

28.07.10.73
B-20

E.Ismailov, N.Mamatkulov,
G'.Xodjayev,Q.Norboev

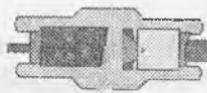
BIOFIZIKA VA RADIOBIOLOGIYA

Toshkent – 2018

26.09.10
13-50
O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O'RTA MAXSUS
TA'LIM VAZIRLIGI

E.Ismalov, N.Mamatkulov, G'.Xodjayev, Q.Norboyev

BIOFIZIKA VA RADIOBIOLOGIYA



5440100 – Veterinariya, 5410600 – Zootexniya, 511000 – Kasb
ta'limi (5111009 – Veterinariya), (5111015 – Zootexniya) bakalavr
ta'lim yo'nalishlari uchun darslik

«Sano-standart» nashriyoti
Toshkent – 2018

UO'K: 577.3:619(075.8)

KBK: 28.07ya73

B 70

Biofizika va radiobiologiya / darslik: E.Ismailov,
N.Mamatkulov, **G'.Xodjayev**, Q.Norboyev: «Sano-
standart» nashriyoti, 2018-yil. – 488 bet.

Darslik O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lif vazirligi tomonidan 2016-yil 25-avgustda №355 -buyrug'i bilan tasdiqlangan. "Biofizika va radiobiologiya" fanining namunaviy o'quv dasturi asosida yozilgan. Darslik 5440100 – Veterinariya, 5410600 – Zootexniya (tarmoqlar bo'yicha), 511000 – Kasb ta'limi (5111009 – Veterinariya), (5111015 – Zootexniya) bakalavri ta'lim yo'naliishlariga mo'ljallangan.

Darslikda veterinariya va chorvachilik sohalari uchun katta ahamiyatga ega bo'lgan biomexanika, bioakustika, gidrodinamika, biologik tizimlarda ko'chish hodisalari, termodinamikaning biologik asoslari, bioelektromagnetizm, kvant biofizikasi, atom nurlari, radiobiologiyaga oid ma'lumotlar bayon etilgan.

O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lif vazirligi tomonidan veterinariya, zootexniya, kasb ta'limi veterinariya va kasb ta'limi zootexniya bakalavriat yo'naliishlari talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan.

Taqribchilar:

Z.F.Ismoilov – biologiya fanlari doktori, Samarqand davlat universiteti "Genetika va biokimyo" kafedrasи professori.

N.O.Sodiqov – fizika-matematika fanlari nomzodi, Samarqand tibbiyot instituti "Biofizika" kafedrasи mudiri, dotsent.

UO'K: 577.3:619(075.8)

KBK: 28.07ya73

ISBN: 978-9943-5335-9-2

© E.Ismailov va boshqalar, 2018
© «Sano-standart» nashriyoti, 2018

SO‘Z BOSHI

Uzbekiston Respublikasi “Ta’lim to‘g‘risida” gi qonuni hamda
taklifatini tayyorlash milliy dasturi” asosida yuqori malakali,
judokorlik va tashabbuskorlik qobiliyatiga ega, kelajakda kasbiy va
berovli minomodarni mustaqil hal qila oladigan, yangi texnika va
tehnologiyalarga teg moslashishga layoqatli kadrlarni tayyorlashda
ta’lim jadoyunni Davlat ta’lim standartlari asosida tuzilgan
namunaviy fan dasturiga muvofiq yozilgan darsliklar bilan
qo‘shishga mulkan umumiyatga ega. Ushbu darslik Davlat ta’lim
standartida belgilangan asosiy o‘quv materialini qamrab olgan va
tadabbur namonidan bilmularni mustaqil o‘zlashtirib olishga hamda
taklifatni yo‘nalishlarni shakllantirishga, amaliy faoliyatda
qo‘shishga ijodiy qobiliyatni shakllantirishga moslab
etilishi.

“Davlatda bioteknika va radiobiologiya” fani namunaviy o‘quv
dasturi ushbu va didaktik tilablar asosida barcha mavzular to‘liq
radiobiologiya fonda murojat ta’lim yo‘nalishlarida foydalanish
umumiylashtirilishi o‘sib olingan.

Uchitish o‘quv materiallari tushunarli, mantiqiy va tizimli
bo‘lgan ushbu fonda milliy xususiyatlarni shakllantirishga
otordiqdan. Dujat nazoriy bilim berish bilan cheklanmasdan
xususiyat, o‘sish suyu va qorako‘chilik mutaxassisliklariga oid
sizdari bo‘lib olib olsadani shakllantiruvchi muammoli savollar va ijodiy
texnologiq berish yetti bilan o‘quv materiallari aniq maqsad va
xarakterga yo‘naltilingan. Mustaqil O‘zbekiston kelajagini fan va
ijodiyligi shakllantirishni chiqqur egallagan va hayotga tadbiq qila
uchlikni yopiq mukakkal minoxsizsiz tasavvur qilib bo‘lmaydi.
Bo‘lganligi uchun mutaxassislarni tayyorlash, asosan, oliy ta’lim
texnologiyalari shakllantirishni tushadi. Bunday sharaflı va o‘ta
me’moriyati yozilishni bajarish uchun yangi pedagogik
texnologiyalardan va namunaviy axborot texnologiyalardan dars
berish jadoyidagi umumi foydalanish talab qilinadi. Mamlakatimiz
namoyishli o‘sishidan buyon veterinariya, zootexniya va
“radiobiologiya” ta’lim yo‘nalishlari uchun o‘zbek tilida yozilgan
“Bioteknika va radiobiologiya” fani bo‘yicha darslik rasmiy etilmasligi

Mualliflar tomonidan tavsiya etilayotgan “Biofizika va radiobiologiya” fani darsligi ko‘p yillar davomida shu san dasturiga binoan o‘qilgan ma’ruzalar asosida tayyorlandi.

Darslikda ko‘pgina fizik qonuniyatlarning nazariyasi, ya’ni formulalarni keltirib chiqarishga e’tibor qaratilmasdan, balki o‘rganilayotgan qonunlarning fizik mohiyati kasbiy yo‘nalishlarga mos keluvchi qo‘llanish sohalari va amaliy ahamiyatga ko‘proq e’tibor berilgan.

Ushbu kitobda tirik organizmlarda kechadigan fizik jarayonlar va hodisalarning fizik mexanizmlari hamda biomexanika, bioakustika, ultratovushning veterinariya va qishloq xo‘jalik amaliyotida qo‘llanilishi, biologik tizimlarda ko‘chish hodisalarini, kapillyarlik hodisalarini tushuntirishda, yurak va qon tomirlarda qonning harakatini, elektr, magnit va optik hodisalar shu bilan birga ko‘rish hodisasining biofizik mohiyati, nurlanishning tirik organizmlarga ta’siri va kasallikkarni davolashda qo‘llash usullari, molekulyar va hujayra radiobiologiyasi, hujayralar va to‘qimalarning nurlanishga reaksiysi, ionlashiruvchi nurlanishning organizm to‘qimalari va organlarga ta’siri, radiobiologik effektlar, tashqi ionlashtiruvchi nurlanish ta’sirida kelib chiqadigan shikastlanishlar ionlashtiruvchi nurlanishning ichki organlarga tushishi natijasidagi zararlanishlar, nurlangan organizmlar tiklanishi, radioekologiya va uning vazifalari, radioaktiv moddalarning organizmlarga tushishi, to‘planishi va chiqarilishi, radioaktiv moddalar toksikologiyasi, ionlashtiruvchi nurlanishdan himoyalish, riasasion havfsizlikni ta’minlash, atom yadro nurlarining qishloq xo‘jaligida qo‘llanilishi to‘liq bayon qilingan.

Darslik mualliflari O‘zbekiston Milliy universiteti biofizika kafedrasи va Toshkent Davlat Agrar universiteti Fizika va kimyo kafedrasи jamoasiga darslikni yozishda bergan ko‘rsatmalari uchun minnattorchilagini izhor qilishadi.

KIRISH

Bizning tevarak-atrofimiz, barcha narsalar, bizning o'zimiz ham materialyaning bir bo'lagimiz. Keng ma'noda oladigan bo'lsak materialya bu moddiy borliqdir. Boshqa tabiiy fanlar kabi "Biofizika va radiobiologiya" fanning ham maqsadi tirik tabiat va tirik organizmni o'rjanishdir. Materiya doimo harakatdadir. Bu harakat oddiy bo'libidan tortib, talakkurga qadar koinotda sodir bo'ladigan hamonch o'zgarishlari va jarayonlarni o'z ichiga oladi. Biologik harakat materialya harakatining olyi formasidir, lekin oddiy harakatni tomonidan ruxsati olyi harakat mexanizmini bilib bo'lmaydi. O'simlik va hayvonot olamida turli xil fizik va kimyoiy jarayonlar sodir bo'ladi. Animo hujayr hukumatning olyi formasi sifatida unga har tomonidan zondaoshini talab qiladi.

Fizika qobiliyatiga uzoqlangan holda, biologiya, fizika va kimyonotga o'tashishi joyida yangi fan "Biofizika va radiobiologiya" tunc yozg'ut ketdi. Biofizika va radiobiologiya – biologik strukturlariga fizik va fizik-kimyoiy jarayonlarni va tirik organizmga torti ondillarning ta'siri o'rjanadi.

"Biofizika va radiobiologiya" faniga quyidagicha ta'rif berish mo'minkun:

"Biofizika va radiobiologiya" – fizik va fizik-kimyoiy processlarni, biologik strukturlar ultrastrukturasini tashkil qilishning hamonch olyalarini shahmolekulyar va molekulalardan to to'qima va to'liq organi amalga o'rpanidigan faudir.

Turli organominda sodir bo'ladiغان turli jarayonlarning murakkabligiga va o'zaro bog'liqligiga quramasdan, ular ichidagi fizik jarayonlarni opashib ko'rnataish mumkin. Masalan, qon aylanishi bu organ suyuqlikning oqimi (gidrodinamika), tomirlar bo'ylab chavich va beldilarning tarqalishi (akustika), yurakning ishi va quvvati (cardiologia), biopotentiallarni generasiyası (elektr), nafas olishda gaz

harakati (aerodinamika), issiqlik uzatish (termodinamika), bug'lanish (fazoviy o'tishlar) va hokazo bo'limlarda o'rGANiladi.

Tirik organizmda fizik mikrojarayonlardan tashqari molekulyar jarayonlar ham sodir bo'ladi va ular biologik tizimlarning holatini belgilaydi. Bunday mikrojarayonlarning fizikasini tushunish organizm holati, ba'zi bir kasallikkarning tabiatini anglash, dorilarning ta'sirini va shu kabilarni to'g'ri baholash uchun zarurdir.

Kasallikkarga tashxis qo'yish biologik tizimlarni tadqiq qilishning fizik usullari, prinsiplari va g'oyalaridan foydalanishga asoslangan. Ko'pgina zamonaviy tibbiy asboblar tuzilishiga ko'ra fizik asboblardir, ulardan qon bosimini o'lchash, organizm ichkarisidagi tovushlarni eshitish, ichki organlarning kasal yoki sog'ligi haqida axborot olish, issiqlikdan kengayishga asoslangan termometrlar esa tibbiyotda keng tarqalgan tahlil qilish asboblaridir. Hozirgi davrda texnika va elektronikaning rivojlanishi tirik organizmda hosil bo'ladigan kuchsiz biopotensiallarni yozib olishga imkon bermoqda. Masalan, EKG yurak biopotensiallarni yozib olishdir. Tola optikasiga asoslangan endoskoplar esa organizm ichki qismlarini ko'rishga imkon bermoqda. Spektral tahlil qilishdan esa kriminalistika, gigiyenada, farmokologiyada va biologiyada foydalaniladi. Rentgen nuri yordamida tashxis qo'yishda nishonlangan atom usullari ham keng qo'llanilmoqda.

Tibbiyot va veterinariyada turli davolash usullari ichida davolashning fizik omillari ham alohida o'rin egallaydi. Masalan, suyak singanda gipslash, davolash maqsadida sovitish (krioterapiya), isitish yoki elektr yordamida isitish usullari, ul'trabinafsha, infraqizil, rentgen, gamma nurlar davolashda keng qo'llanilmoqda.

Tibbiyot va veterinariyada ishlatilayotgan materiallar fizik xossalari o'rGANish ham muhimdir, chunki bunday materiallar mavjud sharoitda ishlatilishini baholash uchun ular tayyorlangan materiallar fizik xossalari o'rGANish kerak. Masalan, protezlar

bayyorlash uchun qo'llanilayotgan materialning mexanik mosishkamligini, elastikligini, issiqlik o'tkazish qobiliyatini, elektr o'sishuvchanlikni va boshqa xossalarni bilish muhimdir.

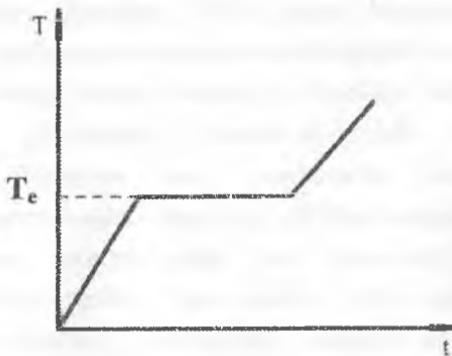
Turik organizm atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlashgan holdagina yubushi mumkin. U muhitning harorat, namlik, havo bosimi va boshqa fizik xarakteristikalarining o'zgarishlardan keskin ta'linanadi. Tashqi muhit yordamida davolash ham mumkin. Misalari, klimatoterapiya va baroterapiya.

I bob. BIOMEXANIKA ASOSLARI

§ 1.1 Qattiq jismlar deformatsiyasi

Moddalar molekulalarining joylashishiga qarab uch xil agregat holatida bo‘lishi mumkin; qattiq, suyuq va gaz holatlarida. Qattiq jismlarning o‘zi ham ikki turga bo‘linadi: kristall va amorf jismlar. Kristall holati anizatropiya, ya’ni fizik (mexanik, issiqlik, elektr, optik) xossalarining yo‘nalishga bog‘liq bo‘lishidir. Kristallar anizatropiyasining sababi ularni tashkil etgan atom va molekulalarning tartibli joylashishidir. Odatda kristall jismlarning polikristallari bir-biri bilan tutashib, tartibsiz joylashgan, ayrim kichkina kristallchalar shaklida uchraydi. Bu holda anizatropiya xossasi shu kristallchalar chegarasida kuzatiladi.

Kristallar atom va ionlari bir-biridan bir xil masofada joylashib, panjara hosil qiladi va panjara tugunlarida tebranma harakatda bo‘ladi. har bir kristall modda uchun aniq erish va qotish harorati mavjud bo‘lib, grafik usulida quyidagicha ifodalash mumkin. (1.1-rasm).



1.1-rasm. Qattiq jismning erish va qotish diagrammasi:
T-harorat, t-vaqt, T_e -erish harorati

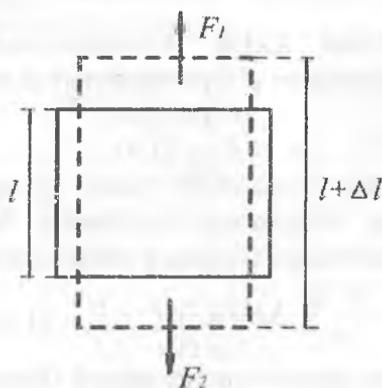
Jism harorati oshishi bilan atom va ionlar tebranma harakati osha boradi va har bir qattiq jism uchun aniq bir haroratda kristall panjara buzila boshlaydi. Tashqi berilayotgan issiqlik energiyasi shu panjarani buzishga sarflanadi. Toki hamma panjaralar buzilguncha kristall harorati o‘zgarmaydi. Bu haroratga erish harorati deyiladi.

Shunday jismlar borki, ularning na aniq shakli, na aniq erish nuqtasi bor. Bunday jismlarga amorf jismlar deyiladi. Ular izohrop xossaga ega, ya'ni fizik xossalari yo'nalishga bog'liq emas. Amorf jismlarning har qanday haroratda suyuq qismi ham, qattiq qismi ham bo'lishi mumkin. Bunday jismlarga parafin, mum, shisha kiradi. Kristallarda uzoq tartibli joylashuvi o'rinni bo'lsa, suyuq va amorf jismlarda atom va molekulalarning yaqin tartibli joylashuvi o'rindir.

Har qanday qattiq jism tashqi ta'sir tufayli o'z shakli va o'lchamlarini o'zgartirish xususiyatiga ega. Bu hodisaga deformatsiya deyiladi.

Agar tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng jism o'zining boshlang'ich shakliga qaytsa, bunday deformatsiyaga elastik, qaytmasa plastik deformatsiya deyiladi.

Umuman olganda, hamma deformatsiyalar plastikdir. Lekin kuch kichik bo'lganda elastik deformatsiya kuzatilishi mumkin. Deformasiyaning turli shakllari mayjud: cho'zilish (sinqilish), siljish, buralish, egilish. Bularni cho'zilish yoki sinqilish deformatsiyasiga olib kelish mumkin. Jismga tashqi deformatsiyalovchi kuch ta'sir etganda atomlar (ionlar) orasidagi masofa o'zgaradi. Bu esa atomlarni oldingi vaziyatga qaytarishga intiluvchi ichki kuchlarni yuzaga keltiradi. Bu kuchlarning o'lchovi mexanik kuchlanishdir.



1.2-rasm. Cho'zilish deformatsiyasini tasvirlash chizmasi

Jism kundalang kesimining birlik yuziga ta'sir qiluvchi kuchga mexanik kuchlanish deyiladi.

$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

Bu yerda σ – mexanik kuchlanish, F – kuch, S – yuza

Kuch yuzaga normal bo'lsa, ya'ni yuzaga nisbatan perpendikulyar holatda ta'sir qilsa – normal kuchlanish, kuch yuzaga urinma holda bo'lsa, tangensial kuchlanish deyiladi.

Deformasiya darajasi nisbiy deformatsiya orqali aniqlanadi.

Bo'ylama deformatsiyada $\varepsilon = \frac{\Delta\ell}{\ell}$ yoki ko'ndalang siqilishda esa

$$\varepsilon' = -\frac{\Delta d}{d} \quad (1.2)$$

Bunda ℓ – sterjenning uzunligi, d – sterjen diametri

Tajribadan ε' va ε orasida quyidagi bog'lanish borligi kelib chiqadi.

$$\varepsilon' = -\mu \cdot \varepsilon \quad (1.3)$$

Bunda μ – materialga bog'liq musbat koeffisiyent (Puasson koeffisiyenti).

Ingliz fizigi R.Guk kichik deformatsiyalar uchun nisbiy deformatsiya kuchlanishga to'g'ri proporsional ekanini aniqladi.

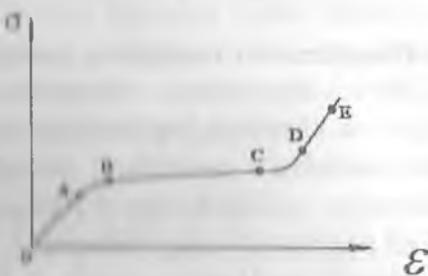
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.4)$$

Bunda E – Yung (elastiklik) moduli. Yung moduli nisbiy uzayish birga teng bo'lgandagi kuchlanish bilan aniqlanadi. Yuqoridagi formulalardan quyidagi bog'lanish kelib chiqadi.

$$F = \frac{E \cdot S}{\ell} \cdot \Delta\ell = \kappa \cdot \Delta\ell \quad (1.5)$$

(1.5) formula Guk qonunining matematik ifodasi. k – elastiklik koeffisiyenti. 1.3-rasmida kuchlanish bilan nisbiy deformatsiya orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. OA – elastik deformatsiya, B –

elastiklik chegarasi bo'lib, shunday maksimal kuchlanishni berakterlaydiki, bunda tashqi kuch ta'siri olingandan so'ng jismda qoldiq deformatsiya qolmasdan, u yana o'z shaklini tiklay oladi. BC – yorizohal oraliq kuchlanishning oquvchanlik chegarasidir, ya'ni bu oraliqda kuchlanish oshmasdan deformatsiya oshib boradi. E – eng kuchlanish jismning mustahkamlik chegarasi deyiladi. Moddalar elastiklik xossalari orasida juda katta farq bor. Masalan, pol'lat mustahkamlik chegarasidan 0,3% cho'zilgandayoq uziladi, yuroqhoq rezinalarmi esa 300% cho'zish mumkin. Bunday farq sifat hamda un yuqori molekulyar bog'lanishlar elastikligi mexanizmi bilan bog'liq.



F1-sizm. Mevvant kuchlanish va nisbiy deformatsiya orasidagi
log-binchli o'mevant kuchlanish, ϵ -nisbiy deformatsiya

Dastur qoidalidae mustahkamlik chegarasi va Yung moduli uchunchi quy oldi judayalda keltilrilgan.

1.1-jadval

Moddan	Yung moduli,	Mustahkamlik chegarasi, MPa
pol'lat	200 GPa	500
topazlik shishha	3,5 GPa	50
shishhad kapron	8 GPa	150
elastin	0,1 – 0,6 MPa	5
kollagen	10 – 100 MPa	100
shiryak	10	100

Elastik siqilgan sterjen potensial energiyasi tashqi kuchlar bajargan ishga tengdir

$$P = A = \int_0^{\Delta\ell} F \cdot dx \quad (1.6)$$

Bunda $\Delta\ell$ – absolyut uzayish. Guk qonunidan elastik siqilgan sterjen potensial energiyasi

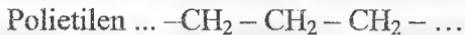
$$P = \frac{\kappa \cdot (\Delta\ell)^2}{2} \quad (1.7)$$

ya'ni deformatsiya kvadratiga to'g'ri proporsional bo'ladi.

§ 1.2. Biopolimerlar tuzilishi va xossalari

Molekulalari ko'p miqdordagi atomlardan yoki atom guruhlaridan tuzilgan va kimyoviy bog'lanishlar bilan biriktirilgan uzun zanjir ko'rinishidagi moddalar polimerlar deyiladi. Polimerlarning kimyoviy tuzilishlarining o'ziga xos xususiyatlari ularning maxsus fizik xossalari yuzaga keltiradi.

Polimer hosil qiluvchi moddaga monomer deyiladi. Polimerlar nomi monomer nomiga "poli" so'zi qo'shilishi yordamida hosil qilinadi. Masalan:

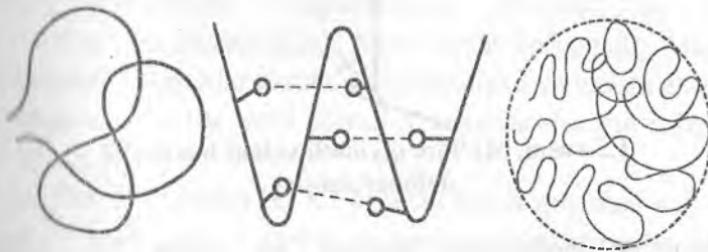


Bir xil kimyoviy tuzilishga ega bo'lsa ham polimerlar past molekulali moddalardan o'zining mexanik xossalari bilan keskin farq qiladi. Polimerlar yyetarlicha mustahkam va shu bilan birga katta qaytuvchan deformatsiyalanish qobiliyatiga ega. Polimerlar mexanik xossalari jihatidan qattiq jism va suyuqliklar xossalaring birlashmasidan tashkil topgan materiallardir.

Bitta monomerdan hosil qilingan polimerlar gomopolimerlar deb, ikki va undan ko'proq monomerdan tashkil topganlari sopolimerlar deb ataladi.

Hayvonlar va o'simliklardan olingan materiallar – jun, soch, ipak, paxta, tabiiy kauchuk va sh.k., shuningdek, sun'iy olingan materiallar – plastmassalar, tola, sintetik kauchuk kabilar ham polimer moddalar hisoblanadi. Organizmdagi oqsil moddalar: albumin, globulin, kazein, keratin va kollagenlar polimer materiallardir. Biopolimerlar barcha tirik organizmlar strukturasining asosini tashkil etadi. Bular oqsillar, nuklein kislotalar, polisaxaridlar, glikoproteidlar, glikolipidlar va boshqalar.

Polimerdagagi atomlar va ularning guruhlari orasidagi o'zaro ta'sir ko'chburi va issiqlik harakati tufayli makromolekula o'lchamlari va sharti turlicha bo'lishi mumkin. Ushbu ta'sirlar natijasida polimer makromolekulasining tashqi ko'rinishi o'zgarishiga konformasiyon o'rnatishlar deyiladi. 1.4-rasmda polimer makromolekulalarining ayrim konformasiyalari keltirilgan:



a)

b)

c)

1.4-rasm. Polimer makromolekulalarining konformasiyalari.

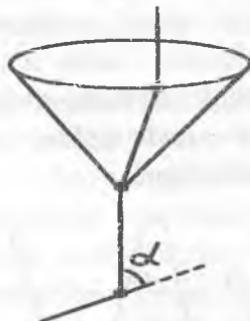
a – statistik o'ram, b – spiralsimon, c – globula.

Statistik o'ram shakliga ichki issiqlik harakati tezligi tashqi o'rnatishlardan ustunroq bo'lgan makromolekulalar ega bo'ladi, bunday konformasiyaning ko'philik polimerlar – polietilen, polipropilen, polibutadiyen va hokazolar egallaydi.

Spiralsimon konformasiya oqsillar va nuklein kislotalarga xos bo'lib, ularda ushbu shakl bo'lishiga atom gurublari orasidagi qat'ishli javobgardir (masalan, vodorod bog'lanishlar). Globula konformasiyasiga, ya'ni deyarli sferik shakldagi kompakt

konformasiyaga kuchli ichki molekulyar o‘zaro ta’sirga ega polimer makromolekulalari ega bo‘lishadi. Masalan, ftor atomiga ega bo‘lgan polimerlar (politetraftoretilen).

Polimer zanjirida valentli bog‘lanishlar orasidagi burchaklar ma’lum qiymatga ega bo‘ladi. (1.5-rasm). Bu esa zanjirdagi bir bo‘g‘in vaziyatining undan oldingi bo‘g‘in vaziyatiga bog‘liqligiga olib keladi. Bunday zanjir erkin bo‘g‘imlanganiga qaraganda kam sonli konformasiyani qabul qiladi, lekin katta egiluvchanlik qobiliyatiga ega.



1.5-rasm. Ma’lum qiymatli valent burchakli polimer zanjiri

Polimerlar molekulyar massasi bir necha o’n mingdan millionlargacha bo‘lgani uchun juda katta o‘lchamlarga ega bo‘lishi mumkin. Polimerlar o‘lchami juda katta bo‘lgani tufayli ularning qaynash harorati haddan tashqari yuqori bo‘ladi. Shuning uchun polimerlar kondensasiyalangan holatda: suyuq yoki qattiq holatda bo‘ladi. Qattiq polimerlar amorf va kristall ko‘rinishda bo‘lishi mumkin.

Kristall polimerlarda atomlar, bo‘g‘inlar va zanjirlar joylashishida uzoq tartib mavjud. Amorf polimerlarda esa bo‘g‘inlar joylashishidagina yaqin tartib kuzatiladi.

Oqsil makromolekulalari konformasiyasi spiralsimon (fibrillyar oqsillar) yoki globula (globulyar oqsillar) shaklida bo‘lishi mumkin. Ushbu strukturalar (oqsillar uchun ular ikkilamchi deb ataladi,

birlamchi deb yaqin tartibdagi bo‘g‘inlar konformasiyasiga aytildi), bir necha spirallarning bir-biriga chirmashib ketishi yoki tugun hosil qilishi bilan murakkablashadi. Ushbu strukturalar uchlamchi deb ataladi. Vodorod, tuz, disulfid va boshqa bog‘lanishlar tufayli bir necha makromolekulalar umumiyliz tizim hosil qilishsa, to‘rtlamchi struktura vujudga keladi.

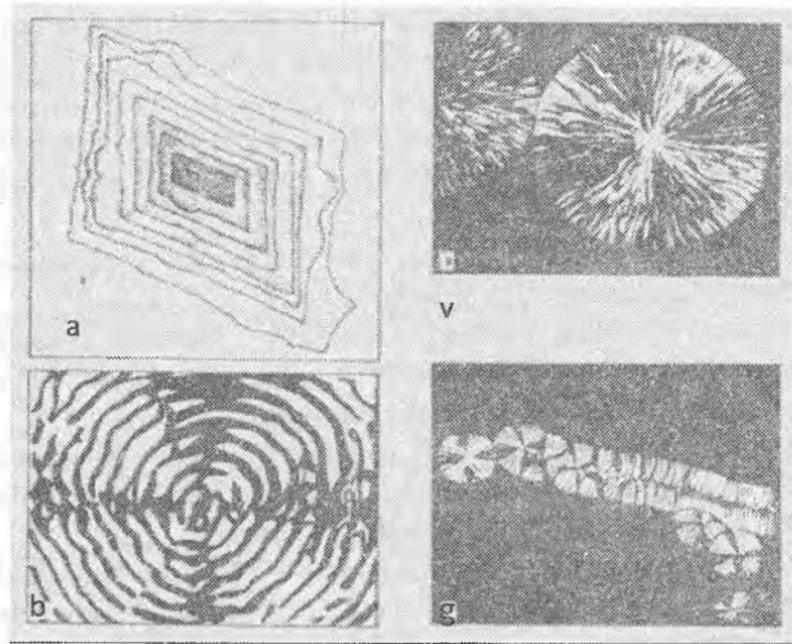
Polisaxaridlarda (sellyuloza va kraxmal) spiralsimon makromolekulalar bog‘larga birikadi.

Amorf polimer yuqori elastiklik holatida kuchli deformatsiyalanish xossasiga (1000% gacha) ega bo‘lib, uning deformatsiyalanishida qaytuvchanlik mavjuddir.

Kristall polimerlarning eng tarqalgan turlariga quyidagilar kiradi: kristallitlar, monokristallar, fibrillalar, sferolitlar. Ayrim kristall polimerlar tuzilishi 1.6-rasmda ko‘rsatilgan.

Yuqori molekulyar strukturalarning o‘lchami va shakli polimerlarning mustahkamligiga katta ta’sir ko‘rsatadi. Masalan, kichik sferolitli polimerlar katta mustahkamlikka va yaxshi elastiklik sususiyatiga ega bo‘lib, yirik sferolitli nusxalar esa mo‘rtlik bilan buzilib ketadi.

Polimerlar o‘lchamlari bir xil bo‘lgan holda quyidagi uch turga bo‘linadi : elastik , yarim elastik va qattiq to‘g‘ri tayoqcha. Ushbu bu-biridan elastikligi bilan farq qiluvchi polimerlar turli nazariy modellar bilan xarakterlanadi. Elastik polimerlar Zimm modeli istsosida tushuntirilsa, qattiq tayoqcha holatidagi polimerlar uchun tuyuq kristallik holatda ichki dinamik harakat deyarli yo‘qligi tan olinadi. Yarim elastik polimerlar nazariyasi bu ikki chekka holat nazariyalarining sintetik birlashmasidan iborat.



1.6-rasm. Kristall polimerlar strukturasi.
a – monokristall (polietilen); b – halqali sferolit;
v – radial sferolit; g- sferolit tasma

Kratki-Porod modelida polimerning yarim elastik zanjirida erkin energiyaning o‘zgarishi (dG) ning polimer konturi bo‘ylab siljishi (ds) ga bog‘liqligi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi.

$$\frac{dG}{ds} = \frac{dG}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2 G}{d\theta^2} \right) \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 \quad (1.8)$$

Zanjirda doimiy egilish momenti bo‘lmasa

$$\frac{dG}{d\theta} = 0 \text{ va bu holda (1.8) tenglamadan}$$

$$\frac{dG}{ds} = \frac{k}{2} \cdot \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 \quad (1.9)$$

Bundan polimerning egilishga bikrligi uchun quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$k = \frac{d^2 G}{d\theta^2} \quad (1.10)$$

To'la energiyaning o'zgarishi (ΔG)ni topish uchun (1.9) ifodani kontur uzunligi bo'yicha integrallaymiz:

$$\Delta G = \frac{k}{2} \int_0^L \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 \quad (1.11)$$

Zanjirning kichik siljishlarida egilish burchagi siljish uzunligiga proporsional bo'ladi ($\theta = r \cdot s$, bunda r-doimiy kattalik), u holda (1.11) tenglama quyidagicha bo'ladi.

$$\Delta G = kr^2 \int_0^L \frac{ds}{2} \quad (1.12)$$

$$\text{Bu yerda } r = \frac{d\theta}{ds}$$

Umumiy egilish burchagini quyidagi ifodadan topamiz:

$$\theta_L = \int_0^L r ds = rL \quad (1.13)$$

Shunday qilib, energiya uchun quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\Delta G = \frac{k \cdot \theta_L^2}{2L} \quad (1.14)$$

Egilish burchagini termodinamik muvozanatida bo'lgan tizimlar uchun Boltzman tenglamasidan foydalananib topish mumkin:

$$\langle \theta_L^2 \rangle = \frac{\int_0^\pi e^{-\Delta G/kT} \theta_L^2 d\theta_L}{\int_0^\pi e^{-\Delta G/kT} d\theta_L} = \frac{LrT}{k} \quad (1.15)$$

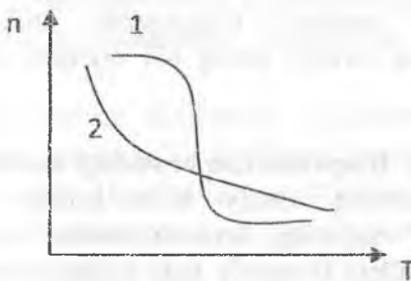
Zanjirning ko'ndalang yo'naliishlardagi siljishlarini hisobga olmasak, (1.15) tenglamani 2 ga ko'paytirish kerak bo'ladi. U holda

$$\langle \theta_L^2 \rangle = \frac{2LrT}{k} \quad (1.16)$$

Yuqoridagi mulohazalardan elastiklik kuchi paydo bo'lishi termodinamik xarakterga ega ekanligi kelib chiqadi.

Elastik zanjirning dumaloq o'ram shaklini egallashi uning termodinamik elastikligi bilan aniqlanadi. Eritmada polimerning eng ehtimoliyatli konformasiyasi – dumaloq o'ram shakli bo'lib, bunda tizim entropiyasi maksimal bo'ladi. Polimer cho'zilishida o'ram ochilishi boshlanadi va mumkin bo'lgan konformasiyalar soni kamayadi, bu entropiya kamayishiga olib keladi. Turli ko'p molekulalı tizimlarda atomlar orasidagi barcha o'zaro ta'sirlarni ikki turga ajratish mumkin: ko'shni bo'g'inlar atomlari orasidagi yaqin tartibli o'zaro ta'sirlar, va zanjir bo'ylab bir-biridan uzoqdagi atomlarning zanjir egilishi paytida tasodifiy holda bir-biriga yaqinlashgan paytida hosil bo'lgan uzoqdan o'zaro ta'sir yoki hajmiy effektlar. Hajmiy o'zaro ta'sirlar tufayli yaqinlashgan qismlar bir-birini tortishi yoki itarishi mumkin. Harorat oshishi monomerlarning o'zaro itarilishini oshirsa, pasayishi ularning o'zaro tortilishiga imkon beradi. Shunday qilib, harorat o'zgarishi polimer o'lchamlarining o'zgarishiga olib keladi, bu esa monomer bo'g'inlari soni o'rtacha zichliklari (n) o'zgarishda o'z ifodasini topadi. 1.7-rasmda qattiq tayoqcha zanjiri va egiluvchan zanjir uchun bo'g'inlar soni o'rtacha zichligining haroratga bog'lanish grafigi keltirilgan.

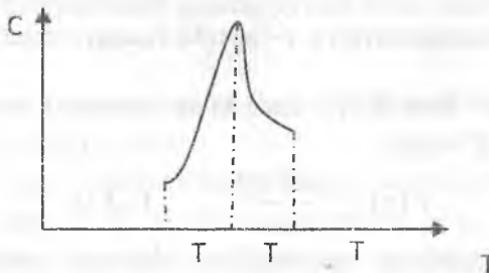
Quyida keltirilgan grafikda qattiq tayoqcha uchun harorat oshgan sari o'ramning globulaga aylanishi turli fazalar orasidagi birinchi turdag'i o'tishi, ya'ni polimer, agregat holatining o'zgarishi bilan birgalikda ro'y beradi. Egiluvchan zanjirlar uchun bu o'tish issiqlik effektlarsiz, ikkinchi turdag'i fazali o'tish kabi ro'y beradi.



1.7-rasm. Manomer bo‘g‘inlari soni o‘rtacha zichligining haroratga bog‘lanishi. 1-qattiq tayoqcha, 2-egiluvchan zanjir, n-bo‘g‘inlar soni o‘rtacha zichligi, T-harorat

Yuqorida keltirilgan xulosalar gomopolimerlar uchun to‘g‘ri edi. Real biopolimerlarda konformasjon o‘zgarishlarini qarab chiqishda monomer bo‘g‘inlarining turli tabiatga ega ekanligi, hamda hajmiy o‘saro ta’sirlarning o‘ziga xos xususiyatlarini hisobga olish zarur.

Oqsillarning harorat denaturasiyasini (tabiiy strukturasining buzilishi) birinchi turdag‘i fazada o‘tishiga yaqin bo‘ladi. Issiqlik denaturasiyasini jarayonida biopolimerning globulyar (yoki spiral) holatdan denaturasiyalangan o‘ramli holatga o‘tishida issiqlik sig‘imining o‘zgarishi ro‘y beradi. 1.8-rasmda biopolimerlar issiqlik denaturasiyasini sohasida issiqlik sig‘imining o‘zgarishi ko‘rsatilgan.

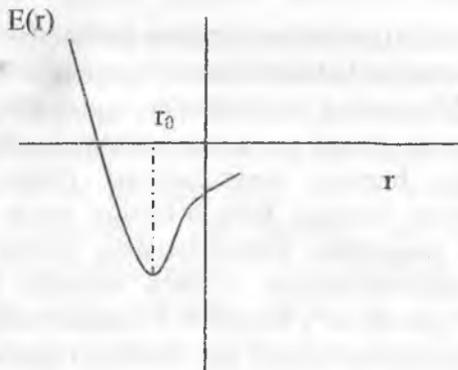


1.8-rasm. Biopolimerlar issiqlik denaturasiyasini sohasida issiqlik sig‘imining o‘zgarishi. C – issiqlik sig‘imi T_1 – boshlang‘ich harorat T_d – issiqlik yutishi maksimumining harorati, T_2 – erish jarayonining oxirgi harorati

Biopolimerlar harorati o‘zgarganda mikrostrukturasining o‘zgarishiga eritma tarkibi, uning pH qiymati ham o‘z ta’sirini ko’rsatadi.

§ 1.3. Biopolimerlar orasidagi kuchlar

Polimer zanjirining asosiy ketma-ketligi yoki birlamchi strukturasi (oqsil zanjirdagi aminokislotalar, nuklein kislotalar zanjirdagi nukleotidlar) kimyoviy yoki valent o‘zaro ta’sirlar bilan aniqlanadi, bundan tashqari molekulalar orasida kuchsiz kovalent kuchlar ta’sir etadi. 1.9-rasmda ikki zarracha o‘zaro ta’sir potensial energiyasining ular orasidagi masofaga bog‘lanish grafigi keltirilgan.



1.9-rasm. O‘zaro ta’sir energiyasining masofaga bog‘lanish grafigi.
E – potensial energiya, r- masofa, r_0 -muvozanat masofasi

O‘zaro ta’sir kuch $F(r)$ o‘zaro ta’sir potensial energiyasi bilan quyidagicha bog‘langan:

$$F(r) = -\frac{dE(r)}{dr} \quad (1.17)$$

Kichik masofalarda molekulalar elektron qobiqlari o‘zaro ta’sirlashganda itarish kuchlari kuchliroq, kattaroq masofalarda tortishish kuchliroq bo‘ladi.

1.9-rusmda E(r) egri chiziqning $r=r_0$ dagi minimumi itarishish va max'ishih kuchlari tenglashadigan muvozanat vaziyatiga to‘g‘ri keladi.

Makromolekulalarning ikkilamchi strukturasi asosan quyida berib chiqiladigan o‘zaro ta’sir kuchlariga bog‘liq: Van-der-Vaals o‘zaro ta’sirlari, vodorod bog‘lanishi, elektrostatik ta’sirlar.

Van-der-Vaals kuchlari suyuq va qattiq holatlar paydo bo‘lishda mol gazlardagi molekulalarning o‘zaro ta’siri katta rol o‘ynaydi. Biologik makromolekulalarni ham kondensasiyalangan tizimlar, deb qurashak, ularda ham Van-der-Vaals kuchlari muhim ahamiyatga ega edi.

Van-der-Vaals o‘zaro ta’sirlari energiyasi 4–8 kJ/mol va undan yuqori bo‘ladi. Molekulaning 300 K haroratdagи issiqlik energiyasi esa ~1 kJ/mol, kovalent bog‘lanishlar energiyasi esa 170–630 kJ/molga teng. Van-der-Vaals kuchlari elektromagnit tabiatga ega bo‘lib, qo‘shti molekulalardagi elektr dipollar o‘zaro ta’siri bilan qo‘shadi. O‘zaro ta’sirlanuvchi molekulalar doimiy elektr dipollariga egaligi yoki bu dipol molekulalari elektron qobiqlarining qutblanuvchili natijasida hosil bo‘lishiga qarab Van-der-Vaals kuchlarning turli tiplari mavjud.

Ushbu to‘g‘ri chiziqdagi yotuvchi ikki dipol o‘zaro ta’siri (E_0) energiyasi quyidagicha bo‘ladi:

$$E_0 = -\frac{2p_1^2 \cdot p_2^2}{3kTR^2} \quad (1.18)$$

Bunda p_1, p_2 -dipol momentlari, k - Bolsman doimiysi, T -harorat, R - dipollar orasidagi masofa.

Doimiy dipol momentlariga ega bo‘lmagan molekulalar orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlari dispersion yoki qutblanuvchan o‘zaro ta’sirlar deb ataladi. Dispersion o‘zaro ta’sirlar kvantumsonik xarakteriga ega bo‘lib, tashqi orbitadagi elektronlar haqidati bilan bog‘liq.

Dispersion o'zaro ta'sir energiyasi quyidagi formula yordamida ifodalanadi.

$$E_d = -\frac{1}{24(\pi\epsilon_0)^2 R^6} \sum nk \frac{|m_{n1}|^2 \cdot |m_{k2}|^2}{(E_{1n} - E_{10}) + (E_{2k} - E_{20})} = -\frac{A}{R^6} \quad (1.19)$$

Bunda m_{n1} ; m_{n2} - birinchi molekulaning n holatdan 0 holatga o'tish dipol momenti; m_{k2} -ikkinchi molekulaning k holatdan 0 holatga o'tish dipol momenti, E_{1n} va E_{2k} 1 va 2 molekulaning n va k holatidagi energiyalari.

Ikki molekulaning Van-der-Vaals o'zaro ta'siri (1.18) va (1.19) ifodalar yig'indisi bilan topiladi. Odatda buning o'rniga Lennard-Jons potensialini berish orqali aniqlanadi.

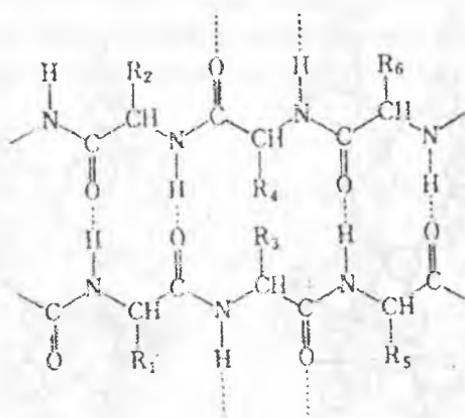
$$U = -\frac{A}{R^6} + \frac{B}{R^{12}} \quad (1.20)$$

Bunda A,B-tajribada aniqlanadigan doimiy sonlar, R-molekulalar orasidagi masofa. (1.20) ifodada birinchi had molekulalarning o'zaro tortishishga, ikkinchi had esa molekulalarning o'zaro itarishishiga mos keladi. Masalan, $0\dots 0$ o'zaro ta'siri uchun $A=1547,7 \text{ кДж}\cdot\text{нм}^5/\text{моль}$, $B=895,23 \cdot 10^3 \text{ кДж}\cdot\text{нм}^4/\text{моль}$ qiymatga ega.

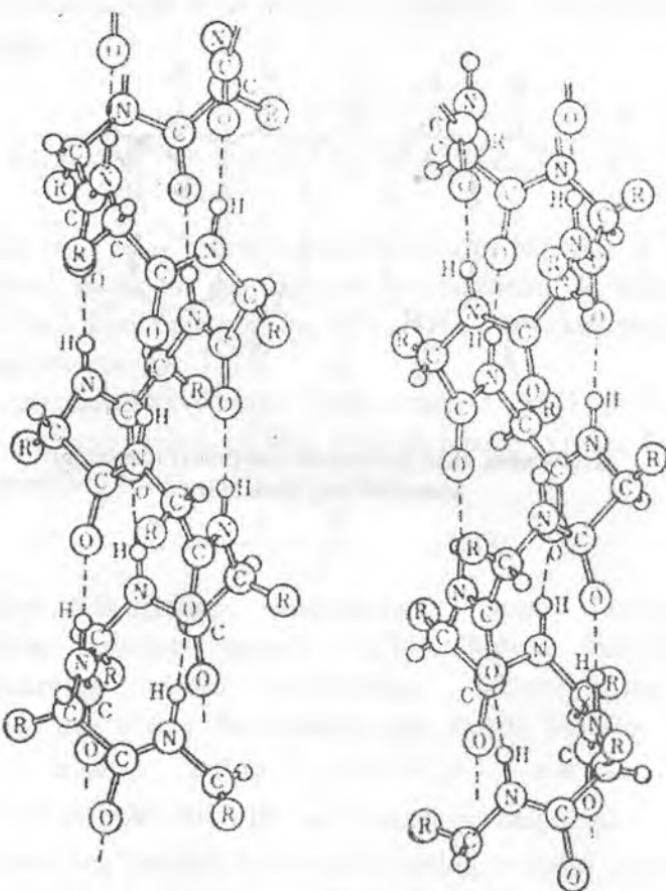
Vodorod bog'lanishda bitta molekulaning vodorod atomi bilan boshqa molekuladagi elektromanfiy O, N, F, Cl atomlar orasidagi bog'lanishga aytildi. Vodorod bog'lanish tabiatini murakkab bo'lib, faqatgina elektrostatik tortishishdan iborat bo'lmaydi.

Vodorod bog'lanishining energiyasi 10–40 kJ/mol oraliqda bo'ladi.

CO- va NH-guruuhlar orasida vodorod bog'lanishlari hosil bo'lganda polipeptid zanjirida hosil bo'ladigan tuzilmaga ikkilamchi struktura deyiladi. 1.10-rasmida ikki polipeptid zanjirda hosil bo'lgan vodorod bog'lanishlari punktir chiziqlar bilan kovalent bog'lanishlar tutash chiziqlar bilan ko'rsatilgan.



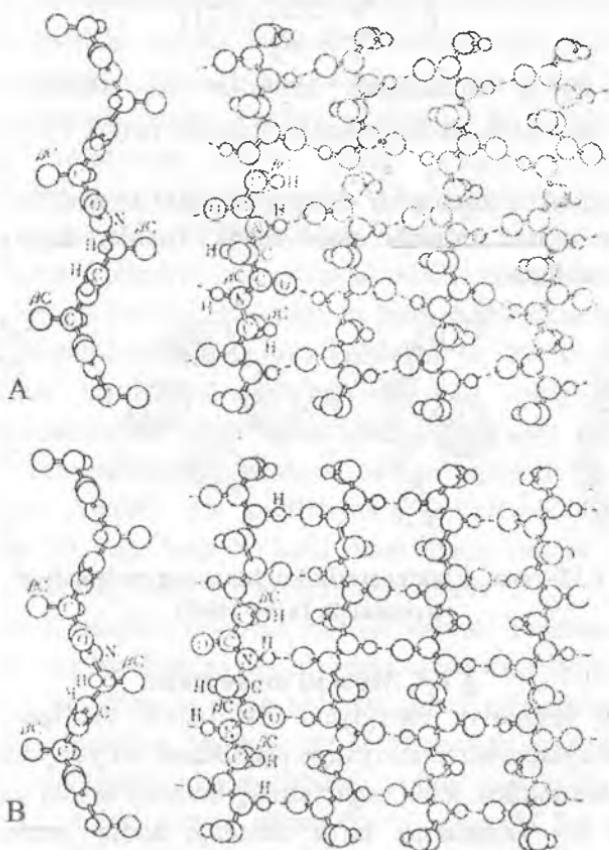
1.10-rasm. Ikki polipeptid zanjirlari orasidagi vodorod bog'lanishlar



1.11-rasm. Oqsilning α -spiral strukturasi: R-yon radikallar; tutash chiziqlar kovalent bog'lanishlar, punktir chiziq-vodorod bog'lanishlar

Polipeptid zanjiri ikkilamchi strukturasi α -spiral yoki β -struktura ko'rinishida bo'lishi mumkin. Oqsildagi α -spiral quyidagi shartlarga bo'yasinadi: 1) C-N peptid bog'lanishi planar (bitta tekislikda yotuvchi) bo'lishi; 2) vodorod bog'lanishlari C=O va N-H guruhlari orasidagina bo'lishi zarur (1.11- va 1.12- rasmlar)

Yagona polipeptid zanjiri hosil qiladigan α spiraldan farqli invishda β -struktura ikki polipeptid zanjirlar orasida hosil bo'ladigan vodorod bog'lanishlar tufayli paydo bo'ladi. (1.12-rasm)



**1.12-rasm. Oqsilning turli β -strukturalari. A-paralel,
B-antiparalel**

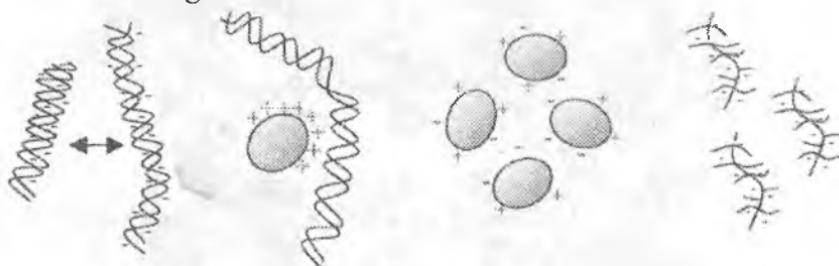
α -spiral va β -struktura tipidagi ikkilamchi strukturalar vodorod bog'lanishlari tufayli hosil bo'ladi va nordon hamda asosiy aminoislotalar qoldiqlari orasidagi elektrostatik o'zaro ta'sirlar tufayli mustahkamlanadi. Peptid zanjirlaridagi turli atomlar ularda zaryad

taqsimotiga qarab bir-biridan farq qiladi. Zaryadlangan atomlar orasidagi o'zaro ta'sir potensial energiyasi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$E_e = \sum_j \frac{q_i q_j}{\epsilon \cdot R_{ij}} \quad (1.21)$$

Bunda q_i , q_j - atomlardagi zaryadlar, R_{ij} - atomlar orasidagi masofa, ϵ - dielektrik sindiruvchanlik (oqsillar uchun 3,5 ga teng deb olinadi).

Elektrostatik o'zaro ta'sir energiyasi ~ 500 kJ/mol. 1.13-rasmda molekulyar o'zaro ta'sirda elektrostatik kuchlar asosiy bo'lgan hollar ko'rsatilgan.



1.13-rasm. Elektrostatik kuchlarning molekulyar tizimlarda ta'sir etishi

§ 1.4. Muskul mexanikasi

Muskul kimyoviy energiyani ish bajara oladigan mexanik energiyaga aylantirish xususiyatiga ega. Bu ish ixtiyoriy harakatlarni bajarish, shuningdek, ichki organlarning harakati uchun sarf bo'ladi. Muskullar o'z xossalariiga ko'ra odatdagi qattiq jismlardan farq qiladi va elastomerlar, ya'ni kauchuk tipidagi materiallar jumlasiga kiradi. Buning sababi shuki, muskullar bilan kauchukning elastiklik moduli taxminan bir xil ($1 \cdot 10^8 \text{ N/m}^2$) muskul bilan kauchuk cho'zilganida rentgen nurlari difraksiyasining o'zgarishlari bir xil bo'ladi, harorat o'zgarishlariga muskul ham, kauchuk ham bir xil reaksiya ko'rsatadi. Muskul qisqaruvchan va elastik elementlardan tashkil topgan. Bu tizimning xossalari gliserin bilan ishlangan

muskul preparatlar membrana borligidan kelib chiqadigan xossalarni yo'qotib qisqaruvchan tizimlarni saqlab qoladi.

Bundan tashqari, aktomiozin eritmasi yoki aktin va miozin preparatlaridan qisqaruvchan modda iplarini sintezlash mumkin.

Shartli ravishda, odatda, muskullar modellari deb ataladigan ana shunday preparatlar muskul faoliyatini o'rganish uchun juda qulay obyekt hisoblanadi. Mana shunday modellarga va tirik muskullarga har xil stimulyator ta'sir ettirib olingan eksperimental ma'lumotlarning o'z parametrlari jihatidan bir-biriga yaqin bo'lishini tekshirishlar ko'rsatib berdi. Masalan, modellarda hamda tirik muskulda izohetrik qisqarishdan kelib chiqadigan taranglik taxminan bir xil bo'ladi. Modellarda ham, tirik muskullarda ham ATP (Adenozintrifosfor) ning bir xil nisbatda bo'lishi kuzatiladi.

Muskullar ishi. Muskullarning kimyoviy energiyasi odatda issiqlik aylanmasdan turib qisqarishning mexanik energiyasiga aylanadi. Termodinamik hisoblar skelet muskuli qisqarganda kuzatiladigan foydali ish koefissiyenti (ko'pchilik hollarda bu koefissiyent 50 %ga teng bo'ladi) muskulning issiqlik mashinasi prinsipiiga muvofiq ishlay olmasligini ko'rsatadi.

Ma'lumki, issiqlik mashinasi yuksak haroratlari manbadan issiqlik olar ekan, uning bir qismini foydali ishga aylantiradi, qolgan issiqlik esa harorati bir muncha past bo'lgan qabul qiluvchi tomonidan yutiladi. Shu boisdan foydali ish koefissiyenti, masalan, 30 % bo'lgan issiqlik mashinasining ishlashi uchun juda katta haroratlar farqi bo'lishi talab qilinar ekan. Qabul qiluvchi harorati 37°S atrofida o'zgarib turadigan gavda haroratiga teng keladigan bo'lsa, u holda issiqlik manbaining harorati taxminan qip-qizil cho'g'lanish haroratiga yetishi mumkin. Shunday qilib, muskul issiqlik mashinasi singari ishlab, yoqilg'ining kimyoviy energiyaga aylantiradigan bo'lganda edi, ajralib chiqadigan energianing atigi 30 % ini o'zlashtirish haroratning shu qadar ko'tarilib ketishiga olib borar ediki, bunda muskulning qisqaruvchan oqsillari muqarrar denaturasiyaga uchrab qolgan bo'lar edi. Qisqarish vaqtida energiya

muskul bajaradigan ish uchungina sarflanmasdan, balki issiqlik ajralishiga ham sarflanadi. Ish vaqtida muskullarning issiqlik hosil qilishi ancha kuchayadi va muskullarning qisqarish tezligiga bevosita bog'liq bo'ladi. Muskul asta-sekin qisqarganda vaqt birligi ichida u tez qisqargandagiga qaraganda kamroq issiqlik ajralib chiqadi.

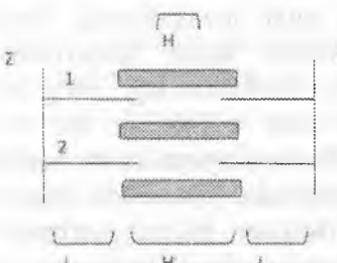
Ma'lumki, muskul tolalarining miofibrillalari Z-membranalar deb ataladigan qambar qora chiziqlar bilan ayrim qismlarga ajralsa (uzunligi taxminan 2,5 mkm keladigan qismlarga), ya'ni sarkomerlar bo'ylab joylashgan yorug' yo'llar, izohop yo'llar yoki I disklar deb atalsa, sarkomerning markazidagi qora yo'l anizohrop yo'l yoki A-disk deb ataladi.

A-disk markazida N - zona deb ataladigan birmuncha yorug' yo'l ko'zga tashlanadi.

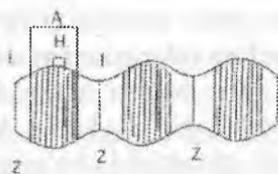
1.14-rasmda miofibrillaning bo'ylama kesimi, 1.15-rasmda esa uning sxematik tuzilishi ko'rsatilgan. 1.15-rasmdag'i qora chiziqlar Z-chiziqlardir. Miofibrillaning ikkita Z-chiziqlar orasidagi qismi sarkomer deb ataladi.

Skelet va yurak muskul tolalarida miofibrillar o'rta sidagi bo'shliqda joylashgan endoplazmatik retikulumdan hosil bo'lган alohida vakuolalar tizimi topilgan. Mana shu tizimning bir qismi muskul tolesi bo'ylab ketgan A - disklar sohasida joylashgan, u ko'ndalang holatni egallaydi va sarkolemaning plazmatik membranasiga aylanadi. Endoplazmatik retikulumning fazoda shu tariqa joylashuvi muskul tolesi ichida qo'zg'alish impulsları o'tishini ta'minlab beradi.

Z-disklar sohasiga mikroelektrodlar yordami bilan ta'sir berish avvaliga o'sha disk bilan cheklangan sarkomerlarining qisqarishiga sabab bo'lishi aniqlandi, keyinchalik esa qisqarish muskul tolasining boshidan oxirigacha ro'y beradi.



1.14-rasm. Miofibrillaning bo'ylama kesimi tasviri



1.15-rasm. Sarkomer tuzilishi tasviri

Haddan tashqari yupqa (ultrayupqa) kesmalarni rentgenostruktura analizi va elektron mikroskopda tekshirishdan o'tkazib olingan zamonaviy ma'lumotlar (Xaksli va Xanson) izohop disklar tabiatini aniqlashga imkon berdi. Bu tekshirishlar miofibrillarning necha yuzlab (o'rtacha 2500 ta) juda ingichka iplardan tashkil topganligini ko'satdi, shu iplarning har biri oqsil molekulalarining polipeptid zanjirlaridan hosil bo'lgan. Bu iplar o'zining diametri va oqsil tarkibi jihatidan bir-biridan farq qiladi. Bir munda yo'g'onroq iplar (diametri $100\text{--}110\text{ }\text{\AA}$) asosan miozin oqsildan tashkil topgan bo'lsa, bir munda ingichkalari (diametri $40\text{--}50\text{ }\text{\AA}$) aktin oqsildan tashkil topgandir.

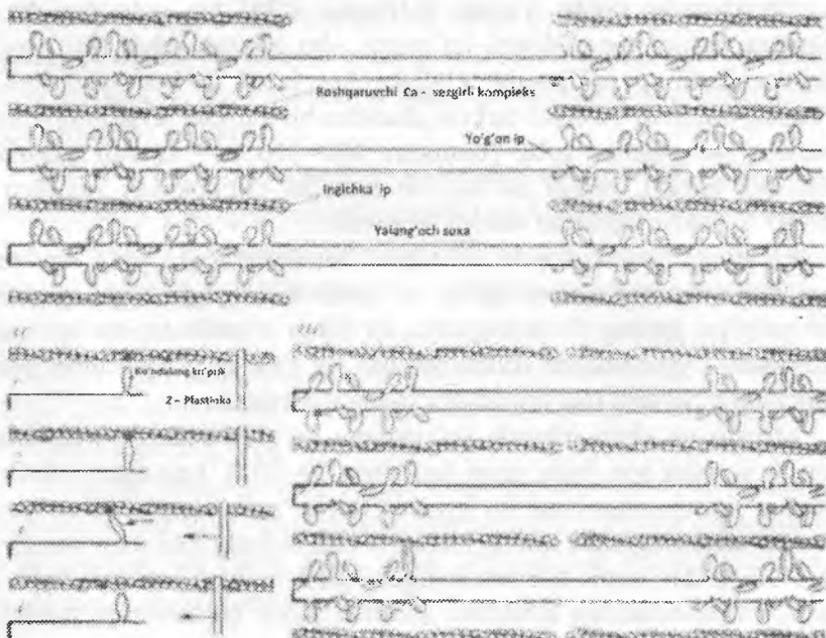
Elektron mikroskopda olingan fotosuratlarda yo'g'on va ingichka iplarning o'zaro qat'iy bir tartib bilan joylashganligi, har bir yo'g'on ipning 6 ta ingichka ip bilan o'ralib turishi ko'zga tashilanadi. Ayni vaqtida ikkita qo'shni yo'g'on ip o'rtasida bir juft ingichka ip bo'ladi (qo'shaloq geksoganal panjara).

Miozin va aktin iplarida ko'ndalang ko'prikhalar ko'rinishida yon birikmalar bor, bular orasi taxminan $60\text{--}70\text{ }\text{\AA}$ keladigan miozin iplari o'simtalaridan hosil bo'lgan. O'sha ko'prikhalar yo'g'on ipni qo'shni oltita ingichka ipning har biri bilan birlashtiradi va o'ramlari har $400\text{ }\text{\AA}$ dan keyin takrorlanadigan spiral bo'ylab joylashadi, shu narsa miofibrillarning struktura jihatdan yaxlit bo'lishini ta'minlab beradi.

Tinch holatdagi muskulda ko'prikhalar aktin bilan o'zaro ta'sirlashmaydi. Muskul qisqarganda I disk torayadi. A-disk uzunligi

o'zgarmaydi, Z-disklar bir-biriga qarab harakatlanadi. Natijada I disklar umuman yo'qoladi. Sarkomer hajmi qisqarishda kam o'zgaradi, demak, u qalinchashadi. Sarkomerdag'i yo'g'on iplar ingichka iplar orasiga sirg'alib kira boshlaydi, bu A.Xaksli sirg'aluvchan iplar nazariyasiidir. Bu nazariyaga ko'ra ingichka va yo'g'on iplar o'zaro ta'siri ko'prikchalar vositasida ro'y beradi. Tinch holatdag'i muskulda ko'prikchalar iplarga perpendikulyar joylashadi, qisqarishda ko'prikchalarning qiyalik burchagi o'zgaradi (rasm 1.16), natijada ko'prikcha ulangan aktiv markaz (rasmda ushbu markaz qora rangda berilgan) bir "qadam" ga siljishi ro'y beradi.

Shunday qilib, qisqarishda qo'zg'aluvchan qism ko'prikcha hisoblanadi. Muskulning qisqarishi iplarning uzunligini o'zgartirmasdan, ularning bir-biriga nisbatan harakati vujudga keladi: miozin iplar panjarasi aktin iplar panjarasiga kira boshlaydi.



1.16-rasm. Muskul qisqarishida ingichka va yo'g'on iplarning sirg'alishi

Muskul izohetrik qisqarishda bosil qiladigan kuch qiymati sarkomer uzunligiga bog'liqdir. Sarkomer cho'zilishida kuch iplar ustma-ust tushish zonasasi o'zgarishiga chiziqli holda kamayadi, ya'ni kuch aktin va miozinning kontaktlari soniga proporsionaldir.

Shunday qilib, miozin ko'prigi bilan aktinning bog'lanishi kuch paydo bo'lishiga olib keladi, muskul qisqarsa ko'prik kuchi nolgacha kamayguncha iplar sirg'alishi vujudga keladi. Sirg'aluvchi iplar modelida har bir ko'prik siklik ishlaydi. Ko'prik kuch hosil qiladigan yo'ini ishchi yurish deb, keyingi harakatini ko'priknинг teskari yurishi deb qarash mumkin. Ushbu sikel davomida ATF sarf bo'ladi. Ishchi yurish davomida ko'prik ATF gidrolizining erkin energiyasini mexanik ishga aylantiradi. Teskari yurishda ko'prik holatining o'zgarishiga ATF energiyasining bir qismi sarf qilinadi.

Yo'g'on miozin iplari A – diskda, bir muncha ingichka aktin iplari esa V – diskda turadi, shu aktin iplari – diskga kirib, N – zonaga yetib boradi. Asosan A – disklarga yaqin miofibrilla sarkoplazmasida mitoxondriyalar joylashgan, bularda oksidlanish va fosforlanish jarayonlar natijasida hosil bo'ladigan ATF muskul qisqarishiga bevosita energiya beruvchi manba hisoblanadi.

Bu borada V.A.Engelgard va M.N.Lyubimova (1939) muhim kashfiyat qildilar. Ular miozin qisqaruvchanlik xossasi borligi bilan bir qatorda u fermentativ aktivlikka ham ega bo'lib, ATFning makroergik bog'ini uzadigan adinozintrifosfataza fermenti ekanligini aniqlashdi.

Muskulda miozin bilan aktin miozinining fermentativ xossalariini taxminan 10 barobar kuchaytiradigan kompleks birikma aktomiozin hosil qila oladi. Aktomiozin ATF ta'sirida kichik konsentrasiyadagi magniy ionlari ishtirokida aktin va miozinga dissosiasiyalanadi.

Muskul qisqarishida ATF ikki xil rol o'ynaydi. U aktomiozin aktin va miozinga dissosiasiyalanishiga sabab bo'ladi va ayni vaqtida miozinning adinozintrifosfataza xossalari ta'siri bilan o'zi parchalanib, muskulning qisqarishi uchun zarur energiyani ajratib

chiqaradi. Muskuldagi qisqaruvchan oqsillarning makromolekulalari kooperativ tizimlarga misol bo'la oladi. Bunga sabab shuki, ularning atvori o'zlarini hosil qiluvchi elementlarining o'zaro ta'siriga bog'liq. Muskul qisqarishi kooperativ xarakterga ega, chunki muskul ishi qisqaruvchi oqsillar konfigurasiyasining o'zgarishiga bog'liq. Bu hodisalar ketma-ket bo'lib o'tadigan bir qancha fazalar bilan yuzaga chiqishi mumkin. Bu fazalar bir-biriga bog'liq bo'lib, bir-birini taqozo etishi muskul reaksiyasini ta'minlaydi.

Suyak to'qimasining 2/3 qismi noorganik modda (gidrosilappatit)lardan tashkil topgan. Qolgan qismi organik moddadan kollagendan (yuqori molekulyar birikmadan) yuksak elastik xossaga ega bo'lgan tolali oqsildan tashkil topgan. Gidrosilappatit kristalchalari kollagen to'qimalari (fibrillalar) orasida joylashgan. Suyak to'qimalari zichligi 2400 kg/m^3 , uning mexanik xossasi yoshga va tananing qismiga qarab turlicha bo'ladi.

Teri kollagen tolalaridan, elastin va asosiy to'qima materialidan iborat. Kollagen quruq massasining 75%, elastin esa 4 % tashkil qiladi.

Elastin rezina kabi cho'ziladi (300% gacha), kollagen esa kapron tolasiga o'xshash cho'ziladi (10%). Teri yuqori elastik xossaga ega.

Muskullar tarkibiga kollagen va elastin tolalaridan tarkib topgan tutashtiruvchi to'qima kiradi. Shuning uchun ularning mexanik xossalari polimerlar mexanik xossalariiga mos keladi.

Qon tomirlari to'qimasining mexanik xossalari kollogen, elastin va muskul tolsining xossalari orqali aniqlanadi.

Odam va hayvonlarning mexanik ishi ko'pgina sabablarga bog'liq bo'lgani uchun oldindan ishning biror chegaraviy qiymatini ko'rsatish qiyin. Massasi 70 kg bo'lgan sportchi 1 metr yuqoriga ko'tarilsa, u 0,2 sekund vaqtida 3,5 kVt quvvatga ega bo'ladi. Odam gavdasi bajargan ishni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin.

$$A = \frac{I \cdot \omega^2}{2} \quad (1.22)$$

Bunda I – inersiya momenti, ω – burchak tezlik.

Massasi 70 kg bo'lgan odam 5 km/soat tezlik bilan yurganda quvvatini 60 Vt ga oshiradi. Tezlik ortishi bilan bu quvvat yana ortadi, ya'ni 7 km/soat bo'lganda 200 Vt bo'ladi. Velosipedchi 9 km/soat tezlikda 30 Vt, 18 km/soat tezlikda 120 Vt quvvatga ega bo'ladi. Ko'chish bo'lmaganda ish 0 ga teng, lekin muskullar toliqishi ish bajarishdan dalolat beradi. Bunday ish muskullar statik ishi deyiladi. Odam bajargan ish ergometrlarda (veloergometrlar) bilan o'lchanadi. Jism gorizohtal tekislikda o'zgarmas tezlik bilan harakat qilayotganda ish havo qarshiligi va ishqalanish kuchini yengishga sarflanadi. Chopish paytida ishqalanishning ta'siri kichik, lekin chopishda ko'p energiya sarflanadi. Energiya yuguruvchining yuqoriga va pastga harakatiga, yerdan oyoqlar bilan itarilishga, issiqlik chiqarishga sarf bo'ladi. Bundan tashqari oyoqlarning massasi yuguruvchi massasining 50% tashkil qilib, u doimiy tezlashib, tormozlanib turadi. Shu sababli oyoqlar muskullari bajargan ish katta bo'lib, u

$$A = F \cdot d = \frac{m g^2}{2} \quad (1.23)$$

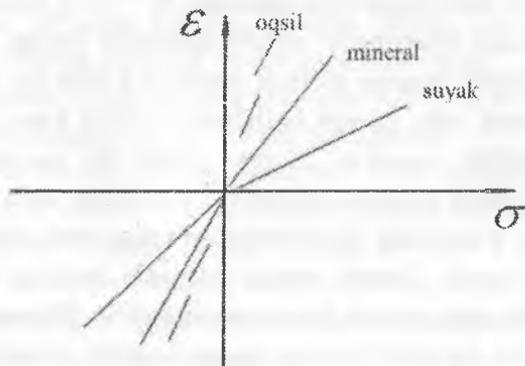
formula bilan aniqlanadi. Bunda F – muskul kuchi, d – muskulning ish bajarishga mos masofasi, m – oyoq massasi.

Agarda odam binoning to'rtinchi qavatidan pastga tushib ketsa, halok bo'lishi yoki majruh bo'lishi mumkin. Lekin shu balandlikdan sichqon, suvarak yoki mayda hashoratlar tushib ketsa, ularga hech narsa bo'lmasligi mumkin. Bunga sabab bu mayda jonivorlar yuzasining hajmiga nisbatan kichik bo'lishidadir. Jism yoki hayvon havoda pastga tushishida havo qarshiligi uning tezligining oshishiga qarshilik ko'rsatadi. Jismni pastga tortuvchi kuchga tortish kuchi deyiladi. U esa jism massasiga proporsionaldir. Havoning qarshilik kuchi, tezlik va og'irlik kuchiga qarama-qarshi yo'nalgandir. Jism tushishida uning tezligi bu ikki kuchlar tenglashguncha oshib boradi. Shu vaqtan boshlab, jism o'zgarmas tezlik bilan tusha boshlaydi. Erkin tushishning maksimal tezligi chegara tezlik deyiladi.

Yuzaning hajmga nisbati qanchalik katta bo'lsa, chegara tezlik shunchalik kichik bo'ladi. Odam uchun chegara tezlik 65 m/s, agar odam shar shaklida bo'lganda edi, uning chegara tezligi 105 m/s bo'lar edi. Hashoratlar va mayda jonivorlar uchun esa chegara tezlik bir necha m/s ga teng.

Shu sababli hashorat va mayda hayvonlar balandlikdan tushganda ko'p jarohat olmaydi.

Demak, chopuvchi tezligi uning o'lchamiga bog'liq emas. Bu hamma hayvonlar uchun ham o'rindir. Odamlar yomon chopuvchilardir, chunki ularning harakatini oyoqlarida to'plangan muskullar bajaradi. Odamning yarim massasi esa oyoqda. Shu sababli eng chopqir jonivorlar oyoqlari ingichka bo'lib, asosiy muskullari gavdada joylashgan. Masalan, straus 23 m/s, bo'ri va quyon 18 m/s, odam 11 m/s chopish tezligiga ega. Katta mushuklarning oyoqlari baquvvat, shu sababli ular tez chopishga emas, balki sakrashga mo'ljallangan. Ular o'ljani sakrab ushlaydi. Arslon o'zining o'jasini bir tashlanishda ushlay olmasa, u yugurmasdan yana kutadi. Quyidagi rasmda suyak va uning komponentalari uchun deformatsiya va kuchlanish orasidagi bog'lanish keltirilgan



1.17-rasm. Ba'zi moddalar uchun kuchlanish va deformatsiya orasidagi bog'lanish. σ -mexanik kuchlanish, ϵ -nisbiy deformatsiya

Yung moduli og'ish burchagi tangensi orqali aniqlanadi. Yumshoq biologik materiallar xuddi muskul to'qimalari singari elastik xossaga ega. Yumshoq materiallar elastomerlarga kiradi, ular suyak materialidan quyidagilar bilan farq qiladi;

– suyak materiali cho'zilish va siqilish chizig'i to'g'ri chiziqdan iborat bo'lsa, elastomerniki egri chiziq.

– Yung moduli suyak materiali uchun taxminan 10^{10} Pa va o'zgarmas bo'lsa, elastomerniki kuchlanishga qarab $10^5 - 10^6$ Pa oralig'ida o'zgaradi,

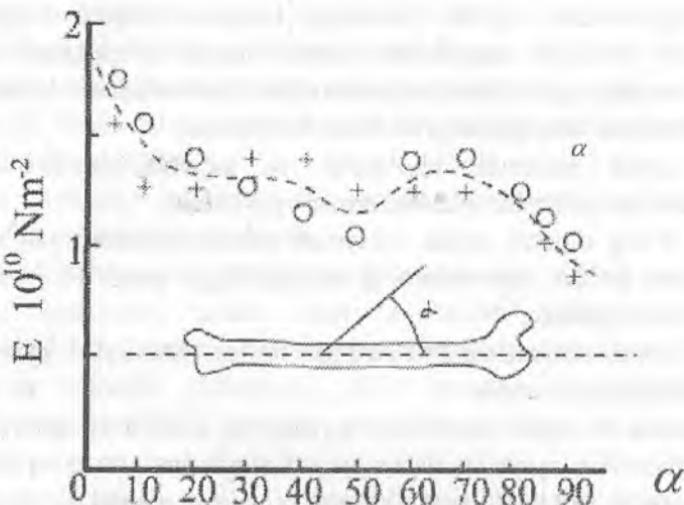
– suyak cho'zilishi 1% atrofida bo'lsa, elastilin 3 karragacha ham cho'zilishi mumkin.

Hamma biologik materiallar qayishqoq, elastik xossalarga ega, biroq elastiklik ayrim hollarda qayishqoqlikdan ustunroq bo'ladi. Qayishqoqlik va elastik xossalarning bir-biriga nisbati bir tomonidan materialning duch kelayotgan deformatsiyalar oralig'iga, ikkinchi tomonidan mexanik kuchlanishning vaqtga qarab o'zgarishiga bog'liqdir.

Ko'pchilik biologik materiallar qayishqoq elastik xossalari anizoh tropiyaga, yani elastiklik modulining turli yo'nalishlar bo'yicha har xil qiymatlarga ega ekanligi aniqlangan. Quyidagi rasmida (1.18-rasm) ho'kiz son suyagining elastiklik modulining bo'ylama o'qiga nisbatan joylashish burchagiga bog'liqligi ko'rsatilgan.

Quyidagi grafikning bunday ko'rinishi suyak funksional tuzilishining murakkabligidan dalolat beradi.

Biologik materiallarning cho'zilish paytidagi holatini elastik deb qarash emas, qayishqoq elastik deb qarash zarur. Ho'kiz va quyouning son suyagi uchun kuchlanish-deformatsiya bog'lanish chizig'ida $1,2 \cdot 10^{10} \text{ N/m}^2$ kuchlanishdan yuqoriroq kuchlanishlarda suyak elastik chegarasidan o'tishi aniqlangan. Suyak $\varepsilon = 5 \cdot 10^{-4}$ dan yuqoriroq chuzilishda qoldiq deformatsiyalangan bo'ladi.

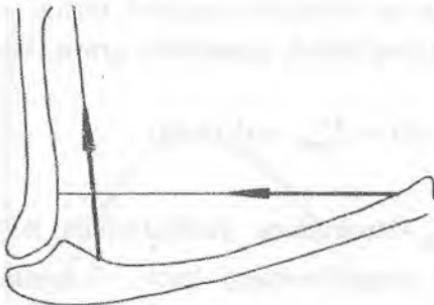


1.18-rasm. Ho'kiz son suyagi elastiklik modulining bo'ylama o'qiga nisbatan joylashish burchagiga bog'liqligi: – suyakdagisi o'lchamlar, + -quruq suyakdagisi o'lchamlari. α -burchak, E-elastiklik moduli

Biologik mexanizmlarning harakatlanuvchi qismlari odatda uning harakatidagi qo'zg'aluvchi yoki qo'zg'almas qismlari bilan tutashtirilgan bo'ladi.

Skelet suyaklari va muskullar birlashmasidan iborat bo'lgan bo'g'inalar, xayvonlar va odam tayanch-harakatlanish tizimini hosil qiladi.

Umurtqalilar biostatikasining asosiy prinsipi katta cho'zilishlarga bardosh bera oladigan muskul va paylar bilan katta siqilish va egilishga chidaydigan suyaklar birikishi mavjudligidir. (1.19-rasm)



a)

1.19-rasm. Suyaklarning muskullar va paylar bilan turg'unligi amalga oshishi

Normal tik turgan odam tanasida suyak va muskullardan iborat bo‘g‘inlar juda turg‘unmas holatdagi tizimni hosil qiladi. Shunga qaramasdan butun tizimning muvozanatda saqlanishiga sabab, tanani ushlab turuvchi muskullar tizimining doimiy taranglanib turishi tufaylidir.

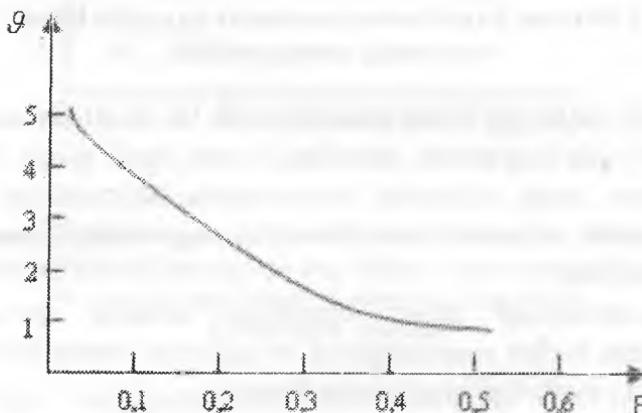
Umurtqalilarning skelet muskullari uzunligi bir necha millimetrdan o‘nlab santimetrgacha va qalinligi odatda $0,05 - 0,1$ mm bo‘lgan muskul to‘qimalaridan iborat.

To‘qimalar kundalang strukturalar bo‘lgan Z-plastinkalar bilan bir xil qismlar-sarkomerlarga bo‘lingan, ularning tinch holatdagi muskulda uzunliklari $2,2$ mkmni tashkil etadi. To‘qimalarning bo‘shashgan holatdan aktiv holatga o‘tish nerv impulsi ta’sirida sarkoplazmatik retikulumdan Sa^{2+} ionlarining chiqishi tufayli ro‘y beradi. Aktivlashish tugagandan keyin Sa^{2+} konsentrasiyasi $10^2 - 10^3$ marotaba kamayadi va $10^{-7} - 10^{-8}$ molni tashkil etadi. Muskullar aktivlashishi tufayli qisqaradi yoki uzunligi o‘zgarmagan holda kuchlanish hosil qiladi (izohetrik qisqarish). Aksincha izohopik qisqarishda muskullar doimiy kuchlanishda qisqarib, ish bajaradi. Muskullarning mexanik va energetik xossalari haqidagi ko‘pchilik ma’lumotlar A.Xill tomonidan 1930–1964-yillarda aniqlangan. Xill

tenglamasiga ko'ra muskullar qisqarish tezligi va hosil bo'ladigan kuch orasidagi bog'lanish giperbolik grafik bilan xarakterlanadi. (1.20-rasm)

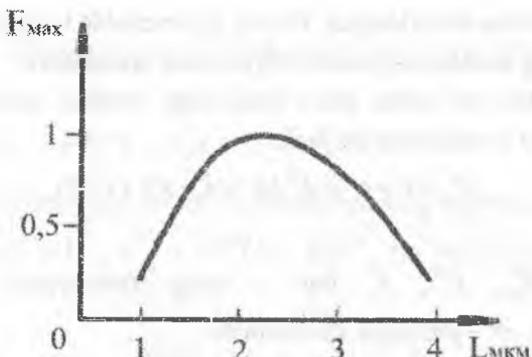
$$(F+a)(\vartheta+b) = (F_{\max} + a) \quad (1.24)$$

Bunda F_{\max} -muskulning kuchlanishida hosil kiluvchi kuch, ya'ni izohetrik qisqartirishdagi kuch, ϑ -muskul qisqartirishning o'rtacha tezligi



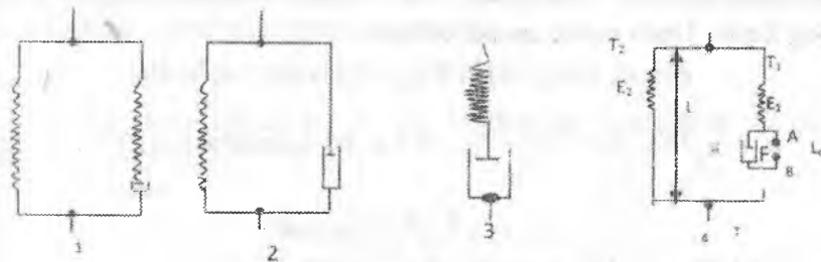
1.20-rasm. Qurbaqa biriktiruvchi muskul qisqarish tezligi ϑ bilan izohopik qisqarishdagi muskul kuchi F orasidagi bog'lanish

Muskullarning maksimal kuchi F_{\max} sarkomerlar uzunligiga bog'liq. Bu bog'lanish 1.21-rasmida keltirilgan. Undan ko'rindiki, faqat sarkomer uzunligi 2–3 mkm bo'lgandagina muskul kuchi o'zining maksimal qiymatiga erishadi. Kuchli uzayishda muskul qisqarishi kuchi miozin va aktin iplari zonalari qoplanmasligi tufayli keskin kamayadi.



1.21-rasm. Muskul maksimal kuchining (F_{max}) sarkomer uzunligiga (L) bog'lanishi.

Muskullar strukturasi, energetikasi va biomexanikasi haqidagi qovushoq elastik modelini A.Xill taklif etgan. Ushbu modelda muskul ikki paralel elastik elementlardan iborat bo'lib, ulardan biri qovushqoq dempfer bilan to'ldirilgan (1.22-rasm, 1). Tinch holatdagi muskul faqat elastiklik xususiyatiga ega.



1.22-rasm. Muskulning mehanik modellari. 1-Xill modeli, 2-Feygt modeli, 3- Maksvell modeli 4-Foygt-Maksvell modeli

Keyinchalik muskulning qovushoq elastik xossalarini o'rganish natijasida oldingi elastik elementlarga parallel bo'lgan yana bir elastik element mavjudligi haqidagi xulosa chiqarildi. Bunday tizimni Foygt modeli va Maksvell modeli bilan tushuntirishga urinishgan. Foygt modeli elastik element va unga parallel bo'lgan qovushqoq dempferdan iborat bo'lsa, Maksvell modelida bu

elementlar ketma-ket ulangan. Biroq, keyinchalik Foygt va Maksvell modellarining kombinasiyasidan foydalana boshlashdi.

Xill modeli bo'yicha tinch holatdagi muskul uchun quyidagi bog'lanishdan foydalansa bo'ladi:

$$\lambda_\sigma^0 \cdot \sigma + \sigma = E^0 (\varepsilon + \lambda_\varepsilon^0 \cdot \varepsilon) \quad (1.25)$$

Bunda λ_σ^0 , E^0 , λ_ε^0 har ε ning funksiyalari, ε – nisbiy deformatsiya, σ – mexanik kuchlanish.

$$\lambda_\sigma^0 \leq 1c, E^0 \sim 10^5 \text{ Pa}, \lambda_\varepsilon^0 \leq 1 \div 5c$$

Faol muskul uchun qovushqoq element o'rniga qisqaruvchi element kiritiladi. (1.22-rasm). Qisqaruvchi element qovushqoqlikka ega va muskul uyg'otilganda AV nuqtalar orasida ℓ_c masofaga bog'liq bo'lgan F_c kuchni hosil qiladi. Muskul faolligi darajasini $\gamma(t)$ parametr bilan aniqlasa bo'ladi, uning fizik ma'nosi mexanokimyoviy reaksiyada Ca^{2+} ionlari konsentrasiyasi bilan bog'liqidir. Unda ushbu model uchun

$$\sigma = \sigma_1 + \sigma_2; \quad \sigma_1 = E_1(\varepsilon - \Delta) = \eta \Delta; \quad \sigma_2 = E_2 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{\ell - \ell_o}{\ell_o}; \quad \Delta = \frac{\ell_c - \ell_{oc}}{\ell_{oc}}; \quad \sigma = o \text{ bo'lganda } \gamma = o, \ell = \ell_o,$$

$$\ell_c = \ell_{oc}$$

va (1.25) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\lambda_\sigma(\gamma)\sigma + \sigma = E(\gamma)[\varepsilon + \lambda_\varepsilon(\gamma) \cdot \varepsilon] + f \quad (1.26)$$

$\gamma < \gamma^*$ da (γ^* – reaksiya kyechishi uchun bo'sag'a konsentrasiyasi) $\lambda_\sigma = \lambda_\sigma^0$, $E = E^0$, $\lambda_\varepsilon = \lambda_\varepsilon^0$, $f = o$ bo'ladi va (1.26) tenglama (1.25) bilan bir xil bo'ladi. $\gamma > \gamma^*$ va $\gamma = const$ bo'lsa, muskulning tetanus holatiga mos keladi $F_c = F_c^\infty(\gamma, \Delta)$ va (1.26) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

$$\lambda_{\sigma}^{\infty}(\gamma) \overset{0}{\sigma} + \sigma = E^{\infty}(\gamma) \left(\overset{-}{\varepsilon} + \lambda_{\varepsilon}^{\infty}(\gamma) \overset{0}{\varepsilon} \right) \quad (1.27)$$

Bunda $\varepsilon = \overset{-}{\varepsilon} + F_c^{\infty}(y, \Delta) / E^{\infty}(y, \dots)$

Tajriba natijalariga ko'ra, faollashtirishning optimal chastotasida $\lambda_{\sigma}^{\infty} \approx 0,5c$, $\lambda_{\varepsilon}^{\infty} \approx 1c$; $E^{\infty} \sim 10^6 \text{ Pa}$; Ca^{2+} bo'sag'a konsentrasiyasi

$$10^{-7} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$$

tenglama yordamida muskul qisqarishlarini to'la xarakterlash uchun Xill tenglamasida tezlikni Δ ning hosilasi deb olish kerak.

Yuqorida ko'rib o'tilgan modellarning quyidagi kamchiliklari mavjud: a) ular bir o'lchamli; b) muskul qovushqoq elastik jism sifatida qaralganda qisqarayotgan muskul bilan bunday jism termodinamikasida farq borligi hisobga olimmagan; s) tenglamalardagi munosabatlar faqat bitta muskul uchun to'g'ri.

Xill tenglamasidan faydalaniib, muskullar qisqarish paytida bajariladigan ishni oson topish mumkin.

$$A = FV \cdot t = bF \cdot t(F_{\max} - F) / (F + a) \quad (1.28)$$

Ishning muskul kuchi F ga bog'liqligi murakkab bo'lib, $F = F_{\max}$ va $F = 0$

$$\frac{dA}{dt} = b(F_{\max} - F) \quad (1.29)$$

bo'lganda ish $A=0$ bo'ladi va $F = [a(F_{\max} + a)]^{1/2} - a$ bo'lsa, ish maksimal qiymatga erishadi. Muskul kuchi vaqtga bog'liq bo'lmagan deb olinganda skelet muskullarining quvvati ularning kuchlanishiga proporsional deb qarash mumkin.

Sut emizuvchilar harakati davomida skelet suyaklariga gravitasiya kuchlaridan tashqari tezlanish yoki tormozlanish paytida paydo bo'ladigan kuchlar ham ta'sir etadi.

XX asrning 70–80 yillarda R.Aleksandr tomonidan o'tkazilgan tadqiqotlarda oyoqning suyaklariga maksimal kuchlanishi chopayotgan kenguruda, sakrayotgan itda, tez harakatlanayotgan kiyikda, ho'kizda va filda aniqlangan. Bu hayvonlar massasi 7 dan 2500 kg gacha bo'lib, 350-marotaba farq qilsa xam, maksimal kuchlanishlar kam farq qilgan: 50 dan 150 MH/m^2 gacha. Bivenerli tadqiqotlarida massasi 0,1 kg bo'lgan burunduk va olmaxon uchun oyok suyaklarida maksimal kuchlanish 58 dan 86 MH/m^2 gacha bo'lgani aniqlangan. Bundan, shunday xulosaga kelamizki, massalari 25000-marta farq qiladigan hayvonlar uchun suyaklarga to'g'ri keladigan mexanik kuchlanish sezilarli darajada farq qilmaydi va suyaklar mustahkamlik chegarasi bilan taqqoslanarli qiymatlarga egadir. Hayvonlar massasiga bog'liq bo'limgan holda maksimal kuchlanishda naysimon suyaklarning nisbiy deformatsiyasi 0,2–0,3% dan oshmaydi. (1.2-jadval).

Naysimon suyaklar siqilishda nisbiy deformatsiyaning maksimal qiymatlari

1.2-jadval

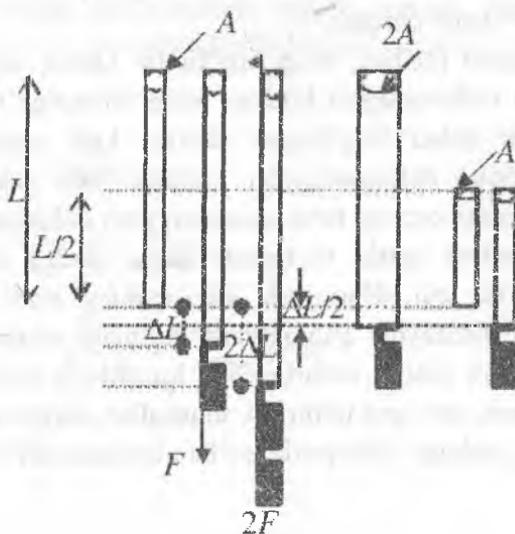
Hayvonlar	Suyaklar	Harakat turi	Nisbiy deformatsiya	Mustahkamlilik zahirasi
Ot	Katta boldir	Sakrab chopish	0,32	2,1
It	Yelka	Sakrab chopish	0,21	3,2
G'oz	Tirsak	Uchish	0,28	2,4
Xo'roz	Katta boldir	Qanotini qoqish	0,21	3,2
Qo'y	Bilak	Sakrab chopish	0,23	3,0
Indyuk	Katta boldir	Yugurish	0,235	2,9

Hayvonlar hamda odam tayanch-harakat tizimining faoliyatini chuqurroq o'r ganish suyaklarning, muskullar, bo'g'in, paylarning

xavfsiz ishlash mexanizmlarini, biomexanik tizimlar mustahkamlik chegarasini aniqlash, qishloq xo'jaligi va veterinariya tibbiyotini asosiy masalalarini yyechish imkonini beradi.

§1.5. Biomexanik jarayonlar

Qattiq jismlarga kuch bilan ta'sir qilganda uning elastik xossalar unga javob beradi. Jismni yaxlit ushlab turuvchi kuchlar qay darajada katta? Buni aniqlash uchun tajriba o'tkazish mumkin. Masalan, uzunligi 1 m bo'lgan mis simga vertikal yo'nalishda yuk qo'yamiz. Misning ko'ndalang kesim yuzi 10^{-6} m^2 . Agarda yana 5 kg yuk qo'shsak, u holda sim $5 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ga uzayadi (taxminan 0,5 mm). Agarda biz yana 10 kg yuk qo'shsak, uzayish 10^{-3} m ga ctadi, ya'ni 2-marta ko'proq cho'ziladi. Xuddi shunday ko'ndalang kesimi katta sim bunchalik uzaymagan bo'lar edi. Masalan, 0,1 m uzunlikdagi sim 10 kg yukda 10^{-4} m cho'zilgan bo'lar edi. Uzunligi 1m bo'lgan qalinroq sim ham kamroq cho'zilar edi. Ko'nlalang kesimi 10^{-5} m^2 bo'lgan sim 10 kg yukda 10^{-4} m cho'ziladi.



1.23-rasm. Deformatsiyalangan o'tkazgich.

(1.23 rasm). Agarda biz kuchni olsak, sim dastlabki holatiga qaytadi. Bu hodisaga elastik deformatsiya deyiladi. Agarda ko‘p yuk qo‘yilsa, bunday qaytish yuz bermaydi. (bu plastik deformatsiyadir). Elastik deformatsiyani quyidagi tenglama orqali yozish mumkin:

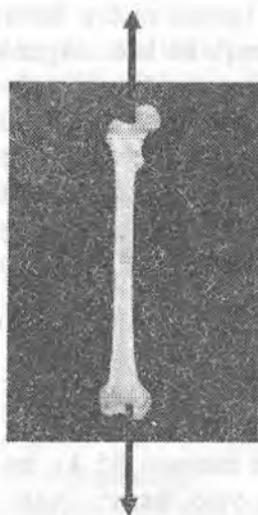
$$\frac{F}{A} = \gamma \frac{\Delta L}{L} \quad (1.30)$$

Bunda F –kuch, A –ko‘ndalang kesim yuzi, L –boslang‘ich uzunlik, ΔL –cho‘zilish, γ –elastiklik yoki Yung moduli. U n/m^2 da o‘lchanadi. γ –si katta jismlarni cho‘zish, γ si kichik jismlarga qaraganda qiyinroq. Tenglananing chap tomonidagi $\frac{F}{A}$ –kuchlanish deyiladi, u ham n/m^2 da yoki paskalda o‘lchanadi. $\frac{\Delta L}{L}$ –nisbiy deformatsiya o‘lchamsiz kattalik.

Misol 1. Mis uchun Yung modulini baholaymiz.

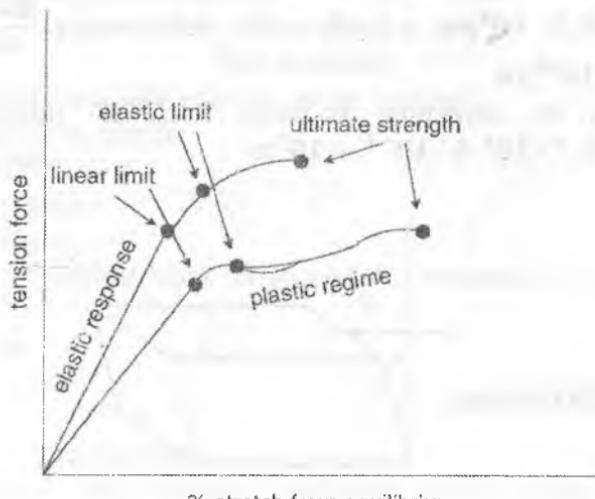
Yechish. mis sim ko‘ndalang kesim yuzi $10^{-6} m^2$, uzunligi 1m, yuk 10 kg, $\Delta L = 10^{-3} m$ formulaga qo‘yib hisoblasak, $\gamma = 10^{11} n/m^2$ kelib chiqadi.

Elastiklik atom tuzilishi bilan bog‘liqidir. Qattiq jismdagi atom va molekulalar elektromagnit kuchlar bilan bir-biriga bog‘langan . Buni prujinalar bilan bog‘langan sharlar kabi tasavvur qilish mumkin. Kichik deformatsiyalar uchun bu yaxshi model hisoblanadi. Tashqi kuchlar ta’sirida qattiq jism deformatsiyalanadi. Agar jism absolyut qattiq bo‘lganda hech qanday deformatsiya bo‘lmagan bo‘lar edi. Haqiqatda har qanday real qattiq jism deformatsiyaga uchraydi. Biologiyada ko‘plab strukturali qattiq jismlar mavjud va ularda deformatsiya kuzatiladi. Bularga suyak, yumshoq to‘qima, teri, qon tomirlari, muskallar, daraxt va boshqalar kiradi. Bundan tashqari tibbiyotda qo‘llaniladigan sun’iy implantlar ham kiradi.



1.24-rasm. Boldir suyagining kuchlanganligi

1.24-rasmda boldir suyagiga kuchlanish qo'yilgan. Agar boldir suyakka qo'yilgan kuchlanishni oshirib borsak, xuddi mis sim holidek, ya'ni 1.23- rasmdagidek holat uchun grafik hosil qilamiz.



1.25-rasm

Kuchlanish kam bo'lganda nisbiy deformatsiya va kuchlanish orasidagi bog'lanish chiziqli bo'ladi. Agar kuchlanish oshirilsa, bu bog'lanish chiziqli bo'lmaydi. Kuchlanish yana oshirilsa, suyak uzilishi mumkin. Katta yoshli odam suyagi 3% gacha cho'zilishi mumkin. Boshqa moddalar uchun, masalan, metall, shisha, polimerlar uchun deformatsiya plastik hisoblanadi.

Elastik deformatsiya quyidagi formula bo'yicha sodir bo'ladi:

$$F = \frac{YA}{L_0} \Delta L \text{ yoki } \frac{YA}{L_0} = K - \text{elastiklik koeffitsienti.}$$

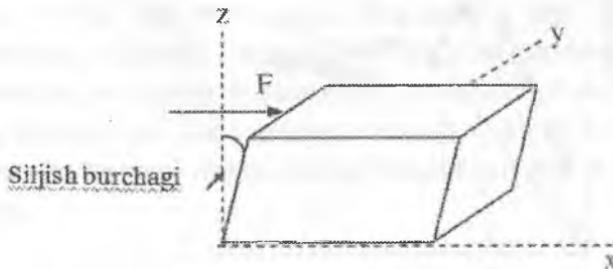
Mustahkamlit chegarasi cho'zilishiga qaraganda siqilishda 25% ga ko'proq bo'ladi.

Yuqoridagi formula Guk qonunidir.

Misol 2. Yung modulini suyak qismi deformatsiyasi uchun baholaymiz. Agar odam massasi 85 kg bolsa va suyak uzunligi 0,5m ko'ndalang kesim yuzi $6sm^2$. Agar odam 100 kg massali yukni ko'tarsa, boldir suyak 0,04 mm ga siqiladi. Agar elastiklik chegarasi $0,7 \cdot 10^8 pa$ bolsa, bu suyak qancha kuchlanishga chidam bera oladi?

Echish. 100 kg massali odam ikki oyog'i bilan ko'taradi, u holda har bir oyoq suyagiga $50kg \cdot 9,8 = 4904$ kuch to'g'ri keladi. Bu holda $\frac{F}{A} = 8,2 \cdot 10^5 pa$, u holda nisbiy deformatsiya $\frac{0,04mm}{0,5m} = 8 \cdot 10^{-5}$ yoki $10^{10} pa$.

Demak, bu suyakning ko'tarish kuchi F (mustahkamlit chegarasi) $1,7 \cdot 10^8 \cdot 6 \cdot 10^{-4} = 10^5 n$.



1.26-rasm. F kuch ta'sirida deformatsiyalangan qattiq jism

1.26 rasmida siljish deformatsiyasi ko'rsatilgan. Bu holda uch o'q bo'yicha deformatsiya uch xilda bo'ladi, ya'ni farq qiladi.

Bu holda ham kuchlanish kichik bo'lganda nisbiy deformatsiya va kuchlanish orasidagi bog'lanish chiziqli bo'ladi. Agar modda anizohrop bo'lsa, u holda 6 ta turli siljish moduli bo'ladi.

J. Newman, Physics of the Life Sciences, DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2_9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008, pp. 74–76

Tayanch iboralar deformatsiya, egilish, buralish, siliish, elastlik, plastik; noelastik, kollagen, Yung moduli, biopolimerlar

Xulosalar

Biomexanika hozirgi vaqtida turli tirik tabiat uchun ularda sodir bo'layotgan mexanik xossalarni o'rganish uchun asos bo'lib xizmat qiladi. Yurakning mexanik ishi va quvvati, muskullarning statik ishi va shunga o'xshash hodisalar shu bo'limda o'rganiladi. Bu bo'limda tirik tabiat uchun zarur bo'lgan deformatsiya hodisasi va uning turlarini ham o'rganish mumkin.

Test savollari

1. Deformasiyaning qanday turlari mavjud?
 - a) elastik va plastik;
 - b) kuchli;
 - c) noelastik;
 - d) kuchsiz.
2. Quvvatning o'lchov birligi vatt (V_t) ifodasini ko'rsating?
 - a) j/s;
 - b) m^2/s ;
 - c) j.s;
 - d) n.m.
3. Deformasiya nima?
 - a) tashqi fizik jarayonlar natijasida qattiq jismlar dastlabki formasining o'zgarishiga;
 - b) jismning o'z-o'zidan shakli o'zgarishiga;

- c) elektr maydon ta'sirida jism shaklining o'zgarishiga;
d) Magnit maydon ta'sirida jism shaklining o'zgarishiga.

4. Quyidagi formulalarning qaysi biri elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasini ifodalaydi?

a) $E = mc^2$;

b) $E = mgh$;

c) $E = \frac{\kappa x^2}{2}$;

d) $E = h\nu$.

5. Muskul qisqarganda bajargan ishning formulasini toping?

a) $A = F \cdot S$;

b) $A = mgh$;

c) $A = \frac{\kappa x^2}{2}$;

d) $A = F \cdot d$.

6. Muskul qisqarganda bajargan ish qaysi energiya hisobiga bo'ladi?

a) kimyoviy energiya;

b) potensial energiya;

c) issiqlik;

d) kinetik.

7. Tirik organizm muskullarining qisqarishi qaysi deformatsiya turiga kiradi?

a) buralish;

b) egilish;

c) siqilish;

d) plastik.

8. Elastiklik moduli nimani ifodalaydi?

a) jismning o'lchamini ikki barobar oshirish uchun zarur bo'lgan kuchlanishni;

b) jismni cho'zish uchun kerak bo'lgan kuchni;

c) jism energiyasini oshirish uchun bajarilgan ishni;

d) jismning o'lchamini qisqartirish uchun zarur bo'lgan kuchlanishni.

9. Jismlardagi anizohropiya hodisasi nimani ifodalaydi?

a) ularda issiqlik o'tkazuvchanlikning turli yo'nalishlarida turlicha bo'lishini;

b) jismarda fizik xossalarning turli yo'nalishlarda turlicha bo'lishini;

c) moddalarda fizik xossalarning turli yo'nalishlarda bir xilda bo'lishini;

d) jismlar elektr o'tkazuvchanligining yo'nalishga qarab turlicha bo'lishini.

10. Guk qonunini ifodasini ko'rsating?

a) $F = m \frac{d\vartheta}{dt}$;

b) $F = ma$;

c) $F = k \cdot \Delta\ell$;

d) $F = \frac{m\vartheta^2}{\tilde{a}}$.

11. Teri nimalardan tashkil topgan?

a) quruq massaning 75% kollagen, 4% elastik;

b) quruq massaning 75 % elastik, 4% ko'llagen;

c) quruq massaning 60% kollagen, 20% elastik;

d) quruq massaning 60% elastik, 20% kollagen.

12. Polimerlar deb nimaga aytildi?

a) molekulalari ko'p miqdordagi atom gruppalaridan tuzilgan va kimyoviy bog'lanishlar bilan birlashtirilgan moddalarga;

b) molekulalari va atomlari zich joylashgan moddalarga;

c) atomlari bir yo'nalish bo'ylab joylashgan moddalarga;

d) molekulalari o'zaro kimyoviy bog'lanishga ega moddalarga.

13. Suyak cho'zilishi qanchani tashkil qiladi?

a) 3%;

b) 5%;

c) 1%;

d) 2%.

14. Suyak uchun Yung moduli nimaga teng?

- a) 10^5 Pa;
- b) 10^{10} Pa;
- c) 100 Pa;
- d) 10^7 Pa.

15. 15 km soat tezlikdagi odam quvvati qanchaga teng bo‘ladi?

- a) 100 vt;
- b) 60 vt;
- c) 200 vt;
- d) 92vt.

Sinov savellari

1. Biofizika nimani o‘rganadi?
2. Qattiq jismlar nima?
3. Qanday deformatsiya turlarini bilasiz?
4. Elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasi nimaga teng?
5. Muskul qisqarishida bajarilgan quvvat qanday aniqlanadi?
6. Tirik organizmda elastin va kollagenlarning roli nimadan iborat?
7. Ba’zi biologik organlar uchun elastiklik modulining qiymati qanchaga teng?
8. Biopolimerlar nima?
9. Biopolimerlarning tirik organizm hayotidagi ahamiyati.
10. Muskullar bilan kauchukning elastiklik moduli taxminan bir xil bo‘lishiga sabab nima?

H bob. BIOAKUSTIKA

§ 2.1. Tovush. Tovushning veterinariyadagi ahamiyati va fiziologik xossalari

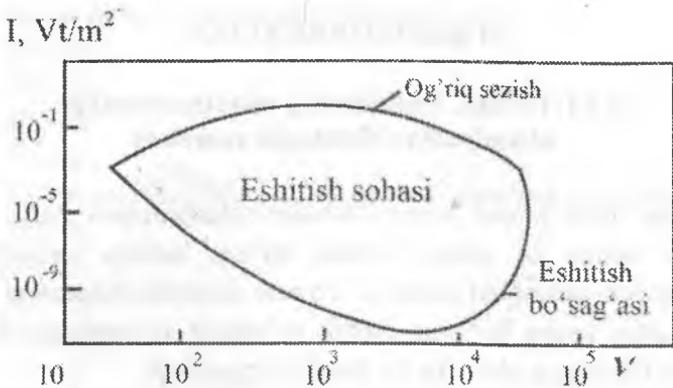
Barcha tirik jonzot uchun tovushning ahamiyati katta. Ba'zi jonzotlar uchun bu aloqa vositasi bo'lsa, boshqa jonzotlarning rivojlanishida ahamiyati kattadir. Tovush deganda chastotasi 16 Gs dan 20 kGs gacha bo'lgan elastik to'lqinlar tushuniladi. Tovush xossalari fizikaning akustika bo'limida o'rghaniladi.

Akustika – eng past chastotali tebranishlardan boshlab, o'ta yuqori (10^{12} - 10^{13} Gs) chastotali elastik to'lqinlarni o'rghanuvchi fizikaning bir bo'limidir. Umuman olganda, akustika tovush haqidagi ta'lilot bo'lib, odam qulog'i qabul qila oladigan gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlardagi elastik tebranishlar va to'lqinlarni o'rghanadi. Gaz va suyuqliklarda bo'ylama, qattiq jismlarda esa ham bo'ylama, ham ko'ndalang to'lqinlar tarqaladi.

Tovush intensivligi deb, tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar birlik yuzadan birlik vaqt ichida olib o'tilgan energiyaga aytildi.

$$I = \frac{W}{S \cdot t} \left(\frac{Bm}{M^2} \right) \quad (2.1)$$

Har bir inson qulog'ining eshitish qobiyyati har xildir. Har bir tovush tebranish chastotasi uchun eng kichik intensivlik (eshitish chegarasi) va og'riq sezish chegarasi mavjud(2.1-rasm). Tovushlarni quyidagicha ajratish qabul qilingan. Tonlar va musiqiy tovushlar, shovqinlar, tovushiy zARBalar. Ton deb – davriy jarayondan iborat tovushga aytildi. Shovqin deb – vaqt davomida takrorlanmaydigan murakkab munosabatlар bilan ajraluvchi tovushga aytildi. Tovushiy zARB deb, tovushning qisqa vaqtdagi ta'siriga aytildi.



2.1-rasm. Odam qulog‘ining eshitish sohasi

Normal. Bunda I_0 – eshitish chegarasidagi intensivlik, I_m – og‘rik sezish chegarasidagi tovush intensivligi. Bu intensivliklar nisbati 10^{13} ga teng. har qanday tovush oddiy garmonik tebranishlar to‘plami emas, balki ma’lum chastotalar to‘plamiga ega bo‘lgan garmonik tebranishlarning yig‘indisidan iboratdir.

Berilgan tovushda ishtirok etuvchi tebranishlar chastotalari to‘plami tovushning akustik spektri deyiladi.

Tembr-tovushning boshlanishi va oxiridagi amplituda o‘zgarishini xarakterlaydi.

§ 2.2. Tovushning fiziologik xossalari

Tovushning fiziologik xossalardan biri bu tovushning qulopqa beradigan bosimidir va bu bosim quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$P \equiv \sqrt{2 \cdot I \cdot \rho \cdot v} \quad (2.2)$$

Bunda I – tovush intensivligi, ρ – muhit zichligi, v – tovush tezligi. Yuqorida aytib o‘tilganidek, tovush intensivligi juda keng diapazonga ega. Shu sababli logarifmik shkaladan foydalilanildi. I_0 ning qiymatini shkalaning boshlang‘ich darajasi qilib olib, boshqa istalgan intensivlikni uning I_0 ga nisbatan o’nli logarifmi orqali

ifodalash mumkin. Bu ishni Veber-Fexner amalga oshirgan sababli unga Veber-Fexnerning psixofizik qonuni deyiladi.

$$L = K \ell g \frac{I}{I_0} \quad (2.3)$$

Bunda L – tovush qattiqligi deyiladi, K – proporsionallik koeffisenti. Bu qonunga binoan tovush intensivligi 1000ga o‘zgarsa, uning qattiqligi ($\lg 1000 = 3$) 3-marta o‘zgaradi. Ikki intensivliklar nisbati Bellarda o‘lchanadi. Masalan: intensivliklar nisbati 4 B bo‘lganda qattiqlik $\lg \frac{I}{I_0} = 4$ yoki $I = I_0 \times 10^4 = 10^{-8} \text{ Vt/m}^2$ bo‘ladi.

Amalda tovush qattiqligi Bellarda emas, balki undan kichikroq bo‘lgan desibeilarda (dB) o‘lchanadi. U holda (2.3) quyidagi ko‘rinishda yoziladi

$$L_{dB} = 10 \lg \frac{I}{I_0} \quad (2.4)$$

Demak, 1 dB , $\frac{I}{I_0} = 10^{0.1} = 1.26$, 20 dB – intensivlik 100-

marta kamayishini ko‘rsatadi. Intensivlik 10 J/m^2 s bo‘lsa, u tovush sifatida eshitilmaydi va qulqoqda og‘riq seziladi. Desibellarga asoslanib eshitish sohasini 0 dan 120 DB oralig‘igacha bo‘lish mumkin. 120 dB dan yuqorisi shovqin hisoblanadi.

Tovush ovoz chiqarish apparati ovoz bo‘ylamlari, yumshoq tanglay, lablar tebranishlari tufayli hosil bo‘ladi. Tovush hosil qilishda havo yo‘llari (yutqim, og‘iz va burun bo‘shliqlari, o‘pka, bronx, traxeya) ishtirot qiladi. Ovozni qabul qiluvchi organ qulqoqdir. Qulqoqda membrana mavjud bo‘lib, uning asosiy qismi har xil uzunlik va qalinlikda bo‘lgan elastik tolalardan iborat, ularning soni 20 mingdan ortiq bo‘ladi. Tovushni sezish qattiqlikdan tashqari yuksaklik bilan ham xarakterlanadi.

Tovush yuksakligi – tovush sifatini aniqlovchi xarakteristika bo‘lib, odamning eshitish organi orqali subyektiv ravishda

aniqlanadi va u chastotaga bog'liqdir. Chastota oshishi bilan yuksaklik oshadi, ya'ni tovush «yuqori» bo'ladi.

Tovush ham yorug'lik kabi ko'plab axborot manbayidir. Shuning uchun ichki organlarning funksiyasi buzilsa, tovush ham o'zgaradi. Kasallikga tashxis qo'yishda keng tarqalgan tovushiy usul – auskultasiya (bemorni eshitib ko'rish), bu usul eramizgacha bo'lgan II asrdan beri ma'lum. Auskultatsiya uchun stetoskop yoki fonendoskopdan foydalaniladi. Fonendoskopning umumiy tuzilishi quyidagi rasmda ko'rsatilgan



2.2-rasm. Fonendoskopning tuzilishi

Bunda 1 – kovak kapsula, 2 – tovush o'tkazadigan membrana, 3 – qulokqa boradigan rezina. Kovak kapsulada havo ustuni rezonanslanadi, buning natijasida tovushlanish zaryadi va auskultatsiya yaxshilanadi. O'pkalar auskultasiyasida nafas shovqinlari, kasallik uchun xarakterli bo'lgan xirillashlarni tinglaydilar, shunda yurak faoliyatini eshitish mumkin. Yana bir tovush usuli – perkussiya – tiqqillatib urib ko'rish. Organizmning turli qismlarini bolg'acha yoki qo'l bilan tiqqillatib urib ko'rishda majburiy tebranishlar yuzaga keladi. Bu tovushga perkuter tovush deyiladi. Yumshoq joyga (muskul, yog', teri) urganda qisqa to'lqin hosil bo'ladi va tez yutiladi. Agar elastik qismiga urilsa rezonans bo'lib, perkuter tovush kuchayishi mumkin va u ancha baland tovush hosil qiladi. Agar organizmda patologik o'zgarishlar bo'lsa tovush o'zgaradi.

Hayvonlar tovush chiqarish organlari turlichadir. Ular tovushdan ov qilish, aloqa vositalarida ishlataladi. Hamma hayvonlarda ham ovoz chiqarish organlari mayjud emas. Shu sababli ovoz chiqarish uchun ular boshqa organlardan foydalanadi (qanotlar, oyoqlar va hokazo).

Bo'g'in oyoqlilar ishqalanish yoki bir organning ikkinchisiga urilishi, membranalar tebranishi (qanotlar), tirkish orqali havo o'tkazish tufayli tovush chiqaradi. Ularning akustik spektri murakkab, chastotasi yuqori (2 kGs atrofida). Masalan: chivinlar qanotini qoqishi tufayli tovush chiqaradi.

Baliqlar. Ularning chiqaradigan tovushi asosan tanasining u darajada silliq bo'lmasligi tufayli suzish vaqtida suv bilan ishqalanishidan paydo bo'ladi. Shu bilan birga har bir baliq o'ziga xos tovush chiqaradi. Masalan: stavrida g'ijirlashga o'xshash tovush chiqarsa, lesh xurraqga o'xshash, dengiz karasi esa tiqqillashga o'xshash tovushlar chiqaradi. Baliqlar, asosan, suzuvchi shishiragi yordamida tovush chiqaradi. Uning ichida havosi bor. Buni harakatga keltirish uchun baliqlar yonboshida joylashgan baraban muskullarini ishga soladi.

Qushlar. Ularning tarqatadigan tovushlarining ko'pchiligi tovush organlaridan emas, balki qanotlari, tumshuqlari, oyoqlaridan chiqadi. M, turnalar taqqilagan tovushni tumshuqlarini yopish va ochish yordamida chiqaradi. Lekin asosiy rolni nafas tovushlari o'yynaydi. Tanglayida ikkita membrana mavjud – tashqi va ichki. Uning ish prinsipi Bernulli qonuniga asoslangan. Havo tez o'tishida ovoz chiqaradi. Qushlar asosan 200 Gs – 12 kGs chastotali, ba'zilar esa hatto 30 – 50 kGs chastotali ultratovushlar chiqarishi mumkin.

Sut emizuvchilar. Ular asosiy tovushni yuqori tanglay orqali hosil qiladi. Bunda, og'iz, burun, hattoki o'pka ham ovoz chiqarishda ishtirok qiladi. Ular chastotasi bir necha gersdan yuzlab kilogerslargacha (ko'rshapalaklar). Ba'zi jonivorlar uchun qabul qilish mumkin bo'lgan eng yuqori chastotalarni keltiramiz: odam 20

kGs, shimpanze 30 kGs, it 60 kGs, mushuk va delfin 100 kGs, ko'rshapalaklar 150 kGs, kabutarlar 12 kGs, tovuqlar 12 kGs.

§ 2.3. Tibbiyot va veterinariyada tovush usullaridan foydalanish

Chastotalari 20 kGs dan yuqori bo'lgan elastik to'lqinlarga ultratovushlar deyiladi ($10^9\text{--}10^{13}$ Gs tovushlar gipertovushlar). Ul'tratovushlar, asosan, ikki yo'l bilan hosil qilinadi – teskari pyezoeffekt hodisasi, magnitostriksiya hodisasi. Ultratovushdan lokasiya, ya'ni kemalarda dengiz chuqurligini, baliqlar to'dasini (suvda ultratovush kam yutiladi) aniqlashda foydalilanadi. Ultratovush defektoskopiyasi, ya'ni metallarda nuqsonlarni topishda qo'llaniladi. Detal qalinligi va tovush tezligi ma'lum bo'lsa, u holda o'tish vaqtini o'lchab nuqsonni aniqlash mumkin. Tabiatda ko'rshapalaklar va delfinlar ham ultratovush chiqarib o'zining yo'lini topib oladi, ya'ni chiqargan to'lqinlarning to'siqiidan qaytishiga qarab yo'lni topadi. Ul'tratovush yordamida bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuqlikni aralashtirish mumkin. Ultratovushning Doppler effekti yordamida yurak klapamlari harakatining xarakterini o'rGANADILAR. Bu usulda qon oqimi tezligini o'lchash mumkin. Terapiya maqsadlarida 800 kGs chastotali ultratovushlar ishlataladi. Ularning o'rtacha intensivligi 1 Vt/sm^2 . nurlovchi qism va teri orasiga biror suyuqlik (masalan: yog') qo'yiladi, chunki hatto yupqa havo qatlami ul'tratovushning organizmga o'tishiga to'sqinlik qiladi. To'qimaga qilinadigan mexanikaviy va issiqlik ta'siri ul'tratovush terapiyasi asosida yotgan birlamchi mexanizmdir. Ultratovush jarrohlikda "skalpel" vazifasini bajaradi. Oddiy skalpeldan farqli o'laroq, ul'tratovush skalpeli juda ingichka qirqsa, ikkinchidan ma'lum energiyali tovush qonsiz kesadi. Bir vaqtning o'zida ul'tratovush tikib (payvandlab) ketadi. Farmasevtikada dorilar tayyorlashda ishlataladi, ya'ni suyuqliklar ichidagi jismlarni parchalab emulsiya hosil qiladi. Ultratovush ishtirokida tayyorlangan turli xil dorivorlar emulsiyalari o'pka

kasali, yuqori nafas yo'llari katari, bronxial astma kabi kasalliklarni davolashda qo'llaniladi. Hozirgi vaqtida shikastlangan yoki transplantasiyalangan suyak to'qimalarini "payvandlash" ning yangi usuli (ultratovush ostiosintezi) yaratildi. Ultratovushning mikroorganizmlarga halokatli ta'siridan moddalarni sterilizasiya qilishda foydalaniilmoxda. Ko'rlar uchun "Oriyentir" asbobi yaratilgan bo'lib u 10 metrgacha uzoqligidagi jismlarni bilib olish va ularni qanday xarakterda ekanini aniqlash mumkin. Ul'tratovushning issiqlik ta'siridan o'simtalarni yemirishda ishlatiladi. Kichik intensivli ultratovushlar ($1,5-3 \text{ Vt/sm}^2$) o'simliklarning o'sishiga yordam beradi, bronxial astma, radikulitni davolashda qo'llaniladi, katta intensivlikli ul'tratovush (30 Vt/sm^2) organizmga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Veterinariya tibbiyotida ul'tratovush fonoforez usuli qo'llaniladi, ya'ni ultratovush yordamida qoramollarga terisi orqali ba'zi dorilarni kiritish (m: gidrokartizoh, tetrosiklin va boshqalar) mumkin. Bu elektroforrezga o'xhash, lekin elektr maydoni ta'sirida zaryadlangan zarrachalar harakatlansa, ul'tratovush yordamida zaryadsiz zarrachalar ham harakatlanadi. Ultratovush nurlantirishi fonoforez bilan birgalikda qoramol, echki, qo'ylardagi mastitni davolashda ishlatiladi.

Tashxisda qoramol va otlarning homiladorligini aniqlash mumkin. Hattoki 25 kunligini aniqlash mumkin, 65 – 70 kunligini 100 foiz aniqlikda aytish mumkin. 1 soatda 200 qo'yning homiladorligini aniqlasa bo'ladi.

Infratovush – bu chastotasi 16 Gs dan kichik bo'lgan elastik to'lqinlardan iborat. Lotinchadan "infro" – "kichik" ma'noni anglatadi. Infratovush atmosfera va dengiz shovqinlari tarkibida bo'ladi. Chaqmoq vaqtida, portlashda, to'plar otilganda, Yer qimirlashda paydo bo'ladi. Infratovush juda kam yutiladi, shu sababli u ancha uzoq masofalarga tarqalishi mumkin. Atmosferaning yuqori qatlamlarini o'rganish mumkin. Infratovush organizmning bir qator tizimlari funksional holatlariga yomon ta'sir ko'rsatadi.

Masalan: charchash, bosh og'rig'i, uyquchanlik, jahli chiqishi va boshqalar paydo bo'ladi. Infratovushning organizmga birlamchi ta'sir ko'rsatish mexanizmi rezonans xarakterga ega. Xususiy tebranishlar chastotasi bilan tebranishga majbur etuvchi kuchlarning chastotasi bir-biriga yaqin bo'lganda rezonans hodisasi yuz beradi. Odam gavdasining xususiy tebranishlar chastotasi, gavdaning yotgan holatida 3 Gs, qorin bo'shilig'i uchun 3 – 4 Gs, turgan holda 5 -12 Gs, ko'krak qafasini 5 – 8 Gs bo'lib, bu infratovush chastotalariga mos keladi. Normal faoliyat ko'rsatish uchun shovqin ma'lum darajagacha bo'lishi kerak. Masalan: normal uxlash va aqliy mehnat uchun shovqin 30 dB dan past, ko'pchilik korxonalarda 55 dB dan yuqori bo'imasligi kerak. Qishloq xo'jaligida mexanizasiya darajasining oshishi bilan shovqin ham ko'paydi. Masalan: MTZ – 50 traktori 5 m masofada 80 – 90 dB, KTU – 10 bilan birga 100 dB dan oshadi. Chorva binolarida ventilyatorlar ham kuchli shovqin chiqaradi. Masalan: SCh – 70 ventilyator 5 m masofada 85 dB shovqin hosil qiladi. Shovqinlar ko'plab jonivorlarning to'planishida ham yuzaga keladi. Masalan: parrandachilik fermalarida 95 dB gacha normadagi shovqin foydali hamdir, chunki juda sukunatda odam hatto o'zining yurak urishini ham eshitishi mumkin (kosmonavtlar). 110 dB shovqin vaqtincha eshitishi 10 – 15 % ga pasaytiradi.

Infratovush, ultratovush va tovush intensivligi darajasini yashash joylarida, ishlab chiqarish va transportda kamaytirish gigiyenaning asosiy vazifasidir.

Ba'zi moddalarda tovush tezligi quyidagicha; havoda 331m/s, suvda 1497 m/s, silliq to'qimada 1550 m/s, yog' to'qimasida 1460 m/s, miyada 1520 m/s, suyagida 3660 m/s, jigar 1570 m/s, shishasimon jism 1530 m/s. Chastota qancha katta bo'lsa, tovush shuncha yuqori tonlarda qabul qilinadi. Masalan, ho'kizning ma'rashi 50 Gs bo'lsa, pashshaning tovushi 10 kGs chastotaga mos keladi.

Tovush to'lqinlari ikki muhit chegarasiga tushganda uning bir qismi qaytadi, ikkinchi qismi esa sinib, ikkinchi muhitga o'tadi. Masalan, suvga tushgan tovush to'lqinning atiga 0,12 foiz intensivligi suvga o'tadi, qolgan 99,88% esa qaytadi. Ilgarilar dengiz hayvonlari akustik signalizasiyaga ega emas deb qaralar edi. Keyingi tadqiqotlar dengiz hayvonlari o'zidan tovush to'lqinlari chiqarishi aniqlandi. Masalan, ular ov payti, xavf to'g'ilganda, urchish paytlarida akustik signallar chiqarishadi. Hozirgi davrda dengiz hayvonlari tovushlarning fonetikasi tuzilgan. Bu fonetika yordamida dengiz hayvonlari biologiyasini o'rganishda, baliqlar to'plamini topishda foydalaniladi. Demak, dengiz ham hayvonlarning tovush to'lqinlari bilan to'lgan, lekin odam uning tubiga tushib ham bu tovushlarni eshita olmaydi. Chunki odam qulog'i havoda eshitishga mo'ljallangan. Suvning zichligi havonikidan 750-marta katta. Shunga qaramasdan baliqlar tovushlarni yaxshi eshitishadi. Bunga sabab suv zichligining va unda tovush tezligining kattaligidir.

To'lqin moddada tarqalishida uning energiyasi modda zarralarini tebratishga sarf bo'ladi. Shu sababli to'lqin energiyasi masofa o'tishi bilan kamayadi, ya'ni so'nadi. Bu esa $I = I_0 \ell^{-\delta}$ eksponensial qonun bilan yuz beradi. Bu yerda I_0 - tushayotgan to'liq intensivligi I - X - masofadagi intensivlik, δ - so'nish koefisienti. So'nish koefisiyenti bir jinsli muhit uchun quyidagiga teng.

$$\delta = \frac{16\pi^2 \eta}{3V\rho\lambda^2} \quad (2.5)$$

Bunda λ -tovush to'lqin uzunligi, V - moddada tovush tezligi, η - yopishqoqlik koefisienti, ρ - modda zichligi. Yuqoridagi formuladan ko'rindiki, so'nish koefisiyenti to'lqin uzunligi oshishi bilan kamayadi. Shu sababli tovushni uzoq masofaga tarqatish uchun past chastotali manbalardan foydalanish zarur. Kuchli so'nish bir jinsli bo'limgan va g'ovak jismlarda yuz beradi. Yumshoq

to'qimalarda ham tovush tez so'nadi. (porolon). Shu sababli hozirgi vaqtida tovushni yomon o'tkazadigan materiallardan qurilishda keng qo'llanilmoqda. Quyidagi jadvalda ba'zi materiallar uchun so'nish koeffisiyenti keltirilgan.

Kichik to'lqin uzunlikka ega bo'lgan ul'tratovush havoda kuchli yutiladi, lekin suvda kam yutiladi. Katta yopishqoqlikka ega suyuqliklarda ham ultratovush yutilishi oshadi. Biologik to'qimalarda ham ultratovush intensivligi kuchli so'nadi, chunki bu holda strukturani bog'lovchi tolalarda ultratovush ko'p martalab qaytadi.

2.1-jadval

Modda	So'nish koeffisiyenti, m ⁻¹
Suv	0,01
Qon plazmasi	2,0
Qon	2,5
Yog' to'qimasi	4,5
Miya	14
Muskul	16
Jigar	15
Teri	40
Suyak	71

Faraz qilaylik, tovush nuqtaviy manba tomonidan hosil qilinayotgan bo'lsin. Uning quvvati N ga teng. Ushbu manbani xayolan R – radiusli sfera bilan o'ravymiz. Agarda yutilishni e'tiborga olmasak, R – sfera orqali o'tadigan energiya miqdori $4\pi\delta RI$ ga teng bo'ladi. Bunda I – sferaning birlik yuzidan o'tuvchi intensivlik. U holda

$$I = \frac{N}{4\pi R^2} \quad (2.6)$$

Demak, sferik tovush intensivligi manbagacha bo'lgan masofa kvadratiga teskari proporsional ravishda kamayadi.

Shunday qilib, tovushning so'nishi uchta sababga ko'ra yuz beradi, ya'ni yutilish moddaning birlashmasligi tufayli sochilishi va masofaga qarab to'lqin sirtining kengayishi tufaylidir. Oxirgi sababni kamaytirish uchun tovushni yassi yuzadan tarqatishga erishish kerak. Bunday sharoit quvurlarda yuzaga keltiriladi.

Tajribalarning ko'rsatishicha to'lqin nurlagich va qabul qilgich tinch holatda yoki bir yo'nalishda bir xil tezlikda harakatlangandagina ularning chastotalari bir xilda bo'ladi, qolgan har qanday holatda $v \neq v_0$ bo'ladi. Bu hodisaga Dopler effekti deyiladi.

Agarda manba kuzatuvchiga nisbatan harakatlansa u holda kuzatuvchi tomonidan qabul qilinadigan chastota

$$v = \frac{v_0}{1 \pm \frac{u}{c}} \quad (2.7)$$

formula orqali aniqlanadi.

Agarda kuzatuvchi manbara nisbatan harakatlansa, u holda kuzatuvchi qabul qiluvchi chastota

$$v = v_0 \left(1 \pm \frac{u}{c}\right) \quad (2.8)$$

Formula orqali aniqlanadi. Bunda u – kuzatuvchining manbara nisbatan tezligi, c – tovush tezligi. Agar to'lqin to'siqdan φ -burchak ostida qaytsa u holda qaytgan to'lqin chastotasi

$$v_A = v - v_0 = \frac{2v_0 \frac{V}{c} \cos \varphi}{1 - \frac{V}{c} \cos \varphi} \quad (2.9)$$

formula bilan aniqlanadi. v_A – Dopler chastotasi deyiladi. Agarda tovush tezligi manba tezligidan ancha yuqori bo'lsa, ya'ni $V \gg c$ u holda dopler chastotasi

$$v_D = 2v_0 \frac{V}{c} \cos \varphi \quad (2.10)$$

yoki kuzatuvchi tamanidan qayd qilinadigan chastota quyidagicha aniqlanadi.

$$v = v_0 \pm v_A \quad (2.11)$$

Shu formula yordamida hayvon tanasidagi aorta devoridan qaytgan to'lqin uchun dopler chastotasini aniqlash mumkin. Yumshoq to'qimada ultratovush tezligi 1500m/s uning chastotasi 5MGs. Aorta devorida puls to'lqini tezligi 1m/s. To'lqin normal holda tushmoqda, ya'ni $\cos \varphi = 1$, u holda

$$v_A = 2 \cdot 5 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{1,5 \cdot 10^3} = 6,2 \text{ kGs}$$

Demak, yurakni nurlantiruvchi Dopler chastotasi eshitish sohasiga mos kelar ekan.

§ 2.4. Shovqin va uning veterinariyadagi roli

Biologik akustikada shovqin deb har qanday qabul qilishga qiyin va asabni buzuvchi tovushlarga aytildi.

XXI asrda texnikaning rivojlanishi shovqinlarning ko'payishiga, ya'ni odam va hayvonlar uchun noqulay sharoitlarga olib keladi. Hozirgi vaqtda xalq xo'jaligining hamma sohalarida, shu bilan birga qishloq xo'jaligi sohalarida ham ortiqcha tovush shovqinlarining mavjudligi hech kimga sir emas. Shu sababli shovqinni o'rGANISH va uning oldini olish muammolari bilan turli kasb egalari shug'ullanmoqda (Masalan: tibbiyot xodimlari, veterinarlari, zootexniklar, ruhshunoslar, fiziklar, biofiziklar, huquqshunos va boshqalar).

Ko'plab tajribalarga, asosan, normal hayot uchun shovqin ma'lum bir normada bo'lishi zarur ekanligi aniqlangan. Masalan: normal uqlash yoki aqliy mehnat uchun shovqin 30 DB dan oshmasligi kerak. Ko'pchilik korxonalarda shovqin 55 DB dan

oshmasligi kerakligi aniqlab qo'yilgan. Bu sanitariya- gigiyena normalariga mos keladi.

Intensivligi normadan yuqori bo'lgan shovqinlarga salbiy ta'sir ko'rsatadi. Tabiatda mavjud bo'lgan kuchsiz shovqinlar odam va hayvonlar uchun ijobjiy ta'sir ham ko'rsatadi. Kuchli shovqinlar avvalambor yuqori chastotaga sezgir bo'lgan to'qimalarni ishdan chiqaradi.

110 DB bo'lgan shovqinning qisqa vaqt davomida ta'siri eshitish sezgirligini 10 – 15% ga kamaytirishi mumkin. Ayniqsa, eshitish sezgirligi pasayishi traktorchillarda kuzatiladi. Uzoq vaqt shovqin ta'siri eshitish tolasi to'qimalarini ishdan chiqaradi. Shovqinning ta'siri asabga ham ta'sir qiladi. Kuchli shovqin qonning aylanishiga, ichki organlarning ishlashiga ham salbiy ta'sir ko'rsatadi. Sigirlar bilan o'tkazilgan maxsus tajribalar shovqin ta'sirida ularda qon aylanishida va tanada issiqlik almashinuvining ham bo'zilishiga olib kelgani aniqlangan.

Bu mollarni normal holga keltirish uchun gormonal dorilar bilan 18 kun davomida davolashga to'g'ri kelgan.

Shovqin, ayniqsa, ona cho'chqalarga kuchli ta'sir ko'rsatar ekan. Masalan; 70 – 80 DB shovqin ularda sut hosil bo'lishini to'xtatadi va 2 soatdan so'ng yana sut paydo bo'ladi. Kuchli shovqinlar esa sut hosil bo'lishni umuman to'xtatishi mumkin. Parrandachilik termalarida 90 – 100 DB shovqin tovuqlarning fiziologik holatini o'zgartiradi va ularning massasining kamayishiga olib keladi hamda luxum qo'yishini kamaytiradi.

Chastotasi 3 Gs, quvvati 1 Vt bo'lgan infratovushni 100 km masofada ham sezish mumkin. Yadro quroli portlashi natijasida hosil bo'lgan infratovush butun yer shariga tarqaladi. Uning to'lqin uzunligi katta bo'lganligi sababli daraxt va binolarni aylanib o'tishi yoki katta qattiq jismlarni rezonans holga keltirib, yangi infratovushlar hosil qilishi mumkin. Shu sababli infratovushdan amalda himoyalanib bo'lmaydi.

Infratovushning biologik ta'siri haqida ko'p ma'lumotlar yo'q. Infratovush eshitilmagani uchun uzoq vaqt uning biologik ta'siri o'r ganilmadi, lekin Marsel elektroakustika laboratoriysi olimi Gavroning kuzatuvlari shuni ko'rsatdiki, laboratoriya binolaridan birida kuchli ventilyatorning ishlashi binodagi xodimlarning charchoq, bosh og'rig'i, holsizlanish holatiga olib kelishi kuzatilgan.

Ventilyator 7 Gs chastotali infratovush hosil qiladi. Maxsus o'tkazilgan tajribalar haqiqatdan ham infratovush vestibulyar apparatga ta'sir ko'rsatib (uning xususiy chastotasi 2 – 20 Gs sohaga mos keladi), xodimlarda ichki og'riq, harakatning buzilishi va ko'rishning pasayishiga olib kelgan. Infratovush turli organlarda majburiy tebranishlar yuzaga keltiradi. Har bir organ ma'lum xususiy tebranish chastotasiga ega. Ba'zi organlar (masalan: jigar, buyrak va boshqalar) xususiy tebranish xususiyatiga ega emas, lekin tashqi davriy ta'sir tufayli rezonanas tebranish hosil qilishi mumkin. Shifokorlarning aniqlashicha, chastota 4–8 Gs bo'lganda qorin bo'shilg'ida xavfli rezonans bo'ladi. Ba'zi organlarning rezonans tebranishlari turli reseptorlarning bezovta bo'lishiga olib keladi. Bu esa nafas olishni yomonlashtiradi.

Infratovush, ayniqsa, yurakka yomon ta'sir qiladi. Kuchli infratovush yurak to'qimalarini rezonansga keltirib, qon tomirlarining uzilishiga olib keladi. Bu narsa kalamushlar bilan o'tkazilgan tajribalarda isbotlangan. Chastota 7 Gs, intensivlik 170 dB bo'lgan infratovush 20 minut davomida kalamushga ta'sir qildirilganda uning qon tomirlari kengayib qon quyilishi kuzatilgan. Chastotasi 7 Gs bo'lgan infratovush miyaga ta'sir qilsa, u ko'rish qobiliyatini pasaytiradi, hamda chanqash, umumiy holsizlikka olib keladi. Intensivlik 140 – 155 dB li infratovush hushdan ketishga, 180 dB li infratovush falajga olib kelishi mumkin.

§ 2.5. Shovqin va undan himoyalanish. Kichik shovqinlar

Soat mexanizmi va determinizm klassik fizika noetik obraziga o'xshaydi. Soatlarda nafaqat tashqi mahsuli balkim ichki tuzilishi ham aniq ishlovchi modellardir. Hayot har turlidir. Molekulalar orasidagi ta'sir issiqlik energiyasi tufayli yuz beradi. Biologik motorlar kabi bizning muskullar harakati elementar qadamlar harakatlari kabi nanomirda harakat qiladi. Bu harakat Broun harakatidagi ozroq ko'p bo'ladi. Hujayra ichidagi signallar bir to'da molekulalar tomonidan amalga oshiriladi. Inson qabul qilish qobiliyati shovqinlar tufayli biroz chegaralangandir. Masalan miyadagi sinopsis hodisasi tufayli ham chegaralangan. Chunki ma'lumot bir neytrondan ikkinchisiga uzatilganda u yuqoriroq shovqinda uzatiladi.

Anashu shovqinlar bulutidan hayotda qanday o'zib chiqish mumkin? Hayotda shovqin bir joyda eshitishni yaxshilay oladigan mexanizmlar ichida eng yaxshisi bormi?

Shovqin bilan bog'liq bo'lgan muammolarni turli biologik obyektlarda ko'rib chiqamiz. Men uchun bu mavzu doimo qiziq bo'lgan va bunda ko'plab ochilmagan muammolarni tajriba orqali yechish mumkin. Biz shovqin muammosini alohida molekuladan boshlab to'liq sistemagacha ko'rib chiqamiz. Bu masalani yechish uchun bizdan biroz matematik bilimlarga ega bo'llish talab qilinadi. Ayniqsa statistik fizika masalalarini hal qilishda bu muhimdir. Men xoxlardimki ozroq bilimga ega bo'lgan holda sizlar tabiatdagi ko'plab muammolar haqida bilishga intilasizlar. Bu muammolarni ema organizmning o'zi hal qilishi kerak.

Molekular tebranishlar kimiyoviy reaksiyalar. Organizm yushashi uchun u ko'plab kimyoviyviy reaksiyalar tezligini boshqarishi kerak. Umuman olganda hamma kimyoviy reaksiyalar fluktatsiya tufayli sodir bo'ladi. Kuchli kimyoviy reaksiyalar molekulyar fluktatsiyalarning bir jinsli bo'lmasligidan hosil bo'ladi. O'rta maktabdan ma'lumki kimyoviy reaksiya tezligi Arenus

$e = \frac{E_{act}}{K_B T}$

qonuniga bo'ysunadi, ya'ni aktivizatsiya energiyasi. Biz bilamizki KvT molekulaning o'rtacha kvadrat energiyasi shunday qilib kimyoviy reaksiya ko'rsatkichi , bunda T – fluktatsiya kuchi.

Agarda olamda fluktatsiya yo'q deb tasavvur qilsak, u holda uni ketma-ket qo'shib boramiz. Hozircha kimyoviy reaksiya tezligini aniqlovchi usul yo'q.

J. Newman, Physics of the Life Sciences, DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2 9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008, pp. 269–273

Tayanch iboralar: chastota, intensivlik, qattiqlik, tovush balandligi, tembr, yuksaklik, Bell, shovqin, auskultasiya, perkussiya, spektr.

Xulosalar

Tovush va uning tirik mavjudod uchun ahamiyati albatta juda kattadir. Eng avvalo u aloqa vositasi hisoblanadi. Ayniqsa keyingi vaqtarda tovush, infrotovush va ultratovishlar ham diagnostikada, ham davolash maqsadlarida juda keng qo'llanilmoqda. Qishloq xo'jaligining turli sohalarida, jumladan, chorvachilikda bu sohani bilish juda muhimdir. Normadan ortiq bo'lgan tovush qattiqligi qoramollar va parrandalar mahsulorligini kamaytiradi. Chorva mollari tanasiga dori – darmonlar kiritish ham katta ahamiyatga ega.

Test savollari

1. Tovush deb nimaga aytildi?
 - a) odam qulog'i eshitadigan mexanik elastik to'lqingga;
 - b) odam va hayvonlar eshita oladigan mexanik elastik to'lqinlarga;
 - c) hayvonlar eshita oladigan elastik to'lqinlarga;

d) odam va hayvonlar eshitish organlari qaysi oraliqda tovush intensivligini sezadi?

2. Odam qulog'i qaysi chastota intervalidagi to'lqlarni eshitadi?

- a) 16 Gersdan kichik;
- b) 20 kilogersdan katta;
- c) 16 gersdan – 20 kGs gacha;
- d) 20 kGsdan 200 kGs gacha.

3. Agar tovush intensivligi ta'rif: Birlik yuzadan vaqt birligi ichida tovush to'lqini tarqalish yo'nalishiga perpendikulyar yuzadan o'tuvchi energiyaga aytildi" bolsa, javoblardan uning matematik ifodasini ko'rsating?

- a) $W = \Phi \cdot t$
- b) $E = \frac{\Phi}{S}$
- c) $I = \frac{W}{S \cdot t}$
- d) $B = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$

4. Nima uchun odam va hayvonlar eshitish organlari juft bo'ladi?

- a) chiroqli ko'rinish uchun;
- b) tovush balandligini sezish uchun;
- c) tovush yo'nalishini aniqlash uchun;
- d) turli xil tovushlarni eshitish uchun.

5. Odam va hayvonlar eshitish organlari qaysi oraliqda tovush intensivligini sezadi?

- a) $10^{-6} - 10^{-10} \text{ Vt/m}^2$
- b) $10^{-5} \div 10^{-8} \text{ Vt/m}^2$
- c) $10^{-12} \div 10 \text{ Vt/m}^2$
- d) 10 Vt/m^2 dan katta.

6. Tovush bosimi nima?

- a) atmosfera bosimiga tovush tomonidan hosil qilingan qo'shimcha bosim;
- b) yuza birligiga ta'sir qiluvchi kuch;
- c) atmosfera bosimi;
- d) havosiz joydagisi yuzaga ta'sir etuvchi bosim.

7. Quyidagi ta'riflardan qaysi biri Veber-Fexnerning psixofizik qonunini ifodalaydi?

- a) eshitish organining sezgisi ta'sir etayotgan tovush to'lqinlari intensivliklari nisbatiga proporsionaldir;
- b) eshitish organining sezgisi tovush intensivligini kvadratiga proporsionaldir;
- c) eshitish organining sezgisi ta'sir etayotgan tovush to'lqinlari intensivliklari nisbatining logarifmiga to'g'ri proporsional;
- d) tovush intensivligi eshitish organining sezgisiga proporsionaldir.

8. Odam va hayvon ichki organlarining tovushini kuchaytirib beruvchi asbob nima?

- a) tanometr;
- b) termometr;
- c) barometr;
- d) fonendoskop.

9. Ichki organlar kasalligini aniqlashda keng qo'llaniladigan klassik usullar?

- a) eshitish;
- b) urish;
- c) auskultasiya va perkussiya;
- d) eshitish va o'lhash.

10. Ul'tratovush deb nimaga aytildi?

- a) odam qulog'i eshitadigan elektromagnit to'lqinlar;
- b) chastotasi 20 kGs dan katta elastik to'lqinlar;
- c) chastotasi 20 kGs dan katta elektromagnit to'lqinlar;
- d) chastotasi 20 kGs dan kichik bo'lgan elastik to'lqinlar.

11. Ultratovushning veterinariyada asosiy qo'llanilish sohalari?

- a) ichki va tashqi organlar kasalliklarini davolash;
- b) ichki kasalliklarni kuzatish, davolash, xirurgik ishlar, suyaklarni payvandlash;
- c) ichki kasalliklarni davolash;
- d) teri orqali organizmga dori moddalar kiritish.

12. Shovqin organizmga qanday ta'sir qiladi?

- a) ijobiy;
- b) salbiy;
- c) ta'sir qilmaydi;
- d) foydali.

13. Tovush qattiqligi o'lchov birligi nima?

- a) lyuks;
- b) veber;
- c) tesla;
- d) desibell;

14. Infratovush nima?

- a) chastotasi 20 Gs dan yuqori elastik to'lqinlar;
- b) chastotasi 20 Gs dan past elastik to'lqinlar;
- c) chastotasi 20 Gs dan yuqori elektromagnit to'lqinlar;
- d) chastotasi 20 Gs. dan past elektromagnit to'lqinlar;

15. Qulq pardasida nechta tola bor?

- a) 100 ta;
- b) 1000 ta;
- c) 2000 ta;
- d) 20000 ta.

16. Tovush spektri nima?

- a) tovushda ishtirok qiluvchi chastotalar to'plami;
- b) toshvuning intensivligining o'zgarishi;
- c) tovush bosimining qiymati;
- d) tovush yuksakligi.

17. Ultratovush yordamida bir soatda qancha qo'yning homiladorligini aniqlash mumkin?

- a) 10 ta;
- b) 20 ta;
- c) 100 ta;
- d) 200 ta.

Sinov savollari

1. Tovushni harakterlovchi asosiy kattaliklar nimalar?
2. Tovushning fiziologik xossalari nimalar?
3. Veber – Fexnerning psixofizik qonuni nimani ifodalaydi?
4. Bell va desibellar nimaning o‘lchov birligi hisoblanadi?
5. Eshitish sohasi nima?
6. Tibbiyot va veterinariyada tovushdan foydalanish haqida nimalarни bilasiz?
7. Ul’tratovush va uning amalda qo‘llanilishi?
8. Infratovush va uning ahamiyati?
9. Ultra va infratovushlarning tirik organizmga ta’siri va ahamiyati?
10. Shovqin va undan himoyalanish?

III bob. GIDRODINAMIKANING FIZIK ASOSLARI

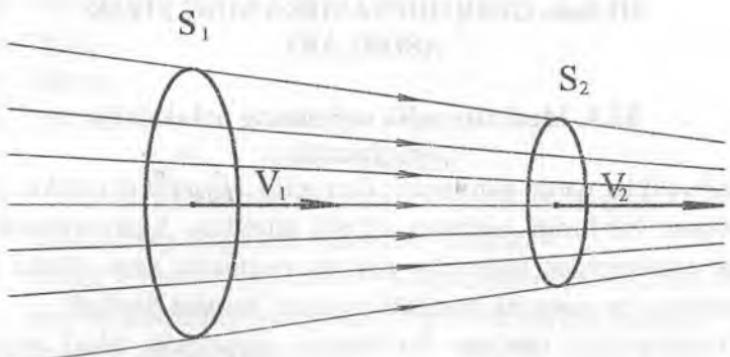
§3.1. Ideal suyuqlik oqimining uzlusizlik tenglamasi

Suyuqliklar qattiq jismlardan farq qilib, suyuqliknin tashkil qilgan zarrachalar bir-biriga nisbatan siljishi mumkin. Agar suyuqliknin tezligi qaralayotgan hajmning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu suyuqlik harakati barqaror harakat deyiladi.

Yopishqoqligi mutlaqo bo'lмаган suyuqlikka ideal suyuqlik deyiladi.

Suyuqlik harakatini grafik usulda namoyon qilish uchun oqim chiziqlari degan tushuncha kiritiladi.

Oqim chiziqlari deb, bu chiziqlarning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma zarrachalar tezligi vektori bilan ustma-ust tushadigan xayoliy chiziqlarga aytildi. Barqaror harakatda suyuqlik zarrachalarining harakat trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos keladi. Agar suyuqlik zarrachalari harakati (oqim chiziqlari) bir-biriga parallel bo'lsa, bunday oqimga (laminar) qatlamlı oqim deyiladi. Agar zarrachalar harakati bir-biriga aralashib yuz bersa (turbulent) uyurmali oqim deyiladi. Real suyuqliknin siqish mumkin: bosim ortishi bilan uning hajmi kamayib, zichligi ortadi. Masalan: bosim birdan 100 atmosferaga ortganda uning zichligi atiga 0,5 foiz o'zgaradi. Demak, suyuqliknin siqish juda qiyin. Harakatdagi suyuqlik bosimi odatda o'zgarmas bo'ladi. Real suyuqlik yopishqoq. Harakatlanuvchi suyuqlikda hamma vaqt ichki ishqalanish kuchlari bo'ladi. Ideal suyuqlik oqimi uchun uzlusizlik tenglamasini chiqaramiz. Oqim nayida ikkita ko'ndalang kesim olaylik, S_1 va S_2 . Bularda suyuqlik tezliklari ϑ_1 va ϑ_2 . Δt - vaqt oralig'iда bu kesimlardan bir xil Δm - massali suyuqlik o'tadi (rasm-3.1). Keng kesimdan o'tgan suyuqlik hajmi asosi



3.1-rasm. Suyuqlik oqimi. S_1 va S_2 - oqim nayi kundalang kesim yuzi ϑ_1 , ϑ_2 oqim tezligi

S_1 va balandligi $\vartheta_1 \Delta t$ - bo'lgan silindr shaklida bo'ladi ya'ni u $S_1 \vartheta_1 \Delta t$ ga teng. Ikkinci kesimdan $S_2 \vartheta_2 \Delta t$ hajmli suyuqlik o'tadi. U holda

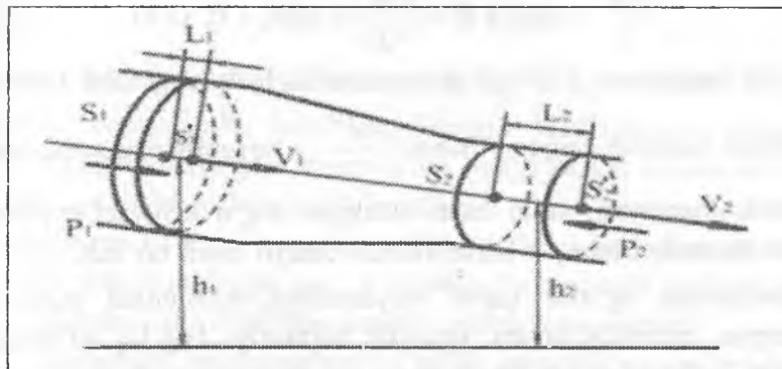
$$S_1 \vartheta_1 \Delta t = S_2 \vartheta_2 \Delta t \text{ yoki } S_1 \vartheta_1 = S_2 \vartheta_2 \quad (3.1)$$

(3.1) da kesimlar ixtiyoriy tanlangan va vaqt bir xil bo'lgani uchun

$$S \vartheta = \text{const} \quad (3.2)$$

Demak, berilgan oqim nayi uchun nayi kundalang kesim yuzining suyuqlikning oqim tezligiga ko'paytmasi o'zgarmas kattalikdir. (3.1) va (3.2) munosobatlarga oqimning uzlusizlik tenglamasi deyiladi. Nayning tor qismlarida tezlik katta bo'ladi.

Endi faraz qilaylik, kesimlari S_1 va S_2 bo'lgan quvurdan suyuqlik oqayotgan bo'lsin (3.2-rasm). S_1 kesimda tezlik ϑ_1 , bosim P_1 , balandlik h_1 bo'lsin. S_2 kesimda esa bosim P_2 , tezlik ϑ_2 , balandlik h_2 bo'lsin. Kichik Δt vaqt ichida suyuklik S_1 va S_2 kesimidan S_1^1 va S_2^1 kesimga o'tadi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan to'la energiyaning o'zgarishi $E_2 - E_1$, m massali suyuqlikni ko'chirishda bajarilgan ish A ga teng bo'ladi.



3.2-rasm. Stasionar ideal suyuqlik oqimi nayi

$$E_2 - E_1 = A \quad (3.3)$$

Bu ish S_1 va S_2 orasidagi suyuqliknin Δt vaqt ichida ko'chirishda bajarilgan ishga teng. m massali suyuqliknin S_1 dan S_1^1 gacha ko'chirishda $\ell_1 = \vartheta_1 \Delta t$ masofa o'tsa, S_2 dan S_2^1 gacha esa $\ell_2 = \vartheta_2 \Delta t$ masofa o'tadi. ℓ_1 va ℓ_2 har juda kichik bo'lgani uchun

$$A = F_1 \ell_1 + F_2 \ell_2 \quad (3.4)$$

Bunda $F_1 = P_1 S_1$ va $F_2 = -P_2 S_2$ (oqimiga qarshi yo'nalgan). To'la energiya esa potensial va kinetik energiyalar yig'indisidan iborat, u holda

$$E_1 = \frac{mv_1^2}{2} + mgh_1, \quad E_2 = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 \quad (3.5)$$

(3.4) va (3.5) ga asosan

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 S_1 \vartheta_1 \Delta t = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 S_2 \vartheta_2 \Delta t$$

ikkala kesimdan bir xil miqdordagi suyuqlik o'tadi, u holda

$$\Delta V = S_1 \vartheta_1 \Delta t = S_2 \vartheta_2 \Delta t$$

Demak, oxirgi ifodani ΔV ga bo'lsak

$$\frac{\rho g^2}{2} + \rho gh_1 + P_1 = \frac{\rho g^2}{2} + \rho gh_2 + P_2 \quad (3.6)$$

Bu tenglamani 1738-yil shveysariyalik fizik-matematik Daniyel Bernulli hisoblab chiqqan. Bunda $\frac{\rho g^2}{2}$ – suyuqlikning solishtirma kinetik energiyasi, ya’ni hajm birligiga to‘g‘ri keluvchi energiya yoki dinamik bosim, u harakatlanish tufayli hosil bo‘ladi, ρgh – suyuqlikning og‘irlik kuchi maydonidagi solishtirma potensial energiya, gidravlik bosim, suyuqlik harakatiga bog‘liq bo‘lmagan bosim kuchlaridan hosil bo‘ladigan solishtirma energiya – P statik bosim deyiladi.

Bernulli tenglamasini qonun sifatida quyidagicha ta’riflash mumkin: Siqilmaydigan ideal suyuqlikning barqaror oqimida dinamik, gidravlik va statik bosimlarning yig‘indisidan iborat to‘liq bosim oqimning har qanday kesimida ham o‘zgarmasdir.

Kesim ixtiyoriy tanlangani uchun

$$\frac{\rho g^2}{2} + \rho gh + P = const \quad (3.7)$$

Bernulli qonuni harakatdagi suyuqlik va gazlar dinamikasining asosiy qonuni hisoblanadi.

§ 3.2. Suyuqliklar yopishqoqlik koeffisiyentini o‘lchash usullari

Yopishqoqlik deb real suyuqliklar bir qatlaming boshqa qatlam harakatiga to‘sinqinlik qilish qobiliyatiga aytildi. Bir qatlaming ikkinchi qatlamga nisbatan harakatida sirtga urinma yo‘nalgan ichki kuchlar yuzaga keladi. Bu kuchlar qatlamlar tegib turgan yuzaga va tezlik gradiyentiga to‘g‘ri proporsionaldir, ya’ni

$$F \sim S \left| \frac{\Delta g}{\Delta X} \right| \quad (3.8)$$

yoki

$$F = \eta \left| \frac{\Delta g}{\Delta X} \right| S \quad (3.9)$$

Bu yerda η - suyuqlik tabiatiga bog'liq bo'lgan kattalik bo'lib, dinamik yopishqoqlik yoki yopishqoqlik koeffisiyenti deyiladi. Yopishqoqlik koeffisiyentining o'lchov birligi Paskal .sekund bo'lib, bu laminar oqim uchun tezlik gradiyenti 1 m^2 yuzada 1 m/s ga o'zgaradigan va 1 m^2 yuzasida 1 N kuch hosil bo'ladigan modda dinamik yopishqoqligiga teng. Yopishqoqlik qanchalik katta bo'lsa, unda shuncha katta ichki ishqalanish kuchlar yuzaga keladi.

Yopishqoqlik haroratga bog'liq bo'lib, suyuqlik va gazlar uchun turlichadir. Suyuqliklar uchun harorat oshganda η kamayadi, gazlarda esa teskari holat yuz beradi. Suyuqlik yopishqoqlik koeffisiyentini aniqlash katta ahamiyatga ega bo'lib bir qancha usullar mavjud. Biz Puazeyl usulini qarab chikamiz. Bu usulda suyuqlik kichik kapillyarda oqib o'tish vaqtini aniqlanadi va formula yordamida yopishqoqlik koeffisiyenti aniqlanadi. Suyuqlik yoki gazning nay orqali o'tishi uchun ma'lum bosimlar farqi bo'lishi zarur. Suyuqlik hajmi V , nay uzunligi ℓ , uchlaridagi bosimlar farqi ΔP va τ suyuqlikning oqib o'tish vaqtini orasidagi bog'lanish Puazeyl formulasi bilan ifodalanadi.

$$V = \frac{\pi r^4 \cdot \Delta P \cdot \tau}{8\eta\ell} \quad (3.10)$$

Bunda r – nay radiusi.

(3.10) ifoda yordamida yopishqoqliknani aniqlash uchun oqim laminar bo'lishi kerak. Turbulent oqim uchun Puazeyl formulasi o'rinni emas. Odatdagagi hollarda oqim laminar bo'lishi uchun nay diametri kichik bo'lishi zarur. Yopishqoq suyuqliknani to'la harakterlaydigan kattalik kinematik yopishqoqlikdir

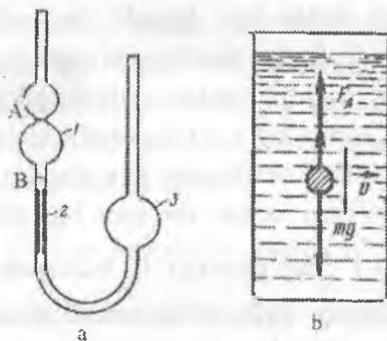
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.11)$$

Bunda ρ – suyuqlik zinchligi.

$\tau, \ell, \Delta P$ kattaliklarni aniqlash qiyin, shuning uchun taqqoslash usulidan foydalilaniladi. Yopishqoqlikni aniqlovchi qurilmaga viskozimetr deyiladi. Bu usulda bir xil hajmdagi yopishqoqligi ma'lum va yopishqoqligi noma'lum suyuqliklar oqib o'tish vaqtini taqqoslanadi. U holda kinematik yopishqoqlik

$$v = v_o \frac{\tau}{\tau_o} \quad (3.12)$$

(3.12) – ifoda orqali hisoblanadi. Bunda v va v_o mos ravishda noma'lum va etalon suyuqliklar kinematik yopishqoqligi, τ va τ_o har esa bu suyuqliklar uchun oqib o'tish vaqtini.



3.3-rasm. Yopishqoqlik koefisiyentini aniqlashning vizkozimetriya (a) va Stoks (b) usullari. 1,3-o'lchov hajmlari, 2-kapillyar, F_A -Arximed kuchi, mg -ogirlik kuchi, v -tezlik

(3.11) ifoda yordamida dinamik yopishqoqlik aniqlanadi. Ko'pchilik viskozimetrlarda etalon suyuqlik sifatida suv olinadi va uning oqib o'tish vaqtini va kinematik yopishqoqligi viskozimetr doimiysi sifatida beriladi. Shu sababli faqat noma'lum suyuqlik oqib o'tish vaqtini aniqlash bilan yopishqoqlikni o'lchash mumkin.

Cuyuqliklar yopishqoqligi unda boshqa moddalar eritilganda yoki dispersiyalangan holda bo'lganda o'zgaradi. Bundan tashqari, toza erituvchilardan farq qilgan holda, suspenziyalar va eritmalar yopishqoqligi oqimdag'i tezlik gradiyentlariga bog'liq bo'ladi. Bu

holda Nyuton suyuqliklari haqida gap boradi. Nonyutoncha holatiga siljish kuchlanishi tufayli vujudga keladigan zarrachalar vaziyatining o'zgarishi, agregasiyasi va deformatsiyasi jarayonlar olib keladi.

Biologik suyuqliklar uchun tezlik gradiyenti o'shining katta oralig'ida yopishqoqlikning uzluksiz kamayishi kuzatiladi. Bunga zarrachalar vaziyatining o'zgarishi va deformatsiyasi sababchi bo'ladi.

Sut emizuvchilar, jumladan, odam qoni qon hujayralarining plazmadagi suspenziyasidan iborat. Qon plazmasini katta tomirlardan o'tishida Nyuton xossalariiga ega suyuqlik, deb qarash mumkin. Qonning yopishqoqligi tezlik gradiyenti o'zgarishining keng sohasida kamayadi.

Bo'g'inlar orasida moylash vazifasini bajaruvchi – sinovial suyuqlik-larning yopishqoqlik asoslarini o'rganish katta ahamiyatga egadir. 3.4-rasmda ko'rindiki, bo'g'inda suyaklar qalinligi 0,2–0,5 mm bo'lgan sinovial suyuqlikning ingichka qatlami mavjud. Sinovial bo'g'in xaltaning ichki qatlami tomonidan chiqaradigan qon dializatidan iborat.

Bo'g'in xaltasi sinovial suyuqlikni bo'g'inda ushlab turadi va bo'g'in yuklanishda ma'lum miqdorda ichki bosimga qarshilik ko'rsatadi.



3.4-rasm. Umurtqali hayvon suyak bo'g'ini anatomiq tuzilishning sxematik tasviri

Bo‘g‘in boshi bo‘g‘in chuqurchasida sinovial suyuqlikda yopishqoqlik toza suvnikidan 10 – 60-marotaba katta bo‘ladi. Natijada uning bo‘g‘indan sizib chiqishi qiyinlashadi.

Molekulalar harakati haroratga bog‘liq ekan, u holda yopishqoqlik ham haroratga bog‘liqidir. Suyuqliklar uchun yopishqoqlik harorat oshsa kamayadi. Qonning yopishqoqligi 37°C da $4.10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$ ga teng.

§ 3.3. Yurak va qon tomirlari yopiq biofizik tizim

Qonning oqish tezligi kichik bo‘lganligi uchun uni laminar oqim deb olish mumkin. Qon molekulalari va arteriya devorlari orasida ishqalanish tufayli arteriya chetlarida oqim nolga teng. Arteriya markazida tezlik eng katta bo‘ladi. Demak, arteriya devorlari oldida bosim katta va tezlik kichik bo‘lganligi uchun qon to‘qimalari arteriya markaziga itariladi. Agarda biror sababga ko‘ra arteriya devorlari qalinlashsa ko‘krak qafasida og‘riq paydo bo‘ladi. Buning natijasida arterioskleroz yuzaga kelishi mumkin. Bundan qutilish uchun organizmga nitroglisirin yuborish kerak. Yuqorida aytilganidek, haroratning o‘zgarishi qon yopishqoqligining ham o‘zgarishiga olib keladi. Boshqacha aytganda harorat oshsa, qonning yopishqoqligi kamayadi, laminar oqim turbulent oqimga o‘tadi va qon harakat tezligi oshadi. Laminar oqim oddiy bo‘lib, tezlik kichik bo‘lganda yuz beradi. Agarda tezlik oshsa, oqim turbulent holatga o‘tadi. Bu o‘tish chegarasi o‘lchamsiz kattalik Reynolds soni orqali aniqlanadi.

$$R_e = \frac{D g \rho}{\eta} \quad (3.13)$$

Bunda D – quvur diametri, ρ – suyuqlik zichligi, agarda bu son suv uchun 2000 dan kichik bo‘lsa quvur orqali oqim laminar, bundan katta bo‘lsa, turbulent oqim bo‘ladi. Arteriyada qon oqimi

Uchun bu sonning qiymati 800 ga teng, demak, Reynolds soni 800 dan katta bo'lsa, organizmda patologik o'zgarishlar yuz beradi.

Quyidagi jadvalda qonning ayrim gidrodinamik parametrlari keltirilgan.

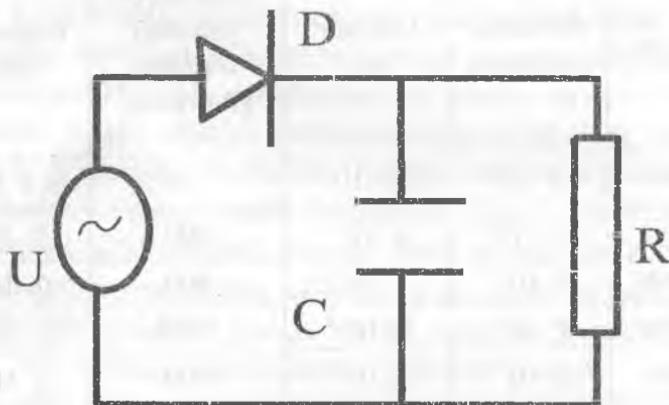
Odam uchun qon aylanishning ayrim gidrodinamik parametrlari

3.1-jadval

Tomir turi	O'rtacha tezlik m/s	Diametr, m	Tezlikning tomir devori yonidagi o'rtacha gradiyenti, s^{-1}	Reynolds soni
Aorta	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	155	$3,4 \cdot 10^3$
Arteriya	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$	900	$5 \cdot 10^2$
Arteriola	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	800	$7 \cdot 10^2$
Kapillyar	$1 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-6}$	1000	$2 \cdot 10^3$
Venula	$2 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-5}$	800	$2 \cdot 10^2$
Vena	$1 \cdot 10^{-1}$	$5 \cdot 10^{-3}$	160	$1,4 \cdot 10^2$

Yurak va qon tomirlari yopiq biofizik tizimdir. Yurak nasos rolini bajaradi va u yurak qon tomirlarida qonni harakatga keltiruvchi asosiy energiya manbaidir. U ATF molekulalarida joylashgan kimyoviy energiyani yurak muskullarining mexanik energiyasiga aylantiradi. Demak, yurak impuls rejimda ishlaydi. Sut emizuvchilar va qushlar yuragi to'rtta kameradan tashkil topgan. U ikkiga ajralgan va o'ng qon tomirlari bilan tutashtirilgan. O'ng yurakcha butun tanadan qon qabul qiladi va oshqozonga yuboradi, undan esa o'pka qon arteriyasi orqali o'pkaga yuboriladi. O'pkada u kislorod bilan boyitilib o'pka venasi orqali chap yurak va oshqozonga qaytariladi. So'ng ritmik ishlash bilan qon butun tanaga

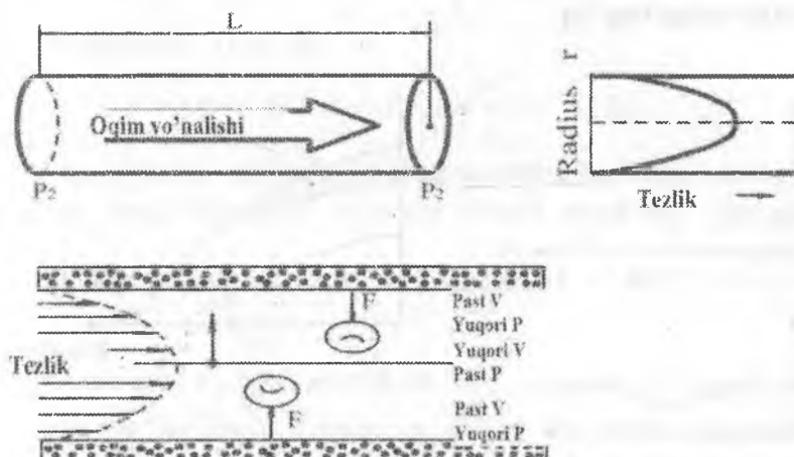
yuboriladi. Yurak muskullarining siqilishi tufayli arterial va vena tizimida bosimlar farqi yuzaga keladi va shu sababli qon harakatga keladi. Yurak siqilishi chastotasi hayvon massasi qancha kichik bo'lsa, shuncha katta bo'ladi. Chunki, massa qancha kichik bo'lsa, uning sirti ham shuncha katta bo'ladi va issiqlik ko'p yo'qotiladi va kislorod bilan ta'minlash ham shuncha kam bo'ladi. Sistola vaqtida chiqadigan qon miqdori qoramolda 850 – 580 ml, odamda 60 – 70 ml, qo'yda 55 ml, itda 14 ml ga teng. Fizik ta'sir vaqtida bu qiymat oshadi.



3.5-rasm. Yurak va qon tomirlari tuzilishi, hamda yurak faoliyatini o'rganish elektron sxemasi: u-elektr kuchlanish, D-diod, C-kondensator, R- rezistor

Yurakni kuchlanish manbai U deb olsak, yurak klapani D diod rolini o'ynaydi, ya'ni bir tomonga ochiladi. Kondensator yarim davr ichida zaryadlanadi, yarim davr ichida esa R orqali zaryadlanadi. Kondensatorning roli qon bosimining tebranishlarini tekislashdir. Qon tomirlarini tarmoqlangan naychalar sifatida olish mumkin. 3.5-rasmida 1–2 aorta, 2–3 arteriyalar, 3–4 arteriolalar, 4–5 kapillyarlar, 5–6 venulalar, 6–7 venalardan iborat. Yurak muskullarining qisqarishida (sistolada) qon yurakdan aortaga va undan tarqalib ketuvchi arteriyalarga siqib chiqarila boshlaydi.

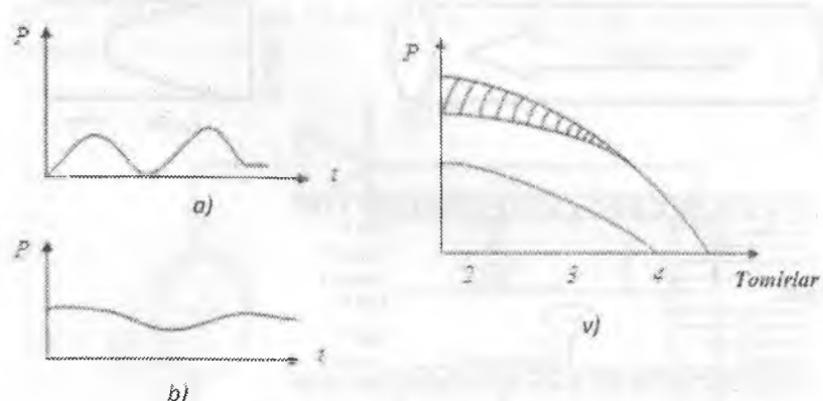
Agar bu tomirlar devorlari qattiq bo'lganda edi, qonning yurakdan chiqish paytida vujudga kelgan bosim tovush tezligida qismlarga uzatilgan bo'lar edi. Qon tomirlari elastik bo'lgani uchun sistola paytida yurak itarib chiqarayotgan qon aorta, arteriya va arteriolalarni cho'zadi.



3.6-rasm. Quvurlarda suyuqliklarning oqim tezligi chizmasi

Bunda katta qon tomirlari sistola paytida markazdan chetdagi qismlarga oqib boradigan qonga nisbatan ko'p qonni qabul qiladi. Odamning sistolik bosimi normada taxminan 16 kPa.ga teng. Yurakning bo'shashi (diastola) paytida cho'zilgan qon tomirlari pasayadi (bo'shaladi), yurakning qon orqali ularga uzatgan potensial energiyasi qonning oqishidagi kinetik energiyaga aylanib diastolik bosimni taxminan 11 kPa. atrofida tutib turishga madad beradi. Sistolalar yuz berishi davrida qonning chap qorinchadan itarilib chiqarilishi tufayli yuzaga kelgan va aorta hamda arteriyalar orqali tarqaluvchi yuqori bosimli to'lqingga puls to'lqini deyiladi. Puls to'lqini tezligi 5 – 10 m/s, bu esa (0,3 s da 1,5 – 3 m) sistola davrida yurakdan qo'l va oyoqlargacha bo'lgan masofadan kattadir. Bu shuni bildiradiki, puls to'lqini fronti qo'l va oyoqlarning oxirgi

nuqtalariga aortada bosimning pasayishidan oldin yetib boradi. Ammo qonning tezligi $0,3 - 0,5$ m/s, puls to'lqini tezligidan kichikdir. 3.7-rasmda yurak atrofidagi, ya'ni aortadagi (a) va arteriolalardagi bosimning (b) o'zgarish ko'rsatilgan, (v) bosimning o'rtacha qiymatining va qon oqimi tezligining qon harakatlanuvchi tomirlar turiga bog'liq



3.7-rasm. Qon bosimining qon tomirlaridagi qiymatlarini ko'rsatuvgchi chizmalar

holda o'zgarishi ko'rsatilgan. Bunda 2-arteriyalar, 3-kapilyarlar, 4-venalar, shtrixlangan soha bosim tebranishiga mos (puls to'lqini) kelishi tasvirlangan.

§3.4. Yurakning ishi va quvvati

Yurak bajargan ish bosim kuchlarini yengish va qonga kinetik energiya berish uchun sarflanadi. Chap qorincha bir marta qisqarganda bajargan ishni hisoblaymiz. Qonning zarb hajmi V_z ni silindr ko'rinishida ifodalaymiz. Yurak bu hajmni ko'ndalang kesim yuzi S bo'lgan aorta bo'ylab o'rtacha R bosim ostida ℓ masofaga siqib chiqaradi. Bunda bajarilgan ish

$$A_1 = F \cdot \ell = PSl = PV_3 \quad (3.14)$$

Bu hajmdagi qonga kinetik energiya berish uchun

$$A_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho_3 V v^2}{2} \quad (3.15)$$

ish bajariladi. To'la ish

$$A_3 = A_1 + A_2 = PV_3 + \frac{\rho V_3}{2} v^2 \quad (3.16)$$

o'ng qorincha bajargan ish chap qorincha bajargan ishaing 0,2 qismiga teng deb qabul qilinishi tufayli yurakning bir marta

$$\text{qisqarishida bajargan to'la ish } A = A_3 + 0,2 A_3 = 1,2(PV_3 + \frac{\rho V_3 v^2}{2}) \quad (3.17)$$

$P = 13 \text{ kPa}$, $V_3 = 60 \text{ ml} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$, $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $v = 0,5 \text{ m/s}$ bo'lsa tinch holatda yurakning bir marta qisqarishida bajargan ishi $A = 1 \text{ J}$. ekanini topamiz. 1 s da 1-marta qisqarsa 1 sutkada $A = 86400 \text{ J}$ ish bajaradi. Agar sistolalar davomiyligi 0,3 s desak, yurakning bir marta qisqarishdagi quvvati $W = \frac{A}{t} = \frac{1}{0,3} = 3,3 \text{ Vt}$.

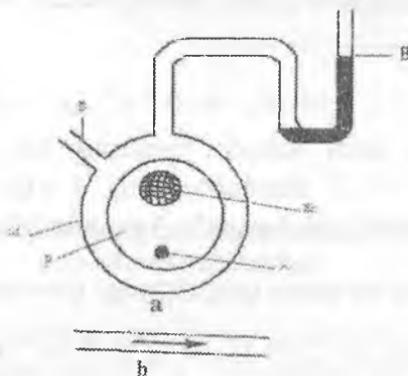
Qoramolar uchun $A = 2,93 \text{ J}$, quvvat $11,7 \text{ Vt}$. 70 yil yashagan odam yuragi 2,5 milliard marta qisqaradi. Bajargan ishi 10^9 J . har qanday davriy nasos 10 mln. taktdan ko'p ishlay olmaydi. Yurak esa bundan yuzlab marta ko'p ishlay oladi. Yurakning siqib chiqargan qoni miqdori 1 km uzunlikdagi paroxod yuradigan daryoni to'ldirgan bo'lar edi.

Arteriyalarning birortasidagi sistolik va diastolik bosimlar to'g'ri-dan-to'g'ri manometrlarga ulangan igna yordamida o'lchanishi mumkin. Tibbiyotda esa N.S.Korotkov taklif qilgan qonsiz usuldan keng foydalilanadi.

Bunda M-manjet, P – qo'lning bir qismi, Y_{es} – yelka suyagi, A – arteriya, V – rezina nay orqali manjetga havo yuborilganda manjet

qo'lni siqadi. So'ngra shu rezina nay orqali havo sekin yuboriladi va B manometr yordamida manjetdagi bosim o'lchanadi. Agar muskullar bo'shashtirilgan bo'lsa, elastik devorlardan iborat bo'lgan manjetga tegib yumshoq to'qimalardagi bosimga teng bo'ladi.

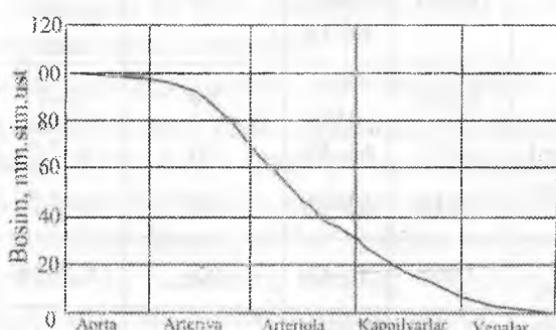
Bosimning qonsiz o'lchashning asosiy fizik g'oyasi shundan iborat. Havo asta sekin chiqarilib bosim kamaytirib boriladi va bosim sistolik bosimga teng bo'lsa, qon qattiq siqilgan arteriya orqali otilib chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi, bunda turbulent oqim yuzaga keladi. Hakam bosimni o'lchashda fonendaskopni arteriya ustiga qo'yib turbulent oqimga taalluqli bo'lgan shovqinlarni eshitadi.



3.8-rasm. Qon bosimini o'lchash.

Manjetdagi bosimni kamaytira borib laminar oqimni tiklash mumkin, buni eshitib ko'rيلотган тонларниң бирданың пасайиб кетишидан билиш мумкин. Артериада laminar oqimning tiklanishiga mos keluvchi manjetdagi bosim diastolik bosim kabi qayd qilinadi. Sog'lom kishi organizmi uchun normal sistolik bosim 120 mm.sm.ust, diastolik bosim esa 80 mm.si.ust.ga tengdir. Qon yurakka qaytish davomida bosim kamayib boradi. Katta arteriyada 90 mm.sm.ust.bo'lsa, kichik arteriyalarda 25 mm.sm.ust venada esa hatto 10 mm.sm.ust.gacha kamayadi. Ammo, yurak urishi bilan bog'liq

bo‘lgan bosim 120 – 80 mm.sm.ust.chegarasida o‘zgarib turadi. Qon bosimining o‘zgarishi esa organizm faoliyatining o‘zgarishi bilan bog‘liqdir. Bundan esa tashxis maqsadlarida keng foydalaniлади.



3.9-rasm. Qon bosimining tomirlar bo‘yicha taqsimoti

§ 3.5. Qonning fizik xossalari

Hayvonlar organizmida qon muhim fiziologik funksiyani bajaradi. O‘pkada qon kislorod bilan boyitiladi, so‘ng to‘qima va organlarga uzatiladi. Hazm qilish organlarida u oziq ovqatlardan erigan tarkibiy qismlarni oladi. To‘qimalardan qonga bir qancha mahsulot o‘tadi va ular ajratuvchi organlarga boradi (buyrak, o‘pka, teriga). Bundan tashqari qon aniq fizik funksiyalarni ham bajaradi, ya’ni yuqori issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega holda hosil bo‘lgan issiqlikni organizm turli qismlarga yetkazadi. Shu bilan u tananing haroratini doimiy saqlashga imkon beradi.

Qonni shaffof bo‘limgan suspenziya tashkil etadi. U ikki qism – suyuq qismi (plazma) va unda harakatlanuvchi qon to‘qimalari (eritrosit, leykosit, trombosit va boshqalar)dan iborat. Qonning zichligi $((1,042 - 1,056) \cdot 10^3 \frac{kg}{m^3})$, eritrositlar zichligi $1,09 \cdot 10^3$, plazmaniki $(1,025 - 1,034) \cdot 10^3 kg/m^3$. Quyidagi jadvalda ba’zi hayvonlar qonining xarakteristikasi keltirilgin.

3.2-jadval

No	Hayvon turi	Zichligi kg/m ³	Qon mas-sasi ml/kg	Gemotokrit%	1mkl. dagi eritrositlar soni, mln	SOE normada mm/somat
1	Ot	1054	85–100	39	6–9	64
2	Qoramol	1055	65–82	36	5–7,5	0,70
3	Cho'chqa	1048	65–80	42	6–7,5	8,0
4	Junli yirtqich	1056	55–60	32	8,5–11	2,5
5	Parranda (tovuq)	1052	90–120	37	35 – 4,9	4,0
6	Baliqlar	1036	35–40	39	1,5 – 2,5	4,0

Qonning tarkibini sentrifuga yordamida aniqlash mumkin. Qonni probirkaga solib aylantirsak, u holda har bir zarrachaga markazdan qochma kuch ta'sir qiladi. U holda probirkada joylashgan qondagi eritrositlar probirka tubida, plazma esa yuzida, qolgan elementlar o'rtada qatlamlar hosil qiladi. Qolgan elementlar hajmi yig'indisining qon hajmiga nisbatiga gematokrit deyiladi. Gematokrit miqdori 30 – 40 foiz atrofida bo'ladi. Bundan ko'rinaridiki qon yuqori konsentrasiyali suspenziyadan iborat. Sog'gom hayvonlarda plazma yopishqoqligi nisbiy birliklarda $\eta_n = 1,7 - 2,2$, to'liq qon uchun $\eta_k = 4,5 - 5,0 \eta_n$ va η_k orasidagi farq gematokrit kattalik bilan aniqlanadi va empirik formula orqali ifodalanishi mumkin. Masalan, Xatchek tenglamasi orqali

$$\eta_k = \frac{\eta_n}{1 - \sqrt{\phi}}.$$

Bundan tashqari qonning yopishqoqlik koefisiyenti,

uning tezligiga ham bog'liq bo'ladi. Ya'ni, katta tomirlarda,

kapillyardagiga qaraganda tezligi katta va yopishqoqlik koeffisiyenti kichikdir.

Organizmni kislorod bilan ta'minlashda asosiy rolni eritrositlar o'ynaydi. Eritrositda ko'plab gemoglobin, ya'ni kislorodni bog'lab turuvchi organik modda mavjuddir.

Eritrositdan ajratilgan qonda 3 ml kislorod erishi mumkin, to'liq qonda esa bu 200ml. ga tengdir. Sut emizuvchilar uchun eritrositlar ikki tomonlama botiq diskka o'xshaydi va u qalinligi 7,5nm. bo'lgan membrana va gemoglobin bilan to'yingan suyuqlikdan iboratdir.

Shakl tuzilishiga asosan, u shar shaklida bo'lganidan o'lchami 1,6-marta katta. U yuzasining kattaligi tufayli ko'proq kislorod yutishga erishadi. Sut emizuvchilar eritrositlar diametri 5 mkm atrofida, lekin ularning soni juda ko'p bo'lGANI uchun uning umumiy yuzi hayvon tanasi yuzidan ancha katta bo'ladi. Umuman olganda, eritrositlar o'lcharni va shaklini aniqlash qiyin, chunki uning shakli kapillyarda harakat qilganida o'zgaradi va uning o'lchami yorug'lik to'lqin uzunligi ($\sim 0,5 \text{ mkm}$) o'lchami kabi kichikdir. Mikroskopda qaraganda difraksiya tufayli shakli qiyshi ko'rindi. Eritrositning o'lchami 5 – 8 mkm bo'lishiga qaramasdan diametri 3 mkm li kapillyarlarga kirishi mumkin. Natijada eritrosit sirti va tomir yuziga tekkan qismi yuzasi oshadi natijada gaz almashish ko'payadi. Eritrositlar miqdorining qonda kamayishi anemiya kasalligiga olib keladi, chunki kislorod bilan ta'minlash susayadi.

Agarda, qon vertikal kapillyarga joylashtirilsa, u holda og'irlik kuchi ta'sirida eritrositlarning qatlamlar bo'yicha taqsimlanishi yuz beradi. Eritrositlarni shar shaklida deb eritrositlarning o'tirish tezligini (SOE) Stoks formulasidan aniqlash mumkin.

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho - \rho_c}{\varrho} g \cdot R^2 \quad (3.18)$$

Bunda ρ – eritrositlar zinchligi, ρ_c – suyuqlik zinchligi, ϱ – eritrositlar tushish tezligi, g – erkin tushish tezlanishi, R – eritrosit radiusi.

Bu formula bo'yicha topilgan qiymatlar 3.2 – jadvaldag'i natijalardan kichik qiymatlarni beradi, bunga sabab eritrositlar bir-biriga yopishishi natijasida effektiv radiusi oshadi va SOE o'sadi. SOEga qon plazmasi yopishqoqligi ta'sir qiladi. Masalan: shamollash jarayonida, homiladorlik va boshqa patologik o'zgarishlarda sog' plazmaning tarkibi o'zgarishi tufayli o'zgaradi. Shu sababli SOEni o'lchash bilan tashxis qo'yish mumkin.

Eritrositlar membranasi mustahkam bo'lishiga qaramasdan, ma'lum fizik-kimyoviy ta'sir bilan uni buzish mumkin. Eritrositlar xossalari mexanik, issiqlik va boshqa ta'sirlar tufayli buziladi. Bundan esa patologik o'zgarishlarni tashxis qilishda foydalaniлади.

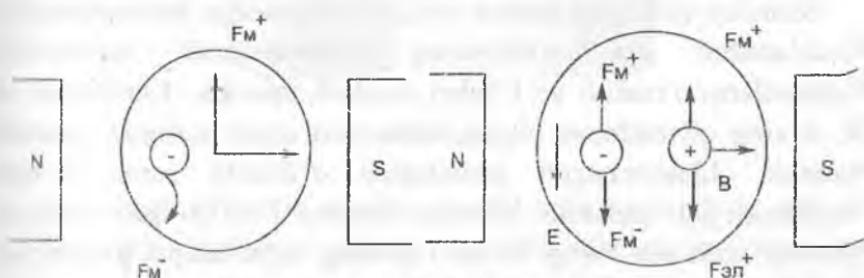
Ul'tratovush gemoliz usuli bilan o'tkazilgan tajribalar sog' va kasal hayvonlar eritrosit membranalari chidamliligi turlicha ekani aniqlanadi. Masalan: jigar serrozida eritrositlar toksik moddalar tomonidan qisman buziladi, bu esa jigar faoliyatini yomonlashtiradi. Shu bilan butun eritrositlar massasining xususiyati pasayadi. Masalan, shamollash (pnevmoniyada), mastit, endometritlar eritrositlar halokatini tezlashtiradi. Bu esa qonda yangi to'qimalarning paydo bo'lishi kamayishiga olib keladi. Membrananing mustahkamlik o'lchovi bo'lib to'qimalar buzilishi tezligiga teskari bo'lgan kattalik olinadi. Eritrositlar mustahkamligi ustida olib borilgan natijalar shuni ko'rsatdiki, juni olingan qo'ylar eritrositlari, junli qo'ylardagidan kuchsiz bo'lar ekan yoki tog'dagi echkilarning eritrositlari yaylovdagi echkilarnikidan mustahkam bo'lar ekan. Erakkarda eritrositlar ayollarnikidan 1,2-marta mustahkam ekan. Ul'tratovush defektoskopiya usuli yordamida ko'plab kasallikkarga tashxis qo'yish mumkin. Bu usul yordamida nafaqat eritrositlar, balki qonga tegishli boshqa elementlar va spermatazoidlar ham o'rganilishi mumkin.

§ 3.6. Qon tezligini aniqlash

Qon aylanish tizimidagi turli tomirlarda qonning oqish tezligini aniqlash bo'yicha turli usullar ishlab chiqilgan. Shulardan biri

elektromagnit usuli hisoblanadi. Bu asbob elektr zaryadlarining magnit maydonida harakatlanishiga asoslangandir. Qon tarkibida ion shaklidagi ko‘plab elektr zaryadlari mavjud. Haqiqatdan ham, qon plazmasida 145 mmol/l Na^+ ionlari va 125 mmol/l Cl^- ionlari mavjud. Boshqa ionlar konsentrasiyasi ancha kam bo‘lgani sababli ularni e’tiborga olmasa ham bo‘ladi.

Faraz qilaylik, bir xil zaryadli ma’lum miqdordagi ionlar V tezlik bilan harakatlanayotgan bo‘lsin. Agarda arteriyani magnit qutblari orasiga joylashtirsak ionlarga magnit maydon tomonidan Lorens kuchi ta’sir qiladi.



3.10-rasm. Arteriyadagi ionlarning magnit maydonida harakati

Bunda \mathbf{B} – magnit maydon induksiya vektori, E -elektr maydon kuchlanganligi

3.10-rasmida ikkala ion V tezlik vektori o‘quvchi tomonga, ya’ni rasm tekisligidan tik yuqoriga yo‘nalgan. Bu kuchlar ta’sirida ionlar arteriyasining qarama – qarshi devorlari tomon harakatlanadi. Bu ionlarning qutblanishi E elektr maydonini hosil qiladi. Ikkala holda ham ion tezlik vektori rasm tekisligidan o‘quvchiga yo‘nalgan.

Hosil bo‘lgan elektr maydoni arteriyada ΔU potensiallar farqini yuzaga keltiradi.

$$E = \frac{U}{d} \quad (3.19)$$

Bunda, d – arteriya diametri.

Bu elektr maydoni $F el^+$ va $F el^-$ elektr maydon kuchlarini yuzaga keltiradi.

Arteriya qarama-qarshi devorlarida ionlar konsentrasiyasi

$F el^+ = F el^-$ shart bajarilguncha oshib boradi. U holda

$$F el^+ = F el^- : eE = e \frac{U}{d} = e \mathcal{G} B$$

Bundan

$$\mathcal{G} = \frac{U}{Bd} \quad (3.20)$$

Shunday qilib, qon harakat tezligi kuchlanishga proporsionaldir. Kuchlanishni esa arteriyaning qarama-qarshi devorlariga elektrodlarni o'matish yo'li bilan aniqlash mumkin. Kuchlanish va B , d ning qiymatlarini bilgan holda qon oqish tezligini aniqlash mumkin. Elektromagnit hisoblagich o'lchashi zarur bo'lgan kuchlanish juda kichikdir. Masalan, diametri 1 sm bo'lgan arteriyani qarasak, unda qon tezligi 30 sm/s ga teng. Agar magnit induksiyasi 10^{-4} Tl bo'lsa, u holda hosil bo'ladigan kuchlanish

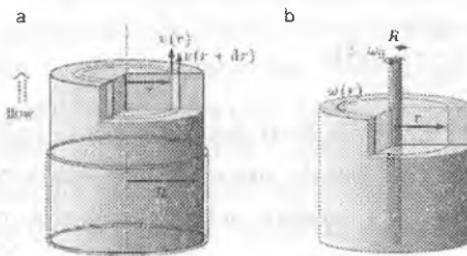
$$U = \mathcal{G} Bd = 0,3m/s \cdot 0,000177/m = 300mKV$$

Bunday kuchlanishni o'lchash ancha mushkul masala. Bu holda yana bir qiyinchilik yuzaga keladi, ya'ni arteriya devorlarida to'plangan ionlar atrof muhitdagi suyuqlik ionlarining qarama-qarshi ionlarini o'ziga tortadi. Bu sirt potensialini qon harakati tafayli hosil bo'lgan potensialdan farqlash qiyin. Masalan, buni bartaraf qilish uchun magnit maydon yo'nalishini tez o'zgartirib turish zarur. Tajribalarning ko'rsatishicha bu chastota 100 Gs atrofida bo'ladi.

§3.7. Qon tomiri tarmoqlari

Bakteriyalar diffuziyalanadi lekin katta organizmlar uchun murakkab infrotuzilma zarur bo'ladi. Organizmning har bir to'qimasi bitta yoki bir qancha qon tomirlardan iborat bo'lib, ular qon, havo, limfa va boshqalarni o'tkazadi. Odatda bu tomirlar

kengayish hususiyatiga ega. Odamning arteriya qon tomirlari vena va boshqa tomirlari aorta kopelyargacha tarmoqlanadi. Bu sistema uchun ba'zi fizik chegirmalarni olish uchun R-radiusli tsilindr dan Nyuton suyuqligining oqishini qaraymiz. Bu holda suyuqlik tezlanishsiz harakatlanadi deb olamiz. Suyuqliknin harakatga keltirish uchun unga bosim berishimiz lozim. Oldin ko'rganimizdek suyuqliknin har bir qatlami tsilindr ichida ishqalanib harakatlanadi.



3.11-rasm.

Suyuqliknin tsilindrik qabiqlar tizimi deb faraz qiling, tsilindr markazidan r masofadagi qatlam $v(r)$ tezlik bilan xarakatlanadi. Bu tezlik masofaga qarab quvur chetlarida $v(r)=0$ va markazda $v(r)$ bo'ladi. . Bu tezlikni topish uchun qatlamlarga ta'sir kuchlarni muvozanatlaymiz.

Bu qatlam yuzi 2 pr, ta'sir etuvchi kuch

$$df_1 = 2\pi r \rho dr \text{ quvur o'qi bo'ylab yunalgan.}$$

Df 2 – ishqalanish kuchi ta'sirida suyuqlik tezligi r katta bo'lgan joydan quvur sirti tomon kamayib boradi va natijada df₃ kuch paydo bo'ladi. Uzunligi 4 bo'lgan quvur f₂ kuch manfiy f₃ kuch esa musbat bo'ladi. U holda muvozanat holatida

$$df_3 = -\eta(2\pi r L) \frac{dv(r)}{dr} \quad \text{and} \quad df_2 = \eta(2\pi(r+dr)L) \frac{dv(r')}{dr'} \Big|_{r'=r+dr}.$$

$$df_1 + df_2 + df_3 = 0$$

d_2 kichik bo'lganda biz dv ni $(2+d_2)$ qiymatda Teylar qonuniga binoan baholay olamiz

$$\left. \frac{dv(r')}{dr'} \right|_{r'=r+dr} = \frac{dv(r)}{dr} + dr \times \frac{d^2v}{dr^2} + \dots$$

Shunday qilib df_2 dan df_3 gacha

Bu kuchlarning umumiy yig'indisi nolga teng bo'ladi.

Bu $v(r)$ ga nisbatan differensial tenglama. Siz tekshirib ko'rishingiz mumkin bu tenglama yechimi

$$\frac{rp}{L\eta} + \frac{dv}{dr} + r \frac{d^2v}{dr^2} = 0.$$

bunda A va B doimiylar. $B=0$ desak va markazda tezlik cheksiz bo'la olmaydi. Devorlar oldida suyuqlik harakatsiz bo'lgani uchun $A=3R$, Bu esa laminar harakat uchun yechimni olishga imkon beradi.

$$v(r) = \frac{(R^2 - r^2)p}{4L\eta}, \quad (3.21)$$

Demak quvurda suyuqlik qanday harakatlanishini ko'rishimiz mumkin.

Oqimning umumiy miqdori quyidagi formuladan topiladi

$$Q = \int_0^R 2\pi r dr v(r) = \frac{\pi R^4}{8L\eta} p. \quad (3.22)$$

Bu lomilar oqim uchun Hagen-Poysulu tenglamasidir. Buni qo'llanish chegarasi Reynoldo soniga qarab oshib boradi, oldin aytganimizdek suyuqlik vaqt o'tishi bilan lominar oqimda tezlashadi. Demak (3.21) tenglamani foydalansa buladi reynold sonining va undan kichik bo'lganda foydalansa bo'ladi. Bu rejim odam organizmidagi eng katta qon tomiri vena va arteriyada bo'ladi (yoki muskullardagi qon tomirlari). (3.17) tenglamaning umumiy ko'rinishi $Q=p/Z$ bo'ladi. Bunda Z-gidrodinamik qarshilik. "Qarshilik" so'zi boshqa ma'noda olingan. Hagan – Poysaoli formulasidagi qarshilik, Om qonunidagi qarshilik rolini o'ynaydi.

har bir so‘zda, doimiy qarshilik deb aytilgan. Reynold soni kichik bo‘lganda $Q=p/Z$ nisbat Darsu qonuni deyiladi. (Reynolds soni katta bo‘lganda matematik ifoda murakkablashadi).

Philip Nelson. Biological Physics. Energy, Information, Life. 2008.Pp 179–182

§ 3.8. Yopishqoq suyuqliklar

Biz oldin uzlusizlik va Bernulli tenglamalarni ko‘rib chiqdik. Biz hozirgacha ideal suyuqliklar bilan ish ko‘rdik. Real suyuqliklarda yopishqoqlig mavjud bo‘lib, uzlusizlik tenglamasi umumiyyidir. Qanning murakkab xarakteri uning xususiyatlarini o‘rganib, odamda qon aylanishini o‘rganish mumkin.

Oxirida kapillyar hodisalar va sirt taranglik hodisalarini ko‘rib chiqamiz. Oddiy suyuqliklar yopishqoqligi. Real suyuqlik molekulalari harakatlanganda ishqalanish kuchlari yuzaga keladi, ya’ni qarshilik kuchlari hosil bo‘ladi. Bu ish bajarishda mexanik energiyaning kamayishiga olib keladi. Qarshilik esa suyuqlik harakatiga qarshilikdir. Suvga nisbatan kraska va siroplar yuqori yopishqoqlikka egadir. Yopishqoqlikni miqdor tomondan baholash uchun suyuqlikda harakatlanayotgan plastinka ta’sir etayotgan tashqi kuchlarni aniqlash zarur. Qarshilik kuchi bo‘lmasganda yuqorigi qatlama tezlashadi va suyuqlik yopishqoqligi katta bo‘lsa sirtda qo‘srimcha qatlama hosil bo‘ladi.



3.12-rasm. Pastki metall plastinka tinch holda va ustki plastinka doimiy V tezlikda harakatlanuvchi plastinka orasida joylashgan suyuqlik

Natijada quyi qatlama harakatsiz yuqorigi qatlama esa V tezlik bilan harakatlanadi (9.1-rasm). Ko'ndalang qatlama uchun tezlik chiziqli o'zgaradi, ya'ni 0 dan to V gacha. Yopishqoqlik kuchlanish va kuch orasidagi bog'lanishdan topiladi.

$$\frac{F}{A} = \eta \frac{\Delta \vartheta}{\Delta y} \quad (3.23)$$

Bu tenglamaga bo'y sunuvchi suyuqlikka Nyuton suyuqligi deyiladi. Qon esa bu tenglamaga bo'y sunmaydi. Shu sababli u Nyuton suyuqligi bo'la olmaydi. 3.1-jadvalda suv va qon yopishqoqligi keltirilgan

suyuqlik	temperatura	Yopishqoqlik ($10^{-3} na \cdot c$)
Suv	0	4,8
	20	8,0
	37	0,7
Qon	37	4,0
Qon plazmasi	37	1,5



3.13-rasm. Truba bo'y lab o'sha tezlikda oquvchi suyuqlikning kopelyar laminar oqimi konsentrik halqalar yordamida ko'rsatilgan

3.12-rasmida laminar oqim ko'rsatilgan.

3.1-misol. 30 sm li fanera qalinligi 1 mm li kley bilan qoplangan. Plastinkaga parallel 10 N kuch ta'sir qilsa plitka tezligini toping.

Suyuqlik yopishqoqligi $50 \text{ Pa} \cdot s$.

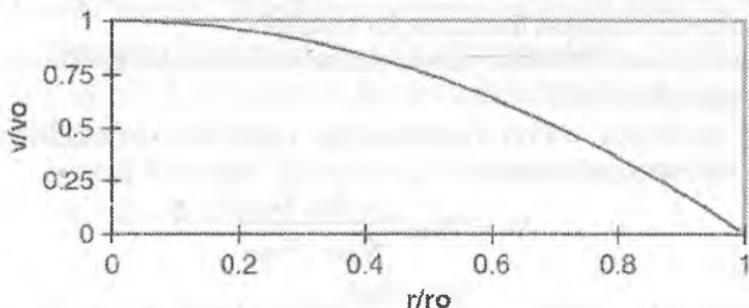
Echish. oldin kuchlanishni $\frac{F}{A}$ ni topamiz.

$$\frac{F}{A} = \frac{10}{(3)^2} = 110 \text{ N/m}^2$$

Buni kley yopishqoqligiga bo'lib deformatsiya tezligini aniqlaymiz. Ya'ni $2,2 \text{ s}^{-1}$ u holda plitka tezligi

$$\vartheta = \frac{\Delta v}{\Delta y} \cdot y = (2,2 \cdot \frac{\text{c}^{-1}}{1}) \text{ mm} = 2,2 \text{ mm/s}$$

Kapillyar trubalar eng ko'p tarqalgan geometrik shakldan iborat. Masalan qon tomirlari ham shunga mos keladi. Suyuqlik tezligi truba markazida eng katta chetlarida esa amalda harakatsiz bo'ladi.



3.14-rasm. Radusи r_0 bo'lgan kopelyar trubada tezlik profile

3.14-rasmda tezlikning truba ko'ndalang kesimiga qarab parabolik o'zgarishi ko'rsatilgan. O'tayotgan suyuqlik hajini topishi birinchi marta 1835-yilda Puazeyl aniqladi.

$$Q = \frac{\pi P r^4}{8 \eta \ell} \quad (3.24)$$

Bunda P – bosimlar farqi, ℓ – truba uzunligi, r – truba radiusi.

$$\Delta P = \left(\frac{8 \eta \ell}{\pi r^4} \right) Q \quad (3.25)$$

Qays ichidagi kattaliklarni o'lchash ancha qiyin kapillyar devorlarida keraksiz moddalar to'planishi natijasida tezlik kamayadi, tezlikni normaga keltirish uchun bosimlar farqi oshishi kerak. 3.13-rasmida tezlikning kapillyar truba radiusidan bog'lanishi keltirilgan.

Misol. 3.2. qon quyishda truba ichki diametri 2 mm, ichka uzunligi 4 sm, qon 1 m balandlikda joylashgan, uning ichki diametri

0,5 mm. Venadagi qo'shimcha bosim 18 mm.sm ust. bo'lsa, 1 l qonni quyish uchun qancha vaqt zarur bo'ladi.

Echish. Qon tezligi kapillyar radiusidan bog'liq bo'ladi. (3.23) formuladan foydalanamiz.

1sm³ –qon oqib o'tishi uchun 13 s.vaqt kerak bo'ladi. U holda 1 l qon o'tishi uchun 3,6 soat vaqt talab qilinari ekan.

Agar $r = 0,2\text{mm}$ bo'lsa, oqimning susayish koeffitsienti $\frac{2}{2,5}$ ga teng bo'ladi.

3.15-rasmda kapillyardan oqib o'tadigan suyuuqlik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash qurilmasi ko'rsatilgan.

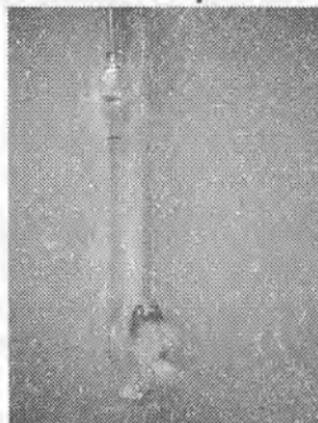
Puazeyl usuli eritmalar va syuqliklar yopishqoqlik koeffitsientini aniqlashda ishlataladi.

Bu qurilmada etalon yopishqoqligi noma'lum suyuqliklarning oqib o'tish vaqtini aniqlanadi.

$$\eta_s = \eta_{suv} \cdot \frac{q_c \cdot \tau_c}{q_{suv} \cdot \tau_{cuv}}$$

Tezlik oshsa laminar oqimdan turbulent holga o'tadi. Bu holda ishqalanish kuchlari ortadi. Turbulent va laminar oqimlar chegarasi Reynolds soni bilan aniqlanadi.

$$R = \frac{Lq \cdot \vartheta}{\eta}$$



3.15-rasm

3.15-rasmida viskozimetr keltirilgan. Suyuqlikning yopishqoqligini aniqlashda ishlataladigan kopelyar viskozimetr.

Stoks qonuniga binoan suyuqlikda harakatlanayotganda ta'sir etuvchi kuch

$$F_c = -6\pi\eta r\vartheta \quad (3.25)$$

Suspenzalar yopishqoqligini aniqlash ancha qiyin masala hisoblanadi.

1906-yil Eynshteyn sfirik zarralar yopishqoqligini aniqlash masalasini hal qildi. Bunda natija zarraga radiusidan bog'liq emas.

J. Newman, Physics of the Life Sciences, DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2_9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008, pp. 243–246

Tayanch iboralar: uzluksizlik, viskozimetriya, sistola, diastola, stasionar, oqim chiziqlari, uyurma.

Xulosalar

Suyuqliklarda oqim qonuniyatlarini bilish muhimligi hozirgi davrda texnika va tibbiyotning rivoji bilan chambarchas bog'liqdir. Qon va qon zardobi yopishqoqligini o'lchash yo'li bilan tirik organizmda bo'layotgan ko'plab jarayonlar haqida ma'lumotga ega bo'lish mumkin. Yurak ishi va quvvati, qon bosimi bu kundalik hayot uchun zaruriy faktorlardir. Ularni aniqlash va baholash muhim masala hisoblanadi.

Test savollari

1. Qanday suyuqlikka ideal suyuqlik deyiladi?
 - a) turbulent oqayotgan suyuqlikka;
 - b) laminar oqayotgan suyuqlikka;
 - c) yopishqoqligi mutlaqo bo'lmagan suyuqlikka;
 - d) yopishqoqligi kichik suyuqlikka.
2. Qon tomirlarida qon oqimi qachon turbulent oqimga aylanadi?
 - a) tashqi atmosfera harorati oshganda;

- b) qon bosimi oshganda;
 - c) tana harorati oshganda;
 - d) qon bosimi kamayganda.
3. Necha xil qon bosimi bor?
- a) ikki xil;
 - b) uch xil;
 - c) to‘rt xil;
 - d) bir xil.

4. Qaysi qon tomiridagi yopishqoqlik koeffisiyenti katta bo‘ladi?

- a) venada;
 - b) aortada;
 - c) kapillyarda;
 - d) arteriyada.
5. Ideal suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini ko‘rsating?
- a) $\eta = qD$
 - b) $S\vartheta = \text{const}$
 - c) $E = mgh$
 - d) $\frac{\rho\vartheta^2}{2} + \rho gh + P = \text{const}$

6. Quyidagi birliklarning qaysi biri yopishqoqlik koeffisiyentiga ta’luqli?

- a) $Pa \cdot s$
- b) $N \cdot m$
- c) $J \cdot s$
- d) $kg \cdot s$

7. Qonsiz qon bosimini o‘lchashni qaysi olim taklif qilgan?

- a) Savelev;
- b) Lebedev;
- c) Gess;
- d) Korotkov.

8. Real suyuqliklarda necha xil oqim turlari bor?
- uyurmali;
 - qatlamlı;
 - turbulent va laminar;
 - turbulent.
9. Qoramol yuragi bir marta qisqarganda qancha ish bajaradi?
- 1 j;
 - 2,4 j;
 - 2,93 j;
 - 4,11 j.
10. Bernulli tenglamasi ifodasini ko'rsating?
- $S\mathcal{G} = \text{const}$
 - $A = E_1 - E_2$
 - $\frac{\rho g^2}{2} + \rho gh + p = \text{const}$
 - $F = qg\mathcal{G}$
11. Qonning yopishqoqligi harorat oshsa qanday o'zgaradi?
- o'zgarmaydi;
 - oshadi;
 - kamayadi;
 - haroratga bog'liq emas.
13. Qon tomiridagi puls to'iqini tezligi qancha?
- 0,3 – 0,5 m/s;
 - 1–3 m/s;
 - 3–5 m/s;
 - 10–15 m/s.
14. Tomirlarda qon tezligi qancha?
- 10 -15 m/s;
 - 0,3 – 0,5 m/s;
 - 0,7 – 1 m/s;
 - 5–8 m/s.
15. Bernulli tenglamasining fizik mohiyati nimadan iborat?

- a) suyuqliklar uchun energiyaning saqlanish qonuni;
- b) oqimning uzluksizligini ifodalaydi;
- c) ta'sir etuvchi kuchlarni ifodalaydi;
- d) suyuqliklarning trubada oqishini xarakterlaydi.

16. Sistola nima va unda qon bosimi qancha?

- a) yurakning siqilishi, bosim 16kPa;
- b) yurakning bo'shashi, bosim 11 kPa;
- c) yurakning siqilishi, bosim 11 kPa;
- d) yurakning bo'shashi, bosim 9k kPa.

Sinov savollari

1. Suyuqliklarda qanday oqim turlari mavjud?
2. Ideal va real suyuqliklar nima?
3. Uzluksizlik va Bernulli tenglamalarining fizik mohiyati nima?
4. Yopishqoqlik koeffisiyenti va uni o'lchashning ahamiyati nimadan iborat?
5. Viskozimetrik qanday maqsadda ishlatiladi?
6. Qon tomirlari elastiklik xususiyatining mohiyati nimadan iborat?
7. Yurak ishi va quvvati haqida tushuncha bering?
8. Sistola va diastola nima?
9. Qon bosimini o'lchashning Korotkov usuli mohiyati nimadan iborat?
10. Hujayra membranasi mexanikasini tushuntiring?
11. Qonning fizik xossalari nimalardan iborat?

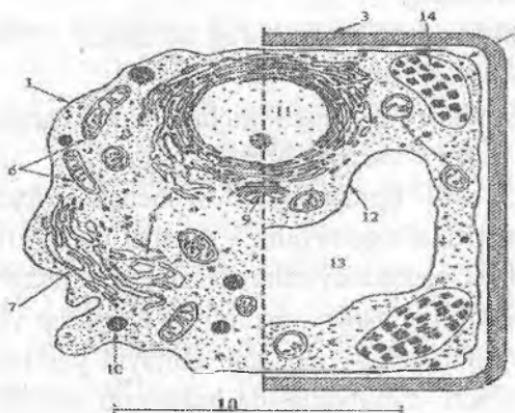
IV bob. MEMBRANALAR BIOFIZIKASI

§ 4.1 Biologik membranalalar tuzilishi

Biologik membranalalar hujayrani tashqi muhitdan ajratib turadi va ular butunligi hujayraning yashash shartlaridan biridir.

Biologik membranalarni o'rganishdagi muvaffaqiyatlar keyingi yillarda biologiya, tibbiyot, veterinariya sohalaridagi yutuqlarga olib keldi.

Biomembranalalar tuzilishi va dinamik xarakteristikalari o'rganishga kirishishdan oldin hujayra morfologiyasi va uning alohida komponentlariga to'xtalib o'tamiz. 4.1-rasmda hujayra tuzilishi ko'rsatilgan.



4.1-rasm. Elektron mikroskopda olingan hujayra tuzilishi sxemasi: chapda – hayvon hujayrasi, o'ngda – o'simlik hujayrasi. 1-plazmatik membrana, 2-mezosoma membranasi, 3-hujayra devori, 4-virus po'stlog'i. 5-nukleotid; 6-mitokondriyalar; 7-g'adir-budur endoplazmatik to'r; 8-silliq endoplazmatik to'r; 9-Golji kompleks; 10-lizohoma; 11-yadro; 12-monoplast; 13-vakuola; 14-xloroplast.

Elektron mikroskopda kattalashtirilganda hujayrada turli murakkab strukturalarni hosil qiluvchi ko'pchilik membranalarni ko'rish mumkin. Membranalalar tashqi membrana (plazmatik membrana)ga va hujayra ichidagi membranalarga bo'linadi.

Hujayra ichidagi membranalar umumiy massasi quruq membrana massasining 2/3 qismini tashkil etadi. Bu membranalar yuzi ancha kattadir. Masalan, kalamush jigarining massasi 6g bo‘lgan holda, undagi hujayra ichidagi membranalar umumiy yuzasi ming kvadrat metrlarga borib yetadi. Membranalar yuzasi qancha katta bo‘lsa, hujayra metabolizmi intensivligi yuqori bo‘ladi.

Biomembranalar, asosan, oqsillar, lipidlar va uglevodlardan tashkil topgan. Oqsillar va lipidlar membrana quruq vaznning asosiy qismini tashkil etadi. Uglevodlar ulushi 10–15% oshmaydi, bunda ham ular oqsil molekulalar bilan (glikoproteinlar), yoki lipid molekulalari bilan (glikolipidlar) bog‘langan bo‘ladi. Turli membranalarda lipidlar oqsilga nisbatan massa jihatidan 25 foizdan 75 foizgacha tashkil etadi.

Membrana lipidlari uch asosiy turga bo‘linadi: 1) fosfolipidlar, 2) glikolipidlar, 3) steroidlar.

Membrana lipidlari nisbatan kichik zaryadlangan (qutbli) boshchadan va uzun zaryadlanmagan (qutbsiz) uglevodorod zanjiridan iborat. Fosfo- lipidlar qutbli boshchasi – fosfatidilxolin, fosfatidiletanolamin va sfingomiyelin – musbat va manfiy zaryadga ega va neytral pHda elektroneyraldir. Hujayra ichidagi tuzilmalar membranalari lipidlarning asosiy qismini fosfolipidlar va xolesterin tashkil etadi, neytral lipidlar soni kam. Hujayra yadrosida lipidlar soni ko‘p emas. Yadro membranasida holesterin mikrosomadagiga nisbatan uch marta ko‘pdir. Miyelinda lipidlar ulushi 70%ni tashkil etadi, bunda uning 2/3 qismi xolesterindan iborat. Lipidlarning eng past foiz ulushi mitoxondriyalar ichki membranasida va bakteriyalar membranasidadir.

Membrana lipidlarning katta qismi fosfolipidlardan iborat. ular ichki gidrofob va hidrofil sirtlardan iborat qo‘shaloq qatlamlı strukturalar hosil qila oladi. Shuning uchun membranalar orqali yog‘da eriydigan moddalar o‘ta oladi, suvda eriydigan moddalar va hidrofil ionlar membrananing hidrofob sohasidan o‘ta olmaydi. ular

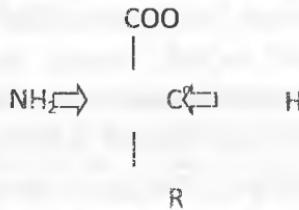
hujayra ichida oqsil tabiatiga ega bo'lgan maxsus o'tkazuvchanlik kanallari orqali kirishadi.

Gidrofob (yunoncha *hydror-suv*, *phobos-qo'rquv*), gidrofil(phileo- yaxshi ko'raman) tushunchalar moddaning suvga bog'lanishini xarakterlaydi. Gidrofob moddalar suv bilan yomon bog'lansa, gidrofil moddalar kuchliroq bog'lanadi, moddalarning molekulalari suv molekulalari bilan molekulyararo kuchlar yordamida bog'lana olish qobiliyatiga ko'ra gidrofil yoki gidrofob turga bo'linadi. Masalan, oqsillar, uglevodlar, kraxmal-gidrofil, chunki suvda kolloid holda eriydi, kauchuk va boshqa polimerlar-gidrofobdir.

Barcha hujayralar ichidagi osmotik bosim, tashqi muhitga nisbatan katta. Shuning uchun plazmatik membrana o'zining elastikligi tufayli cho'ziladi. Ko'p hujayralar membranalari sirti gidrofil, chunki shu yerda zaryadli aminokislotalar va lipidlar guruhlari joylashgan. Biroq biomembranalar ichki sohasi gidrofob bo'lgani uchun, membranalar orqali gidrofil moddalar o'tishi membranada oqsil tabiatli kanallar mavjudligi bilan aniqlanadi.

Membranalardagi oqsillar molekulyar massasi 10000 dan 240000 (m.a.b.) gacha bo'ladi. Biologik membranalar bajaradigan vazifalarning turli- tumanligi, ko'pchilik hollarda ulardagi oqsillar mavjudligi bilan bog'liqidir. Turli oqsillar 20 aminokislotalardan tuzilgan.

Aminokislota molekulasi dagi uglerod atomi 4 ta turli qoldiq bilan bog'langan: karboksil guruhi-COOH bilan, NH₂-aminoguruhi bilan H-proton va R-radikal bilan.



Fazoda uglerod atomining kovalent bog'lanishlari markazida uglerod atomi va uchida karboksil guruhi joylashgan tetraedr hosil qiladi.

Gidrofoblik darajasi, gidrofob aminokislotalar qoldiqlari soni va joylashishiga qarab oqsillar yoki qisman yoki butunlay membranalar lipid qatlamiga botirilgan holda bo'lishadi. Membrana bilan eng zaif bog'langan periferik oqsillar membranada kuchsiz elektrostatik bo'lmagan o'zaro ta'sirlar bilan saqlanadi. Membranalar lipidlari bilan kuchli bog'langan va lipid qatlamiga botgan oqsillar (integral oqsillar) membrana oqsillarining asosiy massasini hosil qiladi.

Quyidagi jadvalda sut emizuvchilarining turli hujayra membranalari tarkibi keltirilgan.

4.1-jadval.

Sut emizuvchilar to'qimalari, hujayralari va hujayra organellari	Lipidlar va oqsillar %	
	Lipidlar	Oqsillar
Ho'kiz bosh miyasi	18–23	77–82
to'qimalari	70–72	28–30
Odam miyelin qatlami	30–40	60–70
Ho'kiz eritrositlari	40	60
Odam eritrositlari	20–50	50–80
Ho'kiz yuragi mitoxondriyalari		

Membranalar tarkibining muhim komponentasi suvdır. Membranalar tarkibidagi suv bog'langan, erkin va ushlab olingan turlarga bo'linadi. Bog'langan suvning asosiy qismi gidrat qatlamlar suvidir. Gidrat qatlamlar lipid molekulalari va oqsillarning qutbli qismlari atrofida hosil bo'ladi. Asosiy lipidlar gidrat qatlamlari odatda 10–12 ta suv molekulasidan iborat. Bu suv osmotik jihatdan aktivmas, u moddalarni erituvchanlik qobiliyatiga ega emas.

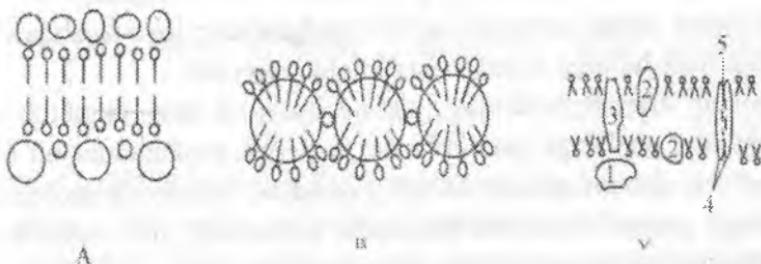
Erkin suv membranalar tarkibiga mustaqil faza holida kiradi va suyuq suv kabi izohrop harakat qila oladi. Ushlab olingan suv

membranalar markaziy qismida lipid qo'shaloq qatlami orasida topiladi, harakatchanligi bo'yicha suyuq erkin suvgaga o'xshaydi.

Membranalar tuzilishini o'rghanish ularning ishlashishni tushunish uchun kerakdir. 1935-yilda F.Danielli va G.Davson biologik membranalar tuzilish haqida birinchi modelni taklif etishdi. Ushbu modelda (4.2-rasm A) membrana qo'shaloq lipid qatlamidan va ularning ikki tomondan qoplagan globulyar oqsillar po'stlog'idan iborat (buterbrod yoki yagona membrana modeli). So'ngra takrorlanuvchi bloklar modeli taklif etildi. Unga ko'ra biomembranalar takrorlanuvchi bir xil oqsil-lipid komplekslardan iborat deb qaraldi. (4.2 rasm, B) Bu holda uzluksiz lipid qo'shaloq qatlami mavjudligi inkor qilinadi.

Yagona membrana modeli bo'yicha membranada lipid va oqsillar miqdori taxminan teng bo'lishi kerak. Biroq haqiqatda bunday emasligi jadvaldan ko'rinish turubdi.

Takrorlanuvchi komplekslar farazi ham tajribada tasdiqlanmadidi. Shuning uchun membranalar tuzilishining uchinchi modeli taklif etildi. Bu modelda membrana qo'shaloq qatlamidan iborat bo'lib, oqsillar membrana sirtida ham uning ichida ham oqsil-lipid komplekslari sifatida joylashishi mumkin. Ushbu model suyuq mozaika modeli deb ataladi. (J.Lenard, J.Nikolson va S.Singer tomonidan 1966–1972-yillarda taklif etilgan).



4.2-rasm. Biologik membranalar turli modellari. A-buterbrod (yagona membrana) modeli; B-takrorlanuvchi bloklar modeli; V-suyuq mozaika modeli. 1-membrana sirtidagi oksil, 2-yarim botirilgan oksil, 3-tula botirilgan oksil, 4-ionli kanal 5 ni hosil kiluvchi oksillar

Suyuq mozaika modelida biomembranalar strukturaviy birligi bo'lib fosfolipid qo'shaloq qatlami hisoblanadi, ularda fosfolipid molekulalari uglevodorod zanjirlari suyuq holatdadir. Moy qovushqoqligiga ega bo'lgan bu qo'shaloq qatlamga oqsil molekularlari botib turubdi, ular membrana bo'ylab harakat qila olishadi. (4.2-rasm V)

Membranalar kimyoviy tuzilishi masalasi biokimyo kursida ko'rib chiqiladi.

§ 4.2. Hujayra membranasi mexanikasi.

Membrana faoliyati lipid qo'shaloq qatlami qovushqoqligi va membranadagi fosfolipidlar harakatchanligiga kuchli bog'liqdır. Lipid qo'shaloq qatlamining biofizik xarakteristikaları me'yordan farq qilishi turli patologiyalar bilan bog'liq.

Biologik membranalar lipid fazasi fiziologik sharoitlarda suyuq agregat holatda bo'ladi. Bu tajribada fluorescent zondlar, nishonlar, elektron paramagnit rezonans va yadro magnit rezonans usullari bilan isbotlangan. Shu bilan birga membranadagi molekulalar ma'lum tartib bilan joylashgan fosfolipid molekulalari qo'shaloq qatlamda joylashgan bo'lib, ularning gidrofob dumlari deyarli bir-biriga paralleldir. Qutbli gidrofil boshchalarining joylashishida ham tartib mavjuddir.

Agregat holati suyuqlik bo'lib molekulalar joylashishda tartib bo'lgan fizik holatga suyuq kristall holati deyiladi.

Suyuq kristall holatning bir nechta turi bor: nematik uzun molekulalar bir biriga paralel bo'lsa; smektik-molekulalar bir biriga paralel va qatlam-qatlam bo'lib joylashsa, xolesterol-molekulalar bir-biriga paralel holda bir tekislikda joylashadi, turli tekisliklarda molekulalar yo'nalishi turlicha bo'ladi (4.3-rasm)

Biologik membranalar qo'shaloq lipid fazasi smektik suyuq kristall holatiga to'g'ri keladi.

Lipid qatlamga kirgan oqsillar qisman harakatchan bo'ladi. Ularning harakati hujayra ichidagi va tashqarisidagi qator omillarga

bog'liq. Lipidlar molekulalari o'zlarining uzun o'qlari atrofida aylanma harakat qila olishadi. Turli tabiiy membranalardagi fosfolipid, sterik va yog'li kislotalar molekulalarining aylanish davri $\sim 6 \cdot 10^{-9}$ s ga teng.



4.3-rasm. Molekulalarning amorf suyuq kristall holatda joylashishi

Lipidlar molekulalari qatlam bo'ylab diffuzion ko'chishi (lateral diffuziya) va bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o'tishi ("Flip-flop" deb ataladigan ko'chish) mumkin. Ushbu ko'chishi tezliklari EPR – hamda fluorescent zondlar usullari yordamida o'lchangan. Lipidlarning lateral diffuziya tufayli membrana bo'ylab t vaqtida o'rtacha ko'chishi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$\ell = \sqrt{4Dt} \quad (4.1)$$

Bunda D – lateral diffuziya koeffisiyenti bo'lib, ko'pchilik biologik membranalarda uning qiymati $10^{-7} - 10^{-8} \frac{\text{cm}^2}{\text{s}}$ ga teng.

Masalan, *E. coli* hujayrasida lipid molekulasi 1 sekundda bir necha mikrometrga ko'chishi mumkin. Lateral diffuziya tezligi membranalarning lipid tarkibiga va haroratga kuchli bog'liq. Masalan, tuxum lesitiniga 3:1 nisbatda qo'shilgan holesterin lateral diffuziya tezligini ikki martadan ko'proq kamayitiradi.

Lipidlar flip-flop o'tishi tezligi nisbatan kichik tezliklar bilan ro'y beradi. Masalan, eritrosit membranalarida zondlar bilan

nishonlangan lipidlar sonining yarmi bir qatlamdan, ikkinchi qatlamga o'tish vaqtı $20 - 30$ minutga teng bo'lgan.

Membranalardagi oqsil molekulalari katta massalarga ega bo'lgani uchun, kichik tezliklar bilan harakatlanadi. Masalan, fotoreseptor membranalarda rodopsin aylanish davri $\sim 10^{-6} s$, sitokromoksidaza uchun bu vaqt $\sim 10^{-4} s$ teng.

Oqsillar lateral diffuziyasi ham lipidlarga nisbatan ancha kichik tezliklar bilan ro'y beradi. Xona haroratida tabiiy membranalardagi oqsillar lateral diffuziya koeffisiyentlari $10^{-10} - 10^{-12} \text{ sm}^2 / \text{s}$ ga teng.

Fiziologik sharoitlarda membranalar qovushoqligini Stoks – Eynshteyn tenglamasi yordamida baholash mumkin:

$$\eta = \frac{\kappa T}{6\pi Dr} \quad (4.2)$$

bunda $K = 1,38 \cdot 10^{-23} \frac{J}{K}$ Bolsman doimiysi, T – harorat (K da),

D – lateral diffuziya koeffisiyenti, r – diffuziyalanayotgan molekula radiusi. Biroq membranalar bir jinsli bo'lmagani uchun bu yopishqoqlik qiymati lipidlar yoki oqsillar harakatlanish tezligini aniqlashda foydalaniladigan usullarga kuchli bog'liqdir. Quyidagi jadvalda tabiiy membranalar, sun'iy membranalarning lipid qatlami uglevodorod sohalari va ayrim sodda muhitlar qovushoqligi qiymatlari keltirilgan.

4.2-jadval

Materiallar	Yopishqoqlik, $\text{Pa} \cdot \text{s}$	Harorat, $^{\circ}\text{C}$	O'lchash usuli
Odam eritrositlari	2,5	37	Fluorescent zond
Ye.soli membranalari	2,5	30	EPR – Spin zondi qutblanish.

tuxum lesitini	0,73	37	-
zaytun moyi	0,84	30	-
gliserin	8,3	30	-
Suv	0,0106	30	-

Hozirgi paytda membranalar yopishqoqligini o'lchash bo'yicha olingen natijalar shuni ko'rsatadiki, membranalar lipid qatlaming yopishqoqligi suvning qovushoqlididan taxminan 100-marta katta bo'lib, o'simlik moyining yopishqoqligiga mos keladi.

Hujayra membranasining mexanik xususiyatlarini o'rghanishning turli usullari membrana elastiklik moduli qiymati $10^3 - 10^5 N/m^2$ chegaralarda ekanligini ko'rsatadi.

Membranalar mexanik xossalari haqida keltirilgan ma'lumotlar membrana lipid qatlaming yyetarlicha mustahkam tuzilma ekanligini ko'rsatadi. Biroq membranalar mustahkamlik chegarasi ancha past. Tirik organizm sharoitida hujayraning o'rtacha sirt deformatsiyasi 0,01 foizni tashkil etadi. Membrana, sirtining yuzasi 2 foizga oshganda yemiriladi. Shuning uchun hujayraning osmotik kengayishi, ularning ideal shar shaklini egallashi mumkin. Membrana yemirilishi uchun ichki bosim 100 Pa bo'lsa yyetarli. Shunday qilib, tirik hujayra osmotik boshqaruva buzilishlarini faqat o'zining shaklini o'zgartirishi orqali kompensasiyalashi mumkin.

§ 4.3. Membranalarda fazaviy o'tishlar

Tabiiy va sun'iy membrana tizimlari ikki asosiy faza holatida : qattiq ikki o'lchamli kristall (gel) yoki suyuq kristall (erigan) holatda bo'lishi mumkin.

Asosiy faza o'tishining harorati (T_F) lipidlar uglevodorod zanjirlari to'yinmaganligi darajasiga va uzunliklariga kuchli bog'liq. Fazaviy o'tish harorati zanjir uzunligi uzayishi bilan oshadi va yog'li kislotalar qoldiqlari tuyinmaganlik darajasi oshishi bilan kamayadi.

Tabiiy lipidlar yog'li kislotali zanjirlari odatda to'yinmagan bog'larga ega. Shuning uchun ko'pchilik tabiiy membranalar uchun T_F manfiy haroratlar sohasida yotadi, ya'ni fiziologik sharoitda ular «suyuq » holatda bo'ladi.

Fazali o'tishda yog'li kislotali zanjirlar erishi burilish izoherlashuvi bilan bog'liq. Eng kichik energiya trans-, eng katta energiya sis- konfigurasiya ega.

Gosh-konformasiyalar (trans-konformasiyaga nisbatan 120° ga burilgan) energiya jihatidan trans-konformasiyadan kam farq qiladi ($2-3 \text{ kJ/mol}$), biroq bu holatlar balandligi $12-17 \text{ kJ/mol}$ bo'lgan energetik to'siq bilan ajratilgan. Trans-konformasiyada uglevodorod zanjirlari chiziqli tuzulishga ega bo'lsa, gosh-konfigurasiyalar paydo bo'lishi uglevodorod zanjirida «kinki» (sirtmoq) hosil qiladi. Kinkilar soni oshishda membranalar uglevodorod zonasida tartibsizlikni oshiradi. Bunda lipidlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari kamayadi, lipidlar harakatchanligi oshadi.

Fazali o'tish zonasida fosfolipidlar yog'li kislotali zanjirlari zinch joylashishida buzilishlar bo'lishi mumkinligi natijasida membrana o'tkazuvchanligi keskin oshadi.

Asosiy faza o'tish nuqtasidan yuqori haroratlarda egiluvchan uglevodorod zanjirlar statistik o'ram konfigurasiyasini olishga intiladi. Biroq bunga sirt taranglik kuchlari to'sqinlik qiladi. Natijada molekulaga to'g'ri keluvchi effektiv maydonning birmuncha oshishi kuzatiladi, amma bunda membranalarda zanjirlar konformasiyalarining ayrimlari amalga oshmaydi.

Membranalarda faza o'tishda tizim entropiyasi va hajmi sakrab o'zgaradi, ya'ni bunday o'tish birinchi turdag'i o'tishga mansubdir.

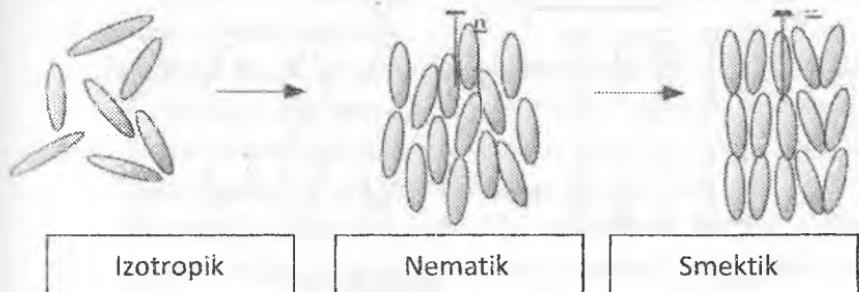
Membranalardagi lipidlarning faza o'tishlarini nazariy yo'l bilan tushuntirish uchun bir necha modellar taklif etilgan (J.Naygl, S.Marcheli). Umumiy holda faza o'tishlarini Landauning nazariyasi yordamida tavsiflash mumkin. Bu usulda xolestirin va oqsillarning faza o'tishlariga ta'siri ko'rib chiqilgan va olingan natijalar Marcheli modeli yordarnida olingan xulosalar bilan bir xil bo'lib chiqdi.

Landau nazariyasi termodynamik potensialni (erkin energiya) faza o'tish nuqtasida nematik tartib parametri S bo'yicha darajali qator sifatida ko'rsatadi:

$$G(S, T) = G_{iso} + \frac{1}{2} A(T)S^2 + \frac{1}{3} BS^3 + \frac{1}{4} CS^4 \quad (4.3)$$

Bunda G_{iso} -izohrop modda uchun erkin energiya, A, B va C qatorga yoyish koeffisiyentlari.

Membranalardagi lipidlar faza o'tishlarini quyidagi diagrammasi yordamida sxematik ko'rsatish mumkin.



4.4-rasm. Izotropik-nematisk va nematisk-smektiq faza o'tishlarining sxematik diagrammasi

A (T) parametrning haroratga bog'likligini quyidagi formula bilan berish mumkin:

$$A(T) = A_0(T - T_f) \quad (4.4)$$

bunda T_f -fazali o'tishning kritik harorati, A_0 -doimiy son.

Faza o'tish parametrlarini topish uchun erkin energiyari S bo'yicha differensiyallaymiz va nolga teng deb olamiz:

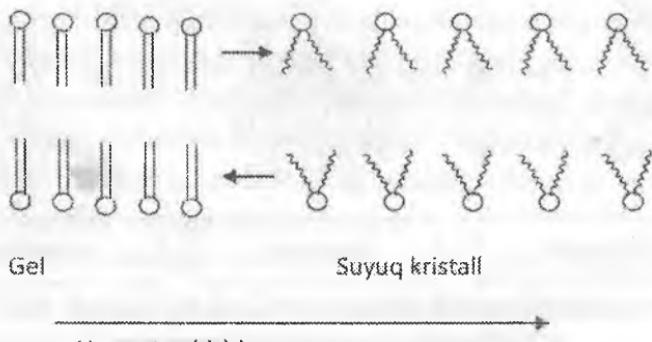
$$\frac{dG}{ds} = A(T)S + BS^2 + CS^3 = 0 \quad (4.5)$$

Bundan erkin energyaning lokal maksimumi yoki minimumi sharti kelib chiqadi:

$$S = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2C} \quad (4.6)$$

Rentgenostruktur analiz, fluroressent analiz, infrakizil spektroskopiya va boshqa fizik tekshirishlar harorat pasayishida fosfolipid membrana suyuq kristall holatidan gel holatga o'tishi (uni shartli ravshda qattiq kristal holati deb atashadi) aniqlangan.

Gel holatda molekulalar suyuq kristall holatga nisbatan yanada tartibliroq joylashgan. Fosfolipid molekulalarining gidrofob uglevodorod dumlari bir-biriga paralel holatda joylashgan (to'la trans-konformasiya holatda). Suyuq kristalda issiqlik harakati tufayli trans-gosh o'tishlar ro'y beradi, molekula dumlari egilib, ularning bir-biriga parallelligi buziladi.



4.5-rasm. Harorat o'zgarishida membrana strukturasining suyuq kristall holatdan gel holatga o'tishlari

4.5-rasmdan ko'rindiki, gel holatda membrana qalinligi suyuq kristaldagidan kattaroq. Ammo qattiq holatdan suyuq kristall holatga o'tishda hajmi oshadi, chunki bitta molekulaga to'g'ri keluvchi membrana yuzasi ko'payadi. ($0,48 \text{ nm}^2$ dan $0,58 \text{ nm}^2$ gacha). Qattiq kristall holatda tartib ko'proq bo'lgani uchun bundagi entropiya suyuq kristall holatga nisbatan kamayadi.

Membrana normal faoliyat ko'rsatish uchun suyuq kristall holatda bo'lishi kerak. Shuning uchun tirik organizmlarda atrof-muhit haroratinining ko'p vaqt pasayishidan membranalarda fazali o'tish haroratinining kamayishini yuzaga keltiradigan kimyoviy tarkibdagi adaptasion (moslashuvchan) o'zgarishlar kuzatiladi.

Lipidli membranalar kimyoviy tarkibiga qarab gel-suyuq kristall fazasi o'tishi harorati -20° dan (to'yinmagan lipidli membranalar) -60° gacha (to'yingan lipidlardir) o'zgarishi mumkin.

Gel-suyuq kristal fazasi o'tishlarda lipid qo'shaloq qatlama radiusi 1–3 nm bo'lgan kanallar hosil bo'ladi, ular orqali membranadan ionlar va kichik molekulalar (moddalar) o'tishi yaxshilanadi.

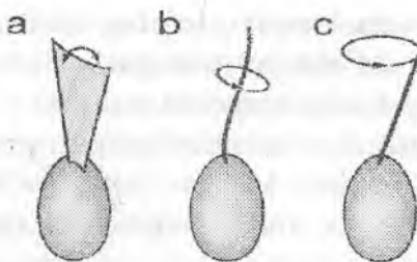
Membranalar ionli o'tkazuvchanligining oshishi hujayralarni sovuq ta'sirida buzilishlardan qutqazadi. Bunga hujayradan suv va tuzlar chiqishi oshganligi uchun hujayra ichidagi suvning muzlashiga to'sqinlik qiladi.

Membrana orqali ionlar ko'chishi biopotensiallar hosil bo'lishiga sababchi ekanligi ma'lum. Demak, harorat o'zgarishi haqidagi nerv impulsi membrana lipidlarining fazasi o'tishdagi lipid qatlami ion o'tkazuchanligining o'zgarishi sababli paydo bo'ladi.

Membrana lipidlarining fazasi o'tishlari nafaqat harorat o'zgarishi orqali, balki muhit kimyoviy tarkibi o'zgarishi bilan ham yuzaga kelishi mumkin. Tajribalarda ma'lum haroratda membranalarning suyuq kristal holatdan gel holatga o'tishi, membranani o'rabi turgan suv eritmasida Ca^{2+} konsentrasiyasining 1 dan 10 mmol/l gacha oshishi hisobiga ro'y berishi aniqlangan.

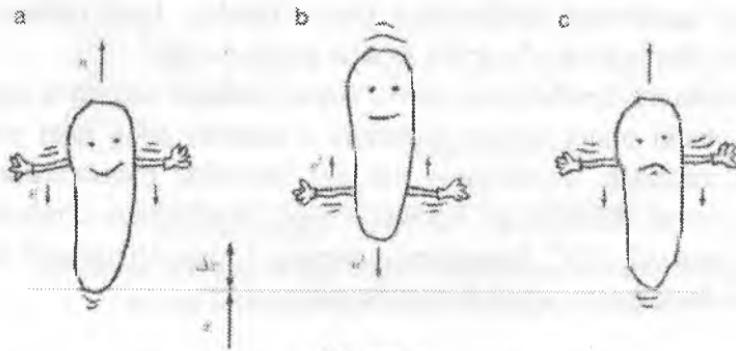
§ 4.4. Suzish va so'rilish

Biz ko'rdikki mikrodunyoda Reynolds soni vaqt o'tishi bilan suyuqlikining harakatining sekinlashuvini ko'rsatadi. Bu natijalar qiziq ko'rinsada mikromirda hayot va o'lim demakdir. Suvga joylashgan organism unda suzish uchun imkon topadi. Bunga erishish uchun takrorlanuvchi yo'lida shaklini o'zgartirish bilan erishadi. Bu unchalik oddiy emas, faraz qiling siz arabani harakatga keltirib so'ng uni shu yo'l bilan o'z holiga qaytaramiz. Siz so'ng atrofga qarab, har bir suyuq element o'zining dastlabki holatiga qaytishinini ko'ramiz(4.6 rasm).



4.6-rasm: (sxematiq). Uchta suzuvchi holat

Aniq misol bunga oydinlik kiritishi mumkin. Hayoliy mikroorganizmni qaraymiz o‘zining bir qism tanasini boshqa qismiga nisbatan siqib chiqarishini kuzatamiz (rasm 5.6). Matematik amallarni soddalashtirish uchun harakat faqat bir tomoniga bo‘layotir deb faraz qilamiz.



4.7-rasm

Arava va tana ham shu yo‘nalishda harakatlanmoqda deb olamiz. O‘rab turuvchi suyuqlik tinch holda. Biz bilamizki Reynolds soni kichik bo‘lganda jismning suyuqlikga ko‘chishi E_0 yopishqoqlik koeffitsiyentining kuchiga bog‘liq. Arabaning suyuqlikda ko‘chishi uchun boshqa E_1 konstanta zarur. Boshlang‘ich holatda markaz $x=0$ deb olamiz. So‘ng araba orqaga itariladi va t vaqt ichida uning tezligi v ga teng bo‘ladi. So‘ng u yana boshqa v_1 tezlik bilan itariladi va uni boshlang‘ich holatga qaytaradi. Bu jarayon takrorlanadi. Sizning do‘stingiz taklif etganiday kichik ta’sir bilan ($v_1 < v$)

Xuddi grebnoy kanalidek takrorlash mumkin. Misol, a) eshkakli qayiq tezligi v jism tezligiga u ga bog'liq bo'ladi, birinchi yarim davr uchun u tezlikni toping.

b) jism birinchi ta'sirda qanday kuch bilan va qaysi yo'nashida siljiydi?

c) ikkinchi ta'sir uchun (a,b) ni takrorlang;

d) sizning do'stingiz v va v_1 ni tanlab optimal holga kelishini taklif qiladi. Siz unga qanday maslahat berasiz?

Echish: a) eshkaklarning suyuqlikka nisbatan tezligi $v+u$, natijaviy kuchni muvozanatlashtirish quyidagini topamiz:

$$n = \frac{E_1}{E_0 + E_1} * V$$

b) $\Delta x = t * u$ bunda u-(a)bo'limdag'i ifoda,

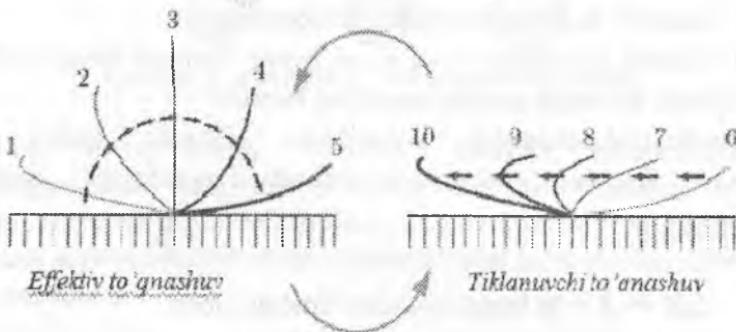
c) biz boshlang'ich holatga qaytishimiz uchun :

$$n = \frac{E_1}{E_0 + E_1} * V^1, \Delta x^1 = t^1 * u^1, t^1 * u^1 = t * u, \Delta x^1 =$$

$$\left(\frac{tv}{v^1}\right) u^1 = \Delta x.$$

d) ish javob (b),(c) ni inkor qilish uchun v_1 va v ni biz ixtiyoriy qabul qilamiz. Masaian agar qaytish tezligi yarim bo'lsa umumiy ta'sir ham shunday bo'ladi. Bu ta'sir ikki marta bo'lib keying davr boshlanadi. Kichik Reynolds soni uchun mikroolamda harakat tartibsiz. Mikroorganizmada qanday beshqa toplovlar mavjud. Zaruriy harakat takrorlanuvchi bo'lishi kerak, u takrorlanuvchi bo'ladi. U teskari qiymat bo'lishi mumkin. Kuch hosil qilish uchun ko'plab hujayralar qo'shimcha diametri 5–10 mm va uzunligi 100 nm qurilmalar hosil qiladi. Metil hujayralari sililni qo'llagan holda siljishga olib keladi. Buni boshqalar suyuqlikni haydash uchun ishlatishadi. har bir silium ichki tolalarni hosil qiladi, ular esa bir-birini siljitaladi va siljishning umumiy siljishigacha olib keladi.(4.8-rasm). Umuman olganda bu harakat takrorlanuvchan, lekin teskarisi emas. Buning qanday hosil bo'lishini ko'rish uchun Reynolds soni kichik bo'lgan suyuqlik mexanikasida shaxsiy natija zarur buning

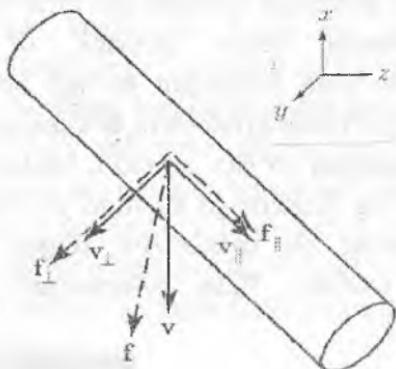
matematik isboti bu kitob doirasiga kirmaydi. Yopishqoq fraktsion koeffitsient E_{11} sterjenning o‘z o‘qiga parallel harakatlanganidek uning perpendikulyar harakati E_1 koeffitsientidan kichik bo‘ladi. Natijada sterjen uzunligiga bog‘liq boladi, bu kitobda uning $2/3$ qismi qo‘llaniladi.



**4.8-rasm. Tebranuvchi sikl. Effektiv to'qnashuv (chapda)
qayta tiklanuvchi to'qnashuv bilan o‘zgaradi (o‘ngda).**
Bu harakat qaytmasdir

Boshqacha aytganda o‘zining o‘qi bo‘ylab v tezlik bilan harakatlanayotgan sterjen qarshilikka uchraydi va tezligi v bo‘lgan sekinlashishga erishadi. O‘z o‘qiga perpendikulyar bo‘lgan sterjen qarshilik tufayli v tezlikka erishadi va uning doimiysi katta bo‘ladi. 4.8- rasmda siliumning hujayra tekisligiga parallel joylashuvi ko‘rsatilgan. Tashqi kuch ta’sirida silium o‘z o‘qiga perpendikulyar siljiydi, chunki kuch ta’siri vaqtida u o‘z o‘qiga parallel siljiydi. Shunday qilib kuch ta’sirida harakarlanayotgan suyuqlik harakati tiklanish ta’siri tufayli bir qismi qoldiriladi. Bu oqimlar orasida fi farq bir davrning sof mahsulidir. Bakteriyali flogel. Aytaylik v tezlik o‘qqa parallel ham, perpendikulyar ham bo‘lmasdan ular oralig‘da bo‘lsa qanday bo‘ladi? 4.9- rasmda natijaviy ta’sir parallel va perpendikulyar yo‘nalishlar orasida ,ya’ni v yo‘nalishida bo‘lmaydi. Kuch normalga yaqin bo‘ladi u E_{11} ga qaraganda E_1 ga yaqin bo‘ladi. E_{kal} bakteriyasi shu fazada joylashgan bo‘ladi. E_{kal} kuchlaridan farqli holda flagel egilmaydi , ular qattiq shu sababli 4.8- rasmda

ko'rsatilganidek harakatni ularni ega olmaydi. Uning o'lchami 20 nm dan qalın bo'lganda ularni mikroskop ostida uch o'lchamli tasvir qilish mumkin. Boshida ba'zilar bakteriyalar ular bilan silkinishi mumkinligini aytgan edi, buni biz ishdan bilamiz, bu teskari harakat. Boshqalar buralish to'lqini pastga harakatlanishi va u yerda yupqa qatlama hosil qilishini aytishgan edi.

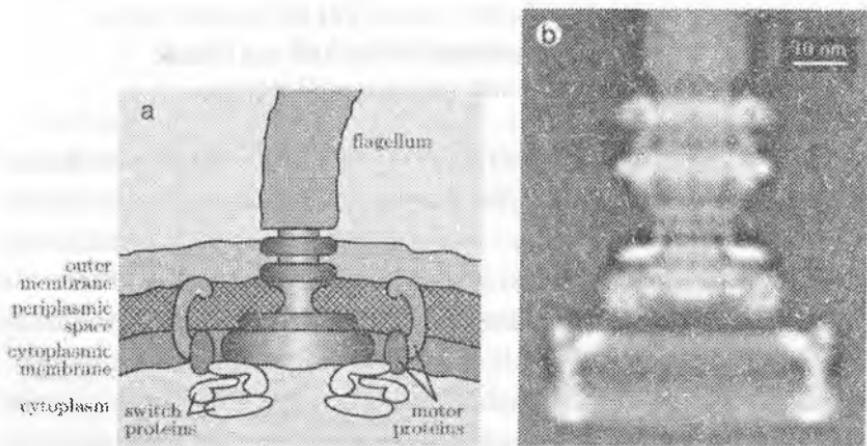


**4.9-rasm: (sxematik). v tezlikka ega kichik
Reynold sonli yupqa metall sterjen**

1973-yil Berg bakteriya o'rniiga flogeli qattiq rotatsion harakatga olib kelishi ko'rsatilgan edi. Bu shunday eyrik ideya edi. Haqiqatda esa hech qanday rotatsion dvigatel bo'lmas. Bu nazariyani tasavvur qilish qiyin, ya'ni mikroskop ostidagi uch o'lchamli harakatni. Silverman va simonlar. Bularning tajribada yechimini topishdi. Ular E_{coli}ni qollashdi chunki u flogeliumda yetishmaydi. Ular hujayrani shisha kyuvetada joylashtirishdi flogelli dvigatelinini aylanib ketmasligi uchun butun bakteriya bilan jismga mahkamlshdi. Bu jarayon mikroskopda yaxshi ko'rindi. Hozirgi vaqtida biz flamingo dvigatelinining 45 nm kenglikdagi nanotexnologiyali rotatsion dvigatellarini bilamiz.

Rotatsion harakatlar allbatta bizning holda uchrab turadi, teskarisi emas. Biz boshqa helikol ob'yekt bilan tanishmiz ular o'z o'qi bo'ylab kuch hosil qiladi ya'ni vint, lodka kabi kichik Reynolds

soni uchun aniq detailarni boshqaga bo‘ladi. 4.11- rasmida holatning ximik holati ko‘rsatilgan. Qattiq xelikand o‘z o‘qiga kiritilgan, sigmaentning 2 ta qismi analiz uchun ajratilgan. Birorta qisqa segmentga ta’sir etuvchi df kuch qo‘shti segmentlar ta’sirni muvozanatlaydi. Shunday qilib spiral aylana bo‘ylab harakat qilishi uchun df kuch vektori 4.9- rasmida ko‘rsatilganidek bo‘lishi kerak. har bir segmentdagi sterjenga qo‘shtimcha qilib biz ko‘rsatamizki komponentlar hammasi bekor qilinadi. df kuchning bir komponentasi o‘q bo‘ylab yo‘nalgan bo‘ladi va df_g mayjuddir. Kuch flogentning o‘z o‘rnida aylanishini ta’mianlaydi, faraz qilaylik flofeliyum maxkamlamagan bo‘lsin, ammo u bakteriya o‘ng qismiga qo‘yilgan bo‘lsin so‘ng flogelumga kuch qo‘yib bakteriyani o‘ngga cho‘zamiz. Tortishning bu mexanizmi flogent bakteriyasining aniqlashning qiziq usulidir. *Ular aylanaveradi lekin bir joyda yurmaydi.

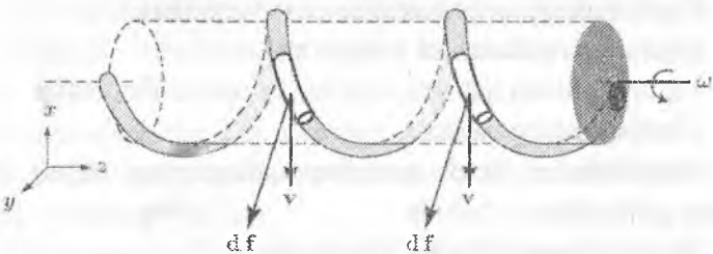


4.10-rasm.

Aralashish yoki aralshmaslik.

Ozgina miqdordagi mahsulotni iste’mol qilish ancha qiyin. Biz tajribadan olingan rasmlarni qaraganimizda ba’zi narsalarga e’tibor qaratgan edik. Reynolds soni kichik bo‘lganda aniq chiziqlarning yuzadagi sonini qayd qilish va har qanday ozuqa molekulasi oqim

bo'ylab markazda harakat qiladi. Narsaiar unchalik yomon emas. 4.4- rasmida ko'rsatilgan mikroskopik tajriba natijalari diffuziya effektini ko'rsatadi va ular molekulalarni koll yuzaga chiqaradi. Ammo diffuzaya ovqatni harakatsiz hujayradan chiqaradi nima uchun suzish xalovatsiz bo'ladi? Xuddi shunday ogohlantirish aralashtrishga ham to'g'ri keladi. Bu tekshirib ko'rilmagan asosiy ammo mum toza suyuqlikni hujayraga joylashdir. Bunaqa argumentlarmi baholash uchun tasavvur qiling siliumin diametri d bo'lgan quvurda v tezlikda harakatlanayotganini tasavvur qiling. Bu esa vatq shkalasi $t = d/v$ aniqlaydi ya'ni silium molekula atrofidagi molekulalarning yangi suyuqlik molekulalari bilan almashishi uchun ketgan vaqt. Ikkinchi tomondan molekulaning d masofaga ko'chishi oddiy diffuzaya tufayli o'ziga xos d^2/D vaqt davomida yuz beradi. Agarda $d/v = d^2/D$ bo'lsasa aralashish diffuziyaga nisbatan yaxshiroq bo'ladi. $V > D/d$ (5.15).



4.11-rasm. Bakteriyalardagi flagell jarayon

(Ba'zi avtorlar $V \propto d/D$ -koeffitsiyentni Peklut soni deyishadi). Olingen silium uzunligi $d=1\text{ mm}$ $V > 1000\text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ bo'ladi. Bu shuningdek suzish shartidir. Ammo bakteriyalar hech yerda tez harakatlanmaydi. Harakat va suzish bakterianing hosil bo'lishiga ozuqa bo'ladi. (Ko'pchilik ijod uchun Reynolds sonini uncha katta emas, d va v katta). Bu xulosaning tajriba natijalari mavjud. Ozuqa keng bo'lganda mutant bakteriyalar flagell sistema bilan direktlarni boshqaradi.

Philip Nelson. Biological Physics. Energy, Information, Life. 2008. Pp 172–177

Test savollari

1. Biologik membranalarning lipid fazasi qaysi fizik holatda bo‘ladi?
 - a) Suyuq amorf
 - b) Qattiq kristall
 - c) Qattiq amorf
 - d) Suyuq kristall
2. Biologik membrana qalinligi qanday?
 - a) 10 nm; b) 0,1 mkm; c) 10 mkm; d) 1 nm
3. Membrana lipidlarning asosiy turlari quyidagilar...
 - a) Fosfolipidlar, glikolipidlar
 - b) Fosfolipidlar
 - c) Glikolipidlar, steroidlar
 - d) Fosfolipidlar, glikolipidlar, steroidlar
4. Biologik membranalar suyuq mozaika modelining tarkibi:
 - a) Oqsil qatlami, polisaxaridlar va sirt lipidlari
 - b) Lipid monoqatlami va xolesterin
 - c) Lipid qushaloq qatlami, oqsillar va mikrofilamentlar
 - d) Lipid qushaloq qatlami
5. Membranalar lipid qushaloq qatlamining suyuq kristall holatidan gel holatiga o‘tishida:
 - a) Membrana ingichka bo‘lib qoladi
 - b) Membrana qalinligi o‘zgarmaydi
 - c) Membrana qalnlashadi
 - d) Membrana yoriladi
6. Membranalar tarkibida suvning qanday turlari mavjud?
 - a) Bog‘langan, erkin, ushlab olingan
 - b) Bog‘langan
 - c) Erkin
 - d) Erkin, ushlab olingan
7. Suyuq kristall holatning qanday turlari mavjud?
 - a) Amorf, nematik
 - b) Nematik

c) Smektik

d) Nematik, smektik, xolesterik

8. Hujayralarni sovuqqa chidamliligini oshirish mexanizmi qaysi javobda ko'rsatilgan?

a) Hujayra ionli o'tkazuvchanligining oshishi

b) Hujayralarning bir-biriga yopishishi

c) Hujayralarning kengayishi

d) Hujayra membranasining torayishi

9. Lipid qushaloq qatlamida gel-suyuq kristall fazasi o'tishida hosil bo'ladigan kanallar radiusi qanday?

a) 1–3 nm; b) 1–3 mkm; c) 5–10 nm; d) 5–10 mkm

Sinev savollari

1. Suyuq-mozaika modelining asosiy mohiyati nimadan iborat?

2. Biologik membranalardan tuzilishi qanday?

3. Hujayra membranasining asosiy parametrlari?

4. Biologik membranalardan lipid fazasi holati haqida nima bilasiz?

5. Membranalarda fazalar o'tishlari qanday ro'y beradi?

6. Lipidlarning eritrosit membranasida lateral diffuziya tufayli ko'chishi nimalarga bog'liq?

7. Membrana lipidlarning qanday turlari mavjud?

8. Stoks – Eynshteyn tenglamasi nirmani ifodalaydi?

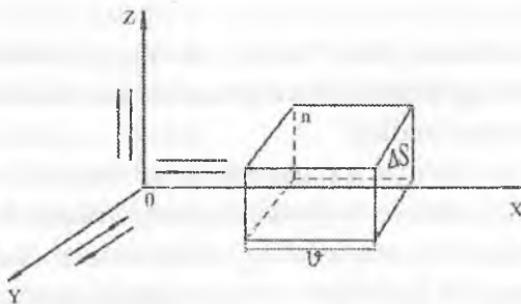
9. Yopishqoqlikni aniqlashning qanday usullari mavjud?

10. Yopishqoqlik koeffisenti temperaturadan qanday bog'liq?

V bob. BIOLOGIK TIZIMLARDA KO'CHISH HODISALARI

§ 5.1. Ko'chish hodisasining fizik mohiyati va uning tenglamasi

Bir jinsli bo'limgan termodinamik tizimlarda o'ziga xos qaytmas jarayonlar, ya'ni energiya, massa va impulsning ko'chishi yuz beradi. Ko'chish turlariga issiqlik o'tkazuvchanlik (bunda energiya ko'chadi), diffuziya (massa ko'chadi) va ichki ishqalanish (impuls ko'chadi) kiradi. Bir jinsli muhitda ko'chish hodisasi yuz bermaydi. Ko'chish yuz berish uchun ma'lum shart- sharoitlar bajarilishi kerak. Masalan, issiqlik o'tkazuvchanlikda energiyaning ko'chishi uchun zaruriy shart bo'lib, harorat gradiyenti hosil bo'lishi hisoblanadi. Xuddi shunday diffuziya paytida massaning ko'chishi uchun zichlik gradiyenti, ichki ishqalanish paytida impulsning ko'chishi uchun tezlik gradiyenti bo'lishi zaruriy shart hisoblanadi. Ushbu masala bilan chuqurroq tanishamiz. Molekulyar-kinetik nazariyaga asoslanib ko'chish tenglamasini chiqaramiz (rasm-5.1)



5.1-rasm. Ko'chish hodisasini ifodalovchi chizma.
 ΔS -ko'ndalang kesim yuzi, n-molekulalar konsentrasiysi.

Bir o'q yo'nalishi bo'ylab umumiylar molekulalarning $1/3$ ta qismi, shundan o'ngga umumiylar molekulalarning $1/6$ qismi, chapga $1/6$ qismi harakatlanishini hisobga olib, ΔS yuzadan Δt vaqt birligi ichida o'tgan molekulalar sonini aniqlab olamiz. Vaqt birligi ichida bir tomoniga asosi ΔS molekulalarning o'rtacha harakat tezligi \bar{v} ga

teng bo'lgan to'g'ri burchakli parallelepiped hajmidagi barcha molekulalarning $\frac{1}{6}$ qismi, ya'ni $\frac{1}{6}n_0\Delta S \cdot \vartheta$ ta molekula o'tadi. Bu yerda n_0 - hajm birligidagi molekulalar soni. U holda bir yo'nalishda ΔS yuza orqali Δt vaqtida o'tgan molekulalar soni

$$n = \frac{1}{6}n_0\Delta S \cdot \vartheta \cdot \Delta t \quad (5.1)$$

Vaqt birligida bu molekulalar o'zlarining fizik xarakteristika (massa, energiya yoki harakat miqdori) olib o'tadi. Agar, biz fizik xarakteristikani ξ deb belgilasak, u holda bir yo'nalishda o'tuvchi fizik xarakteristika miqdori quyidagiga teng bo'ladi.

$$n\xi = \frac{1}{6}(n_0\xi)\Delta S \cdot \vartheta \cdot \Delta t \quad (5.2)$$

Faraz qilaylik, n_0 - konsentrasiyalı gaz hajm bo'yicha turlicha va ξ ham turlicha bo'lsin. U holda $n_0\xi$ ham turlicha bo'ladi. $(n_0\xi)_1 > (n_0\xi)_2$ bo'lsa, u holda

$$\Delta(n\xi) = (n_0\xi)_1 - (n_0\xi)_2 = \frac{1}{6}\{(n_0\xi)_1 - (n_0\xi)_2\}\Delta S \cdot \Delta t \vartheta$$

Buning o'ng tomonini 2λ ga ham ko'paytirib, ham bo'lamiz. U holda

$$\Delta(n\xi) = \frac{1}{6}\{(n_0\xi)_1 - (n_0\xi)_2\}\Delta S \cdot \Delta t \frac{2\lambda}{2\lambda} = -\frac{1}{3} \frac{(n_0\xi)_1 - (n_0\xi)_2}{2\lambda} \cdot \lambda \cdot \vartheta \Delta S \cdot \Delta t$$

yoki

$$\frac{(n_0\xi)_1 - (n_0\xi)_2}{2\lambda} = \frac{\Delta(n_0\xi)}{\Delta x} \quad (5.3)$$

Bu yerda (5.3) nisbat $n_0\xi$ kattalikning gradiyenti.

gradient – lotinchadan – qadamlovchi, odimlovchi ma'noni anglatadi. U holda

$$\Delta(n\xi) = -\frac{1}{3} \lambda \cdot g \frac{\Delta(n_0 \xi)}{\Delta x} \Delta S \cdot \Delta t \quad (5.4)$$

ko'chish tenglamasini hosil qilamiz. ξ - fizik kattalik ko'chish gradiyentiga teskari yo'nali shda bo'lgani uchun «minus» ishora qo'yiladi.

§ 5.2. Ko'chish turlari

Ko'chish tenglamasini alohida fizik hodisalarga qo'llaymiz.

Diffuziya. Biror gaz ichiga ikkinchi gazni joylashtiraylik. Ikkinci gaz konsentrasiyasi va zichligi biror o'q bo'ylab o'zgarsin. U holda

$$\frac{d\rho}{dx} \neq 0 \quad (5.5)$$

Shu o'qqa perpendikulyar S yuza orqali o'tuvchi gaz massasini aniqlash uchun ko'chish tenglamasidagi $n\xi$ o'rniغا diffuziyalanuvchi gaz massasini qo'ysak, u holda

$$M = -\frac{1}{3} g \lambda \cdot \frac{d\rho}{dx} S \cdot \Delta t \quad (5.6)$$

Diffuziyada S yuza orqali Δt vaqt ichida ko'chiriluvchi massa Fik tenglamasi orqali aniqlanadi.

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} \cdot S \cdot \Delta t \quad (5.7)$$

$$\text{Bunda } D = \frac{1}{3} g \cdot \lambda \quad (5.8)$$

D -diffuziya koeffisiyenti deyiladi. $S=1\text{m}^2$, $\Delta t=1\text{s}$.
 $\frac{d\rho}{dx} = -1 \kappa \sigma / m^4$ desak, $M=D$ bo'ladi, ya'ni diffuziya koeffisiyenti son jihatidan zichlik gradiyenti 1 kg/m^4 bo'lganda 1 m^2 yuzadan 1 s da ko'chib o'tgan massaga teng ekan. $D (\text{m}^2/\text{s})$ da o'lchanadi

$\lambda \sim \frac{1}{\rho}$, $\vartheta \sim \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ bo'lgani uchun diffuziya ko'effisiyenti gazning turi (μ) va uning holatlariga (P va T) bog'liq bo'ladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Ko'chishning asosiy tenglamasi (5.4) dan foydalanib $n\xi$ - o'mniga uzatilgan issiqlik miqdori Q . $n_0\xi$ - o'mniga hajm birligidagi molekulalarning kinetik energiyasi $E_K = \frac{i}{2}kTn$ ni qo'yamiz. $n\xi$ – molekulalarning konsentrasiyasi. U holda

$$Q = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} nkT \right) S \Delta t \text{ yoki } Q = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \cdot \frac{i}{2} n K \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t \quad (5.9)$$

Bunda $k = \frac{R}{N_A}$ – Bolsman doimiysi: $n = \frac{\rho}{m_0}$, $\mu = m_0 N_A$

$$\frac{i}{2} n K = \frac{i}{2} \frac{R}{N_A} \cdot \frac{\rho}{m_0} = \frac{i}{2\mu} R \rho = C_B \rho \text{ ekanini e'tiborga olsak,}$$

issiqlik o'tkazuvchanlik tenglamasi quyidagi ko'rinishda bo'ladi.

$$Q = -\frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda C_V \rho \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t \quad (5.10)$$

$\chi = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda C_V \rho$ - issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effisiyenti. U holda

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t \quad (5.11)$$

(5.11) – formula issiqlik o'tkazuvchanlik formulasi yoki Furye qonuni deyliladi. Demak, uzatilgan issiqlik miqdori issiqliknинг o'tgan vaqtiga, yuzaga, harorat gradiyentiga va issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effisiyentiga proporsional ekan. Furye tenglamasi nafaqat gazlar, balki suyuqlik va qattiq jismlar uchun ham o'rindir.

Furye tenglamasida $S=1\text{m}^2$, $\Delta t = 1\text{c}$, $\frac{dT}{dx} = 1 \frac{\text{epa}\delta}{M}$ desak $Q = \chi$

ya'ni, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyenti son jihatidan harorat gradiyenti 1 grad/m bo'lganda 1 m^2 yuzadan 1 s da ko'chib o'tgan issiqlik midoriga tengdir. χ j/m.s.grad. larda o'lchanadi.

Ichki ishqalanish. Ko'chish formulasi (5.4) da $n\xi = F\Delta t$ va $n_0\xi = \rho u$ hajm birligidagi molekulalarning harakati tufayli paydo bo'lgan impuls. U holda ko'chish tenglamasi

$$F \cdot \Delta t = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \frac{d(\rho v)}{dx} S \cdot dt \text{ yoki } F = \frac{1}{3} \vartheta \lambda \rho \frac{du}{dx} \cdot S \quad (5.12)$$

Ichki ishqalanish kuchi Nyuton formulasiga binoan aniqlanadi. ya'ni

$$F = -\eta \frac{du}{dx} \cdot S \quad (5.13)$$

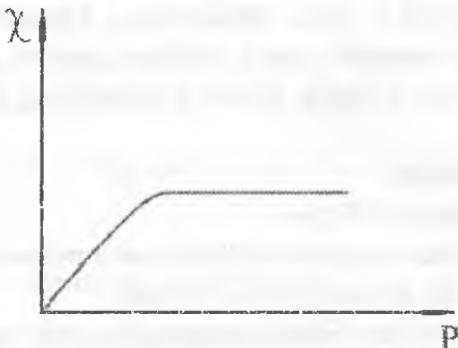
(5.12) va (5.13) solishtirsak

$$\eta = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \cdot \rho \quad (5.14)$$

η - yopishqoqlik koeffisiyenti. (5.13)da $S = 1 \text{ m}^2$, $\frac{du}{dx} = 1 \text{ c}^{-1}$ deb olsak, $F = \eta$ bo'ladi, ya'ni yopishqoqlik koeffisenti son jihatidan tezlik gradiyenti 1 s^{-1} bo'lganda parallel harakatlanuvchi qatlamlarning 1 m^2 urinish yuzasiga ta'sir qiluvchi ichki ishqalanish kuchiga tengdir. η (kg/m.s) larda o'lchanadi. $\eta \cdot d \cdot \chi$ orasida quyidagicha bog'lanish bor.

$$\frac{\eta}{d} = \rho \frac{\chi}{\eta} = C_v \quad (5.15)$$

Bosim kamayishi bilan o'rtacha erkin chopish λ masofa idish o'lchamiga tenglashguncha davom etadi.



5.2-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyentining (χ) bosimga (P) bog'liqlik grafigi

Bosimning keyingi kamayishida χ o'zgarmaydi, gaz zichligi kamayadi. Kichik bosimlardagi gazning issiqlik o'tkazuvchanligini bosim bilan bog'liqligidan sovuq yoki isitilgan jismlarni saqlash uchun foydalaniladi. 1898-yil ingliz olimi Dyuar termosni yaratadi. Termos qo'sh devorli idish bo'lib, devorlar orasida juda siyraklashgan $\lambda \gg d$ issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyenti kichik bo'lgan gaz yoki vakuum bo'ladi. Og'zi po'kak bilan yopiladi. Natijada termosga solib qo'yilgan suyuqlik uzoq vaqt harorati o'zgarmaydi.

§ 5.3. Biologik membranalarda ko'chish

Tirik organizmlar ochiq tizimlardir. Shuning uchun biologik membranalardan orqali moddalar ko'chishi hayotning zaruriy shartidir. Membranalardan orqali moddalar ko'chishi bilan hujayra metabolizmi jarayonlari, bioenergetik jarayonlar, biopotensiallar hosil bo'lishi va boshqa jarayonlar bog'liqidir. Biomembranalardan orqali moddalar ko'chishida buzilishlar ro'y bersa, organizmda turli patologiyalar paydo bo'ladi.

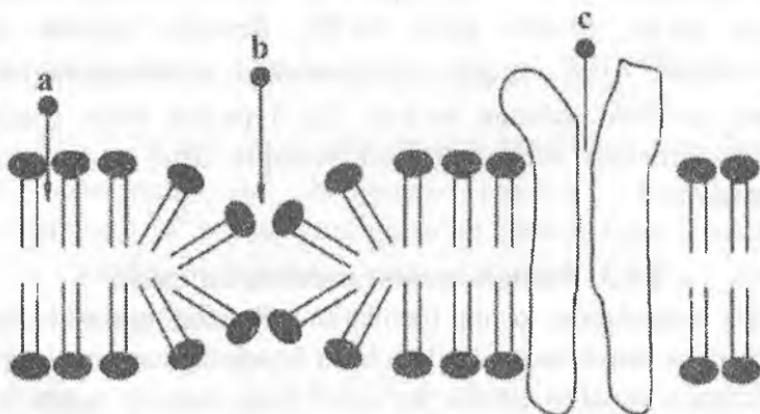
Biologik membranalardan orqali moddalar ko'chishini ikki asosiy turga ajratish mumkin: passiv va aktiv.

Passiv ko'chish deb moddaning konsentrasiyasi yoki elektrokimyoviy potensiali katta bo'lgan joydan kichik bo'lgan joylarga ko'chishga aytildi. Passiv ko'chishning quyidagi turlari bor:

- 1) erkin diffuziya;
- 2) yengillashgan diffuziya.

Aktiv ko'chishda modda elektrokimyoviy potensial gradiyentiga qarshi ko'chadi, bunda energiya sarf bo'ladi.

Erkin diffuziya deb molekulalarning xaotik issiqlik harakati tufayli moddaning konsentrasiyasi katta bo'lgan sohadan konsentrasiyasi kichik bo'lgan sohalarga o'z-o'zidan ko'chishga aytildi. Biologik membranalar orqali erkin diffuziya amalgamoshishining bir necha turi mavjud: lipid biqatlami orqali, lipid qatlamidagi teshiklar va oqsillardagi teshiklar orqali.



5.3-rasm. Membrana orqali erkin diffuziyaning asosiy turlari:
a) lipid biqatlami orqali; b) lipid qatlamidagi teshiklar orqali.
c) oqsildagi teshiklar orqali

Lipid qo'shaloq qatlami orqali erkin diffuziya membranadagi konsentrasiyalar gradiyenti tufayli ro'y beradi. Modda oqimining zichligi Fik qonuniga binoan (5.7-tenglama).

$$I = -D \text{grad} C = -D \frac{C_0 - C_i}{\ell} \quad (5.16)$$

Bunda D – diffuziya koeffisiyenti. C_0 va C_i – moddaning hujayra tashqarisida va ichidagi konsentrasiyasi, ℓ – membrana qalinligi. Fik qonunini membrana o'tkazuvchanligi koeffisiyenti P orqali ham yozish mumkin. O'tkazuvchanlik koeffisiyenti P quyidagicha aniqlanadi:

$$P = \frac{DK}{\ell} \quad (5.17)$$

Bunda K – modda konsentrasiyasining membrana tashqarisida va ichidagi nisbatini ko'rsatuvchi taqsimlanish koeffisiyenti deb ataladi.

O'tkazuvchanlik koeffisiyenti orqali Fik qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau = P(C_0 - C_i) \quad (5.18)$$

O'tkazuvchanlik koeffisiyenti diffuziya koeffisiyentiga (D), modda membranada naqadar yaxshi erishi (K) ga to'g'ri proporsional, membrana qalinligi (ℓ) ga teskari proporsionaldir. O'tkazuvchanlik koeffisiyentining o'lchami m/s dir.

Membrananing fosfolipid fazasida qutbsiz moddalar, masalan, organik yog'li kislotalar, efirlar yaxshi eriydi. Bu moddalar membrananing lipid fazasi orqali yaxshi o'tadi.

Lipid qo'shaloq qatlami orqali qutbli, suvda eruvchi moddalar: tuzlar, asoslar, shakarlar, aminokislotalar va spirtlar yomon o'tadi.

Keyingi davrda lipid qo'shaloq qatlami orqali kichik qutbli molekulalar o'tishini fosfolipid molekulalarining moy kislotali

dumlari orasida kichkina bo'shliqlar – kinkilar hosil bo'lishi bilan bog'lashadi.

Issiqlik harakati tufayli "kinki"larning membranaga ko'ndalang holda ko'chishi ro'y beradi, bunda ularga tushgan kichik molekulalar, birinchi navbatda suv molekulalari ham ko'chadi.

Membranadagi lipid va oqsil teshiklar orqali lipidlarda erimaydigan va suvda eruvchan gidratlashgan ionlarning molekulalari o'tadi. Bunda membrana orqali o'lchamlari katta molekulalarning o'tishi qiyin bo'ladi.

Bunda ko'chishning tanlanuvchanligi membranalarda turli radiusli teshiklar borligi bilan ta'minlanadi. O'tkazuvchanlik koeffisiyenti P membrana potensialiga ham bog'liqdir. Masalan, kaliy ionlari uchun eritrosit membranasidagi teshiklar orqali o'tkazuvchanlik koeffisiyenti, membrana potensiali 80 mV bo'lganda, ancha kichik qiymat 4pm/s ga teng bo'lsa, potensial 40 mV gacha kamayganda 4-marta kamayadi. Kalmar aksoni membranasining kaliy ionlari nayi orqali boshqa ionlar ham o'tishi mumkin, biroq P ning kichikroq qiymatlari bilan (5.1 – jadval).

Kalmar aksonidagi kaliy nayidan bir valentli ionlar o'tkazuvchanligining nisbati

5.1-jadval

$\frac{P_{ion}}{P_{калий}}$	Ion	Kristallashgan ion radiusi
0,018	Litiy	0,060
0,010	Natriy	0,095
1,000	Kaliy	0,133
0,910	Rubidiy	0,148
0,077	Seziy	0,169

Natriy va litiy ionlari eritmada gidratlashgan qatlam bilan o'ralgani uchun ularning radiusi kristallashgan holdagi radiusdan

katta bo‘ladi. Shuning uchun ularning kaliy nayidan o‘tishi qiyinlashadi.

Fik qonunidagi diffuziya koeffisiyenti D ning haroratga proporsional ekanligini A.Eynshteyn ko‘rsatgan edi:

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \quad (5.19)$$

Bunda k – Bolsman doimiysi, T – absolyut harorat, η – eritma qovushqoqligi, r – sferasimon zarrachalar radiusi. (5.19) tenglaimaga asosan diametri 2 nm atrofida bo‘lgan zarrachalarning 25°C dagi diffuziya koeffisiyentini topish mumkin. Uning kattaligi $2.45 \cdot 10^{-5} / r$ (r – nm larda) ga teng. Biologik membranalardan uchun birinchidan, harorat oshishi bilan reaksiyalar tezligi oshishini va ikkinchidan, biologik membranalarda moddalar erkin diffuziyadan tashqari yengillashgan diffuziya orqali o‘tishi mumkinligini ham hisobga olish kerak. Hujayrada erkin diffuziyani tezlatish uchun ko‘chish ro‘y berayotgan sirtni oshirishadi: masalan, ingichka ichak epiteliysi sitoplazmatik membrana sirtida ko‘p sondagi burmalardan iborat. Organizmda diffuziyalananayotgan moddalar konsentrasiyasi gradiyentini oshirish ko‘chgan moddalarni qonda limfa oqimi bilan olib ketish tufayli ro‘y beradi.

Yengillashgan diffuziya yoki tashuvchilar vositasida bo‘ladigan moddalar transporti quyidagi jihatlari bilan oddiy diffuziyadan farq qiladi: 1) Turli molekulalar va ionlar uchun membranalardan o‘tkazuvchanligi keskin farq qiladi, bu tashuvchilarning strukturasiga bir-biriga yaqin birikmalarni ajrata olish qobiliyati bilan bog‘liq (masalan, shakar va aminokislotalarning L – va D -izoherlari). 2) Yengillashgan diffuziya holida ko‘chirilayotgan modda konsentrasiyasi oshishi bilan ko‘chish tezligi o‘zining maksimal qiymati ϑ_{\max} ga erishadi (to‘yinish). A moddaning C tashuvchi vositasida membrana orqali ko‘chishi quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:



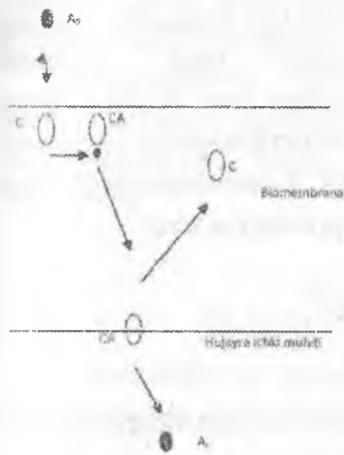
Bunda, A_0 – moddaning hujayra tashqarisidagi konsentrasiyasi, A_i – hujayra ichidagi konsentrasiyasi.

Shakarlar va aminokislotalarning qator organlar (ichaklar, buyrak, o'pka) epiteliysida ko'chishi tashuvchilar orqali amalga oshadi. Shakarlar ko'chishi uchun florizin, ingichka ichaklarda aminokislotalar transporti ro'y berishi uchun piridooksalfosfat bo'lishi kerak.

5.4-rasmda tashuvchi vositasida bo'ladigan yengillashgan diffuziya mexanizmi, 5.5-rasmda esa oddiy va yengillashgan diffuziya tezliklarining konsentrasiyaga bog'liqlik grafiklari ko'rsatilgan.

Membranada potensiallar ayirmasi mavjud bo'lishi VI-bobda ko'rib o'tiladi. U zaryadlangan zarrachalar: ionlar va elektronlar diffuziyasiga ta'sir ko'rsatadi. Anion va kationlarning membrana orqali o'tkazuvchanlik koeffisiyentlari neytral moddalar o'tkazuvchanlik koeffisiyentidan anionlar va fosfolipidlarning manfiy zaryadlangan guruhlari hamda kationlar bilan membrana sirtida joylashgan aminokislotalarning musbat zaryadlangan guruhlari orasidagi itarishish kuchlari mavjudligi uchun kamdir.

Tashqari modda



5.4-rasm. Tashuvchi

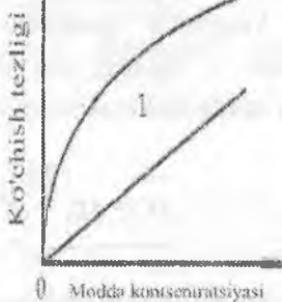
vositasidagi boshlang'ich
yengillashgan diffuziya'
A₀-hujayra tashqartsida modda.
A_i-hujayra ichkarisida modda
G-tashuvchi, C_A-tashuvchi va
modda birikmasi

i ion membranadan o'tishda ion konsentrasiyasi tomonidan hosil qilinayotgan osmotik bosimgagina qarshi ish bajarishdan tashqari ion zaryadi bilan bog'liq elektr kuchlariga qarshi ham ish bajaradi.

Diffuziya ro'y berishi uchun diffuziya bo'layotgan ikki sohadan modda kimyoviy potensialning farqi mavjudligi talab etiladi. Eritilgan moddaning kimyoviy potensiali quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu = \mu_0 + RT \ell \ln c \quad (5.21)$$

Bunda μ_0 – erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan standart kimyoviy potensial, c – modda konsentrasiyasi.



5.5-rasm. Moddaning ko'chish

tezligining konsentratsiyaga
bog'liqligi. 1-oddiy, 2-yengillashgan
diffuziya

Konsentrasiyalarning katta qiymatlarida (5.21) dagi c modda aktivligi bilan almashtiriladi. Modda aktivligi konsentrasiyaning aktivlik ko'effisiyentiga ko'paytmasiga teng. Harakati konsentrasiyadan tashqari elektr potensialiga ham bog'liq ionlar uchun kimyoviy potensial o'rniغا elektrokimyoviy potensial ishlataladi. i tipdagи ion uchun aktivlik konsentrasiyasiga teng bo'lgan holda elektrokimyoviy potensial quyidagiga teng:

$$\bar{\mu} = \mu_0 + RT\ellnc + ZF \cdot \varphi \quad (5.22)$$

Bunda μ_0 – standart kimyoviy potensial, Z – ion valentligi, φ – elektr potensiali, T – absolyut harorat (k), R – universal gaz doimiysi $\left(R = 8,31 \frac{жс}{моль \cdot к} \right)$, F – Faradey soni $\left(8,65 \cdot 10^4 \frac{кД}{моль} \right)$.

Elektrokimyoviy potensial 1 mol ionlarni konsentrasiyasi va elektr potensiali aniq eritmadaн vakuumdagi cheksiz uzoq nuqtaga ko'chishdagi ishga son jihatdan tengdir. Bu ish kimyoviy o'zaro ta'sirni $(\mu_0 + RT\ellnc)$ va elektr maydonda zaryadni ko'chirishda bajariladigan ish $(ZF \cdot \varphi)$ dan iborat.

Membrana bilan ajratilgan ikki suvli eritmalarda bir tipdagи ionlar bo'yicha muvozanat mavjud bo'lgan holda ikkala eritmada ion elektrokimyoviy potensiali bir xil bo'ladi:

$$RT\ellnc_1 + ZF\varphi_1 = RT\ellnc_2 + ZF \cdot \varphi_2$$

$$\text{Bundan } \Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{RT}{Z \cdot F} \ln \frac{c_1}{c_2} \quad (5.23)$$

(5.23) tenglama Nernst tenglamasi deb ataladi va elektrokimyoviy muvozanatda membrana bilan ajratilgan ikki

sohadagi ionlar konsentrasiyasi bilan membranadagi potensiallar ayirmasining bog'lanishini ko'rsatadi.

Elektrokimyoviy potensiallар teng bo'lmasa ionlarning membrana orqali ko'chishi yuzaga keladi. Ushbu ko'chishning harakatlantiruvchi kuchi elektrokimyoviy potensial gradiyenti hisoblanadi.

$$X_i = -\text{grad} \bar{\mu} \quad (5.24)$$

Elektrokimyoviy potensial faqat X koordinatasi bo'ylab o'zgarsa, uning gradiyenti X bo'yicha olingan hosilaga teng

$$X_i = - \left(RT \frac{d\ln c}{dx} + ZF \frac{d\varphi}{dx} \right) \quad (5.25)$$

Ionlar oqimining zichligi ionlar harakatchanligi U , konsentrasiyasi C va harakatlantiruvchi kuch X ko'paytmasiga teng bo'lgani uchun

$$J = -UC \left(RT \frac{d\ln c}{dx} + ZF \frac{d\varphi}{dx} \right) \quad (5.26)$$

Bu tenglama Nernst-Plank tenglamasi deb ataladi va ionlarning eritmada yoki gomogen zaryadlanmagan membranada diffuziyasini tavsiflaydi. Bu tenglamadagi birinchi had erkin diffuziyani, ikkinchi had esa ionlarning elektr maydonidagi ko'chishini aniqlaydi.

Elektr diffuziyasining Nernst-Plank tenglamasini yyechish uchun qo'shimcha shartlar kiritishadi, masalan, gradiyentlardan birining membranada doimiyligi haqidagi faraz $(\frac{dc}{dx} = \text{const})$ yoki

$$\frac{d\varphi}{dx} = \text{const}$$

Doimiy maydon farazida membrananing butun qalnligida elektr maydon kuchlanganligi doimiy deb olinadi $\left(\frac{d\varphi}{dx} = const\right)$. Bu shart ingichka membranalarda, ya'ni ionlarning lipid biqatlamasi va hujayralar membranasi orqali diffuziyasida bajariladi. Bu holda (5.26) tenglamaning yechimi

$$J = \frac{ZF\varphi P}{RT} \cdot \frac{c_0 - c_i \exp[ZF\varphi/(RT)]}{1 - \exp[ZF\varphi/(RT)]} \quad (5.27)$$

Bunda $P = 4RT\gamma/h$ kattalik o'tkazuvchanlik koefisiyenti deb ataladi va m/s o'lchamiga ega, h – membrana qalnligi. (5.27) tenglama Goldman tenglamasi deb ataladi va ion konsentrasiyasining membrana ikki tomonidagi qiymati, membranadagi potensiallar farqi va ushbu ion uchun membrananing o'tkazuvchanligi ma'lum bo'lganda ionlar passiv oqimini hisoblash imkonini beradi.

Membrana orqali yig'indi oqim o'tmayotgan bo'lsa, ya'ni $J = 0$ da, (5.27) tenglama Nernst tenglamasiga aylanadi. Membrana orqali turli ionlar: K^+ , Na^+ , Cl^- ning qarama-qarshi toklari oqadi. Muvozanat holatda, membrana orqali elektr toki o'tmaydi. Demak, turli ionlar toklarining yig'indisi nolga teng.

$$I_K + I_{Na} + I_{Cl} = 0$$

Bu holda (5.27) dagi membrana potensiali uchun quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_0 + P_{Na}[Na^+]_0 + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_0} \quad (5.28)$$

Bunda φ – membranadagi potensiallar farqi, P_i – ionlar o'tkazuvchanligi, 0 va i indekslar ionlarning tashqi (0) va ichki

muhitdagi konsentrasiyasi. (5.28) tenglama Goldman – Xojkin – Kats tenglamasi deb ataladi.

U membranadagi elektr potensiali membrananing ikki tomonidagi ionlar konsentrasiyasidagi farq va ular o'tkazuvchanlik koeffisiyentlari turlicha ekanligi bilan belgilanishini ko'rsatadi. Ushbu tenglamaga ko'ra, membrana potensialiga eng ko'p ta'sirini katta o'tkazuvchanlik koeffisiyentiga ega bo'lgan ion ko'rsatadi. Tajribalarda bu xulosa to'g'ri ekanligi isbotlandi.

(5.27) tenglamada J ikkita oqim, ichkariga yo'nalgan j_i va tashqariga yo'nalgan j_0 oqimlar yig'indisidan iborat. Bu oqimlar quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:

$$j_i = \frac{ZF\varphi \cdot P}{RT} \cdot \frac{c_0}{1 - \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)} \quad (5.29)$$

$$j_0 = \frac{ZF\varphi P}{RT} \cdot \frac{c_i \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)}{1 - \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)} \quad (5.30)$$

Demak, ikkala oqim membrana potensiali φ , elektr zaryadi, ionlar konsentrasiyasi va ionlar o'tkazuvchanlik koeffisiyentiga proporsional. Kiruvchi oqim j_i membrana tashqarisidagi ionlar konsentrasiyasiga chiziqli bog'liq bo'lib, ichki muhitdagi konsentrasiyaga bog'liq emas. O'z navbatida chiquvchi oqim ichki muhitdagi konsentrasiyaga bog'liq. (5.29) va (5.30) tenglamalarni bir-biriga bo'lsak, Ussing munosabati kelib chiqadi:

$$\frac{j_i}{j_0} = \frac{c_0}{c_i \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)} \quad (5.31)$$

Ussing tenglamasining bajarilishi ionlar oqimi faqat konsentrasiyalar gradiyenti va elektr maydoni ta'sirida ro'y beradigan

passiv ko'chishning belgisidir. (5.31) tenglikning bajarilmasligi ionlar ko'chishida aktiv transporti yoki ionlar membranadagi tor kanalchalardan diffuziyasi mayjudligidan darak beradi.

j – ning qiymatini eritmaning kimyoviy tahlili orqali topish mumkin. Masalan, K^+ ionlar oqimini aniqlash uchun, radioaktiv $^{40}K^+$ ioni membrananing bir tomonidagi eritmaga kiritiladi va membrananing ikkinchi tomoniga bu izohopning o'tish tezligi o'lchanadi.

Aktiv transportda erigan moddalarning molekulalari elektrokimyoviy potensialga qarshi ko'chishadi, ya'ni molekulalar konsentrasiyasi kichik bo'lgan sohadan katta bo'lgan sohaga, ionlar esa elektr maydoni kuchlanganligiga qarama-qarshi yo'nalishda ko'chiriladi.

Bunday ko'chirilish energiya hisobiga amalga oshiriladi. Aktiv transportning passiv ko'chishidan muhim farqlari passiv transport tenglamalarini o'zgartirishni taqozo etadi. Aktiv transportning ichkariga J_i va tashqariga j_0 oqimlari orasidagi munosabati topish uchun (5.31) tenglamani logarifmlaymiz:

$$\ln \frac{J_i}{j_0} = \ln \frac{c_0}{c_i} + \frac{ZF\varphi}{RT} \quad (5.32)$$

Aktiv transportda moddaning membrana ikki tomonidagi konsentrasiyalari farqi oshadi, bu esa membrana orqali suv o'tishini yuzaga keltiradi. Fosfolipid qo'shaloq qatlamlı membranalarning suv uchun o'tkazuvchanligi biomembranalar o'tkazuvchanligiga yaqin bo'lib, $31,7 \text{ мкн} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{с}^{-1}$ ga teng. Suv membranalar orqali hujayralarga o'tadi, suv oqimining tezligi qon tomirlari membranalarida va epiteliy to'qimalar bazal membranalarida eng katta bo'ladi.

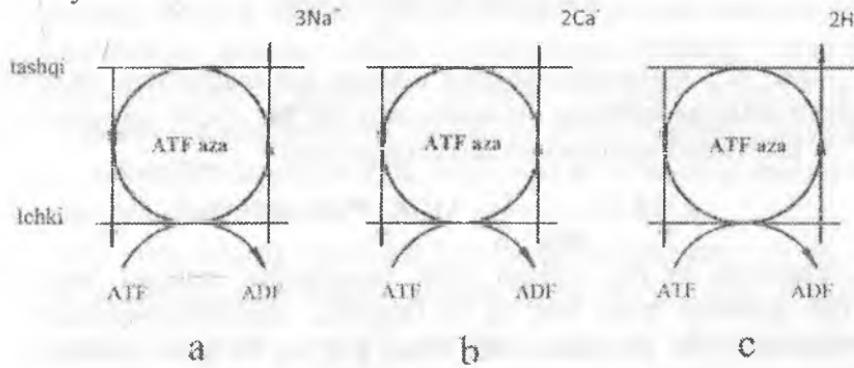
Aktiv transportni (5.20) tenglamaga o'xshash tenglama bilan ko'rsatish mumkin:



Bunda, A_0 – moddaning hujayra tashqarisidagi konsentrasiyasi, A_i – hujayra ichidagi konsentrasiyasi. Aktiv transportda A moddaning membrana ichki tomonidagi konsentrasiyasi tashqi tomonidagi konsentrasiyasidan ko‘p bo‘lishi mumkin. Bu holda CA kompleks ATF energiyasidan foydalanib, $C^1 A$ kompleksiga aylanadi, bu kompleks hujayra ichida A moddani ajratadi.

Hozirgi paytda biologik membranalarda ATF gidrolizining energiyasi hisobiga ishlaydigan ionlarning membrana orqali aktiv ko‘chishini amalga oshiradigan 3 ta ion nasosi ma’lum. (5.6-rasm).

$K^- - Na^+ - ATF$ aza ishi davomida har bir ATF molekulasi gidrolizida chiqadigan energiya hisobiga hujayraga ikkita kaliy ioni ko‘chiriladi, hujayra dan uchta natriy ioni chiqariladi. Natijada hujayrada kaliy ionlarining konsentrasiyasi hujayradan tashqari muhitga nisbatan oshadi, natriy ionlarining konsentrasiyasi esa kamayadi.



5.6-rasm. Ionli nasos turlari: a) sitoplazmatik membranalarda $K^+ - Na^+ - ATF$ aza ($K - Na$ nasosi). b) $Ca^{2+} - ATF$ aza (Ca^{2+} – nasosi); c) mitoxondriyalarning membranalaridagi $H^+ - ATF$ aza (H^+ – nasos yoki proton pompaşı).

Ca^{2+} – ATF azada ATF gidrolizi energiyasi hisobiga 2 ta kalsiy ioni, H^+ – pompada – ikkita proton tashiladi.

Ionli nasoslar ishining molekulyar mexanizmi to‘laligicha o‘rganilgan emas. Shunday bo‘lishiga qaramay, ularning asosiy bosqichlari haqida xulosa qilsa bo‘ladi. $K - Na - ATF$ aza ATF gidrolizi bilan bog‘liq quyidagi bosqichlar mavjud: 1) Ye-ferment bilan ATF ning kompleks hosil qilishi (ushbu reaksiya magniy ionlari bilan faollashtiriladi). 2) Kompleks uchta natriy ioni bilan bog‘lanadi; 3) ATF molekulalarining gidrolizi paytida ATF molekulalari va anorganik fosfat bilan bir qatorda energiya ajraladi; 4) Fermentning membrana ichida flip-flop aylanishi; 5) membrana tashqi qavatida ro‘y beradigan natriyni kaliyga ion almashish reaksiyasi; 6) Ferment kompleksining qayta aylanishi tufayli kaliy ionlari hujayra ichiga o‘tkaziladi; 7) Fermentning kaliy ionlarini va anorganik fosfatini ozod etishi bilan boshlang‘ich holatiga kelishi.

1 mol moddani kichik c_1 konsentrasiyalı sohadan katta c_2 konsentrasiyalı sohaga ko‘chirib o‘tishda bajariladigan ish kimyoviy potensialning o‘zgarishidan topilishi mumkin (5.21 tenglama).

$$A = \Delta\mu = RT \ln \frac{c_2}{c_1} \quad (5.34)$$

Agar K^+ ionlarining hujayra ichidagi konsentrasiyasi, hujayra tashqarisidagiga nisbatan 50-marta ortiq bo‘lsa, (5.34) ga muvofiq $37^\circ C$ haroratda bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$A = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 310K \cdot \ln 50 = 2576J$$

Yuqorida ko‘rib o‘tilgan ionli nasoslardan tashqari boshqa, $AT\Phi$ gidrolizi bilan bog‘liq bo‘lmadan, oksidlanish-qaytarilish fermentlari yoki fotosintez ishi bilan bog‘liq bo‘lgan moddalarni to‘plovchi tizimlar mavjud. Bu holda moddalar transporti ikkilamchi bo‘lib qoladi. Masalan, Na^+ ionlarining ingichka ichak epiteliysi hujayralari membranasi orqali aktiv ko‘chishi natijasida Na^+ ning ichakda va sitoplasmada konsentrasiyalar gradiyenti hosil bo‘ladi. Bu gradiyent hisobiga shakar va aminokislotalarning ular

konsentrasiyasi gradiyentiga qarshi aktiv ko'chishi amalga oshiriladi. Bu jarayon ikkilamchi aktiv transport deb ataladi.

Eritrositlar membranasida Na^+ ionlarining aktiv ko'chishi hisobiga membrana potensiali hosil bo'ladi, bu potensial boshqa ionlarning birinchi navbatda xlor anionlarining diffuziyasiga olib keladi. Ularning passiv transporti elektr gradiyenti bo'ylab ro'y beradi. Shunday qilib, anionlar passiv transporti kationlar aktiv transporti bilan bog'liq bo'lib qoladi, bu bilan hujayralar hayotiy faoliyati ta'minlanadi.

§ 5.4. Biomembranalarda elektronlar ko'chishi va energiya transformasiyasi

Har qanday organizmning hayot faoliyati energiya yutilishi va chiqarilishi bilan boradi. 5.7-rasmning o'ng tomonida hujayrada turli faollik tiplari: mushak qisqarishi, endo- va ekzositoz, asab o'yg'onishining tola bo'yicha uzatilishi, ionlarning aktiv transporti, tana haroratini saqlash, turli moddalar sintezi va b. ko'rsatib o'tilgan. Sanab o'tilgan jarayonlar organizmda energiyaning turli tiplarining: mexanik, elektr, issiqlik, kimyoviy transformasiyasi ro'y berishi tufayli amalga oshadi. Ayrim organizmlarda yorug'lik energiyasini ishlab chiqarish mumkin bo'lgani uchun, ular lyuminessensiyalashi mumkin. Ammo ko'pchilik hollarda energiya *ATF* molekulasida makroergik bog'lanishlar kimyoviy energiyasi ko'rinishida jamlanadi.

ATF ning struktur formulasi 5.8- rasmida keltirilgan.

Bu molekula uchta fosfat guruhdan iborat bo'lib, ular *pH* 7.8 bo'lganda 3.8 birlik manfiy zaryadga ega va shuning uchun elektrostatik itarishish kuchlari bilan ta'sirlashadi. *ATF* gidrolizida uchdag'i fosfat guruhining ajralishi elektrostatik itarishish energiyasini kamaytiradi. Gidroliz natijasida paydo bo'lgan manfiy zaryadlangan *ADF* va HPO_4^{2-} itarishishi tufayli yana *ATF* ni hosil qila olmaydi, *ATF* gidrolizida chiqadigan nisbatan yuqori potensial

energiya ($\sim 33,6 \frac{kJ}{mol}$) bu molekulaning strukturasi hamda uning gidrolizi mahsulotlari xossalari bilan bog'liqdir.

Hujayrada gidrolizi 25 kJ dan 46 kJ/molgacha energiya ajralishi bilan boradigan birikmalar makroergik deb ataladi. *ATF* dan tashqari ularga trinukleotidlar (GTF, STF, UTF), shuningdek asetilfosfat, kreatinfosfat, fosfoenolpiruvat kiradi.

ATF gidrolizida ajraladigan energiya issiqlikka aylanadi. Ammo energiyani transformasiyalash tizimlari mavjud bo'lsa, u energiyani boshqa turlariga ham aylantirilishi mumkin. Biomembranalar va mushak to'qimalari mikrostrukturasi energiyani transformasiyalashning tizimlaridir. Ularning hammasida *ATF* ni *ADF* va P_i ga yoki *AMF* va pirofosfatga gidrolizlaydigan *ATF* fermenti mavjud. Ionlarning aktiv transporti, mushaklar aktomiozini kabi, ushbu fermentga egadirlar. Shuning uchun *ATF* qo'shilishi ion transportini boshlanishiga va mushaklar qisqarishiga olib keladi.

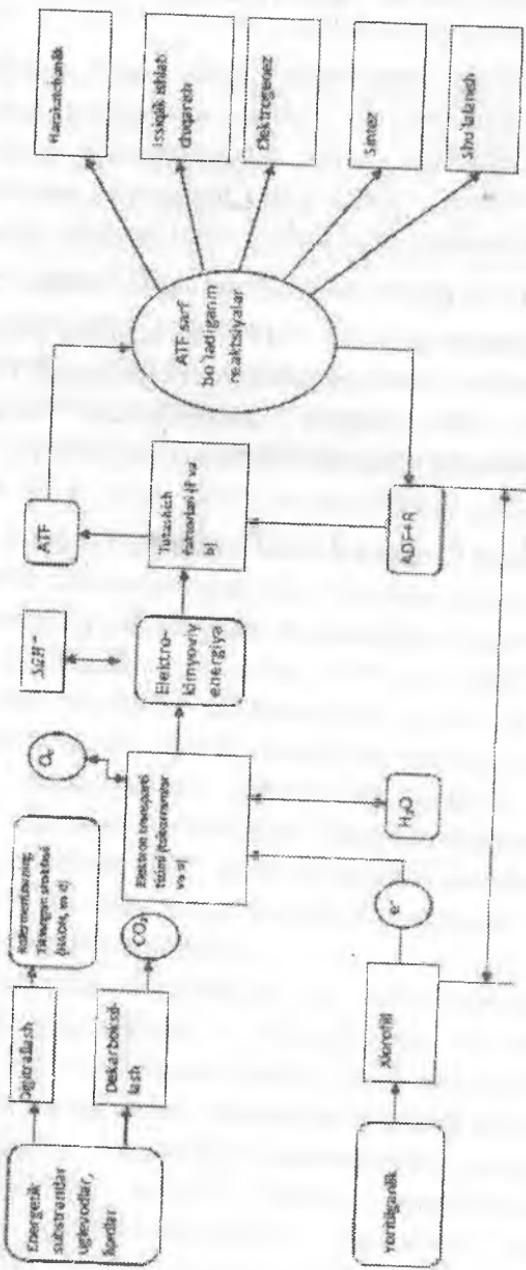
Ko'pchilik tirik organizmlar *ATF* ni *ADF* va P dan nafas olishda, turli moddalar oksidlanishda paydo bo'ladigan energiya hisobiga sintezlaydi. Yashil o'simliklar hujayralarida *ATF* sintezi yorug'lik energiyasidan foydalanish tufayli amalga oshadi. Yorug'lik ta'sirida o'simliklar bargida kechadigan jarayonda kislород ajraladi va *ATF* hosil bo'ladi. Bu jarayon fotosforlanish deb ataladi. U bilan birga kechadigan organik moddalar sintezi jarayoniga fotosintez deyiladi.

Oksidlanuvchi fosforlanish va fotofosforlanish jarayonlari membranalni organellalar – xloroplastlar va mitokondriyalarda kechadi. Ular membranalari tashkil etuvchilari tarkibi bilan hamda fosforlanish komplekslari molekulyar tuzilishi bilan ham bir-biriga yaqindir. Ushbu organellalar membranalari energiya bog'langan membranalardan deb ataladi. Eukariot hujayralarida oksidlanish, fosforlanish mitokondriyalarda, prokariot hujayralarida – sitoplazmatik membranalarda, yashil o'simliklarda fosforlanish

xloroplastlarda, fotosintezlovchi bakteriyalarda – xromatoforlarda amalga oshadi.

Bu membranalarning hammasida nafas olish zanjirlarini shakllantiruvchi oqsillar mavjud. Ushbu oqsillarning ketma-ket oksidlanish va qaytarilishda nafas olish zanjirida elektronlar ko‘chishi amalga oshadi. Elektronlar transporti membranada protonlar konsentrasiyasining gradiyentini hosil bo‘lishi va demak, H^+ ioni elektrokimyoviy potensiali farqining $\Delta\mu H^+$ paydo bo‘lishi bilan bog‘liq. Membranalardagi $H^+ - ATF$ aza oqsillari yordamida ADF va P dan vodorod ioni elektrokimyoviy potensiali hisobiga ATF sintezlanadi. Bu jarayon mexanizmlari oxirigacha o‘rganilmagan. Mitchelning xemiosmotik nazariyasiga ko‘ra

$$\bar{\Delta\mu H^+} = F \cdot \Delta\varphi + 2,3 \cdot RT\Delta pH \quad (5.35)$$



3.7-rasmi. Organizmada energetika daimashchinishari va energetik ogimlar (Na^+ -K⁺ bo'yicha) $\Delta\mu F - H^+$ elektrolyoniyi potensialini farqi

Bunda $\Delta\varphi$ -elektr potensiallari farqi, ΔpH – vodorod ionlarining membrana ikki tomonidagi konsentrasiyalari farqi, F – Faradey soni, R – universal gaz doimiysi, T – absolyut harorat.

Mitoxondriyalarda elektronlar donorlarining (NADN, suksinat va.b.) hosil bo‘lishi ichki membranada NADN va suksinatdan, protonlar, translokasiyasi bilan bog‘liq bo‘lgan, kislorodga qarab elektronlar o‘tishini boshlab beradi.

Mitoxondriyalarda elektronlar ko‘chishi zanjirini ta’minlaydigan yigitmaga yaqin elektron tashuvchilar ma’lum. Bular, mitoxondrial membranalar, oqsilning 25%ini tashkil etuvchi, mitoxondriya tuzilmasining asosiy elementlaridir. Tashuvchilar orasida NAD, flavinlar va ubixinon ikki elektronli, qolganlari – bir elektronli.

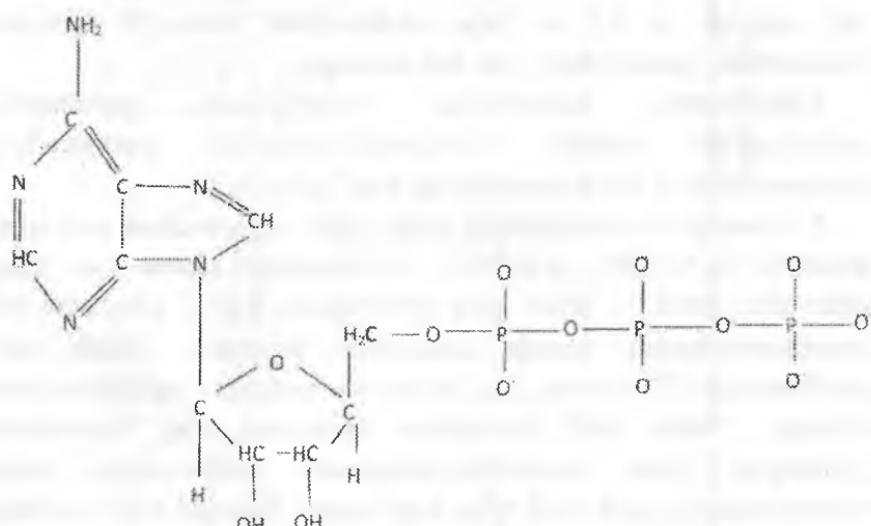
Elektronlar transporti tizimini ikki guruhga ajratish mumkin: vodorodni ko‘chiruvchi tizimlar (NAD, flavinlar, Q koferment, SH – oqsillar va b.) va faqat elektronlarni tashuvchi tizimlar (sitoxromlar, gemsiz temir, mis bor oqsillar).

Elektronlarni tashuvchilar membranada asimetrik joylashganligi sababli oksidlanish-qaytarilish potensiallari transmembrial va sirt potensiallariga bog‘liq bo‘ladi.

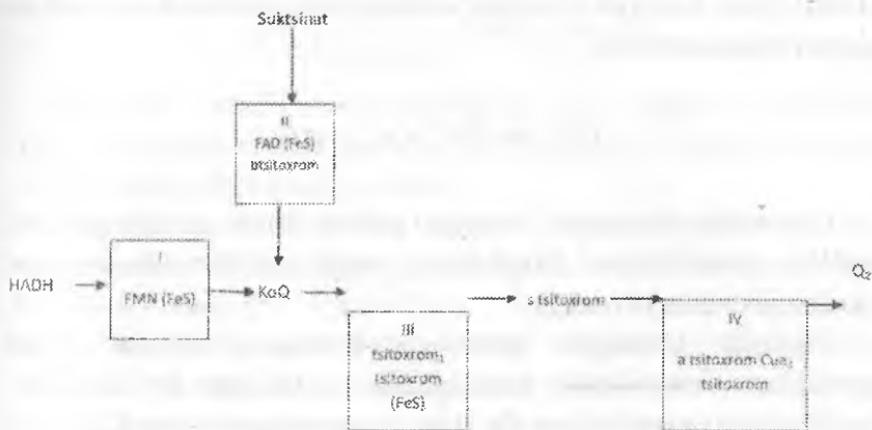
5.7-rasmda ko‘rsatilganidek nafas olish zanjiri uchun protonlar donori bo‘lib $NADN_2$ – va $FADN_2$ – kofermentlari xizmat etadi. Ular vodorodni asetil – KoA ning piruvatdan, yog‘li kislotalar va aminokislotalardan, hamda uchkarbon kislotalar siklida asil guruhlarning CO_2 ni ozod etish bilan ro‘y beradigan parchalanishda olishadi. Ushbu sikl fermentlari mitoxondriyalar matriksida joylashgan. Faqat suksinatdegidrogenaza mitoxondriya ichki membranasining ichki sirti bilan bog‘langan. Siklning bosh vazifasi asil radikalni degidratlashdan iborat bo‘lib, bunda, CO_2 ikki molekulasi va to‘rt juft vodorod atomi hosil bo‘ladi. Bitta asetil qoldig‘ining Krebs siklida oksidlanishda NAD oksidlangan kofermentning oltita molekulasi va FAD oksidlangan kofermentning ikki molekulasi sakkizta vodorod atomini qo’shib olishadi va mos

holda NADN₂ va FADN₂ ni hosil qilishadi (NAD – nikotinamidadenin dinukleotid kofermenti, FAD – flavinadenin dinukleotid kofermenti). Elektron transporti to‘liq tizimli to‘rtta kompleksdan tashkil topgan (5.8-rasm).

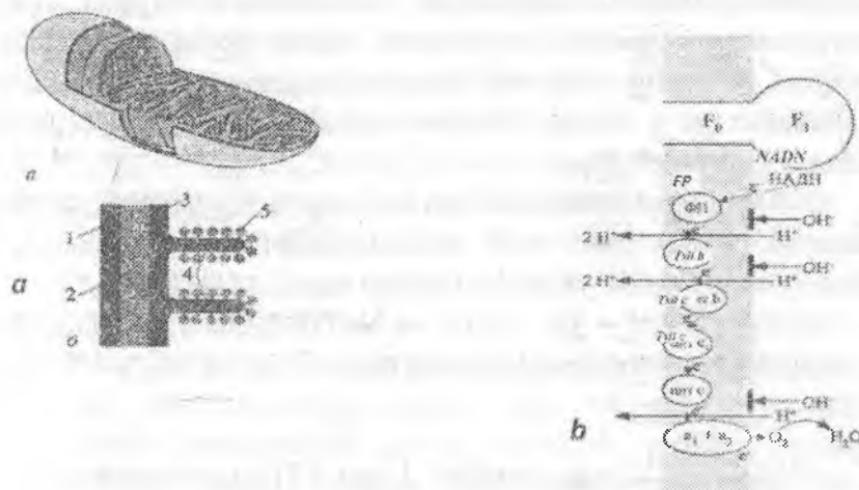
Elektronlar transporti tizimining tashkil etuvchilardan biri flavoproteinlar bo‘lib, ular vodorodni NADN₂ va suksinatdan olishadi. Vodorod atomi tarkibidagi elektronlarni organik substratdan elektron tashuvchilarga ko‘chishini degidrogenaza amalga oshiradi. NADN₂ – degidrogenaza tarkibiga flavinmononukleotid (FMN), suksinatdegidrogenaza tarkibiga flavinadenindinukleotid (FAD) kiradi. Ushbu degidrogenazalar ishtirokida o‘tadigan oksidlanish-qaytarilish reaksiyasini substratdan FAD yoki FMN ga vodorod ioni justi va ikkita elektron ko‘chishi va fermentning tiklangan shakli hosil bo‘lishi deb qarash mumkin.



ATFning struktura formulas



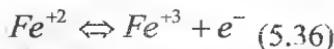
5.8-rasm. Mitochondriyalar nafas olish tizimini tashkil etuvchi komplekslar: FMN – flavin mononukleotid, FAD – flavin adenin dinukleotid, K_oQ – Q kofermenti, FeS-gemsiz temir, Cu-mis O₂-kislerod



5.9-rasm. Mitaxondriyalar ichki membranasida nafas olish tizimining sxemasi. a)- umumiy ko‘rinish, b) mitoxendriyalarda nafas olish tizimi

Nafas olish zanjirida elektronlarni tashuvchilari bo‘lib, sitoxromlar – temir, protoporfirin, yoki gem guruhiiga ega oqsillar

xizmat etadi. Zanjırda ishlashda ulardagı temir atomi oksidlanish va qaytarilishga uchraydi:

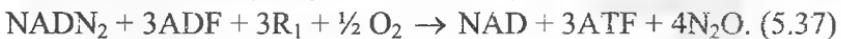


Elektronlar transporti tizimiga gemsiz temir va oltingugurtli oqsillar (rubredoksin, ferredoksin), misli oqsillar (plastosianin, sitoxromoksidaza) kiradi.

Yuqorida keltirilgan elektronlar transporti tizimini tashkil etuvchilari elektronlarni quyidagi zanjir bo'ylab ko'chirishadi: NADN₂ (yoki suksinat) → flavinlar → gemsiz temir → K_oQ → v sitoxromi → S₁ sitoxromi → S sitoxromi → aa₃ sitoxromi → Q₂.

Nafas olish zanjiridan elektronlar ko'chishi ATF molekulalarida energiya to'planishi bilan boradi, chunki elektronlar oksidlanish-qaytarilish potensiallarining oshishi yo'nalishida ko'chishda erkin energiyaning o'zgarishi ro'y beradi. Ozod bo'layotgan erkin energiya ATF ning kimyoviy energiyasiga aylanadi. Oksidlanish fosforlanish ro'y beradi. Ushbu muhim hodisani 1930-yilda V.Engelgard kashf qilgan.

NADN₂ning oksidlanishida erkin energiya o'zgarishini ko'rib chiqaylik. Bunda nafas olish zanjirida fosforlanish jarayonining umumiyligi tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:



NADN₂ ning oksidlanishda (NADN₂ + $\frac{1}{2}$ O₂ → NAD + N₂O). (5.38)

$- 218,4 \frac{kJ}{mol}$ Energiya ajraladi. 1 mol ATF ni sintezlash uchun

$- 29,4 kJ$ energiya zarurligini hisobga olsak, ushbu jarayon FIK ni topamiz:

$$\eta = \frac{3 \cdot 29,4 \text{ kJ}}{218,4 \text{ (kJ)}} \cdot 100\% = 40,4\%$$

Odatdagi issiqlik dvigatellarining FIK bundan kamroqdir. Yuqorida aytganimizdek yashil o'simliklarda ATF sintezi yorug'lik energiyasi hisobiga amalga oshadi.

Xloroplastlarda elektronlar transporti zanjiri, yorug'lik yig'uvchi xlorofillardan tashkil topgan pigmentoqsilli komplekslar va tutashish faktorlari mavjud. Ko'rsatilgan barcha tashkil etuvchilar, xloroplastlar uchun xos lipidlar (DGDG – digalaktozildiasilglerid; MGDG – monogalaktozil diasilglerid va b.) dan iborat bo'lgan tilakoid membranaga o'rnatshgan. Xloroplastlardagi elektronlarni tashuvchi oqsillar kompleksi va tutashish faktorlari mitoxondriyalardagi ushbu komplekslar va faktorlarga o'xshashdir. Tabiat tomonidan evolyusion jarayon davomida yaratilgan bu kompleks va faktorlar turli organizmlar energetik ehtiyojlarini qondirish uchun yyetarlicha universal bo'lib chiqdi.

Fotosintez tizimiga flavoproteinlar (ferredoksin – NADF – reduktaza), tarkibida gemsiz temir (ferridoksin) bo'lgan oqsillar, v tipdagi sitoxrom (v_6), f tipdagi sitoxrom (S sitoxrom turi), xinonlar (plastoxinon), tarkibida mis bor oqsillar (plastosianin) kiradi.

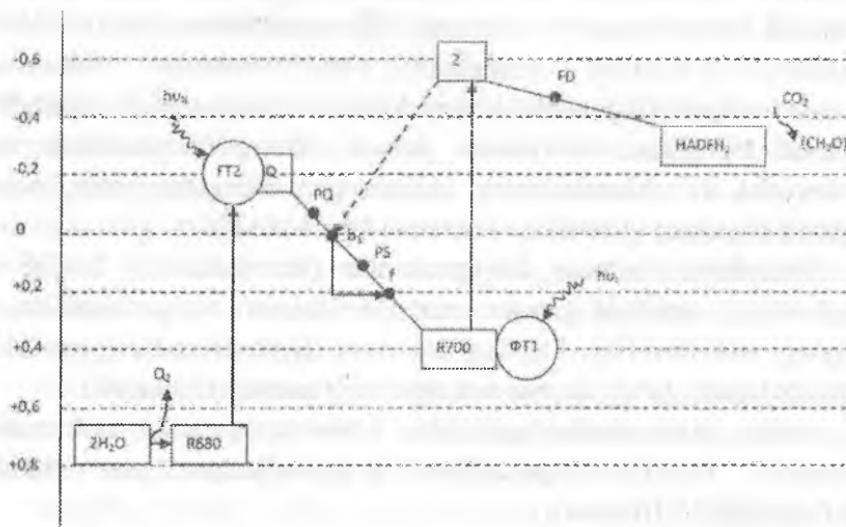
Nafas olish zanjiridagi kabi, fotosintez paytida elektronlar standart oksidlanish-qaytarilish potensiallariga mos holda ko'chiriladi (5.10-rasm).

Biroq fotosintez tizimida oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarini boshlab yuborish uchun, nafas olish zanjiridagi substratlar oksidlanish energiyasidan emas, yorug'lik yutilish natijasida xlorofillarda paydo bo'lgan elektronning uyg'ongan holati energiyasidan foydalilanildi.

Fotosintez tizimini NADFni tiklaydigan I fotokimyoviy tizimiga (FTI) va suvni oksidlaydigan II fotokimyoviy tizimiga (FTII) bo'lish mumkin. Ikkala tizimda reaksiyon markazlar deb ataladigan α xlorofillning o'ziga xos molekulalari mavjud ($P700$ – birinchi tizimda,

P680 – ikkinchisida). Ularda fotosintetik birikmalar (xlorofill + karotinoid) yutgan yorug'lik energiyasi to'planadi, α xlorofill oksidlanadi, keyin (10^{-15} – 10^{-12} s davomida) uyg'onish energiyasining ko'chishi ro'y beradi. Fotosintez tizimida, porfirin kompleksidan tashqari, elektronlar ko'chish vaqtı 10^{-4} – 10^{-2} s ga teng.

Yorug'lik energiyasi hisobiga elektronlar ko'chishi fotofosforlanishning nosiklik shaklida suvdan NADFN₂ ga va siklik shaklida Z akseptordan f sitoxromga qarab ro'y beradi (5.10-rasmda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan).

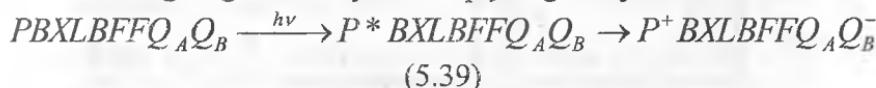


5.10-rasm. Fotosintez jarayonida elektronlar transporti tizimi. Q – fototizim 2(FT2) ning birlamchi akseptori, Z – fototizim 1 (FT1) ning birlamchi akseptori, R700 – FT1 ning reaksiyon markazi, R680 – FT2 ning reaksiyon markazi, PQ – plastoxinon, b – sitoxrom, PS – plastosianin, FD – ferredoksin

FT1 uchun elektronlar donori sifatida plastosianin xizmat etadi. FT2 ning birlamchi akseptorlaridan elektronlarni plastoxinonlar qabul etadi, ular tiklanganda bir vaqtning o'zida protonlarni ham qo'shib oladi. Sitoxrom f dan tashqari FT1 bilan aloqada bo'lgan v

sitoxromlar ham mavjud bo'lib, ular siklik elektronlar transportida ishtirot etadi. b_3 sitoxromi ko'proq FT2 bilan bog'liq.

Fotosintezlovchi bakteriyalarning yorug'lik yig'uvchi reaksiyon markazlari tarkibida 3 ta oqsil aniqlangan, ulardan har birida bakterioxlorofillning (BXL) 4 ta molekulasi, bakteriofeofitinning (BFF) 2 ta molekulasi, ubixinonning (Q) bitta yoki ikkita molekulasi, temir (F) atomi bor. Ushbu bakteriyalarda elektronlar ko'chishining to'g'ri reaksiyalarini quyidagicha yozsa bo'ladi.



Reaksiyon markazlar faoliyatining yuqori samaradorligi zanjirning har bir qismidagi to'g'ri reaksiyalar teskari reaksiyalarga nisbatan 2-3 tartibga tezroq ro'y berishi bilan bog'liq.

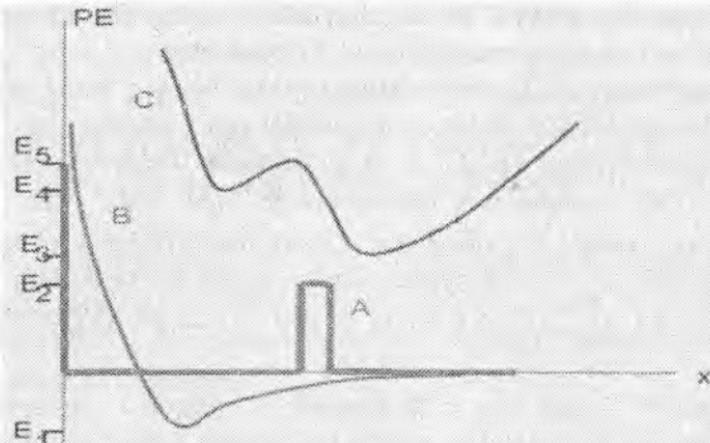
§ 5.5. Diffuziyaning biologik tizimlarda sodir bo'lishi

Diifuziya tenglamasini ko'rib chiqdik, lekin uning echimini qaramadik. Bu bo'lim murakkab matematik tenglamalarni ishlatmagan holda differensial tenglamani yechishni o'z oldiga maqsad qilib qo'ygan. Bundan esa bizga kerak bo'lgan xulosalarni chiqarishimiz mumkin.

Sun'iy membranalarda diffuziya. Faraz qilaylik uzunligi L bo'lgan ingichka shisha idish (kopilyar) suv bilan to'ldirilgan bo'lsin. Uning bir uchi suvli vannada ikkinchi uchi esa Co konsentratsiyali siyoh rangga ulangan bo'lsin. Oxiri truba ichida konsentratsiyasi O va Co konsentratsiyali eritma hosil bo'ladi, ammo bu ma'lum vaqtidan so'ng yuz beradi. Oxiri truba tubida konsentratsiya $C(o) = Co$ va truba ustida $C(L) = 0$, o'rta holda konsentratsiya $C(x)$ bo'ladi.

Kvazi - Turg'un xolni aniqlash uchun $\frac{dc}{dt} = 0$ differensial tenglama echimini izlaymiz. bu hol $\frac{d^2c}{dx^2} = 0$ ga mos keladi. Shunday qilib $C(x)$ grafigi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

$$(rasm 5.11b,) yoki C(x) = Co \left(1 - \frac{x}{L} \right)$$



5,11-rasm. Nuqtaviy massa uchun uchta boshqa energetik funksiyalar (A)

Oddiy potensial to'siq, (B) Odatdag'i interaksion potensial, (C) Ikk'i minimumli potensial.

Fluktatsiya doimisi $j_s = DCo/L$ so'ngra siyoh rangi sochiladi. (S indeks suvda erigan modda miqdorini ko'rsatadi). Agarda konsentratsiya ikkala tomonda ham o'zgarsa, u holda argument $+x$ ga o'zgaradi va $\dot{y}_s = -\frac{D(\Delta c)}{L}$, bunda $\Delta c = c_2 - c_o$ konsentratsiyalar farqi.

Membranadan ingichka bo'lgan tor kanallar mavjudligi aniqlangan. Shunday qilib diffuziyani membranadagi yupqa kanal bo'ylab bo'lshini ko'rsatish mumkin. Membrana orqali o'zgarish $I_s = -P_s \Delta C$ bilan aniqlanadi. Bunda P_s – eritmada membrana kirituvchanligi bo'lib molekula va membranadan bog'liq holda o'zgaradi.

Oddiy hollarda P_s tirkishlar kengligi va diffuziya koeffitsientini ko'rsatadi.

- P_s ning o'zgarish tezligini
- P_s ning D/L dan bog'liq ekanini ko'rsating.

Misol: hujayrani radiusi $R = 10 \text{ mm}$ bo'lgan xalta shaklida tasavvur qiling va kirituvchanligi $P_s = 20 \mu\text{m} \cdot \text{c}^{-1}$ bo'lgan spirtda bo'lsin.

Savol: Dastlabki holda spirt konsentratsiyasi vaqt o'tishi bilan qanday o'zgaradi?

Echim: tashqi dunyo shu darajada kengki uning kirituvchanligi sekin o'zgaradi va uning konsentratsiyasi o'zgarmaydi. $N(+)$ molekula bo'lsa uning konsentratsiyasi

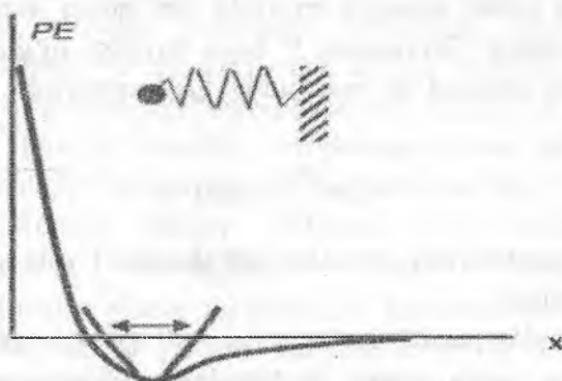
$$C(t) = \frac{N(t)}{V}, \text{ bunda } V = \frac{4\pi R^3}{3} \text{ hujayra hajmi.}$$

U holda fluktatsiya doimiysi.

$j_s = -P_s (C_{top} - C(H)) = -P_s \cdot \Delta c(t)$. j_s – manfiy bo'lishi ham mumkin. Xujayra yuzasi $4\pi R^2$ bo'lsin, $\frac{dN}{dt} = -A \cdot j_s$ ienglamadan $c_m = \frac{N}{V}$, ya'ni konsentratsiyaning o'zgarishi $\frac{d(\Delta c)}{dt} = \left(\frac{\Delta P_s}{V}\right) \Delta c$ konsentratsiyaning relaksatsion o'zgarishi. Bu differensial tenglamaning echimi $\Delta c(t) = \Delta s(o) e^{-t/\tau}$, bunda $\tau = V/AP_s$ – konstanta. Berilgan holda $\tau \approx 0,2s$.

Demak bizga berilgan savolga javob $Sin(t) = C_{top} - (C_{tash} - Cu(o))e^{-t/\tau}$.

Boshlang'ich konsentratsiya eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi. Bir sekunddan so'ng konsentratsiya dastlabki xolga nisbati $e^{-1s} = 0,7\%$ ga teng. Kichik yacheyka sirt hajmga ega bo'lishi kerak. Bu konsentraitson farqni yanada tezlashtiradi. Boshqa jarayonlar ham kirib borishga yordam beradi.



5.12-rasm. Muvozonat holatidagi potensial energiya funksiyasining prujina potensial aproksamasiysi. .

Masalan, molekula membrana materialiga qo'shilib ketadi. Hatto sun'iy membranalarda ham tirqishlar yordamida aralashib ketish yuz beradi. Xuddi Fik qonunidagidek sodir bo'ladi. Molekula membrana orqali o'tadi. 5.12-rasmida kirituvchanlik va diffuziya koeffitsient orasidagi bog'lanish ko'rsatilgan. Bu grafikni tushunish uchun konteynerdagi suv yuzidagi neft mahsulotini tasavvur qilish kerak. Agar bunga ozroq shakar qo'shsak, hammasi suvda erimaydi. Shakarning suvdagi eritmasi va neftdagagi miqdori ajralish koeffitsienti (B) deyiladi.

Shunday qilib ikkita C_1 va C_2 shakar eritmasi bilan ajratilgan membrana BC_1 shakar konsentratsiyasiga ega bo'ladi. Ikkinchi tomondan BC_2 , u holda tomchi $\Delta c = B(c_1 - c_2)$ membrana orqali o'tadi. Natijada membrana kirituvchanligi $P_s = \frac{BD}{L}$ shunday qilib biz L koeffitsient qiymatini bilsak ham kirituvchanlik takriban ma'lum bo'ladi.

§ 5.6. Osmos. Osmotik bosim

Suyuqlikda qattiq modda eritilganda, uning molekulalari suyuqliknинг butun hajmida bir tekis tarqalib, eritma deb ataluvchi muhitni hosil qiladi; suyuqlik erituvchi deb, qattiq jism esa erigan modda deb ataladi. Eritmaning V hajm birligiga to'g'ri keladigan erigan modda massasi m eritmaning konsentrasiyasi C deyiladi; binobarin,

$$C = \frac{m}{V} \quad (5.40)$$

Kam konsentrasiyali eritmalar zaif (kuchsiz) yoki suyultirilgan eritmalar deyiladi.

EriGAN modda parsial bosimga ega va bu bosim gazlar kinetik nazariyasining asosiy qonuni va Mendeleyev-Klapeyron qonuniga ko'ra

$$p = \frac{2}{3} n_0 \bar{W} \quad (5.41)$$

va

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \quad (5.42)$$

yuqoridagi formulalar bilan ifodalanadi, deb faraz qilish mumkin, bu yerda n_0 – erigan modda molekulalarining konsentrasiyasi (eritmaning hajm birligidagi erigan modda molekulalari soni), \bar{W} – erigan modda molekulasining o‘rtacha kinetik energiyasi, m va μ – erigan modda massasi va uning molyar massasi, V va T – eritmaning hajmi va harorati, R – universal gaz doimiysi.

Bu bosimni payqash uchun eritmani sof erituvchidan yarim o‘tkazuvchan to‘sinq bilan ajratish zarur, bu to‘sinq erituvchi molekulalarini o‘tkazib erigan modda molekulalarini o‘tkazmasligi kerak. Shakarning suvdagi eritmasi uchun, masalan, ho‘kiz pufagi, ichak to‘qimasi va ba’zi sun’iy plastmassa plyonkalar yarim o‘tkazuvchan to‘sinq bo‘la olar ekan. Bu to‘siglarda teshiklar shu darajada kichikki, ulardan suv molekulalari o‘tar ekan, lekin shakarning yirikroq molekulalari o‘ta olmaydi. Agarda og‘zi ho‘kiz pufagi bilan tortilgan voronkaga shakarning suvdagi kuchsiz eritmasini solinsa va uni toza suvli idishga shunday o‘rnatilsaki, voronkadagi va idishdagi suyuqliklarning sathlari bir xil bo‘ladi. Kuzatishlar shuni ko‘rsatadiki, voronkadagi eritma sathi asta-sekin ko‘tarila boshlaydi va idishdagi suvning sathidan biror h balandiikda to‘xtaydi. Buning sababi idishdagi suv molekulalarining konsentrasiyasi voronkadagi suv molekulalarining konsentrasiyasidan shakar molekulalari konsetrasiyasi kattaligicha katta. Shuning uchun yarim o‘tkazuvchan to‘sinq orqali idishdan voronkaga ko‘proq suv molekulalari diffuziyalanadi, qarama-qarshi yo‘nalishda esa kamroq, buning natijasida voronkada suyuqlik sathi ko‘tariladi. Shakar molekulalari yarim o‘tkazuvchan to‘sinq orqali

voronkadan idishga o'ta olmaydi. Natijada voronka va idishda suv molekulalarining konsentrasiyasi esa har xil bo'lib qolaveradi. Shakar molekulalarining ortiqcha konsentrasiyasi (5.17) formulaga muvofiq eritmaning h balandlikdagi ustunchasining gidrostatik bosimi bilan muvozanatlashuvchi erigan moddaning parsial bosimni hosil qiladi. Eritmani sof erituvchidan ajratib turuvchi yarim o'tkazuvchan to'siq orqali erituvchining diffuziyalanish hodisasi osmos deb ataladi, bunda eritmada hosil bo'lgan (erigan moddaning parsial bosimi pga teng bo'lgan) ortiqcha bosim osmotik bosim deb ataladi.

Eritmaning h ustunchasining bosimi ρ gh bo'lGANI uchun bu tajribadan osmotik bosimni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$p = \rho gh \quad (5.43)$$

bu yerda ρ – eritmaning zichligi, g – og'irlik kuchi tezlanishi. Ikkinci tomondan, osmotik bosimni (5.18) yoki (5.19) formuladan hisoblash mumkin. har ikkala hisob ham osmotik bosimning mos keladigan qiymatlarini beradi, bundan ideal gaz bilan kuchsiz eritmada erigan modda orasidagi o'xshatish o'rinni ekanligi haqidagi fikrga kelish mumkin.

Osmotik bosimning kattaligi to'g'risida tasavvur hosil qilish uchun shakar $C_{12}H_{22}O_{11}$ ning $27^{\circ}C$ haroratda suvdagi eritmasining osmotik bosimini (5.42) formula bo'yicha hisoblaymiz, bunda eritmaning konsentrasiyasi 1 l suvda $0,034 \text{ kg}$ shakar bor deb olaylik. Shakarning kimyoviy formulasiga ko'ra, bir kilomol shakarning massasi 342 kg/mol , u holda,

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = \frac{0,034 \cdot 82 \cdot 300}{342 \cdot 1} = 2,46(\text{atm}) \quad (5.44)$$

Osmotik bosim hammaga ma'lum bo'lgan quyidagi hodisada ravshan payqaladi. Agar quritilgan mevalar qobig'ini (pardasini) yormagan holda suvga solinsa, tez orada meva sferik shaklini olgan holda bo'kib qoladi, bu mevaning ichida ortiqcha bosim borligining alomatidir. Bu ortiqcha bosim osmotik bosim bo'ladi. Mevaning qobig'idan suv molekulalari o'tishi mumkin, biroq ichidagi shakar molekulalari o'ta olmaydi. Suv meva mevaning diffuziyalanib, u yerda shakarning suvdagi eritmasini hosil qiladi. Bu eritmada, yuqorida aytib o'tilgan shakarning suvdagi eritmasidagi singari, osmotik bosim hosil bo'lib, meva qobig'ini shishirib yuboradi.

(5.40) formuladan foydalaniib, (5.42) formulaga eritmaning konsentrasiyasi S ni kiritilganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$p = \frac{CRT}{\mu} \quad (5.45)$$

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi: osmotik bosim eritmaning konsentrasiyasi va haroratiga to'g'ri proporsional va erigan moddaning molekulyar og'irligiga teskari proporsionaldir.

Bu qonun 1887-yilda Gollandiyalik kimyogar Vant - Goff tomonidan aniqlangan. Shuni qayd qilib o'tish kerakki, Vant - Goff qonuniga ko'ra osmotik bosim erituvchining xossalari σ bog'liq bo'lmaydi.

Vant-Goff qonuni faqat erigan moddaning dissosiasiyalanishi sodir bo'lmaydigan kuchsiz eritmalar uchun o'rinnlidir. Dissosiasiyalangan eritmalar (ya'ni elektrolitlar) uchun osmotik bosim Vant-Goff qonunida nazarda tutilganidan ko'ra ancha katta bo'ladi. Bunga sabab shuki, dissosiasiyyada erigan moddaning zarralari soni ko'payib ketadi (bir molekuladan ikkita ion hosil bo'lishi mumkin), va demak, (2) formulaga muvofiq, osmotik bosim ortadi.

Osmos hodisasi o'simliklar va jonli organizmlar hayotida muhim rol o'ynaydi. Tirik hujayralarning pardalari yarim o'tkazuvchan

voronkadan idishga o'ta olmaydi. Natijada voronka va idishda suv molekulalarining konsentrasiyasi esa har xil bo'lib qolaveradi. Shakar molekulalarining ortiqcha konsentrasiyasi (5.17) formulaga muvofiq eritmaning h balandlikdagi ustunchasining gidrostatik bosimi bilan muvozanatlashuvchi erigan moddaning parsial bosimni hosil qiladi. Eritmani sof erituvchidan ajratib turuvchi yarim o'tkazuvchan to'siq orqali erituvchining diffuziyalanish hodisasi osmos deb ataladi, bunda eritmada hosil bo'lgan (erigan moddaning parsial bosimi pga teng bo'lgan) ortiqcha bosim osmotik bosim deb ataladi.

Eritmaning h ustunchasining bosimi ρ gh bo'lGANI uchun bu tajribadan osmotik bosimni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$p = \rho gh \quad (5.43)$$

bu yerda ρ – eritmaning zichligi, g – og'irlik kuchi tezlanishi. Ikkinci tomondan, osmotik bosimni (5.18) yoki (5.19) formuladan hisoblash mumkin. har ikkala hisob ham osmotik bosimning mos keladigan qiymatlarini beradi, bundan ideal gaz bilan kuchsiz eritmada erigan modda orasidagi o'xshatish o'rinni ekanligi haqidagi fikrga kelish mumkin.

Osmotik bosimning kattaligi to'g'risida tasavvur hosil qilish uchun shakar $C_{12}H_{22}O_{11}$ ning $27^{\circ}C$ haroratda suvdagi eritmasining osmotik bosimini (5.42) formula bo'yicha hisoblaymiz, bunda eritmaning konsentrasiyasi 1 l suvda $0,034 \text{ kg}$ shakar bor deb olaylik. Shakarning kimyoviy formulasiga ko'ra, bir kilomol shakarning massasi 342 kg/mol , u holda,

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = \frac{0,034 \cdot 82 \cdot 300}{342 \cdot 1} = 2,46(\text{atm}) \quad (5.44)$$

Osmotik bosim hammaga ma'lum bo'lgan quyidagi hodisada ravshan payqaladi. Agar quritilgan mevalar qobig'ini (pardasini) yormagan holda suvgaga solinsa, tez orada meva sferik shaklni olgan holda bo'kib qoladi, bu mevaning ichida ortiqcha bosim borligining alomatidir. Bu ortiqcha bosim osmotik bosim bo'ladi. Mevaning qobig'idan suv molekulalari o'tishi mumkin, biroq mevaning ichidagi shakar molekulalari o'ta olmaydi. Suv meva ichiga diffuziyalanib, u yerda shakarning suvdagi eritmasini hosil qiladi. Bu eritmada, yuqorida aytib o'tilgan shakarning suvdagi eritmasidagi singari, osmotik bosim hosil bo'lib, meva qobig'ini sbishirib yuboradi.

(5.40) formuladan foydalanib, (5.42) formulaga eritmaning konsentrasiyasi S ni kiritilganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi.

$$p = \frac{CRT}{\mu} \quad (5.45)$$

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi: osmotik bosim eritmaning konsentrasiyasi va haroratiga to'g'ri proporsional va erigan moddaning molekulyar og'irligiga teskari proporsionaldir.

Bu qonun 1887-yilda Gollandiyalik kimyogar Vant – Goff tomonidan aniqlangan. Shuni qayd qilib o'tish kerakki, Vant – Goff qonuniga ko'ra osmotik bosim erituvchining xossalariiga bog'liq bo'lmaydi.

Vant-Goff qonuni faqat erigan moddaning dissosiasiyalishi sodir bo'lmaydigan kuchsiz eritmalar uchun o'rinnlidir. Dissosiasiyalangan eritmalar (ya'ni elektrolitlar) uchun osmotik bosim Vant-Goff qonunida nazarda tutilganidan ko'ra ancha katta bo'ladi. Bunga sabab shuki, dissosiasiyada erigan moddaning zarralari soni ko'payib ketadi (bir molekuladan ikkita ion hosil bo'lishi mumkin), va demak, (2) formulaga muvofiq, osmotik bosim ortadi.

Osmos hodisasi o'simliklar va jonli organizmlar hayotida muhim rol o'ynaydi. Tirik hujayralarning pardalari yarim o'tkazuvchan

to'siqlar bo'lib, ular suv molekulalarini o'tkazadi, biroq hujayraning hayot faoliyati jarayonida uning ichida hosil bo'ladigan murakkab organik birikmalarning molekulalarini o'tkazmaydi. Buning natijasida hujayra ichida eritma hosil bo'ladi va hujayrani puflangan rezina koptokdek shishirib elastiklashtiruvchi osmotik bosim paydo bo'ladi. Bunday hujayralardan tuzilgan o'simlik va hayvon to'qimalarining elastikligi katta bo'lib, o'z shaklini saqlash qobiliyati ortadi. Biologiyada osmos bilan bog'liq bo'lgan bu hodisa hujayralar turgori deyiladi.

Suv bilan o'ralib turgan o'simlik hujayralarida osmotik bosim juda katta bo'lishi mumkin. Masalan, sabzida osmotik bosim bir necha atmosferaga yetadi.

Organizmning hujayrasi shu hujayra pardasidan o'ta olmaydigan yuqori moddaning suvdagi konsentrasiya eritmasi bilan chegaradosh bo'lsa, u holda suv hujayradan o'sha eritmaga o'tadi. Bunda hujayradan suvning "osmotik surilishi" deb ataluvchi hodisa ro'y beradi. Ana shu hodisa tufayli shirin ovqat yeyilgandan keyin chanqash hissi paydo bo'ladi.

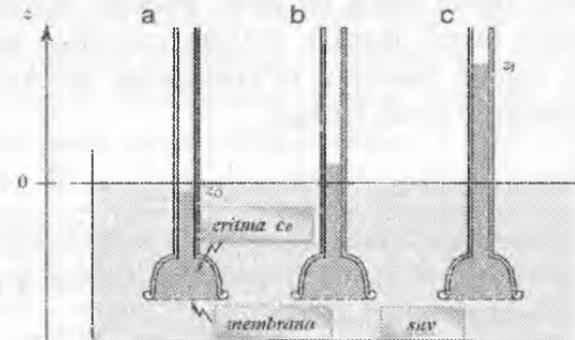
Oziqlanish, ajratib chiqarish, nafas olish va shunga o'xshash boshqa fiziologik jarayonlar vositasida tirik organizmlarning hujayralarida doimiy osmotik bosim saqlanib turadi.

§ 5.7. Muvozanatdagi osmotik bosim ideal gaz qonuniga bo'ysunadi

Biz endi osmotik bosimni ko'rib chiqamiz. Membranani ikkiga bo'lish mumkin: birinchisi toza suv bilan ishlaydigan; ikkinchisi V hajjni egallagan boshqa N zarrachalardan iborat aralashmali modda bilan ishlaydigan. Aralashmali moddalar alohida molekulalardan (shakar) tortib kolloid zarrachalargacha bo'lishi mumkin. Membrana suvda o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi, aralashmali moddalarda esa aksincha, o'tkazuvchalikka ega bo'lmasligi kerak. Tizim shakarli eritma tomonidan katta gidrostatik bosim ostida muvozanatda bo'ladi. Bu bosimni miqdor jihatdan hisoblashimiz mumkin.

Ideal gaz qonunlarini o'rganishga qaraganda bosimni o'rganish bir qancha qiyinchiliklarga olib keladi. Umuman olganda aralashmali modda molekulalari doimo suv molekulalari bilan to'ldirilib turiladi. Ammo ko'rindiki, osmotik muammoda ikkalasi ham bir xil tarzda bo'ladi. Haqiqatdan ham aralashmali modda molekulalari suv molekulalari bilan o'zaro kuchli ta'sirlashadi. Lekin aralashmali modda molekulalari bir-birlari bilan o'zaro ta'sirlashmaydi. Aniqroq aytganda, aralashmali modda molekulalari $\{r_i\}$ holat integrali yordamida o'zaro ta'sirni amalda qarshilik qiladi (bu holda ideal gaz qonuni qattiq gazlar uchun o'rinali bo'lmaydi).

Shunday qilib, aralashmali modda molekulalarining qayd qilingan holatlari bo'yicha funksiyasini va boshqa erkin haroratdagi holatlarni tadbiq qilinishini hisoblaymiz. r_i ning aksariyat qiymatlari yuqoridaqgi holatlarga javob beradi. u holda natijaviy $\int d^3r_1 \dots d^3r_N$ integral V^N ko'rsatkich ko'rinishiga keladi.



5.13-rasm. Osmotik bosim tajribasi. (a) c_0 konsentratsiyali shakar eritmali idishdagagi yarim o'tkazuvchi membrana, Dastlab shakar eritmasi idishning z_0 sathigacha ko'tariladi. (b) idishdagagi osmotik oqim (c) Z_F muvozanat balandlikgacha ko'tariladi. Muvozanat Z_F holatdagi oxirgi bosim p_m ga ten bo'ladi, bunda p_m massaga bog'liq bo'lgan zichlik

Bunday holatda V hajm faqat aralashmali moddalar uchun o'rinnlidir. In Z hosilasi har qanday holatda N/V ga teng bo'ladi.

Osmotik bosim muvozanati ideal gaz qonuni ko'rinishida berilgan:

$$P = ck_B T \text{ Vant-Goff (5.46)}$$

Bunda $c=N/V$ – aralashma modda molekulalar sonining zichligi, P – muvozanatga erishish uchun aralashma modda tomondan ortgan bosim..

Berilgan asbob tashqarisidagi atmosfera bosimi inobatga olinmagan edi. 5.46-tenglamaga ega bo‘lamiz, ammo membrananing ikki tomonidagi bosimlar farqi inobatga olinadi. Shunday qilib, $p=z\rho_m g$, bu yerda z_f – suyuqlikning oxirgi sathi, ρ_m – zichlik, g – erkin tushish tezlanishi. Bunday holatda idishdagi aralashmali modda konsentratsiyasi muvozanat vaziyatdagi suyuqlik balandligiga proporsional bo‘ladi.

Vant Goff formulasi osmotic mashina yordamida oshiriladigan maksimal ish formulasi uchun noaniq empirik faktin tushuntirib beradi. Tasavvur qilaylik, hajmning o‘ng tomonidagi aralashma ikki marta orttirlisin. Butun oqim bo‘yicha porshen yuklanishga ega bo‘ladi. Tizimdan butun mumkin bo‘lgan maksimal ishdan xolos bo‘lish uchun oqimni butunlay to‘xtatmasdan uzlusiz ravishda yuklanishni boshqarish kerak bo‘ladi.

Topshiriq

5.46-tenglamadan foydalangan holda yuklanishga qarshi porshenning maksimal natijaviy qiymatini toping, qiyoslang va doimiy proporsional qiymatni toping

Baholash. Osmotik bosimning haqiqatdan ham hujayralar dunyosi uchun muhim ekanligini baholang. Faraz qilaylik, hujayraning hajmi 30 % konsentratsiyali oqsildan iborat va radiusi 10 nm sfera shaklida bo‘lsin (bundan keyin hujayrani 0.3 hajmli deb hisoblaymiz). Bunda qizil qonli hujayra gemoglobin bilan to‘yingan bo‘ladi. 5.46-tenglamadagi konsentratsiyani toppish uchun bitta oqsil hajmini 0.3 miqdordagi hajmli oqsil deb hisoblaymiz.

$$0.3 = c \times \frac{4\pi}{3} (10^{-8}m)^3 \quad (5.47)$$

Bunda $C \approx 7 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$. Bunda bir litrda bir mol konsentratsiyani quyidagicha hisoblaymiz: $N_{\text{mole}}/(10^{-3} \text{ m}^3)$. Biz 1 mol/L bir molyar massani $M=\text{mol/L}$ ko'rinishda yozamiz. Eslatib o'tamizki, bu kitobda mol so'zi Avagadro sonining sinonimi bo'lib bundan $c = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$ ekanligini topamiz.

Shunday qilib, agar toza suvdagi hujayra harakatini to'xtatsak, suvning ichki oqimi $k_B T_r c \approx 300 \text{ Pa}$ ga teng bo'lgan bosimni to'xtatish kerak bo'ladi. Bu albatta atmosfera bosimidan (10^5 Pa) kichikroqdir. Ammo bu hujayra uchun katta hisoblanadi.

Faraz qilamiz, hujayraning radiusi $R = 10 \mu\text{m}$ bo'lsin. Ortiqcha ichki bosim membrana hujayrasini kuchlanishiga olib keladi: membrananing har bir qismi ikkinchi qismga qarab intiladi. Yuzadagi sirtda hosil bo'lgan chiziqni tasavvur qilgan holda chiziqdan chap tomonda joylashgan membrana sirt taranglik Σ yordamida ma'lum uzunlik birligida membranani boshqa tomonga tortadi. Ammo membranani katta sirtga siljitish uchun A dan $A+dA$ gacha ish bajarishimiz kerak. Agar l uzunlikdagi ikkita parallel chiziqlarni zinch joylashtirsak va ular orasidagi masofani x dan $x+dx$ gacha oshirsak, bajarilgan ish $(\Sigma) \cdot dx$ ga teng bo'ladi. Bu ishga $\Sigma \cdot dA$ ekvivalentdir, bunda $dA = ldx$ yuzaning o'zgarishi. Shunga o'xhash, radiusini R dan $R+dR$ gacha ortirilgan sferik shakldagi hujayrani tortish uchun u o'zinining yuzasini $A = (dR) \frac{dA}{dr} = 8\pi R dR$ ga qadar oshirishi va energiyasining $\Sigma \cdot dA$ ga teng bo'lishi kerak. Xujayraning tortishi membranani harakatga keltiruvchi energiya qiymatiga yetganda erkin energiyaning kamayishini muvozanatga keltiradi. Natijaviy bosim esa $p dV = p \frac{dV}{dR} dR = p 4\pi R^2 dR$ ga teng bo'ladi. Bu $\Sigma \cdot 8\pi R dR$ teskari qiymat sirt taranglikning muvozanatini anglatadi:

$$\Sigma = Rp/2 \text{ Laplas formulasi (5.48)}$$

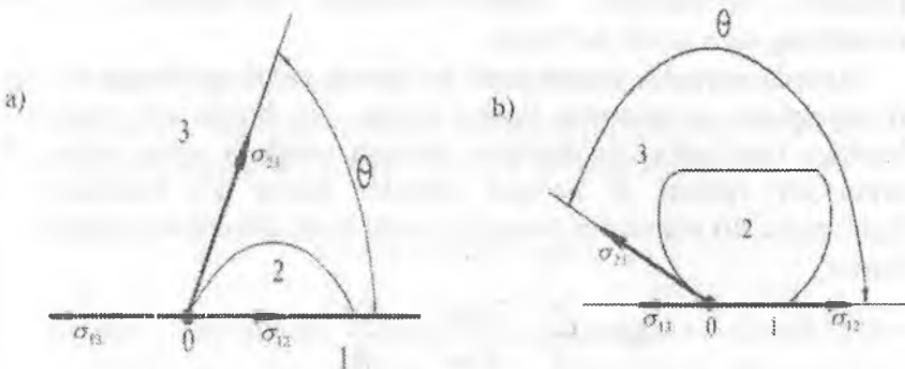
P kattalik uchun $\Sigma = 10^{-5} \text{ m} \times 300 \text{ Pa}/2 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$. almashtirishni bajaramiz. Bu kuchlanish hujayrani o'ldirish uchun yyetarlidir. Shu sababli osmotic bosim hujayra uchun muhim hisoblanadi.

Yuqoridagi masala hattoki tuz eritmasidar tashlik topgan moddalarda jiddiy hisoblanadi. Bilayer membranasi natriy ionlarini va xloridlarni o'tkazmaydi. Bir m^3 tuz eritmasi tarkibida taxminan 1027 ta ion mavjud. Umuman olganda, siz qizil qonli hujayrani toza suvga aralashtira olmaysiz.

Philip Nelson. Biological Physics. Energy, Information, Life. 2008.Pp 248–251

§ 5.8. Ho'llash va ho'llamaslik. Kapillyar hodisalar

Ho'llash ta'sirlashuvchi muhitlarning yuzalaridagi molekulalar o'zaro ta'sir etuvchi kuchlar xarakteriga bog'liq. Ho'llovchi suyuqliklarda suyuqlik molekulalari va qattiq jism molekulalari orasidagi o'zaro tortishish kuchlari katta va suyuqlik qattiq jism bilan ta'sirlashuvchi yuzasini kengaytirishga intiladi. Ho'llamaydigan suyuqliklar molekulalari bilan qattiq jism molekulalari orasidagi tortishish kuchi suyuqlik molekulalari orasidagi tortishish kuchidan kichik va suyuqlik qattiq jism bilan o'zaro ta'sirlashuvchi yuzasini qisqartirishga intiladi. 5.13-rasmdag'i 0 nuqtaga uchta muhitning sirt taranglik kuchlari qo'yilgan va ularning yo'nalishi o'zaro ta'sirlashuvchi ikki muhit sirtiga urinma ravishda tasvirlangan. Ta'sirlashuvchi sirtlarni ifodalovchi chiziqlar σ_{12} , σ_{13} , σ_{23} mos ravishda sirt taranglik kuchlarining vektor ifodasidir.



5.13-rasm. Ho'llash va ho'llamaslik

Suyuqlik sirti bilan qattiq jism sirti orasiga o'tkazilgan urinma orasidagi burchak (θ) chegaraviy burchak deyiladi.

Tomchining muvozanat sharti (5.13 a rasm) qattiq jism sirtiga urinma yo'nalgan sirt taranglik kuchlarining yig'indisini nolga tengligi bilan ifodalanadi.

$$-\sigma_{13} + \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta = 0$$

$$\text{Bunda } \cos \theta = (\sigma_{13} - \sigma_{12}) / \sigma_{23}$$

Ushbu formuladan chegaraviy burchak o'tkir yoki o'tmas bo'lishligi σ_{12} va σ_{13} ning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Agarda $\sigma_{13} > \sigma_{12}$ bo'lsa, $\cos \theta > 0$ va θ – burchak o'tkir, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llaydi. Agarda $\sigma_{13} < \sigma_{12}$ bo'lsa, $\cos \theta < 0$ bo'ladi va θ – burchak o'tmas, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llamaydi. Agarda $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$ bo'lsa, suyuqlik qattiq jism sirtiga to'lik yopishib ketadi. Bu holat to'liq ho'llash deb yuritiladi (masalan: kerosin shisha ustida). Agarda $\sigma_{12} > \sigma_{13} + \sigma_{23}$ bo'lsa, suyuqlik tomchisi ta'sirlashish nuqtasida sirtini shar shaklida qisqartirishga intiladi va bu hodisa to'liq ho'llamaslik deb yuritiladi (masalan: parafin sirtidagi suv tomchisi). Ho'llash va ho'llamaslik ajoyib xususiyatga ega, ya'ni suyuqliklar biror jism sirtini ho'llasa boshqasini ho'llamaydi. Masalan: suv shishani ho'llaydi, ammo

parafinni ho'llamaydi. Simob shishani ho'llamaydi, ammo metallning toza sirtini ho'llaydi.

Agarda suyuqlik yuzasi yassi bo'lmasa, ya'ni egrilangan bo'lsa, u suyuqlikka qo'shimcha bosim beradi. Bu bosim sirt taranglik kuchiga bog'liqdir. Qo'shimcha bosimni aniqlash uchun suyuqlik erkin sirti radiusi R bo'lgan sferadan iborat deb hisoblaymiz. Egrilangan sirt uchun sirt taranglik kuchi hosil qiladigan qo'shimcha bosim

$$\Delta P = \frac{F}{S} = \frac{2\sigma\pi r^2}{R\pi r^2} = \frac{2\sigma}{R} \quad (5.49)$$

Agarda suyuqlik sirti botiq bo'lsa, qo'shimcha bosim quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta P = -2\sigma/R \quad (5.50)$$

Binobarin, suyuqlik sirti botiq bo'lgandagi bosim gaz bosimidan ΔP ga kichik bo'ladi.

(5.49) va (5.50) har Laplas formulalarining xususiy hollaridir.

Agarda ingichka (kapillyar) bir uchuni keng idishga solingen suyuqlikka botirlisa, ho'llash yoki ho'llamaslik natijasida kapillyarda suyuqlik sirti egriligi sezilarli o'zgaradi.

Agarda suyuqlik kapillyar nayni ho'llasa, botiq menisk hosil bo'ladi, agarda ho'llamasa, qovariq menisk hosil bo'ladi.

Suyuqlik erkin sirti botiq bo'lganda (5.50) formula bilan ifodalanuvchi teskari qo'shimcha bosim hosil bo'ladi.

Bunday qo'shimcha bosim mavjudligi kapillyarda suyuqlik ko'tarilishini ifodalaydi, vaholanki, yuzasi keng idish erkin yassi sirtida qo'shimcha bosim bo'lmaydi.

Agarda suyuqlik kapillyar devorini ho'llamasa, qo'shimcha musbat bosim kapillyarda suyuqlik pasayishiga olib keladi.

Kapillyarlarda suyuqlik ustunining balandiigini o'zgarishi kapillyarlik hodisasi deyiladi.

Suyuqlik ustuni bosimi (gidrostatik bosim) ρgh – bo'lganda kapillyarda suyuqlik ustuni balandligi h ga o'zgarishi qo'shimcha bosim bilan tenglashadi, ya'ni

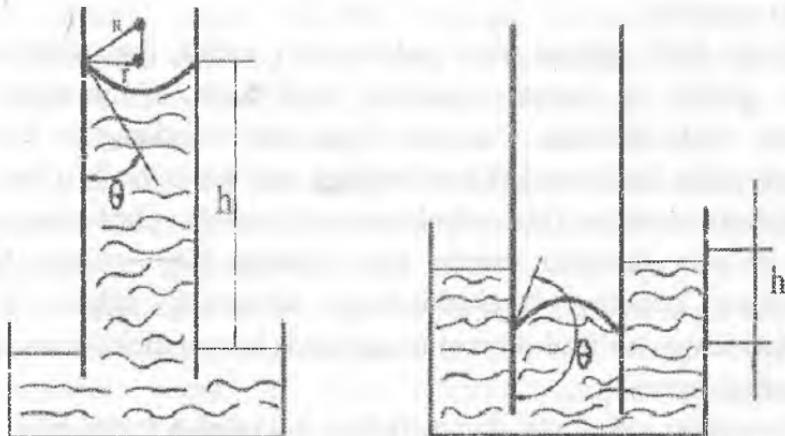
$$2\sigma / R = \rho gh$$

Bunda ρ - suyuqlik zichligi, g – erkin tushish tezlanishi.

Agarda r – kapillyar radiusi, θ chegaraviy burchak bo'lsa 5.14-rasmdan ko'rinaldiki $2\sigma \cos \theta / r = \rho gh$ bo'ladi. Bundan

$$h = (2\sigma \cos \theta) / (\rho gr)$$

Ushbu formuladan ho'llovchi suyuqliklar kapillyardan ko'tarijadi, ho'llamaydigan suyuqliklar pasayadi. $\theta < \frac{\pi}{2}$ ($\cos \theta > 0$) bo'lganda h – musbat qiymat, $\theta > \frac{\pi}{2}$ ($\cos \theta < 0$) da h – manfiy qiymat oladi. Formuladan yana shu natcha ko'rinaldiki, suyuqlik ko'tarilishi yoki pasayishi balandligi kapillyar radiusiga teskari proporsionaldir. Ingichka kapillyarlarda suyuqlik yyetarlichcha balandlikka ko'tarilishi mumkin. Masalan: tuproq va o'simliklarda namlik almashinishi ingichka kapillyarlarda suyuqlik ko'tarilishiga asoslangan.



5.14-rasm. Kapillyarlik hodisasini ifodalovchi chizma

Ho'llanuvchi naylarda nisbatan kichik namliklarda ham kapillyar kondensasiya yuz beradi. Shu tufayli g'ovak moddalar bug' tarkibidagi deyarli ko'p miqdordagi suvni ushlab qoladi, bu esa zax uylarda ich kiyimlarning, paxtaning namlanishiga olib keladi, gigroskopik jismlarning esa quritilishini qiyinlashtiradi, tuproqda namlikni saqlashga imkoniyat yaratadi va hokazo. Ho'llamaydigan suyuqliklarda esa aksincha, g'ovak jismlarga suyuqlik o'ta olmaydi.

Suyuqlikli kapillyar nayda havo pufakchalarining holatini ko'rib chiqaylik. Agar havo pufakchasing turli tomonida suyuqlik bir xilda ta'sir ko'rsatayotgan bo'lsa, havo pufakchasi ikkala tomoni ham bir xil egrilik radiusiga ega bo'ladi. Agar pufakchaga tomonlardan biri ortiqroq bosim bilan ta'sir etsa, masalan, suyuqlik harakatida menisklar deformatsiyalanadi va ularning egrilik radiuslari o'zgaradi, havo pufakchasing turli tomonidagi qo'shimcha Δp bosim esa bir-biridan farq qiladi. Bu hol havo pufakchalari tomonidan suyuqlikka shunday kuch ta'sir etishi natijasida suyuqliknii kapillyar naydagi harakat tezligi kamayadi yoki butunlay to'xtab qoladi.

Bunday hodisalar odamning qon aylanish tizimida ham yuz berishi mumkin.

Qonga kirib qolgan havo pufakchalari kichik qon tomirlarini to'sib qolishi va birorta organning qon bilan ta'minlanishidan mahrum etishi mumkin. Gaz emboliyasi deb ataladigan bu hodisa natijada jiddiy funksional shikastlanishga yoki hatto letall (o'lim) ga olib kelishi mumkin. Gaz emboliyasi yirik venalar jarohatlanganda hosil bo'lishi mumkin; bunda qon oqimiga kirib qolgan havo pufakchasi qonning harakatlanishiga to'sqinlik qiladi. Vena tomirlari ichiga turli xil dorivorlar quyishda havo pufakchalari kirib qolmasligi lozim.

G'avvoslar juda katta chuqurlikdagi suv ostidan tezlik bilan suv sathiga chiqarilganda ularning qonidan gaz ajralib chiqib, pufakchalar paydo bo'lishi, uchuvchilarda va kosmonavtlarda juda yuqori balandliklarda kabinlari va skafandrlarining germetikligi

ishdan chiqishida gaz emboliyasi yuz berishi mumkin. Bu hol qon tarkibidagi suyultirilgan gazlarning, atrofdagi atmosfera bosimining keskin kamayishi tufayli erkin holga, ya’ni gaz holatiga o’tishidir. Qon tarkibidagi gazlar bosimining asosiy qismini azot tashkil etganligi tufayli bosimning keskin kamayishida gaz pufakchalarining qonda paydo bo’lishida ham azot yyyetakchi rolni o’ynaydi, chunki u organizm va uni o’rab olgan havo bilan gaz almashinuvi jarayonida ishtirok etmaydi.

§ 5.9. Tirik organizmda issiqlik almashinishing biofizik asoslari

Ma’lumki, parrandalar va sut emizuvchilar atrof-muhit harorati o’zgarsa ham tana haroratini doimiy saqlab turadi. Buning uchun quyidagi shart bajarilishi kerak, issiqlik yo’qotish issiqlik hosil bo’lishiga teng bo’lishi kerak. Hayvon ichida yuzaga kelgan issiqlik teriga qisman to’qimalar orqali atrof-muhitga chiqariladi. Issiqlik almashinish jarayoniga quyidagi tashqi faktorlar ta’sir ko’rsatadi: havo harorati, konveksiya, nurlanish va boshqalar. Havo uchun issiqlik o’tkazish koeffisiyenti $0,024 \text{ Vt/m.K}$. Yog’ to’qimasi uchun $0,025$, metall uchun $40-400 \text{ Vt/m.K}$. Tevarak atrof muhit haroratining ko’tarilishi, ya’ni havo va tana haroratlari orasidagi farqning karnayishi, issiqlik o’tkazuvchanlikning oshuvini talab qiladi. Aksincha, havoning ancha past harorati issiqlik o’tkazuvchanlikni ma’lum chegarada o’zgartirishi mumkin. Buning uchun tana sirtiga qonning oqib kelishini o’zgartirish yoki tashqariga qaraganda tana qismlarining sirtini oshirish bilan (qo’l-oyoqlarning jun bilan qoplangan qismini ochish) teriga qonning oqib kelishini cheklash tananing ichki qismidan issiqlikning yuzaga chiqishini chegaralaydi. Junni va patni o’stirish issiqlik himoyalashni kuchaytiradi. Tanani gujum qilish uning ochiq qismi sirtini kamaytiradi va shu bilan issiqlik yo’qotishni kamaytiradi. Havo isiganda tovuqlar, kabutarlar qanotini yoyishadi. Bu usul ham ma’lum darajada samara beradi. Harorati ma’lum qiymatdan past

bo'lgan hayvonlar o'z haroratini issiqlik vujudga keltirishini oshirishi tufayli saqlab turadi. Tirik organizmdagi to'qimalar issiqlik o'tkazuvchanligi turlichadir. Bu esa organizmning issiqlik rejimi uchun muhimdir. Muskul to'qimasining ancha katta issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi ($0,5 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$) issiqlik tezda ichki organlardan tashqi organlarga o'tkazilishiga yordam beradi. Masalan, tashqi muhit sovuq bo'lganda yog' qatlami issiqlikning chiqib ketishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli sovuq yurtlarda yashovchi hayvonlar ancha katta teri osti yog' qatlamiga ega. Masalan, pingvining teri osti yog' qatlami massasi $10-15 \text{ kg}$ ga teng bo'lib, uning o'zining massasi $30-35 \text{ kg}$. Xuddi shunday jun qatlami qalinligi ham katta rol o'ynaydi.

Organizmda issiqlik muvozanatini aniqlovchi to'rt xil mexanizm mavjud. Bulardan biri issiqlik o'tkazuvchanlikdir. Issiqlik o'tkazuvchanlikda atom, molekula yoki erkin elektronlar o'zlarining kinetik energiyasini kichik energiyali zarrachalarga beradi. Issiqlik o'tkazuvchanlik har xil jismlarda har xildir.

Issiqlik o'tkazuvchanlikni harakterlovchi kattalik issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyentidir. Quyidagi jadvalda ba'zi moddalar issiqlik o'tkazuvchanlik koeffisiyentlari keltirilgan.

5.2-Jadval

T/r	Modda	$\chi, \text{Vt}/\text{m}\cdot\text{K}$
1	Quruq havo	0,024
2	Jun mato	0,025
3	Yog' to'qimasi	$0,17 - 0,21$
4	Odam epidermisi	0,25
5	Muskul to'qimasi	0,50
6	Suv	0,585
7	Metall	40 dan 400 gacha

Jadvaldan ko‘rinadiki eng yaxshi issiqlik o‘tkazuvchi modda bu metalldir. Unda issiqliknin katta harakatchanlikka ega bo‘lgan elektronlar tashiydi. Gazlar esa eng kichik issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega. Tirik organizmida to‘qimalar turli issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega. Eng yaxshi issiqlik o‘tkazuvchanlikka muskul to‘qimalari ega bo‘lib unda qon o‘tuvchi tomirlar ko‘p bo‘lib, ichki organlardan tashqariga issiqliknini tezda chiqaradi va organizmni ortiqcha isib ketishdan saqlaydi. Aksincha, tashqi muhit harorati past bo‘lganda yog‘ to‘qimalari issiqliknining tashqariga chiqib ketishiga to‘sqinlik qiladi. Shu sababli shimolda yashovchi hayvonlar yog‘ qatlami qalin bo‘ladi.

Issiqlik konveksiya yo‘li bilan ham uzatilishi mumkin. Ayniqsa, gaz va suyuqliklarda bu yaxshi namoyon bo‘ladi. Sovuq qatlamlar pastga qarab, issiqlik qatlamlar esa yuqoriga qarab harakat qiladi. Konveksiya vaqtida beriladigan issiqlik oqimi intensivligi yuza harorati farqiga proporsionaldir.

$$I_0 = L(T_{\infty} - T_y) \quad (5.51)$$

Bunda L – konveksiya vaqtidagi issiqlik uzatish koeffisiyenti, T_{∞} – yuza harorati, T_y – moddaning o‘rtacha harorati.

Konveksiya koeffisiyenti tashqi muhit bosimi oshishi hamda havo tezligiga proporsional oshib boradi. Konveksiya ham issiqlik o‘tkazuvchanlik kabi harorat past tomonga qarab yuz beradi. Agarda atrof-muhit harorati hayvon haroratiga teng yoki yuqori bo‘lsa, u holda konveksiya va issiqlik o‘tkazuvchanlik issiqlik oqimi yuzaga keltiradi. U esa organizm ichiga yo‘nalgan bo‘lib, ma’lum sharoitda organizmning o‘ta isishiga va hayvonning halok bo‘lishiga olib keladi (oftob urishi).

Har qanday atom va molekula elektromagnit energiya nurlaydi va o‘zi bilan ichki energiyaning bir qismini olib ketadi. Ichki energiya oshishi bilan nurlanish intensivligi ham oshib boradi.

Xuddi shunday moddaga tushgan nurlanish uning haroratini oshiradi. Muhim tomoni nurlanish havosiz joyda ham tarqalish

xususiyatiga ega. Issiqlik nurlanishi har qanday haroratda har qanday jismda yuz beradi.

Agarda hayvon terisi harorati T_T va havo harorati T_h – desak u holda natijaviy issiqlik oqimi intensivligi

$$I_{quvur} = \sigma \left(T_r^4 - T_x^4 \right) \quad (5.52)$$

Bunda σ - Stefan-Bolsman doimiysi, ϵ - dielektrik kirituvchanlik. Issiq qonli hayvonlar uchun issiqlik uzatish 50 – 60% gacha boradi.

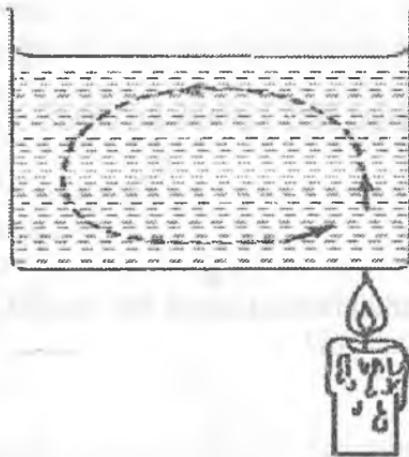
Organizmdan ko‘p miqdordagi issiqlik bug‘lanish orqali chiqib ketadi. Masalan, odam nafas chiqarish bilan sutkasiga 0,35 kg va normal terlashda 0,5kg suvni chiqarib yuboradi. Agar suvning solishtirma bug‘ hosil bo‘lish issiqligini $2,52 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ desak, u holda bo‘g‘lanish orqali yo‘qotiladigan issiqlik $0,85 \cdot 252 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$. Bu esa organizmdagi issiqlik zaxirasining 30% ni tashkil qiladi. Bug‘lanish tashqi haroratga va namlikga bog‘liq bo‘ladi. Yerdagi hayvonlar uchun muhitning normal namligi 40 – 50% ga teng. Katta namlikda bug‘lanish sekinlashadi va demak, issiqlik ajratishni ham kamaytiradi va organizmning ortiqcha isishiga olib keladi. Shu sababli odamlarning namlik katta bo‘lgan subtropik hududlarda yashashi qiyin. Namlik 40%dan kam bo‘lsa, organizm ko‘p suyuqlikni yo‘qotadi. Shu sababli normal namlikni molxonalarda saqlashga harakat qilish kerak.

Issiqlik yo‘qotish fiziologik jarayon aktivligiga ham bog‘liqdir. Masalan, bir kunda 12 litr sut beradigan sigir 1m^2 tanasidan soatiga 190 g suv bug‘laydi ($4,6 \cdot 10^5 \text{ J}$), agarda bir kunda 25 litr sut bersa – 290 g ($7 \cdot 10^5 \text{ J}$) suv yo‘qotadi.

Bizga ma’lumki, agarda suvda cho‘milganda qaltirasak, u holda issiqlik mahsuldarligimiz oshadi, chunki himoyalovchi mexanizm yetishmaydi. Katta jonivorlar ancha qulay sharoitda bo‘ladi.

Birinchidan, ularning tana sirti hajmiga nisbatan kichik bo'lsa, ikkinchidan, ularning juni ancha qalil bo'ladi. Shu sababli tana o'Ichami kamayishi bilan issiqlik o'tkazuvchanlik issiqlik mahsulorligiga qaraganda tez kamayadi. Natijada katta hayvonlar past haroratlarga chidamliroq bo'ladi. Kichik hayvonlar pulsi katta bo'ladi.

Molxonalarda tashqi harorat – 25°C bo'lganda ichkarida harorat 10°C , namlik maksimal 85%, minimal 40% bo'lishi kerak. Agar harorat pasaysa va namlik oshsa, u holda sigirlar suti 30–40%, semirish darajasi 40–50% gacha kamayadi. Qish vaqtida havo almashtirilib turilishi kerak. 100 kg massaga $17 \text{ m}^3/\text{soat}$ bo'lishi kerak. Shamol tezligi uncha katta bo'lmasligi kerak, ya'ni $0,5 \text{ m/s}$ dan 1 m/s gacha, tovuqxonalarda esa $1 \text{ kg og'irlik uchun } 0,7 \text{ m}^3/\text{soat}$ havo almashtirish zarur. Quyidagi rasmida suv to'ldirilgan menzurkada konveksiya hodisasining kyechish jarayoni tasvirlangan. Konveksiya atmosfera va okeanda issiqlik almashinishida muhim mexanizm hisoblanadi.



5.15-rasm. Konveksion oqimni ifodalovchi chizma

Tayanch iboralar: diffuziya, gradiyent, konveksiya, impuls, terminos, kopilyar, lipid.

Xulosalar

Ko'chish hodisalarni bilsiz tirk organizmda va atrof muhitda bo'layotgan jarayonlarni to'liq tushinish uchun muhim hisoblanadi. Tirik organizmda ovqatning hazm bo'lib energiyaga aylanishi, organizmni kislород bilan ta'minlash diffuziya tufaylidir. Issiqlik mahsuldarlikni aniqlash, uni doimiy saqlash, chorva mollari samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Molxona va parrandaxonallarda haroratni doimiy saqlash, ularni shamollatib turish ham juda muhim masala hisoblanadi.

Test savollari

1. Keltirilgan formulalarning qay biri diffuziya (Fik) qonunini ifodalaydi?

a) $F = ma$

b) $M = D \frac{ds}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c) $Q = \kappa \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

d) $F = \eta \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S$

2. Diffuziyada qaysi fizik kattalik ko'chadi?

a) energiya;

b) harorat;

c) impuls;

d) massa.

3. Quyidagi formulalarning qaysi biri issiqlik o'tkazuvchanlik (Furye) qonunini ifodalaydi?

a) $D = \frac{1}{3} \cdot \bar{\vartheta} \cdot \bar{\ell}$

b) $M = D \frac{dq}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c) $Q = K \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

d) $F = \eta \cdot \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S$

4. Issiqlik o'tkazuvchanlikda qaysi fizik kattalik ko'chadi?

- a) tezlik;
- b) zichlik;
- c) energiya;
- d) massa.

5. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'lishi uchun qaysi fizik kattalikning gradiyenti mavjud bo'lishi kerak?

- a) zichlik;
- b) harorat;
- c) to'liq;
- d) energiya.

6. Hayvonlardagi jun qatlaming asosiy vazifasi nimadan iborat?

- a) issiq va sovuqdan himoya qilish;
- b) sovuqdan himoya qilish;
- c) issiqliqdan himof qilish;
- d) tabiat in'omi.

7. Ichki ishqalanish (Nyuton) formulasini ko'rsating?

a) $M = D \frac{dq}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

b) $Q = K \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c) $F = \eta \frac{d\vartheta}{dt} \cdot S$

d) $D = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \bar{l}$

8. Yopishqoqlik koeffisiyenti SI tizimda qanday birliklarda o'lchanadi?

- a) Puaz
- b) Pa s.
- c) $kg/m \cdot s$
- d) m/s^2

9. Ko‘chishning qanday turlarini bilasiz?

- a) issiqlik o‘tkazuvchanlik;
- b) diffuziya;
- c) ichki ishqalanish;
- d) hammasi to‘g‘ri.

10. Quyidagi formulalardan qay biri Vant-Goff qonunini ifodalaydi?

- a) $\rho = qgh$
- b) $\rho = \frac{cRT}{M}$
- c) $\rho = \sigma \frac{RT}{V}$
- d) $\rho = \frac{3}{2} n_0 \bar{W}$

11. Sirt taranglik koeffisiyenti deb nimaga aytildi?

- a) yuza birligiga ta’sir etuvchi kuchga;
- b) kontur uzunligiga ta’sir etuvchi kuchga;
- c) yerning tortish kuchiga;
- d) og‘irlik kuchiga.

12. Yog‘ to‘qimasi issiqlik o‘tkazuvchanlik koeffisiyenti qiymatini ko‘rsating?

- a) $0,024 \frac{Vt}{m \cdot K}$
- b) $0,025 \cdot \frac{Vt}{m \cdot K}$
- c) $40 \frac{Vt}{m \cdot K}$
- d) $10 \frac{Vt}{m \cdot K}$

13. Qish vaqtlarida molxonalarda 100 kg massali mollar uchun necha metr kub havo almashtirish zarur?

- a) $7 \text{ m}^3/\text{soat}$
- b) $17 \text{ m}^3/\text{soat}$

- c) $27 \text{ m}^3/\text{soat}$
d) $3 \text{ m}^3/\text{soat}$
14. Issiqlik muvozanati nima?
- tizimga berilgan issiqlik miqdori;
 - tizimga kelgan va sarf bo'lgan energiyalarning tengligi;
 - tizim va tashqi muhit haroratlarining tengligi;
 - tizimning sarf qilgan energiyasi.
15. Jyuren formulasini ko'rsating?

a) $h = \frac{2\delta \cos \alpha}{pgr}$

b) $\Delta p = \frac{2\delta}{r}$

c) $p = pg h$

d) $p = \frac{CRT}{M}$

Sinov savollari

- Ko'chish hodisasini ta'riflang?
- Ko'chish hodisasining qanaqa turlarini bilasiz?
- Fik, Furye va Nyuton qonunlarini tushuntiring?
- Biologik tizimlar: o'pka, qon tomirlari, oshqozon, ichak va teri qatlamlarida ko'chish hodisasi qanday ro'y beradi?
- Tirik organizmda issiqlik almashish jarayoni qanday ro'y beradi?
- Konveksiya. Konveksion oqim nima?
- Ko'chish hodisasi tirik organizm uchun qanday ahamiyatga ega?
- Molxona va parrandaxonalarda namlik va harorat qanday bo'lishi kerak?
- Hujayra membranasini tushuntiring?
- Tirik organizmda issiqlik muvozanati qanday saqlanadi?

VI bob. BIOLOGIK JARAYONLAR TERMODINAMIKASI

§ 6.1. Termodinamik jarayonlar va tizimlar

Organizmda moddalar almashinuviga energiyaning bir turdan ikkinchi turga o'tish jarayonlari bilan birga davom etadi. Energiya va moddalar almashinuviga hayot faoliyatining asosida yotgan yagona jarayondir. Tirik organizm oziq moddalarining kimyoviy energiyasini sarflaydi va energiyaning shu turini organizm tomonidan bajariladigan barcha ish jarayonlari energiyasiga aylantirib ortiqcha miqdordagi issiqlikni tashqariga chiqaradi.

Termodinamika – energiyani bir turdan ikkinchi turga o'tishini, ya'ni energiya transformasiyasini o'rGANADIGAN fizikaning bo'limidir. Termodinamik tizim deyilganda ichida ro'y beradigan jarayonlarni o'rganib chiqish osonroq bo'lishi uchun atrofdagi fazodan shartli ravishda ajratib qo'yilgan jism yoki jismlar yig'indisi tushuniladi. Tizimning holati esa barcha fizik va kimyoviy xossalarga bog'liq bo'ladiki, bu xossalarning o'zgarishi tizim holatining o'zgarishiga oilib keladi.

Tizim holatining ana shunday parametrlari jumlasiga harorat T , bosim P , hajm V , massa M , ichki energiya U , konsentrasiya C , entropiya S va boshqalar kiradi.

Mana shu parametrlardan birortasi o'zgarganda tizim holatining o'zgarishi termodinamik jarayon deb yuritiladi. Termodinamik jarayon bir qancha kattaliklarni ichki energiya o'zgarishi, erkin energiya o'zgarishi, reaksiyalarning issiqlik effekti va boshqalarni xarakterlab beradi. Termodinamik tizimlar izohyasiyalangan (alohida) yopiq va ochiq tizimlarga bo'linadi.

Izolyasiyalangan tizimlar shunday tizimlarki, ular tashqi muhit bilan energiya bilan ham, modda bilan ham almashinilmaydi. Ularda energiya va massa o'zgarmay qoladi. Yopiq tizimlar tashqi muhit bilan faqat energiya almashinib turadigan tizimlardir. Bunday tizimlarning massasi doimiy bo'ladi-yu, lekin energiyasi o'zgarib turishi mumkin. Atrofdagi muhit harorati ko'tarilganda atrofdan issiqlik oladigan muhit harorati pasayganda esa issiqlik chiqaradigan har qanday jismni yopiq tizim deb qarash mumkin, yopiq tizim unga

tashqi muhitdan o'tgan energiya hisobiga yoki o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi.

Ochiq tizimlar – boshqa tizimlar bilan modda ham, energiya ham almashina oladigan tizimlardir, ya'ni bunday tizimlarda massa ham energiya ham o'zgarib turadi.

Tirik organizmlar ochiq termodinamik tizimlar jumlasiga kiradi, chunki ularning o'ziga xos xususiyati atrofdagi muhit bilan modda va energiya almashinib turadi. Biroq tirik organizmlarni faqat ochiq tizimlar deb qarash uncha to'g'ri emas, chunki ular beshta asosiy belgisi bilan boshqa ochiq tizimlardan farq qiladi:

- tirik organizmlar oqsil jismlarning tirik organizmda tashkil qiluvchi boshqa moddalar bilan birgalikda alohida yashash shaklidir;
- ular o'z-o'zidan ko'payish qobiliyatiga ega;
- tirik organizmlar o'z-o'zidan rivojlanish qobiliyatiga ega;
- tirik tizimlarda polyarizasion sig'imning mavjudligi;
- tirik tizimlar molekulalarining disimmetrikligi.

Tirik organizmlarda ro'y berib turadigan energetik jarayonlar ham xuddi tirikmas tizimlarda bo'ladigan energetik jarayonlar singari termodinamikaning umumiyligini qonunlariga bo'ysunadi. Termodinamika energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanish jarayonlariga bo'ysunadigan asosiy qonunlarini belgilab beradi.

Termodinamika jismlarning mikroskopik tuzilishini hisobga olmagan holda, ular orasida energiya almashinuvini mumkin bo'lgan tizimlarni qarab chiquvchi fizika bo'limidir. Termodinamik tizimning holati asosan bosim, hajm, harorat kabi fizik kattaliklar bilan aniqlanadi. Shu sababli umumiyligini holda $f(PVT) = 0$ termodinamik tizimning holat tenglamasi deyiladi. Tizimning bir holattan ikkinchi holatga o'tishiga termodinamik jarayon deyiladi. Energiya bir jismdan ikkinchi jismga ikki xil usulda o'tadi, ya'ni ish bajarganda va issiqlik almashganda.

Agarda termodinamik tizim tashqi muhit bilan modda almashtinuviga (energiya va impuls) ega bo'lsa, bunday tizimga ochiq termodinamik tizim deyiladi.

Agar termodinamik tizim tashqi muhit bilan modda almashmasa, bunday tizimga yopiq termodinamik tizim deyiladi.

Agar tizimga berilgan energiya va sarf bo‘lgan energiya o‘zaro teng bo‘lsa, bu holga issiqlik muvozanati holati deyiladi.

Har bir oziq- ovqatning kalloriyaligi mavjud: Masalan, oqsil 24,3 MJ/kg, uglevodlar 17,6 MJ/kg, yog‘lar 38,9 MJ/kg. Ana shular hisobida organizmda issiqlik muvozanati saqlanadi. 6.1 – jadvalda odam organizmi issiqlik muvozanatini keltiramiz.

6.1-jadval

Issiqlik kelishi	Q kJ	Issiqlik sarfi	Q kJ
Oqsil(56,8 g)	993	Issiqlik chiqishi	5757
Yog‘lar(140 g)	5476	Gaz chiqarish	180
Uglevodlar (79,9)	1404	nafas chiqarish	758
		tanadan bug‘-lanish	951
		turli tuzatishlar	46
Jami	7873	Jami	7788

§ 6.2. Biologik tizimlarda energiyaning saqlanish qonuni

Biologik tizimlar ochiq tizimga kiradi, chunki tashqi muhitdan qabul qilingan mahsulot hisobiga organizm rivojlanadi va yashaydi, ya’ni modda almashinuvi doimo yuz berib turadi. Umuman, tirik organizm stasionar holatda bo‘lmaydigan rivojlanuvchi tizimdir. Ammo odatda kichik vaqt oralig‘ida biologik tizimlar holatini stasionar holat deb olish mumkin. Stasionar holatda bo‘lganda tizimning turli qismlaridagi parametrlarning qiymatiari odatda bir-biridan farq qiladi: odam tanasining turli qismlari harorati, biologik membrananing turli qismlaridagi diffuziyalanuvchi molekulalar konsentrasiyasi va hokazolar. Shunday qilib, tizim ayrim parametrlarining gradiyenti doimiy tutib turiladi, shu sababli kimyoviy reaksiyalar o‘zgarmas tezlik bilan o‘tishi mumkin. har qanday real termodinamik tizim ochiq tizimdir, lekin ma’lum vaqt oralig‘ida ideal model yopiq tizim deb olish mumkin. Yopiq tizimning atrofidagi jismlar bilan o‘zaro ta’sirini batafsilroq qarab chiqamiz. Issiqlik jarayonlari uchun energiyaning saqlanish qonuni termo-dinamikaning birinchi qonuni kabi ta’riflanadi.

Tizimga berilgan issiqlik miqdori tizimning ichki energiyasining o‘zgarishiga va tizim bajaradigan ishga ketadi.

$$Q = \Delta U + A \quad (6.1)$$

Biz tizimning ichki energiyasi deganda, uni tashkil etuvchi zarrachalarning kinetik va potensial energiyalari yig'indisi tushuniladi. Ideal gaz molekulalari o'zaro ta'sirlashmaydi, shuning uchun uning potensial energiyasi nolga teng. U holda $U = E$ bo'ladi. Ichki energiya tizimning holat funksiyasi bo'lib, berilgan holat uchun ma'lum qiymatga ega bo'ladi.

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (6.2)$$

Issiqlik miqdori va ish holat funksiyasi emas, balki jarayon funksiyasidir. Shu sababli ΔU issiqlik miqdori Δ siz yoziladi.

Q va A ning juda kichik qiymatlari uchun

$$dQ = dU + dA \quad (6.3)$$

Agar gaz har biri i erkinlik darajasiga ega bo'lgan molekulalardan iborat bo'lsa, u holda ichki energiya

$$U = \frac{i}{2} RT = C_V T \quad (6.4)$$

Bunda $C_V = \frac{i}{2} R$ o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi. R - universal gaz doimisi. Izojarayonlar uchun termodinamikaning bиринчи qонуни тадбиқ etilsa, agarда $V = const$ bo'lganda, ya'ni gaz hajmi o'zgarmasa, u ish bajarmaydi. Demak, (6.3)ni

$$Q = \Delta U \text{ yoki } dQ = dU \quad (6.5)$$

yuqoridaagi kabi yozish mumkin, ya'ni izohorik jarayonda gazga berilgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasining oshirishga sarflanadi. Agarda $P = const$, bo'lsa, ya'ni izohorik jarayonda tenglama ko'rinishi (6.3) formula kabi bo'ladi. Agar $T = const$, ya'ni izohermik jarayonda $Q = A$ yoki $dQ = dA$ bo'ladi. Tashqi