

# BIOFIZIKA



TOSHKENT

**O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI**  
**OLIV VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI**

# **BIOFIZIKA**

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

**TOSHKENT – 2018**

UO'K: 577.3(075.8)

KBK 28.071ya73

B 70

B 70

Biofizika. (Darslik). –T.: «Fan va texnologiya», 2018, 212 bet.

ISBN 978–9943–11–895–9

Darslik o'quv rejaga asosan tibbiyot 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 jarayonlar o'rganilgan. Elektr tokiga bag'ishlangan bo'limda tirik organizmga elektr tokining salbiy va ijobiy ta'sirlari keng yoritilgan.

\*\*\*

Учебник создан в соответствии с учебным планом для студентов медицинских вузов по различным специальностям. В пособии рассмотрены основные главы биофизики.

Молекулярная биофизика изучает функциональную структуру и физико-химические свойства биологически важных (биологически функциональных) молекул, а также физические процессы, обеспечивающие их функционирование, исследует термодинамику биологических систем.

Биомеханика изучает механические свойства биологических тканей, гемодинамика изучает течение крови по сосудам и работу сердца. Раздел электричества изучает положительные и отрицательные воздействия электрического тока на живые организмы.

\*\*\*

The manual is created in accordance with the curriculum for students of medical schools in the specialties.

Molecular biophysics studies the functional structure and physicochemical properties of biologically important (biologically functional) molecules, as well as the physical processes that ensure their functioning, investigates the thermodynamics of biological systems.

Biomechanics studies the mechanical properties of biological tissues, hemodynamics studies the flow of blood through the vessels and the work of the heart. The electricity section studies the positive and negative effects of electric current on living organisms.

UO'K: 577.3(075.8)

KBK 28.071ya73

#### Mualliflar:

M.I.Bazarbayev, I.Mullojanov, A.Z.Sobirjonov, U.M.Abdujabbarova, I.Sh.Saidnazarova,  
X.J.Raximova, F.B.Nurmatova

#### Taqrizchilar:

Yu.N.Islamov – fizika-matematika fanlari nomzodi, "Biofizika va informatika" kafedrasida dotsenti, Toshkent Pediatriya tibbiyot instituti;

S.Z.Saidalixodjayeva – tibbiyot fanlari nomzodi, "Normal va patologik fiziologiya" kafedrasida dotsenti, Toshkent tibbiyot akademiyasi.

ISBN 978–9943–11–895–9

© «Fan va texnologiya» nashriyoti, 2018.



## 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 sistemalarning 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 molekularlar (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 obyektiv 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. Biopotentsiallarni 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 modellari yaratish va ularni chuqurroq o'rganish mumkin. Organizmda qonning oqishi, havo molekulalarining 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 xossalari 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 xossalari 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'prik 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.

## I 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

#### 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 qayta-



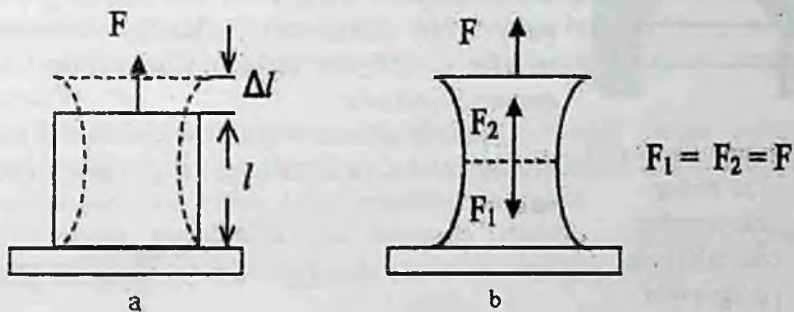
ruvchi ichki kuchlarning yuzaga kelishiga olib keladi. Ushbu kuchlarning o'ldhovi bo'lib mexanik kuchlanish xizmat qiladi.

### Cho'zilish (siqilish) deformatsiyasi

Deformatsiyaning ushbu turi biriktirilgan asosli sterjenga y o'qi bo'ylab yo'nalgan  $F$  kuch ta'sir etganida yuzaga keladi (1.1-a-rasm). Bu kuch ta'sirida sterjen qandaydir  $\Delta l$  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  $\sigma$  bilan xarakterlanib, 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:

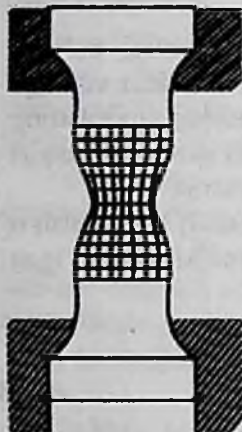
$$\sigma = \frac{F}{S} \quad (1.1)$$

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

**Absolyut deformatsiya** ning kattaligi sterjennning boshlang'ich uzunligiga bog'liq. Shuning uchun deformatsiya darajasini absolyut deformatsiyaning boshlang'ich uzunlikka bo'lgan nisbati orqali ifodalasa bo'ladi. Bu nisbat nisbiy deformatsiya ( $\epsilon$ ) deb ataladi:

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

Ko'p hollarda cho'zilish yoki siqilishda sterjennning turli kesimlarida deformatsiya darajasi turlicha bo'ladi. Buni jism yuzasiga kvadratli to'r tashlab ko'rsa bo'ladi. Deformatsiyadan so'ng to'ming yacheykalari o'zgarib ketadi. Bu o'zgarishlarning xarakteri va kattaligiga qarab kuchlanishning namuna bo'ylab taqsimlanishi haqida xulosa qilsa bo'ladi (1.2 – rasm).



Rasmdan shu narsa ayon-ki, yacheykalar shaklining o'zgarishi sterjennning 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:

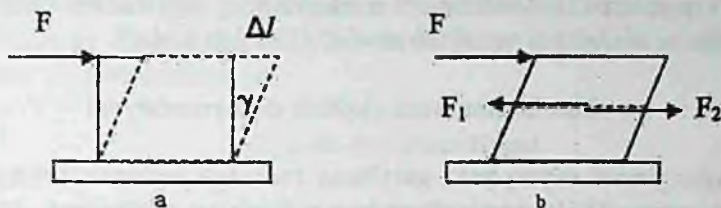
$$\sigma = E\epsilon \quad (1.3)$$

**1.2-rasm** Kvadratli to'rning sterjennning cho'zilishida o'zgarishi.

E proporsionallik koeffitsiyenti moddaning 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  $\gamma$  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*  $\tau$  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  $\Delta l$  siljishi bilan o'lchanadi. Siljishning nisbiy deformatsiyasi siljish burchagining tangensi  $\text{tg} \gamma$  orqali ifodalanib, u nisbiy siljish deb ataladi. Ko'pincha  $\gamma$  burchak juda kichik bo'lgani sababli  $\text{tg} \gamma$  ga teng deb hisoblasa bo'ladi.

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

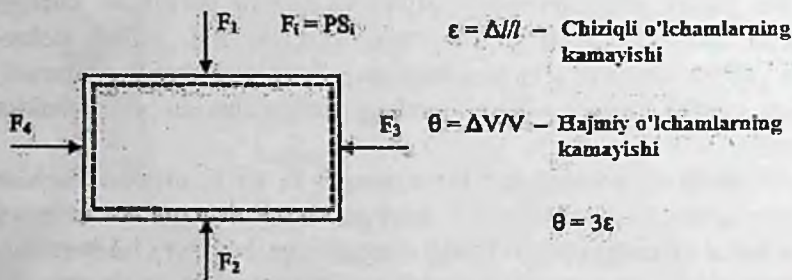
$$T = G\gamma \quad (1.5)$$



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

### Har tomonlama siqilish deformatsiyasi

Agar jisinni 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:

$$\varepsilon = \Delta l/l$$

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

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

bu yerda K – *har tomonlama siqilish moduli* (hajmiy siqilish moduli, hajmiy modul). “Minus” belgisi kuchlanish ortishi bilan hajmning kamayishini anglatadi.

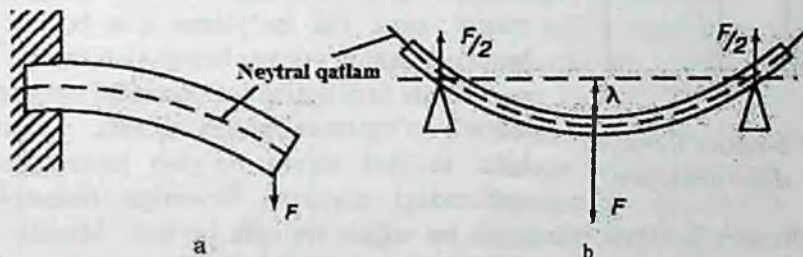
Siqiluvchanlik – fizik xossalarning atomlararo (molekulararo) masofalarga bog‘liqligi haqida darak beruvchi moddaning eng muhim xarakteristikasidir.

### Egilish deformatsiyasi

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

Egilishda 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  $\lambda$  siljish bilan aniqlanadi.



1.5 rasm. Egilish deformatsiyasi.

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

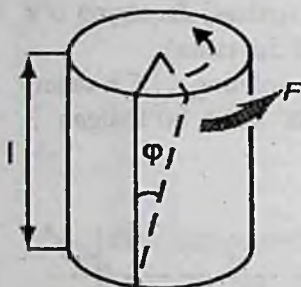
Ushbu  $\lambda$  kattalik egilish o‘qi deb ataladi. Materiallarning qarshiligi nazariyasi bo‘yicha u quyidagi formula yordamida topiladi:

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

bu yerda  $F$  – 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 yetkazmasdan olib tashlasa bo'ladi. Bu usulda mustahkamlikni saqlagan holda konstruksiya massasini kamaytirishga erishiladi. Masalan, 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 buralish 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 buralish burchagi ( $\varphi$ ) bilan xarakterlanadi.

Nisbiy deformatsiya ( $\theta$ )  $\varphi$  burchakning sterjen uzunligi  $l$  ga nisbatiga teng:

$$\theta = \varphi / l$$

Buralishga 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 so'lishtirib, ularning barchasi cho'zilish (siqilish) va siljishning kombinatsiyasidan iborat, deb xulosa qilish mumkin.



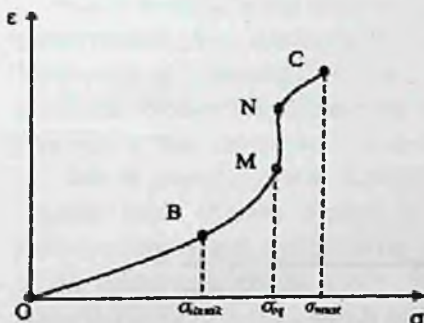
## 1.2-§. Materiallarning mexanik xossalari va ularni tekshirish usullari

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.

OB qism Guk qonuniga bo'ysunadigan *elastik* deformatsiyaga mos kelib, u kuch olib tashlanganidan so'ng yo'qoladi.  $\epsilon$  va  $\sigma$  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.



1.7-rasm. Deformatsiyaning kuchlanishga bog'liqligi cho'zilish diagrammasi.

lanishdir. Mustahkamlik chegarasi material xossalari bog'liq bo'ladi.

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

NC-qism parchalanishdan-avvalgi deformatsiyadir. (C) nuqta–mustahkamlik chegarasidir.  $\sigma_{must}$ – namuna parchalanishi sodir bo'ladigan mexanik kuchdeformatsiyalash usuli va

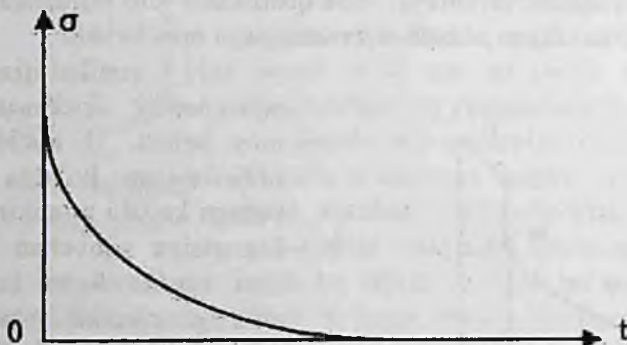
$\sigma_{elastik}$        $\sigma_{oq}$        $\sigma_{must}$

## 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:  $\varepsilon = \text{const}$ ,  $\sigma = f(t)$

## 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 yetganida sterjenning parchalanishi (uzilishi) sodir bo'ladi.

**Mo'rt parchalanish.** Ushbu parchalanish elastik deformatsiya tugashi bilan deyarli darhol boshlanadi (to'g'ri chiziqli qism) va 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:

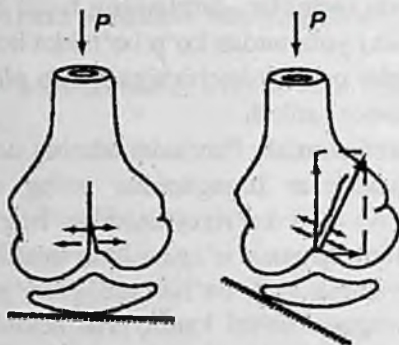
- materialning xossalari va moddaning holati (modda strukturasi, harorat, namlik va h.k.);
- obyektning xususiyatlari (konstruksion xossalar, shakllar, o'lchamlar, yuzaning sifati);
- kuch ta'sirining dinamikasi (kuch qo'yish tezligi);
- mexanik ta'sirning yo'nalishi.



## Naysimon suyaklarning shikastlanishlari

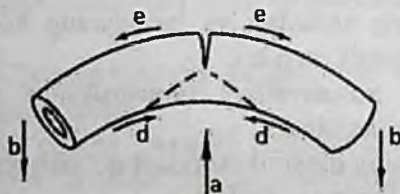
Mo'rt parchalanish uzun naysimon suyaklarga xosdir. Bunda suyaklarning parchalanishini bo'ylama yoki ko'ndalang yo'nalishda kuch ta'sir qilayotgan sterjenning parchalanishiga o'xshatish mumkin.

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

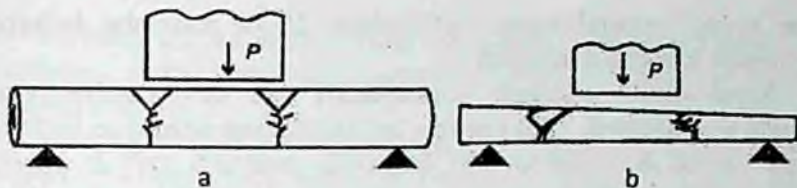


*1.9-rasm. Son suyagi pastki epifizining uzilish yoki siljish deformatsiyalari ta'sirida shikastlanishi (bukilgan tizzaga yiqilganda).*

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, b-tashqi kuch vektorlari, d-siquvchi, e-cho'zuvchi kuchlar.*



1.11-rasm. Uzun naysimon suyakning to'ntoq 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 evolyutsiya 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%).

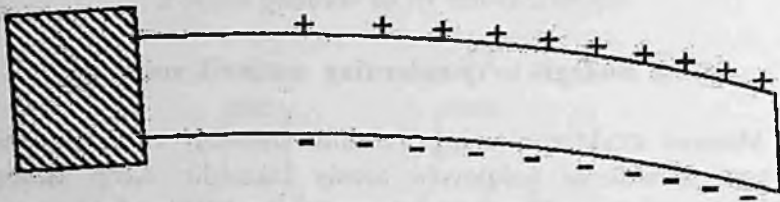
Kichik suyak to'qimasida hajmning yarmini neorganik material, suyakning mineral moddasi – *gidroksilapatit* tashkil etadi. Bu modda mikroskopik kristallar ko'rinishida bo'ladi. Suyak hajmining boshqa qismi organik material, asosan *kollagendan* iborat. U yuqorimolekulyar birikma bo'lib, yuqori elastiklikka 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  $2400 \text{ kg/m}^3$ , 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 termoregulyatsiya 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 qatlamdan iborat geterogen to'qima sifatida qaralib, ular bir-biriga juda yaqin, lekin tabiati, strukturasi, xossalariga ko'ra turlichadir: epidermis, derma, teri osti kletchakasi. 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  $1100 \text{ kg/m}^3$  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 organizmlarnig 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. 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 ishonchli 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 regulyatsiyasi va uning buzilishi haqida xulosa chiqarsa bo'ladi. Bundan kasalliklar diagnostikasida, sportchilar harakatini nazorat qiluvchi maxsus testlarni ishlab chiqishda foydalaniladi.

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

Mushaklar tarkibiga mushak hujayralari (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.

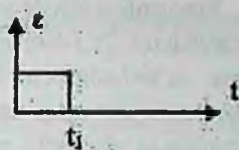
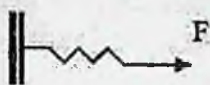
Hayot faoliyati jarayonida mushaklar ashqi kuchlar ta'siriga moslashadi. Lekin ularda kuchlanishning saqlanishi to'xtovsiz energiyani talab etadi. Energiyaning kamayishi mushaklarning charchashiga olib keladi. Faqat hushdan ketish va o'lim mushaklardagi jarayonlarning to'xtashiga sabab bo'lishi mumkin.

**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.

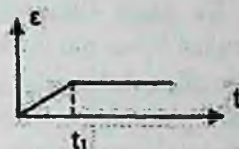
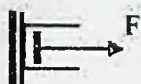
Qon tomirlarining devorlari yuqori elastiklikka ega materialdan tashkil topgani tufayli ular deformatsiyalovchi kuch ta'sirida yuzaga keluvchi qaytuvchan o'zgarishlarga chidamlidir. Deformatsiyalovchi kuch ortiqcha ichki bosim tufayli yuzaga keladi.

Tomir deformatsiyasini elastik silindrga ichidan ko'rsatila-yotgan 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.

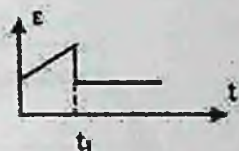
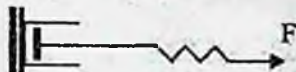
a) Elastik modda  
(prujina)



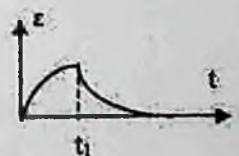
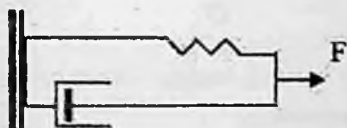
b) Qovushqoq modda  
(porshen)



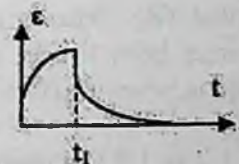
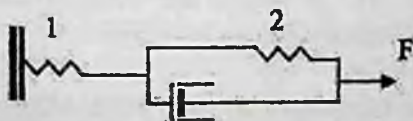
d) Maksvell modeli



e) Kelvin-Foyget modeli



f) Ziren modeli



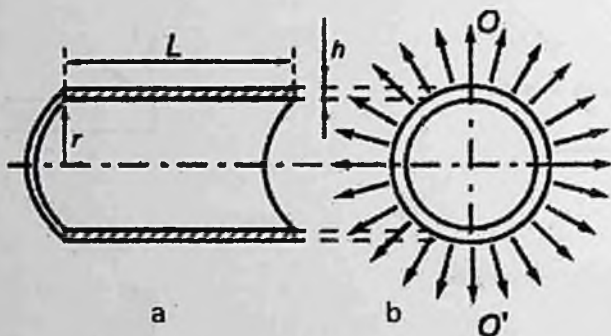
1.13-rasm. Silliq mushaklarning harakati o'rganuvchi  
Maksvell modeli



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  $\sigma$  mexanik kuchlanish mavjud bo'lsa, ikkita qismning ta'sir kuchi quyidagiga teng:

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

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:

$$F=P \cdot 2rL \quad (1.8)$$

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

$$\sigma = \frac{Pr}{h} \quad (1.9)$$

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 atrofida 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'inlarning anatomik-fiziologik jihatdan asoslangan quyidagi yagona klassifikatsiyasini ko'rsatib o'tsa bo'ladi.

**Bir o'qli bo'g'imlar.** 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'imlari) bunday bo'g'imda frontal o'q atrofida harakatlar bo'lib turadi (bukish va yozish).

**Ikki o'qli bo'g'imlar.** 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). Bular da 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'implar (masalan, umurtqalararo bo'g'implar). Bular da deyarli yassi bo'g'im yuzalari bo'ladi. Bo'g'im yuzalari tafovuti bular da arzimās 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 bular da kuchdan yutib, ko'chishdan yutqaziladi, ikkinchisi — tezlik richaglari bo'lib, bular da 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 yelkasi 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 yelkasi 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 skelet bo'g'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'rni 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 kW ga etadi.

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

Odam gavgasi 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 W gacha oshiradi. Tezlik ortishi bilan bu quvvat yana tezroq oshib boradi, ya'ni tezlik 7 km/soat bo'lganda quvvat 200 W ga etadi. Odam massalar markazining vaziyati velosipedda

yurganda piyoda yurgandagiga qaraganda deyarli kam o'zgaradi, oyoqning tezlanishi ham kichik bo'ladi. Shu sababli velosipedda yurganda sarflanadigan quvvat ancha kam bo'ladi: tezlik 9 km/soat bo'lganda 30 W, 18 km/soat bo'lganda esa 120 W 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'irlik kuchining bajargan ishi nolga teng. Agar qo'lni cho'zilgan holatida gantel yoki tosh ushlab turilsa, yelka 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 ergomeriya deyiladi.



*1.15-rasm.  
Veloergometr*

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

## II 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'minlashishini 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 qovushoqligi.

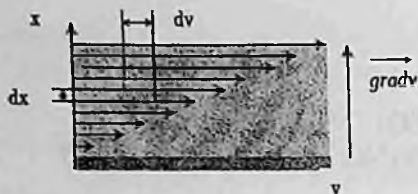
#### Nyuton tenglamasi. Nyuton va nonyuton suyuqliklari

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 ( $v_1 < v_2 < v_3 \dots$  va h.k.) 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 tezlashtirishga intilsa, o'zi esa ikkinchi qatlam tomonidan tormozlovchi kuch ta'sirini his





2.1-rasm. Ikki plastinka orasida qovushqoq suyuqlikning oqishi

bo'lgani sababli ichki ishqalanish kuchini tezlikka perpendikulyar yo'nalishda har bir uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi tezlikning o'zgarishini ifodalovchi kattalik, ya'ni  $dv/dx$  tezlik gradienti (siljish tezligi) orqali ifodalash qabul qilingan:

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

Bu Nyuton tenglamasidir. Bu yerda  $\eta$  proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uni ichki ishqalanish koeffitsiyenti yoki dinamik qovushoqlik (yoki oddiy qovushoqlik) deb aytiladi. Qovushoqlik suyuqlikning (yoki gazning) holatiga va molekulyar xossalriga bog'liq.

Qovushoqliknig SI sistemasidagi o'lchov birligi paskal-sekund (Pa·s). SGS sistemasida qovushoqlik Puaz (P) bilan ifodalanadi:

$$1 \text{ Pa} \cdot \text{s} = 10 \text{ P}$$

Ko'pchilik suyuqliklarda qovushoqlik tezlik gradientiga bog'liq bo'lmaydi, bunday suyuqliklar (2.1) tenglamaga 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 marra 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 strukturasi buzish uchun ham sarflanadi. Qon nonyuton suyuqlik hisoblanadi.

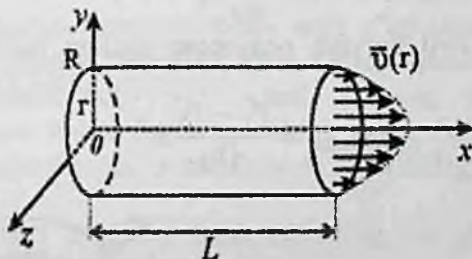
## 2.2-§. Qovushoq suyuqliklarning trubalardan oqishi. Puazeyl formulasi

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:

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



2.2-rasm. Qovushoq suyuqlikni truba bo'ylab harakati

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

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

bu yerda  $S=2\pi r l$  silindr ko'ndalang kesimining yuzi. Silindrda suyuqlik tekis harakatda bo'lgani sababli ajratib olingan silindr hajmidagi ta'sir etuvchi kuchlar bir-birini muvozanatlaydi:  $F=F_{\text{ishq}}$ . 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:

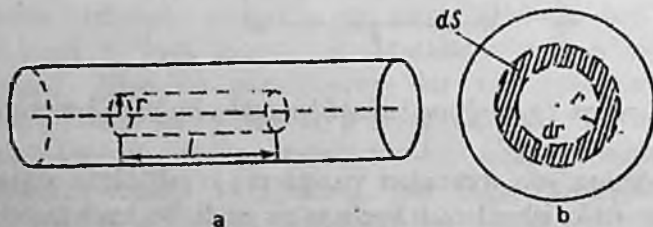
$$\int_0^v dv = -\frac{(p_1 - p_2)}{2l\eta} \int_R^r r dr \quad (2.5)$$

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:

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



2.3-rasm. Tezlik vektorlar uchlarini aylanib o'tuvchi chiziq



Horizontaal truba orqali 1 sekundda 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 sekundda 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:

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

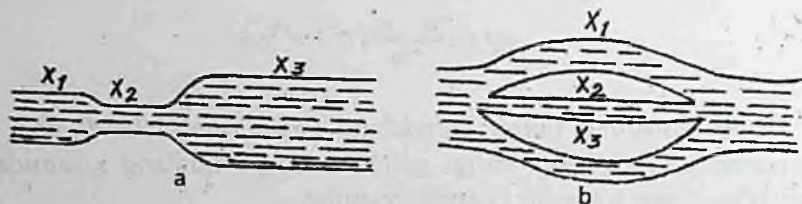
Bu bog'lanish Puazeyl formulalari nomi bilan ma'lumdir.

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. Potensiallar farqi truba uchlaridagi bosimlar ayirmasiga, tok kuchi truba kesimidan  $l$  s da oqib o'tuvchi suyuqlik hajmiga, elektr qarshiligi gidravlik qarshilikka mos keladi:

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

Qovushoqlik  $\eta$  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:



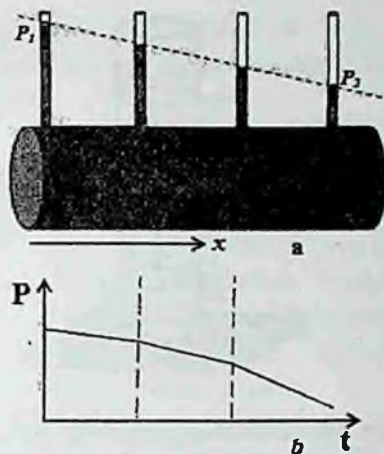
2.4-rasm. a) ketma-ket ulangan trubalarda b) parallel ulangan trubalarda gidravlik qarshilik

$$X = X_1 + X_2 + X_3 \quad (2.10)$$

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

Puazeyl formulasiga ko'ndalang kesimlar turlicha bo'lgan trubalar uchun ham o'rinli 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:

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



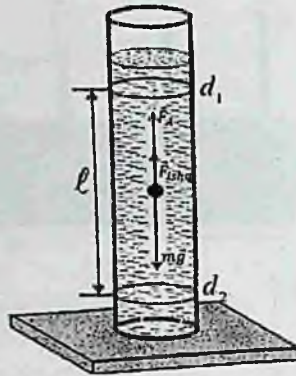
2.5-rasm. Ko'ndalang kesimlari turlicha bo'lgan trubalar uchun gidravlik qarshilikni topish

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  $l$  ga 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 harakatlani-shidagina emas, balki jismlarning suyuqlik ichidagi harakatida ham yuz beradi. Nyuton qonuniga asosan uncha katta bo'lmagan tezliklarda qarshilik kuchi suyuqlik qovushqoqligiga, 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.





2.6-rasm. Sharchaning qovushoq muhitda tushishi

Jismning eng oddiy shakli sferadir. Sferik jism (sharcha) uchun uning suyuqlik 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 yerda  $r$  – sharchaning radiusi;  $v$  – harakat tezligi. Bu 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):

a) **Og'irlik kuchi**  $mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ ;

b) **Siqib chiqaruvchi kuch**  $F_A$  (Arximed kuchi)  $F_A = m_{sh}g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g$ , bu yerda  $m_{sh}$  shar siqib chiqargan suyuqlikning massasi,  $\rho_s$  – suyuqlikning zichligi;

d) **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. 2.6-rasmda tasvirlangan kuchlar ta'sirida jism tekis harakat qiladi:

$$m\vec{g} + \vec{F}_A + \vec{F}_{tshq} = 0$$

yoki kuchlar ifodalarini 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 yerda  $v_0$  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  $\eta = 0,000175$  P ga teng ekanligi kelib chiqadi.

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 0,2-0,0003 sm/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.

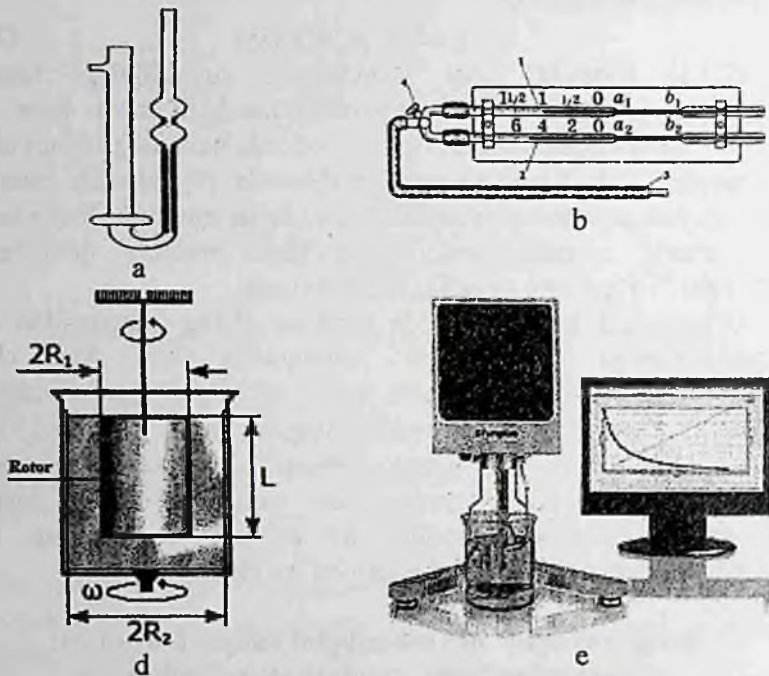
#### 2.4-§. Suyuqlik qovushoqligini aniqlash usullari: qonqovushoqligini aniqlashning klinik usuli

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

Viskozimetriyaning birmuncha keng tarqalgan usullarini ko'rib chiqamiz. Puazeyl qonuni formulasiga asoslangan kapillyar usul 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 ko'rsatilgan.

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

suyuqliklar o'lchanadi. Sharchaning suyuqlikda tushish usuli Stoks qonuniga asoslangan viskozimetrlarda qo'llaniladi.



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

(2.15) formuladan qovushoqlikni topamiz:

$$\eta = \frac{2(\rho_{sh} - \rho_s)r^2g}{9v_0}$$

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  $6 \cdot 10^4 - 250 \text{ Pa} \cdot \text{s}$  chegarasi 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-d-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'lchanadi.

Rotatsion viskozimetrlar yordamida suyuqliklarning  $1-10^5$  Pa·s oralig'lardagi qovushoqligi o'lchanadi, ya'ni surkov moylarining, eritilgan silikatlar va metallarning, katta qovushoqli lak va yelimlarning, loy-tuproqli qorishmalar va hokazolarning 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-rasmida 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'lsa-da, lekin taqribiy ravishda Puazeyl formulasi (2.8) ni qo'llab quyidagi ko'rinishli proportsiyani yozamiz:

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

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

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

bu yerda 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;  $\eta_q$  va  $\eta_s$  mos holda qon va suvning qovushqoqligi. 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-va 2-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 Pa·s gacha o'zgarib turib, eritrotsitlarning cho'kish tezligiga 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

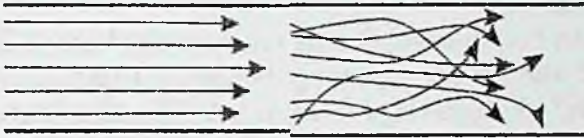
Suyuqliklarning yuqorida ko'rib o'tilgan oqimi qatlamli yoki laminar oqimdir. Qovushoq suyuqlikning oqish tezligi oshirilsa, truba ko'ndalang kesimi yuzi bo'yicha bosim turlicha bo'lgani sababli uyurma hosil bo'la boshlaydi, bunda oqim uyurmali yoki turbulent bo'lib qoladi. Turbulent oqimda zarrachalar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

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

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

bu yerda  $\rho_s$  – 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 Reynolds sonini quyidagi ko'rinishda ifodalash mumkin:

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

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

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 2 mm bo'lgan trubada suvning oqish tezligi 127 sm/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 50 sm/s bo'lgandayoq turbulent



oqim yuz berishi lozim edi, lekin amalda 2 sm 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, molekular 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 molekularning issiqlik harakati bilan bog'liqdir. Gazlarda molekular juda kichik kesma oralig'idagina to'g'ri chiziqli, qolgan paytda esa tartibsiz harakatda bo'lib, ularning joylashishlarida esa qat'iy 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 molekulari qattiq jism molekulari kabi muvozanat vaziyati atrofida tebranadi, ammo bu muvozanat vaziyati doimiy bo'lmaydi. Biror "o'troq yashash vaqti" deb atalgan vaqt o'tganidan 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.

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

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

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

Molekularning "o'troq yashash vaqti"  $\tau_0$  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 molekularni 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 yerda  $\tau_0$  – molekular muvozanat vaziyatlari atrofida o‘rtacha tebranishlari davri.

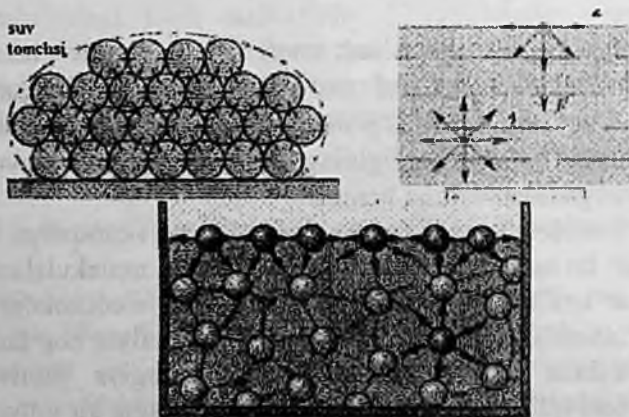
O‘rtacha ko‘chish masofasi  $\delta$  va o‘rtacha vaqt  $\tau$  ni bilgan holda molekularning suyuqlikdagi o‘rtacha harakat tezliklarini aniqlash mumkin:

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

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.



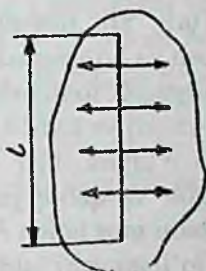
2.9-rasm. Molekulararo paydo bo‘lgan o‘zaro ta‘sir kuchi



Suyuqlik ichida joylashgan har bir molekula atrofini 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 joylashgan molekulaga uni o'rab olgan muhit bir jinsli bo'lmagani 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.



*2.10-rasm Sirt taranglik kuchini hosil holishi*

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:

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

Maktab fizika kursidan ma'lumki, ikkala (2.21) va (2.22) ta'riflar aynan bir xildir. Ba'zi suyuqliklar sirt tarangligining  $20^{\circ}\text{C}$  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

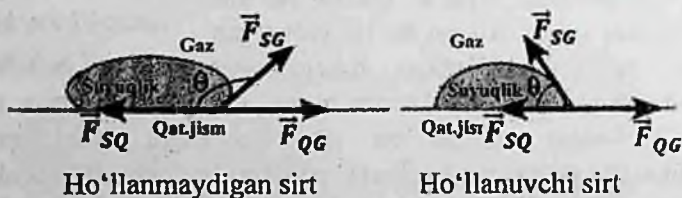
| Suyuqlikturi  | $\sigma, \text{H/m}$ | Suyuqlikturi | $\sigma, \text{H/m}$ |
|---------------|----------------------|--------------|----------------------|
| Suv           | 0,0725               | Simob        | 0,47                 |
| O't suyuqligi | 0,048                | Spirt        | 0,022                |
| Sut           | 0,05                 | Qon zardobi  | 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. Har ikki muhitning ajralib turish chegarasi (gaz, suyuqlik va qattiq jism)da sirt taranglik kuchlari ta'sir etadi. Bu kuchlarni mos holda  $F_{SQ}$ ,  $F_{QG}$ ,  $F_{SG}$  bilan belgilaymiz.

Ho'llanuvchi sirt bilan suyuqlik sirtiga o'tkazilgan urinma orasidagi  $\theta$  burchak chegaraviy (chetki) burchak deyiladi.



2.11-rasm. Suyuqlik tomchisining qattiq jism bilan ta'sirlashuvi

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

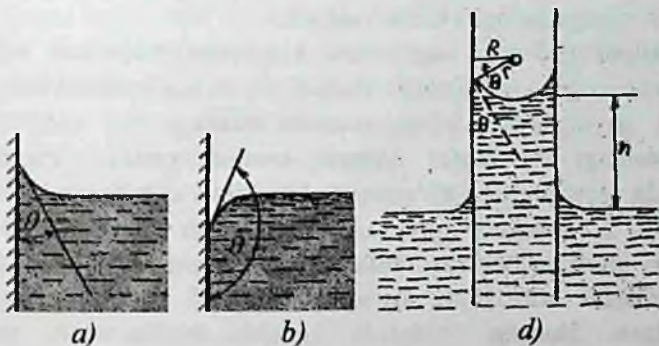
$$\cos \theta = (F_{SQ} - F_{QG}) / F_{SG} \quad (2.23)$$

Agar  $F_{SQ} > F_{QG}$  bo'lsa (2.11-rasm), ya'ni suyuqlik va qattiq jism molekulalari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari qattiq jism va gaz molekulalarining 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  $F_{SQ} > F_{QG}$  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'ta olmaydi.  $F_{SQ} - F_{QG} = F_{SG}$  bo'lganda molekullararo 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 qoplagunicha yoki monomolekulyar qatlam hosil qilgunicha 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.

Sirt taranglik kuchlari ta'sirida suyuqlik sirti egrilangan bo'lib, bu sirt tashqi bosimga nisbatan yana qo'shimcha  $\Delta P$  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:

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



2.12-rasm. Ho'llash va ho'llamaslikda meniskning hosil bo'lishi:  
 a) botiq menisk, qavariq menisk, d) ho'llovchi suyuqlikka botirilgan kapillar nayda suyuqlikning ko'tralishi



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 (2.12-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  $\rho gh$  qo'shimcha bosim  $\Delta p$  bilan muvozanatlashganda yuz beradi.

2.12-rasmdan  $r=R/\cos\theta$  ekani ko'rinish turibdi, bu erda  $R$  kapilyar 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 kapilyar bo'ylab ko'tarilish balandligi

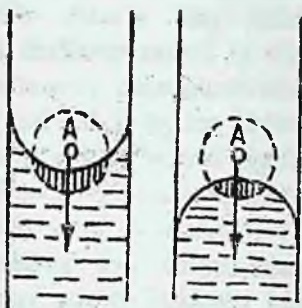
$$h = 2\sigma \cos\theta / (\rho g R) \quad (2.26)$$

bo'lib, suyuqlikning xossalriga, kapilyarning qanday moddadan yasalganiga va kapilyarning radiusiga bog'liq.

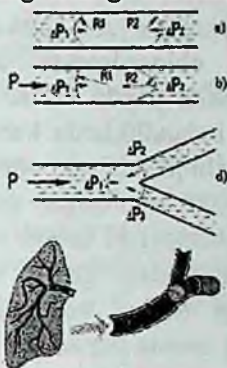
Agar suyuqlik kapilyar devorini ho'llamasa  $\cos\theta < 0$  va (2.26) formula suyuqlikning kapilyarda idishdagi suyuqlik sirtiga nisbatan qanchalik pastga tushganini ko'rsatadi.

Kapilyar hodisalar bug'larning kondensatsiyalanishi, suyuqliklarning qaynashi, kristallanish sharoitlari va hokazolarni belgilaydi. Masalan, suyuqlikning botiq meniski ustidagi bug' molekulasiga (2.13-rasmdagi A nuqta) qabariq menisk ustidagi molekulaga qaraganda suyuqlikning ko'proq molekullari katta kuch bilan ta'sir ko'rsatadi. 2.13-rasmda molekullarning ta'sir qilish sferasi shartli ravishda punktir chiziq bilan, molekullari tanlangan bug' molekullarini tortuvchi suyuqlik hajmlari shtrix chiziq bilan ko'rsatilgan. Buning oqibatida ingichka ho'llanuvchi naylarda nisbatan kichik namliklarda ham kapilyar kondensatsiya yuz beradi. Shu tufayli g'ovak moddalar bug' tarkibidagi deyarli ko'p miqdordagi suvni ushlab qoladi, bu esa zax uylarda kiyimlarning, paxtaning namlanishiga olib keladi, gigroskopik jismlarning esa qurishini 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.



2.13-rasm. Botiq va qavariq menisklar



2.14-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 (2.14-a. rasm). Agar pufakchaga tomonlardan biri ortiqroq bosim bilan ta'sir etsa, masalan, suyuqlik harakatida menisklar deformatsiyalanadi va ularning egrilik radiuslari o'zgaradi (2.14-b. rasm), havo pufakchasining turli tomonidagi qo'shimcha  $\Delta P$  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 (2.14-d. rasm).

Qonga kirib qolgan havo pufakchalari kichik qon tomirlarini to'sib qolishi va birorta organning qon bilan ta'minlanishidan mahrum etishi mumkin. Gaz emboliyasi deb ataladigan bu hodisa natijada jiddiy funksional shikastlanishga, hatto o'limga olib kelishi mumkin. Gaz emboliyasi yirik venalar jarohatlanganida hosil bo'lishi mumkin; bunda qon oqimiga kirib qolgan havo pufakchasi qonning harakatlanishiga to'sqinlik qiladi. Vena tomirlari ichiga

turli xil dorivorlar quyishda havo pufakchalari kirib qolmasligi lozim.

G'avvoslar juda katta chuqurlikdagi suv ostidan tezlik bilan suv sathiga chiqarilganda ularning qonidan gaz ajralib chiqib, pufakchalar paydo bo'lishi, uchuvchilarda va kosmonavtlarda juda yuqori balandliklarda kabinalari va skafandralarining germetikligi ishdan chiqishida gaz emboliyasi yuz berishi mumkin. Bu hol qon tarkibidagi suyultirgan 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.



### III BOB. GEMODINAMIKA.

#### YURAK FAOLIYATINING FIZIKAVIY ASOSLARI

Biomexanikaning 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 fizik asoslari 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:

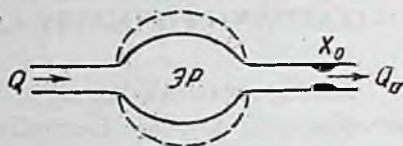
$$V=V_0+kP \quad (3.1)$$

bu yerda  $k$  – rezervuarining elastikligi (hajmi bilan bosim orasidagi proporsionallik koeffitsiyenti);  $V_0$  – rezervuarining bosim bo'lmagandagi ( $p=0$ ) hajmi. (3.1) ni differensiallab, 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 rezervuardan, chetki qismlarga (arteriolalar, kapillyarlarga)  $Q_0$  hajmiy tezlik bilan oqib chiqadi. Faraz qilaylik, chetki sistemalarning gidravlik

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



**3.1-rasm.** Qon aylanish sistemasining elastik rezervuar kabi modellashtirilishi

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 yerda  $p$  – 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,

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

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

ni hosil qilamiz va (3.6) ni integrallaymiz. Integrallash chegarasi vaqt bo'yicha pulsning davri (yurakning qisqarish davri) ga mos

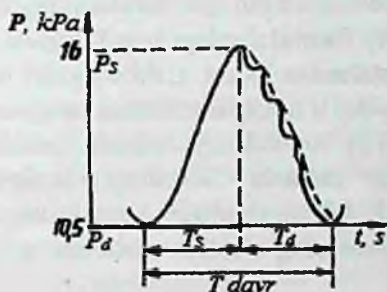
bo'lib, 0 dan toki  $T_d$  gacha bo'ladi. Ushbu vaqtinchalik chegaralarga bir xil bosimlar mos keladi eng kichik diastolik bosim  $P_d$ :

$$\int_0^{T_p} Q dt = k \int_{R_0}^{R_p} dp = \frac{1}{X_0} \int_0^{T_p} p dt \quad (3.7)$$

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

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

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.



3.2-rasm. Uyqu arteriyasidagi bosimning vaqtga bog'liq holda o'zgarishi

(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:

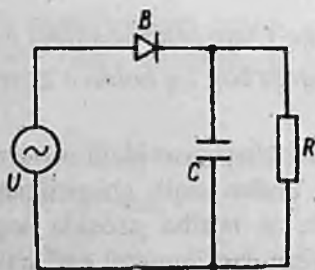
$$p = p_s e^{-t/(kX_0)} \quad (3.10)$$

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 rezervardan oqib chiqayotgan qon harakatining hajmiy tezligi.

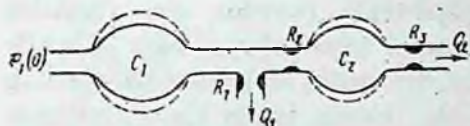
(3.10) va (3.11) formulardagi bog'lanishlarni ifodalovchi egri chiziqlar eksponentialardan iborat. Ushbu model real hodisani qo'pol darajada tavsiflasa-da, u diastola oxiridan jarayonni haddan tashqari sodda va ishonchli ko'rinishda aks ettiradi. Lekin shu bilan birga bu model yordamida diastola boshidagi 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).



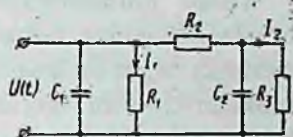
3.3-rasm. Qon aylanish sistemasining elektrik modeli

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 silliqilnadi. 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.



3.4-rasm. Roston modeli



3.5-rasm. Roston modelining elektrik sxemasi

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 yo'nalgan va pastga yo'nalgan tarmoqlarini modellovchi elastik rezervuarlar turlicha elastiklikka ega bo'ladi deb taxmin qilinadi. Elastikligi turlicha bo'lgan ikkita rezervuardan va rezervuarlari orasidagi gidravlik qarshiligi har xil bo'lgan noelastik zvenolardan iborat Roston modeli 3.4-rasmda tasvirlangan. Bunday modelga 3.5-rasmda tasvirlangan elektr sxemasi mos keladi. Bu yerda tok manbai  $P(t)$  bosimning analogi bo'lgan pulsatsiyalovchi  $U(t)$  kuchlanishni uzatadi:  $C_1$  va  $C_2$  sig'imlar  $k_1$  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 differensial tenglamalar sistemasi yordamida tavsiflanadi, ularning yechimini esa birinchi va ikkinchi kameralarga mos keluvchi ikkita egri chiziq beradi.

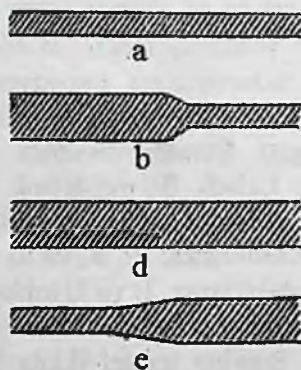
Ikki kamerali model tomirlarda yuz beradigan jarayonlarda oqimni yaxshiroq tavsiflab beradi, lekin u diastolalar boshidagi bosim o'zgarishlarini (tebranishlarini) tushuntirmaydi.

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

### 3.2-§. Puls (tomir urishi) to'liqini

Yurak muskullarining qisqarishida (sistola) qon yurakdan aortaga va undan tarqalib ketuvchi arteriyalarga siqib chiqarila boshlaydi. Agar bu tomirlar devorlari qattiq bo'lganda edi, qonning yurakdan chiqishi vaqtida vujudga kelgan bosim tovush tezligida chekkadagi qismlarga uzatilgan bo'lar edi. Qon tomirlarining elastikligi shunga olib keladi-ki, sistola vaqtida yurak itarib chiqarayotgan qon aorta, arteriya va arteriolalarni cho'zadi, bunda katta qon tomirlari sistola vaqtida markazdan chetdagi qismlarga oqib boradigan qonga nisbatan ko'p qonni qabul qiladi. Odamning sistolik bosimi normada taxminan 16 kPa ga teng. Yurakning bo'shashishi (diastola) vaqtida cho'zilgan qon tomirlari pasayadi (bo'shashadi) va yurakning qon orqali ularga uzatgan potensial 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'liqiga puls to'liqini deyiladi.

Puls to'liqini 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'liqini fronti qo'l va oyoqlarning oxirgi nuqtalariga aortada bosimning

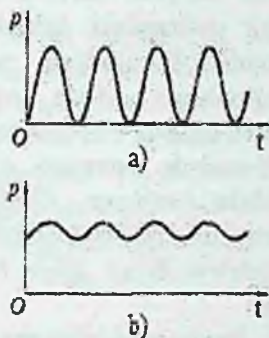


3.6-rasm Arteriyaning yon tomonidan sxematik ko'rinishi



pasayishidan oldin yetib boradi. Arteriyaning yon tomonidan sxematik ko'rinishi 3.6-rasmda ko'rsatidgan: a — puls to'liqini o'tgandan so'ng, b — arteriya orqali puls to'liqinining o'tish payti, d — arteriyada puls to'liqini mavjudligi, e — ko'tarilgan bosimning pasaya boshlashi.

Katta arteriyalardagi puls to'liqiniga qon oqishining pulsa-siyalangan tezligi mos keladi, ammo qonning tezligi (eng katta qiymati 0,3-0,5 m/s) puls to'liqini tarqalish tezligidan sezilarli darajada kichikdir.



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

layotgan bo'lsin. Qonning qovushoqligi va qon tomirining elastiklik va yopishqoqlik xossasi to'liqin amplitudasini kamaytiradi. Ya'ni so'nish eksponentsial ko'rinishda bo'ladi deb hisoblash mumkin. Bunga asoslangan holda pulsli garmonik to'liqin uchun quyidagi tenglamani yozish mumkin:

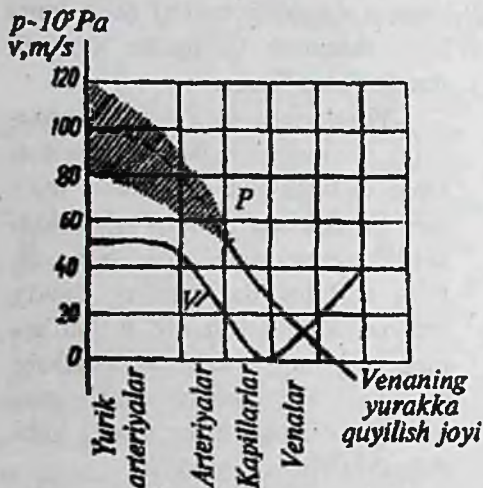
$$p = p_0 e^{-\chi x} \cos \omega(t - \frac{x}{v}) \quad (3.12)$$

bu yerda  $p_0$  — puls to'liqinidagi bosim amplitudasi,  $x$  — tebranish manбайдan (yurakdan) ixtiyoriy olingan nuqtagacha bo'lgan masofa,  $t$  — vaqt,  $\omega$  — tebranishlar siklik chastotasi;  $\chi$  — to'liqinning so'nishini aniqlovchi biror o'zgarmas kattalik. Pulsli to'liqin uzunligini quyidagi formula yordamida topish mumkin:

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

Bosim to'liqini 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:

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



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

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 yerda  $E$  — elastiklik moduli;  $\rho$  — qon tomiri moddasining zichligi;  $h$  — qon tomiri devorining qalinligi;  $d$  — qon tomiri diametri.

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

(3.14) dan ko'rinib turibdiki, qon siljigani sari ( $x$  ortib borgani sari) bosimning tebranishi tekislanib boradi. Bosimning yurak yaqinidagi aortada (a) va arteriolalarda (b) tebranishi 3.7-rasmda sxematik ko'rinishda berilgan. Grafiklar garmonik pulsli to'liqning 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

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

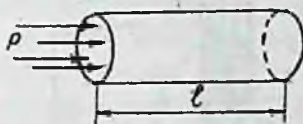
Odamda yosh ulg'ayishi bilan qon tomirlarining elastiklik moduli ham ortib boradi, shu sababli (3.16) dan ko'rinib turibdiki, elastiklik moduli ortsa, puls to'liqining tezligi ham katta bo'ladi.

### 3.3 §. Yurakning ishi va quvvati. Sun'iy qon aylanish apparati (SQAA)

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

Chap qorinchaning bir marta qisqarishida bajariladigan ishni hisoblaylik. Qonning zarb hajmi  $V_z$  ni silindr 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

$$A_1 = F \cdot l = P \cdot S \cdot l = P \cdot V_z$$



3.9-rasm. Qonning zarb hajmini silindri ko'rinishi

Bu hajmdagi qonga kinetik energiya berish uchun

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

ish bajarilgan, bu yerda  $\rho$  – qonning zichligi;  $v$  – qonning aortadagi tezligi. Shunday qilib, chap qorinchaning bir marta qisqarishida bajarilgan ish

$$A_{ch} = A_1 + A_2 = PV_z + \frac{\rho V_z v^2}{2}$$

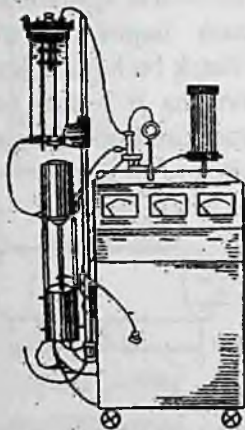


O'ng qorinchaning bajargan ishi "chap qorincha" bajargan ishning 0,2 qismiga teng deb qabul qilinishi tufayli, yurakning bir marta qisqarishida bajargan to'la ishi

$$A = A_{ch} + 0,2A_{ch} = 1,2 \left( PV_z + \frac{\rho V_z v^2}{2} \right) \quad (3.17)$$

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

(3.17) formulaga  $P=13 \text{ kPa}$ ,  $V_z = 60 \text{ ml} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$ ,  $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$ ,  $v=0,5 \text{ m/s}$  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 sistemasi) bilan sun'iy o'pka

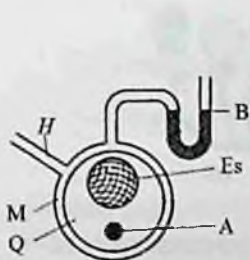
(oksigenerator — qonni kislorod bilan boyitilishini ta'minlovchi sistema) birikmasidan iborat.

### 3.4-§. Klinikada qon bosimini o'lchashning fizik asoslari

Fizik parameter 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  $Q$ , yelka suyagi  $Es$  va yelka arteriyasi  $A$  ning kesimlari 3.11-a — 3.13-a rasmda ko'rsatilgan. H shlang orqali manjetaga havo yuborilganda manjeta qo'lga siqadi. So'ngra shu shlang orqali havo sekin-asta chiqarila boshlaydi va  $B$  manometr yordamida manjetadagi bosim o'lchanadi. Boshida atmosfera bosimiga nisbatan manjetadagi havoning bosimi nolga teng (3.11-rasm), manjeta qo'lga va arteriyani siqadi. Manjetaga ma'lum bir o'lchovda havo damlangani sari manjeta yelka arteriyasini siqa boshlaydi va qonning oqishi to'xtaydi (3.11-3.12-rasmlar).

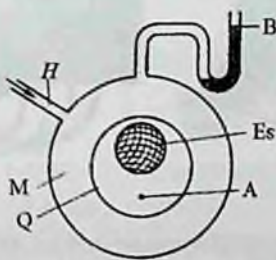


a)



b)

3.11-rasm

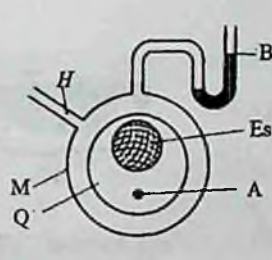


a)



b)

3.12-rasm



a)



b)

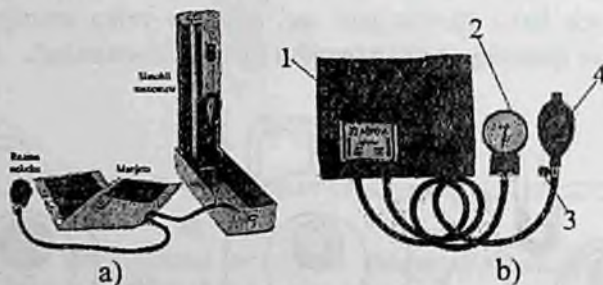
3.13-rasm

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'ri- layotgan 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 ma- nometri bo'lgan sfigmomanometr; bu yerda 1-manjeta, 2- manometer, 3-vint, 4-manjetaga havoni haydovchi rezina nok.



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

### 3.5-§. Qon oqimi tezligini aniqlash

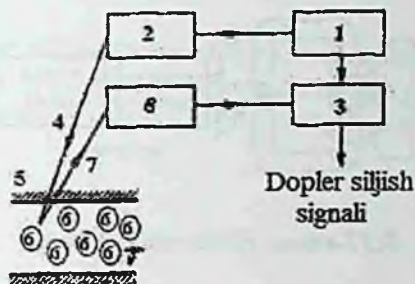
Qon oqimi tezligini aniqlashning bir necha usuli mavjud bo'lib, shulardan ikki turining fizik asoslarini ko'rib o'taylik.

**Ultratovush usuli (ultratovushli rasxodometriya).** 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 Doplarning chastotalar bo'yicha siljishi elektr tebranishlari ko'rinishida ajralib chiqadi:

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

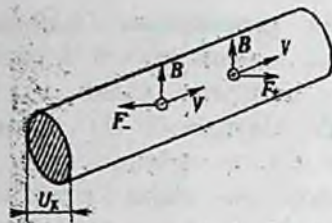


3.15-rasm. Qon oqish tezligini ultratovushli rasxodometriya usuli

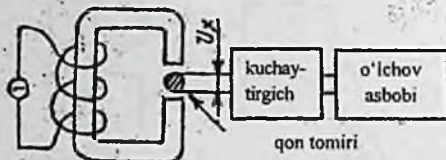
Quyidagi formuladan eritrotsitlarning tezligini aniqlash mumkin:

$$\nu_0 = \frac{g}{2} \cdot \frac{\nu_d}{\nu_g} \quad (3.18)$$

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 Doplarning siljishi bitta chastota ko'rinishida bo'lmay, biror chastotalar oralig'ida bo'ladi. Shunday qilib, Dopler effekti qon oqimining faqat o'rtacha tezligini emas, balki qonning turli xil qatlamlari tezligini ham aniqlashga imkon beradi.



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 iborat-ki, 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 induksiyasi  $B$  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 aytiladi.

$U_x$  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  $U_x$  kuchlanishini yuzaga keltiradi, so'ngra u kuchaytiriladi va o'lchanadi.



## **IV-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 birinchi qonuni. Izojarayonlarning 1-qonunda qo'llanilishi**

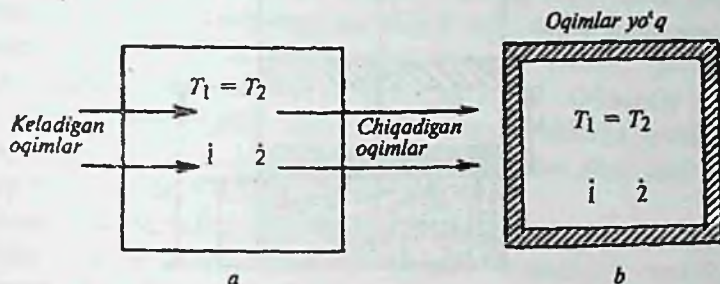
Termodinamik sistemaning holati parametrlar (hajm, bosim, harorat, zichlik va hokazo) deb atalgan fizik kattaliklar bilan xarakterlanadi.

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 muzlatgichi ichki qismining juda qisqa vaqt oralig'idagi 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 molekular konsentratsiyasi va hokazo. Shunday qilib, sistemada ayrim parametrlarning gradiyenti

doimiy tutib turiladi, shu sababli kimyoviy reaksiyalar o'zgarmas 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) izolyatsiyalangan sistemaning muvozanat holati

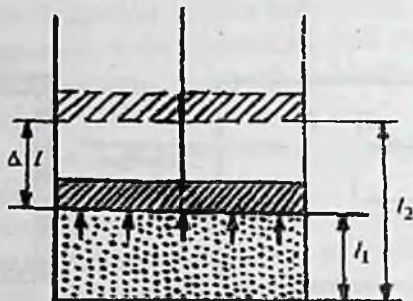
O'z atrofini o'rab turgan jismlar bilan na energiya yoki na modda almashinuvida ishtirok etmaydigan termodinamik sistema izolyatsiyalangan sistema deyiladi. Izolyatsiyalangan sistema vaqt o'tishi bilan termodinamik muvozanat holatiga qaytib keladi. Bu holatda ham, statsionar holatdagi kabi, sistema parametrlari vaqt o'tishi bilan o'zgarmas 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 izolyatsiyalangan holatda bo'lmaydi. Izolyatsiyalangan sistemani biror qulay termodinamik model deb qarash mumkin.

Bunday izolyatsiyalangan 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  $F = p \cdot S$  ga teng kuch ta'sir qiladi. Bu kuchning yo'nalishi porshenning ko'chish yo'nalishi bilan bir xil bo'lgani sababli gaz bajargan ish:

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

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

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

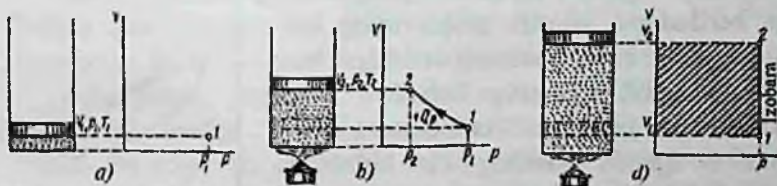
ko'rinishiga ega bo'ladi. Bu termodinamikaning birinchi qonunining matematik ko'rinishidir. Uning ta'rifi quyidagicha ifodalanadi:

*Jismga beriladigan issiqlik miqdori uning ichki energiyasini orttirishga 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.

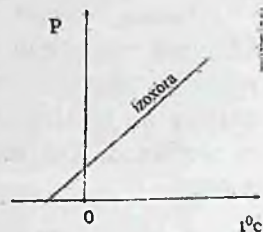
Termodinamikaning birinchi qonuni birinchi tur abadiy dvigatel (lotincha «perpetuum mobile») yasash mumkin emasligini ko'rsatadi. Birinchi tur «perpetuum mobile» asosan teng miqdorda energiya sarflamasdan ish bajara oladigan mashina kurish haqida fikr yuritiladi. Energiyaning saqlanish va aylanish qonuni 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.

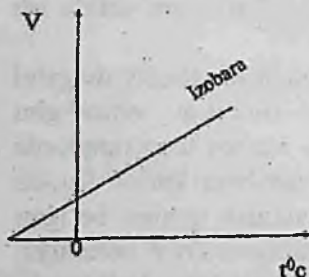


4.3 rasm. Izajarayonlar a) izoxorik jarayon b) izotermik jarayon d) izobarik jarayon

**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.*



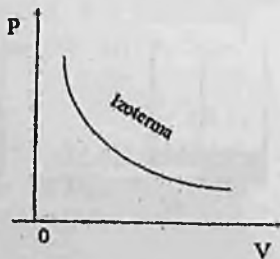
**Izobarik jarayon.** Bosim o'zgarmas bo'lganda gazning bir holatdan boshqa holatga o'tish jarayoni *izobarik jarayon* deyiladi. Izobarik jarayonni amalga oshirish uchun porshenli silindrga gaz qamaymiz. Porshen silindr ichida erkin harakatlana oladi.

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  $\Delta h$  balandlikka ko'tarishga sarflanadi:

$$Q_p = \Delta U + A_p$$

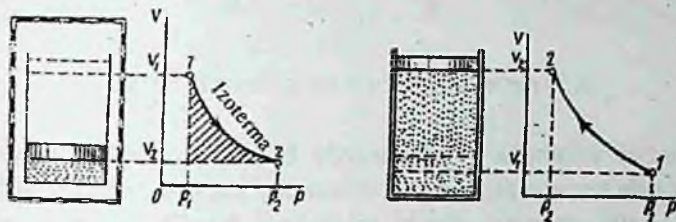
Shunday qilib, izobarik jarayonda gazga beriladigan issiqlik miqdorining bir qismi gaz ichki energiyasining ortishiga, bir qismi gazning ish bajarishiga ketadi.

**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:



4.4- rasm. Izotermik jarayon

Izotermik kengayishda gaz bajargan ish  $pV$  diagrammada izoterma bilan chegaralangan shtrixlangan shaklning yuzi bilan tasvirlanadi (4.4-rasm).

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

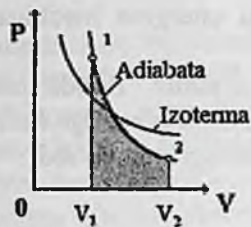
Sunday jarayonni amalga oshirish uchun gazni adiabatik idishga, ya'ni o'zi orqali issiqlik oqimi o'tkazmaydigan idishga kiritish lozim. Termodinamikaning birinchi qonuniga ko'ra adiabatik jarayonda:

$$A = -\Delta U$$

Adiabatik silindrga kiritilgan gaz kengayadi, deb faraz qilaylik. Bunda gaz sistemaning ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi. Binobarin, bu holda gazning temperaturasi pasayadi.

4.5-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.





4.5- rasm. Adiabatik va izotermik kengayish

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

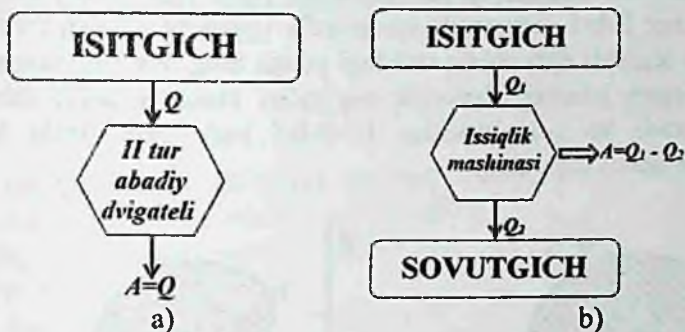
Energiyaning saqlanish qonuni hisoblangan termodinamikaning birinchi qonuni jarayonlarning borishi mumkin bo'lgan yo'nalishlarni ko'rsatmaydi. Masalan, termodinamikaning birinchi qonuniga binoan issiqlik almashinishida issiqlikning issiqroq jismdan sovuq jismga o'z-o'zidan o'tishi mumkin bo'lganidek, 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 isimaydi. 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.

Termodinamikanning 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, sovitgichga uzatiladi. Termodinamikanning ikkinchi asosiga muvofiq 4.6- 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

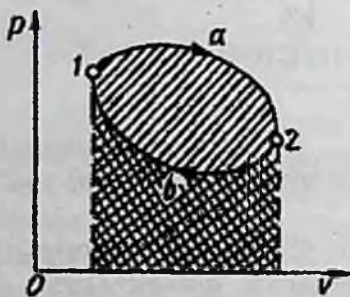
Termodinamikaning ikkinchi asosini (qonunini) miqdoriy ifodalashga imkon beruvchi ayrim termodinamik tushunchalarni ko'rib chiqamiz.

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.

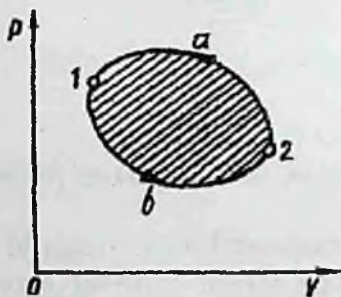
Qaytuvchan jarayon fizik abstraksiya hisoblanadi. Hech bo'lmasa atrofidagi jismlarning isishiga sabab bo'lgan ishqalanish kuchlari mavjud bo'lsa-da, hamma real jarayonlar qaytmasdir. Qaytmas jarayonlarning xarakterli misollari: gazning bo'shliqqa kengayishi, diffuziya, issiqlik almashinishi va hokazo. 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. 4.7- 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 (sovitgichga) uzatadigan qandaydir bir qurilmaga mos keladi (4.6 b-rasm). Bu siklda ishchi modda (gaz) musbat ish bajaradi (4.7- 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.



4.7-rasm. To'g'ri sikl  
(qaytar jarayon)



4.8- rasm. Teskari sikl  
(qaytmas jarayon)

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 (4.8- 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.



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 bajargan 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:

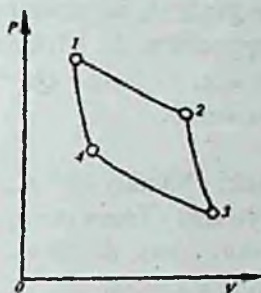
$$A = Q_1 + Q_2$$

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 (4.9-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.



4.9-rasm. Karno sikli

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

Karno 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:

$$1 + \frac{Q_2}{Q_1} \leq 1 - \frac{T_2}{T_1}, \quad \frac{Q_1}{T_1} + \frac{Q_2}{T_2} \leq 0$$

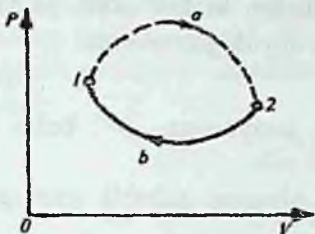
Ishchi modda tomonidan olingan yoki berilgan issiqlik miqdorining issiqlik almashinish jarayonidagi temperaturaga nisbati keltirilgan issiqlik miqdori deyiladi.

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 Karno sikli bo'yicha o'zgarmasdan, boshqa biror ixtiyoriy sikl bo'yicha o'zgarsa, u holda uni yetarlicha juda kichik Karno 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 ifodalanaadi.



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 bog‘liq bo‘lmagan fizik xarakteristikalar, odatda sistemaning vaziyatiga yoki boshlang‘ich va oxirgi holatiga mos keluvchi biror funksiya ikki qiymatining ayirmasi kabi ifodalanaadi. 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



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

Shunday qilib, qaytmas jarayonda keltirilgan issiqlik miqdori-ning 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 izolyatsiyalangan sistemada yuz berayotgan bo'lsa ( $dQ=0$ ), u holda [qarang (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 izolyatsiyalangan sistemani tashkil etuvchi ikki jism orasida issiqlik almashinuvi misolida ko'rsatish mumkin. Agar uncha ko'p bo'lmagan issiqlik miqdori  $dQ$  birinchi jismdan ikkinchi jisimga

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'zgarmaydi 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, izolyatsiyalangan 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, izolyatsiyalangan sistemada entropiyaning kamayishiga olib keladigan jarayonlar o'tishi mumkin emas (termodinamikaning ikkinchi asosi).

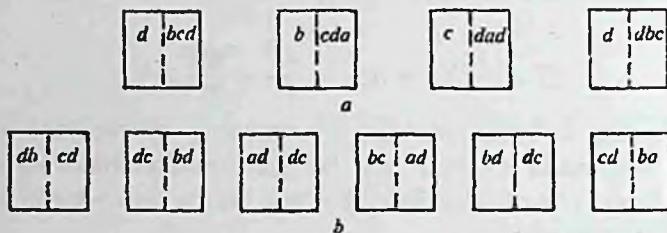
Izolyatsiyalangan sistemada entropiyaning ortib borishi cheksiz yuz bermaydi.

Yuqorida ko'rib o'tilgan misolda vaqt o'tishi bilan jismlarning harorati tenglashadi, ular orasida issiqlik almashinishi to'xtaydi va muvozanatli holat yuzaga keladi (qarang 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 molekularining 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 molekularning 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 orqali amalga 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'rinib turibdiki, zarrachalarning kataklar bo'ylab teng miqdorda (ikkita) taqsimlanishiga eng katta termodinamik ehtimollik mos keladi. Ikkinchi tomondan, zarrachalarning teng miqdorda taqsimlanishi eng katta entropiyali muvozanatli holatga javob beradi. Ehtimollik nazariyasidan ma'lumki, o'z-o'ziga qo'yib berilgan sistema, eng ko'p miqdordagi usullar, eng ko'p miqdordagi mikroholatlar bilan amalga oshiriluvchi makroholatga, ya'ni eng katta termodinamik holatga o'tishga intiladi.



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

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

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

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 mumkin bo'lgan yo'nalishini ko'rsatadi. Termodinamikaning ikkinchi asosi birinchi asosini aytarli darajada to'ldirgani kabi, entropiya ham energiya tushunchasini to'ldiradi.

### 4.3-§. Statsionar holat.

#### Entropiya hosil qilishning minimum prinsipi

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

Bunday cheklanishlar, termodinamik jarayonlarning izolyatsiyalangan 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, sistema entropiyasi o'zgarishsiz qoladi. Bu qarama-qarshilikni qanday tushunsa boiadi?

Sistema entropiyasi o'zgarishi  $\Delta S$  ni ikkita qo'shiluvchi ko'rinishida ifodalaymiz:

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

bu yerda  $\Delta S_i$  — sistemadagi qaytmas jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan entropiyaning o'zgarishi;  $\Delta S_e$  — 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 ( $dS_i/dt > 0$  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'zgaraydigan tashqi muhit sharoitlari uchun to'g'ri.

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 hokazolarni misol qilib olish mumkin.

#### 4.4-§. Tirik sistemalar termodinamikasi

Termodinamikaning dastlabki taraqqiyoti sanoat ishlab chiqarishi talablarini qondirish 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 Mayer ishidir. U tropik iqlim sharoitida ishlovchi matroslarning vena qoni rangiga qarab energiyani saqlanish qonunini (termodinamikaning birinchi qonuni) qo'llash maqsadga muvofiqligini ta'riflab berdi.

Hayvonlar yashashi uchun ozuqaga muxtoj, shuning uchun ular energiyaga ham muhtoj, chunki ular energiyani sarflaydi. «sarflaydi» deyish juda ham to'g'ri emas. Termodinamikaning 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 molekullarining 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. Bilamiz-ki, bu taxmin noto'g'ri. Energiyaga muhtojlik termodinamikaning ikkinchi qonuniga ko'ra amalga oshiriladi.

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.

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 izolyatsiyalangan sistemalardagi kabi ortib boradi, ammo bunda organizmning entropiyasi o'zgarimas saqlanib qoladi. Entropiya sistema tartibsizligining o'lchovidir, shu sababli organizmning tartiblili atrof muhit tartiblili 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 bog'liq.

Masalan, saraton 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 ( $S = \text{const}$ ,  $dS/dt = 0$ )

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \quad (4.13)$$

ko'rinishida yozish mumkin.

(4.13) 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,  $[-dS_i/dt]$  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 diffusion 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 rivojlanadi-ki, 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 quvvatlab 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 kela olmadi.

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. Hayot uchun zarur metabolik jarayonlar: hujayra bo'linishi, ferment reaksiyasi temperaturaga bog'liq. Harorat 10 darajaga oshganda reaksiyalar 2 marta tezlashadi.

Suv – tirik organizmlarning muhim tarkibiy qismi bo'lgani uchun, unda kechadigan metabolik jarayonlar nisbatan qisqa temperaturalar oralig'ida ro'y beradi ( $2^{\circ}\text{C}$  dan  $120^{\circ}\text{C}$  gacha). Faqat eng oddiy tuzilgan organizmlar ushbu diapozon chegaralarida yashay oladi. Katta mashtabdagi hayot tizimlari yanada tor diapozondagi temperaturalarda chegaralangan.

Ko'pchilik hayot tizimlari, o'simliklar va hayvonlar faoliyati temperaturaning mavsumiy o'zgarishlariga bog'liq. Reptiliyalarda sovuq sharoitda hayotiy jarayonlar deyarli batomom to'xtaydi. Issiq quyoshli kunda ular tana temperaturasini pasaytirish uchun soya joy qidiradilar. Har bir hayvonda metabolik jarayonlar amalga oshishi uchun optimal daraja bor. Issiq qonli hayvonlar (sut emizuvchilar va qushlar) ichki temperaturani deyarli doimiy darajada ushlab turish usullarini rivojlantrishgan. Natijada issiq qonli hayvonlar tashqi temperaturaning keng diapozonlarida optimal darajada faoliyat yurita oladilar. Temperaturani sozlash qo'shimcha energiya sarfini talab qilsa-da, erishilgan moslashuvchanlik shunga arziydi.

#### 4.6-§. Termometriya va kalorimetriya

Haroratni aniq o'lchash — ilmiy-tadqiqot va texnik ishlarning, 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.

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 0,01qismini 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 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:

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

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. Pirometrlaming 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 a-rasm). Uzoq vaqt kuzatiluvchi past temperaturalarni ko'rsatuvchi minimal termometrlar ham mavjud. Kichik intervaldagi haroratlar qiymatini yuqori aniqlikda o'lchash uchun metastatik termometrlardan (4.12 b-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  $5^{\circ}$  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 (konveksiya) 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 sovituvchi muhit sifatida muz ishlatiladi.

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

Davolash maqsadida a'zolarining bir joyini yoki qismini kesib olib boshqa joyga o'rnatish va 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 asboblari 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.

## V BOB. TOVUSHNING FIZIKAVIY KARAKTERISTIKALARI. TIBBIYOTDA TOVUSHDAN FOYDALANISH

Akustika – fizikaning tovush va uning xossalarini o‘rganuvchi bo‘limi. Normada inson qulog‘i 16 Hz dan 20 kHz gacha bo‘lgan chastotalar diapazonidagi tovushlarni eshitadi. Yosh o‘tishi bilan bu diapazonining yuqori chegarasi kamayadi.

Chastotasi 16-20 Hz dan past tovushlar infratovush, chastotasi 20 kHz dan yuqori tovushlar ul‘tratovush,  $10^9$ - $10^{12}$  Hz tovushlar gipertovush deb ataladi.

Tabiatda uchraydigan tovushlar birnecha xil bo‘ladi:

*Ton* – davriy jarayondagi tovushdan iborat. Tonning asosiy xarakteristikasi chastotadir. Oddiy ton garmonik qonun bo‘yicha tebranayotgan jism tomonidan chiqariladi (masalan, kamerton). Murakkab ton garmonik bo‘lmagan davriy tebranishlardan hosil bo‘ladi (masalan, musiqiy asbob tovushi, inson tovushi).

*Shovqin* – vaqt o‘tishi bilan takrorlanmaydigan va tartibsiz o‘zgaradigan murakkab tonlarning birlashishidan hosil bo‘ladigan tovush.

*Tovush zarbasi* – qisqa muddatli tovush ta’siri (chapak, portlash, momaqaldiroq).

Murakkab tonni davriy jarayon sifatida oddiy tonlarning yig‘indisi, deb qabul qilsa bo‘ladi (oddiy tonlarga ajratsa bo‘ladi). Bunday ajratish *spektr* deb ataladi.

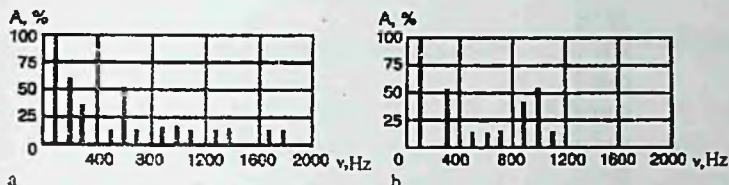
*Tonning akustik spektri* – bu uning barcha chastotalarining ularning nisbiy intensivliklari yoki amplitudalarini ko‘rsatilgan holdagi yig‘indisidir.

Spektrdagi eng kichik chastota ( $\nu$ ) asosiy tonga to‘g‘ri kelsa, qolgan chastotalar oberton yoki garmonikalar deb ataladi. Obertonlar asosiy chastotaga karrali bo‘lgan chastotalarga egadirlar:  $2\nu$ ,  $3\nu$ ,  $4\nu$ , ...

Odatda spektrning eng katta amplitudasi asosiy tonga mos keladi. Aynan u quloq tomonidan tovush balandligi sifatida qabul



qilinadi. Turli asboblardan hosil qilingan bir xil balandlikdagi tovushlar obertonlar amplitudalari nisbati turlicha bo'lgani uchun quloq tomonidan har xil qabul qilinadi. 5.1-rasmda royalda va klarnetda chalingan bir xil notaning ( $v = 100$  Hz) spektrlari ko'rsatilgan.



5.1-rasm. Royal (a) va klarnet (b) notalarining spektrlari.

### 5.1-§. vushning fizik xarakteristikalari

1. *Tezlik (v)*. Tovush vakuumdan boshqa barcha muhitlarda tarqaladi. Uning tarqalish tezligi muhit elastikligi, zichligi va temperaturasiga bog'liq bo'lib, lekin tebranishlar chastotasiga bog'liq emas.

Tovushning suvdagi tezligi 1500m/s ga teng bo'lib, bu tezlik uning organizm yumshoq to'qimalaridagi tezligiga yaqindir.

2. *Tovush bosimi*. Tovushning tarqalishi muhitdagi bosimning o'zgarishi bilan kechadi (5.2 rasm).

Aynan bosimning o'zgarishi nog'ora pardaning tebranishiga olib keladi. Bu esa, o'z navbatida eshitish sezgisi kabi murakkab jarayonning boshlanishidir.

*Tovush bosimi ( $\Delta P$ )*- bu tovush to'liqini muhitdan o'tganida sodir bo'ladigan bosim o'zgarishlarining amplitudasidir.

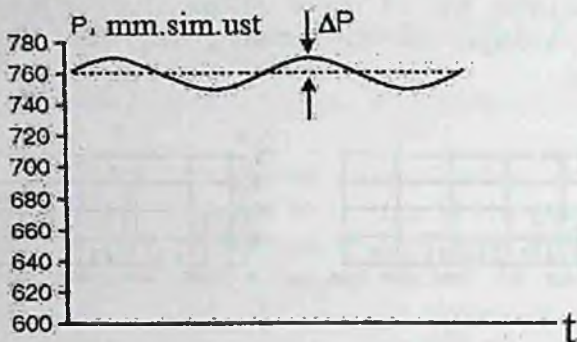
3. *Tovush intensivligi (I)*. Tovush to'liqinining tarqalishi energiya ko'chishi bilan sodir bo'ladi.

*Tovush intensivligi* – bu tovush to'liqini bilan tarqaladigan energiya oqimi zichligidir (5.1 formulaga qarang).

Bir jinsli muhitda berilgan yo'nalishda tarqalgan tovushning intensivligi tovush manbasidan uzoqlashgani sari kamaya boradi.

Intensivlik (I) va tovush bosimi ( $\Delta P$ ) orasidagi bog'lanish energiyasi quyidagi formula bilan ifodalanadi:

$$I = \Delta P^2 / 2\rho v \quad (5.1)$$



5.2-rasm. Muhitda tovush tarqalishida bosimning o'zgarishi.

bu yerda — muhit zichligi;  $v$ -undagi tovush tezligi.

Insonda tovush sezgilarini paydo qiladigan tovush bosimi va intensivligining minimal qiymatlari eshitish bo'sag'asi deb ataladi.

Inson qulog'i uchun 1k Hz chastotada eshitish bo'sag'asiga tovush bosimi va intensivligining quyidagi qiymatlari mos keladi:

$$\Delta P_0 = 3 \times 10^{-5} \text{Pa} \quad (2 \times 10^{-7} \text{mm. sim. ust.});$$

$$I_0 = 10^{-12} \text{Vt/m}^2$$

Insonda og'riq hissiyotini uyg'otadigan tovush bosimi va intensivliklari qiymatlari og'riq sezish bo'sag'asi deb ataladi.

Inson qulog'i uchun 1 kHz chastotada og'riq sezish bo'sag'asiga tovush bosimi va intensivligining quyidagi qiymatlari mos keladi:

$$\Delta P_m = 100 \text{Pa} \quad (\approx 1 \text{mm.sim.ust.})$$

$$I_m = 10 \text{Vt/m}^2$$

**Intensivlik darajasi (L).** Eshitish va og'riq sezish bo'sag'asiga to'g'ri keluvchi intensivliklarning nisbati shu darajada yuqori-ki ( $I_m/I_0 = 10^{13}$ ), amaliyotda logarifmik shkalani ishlatib maxsus xarakteristika-intensivlik darajasini kiritishga to'g'ri keladi.

Intensivlik darajasi deb tovush intensivligi va eshitish bo'sag'asi intensivligi nisbatining o'nli logarifmiga aytiladi:

$$L_b = \lg(I/I_0) = 2 \lg(\Delta P/\Delta P_0) \quad (5.2)$$

Intensivlik darajasini o'lchash birligi-bel (B).

Odatda bu birlik o'rniga *detsibel* (dB) birligi ishlatiladi:  $1\text{dB}=0,1\text{B}$ . Detsibellardagi intensivlik darajasi quyidagi formulalarga ko'ra hisoblanadi:

$$L_{\text{dB}}=10 \lg (I/I_0) =20 \lg (\Delta P/\Delta P_0)$$

## 5.2-§. Eshitish sezgisining xarakteristikalarini. Tovushni o'lchash.

Tovush eshitish sezgisining obyektini hisoblanadi. U inson tomonidan subyektiv baholanadi. Eshitish sezgisining barcha subyektiv xarakteristikalarini tovush to'liqlinining obyektiv xarakteristikalarini bilan bog'liq.

Inson tovushlarni qabul qilganida ularni balandligi va tembrini bo'yicha ajratadi.

Tonning *balandligi* eng avvalo, asosiy tonning chastotasiga bog'liq (chastota qanchalik katta bo'lsa, tovush shunchalik baland tuyuladi). Kamroq darajada balandlik tovush intensivligiga bog'liq (tovush intensivligi pastroq bo'lib tuyuladi).

*Tembr*-tovush sezgisining xarakteristikasi bo'lib, uning garmonik spektri bilan aniqlanadi. Tovush tembrini obertonlar soni va ularning nisbiy intensivliklariga bog'liq.

Tovush intensivligi darajasini baholash uchun logarifmik shkalani ishlatish Veber-Fexnerning psixofizik qonuni bilan mos keladi:

*Qo'zg'atish geometrik progressiya (ya'ni bir xil songa karrali) bo'yicha oshirilsa, u holda bu qo'zg'atishning sezilishi arifmetik progressiya (ya'ni bir xil kattalikka) bo'yicha ortadi.*

Aynan logarifmik funktsiya shunday xossalarga egadir.

*Tovushning balandligi deb eshitish sezgilarining intensivligi (kuchi) ga aytiladi.*

Inson qulog'i turli chastotalardagi tovushlarni turlicha qabul qiladi. Bu holni hisobga olish uchun qandaydir *tayanch chastotalarni* qabul qilib, boshqa chastotalarning sezilishini u bilan solishtirsa bo'ladi.

*1 kHz chastotali toza ton uchun (E) balandlikni detsibellardagi intensivlik darajasiga teng deb qabul qilinadi:*

$$E=10 \lg (I/I_0)$$



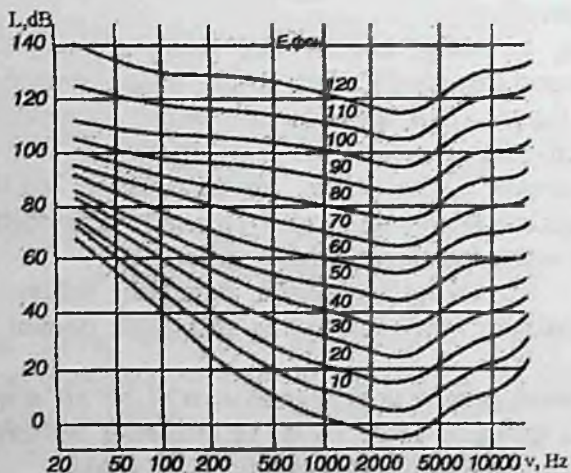
Boshqa chastotalar uchun balandlik eshitish sezgilarining intensivligi va tayanch chastotasidagi tovush balandligini solishtirish bilan aniqlanadi.

Tovush balandligi birligi *fon* hisoblanadi.

Chastota, balandlik va intensivlik orasidagi bog‘lanish grafik ko‘rinishida balandlik egri chiziqlari yordamida tasvirlanadi (5.3-rasm). Ushbu chiziqlar tovushning berilgan balandligida intensivlik darajasining chastotaga bog‘liqligini ko‘rsatadi.

Pastki egri chiziq eshitish bo‘lag‘asiga to‘g‘ri keladi. U intensivlik darajasining bo‘lag‘asiy qiymatini tonning berilgan chastotasida topish imkonini beradi.

Balandlik egri chiziqlari yordamida tovushning chastotasi va intensivlik darajasi ma‘lum bo‘lsa uning balandligini topsa bo‘ladi.



5.3-rasm. Balandlik egri chiziqlari.

### 5.3-§. Tovushni o‘lchash

Insonning eshitish qobiliyatini baholash uchun tonal bo‘lag‘aviy audiometriya usuli qo‘llaniladi.

*Audiometriya* – eshitish o‘tkirligini o‘lchash usulidir. Maxsus asbobda (audiometrda) turli chastotalardagi eshitish sezgisining

bo'sag'asi, yoki qabul qilish bo'sag'asi  $L_b$  o'lchanadi. Buning uchun tovush generatori yordamida berilgan chastotadagi tovush hosil qilinadi va intensivlik darajasi  $L$  oshirilib, tekshirish olib borilayotgan insonda eshitish sezgilari paydo bo'ladigan  $L_b$  bo'sag'aviy intensivlik darajasi qayd qilinadi. Tovush chastotasini o'zgartirib, audiogramma deb ataluvchi  $L_b(v)$  eksperimental bog'lanish olinadi (5.3-rasm).

Tovush qabul qiluvchi organlar funksiyasining buzilishi eshitish qobiliyatining pasayishiga olib kelishi mumkin. Bunda inson turli tonlar va tovushlarni eshitishga qiynaladi.

Murakkab ton yoki shovqinning balandligini o'lchash uchun maxsus asboblari – *shumomerlar* ishlatiladi. Mikrofon tomonidan qabul qilinadigan tovush fil'trlar sistemasidan o'tkaziladigan elektr signaliga aylantiriladi. Fil'trlar parametrlari shunday tanlangan-ki, shumomerning turli chastotalardagi sezgirligi inson qulog'i sezgirligiga yaqin.

#### 5.4-§. Tovush yordamida amalga oshiriladigan tekshirish usullari

Tovush inson organlari holati haqida ma'lumot manbai bo'lishi mumkin.

1. *Auskul'tatsiya* – inson organizmida vujudga keladigan tovushlarni bevosita eshitish. Bunday tovushlarning xarakteriga qarab tananing eshitilayotgan qismida qanday jarayonlar kechayotganini aniqlab, ba'zi hollarda tashhis qo'yish mumkin. Eshitish uchun stetoskop, fonendoskop asboblari qo'llaniladi.

Fonendoskop membranaga ega ichi bo'sh kapsuladan iborat bo'lib, u tanaga qo'yiladi, undan rezina trubkalar shifokor qulog'iga boradi. Ichi bo'sh kapsulada havo ustunining rezonansi vujudga kelib, u tovushni kuchaytiradi va eshitish osonlashadi. Bunday usulda nafas olishdagi shovqinlar, yurak tonlari, yurakdagi shovqinlarni eshitish mumkin.

2. *Fonokardiografiya* – yurak tonlari va shovqinlarining grafik ko'rinishida qayd qilinishi. Qayd qilish mikrofon, kuchaytirgich, chastota fil'trlari, qayd qiluvchi moslamadan iborat *fonokardiograf* yordamida amalga oshiriladi.

3. *Perkussiya* – ichki organlarni tana bo‘ylab urib ko‘rish va bunda hosil bo‘ladigan tovushlarni tahlil qilish usulidir. Urib ko‘rish maxsus bolg‘achalar yoki barmoqlar yordamida amalga oshiriladi.

### 5.5-§. Shovqin profilaktikasini ta‘minlovchi faktorlar

Shovqindan himoyalaniş uchun uning inson organizmiga ta‘sirini belgilovchi asosiy faktorlarini bilish lozim: shovqin manbasining joylashishi, shovqin intensivligi, ta‘sir davomiyligi, shovqin ta‘sir etayotgan joyning chegaralari.

Shovqinning uzoq muddat ta‘sir etishi organizmdagi organik va funktsional o‘zgarishlarga (nafaqat eshitish organining) olib kelishi mumkin. Uzoq davom etuvchi shovqinning MNS ga ta‘sir etishi natijasida barcha asab reaksiyalari sekinlashadi, diqqat qilish davri kamayadi, ish qobiliyati pasayadi. Bundan tashqari, shovqin nafas olish ritmini, yurak qisqarishlari ritmini o‘zgartiradi, arterial qon bosimini oshiradi, oshqozon-ichak sistemasiga, ichki sekretiya faoliyatiga, xotiraga salbiy ta‘sir ko‘rsatadi.

Shovqin eshitish organlariga ham o‘z ta‘sirini ko‘rsatadi. Barcha organlar kabi quloq ham shovqinga adaptatsiya qilishi mumkin. Bunda shovqin ta‘sirida eshitish bo‘lag‘asi 10-15 dB ga ortadi. Shovqin ta‘siri tugaganidan so‘ng eshitish bo‘lag‘asining normal darajasi faqat 3-5 daqiqadan so‘ng tiklanadi. Shovqin intensivligining yuqori darajasida (80-90 dB) uning charchatish qobiliyati keskin ortadi.

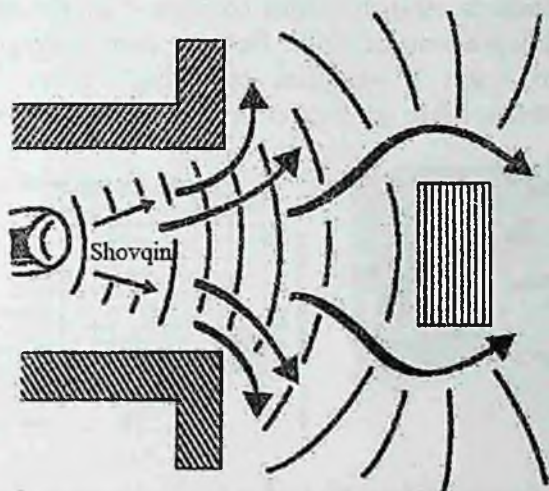
Insonning ham jismoniy, ham psixologik holatiga rok-musiqqa kuchli ta‘sir etadi. Zamonaviy rok-musiqqa 10 Hz dan 80 kHz gacha diapazondagi shovqin hosil qiladi. 2Hz chastotali asosiy ritmda inson narkotik ta‘siriga tushganga o‘xshab mast bo‘lib qoladi. Rok-kontsertlarda tovush intensivligi 120dB dan oshishi mumkin. Inson qulog‘i esa taxminan 55 dBga moslashgan. Bunda tovush vositasida kontuziya, tovush bilan “kuyish”, xotirani yo‘qotish va kar bo‘lib qolish mumkin.

Shovqin ko‘rish qobiliyatiga ham salbiy ta‘sir etishi mumkin. Qorong‘u xonalarda ishlayotgan insonlarga ishlab chiqarish shovqini uzoq vaqt ta‘sir etganida ko‘z to‘r pardasining aktivligi pasayib, ko‘rish o‘tkirliги kasayadi.



Shovqindan himoyalaniş ancha murakkab. Bu tovushning to'liq uzunligi katta bo'lgani sababli u to'siqlarni aylanib o'tib (difraktsiya) soya hosil qilmasligi natijasida sodir bo'ladi (5.4-rasm).

Bundan tashqari, qurilishda ishlatiladigan materiallarning tovushni yutish koeffitsiyenti kam.



5.4 rasm. Tovush to'liqlarining difraktsiyasi.

Shovqinning aytib o'tilgan xususiyatlari unga qarshi kurashishning maxsus vositalarini talab etadi.

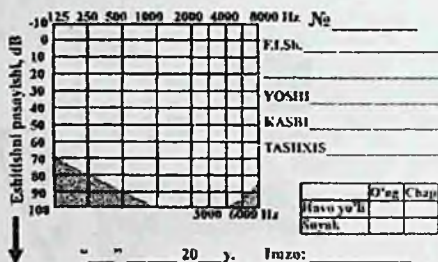
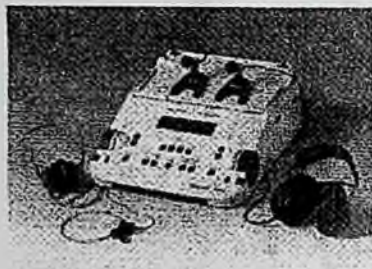
Shovqinga qarshi kurashish uchun binolarni to'g'ri qurish, shamolning yo'nalishini hisobga olish, himoya zonalarini yaratish, tirqishlarni berkitish lozim. O'simliklar ham shovqindan himoya vositasi bo'lishlari mumkin. Daraxtlar va butalar intensivlik darajasini 5-10dBga kamaytirishi mumkin. Archa daraxtlari orqasida joylashgan uylar shovqindan ancha himoyalangan bo'ladi.

Shovqin bilan kurashishda absolyut sokinlikka intilish kerak emas. Chunki eshitish sezgilari qo'zg'atilmagan inson psixikasi kasallanishi mumkin. Absolyut sokinlik va uzoq vaqt davom etadigan shovqin inson uchun bir xil darajada zararlidir.

## 5.6-§. Eshitish o'tkirligini aniqlash. Eshitish apparatlari va protezlar. Timpanometriya.

Eshitish o'tkirligini aniqlash usuliga *audiometriya* deyiladi.

Audiometriyada maxsus asbob audiometr (5.5-rasm) yordamida turli xil chastotalarda eshitish sezgisi bo'sag'asi aniqlanadi; olingan egri chiziq audiogramma deyiladi. Bemor odam audiogrammasini normal eshituv sezgi bo'sag'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.**

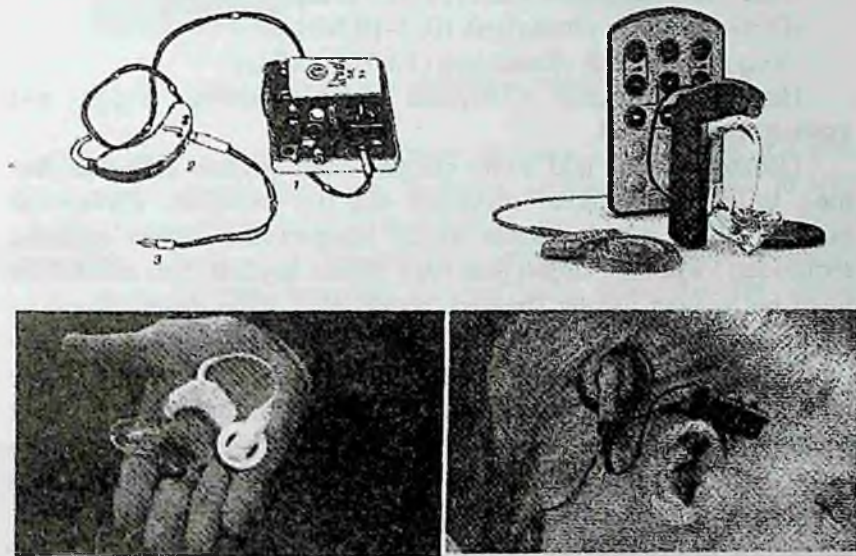
Eshitish sezgisi yo'qotilganida uni eshitish apparatlari – kuchaytirgichlar yordamida kompensatsiyalasa bo'ladi. Oxirgi yillarda bu sohada audiologiyaning rivojlanishi va mikroelektronika asosidagi elektroakustik apparatlarning yutuqlarining tez kiritilishi tufayli katta rivojlanish bo'layapti. Keng chastotali diapazonda ishlaydigan juda kichik eshitish apparatlari hozirgi kunda yangilik emas.

Lekin eshitish sezgisining pasayishi va karlikning og'ir hollarida eshitish apparatlari bemorlarga yordam bera olmaydi. Bunday holat karlik chig'anoq retseptor apparatining shikastlanishidan kelib chiqqanida kuzatilishi mumkin. Bunda chig'anoq mexanik tebranishlar ta'sirida elektr signallarini generatsiya etmaydi. Bu hildagi kasalliklar dori vositalarining noto'g'ri dozirovkasidan ham kelib chiqishi mumkin.

Hozirgi davrda bunday kasallarni qisman reabilitatsiya qilish imkoni bor. Buning uchun chig'anoqqa elektrodlar implantatsiya

qilinib, ularga mexanik ta'sir tufayli yuzaga keladigan signallarga mos elektr signallari yuboriladi. Chig'anoqdagi bunday protezlash koxlear protezlar yordamida amalga oshiriladi.

Tovush eshitmaslikning (karlikning) ayrim shakllariga chig'anoq retseptor apparatining jarohatlanishi sabab bo'ladi. Bunday hollarda chig'anoq mexanik tebranishlar ta'sirida elektr signallarini generatsiyalaymaydi. 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 stimulgina mos bo'lsin. Chig'anoqdagi bunday protezlash koxlear protezlar yordamida amalga oshiriladi.



*5.6-rasm. Koxlear protez.*

*1-asosiy korpus, 2-quloq orqasiga qo'ygich mikrofondi bilan,  
3-implantatsiyalanuvchi elektrod bilan ulovchi vilka.*

*Timpanometriya – eshitish yo'lidagi havo bosimi o'zgartirilganida eshitish sistemasining tovush o'tkazish tizimidagi o'zgarishlarni o'lchash usulidir.*



Ushbu usul nog'ora pardaning funksional holati, eshitish suyakchalari zanjiri harakatchanligi, o'rta quloqdagi bosim va eshitish trubasining funksiyasini baholash imkonini beradi.

### 5.7-§. Ultratovush

Chastotalari 20000 Hz (20 k Hz) dan  $10^9$  Hz (1G Hz) gacha diapazon oralig'ida bo'lgan elastik tebranishlar va to'lqinlar ultratovush deb ataladi. Ultratovushning 1 G Hz dan 1000 G Hz gacha bo'lgan chastotalar diapazoni *gipertovush* deb ataladi. Ultratovush chastotalari uchta diapazonga bo'linadi:

- Past chastotali ultratovush (20-100 kHz);
- O'rta chastotali ultratovush (0, 1-10 MHz);
- Yuqori chastotali ultratovush (10-1000 MHz);

Har bir diapazon tibbiyotda qo'llanishining o'ziga xos xususiyatlari mavjud.

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 organlarining va hokazolarning turgan o'rni va o'lchamlarini aniqlash mumkin (ultratovush lokatsiya usuli). Ultratovush lokatsiya usulida uzluksiz va impulsli 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 obyekt-gacha va undan qaytib kelish vaqti o'lchanadi. Ultratovushning tarqalish tezligini bilgan holda, obyektning qanday chuqurlikda joylashgani aniqlanadi.

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'lmasligi uchun nurlatgichning sirti yuzasiga yupqa moy qatlami surtiladi.

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



*5.7-rasm. Zamonaviy ultraskanerlovchi apparatlar*

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 tolqinlari 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.

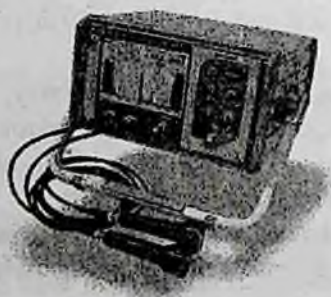
Biologik obyektlarda ultratovush ta'siri bilan bog'liq holda yuz beradigan fizik jarayonlarning asosiy effektlari quyidagilardan iborat:

- 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 uslublari.

Birinchi yo'nalishdagi usullarga asosan impulsli nurlanishlardan foydalanuvchi lokatsion usullar kiradi. Bu exoensefalografiya — bosh miya o'smalari va shishlarini aniqlash (5.8- 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. 5.9- rasmda shu maqsadlarda qollaniluvchi apparat "ИОНТО СОНО С2" 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  $1 \text{ W/sm}^2$  ga yaqin va undan uzoq bo'lgan ultratovushlardan foydalaniladi.



5.8-rasm. "Angiodin EXO/U" exoensefalograf





5.9-rasm. Ultratovush fizioterapiyasiga mo'ljallangan  
"IONTO CONO 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.

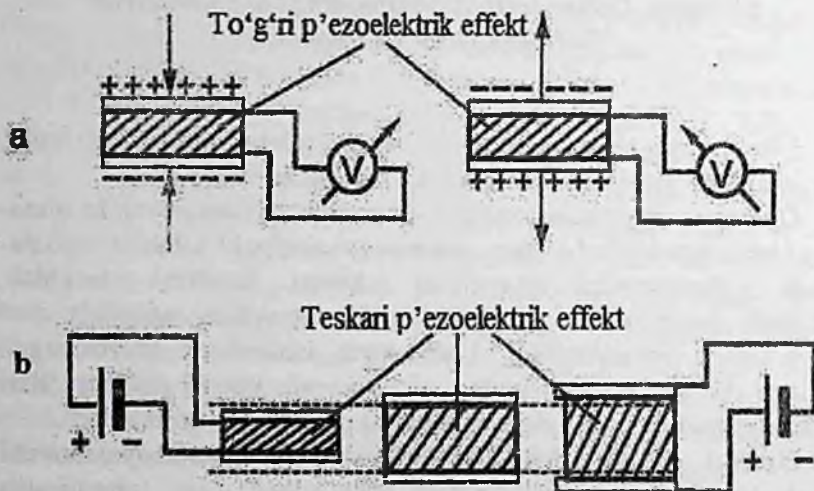
Ultratovushning tibbiyot va biologiyada qo'llanilishi borasida yuqorida keltirilgan misollar bu sohada qilingan barcha tadqiqotlarni o'z ichiga ololmaydi, chunki ultratovushning qollanish sohasi rang-barang va uni kengaytirish istiqbollari kattadir. Yana ultratovush golografiyasining tibbiyotga kirib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

yanada yangi diagnostika usullarining paydo bolishiga umid bog'laydi.

### 5.8-§. Ultratovush nurlatgichlari va qabul qilgichlari

Ultratovush nurlatgichlari va qabul qilgichlarida p'ezoelektrik effekt hodisasi ishlatiladi (5.10-rasm).

P'ezoelektrik xossalarga kvarts kabi kristallik dielektriklar ega



5.10-rasm. a-to'g'ri p'ezoelektrik effekt:  
p'ezoelektrik plastinkaning siqilishi va cho'zilishi mos ishorali potentsiallar farqining yuzaga kelishiga olib keladi.  
b-teskari p'ezoelektrik effekt: p'ezoelektrik plastinkaga qo'yilgan potentsiallar farqining ishorasiga qarab plastinka siqiladi yoki cho'ziladi.

### Ultratovush nurlatgichlari

Elektromexanik UT – nurlatgichi teskari p'ezoelektrik effekt hodisasiga asoslangan va quyidagi elementlardan tashkil topgan (5.11-rasm):

(2) elektrodلarga generator dan (3) o'zgaruvchan kuchlanish berilganida plastinka (1) cho'zilib, siqilib turadi. Chastotalari kuchlanishning o'zgarish chastotasiga teng bo'lgan majburiy tebranishlar vujudga keladi. Bu tebranishlar tashqi muhit zarrachalariga uzatilib, mos chastotali mexanik to'liqin hosil bo'ladi. Nurlatgich yaqinidagi muhit zarrachalari tebranishlarining amplitudasi plastinka tebranishlari amplitudasiga teng.



5.11-rasm. Ultratovush nurlatgichi.

1-p'ezoelektrik xossalarga ega moddadan yasalgan plastinkalar;  
2-plastinkalar yuzasiga o'tkazuvchi qatlamlar sifatida o'rnatilgan elektrodلar;

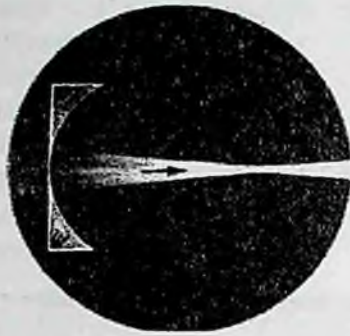
3- elektrodلarga kerakli chastotadagi o'zgaruvchan kuchlanish beruvchi generator;

Ultratovushning xususiyatlaridan biri kichik amplitudali tebranishlarda ham katta intensivlikdagi tebranishlarni olish imkoniyatidir. Chunki shu amplitudada energiya oqimining zichligi chastotaning kvadratiga proporsional bo'ladi.

Ultratovush nurlanishining chegaraviy intensivligi nurlatgich materialining xossalari va ularni ishlatish xususiyatlariga bog'liq. O'rta chastotali sohada UT ni generatsiya qilishda intensivlik diapazoni juda keng:  $10^{-14}$  Vt/sm<sup>2</sup> dan 0, 1 Vt/sm<sup>2</sup> gacha.

Ko'p maqsadlar uchun nurlatgich yuzasidan olinishi mumkin bo'lgan intensivliklardan ko'proq intensivlik kerak bo'ladi. Bunday hollarda fokuslash qo'llaniladi. 5.11-rasmda ultratovushni pleksiglasdan yasalgan linza yordamida fokuslash ko'rsatilgan. Juda katta intensivlikdagi UT intensivliklarini olish uchun fokuslashning yanada murakkab usullari qo'llaniladi. 0, 5 MHz chastotada suvda  $10^5$  Vt/sm<sup>2</sup> gacha intensivlikdagi ultratovush olish mumkin.





*5.12-rasm. Suvli muhitda ultratovush dastasining pleksiglasdan yasalgan yassi-botiq linza yordamida fokuslash (ul'tratovush chastotasi 8MHz).*

### **Ultratovush qabul qilgichlari**

Elektromexanik UT-qabul qilgichlarida (5.10-rasm) to'g'ri p'ezoelektrik effekt hodisasi qo'llaniladi. Bu holda UT to'lqinlari ta'sirida kristallik plastinkaning(1) tebranishlari yuzaga keladi. Bu tebranishlar natijasida (2) elektrodlarda o'zgaruvchan kuchlanish hosil bo'lib, u (3) qayd qiluvchi sistema tomonidan qabul qilinadi.

Ko'p tibbiy asboblarda ul'tratovush to'lqinlari generatorlari bir vaqtning o'zida qabul qilgich sifatida ham qo'llaniladi.

### **5.9-§. Ultratovushning moddada yutilishi. Akustik oqimlar va kavitatsiya**

O'zining fizik mohiyatiga ko'ra UT tovushdan farq qilmaydi va mexanik to'lqin xossalarini namoyon etadi. U tarqalganida muhit zarrachalarining zichlashish va siyraklashish sohalari hosil bo'ladi. UT va tovushning muhitlarda tarqalish tezliklari bir xil (havoda-340 m/s, suvda va yumshoq to'qimalarda-1500 m/s). Lekin UT ning yuqori intensivligi va kichik uzunligi tufayli qator xususiyatlar vujudga keladi.

UT moddada tarqalganida tovush to'lqini energiyasining boshqa turdagi energiya turlariga, asosan issiqlikka, qaytmas o'tishi

kuzatiladi. Ushbu hodisa *tovush yutilishi* deb ataladi. Zarrachalar tebranishi amplitudasining kamayishi va yutilish natijasida UT intensivligining kamayishi eksponensial xarakterga ega:

$$A=A_0e^{-\alpha h} \quad I=I_0e^{-2\alpha h} \quad (5.3)$$

bu yerda  $A$ ,  $A_0$ -muhit zarrachalarining modda yuzasida va  $h$ -chuqurlikda tebranish amplitudalari;  $I$ ,  $I_0$ -UT to'liqlarining mos intensivliklari;  $\alpha$  -UT-to'liqning chastotasiga, muhit temperaturasi va xususiyatlariga bog'liq bo'lgan yutilish koeffitsiyenti.

*Yutilish koeffitsiyenti – tovush to'liqini amplitudasi "e" marotaba kamayadigan masofaga teskari kattalik.*

Yutilish koeffitsiyenti qanchalik katta bo'lsa, muhit ultratovushni shunchalik kuchli yutadi.

UT chastotasi ortganida yutilish koeffitsiyenti ( $\alpha$ ) ortadi. Shuning uchun UT ning muhitda yutilishi eshitiluvchi tovushning yutilishidan ancha ko'p bo'ladi.

Yutilish koeffitsiyenti bilan bir qatorda UTning yutilish xarakteristikasi sifatida yarim yutilish chuqurligi ( $N$ ) ishlatilib, u a ga teskari kattalikdir ( $N=0,347/\alpha$ ).

*Yarim yutilish chuqurligi (N) shunday kattalikki, bu chuqurlikda UT-to'liqining intensivligi ikki barobar kamayadi.*

Gazlarda, xususan, havoda ul'tratovush tarqalganida so'nadi. Suyuqliklar va qattiq jismlar (ayniqsa monokristallar) ultratovushni yaxshi o'tkazadi va ularda so'nish ancha kam bo'ladi. Masalan, bir xil sharoitlarda suvda UT ning yutilishi havodagiga nisbatan 100 marotaba kam. Shuning uchun o'rta va yuqori chastotali UT suyuqliklarda va qattiq jismlarda, past chastotali UT esa havo va gazlarda qo'llaniladi.

## VI 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 vakuumdagi 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:

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

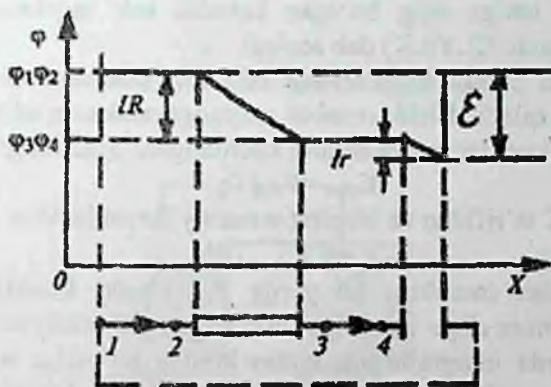
$j$  — vektor tok chiziqlariga urinma bo'ylab yo'naladi. Tok kuchi uchun quyidagi ifodani yozamiz:

$$I = dq/dt$$

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

### 6.2-§. Elektr manbalarining elektr yurituvchi 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 ( $\varphi_4$ ) dan kattaroq potensial ( $\varphi_1$ )ga o'tadi. Elektr maydonining kuchlariga qarshi bu kabi ko'chishi chetki kuchlar ( $F_{\text{chet}}$ ) 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

$$\varepsilon = \oint E_{\text{chet}} / dl \quad (6.5)$$

ni yozish mumkin, bu yerda  $E_{\text{cet}}$  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'rinadi-ki, konturdagi E.Yu.K. chetki kuchlar aylanishiga teng.

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

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

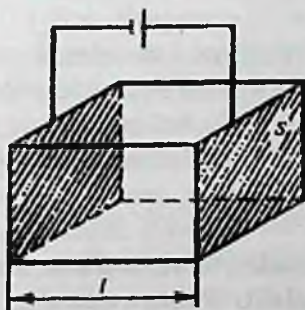
Tokning umumiy zichligini:

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

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

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

bu yerda  $\alpha$  — dissotsiasiyalanish koeffitsiyenti,  $n$  — elektrolit molekularining konsentratsiyasi.



6.2-rasm.

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:

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

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), (6.11)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 Ohm 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  $\gamma$  ham shuncha katta bo'ladi, degan xulosa kelib chiqadi. Temperatura ko'tarilishi bilan ionlarning harakatchanligi ortadi va elektr o'tkazuvchanlik oshadi.

#### 6.4-§. Biologik to'qimalar va suyuqliklarning o'zgarimas tokda elektr o'tkazuvchanligi

Biologik to'qimalar va organlar har xil elektr qarshiliklaridan turli tuzilishga ega. Ularning qarshiliklari elektr toki o'tkazishi mumkin. Bu hol tirik biologik sistemalar chash 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, terining 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 davolovchi-profilaktik ta'siri

Faqat neytral zarrachalardan iborat bo'lgan gaz izolyatordir. Agar uni ionlashtirsak, u elektr o'tkazuvchan bo'ladi.

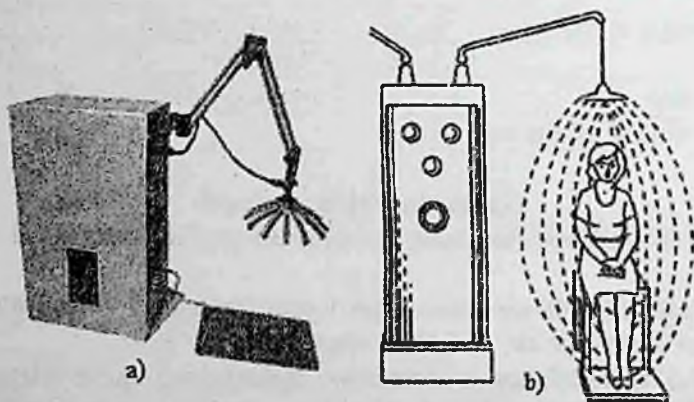
Gaz molekularini, atomlarini ionlashtirish qobiliyatiga ega bo'lgan har qanday qurilma, hodisa, faktor ionizator deb ataladi.

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.

Yerda 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 molekullarga, muallaq turgan zarrachalarga birikib, ko'proq murakkab bo'lgan ionlarni vujudga keltirishi mumkin. Atmosferadagi bunday ionlarga ayoerionlar deyiladi. Ular faqat ishoralari bilan emas, massasi bilan ham farqlanadi. Ular shartli ravishda yengil (gaz ionlari) va og'ir muallaq turgan zaryadlangan zarrachalar (chang, suv va tutun zarrachalari) ionlarga bo'linadi.

Og'ir ionlar organizmga zararli ta'sir etadi. Yengil va asosan manfiy ayoerionlar foydali ta'sir qiladi. Ulardan asosan bemorlarni davolash uchun foydalaniladi (aeroionoterapiya).



6.3-rasm. Aeroionoterapiya apparati (a) va muolaja jarayoni (b).

Tabiiy sharoitda havoda ionlanish yuqori bo'lgan (tog'lar, sharshara va hokazo) joylarda bemorlarning turishi bilan bog'liq bo'lgan tabiiy aeroionoterapiyani maxsus qurilmalar-ayoerionizatorlar yordamida o'tkaziladigan sun'iy aeroionoterapiya bilan almashtirish mumkin. Biroq sun'iy aeroionoterapiya davolash maqsadida ishlatilganda organizmga zarar keltirmaydigan bo'lishi



kerak. Uning turlaridan biri elektrostatik dush (franklinizatsiya)dir (6.3-rasm). Franklinizatsiya vaqtida yuqori kuchlanishli (50 kV gacha) doimiy elektr maydon ishlatiladi. Bu vaqtda hosil bo'ladigan ayeroionlar 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 bo'lgan zarrachalarining orientatsiyasiga 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 diamagnitdir. Biroq organizmda paramagnit moddalar, molekular va ionlar ham mavjud. Organizmda ferromagnit zarrachalar yo'q.

Organizmda hosil bo'ladigan biotoklar kuhsiz magnit maydonlarining manbaidir. Ba'zan bunday maydonning induksiyasini olchash mumkin.

Masalan, yurakning magnit maydoni induksiyasining vaqtga bogiiqligini yurak biotoklarining qayd qilish asosida diagnostika metodi – magnitokardiografiya yaratilgan.

Magnit maydoni o'z ichidagi biologik sistemalarga ta'sir qiladi. Bu ta'sirni 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:

$$Z = \sqrt{R^2 + (X_L - X_C)^2}$$

Zanjirdagi omik qarshilik – aktiv qarshilik, sig‘im va induktiv qarshilik esa, reaktiv qarshilik deyiladi

Induktiv qarshilik quyidagicha topiladi:

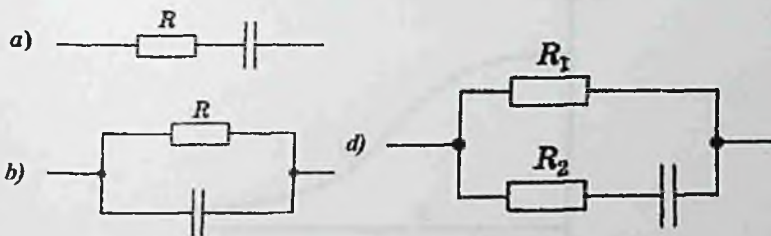
$$X_L = \omega L, \text{ bunda } \omega = 2\pi\nu$$

Sigim qarshilik quyidagicha topiladi:

$$X_S = 1/\omega S$$

### 6.5-§. 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.



6.4-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 (6.4- rasm). 6.4-a-rasmda tasvirlangan sxema uchun impedansining chastota bog‘lanishini  $L = 0$  bo‘lganda quyidagini olish mumkin:

$$Z = \sqrt{R^2 + 1/(C \cdot \omega)} \quad (6.40)$$



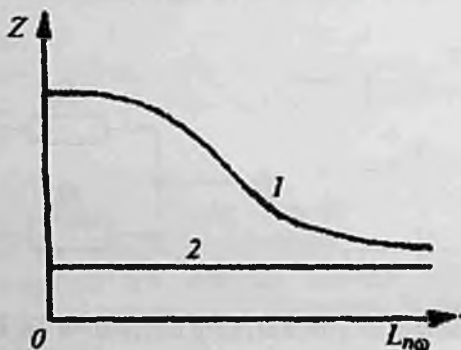
Grafikdan ko'rinadiki,  $\omega \rightarrow 0$  ( $Z \rightarrow \infty$ ) bo'lganda sxema tajriba bilan muhim qarama-qarshilikka ega. Chunki, bunda qarshilik doimiy tokda cheksiz katta bo'lib qolmoqda. Bu 6.3 §da keltirilgan qiymatlarga ziddir.

Ekvivalent elektr sxema (6.4-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 (6.4- 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 (6.5- rasm).



6.5- 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 (reensefalogramma), yurak (reokardiogramma), magistral tomirlar, o'pka, jigar va qo'l-oyoqlarning reogrammalari olinadi. O'lchash odatda 30 kHz chastotalarda ko'priksxemasi bo'yicha olib boriladi.

## VII BOB. OPTIKA. YORUG'LIKNING XOSSALARI. KO'ZNING OPTIK SISTEMASI.

### 7.1-§. Yorug'likning tabiati

Optika bo'limida yorug'lik hodisalari va qonunlari, yorug'likning tabiati hamda uning modda bilan o'zaro ta'siri o'rganiladi.

Yorug'lik ma'lum diapazondagi elektromagnit to'lqinlardan iboratdir. Inson ko'zi butun nurlanish tarkibidan faqat to'lqin uzunligi  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m dan  $7,7 \cdot 10^{-7}$  m gacha bo'lgan nurlarnigina ko'ra oladi. To'lqin uzunligi  $3,8 \cdot 10^{-7}$  m dan qisqa bo'lgan nurlar *ultrabinafsha*, to'lqin uzunligi  $7,7 \cdot 10^{-7}$  m dan katta bo'lgan nurlar esa *infraqizil nurlar* deb ataladi. Ultrabinafsha va infraqizil nurlar ko'zga ko'rinmaydi.

Jismlardan yorug'lik qaytib ko'zimizga tushgandagina biz ularni ko'ra olamiz. Ba'zi jismlarni atrofimiz yorug' yoki qorong'i bo'lishidan qat'iy nazar ko'raveramiz, chunki ularning o'zlari yorug'lik sochadi. Bunday jismlar *yorug'lik manbalari* deb ataladi.

Yorug'lik manbalari ikki guruhga: *tabiiy* va *sun'iy manbalarga* bo'linadi. Quyosh, yulduzlar, atmosferadagi nur sochuvchi gazlar va ba'zi tirik organizmlar (masalan, baliqlar, hasharotlar, yog'ochni chiritadigan ba'zi mikroblar va boshqalar) yorug'likning tabiiy manbalaridir. Biz uchun asosiy tabiiy yorug'lik manbayi Quyoshdir. Quyoshdan chiqayotgan yorug'lik barcha tirik organizmlar – o'simlik, hayvon va insonlarning hayot manbayidir.

Yorug'likning sun'iy manbalari jumlasiga cho'g'langan jismlar, tok o'tganida nurlanuvchi gazlar, lyuminessensiyalanuvchi qattiq jismlar va suyuqliklar kiradi.

Odatda yorug'lik manbalari ma'lum o'lchamli jismlar bo'ladi, lekin ular ko'pincha *nuqtaviy yorug'lik manbayi* deb qabul qilinadi. Agar yorug'lik manbayining chiziqli o'lchami shu manbadan uning ta'siri o'rganilayotgan joygacha bo'lgan masofaga nisbatan juda kichik bo'lsa, bunday yorug'lik manbayi *nuqtaviy yorug'lik manbayi* deb ataladi.



Yorug'lik vakuumda  $c \approx 300000$  km/s tezlik bilan, boshqa muhitlarda esa bundan kichik tezlik bilan tarqaladi.

Muayyan to'lqin uzunlikdagi yorug'lik, masalan, qizil, yashil, binafsha va shu kabi rangli yorug'liklar *monoxromatik yorug'lik* deyiladi. Yorug'lik turli uzunlikdagi to'lqinlardan iborat bo'lsa, bunday yorug'lik *murakkab yorug'lik* deyiladi. Masalan, Quyoshdan keladigan yorug'lik murakkab yorug'likdir. Binobarin, bunday yorug'likni turli rangli monoxromatik yorug'liklardan tarkib topgan deyish mumkin.

Yorug'lik o'zi bilan birga energiya eltadi. Biror modda orqali yorug'lik o'tganda uning energiyasi ma'lum miqdorda yutiladi, bunda yorug'lik energiyasi moddaning ichki energiyasiga aylanadi.

### 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.

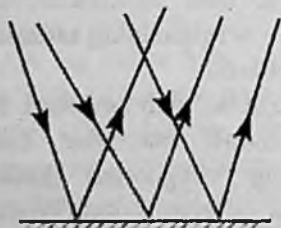
Yorug'lik nurlarining mustaqilligi ular o'zaro kesishganda bir-biriga hech qanday ta'sir qilmasligidan iboratdir. Nurlarning kesishishi har bir nurning mustaqil ravishda tarqalishiga xalaqit bermaydi.

Yorug'lik ikki shaffof muhit orasidagi chegarani kesib o'tganda tushuvchi nur ikkita nurga qaytgan va singan nurlarga

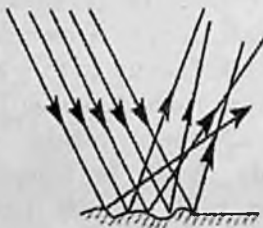
ajraladi. Bu nurlarning yoʻnalishi yorugʻlikning qaytish va sinish qonunlaridan aniqlanadi.

Tajriba va nazariyaning koʻrsatishicha, yorugʻlik nuri shaffof muhitlarda yorugʻlikning tezligidan kichik boʻlgan tezliklar bilan tarqalar ekan. Turli shaffof muhitlarda yorugʻlikning tarqalish tezligi turlicha boladi. Barcha nuqtalarda yorugʻlikning tarqalish tezligi bir xil boʻlgan muhit *bir jinsli muhit* deb ataladi. Yorugʻlik bir jinsli muhitda toʻgʻri chiziqli tarqaladi. Ikki xil muhit chegarasida nur oʻzining yoʻnalishini oʻzgartirib bir qismi birinchi muhitga qaytadi. Bu hodisa *yorugʻlikning qaytishi* deb ataladi. Yorugʻlikning qolgan qismi esa ikkinchi muhitga oʻtib, uning ichida tarqalishini davom ettiradi.

Ikki muhit orasidagi chegaraning xossalari qanday boʻlishiga qarab, qaytishning xarakteri turlicha boʻlishi mumkin. Agar chegara notekisliklarining oʻlchami yorugʻlik toʻlqinining uzunligidan kichik boʻlsa, bunday sirt *koʻzgusimon sirt* deb ataladi. Ana shunday sirt (masalan, silliq shisha sirti, yaxshilab jilolangan metall sirti, simob tomchisining sirti va boshqalar)ga ingichka parallel yorugʻlik dastasi tushsa, yorugʻlik nurlari sirdan qaytgandan keyin ham parallel nurlar dastasi koʻrinishida qoladi. Yorugʻlikning bunday qaytishi *tekis qaytish* deyiladi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Yorugʻlikning tekis qaytishi

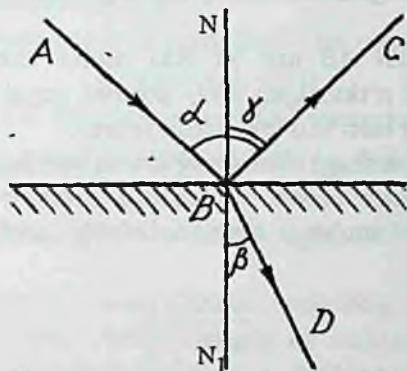


7.2-rasm. Yorugʻlikning tarqoq (diffuz) qaytishi

Agar sirdagi notekisliklarning oʻlchami yorugʻlik toʻlqini uzunligidan katta boʻlsa, ingichka shuʻla chegarada sochiladi. Yorugʻlik nurlari qaytgandan keyin turli yoʻnalishlarda 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  $AB$  nur bilan sirtning nur tushayotgan  $B$  nuqtasiga o'tkazilgan  $NN_1$  perpendikulyar (normal) orasidagi burchak  $\alpha$  ga yorug'likning *tushish burchagi* deyiladi. Qaytgan  $BC$  nur bilan  $NN_1$  perpendikulyar orasidagi  $\gamma$  burchak yorug'likning *qaytish burchagi* deyiladi (7.3-rasm).



7.3-rasm. Yorug'likning ikki muhit chegarasida sinishi va qaytishi

Singan  $BD$  nur bilan  $NN_1$  perpendikulyar orasidagi  $\beta$  burchak *sinish burchagi* deyiladi. Bardi-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  $AB$  nur va ikki muhit chegarasida nurning tushish nuqtasidan chiqarilgan  $NN_1$  perpendikulyar qaysi tekislikda yotsa, qaytgan nur  $BC$  ham shu tekislikda yotadi;

2. Qaytish burchagi tushish burchagiga teng:

$$\alpha = \gamma. \quad (7.1)$$

Yorug'lik nuri bir shaffof muhitdan ikkinchi shaffof muhitga o'tish chegarasida o'zining yo'nalishini o'zgartiradi. Bu hodisa *yorug'likning sinishi* 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 yetuvchi nur *tushuvchi nur* deb ataladi. Bu chegaraga tushish nuqtasi orqali o'tkazilgan perpendikulyar ( $NN_1$  - normal) bilan biror  $\alpha$  burchak hosil qiladi, bu burchak *tushish burchagi* deb ataladi. Ikkinchi muhitga o'tgan nur *singan nur* deyiladi. Singan nurning o'sha perpendikulyar ( $NN_1$ -normal) bilan hosil qilgan  $\beta$  burchagi *sinish burchagi* deb ataladi (7.3-rasm).

Ikki muhit chegarasida yorug'likning sinishi quyidagi qonunga bo'ysinadi:

1. Tushuvchi  $AB$  nur va ikki muhit chegarasida nurning tushish nuqtasiga o'tkazilgan  $NN_1$  normal qaysi tekislikda yotsa, singan nur  $BD$  nur ham shu tekislikda yotadi.

2. Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati berilgan ikki muhit uchun o'zgarmas kattalik bo'lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan *nisbiy sindirish ko'rsatkichi* deyiladi:

$$\frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = n_{21}, \quad (7.2)$$

bunda  $\alpha$  – tushish burchagi,  $\beta$  – 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  $\varrho$  dan necha marta katta ekanligini ko'rsatadi:

$$n = \frac{c}{\varrho}.$$

Bu munosabatdan foydalanib, yorug'likning sinish qonuni quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{\sin\alpha}{\sin\beta} = n_2 = \frac{n_2}{n_1} = \frac{c/\vartheta_2}{c/\vartheta_1} = \frac{\vartheta_1}{\vartheta_2}. \quad (7.4)$$

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.

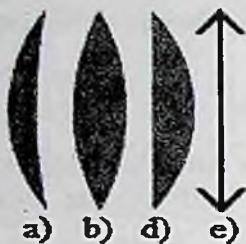
$$n_1 \cdot \sin\alpha = n_2 \cdot \sin\beta. \quad (7.5)$$

Agar yorug'lik nuri optik zichligi kattaroq muhitdan optik zichligi kichikroq muhitga o'tsa ( $n_1 > n_2$ ), u holda (7.5) munosabatdan ko'rinadiki, tushish burchagi  $\alpha$  sinish burchagi  $\beta$  dan kichik bo'lar ekan. Tushish burchaklari kattalashgan sari sinish burchaklari ham kattalashadi.

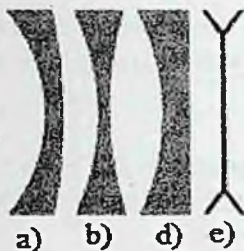
Shu vaqtgacha biz yorug'lik ikki muhitning tekis chegarasida sinishini ko'rib chiqdik. Amalda yorug'lik nurining sferik sirtlarda sinishidan keng ko'lamda foydalaniladi. Ikkala tomoni sferik sirtlar bilan chegaralangan shaffof jismlar *linzalar* deb ataladi. Odatda linzalar shishadan qilinadi. Shakliga ko'ra linzalar *qavariq* va *botiq* turlarga bo'linadi.

O'rtasi chekkasiga nisbatan yo'g'onroq bo'lgan linzalar *qavariq linzalar* deb ataladi. Optik hususiyatiga ko'ra bu linza *yig'uvchi linza* deb ataladi. O'z navbatida qavariq linzalar: botiq-qavariq (7.4 a-rasm), ikki yoqlama qavariq (7.4 b-rasm), yassi-qavariq (7.4 d-rasm) turlarga bo'linadi. Ularning simvollari 7.4 e-rasmda ko'rsatilgan. Linza ikki qavariq sferik sirt bilan chegaralangan bo'lishi mumkin.

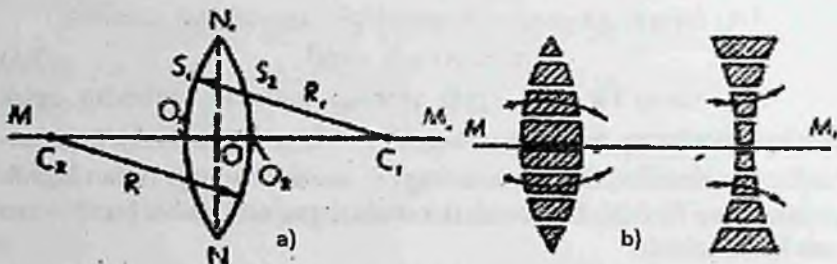
O'rtalari chekkalariga nisbatan ingichka bo'lgan linzalar *botiq linzalar* deb ataladi. Optik hususiyatiga ko'ra bu linza *sochuvchi linza* deb ataladi. O'z navbatida sochuvchi linzalar: qavariq-botiq (7.5 a-rasm), ikki tomonlama botiq (7.5 b-rasm) va yassi-botiq (7.5 d-rasm) turlarga bo'linib, chizmalarda sxematik ko'rinish 7.5 d-rasmdagidek ifodalanadi.



7.4-rasm. Yig'uvchi linza



7.5-rasm. Sochuvchi linza



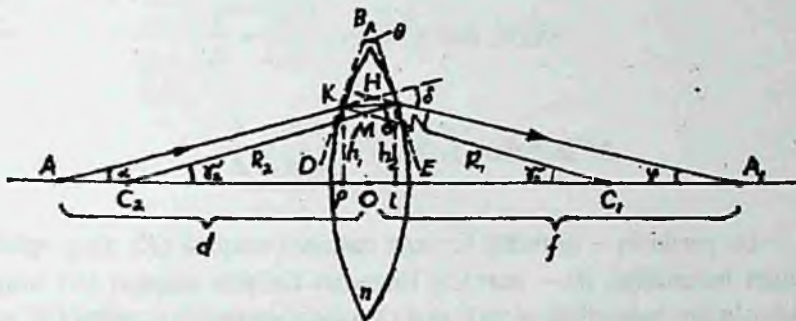
7.6-rasm.

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. Linzada tasvir hosil qiluvchi o'qlar

Optik o'qda yotgan biror  $A$  nuqtadan bu o'qqa kichik  $\alpha$  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  $\theta$  bo'lgan yupqa prizmada *singan nur* deb qarash mumkin.  $\alpha$ ,  $\varphi$ ,  $\gamma_1$ ,  $\gamma_2$  burchaklarning kichikligi va linza yupqa bo'lganligi sababli quyidagi taxminiy tengliklarni yozish mumkin.

$$\begin{aligned} KP = h_1; NL = h_2; h_1 \approx h_2 = h \\ AP \approx AO = d; A_1L \approx A_1O = f \\ C_1P \approx C_1O = R_1; C_2L \approx C_2O = R_2. \end{aligned} \quad (7.6)$$

$$\Delta AKP \text{ dan } \alpha \approx \text{tg } \alpha = \frac{KP}{AP} \approx \frac{h}{d},$$

$$\Delta A_1NL \text{ dan } \varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{NL}{A_1L} \approx \frac{h}{f},$$

$$\Delta S_2NL \text{ dan } \gamma_2 \approx \text{tg} \gamma_2 = \frac{NL}{C_2L} \approx \frac{h}{R_2},$$

$$\Delta C_2KP \text{ dan } \gamma_1 \approx \text{tg} \gamma_1 = \frac{KP}{C_1P} \approx \frac{h}{R_1},$$

bu yerda  $h_1$  – 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:

$$\delta = \alpha + \varphi \text{ va } \theta = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (7.7)$$

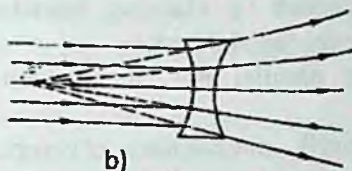
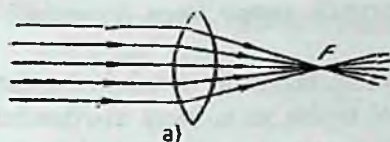
deb yozish mumkin. Biroq, prizma uchun  $\delta = (n-1)\theta$  formula o'rinli edi, bu yerda  $n$  linzaning sindirish ko'rsatkichi. Shuning uchun (7.6) va (7.7) formulalarga asoslanib quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (7.8)$$

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 focuslar 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, linzadan tasvirgacha bulgan  $f$  masofa linzaning bosh fokus  $F$  masofasi urtasidagi boglanishni ifodalaydi.

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (7.10)$$

Yoki

$$D = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} \quad (7.11)$$



$$\Delta A_1NL \text{ dan } \varphi \approx \text{tg} \varphi = \frac{NL}{A_1L} \approx \frac{h}{f},$$

$$\Delta S_2NL \text{ dan } \gamma_2 \approx \text{tg} \gamma_2 = \frac{NL}{C_2L} \approx \frac{h}{R_2},$$

$$\Delta C_2KP \text{ dan } \gamma_1 \approx \text{tg} \gamma_1 = \frac{KP}{C_1P} \approx \frac{h}{R_1},$$

bu yerda  $h_1$  – 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:

$$\delta = \alpha + \varphi \text{ va } \theta = \gamma_1 + \gamma_2 \quad (7.7)$$

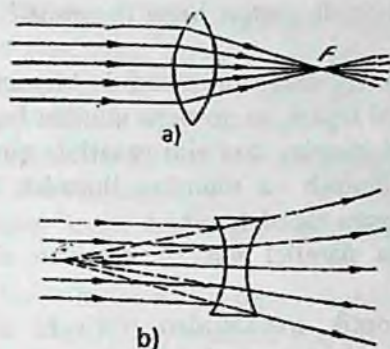
deb yozish mumkin. Biroq, prizma uchun  $\delta = (n-1)\theta$  formula o'rinli edi, bu yerda  $n$  linzaning sindirish ko'rsatkichi. Shuning uchun (7.6) va (7.7) formulalarga asoslanib quyidagi formulaga ega bo'lamiz:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f} = (n-1) \left( \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) \quad (7.8)$$

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 focuslar 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, linzadan tasvirgacha 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.

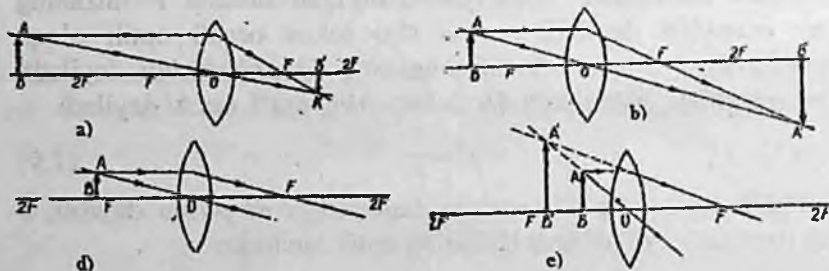
Linzada buyumning tasvirini yasashda buyumning bir nechta nuqtalarining tasvirini topish va so'ngra ulardan buyumning tasviri hosil qilish kerak. Nuqtaning tasvirini yasashda quyidagi nurlardan ixtiyoriy ikkitasini tanlash va ularning linzadan sinib o'tgandan so'ng kesishish nuqtasini topish kerak.

1. Optik o'qqa parallel nur, u linzadan singandan keyin fokusdan o'tadi.

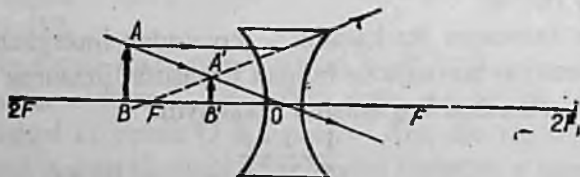
2. Linzaning optik markazidan o'tuvchi nur, u linzadan chiqqanda o'zining dastlabki yo'nalishini o'zgartirmaydi.

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.  $AB$  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'ng'ir holda fokus bilan ikkilangan fokus oraliq'ida paydo bo'ladi.

2. Buyum linzaning fokusi bilan ikkilangan fokusi oraliq'ida turgan bo'lsin (7.8 b-rasm), ya'ni  $F < d < 2F$ , bunda tasvir to'ng'ir va kattalashgan holda ikki fokus oraliq'idan naribroqda paydo bo'ladi.

3. Buyum linzaning fokusida turgan bulsin, ya'ni  $d = F$  (7.8 d-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 e-rasm). Bunda tasvir mavhum to'ng'ir 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'ng'ir va kichiklashgan bo'ladi.

Buyum  $AB$  sochuvchi linzaning fokusi bilan ikkilangan fokusi orasida turgan bo'lsin, ya'ni  $F < d < 2F$  (7.9-rasm). Bunda tasvir mavhum, to'ng'ir va kichiklashgan holda fokus bilan linza orasida paydo bo'ladi.

### 7.3-§. Asosiy fotometrik kattaliklar

Yorug'lik hodisalarini o'rganishda yorug'likning 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 etadigan 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.

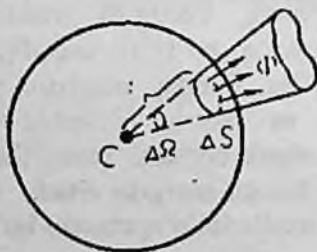
Ma'lum bir yuzaga tushayotgan nurlanish quvvati bilan o'lchanadigan kattalik  $F$  *yorug'lik oqimi* deyiladi:

$$\Phi = \frac{W}{t}. \quad (7.12)$$

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  $\Delta S$  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  $\Omega$  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  $4\pi$  steradianga teng bo'lar 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,  $\Delta F$  – yorug'lik oqimi,  $\Delta S$  – 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 yuza birligiga tushayotgan yorug'lik oqimiga teng ekan.



Mehnat unumini o'rttirish 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                  | 10 000 lk va undan ortiq |
| Kinoekrandagi yoritilganlik                                  | 20 – 80 lk               |
| Havo bulut bo'lganda ochiq joydagi yoritilganlik             | 1 000 lk va undan ortiq  |
| Bulutsiz tush vaqtidagi oftobdan hosil bo'lgan yoritilganlik | 100 000 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 yetarli 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 yerda  $\Delta S$  – 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 yerda  $\varphi$  – nurlanayotgan sirtga o'tkazilgan normal bilan kuzatish yo'nalishi orasida burchak.

Endi yuqorida ko'rib o'tilgan fotometrik kattaliklarning o'lchov birliklari bilan tanishib chiqaylik. Birliklarning xalqaro SI sistemasida fotometrik kattaliklarning asosiy birligi qilib yorug'lik kuchi birligi *kandela* (lotincha sham) – *kd* qabul qilingan. Kandela temperaturasi platinaning normal bosimdagi qotish tumperturasi ( $1769^{\circ}\text{C}$ )ga teng bo'lgan to'la nurlagich kesimining  $1/600000 \text{ m}^2$  yuzidan bu kesimga perpendikulyar yo'nalishda chiqargan yorug'lik kuchidir.

Yorug'lik oqimining birligi qilib *lyumen* (*lm*) qabul qilingan. (7.15) formulaga binoan  $1 \text{ lm} = 1 \text{ kd} \cdot 1 \text{ sr}$ , ya'ni yorug'lik kuchi 1 kandela bo'lgan nuqtaviy manbaning bir steradian fazoviy burchak ichida chiqargan yorug'lik oqimi bir *lyumen* deyiladi.

Agar nuqtaviy manba yorug'likning hamma yo'nalishlari bo'yicha tekis tarqatayotgan bo'lsa, uning to'liq yorug'lik oqimi

$$\Phi_0 = 4\pi I \quad (7.20)$$

ga teng bo'ladi. Yoritilganlik birligi qilib *lyuks* (*lk*) qabul qilingan. Ya'ni  $1 \text{ m}^2$  sirtga 1 lyumen yorug'lik oqimi normal tushib, tekis taqsimlanganda hosil bo'lgan yoritilganlik 1 lyuks deb ataladi.

Yorqinlik ham yoritilganlik o'lchanadigan birliklarda, ya'ni lyukslarda o'lchanadi.

Ravshanlik birligi qilib nit (*nt*) qabul qilingan. (7.18) formulaga asosan u quyidagiga teng:

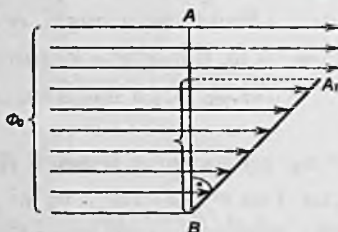
$$1 \text{ nit} = 1 \text{ kd} / \text{lm}^2.$$

Buyumlarning yoritilganligi manbaning yorug'lik kuchiga va manbadan yoritilayotgan sirtgacha bo'lgan masofaga bog'liq holda o'zgarar ekan. Yoritilayotgan  $r$  radiusli shar bo'lib, uning markazida yorug'lik kuchi  $I$  bo'lgan nuqtaviy manba turgan bo'lsin. Bu holda nurlar yoritilayotgan sirtning har qanday elementiga perpendikulyar bo'ladi. Yorug'lik kuchi  $I$  bo'lgan manbaning barcha yo'nalishlar bo'ylab sochayotgan to'liq yorug'lik oqimi  $\Phi_0 = 4\pi I$  bo'ladi. Butun

shar sirtining yuzi  $S = 4\pi r^2$  bu sirtning yoritilganligi quyidagicha bo'ladi:

$$E_0 = \frac{\Phi_0}{S} = \frac{4\pi I}{4\pi r^2} = \frac{I}{r^2}. \quad (7.21)$$

Bu bog'lanish yoritilganlikning birinchi qonunini ifodalaydi. Nuqtaviy yorug'lik manбайдan 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 ( $\Phi$ )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  $AB$  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  $\alpha$  burchakka og'diramiz, unda sirt  $A_1B$  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<sub>1</sub> uchburchakdan  $\frac{BC}{BA_1} = \cos \alpha$  deb yozish mumkin, u holda yuqoridagi tenglik

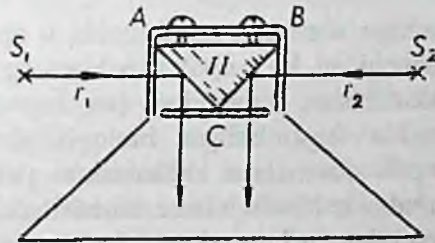
$$\frac{E}{E_0} = \cos \alpha \text{ yoki } E = E_0 \cos \alpha \quad (7.22)$$

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 sirtga 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 sodda fotometrning tuzilishi

Sirtlarning yoritilganligini tenglashtirish yo'li bilan ikki manbaining yorug'lik kuchi taqqoslanadi. Shu maqsadda ishlatiladigan asboblarni *fotometrlar* deb ataladi. Eng sodda fotometrlardan birining ishlash prinsipi bilan tanishib chiqamiz (7.12-rasm). Uchburchakli ABS prizmaning oq rangga bo'yalgan AS va BS yoqlariga S<sub>1</sub> va S<sub>2</sub> manbalardan yorug'lik tushadi. Yoritilganlik S tomondan ko'z bilan

prizmaning  $BS$  va  $AS$  yoqlari bir xil yoritilishiga erishiladi va shundan so'ng quyidagi mulohazalarga muvofiq manbaning 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

$$E_1 = \frac{I_1}{r_1^2} \cos \alpha \quad \text{va} \quad E_2 = \frac{I_2}{r_2^2} \cos \alpha$$

yoritilganlik hosil qiladi. Fotometrni  $E_1 = E_2$  bo'ladigan qilib joylashtirganimiz uchun quyidagini yoza olamiz:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{r_1^2}{r_2^2} \quad (7.24)$$

(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 asboblari – 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'liqinni 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'liqin uzunligini sezuvchi organlar rivojlanmagan. Lekin, bundan ancha katta to'liqin uzunlikli ultrabinafsha nurlarni ham ko'z sezmaydi. Bunga sabab yuqori energiyali ultrabinafsha nurlar ko'zdagi yorug'likka sezgir pigmentlarni buzishidadir.

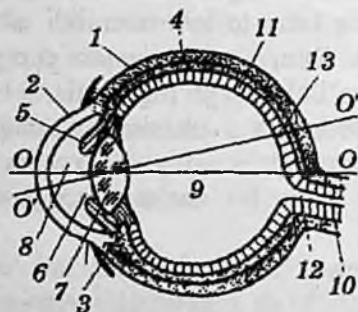
Shu sababli gavyar va shishasimon suyuqlik nafaqat ultrabinafsha nurlarni, balki to'liqin uzunligi 400 nm ga yaqin ba'zi nurlarni ham kuchli yutadi. Agar bu nurlar energiyasi katta bo'lsa to'r pardani kuydiradi.

Infraqizil nurlarni oladigan bo'lsak, uni hayvonlar tanasining o'zi ham chiqaradi. 37°C da maksimal nurlanish 9-10 mkm to'liqin uzunlikka mos keladi. 1sm<sup>2</sup> 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.



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 oldingi 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.



**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 (retina), 12-ko'zning ko'r dog'i, 13-sariq dog'.**

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 yorug'likni qabul qiluvchi apparati (retseptori) bo'lgan to'rpardaga yoki retina 11 ga o'tadi. To'r parda bir necha qatlamlardan 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 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.

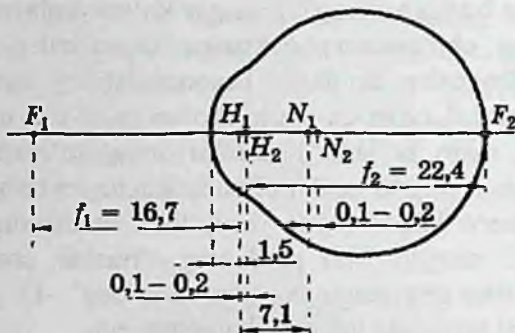
Dastlab ko'zning yorug'lik o'tkazish apparatining xususiyatlarini ko'rib chiqamiz.

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).

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.



*7.14-rasm. Ko'zning fokuslar, bosh nuqtalar, tekisliklar va tugun nuqtalari*

Yorug'likning 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 jismlarni 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

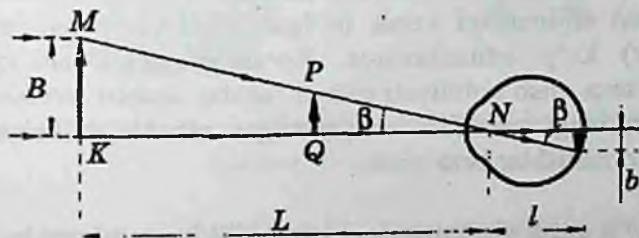


bo'ladi, uning o'zgarishlari taxminan 60—0 dptr chegarasida bo'ladi.

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  $\beta$  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 kattaligi 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'r 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'r 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.

Agar bemorning eng kichik ko'rish burchagi 4' ga teng bo'lsa, uning ko'zi  $1:4 = 0,25$  o'tkirlikka ega bo'ladi.

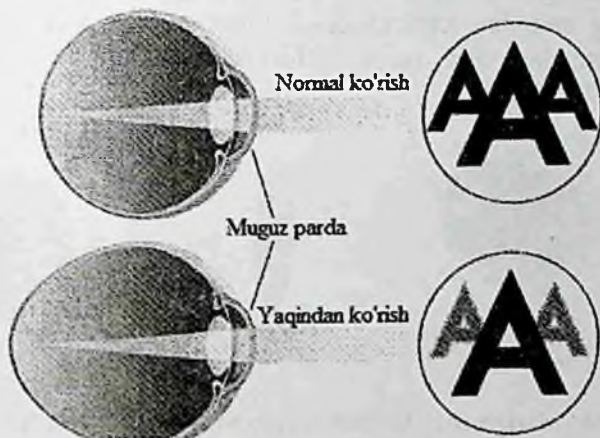
Ayrim hollarda odam ko'zi 1' burchakka mos kelgandan ham maydaroq kattaliklarni ajrata oladi. Masalan, harakatlanuvchi jismlarning siljishi yoy bo'yicha 20" ga yetganda seziladi, ikki ingichka chiziqdan birining ikkinchisi ustiga tushmaganligini ular orasidagi burchak 12" bo'lganidayoq bilinadi va hokazo. 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'r 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.

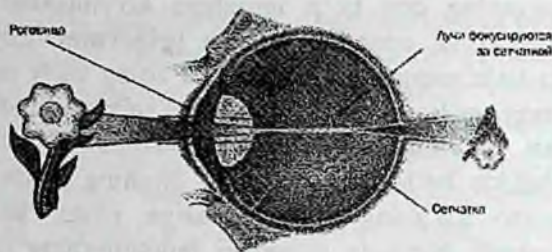
*Yaqindan ko'radigan (miopiya)* odamning ko'z soqqasi cho'ziqroq shaklda bo'ladi (7.16-rasm). Shuning uchun uzoqdagi buyumlar tasviri ko'zning to'r pardasiga emas, balki undan oldinroqqa tushadi. Natijada uzoqdagi buyumlarning tasviri aniq ko'rinmaydi. Bu holat ko'z gavharining do'ngligi ortib ketishi 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

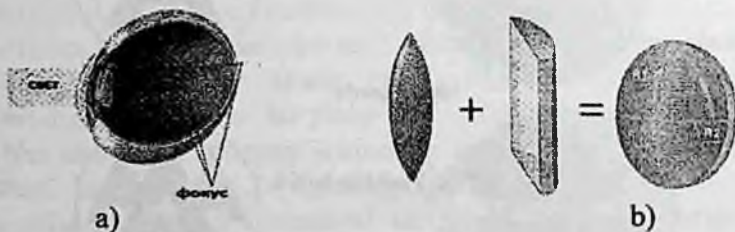
*Uzoqdan ko'rish (gipermetropiya)* asosan tug'ma bo'ladi. Bunday odamlarda ko'z soqqasi qisqaroq bo'ladi. Bunda yaqindagi buyumlarning tasviri ko'z to'r pardasiga emas, balki uning orqasiga tushadi. Uzoqdan ko'rishning ikkinchi sababi ko'z gavhari do'ngligining kamayishidir. Bu ko'pincha keksalarda hayoti mobaynida sodir bo'ladi. Uzoqdan ko'ruvchi ko'zni tuzatish uchun yig'uvchi linza ishlatiladi (7.20 b-rasm).



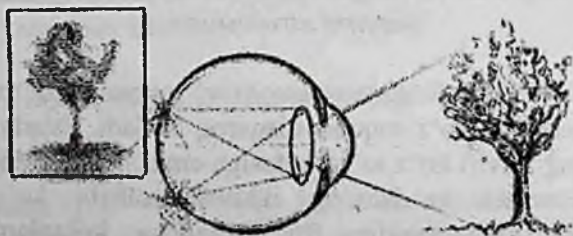


**7.17-rasm.** Uzoqdan ko'radigan ko'zda tasvirning hosil bo'lishi

**Astigmatizm** – nuqtaviy bo'lmagan, buyumning bitta nuqtasiga tasvirning bir nechta nuqtalari to'g'ri keladi. Bu optik sistemanning shunday kamchiligi-ki, unda sferik yorug'lik to'liqini optik sistemadan o'ta turib, deformatsiyalanadi va sferikligini yo'qotadi (7.18-rasm).

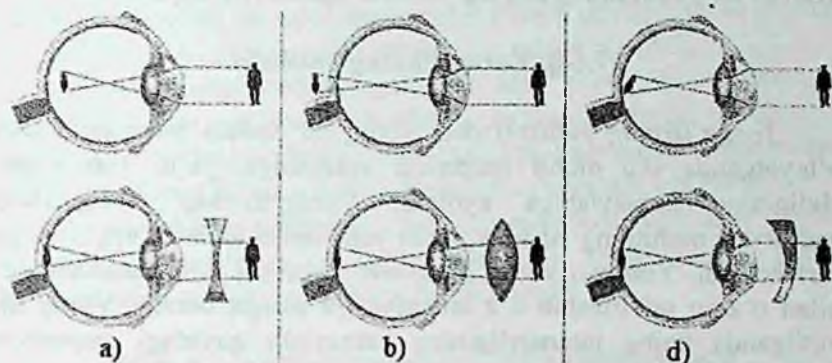


**7.18-rasm.** Astigmatik ko'zda tasvirning fokuslanishi (a) va uni tuzatish uchun qo'llaniladigan sferik linzalar sistemasi (b)



**7.19-rasm.** Astigmatik 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 d-rasm).



7.20-rasm. Ko'rish o'tkirligini buzilishi va uni korreksiyalash  
(a – yaqindan ko'rish (miopiya), b – uzoqdan ko'rish  
(gipermetropiya), d – 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-nasliga 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  $\lambda$ ) 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 eritmada ionlar o'zaro ta'sir qila boshlasa, A eritma konsentratsiyasiga bog'liq bo'lib qoladi.

Ber qonunini hisobga olsak, yorug'likning yutilish qonuni:

$$I = I_0 e^{-ACx} \quad (7.27)$$

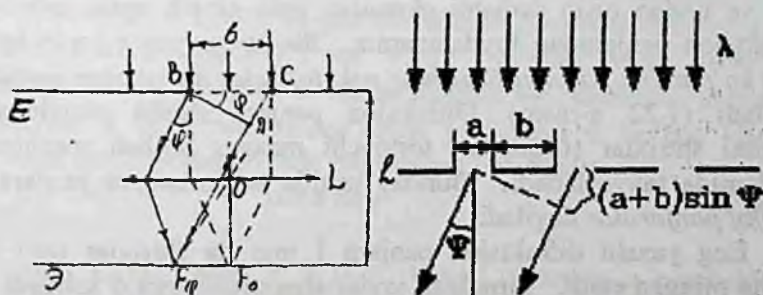
ko'rinishda bo'lib, *Buger-Lambert-Ber qonuni* deyiladi va bu qonun elektromagnit to'lqinlarning keng spektri uchun o'rindir.

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 difraksion manzaralar amaliy ahamiyatga egadir. Avvalo, bir tirqishdan bo'ladigan difraksiyani ko'rib o'taylik. Faraz qilaylik, tor tirqishli noshaffof  $E$  to'siqqa parallel monoxromatik nurlar dastasi tushayotgan bo'lsin (7.21-rasm).



7.21-rasm. Difraksion panjaradan nurning sxematik o'tish yo'li. Bunda  $a$ -tirqish uzunligi,  $b$ -to'siq uzunligi.

Bunda " $b$ " uzun tor tirqishning kengligi ( $b=BS$ ),  $L$  masofa  $E$  to'siqdan difraksion manzara kuzatilayotgan " $\mathcal{E}$ " ekrangacha bo'l-

gan masofa.  $E$  va  $\mathcal{D}$  ekranlar oraligiga  $L$  yig'uvchi linza joylash-  
tirilgan. 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 mak-  
simumda  $\varphi=0$  bo'lgani uchun ham bu *nolinchi tartibli bosh*  
*maksimum* deyiladi.

Yorug'likning difraksiyasi tufayli tirqishdan o'tgan nurlarni  
dastlabki yo'nalishga nisbatan  $\varphi$  burchakka og'adilar va bu  
*difraksiya burchagi* deyiladi. Bu nurlar ekranning  $F_\varphi$  nuqtasida  
yig'iladi. Xuddi shu kabi ekranning o'ng tomonida ham simmetrik  
holatda difraksion manzarani ko'rish mumkin. Nurlar faqat  $\varphi$   
burchakka emas yana  $\varphi_1$   $\varphi_2$  burchaklarga ham og'ishi mumkin. Shu  
nurlarga mos  $E$  ekranda difraksion manzaralarni kuzatamiz (7.22 b-  
rasm). Bunda difraksiya minimumi formulasi quyidagidan iborat:

$$b \sin \varphi = 2m \frac{\lambda}{2} \quad (7.28)$$

Bu *difraksion minimum sharti* ham deyiladi. Bunda  $m=1, 2, 3, \dots$  qiymatlar olib, uni *difraksiya tartibi* deyiladi.

Agar tor tirqish parallel oq nurlar bilan yoritilayotgan bo'lsa,  
ekrandagi, difraksion manzara *kamalak* rangga bo'yalgan bo'ladi.

Difraksiya manzarasining ravshanligini oshirish maqsadida  
ikki va undan ortiq tirqishli ekrandan yoki ajoyib optik asbob –  
difraksion panjaradan foydalanamiz. *Bir-biriga yaqin joylashgan*  
*juda ko'p tizimi parallel tirqishlar yoki to'siqlar difraksion panjara*  
deyiladi (7.22 a-rasm). Difraksion 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. Tirlangan 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 ham tirlangan joylar to'siqlar vazifasini bajaradi. Tirlan-  
magan joylar yorug'likka nisbatan shaffof bo'ladi 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 *doimiyasi* deyiladi.



7.22-rasm. Difraksion panjara (a) va unda spektrning ko‘rinishi (b).

Shu difraksion panjaraga monoxromatik nurlar dastasi tushayotgan bo‘lsin (7.21-rasm). Nurlar tirqishlar sistemasidan o‘tayotganida difraktsiya tufayli nurlar har xil burchaklarga og‘adilar. Bu nurlar kogerent bo‘lganligi sababli linza yordamida ekranga yig‘ilsa, u yerda interferension 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  $\varphi$  bilan belgilaylik. 1 va 2 nurlarining optik yo‘l farqi  $\Delta$  bo‘lsin va u chizmada  $DK = \Delta$  oraliq bo‘ladi. 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,  $\varphi$  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,  $\varphi$  burchakka og'ayotgan to'liqlar qo'shilib *difraksiyaning minimumini* beradi. Bu yerda  $m$  – *difraksiyaning maksimum yoki minimum tartibi* deyiladi. 7.30 formuladan yorug'likning to'liq uzunligini aniq o'lchash mumkin,

$$\lambda = \frac{d \sin \varphi}{m} \quad (7.32)$$

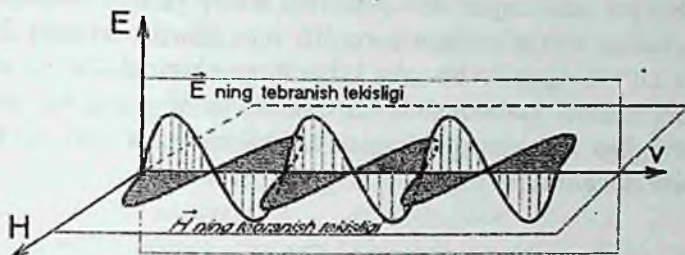
Agar difraksion panjaraga yorug'lik tarkibiga kiruvchi barcha rangdagi to'liqlari bo'lgan oq yorug'lik tushayotgan bo'lsa, har biri o'zining difraksion maksimumlarini hosil qiladi. Har bir difraksion maksimumlarning holati to'liq uzunligiga bog'liq. Natijada markaziy maksimumdan tashqari, bir-biridan 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'liqlar, qizil rangga – eng uzun to'liqlar mos keladi. Kuzatiladigan difraksiya maksimumlari *difraksion spektr* deyiladi.

Nolinchi (markaziy) tartibli spektr oqligicha qoladi, (7.32) formulaga asosan  $k=0$  bo'lganda barcha to'liq uzunliklari uchun difraksiya burchagi  $\varphi=0$  bo'ladi. Shuni ham eslatib o'tishga to'g'ri keladi-ki, difraksiya spektrlari bir-biriga qo'shilib ketadi, ya'ni 2-tartibli spektrning uzun to'liq sohasi 3-tartibli spektrning qisqa to'liqli 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'liqining 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. Har bir tizmaning tebranish tekisligi tasodifiy ravishda orientatsiyalangan bo'ladi. Shuning uchun natijaviy to'liq 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.

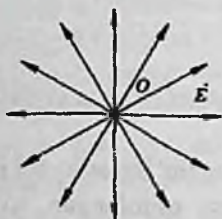
Elektrik  $E$  vektor va elektromagnit to'liqining tarqalish yo'nalishidan o'tuvchi tekislik qutblanish tekisligidir.

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'liqinlar deb hisoblash mumkin, ularda elektrik vektorlar, nurga perpendikular bo'lgan har qanday yo'nalishlar bo'yicha orientatsiyalangan. 7.24-rasmda biror paytdagi  $O$  nurning kesimi va  $E$  vektorlarning nurga perpendikular bo'lgan tekislikdagi proyeksiyalari ko'rsatilgan.

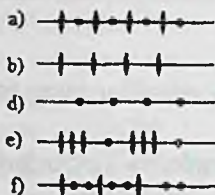
Agar tabiiy yorug'lik nuridan o'tuvchi istalgan ikki o'zaro perpendikular tekislik tanlab olib,  $E$  vektorlarni tekisliklarga proyeksiyalansa, o'rta hisobda bu proyeksiyalar bir xil bo'ladi. Shuning uchun tabiiy yorug'lik nurini, ustiga bir xil miqdorda chiziqchalar va nuqtalar shaklida proyeksiyalar 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-d rasm) yassi qutblangan yorug'lik nurini belgilaydi.

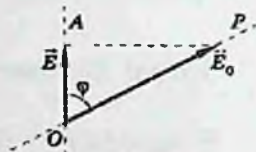
Qisman qutblangan deb ataluvchi tabiiy va qutblangan tashkil etuvchilardan iborat bo'lgan yorug'lik nuri shartli ravishda 7.25-e , f rasmda ko'rsatilgan bo'lib, shu bilan birga chiziqchalar va nuqtalar sonining nisbati qutblanishda darajasini, ya'ni yorug'likning to'la intensivligiga nisbatan qutblangan 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 polarizator (qutblagich) deyiladi. U faqat E tashkil etuvchini va mos ravishda H 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 vektoring faqat

$$E = E_0 \cos \varphi \quad (7.33)$$

ga teng bo'lgan qandaydir tashkil etuvchisining o'tkazadi, bu yerda  $\varphi$  - analizator A bilan polarizator (qutblagich) P ning bosh tekisliklari orasidagi burchak (7.26-rasm).



Yorugiikning intensivligi tebranishlar amplitudasining kvadrata-tiga 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,  $I$  — analizatoridan 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 atrofidadigidek 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 yorug'likdagi 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.

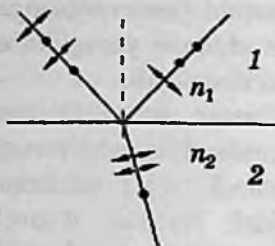
Agar tushish burchagi

$$\operatorname{tg} i_B = n, \quad (7.35)$$

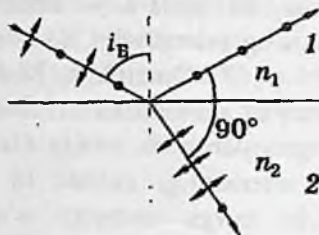
shartni qanoatlantirsa, qaytgan nur to'la yassi qutblangan bo'ladi (7.28-rasm). (7.35) munosabat Bryuster qonunini ifodalaydi. Bu yerda tushish burchagi Bryuster burchagi yoki to'la qutblanish burchagi, ikki muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi.

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

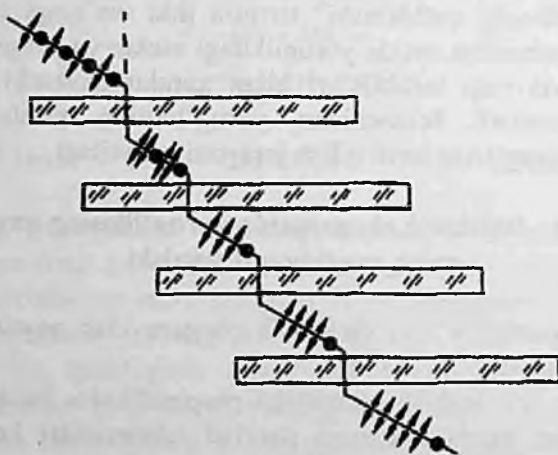
qaytgan nurlar orasidagi burchak  $90^\circ$  ga teng ekanini ko'rsatish qiyin emas.



7.27-rasm



7.28-rasm



7.26-rasm. Nurning plastinkalardan o'tishi vaqtida qutblanishi

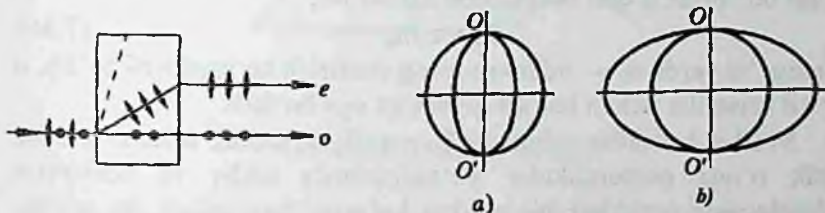
Shunday qilib, ikki dielektrik chegarasi yoki dielektrik bilan vakuum chegarasi qutblagich (polarizator)dir.

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.

## 7.10-§. 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 yorug'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. Agar bunday yo'nalish bitta bo'lsa, bu kristallar bir o'qli deyiladi. Bu xildagi kristallarga island shpati (kalsiy karbon oksidning bir turi- $\text{CaCO}_3$ , geksagonal sistema kristallari), kvarts, 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 nurniki – 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  $\vartheta_0$  tezlikka ega bo'lgan oddiy to'lqinlarga tegishli bo'lib, ellipsoidlar  $\vartheta$  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  $\vartheta_e \geq \vartheta_0$ . 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. Island shpati (manfiy kristall)  $n_0 = 1,6585$ ,  $n = 1,4864$ ; kvars 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).

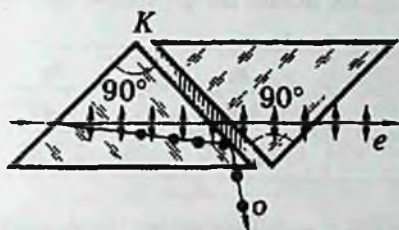
Qo'sh sindiruvchi kristallar bevosita qutblagich sifatida ishlatilmaydi, chunki oddiy va oddiymas nurlar dastalari juda kam ajralgan yoki hatto, bir-birini qoplagan bo'ladi. Lekin bunday kristallardan maxsus qutblagich prizmalar yasaladi.

Eng ko'p tarqalgan U.Nikol taklif qilgan prizmani (Nikol prizmasi yoki oddiygina nikol) ko'rib chiqamiz.

Nikol diagonali bo'yicha kesilib, Kanada balzami K bilan yopishtirilgan Island 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 nur pastki qoraytirilgan yoqda yutiladi. Oddiymas nur (e) nikoldan pastki qirraga parallel bo'lib chiqadi.

Turmalin, gerapatit (yod – xinin gugurt oksidi) va ba'zi boshqa kristallardan yasalgan qutblagichlar boshqacha prinsipga asos-

langan, ular qo'sh nur sindirish bilan bir qatorda yana nurlardan birini ikkinchisidan ko'ra ko'proq yutish (dixroizm) xossasiga egadir. Jumladan, qalinligi 1mm ga yaqin turmalin plastinkada oddiy nur amalda butunlay yutiladi va chiquvchi yorug'lik yassi qutblangan bo'ladi.



7.29-rasm. Nikol prizmasi

Mayda gerapatit kristallchalaridan selluloid plyonka ustida ancha katta 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 yomonligidadir. Oq yorug'lik bunday qutblovcchi 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.

Kristallning anizotropiysi oddiy va g'ayrioddiy (oddiy) to'liqlarning 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'nalishiga bog'liqligi kristalning anizotropiyasiga bog'liqdir. Bu esa anizotrop kristallarda turli yo'nalishlarda  $\epsilon_x$  va  $\epsilon_y$  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*  $n_o=c/c_o$  va *optik o'qqa perpendikulyar g'ayrioddiy nurning sindirish ko'rsatkichi*  $n_e=c/c_e$  lari bilan xarakterlanadilar. Jadvalarda  $n_o$  va  $n_e$  ning aynan shu qiymatlari keltiriladi. Quyidagi jadvalda  $\lambda=0,55$  mkm to'lqin uzunligidagi yorug'lik uchun bu qiymatlar quyidagicha bo'ladi:

| Kristall      | $n_o$ | $n_e$ | $ n_o - n_e $ |
|---------------|-------|-------|---------------|
| Island shpati | 1,66  | 1,49  | 0,17          |
| Kvars         | 1,545 | 1,554 | 0,009         |

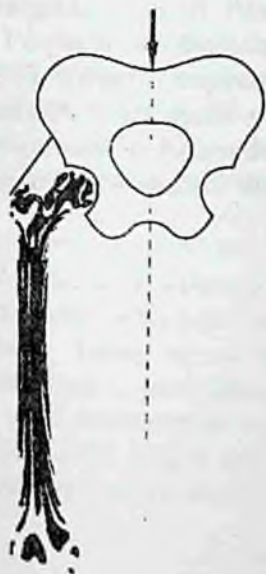
**Qutblagichlar, analizatorlar, kompensatorlar.** Ba'zi bir kristallarda, hususan turmalinda, oddiy va g'ayrioddiy to'lqinlarning yutish koeffitsientlari keskin farq qiladilar. Bu esa kristall plastinkaning qalinligi 1mm atrofida bo'lganda to'lqinlarning bittasining to'liq yutilishiga, ikkinchisining esa, chiziqli qutblangan, to'lqinning 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'lqinlar uchun anizotrop kristalldagi sindirish ko'rsatkichlari orasida farqni, to'la ichki qaytish effekti hisobiga, bu to'lqinlarni 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'lqinining 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



7.30-rasm. Qutblangan yorug'likdan suyak to'qimasining ko'rinishi

Shaffof biologik obyektlarni mikroskop orqali qaraganda turli strukturalarni ajratish qiyin, shuninguchun 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, obyektни qutblangan nurlar 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 tebranihlari 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 mikroskopiya orqali ko'rish mumkin. 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 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.

## VIII BOB. RADIOAKTIVLIK. IONLANTIRUVCHI NURLANISHNING ORGANIZMGA TA'SIRI

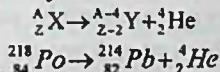
### 8.1-§. Radioaktivlik

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.

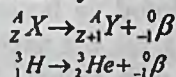
Tabiiy radioaktivlik tabiiy sharoitlarda mavjud bo'lgan noturg'un yadrolarda uchraydi. Sun'iy radioaktivlik deb turli yadroviy reaksiyalar natijasida hosil bo'ladigan yadrolarning radioaktivligiga aytiladi. Tabiiy va sun'iy radioaktivliklar orasida katta farq yo'q, ular umumiy qonuniyatlarga bo'ysunadilar.

Alfa-parchalanish yadroning  $\alpha$ -zarracha chiqarib o'z-o'zidan yemirilishidir. Siljish qoidasini hisobga olib alfa-parchalanish sxemasini quyidagi ko'rinishda yozish mumkin:

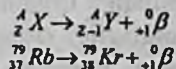


Beta-parchalanish yadro ichida neytron va protonning o'zaro aylanishidan iborat. Beta parchalanish 3 turga bo'linadi:

1. Elektron yoki  $\beta^-$  parchalanish, yadrodan  $\beta^-$ -zarracha (elektron) uchib chiqishida namoyon bo'ladi.

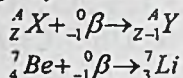


2. Pozitron  $\beta^+$ -parchalanish pozitron yoki parchalanish.  $\beta^+$  parchalanishning sxemasi:





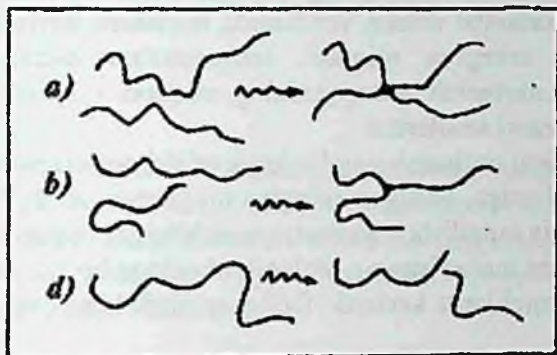
3. Elektron yoki e-tutilish. Radioaktivlikning bu turi yadro atomning ichki elektronlaridan birini tutib olib, buning natijasida yadroning protoni neytronga aylanishidan iboratdir:



### 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  $\gamma$ -nuriar, elektronlar,  $\alpha$ -zarralar, protonlar, tez neytronlar) bo'lganda ham, molekulalarning kimyoviy o'zgarishiga ularning ikkilamchi (nurlanish ta'sirida yuzaga kelgan) elektronlar, bo'linish parchalari,  $\gamma$ -kvantlar kabilar bilan o'zaro ta'sirlashishi sabab bo'ladi. Bunday o'zaro ta'sirning mahsulotlari: ionlar, erkin radikallar, uyg'ongan zarralar, odatda, boshqa molekulalar 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 molekulalarining tuzilishini o'zgartiruvchi bir qator kimyoviy reaksiyalarni, xususan, molekulalar orasida kimyoviy bog'lanishlar (birikish) (8.1- a, b, rasm), molekulalarning uzilishi (destruksiya) (8.1- 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 keltiradi-ki, bu, o'z navbatida, polimerlarning fizik xossalari o'zgarishiga olib keladi. Masalan, polietilen, tabiiy kauchuk, neylon kabi bir guruh polimerlar  $\gamma$ -nurlar bilan nurlantirilganda ularning uzilishga mustahkamligi va temperaturaga chidamliligi, materialning qattiqligi ortadi, eruvchanligi o'zgaradi. Boshqa bir guruh polimerlar, masalan, teflon, selluloza, butil-kauchuk kabilar bor-ki, 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 xarakteristikalaridan 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 xarakteristikasi ularning dozasi. Nurlanish dozasi yordamida nurlanish davrida obyektga tushayotgan energiya miqdori (ekspozitsion doza), obyektga 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 obyektga 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 molekular orasida taqsimlanib, kimyoviy bog'lar uziladi. Ularning atrofida esa yangi ionlar va erkin radikallar paydo bo'ladi. Radioliz jarayonlariga yutilgan energiyaning 30% sarf bo'ladi. Suvdan tashqari radiolizga hujayraning bioorganik molekulari-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 molekular 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, nukleotsidlar, 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 xossalarini kamayishi kuzatiladi.

#### **8.4-§. Radioaktiv nurlarning inson organizmiga ta'siri**

Radioaktiv moddalar ma'lum xususiy xossalariga ega bo'lib, inson organizmiga ta'sir qilishi natijasida havfli vaziyat vujudga kelishi mumkin. Radioaktiv moddalarning eng havfli 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 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 molekularlarning 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, kapillyar 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 moddalaning 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 ishdan chiqaradi. Ba'zi bir radioaktiv moddalar zaharli bo'lib, ularning zaharlilik darajasi eng havfli zararli moddalarnikidan ham yuqori bo'ladi.

Radiatsion nurlanish barcha tirik obyektlarga, eng oddiy (virus va bakteriyalar) dan tortib to insonlargacha, kuchli ta'sir qiladi, ularga shikast yetkazadi, hatto nobud qilishgacha olib keladi. Biologik obyektning nurlanishga *radiosezigirlik* 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 molekularlarning 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  $\text{NH}_2$  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 dozasi 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 miqdor 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 1J ionlovchi nurlanish energiyasi berilishiga teng bo'lgan nurlanish dozasi; *nurlanish dozasi quvvati sekundiga greylarda* (Gr/s) ifodalanadi. Nurlanish dozasi 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 nurlaniga dozasi topiti uchun jismga tushayotgai ionlovchi energiyani va jism orqali o'tayotgan energiyani o'lchab, bu energiyalar ayirmasini jism massasiga bo'lish lozimdek ko'rinadi. Birok jism bir jinsli emasligi, energiya jism tomonidan har xil yo'nalishlar bo'yicha sochilishi va shu kabilar sababli buni qilish mushkul. Shu tufayli yetarli 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  $\gamma$ -nurlaishi uchun dozanipg yana bir tushunchasi — *ekspozitsion doza* nurlanishi ( $X$ ) kiritiladi. Bu tushuncha rentgen va  $\gamma$ -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 sm<sup>3</sup> quruq havoning ionlanishi natijasida 0°C va 760 mm. sim. ust. bo'lgan vaqtda har bir ishorasi 1 birl. SGS<sub>Q</sub> ga teng bo'lgan zaryad tashuvchi ionlar hosil bo'ladi.

1 R ekspozitsion dozaning 0,001293 g quruq havoda  $2,08 \cdot 10^9$  juft ionlar hosil bo'lishiga barobardir, ya'ni  $1R = 2,58 \cdot 10^{-4} \text{ kl/kg}$ . 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 yerda  $f$  – 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, rad larda olingan yutilgan doza rentgenlarda ifodalangan ekspoziatsion dozaga son jihatidan teng bo‘lar ekan. Mana shu hol sistemadan tashqari birliklar – 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  $\gamma$ -nurlari hosil qiladigan mos effektlar bilan solishtiruvchi qabul qilingan.

To‘qimalarda yutilgan doza birdan bo‘lganda berilgan nurlanish turining biologik ta‘siri effektivligining rentgen yoki  $\gamma$ -nurlanish effektivligidan necha marta katta ekanligini ko‘rsatuvchi  $K$  koeffitsiyent *sifat koeffitsiyenti* deb ataladi. Radiobiologiyada *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 — «биологический эквивалент рентгена» so‘zlarining bosh harflaridan olingan) qabul qilingan:  $1\text{ber} = 10^{-2}Zv$ . Berlarda ifodalangan ekvivalent doza rad

larua nisoblangan yutilgan doza bilan sifat koeffitsiyentining ko'paytmasiga tengdir.

Tabiiy radioaktiv manbalar (kosmik nurlar, yer 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.  $\gamma$ -nurlanishning minimal letal (o'linga 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***

| <b>Nurlanish miqdori</b> | <b>Zararlanish belgilari</b>   |
|--------------------------|--|
| 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*ar (dozimetrlar) deb, ionlovchi nurlanishlar dozasini o'lchash yoki dozalar bilan bog'langan kattaliklarni o'lchash asboblari ga aytiladi.

Konstruktsion jihatdan dozimetrlar yadrodagi nurlanish detektor va o'lchov 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.

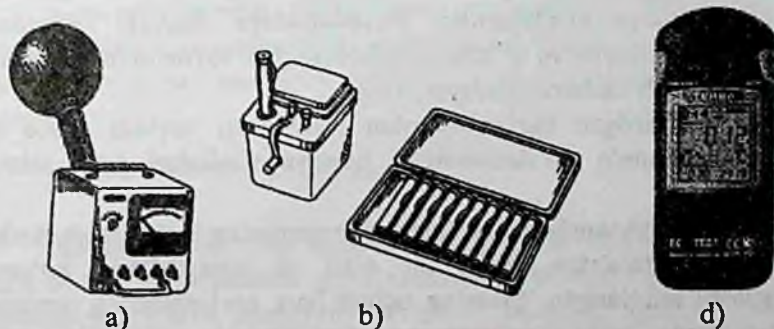
Dozimetrlar birorta ma'lum nurlanish turining dozalarini o'lchashga yoki aralash nurlanishni qayd etishga moslashtirilib yasalgan bo'lishi mumkin.

Rentgen va  $\gamma$ -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. 8.2-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.

8.2-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 qilingan elektrometrdada qayd qilinadi. Uning ko'rsatishlari ionlovchi nurlanishning ekspozitsion dozasi-ga bog'liq.



8.2-rasm. Dozimetric asboblar. MRM-2 mikrorentgenometr (a), individual dozimetrlar komplekti DK-0,2 (b) va Terra dozimetri (d)

Detektorlari gaz razryad schetchiklaridan iborat bo'lgan dozimetrlar ham mavjud.

Radioaktiv izotoplar aktivligini yoki kontsentratsiyasini o'lchash uchun *radiometrlar* qo'llaniladi.

Barcha dozimetrlarning umumiy sxemasi 8.2-rasmdagiga o'xshash bo'ladi. Datchik (o'Ichagich preobrazovatel') rolini yadroviy nurlanishlar detektori bajaradi. Chiqish qurilmalari sifatida strelkali asboblari, o'zi yozgichlar, elektromexanikaviy schyotchiklar, tovush va yorug'lik signalizatorlari va boshqalar ishlatilishi mumkin.

### 8.7-§. Nurlanish normalari. Ionlovchi nurlanishdan himoyalanih

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 dozasi 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-gigiyena 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 dozasini 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 ishlaydigan kishilar ularning zararli ta'siridan himoyalanihlari zarur. Bu sof fizikaviy masalalar doirasidan chiquvchi katta va maxsus masaladir. Uni qisqacha ko'rib chiqamiz.

Himoyalanihlarning uchta turini — vaqtdan, masofadan va material bilan himoyalanihlarni farqlay bilish kerak.  $\gamma$ -nurlanishning nuqtaviy manbai modelida dastlabki ikki himoyalanihlarni tasvirlaymiz:

$$X = k_{\gamma} \frac{A}{r^2} \cdot t \quad (8.2)$$

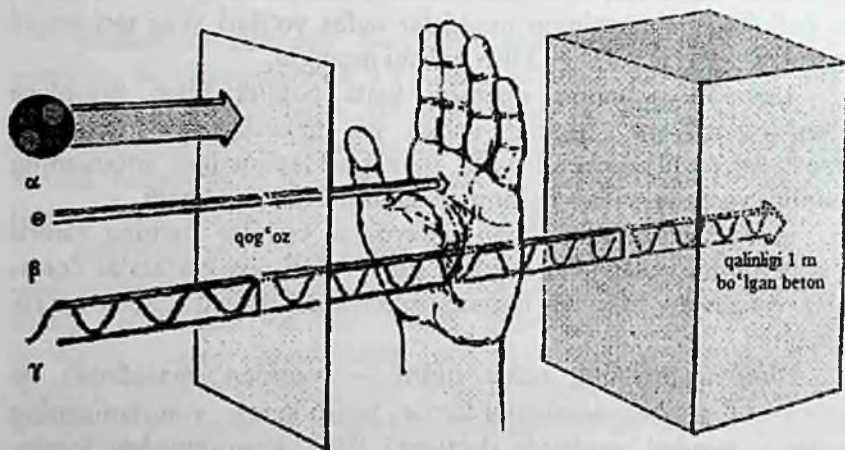
Bu formuladan vaqt qanchalik ko'p bo'lib, masofa qanchalik kam bo'lsa, ekspozitsion doza shunchalik katta bo'lishini ko'rinib turibdi. Binobarin ionlovchi nurlanish ta'sirida mumkin qadar kamroq va nurlanish manбайдan mumkin qadar uzoqroq masofada turish kerak ekan.



Material bilan himoyalaniş modellarining turli ionlovchi nurlanishlarni turlicha yutish qobiliyatlariga asoslangan (8.3-rasm).

$\alpha$ -nurlanishdan himoyalaniş sodda bo‘lib, bu nurlarni yutish uchun bir varaq qog‘oz yoki bir necha santimetr qalinlikdagi havu qatlami kifoya. Ammo radioaktiv moddalar bilan ishlash mobaynida nafas yo‘li orqali yoki ovqatlanish paytlarida  $\alpha$ -zarrachaning organizm ichiga kirib ketishidan saqlanmoq kerak.

$\beta$ -nurlanishdan himoyalaniş uchun qalinligi bir necha santimetr bo‘lgan alyuminiy, pleksiglas yoki shisha plastinkalar etarlidir.  $\beta$ -zarrachalar moddalar bilan ta’sirlashganda tormozlanish rentgen nurlanishining,  $\beta^+$ -zarrachalarda esa bu zarrachalarning elektron bilan annigilyatsiyalanishi paytida paydo bo‘luvchi  $\gamma$ -nurlanishning hosil bo‘lishini nazarda tutish lozim.



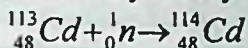
8.3-rasm. Ionlovchi nurlanishdan himoyalaniş turlari

«Neytral» nurlanish hisoblangan rentgen,  $\gamma$ -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  $\gamma$ -nurlanish dastasining zaiflanishi Buger qonuniga mos keladi. Zaiflanish koeffitsiyenti yutuvchi modda elementining tartib

nomeriga va to'liq uzunligiga bog'liq bo'ladi, Himoyalani sh 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

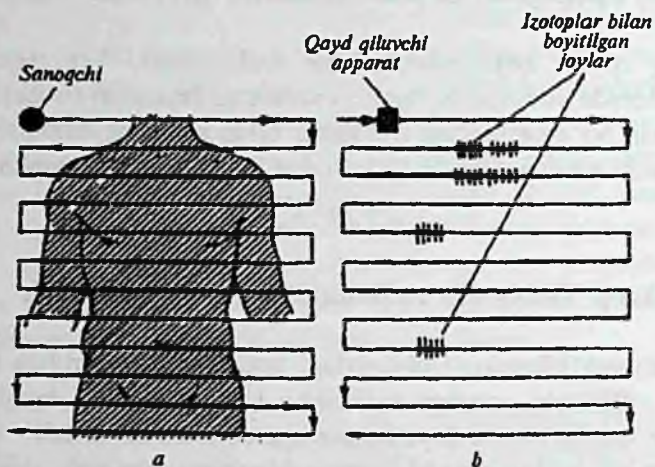
Radionuklidlarning tibbiyotdagi tatbiqini ikki guruhga bo'lish mumkin. Birinchi guruhga radioaktiv indikatorlardan davolash va tekshiruv maqsadlarida foydalaniladigan metodlar kiradi. Radionuklidlarning ionlantiruvchi nurlanishlarining biologik ta'sirining davolash maqsadlarida qo'llanilishiga asoslangan 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  ${}_{53}^{125}\text{I}$  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'zolarga metastaza berishi mumkin. Bu a'zolarda radioaktiv yodning to'planishi metastaza haqida ma'lumot berishi mumkin.

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).



8.4-rasm. Gamma-topograf skanirlovchi schetchik (sanoqchi)ning yo'li (a) va uni qayd qilish kartasi (b).

Gamma-topograf ionlantiruvchi nurlanishning a'zodagi 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 oganizmiga tekshiruv oldidan tomir ichiga kiritiladi yoki gaz holatida kiritilgan radiofarm preparatining



tarkibiga kiruvchi radionuklidning parchalanishi natijasida hosil bo'ladi.

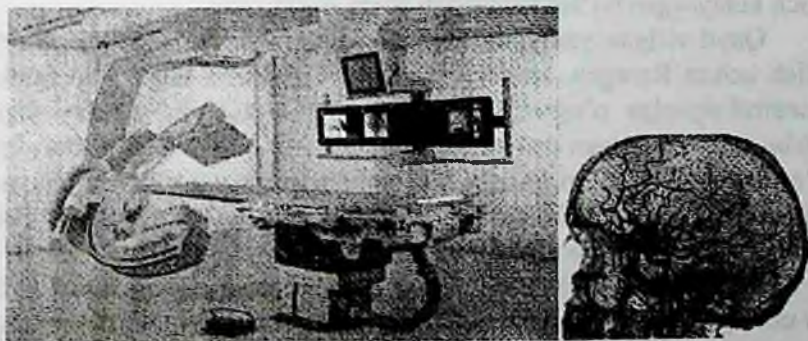
PET organizmda bo'layotgan turli jarayonlarni aynan konkret tekshiruvga mos radiofarm preparat yordamida aniqlash imkonini beradi: metabolizm, moddalar transporti va h. k.

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 tomografiyada va gibrid operatsiyalarda qo'llaniladi. Angiografiya tomirlarni funktsional holatlarini, qon oqishini va patologik 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 muskularidan 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 bariy kristallari yashil rangda tovlana boshlaganini payqab qoldi. Rentgen trubkani o'chirishi bilanoq, tovlanish to'xtadi. Qaytadan yoqsa, kristallar yana yorishib, tovlana boshladi. Tekshirishlarni davom ettrib, 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.

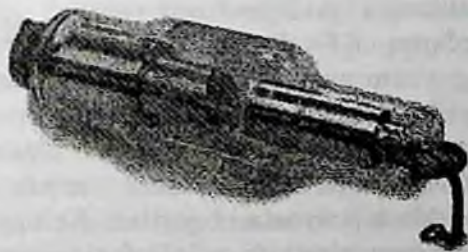
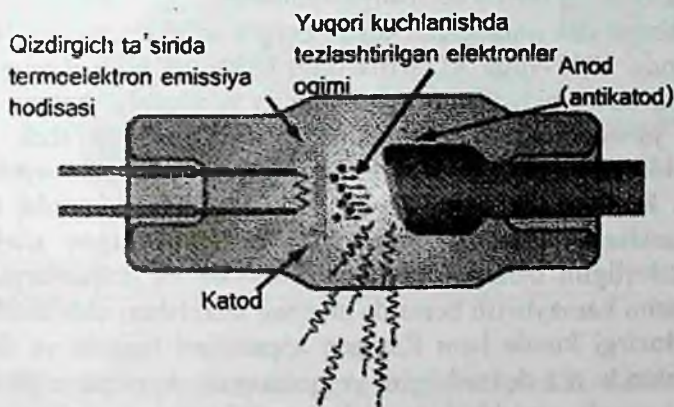
Qayd etilgan yangicha turdagi nurlanishning intensiv oqimini olish uchun Rentgen, katod nurlanishlari elektron nur trubkasining konstruksiyasiga o'zgartirishlar kiritdi. Shu tufayli, bunday yangicha trubka Rentgen trubkasi deb nomlanish oldi. Yangi nurlarning g'aroyib xususiyatlari ko'zga tashlanar edi: 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 fotokadring 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 iltomos qildi. Rentgenlar oilasining jiddiy hayratiga sabab bo'lib, fotoplastinkada kaft va barmoqlarning emas, balki kaft va barmoq suyaklarining tasviri paydo bo'ldi. Barmoq-

larning 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.



8.6-rasm. Rentgen trubkasining tuzilishi.



Lekin, rentgen 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.

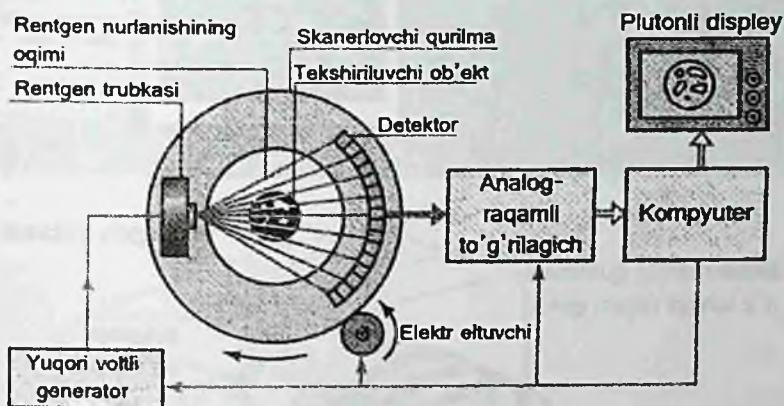
Rentgen trubkasi elektron-nur trubkasining bir turi bo'lib, u radiatsiyaning aks ta'sirlarini minimallashtirish maqsadida atroflama to'liq metall qoplama bilan qoplanadi. Unda faqat juda kichik tirqish bo'lib, u orqali rentgen nurlari mijoz tanasining tekshirayotgan qismiga yuboriladi (8.5-rasm). Trubkaning ichida kuchli quvvatga ega elektr toki, elektronlarni musbat anod va manfiy katod orasida harakatlanishga majbur qiladi. Elektronlarning anodga ta'siri rentgen 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.

1970-yillardayoq KT skanerlar – rentgen va kompyuter tomograflarining o'zaro uygunlikdagi qurilmalari paydo bo'ldi. Bu usulning mohiyati shunda edi-ki, odam organizmidagi turli xil to'qimalar, rentgen nurlarini turlicha o'tkazadi. Shu sababli, har xil organlarning rentgen tasvirlarini 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.

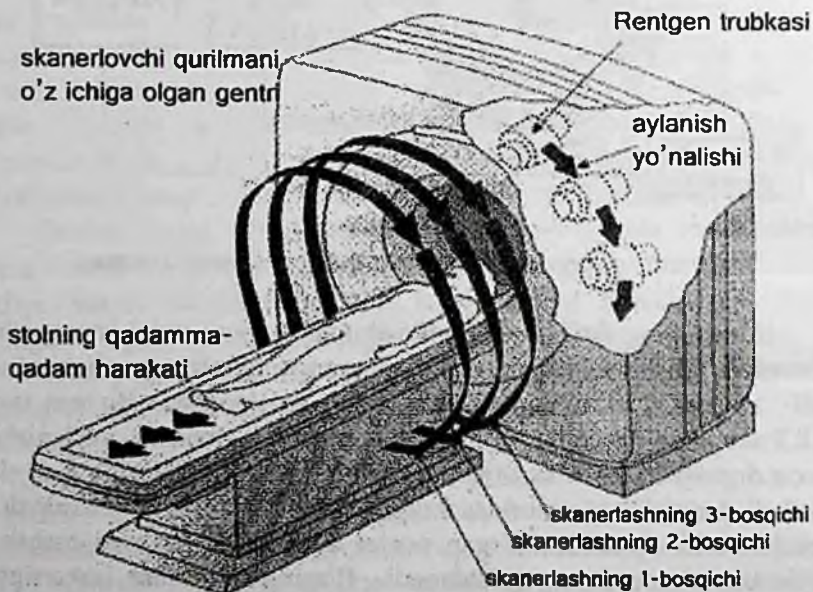
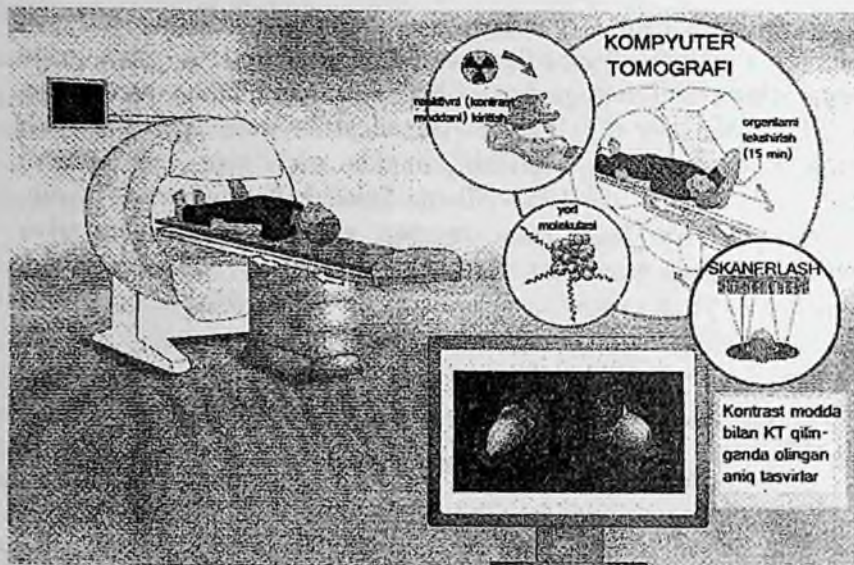
KT – bu ham o‘rganilayotgan ob‘ektning ichki strukturasi qatlam-qatlam o‘rganadigan usuldir. Ilk bor 1972-yilda inson miyasining sifatlari tomografiyasi olingan. Lekin KTning tarixi ancha avval boshlangan: 1917-yilda Avstraliyalik matematik I. Radon rentgen nurlanishining yutilishi modda zichligiga bog‘liqligini isbotlab bergan. 1956-1958-yillarda Sovet Ittifoqi olimlari Tyutin, Korenblyum va Tetel’baum rentgen suratlarini rekonstruksiya qilish sistemasini yaratdilar. Dastlabki tomograf 1962-yilda ishlab chiqilib, 10 yildan so‘ng tajribada sinaldi. 1979-yilda Xounsfield 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 yeridir. Rentgen nurlanishi inson organizmidan o‘tayotganida uning turli to‘qimalarida har xil yutiladi. Juda zich strukturalar rentgen nurini umuman o‘tkazmaydi. Tekshiruvchi ob‘ektidan 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*



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.

## GLOSSARIY

**Absolyut qattiq jism** – Ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa o‘zgar-may qoladigan jismga absolyut qattiq jism deyiladi.

**Akkomodatsiya** – Ko‘zning har xil uzoqlikda joylashgan jismlarni rav-shan ko‘rishga moslasha olishga – “keskinlikka to‘g‘rilanishiga” akko-modatsiya deyiladi.

**Astigmatizm** – Bu optik sistemaning shunday kamchiligiki, unda sferik yorug‘lik to‘lqini optik sistemadan o‘ta turib, deformatsiyalanadi va sferikligini yo‘qotadi.

**Atom fizikasi** – Atom fizikasi – bu atomlar tuzilish va holatini o‘rga-nadigan fanidir.

**Biofizika** – Bu fan tirik organizmdagi fizik va fizik-kimyoviy jara-yonlarni, shuningdek, biologik sistemalarning ultrastrukturasini tashkil qilishning hamma jabhalarida – submolekulyar va molekulyardan to tuqima va to‘liq organizmgacha o‘rganadi.

**Deformatsiya** – Jism nuqtalari vaziyatlarining o‘zaro bir-biriga nisbatan o‘zgarishi tufayli uning o‘lchamlari va shaklining o‘zgarishiga deformatsiya deyiladi.

**Elastik deformatsiya** – Agar kuch ta’siri to‘xtagandan so‘ng qattiq jismda qoldiq deformatsiya qolmasa bu elastik deformatsiya deyiladi.

**Elastik kovushoqliq** – deformatsiyasi. Yuqori elastiklikni va qovushoq oquvchanlikni birgalikda umumiyLashtirib, polimerlarga xos bo‘lgan deformatsiyani elastik qovushokliq deformatsiyasi deb ataladi.

**Elektr dipoli** – Bir-biridan biror masofada (dipol elkasi) joylashgan ikkita teng, lekin qarama-qarshi ishorali nuqtaviy elektr zaryadlaridan iborat sistema elektr dipoli (dipol) deb ataladi.

**Elektr maydoni** – Elektr maydoni materiyaning ko‘rinishlaridan biri bulib, uning yordamida shu maydonda turgan elektr zaryadlariga kuch ta’siri vujudga keltiriladi.

**Elektrogardiografiya (EKG)** – Yurak muskullarida, ularning uyg‘o-tilishida vujudga keladigan biopotensiallarni qayd qilish metodi

**Elektron optika** – Elektron optika elektr va magnit maydon, may-donlar bilan o‘zaro ta’sirlashuvchi zaryadlangan zarrachalar dastasining strukturasini o‘rganadi.

**Entropiya** – U sistemaning holat funksiyasi bo‘lib, ikki holat uchun entropiya qiymatlarining ayirmasi sistemaning bir holatdan boshqa holatga qaytuvchan o‘tishlardagi keltirilgan issiqliq miqdorlarining yigindisiga teng.

**Ergometrlar** – Odamning bajarayotgan ishini o‘lchashda qullaniladi-gan qurilmalar.

**Erkin elektr magnit tebranishlar** – Tashqi ta'sirsiz dastlabki to'plan-gan energiya hisobiga hosil bo'ladigan tebranishlar erkin elektr magnit te-branishlar deb ataladi.

**Erkinlik darajalari** – Mexanik sistemaning vaziyatini ifodalovchi erkli o'zgaruvchilar erkinlik darajalari deb aytiladi.

**Fokal tekisliklar** – Bosh optik o'qqa perpendikulyar bo'lib, fokuslar orqali o'tuvchi tekisliklarga fokal tekisliklar deyiladi.

**Fotobiologik jarayonlar** – Fotobiologik jarayonlar deb, yorug'lik kvant-larining biologik funksiyali molekularlar orqali yutilishi bilan boshlanib, organizm va to'qimalarda tegishli fiziologik reaksiyalar bilan tugaydigan jarayonlarga aytiladi.

**Fotoeffekt** – Fotoeffektda atom rentgen nurlanish natijasida atomdan elektron uchib chikadi, atom esa ionlanadi.

**Foton** – to'liq xossalarga ega bo'lgan yorug'likning elementar zarrachasidir.

**Galvanizatsiya** – 60-80 V. kuchlanishdagi uzluksiz doimiy tokdan foydalanish ushbu galvanizatsiya deyiladi.

**Golografiya** – To'liqlar interferensiyasi va diffraksiyasi asosida tasvirni yozilish va qaytadan tiklash metodi-golografiya deyiladi.

**Gyuygens prinsipi** – To'liqin etib kelgan to'liqin sirtidagi har bir nuqta ikkilamchi elementar to'liqin markazi bo'ladi, ularning tashki urovchisi kelgusi vaqt momentidagi to'liqinli sirt bo'ladi.

**Ionizator** – Gaz molekularini, atomlarini ionlashtirish qobiliyatiga ega bo'lgan har qanday qurilma, hodisa, faktor ionizator deb ataladi.

**Izolyatsiyalangan sistema** – O'z atrofni o'rab turgan jismlar bilan na energiya yoki na modda almashinuvida ishtirok etmagan tennodinamik sistemaga izolyatsiyalangan sistema deyiladi.

**Kalorimetriya** – Turli fizik, kimyoviy va biologik jarayonlarda ajralib chiqadigan yoki yutiladigan issiqlik miqdorining o'lchash usullari.

**Kauchuksimon elastiklik** – Polimerlarga xos bo'lgan elastiklik yuqori yoki kauchuksimon elastiklik deyiladi.

**Kogerent to'liqin** – Yorug'lik interferensiyasi vaqt davomida turli nuqtalarda qo'shiluvchi to'liqlar fazalari ayirmasining doimiyligini ta'min-lovchi sozlangan, kogerent yorug'lik manbalaridan paydo bo'ladi. Bu shartga javob beruvchi to'liqin kogerent to'liqin deyiladi.

**Kyuri nuqtasi** – Moddaning ferromagnit xossalari ma'lum haroratdan past haroratda saqlanadi, bu harorat Kyuri nuqtasi deyiladi.

**Lyuminessensiya** – Jismning berilgan haroratdagi issiqlik nurlanishi-dan ortiqcha bo'lgan hamda davomiyligi ham nurlanuvchi yorug'lik to'liqin-larining davridan ancha ortik bo'lgan nurlanishga lyuminessensiya deyiladi.



**Magnit maydoni** – 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.

**Mustaxkamlik chegarasi** – Jismning buzilishi (uzilishi) oldidan jismga qo‘yilgan eng katta yuklanish bilan aniqlanuvchi kuchlanish.

**Nonyuton suyuqliklar** – Murakkab va yirik molekullardan iborat suyuqliklar, masalan, polimerlar eritmasi, molekula va zarrachalar bog‘lanishlari tufayli hosil bo‘lgan fazoviy strukturalar nonyuton suyuqliklar hisoblanadi.

**O‘tkazish koeffitsiyenti** – Berilgan jism yoki eritma orqali o‘tgan nurlanish oqimining shu jismga tushgan nurlanish oqimiga nisbati o‘tkazish koeffitsiyenti deyiladi.

**Polimerlar** – Molekullari ko‘p miqdordagi atomlardan yoki atom gruppalaridan tuzilgan va kimyoviy bog‘lanishlar bilan birlashtirilgan uzun zanjir ko‘rinishidagi moddalar.

**Potensial** – Elektr maydonning energetik xarakteristikasi potensialdir.

**Qonning nisbiy qovushqoqligi** – Qon qovushqoqligining aynan shu haroratdagi suvning qovushqoqligiga nisbati qonning nisbiy qovushqoqligi deyiladi.

**Qovushqoqlik** – Real suyuqlik oqqanda uning ayrim qatlamlari bir-biriga shu katlamlarga urinma ko‘rinishda yo‘nalgan kuchlar bilan uzaro ta‘sirlashadi. Bu hodisaga ichki ishqalanish yoki qovushqoqlik deyiladi.

**Rentgen nurlanish** – Rentgen nurlanish deb, uzunligi taxminan 80 dan 10-5 nm. gacha bulgan elektromagnit tulkinlarga aytiladi.

**Sikl (jarayon)** – Sistemaning o‘zini boshlang‘ich holatiga qaytishi jarayoni sikl yoki aylanma jarayon deyiladi.

**Sirt taranglik kuchi** – Suyuqlik va uning to‘yingan bugi, bir-biri bilan aralashmaydigan ikki suyuqlik, suyuqlik va qattiq jismning bo‘linish sirtida chegaradosh muhitlardagi turli xildagi molekullararo o‘zaro ta‘sir kuchi.

**Statsionar holat** – Agar sistemaning parametrlari uni atrof-muhitdagi jismlar bilan o‘zaro ta‘sirlashishida vaqt o‘tishi bilan o‘zgarmasa, sistemaning holati statsionar deyiladi.

**Stoks qonuni** – Sferik jism (sharcha) uchun uning suyuqlikli idish ichidagi xarakati paytida hosil bo‘lgan qarshilik kuchini ifodalovchi qonun:  $F_{\text{stok}} = 6 \cdot \pi \cdot \eta \cdot r \cdot \vartheta$ . Bu yerda  $\eta$  - qovushqoqlik,  $r$  - sharchaning radiusi,  $\vartheta$  - sharchaning tezligi.

**Suyuq kristallar** – ham suyuqliklar, ham kristallar xossasiga ega bo‘lgan moddalar.

**Termodinamika** – Termodinamika deganda sistemani tashkil etuvchi jismlarning mikroskopik tuzilishini hisobga olmagan holda ular orasida

energiya almashinuvi mumkin bo'lgan sistemalarni qarab chiquvchi fizikaning bo'limi tushuniladi.

**Termodinamikaning I qonuni** – Sistemaga berilgan issiqlik miqdori sistemaning ichki energiyasini o'zgartirish va sistema tomonidan bajarilgan ishga sarf bo'ladi:  $Q = \Delta U + A$

**Termodinamikaning II qonuni** – Issiqlik o'z-o'zidan harorati past bo'lgan jismdan harorati yuqori bo'lgan jismga o'ta olmaydi.

**Termometriya** – Haroratlarni o'lchash usullari va u bilan bog'liq bo'lgan masalalarni o'rganuvchi fizikaning amaliy sohasi.

**Tezlik gradienti** – Ichki ishqalanish kuchini tezlikka perpendikulyar yo'nalishida har bir uzunlik birligiga to'g'ri keluvchi tezlikning o'zgarishini ifodalovchi kattalik:  $dv/dx$

**Tokli dipol** – Tokning elektr zanjiriga oqib kirishi va undan oqib chiqishidan iborat bo'lgan ikki qutbli sistemaga elektr generatori yoki tokli dipol deyiladi.

**Turbulent oqim** – Qovushqoq suyuqlikning oqim tezligi oshirilsa, tuba ko'ndalang kesimi yuza bo'yicha bosim turlicha bo'lgani sababli uyurma hosil bo'la boshlaydi, bunda oqim uyurmali yoki turbulent bulib qoladi.

**Viskozimetriya** – Qovushqoqlikni o'lchash usullarining to'plamiga viskozimetriya deyiladi.

**Viskozimetrlar** – Qovushqoqlikni o'lchaydigan asboblardir. Ular bir necha xil bo'ladi: kapillyar, rotatsion viskozimetrlar, Gess viskozimetrii.

**Yoritilgan optika** – Optik sirtlarning maxsus plyonkalar bilan qoplanishiga optikani yoritish, shunday qoplangan optik buyumlarning uziga yoritilgan optika deyiladi.

**Yorug'lik difraksiyasi** – keskin bir jinsli bo'lmagan muhitda, yorug'likning to'g'ri chiziq bo'yicha tarqalishidan chetlashish hodisasiga aytiladi.

**Yorug'lik interferensiyasi** – yorug'lik to'lqinlarining shunday qo'shilishi tushuniladiki, natijada ularning kuchayishi va zaiflanishining turgun manzarasi hosil bo'ladi.

**Yorug'likning qutblanishi** – Bu termin ikki ma'noga ega. Birinchidan, bu tushuncha ostida yorug'likda elektr va magnit vektorlarining fazoviy-vaqt tartibliklari bilan xarakterlanuvchi yorug'lik xossasi tushuniladi. Ikkinchidan, yorug'likning qutblanishi deb qutblangan yorug'likni hosil qilish jarayoniga aytiladi.

**Yorug'likning sochilishi** – Muhitda tarqalayotgan yorug'lik dastasining mumkin bo'lgan barcha tomonlarga ogishi hodisasiga yorug'likning sochilishi deyiladi.

**Yorug'likning yutilishi** – Yorug'likning yutilishi deb, uning istalgan muhit orqali o'tishida yorug'lik energiyasining boshqa turdagi energiyaga aylanishi natijasida zaiflashishiga aytiladi.

## GREK ALFAVITI

| Belgisi | Nomlanishi | Belgisi | Nomlanishi | Belgisi | Nomlanishi |
|---------|------------|---------|------------|---------|------------|
| A α     | alfa       | I ι     | yota       | P ρ     | ro         |
| B β     | beta       | K κ     | kappa      | Σ σ     | sigma      |
| Γ γ     | gamma      | Λ λ     | lambda     | T τ     | tau        |
| Δ δ     | delta      | Μ μ     | my         | V υ     | ipsilon    |
| E ε     | epsilon    | N ν     | nyu        | Φ φ     | fi         |
| Z ζ     | zeta       | Ξ ξ     | ksi        | X χ     | xi         |
| H η     | eta        | Ο ο     | omikron    | Ψ ψ     | psi        |
| Θ θ     | teta       | Π π     | pi         | Ω ω     | omega      |

## ASOSIY FIZIK DOIMIYLIKLAR

|                                  |  |
|----------------------------------|--|
| Yorug'likning vakuumdagi tezligi | $c = 3 \cdot 10^8$ m/s   |
| Erkin tushish tezlanishi         | $g = 9,81$ m/s <sup>2</sup>  |
| Gravitatsiya doimiyligi          | $\gamma = 6,672 \cdot 10^{-11}$ m <sup>3</sup> /(kg*s <sup>2</sup> ) |
| Universal gaz doimiysi           | $R = 8,31$ J/(K*mol')  |
| Normal molyar hajm               | $V = 22,4$ m <sup>3</sup> /mol'                                      |
| Avogadro soni                    | $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ mol <sup>-1</sup>                         |
| Boltsman doimiysi                | $k = 1,38 \cdot 10^{-23}$ J/K  |
| Elektr doimiysi                  | $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$ F/m                               |
| Faradey soni                     | $F = 9,65 \cdot 10^4$ Kl/mol'  |
| Elementar elektr zaryadi         | $e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ Kl  |
| Plank doimiysi                   | $h = 6,62 \cdot 10^{-34}$ J*s  |
| Tinch holatdagi elektron massasi | $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg                                       |
| Tinch holatdagi proton massasi   | $m_p = 1,673 \cdot 10^{-27}$ kg                                      |
| Tinch holatdagi neytron massasi  | $m_n = 1,675 \cdot 10^{-27}$ kg                                      |
| Massaning atom birligi           | $m. a. b. = 1,661 \cdot 10^{-27}$ kg                                 |



## O'NLI OLD QO'SHIMCHALAR

| Nomi  | Qisqartma | Son qiymati | Nomi  | Qisqartma | Son qiymati |
|-------|-----------|-------------|-------|-----------|-------------|
| Eksa  | E         | $10^{18}$   | Atto  | E         | $10^{-18}$  |
| Peta  | P         | $10^{15}$   | Femto | P         | $10^{-15}$  |
| Tera  | T         | $10^{12}$   | Piko  | T         | $10^{-12}$  |
| Giga  | G         | $10^9$      | Nano  | G         | $10^{-9}$   |
| Mega  | M         | $10^6$      | Mikro | M         | $10^{-6}$   |
| Kilo  | k         | $10^3$      | milli | k         | $10^{-3}$   |
| Gekto | g         | $10^2$      | Santi | g         | $10^{-2}$   |
| Deka  | d         | $10^1$      | Detsi | d         | $10^{-1}$   |

## QATTIQ JISMLARNING ZICHLIGI (20°)

| MODDA                             | ZICHLIK, g/sm <sup>3</sup> | MODDA                        | ZICHLIK, g/sm <sup>3</sup> |
|-----------------------------------|----------------------------|------------------------------|----------------------------|
| <b>Materiallar va qotishmalar</b> |                            | <b>Minerallar</b>            |                            |
| Alyuminiy                         | 2.7                        | Olmos                        | 3.51                       |
| Bronza                            | 8.7-9                      | Asbest                       | 0.1-0.5                    |
| Temir                             | 7.88                       | Granit                       | 2.5-3                      |
| Germaniy                          | 5.3                        | Kvars                        | 2.65                       |
| Oltin                             | 19.31                      | Marmar                       | 2.5-2.8                    |
| Kobal't                           | 8.8                        | Bo'r                         | 2                          |
| Kremniy                           | 2.3                        | Najdak                       | 4                          |
| Magniy                            | 1.76                       | <b>Turli xil materiallar</b> |                            |
| Mis                               | 8.93                       | Suyak                        | 1.8-2                      |
| Molibden                          | 10.2                       | Muz (0°)                     | 0.917                      |
| Natriy                            | 0.975                      | Yelim (oddiy va qattiq)      | 1.2                        |
| Nikel                             | 8.9                        | Slyuda                       | 2.6-3.2                    |
| Qalay                             | 7.29                       | Shisha                       | 2.55                       |
| Platina                           | 21.46                      | Kvarsli oyna                 | 2.21                       |
| Qo'rg'oshin                       | 11.35                      | Oddiy oyna                   | 2.5                        |
| Kumush                            | 10.5                       | Periks oyna                  | 2.59                       |
| P'lat                             | 7.7-7.9                    | termometr shishasi           | 2.59                       |
| Uran                              | 19.1                       | Forfor                       | 2.2-2.4                    |
| Xrom                              | 7.15                       | Qaxrabro                     | 1.1                        |
| Ruh                               | 7.15                       |                              |                            |

## SUYUQLIKLARNING 20°C DAGI ZICHLIGI

| MODDA                        | ZICHLIK,<br>g/sm <sup>3</sup> | MODDA             | ZICHLIK,<br>g/sm <sup>3</sup> |
|------------------------------|-------------------------------|-------------------|-------------------------------|
| Azot kislotasi               | 1,51                          | Mashina moyi      | 0,9                           |
| Anilin                       | 1,02                          | O'rta yog'li sut  | 1,03                          |
| Atseton                      | 0,791                         | Dengiz suvi       | 1,01-1,03                     |
| Benzin                       | 0,68-0,72                     | Metil spirit      | 0,792                         |
| Benzol                       | 0,879                         | Chumoli kislotasi | 1,22                          |
| Brom                         | 3,12                          | Nitrobenzol       | 1,2                           |
| Brombenzol                   | 1,495                         | Simob             | 13,55                         |
| Suv                          | 0,99823                       | Xloroform         | 1,489                         |
| Og'ir suv (H <sub>2</sub> O) | 1,1086                        | Toluol            | 0,866                         |
| Geksan                       | 0,660                         | Tribrommetan      | 2,890                         |
| Geptan                       | 0,684                         | Uksus kislotasi   | 1,049                         |
| Glitserin                    | 1,26                          | Etil spirti       | 0,79                          |
| Neft                         | 0,76-0,85                     | Nitroglitsirin    | 1,6                           |

## TURLI TEMPERATURALARDA SUVNING ZICHLIGI

| Tempe-<br>ra-<br>tura,<br>°C | Zichlik,<br>kg/m <sup>3</sup> | Tempe-<br>ra-<br>tura,<br>°C | Zichlik,<br>kg/m <sup>3</sup> | Tempe-<br>ra-<br>tura,<br>°C | Zichlik,<br>kg/m <sup>3</sup> | Tempe-<br>ra-<br>tura,<br>°C | Zichlik,<br>kg/m <sup>3</sup> | Tempe-<br>ra-<br>tura,<br>°C | Zichlik,<br>kg/m <sup>3</sup> |
|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------------|
| 0.00                         | 999.82                        | 21.00                        | 998.08                        | 41.00                        | 991.86                        | 61.00                        | 982.60                        | 81.00                        | 970.97                        |
| 1.00                         | 999.89                        | 22.00                        | 997.86                        | 42.00                        | 991.46                        | 62.00                        | 982.07                        | 82.00                        | 970.33                        |
| 2.00                         | 999.94                        | 23.00                        | 997.62                        | 43.00                        | 991.05                        | 63.00                        | 981.54                        | 83.00                        | 969.69                        |
| 3.00                         | 999.98                        | 24.00                        | 997.38                        | 44.00                        | 990.64                        | 64.00                        | 981.00                        | 84.00                        | 969.04                        |
| 4.00                         | 1000.0                        | 25.00                        | 997.13                        | 45.00                        | 990.22                        | 65.00                        | 980.45                        | 85.00                        | 968.39                        |
| 5.00                         | 1000.00                       | 26.00                        | 996.86                        | 46.00                        | 989.80                        | 66.00                        | 979.90                        | 86.00                        | 967.73                        |
| 6.00                         | 999.99                        | 27.00                        | 996.59                        | 47.00                        | 989.36                        | 67.00                        | 979.34                        | 87.00                        | 967.07                        |
| 7.00                         | 999.96                        | 28.00                        | 996.31                        | 48.00                        | 988.92                        | 68.00                        | 978.78                        | 88.00                        | 966.41                        |
| 8.00                         | 999.91                        | 29.00                        | 996.02                        | 49.00                        | 988.47                        | 69.00                        | 978.21                        | 89.00                        | 965.74                        |
| 9.00                         | 999.85                        | 30.00                        | 995.71                        | 50.00                        | 988.02                        | 70.00                        | 977.63                        | 90.00                        | 965.06                        |
| 10.00                        | 999.77                        | 31.00                        | 995.41                        | 51.00                        | 987.56                        | 71.00                        | 977.05                        | 91.00                        | 964.38                        |
| 11.00                        | 999.68                        | 32.00                        | 995.09                        | 52.00                        | 987.09                        | 72.00                        | 976.47                        | 92.00                        | 963.70                        |
| 12.00                        | 999.58                        | 33.00                        | 994.76                        | 53.00                        | 986.62                        | 73.00                        | 975.88                        | 93.00                        | 963.01                        |
| 13.00                        | 999.46                        | 34.00                        | 994.43                        | 54.00                        | 986.14                        | 74.00                        | 975.28                        | 94.00                        | 962.31                        |
| 13.00                        | 999.33                        | 35.00                        | 994.08                        | 55.00                        | 985.65                        | 75.00                        | 974.68                        | 95.00                        | 961.62                        |
| 15.00                        | 999.19                        | 36.00                        | 993.73                        | 56.00                        | 985.16                        | 76.00                        | 974.08                        | 96.00                        | 960.91                        |
| 16.00                        | 999.03                        | 37.00                        | 993.37                        | 57.00                        | 984.66                        | 77.00                        | 973.46                        | 97.00                        | 960.20                        |
| 17.00                        | 998.86                        | 38.00                        | 993.00                        | 58.00                        | 984.16                        | 78.00                        | 972.85                        | 98.00                        | 959.49                        |
| 18.00                        | 998.68                        | 39.00                        | 992.63                        | 59.00                        | 983.64                        | 79.00                        | 972.23                        | 99.00                        | 958.78                        |
| 19.00                        | 998.49                        | 40.00                        | 992.25                        | 60.00                        | 983.13                        | 80.00                        | 971.60                        | 100.00                       | 958.05                        |
| 20.00                        | 998.29                        |                              |                               |                              |                               |                              |                               |                              |                               |

TO'YINGAN SUV BUG'INING ELASTIKLIGI

7-jadval

| t, °C | 0     | 0,1   | 0,2   | 0,3   | 0,4   | 0,5   | 0,6   | 0,7   | 0,8   | 0,9   |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 5     | 6,54  | 6,59  | 6,64  | 6,68  | 6,73  | 6,78  | 6,82  | 6,87  | 6,92  | 6,97  |
| 6     | 7,01  | 7,06  | 7,11  | 7,16  | 7,21  | 7,26  | 7,31  | 7,36  | 7,41  | 7,46  |
| 7     | 7,51  | 7,57  | 7,62  | 7,67  | 7,72  | 7,78  | 7,83  | 7,88  | 7,94  | 7,99  |
| 8     | 8,05  | 8,1   | 8,16  | 8,21  | 8,27  | 8,32  | 8,38  | 8,44  | 8,5   | 8,55  |
| 9     | 8,61  | 8,67  | 8,73  | 8,79  | 8,85  | 8,91  | 8,97  | 9,03  | 9,09  | 9,15  |
| 10    | 9,21  | 9,27  | 9,33  | 9,4   | 9,46  | 9,52  | 9,59  | 9,65  | 9,72  | 9,78  |
| 11    | 9,85  | 9,91  | 9,98  | 10,04 | 10,11 | 10,18 | 10,25 | 10,31 | 10,38 | 10,45 |
| 12    | 10,52 | 10,59 | 10,66 | 10,73 | 10,8  | 10,87 | 10,94 | 11,02 | 11,09 | 11,16 |
| 13    | 11,23 | 11,31 | 11,38 | 11,46 | 11,53 | 11,61 | 11,68 | 11,76 | 11,84 | 11,91 |
| 14    | 11,99 | 12,07 | 12,15 | 12,23 | 12,3  | 12,38 | 12,46 | 12,55 | 12,63 | 12,71 |
| 15    | 12,79 | 12,87 | 12,96 | 13,04 | 13,12 | 13,21 | 13,29 | 13,38 | 13,46 | 13,55 |
| 16    | 13,64 | 13,72 | 13,81 | 13,9  | 13,99 | 14,08 | 14,17 | 14,26 | 14,35 | 14,44 |
| 17    | 14,53 | 14,63 | 14,72 | 14,81 | 14,91 | 15    | 15,1  | 15,19 | 15,29 | 15,38 |
| 18    | 15,48 | 15,58 | 15,68 | 15,78 | 15,87 | 15,97 | 16,07 | 16,18 | 16,28 | 16,38 |
| 19    | 16,48 | 16,59 | 16,69 | 16,79 | 16,9  | 17    | 17,11 | 17,22 | 17,32 | 17,43 |
| 20    | 17,54 | 17,65 | 17,76 | 17,87 | 17,98 | 18,09 | 18,2  | 18,31 | 18,43 | 18,54 |
| 21    | 18,66 | 18,77 | 18,89 | 19    | 19,12 | 19,24 | 19,35 | 19,47 | 19,59 | 19,71 |
| 22    | 19,83 | 19,95 | 20,08 | 20,2  | 20,32 | 20,45 | 20,57 | 20,7  | 20,82 | 20,95 |
| 23    | 21,07 | 21,2  | 21,33 | 21,46 | 21,59 | 21,72 | 21,85 | 21,98 | 22,12 | 22,25 |
| 24    | 22,38 | 22,52 | 22,65 | 22,79 | 22,93 | 22,07 | 23,2  | 23,34 | 23,48 | 23,62 |
| 25    | 23,76 | 23,91 | 24,05 | 24,19 | 24,34 | 24,48 | 24,63 | 24,77 | 24,92 | 25,07 |

8-jadval

QATTIQ JISMLARNING VA BIOLOGIK TO'QIMALARNING YUNG MODULI HAMDA MUSTAHKAMLIK CHEGARASI

| № | Materiallar                | Yung moduli, GPa | Mustahkamlik chegarasi, MPa |
|---|----------------------------|------------------|-----------------------------|
| 1 | Po'lat                     | 200              | 500                         |
| 2 | Shisha to'ldirilgan kapron | 8                | 150                         |
| 3 | Organik shisha             | 3,5              | 50                          |
| 4 | Kollagen                   | 10 – 100         | 100                         |
| 5 | Elastin                    | 01 – 0,6         | 5                           |
| 6 | Suyak                      | 10               | 100                         |
| 7 | Yog'och                    | 10               | 90                          |



## SUYUQLIKLARNI QOVUSHQOQLIGI

| №  | Suyuqlik       | Qovushqoqlik, $\eta$ |           |
|----|----------------|----------------------|-----------|
|    |                | Pa·s                 | Puaz      |
| 1  | Moy            | 0,986                | 9,86      |
| 2  | Glitsirin      | 0,85                 | 8,5       |
| 3  | Sulfat kislota | 0,022                | 0,22      |
| 4  | Skipidar       | 0,00149              | 0,0149    |
| 5  | Etil spirti    | 0,00119              | 0,0119    |
| 6  | Benzin         | 0,00065              | 0,0065    |
| 7  | Metil spirti   | 0,0006               | 0,006     |
| 8  | Atseton        | 0,00033              | 0,003     |
| 9  | Efir           | 0,00023              | 0,0023    |
| 10 | Qon (normada)  | 0,004-0,005          | 0,04-0,05 |
| 11 | Qon plazmasi   | 0,0015               | 0,015     |

10-jadval

## TURLI TEMPERATURALARDA SUVNING QOVUSHQOQLIGI

| Temperatura, °C | $\eta$ , Puaz | Temperatura, °C | $\eta$ , Puaz | Temperatura, °C | $\eta$ , Puaz | Temperatura, °C | $\eta$ , Puaz | Temperatura, °C | $\eta$ , Puaz |
|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|-----------------|---------------|
| 0               | 0.01792       | 21              | 0.00979       | 41              | 0.00641       | 61              | 0.00460       | 81              | 0.00351       |
| 1               | 0.01731       | 22              | 0.00955       | 42              | 0.00629       | 62              | 0.00453       | 82              | 0.00346       |
| 2               | 0.01674       | 23              | 0.00933       | 43              | 0.00618       | 63              | 0.00447       | 83              | 0.00342       |
| 3               | 0.01620       | 24              | 0.00911       | 44              | 0.00607       | 64              | 0.00440       | 84              | 0.00338       |
| 4               | 0.01569       | 25              | 0.00891       | 45              | 0.00596       | 65              | 0.00434       | 85              | 0.00334       |
| 5               | 0.01520       | 26              | 0.00871       | 46              | 0.00586       | 66              | 0.00428       | 86              | 0.00330       |
| 6               | 0.01473       | 27              | 0.00852       | 47              | 0.00576       | 67              | 0.00422       | 87              | 0.00326       |
| 7               | 0.01429       | 28              | 0.00833       | 48              | 0.00566       | 68              | 0.00416       | 88              | 0.00322       |
| 8               | 0.01386       | 29              | 0.00815       | 49              | 0.00556       | 69              | 0.00410       | 89              | 0.00319       |
| 9               | 0.01346       | 30              | 0.00798       | 50              | 0.00547       | 70              | 0.00404       | 90              | 0.00315       |
| 10              | 0.01308       | 31              | 0.00781       | 51              | 0.00538       | 71              | 0.00399       | 91              | 0.00311       |
| 11              | 0.01271       | 32              | 0.00765       | 52              | 0.00529       | 72              | 0.00394       | 92              | 0.00308       |
| 12              | 0.01236       | 33              | 0.00749       | 53              | 0.00521       | 73              | 0.00388       | 93              | 0.00304       |
| 13              | 0.01202       | 34              | 0.00734       | 54              | 0.00512       | 74              | 0.00383       | 94              | 0.00301       |
| 14              | 0.01170       | 35              | 0.00720       | 55              | 0.00504       | 75              | 0.00378       | 95              | 0.00298       |
| 15              | 0.01139       | 36              | 0.00705       | 56              | 0.00496       | 76              | 0.00373       | 96              | 0.00295       |
| 16              | 0.01109       | 37              | 0.00692       | 57              | 0.00489       | 77              | 0.00369       | 97              | 0.00291       |
| 17              | 0.01081       | 38              | 0.00678       | 58              | 0.00481       | 78              | 0.00364       | 98              | 0.00288       |
| 18              | 0.01054       | 39              | 0.00666       | 59              | 0.00474       | 79              | 0.00359       | 99              | 0.00285       |
| 19              | 0.01028       | 40              | 0.00653       | 60              | 0.00467       | 80              | 0.00355       | 100             | 0.00282       |
| 20              | 0.01003       |                 |               |                 |               |                 |               |                 |               |

11-jadval

**TURLI YOSHDAGI ORGANIZMDA NORMAL ARTERIAL BOSIM \***

| Yoshi va jinsi  | Puls chegarasi | Erkaklar |         | Ayollar  |         |
|-----------------|----------------|----------|---------|----------|---------|
|                 |                | Maksimal | Minimal | Maksimal | Minimal |
| Yangi tug'ilgan | 110-170        | 70       | —       | —        | —       |
| 1 yosh          | 94-154         | 96       | 66      | 95       | 65      |
| 10 yosh         | 60-100         | 103      | 69      | 103      | 70      |
| 20 yosh         | 60-80          | 123      | 76      | 116      | 72      |
| 30 yosh         | 60-80          | 126      | 79      | 120      | 75      |
| 40 yosh         | 60-80          | 129      | 81      | 127      | 80      |
| 50 yosh         | 64-84          | 135      | 83      | 137      | 84      |
| 60 yosh         | 69-89          | 142      | 85      | 144      | 85      |
| 70 yosh         | 69-89          | 145      | 82      | 159      | 85      |
| 80 yosh         | 69-89          | 147      | 82      | 157      | 83      |
| 90 yosh         | —              | 145      | 78      | 150      | 79      |

12-jadval

**ARTERIAL QON BOSIMLARINING KLASSIFIKATSIYASI \***

| № | Qon bosimi turkumi                         | Arterial bosim |                 |
|---|--|----------------|-----------------|
|   |  | Sistolik bosim | Diastolik bosim |
| 1 | Optimal                                    | 120 gacha      | 80 gacha        |
| 2 | Normal                                     | 130 gacha      | 85 gacha        |
| 3 | Yuqori normal                              | 130-139        | 85-89           |
| 4 | 1-darajali arterial gipertoniya (yengil)   | 140-159        | 90-99           |
| 5 | 2-darajali arterial gipertoniya (o'rtacha) | 160-179        | 100-109         |
| 6 | 3-darajali arterial gipertoniya (og'ir)    | 180 dan yuqori | 110 dan yuqori  |

12<sup>A</sup> - jadval

**TURLI YOSHDAGI ORGANIZMDA NORMAL PULS URISHI \***

| Yoshi                      | O'rtacha puls urishi (1 minutda) | Puls chegarasi (1 minutda) |
|----------------------------|----------------------------------|----------------------------|
| 1 oygacha                  | 140                              | 110-170                    |
| 1-12 oylik                 | 132                              | 102-162                    |
| 1-2 yosh                   | 124                              | 94-154                     |
| 2-4 yosh                   | 115                              | 90-140                     |
| 4-6 yosh                   | 106                              | 86-126                     |
| 6-8 yosh                   | 98                               | 78-118                     |
| 8-10 yosh                  | 88                               | 68-108                     |
| 10-12 yosh                 | 80                               | 60-100                     |
| 12-15 yosh                 | 75                               | 55-95                      |
| 15-50 yosh                 | 70                               | 60-80                      |
| 50-60 yosh                 | 74                               | 64-84                      |
| 60-80 yosh                 | 79                               | 69-89                      |
| Katta yoshdagi sportchilar | 50                               | 40-60                      |

**KO'ZGA KO'RINADIGAN NURLARNING TO'LQIN UZUNLIKLARI VA CHASTOTALARI**

| <b>№</b> | <b>Nurlanish nomi</b> | <b>To'lqin uzunligi, <math>\lambda</math>, <math>10^{-9}</math>m yoki nm</b> | <b>Chastotasi, <math>\nu</math>, <math>10^{12}</math>Hz yoki THz</b> | <b>Foton energiyasi, eV</b> |
|----------|-----------------------|--|--|-----------------------------|
| 1        | Qizil                 | 625-740  | 400-480  | 1,68-1,98                   |
| 2        | Zarg'aldoq            | 590-625  | 480-510  | 1,98-2,10                   |
| 3        | Sariq                 | 565—590  | 510—530  | 2,10—2,19                   |
| 4        | Yashil                | 500—565  | 530—600  | 2,19—2,48                   |
| 5        | Havorang              | 485—500  | 600—620  | 2,48—2,56                   |
| 6        | Ko'k                  | 440-485  | 620-680  | 2,56-2,82                   |
| 7        | Binafsha              | 380-440  | 680-790  | 2,82-3,26                   |



## ASOSIY VA QO'SHIMCHA O'QUV ADABIYOTLAR HAMDA AXBOROT MANBALARI

### Асосий адабиётлар

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 ensikopediyasi". 2005
4. В.О.Самойлов. Медицинская биофизика, Санкт-Петербург, 2004.

### Қўшимча адабиётлар

5. Физика и биофизика. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /Антонов В.Ф., Черныш А.М., Козлова Е.К., Коржув А.В. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012.
6. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб.пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. - 2008. - 592 с.
7. Антонов В.Ф. Биофизика, Учебник для студентов вузов, 3-изд., 2006
8. Пособие по проведению лабораторных работ по биофизике Т., I-ТашГосМи, 2004.
9. М.Х.Ўлмасова ва бошқалар. Физика 1, 2, 3-китоб. Ўқув кўлланма. Т., 1997 й.
10. Антонов В. Ф., Архарова Г. В., Песечник В. И. Медицинская биофизика. М., ММА.: 1993.
11. Эссаулова И.А. и др. Руководство к лабораторным работам по медицинским и биологической физике.М., 1987.
12. Самойлов В.О. Медицинская биофизика, Л., 1986.
13. Кудряшов Ю. Б., Берефельд Б. С. Основы радиационного биофизике. МГУ. М.: 1982.
14. Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М: 1981.
15. Н.М.Ливенцев. Курс физики 1, 2 том. Москва. 1981 г.
16. Ливенцев Н. М., Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М. 1974.
17. Хитун В.А. и др. Практикум по физике для медицинских вузов. М.: «Высшая школа», 1972 г.

13 - jadval

**BA'ZI SUYUQLIKLARNING 20°C DA SIRT TARANGLIK  
KOEFFITSENTI**

| №  | Suyiqlik nomi  | 10 <sup>-3</sup> N/m |
|----|----------------|----------------------|
| 1  | Benzin         | 21                   |
| 2  | Kerosin        | 24                   |
| 3  | Sovun eritmasi | 40                   |
| 4  | Sut            | 46                   |
| 5  | Neft           | 30                   |
| 6  | Simob          | 472                  |
| 7  | Spirt          | 22                   |
| 8  | Etil efiri     | 17                   |
| 9  | Glitserin      | 63,4                 |
| 10 | Parafin moyi   | 48                   |
| 11 | Suv            | 72,5                 |

14-jadval

**TURLI TEMPERATURALARDA SUVNING SIRT TARANGLIK  
KOEFFITSENTI**

| t, °C | σ, N/m  | t, °C | σ, N/m  |
|-------|---------|-------|---------|
| 0     | 0,07549 | 16    | 0,07311 |
| 1     | 0,07535 | 17    | 0,07295 |
| 2     | 0,0752  | 18    | 0,07282 |
| 3     | 0,07505 | 19    | 0,07265 |
| 4     | 0,0749  | 20    | 0,07252 |
| 5     | 0,07475 | 21    | 0,07235 |
| 6     | 0,0746  | 22    | 0,07222 |
| 7     | 0,07445 | 23    | 0,07208 |
| 8     | 0,0743  | 24    | 0,07193 |
| 9     | 0,07415 | 25    | 0,07178 |
| 10    | 0,07401 | 26    | 0,07163 |
| 11    | 0,07385 | 27    | 0,07148 |
| 12    | 0,0737  | 28    | 0,07133 |
| 13    | 0,07355 | 29    | 0,07118 |
| 14    | 0,07341 | 30    | 0,07103 |
| 15    | 0,07325 | 31    | 0,07088 |

## TURLI MUHITLARDAGI TOVUSHNING TARQALISH TEZLIGI

| №  | Muhit nomi            | Tezlik, m/s |
|----|-----------------------|-------------|
| 1  | Po'lat                | 5100        |
| 2  | Granit                | 3950        |
| 3  | G'isht qalama         | 3480        |
| 4  | Daraxt                | 4000        |
| 5  | Po'kak                | 500         |
| 6  | Rezina                | 54          |
| 7  | Shisha                | 5000        |
| 8  | Qo'rg'oshin           | 1300        |
| 9  | Suv (0°C)             | 1485        |
| 10 | Suv (20°C)            | 1483        |
| 11 | Suv (30°C)            | 1510        |
| 12 | CO <sub>2</sub> (0°C) | 258         |
| 13 | Водород (0°C)         | 286         |
| 14 | Havo (-10°C)          | 325,1       |
| 15 | Havo (0°C)            | 332         |
| 16 | Havo (10°C)           | 337,3       |
| 17 | Havo (20°C)           | 343,1       |
| 18 | Havo (30°C)           | 348,9       |

## ORGANIZMDAGI TURLI TO'QIMALAR, SUYUQLIKLARNI VA BA'ZI O'TKAZGICHLARNING SOLISHTIRMA QARSHILIGI

| Nomi                   | Solishtirma qarshiligi, 10 <sup>-6</sup> Om·m | Nomi                           | Solishtirma qarshiligi, 10 <sup>-6</sup> Om·m |
|------------------------|---|--------------------------------|---|
| Orqa miya suvuqligi    | 0,55  | Po'lat                         | 0,15  |
| Qon                    | 1,66  | Rux                            | 0,06  |
| Muskullar              | 2   | Konstantan                     | 0,5   |
| Miya va nerv to'qimasi | 14,3  | Nikelin                        | 0,4   |
| Yog' to'qimasi         | 33,3  | Nikel'                         | 0,45  |
| Quruq teri             | 10 <sup>5</sup>                               | Nixrom                         | 1,1   |
| Suyak-pardasiz suyak   | 10 <sup>7</sup>                               | Sul'fat kislota eritmasi (10%) | 26 000  |
| Aluminiy               | 0,028   | Xromel                         | 1,4   |
| Vol'fram               | 0,055   | Kumush                         | 0,016   |
| Temir                  | 0,1   | Qo'rg'oshin                    | 0,21  |
| Mis                    | 0,017   | Simob                          | 0,96  |



**KO'ZGA KO'RINADIGAN NURLARNING TO'LQIN UZUNLIKLARI VA  
CHASTOTALARI**

| <b>№</b> | <b>Nurlanish nomi</b> | <b>To'lqin uzunligi, <math>\lambda</math>, <math>10^{-9}\text{m}</math> yoki nm</b> | <b>Chastotasi, <math>\nu</math>, <math>10^{12}\text{Hz}</math> yoki THz</b> | <b>Foton energiyasi, eV</b> |
|----------|-----------------------|---|---|-----------------------------|
| 1        | Qizil                 | 625-740   | 400-480   | 1,68-1,98                   |
| 2        | Zarg'aldoq            | 590-625   | 480-510   | 1,98-2,10                   |
| 3        | Sariq                 | 565—590   | 510—530   | 2,10—2,19                   |
| 4        | Yashil                | 500—565   | 530—600   | 2,19—2,48                   |
| 5        | Havorang              | 485—500   | 600—620   | 2,48—2,56                   |
| 6        | Ko'k                  | 440-485   | 620-680   | 2,56-2,82                   |
| 7        | Binafsha              | 380-440   | 680-790   | 2,82-3,26                   |

## ASOSIY VA QO'SHIMCHA O'QUV ADABIYOTLAR HAMDA AXBOROT MANBALARI

### Асосий адабиётлар

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 ensikopediyasi". 2005
4. В.О.Самойлов. Медицинская биофизика, Санкт-Петербург, 2004.

### Қўшимча адабиётлар

5. Физика и биофизика. Практикум [Электронный ресурс] : учебное пособие /Антонов В.Ф., Черныш А.М., Козлова Е.К., Коржуев А.В. - М. : ГЭОТАР-Медиа, 2012.
6. Медицинская и биологическая физика. Курс лекций с задачами : учеб.пособие / В.Н. Федорова, Е.В. Фаустов. - 2008. - 592 с.
7. Антонов В.Ф. Биофизика, Учебник для студентов вузов, 3-изд., 2006
8. Пособие по проведению лабораторных работ по биофизике Т., I-ТашГосМи, 2004.
9. М.Х.Ўлмасова ва бошқалар. Физика 1, 2, 3-китоб. Ўқув кўлланма. Т., 1997 й.
10. Антонов В. Ф., Архарова Г. В., Песечник В. И. Медицинская биофизика. М., ММА.: 1993.
11. Эссаулова И.А. и др. Руководство к лабораторным работам по медицинским и биологической физике.М., 1987.
12. Самойлов В.О. Медицинская биофизика, Л., 1986.
13. Кудряшов Ю. Б., Берефельд Б. С. Основы радиационного биофизике. МГУ. М.: 1982.
14. Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М: 1981.
15. Н.М.Ливенцев. Курс физики 1, 2 том. Москва. 1981 г.
16. Ливенцев Н. М., Ливенсон А. Р. Электромедицинская аппаратура. М. 1974.
17. Хитун В.А. и др. Практикум по физике для медицинских вузов. М.: «Высшая школа», 1972 г.

## Интернет сайтлари

18. <http://www.medbiophys.ru/>
19. <http://www.biophys.msu.ru/>
20. [http://biophysics.spbstu.ru/useful\\_links](http://biophysics.spbstu.ru/useful_links)
21. <http://medulka.ru/biofizika>
22. <http://www.library.biophys.msu.ru/>
23. <http://www.bio.fizteh.r/>



## MUNDARIJA

|   |           |
|---|-----------|
| KIRISH.....   | 3         |
| <b>I BOB. BIOMEXANIKA.....</b>  | <b>6</b>  |
| 1.1-§. Qattiq jismlar va biologik to'qimalarning mexanik xossalari.....                             | 6         |
| 1.2-§. Materiallarning mexanik xossalari va ularni tekshirish usullari ..                           | 13        |
| 1.3-§. Biologik to'qimalarning mexanik xossalari .....  | 17        |
| 1.4-§. Tirik organizmlarda biomexanikaning ba'zi masalalari.  |           |
| Bo'g'imlar va richaglar.....  | 23        |
| 1.5-§. Odamning mexanik ishi. Ergometriya .....   | 25        |
| <b>II BOB. BIOREOLOGIYA. BIOLOGIK SUYUQLIKLARNING</b>   |           |
| <b>QOVUSHQOQLIGI.....</b>   | <b>27</b> |
| 2.1-§. Suyuqliklarning qovushoqligi. Nyuton tenglamasi. Nyuton va nonyuton suyuqliklari .....       | 27        |
| 2.2-§. Qovushoq suyuqliklarning trubalardan oqishi. Puazeyl formulasi                               | 29        |
| 2.3-§. Qovushoq suyuqlik ichida jismlar harakati. Stoks qonuni .....                                | 33        |
| 2.4-§. Suyuqlik qovushoqligini aniqlash usullari: qonqovushoqligini aniqlashning klinik usuli ..... | 35        |
| 2.5-§. Laminar va turbulent oqimlar. Reynolds soni .....  | 38        |
| 2.6-§. Suyuqliklar molekulyar tuzilishining xususiyatlari.....                                      | 40        |
| 2.7-§. Sirt taranglik .....   | 42        |
| 2.8-§. Ho'llash va ho'llamaslik kapillyar hodisalar.....  | 44        |
| <b>III BOB. GEMODINAMIKA. YURAK FAOLIYATINING</b>   |           |
| <b>FIZIKAVIY ASOSLARI.....</b>  | <b>49</b> |
| 3.1-§. Qon aylanishi modellari.....   | 49        |
| 3.2-§. Puls (tomir urishi) to'lqini .....   | 54        |
| 3.3-§. Yurakning ishi va quvvati. Sun'iy qon aylanish apparati (SQAA) .....                         | 57        |
| 3.4-§. Klinikada qon bosimini o'lchashning fizik asoslari .....                                     | 59        |
| 3.5-§. Qon oqimi tezligini aniqlash.....  | 60        |
| <b>IV BOB. TERMODINAMIKA. TIRIK SISTEMALAR</b>  |           |
| <b>TERMODINAMIKASI.....</b>   | <b>64</b> |
| 4.1-§. Termodinamikaning i-qonuni. Izojarayonlarning i-qonunda qo'llanilishi.....                   | 64        |
| 4.2-§. Termodinamikaning ikkinchi qonuni. Entropiya.....  | 70        |

|   |     |
|---|-----|
| 4.3-§. Statsionar holat. Entropiya hosil qilishning minimum prinsipi ...                          | 79  |
| 4.4-§. Tirik sistemalar termodinamikasi.....  | 81  |
| 4.5-§. Issiqlik va hayot.....   | 84  |
| 4.6-§. Termometriya va kalorimetriya .....  | 84  |
| 4.6-§. Davolash uchun qo'llaniladigan isitilgan va sovuq muhitlarning fizik xossalari.....        | 88  |
| <b>V BOB. TOVUSHNING FIZIKAVIY XARAKTERISTIKALARI.</b>  |     |
| <b>TIBBIYOTDA TOVUSHDAN FOYDALANISH</b> .....   | 90  |
| 5.1-§. Tovushning fizik xarakteristikalari .....  | 91  |
| 5.2-§. Eshitish sezgisining xarakteristikalari. Tovushni o'lchash.....                            | 93  |
| 5.3-§. Tovushni o'lchash.....   | 94  |
| 5.4-§. Tovush yordamida amalga oshiriladigan tekshirish usullari .....                            | 95  |
| 5.5-§. Shovqin profilaktikasini ta'minlovchi faktorlar .....                                      | 96  |
| 5.6-§. Eshitish o'tkirligini aniqlash. Eshitish apparatlari va protezlar. Timpanometriya.....     | 98  |
| 5.7-§. Ultratovush .....  | 100 |
| 5.8-§. Ultratovush nurlatgichlari va qabul qilgichlari.....                                       | 104 |
| 5.9-§. Ultratovushning moddada yutilishi. Akustik oqimlar va kavitatsiya.....                     | 106 |
| <b>VI BOB. TIRIK ORGANIZMLARDA ELEKTR TOKI</b> .....  |     |
| 6.1-§. Tok zichligi va kuchi .....  | 108 |
| 6.2-§. Elektr manbalarining elektr yurituvchi kuchi .....   | 109 |
| 6.3-§. Elektrolitlarning elektr o'tkazuvchanligi.....   | 111 |
| 6.4-§. Biologik to'qimalar va suyuqliklarning o'zgarmas tokda elektr o'tkazuvchanligi .....       | 112 |
| 6.5-§. Organizm to'qimalarining to'la qarshiligi (impedansi). Reografiyaning fizik asoslari ..... | 117 |
| <b>VII BOB. OPTIKA. YORUG'LIKNING XOSSALARI. KO'ZNING OPTIK SISTEMASI</b> .....                   |     |
| 7.1-§. Yorug'likning tabiati .....  | 120 |
| 7.2-§. Geometrik optikaning asosiy qonunlari. ....  | 121 |
| 7.3-§. Asosiy fotometrik kattaliklar .....  | 131 |
| 7.4-§. Ko'zning optik sistemasini va uning ba'zi xususiyatlari.....                               | 138 |
| 7.5-§. Ko'z optik sistemasidagi kamchiliklar va ularni bartaraf qilish                            | 144 |
| 7.6-§. Yorug'likning yutilishi. ....  | 148 |
| 7.7-§. Yorug'lik difraksiyasi. Difraksion panjara.....  | 149 |

|  |            |
|--|------------|
| 7.8-§. Tabiiy va qutblangan yorug'lik.....   | 152        |
| 7.9-§. Ikki dielektrik chegarasida yorug'likning qaytish va sinish vaqtida qutblanishi ..... | 155        |
| 7.10-§. Yorug'likning ikki karra nur sinishi vaqtida qutblanishi .....                       | 157        |
| 7.11-§. Biologik to'qimalarni qutblangan yorug'likda tekshirish.....                         | 161        |
| <b>VIII BOB. RADIOAKTIVLIK. IONLANTIRUVCHI</b>   |            |
| <b>NURLANISHNING ORGANIZMGA TA'SIRI.....</b>   | <b>163</b> |
| 8.1-§. Radioaktivlik .....   | 163        |
| 8.2-§. Radioaktiv nurlanishning kimyoviy ta'siri.....  | 164        |
| 8.3-§. Radioaktiv nurlanishning biologik ta'siri.....  | 165        |
| 8.4-§. Radioaktiv nurlarning inson organizmiga ta'siri.....                                  | 167        |
| 8.5-§. Nurlanish dozasi ba ekspozitsion doza. Doza quvvati.....                              | 169        |
| 8.6-§. Ionlovchi nurlanishning biologik ta'sirini miqdoriy baholash. Ekvivalent doza .....   | 171        |
| 8.7-§. Nurlanish normalari. Ionlovchi nurlanishdan himoyalanih.....                          | 174        |
| 8.8-§. Tibbiyotda radionuklidlardan foydalanish .....  | 177        |
| 8.9-§. Rentgen nurlari .....   | 180        |



## СОДЕРЖАНИЕ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>I ГЛАВА. БИОМЕХАНИКА</b>   |           |
| <b>МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ТВЁРДЫХ ТЕЛ И</b>  |           |
| <b>БИОЛОГИЧЕСКИХ ТКАНЕЙ.....</b>  | <b>3</b>  |
| 1.1-§. Кристаллические и аморфные вещества. Полимеры.....                                       | 6         |
| 1.2-§. Механические свойства твёрдых тел.....   | 13        |
| 1.3-§. Механические свойства биологических тканей.....  | 17        |
| 1.4-§. Некоторые вопросы биомеханики в живых организмах рычаги и сочленения.....                | 23        |
| 1.5-§. Механическая работа человека. Эргометрия.....  | 25        |
| <b>II ГЛАВА. БИОРЕОЛОГИЯ. ВЯЗКОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКИХ</b>  |           |
| <b>ЖИДКОСТЕЙ.....</b>   | <b>27</b> |
| 2.1-§. Вязкость жидкостей. Уравнение ньютона. Ньютоновские и неньютоновские жидкости.....       | 27        |
| 2.2-§. Течение вязких жидкостей по трубам. формула пуазейля.....                                | 29        |
| 2.3-§. Движение тел в вязкой жидкости. Закон стокса.....  | 33        |
| 2.4-§. Методы определения вязкости жидкости: клинические методы определения вязкости крови..... | 35        |
| 2.5-§. Ламинарное и турбулентное течение. Число рейнольдса.....                                 | 38        |
| 2.6-§. Особенности молекулярного строения жидкостей.....  | 40        |
| 2.7-§. Поверхностное натяжение.....   | 42        |
| 2.8-§. Смачивание и несмачивание. капиллярные явления.....                                      | 44        |
| <b>III ГЛАВА. ГЕМОДИНАМИКА. ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ</b>   |           |
| <b>СЕРДЕЧНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ФИЗИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ</b>  |           |
| <b>ГЕМОДИНАМИКИ.....</b>  | <b>49</b> |
| 3.1-§. Модели кровообращения.....   | 49        |
| 3.2-§. Пульсовая волна.....   | 54        |
| 3.3-§. Работа и мощность сердца. Аппарат искусственного кровообращения.....                     | 57        |
| 3.4-§. Физические основы измерения артериального давления в клинике.....                        | 59        |
| 3.5-§. Определение скорости кровотока.....  | 60        |

|   |            |
|---|------------|
| <b>IV ГЛАВА. ТЕРМОДИНАМИКА. ТЕРМОДИНАМИКА ЖИВЫХ СИСТЕМ.....</b>                             | <b>64</b>  |
| 4.1-§. Основные понятия термодинамики. Первый закон термодинамики.....                      | 64         |
| 4.2-§. Второй закон термодинамики. Энтропия.....  | 70         |
| 4.3-§. Стационарное состояние. Принцип минимальности энтропии...                            | 79         |
| 4.4-§. Термодинамика живых систем.....  | 81         |
| 4.5-§. Термометрия и калориметрия.....  | 84         |
| 4.6-§. Физические свойства теплых и холодных сред, используемых при лечении.....            | 84         |
| <b>V ГЛАВА. ФИЗИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКА. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗВУКА В МЕДИЦИНЕ.....</b>        | <b>90</b>  |
| 5.1-§. Звук и его физические и психофизические характеристики...                            | 91         |
| 5.2-§. Распространение звука в воздухе.....   | 93         |
| Объективные и субъективные характеристики звука.....  | 94         |
| 5.4-§. Использование звука в клинике.....   | 95         |
| 5.5-§. Физика слуха.....  | 96         |
| 5.6-§. Ультразвук.....  | 98         |
| 5.7-§. Инфразвук.....   | 100        |
| <b>VI ГЛАВА. ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТОК В ЖИВЫХ ОРГАНИЗМАХ.....</b>                                  | <b>108</b> |
| 6.1-§. Плотность и сила тока.....   | 108        |
| 6.2-§. Электродвижущая сила электрических источников.....                                   | 109        |
| 6.4-§. Электрическая проводимость биологических тканей и жидкостей при постоянном токе..... | 112        |
| <b>VII ГЛАВА. ОПТИКА. СВОЙСТВА СВЕТА. ОПТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА ГЛАЗ.....</b>                      | <b>120</b> |
| 7.1-§. Природа света.....   | 120        |
| 7.2-§. Основные законы геометрической оптики.....   | 121        |
| 7.3-§. Основные фотометрические величины.....   | 131        |
| 7.4-§. Фотометры.....   | 138        |
| 7.5-§. Оптические приборы.....  | 144        |
| 7.6-§. Недостатки оптических систем.....  | 148        |
| 7.7-§. Поглощение света.....  | 149        |
| 7.8-§. Дифракция света. Дифракционная решётка.....  | 152        |
| 7.9-§. Естественный и поляризованный свет.....  | 155        |

|   |            |
|---|------------|
| 7.10-§ Экспериментальные методы измерения поляризации.....  | 157        |
| 7.11-§. Оптическая система глаз и некоторые её свойства.....  | 161        |
| <b>VIII ГЛАВА. РАДИОАКТИВНОСТЬ. ДЕЙСТВИЕ</b>  |            |
| <b>ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ.....</b>   | <b>163</b> |
| 8.1-§. Открытие радиоактивности. Наблюдения рентгена,<br>эксперимент Резерфорда.....  | 163        |
| 8.2-§. Ядерный распад. Альфа-распад.....  | 164        |
| 8.3-§. Химическое действие радиоактивного излучения.....  | 165        |
| 8.4-§. Биологическое действие радиоактивного излучения.....   | 167        |
| 8.5-§. Свободные радикалы. Отрицательное воздействие свободных<br>радикалов на физиологические процессы в организме.....  | 169        |
| 8.6-§. Системы защиты тканей организма от радиоактивного излу-<br>чения. Биологическая защита. Антиоксиданты. Система антиокси-<br>дантной защиты тканей и органов организма..... | 171        |
| 8.7-§. Действие радиоактивного излучения на организм<br>человека.....   | 174        |
| 8.8-§. Нормы излучения.....   | 177        |
| 8.9-§. Рентгеновские лучи.....  | 180        |



## CONTENT

|  |           |
|--|-----------|
| <b>1-CHAPTER. BIOMECHANICS</b>   |           |
| <b>MECHANICAL PROPERTIES OF SOLID BODIES AND BIOLOGICAL FABRICS.....</b>   | <b>3</b>  |
| 1.1-§. Crystalline and amorphous substances.   |           |
| Polymers.....  | 6         |
| 1.2-§. Mechanical properties of solid bodies.....  | 13        |
| 1.3-§. Mechanical properties of biological tissue.....   | 17        |
| 1.4. Some some questions of biomechanics in living organisms.  |           |
| Armaments and conjugations.....  | 23        |
| 1.5-§. Mechanical work of the person. Ergometry.....   | 25        |
| <b>2-CHAPTER. BIOREOLOGY. VISCOSITY OF BIOLOGICAL LIQUIDS.....</b>   | <b>27</b> |
| 2.1-§. Viscosity of liquids. Newton's equation. Newtonov and nenyutonov liquids.....                               | 27        |
| 2.2-§. Flow of viscous liquids on the pipeil trum.....   | 29        |
| 2.3-§. Movement of bodies in viscous liquid. Stops law.....  | 33        |
| 2.4-§. Methods of determination of viscosity of liquid: clinical methods for determination of blood viscosity..... | 35        |
| 2.5-§. Laminary and turbulent flow. Number of reinolds.....  | 38        |
| 2.6-§. Peculiarities of molecular structure of liquids.....  | 40        |
| 2.7-§. Surface tension.....  | 42        |
| 2.8-§. Capillary phenomena.....  | 44        |
| <b>3-CHAPTER. HEMODYNAMICS. PHYSICAL BASIS OF HEART ACTIVITY PHYSICAL ISSUES OF HEMODYNAMICS.....</b>              | <b>49</b> |
| 3.1-§. Models of circulation.....  | 49        |
| 3.2-§. Pulse wave.....   | 54        |
| 3.3-§. Work and power of heart. Appliance of artificial circulation.....   | 57        |
| 3.4-§. Physical basis of measurement of arterial pressure In the clinic..  | 59        |
| 3.5-§. Determination of speed of blood flow.....   | 60        |
| <b>4-CHAPTER. THERMODYNAMICS. THERMODYNAMICS OF LIVING SYSTEMS.....</b>  | <b>64</b> |
| 4.1-§. Basic concepts of thermodynamics. The first law of thermodynamics.....                                      | 64        |
| 4.2-§. Second law of thermodynamics. Entropy.....  | 70        |

|  |            |
|--|------------|
| 4.3-§. Stationary state. The principle of the minimum of entropy.....                          | 79         |
| 4.4-§. Thermodynamics of living systems.....   | 81         |
| 4.5-§. Thermometry and calorimetry.....  | 84         |
| 4.6-§. Physical properties of warm and cold media used in treatment..                          | 84         |
| <b>5-CHAPTER. PHYSICAL CHARACTERISTICS OF SOUND.</b>   |            |
| <b>USING SOUND IN MEDICINE.....</b>  | <b>90</b>  |
| 5.1-§. Sound and its physical and psychophysical characteristics.....                          | 91         |
| 5.2 - §. Distribution of sound in the air.....   | 93         |
| Objective and subjective characteristics of sound.....   | 93         |
| 5.4-§. Using sound in the clinic.....  | 95         |
| 5.5-§. Physics of hearing.....   | 96         |
| 5.6-§. Ultrasound.....   | 98         |
| 5.7-§. Infrasound.....   | 100        |
| <b>6-CHAPTER. ELECTRIC CURRENT IN LIVING</b>   |            |
| <b>ORGANISMS.....</b>  | <b>108</b> |
| 6.1-§. Density and current power.....  | 108        |
| 6.2-§. Electric power of electric sources.....   | 109        |
| 6.3-§. Electrical conductivity of biological tissue and liquids under<br>constant current..... | 111        |
| <b>7-CHAPTER. OPTICS. PROPERTIES OF LIGHT. OPTICAL</b>   |            |
| <b>EYE SYSTEM.....</b>   | <b>120</b> |
| 7.1-§. The nature of light.....  | 120        |
| 7.2-§. Basic laws of geometrical optics.....   | 121        |
| 7.3-§. Main photometric values.....  | 131        |
| 7.4 -§. Photometers.....   | 138        |
| 7.5-§. Optical instruments.....  | 144        |
| 7.6-§. Disadvantages of optical systems.....   | 148        |
| 7.7-§. Absorption of light.....  | 149        |
| 7.8-§. Diffraction of light. Diffraction grating.....  | 152        |
| 7.9-§. Natural and polarized light.....  | 155        |
| 7.10-§. Experimental methods of measurement of polarization.....                               | 157        |
| 7.11-§. Optical eye system and some properties.....  | 161        |
| <b>8-CHAPTER. RADIOACTIVITY. EFFECT OF IONIZING</b>  |            |
| <b>RADIATION ON THE ORGANISM.....</b>  | <b>163</b> |
| 8.1-§. Discovery of radioactivity. X-ray observation, experiment of<br>reserford.....          | 163        |

|   |     |
|---|-----|
| 8.2-§. Nuclear decomposition. Alpha-raspad.....   | 164 |
| 8.3-§. Chemical action of radioactive radiation.....  | 165 |
| 8.4-§. Biological action of radioactive radiation.....  | 167 |
| 8.5.- free radicals. Negative exposure of free radicals to physiological processes in the organism.....   | 169 |
| 8.6-§. Systems of protection of tissue of organism from radioactive radiation. Biological protection. Antioxidants. System of antioxidant protection of fabrics and organs of organism..... | 171 |
| 8.7-§. Effects of radioactive radiation on the human organism.....  | 174 |
| 8.8-§. Norms of radiation.....  | 177 |
| 8.9-§. X-rays.....  | 180 |