simon naylar orqali suyuqlikning oqishi laminar xarakterga ega bo‘lishi uchun *Re<2300* bo‘liganda lozim. *Re>2300* bo‘lganda esa turbulent oqish namoyon bo‘ladi.

**Savollar:**

1. Barqaror oqim?
2. Uzluksizlik tenglamasi?
3. Bernulli tenglamasi?
4. Dinamik bosim?
5. Gidravlik bosim?
6. Statik bosim?
7. Qovushqoqlik?
8. Reynold soni?