



BIOFIZIKA

**O‘ZBEKISTON RESPUBLIKASI OLIY VA O‘RTA
MAXSUS TA‘LIM VAZIRLIGI**

Bozorboyev M.I., Mullajonov I.

BIOFIZIKA

**O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan tibbiyot oliy
o‘quv yurtlari talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etgan**

Bilim sohasi:	100000 -	Gumanitar soha
	500000 -	Sog‘liqni saqlash va ijtimoiy ta‘minot
Ta‘lim sohasi:	110000 -	Pedagogika
	510000 -	Sog‘liqni saqlash
Ta‘lim yo‘nalishlari:	5111000 -	Kasb ta‘limi (5510100-Davolash ishi)
	5510100 -	Davolash ishi
	5510300 -	Tibbiy profilaktika ishi
	5510400-	Stomatologiya
	5510900-	Tibbiy biologiya ishi

UO'K: 577.3(075)

KBK 28.707

Taqrizchilar:

Yu.N.Islamov – Toshkent Pediatriya tibbiyot instituti “Biofizika va informatika” kafedrası dotsenti, fizika-matematika fanlar nomzodi

Saidalixodjayeve S.Z. – Toshkent tibbiyot akademiyasi “Informatika, biofizika va normal fiziologiya” kafedrası dotsenti, tibbiyot fanlari nomzodi

Darslik o'quv rejaga asosan tibbiy oliy o'quv yurtlarining turli mutaxassislik yo'nalishlari uchun yaratilgan. Darslikda biofizikaning turli bo'limlari ko'rib chiqilgan.

Darslikning biomexanika bo'limi biologik to'qimalarning xossalarini tirik organizm ishini ta'minlovchi muhim fizikaviy jarayonlarni ochib bergan. Termodinamika bo'limida biologik sistemalar termodinamikasi, gemodinamika bo'limida qonning oqish mexanizmi, yurakning ishlashi kabi muhim jarayonlarni o'rganilgan. Elektr tokiga bag'ishlangan bo'limda tirik organizmga elektr tokining salbiy va ijobiy ta'sirlari keng yoritilgan.

UO'K: 577.3(075)

KBK 28.707



MUNDARIJA

Kirish	5
1-BOB. BIOMEXANIKA	
1.1-§. Qattiq jismlar va biologik to'qimalarning mexanik xossalari	8
1.2-§. Materiallarning mexanik xossalari va ularni tekshirish usullari	14
1.3-§. Biologik to'qimalarning mexanik xossalari	19
1.4-§. Tirik organizmlarda biomexanikaning ba'zi masalalari. bo'g'imlar va richaglar	25
1.5-§. Odamning mexanik ishi. ergometriya	28
2-BOB. BIOREOLOGIYA. BIOLOGIK SUYUQLIKLARNING QOVUSHQOQLIGI	
2.1-§. Suyuqliklarning qovushoqligi. nyuton tenglamasi. nyuton va nonyuton suyuqliklari	30
2.2-§. Qovushoq suyuqliklarning trubalardan oqishi. puazeyl formulasi	32
2.3-§. Qovushoq suyuqlik ichida jismlar harakati. stoks qonuni	36
2.4-§. Suyuqlik qovushoqligini aniqlash usullari: qonqovushoqligini aniqlashning klinik usuli	37
2.5-§. Laminar va turbulent oqimlar. reynolds soni	41
2.6-§. Suyuqliklar molekulyar tuzilishining xususiyatlari	43
2.7-§. Sirt taranglik	45
2.8-§. Ho'llash va ho'llamaslik kapillyar hodisalar	47
3-BOB. GEMODINAMIKA. YURAK FAOLIYATINING FIZIKAVIY ASOSLARI	
3.1-§. Qon aylanishi modellari	52
3.2-§. Puls (tomir urishi) to'liqini	56
3.3-§. Yurakning ishi va quvvati. Sun'iy qon aylanish apparati (SQAA)	59
3.4-§. Klinikada qon bosimini o'lchashning fizik asoslari	61
3.5-§. Qon oqimi tezligini aniqlash	63
4-BOB. TERMODINAMIKA. TIRIK SISTEMALAR TERMODINAMIKASI	
4.1-§. Termodinamikaning i-qonuni. izojarayonlarning i-qonunda qo'llanilishi	65
4.2-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Entropiya	72
4.3-§. Statsionar holat. entropiya hosil qilishning minimumi prinsipi	82
4.4-§. Tirik sistemalar termodinamikasi	83
4.5-§. Issiqlik va hayot	86
4.6-§. Termometriya va kalorimetriya	87
4.6-§. Davolash uchun qo'llaniladigan isitilgan va sovuq muhitlarning fizik xossalari	91
5-BOB. TOVUSHNING FIZIKAVIY XARAKTERISTIKALARI. TIBBIYOTDA TOVUSHDAN FOYDALANISH	
5.1-§. Tovushning fizik xarakteristikasi	93
5.2-§. Tovushning sub'ektiv xarakteristikasi	98
5.3-§. Tovushdan klinikada foydalanish	104
5.4-§. Eshitish organining fizikasi	107
5.5-§. Ultratovush	109
5.6-§. Infratovush	113
5.7-§. Vibratsiyalar	114
6-BOB. TIRIK ORGANIZMLARDA ELEKTR TOKI	
6.1-§. Tok zichligi va kuchi	115
6.2-§. Elektr manbalarining elektr yutuvchi kuchi	116
6.3-§. Biologik to'qimalar va suyuqliklarning o'zgarimas tokda elektr otkazuvchanligi	119
6.4-§. Organizm to'qimalarining to'la qarshiligi (impedansi). Reografiyaning fizik asoslari	123
7-BOB. OPTIKA. YORUG'LIKNING XOSSALARI. KO'ZNING OPTIK SISTEMASI	
7.1-§. Yorug'likning tabiati	126
7.2-§. Geometrik optikaning asosiy qonunlari	130
7.3-§. Asosiy fotometrik kattaliklar	139

7.4-§. Ko'zning optik sistemasi va uning ba'zi xususiyatlari.....	146
7.5-§. Ko'z optik sistemasidagi kamchiliklar va ularni bartaraf qilish	152
7.6-§. Yorug'likning yutilishi	156
7.7-§. Yorug'lik difraksiyasi. Difraksion panjara.....	157
7.8-§. Tabiiy va qutblangan yorug'lik.....	161
7.9-§. Ikki dielektrik chegarasida yorug'likning qaytish va sinish vaqtida qutblanishi	163
7.10-§. Yorug'likning ikki karra nur sinishi vaqtida qutblanishi	165
7.11-§. Biologik to'qimalarni qutblangan yorug'likda tekshirish	169

8-BOB. RADIOAKTIVLIK. IONLANTIRUVCHI NURLANISHNING ORGANIZMGA TA'SIRI

8.1-§. Radioaktivlik.....	171
8.2-§. Radioaktiv nurlanishning kimyoviy ta'siri.....	172
8.3-§. Radioaktiv nurlanishning biologik ta'siri.....	173
8.4-§. Radioaktiv nurlarning inson organizmiga ta'siri.....	175
8.5-§. Nurlanish dozasi ba ekspozitsion doza. Doza quvvati	177
8.6-§. Ionlovchi nurlanishning biologik ta' sirini miqdoriy baholash. ekvivalent doza.....	179
8.7-§. Nurlanish normalari. Ionlovchi nurlanishdan himoyalalanish	182
8.8-§. Tibbiyotda radionuklidlardan foydalanish	185
8.9-§. Rentgen nurlari.....	188

KIRISH

Yigirma birinchi asr fizika, kimyo, biologiya kabi turli fanlar uyg'unlashuvi natijasida vujudga kelgan o'ziga xos fanlarning tez rivojlanishi bilan xarakterlanadi. Bunday fanlardan biri biologik fizika yoki biofizikadir.

Hayot materiya harakatining biologik shakli sifatida materiya harakatining fizikaviy va kimyoviy shakllarini o'z ichiga oladi. Biofizika organizmdagi fizikaviy va fizik-kimyoviy jarayonlarni molekulyar darajada o'rganib, fiziologik jarayonlar mexanizmlarini ochib beradi va kuzatilayotgan biologik hodisalarning sabablarini tushuntirish imkonini beradi.

Fiziologik jarayonlarning fizikaviy-kimyoviy asoslarini o'rganish juda mashaqqatlidir. Organizmdagi fizikaviy va kimyoviy jarayonlar notirik tabiatdagi hech qaysi jarayonlarga o'xshamaydi va o'ziga xos sharoitlarda kechadi. SHuning uchun ular maxsus tadqiqotlarni talab etadigan qator qonuniyatlarga egadir.

Biofizika mustaqil fan sifatida boshqa ko'p fanlardan ajralib chiqqan. Bular fiziologiya, biologik kimyo, fizika va boshqalardir. SHuning uchun ko'p hollarda bu fanlar va biofizika o'rtasidagi chegaralar shartlidir. B.N. Tarusovning ta'rifiga ko'ra biofizika-bu biologik sistemalar fizikaviy kimyosi va kimyoviy fizikasidir.

Biofizikaning predmeti organizmdagi fizikaviy va fizik-kimyoviy jarayonlar bo'lganligi sababli biofizikaviy tadqiqotlarda asosan fizikaviy va fizik-kimyoviy usullar qo'llanilib, ular biofizikaviy tadqiqotlar uchun moslashtiriladi. Tadqiqotlarning barcha usullari miqdoriy natijalarga erishishi lozim. Faqat shundagina tirik sistemaning fizikaviy ko'rsatkichlari o'zgarishlarining miqdoriy bog'lanishlarini topish mumkin. SHuning uchun biofizika tadqiqotlarning matematik usullari, fizik va matematik modellashtirish, shuningdek, turli texnik moslamalarni qo'llaydi. SHunday qilib, biofizika biologiya va tibbiyotni aniq fanlar darajasiga ko'taradi.

Umumiy va amaliy biofizikaning Xalqaro assotsiatsiyasi qaroriga ko'ra biofizika quyidagi bo'limlarga ajratiladi: *molekulyar biofizika, hujayra biofizikasi, his qilish organlari va murakkab sistemalar biofizikasi.*

Molekulyar biofizika biologik molekulalar (asosan oqsillar va nuklein kislotalar)ning tuzilishi va fizikaviy xossalarini, shuningdek, biologik jarayonlar kinetikasi va termodinamikasini o'rganadi.

Hujayra biofizikasi birinchidan hujayra ultrastrukturasi, uning fizikaviy va fizik-kimyoviy xususiyatlarini o'rgansa, ikkinchidan, hujayraning funksional faolligini aks ettiradi, ya'ni o'tkazuvchanlik, bioelektrik potentsiallar va boshqa parametrlarni o'rganadi.

His qilish organlari biofizikasining asosiy maqsadi molekulyar fizik-kimyoviy mexanizmlar, nerv hujayralarining murakkab reaksiyalari va sezgi organlaridagi ma'lumotlarni kodlash mexanizmlarini o'rganishdan iborat.

Murakkab sistemalar biofizikasi murakkab tuzilishga ega ko'p hujayrali sistemalarning boshqarilishi va ular faoliyatining termodinamik va kinetik xususiyatlarini o'rganadi.

Ba'zi olimlar biofizikaning yana bir yo'nalishini ajratishmoqda. Ushbu yo'nalish fizikaviy omillar- ionlovchi radiatsiya, yorug'lik, ultratovush va hokazolarning organizmga bo'lgan ta'sirini o'rganadi. Ushbu bo'lim hozirgi davrda tibbiyot uchun muhim ahamiyatga ega. Patologik jarayonlarning rivojlanishi fizikaviy va kimyoviy faktorlarning ta'siriga bog'liq. Ularning aksariyati organizmga salbiy ta'sir ko'rsatadi.

Hozirgi davrda biofizika nazariy va amaliy tibbiyot rivojiga sezilarli ta'sir ko'rsatmoqda. Oxirgi vaqtda tibbiyot biofizikasi shakllandi. Uning asosiy vazifalaridan biri-organizm funksional holatini ob'ektiv baholash uchun qo'llash mumkin bo'lgan fizikaviy va kimyoviy parametrlarni aniqlashdan iboratdir. Hayotiy jarayonlarning buzilishi haqida aynan shu parametrlarning o'zgarishiga ko'ra xulosa chiqarsa bo'ladi.

Ma'lumki, tirik hujayralarning o'ziga xos xususiyatlari bo'lib, ular quyidagilardir: membrana potentsiali(elektrokinetik potentsial)ning mavjudligi, ion gradientlarining bir me'yorda saqlanishi,elektr tokini qutblash, xemilyuminessensiya qobiliyati, sitoplazma harakati va boshqalar. Bu parametrlarning ba'zilari tibbiyotda organizmning faoliyatini baholash uchun

anchadan beri qo'llanilib keladi. Biopotensiallarni qayd etish asosiy usullardan biri bo'lib qoldi(elektrokardiografiya, elektroensefalografiya va h.k.z.). Hozirgi davrda elektr o'tkazuvchanlik va xemilyuminessensiya ham e'tirof etilmoqda. Bu usullarning kasalliklar diagnostikasida, turli faktorlarning to'qimalarga salbiy ta'sir etishini baholashda qo'llanishi mumkinligi isbotlangan.

Tibbiy biofizikaning navbatdagi muhim vazifasidan biri fizioterapiyada qo'llanuvchi faktorlarning organizmga bo'lgan ta'sirini o'rganishdan iborat. Bular –diatermiya, induktotermiya, O'YUCH - terapiya, rentgenoterapiya va boshqalar. Bunday tadqiqotlar ushbu faktorlarning qator kasalliklarni davolashda yanada samaraliroq qo'llashga imkon beradi.

Organizmdagi deyarli barcha jarayonlarning biofizik modellarini yaratish va ularni chuqurroq o'rganish mumkin. Organizmda qonning oqishi, havo molekularining harakati, yurakning ishi, neyronlar tomonidan nerv impulslarining uzatilishi, membranalardagi konsentratsiya gradientlarining o'zgarishi kabi jarayonlarni biofizika nuqtai nazaridan o'rganish juda qulaydir. SHuning uchun ularning xossalarini bilish har bir shifokor uchun juda muhimdir. Bundan tashqari, turli materiallarning fizik xossalari ham tibbiyotda keng qo'llaniladi. Hozirgi davrda sun'iy tishlar, turli bioprotezlarni yasash uchun ham ushbu materiallarning fizikaviy xossalarini bilish kerak.

Tibbiyot oliy o'quv yurtlarida o'qitiladigan nazariy fanlar tizimida biofizika alohida o'rin tutadi. U aniq fanlar va biologik va tibbiyot fanlari orasidagi ko'priq vazifasini o'taydi. Aniq fanlar bo'lajak shifokorlarda maxsus fikrlashni shakllantiradi. Bu esa, o'z navbatida inson organizmidagi norma va patologiyadagi qonuniyatlarni chuqurroq tushunishga yordam beradi.

1-BOB. BIOMEXANIKA

Fizikaning moddiy jismlarning mexanik harakatini o'rganuvchi bo'limi mexanika deyiladi. Jism yoki uning ayrim qismlarining fazodagi vaziyati vaqt o'tishi bilan o'zgarib borishiga mexanik harakat deyiladi.

Asosida Nyuton qonunlari yotgan mexanika klassik mexanika deyiladi. Bu mexanikada tezliklari yorug'likning vakuumdagi tezligidan ko'p marotaba kichik bo'lgan makroskopik jismlarning harakatlari ko'rib o'tiladi.

Shifokorlar va biologlar uchun bu bo'limdagi masalalar quyidagi sabablarga ko'ra qiziqish uyg'otishi mumkin:

- Sport va kosmik tibbiyot maqsadlari uchun butun organizm harakati mexanikasini, odamning tayanch-harakatlanish apparatlari mexanikasini tushunish;
- biologik to'qimalar va suyuqliklarning mexanik xossalarini bilish;
- tibbiy biologik tadqiqotlari amaliyotida, masalan, sentrifugalashda qo'llaniladigan ayrim laboratoriya ishlari metodikasining fizik asoslarini tushunish.
- sun'iy organlar yaratish.

1.1-§. QATTIQ JISMLAR VA BIOLOGIK TO'QIMALARNING MEXANIK XOSSALARI

1.1 Jismlarni deformatsiya qilish usullari.

Jismga ko'rsatilgan mexanik ta'sir undagi zarrachalarning o'zaro joylashishini o'zgartiradi.

Deformatsiya- jism zarrachalarining o'zaro joylashish tartibining o'zgarishidir. Ushbu o'zgarish uning shakli va o'lchamlarining o'zgarishiga olib keladi.

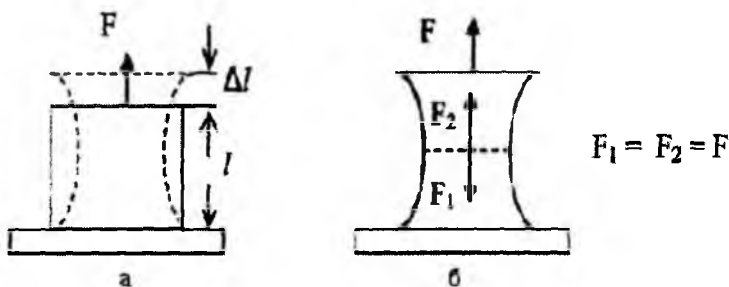
Tashqi deformatsiyalovchi kuch ta'sirada zarrachalar orasidagi masofa o'zgaradi. Bu atomlar (ionlar)ni dastlabki holatga qaytaruvchi ichki kuchlarning yuzaga kelishiga olib keladi. Ushbu kuchlarning o'lchovi bo'lib mexanik kuchlanish xizmat qiladi.

Cho'zilish (siqilish) deformatsiyasi.

Deformatsiyaning ushbu turi biriktirilgan asosli sterjenga γ o'qi bo'ylab yo'nalgan F kuch ta'sir etganida yuzaga keladi (1.1-a-rasm). Bu kuch ta'sirida sterjen qandaydir Δl kattalikka uzayadi (l -boshlang'ich uzunlik).

Bunda sterjenning har bir kesimida uning uzunligi bo'ylab yo'nalgan va qo'yilayotgan F kuchga teng F_1 va F_2 kuchlar vujudga keladi. Ular cho'zilish jarayonida zarrachalar orasidagi masofaning o'zgarishiga bog'liqdir. F_1 kuch sterjenning pastki qismidan yuqori qismiga ta'sir qiladi; F_2 kuch esa aksincha (1.1, b rasm).

Cho'zilgan jismning holati shu bo'ylama (normal) kuchlanish σ bilan karakterlanib, uni qo'yilgan kuchga perpendikulyar bo'lgan jismning ixtiyoriy kesimi uchun hisoblasa bo'ladi.



1.1.Rasm Cho'zilish deformatsiyasi (a); cho'zilishda yuzaga keluvchi kuchlar (b)

Normal kuchlanish ushbu kesimda yuzaga keluvchi kuch modulining kesim yuzasiga nisbatiga teng:

$$\sigma = F/S \quad (1.1)$$

SI sistemasida mexanik kuchlanish paskallarda (Pa) o'lchanadi.

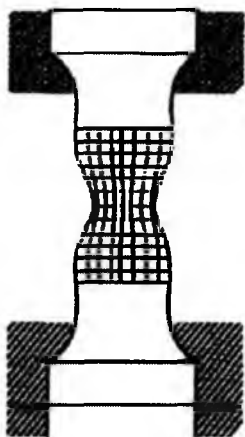
Absolyut deformatsiya ning kattaligi sterjenning boshlang'ich uzunligiga bog'liq. Shuning uchun deformatsiya darajasini absolyut deformatsiyaning boshlang'ich uzunlikka bo'lgan nisbati orqali ifodalasa bo'ladi. Bu nisbat nisbiy defomatsiya (ε) deb ataladi:

$$\varepsilon = \Delta l/l \quad (1.2)$$

Nisbiy deformatsiya-o'Ichovsiz kattalik. Ba'zida u foizlarda ifodalanadi:

$$\varepsilon = (\Delta l/l) * 100\%.$$

Ko'p hollarda cho'zilish yoki siqilishja sterjennning turli kesimlarida deformatsiya darajasi turlicha bo'ladi. Buni jism yuzasiga kvadratlari to'r tashlab



ko'rsa bo'ladi. Deformatsiyadan so'ng to'rning yacheykalari o'zgarib ketadi. Bu o'zgarishlarning xarakteri va kattaligiga qarab kuchlanishning namuna bo'yab taqsimlanishi haqida xulosa qilsa bo'ladi (1.2 – rasm)

Rasmdan shu narsa ayon-ki, yacheykalar shaklining o'zgarishi sterjenning o'ria qismida maksimal bo'lib, chetlarida deyarli bo'lmaydi.

Tajriba yo'li bilan aniqlanishicha, *kichik* deformatsiyalar tashqi ta'sir olib tashlanganida yo'q bo'lib ketar ekan. Bunday deformatsiyalar *elastik* deb ataladi. Ular uchun Guk qonuni bajariladi:

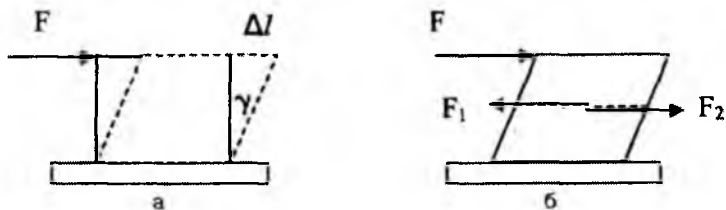
Elastik deformatsiyalarda kuchlanish nisbiy deformatsiya kattaligiga to'g'ri proporsionaldir:

$$\sigma = E\varepsilon \quad (1.3)$$

E proporsionallik koeffitsienti moddanning cho'zilishi (siqilishi)dagi elastiklik xossalarini xarakterlaydi va *Yung moduli* deb ataladi (bo'ylama elastiklik moduli, Pa).

Siljish deformatsiyasi.

Siljish deformatsiyasi jismning biriktirilgan asosiga parallel ravishda *urinma* kuch qo'yilganida yuzaga keladi (1.3 rasm).



1.3 rasm. Siljish deformatsiyasi (a); siljishda yuzaga keluvchi kuchlar (b)

Bu holda erkin asosning siljish yo'nalishi qo'yilgan kuchga parallel va yon qirralarga perpendikulyar bo'ladi. Siljish deformatsiyasi ta'sirida to'g'ri burchakli parallelepiped shakli o'zgaradi. Bunda chetki qirralar siljish burchagi deb ataluvchi γ burchakka siljiydi.

Siljishda sterjenning har bir kesimida F_1 va F_2 urinma kuchlar yuzaga kelib, ular qo'yilgan F kuchga kattaligi bo'yicha teng va zarrachalar orasidagi masofaning o'zgarishiga bog'liq (1.3,b-rasm). F_1 kuch sterjenning yuqori qismiga pastki tomondan ta'sir etsa, F_2 esa aksincha.

Siljish deformatsiyasi mavjudligida jismning holati urinma kuchlanish τ bilan xarakterlanib, uni mahkamlangan asosga parallel bo'lgan ixtiyoriy kesim uchun hisoblash mumkin.

Urinma kuchlanish shu kesimda siljish natijasida yuzaga keluvchi kuch modulining kesim yuzasiga nisbatiga teng:

$$T = F/S \quad (1.4)$$

Siljishning absolyut deformatsiyasi biriktirilgan asosning Δl siljishi bilan o'lchanadi. Siljishning nisbiy deformatsiyasi siljish burchagining tangensi $\text{tg} \gamma$ orqali ifodalanib, u nisbiy siljish deb ataladi. Ko'pincha γ burchak juda kichik bo'lgani sababli $\text{tg} \gamma$ ga teng deb hisoblash bo'ladi.

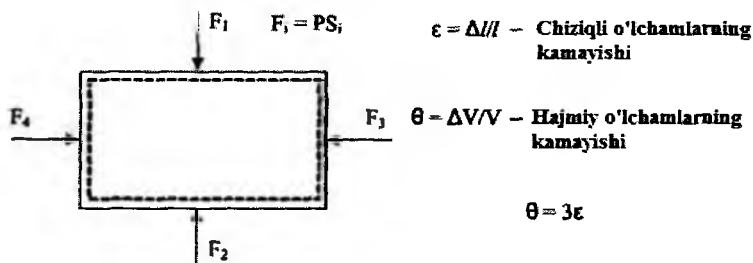
Siljish deformatsiyasining kichik ko'rsatkichlarida deformatsiya va mexanik kuchlanish orasidagi bog'lanish Guk qonuni orqali ifodalanadi:

$$T = G\gamma \quad (1.5)$$

Proporsionallik koeffitsienti σ moddaning siljishidagi elastiklik xossalari ni ifodalaydi va *siljish moduli* (Pa) deb ataladi.

Har tomonlama siqilish deformatsiyasi

Agar jismni suyuq yoki gazsimon muhitga joylansa, uning yuzasiga perpendikulyar yo‘nalgan bosim kuchlari ta‘sir etadi. Ushbu kuchlar jism zarrachalarining o‘zaro yaqinlashishini keltirib chiqarib, uning chiziqli o‘lchamlari va hajmi kamayadi. Ushbu deformatsiya *har tomonlama* yoki *gidrostatik siqilish* deb ataladi (1.4 rasm).



1.4 rasm. har tomonlama (gidrostatik) siqilish.

Har tomonlama siqilishdagi nisbiy deformatsiya hajmning nisbiy kamayishi:

$$\theta = \Delta V/V$$

yoki uning chiziqli o‘lchamlarining nisbiy kamayishi bilan xarakterlanadi:

$$\epsilon = \Delta l/l$$

Bu holda mexanik kuchlanish jism yuzasiga ta‘sir qiluvchi R bosimga teng. Deformatsiya va kuchlanish orasidagi bog‘lanish Guk qonuni bilan ifodalanadi:

$$P = -K\theta \quad (1.6)$$

Bu erda K -*har tomonlama siqilish moduli* (hajmiy siqilish moduli, hajmiy modul). “minus” belgisi kuchlanish ortishi bilan hajmning kamayishini anglatadi.

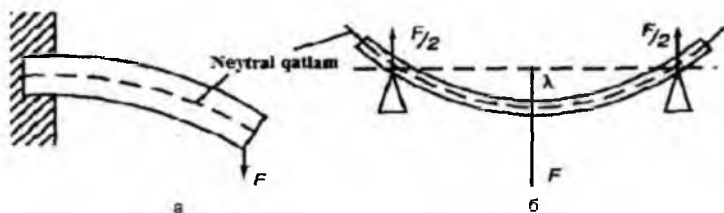
Siqiluvchanlik-fizik xossalarning atomlararo (molekulalararo) masofalarga bog‘liqligi haqida darak beruvchi moddaning eng muhim xarakteristikasidir.

Egillish deformatsiyasi

Deformatsiyaning ushbu turi deformatsiyalanuvchi ob'ekt (sterjen, yog'och bo'lagi)ning o'qi yoki o'rta qismining tashqi kuch ta'sirida egilishi bilan xarakterlanadi (1.5-rasm).

Egillishda sterjenning bitta tashqi qatlami siqiladi, boshqa tashqi qatlam esa cho'ziladi. O'rta qatlam (neytral qatlam) faqatgina o'z shaklini o'zgartirib, uzunligini saqlab qoladi. (1.5,a rasm).

Ikkita tayanch nuqtaga ega bo'lgan brusokning (1,5,b rasm) deformatsiyalanish darajasi uning markazida hosil bo'ladigan λ siljish bilan aniqlanadi.



1.5 rasm. Egillish deformatsiyasi.

Sterjen bir tomonidan mahkamlangan(a); sterjen ikkita tayanchga mahkamlangan(b)

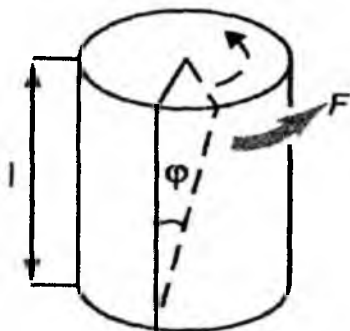
Ushbu λ kattalik egilish o'qi deb ataladi. Materiallarning qarshiligi nazariyasi bo'yicha u quyidagi formula yordamida topiladi:

$$\lambda = \frac{1}{4b} \frac{F}{E \left(\frac{L}{a}\right)^3}$$

Bu erda F-kuch, b-eni, L-uzunlik, a-qalinlik, E-elastiklik moduli.

Neytral qatlamda joylashgan material ishlamaydi. U faqat konstruksiyani og'irlashtiradi. SHuning uchun bu neytral qatlam yaqinidagi moddaning bir qismini balkaning mustahkamligiga ziyon etkazmasdan olib tashlansa bo'ladi. Bu usulda mustahkamlikni saqlagan holda konstruksiya massasini kamaytirishga erishiladi. Masalan, yaxlit yaxlit konstruksiyalar trubalar bilan almashtiriladi. Oyoq-qo'l suyaklari, ba'zi o'simliklar poyasi g'ovak tuzilishga ega.

Buralish deformatsiyasi



1.6.Rasm. Buralish deformatsiyasi.

Deformatsiyaning bu turi sterjen ko'ndalang kesimlarining momentlari (kuchlar jufti) ta'sirida o'zaro burilish natijasida yuz beradi. Ushbu kuchlar bu kesimlar tekisligida ta'sir etadi. Misol uchun, buralish sterjenning pastki asosi mahkamlangan, yuqori asosi esa bo'ylama o'q bo'ylab buralayotganida yuzaga keladi (1.6 rasm).

Bunda turli qatlamlar orasidagi masofa deyarli o'zgarmas bo'lib qoladi. Lekin bitta vertikal chiziq bo'ylab joylashgan qatlamdagi nuqtalar bir-biriga nisbatan siljib qoladi. Turli qismlarda bu siljish turlicha bo'ladi. Masalan, markazda hech qanday siljish bo'lmay, chetki qismlarda maksimal bo'lishi mumkin.

Shunday qilib, buralish deformatsiyasi bir asosning boshqa asosga nisbatan burilish burchagi (φ) bilan xarakterlanadi.

Nisbiy deformatsiya (θ) φ burchakning sterjen uzunligi l ga nisbatiga teng:

$$\theta = \varphi / l$$

Burilishga bo'lgan qarshilik radiusning ortishi bilan juda tez ortadi. Shuning uchun buraluvchan harakat qilishga mo'ljallangan organlar ko'pincha uzun va ingichka bo'ladi (qushlarning bo'yni, ilon tanasi)

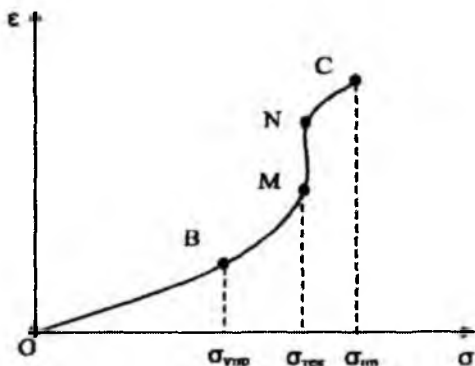
Bir jinsli jismlar deformatsiyalanishining turli xillarini solishtirib, ularning barchasi cho'zilish (siqilish) va siljishning kombinatsiyasidan iborat, deb xulosa qilish mumkin.

1.2-§. MATERIALLARNING MEXANIK XOSSALARI VA ULARNI TEKSHIRISH USULLARI

Shu vaqtgacha biz Guk qonunini ishlatga bo'ladigan nisbatan kichik deformatsiyalarni ko'rdik. Endi nisbiy deformatsiyaning katta miqdorlarida kuzatiladigan hodisalarni ko'rib chiqamiz.

Kuchlanishning deformatsiya kattaligiga bog'liqligi.

1.7-rasmda qattiq jismlar cho'zilishidagi nisbiy deformatsiyaning mexanik kuchlanishga bog'liqligi ko'rsatilgan.



1.7.Rasm. Deformatsiyaning kuchlanishga bog'liqligi cho'zilish diagrammasi.

OB qism Guk qonuniga bo'ysunadigan *elastik* deformatsiyaga mos kelib, u kuch olib tashlanganidan so'ng yo'qoladi. ϵ va σ ning "B" nuqta uchun qiymati chegaraviydir-bu qiymatlardan keyin deformatsiya elastik bo'lmaydi. BM qism kuch olib tashlanganidan keyin yo'qolmaydigan *plastik* deformatsiyaga mos keladi.

MN - vertikal qismga *oquvchanlik deformatsiyasi* mos keladi. U kuchlanishni oshirmagan holatda ham yuzaga kelishi mumkin. Deformatsiya oquvchan bo'lishni boshlaydigan kuchlanish *oquvchanlik bo'sag'asi* deb ataladi (σ_{oq}).

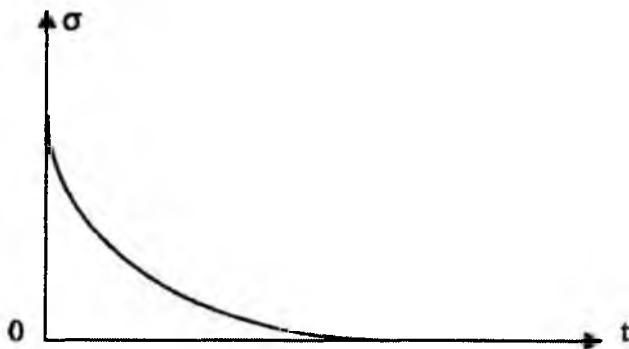
NC - qism parchalanishdan- avvalgi deformatsiyadir. (C) nuqta – mustahkamlik chegarasidir. σ_{must} - namuna parchalanishi sodir bo'ladigan mexanik kuchlanishdir. Mustahkamlik chegarasi deformatsiyalash usuli va material xossalari bog'liq bo'ladi.

Kuchlanish relaksatsiyasi

Agar namunani qandaydir uzunlikka cho'zilsa (ya'ni, deformatsiya sodir bo'lsa) va uni bu holatda dinamometrlar yordamida ushlab turilsa, vaqt o'tishi bilan dinamometrlarning ko'rsatkichlari (mexanik kuchlanishga proporsional ravishda) kamayadi. Bunda makromolekulalarning o'zaro siljishlariga bog'liq bo'lgan kuchlanishning relaksatsiyasi (kamayishi, susayishi) sodir bo'ladi.

Kuchlanishning relaksatsiyasi-namunada doimiy nisbiy deformatsiya ta'sirida mexanik kuchlanishning kamayish jarayoni.

Namunadagi kuchlanishning vaqt o'tishi bilan o'zgarishi 1.8-rasmda ko'rsatilgan.



1.8 rasm. kuchlanish relaksatsiyasi: $\epsilon = \text{const}$, $\sigma = f(t)$

Mustahkamlik chegarasi va parchalanish

Mustahkamlik-jismlarning ularga qo'yilgan kuchni buzilmasdan ko'tara olish xususiyatidir.

Mustahkamlik ko'pincha jismning berilgan deformatsiya turida parchalanishini keltirib chiqaradigan *chegaraviy kuchlanish* kattaligi bilan xarakterlanadi.

Mustahkamlik chegarasi-bu shunday maksimal kuchlanish-ki, unda namuna parchalanib ketmaydi.

Mustahkamlik chegarasi moddaning tuzilishiga va deformatsiya usuliga bog'liq. Masalan insonning son suyagi uchun siqishdagi mustahkamlik chegarasi 170 MPa ga, cho'zishdagi mustahkamlik chegarasi 124MPa ga teng.

Mustahkamlik chegarasi mexanik kuchlanishni parchalanishga qadar sekin-asta oshirib aniqlanadi.

Parchalanish- jism (material) bir butunligining mexanik yoki boshqa ta'sirlar natijasida makroskopik buzilishidir.

Parchalanish jarayonida ikkita bosqichni ajratsa bo'ladi: boshlang'ich- mayda teshiklar, darzlarning hosil bo'lishi, va oxirgi bosqich-jismning ikki yoki undan ko'p bo'lakka bo'linib ketishi.

Ushbu bosqichlar qanday kechishiga qarab *plastik*(qovushqoq) va *mo'rt* parchalanish ajratiladi.

Qovushqoq parchalanish

Parchalanishning ushbu turida elastik va plastik deformatsiyalar tugaganidan so'ng eng nozik joyda darzlarning paydo bo'lishi va rivojlanishiga bog'liq bo'lgan jism o'lchami va shaklining qaytmas o'zgarishlari boshlanadi. Qovushqoq parchalanish jarayonining sodir bo'lish tezligi ko'pincha katta emas. Jarayonni qo'yilayotgan kuchni kamaytirib sekinlatish(to'xtatish) mumkin. Nisbiy cho'zilishning kattaligi qandaydir kritik qiymatga etganida sterjenning parchalanishi (uzilishi) sodir bo'ladi.

Mo'rt parchalanish

Ushbu parchalanish elastik deformatsiya tugashi bilan deyarli darhol boshlanadi (to'g'ri chizikli qism) vas jarayonning yuqori tezligi bilan xarakterlanadi. Paydo bo'lgan darz tezda kritik o'lchamga etadi. SHundan so'ng u turli tomonlarga tarqalib, jarayon parchalanish bilan tugaydi.

Parchalanish jarayoni xarakterini aniqlovchi faktorlarga quyidagilar kiradi:

- materialning xossalari va moddaning holati(modda strukturasi, harorat, namlik va h.k.z.);

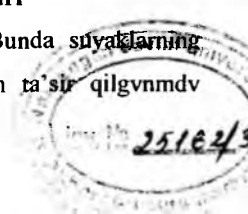
-ob'ektning xususiyatlari (konstruksion xossalar, shakllar, o'lchamlar, yuzaning sifati);

-kuch ta'sirining dinamikasi (kuch qo'yish tezligi);

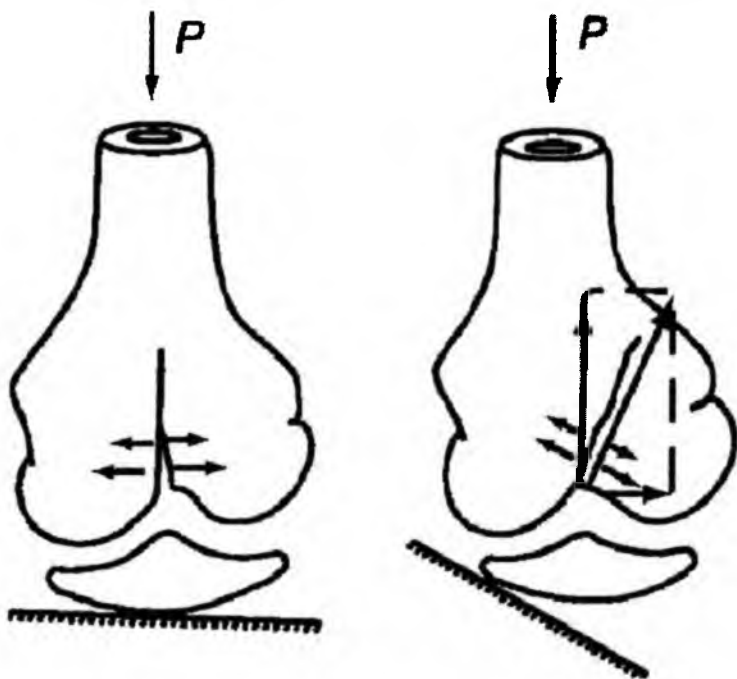
- mexanik ta'sirning yo'nalishi.

Naysimon suyaklarning shikastlanishlari

Mo'rt parchalanish uzun naysimon suyaklarga xosdir. Bunda suyaklarning parchalanishini bo'ylama yoki ko'ndalang yo'nalishda kuch ta'sir qilguncha sterjenning parchalanishiga o'xshatish mumkin.

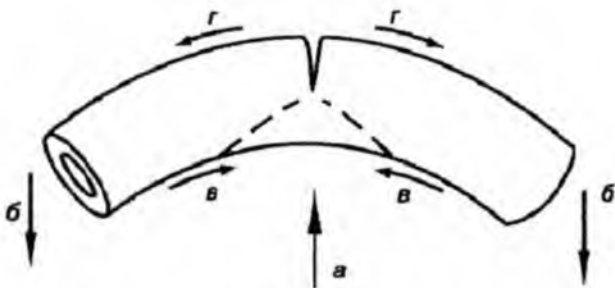


Bo'ylama kuchlar (siqilish) inson cho'zilgan qo'lga, bukilgan qo'lga, tizzaga yiqilganida yuzaga kelishi mumkin (1.9 rasm).



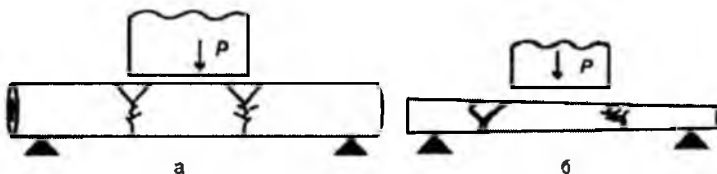
1.9 rasm. Son suyagi pastki epifizining uzilish yoki siljish deformatsiyalari ta'sirida shikastlanishi (bukilgan tizzaga yiqilganda).

Sport amaliyotida ko'pincha suyaklar tashqi kuch ta'sirida egilganida jarohat oladi. Katta naysimon suyaklarga o'tmas jism bilan urilganida ularda ko'p sinishlar sodir bo'lishi mumkin(1.10 rasm).



1.10 rasm. Egilish natijasida uzun naysimon suyak diafizining parchalanish sxemasi:

a,6-tashqi kuch vektorlari, b-siquvchi, r-cho‘zuvchi kuchlar.



1.11.rasm. Uzun naysimon suyakning to‘mtiq jism bilan ta‘sir etilgandagi fragmentar sinishi sxemasi. (a)-bir xil ko‘ndalang kesimli, (b)-har xil ko‘ndalang kesimli.

1.3-§. BIOLOGIK TO‘QIMALARNING MEXANIK XOSSALARI

Material strukturasi uning mexanik xossalari va parchalanish jarayoni xarakterini aniqlovchi asosiy faktordir. Ko‘p biologik to‘qimalar anizotrop kompozitsion materiallar bo‘lib, ular kimyoviy jihatdan turlicha bo‘lgan komponentlarning hajmiy taqsimlanishi bilan shakllangan. To‘qima har bir turining tarkibi evolyusiya jarayonida shakllanib, u bajarayotgan funksiyalarga bog‘liq.

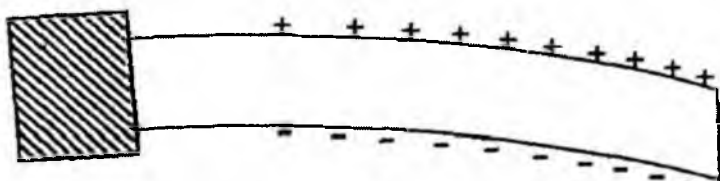
Suyak to‘qimasi. Suyak-tayanch-harakat apparatining asosiy materialidir. Inson skeletida 200 dan ortiq suyak mavjud. Skelet tananing tayanchi bo‘lib, harakat qilishga yordam beradi. Katta insonda skelet taxminan 12 kg ni tashkil etadi (umumiy og‘irlikning 18%).

Kichik suyak to'qimasida hajmning yarmini neorganik material, suyakning mineral moddasi-*gidroksilapatit* tashkil etadi. Bu modda mikroskopik kristallar ko'rinishida bo'ladi. Suyak hajmining boshqa qismi organik material, asosan *kollagendan* iborat. U yuqorimolekulyar birikma bo'lib, yuqori elastiklikka ega bo'lgan tolali oqsildir.

Suyak to'qimasining mexanik xossalari ko'p faktorlarga bog'liq: yoshga, kasallikka, o'sishning individual sharoitlariga. Normada suyak to'qimasining zichligi 2400 kg/m^3 , uning Yung moduli esa $E=100\text{MPa}$, nisbiy deformatsiya 1% gacha boradi.

Deformatsiyaning turli xillarida suyak turlicha o'zgaradi. U siqishga cho'zilish yoki egilishdan ko'ra ko'proq bardosh beradi. Son suyagi bo'ylama yo'nalishda 4500N, egilishda 2500N kuchni ko'tara oladi. Tirik suyak temir betondan 5 marta mustahkamroq. Son suyagi normal inson og'irligidan 25-30 marotaba ko'proq og'irlikka bardosh bera oladi.

Suyaklarning mexanik xususiyatlari ular deformatsiya bo'lganida pezelektrik effekt paydo bo'lishida ham namoyon bo'ladi. Agar suyak bo'lagining bir tomonini biriktirib qo'yib egsak, deformatsiya zonasida qarama-qarshi tomonlar orasida potentsiallar farqi paydo bo'ladi. Suyakning botiq qismida manfiy zaryadlar bo'ladi (1.12 Rasm)



1.12 rasm. Suyak bo'lagi deformatsiyalanganda pezeffektning hosil bo'lishi.

Elastik deformatsiya intervalida ushbu potentsiallar farqi mexanik kuchlanishga proporsional.

Teri. Teri nafaqat tanani mukammal yopib turuvchi vosita, balki turli funksiyalarni bajaruvchi murakkab organ hamdir. U gomeostazni ushlab turadi;

organizmda umumiy modda almashinuviga ta'sir etuvchi termoregulyasiya jarayonlarida qatnashadi; yog' va ter bezlarining ishini ta'minlaydi; mexanik, fizik, kimyoviy, infeksiyon agentlarning zararli omillaridan himoyalaydi Teri markaziy nerv sistemasiga bir qator hissiyotlarni ham uzatadi. Teri- tana va atrof-muhit orasidagi chegara bo'lib, u juda yaxshi mexanik mustahkamlikka ega.

Teri tananing eng katta organi hisoblanadi. Uning funksiyalari butun organizm holatiga bog'liq. Ichki organlarning turli kasalliklarida unda turli o'zgarishlar sodir bo'lishi mumkin.

Teri ko'pincha uchta qatlamlardan iborat geterogen to'qima sifatida qaralib, ular bir-biriga juda yaqin, lekin tabiati, strukturasi, xossalariга ko'ra turlichadir: epidermis, derma, teri osti kletchatkasi. Epidermis ustida shoh qatlam mavjud.

Terining har bir qatlamining vazifalari, shuningdek, mexanik vazifalari, uning komponentlarining biomexanik tabiati va joylashishiga bog'liq.

Terining umumiy tarkibiga kollagen va elastin tolalari va asosiy to'qima-matritsa kiradi. Kollagen quruq massaning 75% ni, elastin 4% ni tashkil etadi. Normada terining zichligi 1100 kg/m^3 dir (qo'l, ko'krak sohalari). Elastin juda kuchli cho'ziladi (200-300% gacha). Kollagen 10% gacha cho'zilishi mumkin. Teri komponentlarining mexanik xarakteristikalari:

- kollagen- $E=10-100 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{must}}=100 \text{ MPa}$;

- elastin- $E=0,5 \text{ MPa}$, $\sigma_{\text{must}}=5 \text{ MPa}$;

Teri yuqori elastiklik xususiyatlarga ega qovushqoq-elastik modda bo'lib, u yaxshi cho'ziladi va uzayadi.

Mushak to'qimasi. Mushaklarning aktivligi-yuqori darajada rivojlangan tirik organizmlarning umumiy xususiyatlaridan biridir. Insonning butun hayotiy faoliyati mushaklar aktivligi bilan bog'liq. Ular alohida organlar va butun sistemalarning ishini ta'minlaydilar: tayanch harakati sistemasining ishi, o'pka va yurak ishi, tomirlar aktivligi, oshqozon-ichak sistemasining ishi va h.k.z. Mushaklarning ishdan chiqishi turli patologiyalarga olib kelishi, ular ishining to'xtashi hatto

o'limga olib kelishi mumkin (masalan, elektrotravma natijasida nafas olish mushaklari paralichga duchor bo'lib, inson halok bo'ladi).

Mushaklar shakli, o'lchamlari, birikish turi, rivojlantirishi mumkin bo'lgan kuchiga qarab turlichadir. Har bir mushak o'zining motoneyroniga ega juda ko'p harakatlanuvchi qismlardan iborat. Shunga qaramay, bu sistema juda ishrnchli bo'lib, bir xil harakatlardan tashqari boshqacha-nostandart harakatlarni ham bajarish xususiyatiga egadir.

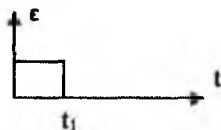
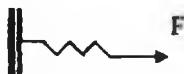
Mushaklar faoliyati harakat strukturalarida aks etadi. Ushbu aks etish tufayli harakatni kuzatib turib harakatning mushak regulyasiyasi va uning buzilishi haqida xulosa chiqarsa bo'ladi. Bundan kasalliklar diagnostikasidi, sportchilar harakatini nazorat qiluvchi maxsus testlarni ishlab chiqishda foydalaniladi.

O'zining vazifasidan, tuzilish xususiyatlari va regulyasiya usullaridan qat'i nazar, organizmdagi turli mushaklarning ishlash prinsipi bir xildir.

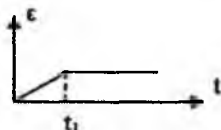
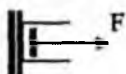
Mushaklar tarkibiga mushak hujayraliri (tolalar), kollagen va elastindan tashkil topgan hujayradan tashqari modda (biriktiruvchi to'qima) kiradi. SHuning uchun mushaklarning mexanik xossalari polimerlarning mexanik xossalariга o'xshashdir. Mushaklar o'zining tuzilishiga ko'ra ikki xil bo'ladi: silliq mushaklar (ichaklar, tomirlar, oshqozon, siydik pufagi devorlari) va skelet mushaklar (yurak mushaklari, suyakka birikkan va bosh, tana, oyoq-qo'llar harakatini ta'minlovchi mushaklar).

Mushaklar to'qimasi zichligining o'rtacha qiymati $10\text{--}50 \text{ kg/m}^3$, YUng moduli esa $E=10^5 \text{ Pa}$. Silliq mushaklarning harakati ko'p hollarada Maksvell modeli bilan tushuntiriladi (1.13 rasm). Ular kam kuchlanishsiz ko'p miqdorga cho'zilishi mumkin. Bu ba'zi organlarning hajmi ortishiga sabab bo'ladi. Kollagen molekulalarining cho'zilishi natijasida mushaklar bir necha o'n foizga deformatsiya bo'lish xususiyatiga egadirlar.

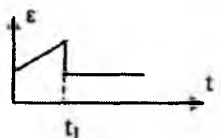
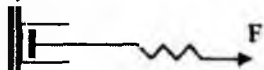
a) Elastik modda
(prujina)



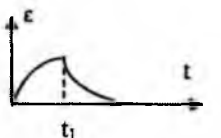
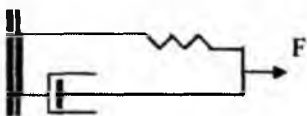
b) Qovushqoq modda
(porshen)



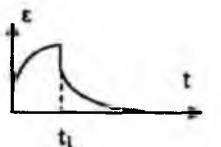
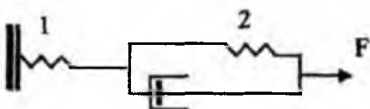
B) Maksvell modeli



γ) Kelvin-Foyget modeli



δ) Ziren modeli



1.13 rasm. Silliqliq mushaklarning harakati o'rganuvchi Maksvell modeli

Hayot faoliyati jarayonida mushaklar ashqi kuchlar ta'siriga moslashadi. Lekin ularda kuchlanishning saqlanishi to'xtovsiz energiyani talab etadi. Energiyaning kamayishi mushaklarning charchashiga olib keladi. Faqat hushdan ketish va o'lim mushaklardagi jarayonlarning to'xtashiga sabab bo'lishi mumkin.

Qon tomirlarining xossalari. Qon tomirlarining mexanik xossalari asosan kollagen, elastin va silliq mushak tolalariga bog'liq. Qon tomirlari to'qimasining ushbu tashkil etuvchilarining miqdori butun qon oqish sistemasi bo'ylab o'zgarib turadi. Yurakdan uzoqlashgan sari silliq mushak tolalarining miqdori ortib, arteriolalarda ular tomirlarning asosiy tashkil etuvchisi bo'lib xizmat qiladi.

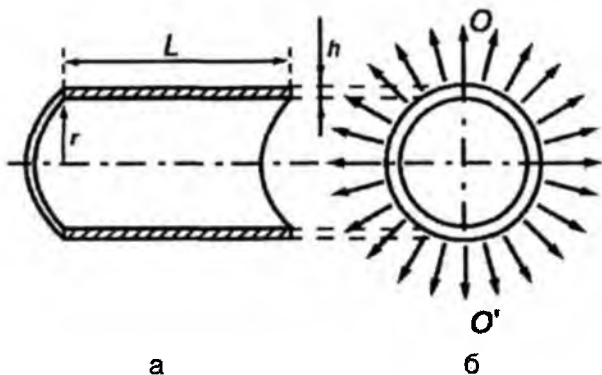
Qon tomirlarining devorlari yuqori elastiklikka ega materialdan tashkil topgani tufayli ular deformatsiyalovchi kuch ta'sirida yuzaga keluvchi qaytuvchan o'zgarishlarga chidamlidir. Deformatsiyalovchi kuch ortiqcha ichki bosim tufayli yuzaga keladi.

Tomir deformatsiyasini elastik silindrga ichidan ko'rsatilayotgan bosim ta'siri natijasi sifatida ko'rib chiqamiz. L uzunlikka, h -devorlar qalinligiga va r -ichki radiusga ega silindrik tomirning bir qismini qaraylik. Silindrning bo'ylama va ko'ndalang kesimlari 1.14 rasmda tasvirlangan.

Tomirning ikkita yarmi o'zaro silindr devorlari kesimlari orqali ta'sirlashadi (1.14 rasmdagi shtrixlangan qism). Tomirning ikkala yarmi ta'sirlashuvchi kesimning umumiy yuzasi $2hL$ ga teng. Agar tomir devorlarida σ mexanik kuchlanish mavjud bo'lsa, ikkita qismning ta'sir kuchi quyidagiga teng:

$$F = \sigma 2hL \quad (1.7)$$

Bu kuch silindrga ichidan ta'sir qiluvchi ortiqcha R bosim kuchlari bilan muvozanatlanadi (ular 1.14 b-rasmda strelkalar bilan ko'rsatilgan). Kuchlar gorizontal tekislikka nisbatan turli burchaklar ostida yo'nalgan. Ularning teng ta'sir etuvchisini topish uchun gorizontal proeksiyalarni yig'ib chiqish kerak.



1.14 rasm. Silindrik tomirning o'q bo'ylab yo'nalgan (a) va o'qqa ko'ndalang (b) kesimlari.

Lekin teng ta'sir etuvchi kuchni bosimni silindr yuzasining vertikal OO' tekisligiga bo'lgan proeksiyasiga ko'paytirib topish osonroq bo'ladi. Bu proeksiya $2rL$ ga teng. Bu holda kuchni ortiqcha bosim orqali ifodalasak, quyidagiga ega bo'lamiz:

$$F = P2rL \quad (1.8)$$

1.7 va 1.8 formulalarni tenglashtiradigan bo'lsak $\sigma 2hL = P2rL$ bundan

$$\sigma = Pr/h \quad (1.9)$$

Bu ifoda *Lame tenglamasi* deb ataladi.

1.4-§. TIRIK ORGANIZMLARDA BIOMEXANIKANING BA'ZI MASALALARI. BO'G'IMLAR VA RICHAGLAR

Mexanizmlarning harakatlanuvchi qismlari odatda uning harakatdagi qo'zg'aluvchan yoki qo'zg'almas qismlari bilan tutashtirilgan bo'ladi. Bir necha qo'zg'aluvchan bo'g'inlarning birlashmasi kinematik bog'lanishni hosil qiladi. Odam tanasi — kinematik bog'lanishga misoldir.

Bo'g'imlar biomexanikasi. Bo'g'im yuzalarini shakli jihatidan olganda aylanuvchi geometrik jismlan bir o'q atrolida aylanadigan silindr; ikkita o'q

atrofida aylanadigan ellips va uch hamda bundan ko'ra ko'proq o'q atrofida aylanadigan shar kesmalari, deb qarash mumkin. Bo'g'imlarda bo'lib turadigan harakatlarning quyidagi turlari tafovut qilinadi;

1) frontal (gorizontal, ko'ndalang) o'q atrofida qilinadigan harakat — bukish va yozish;

2) sagittal (oldingi-orqa gorizontal) o'q atrofida qilinadigan harakatlar — o'rta tekislikka yaqinlashtirish va undan uzoqlashtirish;

3) tik o'q atrofida qilinadigan harakatlar, ya'ni ichkari va tashqari yoki o'ng va chapga qarab aylantirish;

4) aylanma harakatlar. Bo'g'im funksiyasi harakatlarining nechta o'q atrofida bo'lib turishiga, shuningdek, qo'shiluvchi yuzalarining shakliga bog'liq. Bo'g'implarning anatomik-fiziologik jihatdan asoslangan quyidagi yagona klassifikatsiyasini ko'rsatib o'tsa bo'ladi.

✦ **Bir o'qli bo'g'implar.** 1. Silindrsimon yoki g'ildiraksimon bo'g'im (masalan, proksimal bilak-tirsak bo'g'imi, bunda bilak ichkariga burash — pronatsiya harakati bilan tashqariga burash — supinatsiya harakatini bajaradi). 2. G'altaksimon yoki chig'irsimon bo'g'im (masalan, barmoqlar falangaaro bo'g'implari) bunday bo'g'imda frontal o'q atrofida harakatlar bo'lib turadi (bukish va yozish).

✦ **Ikki o'qli bo'g'implar.** 1. Ellipssimon bo'g'im (masalan, bilak-kaft, ya'ni bilakuzuk bo'g'imi), bunda bir-biriga tik ikkita gorizontal o'q atrofida: frontal o'q bilan (bukish va yozish) sagittal o'q atrofida (uzoqlashtirish va yaqinlashtirish) harakatlar bo'lib turadi. 2. Do'ngli bo'g'im (masalan, tizza bo'g'imi). 3. Egarsimon bo'g'im (masalan, I barmoqning kaft usti kaft bo'g'imi); bunday bo'g'imda bir-biriga tik ikki o'q atrofida: frontal o'q bilan (bukish va yozish) sagittal o'q atrofida (uzoqlashtirish va yaqinlashtirish) harakatlari bo'lib turadi.

✦ **Ko'p o'qli bo'g'implar.** 1. Sharsimon bo'g'implar (masalan, yelka bo'g'imi). Bularda bir-biriga tik bo'lgan va boshchasining markazida bir-biri bilan kesishadigan uchala asosiy o'q tafovut qilinadi. Sharsimon bo'g'im barcha bo'g'implarning eng erkini hisoblanib, unda oldinga va orqaga bukish,

uzoqlashtirish va yaqinlashtirish, ichkariga va tashqariga aylantirish harakatlari bo'lib turadi. 2. Yassi bo'g'imlar (masalan, umurtqalararo bo'g'imlar). Bularda deyarli yassi bo'g'im yuzalari bo'ladi. Bo'g'im yuzalari tafovuti bularda arzimas bo'lgani uchun harakatlarining hajmi ham katta emas.

Yangi bo'g'inlarni qo'shish kinematik harakatchanlikni oshiradi. Masalan, umurtqalararo bo'g'inlarning muayyan harakatchanligi tufayli (etarlicha chegaralangan bo'lsada) bosh miya suyagi oltita erkinlik darajasiga ega.

Skelet suyaklari va muskullar birlashmasidan iborat bo'lgan bo'g'inlar, odam tayanch — harakatlanish sistemasini fizika nuqtai nazaridan odamni muvozanatda saqlab turuvchi raqamlar to'plamidan iborat deb tasavvur qilish imkonini beradi.

Anatomiyada richaglarni ikki xil ko'rishida bir-biridan farqlashadi: birinchisi kuch richaglari bo'lib bularda kuchdan yutib, ko'chishdan yutqaziladi, ikkinchisi — tezlik richaglari bo'lib, bularda kuchdan yutqazib, ko'chish tezligidan yutiladi. Pastki jag' tezlik richagiga yaxshi misol bo'la oladi. Ta'sir qiluvchi kuchni chaynov muskuli yuzaga keltiradi. Ovqatni ezish paytida yuzaga kelgan qarama-qarshi ta'sir etuvchi qarshilik kuchi — tishlarga ta'sir ko'rsatadi. Ta'ir qiluvchi kuchning elkasi qarama-qarshi ta'sir etuvchi kuchning elkasidan birmuncha qisqa bo'lgani sababli chaynov muskuli qisqa va kuchli bo'ladi. Qandaydir qatiq jismni tish yordamida chaqish lozim bo'lganda, odam buni jag' tishlari yordamida amalga oshirishga harakat qiladi, chunki bunda qarshilik kuchining elkasi kamayadi.

Agar odam skeleti bitta organizmda mahkamlangan alohida-alohida bo'g'inlar to'plamidan iborat deb qaralsa, gavdaning normal holatdagi turishida bu bo'g'inlarning hammasi juda turg'unmas holatda bo'lgan sistemani hosil qilgani ma'lum bo'ladi. Jumladan, tana tayanchi chanoq-son bog'lanishi shar shaklli sirt ko'rinishida berilgan. Tananing massalari markazi tayanch nuqtasidan yuqoriroq joylashgani uchun shar shaklidagi tayanchda turg'unmas muvozanat hosil qiladi. Bunga tizza va boldir-tovon birlashmalari ham misol bo'la oladi. Shu sababli bu bo'g'inlarning hammasi turg'unmas muvozanat holatida bo'ladi.

Normal, tikka turgan odam tanasi massalari markazi chanoqson, tizza va oyoq boldir-tovon birlashmalari markazlari bilan bir vertikalda, dumg'aza tumshug'idan

2-2,5 sm pastda va chanoq son o'qidan 4-5 sm yuqorida joylashgan bo'ladi. Shunday qilib, normal tikka turish, bir-biri bilan tutashib ketgan skelpt bog'inlarining, eng turg'unmas bir holatidir. Shunga qaramasdan butun sistemaning muvozanatda saqlanishiga sabab, faqat ushlab turuvchi muskullar sistemasining doimiy taranglanib turishi tufaylidir.

1.5-§. ODAMNING MEXANIK ISHI. ERGOMETRIYA

Odamning kun bo'yi bajara oladigan mexanik ishi ko'pgina sabablarga bog'liq bo'lgani sababli oldindan odam ishining biror chegaraviy qiymatini ko'rsatish qiyin. Bu aytilganlar odam quvvatini belgilashga ham taalluqlidir. Masalan, ayrim qisqa muddatli zo'r berishlarda odam o'z quvvatini bir necha kilovattga etkazishi mumkin. Agar massasi 70 kg bo'lgan sportchi turgan o'rnida uning massalar markazi o'zining normal turish holatiga nisbatan 1 m yuqoriga ko'tariladigan darajada sakrasa, itarilish fazasi 0,2 s davom etsa, sportchining quvvati 3,5 kVt ga etadi.

Odam yurganda ish bajaradi, bunda inertsiya gavnani davriy ravishda qisman ko'tarish uchun va asosan oyoq harakatini tezlatish va sekinlatish uchun sarflanadi.

Odam gavnasi qismlarining kinetik energiyasini o'zgartirish uchun sarflanadigan ishni hisoblash mumkin.

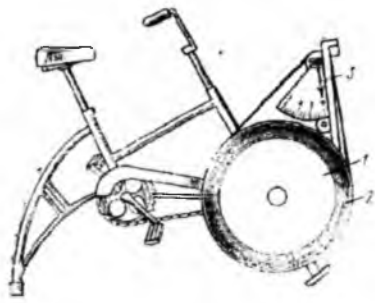
Massasi 75 kg bo'lgan odam 5 km/soat tezlik bilan yurganda o'z quvvatini 60 Vt gacha oshiradi. Tezlik ortishi bilan bu quvvat yana tezroq oshib boradi, ya'ni tezlik 7 km/soat bo'lganda quvvat 200 Vt ga etadi. odam massalar markazining vaziyati velosi pedda yurganda piyoda yurgandagiga qaraganda deyarli kam o'zgaradi, oyoqning tezlanishi ham kichik bo'ladi. Shu sababli velosi pedda yurganda sarflanadigan quvvat ancha kam bo'ladi: tezlik 9 km/soat bo'lganda 30 Vt. 18 km/asoat bo'lganda esa 120 Vt quvvat sarflanadi.

Agar ko'chish bo'lmasa, ish ham nolga aylanadi. Shu sababli yuk tayanch ustida, taglik ustida yoki ipga osib qo'yilgan bo'lsa, og'irlikkuchining bajargan ishi nolga teng. Agar qo'lni cho'zilgan holatida gantel yoki tosh ushlab turilsa, elka va qo'l muskullarining toliqishi bizning har birimizga ma'lum. Agar o'tirgan

kishining orqasiga yuk ortilsa, orqa va bel muskullari ham xuddi shunday toliqadi. Har ikkala holda ham yuk qo'zg'almas bo'lgani sababli ish nolga teng. Lekin muskullarning charchashi ish bajarilayotganidan dalolat beradi. Bunday ishni muskullarning statik ishi deb aytiladi.

Mexanikada tushuniladigan statika (qo'zg'almaslik) amalda mavjud emas. Kuch ta'sirida juda kichik, xususan ko'z ilg'amas darajada qisqarish va bo'shashishlar yuz bergani sababli og'irlik kuchiga qarshi ish bajariladi. Shunday qilib, odamning statik ishi aslida oddiy dinamik ish bo'ladi.

Odamning bajarayotgan ishini o'lchashda qo'llaniladigan qurilmalarni ergometrlar deb ataladi. O'lchash texnikasining shunga mos bo'limiga ergometriya deyiladi.



1.15-rasm Veloergometr

Ergometrga tormozlanuvchi velosiped (veloergometr, 1.15-rasm) misol bo'ladi. Aylanuvchan 1 g'ildirak gardishi orqali 2 po'lat lenta o'tkazilgan. G'ildirak gardishi bilan po'lat lenta orasidagi ishqalanish kuchi 3 dinamometr yordamida o'lchanadi. Sinovchining hamma ishi ishqalanish kuchini engish uchun sarflanadi (ishlarning

boshqa turlarini hisobga olmaymiz). G'ildirak aylanasi uzunligini ishqalanish kuchiga ko'paytirib, har bir aylanishda bajarilgan ishni topamiz, aylanishlar sonini va sinov vaqtini bilgan holda bajarilgan to'liq ishni va o'rtacha quvvatni aniqlaymiz.

2-BOB. BIOREOLOGIYA. BIOLOGIK SUYUQLIKLARNING QOVUSHQOQLIGI

O'zining xossalari jihatidan gazlar va qattiq jismlar orasidagi oraliq holatni egallovchi moddalar suyuqliklarga kiradi. Suyuqliklar muhiti organizmning katta qismini tashkil etadi, ularning ko'chishi moddala almashinuvini va hujayralarni kislorod bilan ta'minlashini bajaradi, shu sababli suyuqliklarning oqishi va ularning mexanik xossalari, shifokorlar va biologlar uchun zo'r qiziqish uyg'otadi.

Bu bobda bayon etilgan materiallar siqilmaydigan suyuqliklar harakati va ularning atrofdagi qattiq jismlar bilan ta'sirlashuvini o'rganuvchi fizikaning gidrodinamika bo'limi va moddalar oquvchanligi, ularning deformatsiyalari haqidagi ta'limot-reologiyaga taalluqlidir.

2.1-§.SUYUQLIKLARNING QOVUSHQOQLIGI. NYUTON TENGLAMASI. NYUTON VA NONYUTON SUYUQLIKLARI

Real suyuqlik oqqanda uning ayrim qatlamlari bir-biriga shu qatlamlarga urinma ko'rinishda yo'nalgan kuchlar bilan o'zaro ta'sirlashadi. Bu hodisaga ichki ishqalanish yoki qovushoqlik deyiladi.

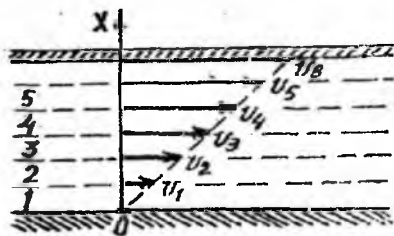
Qovushoq suyuqlikning ikkita qattiq plastinka orasidan oqishini ko'rib o'tamiz (2.1-rasm), ulardan pastkisi qo'zg'almas bo'lib, yuqorigisi tezlik bilan harakatlanadi. Suyuqlikni shartli ravishda bir necha 1,2,3 va hokazo qatlamlardan iborat, deb tasavvur qilamiz. Tubiga "yopishgan" qatlam harakatsiz. Tubidan (pastki plastinkadan) uzoqlashgan sari suyuqlik qatlamlari katta tezlikka ega bo'lib boradi ($v_1 < v_2 < v_3 \dots$ vah.k.z.) yuqorigi plastinkaga yopishgan qatlam yaqinidagi tezlik eng katta bo'ladi.

Qatlamlar o'zaro bir-biriga ta'sir ko'rsatadi. Masalan, uchinchi qatlam ikkinchi qatlamning harakatini tezlashga intilsa, o'zi esa ikkinchi qatlam tomonidan tormozlovchi kuch ta'sirini his qiladi, to'rtinchi qatlam ta'sirida esa tezlashadi va hokazo. Ichki kuchi o'zaro ta'sirlashuvchi qatlamlarning S yuziga to'g'ri proporsional va ularning nisbiy tezliklari qancha katta bo'lsa, ichki

ishqalanish kuchi ham shuncha katta bo‘ladi. Suyuqlikni qatlamlarga ajratish shartli bo‘lgani sababli ichki ishqalanish kuchini tezlikka perpendikulyar yo‘nalishda har bir uzunlik birligiga to‘g‘ri keluvchi tezlikning o‘zgarishin ifodalovchi kattalik, ya‘ni $\alpha v / dx$ tezlik gradienti (siljish tezligi) orqali ifodalash qabul qilingan:

$$F_{ishq} = \eta \frac{dv}{dx} S \quad (2.1)$$

Bu Nyuton tenglamasidir. Bu erda η proporsionallik koeffitsienti bo‘lib, uni ichki ishqalanish koeffitsienti yoki dinamik qovushoqlik (yoki oddiygina qovushoqlik) deb aytiladi. Qovushoqlik suyuqlikning (yokigazning) holatiga va molekulyar xossalriga bog‘liq.



2.1-rasm Ikki plastinka orasida qovushqoq suyuqlikning oqishi

Qovushoqliknig SI sistemasidagi o‘lchov birligi paskal-sekund (Pas sek.). SGS sistemasida qovushoqlik puaz (P) bilan ifodalanadi: $1 \text{ Pas} = 10 \text{ P}$

Ko‘pchilik suyuqliklarda qovushoqlik tezlik gradientiga bog‘liq bo‘lmaydi, bunda aysuyuqliklar

(2.1) Nyuton tenglamasiga bo‘ysunadi, shu sababli ular Nyuton suyuqliklari deyiladi. (2.1) tenglamaga bo‘ysunmaydigan suyuqliklar nonyuton suyuqliklar deyiladi. Ba‘zan Nyuton suyuqliklari qovushoqligini normal, nonyuton suyuqliklarini esa anomal deb ataladi.

Murakkab va yirik molekullardan iborat suyuqliklar, masalan, polimerlar eritmasi, molekula va zarrachalarning bog‘lanishlari tufayli hosil bo‘lgan fazoviy strukturalar nonyuton suyuqliklari hisoblanadi. Ularning qovushoqligi bir xil sharoitlarda oddiy suyuqliklarnikiga qaraganda ko‘p marta kattadir. Bu suyuqliklar qovushoqligining ortishiga sabab shu-ki, ularning oqishi paytida sarflanadigan tashqi kuchlarining ishi faqat suyuqlikning qovushoqligini, ya‘ni Nyuton qovushoqligini yengish uchunгина emas, balki strukturasini buzish uchun ham sarflanadi. Qon nonyuton suyuqlik hisoblanadi.

2.2-§.QOVUSHOQ SUYUQLIKLARNING TRUBALARDAN OQISHI.

PUAZEYL FORMULASI

Qovushoq suyuqlikning trubalardan oqishi tibbiyot uchun alohida qiziqish uyg'otadi, chunki qon oqish sistemasi asosan turli diametrdagi silindrik tomirlardan iborat.

Simmetriya tufayli ma'lumki, trubada oqayotgan suyuqlikda markaziy o'qdan bir xil uzoqlikdagi suyuqlikning ikki zarrasi bir xil tezlikka ega. Truba o'qi bo'ylab harakatlanayotgan zarrachalar eng katta tezlikka ega bo'ladi: truba devoriga eng yaqin suyuqlik qatlami qo'zg'almasdir. Suyuqliklar zarrachalari tezligining truba ko'ndalang kesimi bo'ylab taxminiy taqsimlanishi 2.2-rasmda ko'rsatilgan.

$v=f(r)$ bog'lanishni aniqlash uchun fikran uzunligi l va r radiusga ega bo'lgan silindr shaklidagi suyuqlik hajmini ajratib olamiz (2.3-a rasm). Bu silindrning uchlarida mos holda p_1 va p_2 bosim ta'minlab turiladi, bu esa natijaviy kuchni quyidagi ko'rinishda yozishga olib keladi:

$$F = p_1\pi r^2 - p_2\pi r^2 = (p_1 - p_2)\pi r^2 \quad (2.2)$$

Silindrning yon tomonlari yuziga uni o'rab olgan suyuqliklar tomonidan ichki ishqalanish kuchi ta'sir etadi. Bu kuch quyidagicha ifodalanadi:

$$F_{ishq} = \eta \frac{dv}{dr} \cdot S = -\eta \frac{dv}{dr} \cdot 2\pi r l \quad (2.3)$$

bu erda $S=2\pi r l$ silindr ko'ndalang kesimining yuzi. Silindrda suyuqlik tekis



2.2-rasm. Qovushoq suyuqlikni truba bo'ylab harakati

harakatda bo'lgani sababli ajratib olingan silindr hajmidagi ta'sir etuvchi kuchlar bir-birini muvozanatlaydi: $F=F_{ishq}$ Bu tenglikka (2.2) va (2.3) ni qo'yib quyidagini hosil qilamiz:

$$(p_1 - p_2)\pi r^2 = -\eta \frac{dv}{dr} 2\pi r l \quad (2.4)$$

Tenglamaning o'ng tomonidagi "-" ishorasi tezlik gradienti (ortishi bilan tezlik kamayadi) bo'lgani sababli yozilgan. (2.4) formuladan

$$dv = -\frac{(p_1 - p_2)}{2l\eta} \cdot r dr$$

Bu tenglamani integrallaymiz:

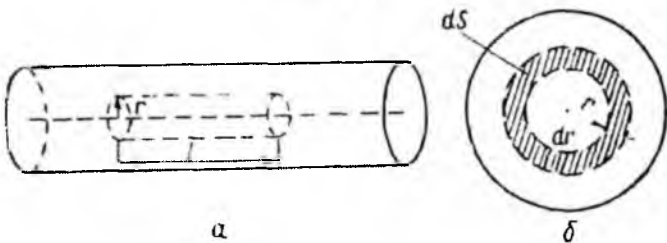
$$\int_0^v dv = -\frac{(p_1 - p_2)}{2l\eta} \int_R^r r dr \quad (2.5)$$

Bu yerda integralning quyi chegaralari trubaning ichki sirtiga “yopishib” turgan suyuqlik qatlamiga tegishli $r=R$ bo‘lganda $v=0$ yuqori chegarasi esa o‘zgaruvchidir. (2.5) ni yechib, suyuqlik qatlamlari tezligi bilan ularning truba o‘qigacha bo‘lgan masofalari orasidagi parabolik munosabatni chiqaramiz (2.2-rasmdagi tezlik vektorlar uchlarini aylanib o‘tuvchi chiziqqa qarang):

$$v = \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} (R^2 - r^2) \quad (2.6)$$

Truba o‘qi $r=0$ bo‘ylab oqayotgan qatlam tezligi eng katta bo‘ladi:

$$v_{max} = \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} R^2$$



2.3-rasm Tezlik vektorlar uchlarini aylanib o‘tuvchi chiziq

Horizontal truba orqali 1 sekunda oqib o‘tayotgan suyuqlik hajmi Q ni qanday faktorlarga bog‘liqligini aniqlaylik. Buning uchun r radiusli va dr qalinlikdagi silindrik qatlam ajratamiz. Bu qatlam kesimining yuzi $dS=2\pi r dr$ (2.3-b rasm). Qatlam juda yupqa bo‘lgani sababli uni bir xil tezlik bilan harakatlanyapti deyish mumkin. Bir sekunda qatlam oqib o‘tayotgan suyuqlik hajmi

$$dQ = v \cdot dS = v \cdot 2\pi r dr \quad (2.7)$$

(2.6) ni (2.7) ga qo‘yib, quyidagini hosil qilamiz:

$$dQ = \pi \frac{P_1 - P_2}{2l\eta} (R^2 - r^2) r dr$$

Buni trubaning butun ko'ndalang kesimi bo'yicha 0 dan R gacha integrallab, vaqt birligi ichida truba ko'ndalang kesimidan oqib o'tayotgan suyuqlik hajmini topamiz:

$$Q = \pi \frac{P_1 - P_2}{4l\eta} \int_0^R (R^2 - r^2) r dr = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{P_1 - P_2}{l} \quad (2.8)$$

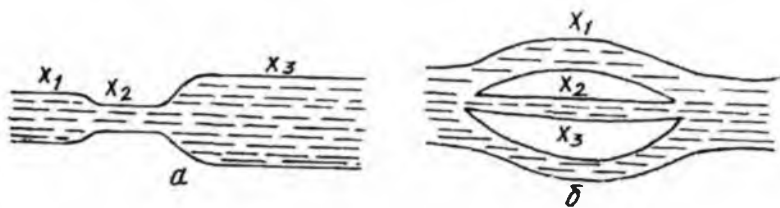
Bu bog'lanish **Puazeyl** formulalari nomi bilan ma'lumdir.

Puazeyl formulasi (2.8) dan ko'rinib turibdiki, berilgan tashqi ta'sirlar shartlariga asosan trubdan oqib o'tayotgan suyuqlikning qovushoqligi qancha kichik va truba radiusi qancha katta bo'lsa, suyuqlik shuncha ko'p oqib o'tadi. Q ning radiusga kuchli bog'lanish faqat hajmining o'zgarishiga emas, balki truba devori yaqinidagi qatlamlarning nisbatan biror kattalikdagi hissasiga ham bog'liq.

(2.8) Puazeyl formulasi bilan zanjirning bir qismi uchun Om qonuni orasidagi o'xshashlikni ko'rib o'taylik. Potentsiallar farqi truba uchlaridagi bosimlar ayirmasiga, tok kuchi truba kesimidan $1s$. da oqib o'tuvchi suyuqlik hajmiga, elektr qarshiligi gidravlik qarshilikka mos keladi:

$$X \approx 8\eta l / (\pi R^4) \quad (2.9)$$

Qovushoqlik η va truba uzunligi qancha katta bo'lib, ko'ndalang kesim yuzi qancha kichik bo'lsa, gidravlik qarshilik shuncha katta bo'ladi. Gidravlik qarshilik va elektr qarshilikning o'xshashligidan ayrim hollarda parallel va ketma-ket ulangan o'tkazgichlarning qarshiliklarini aniqlash qoidasini ketma-ket va parallel ulangan trubalar sistemasining gidravlik qarshiliklarini aniqlash uchun tatbiq qilishga imkon beradi. Masalan, uchta o'zaro ketma-ket (2.4-a rasm) va parallel (2.4-b rasm) ulangan uchta trubaning umumiy qarshiliklari quyidagi formulalar yordamida topiladi:



2.4-rasm a) ketma-ket ulangan trubalarda b) parallel ulangan trubalarda gidravlik qarshilikni topish

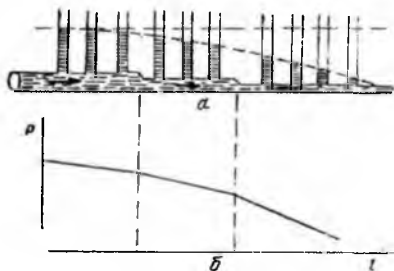
$$x = x_1 + x_2 + x_3 \quad (2.10)$$

$$X = \left(\frac{1}{X_1} + \frac{1}{X_2} + \frac{1}{X_3} \right)^{-1} \quad (2.11)$$

Puazeyl formulasiga ko'ndalang kesimlar turlicha bo'lgan trubalar uchun ham o'rinni bo'lgan yanada umumiy ko'rinish berish uchun $(P_1 - P_2)/2$ bosim gradienti

$\frac{dP}{dl}$ bilan almashtiramiz, unda (2.8) formula quyidagi ko'rinishni oladi:

$$Q = \frac{\pi R^4}{8\eta} \frac{dp}{dl} \quad (2.12)$$



2.5-rasm Ko'ndalang kesimlari turlicha bo'lgan trubalar uchun gidravlik qarshilikni topish

Qovushoq suyuqlik oqib turgan turlicha ko'ndalang kesim yuziga ega bo'lgan gorizonta rubaning turli joylariga manometrik trubkalar o'rnatamiz (2.5-a rasm).

Ular ko'ndalang kesimi o'zgaruvchan trubalar yo'nalishi bo'ylab statik bosim lga proporsional ravishda kamayib borishini ko'rsatadi $\frac{dP}{dl} = const$ bir xil bo'lgani uchun radiusi kichik bo'lgan trubalarda bosim gradienti katta bo'ladi. Bosimning

truba bo'ylab l masofaga bog'liqligining grafigi 2.5-b rasmda taqriban ko'rsatilgan.

2.3-§. QOVUSHOQ SUYUQLIK ICHIDA JISMLAR HARAKATI.

STOKS QONUNI

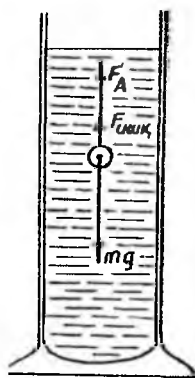
Qovushoqlik faqat suyuqliklarning idishlardagi harakatlanishidagina emas, balki jismlarning suyuqlik ichidagi harakatida ham yuzberadi. Nyuton qonuniga asosan uncha katta bo'lmagan tezliklarda qarshilik kuchi suyuqlik qovushoqligiga, jism harakat tezligiga va jism o'lchamlariga bog'liq bo'ladi. Qarshilik kuchini aniqlash umumiy formulasini ko'rsatish mumkin bo'lmagani uchun uning xususiy holini ko'rib chiqish bilan chegaralanamiz.

Jismning eng oddiy shakli sferadir. Sferik jism (sharcha) uchun uning suyuqlikli idish ichidagi harakati paytida hosil bo'lgan qarshilik kuchining yuqorida ko'rsatilgan faktorlarga bog'liqligi Stoks qonuni bilan ifodalanadi:

$$F_{ishq} = 6\pi\eta r v \quad (2.13)$$

Bu erda r -sharchaning radiusi; v -haraka tezligi. qonun idish devorlari jism harakatiga ta'sir ko'rsatmaydi, deb tasavvur qilib hosil qilinadi.

Sharchaning qovushoq muhitda tushishida unga uchta kuch ta'sir etadi (2.6-rasm):



Bu

a) Og'irlik kuchi $mg =$

;

b) Siqib chiqaruvchi kuch F_A (Arximed kuchi)

2.6-rasm Sharchaning qovushoq muhitda tushishi

$$F_A = m_{sh}g =$$

bu erda m_{sh}

shar siqib chiqargan suyuqlikning massasi, ρ_s -uning zichligi;

v) Qarshilik kuchi, u (2.13) formula yordamida hisoblanadi. Sharcha qovushoq suyuqlikka tushganda tezligi kamayadi. Qarshilik kuchi tezlikka to'g'ri proporsional bo'lgani uchun sharcha tekis harakat qilgunicha qarshilik kuchi ham kamayib boradi. Bu holda (9.6-rasm)

$$mg + F_A + F_{ishq} = 0$$

yoki kuchlar ifodalarini bu formulaga qo'yib skalyar ko'rinishda yozsak:

$$4/3\pi r^3 \rho g - 4/3\pi r^3 \rho_{sh} g - 6\pi\eta r v_0 = 0 \quad (2.14)$$

Bu erda v_0 sharchaning tekis harakat (tushish) tezligi. (9.14)dan v_0 ni topamiz:

$$v_0 = 2(\rho - \rho_{sh})r^2 g / (9\eta) \quad (2.15)$$

(2.15) formula faqat sharchaning suyuqlikdagi harakati uchungina emas, balki uning gazdagi harakati uchun ham o'z kuchini saqlab qoladi. Undan ayrim hollarda havo tarkibidagi chang zarrasining cho'kishi vaqtini hisoblashda foydalanish mumkin. Buni quyidagi misol yordamida tushuntirish mumkin. Havo uchun turli chang zarralari muallaq bo'lgan muhitda qovushoqlik $\eta = 0,000175 \text{ P}$

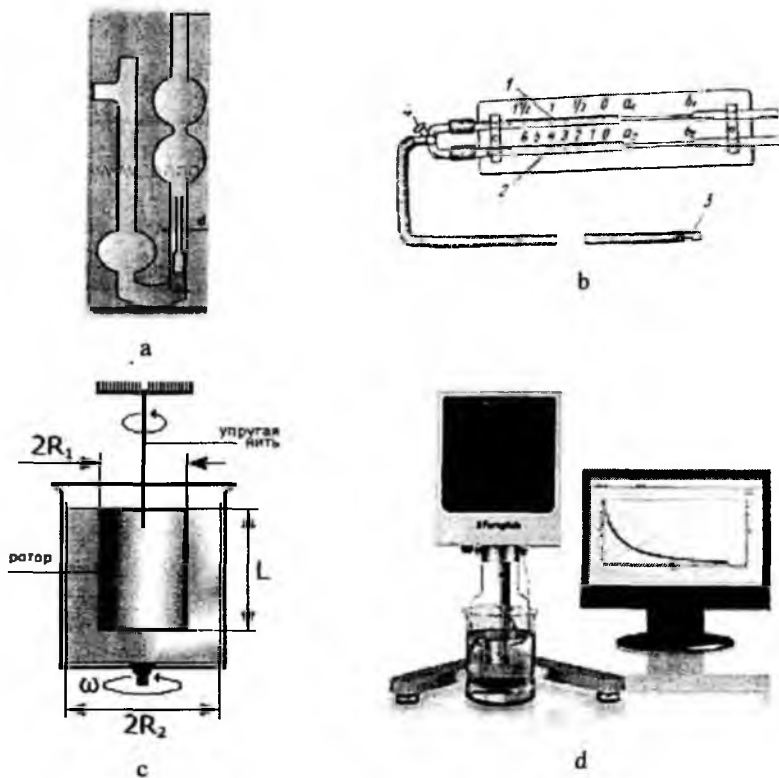
O'lgan kishilar o'pkalarida topilgan chang zarralaridan 80%ining o'lchami 5mkmdan 0,2 mkm gacha ekan. Agar chang zarralarini shar shaklida deb olib, uning zichligini tuproq zichligiga $\rho = 2,5 \text{ g/sm}^3$ teng deb, chang zarrasining tushish tezligini (2.5) formula yordamida hisoblab, uning qiymati 0,2-0,0003sm/s bo'lishini topamiz. Bunday chang zarrasi havo oqimi va Broun harakati bo'lmagan sharoitda balandligi 3m bo'lgan xona ichida to'la cho'kishi uchun 12 sutka vaqt lozim bo'lar ekan.

2.4-§. SUYUQLIK QOVUSHOQLIGINI ANIQLASH USULLARI: QONQOVUSHOQLIGINI ANIQLASHNING KLINIK USULI

Qovushoqlikni o'lchash usullari viskozimetriya deb ataladi, u maqsadlar uchun ishlatiladigan asboblarni esa viskozimetrlar, deb aytiladi.

Viskozimetriyaning bir muncha keng tarqalgan usullarini ko'rib chiqamiz. Puazeyl qonuni formulasiga asoslangan kapillyar usuli: bosim o'zgarishlarining aniq bir qiymatlarida ma'lum massali suyuqliklarning og'irlik kuchi ta'siri ostida

kapillyarning belgilangan ikki nuqtasi orasidan oqib o'tish vaqtini hisoblashdan iborat. Turli ko'rinishdagi kapillyar viskozimetrlar 2.7-rasmda o'rsatilgan (1- o'lchov rezervuarlari; M_1 va M_2 belgilari suyuqlikning rezervuarlardan shu ikki belgi orasidan oqib o'tish vaqtini hisobga olish uchun qo'yilgan; 2-kapillyarlar; 3-oqib o'tgan suyuqliklar to'planadigan idish).



2.7-rasm. a) bir kapillyarli Ostvald-Pinkevich viskozimetri, b) ikki kapillyarli Gess viskozimetri, c) rotatsion viskozimetr d) raqamli rotatsion viskozimetr

Kapillyar viskozimetrlar qonning qovushoqligini aniqlashda ishlatiladi. Kapillyar viskozimetrlar yordamida qovushoqlikning gazlarga xos bo'lgan qiymatlari 10^{-5} Pas. dan, to konsentatsiyasi yuqori moylarga xos bo'lgan 10^4 Pas.

Qiyimatli qovushoqliklar o'lanadi. Sharchaning suyuqlikda tushish usuli Stoks qonuniga asoslangan viskozimetrlarda qo'llaniladi.

(2.15) formuladan qovushoqlikni topamiz:

$$\eta = \frac{2(\rho_{sh} - \rho_s)r^2g}{9v_s}$$

Shunday qilib, bu formulaning o'ng tomonidagi kattaliklarni bilgan holda va sharchaning tushish vaqtidagi tekis harakat tezligini o'lchab, aynan shu suyuqlikning qovushoqligini aniqlash mumkin.

Viskozimetrlarning harakatlanuvchi sharchalar yordamida qovushoqligini aniqlash $6 \cdot 10^4$ -250 Pa·schegarasi oraliqlarda.

Shuningdek, rotatsion viskozimetrlar ham qo'llaniladi, bunday viskozimetrlarda suyuqlik bir o'qda mahkamlangan ikki jism oralig'ida, masalan, silindrlar orasida bo'ladi (2.7-c rasm). Silindrlardan bittasi (rotor) aylanadi. Ikkinchisi esa qo'zg'almas. Qovushoqlik qo'zg'almas silindrda ma'lum bir kuch momentini hosil qilayotgan aylanuvchan silindrning (rotorning) burchak tezligi yoki rotor burchak tezligining berilgan aniq qiymatida hosil bo'lgan kuch momentini qo'zg'almas silindrga ko'rsatadigan ta'siriga qarab o'lanadi.

Rotatsion viskozimetrlar yordamida suyuqliklarning $1 \cdot 10^5$ Pas oraliqlardagi qovushoqligi o'lanadi, ya'ni surkov moylarining, eritilgan silikatlar va metallarning, katta qovushoqlik lak va yelimlarning, loy-tuproqli qorishmalar vahokazolarning qovushoqliklari aniqlanadi.

Rotatsion viskozimetrlar rotoriga turlicha kattalikdagi burchak tezliklar berib, tezlik gradientini o'zgartirish mumkin. Bu hol turli xil tezlik gradientlarida qovushoqlikni aniqlashga va nonyuton suyuqliklarga xos bo'lgan $\eta = f(dv/dx)$ bog'lanishni aniqlashga imkon beradi.

Hozirgi paytda klinikalarda qonning qovushoqligini aniqlashda ikkita kapillyarli Gess viskozimetridan foydalaniladi. Uning tuzilish sxemasi 2.7-b rasmda berilgan. Ikkita bir xil $a_1 b_1$ va $a_2 b_2$ kapillyarlar, ikkita 1 va 2 trubalar bilan tutashtirilgan. Kran 4 ni ochib rezina nay 3 orqali nok yoki og'iz yordamida $a_1 b_1$ kapillyar va 1 truba bo'ylab distillangan suvni 0 belgigacha so'rib keltiriladi va

kran 4 berkitiladi. a_2 b_2 Ikkinchi Kapillyar 2 trubada ham tekshiriladigan qonni 0 belgigacha keltiriladi, kranni ochib truba 3orqali trubadagi qon darajalangan 1 belgisiga kelguncha unda ikkinchi trubadagi suv boshqa belgigacha ko'tariladi. Suvni va qonni kapillyar bo'ylab oqish sharoiti bir xil, lekin ularning qovushoqligi turlicha bo'lgani sababli 1 va 2 trubalardagi suv va qonning hajmi turlicha bo'ladi. Qon nonyuton suyuqlik bo'lsada, lekin taqribiy ravishda Puazeyl formulasi (2.8) ni qo'llab quyidagi ko'rinishli proportsiyani yozami:

$$Q_s / Q_q = \eta_q / \eta_s \quad (2.16)$$

Suyuqlikning tekis oqish vaqtidagi umumiy hajmi V bilan $V=Q/t$ formula orqali bog'langan, bu erda t-vaqt, Q ni (2.16) ga qo'yib quyidagi tenglamani hosil qilamiz:

$$V_s / V_q = \eta_q / \eta_s$$

Bu erda qonning 2-trubadagi 0 dan 1 belgisigacha bo'lgan hajmi; V_s suvning 1 trubadagi 0 belgidan o'lchash tufayli suv egallagan belgigacha bo'lgan oraliqdagi hajmi; η_q va η_s mos holda qon va suvning qovushoqligi. Qon qovushoqligining aynan shu haroratdagi suvning qovushoqligiga nisbatiqonning nisbiy qovushoqligi deyiladi.

Gess viskozimetrida qonning hajmi doimo bir xil olinib, suvning hajmi esa trubadagi uning egallagan belgisi son qiymatiga qarab topiladi, shu sababli bu usulda qonning suvga nisbatan qovushoqligi o'lchanadi. Hisoblash qulay bo'lsin uchun 1-va2-trubalarning ko'ndalang kesimi yuzi turli xil qilib yasaladi, bunda qon va suvning trubadagi hajmi turli xil bo'lsa-da, bular bir xil sathni egallaydi.

Odam qonining qovushoqligi normada 4-5 mPa·s, patologiyada esa 1,7 dan 22,9 mPa·s gacha o'zgarib turib, eritrotsitlarning cho'kish tezligiga (SOE) ta'sir ko'rsatadi. Venalardagi qonning qovushoqligi arteriyadagi qon qovushoqligidan birmuncha katta bo'ladi. Og'ir jismoniy mehnat natijasida qonning qovushoqligi ortadi. Ayrim yuqumli kasalliklar qon qovushoqligini oshiradi, boshqalari esa, masalan, ichterlama va sil kasalligi kamaytiradi.

2.5-§. LAMINAR VA TURBULENT OQIMLAR. REYNOLDS SONI

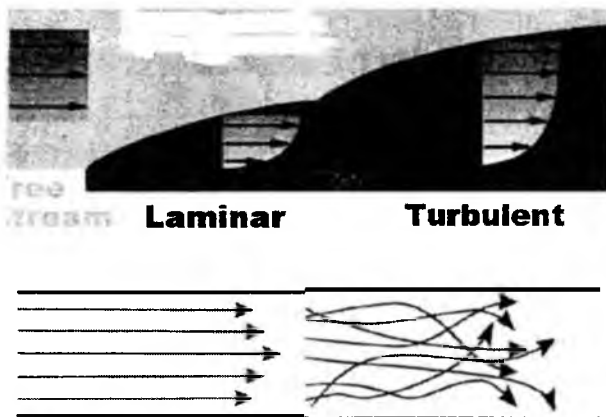
Suyuqliklarning yuqorida ko'rib o'tilgan oqimi qatlamli yoki laminar oqimdir. Qovushoq suyuqlikning oqish tezligi oshirilsa, truba ko'ndalang kesimi yuzi bo'yicha bosim turlicha bo'lgani sababli uyurma hosil bo'la boshlaydi, bunda oqim uyurmali yoki turbulent bo'lib qoladi. Turbulent oqimda zarrachalar tezligi turli joyda turlicha bo'lib, uzluksiz va xaotik o'zgarib turadi, harakat esa nostatsionar bo'ladi.

Suyuqliklarning truba bo'ylab oqishi suyuqlikning xossalariga, uning oqish tezligiga, trubalarning o'lchamiga bog'liq bo'lib, Reynolds soni bilan aniqlanadi:

$$Re = \rho_s v D / \eta$$

Bu erda ρ_s -suyuqlikning zichligi; D -trubaning diametri.

Agar Reynolds soni biror kritik qiymatdan katta bo'lsa ($Re > Re_{kr}$) unda suyuqlik harakati turbulent bo'ladi. Masalan, silliq devorli silindrik trubalarda $Re_{kr} \approx 2300$



2.8-rasm. Laminar va turbulent oqimlarni sxematik tasvirlanishi.

Reynolds soni suyuqlikning qovushoqligiga va zichligiga bog'liq bo'lgani sababli ularning kinematik qovushoqlik deb ataladigan nisbatlarini kiritish qulaydir: $v = \eta / \rho_s$

Bu tushunchadan foydalangan holda Reyngolds sonini quyidagi ko‘rinishda ifodalash mumkin:

$$Re = \rho D / \nu \quad (2.17)$$

Kinematik qovushoqlik birligi sekundiga kvadrat metr (m^2/s) SGS sistemasida Stoks (St); ular orasidagi bog‘lanish: $1St = 10^{-4} m^2/s$

Suyuqlik yoki gazlar oquvchanligiga ichki ishqalanish kuchlarining ta‘sir xarakterini kinematik qovushoqlik dinamik qovushoqlikka nisbatan to‘laroq hisobga oladi. Masalan, suvning qovushoqligi havonikidan taxminan 100 marta katta, lekin suvning kinematik qovushoqligi havonikidan 10 marta kichik, shu sababli qovushoqlik havoning oqimiga suvga qaraganda ko‘proq ta‘sir ko‘rsatar ekan.

(2.17) dan ko‘rinadiki, suyuqlik yoki gazning oquvchanligi ahamiyatga olarli darajada trubalarning o‘lchamiga bog‘liq. Keng trubalarda uncha katta bo‘lmagan tezliklarda ham turbulent oqim yuz berishi mumkin. Masalan, $16^{\circ}C$ haroratda diametri 2mm bo‘lgan trubada suvning oqish tezligi 127sm/s.dan ortiqroq bo‘lganda, 2 sm. Diametrli trubada esa tezlik taxminan 12 sm/s. bo‘lgandayoq turbulent oqim vujudga keladi. Bunday o‘lchamli trubalarda qonning oqishi tezligi 50sm/s. bo‘lgandayoq turbulent oqim yuz berishi lozim edi, lekin amalda 2sm diametrli trubada turbulent oqim ancha kichik tezliklardayoq yuz beradi.

Arteriyalarda qon oqishi normal holda laminar oqim bo‘lib, klapanlar yaqinida esa biroz turbulent oqim vujudga keladi. Patologiyada qonning qovushoqligi normadan kichik bo‘lganda Reynolds soni kritik qiymatidan oshib ketadi va harakat turbulent bo‘lib qoladi.

Turbulent oqim suyuqlikning oqishida qo‘shimcha energiya sarf bo‘lishiga olib keladi, qonning bunday oqishida esa yurakning qo‘shimcha ish bajarishga olib keladi. Qonning turbulent oqim paytida hosil bo‘lgan shovqin esa kasalliklarni diagnostika qilish maqsadlarida ishlatilishi mumkin. Bunday shovqinlar yelka arteriyalari qon bosimini o‘lchab ko‘rishda eshitiladi. Havoning burun bo‘shlig‘ida normadagi oqim laminar bo‘ladi. Lekin yallig‘lanish yoki normadan qandaydir

boshqa chetlanishlar yuz berganida havoning oqimi turbulent bo'lib, nafas olish sistemasi muskullarining qo'shimcha ish bajarishiga olib keladi.

Reynolds soni o'xshashlik kriteriyidir. Hidro va aerodinamik sistemalarning, xususan, qon aylanish sistemalarini modellashtirishda Reynolds soni model uchun ham asl nusxanikidek bo'lishi shart, aks holda ular orasida moslik bo'lmaydi. Bu suyuqlik yoki gazlarning o'zida harakat qilayotgan jism atrofini aylanib o'tishini modellashtirishga ham taalluqlidir. (2.17) tenglamadan ko'rinib turibdiki, model o'lchamlarining asl nusxa o'lchamlariga nisbatan kamaytirilishi, gaz yoki suyuqlik modeli oqim tezligini oshirish yoki kinematik qovushoqligini kamaytirish bilan kompensatsiyalanishi lozim.

2.6-§. SUYUQLIKLAR MOLEKULYAR TUZILISHINING XUSUSIYATLARI

Oddiy suyuqliklar izotropdir, tuzilishi jihatidan esa ular amor jismlar hisoblanadi. Suyuqliklarning ichki tuzilishlari eng yaqin joylashishlari (o'zaro yaqin zarrachalarning bir-biriga nisbatan tartibli joylashishlari) bilan xarakterlanadi. Molekulalar orasidagi masofalarning kichik bo'lishi, lekin o'zaro ta'sir kuchlarining kattaligi, suyuqliklarning juda kichik siqiluvchanligiga olib keladi: suyuqliklar orasidagi masofani oz miqdorda kamaytirish, molekulalar orasida o'zaro katta itarish kuchlarini yuzaga keltiradi.

Suyuqliklar qattiq jismlarga o'xshab juda oz siqiluvchanlikka va katta zichlikka ega; ular gazlar kabi, o'zi turgan idish shaklini oladi. Suyuqliklar xossalari bunday xarakterda bo'lishi ularni tashkil etgan molekulalarning issiqlik harakati bilan bog'liqdir. Gazlarda molekulalar juda kichik kesma oralig'idagina to'g'ri chiziqli, qolgan paytda esa tartibsiz harakatda bo'lib, ularning joylashishlarida esa qat'iyon bir tartib bo'lmaydi. Kristall jismlarda zarrachalar ma'lum bir muvozanat holati atrofida, ya'ni kristall panjara tugunlari atrofida tebranib turadi. Ya.I.Franklin nazariyasi bo'yicha suyuqlik molekulalari qattiq jism molekulalari kabi muvozanat vaziyati atrofida tebranadi, ammo bu muvozanat vaziyati doimiy bo'lmaydi. Biror "o'troq yashash vaqti" deb atalgan vaqt

o'tgandan so'ng qo'shni molekular orasidagi masofalari o'rtachasiga teng bo'lgan masofaga sakrab o'tib, boshqa muvozanat nuqtasi atrofida tebranadi. Suyuqlikdagi molekular orasidagi masofani hisoblaylik.

$$\delta^3 = \frac{1}{n} \text{ bo'lgani sababli bu erda } n = N_A \cdot \rho / M \text{ suyuqlik molekularning}$$

konentratsiyasi u holda

$$\delta = 1/\sqrt[3]{n} = \sqrt[3]{M/(N_A \rho)} \quad (2.18)$$

δ ning son qiymati 10^{-10} m. ni tashkil etadi; masalan, suv uchun $\delta \approx 3 \cdot 10^{-10}$ m.

Molekularning "o'troq yashash vaqti" τ_0 ni o'rtacha relaksatsiya vaqti deb aytiladi. Haroratni oshirish va bosimni kamaytirish relaksatsiya vaqtining juda ko'p marta kamayishiga olib keladi, bu esa molekular harakatchanligining oshganligidan va qovushoqlikning kamayganidan dalolat beradi.

Suyuqlik molekulari bir muvozanat holatidan boshqasiga sakrab o'tishi uchun bu molekulani o'rab turgan boshqa molekulari bilan bog'lanishlar uzilishi va boshqa yangi qo'shni molekular bilan o'zaro bog'lanishlar uzilish jarayoni yangi molekulyar bog'lanishlar paydo bo'lishida ajralib chiqadigan E_a energiya (aktivatsiya energiyasi) sarf qilishni talab qiladi. Molekularning bir muvozanat holatidan boshqasiga bunday o'tishi balandligi E_a bo'lgan potentsial to'siq orqali o'tish hisoblanadi. Molekular potentsial to'siq orqali o'tishi uchun lozim bo'lgan energiyani qo'shni molekular issiqlik harakati energiyasidan oladi. Relaksatsiya vaqtini suyuqlik temperaturasiga va aktivatsiya energiyasiga bog'liqligini Boltsman taqsimoti qonunidan kelib chiqadigan formula yordamida ifodalash mumkin:

$$\tau = \tau_0 e^{E_a/(kT)} \quad (2.19)$$

Bu erda τ_0 molekular muvozanat vaziyatlari atrofida o'rtacha tebranishlari davri.

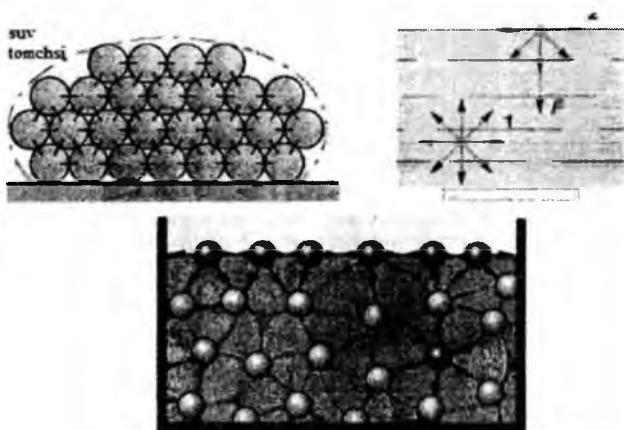
O'rtacha ko'chish masofasi δ va o'rtacha vaqt τ ni bilgan holda molekularning suyuqlikdagi o'rtacha harakat tezliklarini aniqlash mumkin:

$$\langle v \rangle = \delta / \tau = (\delta / \tau_0) e^{-E_a/(kT)} \quad (2.20)$$

Bu tezlik gaz molekularining o'rtacha tezligiga nisbatan kichikdir. Masalan, suv molekulari uchun v xuddi shunday haroratdagi bug' molekulariga nisbatan 20 marta kichikdir.

2.7-§. SIRT TARANGLIK

Suyuqlik va uning to'yingan bug'i, bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuqlik, suyuqlik va qattiq jismning bo'linish sirtida chegaradosh muhitlardagi turli xildagi molekulararo o'zaro ta'sir tufayli kuchlar vujudga keladi.



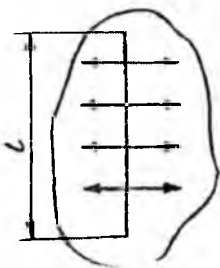
2.9 rasm. Molekulararo paydo bo'lgan o'zaro ta'sir kuchi

Suyuqlik ichida joylashgan har bir molekula atrofida teng miqdordagi molekular o'rab olgan va ular bir-biri bilan o'zaro ta'sirlashadi, lekin bu kuchlarning teng ta'sir etuvchisi nolga teng. Ikki muhit chegarasi yaqinida oylashgan molekulaga uni o'rab olgan muhit bir jinsli bo'lmagan sababli suyuqlikning boshqa molekulari bilan kompensatsiyalanmagan kuch ta'sir qiladi. Shu sababli suyuqlik hajmidan molekulani suyuqlik sirt qalamiga chiqarish uchun ish bajarish lozim. Temperatura o'zgarmaganda biror suyuqlik sirt qatlamini hosil qilish uchun sarflangan ishning shu sirt yuziga nisbati bilan aniqlanadigan kattalikka sirt taranglik deyiladi:

$$\sigma = A/S \quad (2.21)$$

Suyuqliklarning turg'un muvozanatda bo'lish sharti sirt qatlamining minimal energiyaga ega bo'lishidir, shu sababli tashqi ta'sir kuchlari bo'lmaganda, yoki vaznsizlik holatida mazkur hajmdagi suyuqlik minimal sirt yuzini olishga harakat qilib, sharshaklini egallaydi.

Sirt taranglik faqat energetik nuqtai nazardan aniqlanmaydi. Suyuqliklar sirt yuzalarining qisqarishga harakat qilishi bu sirt qatlamida shu sirtga urinma bo'lib yo'nalgan kuch-sirt taranglik kuchlari mavjudligini ko'rsatadi. Agar suyuqlik sirtida biror l uzunlikda kesma tanlab olsak (2.10-rasm), unda bu sirt kuchlarini shu kesmaga perpendikulyar yo'nalgan strelkalar yordamida ifodalash mumkin.



Sirt taranglik kuchining shu kuchlar ta'sir etayotgan kesma uzunligiga nisbati sirt tarangligiga teng:

2.10-rasm Sirt taranglik kuchini hosil bolishi

$$\sigma = F / l \quad (2.22)$$

Maktab fizika kursidan ma'lumki, ikkala (2.21) va (2.22) ta'riflar aynan bir xildir. Ba'zi suyuqliklar sirt tarangligining 20°C haroratdagi qiymatlarini keltiramiz (2.1-jadval).

Sirt tarangligi haroratga bog'liq. Kritik haroratdan uzoqda, uning qiymati harorat ortishi bilan chiziqli ravishda kamayib boradi. Sirt taranglik kuchining kamayishi suyuqlikka sirt qatlami energiyasini kamaytiruvchi sirt aktiv moddalar qo'shish bilan amalga oshiriladi.

2.1-jadval

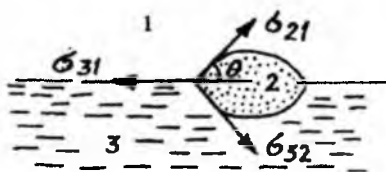
Suyuqlikturi	$\sigma, \text{H/m}$	Suyuqlikturi	$\sigma, \text{H/m}$
Suv	0,0725	Simob	0,47
O'tsuyuqligi	0,048	Spirt	0,022
Sut	0,05	Qonzardobi	0,06
Siydik	0,066	Efir	0,017

2.8-§. HO‘LLASH VA HO‘LLAMASLIK KAPILLYAR HODISALAR

Turli xil muhitlarning bir-biriga tegib turish chegarasida ho‘llash va ho‘llamaslik hodisasi kuzatilishi mumkin.

Suyuqlik tomchisining u bilan aralashmaydigan suyuqlik sirtida (2.11-rasm) va tomchining qattiq jism sirtida o‘zini qanday tutishini ko‘rib o‘taylik (2.11 va 2.12-rasm). Har ikki muhitning ajralib turish chegarasi (1 va 3.2 va 1.3 va 2) sirt taranglik kuchlari ta’sir etadi. a) Agar bu kuchlarni tomchi aylanasini uzunligiga bo‘lsak, mos holda σ_{13} , σ_{21} , σ_{32} ni hosil qilamiz.

Ho‘llanuvchi sirt bilan suyuqlik sirtiga o‘tkazilgan urinma orasidagi θ burchak chegaraviy (chetki) burchak deyiladi.



2.11-rasm Suyuqlik tomchisining u bilan aralashmaydigan suyuqlik sirtida

va gaz molekularining o‘zaro ta’sir kuchlariga nisbatan katta bo‘lsa, unda

$\theta < \frac{\pi}{2}$ —va suyuqlik qattiq jism sirtini ho‘llaydi va bu holda qattiq jismning sirti

gidrofil deyiladi. Agar $\sigma_{32} > \sigma_{31}$ bo‘lsa (2.11-rasm), unda $\theta > \frac{\pi}{2}$ suyuqlik jism sirtini

ho‘llanmaydi, bu holda jism sirtini **gidrofob** deb aytiladi. Ho‘llanmaydigan

suyuqlik qattiq jismdagi juda kichik teshiklaridan oqib o‘tol maydi. $\sigma_{32} - \sigma_{13} = \sigma_{21}$

bo‘lganda molekulararo o‘zaro ta’sirlar bir-birini to‘la kompensatsiyalaydi ($\theta=0$).

Bu holda muvozanat yuzaga kela olmaydi va tomchi qattiq jism sirti bo‘ylab uning

butun sirtini qoplaguncha yoki monomolekulyar qatlam hosil qilguncha yoyilib

boradi. Bu hol **ideal ho‘llash** deyiladi. Bunday ho‘llovchi suyuqliklarga yaqinroq

bo‘lgan spirt yoki suvning toza oyna sirtida yoyilishi, neftning suv sirtida

yoyilishlarini va hokazolarni misol qilib olish mumkin.

Ho‘llash o‘lchovi sifatida quyidagi kattalik qabul qilinadi:

$$= \frac{(\sigma_{32} - \sigma_{13})}{\sigma_{21}} \quad (2.23)$$

Agar $\sigma_{32} > \sigma_{31}$ bo‘lsa (9.10-rasm), ya’ni suyuqlik va qattiq jism molekulari orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlari qattiq jism

orasidagi o‘zaro ta’sir kuchlariga nisbatan katta bo‘lsa, unda

$\theta < \frac{\pi}{2}$ —va suyuqlik qattiq jism sirtini ho‘llaydi va bu holda qattiq jismning sirti

ho‘llanmaydi, bu holda jism sirtini **gidrofob** deb aytiladi. Ho‘llanmaydigan

suyuqlik qattiq jismdagi juda kichik teshiklaridan oqib o‘tol maydi. $\sigma_{32} - \sigma_{13} = \sigma_{21}$

bo‘lganda molekulararo o‘zaro ta’sirlar bir-birini to‘la kompensatsiyalaydi ($\theta=0$).

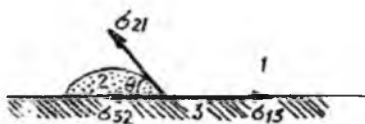
Bu holda muvozanat yuzaga kela olmaydi va tomchi qattiq jism sirti bo‘ylab uning

butun sirtini qoplaguncha yoki monomolekulyar qatlam hosil qilguncha yoyilib

boradi. Bu hol **ideal ho‘llash** deyiladi. Bunday ho‘llovchi suyuqliklarga yaqinroq

bo‘lgan spirt yoki suvning toza oyna sirtida yoyilishi, neftning suv sirtida

yoyilishlarini va hokazolarni misol qilib olish mumkin.



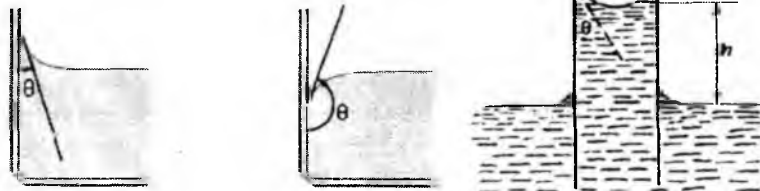
2.11-rasm ho'lovchi suyuqlik qattiq jism sirti bilan ta'sirlashishi



2.12-rasm ho'llanmaydigan suyuqliklar qattiq jism sirti bilan ta'sirlashishi

Sirt taranglik kuchlari ta'sirida suyuqlik sirti egrilangan bo'lib, bu sirt tashqi bosimga nisbatan yana qo'shimcha Δp bosim beradi. Sirtki qatlam elastik qatlamga, masalan, rezina plyonkaga o'xshaydi. Egrilangan sirtning sirt taranglik kuchlarining natijalovchisi botiqlik tomon (egrilik markaziga) yo'nalgan. Egirilik radiusi r bo'lgan sferik sirt hamda qo'shimcha bosim quyidagi formuladan topiladi:

$$\Delta p = 2\sigma/r \quad (2.24)$$



2.13-rasm. Ho'llash va ho'llamaslikda meniskning hosil bo'lishi

Suyuqlikning ingichka nay (kapilyar) devor sirtini ho'llash va ho'llamasligiga qarab turlicha ko'rinishda egrilangan sirtlar (menisklar) hosil bo'ladi. Ho'llashda kapilyarda botiq menisk hosil bo'ladi (2.13-rasm). Yuqorida aytilganidek, bosim kuchlari suyuqlik sirtidan tashqi tomonga, ya'ni yuqoriga yo'nalgan bo'lib, bu kuch ta'sirida suyuqlik kapilyar nay bo'ylab yuqoriga ko'tariladi. Bu ko'tarilish h badandlikdagi suyuqlik ustuni hosil qilgan bosim ρgh qo'shimcha bosim Δp bilan muvozanatlashganda yuz beradi.

2.13-rasmdan $r=R/\cos\theta$ ekani ko‘rinib turibdi, bu erda R kapillyar radiusi.

Shu sababli

$$\Delta p = 2\sigma \cos\theta / R \quad (2.25)$$

ni hosil qilamiz. U holda

$$\rho gh = 2\sigma \cos\theta / R$$

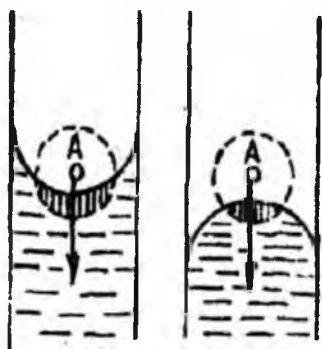
Bu erdan suyuqlikning kapillyar bo‘ylab ko‘tarilish balandligi

$$h = 2\sigma \cos\theta / (R\rho g) \quad (2.26)$$

bo‘lib, suyuqlikning xossalriga, kapillyarning qanday moddadan yasalganiga va kapillyarning radiusiga bog‘liq.

Agar suyuqlik kapillyar devorini ho‘llamasa $\cos\theta < 0$ va (2.26) formula suyuqlikning kapillyarda idishdagi suyuqlik sirtiga nisbatan qanchalik pastga tushganini ko‘rsatadi.

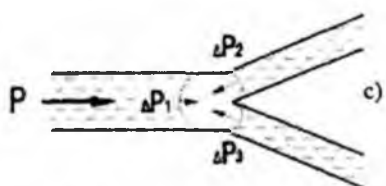
Kapillyar hodisalar bug‘larning kondensatsiyalanishi, suyuqliklarning qaynashi, kristallanish sharoitlari va hokazolarni belgilaydi. Masalan, suyuqlikning botiq meniski ustidagi bug‘ molekulasiga (2.14-rasmdagi A nuqta) qabariq menisk ustidagi molekulaga qaraganda suyuqlikning ko‘proq molekulari katta kuch bilan ta‘sir ko‘rsatadi. 2.14-rasmda molekulalarning ta‘sir qilish sferasi shartli ravishda punktir chiziq bilan, molekulalari tanlangan bug‘ molekularini tortuvchi suyuqlik hajmlari shtrix chiziq bilan ko‘rsatilgan. Buning oqibatida ingichka ho‘llanuvchi naylarda nisbatan kichik namliklarda ham kapillyar kondensatsiya yuz beradi. Shu tufayli g‘ovak moddalar bug‘ tarkibidagi deyarli ko‘p miqdoradagi suvni ushlab qoladi, bu esa zax uylarda ichkiyimlarning, paxtaning namlanishiga olib keladi, gigroskopikj ismlarning esa quritilishini qiyinlashtiradi, tuproqda namlikni saqlashga imkoniyat yaratadi va hokazo. Ho‘llamaydigan suyuqliklarda esa aksincha, g‘ovak jismlarga suyuqlik o‘ta olmaydi. Masalan, yog‘ bilan moylangan qush patlarining suv yuqtirmasligi shunga asoslangan.



2.14 rasm Botiq va qavariq menisklar

$$\Delta P_1 = \frac{2\sigma}{R_1} \quad R_2 = \Delta P_2 \quad \text{a)}$$

$$P \rightarrow \Delta P_1 = \frac{2\sigma}{R_1} \quad \frac{2\sigma}{R_2} \quad \Delta P_2 \quad \text{b)}$$



2.15 rasm. Gaz emboliyasini hosil bo'lishi

Suyuqlikli kapillyar nayda havo pufakchalarining holatini ko'rib chiqaylik. Agar havo pufakchasining turli tomonida suyuqlik bir xilda ta'sir ko'rsatayotgan bo'lsa, havo pufakchasi ikkala tomoni ham bir xil egrilik radiusiga ega bo'ladi (2.15-a rasm). Agar pufakchaga tomonlardan biri ortiqroq bosim bilan ta'sir etsa, masalan, suyuqlik harakatida menisklar deformatsiyalanadi va ularning egrilik radiuslari o'zgaradi (2.15-b rasm), havo pufakchasining turli tomonidagi qo'shimcha ΔP bosim esa bir-biridan farq qiladi. Bu hol havo pufakchalari tomonidan suyuqlikka shunday kuch ta'sir etishi natijasida suyuqlikni kapillyar naydagi harakat tezligi kamayadi yoki butunlay to'xtab qoladi.

Bunday hodisalar odamning qon aylanish sistemasida ham yuz berishi mumkin (2.15-c rasm).

Qonga kirib qolgan havo pufakchalari kichik qon tomirlarini to'sib qolishi va birorta organning qon bilan ta'minlanishidan mahrum etishi mumkin. Gazemboliyasi deb ataladigan bu hodisa natijada jiddiy funksional shikastlanishga,

hatto o'limga olib kelishi mumkin. Gaz emboliyasi yirik venalar jarohatlanganda hosil bo'lishi mumkin; bunda qon oqimiga kirib qolgan havo pufakchasi qonning harakatlanishiga to'sqinlik qiladi. Venatomirlari 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 kabinalari va skafandralarining germetikligi ishdan chiqishida gaz emboliyasi yuz berishi mumkin. Bu hol qon tarkibidagi suyultirigan 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 yetakchi rolni o'ynaydi, chunki u organizm va uni o'rab olgan havo bilan gaz almashinuvi jarayonida ishtirok etmaydi.

3-BOB. GEMODINAMIKA. YURAK FAOLIYATINING

FIZIKAVIY ASOSLARI

Biomexikaning tomirlar sistemasidagi qon harakatini o'rganuvchi bo'limiga gemodinamika deyiladi. Gemodinamikaning fizik asosi gidrodinamikadir. Qonning harakati qonga ham qon tashuvchi tomirlarning xossalari ham bog'liq. Ushbu bobda qon aylanishi tufayli qo'llaniladigan ayrim texnik qurilmalari ishining fizika soslari ko'rib o'tiladi.

3.1-§. QON AYLANISHI MODELLARI

O.Frank taklif etgan qon yuradigan tomirlar sistemasining gidrodinamik modelini ko'ri bo'tamiz. Bu model yetarlicha oddiy bo'lishiga qaramasdan, qonning zarb hajmi (bitta sistola davomida yurak qorinchasi tomonidan otib chiqarilayotgan qonning hajmi) bilan, qon aylanish sistemasi markazidan uzoqda joylashgan qismlarining gidravlik X_0 qarshiligi va arteriyalardagi bosimning o'zgarishlari orasidagi bog'lanishni amalga oshirishga imkon beradi. Qon aylanish sistemasi arterial qismi elastik rezervuar kabi modellashtiriladi (3.1-rasm).

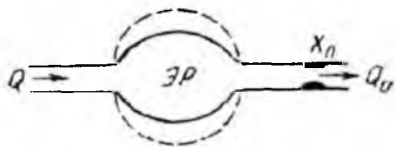
Qon elastik rezervuarda bo'lgani sababli uning ixtiyoriy vaqtdagi hajmi p bosimga quyidagi munosabat orqali bog'langan:

$$V=V_0+kp \quad (3.1)$$

bu erda k -rezervuarining elastikligi (hajmi bilan bosim orasidagi proportsionallik koeffitsienti); V_0 -rezervuarining bosim bo'lmagandagi ($p=0$) hajmi. (3.1) ni differentsiallab, quyidagi formulani hosil qilamiz:

$$\frac{dV}{dt} = k \frac{dp}{dt} \quad (3.2)$$

Qon yurakdagi elastik rezervuarga (arteriyaga) kiradi, qon oqishining hajmiy tezligi Q ga teng. Qon elastik



3.1-rasm Qon aylanish sistemasining elastik rezervuar kabi modellashtirilishi

rezervuardan, chetki qismlarga (arteriolalar, kapillyarlarga) Q_0 hajmiy tezlik bilan oqib chiqadi. Faraz qilaylik, chetki sistemalarning gidravlik qarshiligi o'zgarmas

bo'lsin. Bu elastik rezervuarining chiqish qismiga mahkamlangan "qattiq" naycha qo'yish orqali modellashtiriladi (3.1-rasm).

Yurakdan oqib chiqayotgan qonning hajmiy tezligi elastik rezervuar hajmining ortishi tezligiga va elastik rezervuardan oqib chiqayotgan qonning tezligiga tengligini ko'rsatuvchi yetarlicha aniqlikka ega bo'lgan tenglamani tuzish mumkin (3.1-rasm);

$$Q = \frac{dV}{dt} + Q_0 \quad (3.3)$$

(2.8) Puazeyl tenglamasi va (2.9) formulaga asosan qon aylanish sistemasining chetki qismlari uchun quyidagi formulani yozish mumkin:

$$Q_0 = \frac{P - P_v}{X_0} \quad (3.4)$$

Bu erda p -elastik rezervuardagi bosim; p_v -venaga oid bosim, uni nolga teng deb olish mumkin, u holda (3.4) o'rniga quyidagiga ega bo'lamiz:

$$Q_0 = \frac{P}{X_0} \quad (3.5)$$

(3.2) va (3.5) ni (3.3) ga qo'ysak,

$$Q = k \frac{dp}{dt} + \frac{P}{X_0}, \text{ yoki} \quad (3.6)$$

$$Q dt = k dp + \frac{P}{X_0} dt$$

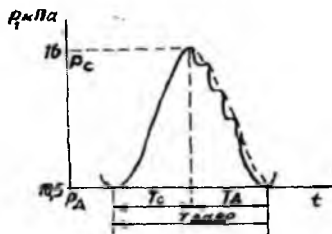
ni hosil qilamiz va (3.6) ni integrallaymiz. Integrallash chegarasi vaqt bo'yicha pulsning davri (yurakning qisqarish davri) ga mos bo'lib, 0 dan toki T_D gacha bo'ladi. Ushbu vaqtinchalik chegaralarga bir xil bosimlar mos keladi eng kichik diastolik bosim P_d :

$$\int_0^{T_D} Q dt = k \int_{P_D}^{P_D} dp = \frac{1}{X_0} \int_0^{T_D} p dt \quad (3.7)$$

Chegaralari bir xil bo'lgan integral nolga teng bo'lgani sababli (3.7) dan quyidagi tenglama hosil bo'ladi:

$$\int_0^{T_D} Q dt = \frac{1}{X_0} \int_0^{T_D} p dt \quad (3.8)$$

Uyqu arteriyasidagi bosimning vaqtga bog'liq holda o'zgarishini ko'rsatuvchi tajriba asosida olingan egri chiziq 3.2-rasmda ko'rsatilgan (tutash chiziq). Rasmda pulsning davri, sistelaning T_s , diastolaning T_d davomiyligi va P_c maksimal sistolik bosim ko'rsatilgan.



(3.8) tenglamaning chap qismidagi integral yurakning bir marta qisqarishi davomida undan siqib chiqarilgan qonning hajmi zarb hajmiga teng bo'lib, u tajriba asosida topilishi mumkin (3.8) tenglamaning o'ng qismidagi integral egri chiziq va vaqt o'qi bilan chegaralangan (3.2-rasm) figuraning yuziga mos kelishini ham aniqlash mumkin. Integrallarning ko'rsatilgan qiymatlaridan foydalanib, (3.8) formula asosida qon aylanish sistemasi chetki qismlaridagi gidravlik qarshilikni hisoblash mumkin.

Sistola (yurakning qisqarishi) vaqtida elastik rezervuarning kengayishi, sistoladan so'nggi diastola vaqtida esa qonning chekka qismlarga oqib chiqishi yuz beradi, $Q=0$. Bu davr uchun (11.6) dan quyidagiga ega bo'lamiz:

$$0 = kdp + \frac{p}{X_0} dt \text{ yoki } \frac{dp}{p} = -\frac{dt}{kX_0} \quad (3.9)$$

(3.9) ni integrallab, rezervuarda sistoladan so'nggi bosimning vaqtga bog'liqligini ifodalovchi formulani hosil qilamiz:

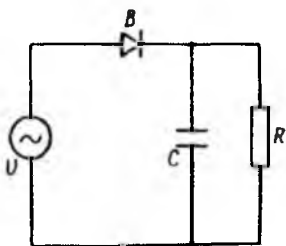
$$p = p_d e^{-\frac{t}{kX_0}} \quad (3.10)$$

Bunga mos bo'lgan egri chiziq 3.2-rasmda shtrix chiziq ko'rinishida tasvirlangan. (3.5) formula asosida qonning oqib chiqish tezligining vaqtga bog'liqligini topamiz:

$$Q = Q_s e^{-t/(kX_0)} \quad (3.11)$$

Bunda $Q_s = P_s / X_0$ —sistola oxirida (diastola boshida) elastik rezervuardan oqib chiqayotgan qon harakatining hajmiy tezligi.

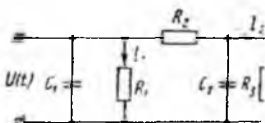
(3.10) va (3.11) formulalardagi bog‘lanishlarni ifodalovchi egri chiziqlar eksponentalardan iborat. Ushbu model real hodisani qo‘pol darajada tavsiflasa-da, u diastola oxiridan jarayonni haddan tashqari sodda va ishonchli ko‘rinishda aks ettiradi. Lekin shu bilan birga bu model yordamida diastola boshidagi bosimning o‘zgarishini tasvirlab bo‘lmaydi. Mexanik model asosida unga o‘xshash bo‘lgan qon aylanish sistemasining elektrik modelini qo‘yish mumkin (3.3-rasm).



3.3-rasm Qon aylanish sistemasining elektrik modeli



3.4 rasm Roston modeli



3.5 rasm. Roston modelining elektrik sxemasi

Bu yerda sinusoidal bo‘lmagan elektr kuchlanishni beruvchi U manba, yurakka o‘xshash, to‘g‘rilagich B —yurak klapani vazifasini bajaradi. Kondensator C yarim davrga teng bo‘lgan vaqt davomida zaryadni to‘plab, so‘ng rezistor R orqali zaryadsizlanadi va shu yo‘sinda rezistor orqali oqib o‘tayotgan tok kuchi silliqiladi. Kondensatorning ish faoliyati elastik rezervuar (aortalar, arteriyalar) nikiga o‘xshash bo‘lib, arteriolalarda va kapillyarlarda qon bosimi o‘zgarib turishlarini silliqilash vazifasini bajaradi. Rezistor esa chetki qon tomirlari sistemasining elektrik analogiyasi hisoblanadi.

Tomirlar yo‘li fazoda taqsimlangan sistema hisoblanadi degan faktni hisobga olish uchun qon tomirlari yo‘lining yanada aniqroq modeli ko‘p miqdordagi elastik rezervuarlardan foydalanilgan. Qonning inertsiyal xossalarini hisobga olish uchun

model qurishda aortaning yuqoriga yoʻnalgan va pastga yoʻnalgan tarmoqlarini modellovchi elastik rezervuarlar turlicha elastiklikka ega boʻladi deb taxmin qilinadi. Elastikligi turlicha boʻlgan ikkita rezervuardan va rezervuarlari orasidagi gidravlik qarshiligi har xil boʻlgan noelastik zvenolardan iborat Roston modeli 3.4-rasmda tasvirlangan. Bunday modelga 3.5-rasmda tasvirlangan elektr sxemasi mos keladi. Bu erda tok manbai $P(t)$ bosimning analogi boʻlgan pulsatsiyalovchi $U(t)$ kuchlanishni uzatadi: C_1 va C_2 sigʻimlar k_1 va k_2 elastiklikka; R_1 , R_2 va R_3 elektr qarshiliklari X_1 , X_2 va X_3 gidravlik qarshiliklarga; I_1 va I_2 tokkuchlari qonning qochishi tezliklari Q_1 va Q_2 ga mos keladi.

Bunday model ikkita birinchi tartibli diferensial tenglamalar sistemasi yordamida tavsiflanadi, ularning yechimini esa birinchi va ikkinchi kameralarga mos keluvchi ikkita egri chiziq beradi.

Ikki kamerali model tomirlarda yuz beradigan jarayonlarda oqimni yaxshiroq tavsiflab beradi, lekin u diastolalar boshidagi bosim oʻzgarishlarini (tebranishlarini) tushuntirmaydi.

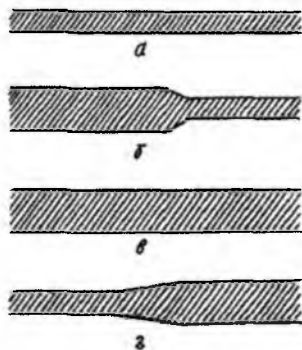
Bir necha yuzlab elementlardan tashkil topgan moddalar parametrlari bilan taqsimlangan modellar deyiladi.

3.2-§. PULS (TOMIR URISHI) TOʻLQINI

Yurak muskullarining qisqarishida (sistola) qon yurakdan aortaga va undan tarqalib ketuvchi arteriyalarga siqib chiqarila boshlaydi. Agar bu tomirlar devorlari qattiq boʻlganda edi, qonning yurakdan chiqishi vaqtida vujudga kelgan bosim tovush tezligida chekkadagi qismlarga uzatilgan boʻlar edi. Qon tomirlarining elastikligi shunga olib keladi-ki, sistola vaqtida yurak itarib chiqarayotgan qon aorta, arteriya va arteriolalarni choʻzadi, bunda katta qon tomirlari sistola vaqtida markazdan chetdagi qismlarga oqib boradigan qonga nisbatan koʻp qonni qabul qiladi. Odamning sistolik bosimi normada taxminan 16 kPa ga teng. Yurakning boʻshashishi (diastola) vaqtida choʻzilgan qon tomirlari pasayadi (boʻshashadi) va yurakning qon orqali ularga uzatgan potentsial energiyasi qonning oqishidagi kinetik energiyasiga aylanib, distolik bosimning taqriban 11 kPa atrofida tutib

turilishiga yordam beradi. Sistolalar yuz berishi davrida qonning chap qorinchadan itarib chiqarilishi tufayli yuzaga kelgan va aorta hamda arteriyalar orqali tarqaluvchi yuqori bosimli to‘lqinga puls to‘lqini deyiladi.

Puls to‘lqini 5-10 m/s va undan ortiqroq tezlik bilan tarqaladi. Demak, sistola davrida (0,3 s atrofida) u 1,5-3 m. masofaga tarqalishi lozim, bu masofa esa yurakdan qo‘l va oyoqlargacha bo‘lgan masofadan ortiqroqdir. Bu shuni bildiradiki, puls to‘lqini fronti qo‘l va oyoqlarning oxirgi nuqtalariga aortada bosimning pasayishidan oldin yetib boradi. Arteriyaning yon tomonidan sxematik ko‘rinishi 3.6-rasmda ko‘rsatidgan: a — puls to‘lqini o‘tgandan so‘ng, b — arteriya orqali puls to‘lqinining o‘tish payti, v — arteriyada puls to‘lqini mavjudligi, g — ko‘tarilgan bosimning pasaya boshlashi.

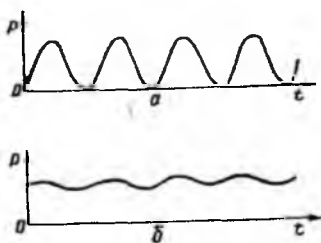


3.6-rasm Arteriyaning yon tomonidan sxematik ko‘rinishi

Katta arteriyalardagi puls to‘lqiniga qon oqishining pulsatsiyalangan tezligi mos keladi, ammo qonning tezligi (eng katta qiymati 0,3-0,5 m/s) puls to‘lqini tarqalish tezligidan sezilarli

darajada kichikdir.

Yurak ishi to‘g‘risidagi umumiy tushunchalardan va modellarda o‘tkazilgan tajribadan ma‘lum bo‘lishicha puls to‘lqini sinusoidal (garmonik) bo‘la olmaydi. Puls to‘lqini har qanday davriy jarayon kabi garmonik to‘lqinlarning yig‘indisi kabi ko‘rsatilishi mumkin. Shu sababli pulslar garmonik to‘lqinga biror model kabi diqqatimizni jalb qilaylik.



3.7-rasm Bosimning yurak yaqinidagi aortada (a) va arteriolalarda (b) tebranishi

Faraz qilaylik, garmonik to‘lqin X o‘qi yo‘nalishi bo‘ylab qon tomirida u tezlik bilan tarqalayotgan bo‘lsin. Qonning qovushoqligi va qon tomirining

elastiklik va yopishqoqlik xossasi to‘lqin amplitudasini kamaytiradi. Ya’ni so‘nish eksponentsial ko‘rinishda bo‘ladi deb hisoblash mumkin. Bunga asoslangan holda pulsi garmonik to‘lqin uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

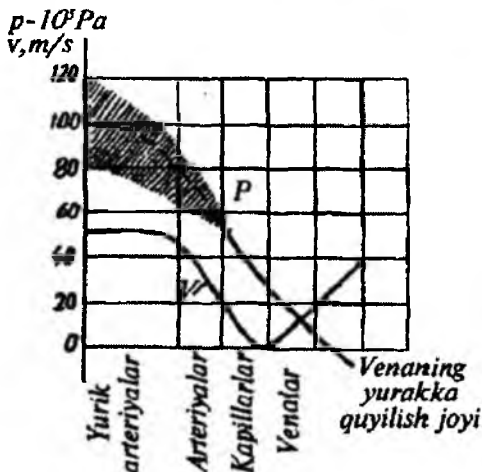
$$p = p_0 e^{-\chi x} \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3.12)$$

bu erda p_0 - puls to‘lqinidagi bosim amplitudasi, x — tebranish manbaidan (yurakdan) ixtiyoriy olingan nuqtagacha bo‘lgan masofa, t — vaqt, ω — tebranishlar siklik chastotasi; χ — to‘lqinning so‘nishini aniqlovchi biror o‘zgarimas kattalik. Pulsi to‘lqin uzunligini quyidagi formula yordamida topish mumkin:

$$\lambda = \frac{\theta}{\nu} = \frac{2\pi\theta}{\omega} \quad (3.13)$$

Bosim to‘lqini biror “ortiqcha” bosimni ifodalaydi. Shu sababli “asosiy” bosim p_a ni hisobga olgan holda (p_a - atmosfera bosimi yoki qon tomirlarini o‘rab olgan atrof muhitdagi bosim) bosimning o‘zgarishini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$p = p_a + p_0 e^{-\chi x} \cos \omega \left(t - \frac{x}{v} \right) \quad (3.14)$$



3.8-rasm Bosimning o‘rtacha qiymatining va qon oqimi tezligining qon harakatlanuvchi tomirlar turiga bog‘liq holda o‘zgarishini

(3.14) dan ko‘rinib turibdiki, qon siljigani sari (x ortib borgan sari) bosimning tebranishi tekislanib boradi. Bosimning yurak yaqinidagi aortada (a) va arteriolalarda (b) tebranishi 3.7 rasmda sxematik ko‘rinishda berilgan. Grafiklar garmonik pulsi to‘lqinning modelini faraz qilib berilgan.

Bosimning o‘rtacha qiymatining va qon oqimi tezligi

v_{qon} ning qon harakatlanuvchi tomirlar turiga bog'liq holda o'zgarishini ko'rsatuvchi grafiklar 3.8-rasmda berilgan. Qonning gidrostatik bosimi hisobga olinmaydi. Bosim atmosfera osimidan ortiqcha. Shtrixlangan soha bosim tebranishiga mos keladi (puls to'liqini).

Katta tomirlarda puls to'liqining tezligi tomirlar parametrlariga quyidagi ko'rinishda bog'liq (Moens-Korteveg formulasi):

$$v = \sqrt{\frac{Eh}{\rho d}} \quad (3.15)$$

bu erda E — elastiklik moduli; ρ — qon tomiri moddasining zichligi; h — qon tomiri devorining qalinligi; d — qon tomiri diametri.

(3.15) tenglamani ingichka sterjendagi tovushning tarqalishi bilan taqqoslash qiziqarlidir:

$$v = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \quad (3.16)$$

Odamda yosh ulg'ayishi bilan qon tomirlarining elastiklik moduli ham ortib boradi, shu sababli (3.16) dan ko'rinib turibdiki, elastiklik moduli ortsa, puls to'liqining tezligi ham katta bo'ladi.

3.3-§. YURAKNING ISHI VA QUVVATI. SUN'IY QON AYLANISH APPARATI (SQAA)

Yurak bajaradigan ish bosim kuchlarini engish va qonga kinetik energiya berish uchun sarflanadi.

Chap qorinchaning bir marta qisqarishida bajariladigan ishni hisoblaylik. Qonning zarb hajmi V_3 ni silindri ko'rinishida ifodalaymiz (3.9.-rasm). Yurak bu hajmni ko'ndalang kesimi yuzi S bo'lgan aorta bo'ylab o'rtacha p bosim ostida l masofaga siqib chiqaradi deb hisoblash mumkin. Bunda bajarilgan ish

$$A_1 = F \cdot l = p \cdot S \cdot l = pV_3$$

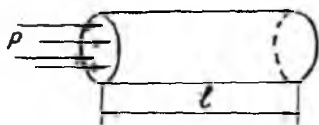
Bu hajmdagi qonga kinetik energiya berish uchun

$$A_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho V_3 v^2}{2}$$

ish bajarilgan, bu erda ρ – qonning zichligi; v - qonning aortadagi tezligi. Shunday qilib, chap qorinchaning bir marta qisqarishida bajarilgan ish

$$A_g = A_1 + A_2 = pV_3 + \frac{\rho V_3 v^2}{2}$$

O'ng qorinchaning bajargan ishi "chap qorincha" bajargan ishning 0,2 qismiga teng deb qabul qilinishi tufayli, yurakning bir marta qisqarishida bajargan to'la ishi

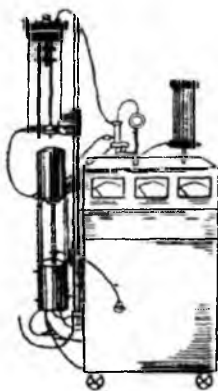


3.9-rasm Qonning zarb hajmini silindri ko'rinishi

$$A = A_{ca} + 0,2A_{ca} = 1,2 \left(pV_2 + \frac{\rho V_2 v^2}{2} \right) \quad (3.17)$$

(3.17) formula organizmning ham tinchlikdagi, ham aktiv holatlari uchun o'z kuchini saqlaydi. Bu holatlar qon harajati tezligining turlicha qiymatlari bilanгина farq qiladi.

(3.17) formulaga $p=13 \text{ kPa}$, $V_3 = 60 \text{ ml} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$, $\rho=1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $v=0,5 \text{ m/s}$ kattaliklarni qo'yib, tinch holatda yurakning bir marta qisqarishida bajargan ishni topamiz: $A \approx 1 \text{ J}$



3.10-rasm Sun'iy qon aylanish apparati

Yurak 1 s. da o'rtacha bir marta qisqaradi, deb hisoblab, bir sutka davomida yurakning bajargan ishini topamiz: $A_{yu} = 86400 \text{ J}$. Muskullarning aktiv faoliyatida yurakning ishi bir necha marta ortishi mumkin.

Agar sistola davomiyligi $t \approx 0,3 \text{ s}$. ekani hisobga olinsa, yurakning bir marta qisqarishidagi quvvati $\langle W \rangle = A_1/t = 3,3 \text{ W}$

Yurakda operatsiya qilish davomida uni vaqtincha qon aylanish sistemasidan ajratishga to'g'ri keladi, bunda maxsus sun'iy qon aylanish apparatidan foydalaniladi (3.10-rasm). Mazmunan, bu apparat sun'iy yurak (nasos sistemi) bilan sun'iy o'pka

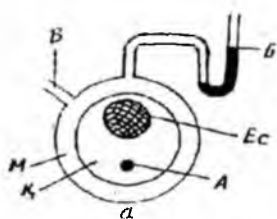
(oksigenator — qonni kislorod bilan boyitilishini ta'minlovchi sistema) birikmasidan iborat.

3.4-§. KLINIKADA QON BOSIMINI O'LCHASHNING FIZIK ASOSLARI

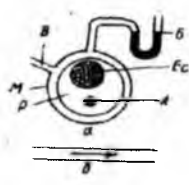
Fizik parametr-qon bosimi — juda ko'p kasalliklar diagnostikasida katta rol o'ynaydi.

Arteriyalarning birortasidagi sistolik va diastolik bosimlar to'g'ridan-to'g'ri manometrغا ulangan igna yordamida o'lchanishi mumkin. Lekin tibbiyotda N.S.Korotkov taklif etgan qonsiz usuldan keng miqyosda foydalaniladi. Bu usulning fizik asoslarini yelka arteriyasidagi qon bosimini o'lchash misolida ko'raylik.

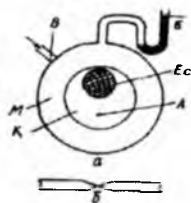
Yelka bilan tirsak orasiga manjeta o'raladi. Qo'lga o'ralgan manjetaning M, qo'lning bir qismi R, yelka suyagi P va yelka arteriyasi A ning kesimlari 3.11-a — 3.13-a rasmda ko'rsatilgan. V shlang orqali manjetaga havo yuborilganda manjeta qo'lni siqadi. So'ngra shu shlang orqali havo sekin-asta chiqarila boshlaydi va B manometr yordamida manjetadagi bosim o'lchanadi. Shu qismlarning o'zidagi pozitsiyada har bir holatga mos keluvchi yelka arteriyasining bo'ylama kesimlari ko'rsatilgan. Boshida atmosfera bosimiga nisbatan manjetadagi havoning bosimi nolga teng (3.11-rasm), manjeta qo'lni va arteriyani saqlaydi. Manjetaga ma'lum bir o'lchovda havo damlangani sari manjeta yelka arteriyasini siqa boshlaydi va qonning oqishi to'xtaydi (11.12-rasm).



3.13-rasm



3.11-rasm



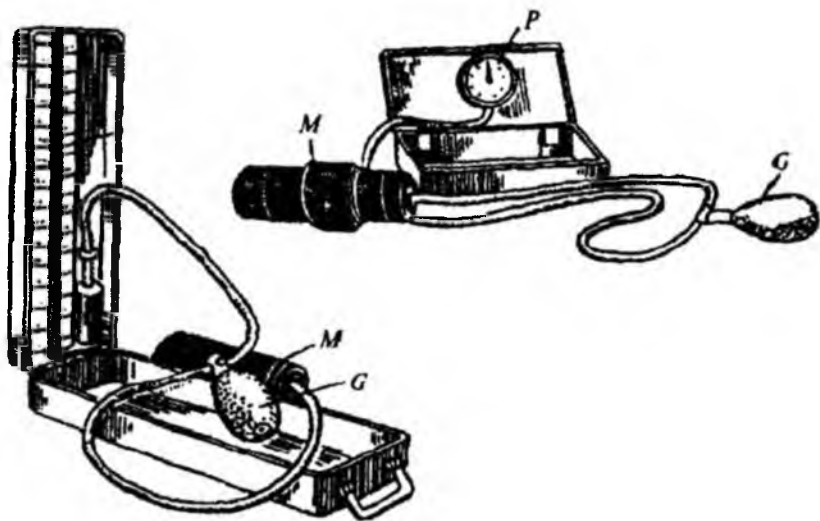
3.12-rasm

Agar muskullar bo'shashtirilgan bo'lsa, elastik devorlardan iborat bo'lgan manjeta ichidagi bosim

taxminan manjetaga tegib yumshoq to'qimalardagi bosimga teng bo'ladi. Bosimni qonsiz usulda o'lchashning asosiy fizik g'oyasi mana shundan iboratdir.

Havoni asta-sekin chiqarib, manjetadagi va unga tegib turgan yumshoq to'qimalardagi bosim kamaytirib boriladi. Qachonki bosim sistolik bosimga teng bo'lsa, qon qattiq siqilgan arteriya orqali otilib chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi, bunda turbulent oqim yuzaga keladi (3.13-rasm).

Vrach bosimni o'lchashda fonedoskopni arteriya ustiga manjetadan chetroqqa (ya'ni yurakdan ancha uzoqroq joyga) qo'yib, turbulent oqimga taalluqli bo'lgan va u bilan birgalikda yuzaga kelgan ton va shovqinlarni* eshitib ko'radi. Manjetadagi bosimni kamaytira borib, laminar oqimni tiklash mumkin, buni eshitib ko'rilayotgan tonlarning birdaniga pasayib ketishidan bilish mumkin. Arterida laminar oqimning tiklanishiga mos keluvchi manjetadagi bosim diastolik bosim kabi qayd etiladi. Arterial bosimni o'lchashda 3.14-rasmda ko'rsatilgan asboblardan foydalaniladi: a — simobli manometri bo'lgan sfigmomanometr, b — metall membranali manometri bo'lgan sfigmomanometr; bu erda M-manjeta, G-manjetaga havoni haydovchi rezina nok, R-manometr.



3.14-rasm. Sfigmomanometr (a) va sfigmotanometr (b).

3.5-§. QON OQIMI TEZLIGINI ANIQLASH

Qon oqimi tezligini aniqlashning bir necha usuli mavjud bo'lib, shulardan ikki turining fizik asoslarini ko'rib o'taylik.

Ultratovush usuli (ultratovushli raxodometriya). Bu usul Dopler effektiga asoslangan. Ultratovush (UT) chastotali elektr tebranishlari signali 1 generatordan (3.15-rasm), UT ning 2 nurlatkichiga chastotani tenglashtiruvchi 3 qurilmaga uzatiladi. 4 UT to'liqini 5 qon tomirlariga o'tadi va harakatlanuvchi 6 eritrotsitlardan qaytadi. Qaytgan 7 UT to'liqini 8 priyomnikka uzatiladi. Bunda u elektr tebranishlariga aylantiriladi va kuchaytiriladi. Kuchaytirilgan elektr tebranishlari 3 qurilmaga tushadi. Bu erda tushuvchi va qaytgan to'liqlar, tebranishlari mos holda tenglashtiriladi va doplerning chastotalar bo'yicha siljishi elektr tebranishlari ko'rinishida ajralib chiqadi:

$$U = U_0 \cos 2\pi\nu_d t$$

Quyidagi formuladan

eritrotsitlarning tezligini aniqlash mumkin:

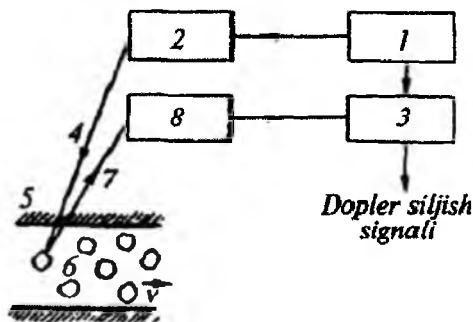
$$\nu_0 = \frac{\nu}{2} \cdot \frac{\nu_d}{\nu_g}$$

(3.18)

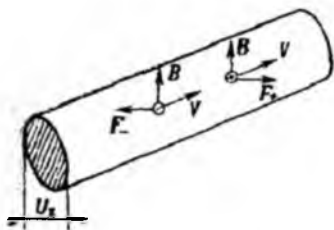
Katta qon tomirlarida

eritrotsitlarning tezligi ularning o'qqa nisbatan joylashishlariga qarab turlicha bo'ladi: "O'q yaqinidagi" eritrotsitlar katta tezlik

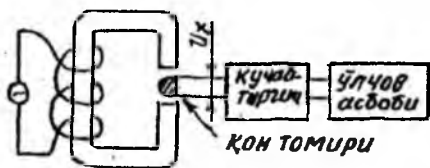
bilan "devor yaqinidagi"lari esa kichik tezlik bilan harakatlanadi. UT to'liqlari turli xil eritrotsitlardan qaytishi mumkin, shu sababli Doplerning siljishi bitta chastota ko'rinishida bo'lmay, biror chastotalar oralig'ida bo'ladi. Shunday qilib, Dopier effekti qon oqimining faqat o'rtacha tezligini emas, balki qonning turli xil qatlamlari tezligini ham aniqlashga imkon beradi.



3.15-rasm Qon oqish tezligini ultratovushli raxodometriya usuli



3.16-rasm Magnit maydoni tomonidan turli xil ishorali zaryadga ta'sir etuvchi kuchlar



3.17-rasm Elektromagnit usul

Elektromagnit usul (elektromagnit rasxodometriya). Qon oqishi tezligini aniqlashning bu usuli harakatlanuvchi zarrachalarning magnit maydonida og'ishiga asoslangan. Masala shundan iboratki, qon elektr jihatdan neytral sistema bo'lsa-da, musbat va manfiy ionlardan tashkil topgan. Shunday ekan, harakatlanayotgan qon zaryadli zarrachalar oqimi bo'lib, v_{qon} tezlik bilan harakatlanadi. Harakatlanayotgan q elektr zaryadiga induksiya B bo'lgan magnit maydonida

$$F = qv_{qon} B \quad (3.19)$$

kuch ta'sir qiladi. Agar zaryad manfiy bo'lsa, u holda kuch vektorlar ko'paytmasi $v_{qon} \times B$ ga teskari yo'nalgan.

Magnit maydoni tomonidan turli xil ishorali zaryadga ta'sir etuvchi kuchlar 3.16-rasmda ko'rsatilganidek qarama-qarshi yo'nalgan. Qon tomiri devorining bir tomoni yaqinida ortiqcha musbat zaryad, ikkinchi tomoni yaqinida esa manfiy zaryadlar ko'proq to'planadi. Zaryadlarning tomir ko'ndalang kesimi bo'ylab bunday taqsimlanishi elektr maydonini yuzaga keltiradi. Bunday fizik hodisa Xoll effekti deb atiladi.

U_x kuchlanish (Xoll kuchlanishi) ionlar harakatining tezligiga, ya'ni qonning tezligiga bog'liq. Shunday qilib, U_x kuchlanishni o'lchash bilan qonning tezligini ham aniqlash mumkin ekan. Qon tomiri ko'ndalang kesimi S ni bilgan holda, qon oqishi hajmiy tezligini (m^3/s) hisoblash mumkin:

$$Q = v_{qon} \cdot S \quad (3.20)$$

Ushbu usulda o'zgaruvchan magnit maydonini qo'llash amaliy jihatdan qulaydir (3.17-rasm). Bu o'zgaruvchan xol U_x kuchlanishi ni yuzaga keltiradi, so'ngra u kuchaytiriladi va o'lchanadi.

4-BOB. TERMODINAMIKA. TIRIK SISTEMALAR TERMODINAMIKASI

Termodinamika deganda sistemani tashkil etuvchi jismlarning mikroskopik tuzilishini hisobga olmagan holda ular orasida energiya almashinuvi mumkin bo'lgan sistemalarni (termodinamik sistemalarni) qarab chiquvchi fizikaning bo'limi tushuniladi.

Muvozanatli sistemalar termodinamikasi yoki muvozanat holatiga o'tuvchi sistemalar va nomuvozanatli termodinamik sistemalar bir-biridan farqlanadi.

Nomuvozanatli termodinamika biologik sistemalarni ko'rib chiqishda asosiy o'rinni egallaydi.

Ushbu bobda termodinamika bilan bir qatorda past temperaturali va qizdirilgan muhitlarni davolashda qo'llanilishi bilan bog'liq bo'lgan masalalar, shuningdek, termometriya va kalorimetriya elementlari yoritilgan.

4.1-§. TERMODINAMIKANING I-QONUNI. IZOJARAYONLARNING I-QONUNDA QO'LLANILISHI

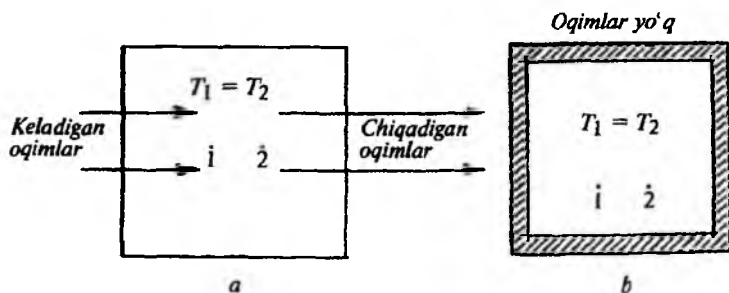
Termodinamik sistemaning holati parametrlar (hajm, bosim, harorat, zichlik va hokazo) deb atalgan fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

Agar sistemaning parametrlari uni atrof-muhitdagi jismlar bilan o'zaro ta'sirlashishida vaqt o'tishi bilan o'zgarib, sistemaning holati statsionar deyiladi. Bunga ishlab turgan xo'jalik xolodilnigi ichki qismining juda qisqa vaqt oraliqidagi holati, odam gavdasining holati, isitiluvchi xona ichidagi havoning holati va boshqalar misol bo'ladi.

Statsionar holatda bo'lgan sistemaning turli qismlaridagi parametrlarning qiymatlari odatda bir-biridan farq qiladi: odam tanasining turli qismlari

temperaturasi biologik membrananing turli qismlaridagi diffuziyalanuvchi molekulalar konsentratsiyasi va hokazo. Shunday qilib, sistemada ayrim parametrlarning gradiyenti doimiy tutib turiladi, shu sababli kimyoviy reaksiyalar o'zgarish tezlik bilan o'tishi mumkin.

Statsionar holat energiya oqimi va sistema orqali o'tayotgan modda hisobiga ushlab turiladi. Statsionar holat sxematik ko'rinishda 4.1- a rasmda ko'rsatilgan, temperatura esa sistemaning turli nuqtalarida turlicha. Ma'lumki, statsionar holatda shunday sistemalar bo'lishi mumkin-ki, bir sistemani o'rab olgan boshqa sistemalar bilan energiya va modda almashinuvi (ochiq sistemalar) yoki hech bo'lmaganda o'zaro energiya almashinishi yuz berishi lozim (yopiq sistemalar).



4.1-rasm Statsionar holat energiya oqimi. a) sxematik ko'rinishi b) izolatsiyalangan sistemaning muvozanat holati

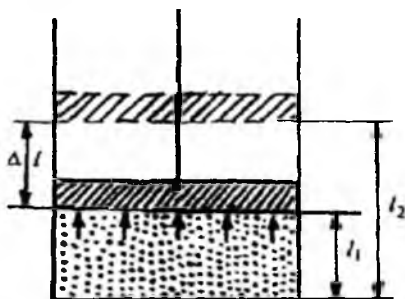
O'z atrofii o'rab turgan jismlar bilan na energiya yoki na modda almashinuvida ishtirok etmagan termodinamik sistema izolatsiyalangan sistema deyiladi. Izolatsiyalangan sistema vaqt o'tishi bilan termodinamik muvozanat holatiga qaytib keladi. Bu holatda ham, statsionar holatdagi kabi, sistema parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarish saqlanib qoladi. Ammo eng muhimi shundaki, muvozanatli holatda zarrachalarning massasi yoki soniga bog'liq bo'lgan bosim, temperatura va boshqalar bu sistemaning turli qismlarida bir xil bo'ladi.

Tabiiyki, har qanday real termodinamik sistemani issiqlik o'tkazmaydigan biror qatlam bilan o'rash mumkin bo'lmagani sababli, u izoltsiyalangan holatda bo'lmaydi. Izolatsiyalangan sistemani biror qulay termodinamik model deb qarash

mumkin. Bunday izolatsiyalangan sistemaning muvozanat holati 4.1 -b rasmda ko'rsatilgan.

Yopiq sistemaning atrofdagi jismlar bilan o'zaro ta'sirlarini batafsilroq ko'rib chiqamiz. Sistema va uni o'rab turgan jismlar bilan energiya almashinuvi ikki xil jarayonda: Ish bajarishda va issiqlik almashinishida amalga oshiriladi.

Issiqlik almashinishida uzatilgan energiya miqdorining o'lchovi **issiqlik miqdori**, ish bajarishda sarflangan energiyaning o'lchovi esa **ishdir**.



4.2-rasm Gaz hajmining o'zgarishida gaz bajargan ishi

Gaz hajmining o'zgarishida gaz bajargan ishni hisoblash uchun ifoda topamiz. Faraz qilaylik, silindrik idish ichida porshen ostidagi gaz izobarik holatda v_1 dan v_2 gacha kengaysin (4.2- rasm), shu vaqtda porshen $\Delta l = l_2 - l_1$ masofaga siljiydi, hajm esa $\Delta V = V_2 - V_1$ qadar o'zgaradi

Ko'ndalang kesimi yuzi S bo'lgan porshenga gaz tomonidan P bosim tufayli $F = p S$ ga teng kuch ta'sir qiladi. Bu kuchning yo'nalishi porshenning ko'chish yo'nalishi bilan bir xil bo'lgani sababli gaz bajargan ish:

$$A = F \Delta l = P \cdot S \cdot \Delta l = P \Delta V \quad (4.1)$$

Sistema ichki energiyasining o'zgarishi ikki xil: 1) mexanik ish bajarish; 2) issiqlik miqdori uzatish usullari bilan amalga oshirilishi mumkinligi xaqida bayon qilingan edi. Endi bu kattaliklar orasidagi munosabatni topishga xarakat qilamiz.

Buning uchun qizdirilayotgan choynak misolini ko'raylik. Choynak olayotgan issiqlik miqdori Q ichidagi suvning qizishiga, ya'ni suvning ichki energiyasi

ortishiga U va suv bug'lari choynak qopqog'ini ko'targanda tashqi kuchlarga qarshi bajariladigan A ishga sarflanadi. Bu jarayon uchun energiyaning saqlanish va aylanish qonuni

$$Q = \Delta U + A \quad (4.1)$$

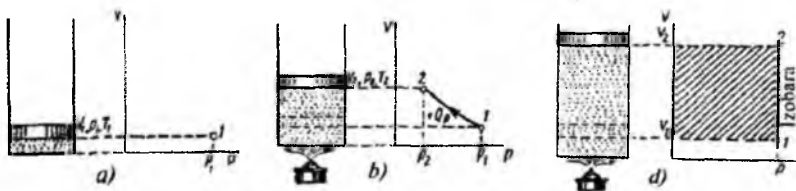
Ko'rinishiga ega bo'ladi. Bu termodinamikaning birinchi qonunining matematik ko'rinishidir. Uning ta'rif quyidagicha ifodalanadi:

Jismga beriladigan issiqlik miqdori uning ichki energiyasini o'ttirishga va tashqi kuchlarga qarshi ish bajarishga sarflanadi.

Agar jismga issiqlik miqdori berilayotgan bo'lsa, Q musbat, agar jismdan issiqlik miqdori olinayotgan bo'lsa, Q manfiy ishora bilan olinadi. Shuningdek agar jism tashqi kuchlarga qarshi ish bajarayotgan bo'lsa, A ish musbat, tashqi kuchlar jism ustida ish bajarayotgan bo'lsa, A ish manfiy bo'ladi.

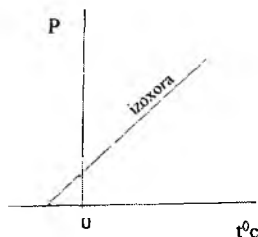
Termodinamikaning birinchi qonuni birinchi tur abadiy dvigatel (lotincha «perpetuum mobile») yasash mumkin emasligini ko'rsatadi. Birinchi tur perpetuum mobilega asosan teng miqdorda energiya sarflamasdan ish bajara oladigan mashina kurish haqida fikr yuritiladi. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni bo'lgan termodinamikaning birinchi qonunida esa tabiatda ro'y beradigan barcha jarayonlarda energiya o'z-o'zidan paydo ham bo'lmaydi, yo'qolmaydi ham, faqat bir ko'rinishdan boshqasiga aylanishi mumkin, deb qayd etiladi.

Endi termodinamika birinchi qonunining ba'zi jarayonlarga tatbiqini ko'raylik.



4.3 rasm. Izajarayonlar a) izoxorik jarayon b) izotermik jarayon d) izobarik jarayon

Izoxorik jarayon. Silindrda qo'zg'almas porshen ostiga ideal gaz qamalgan deylik. Silindrni qizdiramiz va gazga biror Q_v issiqlik miqdori beramiz. Hajm o'zgarmas bo'lganda qizdirish jarayoni *izoxorik jarayon* deyiladi. Porshen qo'zg'almas qilib mahkamlab qo'yilgani uchun gaz tashqi kuchlar ustida ish bajara



olmaydi. Shuning uchun birinchi qonunga ko'ra, gazga berilgan hamma energiya (issiqlik shaklida) ichki energiyaga aylanadi va gazning temperaturasi ko'tariladi: $Q_v = \Delta U$ (V indeks issiqlik miqdori o'zgarmas hajmda turgan gazga berilganini bildiradi).

Shunday qilib, *izoxorik jarayonda sistemaga berilgan issiqlik miqdorining hammasi sistema ichki energiyasining ortishiga ketadi.*

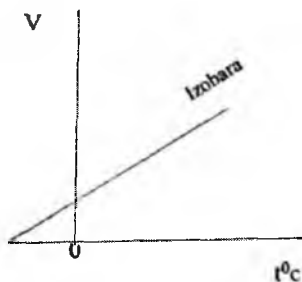
Izobarik jarayon. Bosim o'zgarmas bo'lganda gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayoni *izobarik jarayon* deyiladi. Izobarik jarayonni amalga oshirish uchun porshenli silindrga gaz qamaymiz. Porshen silindr ichida erkin harakatlana oladi.

Gaz qizdirilganda unga issiqlik ko'rinishida Q_p energiya uzatiladi. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra, bu energiya qisman sistemaning ichki energiyasiga o'tadi, qisman esa porshenni Δh balandlikka ko'tarishga sarflanadi:

$$Q_p = \Delta U + A_p.$$

Shunday qilib, izobarik jarayonda gazga beriladigan issiqlik miqdorining bir qismi gaz ichki energiyasining ortishiga, bir qismi gazning ish bajarishiga ketadi.

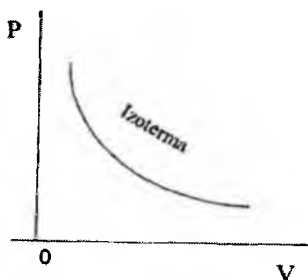
Izobarik jarayonda gaz bajaradigan ishni topamiz. Gazning bosimi o'zgar-mas bo'lgani tufayli, porshenga bosim kuchi ham o'zgarmas bo'ladi:



$F = pS$. Binobarin, $A_p = p \cdot S\Delta h$. Formuladagi $S\Delta h$ ko'paytma gaz hajmining o'zgarishiga teng. Shuning uchun

$$A_p = p\Delta V = p(V_2 - V_1).$$

Jarayon grafigida bu ish izobara va izoxoraning boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridan hosil bo'lgan to'g'ri to'rtburchakning yuzi bilan tasvirlanadi.

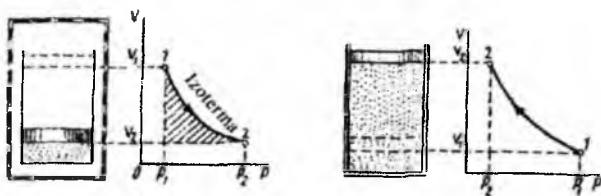


Izotermik jarayon. Temperatura o'zgarmas bo'lganda gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayoni *izotermik jarayon* deyiladi. Izotermik jarayonni amalga oshirish uchun, yengil harakatlanuvchi porshenli silindrda turgan gazni termostatga joylashtiramiz. Termostat shunday qurilmaki, unda tashqi energiya hisobiga temperatura o'zgarmas saqlanadi.

Gazni asta-sekin siqamiz. Bunda biz — A_T ish bajaramiz. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra bu ish termostatga gaz beradigan issiqlik miqdoriga teng bo'ladi:

Agar gaz bu sharoitda kengaysa, $U + A_T$ ish bajaradi, temperaturasi pasaymasligi uchun u termostatdan bajarilgan ishga teng bo'lgan — Q issiqlik miqdori oladi.

$$Q_T = -A_T.$$



4.4- rasm. Izotermik jarayon

Shunday qilib, *izotermik jarayonda gazga berilayotgan issiqlik miqdori butunlay gazning kengayish ishiga aylanadi.*

Izotermik kengayishda gaz bajargan ish pV diagrammada izoterma bilan chegaralangan shtrixlangan shaklning yuzi bilan tasvirlanadi.

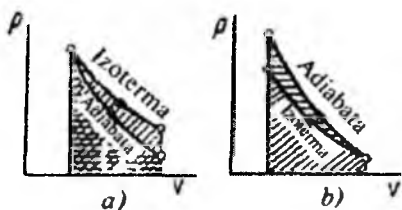
Adiabatik jarayon. Adiabatik jarayon deb, shunday jarayonga aytiladiki, bunda sistema issiqlik ko'rinishida energiya olmaydi ham, energiya bermaydi ham. Boshqacha qilib aytganda, adiabatik jarayonda $Q = 0$.

Sunday jarayonni amalga oshirish uchun gazni adiabatik idishga, ya'ni o'zi orqali issiqlik oqimi o'tkazmaydigan idishga kiritish lozim. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra adiabatik jarayonda:

$$\Delta U = -A_Q.$$

Adiabatik silindrga kiritilgan gaz kengayadi, deb faraz qilaylik. Bunda gaz sistemaning ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Binobarin, bu holda gazning temperaturasi pasayadi. Buni molekular-kinetik nazariya nuqtayi nazaridan tushuntirish oson.

Porshen idish devorlariga nisbatan yuqoriga v tezlik bilan harakatlanadi, deylik. Porshen ortidan devorlarga nisbatan c tezlik bilan k molekula harakatlanadi ($c > v$). Porshenga nisbatan bu molekulaning tezligi $c - v$. Molekula porshenni „quvib yetib“, elastik urilish ro'y bergandan keyin uning tezligi $c - v$



4.5- rasm. Gazning a) izotermik b) adiabatik kengayishi

bo'ladi (vaholanki, bunda molekula pastga harakatlana boshlaydi va uning idish devorlariga nisbatan tezligi $c - 2v$ bo'ladi). Shunday qilib, porshen bilan to'qnashgan hamma molekulalarning tezligi kamayadi. Bu esa molekulalar harakati o'rtacha kvadratik tezligining kamayishiga, binobarin, temperaturaning pasayishiga olib keladi.

4.3 a rasmda gazning izotermik va adiabatik jarayonlarda kengayish grafigi keltirilgan. Adiabata izotermadan pastroqda o'tadi. Bu adiabatik jarayonda gaz bosimining uning kengayishi va sovishi hisobiga pasayishi bilan tushuntiriladi. Binobarin, adiabatik kengayishda gaz izotermik kengayishidagiga qaraganda kamroq ish bajaradi. Shu ishni hisoblab chiqamiz. Adiabatik jarayonda $Q = 0$.

Binobarin, $A_Q = \Delta U$, ichki energiya o'zgarishi esa $\Delta U =$ $(T_1 - T_2)$.

Shuning uchun

$$A_Q = \frac{3}{2} Nk(T_1 - T_2).$$

Gazni adiabatik siqqanimizda bosim izotermik siqqandagiga qaraganda tez ortadi, bosimning bunday tez ortishi faqat siqish bilan emas, balki gazning qizishi bilan ham bog'liq. Demak, adiabatik siqishda tashqi kuchlar bajargan ish izotermik siqishdagiga qaraganda kattaroq bo'ladi.

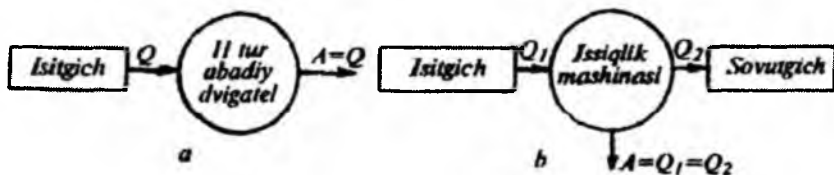
4.2-§. TERMODINAMIKANING IKKINCHI QONUNI. ENTROPIYA

Energiyaning saqlanish qonuni hisoblangan termodinamikaning birinchi qonuni jarayonlarning borishi mumkin bo'lgan yo'nalishlarni ko'rsatmaydi. Masalan, termodinamikaning birinchi qonuniga binoan issiqlik almashinishida issiqlikning issiqroq jismdan sovuq jismga o'z-o'zidan o'tishi mumkin bo'lganidek, buning teskarisi, issiqlikning sovuqroq jismdan issiqroq jismga o'tishi ham mumkin. Lekin kundalik tajribalardan ma'lumki, tabiatda ikkinchi jarayon amalga oshmaydi; masalan, xona ichidagi havoni sovitish hisobiga choynakdagi suv o'z-o'zidan ismaydi. Boshqa bir misol: toshning biror balandlikdan yerga tushishida, uning potensial energiyasining o'zgarishiga ekvivalent miqdorda qizishi yuz beradi, bunga teskari jarayon—toshning faqat sovishi hisobiga o'z-o'zidan yuqoriga ko'tarilishi esa yuz bermaydi.

Termodinamikannig ikkinchi asosi ham, birinchisi kabi, tajribadan olingan natijalarning umumlashtirilganidir.

Termodinamika ikkinchi qonunining bir necha ta'riflari mavjud: issiqlik o'z-o'zidan harorati past bo'lgan jismdan harorati yuqori bo'lgan jismga o'ta olmaydi (*Klauzius ta'rif*), yoki ikkinchi turdagi abadiy dvigatel bo'lishi mumkin emas (*Tomson ta'rif*), ya'ni bir jismning sovishi hisobiga issiqlikning ishga aylanishi mumkin bo'lgan yagona davriy jarayon bo'lishi mumkin emas.

Issiqlik mashinasida berilgan issiqlik miqdori hisobiga ish bajariladi, ammo bunda issiqlikning bir qismi, albatta, xolodilnikka uzatiladi. Termodinamikannig ikkinchi asosiga muvofiq 12.4- rasmda bo'lishi mumkin bo'lmagan (a) va mumkin bo'lgan (b) davriy jarayonlar sxematik usulda ko'rsatilgan.



4.6 rasm. Ideal (a) va real (b) issiqlik mashinalari ish prinsipi

Termodinamikaning ikkinchi asosini (qonunini) miqdoriy ifodalashga imkon beruvchi ayrim termodinamik tushunchalarni ko'rib chiqamiz.

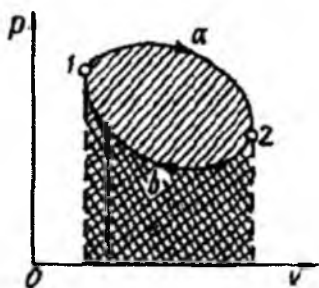
Agar hamma oraliq holatlar orqali o'tishda 2-1 jarayonni amalga oshirish mumkin bo'lsa, sistema boshlang'ich holatiga qaytganidan so'ng, uning atrofidagi jismlarda hech qanday o'zgarish yuz bermasa, bu holda 1-2 jarayonga qaytuvchan jarayon deyiladi.

Qaytuvchan jarayon fizik abstraksiya hisoblanadi. Hech bo'lmasa atrofda jismlarning isishiga sabab bo'lgan ishqalanish kuchlari mavjud bo'lsa-da, hamma real jarayonlar qaytmasdir. Qaytmas jarayonlarning xarakterli misollari: gazning bo'shliqqa kengayishi, diffuziya, issiqlik almashinishi va hokazo. Sistemani dastlabki holatiga qaytarish uchun bu hodisalarning hammasida tashqi jismlar ish bajarishi lozim.

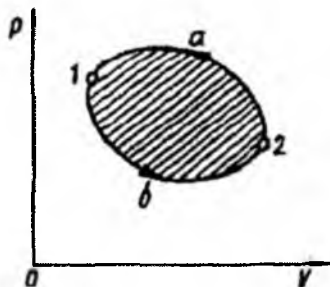
Sistemaning o'zini boshlang'ich holatiga qaytishi jarayoni sikl yoki aylanma jarayon deyiladi.

Siklning grafigi berk chiziqdan iborat. 4.5- rasmda tasvirlangan sikl to'g'ri bo'lib, u issiqlik mashinasiga mos keladi, ya'ni biror jismdan — issiqlik uzatuvchidan (isitgichdan) issiqlik miqdori oladigan, ish bajarib, bu issiqlik miqdorining bir qismini boshqa jismga— issiqlik qabul qiluvchiga (xolodilnikka) uzatadigan qandaydir bir qurilmaga mos keladi (4.4- rasm). Bu siklda ishchi modda (gaz) musbat ish bajaradi (4.5- rasm); gaz 1-a-2 jarayonda kengayadi, ish musbat va son jihatidan 1-a-2 egri chiziq ostidagi yuzga teng; 2-b-1 jarayonida ish manfiy (gazning siqilishi) va son jihatidan tegishli egri chiziq ostidagi yuzga teng. Bir sikl davomida gaz bajargan ishning algebraik yig'indisi umumiy holda musbat ishni beradi va son jihatidan 1-a-2-b-1 berk egri chiziq bilan chegaralangan yuzga teng.

Teskari sikl sovitgich mashinaning ishiga mos keladi, ya'ni issiqlikni sovitgichdan tortib oladigan va ko'p miqdordagi issiqlikni isitgichga uzatadigan sistemaga mos keladi. Termodinamikaning ikkinchi qonunidan kelib chiqadiki, bu jarayon (4.6- rasm) o'z-o'zidan o'tmasdan, balki u tashqi kuchlar bajargan ish hisobiga yuz beradi. Bunda gaz manfiy ish bajaradi: gazning siqilishi 2-a-1 jarayondagi siqilish ishi manfiy, 1-b-2 jarayondagi kengayish ishi musbat. Gaz bajargan ishni algebraik qo'shish natijasida gazning son jihatidan 2-a-1-b-2 egri chiziq bilan chegaralangan yuzga teng bo'lgan manfiy ishini hosil qilamiz.



4.7 rasm to'g'ri sikl (qaytar jarayon)



4.8- rasm teskari sikl (qaytmas jarayon)

Bajarilgan ishning ishchi modda tomonidan isitgichdan olingan issiqlik miqdoriga nisbati issiqlik mashinasining yoki to'g'ri siklning foydali ish koeffitsiyenti deyiladi:

$$\eta = A/Q \quad (4.2)$$

Issiqlik mashinasining bajarilgan ishi issiqlik miqdori hisobiga bajarilgani, ishchi moddasining ichki energiyasi esa har bir sikl davomida o'zgarmagani uchun ($\Delta U=0$) termodinamikaning birinchi qonunidan aylanma jarayonlarda bajarilgan ish issiqlik miqdorlarining algebraik yig'indisiga tengligi kelib chiqadi:

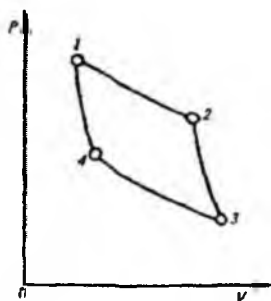
$$A = Q_1 + Q_2$$

Demak,

$$\eta = (Q_1 + Q_2)/Q_1 \quad (4.3)$$

Ishchi modda hosil qilgan Q_1 issiqlik miqdori musbat, ishchi moddaning sovitgichga berilgan issiqlik miqdori Q_2 esa manfiy.

Karno siklini ko'rib o'taylik (4.7-rasm). U ikkita T_1 va T_2 ($T_1 > T_2$) haroratlarga mos holdagi 1-2, 3-2 izotermalardan va ikkita 2-3, 4-1 adiabatadan iborat. Bu siklda ishchi modda ideal gaz hisoblanadi. Issiqlik miqdorining isitgichdan ishchi moddaga uzatilishi T_1 haroratda, ishchi moddadan sovitgichga berilgan issiqlik miqdori Q_2 esa manfiy.



4.9- rasm. Karno sikli

Karno siklini ko'rib o'taylik (4.7-rasm). U ikkita T_1 va T_2 ($T_1 > T_2$) haroratlarga mos holdagi 1-2, 3-2 izotermalardan va ikkita 2-3, 4-1 adiabatadan iborat. Bu siklda ishchi modda ideal gaz hisoblanadi. Issiqlik miqdorining isitgichdan ishchi moddaga uzatilishi T_1 haroratda, ishchi moddadan sovitgichga uzatilishi esa T_2 haroratda ro'y beradi. Qaytuvchan Karno siklining FIK faqat isitgichning T_1 va T_2 ga sovitgichning haroratlari bog'liqligini isbotsiz ko'rsatamiz.

$$\eta = (T_1 - T_2)/T_1 \quad (4.4)$$

Kamo termodinamikaning ikkinchi qonuniga asoslanib, quyidagi qoidalarni isbotlaydi: ayni bir isitgich va sovitgichli ikkita izoterma va ikkita adiabatadan iborat sikl bo'yicha ishlovchi hamma qaytuvchan mashinalarning FIK bir- biriga teng bo'lib, ishchi moddaga va siklni bajaruvchi mashinaning konstruksiyasiga bog'liq emas; qaytmas mashinaning FIK qaytuvchan mashinaning FIK dan kichikdir.

Bu qoidalarni (4.3) va (4.4) ga binoan

$$\frac{Q_1 + Q_2}{Q_1} \leq \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad (4.5)$$

ko'rinishda yozish mumkin, bu yerda "-" ishorasi qaytuvchan siklga, "+" ishorasi esa qaytmas siklga tegishlidir. Bu ifoda ikkinchi qonunning miqdoriy ifodasidir. Paragraf boshida keltirilgan har ikkala ifoda sifat jihatidan shu ikkinchi asosning natijasi ekanligini ko'rsatamiz.

Ikki jism orasidagi issiqlik almashinishi ish bajarilmasdan yuz beradi deb faraz qilaylik, ya'ni $Q_1 + Q_2 = 0$. U holda [(4.11) ga qarang] $T_1 - T_2 > 0$ va $T_1 > T_2$ bu esa o'z-o'zicha o'tayotgan jarayonda issiqlik harorati yuqoriroq bo'lgan jismlardan harorati pastroq bo'lgan jismga o'tadi, degan Klauzius ta'rifiga mos keladi.

Agar issiqlik mashinasi issiqlik almashinishi jarayonida olgan energiyasini to'la ish bajarish uchun sarf qilib, sovitgichga energiya uzatmasa, u holda $Q_2 = 0$ va (4.5)dan quyidagi tenglikka ega bo'lamiz:

$$(1 - T_2/T_1) \geq 1$$

lekin bunday bo'lishi mumkin emas, chunki T_1 , va T_2 - musbat. Bu yerdan Tomsonning ikkinchi (tur) abadiy dvigatel bo'lishi mumkin emas, degan ta'rifi kelib chiqadi. (4.5) ifodani boshqacha ko'rinishda yozamiz:

$$1 + \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}$$

$$\therefore \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

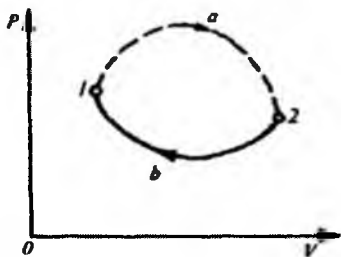
Ishchi modda tomonidan olingan yoki berilgan issiqlik miqdoringing issiqlik almashinish jarayonidagi temperaturaga nisbati keltirilgan issiqlik miqdori deyiladi.

Shu sababli (4.5) ni quyidagicha ifodalash mumkin bir sikl davomidagi keltirilgan issiqlik miqdorlarining algebraik yig'indisi noldan katta bo'lmaydi (qaytuvchan sikllarda nolga teng, qaytmas sikllarda esa noldan kichik).

Agar sistemaning holati Kamo sikli bo'yicha o'zgarasdan, boshqa biror ixtiyoriy sikl bo'yicha o'zgarsa, u holda uni yetarlicha juda kichik Kamo sikllarining to'plami ko'rinishida tasavvur etish mumkin (4.8- rasm). U holda (4.5) ifoda yetarlicha kichik bo'lgan keltirilgan issiqlik miqdorlarining yig'indisiga aylanadi. Bu esa limitda

$$\oint \frac{dQ}{T} \leq 0 \quad (4.6)$$

integral bilan ifodalanadi.



4.10 rasm. Karno sikli

(4.6) ifoda har qanday qaytmas („<“ belgi) yoki qaytuvchan („=“ belgi) sikl uchun o'rinlidir. dQ/T elementar keltirilgan issiqlik integral belgisidagi aylana integrallashni berk kontur yoki sikl bo'yicha olinayotganini ko'rsatadi.

Jarayon yoki ko'chishga bogliq bo'lmagan fizik xarakteristikalar, odatda

sistemaning vaziyatiga yoki boshlang'ich va oxirgi holatiga mos keluvchi biror funksiya ikki qiymatining ayirmasi kabi ifodalanadi. Masalan, og'irlik kuchi ishining trayektoriyaga bog'liq emasligi bu ishni trayektoriyaning boshlang'ich va oxirgi nuqtalaridagi potensial energiyalari ayirmasi orqali ifodalashga imkon beradi: elektrostatik maydon kuchlarining ishini ko'chirilayotgan zaryadning ko'chish yo'nalishiga bog'liq emasligi bu ishni zaryad ko'chirilayotgan boshlang'ich va oxirgi nuqtalardagi maydon potentsiallarining ayirmasi orqali bog'lashga imkon beradi.

Qaytuvchan jarayon uchun keltirilgan issiqlik miqdorining yig'indisini sistema holatining entropiyasi deb ataluvchi biror funksiya ikki qiymatining ayirmasi kabi ifodalash mumkin:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (4.7)$$

bu yerda S_2 va S_1 , — sistemaning oxirgi 2 va boshlang'ich 1 holatlariga mos keluvchi entropiya. Shunday qilib, entropiya sistemaning holat funksiyasi bo'lib, ikki holat uchun entropiya qiymatlarining ayirmasi sistemaning bir holatdan boshqa holatga qaytuvchan o'tishlaridagi keltirilgan issiqlik miqdorlarining yig'indiga teng.

Agar jarayon qaytmas bo'lsa, u holda (4.6) tenglama bajarilmaydi. Aytaylik, qaytuvchan 2-b-1 va qaytmas 1-a-2 jarayonlardan iborat bo'lgan sikl berilgan bo'lsin (4.10- rasm). Siklning bir qismi qaytmas bo'lgani sababli butun sikl qaytmasdir, shu sababli (4.13)ga asosan quyidagini yozamiz

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ_{\text{qaytmas}}}{T} \quad (4.8)$$

Shunday qilib, qaytmas jarayonda keltirilgan issiqlik miqdorining yig'indisi entropiyaning o'zgarishidan kichik ekan. (4.6) va (4.8) ning o'ng tomonlarini birlashtirib, quyidagini olamiz:

$$\Delta S \geq \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (4.9)$$

bu yerda „ \geq “ belgi qaytuvchan jarayoniga, „ $>$ “ belgi esa qaytmas jarayonga taalluqli.

(4.9) munosabat (4.2) ga asosan olingani sababli termodinamikaning ikkinchi asosini ifodalaydi.

Entropiyaning fizik mohiyatini aniqlaylik.

(4.6) formula faqat entropiyalar ayirmasini beradi, entropiyaning o'zi esa ixtiyoriy o'zgarmas son aniqligida topiladi.

$$S = \int \frac{dQ}{T} + S_0 \quad (4.10)$$

Agar sistema bir holatdan boshqa holatga o'tgan bo'lsa va bu o'tish jarayonining tabiatidan qat'i nazar (ya'ni u qaytuvchanmi yoki qaytmasmi) bu o'tish holatlari orasida yuz beruvchi har qanday qaytuvchan jarayonlar uchun entropiyaning o'zgarishi (4.6) formula yordamida hisoblanadi. Bu esa entropiya sistema holatining funksiyasi ekanligi bilan bog'liqdir.

Ikki holat entropiyasining ayirmasi qaytuvchan izotermik jarayonda osongina hisoblanadi:

$$S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} = \frac{1}{T} \int_1^2 dQ = \frac{Q}{T}$$

bu yerda Q — o'zgarmas haroratda sistemaning 1 holatdan 2 holatga o'tishi jarayonida sistema tomonidan olinagan to'liq issiqlik miqdori. Oxirgi tenglama erish, bug' hosil bo'lishi va hokazo jarayonlarda entropiyaning o'zgarishini hisoblashda qo'llaniladi. Bunday hollarda Q — *fazoviy o'zgarishlar issiqligi* bo'ladi.

Agar jarayon izolatsiyalangan sistemada yuz berayotgan bo'lsa ($dQ = 0$), u holda [q. (4.9)] qaytuvchan jarayonda entropiya o'zgarmaydi: $S_2 - S_1 = 0$, $S = \text{const}$, qaytmas jarayonda esa entropiya o'zgaradi. Bu holni haroratlari mos holda T_1 , va T_2 ($T_1 > T_2$) bo'lgan va izolatsiyalangan sistemani tashkil etuvchi ikki jism orasida issiqlik almashinuvi misolida ko'rsatish mumkin. Agar uncha ko'p bo'lmagan issiqlik miqdori dQ birinchi jismdan ikkinchi jismga o'tsa, bu holda birinchi jismning entropiyasi $dS_1 = dQ / T_1$ miqdorda kamayadi, ikkinchi jismniki esa $dS_2 = dQ / T_2$ miqdorda ortadi. Lekin issiqlik miqdori uncha katta bo'lmaganligi sababli birinchi jismning ham, ikkinchi jismning ham harorati o'zgaraydi deb hisoblash mumkin. Sistema entropiyasining to'la o'zgarishi esa musbat:

$$dS = -dS_1 + dS_2 = \frac{dQ}{T_2} - \frac{dQ}{T_1} > 0$$

binobarin, izolatsiyalangan sistemaning entropiyasi ortadi. Agar bu sistemada harorati past bo'lgan jismdan harorati yuqori bo'lgan jismga o'z-o'zidan issiqlik o'tsa, bunda sistema entropiyasi kamaygan bo'lar edi:

$$dS = dS_1 + dS_2 = \frac{dQ}{T_1} - \frac{dQ}{T_2} < 0$$

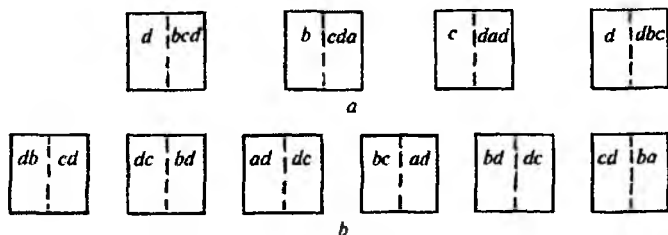
bu esa (4.9)ga ziddir. Shunday qilib, izolatsiyalangan sistemada entropiyaning kamayishiga olib keladigan jarayonlar o'tishi mumkin emas. (termodinamikaning ikkinchi asosi).

Izolatsiyalangan sistemada entropiyaning ortib borishi cheksiz yuz bermaydi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan misolda vaqt o'tishi bilan jismlarning harorati tenglashadi, ular orasida issiqlik almashinishi to'xtaydi va muvozanatli holat yuzaga keladi.(q. 4.1-§). Bu holatda sistema parametrlari o'zgarishsiz qoladi, entropiya esa o'zining maksimum qiymatiga erishadi.

Molekular-kinetik nazariyaga asosan entropiyani sistemaning tartibsiz zarrachalarining o'lchovi deb ta'riflash birmuncha qulaydir. Masalan, gaz hajmining kamayishida uning molekularlarining bir-biriga nisbatan joylashishi borgan sari aniq bir yo'nalishni egallab boradi, ya'ni bu sistemada tartibli joylashishning ortib borishiga mos keladi, bu holda entropiya kamayadi. Qachonki o'zgarimas haroratda gaz kondensatsiyalansa yoki suyuqlik kristall holatga o'tsa, moddadan issiqlik miqdori ajralib chiqadi va molekularlarning tartibli joylashishi bu holda ham ortadi, entropiya esa kamayib boradi.

Sistemadagi tartibsizlik miqdor jihatidan termodinamik ehtimollik W_{ter} orqali xarakterlanadi. Uning mazmunini aniqlash uchun gazning to'rtta zarrachasi a, b, c, d dan iborat bo'lgan sistemani ko'rib chiqamiz (4.11- rasm). Bu zarrachalar fikran ikkita teng bo'lakka bo'lingan katakchalardan iborat hajmda mavjud bo'lib, unda erkin ko'cha oladi.



4.11 rasm. Sistemadagi tartibsizlik miqdor jihatidan termodinamik ehtimollik

Birinchi va ikkinchi kataklardagi zarrachalar soni bilan aniqlanadigan sistemaning holatini makroholat, har bir katakda aynan zarrachalardan qaysi

biriturganligi bilan aniqlanadigan sistemaning holatini—mikroholat deb ataymiz. Uholda 4.11- a rasmdagi makroholat bitta zarrachaning birinchi katakda va uchtazarrachaning ikkinchi katakda mavjud bo'lishidan iborat to'rtta mikroholat orqaliamalga oshiriladi. Har bir katakda to'rtta zarrachaning teng ikkitadan bo'lib joylashishiga mos keluvchi makroholati oltita mikroholat orqali amalga oshiriladi (4.11- b rasm).

Termodinamik ehtimollik deb, zarrachalar joylashishi turlarining soni yoki ushbu makroholatni amalga oshiruvchi mikroholatlar soniga aytiladi.

Ko'rib o'tilgan misollarning birinchisida $W_{ter} = 4$ va ikkinchisida $W_{ter} = 6$.

Ko'rinib turibdiki, zarrachalarning kataklar bo'ylab teng miqdorda (ikkitadan)taqsimlanishiga eng katta termodinamik ehtimollik mos keladi. Ikkinchi tomondan,zarrachalarning teng miqdorda taqsimlanishi eng katta entropiyali muvozanatliholatga javob beradi. Ehtimollik nazariyasidan ma'lumki, o'z-o'ziga qo'yibberilgan sistema, eng ko'p miqdordagi usullar, eng ko'p miqdordagi mikrohlatlarbilan amalga oshiriluvchi makroholatga, ya'ni eng katta termodinamik holatga o'tishga intiladi.

Agar gazning kengayishiga imkoniyat berilsa, uning molekulari mavjud bo'lgan butun hajmni bir tekisda egallashga harakat qiladi. Bu jarayonda entropiyaesa oshib boradi. Molekularlarning berilgan hajmning bir qismini, masalan,xonaning yarim hajmini egallashga intilishi kabi teskari jarayon kuzatilmaydi, buholatga eng kichik entropiya mos kelgan bo'lar edi.

Bundan entropiya bilan termodinamik ehtimollik orasida bog'lanish borligito'g'risida xulosa chiqarish mumkin. L.Boltsman entropiyaning termodinamikehtimollikning logarifmiga proporsional ekanini aniqladi:

$$S = k \ln W_{ter} \quad (4.11)$$

bu yerda k — Boltsman doimiysi.

Termodinamikaning ikkinchisi asosi, masalan, birinchi asosidan yoki Nyutonning ikkinchi qonunidan farqli ravishda *statistik qonundir*.

Ba'zi jarayonlar bo'lishi mumkin emasligi haqidagi ikkinchi asosning tasdiqlanishi aslida ularning bo'lishi kichik ehtimollikka ega bo'lib, amalda esa ehtimolsiz, ya'ni bo'lishi mumkin emasligini tasdiqlaydi.

Pirovardida yana bir bor qayd qilamizki, agar termodinamikaning birinchi asosi jarayonning energetik balansini nazarda tutsa, ikkinchi asosi esa uning umkin bo'lgan yo'nalishini ko'rsatadi. Termodinamikaning ikkinchi asosi birinchi asosini aytarli darajada to'ldirgani kabi, entropiya ham energiya tuunchasini to'ldiradi.

4.3-§. STATSIONAR HOLAT. ENTROPIYA HOSIL QILISHNING MINIMUMI PRINSIPI

Yuqorida bayon qilingan termodinamik masalalar asosan muvozanatli jarayonlarga yoki muvozanatli holatga olib keladigan jarayonlarga taalluqli.

Bunday cheklanishlar, termodinamik jarayonlarning izolatsiyalangan sistemalarda o'rganilishiga sabab bo'lganini tushuntirishga imkon berdi.

Ammo tabiatda va texnikada real jarayonlar va holatlar muvozanatsiz hisoblanadi. Ko'pgina sistemalar esa ochiq sistemalaridir. Bu jarayonlar va sistemalar muvozanatsiz holatlar termodinamikasida ko'rib o'tiladi.

Muvozanatli termodinamikada eng asosiy holat muvozanatli holat bo'lgani kabi muvozanatsiz termodinamikada asosiy rol ni statsionar holat o'ynaydi. Statsionar holatda sistemada yuz beradigan qaytmas jarayonlar (diffuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik va boshqalar) entropiyani orttirishiga qaramay, sistemaentropiyasi o'zgarishsiz qoladi. Bu qarama-qarshilikni qanday tushunsa boiadi?

Sistema entropiyasi o'zgarishi ΔS ni ikkita qo'shiluvchi ko'rinishida ifodalaymiz:

$$\Delta S = \Delta S_i + \Delta S_e \quad (4.12)$$

bu yerda ΔS , — sistemadagi qaytmas jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan entropiyaning o'zgarishi; ΔS_e — sistemani tashqi muhit jismlari (sistema orqali o'tuvchi oqimlar) bilan ta'sirlashuvi tufayli yuzaga kelgan entropiyaning o'zgarishi.

Jarayonlarning qaytmasligi $\Delta S_i > 0$, holatining statsionarligi esa $\Delta S = 0$ ga olib keladi; demak $\Delta S_e = \Delta S - \Delta S_i < 0$ bo'ladi. Bu sistemaga o'tayotgan

mahsulotdagi (modda va energiya) entropiya sistemadan chiqayotgan mahsulotdagi entropiyadan kichik ekanligini bildiradi.

Aytib o'tilganidek, muvozanatli holatda entropiya maksimal, Gibbs energiyasi esa minimal bo'ladi. I.Prigojin ham statsionar holat uchun entropiyaning minimum hosil bo'lish prinsipini ta'riflab, ayrim funksiyalarning ekstremal qiymatlarini ko'rsatdi. Sistemaning statsionar holatidan sistemaning muvozanatli holatga qaytishiga to'sqinlik qiluvchi tashqi muhit sharoitlarining ma'lumotlariga qarab qaytmas jarayonlar oqibatida sistemaning statsionar holatidagi entropiyaning paydo bo'lish tezligi minimumga ega boiadi ($dS/dt > 0$ va minimal).

Prigojin prinsipiga muvofiq, sistemaning statsionar holatida ichki muvozanatsiz holatlar (diffuziya, issiqlik o'tkazuvchanlik, kimyoviy reaksiyalar va boshqalar) shunday o'tadiki, entropiyaning har bir sekunddagi o'zgarishi minimumga ega boiadi. Bu esa sistema ichki qaytmas jarayonlar hisobiga statsionar holatidan chiqish imkoniyatiga ega emasligini bildiradi. Shunday qilib, agar sistemaning uncha katta bolmagan chetlanishlari (fluktuatsiyasi) yuz bersada, ichki jarayonlarning dS/dt kamaytirishga intilishi sistemani yana o'z holatiga qaytaradi.

Shuni aytib olish lozimki, hamma bayon etilganlar, shu qatorda Prigojin prinsipi ham berilgan va o'zgarmaydigan tashqi muhit sharoitlari uchun to'g'ridir.

Tashqi ta'sirning o'zgarishida (sistemaga kiruvchi va sistemadan chiquvchi oqimlar) yangi tashqi sharoitlar vaqt davomida saqlanib tursagina sistema bir statsionar holatdan ketadi va boshqasiga o'tadi.

Biologik sistemalarda statsionar holatlar orasidagi o'tishlarga nerv impulsining generatsiyasini, muskul qisqarishlarini va hokazolami misol qilib olish mumkin.

4.4-§. TIRIK SISTEMALAR TERMODINAMIKASI

Termodinamikaning dastlabki taraqqiyoti sanoat ishlab chiqarishi talablariniqondirish va uni rivojlantirish bilan bog'liq bo'lgan. Bu davrda (XIX asr)

asosiy yutuqlar ideallashtirilgan: muvozanatli va qaytuvchan jarayonlarga moslab qonunlarni aniq ifoda qilish, sikllar metodini va termodinamik potentsiallarni tadqiq qilishni o'z ichiga olgan edi.

Biologik sistemalar termodinamikasi bu davrda rivojlanmagan edi. Bu boradagi yorqin istisnolardan biri Mayyer ishidir. U tropik iqlim sharoitida ishlovchi matrosning vena qoni rangiga qarab energiyaning saqlanish qonunini (termodinamikaning birinchi qonuni) qo'llash maqsadga muvofiqligini ta'riflab berdi.

Hayvonlar yashashi uchun ozuqaga muxtoj, shuning uchun ular energiyaga ham muxtoj, chunki ular energiyani sarflaydi," sarflaydi" deyish juda ham to'g'ri emas termodinamikani birinchi qonunidan bilamizki ular energiya saqlaydi. Tana energiya oladi va uni bir shakldan ikkinchi shaklga o'zgartiradi. Haqiqatdan ham termodinamikaning birinchi qonuni bizni chiqargan xulosalarimizni xatolikka olib kelishi mumkin, hayvonlar tashqi energiya manbayini, ozuqa moddalar molekullarning kimyoviy bog'laridan topadi va u issiqlikka aylanadi. Agar tananing temperaturasi va og'irligi bir xil bo'lsa va tana tashqi ishlarni bajarmasa u holda tanaga beriladigan energiya issiqlik energiyasiga teng bo'ladi. Agar issiqlikni saqlash yaxshi amalga oshirilsa, issiqlikni chiqib ketishiga yo'l qo'yilmasa, yaxshi izolyatsiya bo'lsa, organizm ozuqa moddalarsiz yashay oladi. Bilamizki bu taxmin noto'g'ri energiyaga muxtojlik termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra amalga oshiriladi¹.

Termodinamikaning ikkinchi asosi (entropiya) va biologik sistemalar bilan bog'liq bo'lgan ayrim masalalarni ko'rib chiqish yanada muhimdir.

Biologik obyektlar ochiq termodinamik sistemalar hisoblanadi. Ular atrof muhit bilan ham modda, ham energiya almashinadi.

Umumiy holda aytilganda, tirik organizm statsionar holatda bo'lmaydigan rivojlanuvchi sistemadir. Ammo odatda qandaydir uncha katta bo'lmagan vaqt oralig'ida biologik sistemalar holatini statsionar holat deb qabul qilinadi.

¹ Paul Davidovits. *Physics in Biology and Medicine*. Fourth Edition, 2013

Ayrim masalalarni shunday faraz qilish asosida ko‘rib o‘taylik. Organizm—statsionar sistemasi uchun $dS = 0$, $S = \text{const}$, $dS_i > 0$, $dS_e < 0$ deb yozish mumkin. Bu ifodalar katta entropiya oziqlanish mahsulotida emas, balki ajralib chiqayotgan mahsulotda ekanligini bildiradi. Organizm — atrof muhit entropiyasi izolatsiyalangan sistemalardagi kabi ortib boradi, ammo bunda organizmning entropiyasi o‘zgarmas saqlanib qoladi. Entropiya sistemartibsizligining o‘lchovidir, shu sababli organizmning tartibligi atrof muhit tartibligining kamayishi hisobiga saqlanadi, degan xulosa chiqarish mumkin. Ayrim kasalliklar holatlarida biologik sistemalar entropiyasi oshishi mumkin ($dS > 0$) bu statsionar holatning bo‘lmasligi tartibsizlikning yo‘qligi bilan bogliq.

Masalan, rak kasalliklarida hujayralarning tartibsiz ravishda ko‘payib ketishi yuz beradi. (4.41) formulani qaytadan o‘zgartirib,

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt}$$

ko‘rinishida yoki statsionar holat uchun ($S = \text{const}$, $dS/dt = 0$)

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \quad (4.12)$$

ko‘rinishida yozish mumkin.

(4.12) dan ko‘rinib turibdiki, organizmning odatdagidek holatida ichki jarayonlar hisobiga yuz beradigan entropiyaning o‘zgarish tezligi, modda almashinuvi va atrof-muhit bilan energiya almashinuvi tufayli bo‘ladigan manfiy qiymatli entropiyaning o‘zgarish tezligiga teng.

Prigojin prinsipiga muvofiq $dS_i/dt > 0$ va minimaldir; xuddi shuningdek, $[-dS_e/dt]$ ham minimal qiymatga ega bo‘ladi.

Bundan shunday xulosa chiqarish mumkin: atrof-muhit entropiyasining o‘zgarishi organizmning statsionar holati saqlanib qolgan holda ham minimumga ega.

Tirik sistemalar (hujayra, a‘zolar, organizm) ishlab turishining asosi diffuzion jarayonlar biokimyoviy reaksiyalar, osmotik hodisalarning va hokazo shunga o‘xshashlarning yuz berish sharoitida statsionar holatni quvvatlab turishdan iborat.

Tashqi muhit sharoitlarining o'zgarishida organizmdagi jarayonlar shunday rivojlanadiki, uning holati avvalgidek statsionar holat bo'lmaydi.

Organizm va biologik strukturalarning tashqi muhit sharoitlariga moslashuvining (adaptatsiya) ayrim termodinamik mezonini ko'rsatish mumkin.

Agar tashqi sharoit o'zgarsa (haroratning oshishi yoki kamayishi, namlikning o'zgarishi, atrofni o'rab turgan havo tarkibining o'zgarishi va hokazo), lekin organizm (hujayra) statsionar holatni qvvatlab turish qobiliyatiga ega bo'lgani tufayli organizm bu o'zgarishlarga moslashadi va yashaydi.

Agar organizm tashqi muhit sharoitlarining o'zgarishida statsionar holatini saqlash imkoniyatiga ega bo'lmasa, bu holatdan chetlashsa, bu uning o'limiga olib keladi, chunki organizm bu vaziyatga moslasha olmadi, ya'ni sharoitning o'zgarishiga mos holda, nisbatan tezlik bilan statsionar holatga kelolmadi.

Oxirida shuni aytish lozimki, ushbu paragrafda keltirilgan mulohazalar, organism – muvozanat holatidan uncha farq qilmaydigan statsionar sistemadir, deyilgan tushunchaga asoslanadi. Bu hodisalar uchun Prigojin prinsipi to'g'ri keladi. Tirik organizmlar esa muvozanatli holatdan yiroq turgani sababli qilingan farazlar doirasida, xususan, hujayraning o'sishi va yangi strukturaning paydobo'lishini tushuntirish mumkin emas. Kuchli muvozanatsiz sistemalar uchun Prigojin — Glansdorf prinsipini hisobga olish zarur, chunki bu prinsipga asosan entropiya hosil bo'lishi tezligi kamayib boradi.

4.5-§. ISSIQLIK VA HAYOT

Issiqlik yoki temperatura, tirik organizmlarning faoliyatida muhim omillardan biri hisoblanadi. Xayot uchun zarur metabolik jarayonlar: xujayra bo'linishi, ferment reaksiyasi temperaturaga bog'liq. Xarorat 10 darajaga oshganda reaksiyalar 2 marta tezlashadi.

Suv – tirik organizmlarning muxim tarkibiy qismi bo'lgani uchun, unda kechadigan metabolik jarayonlar nisbatan qisqa temperaturalar oralig'ida ro'y beradi (2°C dan 120°C gacha). Faqat eng oddiy tuzilgan organizmlar ushbu

diapozon chegaralarida yashay oladi. kattamashtabdagi xayot tizimlari yanada tor diapozondagi temperaturalarda chegaralangan.

Ko'pchilik xayot tizimlari, o'simliklar va xayvonlar faoliyati temperaturaning mavsumiy o'zgarishlariga bog'liq. Reptiliyalarda sovuq sharoitda xayotiy jarayonlar deyarli batomom to'xtaydi. Issiq quyoshli kunda ular tana temperaturasini pasaytirish uchun soya joy qidiradilar. Хар бир хайвонда турли metabolik jarayonlar amalga oshishi uchun optimal daraja bor. Issiq qonli xayvonlar (sut emizuvchilar va qushlar) ichki temperaturani deyarli doimiy darajada ushlab turish usullarini rivojlantrishgan. Natijada issiq qonli xayvonlar tashqi temperaturaning keng diapozonlarida optimal darajadot faoliyat yurita oladilar. Temperaturani sozlash qo'shimcha energiya sarfini talab qilsada, erishilgan moslashuvchanlik shunga arziydi.¹

4.6-§. TERMOMETRIYA VA KALORIMETRIYA

Haroratni aniq o'lchash — ilmiy-tadqiqot va texnik ishlaming, shu bilan bir qatorda tibbiy diagnostika va biologiyaning ajralmas qismidir.

Ma'lum haroratlar diapazoni juda keng. Hozirgi paytgacha hosil qilingan eng past temperatura $2 \cdot 10^5$ K ga yaqin. Erishilgan haroratlarning yuqori chegarasi hech nima bilan cheklanmagan. Yer sharoitida eng yuqori haroratga vodorod bombasining portlashida erishilgan bo'lib, u taxminan 10^8 K teng. Spektroskopik ma'lumotlarga asosan yulduzlar bag'rida harorat 10^9 K va undan ham yuqori bo'lishi mumkin.

Biologik sistemalar o'zining ishlab turish imkoniyatini saqlagan holda, juda qisqa yoki uzoq muddatda bo'lish mumkin bo'lgan va uni o'rab turgan atrof-muhitning haroratlar intervali ancha qisqa. Bu haroratlar diapazoni uncha katta emas, tirik organizmlarning aktiv ish faoliyati holatida taxminan 0 dan to 90°C gacha bo'ladi.

¹ Paul Davidovits. Physics in Biology and Medicine. Fourth Edition, 2013

Keng diapazondagi haroratlarni olish va o'lchash usullari turlichadir. Haroratlarni o'lchash usullari va u bilan bog'liq bo'lgan masalalarni o'rganuvchi fizikaning amaliy sohasiga *termometriya* deyiladi.

Ma'lumki, harorat bevosita o'lchanishi mumkin emas. Uni aniqlash uchun harorat shkalasini belgilab olish: termometrik moddani va harorat bilan bog'lanuvchi fizik xossani (termometrik xossani) tanlash, sanoq boshi nuqtasini va harorat birligi haqida kelishib olish lozim. Buning uchun odatda ikkita fazaviy o'tishlarga, masalan, ma'lum tashqi sharoitlarda muzning erishiga va suvning qaynashiga mos bo'lgan asosiy haroratlar (reper nuqtalarini) tanlanadi. Bu nuqtalar orasidagi shkala qismi asosiy interval deb ataladi. Hisoblashning boshi deb reper nuqtalaridan biri (masalan, 0°C -muzning erish harorati) qabul qilinadi. Harorat birligi qilib asosiy interval ulushi olinadi. Jumladan, Selsiy shkalasida 1 gradus asosiy intervalning 0,01 qismini tashkil etadi.

Haroratlar shkalasi termometrik xosasi yoki moddasi bo'yicha farq qiladi.

Bir-biridan aytarli darajada farq qiluvchi juda ko'p shkalalarni tuzish mumkin, lekin xossalarning hech biri harorat bilan qat'iy chiziqli bog'lanishda bo'lmaydi va bundan tashqari moddaning tabiati bilan belgilanadi.

Barcha emperik shkalalarning kamchiligi ularning termometrik modda xossalari bog'liqligidir. Xossalari va moddasi bilan bog'liq bo'lmagan shkala faqat termodinamikaning ikkinchi qonuniga asosan qurilgan va absolut termodinamik haroratlar shkalasi deb ataladi. Uning reper nuqtasi qilib suvning uchlanma nuqtasi $273,16\text{K}$ qabul qilingan. Bu shkala Karno sikli yordamida aniqlanadi. Bu sikldagi muzning erish harorati T_0 va suvning qaynash harorati T ga mos holdagi izotermik jarayonda Q_0 va Q issiqlik miqdorini o'lchab, quyidagini topish mumkin:

$$T_s/T_0=Q_s/Q_0.$$

ixtiyoriy harorat uchun shunga o'xshash

$$T/T_0=Q_s/Q_0.$$

tenglamani yozish mumkin. Bu yerda Q — sistemaga — haroratdagi izotermik jarayonda berilgan issiqlik miqdori. Bu yo'sinda joriy etilgan haroratni termodinamik harorat deyiladi.

Termodinamik harorat birligi kelvin (K) hisoblanib, u suv uchlanma nuqtasi termodinamik haroratning $1/273,16$ ulushiga teng. Kelvin temperatura intervalbirligi sifatida, absolut nol bilan suvning uchlama nuqtasi orasidagi termodinamik harorat intervalining $1/273,16$ qismini oldi.

Istalgan emperik shkala shu modda termometrik xossasining haroratga bog'lanishini hisobga oluvchi tuzatmalar kiritish vositasi bilan absolut termodinamika shkalasiga aylantiriladi.

Harorat qiymati termometrik modda biror xossasining kattaligi bo'yicha belgilangani uchun uni o'lchash hajm, bosim, elektrik, mexanik, optik, magnit va shunga o'xshash fizik parametrlarni o'lchashdan iborat. Haroratni olchash usullarining xilma-xil bo'lishi foydalanuvchi termometrik modda va xossalar sonining ko'pligi bilan bog'liqdir.

Termometr haroratni o'lchaydigan qurilma bo'lib, termometrik xossani amalga oshiruvchi sezgir elementdan (dilatometr, manometr, galvanometr, potensiometr va hokazodan) iborat. Haroratni olchashdagi zarur shart harorati o'lchanayotgan jism bilan sezgir element orasida issiqlik muvozanatining yuzaga kelishidir.

O'lchanadigan haroratlar oralig'iga qarab eng ko'p tarqalgan termometrlarga suyuqlikli, gazli termometrlar, qarshilik termometri, termometr kabi ishlaydigan termopara va pirometrlar kiradi. Suyuqlikni termometrlarda hajm-termometrik xarakteristika bo'lib hisoblanadi, suyuqlik (idish odatda simobli va spirtli) esa sezgir element bo'lib hisoblanadi. Pirometrlarda termometrik xossa sifatida nurlanish intensivligidan foydalaniladi. Pirometrlarning boshqa termometrlardan prinsipial farqi shundaki, ularning sezgir elementlari jism bilan bevosita kontaktda bo'lmaydi. Pirometrlardan istalgancha yuqori haroratlarni olchashda qollaniladi.

O'ta past haroratlarni o'lchashda termometrik modda sifatida paramagnetiklardan, o'lchash xossasi sifatida esa ularning magnitlashining temperaturaga bog'lanishidan foydalaniladi.



4.12-rasm. a-simobli termometr, b-metastatik termometr: 1-rezervuar, 2-qo'shimcha kamera, 3-kamera, 4-asosiy shkala

Tibbiyotda ishlatiluvchi simobli termometr maksimal haroratni ko'rsatadi, shu sababli u maksimal termometr deb ataladi. Undagi bu xususiyat uning tuzilishiga bog'liq: simobli rezervuar darajalangan kapillardan qilsimon darajada toraytirilgan qismi bilan ajratilgan bolib, bu torayganlik termometr sovugan vaqtda simobning rezervuarga qaytishiga imkon bermaydi (4.12- rasm). Uzoq vaqt kuzatiluvchi past temperaturalarni ko'rsatuvchi minimal termometrlar ham mavjud. Kichik intervaldagi haroratlar qiymatini yuqori aniqlikda o'lchash uchun metastatik termometrlardan (4.13- rasm) foydalaniladi. Bunday termometrlar suyuqlikli (odatda simobli) katta rezervuar 1 dan va uzun ingichka kapillar 3 dan iborat boladi. 1 rezervuardagi simob massasi o'zgaruvchan bo'lib, uning qismi 2 rezervuarga qo'yilishi mumkin, buning natijasida shkalaning nol (0) belgisi o'lchanuvchi haroratlar intervalining pastki chegarasi qilib olinadi. Bunday termometr darajasining qiymati $0,01^{\circ}$ ga teng. Hisoblash intervali hammasi bo'lib 5° ni tashkil etadi, lekin u har xil haroratlar atrofida olinishi mumkin. Turli fizik, kimyoviy va biologik jarayonlarda ajralib chiqadigan yoki yutiladigan issiqlik miqdorini o'lchash uchun kalorimetriya deb ataladigan bir qator usullardan foydalaniladi, bu metodlar to'plamiga kalorimetriya deyiladi.

Kalorimetrik usul yordamida jismlarning issiqlik sig'imi, fazoviy aylanishlar vaqtida issiqlik miqdori, eruvchanlik, hollash, adsorbsiya, kimyoviy reaksiya

tufayli hosil bo'lgan issiqlik, nurlanish energiyasi, radioaktiv parchalanish va shu kabilar o'lchanadi.

4.6-§. DAVOLASH UCHUN QO'LLANILADIGAN ISITILGAN VA SOVUQ MUHITLARNING FIZIK XOSSALARI

Tibbiyotda ayrim joylarni isitish yoki sovutish maqsadlarida isitilgan yoki sovutilgan jismlardan foydalaniladi. Odatda buning uchun nisbatan imkoni bo'lgan muhitlar tanlanadi, bunda ulardan ba'zilar foydali bo'lgan mexanik va kimyoviy ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Bunday muhitlarning fizik xossalari ularning qanday maqsadda ishlatilishiga qarab belgilanadi. Birinchidan, nisbatan uzoq vaqt davomida kerakli effekt hosil qilinadigan bolishi shart. Shuning uchun ishlatiluvchi muhitlar katta issiqlik sig'imiga (suv, balchiq) yoki fazoviy o'tish solishtirma issiqligi (parafin, muz)ga ega bo'lishlari kerak. Ikkinchidan, bevosita teri ustiga yopiladigan muhitlar og'riq sezdirmasligi kerak. Bu hol bir tomondan olingan muhitlar haroratini cheklab qo'yadi, ikkinchi tomondan issiqlik sig'imi kam bo'lgan muhitlarni tanlashga majbur etadi. Masalan, davolash uchun ishlatiladigan suvning harorati 45°C gacha torf va balchiqning harorati 50°C gacha bo'ladi, chunki bu muhitlarda issiqlik almashinuvi (konvensiya) suvdagidan kam bo'ladi. Parafin 60-70°C gacha isitiladi, chunki uning issiqlik o'tkazuvchanligi katta emas, teriga tegib turgan qismi esa tez sovub ketib kristallanadi — bu kristallar esa uning qolgan qismlaridan keluvchi issiqlik oqimini o'tkazmaydi.

Davolash maqsadida sovutuvchi muhit sifatida muz ishlatiladi.

Keyingi yillarda past haroratlardan meditsinada yetarlicha keng ko'lamda foydalanilmoqda.

Davolash maqsadida a'zolarning bir joyini yoki qismini kesib olib boshqa joyga o'rnatish va u bularning normal ishlashi, tirik organizm o'z ish faoliyatini yetarlicha uzoq vaqt saqlashi uchun bu a'zolar past haroratda konservatsiya qilinadi. **Kriogen usulini** muzlatish va eritish yo'li bilan to'qimalarni yemirishdan, tibbiyotchilar tomoq bezi, so'gal va shu kabilarni olib tashlashda ishlatishadi.

Bu maqsadda maxsus kriogenli apparatlar va kriozondlar yasaladi.

Anesteziya xossasiga ega bo'lgan sovuq yordamida asab kasalliklariga tegishli bo'lgan odam bosh miyasidagi ayrim hujayralar yadrosini yo'q qilishda ishlatiladi, masalan, parkinsonizmda shu usuldan foydalaniladi.

Mikroxirurgiyada nam to'qimalarning sovuq metall asboblariga yopishib qolishidan bu to'qimalarni boshqa joyga ko'chirishda foydalaniladi.

Past haroratlarning tibbiyotda qollanilishi tufayli kriogen tibbiyotda krioterapiya, krioxirurgiya va shu kabi yangi terminlar yuzaga kelgan.

5-BOB. TOVUSHNING FIZIKAVIY XARAKTERISTIKALARI. TIBBIYOTDA TOVUSHDAN FOYDALANISH

Biz atrofimizdagi asosiy ma'lumotlarni eshitish va ko'rish organlari orqali qabul qilamiz. Ikkala holda ham biz ob'ektlar haqida ma'lumotlarni ular bilan jismoniy kontaktsiz olamiz. Tovush va yorug'lik turli fizik hodisalar bo'lishiga qaramay, ularning har ikkisi ham to'liqdir. To'liqlar tomonidan tashiladigan energiya bizning sensor mexanizmlarimizni qo'zg'atadi.

Tovush vibratsiya bo'layotgan jism tomonidan chiqariladigan mexanik to'liqdir. Masalan, kamerton yoki inson tovush paylari tebranma harakat qilsa, ularning atrofidagi havo molekulari harakatlanib, tebranayotgan jism harakatiga monand ravishda o'zgaradi. Tebranayotgan molekular o'z navbatida harakatini qo'shni molekularga uzatadi. Havo tebranishlari quloqqa yetib borganida ular nog'ora pardaning vibratsiyasiga sababchi bo'ladi. Bu esa o'z navbatida bosh miyasi tomonidan qabul qilinuvchi nerv impulslarini keltirib chiqaradi

5.1-§. TOVUSHNING FIZIK XARAKTERISTIKASI.

Agar havoda tarqalayotgan elastik to'liqlarning chastotasi taxminan 16 Hz dan 20000 Hz oralig'ida bo'lsa, u holda ular inson qulog'ida tovush sezgisini uyg'otadi. Shuning uchun chastotasi ana shu ko'rsatilgan chegarada yotgan istalgan muhitdagi elastik to'liqlar tovush to'liqlari yoki to'g'ridan - to'g'ri *tovush* deb ataladi. Chastotasi 20 Hz dan kichik bo'lgan elastik to'liqlar *infratovush* deb ataladi: chastotasi 20000 Hz dan katta bo'lgan to'liqlar *ultratovush* deyiladi. Infratovush va ultratovushni inson qulog'i eshitmaydi.

Gaz va suyuqliklarda tovush to'liqini faqat bo'ylama to'liqin bo'lishi mumkin va galma-gal keluvchi siqilish va siyraklashishlardan iborat bo'ladi. Qattiq jismlarda tarqalayotgan to'liqlar ham bo'ylama, ham ko'ndalang bo'lishi mumkin.

Tovushning fizik xarakteristikasiga chastota, tezlik, to'liqin uzunlik, amplituda va shu kabi kattaliklar kiradi.

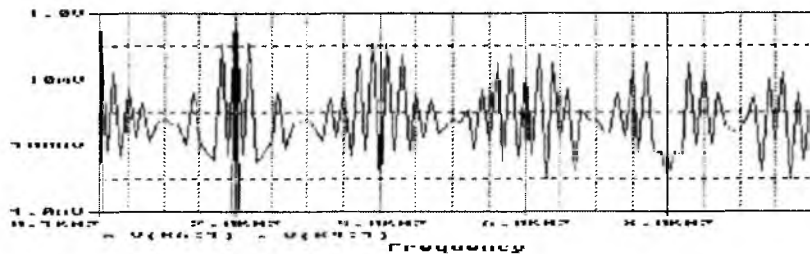
Tovushning muhitda tarqalishi tezligi muhitning zichligiga va uning temperaturasiga bog'liq. Agar muhit temperaturasi 1°C ga ko'tarilsa, tovushning tarqalish tezligi taxminan 0,5 m/s tezlikga ortadi.

Tovushning havoda yutilishini hisoblash shuni ko'rsatadiki, 20°C temperaturada chastotasi 1000 Hz bo'lgan to'lqin taxminan 115 km masofada e marta susayadi. Issiqlik o'tkazuvchanlik hisobga olinganda bu masofa 81 km gacha qisqaradi. Lekin amalda tovush atmosferada bunga qaraganda ancha tez susayadi. Buning sababi shuki, shamol, havoning temperaturasi va namligi, har xil zichlikka ega bo'lgan qatlamlarning borligi tovushning tarqalishiga ta'sir qiladi. Bir jinsli muhitda nuqtaviy manbadan tarqalayotgan sferik to'lqin hamma yo'nalishlarda bir xil tezlikka ega bo'lishi kerak. Lekin shamol esayotgan bo'lsa, uning tezligi bilan to'lqin tezligi o'zaro geometrik tarzda qo'shiladi. Yer sirtida ishqalanish bo'lishi tufayli shamolning yer sirti yonidagi tezligi kichik bo'lib, balandlik ortishi bilan kattalashib borgani sababli, to'lqin frontining ayrim qismlari yerga nisbatan har xil tezlik bilan harakatlanib, tovush to'lqinlarining sinishi kuzatiladi.

Ko'pchilik tovush manbalari past chastotadagi (infratovush) to'lqinlarni tarqatadi. Portlashlar, dvigatel shovqini, shamol va boshqalar ana shunday manbalarga misol bo'la oladi. Mazkur to'lqinlar chastotasi past bo'lganidan, ular uzoq masofalarga yetib borishi mumkin. Havodagi yadro portlashlarini qayd qilishda mazkur to'lqinlarning ana shu xususiyatidan foydalaniladi. 50–70 km balandlikda atmosferada ozon qatlami bo'lib, mazkur qatlam issiqliq nurlanishini juda kuchli yutadi, natijada uning temperaturasi ($50\text{--}70^{\circ}\text{C}$) keskin ortadi. Kuchli portlashning tovushi mazkur qatlamga yetib borgach, undan qaytib, yer sirtiga qaytib keladi. yer sirti bo'ylab tarqalayotgan tovush sirtning g'adir–budurliklari hamda havoning turbulent oqimi tufayli vujudga keladigan zichlikning notekisliklarida sochilib, juda tez so'nadi. Shuning uchun portlash manbai atrofida tovush yaxshi eshitiladigan sohalar bilan tovush eshitilmaydigan sohalar navbatlashib keladi.

Havodagiga nisbatan tovush suvda uzoqroq masofalarga yetib boradi. Suvda yorug'lik va radio to'liqlari juda tez (amalda bir necha o'n metr masofada) so'nadi, shu sababli suv ostida signal yuborishning yagona usuli sifatida tovush va ultratovush to'liqlaridan foydalaniladi. Mazkur to'liqlarning suvda tarkalishini o'rganadigan soha *gidroakustika* deb ataladi.

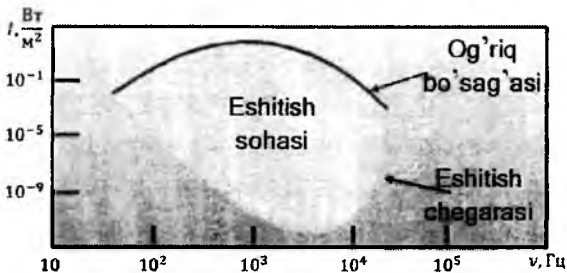
Har qanday real tovush oddiy garmonik tebranish emas, balki ma'lum chastotalar to'plamiga ega bo'lgan garmonik tebranishlarning yig'indisidan iborat. Berilgan tovushda ishtirok etuvchi tebranishlar chastotalari to'plami tovushning **akustik spektri** (5.1-rasm) deb ataladi.



5.1-rasm. Tovushning akustik spektri

Tovush tebranishlari va to'liqlari – mexanik tebranish va to'liqlarning xususiy xolidir. Biroq eshituv orqali sezishni baholashda akustik tushunchalarni muhimligini shu bilan birga uning meditsinadagi tadbirlarini nazarda tutib, ayrim masalalarni maxsus ko'rib chiqish maqsadga muvofiqdir. Quyidagi tovushlarni bir-biridan farqlash qabul qilingan: 1) tonlar yoki musiqiy tovushlar; 2) shovqinlar; 3) tovush zarbalari.

Tovush to'liqlarining intensivligi deb to'liq o'zi bilan olib yurgan energiya oqimi zichligining o'rtacha qiymatiga aytiladi. To'liq tovush sezgisini uyg'otish uchun eshitish chegarasi deb ataluvchi biror minimal intensivlikka ega bo'lishi kerak. Eshitish chegarasi hammada har xil bo'lib, tovushning chastotasiga bog'liq. Odam qulog'i 1000-4000 Hz orasidagi chastotali tovushlarga juda sezgir bo'ladi.

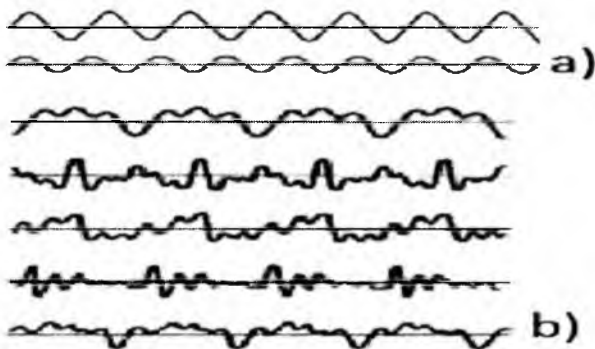


5.2-rasm. Odam qulog'i eshitish va og'riq bo'sag'alari

Intensivlik taxminan $10^3-10^4 \text{ erg/sm}^2 \text{ sek}$ atrofida bo'lganda to'liqin tovush sifatida sezilmay qoladi va quloqda faqat og'riq hamda bosim sezgisini uyg'otadi. Intensivlikning ana shunday sezgi uyg'otadigan qiymati og'riq sezish chegarasi deb ataladi.

Ton va shovqinlar. Davriy jarayondan iborat bo'lgan tovush *ton* deb aytiladi. Agar bu jarayon garmonik bo'lsa, unda ton oddiy yoki sof deb aytiladi (5.3-rasm). Sof tonning asosiy fizik xarakteristikasi uning chastotasidir. Angarmonik tebranishlarga murakkab ton mos keladi. Sodda tonli tovushni, masalan, kamerton chiqaradi, murakkab tonli tovushni musiqa asboblari, nutq apparati (unli tovushlar) va hokazo hosil qiladi.

Murakkab ton oddiy tonlarga ajratilishi mumkin. Ajratilgan tonlarning eng kichik ν_0 chastotasi asosiy tonga mos keladi, qolgan garmonikalari (obertonlar), ν_0 , $2\nu_0$ va hokazo chastotalarga ega bo'ladi (5.3-rasm).



5.3-rasm. Oddiy (a) va murakkab (b) tonlar

Vaqt o'tishi bilan takrorlanmaydigan, o'zining murakkabligi bilan farq qiluvchi tovushga *shovqin* deb aytiladi.

Mashinalarning vibratsiyasi, qarsaklar, gorelka alangasining shovqini, shitirlash, g'ichillash, so'zlaganda chiqadigan undosh tovushlar va hokazolar shovqinga ta'lluqlidir.



5.4—*rasm. Shovqin spektri*

Shovqinni tartibsiz o'zgarib turuvchi murakkab tonlar birikmasidan iborat deb qarash mumkin. Agar shovqinni biror shartlilik darajasida spektrga yoyishga harakat qilib ko'rilsa, unda bu spektr uzluksiz bo'ladi, masalan, 5.4-rasmda bunzin gaz gorelkasining yonishi paytida shovqindan hosil bo'ladigan spektr tasvirlangan.

Tovush zarba – bu tovushning qisqa muddatli ta'siridir: chapak chalinganda, portlash yuz berganda va hokazolarda hosil bo'ladi.

Zarba to'liqlar bilan tovush zarbalarini bir-biri bilan chalkashtirib yuborish yaramaydi. Havoning siqilgan sohasini normal holatdagi sohadan ajratib turuvchi sirtga fizikada zarb to'liqin deb aytiladi. Zarb to'liqin juda katta energiyaga ega bo'lishi mumkin, masalan, yadroviy portlashlarda, atrof-muhitda zarb to'liqin hosil bo'lishida portlash energiyasining 50 foizga yaqini sarf bo'ladi.

Tovushning energetik xarakteristikasi mexanik to'liqin kabi uning intensivligi hisoblanadi. Amalda tovushni baholashda uning intensivligidan emas, balki tovush to'liqini suyuqlik va gaz muhitidan o'tayotganda hosil bo'ladigan qo'shimcha tovush bosimidan foydalanish mukmin. Yassi to'liqin intensivligi, tovush to'liqini bosimi bilan quyidagi ko'rinishda bog'langan:

$$l = \frac{P^2}{2\rho c} \quad (5.1)$$

Bu yerda ρ – muhitning zichligi; c – tovushning muhitdagi tezligi. Muhitning to‘lqin qarshiligi yoki impedansi deb, $\rho \cdot c$ ko‘paytmaga aytiladi.

Odaming normal qulog‘i yetarlicha keng diapazondagi tovush intensivliklarini qabul qiladi: masalan, 1 kHz chastotada, $I_0=10^{-12}$ W/m² yoki $P_0=2 \cdot 10^{-5}$ Pa (eshitish bo‘lag‘asi)dan to $I_{\max}=10$ W/m² yoki $P_{\max}=60$ Pa (og‘riq sezish bo‘lag‘asi)gacha bo‘lgan tovush intensivliklarini qabul qila oladi. Bu intensivliklarning nisbati 10^{13} ga teng, shu sababli tovush intensivliklarni xarakterlashda logarifmik birliklardan va logarifmik shkalalardan foydalanish qulay hisoblanadi. Tovush intensivligi darajalarining shkalasi quyidagi ko‘rinishda tuziladi: I_0 ning qiymati shkalaning boshlang‘ich darajasi qilib, boshqa har qanday I intensivlikni esa uning I_0 ga nisbatining o‘nli logarifmi orqali ifodalanadi:

$$L_B = \lg(I/I_0) \quad (5.2)$$

Tovush bosimi uchun esa

$$L_B = 2 \lg(P/P_0)$$

Yuqoridagi ifodalarni ularga mos bo‘lgan detsibillarda ifodalab, quyidagi ko‘rinishda yozamiz:

$$L_{DB} = 10 \lg(I/I_0) \text{ va } L_{DB} = 20 \lg(P/P_0) \quad (5.3)$$

Intensivlik darajasi bellarda yoki detsibellarda (dB) o‘lchanadi. Tovush intensivligi shkalasidan farq qilishi uchun tovush qattiqligi shkalasida detsibellar fonlar (fon) deb aytiladi.

5.2-§. TOVUSHNING SUB'JEKTIV XARAKTERISTIKASI.

Tovush ikki xil turdagi: uning kishi tomonidan his qilinishi xususiyatlariga bog‘liq bo‘lmagan (ob'ektiv yoki fizik) hamda kishi tomonidan his qilinishiga asoslangan (sub'ektiv) kattaliklar bilan xarakterlanishi mumkin. Albatta, har ikkala turdagi kattaliklar o‘zaro muayyan tarzda bog‘langan bo‘ladi.

Tovushning subektiv xarakteristikasiga odamlar qabul qilgan tovushlarni balandligi, temri va qattiqligiga qarab bir-biridan farq qiladi. Ana shu har bir sub'ektiv bahoga tovush to‘lqinining aniq fizikaviy xarakteristikasi mos keladi.

Balandlik dastavval asosiy ton chastotasi bilan shartlangan tovushning subyektiv xarakteristikasidir, ya'ni balandlik chastota bilan bog'liq. Balandlik tonning murakkabligi va intensivligiga juda kam darajada bog'liq: intensivligi katta bo'lgan tovush birmuncha past tonli tovushga o'xshab eshitaladi.

Tovush tembri deyarli spektral tarkibi bilangina aniqlanadi. Tovushning spektral tarkibi mazkur tovush qanday chastotadagi tebranishlardan tarkib topganini hamda ular orasida amplitudalar qanday taqsimlanganini ko'rsatadi. Masalan, musiqiy tovush chiziqli spektrga, shovqin esa tutash spektrga ega.

Qattqlik — tovushning yana bir subyektiv bahosi bo'lib, u eshituv sezgisi darajasini xarakterlaydi. Subyektivligiga qaramasdan tovushning qattqligini ikki manbadan chiqayotgan tovushning eshituv sezgisiga ko'rsatadigan ta'sirlarini taqqoslash yo'li bilan miqdoriy jihatdan baholash mumkin. Tovush qattqligi amplitudaga bog'liq.

Tovush qattqligi darajalarini shkalasini tuzish asosida **Veber–Fexnerning muhim psixofizik qonuni** yotadi. Bu qonunga muvofiq **agar ta'sirotni geometrik progressiya bo'yicha orttirib borilsa, u holda bu ta'sirotni sezilishi arifmetik progressiya bo'yicha o'sib boradi**. Bu qonunni tovushga tatbiq etsak, tovush intensivligi qator ketma–ket qiymatlariga ega bo'lganda, masalan, aI_0 , $a^2 I_0$, $a^3 I_0$ (a – biror koeffitsient, $a>1$), ularga mos tovush qattqligini sezilishlari E_0 , $2E_0$, $3E_0$ va h.k. bo'ladi.

Buning matematik mazmuni tovushning qattqligi shu tovush intensivligining logarifmiga proporsional demakdir. Agar intensivliklari I va I_0 (I_0 – eshituv bo'sag'asi) ikki tovush ta'sir qilayotgan bo'lsa, Veber–Fexner qonuniga binoan biror tovushning qattqligi unga nisbatan intensivlik bilan quyidagicha bog'langan:

$$E = k \cdot \lg(I/I_0) \quad (5.4)$$

Bu yerda k – proporsionallik koeffitsienti bo'lib, u chastota va intensivlikka bog'liq.

Turli xil chastotalarda tovush intensivligi va qattqligi orasidagi moslikni topish uchun qattqlik qiymati teng bo'lgan egri chiziqlardan foydalaniladi (3.3–

rasm). Bu egri chiziqlar yuqorida bayon qilingan usul asosida eshituv qobiliyati normal qobiliyati normal bo'lgan odamlardan olingan o'rtacha ma'lumotlar asosida qurilgan.

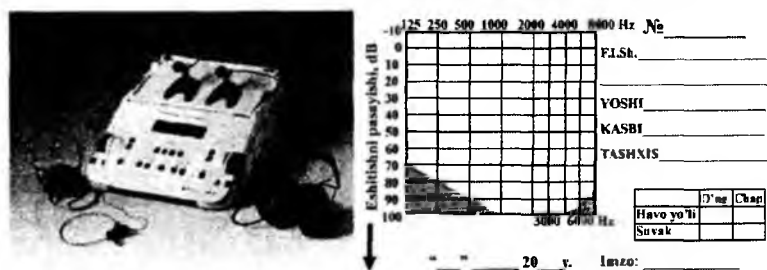
Pastki egri chiziq eng kuchsiz eshitilayotgan tovushlar intensivligi – eshituvchanlik bo'sag'asiga mos keladi. Bunda hamma chastotalar uchun $E_{\phi}=0$, 1 kHz chastotali tovush intensivligi $I_0=10^{-12}$ W/m². Keltirilgan egri chiziqlardan ko'rinib turibdiki, odamning qulog'i normal holda o'rtacha 2500–3000 Hz chastotalarda yetarlicha sezgirlikka ega bo'lar ekan. Har bir oraliq egri chiziqlari bir tovush qattiqligiga, lekin turli chastotalarda turli xil intensivliklarga ega bo'ladi. Qattiqliklari bir xil bo'lgan alohida egri chiziqlardan tovush chastotalarining muayyan bir qiymatida xuddi shunday qattiqlik hosil qiluvchi tovush intensivligini aniqlash mumkin. Bir xil tovush qattiqligini ifodalovchi egri chiziqlar to'plamidan foydalanib, turli xil chastotalardagi tovush qattiqligiga mos keluvchi ma'lum intensivlikdagi tovushni topish mumkin.

Tovushning taxminiy xarakteri	Tovush intensivligi W/m ²	Tovush bosimi, Pa	Eshituv bo'sag'asiga nisbatan tovush intensivligi darajasi, dB (yoki 1 kHz chastota uchun tovush qattiqligi darajasi, fon)
Eshituv bo'sag'asi	10^{-12}	$2 \cdot 10^{-5}$	0
Yurak tonlari stetaskon orqali	10^{-11}	0,000064	10
	10^{-10}	0,0002	20
Shivirlash	10^{-9}	0,00064	30
Gaplashish: Sekin Normal Qattiq	10^{-6}	0,002	40
	10^{-7}	0,0064	50
	10^{-6}	0,02	60
Serqatnov ko'cha shovqini	10^{-5}	0,064	80
Qichqiriq	10^{-4}	1 0,2	80
Shovqin: Metro poezdi ichida Mototsiklning (maks) Samolet dvigatelinig Shuning o'zi yaqindan	10^{-3}	0,64	90
	10^{-2}	2	100
	10^{-1}	6,4	110
	1	20	120
Og'riq sezish bo'sag'asida	10	64	130

Keltirilgan egri chiziqlardan ko‘rinib turibdiki, odamning o‘rtacha qulog‘i normal xolda 2500–3000 Hz chastotalarda yetarlicha sezgirlikka ega bo‘lar ekan. Har bir oraliq egri chiziqdari bir xil tovush qattiqligiga lekin turli chastotalarda turli xil intensivliklarga ega bo‘ladi. Qattiqliklari bir xil bo‘lgan egri chiziqlardan tovush chastotalarning muayyan bir qiymatida xudi shunday qattiqlik hosil qiluvchi intensivligini aniqlash mumkin. Bir xil tovush qattiqligini ifodalovchi egri chiziqdar to‘plamidan foydalanib, turli xil chastotalardagi tovush qattiqligiga mos keluvchi ma‘lum intensivlikdagi tovushni topish mumkin. Masalan, chastotasi 100 Hz bo‘lgan tovush intensivligi 60 Hz ga teng. Bu tovushni qattiqligi nimaga teng. Buning uchun 3.2–rasmdan koordinatalari 100 Hz va 60 dB ga teng bo‘lgan nuqtani topamiz. Bu nuqta egri chiziqning qattiqlik darajasi 30 fon teng bo‘lgan nuqtasida yotadi. Demak tovush qattiqligi 30 fon ekan.

Eshitish o‘tkiriligini aniqlash usuliga *audiometriya* deyiladi.

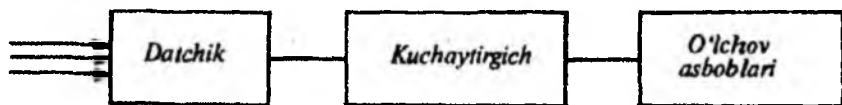
Audiometriyada maxsus asbob audiometr (5.5-rasm) yordamida turli xil chastotalarda eshitish sezgisi bo‘zag‘asi aniqlanadi; olingan egri chiziq audiogramma deyiladi. Bemor odam audiogrammasini normal eshituv sezgi bo‘zag‘asini egri chig‘i bilan solishtirish eshituv a‘zolari kasalliklariga diagnoz qo‘yishga yordam beradi.



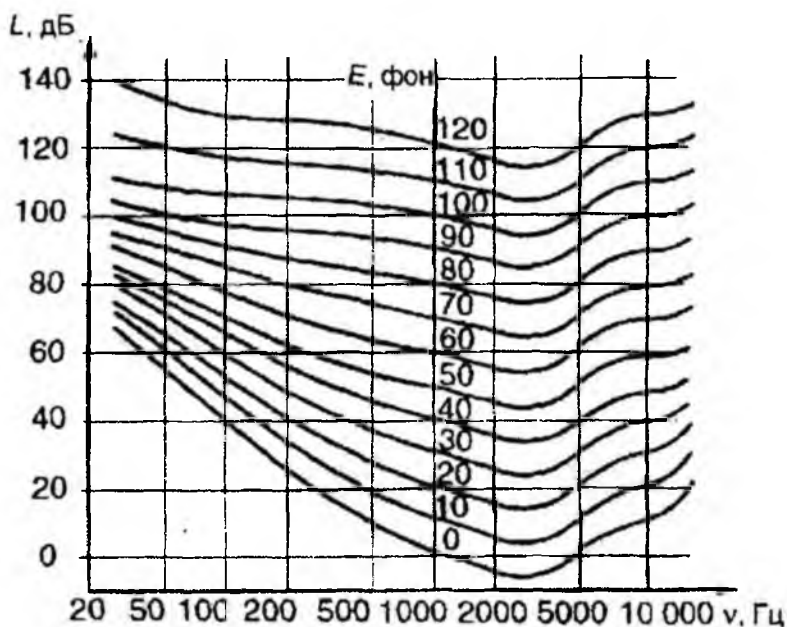
5.5-rasm. Audiometrlarning tashqi ko‘rinishi va audiokarta blankasi.

Shovqin qattiqlik darajasini obyektiv olchash uchun shumomer qollaniladi. Tuzili shijihatidan u 5.6- rasmda ko‘rsatilgan sxemaga mos keladi. Shumomeming

xossalari odam qulog'ining xossalariiga yaqinlashadi (5.7-rasmdagi qattiqliklari teng egri chiziqlarni qarang), buning uchun qattiqlik darajasining turli diapazonlari uchun to'g'rilovchi elektr filtrlardan foydalaniladi.



5.6-rasm. Signallarni olishning elektrik sxemasi



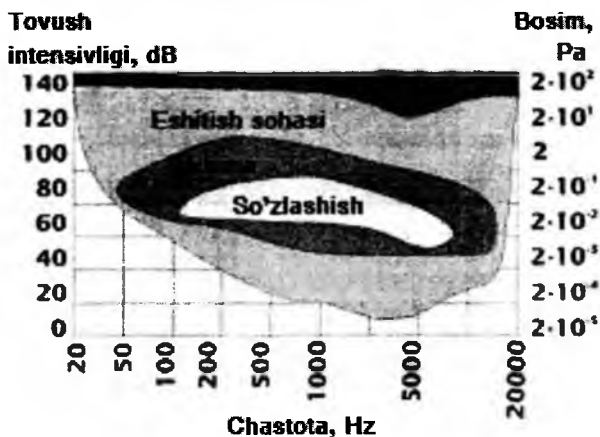
5.7-rasm. Chastota va tovush qattiqligi orasidagi bog'lanish audigrammasi

Normal xolatdagi kishining qulog'i 16 Hz dan 20 kHz gacha bo'lgan chastotadagi tovushlarni sezadi, lekin uning turli chastotadagi tovushlarga sezgirligi har xil. 5.8-rasmda pastki grafik odam qulog'i sezadigan eng kichik bosim P_0 (yoki intensivlik I_0) ni ifodalaydi. Mazkur kattaliklar *eshitish bo'sag'asi*

deyiladi. Ko'rinib turibdiki, $v=3000$ Hz chastota atrofida grafik minimumga ega bo'ladi.

Yuqoridagi grafik quloqda og'riq hosil qiladigan bosim (yoki intensivlik)ni ifodalaydi. Uni *og'riq bo'sag'asi* deb ataladi. Mazkur bosim chastotaga deyarli bog'liq bo'lmaydi.

Ikkala grafiklar oralig'idagi tebranishlarni quloq eshitishi mumkin. Odatdan mazkur sohaning unchalik katta bo'lmagan qismigina ishlatiladi.



5.8-rasm. Odam qulog'i eshitish va og'riq bo'sag'alari

Nihoyat murakkab spektral tarkibiga tembr deb ataladigan sub'ektiv xarakteristika mos kelib, uni miqdor jihatdan baholab bo'lmaydi.

Bir xil tondagi tovush chiqaradigan turli musiqa asboblari tembrlari bilan farq qiladi. Shunday qilib, tovushning tembri uning garmonik spektri bilan belgilanib, uning o'ziga xos xususiyatlarini xarakterlaydi. Masalan, royal bilan g'ijjak tovushini bir-biridan osongina ajratish mumkin, chunki ular turlicha obertonlarga ega bo'lib, garmonik spektrlari har xil. Tovushning tembrini aniqlash uchun uni garmonik tashkil etuvchilarga ajratish, ya'ni tovushning spektrini aniqlash kerak.

Odam qulog'ining ajoyib xususiyatlaridan biri shuki, u tovushning yuksakligi va amplitudasini sezadi, lekin murakkab tovushdagi fazalar siljishini sezmaydi. Bu xususiyat Om tomonidan kashf qilingan. Tovushning bu xususiyatini

konsert zalida o'tirgan tinglovchilardan turli musiqa asboblarigacha bo'lgan masofalar har xil bo'lishiga qaramay, tovushlarning hamma tinglovchilar tomonidan bir xil his qilinishida ko'rish mumkin.

Kishining qulog'i bo'lgan tovush manbaining kishiga nisbatan qanday yo'nalishda joylashganini aniqlash imkonini beradi. Bu hodisa *binaural effekt* deyiladi. Tovush manbaining o'rnini ungacha bo'lgan masofa va vertikal hamda gorizont tekisliklardagi burchaklar bilan aniqlanadi. Gorizont tekislikda kishi burchakni 3° gacha aniqlikda sezishi mumkin. Vertikal tekislikdagi burchak va manbagacha bo'lgan masofa nisbatan ancha noaniq his qilinadi.

Muayyan unli tovushni chiqarganda (u qanday chastotada aytilishiga qaramay), uning spektrida albatta shunday bir yoki ikkita chastota bo'ladiki, past tonlardan yuqori tonlarga o'tganda ular deyarli o'zgarmaydi. Bu chastotalar mazkur *unli tovushning formantlari* deyiladi. Har bir unli tovush o'zining formantlariga ega bo'ladi.

5.3-§. Tovushdan klinikada foydalanish

Tovushning eng asosiy mohiyati shundaki, u ham yorug'lik kabi axborot manbai hisoblanadi. Tabiat tovushlari, atrofimizdagi odamlarning gaplari, ishlab turgan mashinalarning shovqini bizga ko'p ma'lumotlarni beradi. Tabiiyki, tovush odam ichki organlarining holati to'g'risida ma'lumot beruvchi manba ham bo'lishi mumkin. Kasallikni diagnostika qilishning keng tarqalgan usullaridan biri **perkussiya** usuli bo'lib, bunda tananing turli qismlariga urib ko'rishda chiqayotgan tovush eshitib ko'riladi.

Faraz qilaylik, biror jism ichida havo bilan to'ldirilgan berk soha berilgan bo'lsin. Agar bu jismda tovush tebranishlari hosil qilinsa, tovush tebranishlarining ma'lum bir chastotasida bu berk sohadagi havo rezonanslana boshlab, shu berk sohaning olchami va turish vaziyatiga mos keluvchi tonni ajratadi va kuchaytiradi. Odam tanasini ham sxematik ko'rinishda gaz bilan to'ldirilgan (o'pka), suyuqliklar (ichki a'zolar), qattiq jismlar (suyaklar) hajmlarining yig'indisidan iborat deb tasavvur etish mumkin. Tana sirti bo'ylab urib ko'rilganda tebranishlarning keng diapazondagi chastotasi hosil bo'ladi. Bu diapazon oralig'idagi ayrim tebranishlar

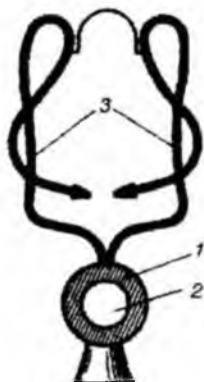
yetarlicha tez so'nadi, boshqalari, ya'ni havo bo'shlig'ining xususiy chastotasi bilan mos kelgani esa rezonans tufayli kuchayib, eshituvchan bo'lib qoladi. Tajribali vrach perkussiya tovushlari toniga qarab, ichki a'zolar holatini va topografiyasini aniqlaydi.

Perkussiya usuli bilan yurakning katta – kichikligi (chegaralari) aniqlanadi. Yurak mushak va qondan iborat havosiz a'zo bo'lgani uchun uni tukillatib ko'rganda bo'g'iq tovush beradi. Lekin u qisman o'pka bilan qoplanib turganligi sababli bo'g'iq tovush nisbiy va mutlaq bo'ladi. Yurakning nisbiy bo'g'iqlik chegarasi uning haqiqiy chegaralariga, mutlaq bo'g'iqlik chegarasi esa o'pka bilan qoplanmagan yuzasining kengligiga mos keladi. Bu yerda o'ng qorinchaning oldingi devori joylashgan bo'ladi.

Perkussiya vaqtida bemor tik turishi, o'tirishi va yotishi mumkin. Yurakning nisbiy bo'g'iqlik chegaralarini aniqlashda o'rtacha perkutor zarbadan, absolyut bo'g'iqlik chegaralarini aniqlashda esa kuchsiz zarbadan foydalaniladi.

Kasallikni diagnostika qilishning keng tarqalgan usullaridan biri **auskultatsiya** (eshitib ko'rish) eramizdan oldingi II asrdayoq ma'lum bo'lgan. Auskultatsiya (lotincha auscultatio - eshitish) — ichki a'zolarida yuzaga keladigan tovushlarni eshitib, ular faoliyatini va holatini tekshirish usuli. Masalan, yurak urishini eshitib, uning sog' yoki kasalligini aniqlash. Auskultatsiyada badanning tegishli qismiga shifokor quloq tutadi (bevosita auskultatsiya) yoki maxsus asboblardan (stetoskop, fonendoskop yoki stetofonendoskop) qo'yib eshitib ko'radi (bilvosita auskultatsiya). Auskultatsiya tibbiyot amaliyotida yurak, o'pka, qon tomir kasalliklarini, shuningdek qon bosimini aniqlashda muhim diagnostik ahamiyatga ega

Auskultatsiya uchun stetoskop yoki fonendoskop qo'llaniladi. Fonendoskop (5.9-rasm) kovak kapsuladan va tovushni uzatadigan membranadan iborat. Membrana bemor tanasiga qo'yiladi, undan chiqqan ikkita trubka vrach qulog'iga boradi. Ichi kovak kapsula ichidagi havo ustunida rezonans hodisasi vujudga kelib, tovush chiqarish kuchayadi va auskultatsiya yaxshilanadi.



5.9-rasm. Fonendoskopning tuzilishi. 1-kovak kapsula, 2-tovushni uzatuvchi membrana, 3-rezina trubka

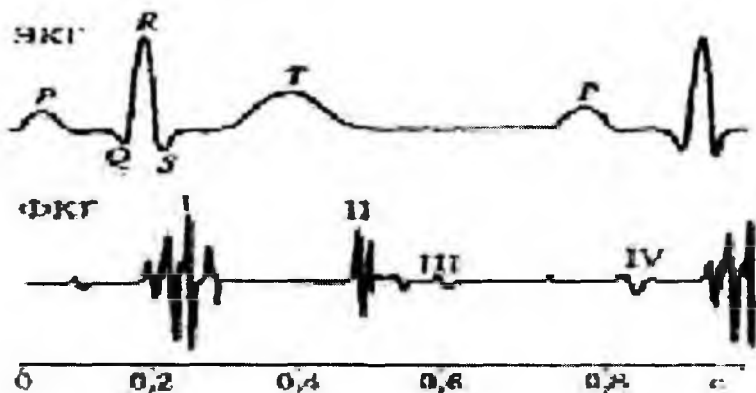


5.10-rasm. Fonokardigrafning tashqi ko'rinishi

O'pkani auskultatsiya qilishda nafas olish paytida hosil bo'lgan shovqinlami, kasallik uchun xarakterli bo'lgan turli xil xirillashlarni eshitib ko'riladi. Yurak tonlarining o'zgarishi va shovqinlarning vujudga kelishiga qarab, yurak ish faoliyatining holati haqida fikr yuritish mumkin. Auskultatsiyadan foydalanib, oshqozonda va ichakdagi to'lqinsimon qisqarishlardagi ortiqcha qo'zg'alishlarni (peristaltikalarni) va ona qornidagi bolaning yurak urishlarini aniqlash mumkin.

Bemorni bir vaqtning o'zida bir necha kuzatuvchilar ishtirokida o'quv maqsadlari va konsilium qilishda eshitib ko'rish uchun mikrofon, kuchaytirgich, gromkogovoritel va bir necha telefonlardan iborat bo'lgan sistemadan foydalaniladi.

Yurak ishi faoliyatining holatini diagnostika qilishda auskultatsiya metodiga o'xshash bo'lgan fonokardiografiya (FKG) metodi qollaniladi. Bu usulning mazmuni, yurak tonlari va shovqinlarini grafik ko'rinishda qayd qilish va ularni diagnostik analiz qilishdan, tushuntirishdan iboratdir. Fonokardiogrammani yozib olish fonokardiograf yordamida amalga oshiriladi (5.10- rasm). Fonokardiograf, mikrofon, kuchaytirgich, chastota filtrlardan va qayd qiluvchi qurilmadan iborat.



5.11- rasm. Normal elektrokardiogramma va fonokardiogramma.

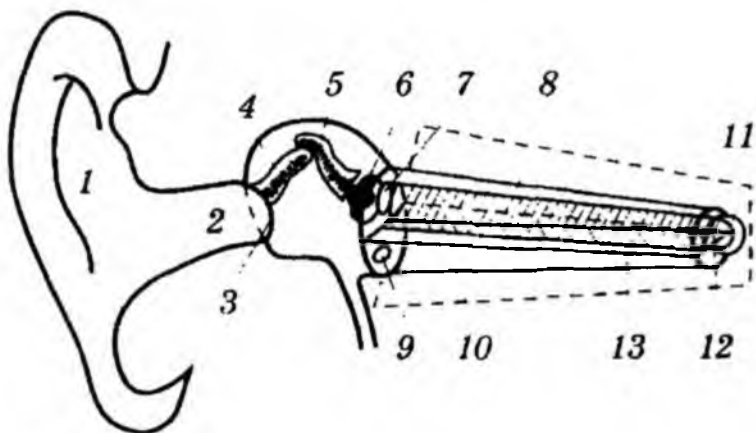
5.4-§. Eshitish organining fizikasi.

Eshitish organi bo'lgan quloq bosh suyagining chakka qismida joylashgan. U uch qismdan: tashqi, o'rta va ichki quloqdan iborat (5.12-rasm).

Tashqi quloq — *quloq suprasi* va *tashqi eshitish yo'lidan* iborat. Tashqi quloq yo'lining oxirida biriktiruvchi to'qimadan tashkil topgan 0,1 mm qalinlikdagi nog'ora parda bo'lib, u tashqi quloq yo'lini o'rta quloq bo'shlig'idan ajratib turadi.

O'rta quloq bo'shlig'i Yevstaxiy naychasi yordamida burun-halqumga tutashgan. O'rta quloqda bir-biri bilan ketma-ket birikkan uchta *eshitish suyakchalari* (bolg'acha, sandon, uzangi) tovush to'lqinlari ta'sirida nog'ora pardada hosil bo'lgan tebranishni ichki quloqqa o'tkazadi.

Ichki quloq — bo'shliq va yarimdoira kanalchalar sistemasidan, ya'ni *suyak labirintdan* iborat. Suyak labirintning ichida *parda labirint* joylashgan, ular orasidagi torgina bo'shliqda *perilimfa suyuqligi* bo'ladi. Parda labirintning ichida esa *endolimfa suyuqligi* bo'ladi. Suyak labirintda chig'anoq bo'lib, uning ichida tovushni sezuvchi hujayralar, ya'ni eshitish retseptorlari joylashgan.



5.12-rasm. Quloqning tashqi va ichki tuzilishi. 1- quloq suprasi, 2- tashqi eshitish yo'li, 3- nog'ora parda, 4-bolg'acha, 5-sandon, 6-uzangi, 7-oval teshikcha, 8-vestibular zina, 9-aylana teshik, 10-nog'ora zinasi, 11-gelektotremalar, 12- chig'anoq kanali, 13-asosiy (bazilyar) membrana

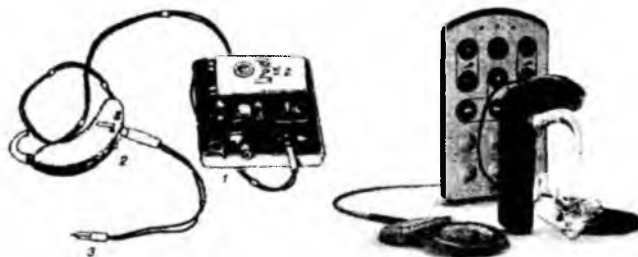
Suyak labirintning *dahliz* va *yarimdoira kanalchalar* deb ataluvchi qismidagi xaltasimon tuzilmalarda odam tanasining fazodagi muvozanatini ta'minlovchi vestibulyar analizator retseptorlari joylashgan.

Eshitish organining funksiyasi. Yuqorida aytilgan tashqi, o'rta va ichki quloqning har biri o'ziga xos funksiyani bajaradi. Quloq suprasi tovush to'lqinlarini to'plash va uni quloqning tashqi yo'liga yo'naltirish vazifasini o'taydi.

Tashqi quloq yo'li tovush to'lqinlarini nog'ora parda tomon o'tkazadi. Tovush nog'ora pardani tebrantiradi, uning tebranishi eshitish suyakchalari orqali ichki quloqning chig'anog'i hamda yarimdoira kanalchalardagi perilymfa va endolymfa suyuqliklarini to'lqinlantiradi. Ularning to'lqinlanishi chig'anoq ichidagi eshitish retseptorlarini qo'zg'atadi.

Retseptorlarning qo'zg'alishi eshitish nervi tolasi orqali miya ko'prigi, o'rta miyada joylashgan po'stloqosti eshitish markaziga, undan esa bosh miya yarimsharlari po'stlog'ining chakka qismida joylashgan oliy eshitish markaziga borib, uni qo'zg'atadi. Bu markazda joylashgan nerv hujayralarida tovush ta'siri analiz va sintez qilinib, uning mazmuni aniqlanadi.

Tovush eshitmaslikning (karlikning) ayrim shakllariga chig'anoq retseptor apparatining jarohatlanishi sabab bo'ladi. Bunday hollarda chig'anoq mexanik tebranishlar ta'sirida elektr signallarini generatsiyalamaydi. Bunday karlarga yordam berish mumkin. Buning uchun chig'anoqqa elektrodlar kiritiladi va ularga elektr signallari beriladiki, bu signallar mexanik ta'sirlar tufayli hosil bo'ladigan stimulg'a mos bo'lsin. Chig'anoqning asosiy funksiyasini protezlash (almashtirish) usuli bajaradiki, unda ishlatiladigan implantant – koxlear apparat deyiladi (8.12-rasm). Xozirgi kunda protezlash ko'plab mamlakatlarda ishlatilib kelinmoqda.



5.13- rasm. Koxlear protez. 1-asosiy korpus, 2-quloq orqasiga qo'ygich mikrofondi bilan, 3-implantatsiyalanuvchi elektrod bilan ulovchi vilka.

5.5-§. ULTRATOVUSH

Chastotasi 20000 Hz dan ortiq bo'lgan (yuqori chegarasi tahminan $10^9 - 10^{10}$ Hz) mexanik to'lqinlar ultratovush deyiladi. Bu chegara molekulararo masofalar bilan o'lchanadi.

Ultratovushning meditsinada qo'llanilishi uning tarqalishidagi va xarakteridagi o'ziga xos xossalari bilan bogliq. Bu masalani ko'rib o'taylik.

Fizik tabiatiga ko'ra ultratovush tovush kabi mexanik (elastik) tolqindir. Biroq ultratovush to'lqin uzunligi tovush to'lqini uzunligidan aytarli darajada kichikdir. Masalan, suvda to'lqin uzunligi 1,4 m ga teng (1 kHz tovush), 1,4 mm (1 MHz, ultratovush) va 1,4 mkm (1 GHz, ultratovush). Tolqinlar difraksiyasi to'lqin uzunliklari nisbatiga va to'lqin difraksiyalanayotgan jismning olchamiga bogliq. "Noshaffof" 1 m o'lchamli jism 1,4 m uzunlikdagi tovush to'lqini uchun to'siq bo'la olmaydi, lekin to'lqin uzunligi 1,4 mm bo'lgan ultratovush uchun esa to'siq

bo'la oladi, lekin jism orqasida „ultratovush soya“ hosil bo'ladi. Shuning uchun bu ayrim hollarda ultratovushning difraksiya hodisasini hisobga olmasdan, bu to'lqinlarning tushishi va qaytish hodisasini tushuntirishdagi kabi bu to'lqinlarni nur deb qarashimizga imkon beradi (yorugiikning tushishi va qaytishini tushuntirishdagi kabi).

Ultratovushning ikki muhit chegarasidan qaytishi shu muhitlarning to'lqin qarshiliklari nisbatiga bog'liq. Masalan, ultratovush muskul suyak usti pardasida suyak chegarasidan, ichki organlar sirtlaridan va hokazolardan juda ham yaxshi qaytadi. Shu sababli bir jinsli bo'lmagan jismlar (bezlar), bo'shliqlar, ichki organlarinng va hokazolarning turgan o'rni va o'lchamlarini aniqlash mumkin (ultratovush lokatsiya usuli). Ultratovush lokatsiya usulida uzluksiz va impulsi nurlanishlar qo'llaniladi. Birinchi holda ikki muhit chegarasidan qaytgan va tushuvchi to'lqinlarning interferensiyasidan hosil bo'lgan turg'un to'lqinlar kuzatiladi. Ikkinchi holda qaytgan impuls kuzatilib, ultratovushning tekshirilayotgan obyektgacha va undan qaytib kelish vaqti o'lchanadi. Ultratovushning tarqalish tezligini bilgan holda, obyektning qanday chuqurlikda joylashgani aniqlanadi.



5.14-rasm. Zamonaviy ultraskanerlovchi apparatlar

Biologik muhitlarning to'lqin qarshiliklari havonikiga nisbatan 3000 marta katta. Shu sababli UT-nurlatgichlar odam tanasiga qo'yilsa, ultratovush tana ichkarisiga otmasdan nurlatgich va odam tanasi orasida hosil bo'lgan yupqa havo

ustunidan qaytadi. Havo qatlami hosil bo'lmashligi uchun nurlatgichning sirti yuzasiga yupqa moy qatlami surtiladi.

Ultratovush to'liqlarining tarqalish tezligi va ularning yutilishi muhitning holatiga bog'liq; shunga asoslanib moddalarning molekular xossalari o'rganishda ultratovushdan foydalaniladi. Bu turdagi tadqiqotlar molekular akustika foniga taalluqlidir.

To'liqlar intensivligi doiraviy chastota kvadratiga to'g'ri proporsional, shunga asoslanib nisbatan kichik amplitudali to'liqlardan ham katta intensivliklarga ega bo'lgan to'liqlarni hosil qilish mumkin. Ultratovush to'liqlari ta'siridagi zarrachalar tezlanishi juda katta bo'lishi mumkin, bu esa katta ta'sir kuchlari paydo bo'lishini, biologik obyektlar ultratovush yordamida nurlantirilganda ularga ham zarrachalarga shunday kuchlar ta'sir qilishini ko'rsatadi.

Ultratovush tarqalishida hosil bo'ladigan zichlashish va siyraklashishlar suyuqliklar ichida uzilishlar hosil qiladi, bunga *kavitatsiya* deyiladi.

Kavitatsiya uzoq vaqt ushlanib qolmay, tez yopiladi, bunda uncha katta bo'lmagan hajmda ko'p miqdorda energiya ajralib chiqib, moddalarning isishi va shu bilan birga molekularlarning ionizatsiyasi va dissotsiatsiyasi yuz beradi.

Biologik obyektlarda ultratovush ta'siri bilan bog'liq holda yuz beradigan fizik jarayonlarning asosiy effektlari quyidagilardan iborat:

- hujayra va subhujayra darajasidagi mikrovibratsiyalar;
- biomakromolekulalarni parchalash;
- biologik membranalarini jarohatlash va ularning joylanishlarini o'zgartirish, membranalar o'tuvchanligini o'zgartirish;
- issiqlik ta'siri;
- hujayra va mikroorganizmlarning buzilishi. Ultratovushning tibbiy-biologik qo'llanishlarini asosan ikki yo'nalishga ajratish mumkin: birinchisi kuzatish va diagnostika usullari, ikkinchisi ta'sir etish usullari.

Birinci yo'nalishdagi usullarga asosan impulsli nurlanishlardan foydalanuvchi lokatsion usullar kiradi. Bu exoensefalografiya — bosh miya

o'smalari va shishlarini aniqlash (8.15- rasmda "Angiodin EXO/U" ko'rsatilgan); ultratovush kardiografiyasi — yurak o'lchovlarini dinamikada o'lchash; oftalmologiyada — ko'z muhitlari kattaliklarini o'lchash uchun ultratovush lokatsiyasi. Ultratovushning Dopler effektidan foydalanib yurak klapanlari harakatining xarakteri o'rganiladi va qon oqish tezligi o'lchanadi. Diagnostika maqsadlari uchun ultratovush tezligiga asosan o'sib chiqqan va jarohatlangan suyaklarning zichliklari hisoblab topiladi.

Ikkinchi yo'nalishga ultratovush fizioterapiyasi taalluqlidir. 8.16- rasmda shu maqsadlarda qollaniluvchi apparat "ИОHTO COHO C2" ko'rsatilgan. Ultratovush bilan bemorga ta'sir etish apparatning maxsus nurlatgich kallagi yordamida bajariladi. Ko'pincha terapevtik maqsadlar uchun chastotasi 800 KHz, o'rtacha intensivligi $1 \text{ W}/\text{sm}^2$ ga yaqin va undan uzoq bo'lgan ultratovushlardan foydalaniladi.



8.15-rasm. "Angiodin EXO/U"
exoensefalograf



8.16-rasm. ultratovush fizioterapiyasiga
mo'ljallangan "ИОHTO COHO C2" apparati

Ultratovush terapiyasining birlamchi ta'siri mexanizmi uning to'qimaga ko'rsatadigan mexanik va issiqlik ta'siridir.

Operatsiyalarda ultratovush ham yumshoq, ham suyak to'qimalarini kesishga qodir bo'lgan „ultratovush skalpeli“ sifatida foydalaniladi. Ultratovushni suyuqliklar ichidagi jismlarni parchalab, emulsiya hosil qilish qobiliyatidan farmatsevtika sanoatida dori tayyorlashda foydalaniladi. Ultratovush ishtirokida

tayyorlangan turli xil dorivorlar emulsiyalari o'pka kasali, yuqori nafas yo'llari katari, bronxial astma kabi kasalliklarni davolashda qo'llaniladi.

Hozirgi paytda shikastlangan yoki transplantatsiyalanuvchi suyak to'qimalarini "payvandlash"ning yangi usuli (ultratovush osteosintezi) yaratilgan.

Ultratovushning mikroorganizmlarga halokatli ta'sir ko'rsatishidan moddalarni sterilizatsiya qilishda foydalaniladi.

Ultratovushning ko'rlar uchun qo'llanilishi qiziqarlidir. "Oriyentir" kichkina asbobi hosil qilgan ultratovush lokatsiyasi yordamida 10 m gacha uzoqlikdagi jismlarni bilib olish va ularning qanday xarakterda ekanligini aniqlash mumkin.

Ultratovushning tibbiyot va biologiyada qo'llanilishi borasida yuqorida keltirilgan misollar bu sohada qilingan barcha tadqiqotlarni o'z ichiga ololmaydi, chunki ultratovushning qollanish sohasi rang-barang va uni kengaytirish istiqbollari kattadir. Yana ultratovush golografiyasining tibbiyotga kirib kelishi va undan foydalanish yanada yangi diagnostika usullarining paydo bolishiga umid bog'laydi.

5.6-§. INFRATOVUSH

Infratovush (lot. infra — quyi, past, ostida) — inson qulog'iga eshitilmaydigan past chastotali (chastotalari 16 Hz dan past bo'lgan) elastik to'lqinlar. Yer yuzida infratovush hosil qiluvchi manbalar xilma xil (masalan chaqmoq chaqishi, tog'lar ko'chishi, o'rmon va dengizning shovvullashi, shamol guvullashi va h. k.). Infratovush muhitda juda kam yutiladi, shuning uchun u havo, suv va yer yuzida juda uzoq masofalarga tarqaladi. Infratovushning bu xususiyatlaridan, masalan, atmosferaning yuqori qatlamlarini, yer po'stini tadqiq qilishda, kuchli portlashning uzoqligini va dengizlarda kuchli to'lqinlar tarqalayotgan manba uzoqligini aniqlashda foydalaniladi. Infratovushni o'lchashda maxsus asboblardan — mikrofon, gidrofon, geofon yoki vibrator ishlatiladi.

Infratovush organizmning bir qator sistemalari funksional holatlariga yomon ta'sir ko'rsatadi: charchash, bosh og'rig'i, uyquchilik, jahl chiqishi va boshqalar paydo bo'ladi. Infratovushning organizmga birlamchi ta'sir ko'rsatish mexanizmi

rezonansli xarakterga ega deb faraz qilinadi. 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 holida 3-4 Hz, turgan holda 5-12 Hz, ko'krak qafasining xususiy tebranishlar chastotasi 5-8 Hz, qorin bo'shlig'iniki 3-4 Hz bo'lib, bu infratovush chastotalariga mos keladi.

Infratovush intensivligi darajasini yashash joylarida, ishlab chiqarish korxonalarida va transport vositalari turar joylarida kamaytirish gigiyenaning asosiy vazifalaridan biridir.

8.7-§. VIBRATSIYALAR

Texnikada turlicha mexanizm va mashinalarning mexanik tebranishlari vibratsiya deb nom oldi. Vibratsiya odamga ham ta'sir ko'rsatadi, bu ta'sir odam tanasini vibratsiyalanuvchi obyektga tegib turgan joyi orqali uzatiladi. Bu ta'sir ham xavfli hamda zararli bo'lishi va ma'lum bir sharoitda vibratsiya kasalligini keltirib chiqarishi mumkin, foydali tomoni bo'lishi, undan davolash maqsadlarida (vibroterapiya va vibromassajda) foydalanish mumkin.

Vibratsiyaning biologik obyektga ta'sirini bilish uchun to'liq tebranishlarining jismda tarqalish va so'nishini tasavvur qilish muhimdir. Bu masalani kuzatishda inersion massadan, elastik va qovushqoq elementlardan iborat modellar qollaniladi. Vibratsiyalar eshitiluvchi tovushlar, ultratovushlar va infratovushlar manbaidir.

6-BOB. TIRIK ORGANIZMLARDA ELEKTR TOKI

Elektr toki deganda, odatda, elektr zaryadlarining yo'naltirilgan harakati tushuniladi. U ikkiga bolinadi: o'tkazuvchanlik toki va konveksion tok. o'tkazuvchanlik toki — bu o'tkazuvchi jismlarda zaryadlarning yo'naltirilgan harakatidir, chunonchi, metallarda elektronlar, yarim o'tkazuvchilarda ionlar, gazlarda esa ion va elektronlarning yo'nalgan harakatidir. Konveksion tok — bu zaryadlangan jismlar harakati va elektronlarning yoki boshqa zaryadli zarrachalarning vakumdagi oqimidir.

Toklarning yuqorida keltirilgan sinflari birmuncha shartlidir. Masalan, o'zgaruvchan elektr maydoni ham tok — uni siljish toki deyiladi. Har bir istalgan tokning hech bo'lmaganda bitta umumiy xususiyati bor, u ham bo'lsa tok magnit maydonining manbai hisoblanadi.

Mazkur bobda elektr toki va tok maydonining ba'zi xarakteristikalari, elektrolitlardagi va gazlardagi tok va termoelektrik hodisalari ko'rib chiqiladi.

6.1-§. TOK ZICHLIGI VA KUCHI

O'tkazgich bo'yicha musbat elektr zaryadlarining yo'nalishi harakatining trayektoriyasini tok chiziqlari deb ataymiz, bu chiziqlarning urinmalari esa zaryadning tartiblangan harakat tezligining yo'nalishini ko'rsatadi. Odatda tok chiziqlari zaryad tezligiga emas, balki tok zichligiga bog'liq.

Tok zichligi—elektr tokining vektor xarakteristikasi bo'lib, son jihatdan tok hosil qiluvchi, zaryadlangan zarrachalar harakatining yo'nalishiga perpendikular bo'lgan, birlik yuzadan o'tuvchi tok kuchining shu elementar yuzaga nisbatiga teng:

$$j = dJ / dS.$$

zarrachalar oqimining zichligi, konsentratsiyasi va yo'naltirilgan harakat tezligi orasidagi bog'lanish aniqlangan edi.

$$J = nv$$

Agar bu formulani tok tashuvchi zaryadga ko'paytirsak, u holda tok zichligini olamiz:

$$j = qJ - qnv \quad (6.1)$$

Buni vektor ko'rinishda yozsak:

$$j = qnv \quad (6.2)$$

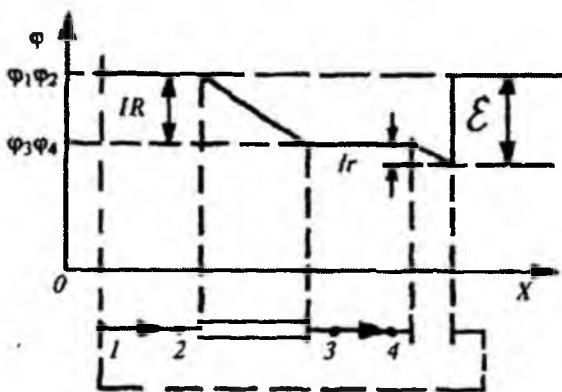
j — vektor tok chiziqlariga urinma bo'ylab yo'naladi. Tok kuchi uchun quyidagi ifodani yozamiz:

Biror kesim yoki sirt orqali zaryadning vaqt bo'yicha olingan hosilasi bu tokdir.

$$I = dq/dt$$

6.2-§. ELEKTR MANBALARINING ELEKTR YUTUVCHI KUCHI

O'tkazgichlardan doimo tok oqib turishi uchun uning uchlarida har doim potentsiallar ayirmasi saqlanib turilishi zarur. Buni tok manbalari tomonidan amalga oshiriladi.



6.1-rasm

Berk zanjir bo'ylab (6.1- rasm) musbat zaryad harakatlanadi, deylik. Ideal holda, ulovchi (1—2 va 3-4 qismlardagi) o'tkazgichlar qarshiligini nolga teng, ya'ni 1 va 2 (3 va 4) nuqtalar potentsiallari bir xilda deb qabul qilamiz. Bunday o'tkazgichlarda maydon kuchlanganligining nolga teng ekanligidan kelib chiqadi. Zaryadlarning muayyan yo'nalishdagi harakati „inersiya bo'yicha“, qarshiliksiz va tezlashtiruvchi kuchsiz hosil bo'ladi. 2-3 qismdagi potentsiallar ayirmasi $\varphi_3 - \varphi_2$ kuchlanish tushishi IR ga teng. Potentsiallar ayirmasining mavjudligi o'tkazgichda

elektr maydoni kuchlanganligining noldan farqliligini ko'rsatadi. Shuningdek, zaryadga elektr maydonining kuchi ta'sir qiladi, bundan tashqari zaryadlar metallarda kristall panjaraning ionlari bilan o'zaro munosabatda bo'ladi, bu esa ishqalanish kuchini (elektr qarshiligini) yuzaga keltiradi.

4-1 qismda musbat zaryad kichik potensial (φ_4) dan kattaroq potensial (φ_1)ga o'tadi. Elektr maydonining kuchlariga qarshi bu kabi ko'chishi chetki kuchlar (F_{chet}) nomini olgan kuchlar ta'siri ostida ro'y beradi. Bu kuchlarning tabiati elektrostatik kuchlardan boshqa, ya'ni kimyoviy, elektromagnit, mexanik va boshqacha bo'lishi mumkin.

Chetki kuchlar ish bajaradi. Son jihatdan birlik musbat zaryadni butun zanjir bo'yicha ko'chirish uchun chetki kuchlarning bajaradigan ishiga teng bo'lgan kattalik tok manbaining elektr yurituvchi kuchi (E.Yu.K) deb ataladi

Amalda chetki kuchlarning ishi tok manbaining ichidagina noldan farq qiladi. Birlik musbat zaryadga nisbatan olingan chetki kuch-chetki kuchlar maydonining kuchlanganligiga teng:

$$E_{\text{chet}} = F_{\text{chet}} / q \quad (6.4)$$

E.Yu.K ta'rifidan va ishning umumiy formulasidan

$$\varepsilon = \int \frac{E_{\text{chet}}}{dl} \quad (6.5)$$

ni yozish mumkin, bu yerda E_{cet} chetki kuchlar maydoni kuchlanganining dl yo'nalishiga tushirilgan proyeksiyasi.

Bu yerda integrallashni butun kontur bo'yicha bajarmasdan, balki tok manbalari joylashgan qismlar bo'yicha bajarish mumkin. (6.5)dan ko'rinadiki, konturdagi E.Yu.K. chetki kuchlar aylanishiga teng.

Qarshiligi r ga teng tok manbai ichidagi 4-1 yo'nalishda potensialning kattalanishi bilan birga, potensialning pasayishi ham mavjud (6.1- rasm). Rasmda grafik tagida zanjir bo'ylab potensialning taqsimlanishi ko'rsatilgan.

E.Yu.K. potensialning tok manbaida egri-bugri shaklda o'zgarishiga to'g'ri keladi.

6.3-§. ELEKTROLITLARNING ELEKTR OTKAZUVCHANLIGI

Biologik suyuqliklar elektr o'tkazuvchanligi metallarning elektr o'tkazuvchanligiga o'xshash bo'lgan elektrolitlardir: ikkala muhitda ham gazlardan farqli o'laroq tok tashuvchilar elektr maydoniga bog'liq bo'lmagan holda hosil bo'ladi. Shuning uchun (6.1) ifoda elektrolitlar uchun ham to'g'ri bo'ladi, lekin metallardan farq qilish uchun uni musbat va manfiy ionlar uchun alohida- alohida yozish mumkin:

$$j_+ = qn_+v_+ \text{ va } j_- = qn_-v_- \quad (6.6)$$

Tokning umumiy zichligini:

$$j = j_+ + j_- = q(n_+v_+ + n_-v_-) \quad (6.7)$$

Agar har bir molekula ikkita ionga dissotsilanadi deb faraz qilinsa, u holda musbat - va manfiy ionlar konsentratsiyasi bir xil bo'ladi:

$$n_+ = n_- = \alpha n \quad (6.8)$$

bu yerda α — dissotsilanish koeffitsiyenti, n — elektrolit molekularining konsentratsiyasi.

Ionlarning elektr maydonidagi yo'nalgan harakatini taqriban tekis harakat deb hisoblash mumkin, u holda elektr maydoni tomonidan ionga ta'sir qiluvchi kuch qE tezlikka proporsional hisoblanuvchi ishqalanish kuchi rv ga teng.

$$qE = rv$$

bundan $q/r = b$ bilan almashtirib,

$$v = bE \quad (6.9)$$

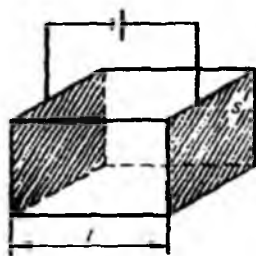
ni olamiz. Proporsionallik koeffitsiyenti b ga ionlar harakatchanligi deyiladi. U son jihatdan elektr maydoni vujudga keltirgan ionning yo'nalgan harakati tezligining shu maydon kuchlanganligi nisbatiga teng.

Turli ishorali ionlar uchun (6.9)dan tegishli

$$v_+ = b_+E \text{ va } v_- = b_-E \quad (6.10)$$

ga ega bo'lamiz. (6.8) va (6.10) ni (6.7) ga qo'yib:

$$j = nq\alpha(b_+ + b_-)E \quad (6.11)$$



6.2- rasm.

l b — harakatchanlik, α — harakatchanlik bilan quyidagicha bog'liq, $b = \alpha q$ (13.3- §ga qarang).

ni topamiz.

Elektrolitni to'g'ri burchakli parallelopiped shaklida tasavvur qilaylik, uning S yuzali yoqlari — elektrodlari bir-birida l masofada bo'lsin (6.2- rasm), (6.1 l)ni o'zgartirib yozamiz:

$$jS = nqa(b_+ + b_-)(U/l)S \quad (6.12)$$

$I = jS$ bo'lgani uchun (6.12) tok manbaiga ega bo'lmagan zanjir qismi uchun Om qonuni $I = U/R$ ga teng, bu yerda

$$R = (l/S)[nqa(b_+ + b_-)]^{-1} \quad (6.13)$$

- elektrolit qarshiligi. (6.13)ni $R = \rho l / S$ ifoda bilan solishtirib.

$$\gamma = 1 / \rho = nqa(b_+ + b_-) \quad (6.14)$$

ga ega bo'lamiz. Bundan ionlarning konsentratsiyasi, zaryadi harakatchanligi qancha katta bo'lsa, elektrolitning elektr o'tkazuvchanligi Y ham shuncha katta bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi. Temperatura ko'tarilishi bilan ionlarning harakatchanligi ortadi va elektr o'tkazuvchanlik oshadi.

6.3-§. BIOLOGIK TO'QIMALAR VA SUYUQLIKLARNING O'ZGARMAS

TOKDA ELEKTR OTKAZUVCHANLIGI

Biologik to'qimalar va organlar har xil elektr qarshiliklaridan iborat bo'lib, turli tuzilishga ega. Ularning qarshiliklari elektr toki ta'sirida o'zgarishi mumkin. Bu hol tirik biologik sistemalar qarshiliklarini o'lchash ishini qiyinlashtiradi.

Bevosita tana ustiga qo'yilgan elektrodlar orasida turgan organizmning ayrim uchastkalarining elektr o'tkazuvchanligi teri va teri osti qatlamlarining qarshiligiga bog'liq. Organizm ichida tok asosan qon va limfatik tomirlar, muskullar, nerv ustunlarining qobiqlari bo'yicha tarqaladi, terming qarshiligi o'z navbatida, uning holati, qalinligi, yoshi, namligi va hokazoga ko'ra aniqlanadi.

To'qima va organlarning elektr o'tkazuvchanligi ularning funksional holatiga bog'liq, demak, undan diagnostik ko'rsatkich sifatida foydalanish mumkin. Masalan, yallig'lanish vaqtida hujayralar shishganda, hujayralararo birlashmalarning kesimlari kamayadi va elektr qarshiligi kattalashadi. Ko'p terlashga sabab bo'ladigan fiziologik hodisalar teri elektr o'tkazuvchanligining ortishi bilan birga kuzatiladi va h.k.

Organizmdagi turli to'qimalar va suyuqliklarning solishtirma qarshiliklari jadvalda keltirilgan.

Orqa miya suyuqligi	0,55	YOg` to`qimasi	33,3
Qon	1,66	Quruq teri	10 ⁵
Muskullar	2	Suyak-pardasiz suyak	10 ⁷
Miya va nerv to`qimasi	14,3		

GAZLARDA ELEKTR RAZRYAD. AEROIONLAR VA ULARNING DAVOLASH-PROFILAKTIK TA`SIRI

Faqat neytral zarrachalardan iborat bo`lgan gaz izolyatordir. Agar uni ionlashtirsak, u elektr o`tkazuvchan bo`ladi.

Gaz molekularini, atomlarini ionlashtirish qobiliyatiga ega bo`lgan har qanday qurilma, hodisa, faktor ionizator deb ataladi.

Yorug`lik, rentgen nurlari, alanga, radiaktiv nurlanish va boshqalar ionizator bo`la oladi. Havoda elektr zaryadini unda qutbli suyuqliklarni, ya`ni molekulari doimiy elektr dipol momentiga ega bo`lgan suyuqliklarni purkab yuborish yo`li bilan ham hosil qilish mumkin. Masalan, havoda parchalanganda suv zaryadlangan tomchilarga bo`linib ketadi. Kattaroq tomchilar zaryadining ishorasi (toza suv uchun musbat) juda mayda-mayda zarrachalar zaryadining ishorasiga qarama-qarshidir. Katta tomchilar nisbatan tez cho`kadi va havoda suvning manfiy zaryadlangan zarrachalari qoladi. Bunday hodisalar fontan yaqinida kuzatiladi.

Erda tabiiy ionizatorlar ta`sirida asosan tuproqdagi va gazlardagi radioaktiv moddalar va kosmik nurlanishlar ta`sirida— havoda doimo muayyan miqdorda ionlar hosil bo`ladi. Havodagi ionlar va elektronlar neytral molekularlarga, muallaq turgan zarrachalarga birikib, ko`proq murakkab bo`lgan ionlarni vujudga keltirishi mumkin. Atmosferadagi bunday ionlarga ayeoionlar deyiladi. Ular faqat ishoralari bilan emas, massasi bilan ham farqlanadi. Ular shartli ravishda engil (gaz ionlari) va og`ir muallaq turgan zaryadlangan zarrachalar (chang, nam va tutun zarrachalari) ionlarga bo`linadi.

Og'ir ionlar organizmga zararli ta'sir etadi. Engil va asosan manfiy ayeoionlar foydali ta'sir qiladi. Ulardan asosan bemorlarni davolash uchun foydalaniladi (ayeroionoterapiya).

Tabiiy sharoitda havoda ionlanish yuqori bo'lgan (tog'lar, sharshara va hokazo) joylarda bemorlarning turishi bilan bog'liq bo'lgan tabiiy ayeoionoterapiyani maxsus qurilmalar ayeoionizatorlar yordamida o'tkaziladigan sun'iy ayeoionoterapiya bilan almashtirish mumkin. Biroq sun'iy ayeoionoterapiya davolash maqsadida ishlatilganda organizmga zarar keltirmaydigan bo'lishi kerak. Uning turlaridan biri elektrostatik dush (franklinizatsiya)dir. Franklinizatsiya vaqtida yuqori kuchlanishli (50 kV gacha) doimiy elektr maydon ishlatiladi. Bu vaqtda hosil bo'ladigan ayeoionlar va ozgina azon davolash ta'sirini ko'rsatadi. Franklinizatsiya umumiy va mahalliy davolash tadbirlari shaklida o'tkaziladi. Umumiy franklinizatsiya vaqtida bemor izolyatsiyalangan metall plastinkali yog'och kursida o'tiradi, metall plastinka apparatning musbat qutbiga ulanadi. Bemor boshining tepasiga 10-15 sm masofada, o'rgimchak shaklidagi elektrod joylanadi, bu elektrod apparatning manfiy qutbiga ulanadi.

MAGNIT MAYDON. AMPER QONUNI.

Magnit maydoni deb materiyaning shunday ko'rinishiga aytiladiki, u tufayli maydonga joylashtirilgan harakatlanuvchi elektr zaryadlariga va magnit momentiga ega bo'lgan boshqa qismlarga kuch ta'sir etadi. Magnit maydoni elektromagnit maydonning shakllaridan biridir.

Tokli o'tkazgichga ta'sir qiluvchi kuch – Amper kuchi deb ataladi. Amper kuchi tokli o'tkazgich uzunligiga, undan o'tayotgan tok kuchiga va unga ta'sir qiluvchi magnit induksiyasiga bog'liq:

$$F=B \cdot I \cdot l \cdot \sin \alpha$$

Bitta zaryadli zaryadga ta'sir qiluvchi kuch esa Lorens kuchi deyiladi:

$$F=q \cdot b \cdot v \cdot \sin \alpha$$

Magnit maydoni magnit momentiga ega boigan zarrachalarning oriyentatsiyasiga ta'sir qiladi, natijada modda magnitlanadi.

Moddaning magnitlanish darajasi magnitlanganlik vektori bilan xarakterlanadi. Magnetiklar asosan uchta sinfga bo'linadi: *paramagnetiklar*, *diamagnetiklar* va *ferromagnetiklar*. Ularning har bining o'ziga xos tipdagi magnetizmi mavjud: paramagnetizm, diamagnetizm va ferromagnetizm.

1) **Diamagnetiklarning** ko'pchilik atomlari xususiy magnit momentlariga ega bo'lmay, ularning magnit momentlari tashqi maydon ta'sirida vujudga keltiriladi. diamagnetiklar uchun magnit singdiruvchanlik $\mu < 1$ bo'ladi. Diamagnetiklarning tipik vakillari sifatida suv, marmar, oltin, mis, simob va inert gazlarni keltirish mumkin.

2) **Paramagnetiklarning** molekulari noldan farqli xususiy magnit momentlariga ega. Magnit maydoni bo'lmaganda bu momentlar betartib joylashgan bo'lib, jismning magnitlanish vektori nolga teng bo'ladi.

Paramagnet tashqi maydonga kiritilganda alohida atomlar va molekularlarning magnit momentlari maydon bo'ylab joylashib qoladi. Natijada paramagnetiklarning xususiy maydoni tashqi magnit maydonini kuchaytiradi, ya'ni tashqi magnit maydonining kuchayishi ro'y beradi ($\mu > 1$). Paramagnetiklarga kislorod, alyuminiy, platina va ishqor hosil qiladigan metallar kiradi.

3) **Ferromagnetizm** – paramagnetizmning chegara holi hisoblanadi. Ferromagnetiklar – kuchli magnetiklar hisoblanib ($\mu \gg 1$), o'z-o'zidan magnitlanib qolishi mumkin. Hattoki tashqi magnit maydoni bo'lmaganda ham ular magnitlanish qobiliyatiga ega bo'ladilar.

Organizm to'qimalari suvga o'xshab ma'lum darajada diamagnetdir. Biroq organizmda paramagnetik moddalar, molekular va ionlar ham mavjud. Organizmda ferromagnetik zarrachalar yo'q.

Organizmda hosil bo'ladigan biotoklar kuchsiz magnit maydonlarining manbaidir. Ba'zan bunday maydonning induksiyasini olchash mumkin.

Masalan, yurakning magnit maydoni induksiyasining vaqtga bog'liqligini yurak biotoklarining qayd qilish asosida diagnostika metodi — magnitokardiografiya yaratilgan.

Magnit maydoni o'z ichidagi biologik sistemalarga ta'sir qiladi. Bu ta'simi biofizikaning magnitobiologiya deb ataluvchi bo'limi o'rganadi.

O'ZGARUVCHAN TOK

Vaqt o'tishi bilan yo'nalishi va qiymati o'zgarib turadigan elektr tokiga o'zgaruvchan tok deyiladi.

Agar o'zgaruvchan tok zanjiriga kondensator, induktiv g'altak va rezistor (omik qarshilik) ketma-ket ulansa, zanjirning to'la qarshiligi quyidagicha topiladi:

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2 - X_C^2}$$

Zanjirdagi omik qarshilik – aktiv qarshilik, sig'im va induktiv qarshilik esa, reaktiv qarshilik deyiladi

Induktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

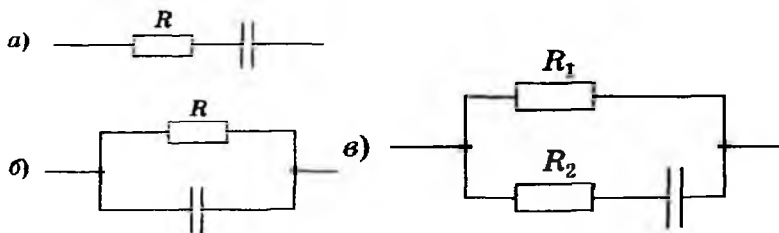
$$X_L = \omega L, \text{ bunda } \omega = 2\pi\nu$$

Sigim qarshilik quyidagicha topiladi:

$$X_C = 1/\omega C$$

6.4-§. ORGANIZM TO'QIMALARINING TO'LA QARSHILIGI (IMPEDANSI). REOGRAFIYANING FIZIK ASOSLARI

Organizm to'qimalari o'zgarmas tokdan tashqari o'zgaruvchan tokni ham o'tkazadi. Organizmda induktiv g'altakka o'xshagan sistemalar yo'q, shuning uchun induktivligi nolga yaqin. Biologik membranalar va demak, butun organizm sig'im xossalarga ega, shu tufayli organizm to'qimalarining impedansi faqat Om va sig'im qarshiliklari bilan belgilanadi. Biologik sistemalarda sig'im elementlarining mavjudligi tok kuchining qo'yilgan kuchlanishdan faza bo'yicha oldinda bo'lishi bilan tasdiqlanadi.



6.3-rasm. Organizm to'qimalarining ekvivalent elektrik sxemalari.

Ekvivalent elektr sxemalardan foydalanib, to'qimalarning Om va sig'im xossalari modelini yasash mumkin. Ulardan ba'zi birlarini ko'rib chiqamiz (6.3-rasm). 6.3- a rasmda tasvirlangan sxema uchun impedansining chastota bog'lanishini $L = 0$ bo'lganda quyidagini olish mumkin:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{C\omega}} \quad (6.40)$$

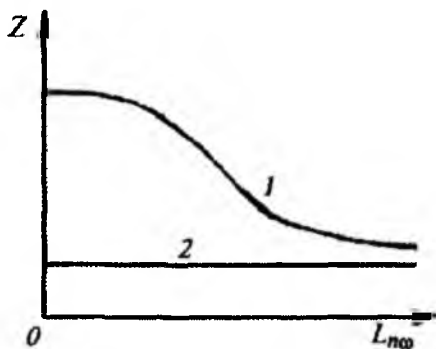
Grafikdan ko'rinadiki, $\omega \rightarrow 0$ ($Z \rightarrow \infty$) bo'lganda sxema tajriba bilan muhim qarama-qarshilikka ega. Chunki, bunda qarshilik doimiy tokda cheksiz katta (!?) bo'lib qolmoqda. Bu 6.3-§da keltirilgan qiymatlarga ziddir.

Ekvivalent elektr sxema (6.3- b rasm) $\omega \rightarrow \infty$ bo'lganda tajribaga to'g'ri kelmaydi. Haqiqatan ham katta chastotada biologik to'qimalar qarshilikka ega boladi.

Birinchi ikki modelning qo'shilishidan hosil bo'lgan ekvivalent elektr sxema eng qulay sxemadir (6.3- rasm) $\omega \rightarrow \infty$ $X_c \rightarrow 0$ da sxema qarshiligini, qarshiliklarni parallel ulash qoidasidan topish mumkin:

$$R = R_1 R_2 / (R_1 + R_2)$$

Impedansining chastotali bog'lanishi organizm to'qimalarining hayot qobiliyatini baholashga imkon beradi, buni organ va to'qimalarni kesib boshqa joyga ulashda (transplantatsiya qilishda) bilish muhimdir. Buni grafikda ko'rsatamiz (6.4- rasm).



6.4- rasm. To'qima impedansining chastotaviy bog'lanishi.

Bunda 1 - egri chiziq sog', normal to'qima uchun, 2- egri chiziq o'lik — suvda qaynatib o'ldirilgan to'qima uchun. O'lik to'qimada membranalar buzilgan bo'lib, “tirik kondensator” va to'qima faqat Om qarshilikka ega bo'ladi. Impedansining chastotaviy bog'lanishidagi farq sog' va kasal to'qimalarda ham hosil bo'ladi.

Tok va kuchlanish orasidagi fazalar siljish burchagi to'qimaning sig'im xossalari haqida ham ma'lumot berishi mumkin. Organizm to'qimalarining impedansi ularning fiziologik holatiga ko'ra ham aniqlanadi. Jumladan, tomir qonga to'lganda impedans yurak-tomir faoliyatiga ko'ra o'zgaradi. Yurak faoliyati jarayonida to'qimalar impedansi o'zgarishini qayd qilishga asoslangan diagnostika uslubi reografiya (impedanspletizmografiya) deyiladi.

Bu usul yordamida bosh miya (reoensefalogramma), yurak (reokardiogramma), magistral tomirlar, o'pka, jigar va qo'l-oyoqlarning reogrammalari olinadi. O'lchash odatda 30 kHz chastotalarda ko'prik sxemasi bo'yicha olib boriladi.

7-BOB. OPTIKA. YORUG‘LIKNING XOSSALARI. KO‘ZNING OPTIK SISTEMASI.

7.1-§. YORUG‘LIKNING TABIATI

Optika grekcha “opticos” – ko‘raman degan so‘zdan olingan bo‘lib, fizikaning bu bo‘limida yorug‘likning tabiati, yorug‘lik hodisalaridagi qonuniyatlar va yorug‘lik bilan moddalarning o‘zaro ta‘siriga doir jarayonlar o‘rganiladi.

Optikaning boshlang‘ich tasavvurlari juda qadimdan boshlangan. Qadimgi mutafakkirlar yorug‘lik hodisalarining mohiyatini ko‘rish sezgirlariga asoslanib tushunishga asoslangan. Dastlab grek filosofi va matematigi *Pifogor* (er.avv. 582-500 yy) va uning shogirdlarining fikricha ko‘zdan «qaynoq bug‘lar» chiqadi va biz ko‘ramiz. Grek *Demokrit* (er.av. 460-370yi) yorug‘likni olovli modda deb atab, ko‘rish buyumdan chiqayotgan mayda zarrachalarning ko‘z sirtiga kelib tushishidan kelib chiqadi degan fikrni olg‘a surdi. Keyinchalik *Yevklid* (er.av. 300 yi)ning «ko‘rish nurlari» nazariyasiga ko‘ra ko‘zdan ko‘rish nurlari chiqib jismga tegadi va biz uni ko‘ramiz deb fikrladi. Shunday qilib, Yevklid yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuniga asos soldi.

Keyinchalik *Ptolomey* (er.av. 270-147yy) bu nazariyani davom ettirib, sinish va qaytish qonunlarini aniqladi.

Eramizning boshlanishidan to XIV asrga qadar din ta‘siri juda kuchli bo‘lganligi sababli optika sohasidagi bilimlar uzoq vaqt rivojlanmay qoldi.

Feodalizمنىng yemirilishi optika va boshqa fanlarning rivojlanishiga turtki bo‘ldi. Ko‘zoynaklar, mikroskoplarni yasaldi. *Galiley* (1554-1642y.) italyan ko‘rish trubasini yasadi va astronomik kuzatishlarga qo‘lladi.

Nyuton (ingliz) tomonidan shisha prizmada oq yorug‘lik o‘tganda yetti xil nurga ajralishi hamda yorug‘lik interferensiyasi kuzatildi. XVII asrga kelib Guk (ingliz) tomonidan yorug‘likning interferensiyasini tushuntirish haqida dastlabki tushunchalar paydo bo‘ldi va *Gyuygens* (golland) tomonidan rivojlantirildi.

XVII asming oxirida yorug‘likning tabiati haqida ikkita o‘zaro qarama-qarshi nazariya maydonga keldi: bulardan birinchisi, Nyuton yaratgan

korpuskulyar nazariya va ikkinchisi, Gyuygensning to'liqin nazariyasidir. Yorug'likning korpuskulyar nazariyasiga binoan, yorug'lik juda katta tezlik bilan tarqaluvchi juda kichik moddiy zarrachalar (korpuskulalar) oqimidan iboratdir. Yorug'likning rang ta'siri korpuskulalarning o'lchami bilan tushuntirilgan: eng yirik korpuskulalar qizil rangli nurni, eng maydalari esa binafsha rangli nurni hosil qiladi.

Biz yuqorida bir vaqtning o'zida yorug'likning tarqalishiga ikki nuqtai nazardan qarash boshlanganligini aytib o'tgan edik.

Birinchi – Nyuton qarashlari bo'lib yorug'lik to'g'ri chiziq bo'ylab oqish nazariyasi (korpuskulyar nazariya) XVIII asming oxirlarida Nyuton o'zining yorug'lik haqidagi korpuskulyar tasavvurlarni ilgari surdi. Bu tasavvurga asosan yorug'lik nurlovchi jismdan katta tezlik bilan uchib chiquvchi va to'g'ri chizikli traektoriyalar bo'yicha harakatlanuvchi zarrachalar oqimidan iborat. Bu nazariyaga asosan o'tkazilgan hisoblashlar zichroq muhitda, yorug'likning tezligi, zichligi kamroq bo'lgan muhitga nisbatan kattaroq ekanini ko'rsatadi. Lekin keyinchalik Fuko tomonidan o'tkazilgan tajriba yorug'lik tezligi zichroq muhitda, zichligi kamroq muhitdagiga nisbatan kichik bo'lishini ko'rsatdi. Shunday qilib, Nyutonning korpuskulyar tasavvuri ayrim optik hodisalar va qonunlarni tushuntirib berishdan qat'iy nazar, qiyinchilikka uchradi.

Ikkinchi – Gyuygens (golland) nazariyasi bo'lib, yorug'likni to'liqinsimon tarqaladi deyiladi. Nyutonning zamondoshi Gyuygens yorug'likning to'liqin nazariyasini o'rtaga tashladi. Bu nazariyaga asosan yorug'lik olam efrida (ya'ni elastik muhitda) tarqaluvchi elastik to'liqin deb qaraladi. Yorug'likning to'liqin tasavvurini tahlil qilish uchun Gyuygens o'zining tamoyilini ilgari surdi, bu tamoyil optikada "*Gyuygens tamoyili*" deb atalib, uning ma'nosi quyidagidan iborat. *Muhitning yorug'lik to'liqini yetib keladigan har bir nuqtasi, o'z navbatida, yorug'likning "yangi" ikkilamchi manbai hisoblanib, o'z navbatida yorug'lik to'liqini frontining holatini ko'rsatadi.*

To'liqin fronti deb bir xil fazada tebranuvchi nuqtalarning geometrik o'rniga aytiladi. Faraz qilamiz, 1 momentda bir jinsli muhitda tarqaluvchi elastik to'liqin ϵ_1

frontga ega bo'lsin. Bu frontni har bir nuqtasini elastik to'liqlik yangi manbalar deb faraz qilsak, Δt vaqtdan so'ng yangi ϵ_2 frontni tashkil qiladi. Gyuygensning to'liqlik nazariyasini Eyler, Lomonosov, Yung, Arago, Faradey, Maksvell kabi buyuk olimlar taraqqiy ettirdilar. Nyuton va Gyuygens nazariyalarini birlashtiruvchi narsa – yorug'lik tarqalishini mexanik ravishda tasavvur qilishdir. Bu nazariyalarning taraqqiyoti jarayonida hozirgacha o'z kuchini saqlab qolgan, optik hodisalarni matematik tahlil qilish uslublari yaratilgan.

Gyuygens to'liqlik nazariyasining kamchiliklaridan biri – elastik muhit “olam efiri” tushunchasining kiritilishidir. Bundan tashqari yorug'lik qutblanishi sohasidagi tadqiqotlar yorug'lik to'liqlikni ko'ndalang to'liqlikdan iboratligini isbot qildi. Ko'ndalang to'liqliklar, odatda, faqatgina qattiq jismlardagina tarqaladi. Bu qiyinchiliklarni elektromagnit nazariya bartaraf qildi. Gers elektromagnit to'liqliklarning muhitlar chegarasida sinishi, qaytib yorug'likning sinishi va qaytishiga aynan o'xshashligini tajribada ko'rsatdi. Muhitning elektromagnit to'liqliklari uchun sindirish ko'rsatkichi muhitning elektr va magnit parametrlari bilan bog'liqligi Maksvellning

$$n = c/v = \sqrt{\epsilon\mu} \quad (7.1)$$

formulasi bilan ifodalanadi. Bu formulada c – yorug'likning vakuumdagi tezligidir. (7.1) formula ayrim materiallar uchun eksperimental qiymatlarga mos keladi. Lekin ko'p moddalarda $n \neq \sqrt{\epsilon\mu}$ bo'lib qoladi. Buning asliy sababi shundan iboratki, (7.1) formulada ϵ va μ larning qiymatlari doimiy elektr va magnit maydonlari uchun o'lchangan. Maksvellning elektromagnit nazariyasi esa o'zgaruvchan elektr va magnit maydonlarini taqozo qiladi.

Nyuton fikricha yorug'likning interferensiya va difraksiya hodisalarini tushuntirib bo'lmaydi, hamda sinish qonunlari ham noto'g'ri chiqdi.

Yorug'likning to'liqlik nazariyasiga muvofiq yorug'lik elastik muhitdan iborat bo'lgan fazoda katta tezlik bilan tarqaluvchi to'liqlikdan iborat. Bu nazariyaga muvofiq yorug'likning qaytish va sinish qonunlari barcha to'liqliklar uchun o'rinli bo'lgan qonunlar asosida tushuntiriladi. Yorug'likning rangi uning to'liqlik uzunligiga bog'liq. Qizil rangli nurning to'liqlik uzunligi ($\lambda_q=760$ nm) eng katta

bo'lib, binafsha nurniki esa ($\lambda_b=380$ nm) eng kichik. Har ikkala nazariyaga ham ba'zi yorug'lik hodisalariga oid qonuniyatlarni masalan, yorug'likning qaytish va sinish qonunlarini qoniqarli tushuntirib berdi. Biroq, yorug'likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishi singari hodisalarni bu nazariyalar tushuntira olmadi.

XVIII asrning oxirigacha ko'pchilik fiziklar Nyutonning korpuskulyar nazariyasini afzal ko'rib keldilar. XIX asrning boshlarida ingliz fizigi Yung va Frenelning tadqiqotlari tufayli to'lqin nazariya ancha rivojlandi. Gyuygens – Yung-Frenel to'lqin nazariyasi o'sha vaqtda ma'lum bo'lgan barcha yorug'lik hodisalari, shu jumladan, yorug'likning interferensiyasi, difraksiyasi va qutblanishini ham muvaffaqiyatli tushuntirib berdi. 1873 yilda ingliz olimi Maksvell yorug'lik bo'shliqda $c=3\cdot 10^8$ m/s tezlik bilan tarqaluvchi elektromagnit to'lqindan iborat ekanligini nazariy asoslab berdi. Shunday qilib, yorug'likning elektromagnit to'lqin nazariyasi yaratildi. Bu nazariya G.Gers tajribalarida tasdiqlandi. Yorug'likning tabiati haqidagi to'lqin nazariya rivojlanib, yorug'likning elektromagnit nazariyasiga aylandi.

Biroq XIX asrning oxiriga kelib, to'lqin nazariya bilan tushuntirib bo'lmaydigan tadqiqotlar – fotoeffekt, Kompton effekti, absolyut qora jismlarning issiqlik nurlanishi va boshqa hodisalar paydo bo'ldi. Ularni 1905 yilda Eynshteyn tomonidan yaratilgan *yorug'likning kvant nazariyasi* tushuntirib berdi. Shunday qilib, yorug'likning tabiati haqida yangi nazariya – *kvant nazariyasi* maydonga keldi. Kvant nazariyasi ma'lum ma'noda Nyuton korpuskulyar nazariyasini qayta tikladi. Biroq, fotonlar korpuskulardan farq qiladi: barcha fotonlar yorug'lik tezligiga teng tezlik bilan harakatlanadi va foton tinch holatda massaga ega emas. Keyinchalik kvant nazariyasi ham Bor, Shredinger, Dirak va boshqa olimlar tomonidan yanada rivojlantirildi.

Shunday qilib, (elektromagnit) to'lqin va korpuskulyar (kvant) nazariya bir-birini rad etmaydi, balki bir-birini to'ldiradi, bu bilan yorug'lik hodisalarining *ikki yoqlama xarakterini* aks ettiradi.

7.2-§. GEOMETRIK OPTIKANING ASOSIY QONUNLARI.

Optikaviy hodisalarning to'rtta asosiy qonuni qadim zamonlardan ma'lum:

- Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni;
- Yorug'lik nurlarining mustaqilligi qonuni;
- Yorug'likning qaytish qonuni;
- Yorug'likning sinish qonuni.

Bu qonunlarni o'rganishda yorug'lik nuri tushunchasidan foydalaniladi.

Yorug'lik nuri deb, yorug'lik energiyasining tarqalish yo'nalishini ko'rsatuvchi to'g'ri chiziqqa aytiladi.

Bir jinsli muhitda yorug'lik to'g'ri chiziq bo'ylab tarqaladi. Bu xulosa shaffofmas jismlar kichik o'lchamli manbalar bilan yoritilganda hosil bo'ladigan soyalarning chegaralari keskin bo'lishidan kelib chiqadi. Lekin yorug'lik o'lchami juda kichik bo'lgan teshiklardan o'tganda (ya'ni $\lambda \approx d$) yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni o'z kuchini yo'qotadi.

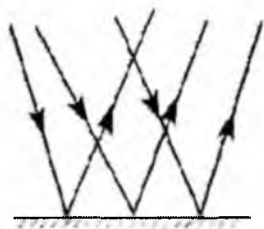
Yorug'lik nurlarining mustaqilligi ular o'zaro kesishganda bir-biriga hech qanday ta'sir qilmasligidan iboratdir. Nurlarning kesishishi har bir nurning mustaqil ravishda tarqalishiga xalaqit bermaydi.

Yorug'lik ikki shaffof muhit orasidagi chegarani kesib o'tganda tushuvchi nur ikkita nurga qaytgan va singan nurlarga ajraladi. Bu nurlarning yo'nalishi yorug'likning qaytish va sinish qonunlaridan aniqlanadi.

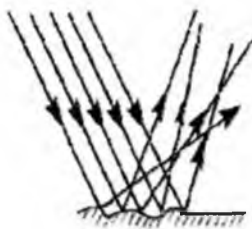
Tajriba va nazariyaning ko'rsatishicha, yorug'lik nuri shaffof muhitlarda yorug'likning tezligidan kichik bo'lgan tezliklar bilan tarqalar ekan. Turli shaffof muxitlarda yorug'likning tarqalish tezligi turlicha bo'ladi. Barcha nuqtalarda yorug'likning tarqalish tezligi bir xil bo'lgan muhit *bir jinsli muhit* deb ataladi. Yorug'lik bir jinsli muhitda to'g'ri chiziqli tarqaladi. Ikki xil muhit chegarasida nur o'zining yo'nalishini o'zgartirib bir qismi birinchi muhitga qaytadi. Bu hodisa *yorug'likning qaytishi* deb ataladi. Yorug'likning qolgan qismi esa ikkinchi muhitga o'tib, uning ichida tarqalishini davom ettiradi.

Ikki muhit orasidagi chegaraning xossalari qanday bo'lishiga qarab, qaytishning xarakteri turlicha bo'lishi mumkin. Agar chegara notekisliklarining

o'lchami yorug'lik to'lqinining uzunligidan kichik bo'lsa, bunday sirt **ko'zgusimon sirt** deb ataladi. Ana shunday sirt (masalan, silliq shisha sirti, yaxshilab jilolangan metall sirti, simob tomchisining sirti va boshqalar)ga ingichka parallel yorug'lik dastasi tushsa, yorug'lik nurlari sirtdan qaytgandan keyin ham parallel nurlar dastasi ko'rinishida qoladi. Yorug'likning bunday qaytishi **tekis qaytish** deyiladi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Yorug'likning tekis qaytishi



7.2-rasm. Yorug'likning tarqoq (diffuz) qaytishi

Agar sirtdagi notekisliklarning o'lchami yorug'lik to'lqini uzunligidan katta bo'lsa, ingichka shu'la chegarada sochiladi. Yorug'lik nurlari qaytgandan keyin turli yo'nalishlarda tarqaladi. Bunday qaytish **tarqoq qaytish** yoki **diffuz qaytish** deb ataladi (7.2-rasm).

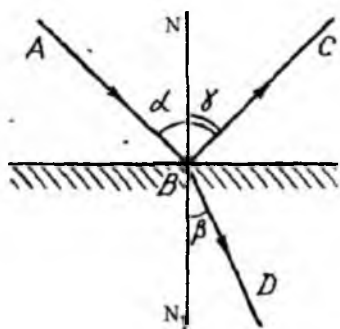
O'zi yorug'lik tarqatmaydigan buyumlarni ulardan yorug'likning xuddi shu tarqoq qaytishi tufayligina ko'ramiz. Tushayotgan AS nur bilan MM_1 sirtning nur tushayotgan S nuqtasiga o'tkazilgan SN perpendikulyar (normal) orasidagi burchak α ga yorug'likning **tushish burchagi** deyiladi. Qaytgan SV nur bilan SN perpendikulyar orasidagi γ burchak yorug'likning **qaytish burchagi** deyiladi (7.3-rasm).

Singan SD nur bilan SN perpendikulyar orasidagi β burchak **sinish burchagi** deyiladi. Bordi-yu ikkinchi muhitning sirti to'la qaytaruvchi (ko'zgu) bo'lsa, tushgan yorug'likning hammasi qaytadi. Yorug'likning qaytishi quyidagi qonunga asosan sodir bo'ladi:

1. Tushuvchi AS nur va ikki muhit chegarasida nurning tushish nuqtasidan chiqarilgan SN perpendikulyar qaysi tekislikda yotsa, qaytgan nur SV ham shu tekislikda yotadi;

2. Qaytish burchagi tushish burchagiga teng: $\alpha = \gamma$.

Yorug`lik nuri bir shaffof muhitdan ikkinchi shaffof muhitga o`tish chegarasida o`zining yo`nalishini o`zgartiradi. Bu hodisa *yorug`likning sinishi*



7.3-rasm. Yorug`likning ikki muhit chegarasida sinishi va qaytishi

deb ataladi. Yorug`likning sinishiga sabab turli muhitlarda yorug`lik tezligining turlicha bo`lishidir. Yorug`lik nurlari ikki muhit chegarasidan o`tayotganda o`z yo`nalishini o`zgartiradi.

Birinchi muhitdan tarqaluvchi va chegaragacha borib etuvchi nur *tushuvchi nur* deb ataladi. Bu chegaraga tushish nuqtasi orqali o`tkazilgan perpendikulyar (N - normal) bilan biror α burchak hosil qiladi, bu burchak *tushish burchagi* deb

ataladi. Ikkinchi muhitga o`tgan nur *singan nur* deyiladi. Singan nurning o`sha perpendikulyar (N -normal) bilan hosil qilgan β burchagi *sinish burchagi* deb ataladi (7.3-rasm).

Ikki muhit chegarasida yorug`likning sinishi quyidagi qonunga bo`ysinadi:

1. Tushuvchi AS nur va ikki muhit chegarasida nurning tushish nuqtasiga o`tkazilgan SN normal qaysi tekislikda yotsa, singan nur SD nur ham shu tekislikda yotadi.

2. Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati berilgan ikki muhit uchun o`zgarimas kattalik bo`lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan *nisbiy sindirish ko`rsatkichi* deyiladi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (2. 1) \quad (7.2)$$

bunda α - tushish burchagi, β – sinish burchagi.

Biror muhitning vakuumga nisbatan sindirish ko`rsatkichi shu muhitning *absolyut sindirish ko`rsatkichi* deyiladi. Odatda vakuumning absolyut sindirish ko`rsatkichi birga teng deb olinadi.

Nisbiy sindirish ko'rsatkichi n_{21} bilan ikkinchi muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi n_2 va birinchi muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi n_1 quyidagicha bog'langan:

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}. \quad (7.3)$$

Demak, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi ularning absolyut sindirish ko'rsatkichlari nisbatiga teng ekan.

Absolyut sindirish ko'rsatkichi muhitning muhim optik xarakteristikasidir: u yorug'likning vakuumda tarqalish tezligi s ni muhitda tarqalish tezligi ϑ dan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi:

$$n = \frac{c}{\vartheta}.$$

Bu munosabatdan foydalanib, yorug'likning sinish qonuni quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c / \vartheta_2}{c / \vartheta_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}. \quad (7.4)$$

Demak, ikki muhit sindirish ko'rsatkichlarining nisbati yorug'likning shu muxitlarda tarqalish tezliklarining nisbatiga teskari ekan.

Absolyut sindirish ko'rsatkichi kichik bo'lgan muhitni optik zichligi kichikroq, sindirish ko'rsatkichi katta bo'lganini esa optik zichligi *kattaroq muhit* deyiladi.

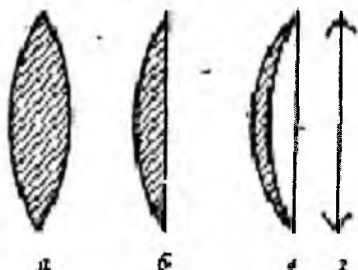
(7.4) formulaga asoslanib quyidagi munosabatni yozamiz.

$$n_1 \cdot \sin \alpha = n_2 \cdot \sin \beta. \quad (7.5)$$

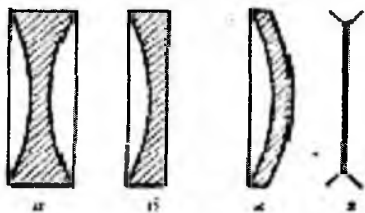
Agar yorug'lik nuri optik zichligi kattaroq muhitdan optik zichligi kichikroq muhitga o'tsa ($n_1 > n_2$), u holda (4) munosabatdan ko'rinadiki, tushish burchagi α sinish burchagi β dan kichik bo'lar ekan. Tushish burchaklari kattalashgan sari sinish burchaklari ham kattalashadi

Shu vaqtgacha biz yorug'lik ikki muhitning tekis chegarasida sinishini ko'rib chiqdik. Amalda yorug'lik nurining sferik sirtlarda sinishidan keng ko'lamda foydalaniladi. Ikkala tomoni sferik sirtlar bilan chegaralangan shaffof jismlar *linzalar* deb ataladi. Odatda linzalar shishadan qilinadi. Linza ikki qavariq

sferik sirt bilan chegaralangan bo'lishi mumkin. Masalan, ikki yoqlama qavariq linza (7.4-a rasm). Qavariq sferik sirt va tekislik bilan chegaralangan linza, masalan, yassi-qavariq linza (7.4-b rasm), botiq-qavariq linza (7.4-v rasm). Ularning simvollari 7.4-g rasmda ko'rsatilgan. Bu linzalarning o'rtasi chekkasiga nisbatan yo'g'onroq bo'ladi va ularning hammasi *qavariq linzalar* deb ataladi.

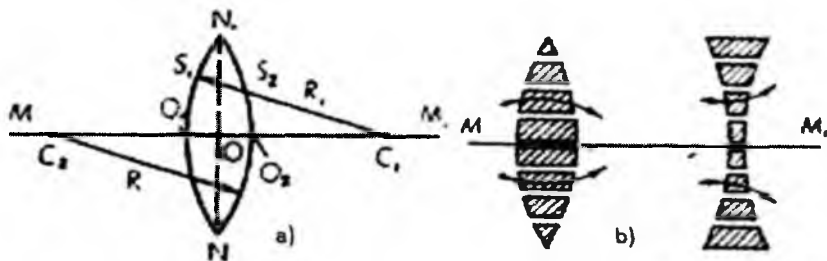


7.4-rasm. Yig'uvchi linza



7.5-rasm. Sochuvchi linza

O'rtalari chekkalariga nisbatan ingichka bo'lgan linzalar *botiq linzalar* deb ataladi (7.5-a rasm – ikki tomonlama botiq, 7.5-b rasm – yassi-botiq, 7.5-v rasm – qavariq-botiq linzalar, 7.5-g rasm – ularning chizmalardagi simboli ko'rsatilgan).

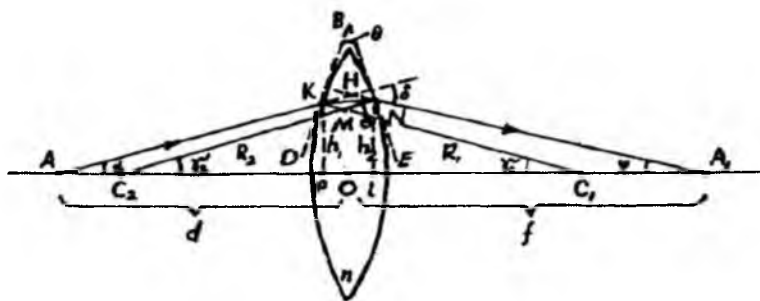


7.6-rasm.

Sferik sirtlarining S_1 va S_2 markazlari orqali o'tgan MM_1 to'g'ri chiziq *linzaning bosh optik o'qi* deyiladi. (7.6 a-rasm). Biz faqat O_1O_2 qalinliklari linzani hosil qilgan sferik sirtlarning R_1 va R_2 *egrilik radiuslariga* nisbatan nazarga olmasa bo'ladigan darajada kichik bo'lgan *yupqa linzalarni* ko'rib chiqamiz. Linza juda yupqa bo'lganligi uchun ikkita S_1 va S_2 sfera segment uchlari, ya'ni

linza sirtlarini O_1 va O_2 uchlari O nuqtada birlashgandek tuyuladi. Bu O nuqta **linzaning optik markazi** deb ataladi.

Linzani optik markazi orqali burchak ostida o'tuvchi har qanday chiziq **linzaning qo'shimcha optik o'qi** deyiladi. Linzani ko'plab prizmalarning yig'indisi deb tasavvur qilish mumkin (7.6 b-rasm). Bunda nurlarning qavariq linza optik o'qqa tomon, botiq linza esa optik o'qdan og'dirilishi ko'rinib turibdi. Qavariq linzalar o'ziga tushayotgan parallel nurlar dastasini yig'ib beradi. Shuning uchun bunday linzalar **yig'uvchi linzalar** deb ataladi. Botiq linzalar esa o'ziga tushayotgan nurlikni har tomonga tarqatib yuboradi. Shuning uchun ularni **tarqatuvchi yoki sochuvchi linzalar** deb ataladi.



7.7-rasm. Linzad tasvir hosil qiluvchi o'qlar

Optik o'qda yotgan biror A nuqtadan bu o'qqa kichik α burchak ostida chiquvchi nurlarni linza yana optik o'qda yotgan A_1 nuqtaga to'playdi, bu A_1 nuqta A nuqtaning tasviri deb ataladi (7.7-rasm).

AK nur yo'lini ko'rib chiqamiz. Linza sirtlarida olingan K va N nuqtalarga (ya'ni, AK nurining linzaga tushishi va undan chiqish joylarida) DB va VE urinma tekisliklar o'tkazamiz va bu nuqtalarga linzaning R_1 va R_2 egrilik radiuslarini o'tkazamiz. Bunda $AKNA_1$ nurni, sindirish burchagi θ bo'lgan yupqa prizmada **singan nur** deb qarash mumkin. α , φ , γ_1 , γ_2 burchaklarning kichikligi va linza yupqa bo'lganligi sababli quyidagi taxminiy tengliklarni yozish mumkin.

$$\begin{aligned}
 KP &= h_1; NL = h_2; h_1 \approx h_2 = h \\
 AP &\approx AO = d; A_1L \approx A_1O = f \\
 C_1P &\approx C_1O = R_1; C_2L \approx C_2O = R_2.
 \end{aligned}
 \tag{7.6}$$

$$\Delta AKP \text{ dan } \alpha \approx \operatorname{tg} \alpha = \frac{KP}{AP} \approx \frac{h}{d},$$

$$\Delta A_1NL \text{ dan } \varphi \approx \operatorname{tg} \varphi = \frac{NL}{A_1L} \approx \frac{h}{f},$$

$$\Delta S_2NL \text{ dan } \gamma_2 \approx \operatorname{tg} \gamma_2 = \frac{NL}{C_2L} = \frac{h}{R_2},$$

$$\Delta C_2KP \text{ dan } \gamma_1 \approx \operatorname{tg} \gamma_1 = \frac{KP}{C_1P} = \frac{h}{R_1},$$

bu erda h_1 - nurning linzaga tushishi nuqtasi (K) ning optik o'qdan balandligi, h_2 - nurning linzadan chiqish nuqtasi (N) ning optik o'qdan balandligi, d va f mos ravishda yorug'lik manbai (A) va uning tasviri (A_1) dan linzaning optik markazigacha bo'lgan masofalar. Uchburchakning tashqi burchagi o'ziga qo'shni bo'lmagan ikki ichki burchaklarning yig'indisiga teng ekanligiga asoslanib, ANA_1 va S_1MS_2 uchburchaklardan:

$$\delta = \alpha + \varphi \text{ va } \theta = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (7.7)$$

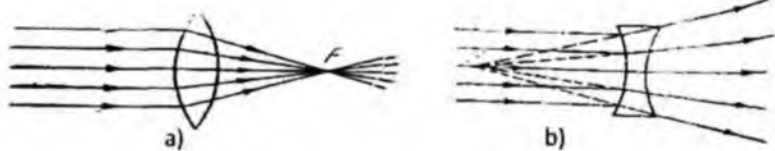
deb yozish mumkin. Biroq, prizma uchun $\delta = (n-1)\theta$ formula o'rinli edi, bu erda n linzaning sindirish ko'rsatkichi. Shuning uchun (7.6) va (7.7) formulalarga asoslanib quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (7.8)$$

Bu (7.8) munosabat **linza formulasi** deb ataladi.

Endi linzalar o'qidan o'tuvchi yorug'likka qanday yo'nalish berishini ko'raylik.

Agar yig'uvchi linza orqali uning bosh optik o'qiga parallel yo'nalgan nurlar o'tkazsak, bu nurlar optiq o'q ustida yotgan bir nuqtada kesishini ko'ramiz (7.8 a-rasm). Ana shu yig'uvchi nuqta **linzaning bosh fokusi** deyiladi. Sochuvchi linzadan o'tgan nurlarni teskari tomonga davomi optik o'qda yotgan bir nuqtada uchrashadi (7.8 b-rasm). Ana shu nuqta linzaning **mavhum fokusi** deyiladi.



7.8-rasm. Linzada bosh va qo'shimcha optik o'qlardan o'tuvchi nurlarning yo'li

Linzalar ikkita fokusga ega bo'lib, bir jinsli muhitda bu fokuslar linzaning ikki tomonida, uning markazidan bir xil masofada yotadi.

Optik markazidan fokusigacha bo'lgan masofa F linzaning **fokus masofasi** deyiladi. Ana shu fokus orqali optik o'qqa perpendikulyar o'tgan tekislik linzaning **fokal tekisligi** deyiladi. Fokus masofaga teskari kattalik D **linzaning optik kuchi** deyiladi.

$$D = \frac{1}{F} \quad (7.9)$$

Optik kuchining SI sistemasidagi birligi **dioptriya** deyilib, u fokus masofasi 1 m bo'lgan linzaning optik kuchidir.

$$1 \text{ dptr} = \frac{1}{m}$$

Yig'uvchi linzalarda optik kuchi musbat, sochuvchi linzalarda esa manfiy bo'ladi.

Linza formulasi 3ta kattalik – buyumdan linzagacha bulgan d masofa, lizadan tasvirigacha bulgan f masofa linzaning bosh fokus F masofasi urtasidagi boglanishni ifodalaydi.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (7.10)$$

Yoki

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (7.11)$$

(7.10) yoki (7.11) formula **yupqa linza formulasi** deb atash qabul qilingan.

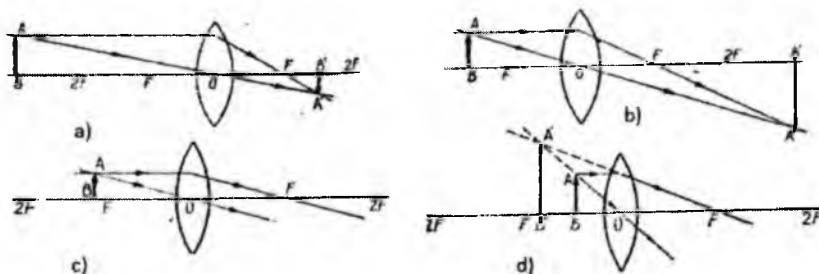
Linzada buyumning tasvirini yasashda buyumning bir nechta nuqtalarining tasvirini topish va so'ngra ulardan buyumning tasviri hosil qilish kerak. Nuqtaning tasvirini yasashda quyidagi nurlardan ixtiyoriy ikkitasini tanlash va ularning lizadan sinib o'tgandan so'ng kesishish nuqtasini topish kerak.

1. Optik o`qqa parallel nur, u linzadan singandan keyin fokusdan o`tadi.

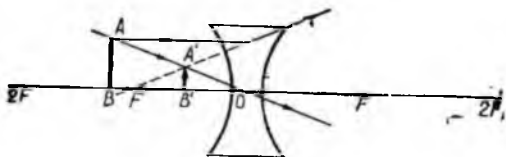
2. Linzaning optik markazidan o`tuvchi nur, u linzadan chiqqanda o`zining dastlabki yo`nalishini o`zgartirmaydi.

3. Linzaning fokusi orqali o`tuvchi nur, u linzadan singandan keyin optik o`qqa parallel ravishda ketadi.

Ana shu usul bilan buyumning bir nechta nuqtasining tasvirini fokal tekislikka tushirib olib, so`ngra buyumning butun tasvirini yasash mumkin. Tasvir yasashda buyum linza fokusiga nisbatan qanday masofada turganligi muhim rol o`ynaydi.



7.8-rasm. Qavariq linzada tasvirning hosil bo`lishi



7.9-rasm. Botiq linzada tasvirning hosil bo`lishi.

1. AV buyumdan linzagacha bo`lgan masofa d , linzaning ikki fokus masofasi F dan katta, ya`ni $d > 2F$ bo`lsin (7.8 a-rasm). Bu holda tasvir kichiklashgan va to`nkarilgan holda fokus bilan ikkilangan fokus oralig`ida paydo bo`ladi.

2. Buyum linzaning fokusi bilan ikkilangan fokusi oralig`ida turgan bo`lsin (7.8 b-rasm), ya`ni $F < d < 2F$, bunda tasvir to`nkarilgan va kattalashgan holda ikki fokus oralig`idan naribroqda paydo bo`ladi.

3. Buyum linzaning fokusida turgan bulsin, ya'ni $d = F$ (7.8 c-rasm). Bu holda buyumning istalgan nuqtasidan chiqib linzadan sinuvchi qo'sh nurlar kesishmaydi va tasvir cheksizlikda paydo bo'ladi.

4. Buyum linza bilan fokus orasida joylashgan bo'lsin, ya'ni $d < F$ (7.8 d-rasm). Bunda tasvir mavhum to'g'ri va kattalashgan holda paydo bo'ladi.

Endi tarqatuvchi linzaga kelsak, bunda ham linzaga nisbatan buyumning joylashishida yuqoridagidek turli hollar bo'lishi mumkin. Biroq tarqatuvchi linzalarda buyum unga nisbatan qayerda joylashsa ham tasvir mavhum, to'g'ri va kichiklashgan bo'ladi.

Buyum AV sochuvchi linzaning fokusi bilan ikkilangan fokusi orasida turgan bo'lsin, ya'ni $F < d < 2F$ (7.9-rasm). Bunda tasvir mavhum, to'g'ri va kichiklashgan holda fokus bilan linza orasida paydo bo'ladi.

7.3-§. ASOSIY FOTOMETRIK KATTALIKLAR

Yorug'lik hodisalarida yorug'lik nuqtaviy manbasidan foydalanamiz. Yorug'lik manbaining o'lchamlarini kuzatish joyidan ungacha bo'lgan masofaga nisbatan hisobga olmaslik mumkin bo'lsa, bunday manbani nuqtaviy manba deb ataymiz. Bir jinsli va izotrop muhitda nuqtaviy manbadan tarqalayotgan to'lqin sferik bo'ladi. Yorug'lik to'lqinlari yorug'lik manbaidan atrofidagi fazoga energiya eltadi. Optikaning yorug'lik energiyasini o'lchash usullarini o'rgatuvchi bo'limi *fotometriya* deb ataladi.

Yorug'likni xarakterlovchi quyidagicha asosiy fotometrik kattaliklarni ko'rib chiqamiz.

Yorug'lik o'zi eltadigan energiya nuqtai nazaridan bir qator kattaliklar bilan xarakterlanadi. Bu kattaliklardan eng muhimi *yorug'lik oqimidir*.

Yorug'lik energiyasini sezish uchun, tabiiyki, ko'z alohida ahamiyatga ega. Shu sababli bizni birinchi navbatda yorug'lik to'lqinlari bilan o'tadigan to'liq energiya emas, balki uning bevosita ko'zga ta'sir etadigan qismi qiziqtiradi.

Ko'z yashil nurlarni eng yaxshi sezadi. Shu sababli yorug'lik energiyasining tegishli o'lchash asboblari bilan qayd etiladigan miqdordagina emas, balki bu

energiyaning bevosita ko`zimizga seziladigan, ya`ni ko`zimiz bilan baholaydigan miqdorini bilish katta amaliy ahamiyatga ega. Yorug`lik energiyasini bunday baholash uchun kiritilgan fizik kattalik yorug`lik oqimidir. Agar biror yuzaga vaqt davomida energiyasi W bo`lgan yorug`lik tushayotgan bo`lsa, bu **nurlanishning quvvati** W/t ga teng bo`ladi.

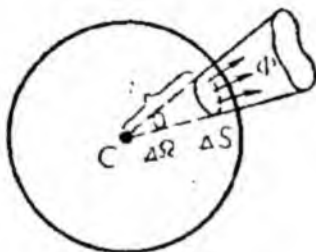
Ma`lum bir yuzaga tushayotgan nurlanish quvvati bilan o`lchanadigan kattalik F **yorug`lik oqimi** deyiladi:

$$\Phi = \frac{W}{t}. \quad (7.12)$$

Yorug`lik manbalarining ko`pchiligi yorug`likni hamma yo`nalishlarda tarqatadi, shuning uchun to`liq yorug`lik oqimi tushunchasi kiritiladi.

Barcha yo`nalishlardagi nurlanish quvvati bilan o`lchanadigan F_0 yorug`lik manbaining to`liq **yorug`lik oqimi** deyiladi.

Yorug`lik manbaini xarakterlash uchun fotometriyada **yorug`lik kuchi** deb ataluvchi kattalik qo`llaniladi.



7.10-rasm. Fazoviy burchakning ifodalanishi.

S nuqtada turuvchi nuqtaviy yorug`lik manbaining atrofida markazi shu nuqtada bo`lgan r radiusli shar chizamiz. Unda fikran shunday shar sektori (uchi shar markazida bo`lgan konus) qirqib olaylikki, uning asosi shar sirtida ΔS yuzni hosil qilsin. Bu konus sirti bilan chegaralangan fazo **fazoviy burchak** $\Delta\Omega$ deb ataladi (7.10-rasm) va u quyidagicha topiladi:

$$\Delta\Omega = \frac{\Delta S}{r^2}. \quad (7.13)$$

Fazoviy burchak tayanib turgan shar sirtining yuzi kattalik jihatidan shar radiusining kvadratiga teng bo'lsa, ya'ni $\Delta S = r^2$ bo'lsa, fazoviy burchak 1 ga teng bo'ladi va bu burchak **steradian (sr)** deb ataladi. Sharni to'liq sirti $S = 4\pi r^2$ bo'lgani uchun nuqta atrofidagi butun fazoni qamrab oluvchi Ω to'liq fazoviy burchak quyidagicha ifodalanadi:

$$\Omega = \frac{S}{r^2} = \frac{4\pi r^2}{r^2} = 4\pi \text{ sr.} \quad (7.14)$$

Demak, nuqta atrofidagi to'la fazoviy burchak 4π steradianga teng bo'la ekan.

Yorug'lik oqimini bu oqim tarqalayotgan fazoviy burchak kattaligiga nisbati bilan o'lchanadigan kattalikka manbani **yorug'lik kuchi** deb ataladi:

$$I = \frac{\Delta\Phi}{\Delta\Omega}. \quad (7.15)$$

Demak, yorug'lik kuchi 1 steradian fazoviy burchak ichida tarqaladigan yorug'lik oqimi bilan o'lchanadi.

Yorug'lik jismga tushib, ularni yoritadi. Yorug'likni baholash uchun yoritilganlik deb ataladigan kattalik kiritilgan.

Yorug'lik oqimining o'zi tushayotgan sirt yuziga nisbati bilan o'lchanadigan kattalik **yoritilganlik** deyiladi.

Agar E – yoritilganlik, ΔF – yorug'lik oqimi, ΔS – yoritilayotgan sirt yuzi bo'lsa, u holda ular orasidagi bog'lanish quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S} \quad (7.16)$$

Bundan, yorug'lik oqimi sirt bo'yicha bir tekis taqsimlanganda yoritilganlik son qiymati jihatdan yuzga birligiga tushayotgan yorug'lik oqimiga teng ekan.

Mehnat unumini orttirish va ko'zning ko'rish qobiliyatini saqlash uchun, ish joyining yaxshi yoritilgan bo'lishi katta ahamiyatga ega. Quyidagi jadvalda har xil ishlar uchun yoritilganlikni turli mezonlari belgilangan.

O'qish uchun zarur bo'lgan yoritilganlik	30 – 50 lk
Nozik ishlar stolini yoritilganligi	100 – 200 lk

Suratxonada suratga olishdagi yoritilganlik	10000 lk va undan ortiq
Kinoekrandagi yoritilganlik	20 – 80 lk
Havo bulut bo`lganda ochiq joydagi yoritilganlik	10000 lk va undan ortiq
Bulutsiz tush vaqtidagi oftobdan hosil bo`lgan yoritilganlik	100000 lk
To`lin oydan hosil bo`lgan yoritilganlik	0, 2 lk

Shu vaqtgacha biz nuqtaviy yorug`lik manbalari haqida gapirdik. Biroq, ko`p hollarda yorug`lik manbalari biror o`lchamga ega bo`ladi, ya`ni yoyilgan bo`ladi. Bunday manbalarning shakli va o`lchamlari ko`z bilan ko`rib farq qilinadi.

Yoyilgan yorug`lik manbalari uchun yorug`lik kuchi etarli xarakteristika bo`la olmaydi. Shuning uchun qo`shimcha xarakteristikalar – yorqinlik va ravshanlik tushunchalari kiritiladi.

Yorug`lik manbaining yuza birligidan barcha yo`nalishlar bo`yicha nurlanayotgan yorug`lik oqimiga son jihatdan teng bo`lgan kattalik *yorqinlik* deyiladi:

$$R = \frac{\Delta\Phi}{\Delta S}, \quad (7.17)$$

bu erda ΔS – manbaning yorug`lik sochayotgan yuzi.

Yorug`lik manbalari katta o`lchamli bo`lganda ko`z manba sirtini alohida qismlarining ma`lum yo`nalishdagi nurlanish kuchini ajratadi.

Manba sirtining yuza birligidan ma`lum yo`nalishda yuzaga normal ravishda chiqayotgan yorug`lik kuchiga son jihatdan teng bo`lgan kattalik ravshanlik deyiladi:

$$B = \frac{I}{\Delta S}. \quad (7.18)$$

Agar yorug`lik ixtiyoriy yo`nalishda chiqayotgan bo`lsa, ravshanlik quyidagicha ifodalanadi:

$$B = \frac{I}{\Delta S \cos\varphi}, \quad (7.19)$$

bu erda φ – nurlanayotgan sirtga oʻtkazilgan normal bilan kuzatish yoʻnalishi orasida burchak.

Endi yuqorida koʻrib oʻtilgan fotometrik kattaliklarning oʻlchov birliklari bilan tanishib chiqaylik. Birliklarning xalqaro SI sistemasida fotometrik kattaliklarning asosiy birligi qilib yorugʻlik kuchi birligi **kandela** (lotincha sham) – **kd** qabul qilingan. Kandela temperaturasi plataning normal bosimdagi qotish tumperaturasi (1769°C)ga teng boʻlgan toʻla nurlagich kesimining $1/600000$ m^2 yuzidan bu kesimga perpendikulyar yoʻnalishda chiqargan yorugʻlik kuchidir.

Yorugʻlik oqimining birligi qilib **lyumen** (**lm**) qabul qilingan. (7.15) formulaga binoan $1\text{ lm} = 1\text{ kd} \cdot 1\text{ sr}$, yaʼni yorugʻlik kuchi 1 kandela boʻlgan nuqtaviy manbaning bir steradian fazoviy burchak ichida chiqargan yorugʻlik oqimi bir **lyumen** deyiladi.

Agar nuqtaviy manba yorugʻlikning hamma yoʻnalishlari boʻyicha tekis tarqatayotgan boʻlsa, uning toʻliq yorugʻlik oqimi

$$\Phi_0 = 4\pi I \quad (7.20)$$

ga teng boʻladi. Yoritilganlik birligi qilib **lyuks** (**lk**) qabul qilingan. (5) formulaga asosan boʻladi. Yaʼni 1 m^2 sirtga 1 lyumen yorugʻlik oqimi normal tushib, tekis taqsimlanganda hosil boʻlgan yoritilganlik 1 lyuks deb ataladi.

Yorqinlik ham yoritilganlik oʻlchanadigan birliklarda, yaʼni lyukslarda oʻlchanadi.

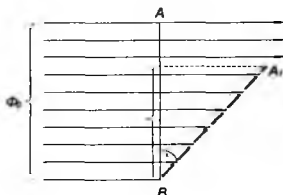
Ravshanlik birligi qilib nit (nt) qabul qilingan. (7.18) formulaga asosan u quyidagiga teng:

$$1\text{ nit} = 1\text{ kd}/\text{m}^2.$$

Buyumlarni yoritilganligi manbaning yorugʻlik kuchiga va manbadan yoritilayotgan sirtgacha boʻlgan masofaga bogʻliq holda oʻzgarar ekan. Yoritilayotgan r radiusli shar boʻlib, uning markazida yorugʻlik kuchi I boʻlgan nuqtaviy manba turgan boʻlsin. Bu holda nurlar yoritilayotgan sirtning har qanday elementiga perpendikulyar boʻladi. Yorugʻlik kuchi I boʻlgan manbaning barcha yoʻnalishlar boʻylab sochayotgan toʻliq yorugʻlik oqimi $\Phi_0 = 4\pi I$ boʻladi. Butun shar sirtining yuzi $S = 4\pi r^2$ bu sirtning yoritilganligi quyidagicha boʻladi:

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}. \quad (7.21)$$

Bu bog'lanish yoritilganlikning birinchi qonunini ifodalaydi. Nuqtaviy yorug'lik manbaidan chiqayotgan nurlar sirtga perpendikulyar tushganda sirtning yoritilganligi manbaning yorug'lik kuchiga to'g'ri proporsional va undan yoritilayotgan sirtgacha bo'lgan masofa kvadratiga teskari proporsionaldir.



7.11-rasm. Yorug'lik oqimi (Φ)ning sirtga burchak ostida tushishi

Yoritilganlik yuqorida ko'rsatilgan omillardan tashqari, nurning yorituvchi sirtga qanday burchak ostida tushishiga ham bog'liqdir. Bu bog'liqlikni aniqlaylik. Perpendikulyar nurlarning F_0 oqimi yuzi S va uzunligi AV bo'lgan to'g'ri to'rtburchak sirtga tushayotgan bo'lsin (7.11-rasm). Bu holda sirtning yoritilganligi $E_0 = \Phi_0/S$ ga teng.

Yuzani biror α burchakka og'diramiz, unda sirt A_1V vaziyatni oladi va kamroq F yorug'lik oqimi tushadi, chunki nurlarning bir qismi sirtga tushmay o'tib ketadi.

Bu holda sirt yuzi o'zgarmaganligi sababli sirtning yoritilganligi kamayadi va $E = \Phi/S$ ga teng bo'lib qoladi. Bu hosil bo'lgan tengliklarning ikkinchisini birinчисiga bo'lsak, $\frac{E}{E_0} = \frac{\Phi}{\Phi_0}$ hosil bo'ladi.

Chizmadan $\frac{\Phi}{\Phi_0} = \frac{BC}{BA} = \frac{BC}{BA_1}$ ekanligi ko'rinib turibdi. Keyingi ikki tenglikni

solishtirib, quyidagini hosil qilamiz:

$$\frac{E}{E_0} = \frac{BC}{BA_1}.$$

To'g'ri burchakli SVA_1 uchburchakdan $\frac{BC}{BA_1} = \cos \alpha$ deb yozish mumkin, u

holda yuqoridagi tenglik

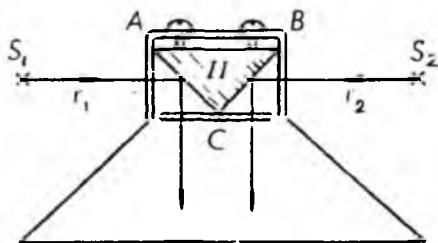
$$\frac{E}{E_0} = \cos \alpha \text{ yoki } E = E_0 \cos \alpha \quad (7.22)$$

korinishga keladi. Bu bog'lanish yoritilganlikning 2-qonunini ifodalaydi. Yorituvchi sirtga yorug'lik kuchi burchak ostida tushsa, sirtning yoritilganligi nurning tushish burchagi kosinusiga to'g'ri proporsionaldir.

Yoritilganlikni ikkala qonuni birlashtirib, quyidagicha yozish mumkin:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha. \quad (7.23)$$

Nuqtaviy yorug'lik manbaining biror sirtida hosil qilgan yoritilganligi manbaining yorug'lik kuchiga va nurlarning tushish burchagi kosinusiga to'g'ri proporsional va manbadan sirtgacha bo'lgan masofaning kvadratiga teskari proporsionaldir.



7.12-rasm. Eng sodd fotometrning tuzilishi

Sirtlarning yoritilganligini tenglashtirish yo'li bilan ikki manbaining yorug'lik kuchi taqqoslanadi. Shu maqsadda ishlatiladigan asboblari **fotometrlar** deb ataladi. Eng sodd fotometrlardan birining ishlash printsipi bilan tanishib chiqamiz (7.12-rasm). Uchburchakli AVS prizmaning oq rangga bo'yalgan AS va VS yoqlariga S_1 va S_2 manbalardan yorug'lik tushadi. Yoritilganlik S tomondan ko'z bilan kuzatiladi. Fotometrni manbalar orasida u yoki bu tomonga siljitib prizmaning VS va AS yoqlari bir xil yoritilishiga erishiladi va shundan so'ng quyidagi mulohazalarga muvofiq manbaining yorug'lik kuchi hisoblanadi:

yorug'lik kuchi I_1 va I_2 bo'lgan S_1 va S_2 manbalar prizmadan r_1 va r_2 masofada turib

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cos \alpha \text{ va } E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cos \alpha$$

yoritilganlik hosil qiladi. Fotometrni $E_1=E_2$ bo'ladigan qilib joylashtirganimiz uchun quyidagini yoza olamiz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_2^2}{r_1^2}. \quad (7.24)$$

(7.24) ifodadan bir manbaning yorug'lik kuchi ma'lum bo'lganda ikkinchi manbaning yorug'lik kuchini topishga imkon beradi.

Yoritilganlikni o'lchash uchun esa alohida asboblarda – lyuksmetrlar ishlatiladi. Fotograflar suratga olishda foydalanadigan fotoeksponometr asbobining ishlashi ham yoritilganlikni o'lchashga asoslangan.

7.4-§. KO'ZNING OPTIK SISTEMASI VA UNING BA'ZI XUSUSIYATLARI

Odam ko'zi o'ziga xos optik asbob bolib, u optikada alohida o'rin tutadi. Bu, birinchidan, ko'p optik asboblarning ko'z sezishiga mo'ljallangani, ikkinchidan, odamning (va hayvonning) ko'zi evolyutsiya jarayonida taqsimlashgan biologik sistema sifatida, bionika doirasida optik sistemalarni loyihalash va yaxshilashga doir ba'zi g'oyalarni vujudga keltirishi bilan tushuntiriladi.

Ko'z tibbiyotchilar uchun faqat funksional buzilish va kasallanish qobiliyatiga ega bo'lgan a'zo hisoblanmay, balki ba'zi ko'zga taalluqli bo'lmagan boshqa kasalliklar to'g'risidagi axborot manbai hamdir

Ko'rish tizimiga tushgan yorug'lik elektr impulsiga aylanadi va u ko'rish nervlari orqali miyadagi markaziy nerv tizimiga beriladi. Fotoretseptorlar sezgirligi juda yuqori bo'lib, unga tushgan kuchsiz yorug'likni ham elektr impulsiga aylantirib beradi. Yorug'lik ta'sirida retseptor hujayralarida ma'lum biokimyoviy reaksiyalarni hosil qildiradi va harakat potentsiali yuzaga keladi.

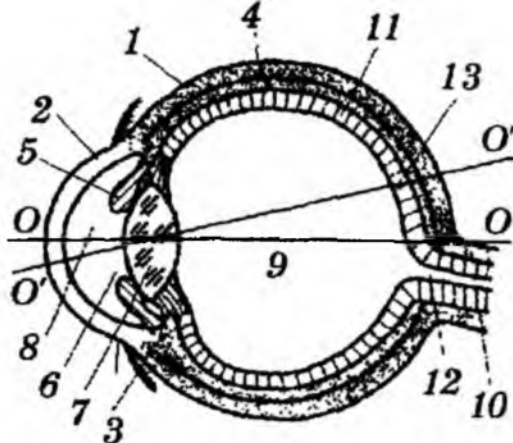
Ko'z nafaqat elektromagnit to'liqini qabul qiladi, balki ularni farqlay oladi ham. Buyum tasvirini va rangini, qanday masofada joylashganini ham aniqlaydi. Tabiat bunga uzoq evolyusiya tufayli erishdi.

Ba'zi umurtqali hayvonlar ham odam kabi ranglarni ajratadi. Masalan, otlar, qo'ylar va cho'chqalar faqat qizil va zangori ranglarni farqlaydi. Tunda ov qiluvchi hayvonlar, masalan, mushuklar, bo'rilar rangni farqlamaydi. Hayvonlar ultrabinafsha va infraqizil nurlarni farqlay olmaydi. Bunga sabab quyoshdan yerga amalda 290 nm dan kichik to'liqlar yetib kelmaydi. Shu sababli hayvon va odamlarda bu to'liq uzunligini sezuvchi organlar rivojlanmagan. Lekin, bundan ancha katta to'liq uzunlikli ultrabinafsha nurlarni ham ko'z sezmaydi. Bunga sabab yuqori energiyali ultrabinafsha nurlar ko'zdagi yorug'likka sezgir pigmentlarni buzishidir.

Shu sababli gavhar va shishasimon suyuqlik nafaqat ultrabinafsha nurlarni, balki to'liq uzunligi 400 nm ga yaqin ba'zi nurlarni ham kuchli yutadi. Agar bu nurlar energiyasi katta bo'lsa to'r pardani kuydiradi.

Infraqizil nurlarni oladigan bo'lsak, uni hayvonlar tanasining o'zi ham chiqaradi. 37°C da maksimal nurlanish 9-10 mkm to'liq uzunlikka mos keladi. 1m^2 hayvon tanasi 50 mW quvvatli energiyani nurlaydi. Bu esa ko'zga quyoshdan tushadigan energiyadan ancha kattadir.

Odam ko'zining tuzilishi haqida qisqacha to'xtab olamiz. Ko'z kosasi asli ko'zning o'zi bo'lib (7.13- rasm), u uncha to'g'ri bo'lmagan shar shaklidir; katta odamlarda uning old-orqa o'lchovi o'rtacha 24,3 mm, vertikal olchovi — 23,4 mm va gorizontal o'lchovi — 23,6 mm. Ko'zning devorlari konsentrik joylashgan uchta— tashqi, o'rta va ichki qobiqlardan iborat. Tashqi oqsil qobiq — sklera 1 ko'zning oldingi qismida shaffof qavariq muguz qobiq 2-muguz pardaga aylanadi. Muguz pardaning qalinligi o'rtasida 0,6 mm ga yaqin, atrofida to 1 mm gacha bo'ladi. Optik xossalari bo'yicha muguz parda – ko'zning eng kuchli sindiruvchi qismidir. U go'yo ko'zga yorug'lik nurlari kiradigan derazadir. Muguz pardaning egrilik radiusi 7-8 mm, moddasinnig sindirish ko'rsatkichi 1,38 ga teng. Muguz pardaning tashqi qoplami ko'z qovoqlariga berkitilgan konyunktiv 3 ga o'tadi.



7.13-rasm. Ko'zning tuzilishi. 1-tashqi oqsil qobiq (sklera), 2-muguz parda, 3-konyunktiv, 4-qon tomirli qobiq, 5-rangdor parda, 6-qorachiq, 7-ko'z gavhari, 8-ko'zning oldingi kamerasi, 9-shishasimon jism, 10-ko'ruv nervi, 11-to'rparda (ratina), 12-ko'zning ko'r dog'i, 13- sariq dog'.

Skleraga qon tomirli qobiq 4 tutashgan bo'lib, uning ichki sirti ko'z ichida yorug'likning diffuzli sochilishiga to'sqinlik qiladigan xira-qora pigmentli hujayralar bilan qoplangan. Ko'zning oldinig qismida tomirli qobiq 5-rangdor pardaga aylanadi. Bu pardada doiraviy teshik-qorachiq 6 mavjud. Ko'z qorachig'iga ko'zning ichki tomonidan, bevosita ko'z gavhari 7 — ikki tomonlama qavariq linzaga o'xshash shaffof va elastik jism yondashadi. Ko'z gavharining diametri 8-10 mm, oldingi sirti egriligining radiusi o'rtacha 10 mm, orqa egriligining radiusi — 6 mm. Gavhar moddasining sindirish ko'rsatkichi 1,4 dan biroz kattaroq.

Muguz parda va gavhar orasida ko'zning oldingi kamerasi 8 joylashgan bo'lib, u suvsimon namlik bilan, ya'ni optik xossalari bo'yicha suvga yaqin bo'lgan suyuqlik bilan to'lgan. Ko'zning gavharidan tortib, to orqa devorigacha bo'lgan butun ichki qismi shaffof, shishasimon jism (9) deb ataluvchi dirildoq massaga to'la boladi. Shishasimon jismning sindirish ko'rsatkichi suvnikiki kabidir.

Ko'zning yuqorida ko'rib chiqilgan elementlari asosan uning yorug'lik o'tkazuvchi apparatiga tegishlidir. Ko'ruv nervi 10 ko'z kosasiga orqa devordan

kirib tarmoqlangach , u ko'zning eng ichki to'rqatlamiga yoki ko'zning yoruglikni qabul qiluvchi apparati (retseptori) bo'lgan to'rpardaga yoki ratina 11 ga o'tadi. To'r parda bir necha qatlamdan iborat bo'lib, qatlamlarning qalinligi va yorug'likka sezgirligi bir xil emas, unda periferik uchlari turli shakllarga ega bo'lgan yorug'lik sezgir ko'ruv hujayralari joylashgan . Ularning cho'zinchoq uchlariga tayoqchalar, konussimon uchlariga kolbachalar deyiladi. Tayoqchalarning uzunligi 63 -81 mkm, diametri 1,8 mkm ga yaqin, kolbachalar esa mos holda 35 mkm va 5-6 mkm bo'ladi. Kishi ko'zining to'r qatlamida 130 millionga yaqin tayoqcha va 7 million kolbacha joylashgan.

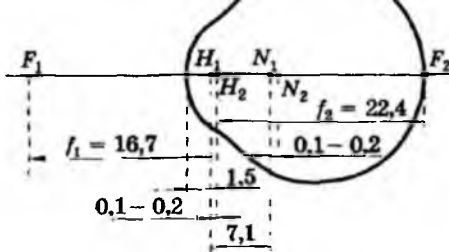
Ko'ruv nervi kirgan joyda yorug'likni sezmaydigan ko'zning ko'r dog'i 12 mavjud. To'r pardaning o'rtasida, chekkaga sal yaqin yerda, yorug'ikka eng sezgir bo'lgan sariq dog' 13 yotadi, uning markaziy qismi taxminan 0,4 mm diametrga ega.

Kolbachalar va tayoqchalar to'r parda ustida bir tekisda taqsimlangan. Kolbachalar to'r pardaning asosan o'rta qismida, sariq dog'da joylashgan, sariq dog'ning markazida faqat kolbachalar turadi, to'r pardaning chetlarida esa – faqat tayoqchalar joylashgan.

Dastlab ko'zning yorug'lik o'tkazish apparatining xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

Ko'zni muguz parda, oldingi kamera suyuqligi va gavhar (to'rt sindiruvchi sirt) dan iborat va oldidan havo, orqasidan esa shishasimon jism bilan chegaralanuvchi, markazlashgan optik sistema kabi tasavvur etish mumkin. Bosh optik o'q 00 (7.13- rasm) muguz pardaning, qorachiqning va gavharning geometrik markazlaridan o'tadi. Bundan tashqari yana ko'zning 00' ko'ruv o'qini ham mavjud ko'ruv o'qi eng yaxshi yorug'lik sezilishi yo'nalishini belgilaydi va gavhar bilan sariq dog' markazlaridan o'tadi, bosh optik va ko'ruv o'qlari orasidagi burchak taxminan 50 ni tashkil etadi.

7.14- rasmda biror o'rtacha normal ko'z uchun fokuslar, bosh nuqtalar, tekisliklar va tugun nuqtalar ko'rsatilgan (masofalar millimetrlarda berilgan).



7.14-rasm. Ko'zning fokuslar, bosh nuqtalar, tekisliklar va tugun nuqtalari

Soddalashtirish maqsadida ko'pincha bu sistemani keltirilgan reduksiyalangan ko'z bilan, ya'ni buyumlar fazasi tomonidan sindirish ko'rsatkichi $h = 1,336$ ga teng suyuqlik bilan o'ralgan linza bilan almashtiriladi. Keltirilgan ko'z moddalarining birida yagona bosh tekislik muguz pardaning oldinig sirtidan $1,6$ mm masofada turadi, tugun nuqtalar mos kelgan bo'lib, muguz parda sirtidan $7,2$ mm masofada joylashgandir.

Yorugiikning asosiy sinishi muguz pardaning tashqi chegarasida yuz beradi, butun muguz pardaning optik kuchi taxminan 40 dioptriyaga, gavharniki taxminan 20 dioptriyaga, butun ko'zniki esa 60 dioptriyaga yaqin.

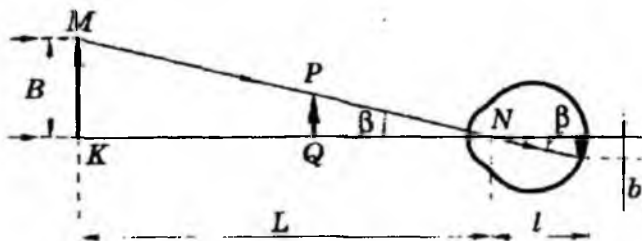
Turli uzoqlikdagi jismlar to'rpardada bir xil ravshanlikdagi tasvir berishi kerak. Buni amalga oshirish uchun (26.5) formuladan ma'lum bo'lishicha yo bosh tekislik bilan to'r parda orasidagi masofa a_2 ni fotoapparatlarda qilinadiganga o'xshash o'zgartirish kerak, yoki gavhar egriligini, demak, f_1 va f_2 fokus masofalarini o'zgartirish kerak. Odam ko'zida ikkinchi hol amalga oshiriladi. Ko'zning bunday har xil uzoqlikda joylashgan jismlami ravshan ko'rishga moslasha olishiga — “keskinlikka to'g'rilanishiga” — akkomodatsiya deyiladi.

Jism cheksizlikda joylashgan bo'lsa, uning normal ko'zdagi tasviri to'r pardada bo'ladi. Bu vaqtda gavhar cheksizlikka akkomodatsiyalanadi va uning optik kuchi minimal bo'ladi. Jism ko'zga yaqinlashadigan bo'lsa, u holda gavharning egriligi kattalashadi, jism qancha yaqin bo'lsa, ko'zning optik kuchi shuncha katta bo'ladi, uning o'zgarishlari taxminan 60—0 dptr chegarasida bo'ladi.

Sog'lom katta odamda jism ko'zga 25 sm masofagacha yaqinlashgan vaqtda akkomodatsiya kuchlanishsiz ro'y beradi va qo'ldagi buyumlarni ko'rishga o'rganilib qolganligi sababli ko'z hammadan ko'p, ayniqsa shu masofaga akkomodatsiyalanadi, shuning uchun bu masofaga eng yaxshi ko'rish masofasi deyiladi.

Undan ham yaqin turgan buyumlarni ko'rish uchun akkomodatsion apparatni zo'riqtirishga to'g'ri keladi. To'r pardada tasvirning ravshan ko'rinishini hali ta'minlay oladigan ko'z bilan buyum ko'zning yaqin nuqtasi (aniq ko'rishning yaqin nuqtasi) deyiladi. Yosh ulg'aygan sari ko'zning yaqin nuqtasigacha bo'lgan masofa kattalashadi, demak, akkomodatsiya kamayadi.

To'r pardadagi tasvirning kattaligi faqat buyum kattaligiga bog'liq bo'lmay, uning ko'zdan uzoqligiga ham, ya'ni jismning ko'rinishi burchagiga ham bog'liq bo'ladi. Shunga ko'ra ko'rish burchagi tushunchasi kiritiladi. Bu buyumning chetki nuqtalaridan chiqib mos tugun nuqtalaridan o'tuvchi nurlar orasidagi burchakdir (7.15-rasm). Rasmdan ko'rinishicha, birinchidan har xil KM va QP buyumlar bir xil ko'rish burchagi β ga ega bo'lishi mumkin, ikkinchidan, ko'rish burchagi to'r pardadagi tasvir kattaligini to'la ravishda aniqlay oladi.



7.15-rasm. Ko'zning to'r pardasida tasvirning hosil bo'lishi

Ko'zning ajrata olish qobiliyatini tasvirlash uchun eng kichik ko'rish burchagidan foydalaniladi, bu burchakda odam ko'zi buyumning ikki nuqtasini hali ajrata olish qobiliyatiga ega bo'ladi. Bu burchak taxminan 1'ga teng, bu eng yaxshi ko'rish masofasida turgan nuqtalarning orasi 70 mkm ga teng bo'lishiga mos keladi. Bu holda to'r pardadagi tasvirning kattaligiga qarang 5 mkm ga teng, bu esa to'r pardadagi kolbachalardan ikkitasining orasida bo'lgan o'rtacha

masofaga teng. Shuning uchun, agar ikki nuqtaning tasviri to'rt pardada 5 mkm dan qisqaroq chiziqni egallaydigan bo'lsa, u holda bunday nuqtalar ajralib ko'rinmaydi, ya'ni ko'z ularni ajrata olmaydi.

Yorug'lik difraksiyasi tufayli hosil bo'luvchi chegaralanishlar hisobga olinganda ham eng kichik ko'rish burchagining xuddi shunday qiymati olingan bo'ladi. Tabiatdagi maqsadga muvofiqlik "hech narsa ortiqcha emasligi" kishini hayron qoldiradi, to'rt pardaning yuza birligiga to'g'ri keluchi kolbachalar soni geometrik optikaning chegaraviy imkoniyatlariga javob beradi.

Ko'zning ajrata olish qobiliyatini tibbiyotda ko'rish o'tkirligi bilan baholaydilar. Ko'rish o'tkirligining normasi deb bir qabul qilinadi, bu holda eng kichik ko'rish burchagi 1' ga teng bo'ladi.

Og'ish vaqtlarda eng kichik ko'rish burchagi minutdan qancha katta bo'lsa, ko'zning ko'rish o'tkirligi normadan shuncha kam boiadi. Agar bemorning eng kichik ko'rish burchagi 4' ga teng bo'lsa, uning ko'zi $1:4 = 0,25$ o'tkirlikka ega bo'ladi.

Ayrim hollarda odam ko'zi 1' burchakka mos kelgandan ham maydaroq kattaliklarni ajrata oladi. Masalan, harakatlanuvchi jismlarning siljishi yoy bo'yicha 20" ga yetganda seziladi, ikki ingichka chiziqdan birining ikkinchisi ustiga tushmaganligini ular orasidagi burchak 12" bo'lganidayoq bilinadi va hokazo. Fizik o'lchashlarda ko'pincha strelkasi shkalaning nolinch darajasidan (shtrixidan) siljimasligi kerak bo'lgan asboblarda (potensiometrlar, ko'priklar) ko'p ishlatilmoqda. Ko'zning kichik chiziqlarning siljishini seza olish qobiliyati tufayli bunday asoblar strelkasi bilan shtrixi orasidagi masofasi aniqlanadigan asboblarga ko'ra ancha aniqroq ko'rsatishlar bera oladi.

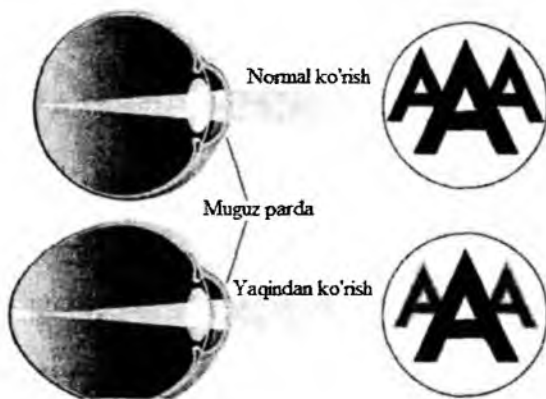
7.5-§. KO'Z OPTIK SISTEMASIDAGI KAMCHILIKLAR VA ULARNI BARTARAF QILISH

Ko'zning optik sistemasiga ba'zi kamchiliklar xosdir. Akkomodatsiya yo'qligida normal ko'zning orqa fokusi to'rt pardaga to'g'ri keladi, bunday ko'zga

emmetropik ko'z deyiladi va bu shart bajarilmaydigan hollarda **ametropik ko'z** deyiladi.

Ametropiyaning eng ko'p tarqalgan ko'rinishlari yaqindan ko'rish (**miopiya**) va uzoqdan ko'rish (**gipermetropiya**) hisoblanadi. Bunga ko'z soqqasining shakli, ko'zning shoh pardasi yoki ko'z gavharining egriligi normal bo'lmasligi sabab bo'ladi.

Yaqindan ko'radigan (miopiya) odamning ko'z soqqasi cho'ziqroq shaklda bo'ladi (7.16-rasm). Shuning uchun uzoqdagi buyumlar tasviri ko'zning to'r pardasiga emas, balki undan oldinroqqa tushadi. Natijada uzoqdagi buyumlarning tasviri aniq ko'rinmaydi. Bu holat ko'z gavharining do'ngligi ortib ketishi oqibatida ham yuzaga kelishi mumkin. Miopiya holati tug'ma va hayotda orttirilgan bo'ladi. Yaqindan ko'ruvchi ko'zni korrektsiyalash (tuzatish) uchun sochuvchi linza ishlatiladi (7.20 a-rasm).



7.16-rasm. Yaqindan ko'rish(miopiya)da normal ko'rishga nisbatan tasvirni xiralashuvi

Uzoqdan ko'rish (gipermetropiya) asosan tug'ma bo'ladi. Bunday odamlarda ko'z soqqasi qisqaroq bo'ladi. Bunda yaqindagi buyumlarning tasviri ko'z to'r pardasiga emas, balki uning orqasiga tushadi. Uzoqdan ko'rishning ikkinchi sababi ko'z gavhari do'ngligining kamayishidir. Bu ko'pincha keksalarda hayoti mobaynida sodir bo'ladi. Uzoqdan ko'ruvchi ko'zni tuzatish uchun yig'uvchi linza ishlatiladi (7.20 b-rasm).

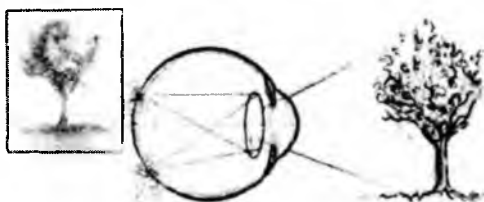


7.17-rasm. Uzoqdan ko'radigan ko'zda tasvirning hosil bo'lishi

Astigmatizm – nuqtaviy bo'lmagan, buyumning bitta nuqtasiga tasvirning bir nechta nuqtalari to'g'ri keladi. Bu optik sistemanning shunday kamchiligi, unda sferik yorug'lik to'liqini optik sistemadan o'ta turib, deformatsiyalanadi va sferikligini yo'qotadi (7.18-rasm).



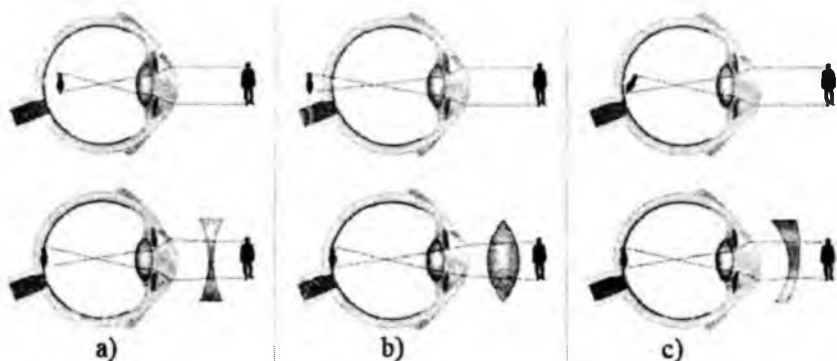
7.18-rasm. Astegmatik ko'zda tasvirning fokuslanishi (a) va uni tuzatish uchun qo'llaniladigan sferik linzalar sistemasi (b)



7.19-rasm. Astegmatik ko'zda tasvirning ko'rinishi (daraxt tasviri bir necha marta fokuslanib, xira tasvir hosil bo'ladi)

Astigmatizmni tuzatish uchun bir necha linzalardan iborat bo'lgan murakkab optik sistemalar hosil qilish, shu tufayli 50— 70° gacha bo'lgan burchak ostida

tushgan nurlar yordamida yaxshi tasvirlar hosil qilish imkoniyatiga ega bo'linadi (7.20 c-rasm).



7.20-rasm. Ko'rish o'tkirligini buzilishi va uni korreksiyalash (a – yaqindan ko'rish (miopiya), b – uzoqdan ko'rish (gipermetropiya), c – astigmatizm)

Ko'rish qobiliyatining yuqorida aytilgan buzilishlari sezilgan zahoti ko'z shifokoriga murojaat qilish zarur. Ba'zi odamlarda ko'zning ayrim ranglarni farqlash qobiliyati buzilgan bo'ladi. Ular qizil yoki yashil ranglarni farqlay olmaydi. Bu kasallik daltonizm deb ataladi. Buning sababi ko'zning to'r pardasida joylashgan rang sezuvchi kolbachasimon retseptorlarda ma'lum rang ta'sirida qo'zg'aladigan nervlar bo'imasligidir. Daltonizm kasalligi nasldan-naslga o'tadi. Bu kasallik erkaklar orasida ko'proq uchraydi. Bunday odam transport vositalarini haydashi mumkin emas, chunki ular svetoforming qizil va yashil ranglarini farqlay olmaydi.

Ko'rish funksiyasi buzilishiga yuqorida aytilganlaridan tashqari, uning shoh qavatida oq parda hosil bo'lishi, ko'z shikastlanishi natijasida shoh qavatining yaralanishi, ko'z gavharining kasallanishi (katarakta), ko'z ichidagi bosimning oshishi (glaukoma) kabi kasalliklar ham sabab bo'ladi.

Ko'z kasalliklarini o'rganuvchi oftalmologiya fani rivojlanishi natijasida oftalmolog olimlar murakkab operatsiya usullarini ishlab chiqdilar. Ular yordamida yuqorida ko'rsatilgan kasalliklarga chalinib, ko'rish qobiliyati pasaygan yoki butunlay yo'qolgan kishilar ko'pchiligining sog'lig'ini tiklashga muvaffaq bo'lindi.

7.6-§. YORUG'LIKNING YUTILISHI.

Yorug'likning yutilishi deb, yorug'lik dastasi biror muhitdan o'tayotganda shu muhit qatlamida yutilishiga, ya'ni ular intensivligining kamayishiga aytiladi. Yorug'likning yutilgandagi energiyasi muhitning isishiga, atom yoki molekullarni uyg'otishga sarf bo'ladi. Yutilgan yorug'lik kvanti yutuvchi muhit elektronlari bilan o'zaro ta'sirlashib o'z energiyasini ularga beradi. Yorug'lik yutilganda uning intensivligining kamayishi quyidagi qonuniyat bilan ifodalanadi.

$$I = I_0 e^{-kx} \quad (7.25)$$

Bu *Buger-Lambert qonuni* deyiladi. Bunda I_0 – muhitga tushayotgan va I – x qatlamdan o'tgan yorug'lik intensivligi, k – muhit xossasiga bog'liq bo'lgan yutish ko'rsatkichi bo'lib, u yutilgan yorug'lik chastotasi (yoki λ) ga bog'liq, lekin uning intensivligiga, demak, yutiluvchi muhit qatlamining qalinligiga bog'liq emas. Agar $x=1/k$ bo'lsa, $I_0/I=e=2,72$ bo'ladi, ya'ni bunday yorug'lik intensivligi $e=2,72$ marta kamayadi.

Ayrim moddalar uchun yorug'lik intensivligi juda katta bo'lganda Buger-Lambert qonunidan og'ish yuz beradi: I_0 ortishi bilan k kamaya boradi. Bu hodisa yorug'lik yutilishini kvant nazariyasi asosida tushuntiriladi. Bu nazariyaga asosan yorug'likning katta intensivligida moddada atomning uyg'ongan holatining davom etish vaqti katta bo'lgan atomlar ko'proq hosil bo'lishi mumkin.

Agar yutuvchi muhit uncha zich bo'lmagan eritma bo'lsa, bu eritma uchun Ber qonuni, ya'ni

$$k=AC \quad (7.26)$$

kuchga ega. Bunda A — erigan moddaning xossalariga va yorug'lik chastotasiga bog'liq bo'lgan doimiylik, C — erigan modda konsentratsiyasi.

Agar eritma yuqori konsentratsiyali bo'lsa, bu eritmalar uchun Ber qonuni bajarilmaydi, chunki eritmadagi ionlar o'zaro ta'sir qila boshlasa, A eritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'lib qoladi.

Ber qonunini hisobga olsak, yorug'likning yutilish qonuni:

$$I = I_0 e^{-ACx} \quad (7.27)$$

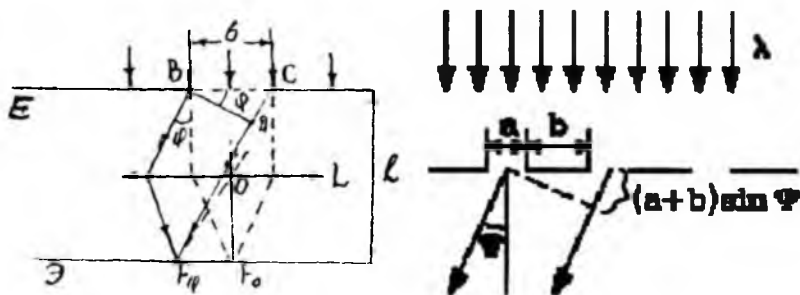
ko‘rinishda bo‘lib, *Buger-Lambert-Ber qonuni* deyiladi va bu qonun elektromagnit to‘lqinlarning keng spektri uchun o‘rinlidir.

Yorug‘likning yutilish spektri k ning yorug‘lik chastotasiga bog‘liqligi bilan aniqlanadi. Masalan, agar muhit atomlari siyrak joylashgan gaz bo‘lsa, yutilish spektri – chiziqli, agar muhit siyrak molekullardan iborat bo‘lsa – yo‘l-yo‘l spektr ko‘rinishiga ega bo‘ladi.

Yorug‘likning yutilish hodisasidan moddalar tuzilishini o‘rganishda, geliotexnikada va kimyo sanoatida, fototexnikada, optoelektronikada va tibbiyotda keng foydalaniladi.

7.7-§. YORUG‘LIK DIFRAKSIYASI. DIFRAKSION PANJARA

Parallel nurlar dastasining tor tirqishda yoki tirqishlar sistemasida kuzatiladigan difraktsion manzaralar amaliy ahamiyatga egadir. Avvalo, bir tirqishdan bo‘ladigan difraktsiyani ko‘rib o‘taylik. Faraz qilaylik, tor tirqishli no-shaffof E to‘siqqa parallel monoxromatik nurlar dastasi tushayotgan bo‘lsin (7.21-rasm).



7.21-rasm. Difraktsion panjaradan nurning sxematik o‘tish yo‘li. Bunda a -tirqish uzunligi, b -to‘siq uzunligi.

Bunda “ b ” uzun tor tirqishning kengligi ($b=VS$), L masofa E to‘siqdan difraktsion manzara kuzatilayotgan “ \mathcal{E} ” ekrangacha bo‘lgan masofa. E va \mathcal{E} ekranlar oraligiga L yig‘uvchi linza joylashtirilgan. Tirqishdan dastlabki yo‘nalishda o‘tayotgan barcha nurlar ekranning F_0 nuqtasida yig‘iladi. Bu nuqtaga

kelayotgan barcha nurlar orasidagi yo'l farqi nolga teng bo'ladi. Shuning uchun ham F_0 nuqtada ravshan yoritilgan bosh maksimum kuzatiladi. Bosh maksimumda $\varphi=0$ bo'lgani uchun ham bu *nolinchi tartibli bosh maksimum* deyiladi.

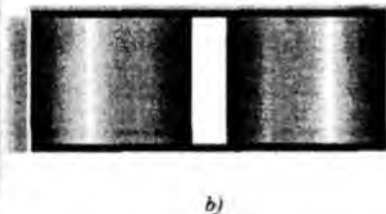
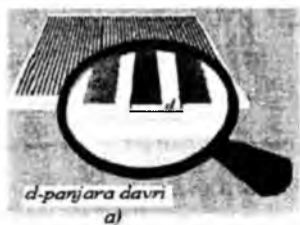
Yorug'likning difraktsiyasi tufayli tirqishdan o'tgan nurlarni dastlabki yo'nalishga nisbatan φ burchakka og'adilar va bu *difraktsiya burchagi* deyiladi. Bu nurlar ekranning F_φ nuqtasida yig'iladi. Xuddi shu kabi ekranning o'ng tomonida ham simmetrik holatda difraktsion manzarani ko'rish mumkin. Nurlar faqat φ burchakka emas yana φ_1 φ_2 burchaklarga ham og'ishi mumkin. Shu nurlarga mos E ekranda difraktsion manzaralarni kuzatamiz (7.22 b-rasm). Bunda difraktsiya minimumi formulasi quyidagidan iborat:

$$b \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (7.28)$$

Bu *difraktsion minimum sharti* ham deyiladi. Bunda $m=1, 2, 3, \dots$ qiymatlar olib, uni *difraktsiya tartibi* deyiladi.

Agar tor tirqish parallel oq nurlar bilan yoritilayotgan bo'lsa, ekrandagi difraktsion manzara *kamalak* rangga bo'yalgan bo'ladi.

Difraktsiya manzarasining ravshanligini oshirish maqsadida ikki va undan ortiq tirqishli ekrandan yoki ajoyib optik asbob – difraktsion panjaradan foydalanamiz. *Bir-biriga yaqin joylashgan juda ko'p tizimi parallel tirqishlar yoki to'siqlar difraktsion panjara* deyiladi (7.22 a-rasm). Difraktsion panjara shisha plastinkaga parallel shtrixlar (tirqishlar) tortuvchi maxsus bo'lish mashinasi yordamida tayyorlanadi. Bunday usulda tayyorlangan panjaralar *shaffof panjaralar* deyiladi.



Eng yaxshi difraksion panjara 1 mm da shtrixlar soni bir necha mingga etadi. Tirralgan joylar chuqurchalarga o'xshaydi va uning kengligi "b" bilan belgilanadi. Bu joyga yorug'lik dastalari kelib tushganida nur sochiladi va yorug'lik o'tmaydi. Shuning uchun xam tirralgan joylar to'siqlar vazifasini bajaradi. Tirralmagan joylar yorug'likka nisbatan shaffof buladi va yorug'lik nurining dastasi o'tadi. Bu joylar tirqishlar vazifasini o'taydi. Tirqishning kengligi "a" bilan to'siq kengligi "b"ning yig'indisini d bilan belgilaymiz: $d=a + b$. Bu kattalik *difraksion panjara davri yoki doimiysi* deyiladi.

Shu difraksion panjaraga monoxromatik nurlar dastasi tushayotgan bo'lsin. Nurlar tirqishlar sistemasidan o'tayotganida difraksiya tufayli nurlar har xil burchaklarga og'adilar. Bu nurlar kogerent bo'lganligi sababli linza yordamida ekranga yig'ilisa, u erda interferentsion manzara vujudga keladi. Markazda (M nuqtada) optik yo'l farqiga ega bo'lmagan nurlar yig'ilib, interferentsion maksimumni (F_0) hosil qiladi, qolgan nuqtalarda, nurlarning yo'l farqi yarim to'lqin uzunliklarining toq yoki juft sonlariga to'g'ri kelgan almashinib boruvchi *minimumlar* va *maksimumlar* (qorong'i va yorug' yo'llar) hosil bo'ladi. Difraksiya tufayli yorug'lik to'lqinlarining og'ish burchagini φ bilan belgilaylik. 1 va 2 nurlarining optik yo'l farqi Δ bo'lsin va u chizmada $DK = \Delta$ oraliq bo'ladi. Chizmadan (VDK uchburchakdan) nurlarning yo'l farqi,

$$\Delta = d \sin \varphi \quad (7.29)$$

ga teng.

Agar $\Delta = 2m \frac{\lambda}{2}$ ($m=0, 1, 2, 3, \dots$) shart bajarilsa, φ burchakka og'ishgan to'lqinlar qo'shilayotgan nuqtada *difraksion maksimum* kuzatiladi. U holda,

$$d \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} = m\lambda \quad (7.30)$$

formulani yozish mumkin. Bu formulani difraksion panjaraning asosiy formulasi bo'lib, u *maksimum sharti* ham deyiladi. Agar

$$d \sin \varphi = (2m + 1) \frac{\lambda}{2} \quad (7.31)$$

Shart bajarilsa, φ burchakka og'ayotgan to'lqinlar qo'shilib *difraksiyaning minimumini* beradi. Bu erda m – *difraksiyaning maksimum yoki minimum tartibi* deyiladi. 7.30 formuladan yorug'likning to'lqin uzunligini aniq o'lchash mumkin,

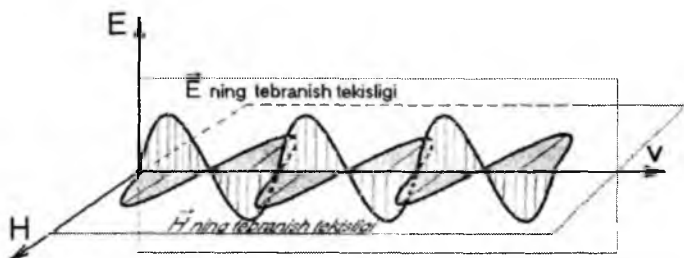
$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m} \quad (7.32)$$

Agar difraksion panjaraga yorug'lik tarkibiga kiruvchi barcha rangdagi to'lqinlari bo'lgan oq yorug'lik tushayotgan bo'lsa, har biri o'zining difraksion maksimumlarini hosil qiladi. Har bir difraksion maksimumlarning holati to'lqin uzunligiga bog'lik. Natijada *markaziy maksimumdan tashqari, bir-biridan qorong'i yo'llar bilan ajralgan har bir maksimum kamalak rangda* (bunda qizil nurdan boshlab to binafsha nurgacha bo'ladi) bo'lishi va uning ichki chekkasi binafsha rang, tashqi chekkasi esa qizil rangda bo'lishi kelib chiqadi. Chunki binafsha rangga eng qisqa to'lqinlar, qizil rangga – eng uzun to'lqinlar mos keladi. Kuzatiladigan difraksiya maksimumlari *difraksion spektr* deyiladi.

Nolinchi (markaziy) tartibli spektr oqligicha qoladi, (7.32) formulaga asosan $k=0$ bo'lganda barcha to'lqin uzunliklari uchun difraksiya burchagi $\varphi=0$ bo'ladi. Shuni ham eslatib o'tishga to'g'ri keladiki, difraksiya spektrlari bir-biriga qo'shilib ketadi, ya'ni 2-tartibli spektrning uzun to'lqin sohasi 3-tartibli spektrning qisqa to'lqinli sohasi bilan qo'shilib ketadi. *Yorug'likning to'g'ri chiziq bo'ylab tarqalish qonuni va geometrik optikaning boshqa qonunlari yorug'likning tarqalish yo'lidagi to'siqlarning o'lchamlari yorug'lik to'lqinining uzunligidan ko'p marta katta bo'lgan hollardagina yetarli darajada aniq bajariladi.*

7.8-§. TABIIY VA QUTBLANGAN YORUG'LIK

Bizga ma'lumki, elektromagnit to'liqlar ko'ndalang to'liqlardir. Shuning bilan birga yorug'lik to'liqlarida odatda tarqalish yo'nalishiga (nurga) nisbatan assimetriyalik bo'lmaydi. Bunga tabiiy yorug'lik tarkibida nurga perpendikulyar bo'lgan hamma yo'nalishlar bo'yicha sodir bo'layotgan tebranishlar mavjudligi sabab bo'ladi (16.2-rasm). Biz yorug'lik to'liqini ayrim atomlar tarqatayotgan juda ko'p to'liqin tizmalaridan iborat bo'lishi ko'rib o'tgan edik. Har bir tizmaning tebranish tekisligi tasodifiy ravishda orientatsiyalangan bo'ladi. Shuning uchun natijaviy to'liqin tarkibida turli yo'nalishlardagi tebranishlar bir xil ehtimollikda bo'ladi.



7.23-rasm. Elektromagnit to'liqning tarqalishi (v yo'nalishda)

E vektorlari va demak, H vektorlari ham to'liq aniq tekisliklarda yotgan elektromagnit to'liqin — yassi qutblangan to'liqin deyiladi.

Elektrik E vektor va elektromagnit to'liqining tarqalish yo'nalishidan o'tuvchi tekislik qutblanish tekisligidir.

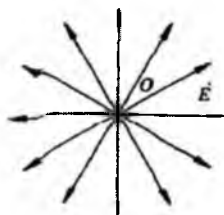
Yassi qutblangan to'liqinni yakka atom nurlaydi. Quyoshdan keluvchi tabiiy yorug'lik, lampochkaning qizigan tolasi, gaz razryadli trubka, alanga va shunga o'xshashlardan keluvchi yorug'liklar xaotik orientatsiyalangan atomlar to'plamining tartiblanmagan nurlanishlaridan yig'iladi, shuning uchun E ning yo'nalishi bir tekislikda saqlana olmaydi. Bunday yorug'likni tebranishlar tekisligi xaotik orientatsiyalangan ustma-ust tushuvchi yassi qutblangan to'liqlar deb hisoblash mumkin, ularda elektrik vektorlar, nurga perpendikular bo'lgan har qanday yo'nalishlar bo'yicha orientatsiyalangan. 7.24- rasmida biror paytdagi O

nurning kesimi va E vektorlarning nurga perpendikular bo'lgan tekislikdagi proyeksiyalari ko'rsatilgan.

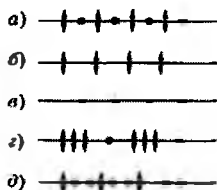
Agar tabiiy yorug'lik nuridan o'tuvchi istalgan ikki o'zaro perpendikular tekislik tanlab olib, E vektorlarni tekisliklarga proyeksiyalansa, o'rta hisobda bu proyeksiyalar bir xil bo'ladi. Shuning uchun tabiiy yorug'lik nurini, ustiga bir xil miqdorda chiziqchalar va nuqtalar shaklida proyeksiyalar joylashtirilgan to'g'ri chiziq (7.25-a rasm) kabi tasvirlash

qulaydir. Shunday qilib, chiziqchali to'g'ri chiziq (7.25-b rasm) yoki nuqtali to'g'ri chiziq (7.25-c rasm) yassi qutblangan yorug'lik nurini belgilaydi.

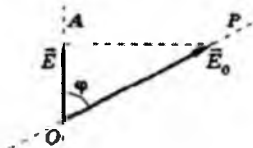
Qisman qutblangan deb ataluvchi tabiiy va qutblangan tashkil etuvchilardan iborat bo'lgan yorug'lik nuri shartli ravishda 7.25-d, e rasmda ko'rsatilgan bo'lib, shu bilan birga chiziqchalar va nuqtalar sonining nisbati qutblanishda darajasini, ya'ni yorug'likning to'la intensivligiga nisbatan qutblangan tashkil etuvchisi intensivligining hissasini aks ettiradi.



7.24-rasm



7.25-rasm



7.26-rasm

Tabiiy yorug'likdan qutblangan yorug'likni olishga imkon beruvchi qurilma polyarizator (qutblagich) deyiladi. U faqat E tashkil etuvchini va mos ravishda N ni qandaydir tekislikka — qutblagichning bosh tekisligiga o'tkazadi.

Bu holda qutblagich orqali tushayotgan yorug'lik intensivligining yarmiga teng intensivlikdagi qutblangan yorug'lik o'tadi. Qutblagichni tabiiy yorug'lik nuriga nisbatan aylantirganda qutblagichdan chiqqan yassi qutblangan yorug'likning tebranishlari tekisligi buriladi, ammo uning intensivligi o'zgarmaydi. Qutblagichdan qutblangan yorug'likni tahlil qilish uchun foydalanish mumkin, bunda u analizator deb ataladi.

Agar amplitudasi elektrik E_0 vektorga teng bo'lgan yassi qutblangan yorug'lik analizatorga tushsa, u vektoming faqat

$$E = E_0 \cos \varphi \quad (7.33)$$

ga teng bo'lgan qandaydir tashkil etuvchisiningina o'tkazadi, bu yerda φ - analizator A bilan polyarizator (qutblagich) P ning bosh tekisliklari orasidagi burchak (7.26-rasm).

Yorugiikning intensivligi tebranishlar amplitudasining kvadratiga proporsional bo'lgani uchun (7.33) dan

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (7.34)$$

ni olamiz, bu yerda I_0 — analizatorga tushuvchi yassi qutblangan yorugiikning intensivligi, I — analizatordan chiqqan yorugiikning intensivligi, (7.34) tenglama Malyus qonunini ifodalaydi.

Malyus qonunidan ko'rinishicha, analizator tushuvchi yassi qutblangan yorug'lik nuriga nisbatan burilganda chiquvchi yorug'likning intensivligi noldan I_0 gacha o'zgaradi. Agar analizator tushuvchi nurga nisbatan o'q atrofidagidek burilsa, o'tuvchi yorugiikning intensivligi o'zgarmaydi, unda yorug'lik tabiiy bo'lishi mumkin, agar bu vaqtda intensivlik (7.34) qonun bo'yicha o'zgarsa, unda tushuvchi yorugiik yassi qutblangan bo'ladi.

“Yorugiikning qutblanishi” termini ikki ma'noga ega. Birinchidan, bu tushuncha ostida yoruglikdagi elektr va magnit vektorlarning fazoviy — vaqt tartibliklari bilan xarakterlanuvchi yorug'lik xossasi tushuniladi. Ikkinchidan, yorug'likning qutblanishi deb qutblangan yorug'likni hosil qilish jarayoniga aytiladi.

7.9-§. IKKI DIELEKTRIK CHEGARASIDA YORUG'LIKNING QAYTISH VA SINISH VAQTIDA QUTBLANISHI

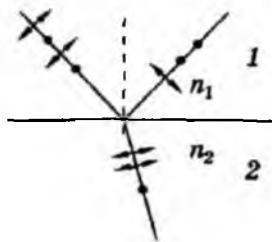
Tabiiy yorug'lik ikki dielektrik chegarasidan qaytish vaqtida qisman qutblanadi (7.27- rasm).

Qaytgan nur tushish tekisligiga perpendikular bo'lgan tebranishlar, singan **nurda esa** unga parallel tebranishlar ko'pchilikni tashkil etadi.

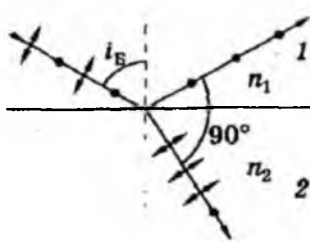
Agar tushish burchagi

$$\operatorname{tg} i_B = n, \quad (7.35)$$

shartni qanoatlantirsa, qaytgan nur to'la yassi qutblangan bo'ladi (7.28-rasm). (7.35) munosabat Bryuster qonunini ifodalaydi. Bu yerda tushish burchagi Bryuster burchagi yoki to'la qutblanish burchagi, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi.



7.27-rasm



7.28-rasm

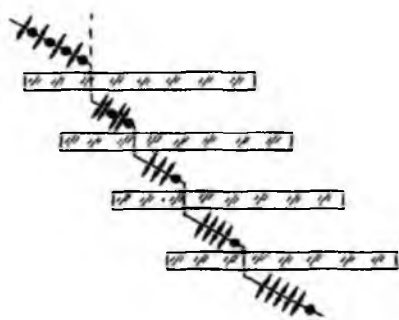
Bryuster qonunini bajarishda singan nur qisman qutblangan bo'lib, uning qutblanish darajasi eng kattadir (7.35) va sinish qonunidan foydalanib, qaytgan nur

to'la qutblanganda, singan va qaytgan nurlar orasidagi burchak 90° ga teng ekanini ko'rsatish qiyin emas.

Shunday qilib, ikki dielektrik chegarasi yoki dielektrik bilan vakuum chegarasi qutblagich (polarizator)dir.

Qutblagich sifatida shisha plastinkalar dastasi ishlatiladi. Tushish burchagidan va Bryuster qonunining bajarilishidan qat'iy nazar, sinuvchi

nurning qutblanish darajasi 7.26-rasmda sxematik ravishda ko'rsatilganidek, plastinkalardan o'tgan sari ortib boradi.

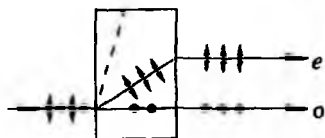


7.26-rasm. Nurning plastinkalardan o'tishi vaqtida qutblanishi

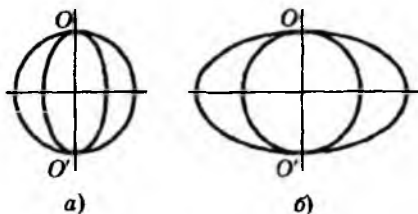
7.10-§. YORUG'LIKNING IKKI KARRA NUR SINISHI VAQTIDA QUTBLANISHI

Ba'zi shaffof kristallar ikki karra nur sindirish xossasiga ega: kristallga nur tushganda nur ikkilanadi. Nurlarning biri uchun sinish qonunlari bajariladi, shuning uchun bu nurga oddiy nur deyiladi, ikkinchisi uchun bajarilmaydi va unga ajoyib (oddiyemas) nur deyiladi.

Kristall sirtiga yorug'lik normal tushgan vaqtda ikki karra (qo'sh) sinish 7.27- rasmda ko'rsatilgan: oddiy nur (o) sinish qonuniga muvofiq sinmasdan o'tadi, oddiyemas nur (e) sinadi.



7.27-rasm. Kristall ichida oddiy (o) va oddiyemas (e) nurning sinib o'tishi



7.28-rasm. Kristall ichida yorig'lik frontini hosil bo'lishi a) musbat va b) manfiy kristall uchun

Qo'sh nur sindirish yuz bermaydigan va ikkala oddiy va oddiyemas nur bir xil tezlik bilan tarqaladigan yo'nalishlarga kristallning optik o'qlari deyiladi (25.7-rasmda punktir). Agar bunday yo'nalish bitta bo'lsa, bu kristallar bir o'qli deyiladi. Bu xildagi kristallarga islandiya shpati (kaltsiy karbon oksidning bir turi CaCO_3 , geksagonal sistema kristallari), kvars, turmalin (murakkab alumosilikat, trigonal sistema kristallari) va boshqalar kiradi. Optik o'q va tushuvchi nur orqali o'tuvchi tekislik bosh tekislikdir. Oddiy nurning tebranishlari bosh tekislikka perpendikular, oddiyemas numiki – bosh tekislikda yotadi, ya'ni bu nurlar o'zaro perpendikular tekisliklarda qutblangan bo'ladi.

Qo'sh nur sindirish elektromagnit to'lqinlarning anizotrop muhitlarda tarqalish xususiyatlari tufayli vujudga keladi: elektronlarning majburiy tebranish amplitudalari bu tebranishlarning yo'nalishlariga bog'liq bo'ladi.

Oddiy va oddiymas nurlarning kristallar ichidagi yo'llarini to'lqin sirtlar yordamida ko'rgazmali tasvirlash mumkin. Kristall ichida yorug'lik chaqnovi ro'y berib, har tomonga ikkita – oddiy va oddiymas to'lqinlar tarqaladi deb faraz qilaylik. Biror paytda ularning to'lqin sirtlari 25.8- rasmda ko'rsatilgan vaziyatni egallaydi (a – musbat, b – manfiy kristallar uchun). Sferalar barcha yo'nalishlar bo'yicha bir xil ϑ_0 tezlikka ega bo'lgan oddiy to'lqinlarga tegishli bo'lib, ellipsoidlar ϑ tezliklari yo'nalishga bog'liq bo'lgan oddiymas to'lqinlarga tegishlidir. Oddiy va oddiymas to'lqinlarning tezligi 00 ' optik o'qlar bo'ylab bir xil bo'lib,

$$\vartheta_0 = c / n_0 \quad (7.36)$$

ga teng, bu yerda n_0 — oddiy nurning sindirish ko'rsatkichi bo'lib, u har xil kristallar uchun har xil qiymatga ega bo'ladi.

Musbat kristallar uchun $\vartheta \leq \vartheta_0$ manfiy kristallar uchun $\vartheta \geq \vartheta_0$. Optik o'qqa perpendikular yo'nalishlarda oddiy va oddiymas to'lqinlarning tezliklari bir-biridan ko'proq farq qiladi, bu yo'nalishlar uchun oddiymas nurning n – sindirish ko'rsatkichi kiritiladi. Islandiya shpati (manfiy kristall) $n_0 = 1,6585$, $n = 1,4864$; kvarts uchun (musbat kristall) $n_0 = 1,5442$, $n_e = 1,5533$ ga teng (bu qiymatlar $\lambda = 859,3$ nm bo'lgan natriyning sariq chizig'i uchun keltirilgan).

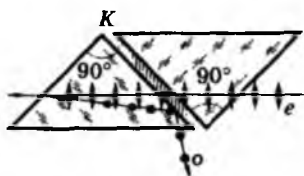
Qo'sh sindiruvchi kristallar bevosita qutblagich sifatida ishlatilmaydi, chunki oddiy va oddiymas nurlar dastalari juda kam ajralgan yoki hatto, bir-birini qoplagan bo'ladi. Lekin bunday kristallardan maxsus qutblagich prizmalar yasaladi.

Eng ko'p tarqalgan U.Nikol taklif qilgan prizmani (Nikol prizmasi yoki oddiygina nikol) ko'rib chiqamiz.

Nikol diagonali bo'yicha kesilib, Kanada balzami¹ K bilan yopishtirilgan Islandiya shpatidan yasalgan prizmadir (7.29- rasm). Uning uchun $n = 1,550$, bu qiymat oddiy va oddiymas nurlarning sindirish ko'rsatkichlari orasida yotadi. Prizma burchaklari qiymatlarini mos ravishda tanlab, oddiy nur (o) ning Kanada balzami chegarasida to'la ichki qaytishini ta'minlash mumkin. Bu holda qaytuvchi

¹ Kanada piktasi (daraxti)dan olinuvchi shira smolasimon modda

nur pastki qoraytirilgan yoqda yutiladi. Oddiymas nur (e) nikoldan pastki qirraga parallel bo'lib chiqadi.



7.29-rasm. Nikol prizmasi

Turmalin, gerapatit (yod – xinin gugurt oksidi) va ba'zi boshqa kristallardan yasalgan qutblagichlar boshqacha prinsipga asoslangan, ular qo'sh nur sindirish bilan bir qatorda yana nurlardan birini ikkinchisidan ko'ra ko'proq yutish (dixroizm) xossasiga

egadir. Jumladan, qalinligi 1 mm ga yaqin turmalin plastinkada oddiy nur amalda butunlay yutiladi va chiquvchi yorug'lik yassi qutblangan bo'ladi.

Mayda gerapatit kristallchalaridan selluloid plyonka ustida ancha kata yuzalar hosil qilinadi. Ularni oriyentatsiyalash uchun elektr maydonidan foydalaniladi. Bunday qurilmalar (polaroidlar) qutblagichlar (analizatorlar) sifatida ishlashi mumkin.

Turmalin va qutblagichlarning nikolga nisbatan asosiy kamchiligi ularning spektral xarakteristikalarining yomonligidir. Oq yorug'lik bunday qutblovchi qurilmalardan o'tgach bo'yaladi, shu vaqtda nikol kabilar spektrning ko'rish qismi uchun tiniq.

Polyaroidlarning afzalligi ular sirtining kattaligidir, bu esa keng yorug'lik dastalaridan foydalanish imkonini beradi.

Kristalning anizotropligi oddiy va g'ayrioddiy (oddiymas) to'lqinlarning tarqalish tezligida turlicha namyon bo'ladi. Oddiy nurning tarqalish tezligi c_0 kristall yo'nalishiga bog'liq bo'lmasada, g'ayrioddiy nurning tarqalish tezligi c_e optik o'q (bu o'q bo'ylab har ikkala nur tezligi bir xil) yo'nalishidan og'gani sayin katta farqlana boradi va optik o'qqa perpendikulyar yo'nalishda o'zining maksimal qiymatiga yetadi.

G'ayrioddiy nur tezliging yo'nalishga bog'liqligi kristalning anizotropiyasiga bog'liqdir. Bu esa anizotrop kristallarda turli yo'nalishlarda ϵ_x va ϵ_y lar har xil bo'lishi mumkinligi hamda sindirish ko'rsatkichlari ($n_x = \sqrt{\epsilon_x}$,

$n_y = \sqrt{\epsilon_y}$) ham har xil bo'lishini bildiradi va yo'nalishga bog'liqligini ko'rsatadi. Bir o'qli kristallar *oddiy nurning sindirish ko'rsatkichi* $n_0=c/c_0$ va *optik o'qqa perpendikulyar g'ayrioddiy nurning sindirish ko'rsatkichi* $n_e=c/c_e$ lari bilan xarakterlanadilar. Jadvallarda n_0 va n_e ning aynan shu qiymatlari keltiriladi. Quyidagi jadvalda $\lambda=0,55$ *mkm* to'liq uzunligidagi yorug'lik uchun bu qiymatlar quyidagicha bo'ladi:

Kristall	n_0	n_e	$n_0 - n_e$
Island shpati	1,66	1,49	0,17
Kvarts	1,545	1,554	0,009

Qutblagichlar, analizatorlar, kompensatorlar. Ba'zi bir kristallarda, hususan turmalinda, oddiy va g'ayrioddiy to'liqlarning yutish koeffitsientlari keskin farq qiladilar. Bu esa kristall plastinkaning qalinligi 1 *mm* atrofida bo'lganda to'liqlarning bittasining to'liq yutilishiga, ikkinchisining esa, chiziqli qutblangan, to'liqning chiqishiga olib keladi. Shunday qilib, turmalin plastinkasi ixtiyoriy qutblanishli yorug'likdan yassi qutblangan komponentini ajratadi, ya'ni *yorug'lik qutblagichi* singari ishlaydi. Keskin anizotropik yutilishga ega bo'lgan polimer moddiyalar (masalan, yod bilan to'ydirilgan polivinil spirt) mavjud va ular polyaroidlarda yorug'lik dastasidan berilgan yo'nalishda qutblanishning yassi qutblangan komponentini ajratuvchi qurilmalarda keng qo'llaniladi. Oddiy va g'ayrioddiy to'liqlar uchun anizotrop kristalldagi sindirish ko'rsatkichlari orasida farqni, to'la ichki qaytish effekti hisobiga, bu to'liqlarni bo'lish uchun ishlatish mumkin, bunda ham yassi qutblangan yorug'lik olinadi. Bu prinsipga ko'plab har xil qutblanish prizmalari (*Glan prizmasi, Nikol prizmasi va shunga o'xshashlar*) ishi asoslangan.

Qutblagichni ishlata turib yassi qutblangan yorug'lik to'liqining yo'nalishini aniqlash va *chiziqli qutblanish faktini tasdiqlash mumkin*. Buning uchun qutblagichni yorug'lik dastasi o'qiga nisbatan aylantiradilar va o'tgan yorug'likning intensivligining o'zgarishlarini kuzatadilar. Agarda qutblagichning qandaydir bir holatida yorug'lik to'liq u bilan tutilsa, boshlang'ich yorug'lik

dastasi yassi qutblangan bo‘ladi. Bunda qutblanish yo‘nalishi berilgan holatga qutblagich o‘tkazish (o‘qi) yo‘nalishiga ortogonaldir. Bunga o‘xshash eksperimentlarda qutblagich *analizator* funksiyasini bajaradi. Oddiy to‘lqin "o", g‘ayrioddiy to‘lqinlar "e" harfi bilan belgilanadi.

7.11-§. BIOLOGIK TO‘QIMALARNI QUTBLANGAN YORUG‘LIKDA TEKSHIRISH

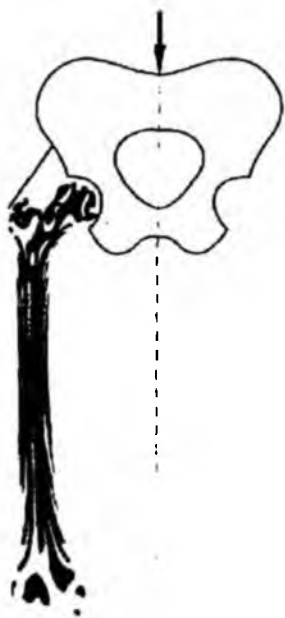
Shaffof biologik obyektlarni mikroskop orqali qaraganda turli strukturalarni ajratish qiyin, shuning uchun ba‘zi maxsus metodikalarni tatbiq etishga, jumladan, qutblovchi mikroskopiyadan foydalanishga to‘g‘ri keladi.

Qutblovchi mikroskop oddiy biologik mikroskopga o‘xshash, lekin uning kondensori oldida qutblagich va tubusdagi obyektiv bilan okulyar orasida analizator qo‘yilgan bo‘ladi. Predmet stolchasi mikroskopning optik o‘qi atrofida aylana oladi. Shunday qilib, obyektning qutblangan nurlari bilan yoritib, analizator orqali ko‘riladi.

Agar polyarizator va analizatorni krest qilib qo‘yilsa, ko‘rish maydoni qorong‘i bo‘ladi, predmet stolchasiga izotrop shaffof jismlar qo‘yilganda ham shunday bo‘ladi. Anizotrop buyumlar qutblangan yorug‘lik tebranishlari tekisligining yo‘nalishiga ko‘rsatadigan ta‘siriga mos ravishda ko‘rish

maydonini o‘zgartiradi.

Qator (muskul, suyak, nerv) to‘qimalar optik anizotropiyaga ega bo‘lgani uchun biologik obyektlarni qutblovchi mikroskopiyada orqali ko‘rish mumkin.



7.30-rasm. Qutblangan yorug‘likdan suyak to‘qimasining ko‘rinishi

Qutblagich va analizator krest qilib qo'yilganda anizotropiyasi qutblangan yorug'likni o'zgartiradigan tolalargina ko'rinadi.

Qutblangan yorug'likdan suyak to'qimalarida vujudga keluvchi mexanik kuchlanishlarni modellangan sharoitlarda baholash uchun ishlatish mumkin. Bu usul fotoelastiklik hodisasiga asoslangan bo'lib, u mexanik yuklanish ta'siri ostida dastlab izotop bo'lgan qattiq jismlarda optik anizotropiya paydo bo'lishidan iborat.

Shaffof izotrop materialdan, masalan, pleksiglasdan suyakning yassi modeli yasaladi. Ayqash polaroidlarda bu model ko'rinmaydi, chunki u qoramtir bo'lib qoladi. Yuklanish berib, pleksiglasda anizotrop hodisa vujudga keltiriladi, bu holni paydo bo'lgan yo'l yo'l va dog'larning o'ziga xos manzarasiga qarab payqash mumkin (7.30-rasm). Bu manzara bo'yicha, shuningdek, yuklanishni oshirganda yoki kamaytirganda uning o'zgarishiga qarab modelda, shuningdek, asl nusxada ham vujudga keluvchi mexanik kuchlanishlar haqida xulosa chiqarish mumkin.

8-BOB. RADIOAKTIVLIK. IONLANTIRUVCHI NURLANISHNING ORGANIZMGA TA'SIRI.

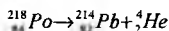
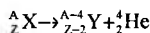
8.1-§. RADIOAKTIVLIK

Turg'un bo'lmagan yadrolarning boshqa yadrolar yoki elementar zarrachalar chiqarish bilan kechadigan o'z-o'zidan parchalanishiga radioaktivlik deyiladi. Bu jarayonning boshqa yadroviy o'zgarishlardan farq qildirib turuvchi xarakterli xususiyati uning o'z-o'zidan sodir bo'lishi (spontanligi)dir.

Radioaktivlik tabiiy va sun'iy bo'lishi mumkin.

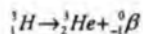
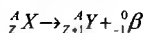
Tabiiy radioaktivlik tabiiy sharoitlarda mavjud bo'lgan noturg'un yadrolarda uchraydi. Sun'iy radioaktivlik deb turli yadroviy reaksiyalar natijasida hosil bo'ladigan yadrolarning radioaktivligiga aytiladi. Tabiiy va sun'iy radioaktivliklar orasida katta farq yo'q, ular umumiy qonuniyatlarga bo'ysunadilar.

Alfa-parchalanish yadroning α -zarracha chiqarib o'z-o'zidan emirilishidir. Siljish qoidasini hisobga olib alfa-parchalanish sxemasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

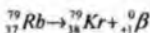


Beta parchalanish yadro ichida neytron va protonning o'zaro aylanishidan iborat. Beta parchalanish 3 turga bo'linadi:

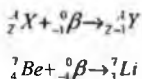
1. Elektron yoki β^- parchalanish, yadrodan β^- -zarracha (elektron) uchib chiqishida namoyon bo'ladi.



2. Pozitron β^+ parchalanish pozitron yoki parchalanish. β^+ parchalanishning sxemasi:



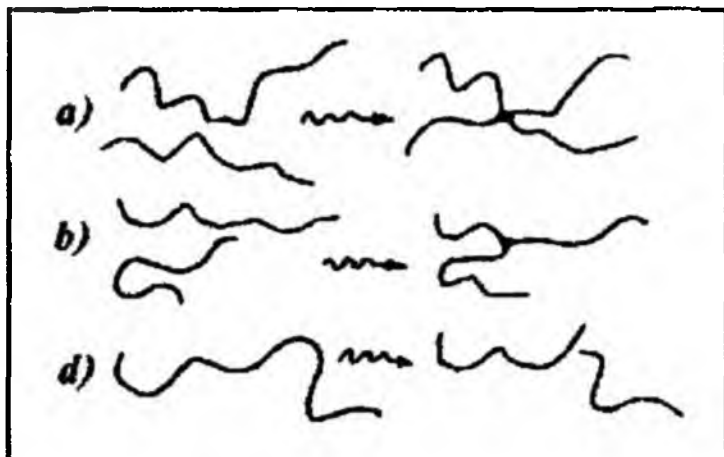
3. Elektron yoki e-tutilish. Radioaktivlikning bu turi yadro atomning ichki elektronlaridan birini tutib olib, buning natijasida yadroning protoni neytronga aylanishidan iboratdir:



8.2-§. RADIOAKTIV NURLANISHNING KIMYOVIY TA'SIRI.

Yadroviy nurlanish moddadan o'tayotganida unda turli kimyoviy o'zgarishlarni yuzaga keltiradi. Nurlanish molekula yoki atomlarni ionlashi, uyg'otishi, dissotsiatsiyalashi mumkin. Bunda birlamchi nurlanish zarralari qanday turda (rentgen va γ -nuriar, elektronlar, α -zarralar, protonlar, tez neytronlar) bo'lganda ham, molekularning kimyoviy o'zgarishiga ularning ikkilamchi (nurlanish ta'sirida yuzaga kelgan) elektronlar, bo'linish parchalari, tepki yadrolar, γ -kvantlar kabilar bilan o'zaro ta'sirlashishi sabab bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sirning mahsulotlari: ionlar, erkin radikallar, uyg'ongan zarralar, odatda, boshqa molekular bilan kimyoviy reaksiyalarga kirishadi. Natijada moddaning kimyoviy tarkibi, fizik va kimyoviy xossalari o'zgarishi mumkin. Masalan, nurlanish ta'sirida polimerlar xossalari ularda ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy reaksiyalar tufayli o'zgaradi. Yadroviy nurlanish polimer molekularining tuzilishini o'zgartiruvchi bir qator kimyoviy reaksiyalarni, xususan, molekular orasida kimyoviy bog'lanishlar (birikish) (2.1- *a*, *b*, rasm), molekularning uzilishi (destruksiya) (9.1- *d*, rasm) (rasmda molekulaning boshlang'ich va oxirgi holatlari tasvirlangan), har qanday qo'sh bog'lanishlarning hosil bo'lishi va yo'qolishi, gazsimon mahsulotlar (vodorod va boshqalar)ning ajralishi va shu kabilarni yuzaga keltiradiki, bu, o'z navbatida, polimerlarning fizik xossalarining o'zgarishiga olib keladi. Masalan, polietilen, tabiiy kauchuk, neylon kabi bir guruh polimerlar γ -nurlar bilan nurlantirilganda ularning uzilishga mustahkamligi va temperaturaga chidamliligi, materialning qattiqligi ortadi, eruvchanligi o'zgaradi. Boshqa bir guruh polimerlar, masalan, teflon, sellyuloza, butil-kauchuk kabilar borki,

nurlantirish oqibatida ularning xossalari yomonlashadi: tolalarning uzilish uzunligi hamda o'rtacha uzunligi qisqaradi, yopishqoqligi kamayadi va hokazo.



8.1-rasm. Nurlanish ta'sirida polimerlar xossalari ularda ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy reaksiyalar tufayli o'zgarishi.

Yadroviy nurlanish ta'sirida moddada ro'y beradigan radiatsion-kimyoviy o'zgarishlarni o'rganish ikki jihatdan ahamiyatga ega: 1. Radiatsion kimyoviy o'zgarishlar atom texnikasida yoki tabiatda bo'ladigan nurlanishlar maydonlarida ro'y beradi. Bunda eng asosiy maqsad — materiallar (atom reaktorlaridagi issiqlik uzatkichlar, nurlanish maydonlarida ishlatiladigan polimerlar va moylovchi materiallar hamda shu kabilar)ni imkoni boricha buzilish va yemirilishdan saqlash. 2. Muhim qimmatli yangi xossalarga ega materiallarni olish va yuqori samarali kimyoviy texnologik jarayonlarni yaratish.

8.3-§. RADIOAKTIV NURLANISHNING BIOLOGIK TA'SIRI.

Ionlovchi nurlanishning turli hossalari uning biologik ta'sirini belgilaydi. Ionlovchi nurlanish turli to'qima, hujayra va subhujayra strukturalariga kirib boradi. Ionlovchi nurlanishning asosiy karakteristikalaridan biri uning biologik material ichiga juda chuqur kirib borishidir. Ushbu jarayon nurlanish tabiatiga

zarrachalar zaryadi va energiyasi, nurlantirilayotgan modda tarkibi va zichligiga bog‘liq.

Ionlovchi nurlanishlarning muhim karakteristikasi ularning dozasidir. Nurlanish dozasi yordamida nurlanish davrida ob‘ektga tushayotgan energiya miqdori (ekspozitsion doza), obektga uzatiladigan nurlanish energiyasining miqdori (yutilish dozasi va nurlanish dozasi) aniqlanadi.

Radiatsion nurlanishning biologik ta’siri quyidagilarga bog‘liq: singish qobiliyatiga, yutilgan energiya miqdoriga, uning bioto‘qimalardagi hajmiy tarqalishi – ionizatsiya zichligiga, vaqtiga.

Ionlovchi nurlanishning biologik ob‘ektga ko‘rsatadigan ta’siri quyidagi bosqichlarda kechadi: fizikaviy, fizik kimyoviy, kimyoviy, biologik.

Fizikaviy bosqichda energiya muhit tomonidan qabul qilinadi va uning malekularini qo‘zg‘atib ionizatsiyalaydi. Ionizatsiya davrining davomiyligi 10-16 sek.

Fizik-kimyoviy bosqichda yutilgan energiya qo‘zg‘atilgan va ionizatsiyalangan molekularlar orasida taqsimlanib, kimyoviy bog‘lar uziladi. Ularning atrofida esa yangi ionlar va erkin radikallar paydo bo‘ladi. Radioliz jarayonlariga yutilgan energiyaning 30% i sarf bo‘ladi. Suvdan tashqari radiolizga hujayraning bioorganik molekularlari – fosfolipidlar, DNK, oqsillar duchor bo‘ladilar. Ushbu jarayon juftlari bo‘lmagan elektronlari mavjud bo‘lgan organik radikallarning yuzaga kelishiga sababchi bo‘ladi. Bunday radikallar reaksiyaga juda ham tez kirishadi.

Kimyoviy bosqichda erkin radikallar o‘zaro yoki boshqa molekularlar bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi. Bunga superoksid anion, gidroperoksid, vodorod peroksidi, atomar va singlet kislorod hosil bo‘lib, ular organik moddalarning kuchli oksidlanishiga sababchi bo‘ladilar.

Suv radiolizi mahsulotlarning aminokislotalar, oqsillar, uglevodlar, nukleosidlar, fosfolipidlar, DNKga ta’siri natijasida erkin organik radikallar vujudga keladi. Biologik bosqichda hujayra, to‘qima, organlar darajasida qaytmas ozgarishlar yuzaga keladi. Bu bosqich bir necha soat, hafta, yil, yuz yillab davom

etishi mumkin. Radioaktiv nurlanishga bo'lgan sezgirlik darajasi quyidagilarga bo'linadi:

1. Limfoid
2. Miyeloid
3. Epiteliy
4. Muskul
5. Nerv
6. Tog'ay
7. Suyak

Organing radioaktivlikka bo'gan sezgirligi uning funksional holatiga bog'liq. Embrional holatda organism to'qimalari juda yuqori sezgirlikka ega. Radioaktiv nurlanish natijasida rivojlanish nuqsonlari – jismoniy va aqliy nuqsonlar, organizm adaptiv hossalari kamayishi kuzatiladi.

8.4-§. RADIOAKTIV NURLARNING INSON ORGANIZMIGA TA'SIRI

Radioaktiv moddalar ma'lum xususiy xossalari ega bo'lib, inson organizmiga ta'sir qilishi natijasida xavfli vaziyat vujudga kelishi mumkin. Radioaktiv moddalarning eng xavfli tomoni shundaki, uning ta'sirini inson organizmidagi sezish organlariga sezilmaydi. Ya'ni inson radioaktiv nurlar ta'sirida uzoq vaqt ishlashiga qaramasdan, ularning zararli ta'sirlarini mutlaqo sezmasligi mumkin. Buning natijasi esa ayanchli tugaydi. Shuning uchun ham radioaktiv moddalar bilan ishlaganda, ayniqsa, o'ta ehtiyotkor bo'lish kerak. Inson organizmining radioaktiv nurlanishi ichki va tashqi bo'lishi mumkin. Tashqi tomondan nurlanish ma'lum tashqi nurlanuvchi manba ta'sirida kechganligi sababli, tarqalayotgan nurlarning kirib borish kuchi katta ahamiyatga ega. Kirib borish kuchi yuqori bo'lgan nurlarning organizmga zarari ham kuchliroq bo'ladi. Ichki nurlanish nur tarqatuvchi moddalar inson organizmining ichki tizimlariga, masalan, yemirilgan teri qatlamlari orqali qonga, nafas olish a'zolari, o'pkaga va shilimshiq moddalarga, ovqat hazm qilish a'zolariga tushib qolgan taqdirda ro'y beradi. Bunda nurlanish nur tarqatuvchi modda qancha vaqt nurlansa yoki qancha

vaqt davomida organizmda saqlansa, shuncha vaqt davom etadi. Shuning uchun ham radioaktiv moddalarning katta parchalanish davriga va kuchli nurlanishga ega bo'lganda, ayniqsa, xavfli hisoblanadi. Radioaktiv nurlanishlarning biologik ta'siri organizmdagi atom va molekularning ionlanishi sifatida tavsiflanadi va bu o'z navbatida har xil kimyoviy birikmalar tarkiblarining o'zgarishiga va normal molekulyar birikmalarda uzilishlar bo'lishiga olib keladi. Bu o'z navbatida tirik hujayralardagi modda almashinuvining buzilishiga va organizmda biokimyoviy jarayonlarning ishdan chiqishiga sabab bo'ladi. Katta kuchdagi nurlanish ta'siri uzoq vaqt davom etsa, ba'zi bir hujayralarning halokati kuzatiladi va bu ayrim a'zolarining, hattoki, butun organizmning halokati bilan tugaydi. Radioaktiv nurlanishlar ta'sirida organizmning umumiy qon aylanish tizimining buzilishi kuzatiladi. Bunda qon aylanish ritmi susayadi, qonning quyilish xususiyati yo'qola boradi, qon tomirlari, ayniqsa, kapilyar qon tomirlari mo'rt bo'lib qoladi, ovqat hazm qilish a'zolarining faoliyati buziladi, odam ozib ketadi va organizmning tashqi yuqumli kasalliklarga qarshi kurashish qobiliyati kamayadi. Radioaktiv moddalarning qo'lga ta'sir qilishi oldin sezilmaydi. Vaqt o'tishi bilan qo'l qurushqoq bo'lib qoladi, unda yorilishlar kuzatiladi, tirmoqlar tushib ketadi. Radioaktiv nurlarning alfa va beta nurlari tashqaridan ta'sir ko'rsatganda organizmning teri qavati yetarlicha qarshilik ko'rsata oladi. Ammo bu radioaktiv nurlar ovqat hazm qilish a'zolariga tushib qolganda ulaning zararli ta'siri kuchayib ketadi. Ko'pchilik radioaktiv moddalar organizmning ba'zi bir qismlarida yig'ilish xususiyatiga ega. Masalan, jigar, buyrak va suyaklarda yig'ilishi butun organizmni tezda ishda chiqaradi. Ba'zi bir radioaktiv moddalar zaharli bo'lib, ularning zaharlilik darajasi eng xavfli zararli moddalarnikidan ham yuqori bo'ladi.

Radiatsion nurlanish barcha tirik obyektlarga, eng oddiyisi (virus va bakteriyalar) dan tortib to insonlargacha, kuchli ta'sir qiladi, ularga shikast yetkazadi, hatto nobud qilishgacha olib keladi. Biologik obyektning nurlanishga *radiosezgirlik* deb ataladigan ta'sirchanligi va unda to'la yutilgan nurlanish dozasi obyektning shikastlanish darajasini aniqlaydigan asosiy omillardir.

Organizmning radiatsiya ta'sirida zararlanishi asosida molekulyar va hujayra strukturalar shikastlanishining birlamchi jarayonlari—atom hamda molekullarning ionlashishi va shu tufayli ularning kimyoviy faolligining o'zgarishi yotadi. Buning oqibatida muhim biologik makromolekulalar — oqsillar, fermentlar, nuklein kislotalar, polisaxaridlar va hokazolar nurlanish ta'sirida bir qator o'zgarishlarga, ko'proq qaytmas o'zgarishlarga duchor bo'ladi. Nurlanish ta'sirida biologik makromolekulalarda ularning biologik (fermentativ, gormonal va hokazo) faolligining yo'qolishi, depolimerlashish va, aksincha, yangi kimyoviy bog'lanishning hosil bo'lishi, dezaminlashish (kimyoviy birikmadan NH_2 aminoguruhni yulib ajratish), radiatsion oksidlanish va shu kabi o'zgarishlar yuzaga keladi.

Aniqlanishicha, organizmning temperaturasini 0,001 gradusgagina ko'tara oladigan darajada yutilgan nurlanish dozasi organizm hujayralarining hayot faoliyatini izdan chiqarish uchun yetarli ekan. Tirik hujayraning turli qismlari radioaktiv nurlanishning bir xil dozasiga nisbatan turlicha sezgir bo'ladi. Nurlanishga hujayralarning yadrolari, ayniqsa, tez bo'linadigan hujayralarning yadrolari sezgir bo'ladi.

Shuning uchun nurlanish, birinchi navbatda, organizmda ilikni shikastlaydi, buning natijasida qon hosil bo'lish jarayoni buziladi (qon saratoni kasalligiga duchor qiladi), nurlanish ovqat hazm qilish yo'lining hujayralariga — me'da va ichaklarning shilliq qatlamlariga ta'sir ko'rsatadi. Katta dozalardagi nurlanish nobud bo'lishga olib keladi, kamroq dozalarda esa qator kasalliklar (nur kasalligi) paydo bo'ladi.

8.5-§. NURLANISH DOZASI BA EKSPOZITSION DOZA. DOZA QUVVATI

Ionlovchi nurlanishning moddaga ta'siri faqat shu modda tarkibiga kiruvchi zarrachalar bilan o'zaro ta'sirlashgan holdagina ro'y berishi yuqorida ta'kidlangan edi.

Ionlovchi nurlanishning tabiatidan qat'iy nazar, uning o'zaro ta'sirlanish miqdori jihatidan nurlangan moddaga berilgan energiyani shu modda massasiga nisbati bilan baholanadi.

Bu xarakteristikaga *nurlanish dozasi* (nurlanishning yutilgan dozasi) D deyiladi.

Ionlovchi nurlanishning turli effektlari avvalo yutilgan doza bilan belgilanadi. Bu doza ionlovchi doza turiga, zarrachalar energiyasiga, nurlanuvchi moddaning tarkibiga murakkab bog'langan bo'lib, nurlanish vaqtiga proporsional bo'ladi. Vaqt birligiga nisbatan olingan dozaga *doza quvvati* deyiladi.

Nurlanishning yutilgan dozasi birligi *grey* (Gr) bo'lib, u 1 kg massali nurlangan moddaga 1 J ionlovchi nurlanish energiyasi berilishiga teng bo'lgan nurlanish dozasi; *nurlanish dozasi quvvati sekundiga greylarda* (Gr/s) ifodalanadi. Nurlanish dozasining sistemadan tashqari birligi rad ("RAD" atamasi inglizcha Radiation Absorbed Dose so'zlarining bosh harflaridan olingan bo'lib, $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{ Gr} = 100 \text{ erg/g}$), quvvatining birligi — *sekundiga rad* (rad/s).

Yutilgan nurlanish dozasini topiti uchun jismga tushayotgani ionlovchi energiyani va jism orqali o'tayotgan energiyani o'lchab, bu energiyalar ayirmasini jism massasiga bo'lish lozimdek ko'rinadi. Biroq jism bir jinsli emasligi, energiya jism tomonidan har xil yo'nalishlar bo'yicha sochilishi va shu kabilar sababli buni qilish mushkul. Shu tufayli etarli darajada lo'nda va aniq bo'lgan «yutilgan doza» tushunchasi tajribada kam foydalaniladi. Ammo jism yutgan dozani nurlanishning uni o'rab turgan havoga ionlovchi ta'siri bo'yicha baholash mumkin.

Shu sababli rentgen va γ -nurlanishi uchun dozaning yana bir tushunchasi — *ekspozitsion doza* nurlanishi (X) kiritiladi. Bu tushuncha rentgen va γ -nurlar tomonidan havo ionlanishining o'lchovi bo'ladi.

SI sistemasida ekspozitsion doza birligi qilib *kilogrammga kulon*. (Kl/kg) qabul qilingan. Amalda esa birlik sifatida rentgen yoki gamma nurlanishining ekspozitsion dozasi bo'lgan *rentgen* (R) ishlatiladi. Bunday dozada 1 sm³ quruq havoning ionlanishi natijasida 0°C va 760 mm. sim. ust. bo'lgan vaqtda har bir ishorasi 1 birl. SGS_Q ga teng bo'lgan zaryad tashuvchi ionlar hosil bo'ladi.

1 R ekspozitsion dozaning 0, 001293 g quruq havoda 2, 08·10⁹ juft ionlar hosil bo'lishiga barobardir, ya'ni 1R = 2, 58·10⁻⁴ kl/kg. Ekspozitsion doza quvvatining SI sistemasidagi birligi 1 A/kg, sistemadan tashqari birligi esa 1 R/s dir. Nurlanish dozasi tushuvchi ionlovchi nurlanishga proporsional bo'lgani uchun nurlanish va ekspozitsion dozalar orasida proporsional bog'lanish bo'lishi kerak:

$$D = fX \quad (8.1)$$

bu erda f — o'tish koeffitsiyenti bo'lib, qator sabablarga, eng avvalo nurlanuvchi moddaga va fotonlar energiyasiga bog'liq.

Suv va odam tanasining yumshoq to'qimalari uchun $f=1$; demak, radlarda olingan yutilgan doza rentgenlarda ifodalangan ekspozitsion dozaga son jihatidan teng bo'lar ekan. Mana shu hol sistemadan tashqari birlbklar — rad va rentgendan foydalanishning qulay ekanligini belgilanadi.

Suyak to'qimasi uchun f koeffitsiyent fotonlar energiyasi ortishi bilan taxminan 4, 5 dan 1 gacha kamayadi.

8.6-§. IONLOVCHI NURLANISHNING BIOLOGIK TA'SIRINI MIQDORIY BAHOLASH. EKVIVALENT DOZA

Nurlanishning bu turi uchun odatda nurlanish dozasi qancha katta bo'lsa, biologik ta'sir ham shuncha katta bo'ladi. Lekin turli nurlanishlar aynan bir xil yutilgan dozada ham turli xil ta'sir ko'rsatadi.

Dozimetriyada turli nurlanishlarning biologik effektini rentgen va γ -nurlari hosil qiladigan mos effektlar bilan solishtirish qabul qilingan.

To'qimalarda yutilgan doza birdan bo'lganda berilgan nurlanish turining biologik ta'siri effektivligining rentgen yoki γ -nurlanish effektivligidan necha marta katta ekanligini ko'rsatuvchi K koeffitsiyent *sifat koeffitsiyenti* deb ataladi. Radiobiologiyada uni *nisbiy biologik effektivlik* (NBE) deb ham ataydilar.

Yutilgan doza sifat koeffitsiyenti bilan birgalikda ionlovchi nurlanishning biologik ta'siri to'g'risida ma'lumot beradi, shuning uchun ko'paytma bu

ta'sirning umumiy o'lchami sifatida ishlatiladi va *nurlanishiing ekvivalent dozasi* (N) deb ataladi:

$$H = DK.$$

K-o'lchamsiz koeffitsiyent bo'lgani uchun nurlanishning ekvivalent dozasi yutilgan nurlanish dozasi ega bo'lgan o'lchamga ega bo'ladi, ammo *zivert* (Zv) deb ataladi. Sistemadan tashqari ekvivalent doza birligi qilib — *ber* (Ber — «biologicheskny ekvivalent rentgena» so'zlarining bosh harflaridan olingan) qabul qilingan: $1 \text{ ber} = 10^{-2} \text{ Zv}$. Berlarda ifodalangan ekvpvalent doza radlarda hisoblangan yutilgan doza bilan sifat koeffitsiyentining ko'paytmasiga tengdir.

Tabiiy radioaktiv manbalar (kosmik nurlar, ep bag'ri hamda suv radioaktivligi, odam gavdasi tarkibidagi yadrolar radioaktivligi va hokazolar) taxminan 125 mber ekvivalent dozaga mos fon hosil qiladi. Nurlar bilan ish olib boradigan kishilar uchun ekvivalent dozaning bir yillik ruxsat etilgan chegarasi — 5 ber hisoblanadi. γ -nurlanishning minpmal letal (o'limga olib boradigan) dozasi taxminan 600 ber ga teng. Bu ma'lumotlar butunlay nurlangan organizmga taalluqlidir.

Hududning va insonlarning zararlanish darajasi – radiatsiya darajasida baholanadi va soatiga rentgen yoki rad (R) larda o'lchanadi.

Jadval. Nurlanish miqdori va zararlanish belgilari orasidagi bog'lanish

Nurlanish miqdori	Zararlanish belgilari
50 R	Zaralanish belgisi yo'q
100 R	Ko'p marta nurlansa (10-30 kun), 10% odamlarda qusish, darmonsizlanish belgisi paydo bo'ladi
200 R	Nurlanish kuchaysa I-turdagi nurlanish kuzatiladi
300 R	II-turdagi nurlanish kuzatiladi

Dozimetrik asbobl (*dozimetrlar*) deb, ionlovchi nurlanishlar dozasini o'lchash yoki dozalar bilan bog'langan kattaliklarni o'lchash asboblari aytiladi.

Konstruksion jihatdan dozimetrlar yadrodagi nurlanish detektori va o'lichov qurilmasidan iborat bo'ladi. Odatda ular doza yoki doza quvvati birliklarida darajalangan bo'ladi. Ba'zi hollarda berilgan qiymatdan ortiq doza quvvatini signalizatsiyalash ko'zda tutiladi.

Ishlatiladigan detektori turiga qarab dozimetrlarni ionizatsion, lyuminesstent, yarim o'tkazgichli, fotodozimetrlar va boshqa turlarga ajratadilar.

Dozimetrlar birorta ma'lum nurlanish turining dozalarini o'lchashga yoki aralash nurlanishni qayd etishga moslashtirilib yasalgan bo'lishi mumkin.

Rentgen va γ -nurlanishning ekspozitsion dozasini (quvvatini) o'lchashga mo'ljallangan dozimetrlarga *rentgenometrlar* deyiladi.

Ularda detektor sifatida odatda ionizatsion kamera qo'llaniladi. Kamera zanjiridan o'tuvchi zaryad ekspozitsion dozaga, tok esa uning quvvatiga proporsionaldir. 33.2-rasmda asbobdan alohida ajratib chiqarilgan sferik ionizatsion kamerasi bo'lgan MRM-2 mikrorentgenometr ko'rsatilgan.

Ionizatsion kameradagi gazning tarkibi, shuningdek, ularni tashkil qilgan devorlarning moddasini biologik to'qimalarda energiya yutiladigan sharoitlar vujudga keladigandek qilib tanlaydilar.

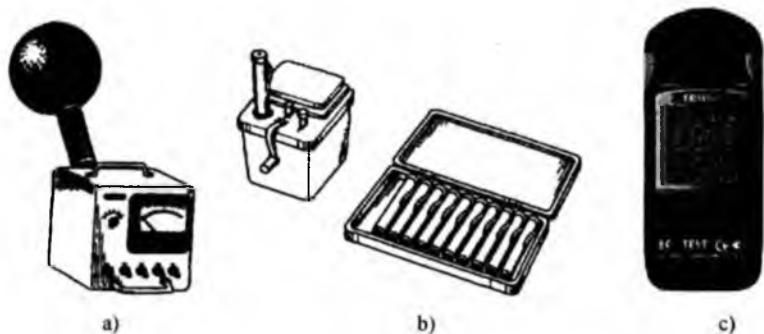
33.3-rasmda individual dozimetrlar komplekti DK-0,2 umumiy o'lchagich qurilmasi bilan birgalikda ko'rsatilgan. Har bir individual dozimetr oldindan zaryadlanadigan mitti silindrik ionizatsion kameradan tashkil topgan. Ionlanish natijasida kamera razryadlanadi. Bu kamera ichiga montaj kilingan elektrometrdan qayd qilinadi. Uning ko'rsatishlari ionlovchi nurlanishning ekspozitsion dozasi bog'liq.

Detektorlari gaz razryad schetchiklaridan iborat bo'lgan dozimetrlar ham mavjud.

Radioaktiv izotoplar aktivligini yoki konsentratsiyasini o'lchash uchun *radiometrlar* qo'llaniladi.

Barcha dozimetrlarning umumiy sxemasi 21. 1-rasmdagiga o'xshash bo'ladi. **Datchik** (o'lchagich preobrazovatel') rolini yadroviy nurlanishlar detektori bajaradi. Chiqish qurilmalari sifatida strelkali asboblardan, o'zi yozgichlar,

elektromexanikaviy schyotchiklar, tovush va yorug'lik signalizagorlari va boshqalar ishlatilishi mumkin.



8.2-rasm. Dozimetrik asboblari. MRM-2 mikrorentgenometr (a), individual dozimetrlar komplekti DK-0,2 (b) va Terra dozimetri (c)

8.7-§. NURLANISH NORMALARI. IONLOVCHI NURLANISHDAN HIMOYALANISH

Radioaktiv izotoplar bilan ish bajariladigan sanoat korxonalarida, bu korxonalarda to'g'ridan-to'g'ri shu izotoplar bilan ishlayotganlardan tashqari, qo'shni xonalarda boshqa ishlar bilan shug'ullanayotganlar, shuningdek, sanoat korxonasi joylashgan zonada yashovchilar ham bir muncha radioaktiv nurlanishlar ta'siriga tushib qolishlarini hisobga olish kerak.

Ishchilari va boshqa ishlar bilan radioaktiv zonalarda shug'ullanayotgan va yashayotgan shaxslarning xavfsizligini ta'minlashning asosiy vositalari: xavfsiz oraliq masofalari bilan ta'minlash, nurlanish vaqtini kamaytirish, umumiy muhofaza vositalari va shaxsiy himoya vositalaridan foydalanishdir. Bunda, radioaktiv nurlanishlar miqdorini o'lchash asboblariidan foydalanib nurlanish dozasini bilish muhim ahamiyatga ega.

Ionlashtirilgan nurlanishlardan ishchilarni saqlash qoida va normalari hamda qo'llaniladigan himoya vositalari juda xilma-xildir.

Radioaktiv nurlanishlar kishi organizmining hammasiga birdan ta'sir ko'rsatmasdan, ba'zi bir a'zo va hujayralarini ko'proq zararlashi aniqlangan.

Shuning uchun ham nurlanishning umumiy dozasi emas, balki organizmning qaysi qismida radioaktiv nurlanuvchi moddalar yig'ilganligi hisobga olinadi. Chunki bu yig'ilgan qismlardagi radioaktiv moddalar butun organizm falokatini ta'minlashi mumkin.

Radioaktiv moddalar bilan ochiq holda ishlaganda ularning zararli nurlanish aktivligiga qarab uch sinfga bo'linadi. Zararli nurlanish aktivligi bo'yicha III-IV-sinfga mansub moddalar bilan kimyo laboratoriyalarida ishlash mumkin. I va II sinf moddalar bilan esa maxsus jihozlangan ma'lum sanitariya-gigiena va texnik talabga javob beradigan xonalarda ish olib borish tavsiya etiladi. III-IV-sinf moddalarni ishlatganda ba'zi bir yengil operatsiyalami ish stolida, asosan, maxsus shamollatiladigan shkaflarda bajariladi. I va II sinf radioaktiv moddalar bilan ishlash asosan shamollatiladigan shkaflarda yoki maxsus bokslarda amalga oshiriladi.

Radioaktiv moddalar bilan ishlaganda, radioaktiv modda zarralari ish joylarini, odamning qo'llari va boshqa ochiq tana qismlariga o'tirib qolishi, havo muhitiga o'tib qolishi va u yerda radioaktiv nurlanish manbalari hosil qilishi mumkin. Shuningdek, bu radioaktiv changsimon moddalar nafas yo'llari yoki teri orqali organizm ichki a'zolariga kirib qolishi mumkin.

Terining nurlanish dozasi katta aniqlik bilan hisoblash imkoniyatlari bor. Buning uchun ish bajarilayotgan zonaning zararlanish darajasi aniqlanadi. Bunda ishlatilayotgan moddaning aktivligi va zararlangan yuzaning kattaligi hisobga olinadi.

Ionlovchi nurlanish bilan ishladigan kishilar ularni zararli ta'siridan himoyalanshlari zarur. Bu sof fizikaviy masalalar doirasidan chiquvchp katta va maxsus masaladir. Uni qisqacha ko`rib chiqamiz.

Himoyalalanishning uchta turini — vaqtdan, masofadan va material bilan himoyalalanishini farqlay bilish kerak. γ -nurlanishning nuqtaviy manbai modelida dastlabki ikki himoyalalanishni tasvirlaymiz:

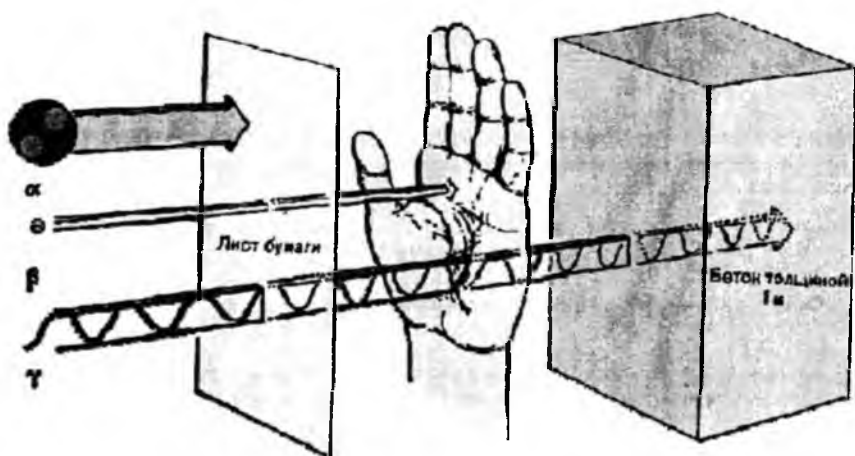
$$X = k_{\gamma} \frac{A}{r^2} \cdot t \quad (8.2)$$

Bu formuladan vaqt qanchalik ko'p bo'lib, masofa qanchalik kam bo'lsa, ekspozitsion doza shunchalik katta bo'lishin ko'rinib turibdi. Binobarin ionlovchi nurlanish ta'sirida mumkin qadar kamroq va nurlanish manбайдan mumkin qadar uzoqroq masofada turish kerak ekan.

Material bilan himoyalaniş modellarining turli ionlovchi nurlanishlarni turlicha yutish qobiliyatlariga asoslangan (8.3-rasm).

α -nurlanishdan himoyalaniş sodda bo'lib, bu nurlarni yutish uchun bir varaq qog'oz yoki bir necha santimetr qalinlikdagi havo qatlami kifoya. Ammo radioaktiv moddalar bilan ishlash mobaynida nafas yo'li orqali yoki ovqatlanish paytlarida α -zarrachaning organizm ichiga kirib ketishidan saqlanmoq kerak.

β -nurlanishdan himoyalaniş uchun qalinligi bir necha santimetr bo'lgan alyuminiy, pleksiglas yoki shisha plastinkalar etarlidir. β -zarrachalar moddalar bilan ta'sirlashganda tormozlanish rentgen nurlanishining, β^+ -zarrachalarda esa bu zarrachalarning elektron bilan annigilyatsiyalanishi paytida paydo bo'luvchi γ -nurlanishning hosil bo'lishini nazarda tutish lozim.



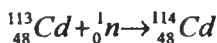
8.3-rasm. Ionlovchi nurlanishdan himoyalaniş turlari

«Neytral» nurlanish hisoblangan rentgen, γ -nurlanishi va neytronlardan himoyalaniş ancha murakkabdir. Bu nurlanishlarning modda zarrachalari bilan

o`zaro ta`sirlashish ehtimoli juda kichik va shu tufayli bu nurlar modda ichiga chuqurroq kirib boradi.

Ikkilamchi effektlarni hisobga olinmaganda, rentgen va γ -nurlanish dastasining zaiflanishi Buger qonuniga mos keladi. Zaiflanish koeffitsiyenti yutuvchi modda elementining tartib nomeriga va to`lqin uzunligiga bog`liq bo`ladi, Himoyalani shni hisob qilganda faqatgina bu bog`lanishlar emas, balki fotonlarning sochilishi, shuningdek ko`plab ikkilamchi jarayonlar ham hisobga olinadi.

Eng qiyini neytronlardan himoyalani shdir. Tez neytronlar avval tarkibida vodorod bo`lgan moddalarda (masalan suvda) sekinlashtiriladi. So`ngra boshqa moddalar bilan sekin neytronlar yutiladi. Yutuvchi modda sifatida kadmiydan foydalanilishi mumkin:

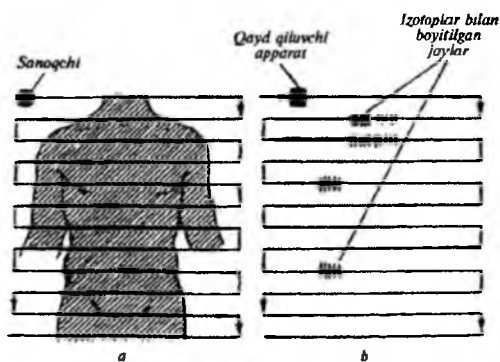


8.8-§. TIBBIYOTDA RADIONUKLIDLARDAN FOYDALANISH

Radionuklidlarning tibbiyotdagi tatbiqini ikki guruhga bo`lish mumkin. Birinchi guruhga radioaktiv indikatorlardan davolash va tekshiruv maqsadlarida foydalaniladigan metodlar kiradi. Radionuklidlarning ionlantiruvchi nurlanishlarining biologik ta`sirining davolash maqsadlarida qo`llanilishiga asoslangan metodlar ikkinchi guruhga kiradi. Nurlanishning bakteritsid ta`sirini ham bu guruhga kiritish mumkin.

Nishonlangan atomlar metodi quyidagidan iborat: tanaga radionuklidlar kiritiladi va ularning to`plangan joylari, a`zo va to`qimalardagi aktivligi aniqlanadi. Masalan, qalqonsimon bez kasalligiga diagnoz qo`yish uchun tanaga radioaktiv yod ${}_{53}^{123}\text{I}$ yoki ${}_{53}^{131}\text{I}$ kiritiladi, radioaktiv yodning bir qismi bezda to`planadi. Uning yaqiniga joylashtirilgan schetchik yodning to`planishini qayd qiladi. Radioaktiv yodning konsentratsiyasi ortish tezligiga qarab qalqonsimon bezning holati haqida diagnostik xulosa chiqarish mumkin.

Qalqonsimon bezning rak o'simtasi turli a'zolariga metastaza berishi mumkin. Bu a'zolarida radioaktiv yodning to'planishi metastaza haqida ma'lumot berishi mumkin.



8.4-rasm. Gamma-topograf skanerlovchi schetchik (sanoqchi)ning yo'li (a) va uni qayd qilish kartasi (b).

Radionuklidlarning tananing turli a'zolarida taqsimlanishini aniqlash uchun gamma-topografdan foydalaniladi. Bu asbob radioaktiv preparatning intensivligi qanday

taqsimlanishini avtomatik ravishda qayd qiladi. Gamma-topograf skanerlovchi schetchikdan iborat bo'lib, u birin ketin bemor tanasining katta qismidan o'tadi. Nurlanishni, masalan, qog'ozga shtrixli belgi qo'yib qayd qilinadi (8.4-rasm).

Gamma-topograf ionlantiruvchi nurlanishning a'zoldagi nisbatan qo'pol taqsimotini beradi. Aniqroq ma'lumotlarni avtoradiografiya metodi bilan olish mumkin.

Hozirgi kunga kelib avtoradiografiya metodidan ham mukammalroq usul – **pozitron emission tomografiya** usuli keng qo'llanilmoqda

Pozitron-emission tomografiya (yoki ikki fotonli emission tomografiya) – bu ichki organlarni tomografik ko'rish usuli bo'lib, u to'qimalarning radioaktiv izotoplarni yig'ish xususiyatiga asoslangan.

Uning asosida pozitronlar annigilyatsiyasi (zarracha va antizarrachalarning to'qnashganida boshqa zarrachalarga aylanish xususiyati) yotadi. Annigilyatsiya vaqtida PET – skaneri yordamida qayd qilish mumkin bo'lgan gamma-kvantlar jufti hosil bo'ladi. Pozitronlar esa, bemor organizmiga tekshiruv oldidan tomir ichiga kiritiladi yoki gaz holatida kiritilgan radiofarm preparatining tarkibiga kiruvchi radionuklidning parchalanishi natijasida hosil bo'ladi.

PET organizmda bo`layotgan turli jarayonlarni aynan konkret tekshiruvga mos radiofarm preparat yordamida aniqlash imkonini beradi: metabolizm, moddalar transporti va h. k. z.

Hozirgi vaqtda PET tekshiruvlari vaqtida uglerod-11, azot-13, kislorod-15, flor-18 kabi izotoplar qo`llaniladi. Bu moddalar kichkina dozada kiritilganida ham sifatli tasvir olish mumkin.

PET ni quyidagi hollarda qo`llash mumkin:

- Ko`krak qafasi
- Jigar
- O`pka
- Qalqonsimon bez
- Bosh miya
- To`g`ri ichak
- Yurak

Angiografiya—qon tomirlarini kontrast rentgenologik tekshiruv usulidir. Rentgenografiyada, rentgenoskopiyada, kompyuter tomografiada va gibrid operatsiyalarda qo`llaniladi. Angiografiya tomirlarni funktsional holatlarini, qon oqishini va patalogik holatlarni o`rganadi.



8.5-rasm. Zamonaviy angiograf va unda olingan bosh miya qon tomirini ko`rinishi

8.9-§. RENTGEN NURLARI

Rentgen nurlarining qattiq jismlardan, masalan, odam muskullaridan ham o'ta olishi, ularning tibboyotdagi benazir dastyorga aylanishlariga sababchi bo'ldi. Rentgen nurlari shifokorlarga bemor organizmida nimalar sodir bo'layotganligini aniqlashga yordam beradi.

Rentgen nurlari 1895 yilda olmon olimi Vilgelm Konrad Rentgen (1845-1923) tomonidan kashf etilgan edi. Bu nurlar ham, ko'zga ko'rinadigan nurlar, gamma-nurlanishlari, radioto'lqinlar, mikroto'lqinlar, infraqizil, ultrabinafsha nurlanishlar singari, elektromagnit spektrining bir turi hisoblanadi. Rentgen nurining kashf etilishiga tasodif sababchi bo'lgan.

Konrad Rentgen katod nurlari taratuvchi elektron-nur trubkasi bilan tajribalar olib borar edi. Bir safar, trubka zich va qop-qora qalin qog'ozli g'ilof bilan berkitilgan holatda tasodifan elektrni ulab yubordi va yaqin orada joylashgan platinosianistik bariyning kristallari yashil rangda rovlana boshlaganini payqab qoldi. Rentgen trubkani o'chirishi bilanoq, tovlanish to'xtadi. Qaytadan yoqsa, kristallar yana yorishib, tovlana boshladi. Tekshirishlarni davom ettirib, Rentgen avvalari ma'lum bo'lmagan nurlanish turi bilan to'qnash kelganini fahmladi. U katod nurlari, elektron-nur trubkaning ichida qandaydir to'siqqa duch kelayotgan bo'lsa kerak deb o'yladi.



Qayd etilgan yangicha turdagi nurlanishning intensiv oqimini olish uchun Rentgen, katod nurlanishlari elektron nur trubkasining konstruksiyasiga o'zgartirishlar kiritdi. Shu tufayli, bunday yangicha trubka Rentgen trubkasi deb nomlanish oldi. Yangi nurlarning g'aroyib xususiyatlari ko'zga tashlanar edi: ular shaffof bo'lmagan to'siqlar (masalan o'sha qalin qora qog'ozli g'ilofdan) erkinlik bilan o'tib keta olardi, biroq qo'rg'oshin plastinkalardan o'ta olamsdi.

Tajribalarning birida Rentgen hayratlanarli natijani qayd etdi. U odatiy yorug'lik nurlari yordamida olinadigan fotokadrning yangi nurlar bilan ham olish

imkoniyati mavjudmi yo'qmi, tekshirib ko'rmoqchi bo'ldi va fotoplastinka ustiga turmush o'rtog'ining qo'lini qo'yib ko'rishini iltimos qildi. Rentgenlar oilasining jiddiy hayratiga sabab bo'lib, fotoplastinkada kaft va barmoqlarning emas, balki kaft va barmoq suyaklarining tasviri paydo bo'ldi. Barmoqlarning biridagi nikoh uzugi ham shundoqqina ko'zga tashlanib turardi.

Rentgenning o'zi bu nurlarni X-nurlar deb atadi. Keyinroq ularni Rentgen nurlari deb atay boshlashdi. 1898 yilda rentgen nurlarini birinchi marotaba tibbiy maqsadlarda foydalanishga kirishildi. Harakatdagi Britaniya armiyasi uchun maxsus Rentgen trubkasi bilan jihozlangan tashxis apparati loyihalandi va jarohatlangan askarlarni tekshirish uchun harbiy poligonlarda keng qo'llanila boshlandi.

1901 yilda Vilgelm Konrad Rentgen o'z kashfiyoti uchun Fizika sohasidagi Nobel mukofotiga sazovor bo'ldi. Shuni alohida ta'kidlash kerakki, bu fizika sohasi uchun ta'sis etilgan birinchi Nobel mukofoti edi.

Lekin, rengen nurlaridan foydalanishning salbiy taraflari ham mavjud: Ular odam organizmiga tushgach, to'qimalar faoliyatiga salbiy ta'sir ko'rsatishi va saraton kasalliklarini kelib chiqishiga sababchi bo'lishi xavfi mavjud. Shu sababli, organizmning rentgen tekshiruvlari oraliq masofasini saqlash shifokorlarlar tomonidan doimiy va jiddiy nazorat qilinadi.



8.6- rasm. Rentgen trubkasining tuzilishi.

Rentgen trubkasi elektron-nur trubkasining bir turi bo'lib, u radiatsiyaning aks ta'sirlarini minimallashtirish maqsadida atroflama to'liq metall qoplama bilan qoplanadi. Unda faqat juda kichik tirqish bo'lib, u orqali rentgen nurlari mijoz tanasining tekshirayotgan qismiga yuboriladi (9.5-rasm). Trubkaning ichida kuchli

quvvatga ega elekt toki, elektronlarni musbat anod va manfiy katod orasida harakatlanishga majbir qiladi. Elektronlarning anodga ta'siri rengen nurlarinishining paydo bo'lishiga olib keladi.

Bir qancha muddatdan keyin rentgen trubkasi takomillashtirila boshlandi. 1913 yilda AQSHlik olim Uilyam Kulidj Rentgen trubkasining katodini volfram tolalari bilan ta'minlab, rentgen trubkasining yanada takomillashtirilishiga o'z hissasini qo'shdi. Buning natijasida yana ham sifatli va tiniqroq tasvir olish imkoniyati paydo bo'ldi. Keyinchalik ham olimlar va muhandislar, hamda, tibbiyot mutaxassisalari umumiy izlanishlar orqali Rentgen nurlarining samaradorligini oshirish, ularning bemorlar va doktorlarga salbiy ta'sirlarini kamaytirish borasida muttasil izlanishlar olib bordilar.

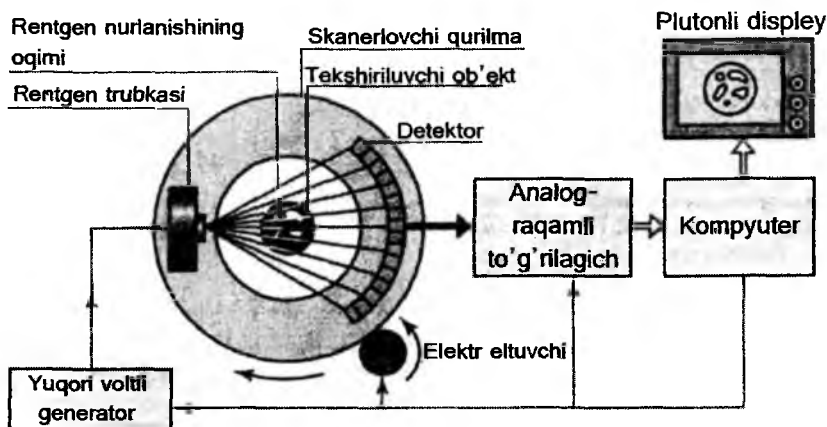
Hozirgi kunda ham Rentgen apparatlari tashxis va davolash masalalarida o'z dolzarbligini yo'qotmagan. Ayniqsa o'pka kasalliklari, suyak sinishlari va tish kasalliklarini tashxis qo'yishda Rentgen diagnostikasiga yetadigan vosita yo'q.

8.10-§. Kompyuter tomografiyasi

1970 yillardayoq KT skanerlar – rentgen va kompyuter tomograflarining o'zaro uygunlikdagi qurilmalari paydo bo'ldi. Bu usulning mohiyati shunda ediki, odam organizmidagi turli xil to'qimalar, rentgen nurlarini turlicha o'tkazadi. Shu sababli, har xil organlarning rentgen tasvirilarini olish uchun kompyuterda murakkab qayta ishlash jarayonlari bajariladi. Kompyuter tomografi (KT) skanerlangan organning turli qalinlikdagi to'qimalari qatlamlar bo'yicha alohida alohida tasvirga tushiriladi va ular keyingi qayta ishlash jarayonida kompyuterdagi maxsus dastur orqali yagona va yaxlit organ tasviriga qayta birlashtiriladi.

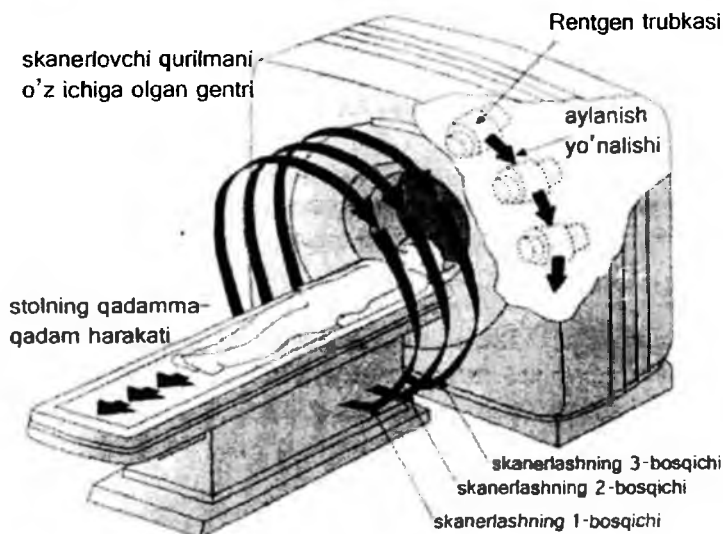
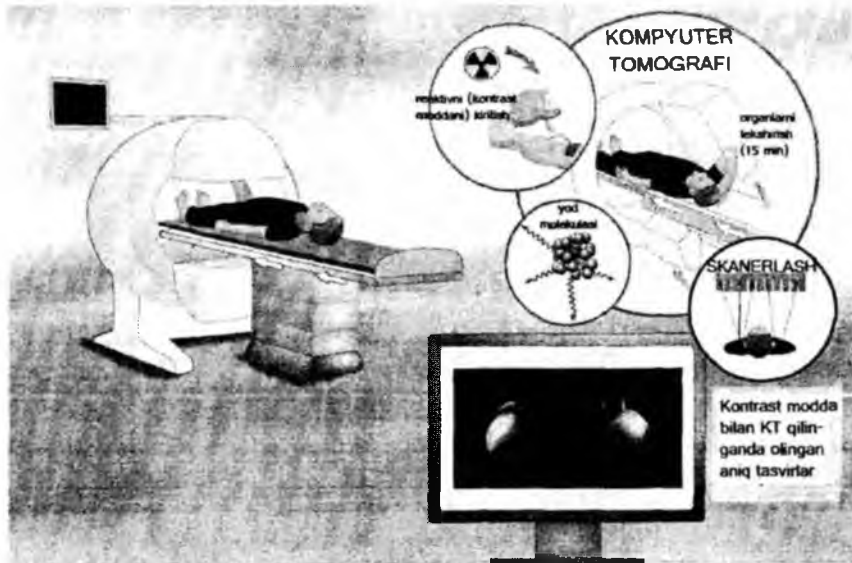
Kompyuter tomografiyasi – bu ham o'rganilayotgan ob'ektning ichki strukturasi qatlam-qatlam o'rganadigan usuldir. Ilk bor 1972 yilda inson miyasining sifatli tomografiyasi olingan. Lekin KTning tarixi ancha avval boshlangan: 1917 yilda Avstraliyalik matematik I. Radon rentgen nurlanishinig yutilishi modda zichligiga bog'liqligini isbotlab bergan. 1956-1958 yilda Sovet Ittifoqi olimlari Tyutin, Korenblyum va Tetel'baum rentgen suratlarini

rekonstruktsiya qilish sistemasini yaratdilar. Dastlabki tomograf 1962 yilda ishlab chiqilib, 10 yildan so`ng tajribada sinaldi. 1979 yilda Xaunsfild va Kormak buning uchun Nobel' mukofotini oldilar.



8.7-rasm. Kompyuter tomografining prinsipial sxemasi

Bu usulning fizik asosi nurlanishning eksponentsial kamayishi qonunidir. KTning ishlash prinsipi rentgenografiya usuliga o`xshab, rentgen nurlarining qo`llanilishiga asoslangan. Bu esa uni MRT usulidan farqlanadigan asosiy eridir. Rentgen nurlanishi inson organizmidan o`tayotganida uning turli to`qimalarida har xil yutiladi. Juda zich strukturalar rentgen nurini umuman o`tkazmaydi. Tekshiruvchi ob`ektdan o`tgan nurlar detektorlar qatoriga tushib, keyin kompyuterda qayta ishlanadi. Birgina surat olish imkoniga ega oddiy rentgenografiya usulidan farqli o`laroq, bu usulda barcha organlarni turli kesimlarda, uch o`lchovli va tasvirda ko`rish mumkin.



8.8-rasm. *Kompyuter tomografida tasvirni olinish jarayoni (a rasm) va sxematik ko'rinishi (b rasm)*

Bundan tashqari, komp'yuter tomografiyalarining sezgirligi oddiy rentgen apparatlaridan ancha yuqori. KT qanday hollarda qo'llaniladi? KT ni qo'llash

quyidagi kasalliklarda yaxshi natijalar beradi: gemotomalar, miya va suyaklarning turli jarohatlari va kasalliklarida, qon aylanishining buzilishida, tomirlar kasalligida, ko`krak qafasi va qorin bo`shlig`ining patologik jarayonlarida.

Shuni aytib o`tish kerak-ki, KT juda og`ir holdagi bemorlarga ham, klaustrofobiyasi bor bemorlarga ham qo`llaniladi. MRTni esa bu hollarda qo`llab bo`lmaydi.

**Foydalanilgan asosiy va qo‘shimcha o‘quv adabiyotlar hamda
axborot manbalari
Asosiy adabiyotlar**

1. Paul Davidovits. Physics in Biology and Medicine. Fourth Edition, 2013
2. Andrey B. Rubin. Fundamentals of biophysics. Second Edition, 2014
3. A.N.Remizov Tibbiy va biologik fizika. T.: “O‘zbekiston milliy ensiklopediyasi”. 2005
4. В.О.Самойлов Медицинская биофизика, Санкт-Петербург, 2004.

Qo‘shimcha adabiyotlar

1. Физика и биофизика. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /Антонов В.Ф., Черныш А.М., Козлова Е.К., Коржуев А.В. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012.
2. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб.пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. - 2008. - 592 с.
3. Антонов В.Ф. Биофизика, Учебник для студентов вузов, 3-изд., 2006
4. Пособие по проведению лабораторных работ по биофизике Т., I-ТашГосМи, 2004.
5. Антонов В. Ф., Архарова Г. В., Песечник В. И. Медицинская биофизика. М., ММА.: 1993.
6. Кудряшов Ю. Б., Берefeldьд Б. С. Основы радиационного биофизике. МГУ. М.: 1982.
7. Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М: 1981.
8. Н.М.Ливенцев Курс физики 1, 2 том. Москва. 1981 г.
9. Ливенцев Н. М., Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М. 1974.
10. Хитун В.А. и др. Практикум по физике для медицинских вузов. М.: «Высшая школа», 1972 г..

Internet saytlari

1. <http://www.medbiophys.ru/>
2. <http://www.biophys.msu.ru/>
3. http://biophysics.spbstu.ru/useful_links
4. <http://medulka.ru/biofizika>
5. <http://www.library.biophys.msu.ru/>
6. <http://www.bio.fizteh.r/>

Bozorboyev M.I., Mullajonov I.

BIOFIZIKA

Darslik

Muharrir N. Botirov

Badiiy muharrir K. Boyxo'jayev

Kompyuterda sahifalovchi K. Boyxo'jayev

Bosishga ruxsat 10.05.2018-yilda berildi. Bichimi 60x84/16

Ofset qog'ozi. «New Times Roman» garniturası.

Shartli b.t. 11,3. Nashr hisob t. 11,7.

Adadi 100 dona. 19-buyurtma.

«Yangi asr avlodi» nashriyot-matbaa markazida tayyorlandi.
«Yoshlar matbuoti» bosmaxonasida bosildi.
100113. Toshkent, Chilonzor-8, Qatortol ko'chasi, 60.

ISBN 978-9943-05-605-3



9 789943 056053