

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

**BIOFIZIKA VA  
RADIOBIOLOGIYA**

**Toshkent – 2018**

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

**E.Ismailov, N.Mamatkulov, G'.Xodjayev, Q.Norboyev**

# **BIOFIZIKA VA RADIOBIOLOGIYA**



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

**«Sano-standart» nashriyoti  
Toshkent – 2018**

UO‘K: 577.3:619(075.8)

KBK: 28.07ya73

B 70

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

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

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

*O‘zbekiston Respublikasi Oliy va o‘rta maxsus ta‘lim vazirligi tomonidan veterinariya, zootexniya, kasb ta‘limi veterinariya va kasb ta‘limi zootexniya bakalavriat yo‘nalishlari talabalari uchun darslik sifatida tavsiya etilgan.*

*Taqrizchilar:*

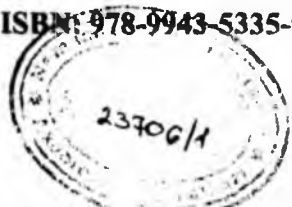
**Z.F.Ismoilov** – biologiya fanlari doktori, Samarqand davlat universiteti “Genetika va biokimyo” kafedrası professori.

**N.O.Sodiqov** – fizika-matematika fanlari nomzodi, Samarqand tibbiyot instituti “Biofizika” kafedrası mudiri, dotsent.

UO‘K: 577.3:619(075.8)

KBK: 28.07ya73

ISBN: 978-9943-5335-9-2



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

## SO‘Z BOSHI

O‘zbekiston Respublikasi “Ta‘lim to‘g‘risida” gi qonuni hamda **“Kadrlar tayyorlash milliy dasturi”** asosida yuqori malakali, **ijodkorlik** va tashabbuskorlik qobiliyatiga ega, kelajakda kasbiy va **hayotiy** muammolarni mustaqil hal qila oladigan, yangi texnika va **texnologiyalarga** tez moslashishga layoqatli kadrlarni tayyorlashda **ta‘lim** jarayonini Davlat ta‘lim standartlari asosida tuzilgan **namunaviy** fan dasturiga muvofiq yozilgan darsliklar bilan **ta‘minlash** muhim ahamiyatga ega. Ushbu darslik Davlat ta‘lim **standartida** belgilangan asosiy o‘quv materialini qamrab olgan va **talabalar** tomonidan bilimlarni mustaqil o‘zlashtirib olishga hamda **ko‘nikma** va malakalarni shakllantirishga, amaliy faoliyatda **qo‘llashni** o‘rganishga, ijodiy qobiliyatni shakllantirishga moslab yozilgan.

Darslikda “Biofizika va radiobiologiya” fani namunaviy o‘quv **dasturi**, uslubiy va didaktik talablari asosida barcha mavzular to‘liq **yoritilgan**, hamda turdosh ta‘lim yo‘nalishlarida foydalanish **imkoniyatlari** ham hisobga olingan.

Dasrlikda o‘quv materiallari tushunarli, mantiqiy va tizimli **bayon** etilgan hamda milliy xususiyatlarni shakllantirishga **yo‘naltirilgan**, faqat nazariy bilim berish bilan cheklanmasdan **veterinariya**, zootexniya va qorako‘lchilik mutaxassisliklariga oid **amaliy ko‘nikmalarni** shakllantiruvchi muammoli savollar va ijodiy **topshiriqlar** berish yo‘li bilan o‘quv materiallari aniq maqsad va **vazifalarga** yo‘naltirilgan. Mustaqil O‘zbekiston kelajagini fan va **texnikaning** sir-asrorlarini chuqur egallagan va hayotga tadbiiq qila **oladigan** yuqori malakali mutaxassislersiz tasavvur qilib bo‘lmaydi. **har tomonlama** yetuk mutaxassislarni tayyorlash, asosan, oliy ta‘lim **muassasalari** zimmasiga tushadi. Bunday sharaflil va o‘ta **ma‘suliyatli** vazifani bajarish uchun yangi pedagogik **texnologiyalardan** va zamonaviy axborot texnologiyalardan dars **berish** jarayonida unumli foydalanish talab qilinadi. Mamlakatimiz **mustaqillikka** erishgandan buyon veterinariya, zootexniya va **qorako‘lchilik** ta‘lim yo‘nalishlari uchun o‘zbek tilida yozilgan **“Biofizika va radiobiologiya”** fani bo‘yicha darslik nashr etilmagan.

Mualliflar tomonidan tavsiya etilayotgan "Biofizika va radiobiologiya" fani darsligi ko'p yillar davomida shu fan dasturiga binoan o'qilgan ma'ruzalar asosida tayyorlandi.

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

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

Darslik mualliflari O'zbekiston Milliy universiteti biofizika kafedrasi va Toshkent Davlat Agrar universiteti Fizika va kimyo kafedrasi jamoasiga darslikni yozishda bergan ko'rsatmalari uchun minnatdorchiligini izhor qilishadi.

## KIRISH

Bizning tevarak-atrofimiz, barcha narsalar, bizning o'zimiz ham **materiyaning** bir bo'lagimiz. Keng ma'noda oladigan bo'lsak **materiya** bu moddiy borliqdir. Boshqa tabiiy fanlar kabi "Biofizika va radiobiologiya" fanining ham maqsadi tirik tabiat va tirik **organizmni** o'rganishdir. **Materiya** doimo harakatdadir. Bu harakat **oddiy** ko'chishdan tortib, tafakkurga qadar koinotda sodir bo'ladigan **hamma** o'zgarishlar va jarayonlarni o'z ichiga oladi. **Biologik harakat** **materiya** harakatining oliy formasidir, lekin oddiy harakatni bilmadan turib oliy harakat mexanizmini bilib bo'lmaydi. O'simlik va hayvonot olamida turli xil fizik va kimyoviy jarayonlar sodir bo'ladi. Ammo hayot harakatning oliy formasi sifatida unga har tomonlama yondashishni talab qiladi.

Tabiat qonunlariga asoslangan holda, biologiya, fizika va kimyoning tutashish joyida yangi fan "Biofizika va radiobiologiya" **fani** yuzaga keldi. Biofizika va radiobiologiya – biologik tizimlardagi fizik va fizik-kimyoviy jarayonlarni va tirik organizmga turli omillarning ta'sirini o'rganadi.

"Biofizika va radiobiologiya" faniga quyidagicha ta'rif berish mumkin.

"Biofizika va radiobiologiya" -- fizik va fizik-kimyoviy jarayonlarni, biologik tizimlar ultrastrukturasini tashkil qilishning hamma sohalarini submolekulyar va molekulalardan to to'qima va to'liq organizmgacha o'rganadigan fandır.

Tirik organizmda sodir bo'ladigan turli jarayonlarning murakabligiga va o'zaro bog'liqligiga qaramasdan, ular ichidagi fizik jarayonlarni ajratib ko'rsatish mumkin. Masalan, qon aylanishi bu jarayon suyuqlikning oqimi (gidrodinamika), tomirlar bo'ylab **elastik** to'lqinlarning tarqalishi (akustika), yurakning ishi va quvvati (**mexanika**), biopotensiallar generatsiyasi (elektr), nafas olishda gaz

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

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

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

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

Tibbiyot va veterinariyada ishlatilayotgan materiallar fizik xossalarini o‘rganish ham muhimdir, chunki bunday materiallar mavjud sharoitda ishlatilishini baholash uchun ular tayyorlangan materiallar fizik xossalarini o‘rganish kerak. Masalan, protezlar

tayyorlash uchun qoʻllanilayotgan materialning mexanik mustahkamligini, elastikligini, issiqlik oʻtkazish qobiliyatini, elektr oʻtkazuvchanlikni va boshqa xossalarni bilish muhimdir.

Tirik organizm atrof-muhit bilan oʻzaro taʼsirlashgan holdagina yashashi mumkin. U muhitning harorat, namlik, havo bosimi va boshqa fizik xarakteristikalarining oʻzgarishlardan keskin taʼsirlanadi. Tashqi muhit yordamida davolash ham mumkin. Masalan, klimatoterapiya va baroterapiya.

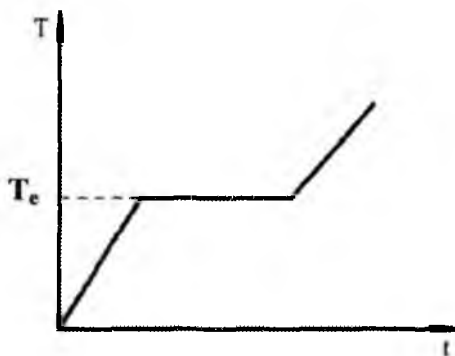


# I bob. BIOMEXANIKA ASOSLARI

## § 1.1 Qattiq jismlar deformatsiyasi

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

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



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

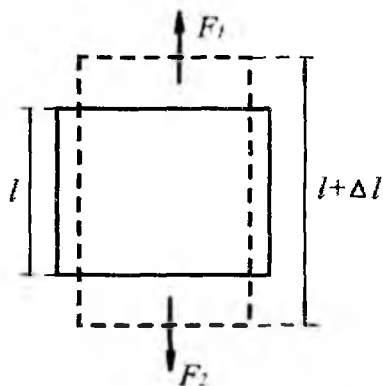
Jism harorati oshishi bilan atom va ionlar tebranma harakati osha boradi va har bir qattiq jism uchun aniq bir haroratda kristall panjara buzila boshlaydi. Tashqi berilayotgan issiqlik energiyasi shu panjarani buzishga sarflanadi. Toki hamma panjaralar buzilguncha kristall harorati o'zgarmaydi. Bu haroratga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

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

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

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

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



1.2-rasm. Cho'zilish deformatsiyasini tasvirlash chizmasi

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

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

Bu yerda  $\sigma$  – mexanik kuchlanish,  $F$  – kuch,  $S$  – yuz  
Kuch yuzaga normal bo'lsa, ya'ni yuzaga nisbatan perpendikulyar holatda ta'sir qilsa – normal kuchlanish, kuch yuzaga urinma holda bo'lsa, tangensial kuchlanish deyiladi.

Deformatsiya darajasi nisbiy deformatsiya orqali aniqlanadi.

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

esa

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

Bunda  $\ell$  – sterjenning uzunligi,  $d$  – sterjen diametri

Tajribadan  $\varepsilon'$  va  $\varepsilon$  orasida quyidagi bog'lanish borligi kelib chiqadi.

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

Bunda  $\mu$  – materialga bog'liq musbat koeffitsiyent (Pousson koeffitsiyenti).

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

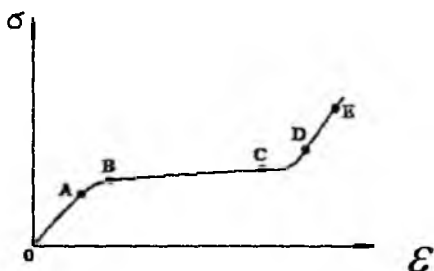
$$\sigma = E \cdot \varepsilon \quad (1.4)$$

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

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

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

elastiklik chegarasi bo'lib, shunday maksimal kuchlanishni harakterlaydiki, bunda tashqi kuch ta'siri olingandan so'ng jismda qoldiq deformatsiya qolmasdan, u yana o'z shaklini tiklay oladi. BC – gorizonttal oraliq kuchlanishning oquvchanlik chegarasidir, ya'ni bu oraliqda kuchlanish oshmasdan deformatsiya oshib boradi. E – nuqta esa jismning buzilishi (uzilishi) oldidan jismga qo'yilgan eng katta kuchlanish jismning mustahkamlik chegarasi deyiladi. Moddalar elastiklik xossalari orasida juda katta farq bor. Masalan, po'lat mustahkamlik chegarasidan 0,3% cho'zilgandayoq uziladi, yumshoq rezinalarni esa 300% cho'zish mumkin. Bunday farq sifat tomondan yuqori molekulyar bog'lanishlar elastikligi mexanizmi bilan bog'liq.



1.3-rasm. Mexanik kuchlanish va nisbiy deformatsiya orasidagi bog'lanish:  $\sigma$ -mexanik kuchlanish,  $\varepsilon$ -nisbiy deformatsiya

Ba'zi moddalar mustahkamlik chegarasi va Yung moduli qiymati quyidagi jadvalda keltirilgan.

1.1–jadval

Modda	Yung moduli,	Mustahkamlik chegarasi, MPa
po'lat	200 GPa	500
organik shisha	3,5 GPa	50
shishali kapron	8 GPa	150
elastin	0,1 – 0,6 MPa	5
kollogen	10 – 100 MPa	100
suyak	10	100

Elastik siqilgan sterjen potensial energiyasi tashqi kuchlar bajargan ishga tengdir

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

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

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

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

### § 1.2. Biopolimerlar tuzilishi va xossalari

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

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

Polietilen ...  $-\text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \text{CH}_2 - \dots$

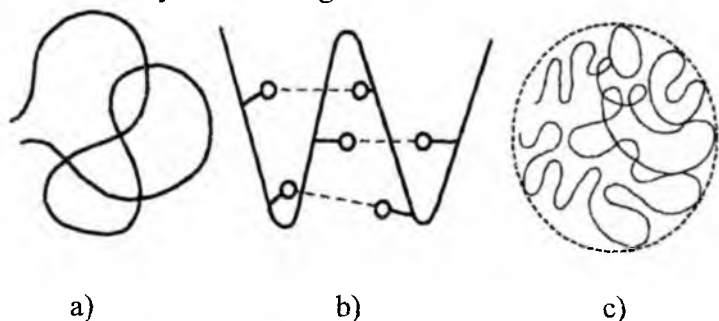
Polivinil xlorid ...  $\text{CH}_2 - \text{CHCl} - \dots$

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

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

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

Polimerdagi atomlar va ularning guruhlari orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari va issiqlik harakati tufayli makromolekula o'lchamlari va shakli turlicha bo'lishi mumkin. Ushbu ta'sirlar natijasida polimer makromolekulasiining tashqi ko'rinishi o'zgarishiga konformasion o'zgarishlar deyiladi. 1.4-rasmda polimer makromolekulalarining ayrim konformasiyalari keltirilgan:



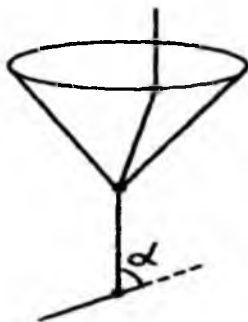
**1.4-rasm. Polimer makromolekulalarining konformasiyalari.**  
**a – statistik o'ram, b – spiralsimon, c – globula.**

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

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

konformasiyaga kuchli ichki molekulyar o'zaro ta'sirga ega polimer makromolekulalari ega bo'lishadi. Masalan, fluor atomiga ega bo'lgan polimerlar (politetrafluoretilen).

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



**1.5-rasm. Ma'lum qiymatli valent burchakli polimer zanjiri**

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

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

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

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

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

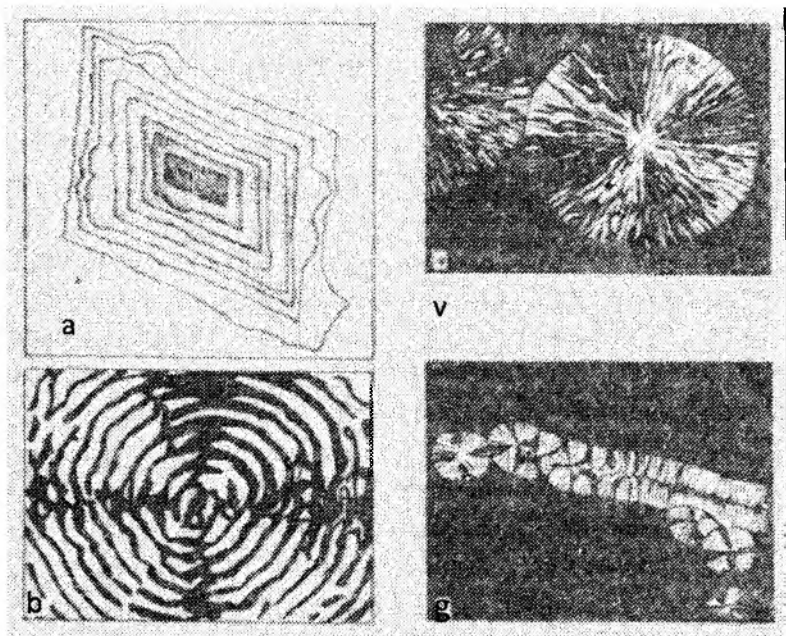
Amorf polimer yuqori elastiklik holatida kuchli deformatsiyalanish xossasiga (1000% gacha) ega bo'lib, uning deformatsiyalanishida qaytuvchanlik mavjuddir.

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

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

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





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

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

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

Zanjirda doimiy egilish momenti bo'lmasa

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

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

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

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

To'la energiyaning o'zgarishi ( $\Delta G$ )ni topish uchun (1.9) ifodani L-kontur uzunligi bo'yicha integrallaymiz:

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

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

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

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

Umumiy egilish burchagini quyidagi ifodadan topamiz:

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

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

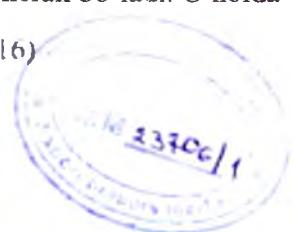
$$\Delta G = \frac{k \cdot \theta_L^2}{2L} \quad (1.14)$$

Egilish burchagini termodinamik muvozanatida bo'lgan tizimlar uchun Bolsman tenglamasidan foydalanib topish mumkin:

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

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

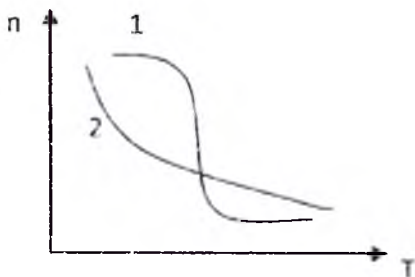
$$(\theta_L^2) = \frac{2LrT}{k} \quad (1.16)$$



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

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

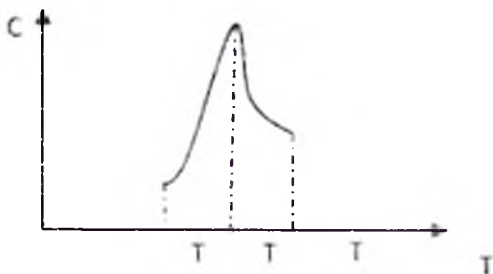
Quyida keltirilgan grafikda qattiq tayoqcha uchun harorat oshgan sari o'ramning globulaga aylanishi turli fazalar orasidagi birinchi turdagi o'tishi, ya'ni polimer, agregat holatining o'zgarishi bilan birgalikda ro'y beradi. Egiluvchan zanjirlar uchun bu o'tish issiqlik effektlarsiz, ikkinchi turdagi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



**1.7-rasm. Manomer bo'g'inlari soni o'rtacha zichligining haroratga bog'lanishi. 1-qattiq tayoqcha, 2-egiluvchan zanjir, n-bo'g'inlar soni o'rtacha zichligi, T-harorat**

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

Oqsillarning harorat denaturasiyasi (tabiiy strukturasi buzilishi) birinchi turdagi faza o'tishiga yaqin bo'ladi. Issiqlik denaturasiyasi jarayonida biopolimerning globulyar (yoki spiral) holatdan denaturasiyalangan o'ramli holatga o'tishida issiqlik sig'imining o'zgarishi ro'y beradi. 1.8-rasmda biopolimerlar issiqlik denaturasiyasi sohasida issiqlik sig'imining o'zgarishi ko'rsatilgan.

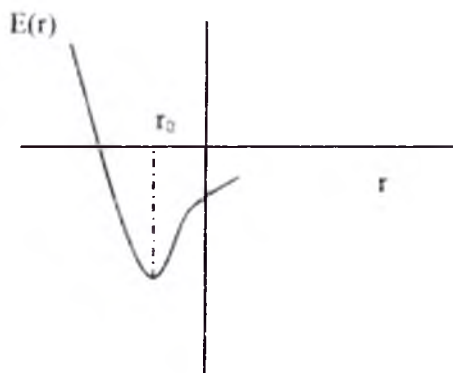


**1.8-rasm. Biopolimerlar issiqlik denaturasiyasi sohasida issiqlik sig'imining o'zgarishi. C – issiqlik sig'imi  $T_1$  - boshlang'ich harorat  $T_d$  – issiqlik yutishi maksimumining harorati,  $T_2$  - erish jarayonining oxirgi harorati**

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

### § 1.3. Biopolimerlar orasidagi kuchlar

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



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

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

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

Kichik masofalarda molekular elektron qobiqlari o'zaro ta'sirlashganda itarish kuchlari kuchliroq, kattaroq masofalarda tortishish kuchliroq bo'ladi.

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

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

Van-der-Vaals kuchlari suyuq va qattiq holatlar paydo bo'lishda real gazlardagi molekulalarning o'zaro ta'siri katta rol o'ynaydi. Biologik makromolekulalarni ham kondensasiyalangan tizimlar, deb qarasaq, ularda ham Van-der-Vaals kuchlari muhim ahamiyatga egadir.

Van-der-Vaals o'zaro ta'sirlari energiyasi 4–8 kJ/mol va undan yuqori bo'ladi. Molekulaning 300 K haroratdagi issiqlik energiyasi esa  $\sim 2$ kJ/mol, kovalent bog'lanishlar energiyasi esa 170–630 kJ/molga teng. Van-der-Vaals kuchlari elektromagnit tabiatga ega bo'lib, qo'shni molekulalardagi elektr dipollar o'zaro ta'siri bilan aniqlanadi. O'zaro ta'sirlanuvchi molekulalar doimiy elektr dipollariga egaligi yoki bu dipol molekulalari elektron qobiqlarining qutblanishi natijasida hosil bo'lishiga qarab Van-der-Vaals kuchlarining turli tiplari mavjud.

Bir to'g'ri chiziqda yotuvchi ikki dipol o'zaro ta'siri (oriyentasiya o'zaro ta'siri) energiyasi quyidagicha bo'ladi:

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

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

Doimiy dipol momentlariga ega bo'lmagan molekulalar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari dispersion yoki qutblanuvchan o'zaro ta'sirlar deb ataladi. Dispersion o'zaro ta'sirlar kvant-mexanik xarakteriga ega bo'lib, tashqi orbitadagi elektronlar harakati bilan bog'liq.

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

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

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

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

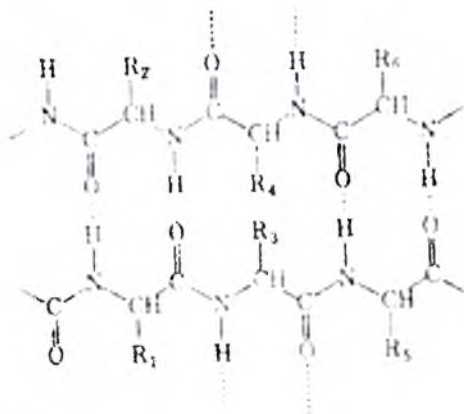
$$U = -\frac{A}{R^6} + \frac{B}{R^{12}} \quad (1.20)$$

Bunda  $A, B$ -tajribada aniqlanadigan doimiy sonlar,  $R$ -molekulalar orasidagi masofa. (1.20) ifodada birinchi had molekulalarning o'zaro tortishishga, ikkinchi had esa molekulalarning o'zaro itarishishiga mos keladi. Masalan, 0...0 o'zaro ta'siri uchun  $A=1547,7 \text{ kJ} \cdot \text{nm}^2 / \text{mоль}$ ,  $B = 895,23 \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot 10^3 \text{ kJ} \cdot \text{nm}^4 / \text{mоль}$  qiymatga ega.

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

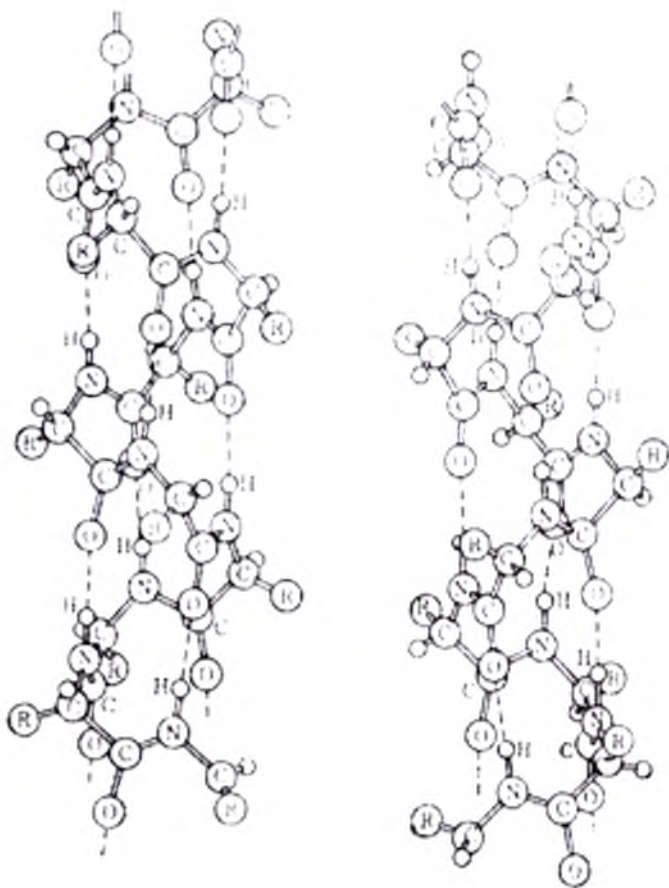
Vodorod bog'lanishining energiyasi 10–40 kJ/mol oraliqda bo'ladi.

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



**1.10-rasm. Ikki polipeptid zanjirlari orasidagi vodorod bog‘lanishlar**

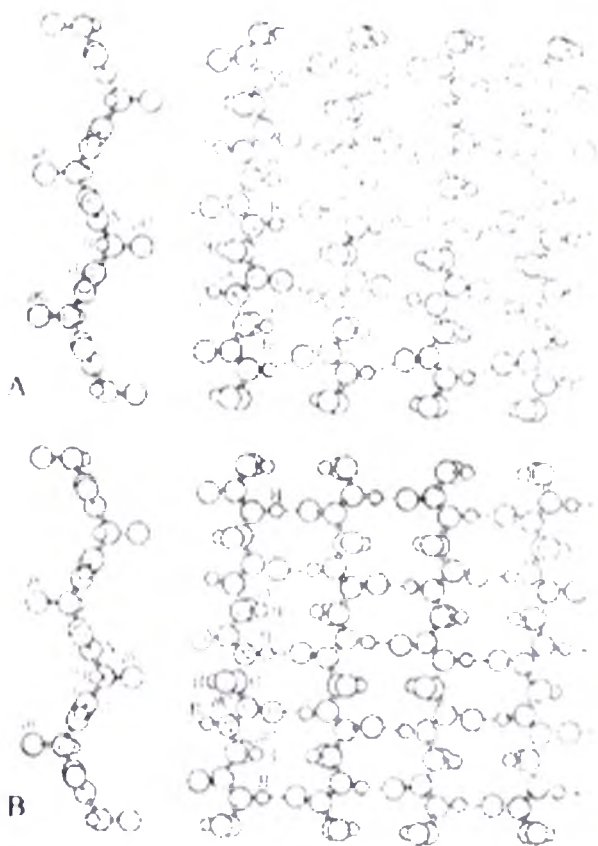




**1.11-rasm. Oqsilning  $\alpha$ -spiral strukturasi: R-yon radikallar; tutash chiziqlar kovalent bog‘lanishlar, punktir chiziq-vodorod bog‘lanishlar**

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

Yagona polipeptid zanjiri hosil qiladigan  $\alpha$  spiraldan farqli ravishda  $\beta$ -struktura ikki polipeptid zanjirlar orasida hosil bo'ladigan vodorod bog'lanishlar tufayli paydo bo'ladi. (1.12-rasm)



**1.12-rasm. Oqsilning turli  $\beta$ -strukturalari. A-parallel, B-antiparalel**

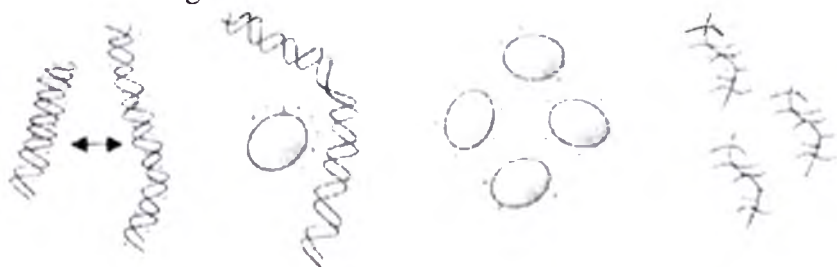
A-spiral va  $\beta$ -struktura tipidagi ikkilamchi strukturalar vodorod bog'lanishlari tufayli hosil bo'ladi va nordon hamda asosiy amino-kislotalar qoldiqlari orasidagi elektrostatik o'zaro ta'sirlar tufayli mustahkamlanadi. Peptid zanjirlaridagi turli atomlar ularda zaryad

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

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

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

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



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

### § 1.4. Muskul mexanikasi

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

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

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

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

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

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

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

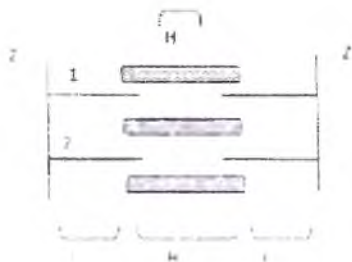
Ma'lumki, muskul tolalarining miofibrillalari Z-membranalar deb ataladigan qambar qora chiziqlar bilan ayrim qismlarga ajralsa (uzunligi taxminan 2,5 mkm keladigan qismlarga), ya'ni sarkomerlar bo'ylab joylashgan yorug' yo'llar, izohop yo'llar yoki I disklar deb atalsa, sarkomerning markazidagi qora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

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

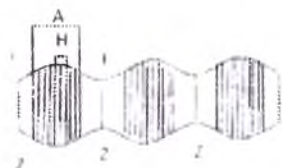
1.14-rasmda miofibrillaning bo'ylama kesimi, 1.15-rasmda esa uning sxematik tuzilishi ko'rsatilgan. 1.15-rasmdagi qora chiziqlar Z-chiziqlardir. Miofibrillaning ikkita Z-chiziqlar orasidagi qismi sarkomer deb ataladi.

Skelet va yurak muskul tolalarida miofibrillar o'rtasidagi bo'shliqda joylashgan endoplazmatik retikulumdan hosil bo'lgan alohida vakuolalar tizimi topilgan. Mana shu tizinning bir qismi muskul tolasi bo'ylab ketgan A – disklar sohasida joylashgan, u ko'ndalang holatni egallaydi va sarkolemaning plazmatik membranasiga aylanadi. Endoplazmatik retikulumning fazoda shu tariqa joylashuvi muskul tolasi ichida qo'zg'alish impulslari o'tishini ta'minlab beradi.

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



**1.14-rasm. Miofibrillaning bo'ylama kesimi tasviri**



**1.15-rasm. Sarkomer tuzilishi tasviri**

Haddan tashqari yupqa (ultrayupqa) kesmalarui rentgenostruktura analizi va elektron mikroskopda tekshirishdan o'tkazib olingan zamonaviy ma'lumotlar (Xaksli va Xanson) izohop disklar tabiatini aniqlashga imkon berdi. Bu tekshirishlar miofibrillarning necha yuzlab (o'rtacha 2500 ta) juda ingichka iplardan tashkil topganligini ko'rsatdi, shu iplarning har biri oqsil molekulalarining polipeptid zanjirlaridan hosil bo'lgan. Bu iplar o'zining diametri va oqsil tarkibi jihatidan bir-biridan farq qiladi. Bir muncha yo'g'onroq iplar (diametri  $100-110 \text{ \AA}^0$ ) asosan miozin oqsildan tashkil topgan bo'lsa, bir muncha ingichkalari (diametri  $40-50 \text{ \AA}^0$ ) aktin oqsildan tashkil topgandir.

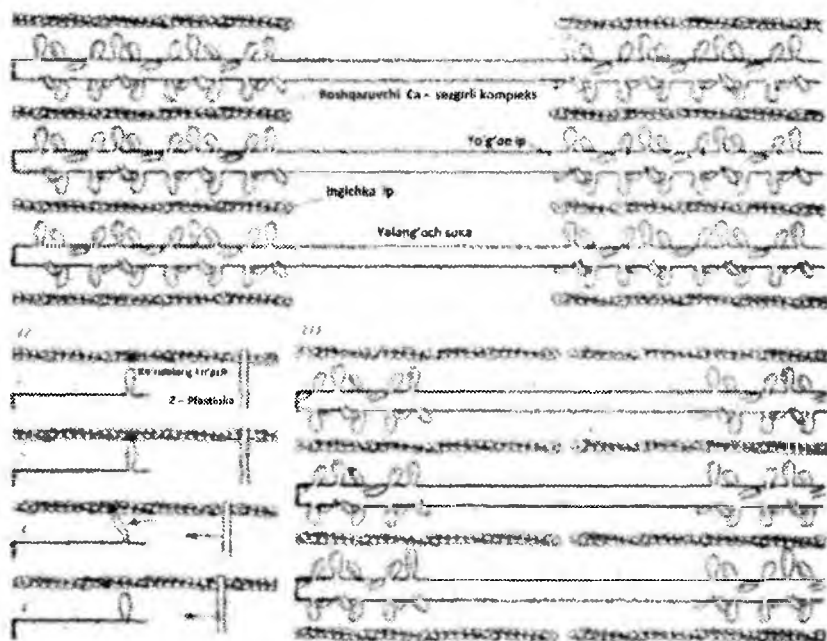
Elektron mikroskopda olingan fotosuratlarda yo'g'on va ingichka iplarning o'zaro qat'iy bir tartib bilan joylashganligi, har bir yo'g'on ipning 6 ta ingichka ip bilan o'ralib turishi ko'zga tashlanadi. Ayni vaqtda ikkita qo'shni yo'g'on ip o'rtasida bir juft ingichka ip bo'ladi (qo'shaloq geksogonal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

Miozin va aktin iplarida ko'ndalang ko'prikchalar ko'rinishida yon birikmalar bor, bular orasi taxminan  $60-70 \text{ \AA}^0$  keladigan miozin iplari o'simtalaridan hosil bo'lgan. O'sha ko'prikchalar yo'g'on ipni qo'shni oltita ingichka ipning har biri bilan birlashtiradi va o'ramlari har  $400 \text{ \AA}^0$  dan keyin takrorlanadigan spiral bo'ylab joylashadi, shu narsa miofibrillarning struktura jihatdan yaxlit bo'lishini ta'minlab beradi.

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

o'zgaraydi, Z-disklar bir-biriga qarab harakatlanadi. Natijada I disklar umuman yo'qoladi. Sarkomer hajmi qisqarishda kam o'zgaradi, demak, u qalinlashadi. Sarkomerdagi yo'g'on iplar ingichka iplar orasiga sirg'alib kira boshlaydi, bu A.Xakli sirg'aluvchan iplar nazariyasidir. Bu nazariyaga ko'ra ingichka va yo'g'on iplar o'zaro ta'siri ko'priklar vositasida ro'y beradi. Tinch holatdagi muskulda ko'priklar iplarga perpendikulyar joylashadi, qisqarishda ko'priklarining qiyalik burchagi o'zgaradi (rasm 1.16), natijada ko'priklar ulangan aktiv markaz (rasmda ushbu markaz qora rangda berilgan) bir "qadam" ga siljishi ro'y beradi.

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



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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

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

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

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

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

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

Bunda  $I$  – inersiya momenti,  $\omega$  – burchak tezlik.

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

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

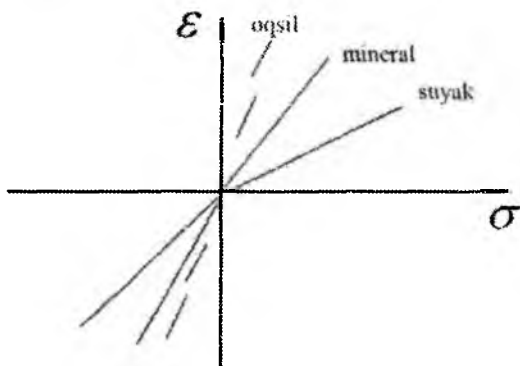
formula bilan aniqlanadi. Bunda  $F$  – muskul kuchi,  $d$  – muskulning ish bajarishga mos masofasi,  $m$  – oyoq massasi.

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

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

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

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



**1.17-rasm. Ba'zi moddalar uchun kuchlanish va deformatsiya orasidagi bog'lanish.  $\sigma$ -mexanik kuchlanish,  $\varepsilon$ -nisbiy deformatsiya**

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

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

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

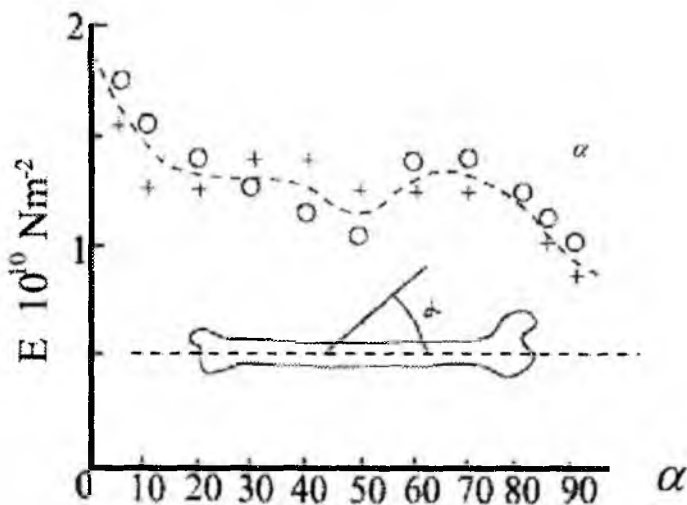
– suyak cho'zilishi 1% atrofida bo'lsa, elastilin 3 karragacha ham cho'zilishi mumkin.

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

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

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

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

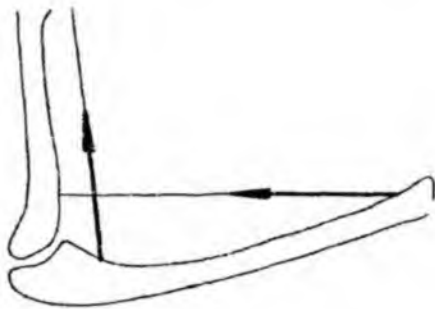


**1.18-rasm. Ho‘kiz son suyagi elastiklik modulining bo‘ylama o‘qiga nisbatan joylashish burchagiga bog‘liqligi: –suyakdagi o‘lchamlar, + -quruq suyakdagi o‘lchamlar.  $\alpha$ -burchak, E-elastiklik moduli**

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

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

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



a)

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

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

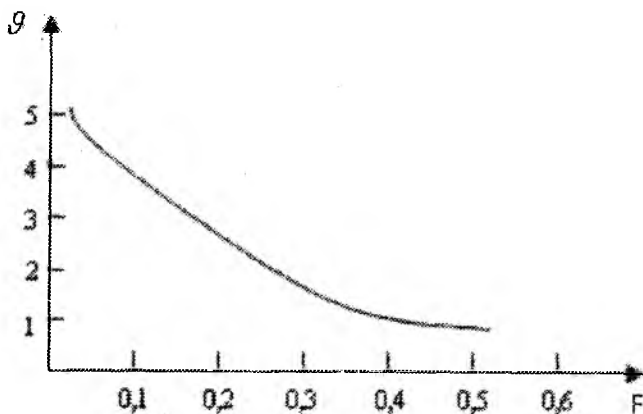
Umurtqalilarning skelet muskullari uzunligi bir necha millimetrdan o'nlab santimetr gacha va qalinligi odatda 0,05 – 0,1 mm bo'lgan muskul to'qimalaridan iborat.

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

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

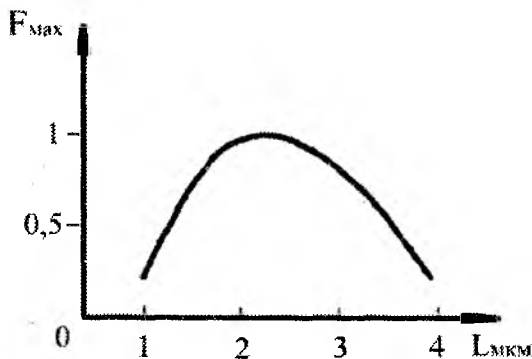
$$(F + a)(g + b) = (F_{\max} + a) \quad (1.24)$$

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



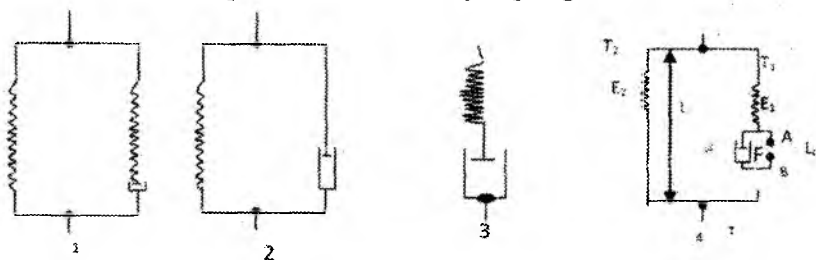
**1.20-rasm. Qurbaqa biriktiruvchi muskuli qisqarish tezligi  $g$  bilan izohopik qisqarishdagi muskul kuchi  $F$  orasidagi bog‘lanish**

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



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

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



1.22-rasm. Muskelning mexanik modellari. 1-Xill modeli, 2-Foygt modeli, 3- Maksvell modeli 4-Foygt-Maksvell modeli

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



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

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

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

Bunda  $\lambda_{\sigma}^0$ ,  $E^0$ ,  $\lambda_{\varepsilon}^0$  har  $\varepsilon$  ning funksiyalari,  $\varepsilon$  – nisbiy deformatsiya,  $\sigma$  – mexanik kuchlanish.

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

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

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

$$\varepsilon = \frac{l - l_a}{l_o}; \quad \Delta = \frac{l_c - l_{oc}}{l_{oc}}; \quad \sigma = 0 \text{ bo'lganda } \gamma = 0, \quad l = l_o,$$

$$l_c = l_{oc}$$

va (1.25) tenglama quyidagi ko'rinishni oladi:

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

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

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

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

Tajriba natijalariga ko'ra, faollashtirishning optimal chastotasida  $\lambda_{\sigma}^{\infty} \approx 0,5c$ ,  $\lambda_{\varepsilon}^{\infty} \approx 1c$ ;  $E^{\infty} \sim 10^6 \text{ Па}$ ;  $Ca^{2+}$  bo'sag'a konsentratsiyasi  $10^{-7} \frac{\text{моль}}{\text{л}}$ .

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Naysimon suyaklar siqilishda nisbiy deformatsiyaning  
maksimal qiymatlari

1.2-jadval

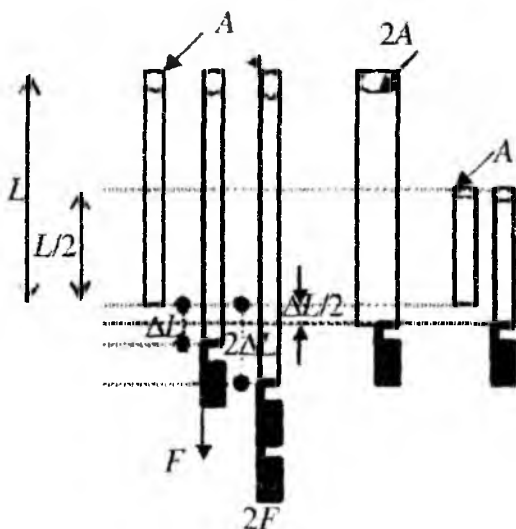
Hayvonlar	Suyaklar	Harakat turi	Nisbiy deformatsiya	Mustahkamlik zahirasi
Ot	Katta boldir	Sakrab chopish	0,32	2,1
It	Yelka	Sakrab chopish	0,21	3,2
G‘oz	Tirsak	Uchish	0,28	2,4
Xo‘roz	Katta boldir	Qanotini qoqish	0,21	3,2
Qo‘y	Bilak	Sakrab chopish	0,23	3,0
Indyuk	Katta boldir	Yugurish	0,235	2,9

Hayvonlar hamda odam tayanch-harakat tizimining faoliyatini chuqurroq o‘rganish suyaklarning, muskullar, bo‘g‘in, paylarning

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

### §1.5. Biomexanik jarayonlar

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



1.23-rasm. Deformatsiyalangan o'tkazgich.

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

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

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

Misol 1. Mis uchun Yung modulini baholaymiz.

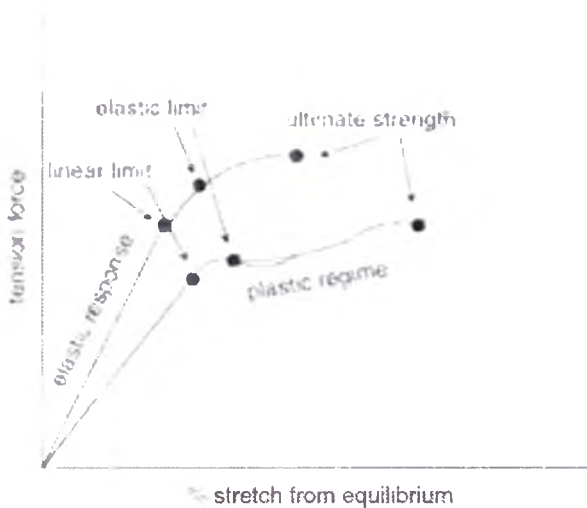
Yechish. mis sim ko'ndalang kesim yuzi  $10^{-6} m^2$ , uzunligi 1m, yuk 10 kg,  $\Delta L = 10^{-3} m$  formulaga qo'yib hisoblasak,  $\gamma = 10^{11} n/m^2$  kelib chiqadi.

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



**1.24-rasm. Boldir suyagining kuchlanganligi**

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



**1.25-rasm**

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

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

$$F = \frac{\gamma A}{L_0} \Delta L \text{ yoki } \frac{\gamma A}{L_0} = K \text{ — elastiklik koeffitsienti.}$$

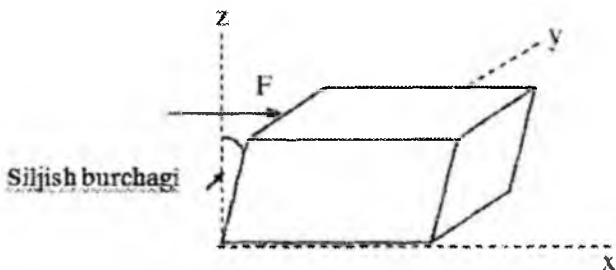
Mustahkamlik chegarasi cho'zilishiga qaraganda siqilishda 25% ga ko'proq bo'ladi.

Yuqoridagi formula Guk qonunidir.

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

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

Demak, bu suyakning ko'tarish kuchi  $F$  (mustahkamlik chegarasi)  $1,7 \cdot 10^8 \cdot 8 \cdot 10^{-5} = 1,36 \cdot 10^4 \text{N}$ .



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

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

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

J. Newman, Physics of the Life Sciences, DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2 9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008, pp. 74-76

Tavanch iboralar deformatsiya, egilish, buralish, siliish, elastiklik, plastik; noelastik, kollagen, Yung moduli, biopolimerlar

### Xulosalar

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

### Test savollari

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



- c) elektr maydon ta'sirida jism shaklining o'zgarishiga;  
d) Magnit maydon ta'sirida jism shaklining o'zgarishiga.
4. Quyidagi formulalarning qaysi biri elastik deformatsiyalangan jismning potensial energiyasini ifodalaydi?

a)  $E = mc^2$ ;

b)  $E = mgh$ ;

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

d)  $E = h\nu$ .

5. Muskul qisqarganda bajargan ishning formulasini toping?

a)  $A = F \cdot S$ ;

b)  $A = mgh$ ;

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

d)  $A = F \cdot d$ .

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

a) kimyoviy energiya;

b) potensial energiya;

c) issiqlik;

d) kinetik.

7. Tirik organizm muskullarining qisqarishi qaysi deformatsiya turiga kiradi?

a) buralish;

b) egilish;

c) siqilish;

d) plastik.

8. Elastiklik moduli nimani ifodalaydi?

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

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

c) jism energiyasini oshirish uchun bajarilgan ishni;

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

9. Jismlardagi anizotropiya hodisasi nimani ifodalaydi?

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

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

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

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

10. Guk qonunini ifodasini ko'rsating?

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

b)  $F = ma$  ;

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

d)  $F = \frac{m\mathcal{G}^2}{\tilde{a}}$

11. Teri nimalardan tashkil topgan?

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

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

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

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

12. Polimerlar deb nimaga aytiladi?

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

b) molekulalari va atomlari zich joylashgan moddalarga;

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

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

13. Suyak cho'zilishi qanchani tashkil qiladi?

a) 3%;

b) 5%;

c) 1%;

d) 2%.

14. Suyak uchun Yung moduli nimaga teng?  
a)  $10^5$  Pa;  
b)  $10^{10}$  Pa;  
c) 100 Pa;  
d)  $10^7$  Pa.
15. 15 km soat tezlikdagi odam quvvati qanchaga teng bo'ladi?  
a) 100 vt;  
b) 60 vt;  
c) 200 vt;  
d) 92vt.

### Sinov savollari

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

## II bob. BIOAKUSTIKA

### § 2.1. Tovush. Tovushning veterinariyadagi ahamiyati va fiziologik xossalari

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

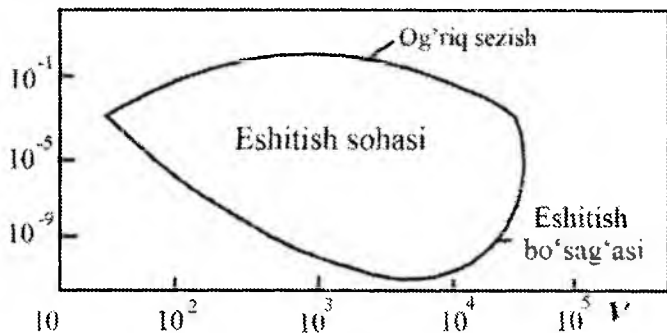
Akustika – eng past chastotali tebranishlardan boshlab, o'ta yuqori ( $10^{12}$  -  $10^{13}$ Gs) chastotali elastik to'lqinlarni o'rganuvchi fizikaning bir bo'limidir. Umuman olganda, akustika tovush haqidagi ta'limot bo'lib, odam qulog'i qabul qila oladigan gazlar, suyuqliklar va qattiq jismlardagi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

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

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

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

$I, \text{Wt/m}^2$



**2.1-rasm. Odam qulogʻining eshitish sohasi**

Normal. Bunda  $I_0$  – eshitish chegarasidagi intensivlik,  $I_m$  – ogʻrik sezish chegarasidagi tovush intensivligi. Bu intensivliklar nisbati  $10^{13}$  ga teng. har qanday tovush oddiy garmonik tebranishlar toʻplami emas, balki maʼlum chastotalar toʻplamiga ega boʻlgan garmonik tebranishlarning yigʻindisidan iboratdir.

Berilgan tovushda ishtirok etuvchi tebranishlar chastotalari toʻplami tovushning akustik spektri deyiladi.

Tembr-tovushning boshlanishi va oxiridagi amplituda oʻzgarishini xarakterlaydi.

### § 2.2. Tovushning fiziologik xossalari

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

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

Bunda  $I$  – tovush intensivligi,  $\rho$  – muhit zichligi,  $v$  – tovush tezligi. Yuqorida aytib oʻtilganidek, tovush intensivligi juda keng diapazonga ega. Shu sababli logarifmik shkaladan foydalaniladi.  $I_0$  ning qiymatini shkalaning boshlangʻich darajasi qilib olib, boshqa istalgan intensivlikni uning  $I_0$  ga nisbatan oʻnli logarifmi orqali

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

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

Bunda  $L$  – tovush qattiqligi deyiladi,  $K$  – proporsionallik koeffisienti. Bu qonunga binoan tovush intensivligi 1000ga o‘zgarsa, uning qattiqligi ( $\lg 1000 = 3$ ) 3-marta o‘zgaradi. Ikki intensivliklar nisbati Bellarda o‘lchanadi. Masalan: intensivliklar nisbati 4 B

bo‘lganda qattiqlik  $\lg \frac{I}{I_0} = 4$  yoki  $I = I_0 \times 10^4 = 10^{-8} \text{ Vt/m}^2$  bo‘ladi.

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

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

Demak,  $1 \text{ dB}$ ,  $\frac{I}{I_0} = 10^{0.1} = 1.26$ , 20 dB – intensivlik 100-marta kamayishini ko‘rsatadi. Intensivlik  $10 \text{ J/m}^2 \text{ s}$  bo‘lsa, u tovush sifatida eshitilmaydi va quloqda og‘riq seziladi. Desibellarga asoslanib eshitish sohasini 0 dan 120 dB oralig‘igacha bo‘lish mumkin. 120 dB dan yuqorisi shovqin hisoblanadi.

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

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

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

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



**2.2-rasm. Fonendoskopning tuzilishi**

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

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

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

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

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

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



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

### **§ 2.3. Tibbiyot va veterinariyada tovush usullaridan foydalanish**

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Bunda  $\lambda$  -tovush to‘lqin uzunligi,  $V$  - moddada tovush tezligi,  $\eta$  - yopishqoqlik koeffisienti,  $\rho$  - modda zichligi. Yuqoridagi formuladan ko‘rinadiki, so‘nish koeffisienti to‘lqin uzunligi oshishi bilan kamayadi. Shu sababli tovushni uzoq masofaga tarqatish uchun past chastotali manbalardan foydalanish zarur. Kuchli so‘nish bir jinsli bo‘lmagan va g‘ovak jismlarda yuz beradi. Yumshoq

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

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

2.1-jadval

Modda	So'nish koeffitsiyenti, m <sup>-1</sup>
Suv	0,01
Qon plazmasi	2,0
Qon	2,5
Yog' to'qimasi	4,5
Miya	14
Muskul	16
Jigar	15
Teri	40
Suyak	71

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

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

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

Shunday qilib, tovushning soʻnishi uchta sababga koʻra yuz beradi, yaʼni yutilish moddaning birlashmasligi tufayli sochilishi va masofaga qarab toʻlqin sirtining kengayishi tufaylidir. Oxirgi sababni kamaytirish uchun tovushni yassi yuzadan tarqatishga erishish kerak. Bunday sharoit quvurlarda yuzaga keltiriladi.

Tajribalarning koʻrsatishicha toʻlqin nurlagich va qabul qilgich tinch holatda yoki bir yoʻnalishda bir xil tezlikda harakatlengandagina ularning chastotalari bir xilda boʻladi, qolgan har qanday holatda  $\nu \neq \nu_0$  boʻladi. Bu hodisaga Dopler effekti deyiladi.

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

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 \pm \frac{g}{c}} \quad (2.7)$$

formula orqali aniqlanadi.

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

$$\nu = \nu_0 \left(1 \pm \frac{u}{c}\right) \quad (2.8)$$

Formula orqali aniqlanadi. Bunda  $u$  – kuzatuvchining manbaga nisbatan tezligi,  $c$  – tovush tezligi. Agar toʻlqin toʻsiqdan  $\varphi$ -burchak ostida qaytsa u holda qaytgan toʻlqin chastotasi

$$\nu_A = \nu - \nu_0 = \frac{2\nu_0 \frac{V}{c} \cos \varphi}{1 - \frac{V}{c} \cos \varphi} \quad (2.9)$$

formula bilan aniqlanadi.  $\nu_A$  – Dopler chastotasi deyiladi. Agarda tovush tezligi manba tezligidan ancha yuqori boʻlsa, yaʼni  $S \gg V$  u holda dopler chastotasi

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

yoki kuzatuvchi tamonidan qayd qilinadigan chastota quyidagicha aniqlanadi.

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

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

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

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

#### § 2.4. Shovqin va uning veterinariyadagi roli

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

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

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

## § 2.5. Shovqin va undan himoyalanih.

### Kichik shovqinlar

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

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

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

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

qonuniga bo'ysunadi, ya'ni  $e = \frac{E_{act}}{K_B T}$ , bunda  $e = E_{act}$  — aktivizatsiya energiyasi. Biz bilamizki  $K_B T$  molekulaning o'rtacha kvadrat energiyasi shunday qilib kimyoviy reaksiya ko'rsatkichi, bunda  $\gamma$  — fluktatsiya kuchi.

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

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

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

### Xulosalar

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

### Test savollari

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

d) odam va hayvonlar eshita oladigan elektromagnit to'liqlarga.

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

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

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

a)  $W = \Phi \cdot t$

b)  $E = \frac{\Phi}{S}$

c)  $I = \frac{W}{S \cdot t}$

d)  $B = \frac{I}{S \cdot \cos \alpha}$

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

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

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

- a)  $10^{-6}$ – $10^{-10}$  Vt/m<sup>2</sup>
- b)  $10^{-5}$  ÷  $10^{-8}$  Vt/m<sup>2</sup>
- c)  $10^{-12}$  ÷  $10$  Vt/m<sup>2</sup>
- d)  $10$  Vt/m<sup>2</sup> dan katta.

6. Tovush bosimi nima?
- atmosfera bosimiga tovush tomonidan hosil qilingan qo‘shimcha bosim;
  - yuza birligiga ta’sir qiluvchi kuch;
  - atmosfera bosimi;
  - havosiz joydagi yuzaga ta’sir etuvchi bosim.
7. Quyidagi ta’riflardan qaysi biri Veber-Fexnerning psixofizik qonunini ifodalaydi?
- eshitish organining sezgisi ta’sir etayotgan tovush to‘lqinlari intensivliklari nisbatiga proporsionaldir;
  - eshitish organining sezgisi tovush intensivligini kvadratiga proporsionaldir;
  - eshitish organining sezgisi ta’sir etayotgan tovush to‘lqinlari intensivliklari nisbatining logarifmiga to‘g‘ri proporsional;
  - tovush intensivligi eshitish organining sezgisiga proporsionaldir.
8. Odam va hayvon ichki organlarining tovushini kuchaytirib beruvchi asbob nima?
- tanometr;
  - termometr;
  - barometr;
  - fonendoskop.
9. Ichki organlar kasalligini aniqlashda keng qo‘llaniladigan klassik usullar?
- eshitish;
  - urish;
  - auskultasiya va perkussiya;
  - eshitish va o‘lchash.
10. Ul’tratovush deb nimaga aytiladi?
- odam qulog‘i eshitadigan elektromagnit to‘lqinlar;
  - chastotasi 20 kGs dan katta elastik to‘lqinlar;
  - chastotasi 20 kGs dan katta elektromagnit to‘lqinlar;
  - chastotasi 20 kGs dan kichik bo‘lgan elastik to‘lqinlar.

11. Ultratovushning veterinariyada asosiy qo'llanilish sohalari?
- ichki va tashqi organlar kasalliklarini davolash;
  - ichki kasalliklarni kuzatish, davolash, xirurgik ishlar, suyaklarni payvandlash;
  - ichki kasalliklarni davolash;
  - teri orqali organizmga dori moddalar kiritish.
12. Shovqin organizmga qanday ta'sir qiladi?
- ijobiy;
  - salbiy;
  - ta'sir qilmaydi;
  - foydali.
13. Tovush qattiqligi o'lchov birligi nima?
- lyuks;
  - veber;
  - tesla;
  - desibell;
14. Infratovush nima?
- chastotasi 20 Gs dan yuqori elastik to'lqinlar;
  - chastotasi 20 Gs dan past elastik to'lqinlar;
  - chastotasi 20 Gs dan yuqori elektromagnit to'lqinlar;
  - chastotasi 20 Gs. dan past elektromagnit to'lqinlar;
15. Quloq pardasida nechta tola bor?
- 100 ta;
  - 1000 ta;
  - 2000 ta;
  - 20000 ta.
16. Tovush spektri nima?
- tovushda ishtirok qiluvchi chastotalar to'plami;
  - tovushning intensivligining o'zgarishi;
  - tovush bosimining qiymati;
  - tovush yuksakligi.
17. Ultratovush yordamida bir soatda qancha qo'yning homiladorligini aniqlash mumkin?

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

### **Sinov savollari**

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

### III bob. GIDRODINAMIKANING FIZIK ASOSLARI

#### §3.1. Ideal suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasi

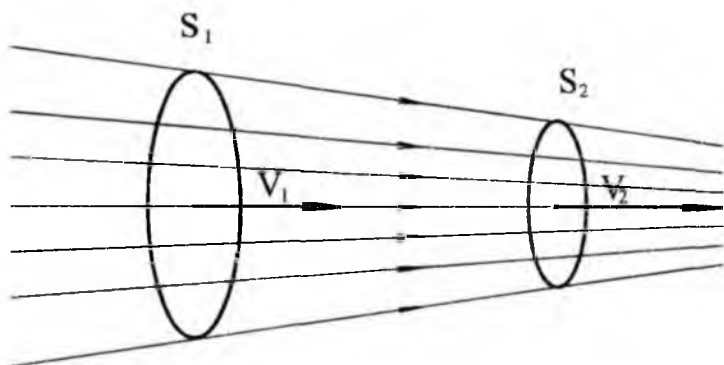
Suyuqliklar qattiq jismlardan farq qilib, suyuqlikni tashkil qilgan zarrachalar bir-biriga nisbatan siljishi mumkin. Agar suyuqlikning tezligi qaralayotgan hajmning har bir nuqtasida vaqt o'tishi bilan o'zgarmasa, bu suyuqlik harakati barqaror harakat deyiladi.

Yopishqoqligi mutlaqo bo'lmagan suyuqlikka ideal suyuqlik deyiladi.

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

Oqim chiziqlari deb, bu chiziqlarning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma zarrachalar tezligi vektori bilan ustma-ust tushadigan xayoliy chiziqlarga aytiladi. Barqaror harakatda suyuqlik zarrachalarining harakat trayektoriyasi oqim chiziqlari bilan mos keladi. Agar suyuqlik zarrachalari harakati (oqim chiziqlari) bir-biriga parallel bo'lsa, bunday oqimga (laminar) qatlamli oqim deyiladi. Agar zarrachalar harakati bir-biriga aralashib yuz bersa (turbulent) uyurmali oqim deyiladi. Real suyuqlikni siqish mumkin: bosim ortishi bilan uning hajmi kamayib, zichligi ortadi. Masalan: bosim birdan 100 atmosferaga ortganda uning zichligi atiga 0,5 foiz o'zgaradi. Demak, suyuqlikni siqish juda qiyin. Harakatdagi suyuqlik bosimi odatda o'zgarmas bo'ladi. Real suyuqlik yopishqoq. Harakatlanuvchi suyuqlikda hamma vaqt ichki ishqalanish kuchlari bo'ladi. Ideal suyuqlik oqimi uchun uzluksizlik tenglamasini chiqaramiz. Oqim nayida ikkita ko'ndalang kesim olaylik,  $S_1$  va  $S_2$ . Bulara suyuqlik tezliklari  $\mathcal{V}_1$  va  $\mathcal{V}_2$ .  $\Delta t$  - vaqt oralig'ida bu kesimlardan bir xil  $\Delta m$  - massali suyuqlik o'tadi (rasm-3.1). Keng kesimdan o'tgan suyuqlik hajmi asosi





**3.1-rasm. Suyuqlik oqimi.  $S_1$  va  $S_2$ - oqim nayi kundalang kesim yuzi  $\mathcal{S}_1, \mathcal{S}_2$  oqim tezligi**

$S_1$  va balandligi  $\mathcal{S}_1 \Delta t$  - bo'lgan silindr shaklida bo'ladi ya'ni u  $S_1 \mathcal{S}_1 \Delta t$  ga teng. Ikkinchi kesimdan  $S_2 \mathcal{S}_2 \Delta t$  hajmli suyuqlik o'tadi. U holda

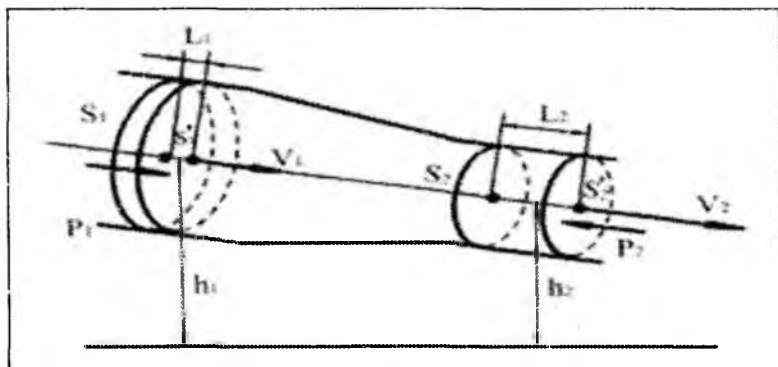
$$S_1 \mathcal{S}_1 \Delta t = S_2 \mathcal{S}_2 \Delta t \text{ yoki } S_1 \mathcal{S}_1 = S_2 \mathcal{S}_2 \quad (3.1)$$

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

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

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

Endi faraz qilaylik, kesimlari  $S_1$  va  $S_2$  bo'lgan quvurdan suyuqlik oqayotgan bo'lsin (3.2-rasm).  $S_1$  kesimda tezlik  $\mathcal{S}_1$ , bosim  $P_1$ , balandlik  $h_1$  bo'lsin.  $S_2$  kesimda esa bosim  $P_2$ , tezlik  $\mathcal{S}_2$ , balandlik  $h_2$  bo'lsin. Kichik  $\Delta t$  vaqt ichida suyuqlik  $S_1$  va  $S_2$  kesimdan  $S_1^1$  va  $S_2^1$  kesimga o'tadi. Energiyaning saqlanish qonuniga binoan to'la energiyaning o'zgarishi  $E_2 - E_1$ , m massali suyuqlikni ko'chirishda bajarilgan ish A ga teng bo'ladi.



3.2-rasm. Stasionar ideal suyuqlik oqimi nayi

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

Bu ish  $S_1$  va  $S_2$  orasidagi suyuqlikni  $\Delta t$  vaqt ichida ko'chirishda bajarilgan ishga teng.  $m$  massali suyuqlikni  $S_1$  dan  $S_2$  gacha ko'chirishda  $\ell_1 = \mathcal{G}_1 \Delta t$  masofa o'tsa,  $S_2$  dan  $S_2$  gacha esa  $\ell_2 = \mathcal{G}_2 \Delta t$  masofa o'tadi.  $\ell_1$  va  $\ell_2$  har juda kichik bo'lgani uchun

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

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

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

(3.4) va (3.5) ga asosan

$$\frac{mv_1^2}{2} + mgh_1 + P_1 S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t = \frac{mv_2^2}{2} + mgh_2 + P_2 S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t$$

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

$$\Delta V = S_1 \mathcal{G}_1 \Delta t = S_2 \mathcal{G}_2 \Delta t$$

Demak, oxirgi ifodani  $\Delta V$  ga bo'lsak

$$\frac{\rho g_1^2}{2} + \rho g h_1 + P_1 = \frac{\rho g_2^2}{2} + \rho g h_2 + P_2 \quad (3.6)$$

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

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

Kesim ixtiyoriy tanlangani uchun

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

Bernulli qonuni harakatdagi suyuqlik va gazlar dinamikasining asosiy qonuni hisoblanadi.

### § 3.2. Suyuqliklar yopishqoqlik koeffitsiyentini o'lchash usullari

Yopishqoqlik deb real suyuqliklar bir qatlamining boshqa qatlam harakatiga to'sqinlik qilish qobiliyatiga aytiladi. Bir qatlamning ikkinchi qatlamga nisbatan harakatida sirtga urinma yo'nalgan ichki kuchlar yuzaga keladi. Bu kuchlar qatlamlar tegib turgan yuzaga va tezlik gradiyentiga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni

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

yoki

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

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

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

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

Bunda  $r$  – nay radiusi.

(3.10) ifoda yordamida yopishqoqlikni aniqlash uchun oqim laminar bo'lishi kerak. Turbulent oqim uchun Puazeyl formulasi o'rinli emas. Odatdagi hollarda oqim laminar bo'lishi uchun nay diametri kichik bo'lishi zarur. Yopishqoq suyuqlikni to'la harakterlaydigan kattalik kinematik yopishqoqlikdir

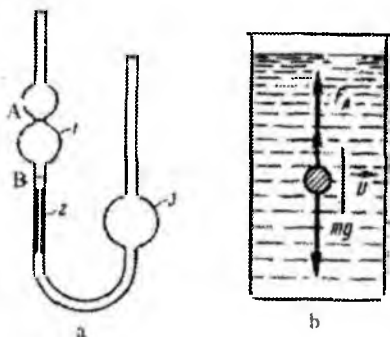
$$\nu = \frac{\eta}{\rho} \quad (3.11)$$

Bunda  $\rho$  – suyuqlik zichligi.

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

$$\nu = \nu_0 \frac{\tau}{\tau_0} \quad (3.12)$$

(3.12) – ifoda orqali hisoblanadi. Bunda  $\nu$  va  $\nu_0$  mos ravishda noma'lum va etalon suyuqliklar kinematik yopishqoqligi,  $\tau$  va  $\tau_0$  har esa bu suyuqliklar uchun oqib o'tish vaqti.



**3.3-rasm. Yopishqoqlik koeffitsiyentini aniqlashning viskozimetriya (a) va Stoks (b) usullari. 1,3-o'Ichov hajmlari, 2-kapillyar,  $F_A$ -Arximed kuchi,  $mg$ -ogirlik kuchi,  $v$ -tezlik**

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

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

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

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

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

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

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



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

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

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

### § 3.3. Yurak va qon tomirlari yopiq biofizik tizim

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

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

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

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

Quyidagi jadvalda qonning ayrim gidrodinamik parametrlari keltirilgan.

Odami uchun qon aylanishning ayrim gidrodinamik parametrlari

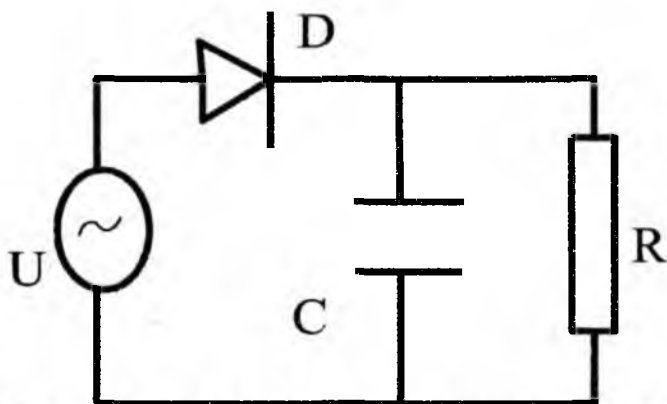
3.1-jadval

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

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



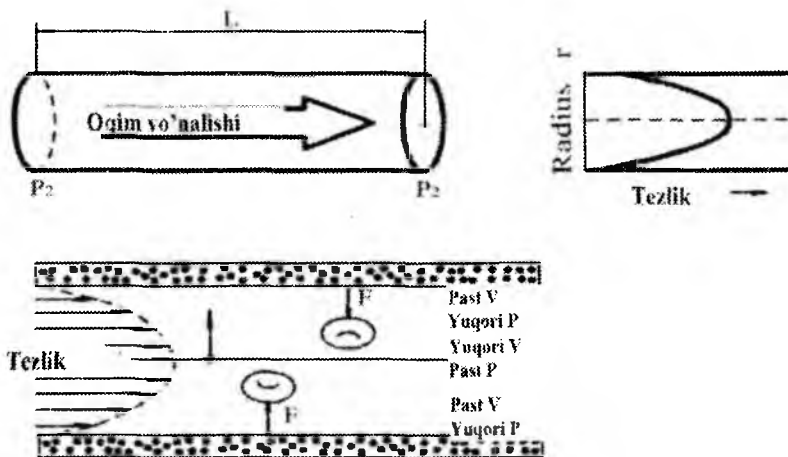
yuboriladi. Yurak muskullarining siqilishi tufayli arterial va vena tizimida bosimlar farqi yuzaga keladi va shu sababli qon harakatga keladi. Yurak siqilishi chastotasi hayvon massasi qancha kichik bo'lsa, shuncha katta bo'ladi. Chunki, massa qancha kichik bo'lsa, uning sirti ham shuncha katta bo'ladi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



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

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

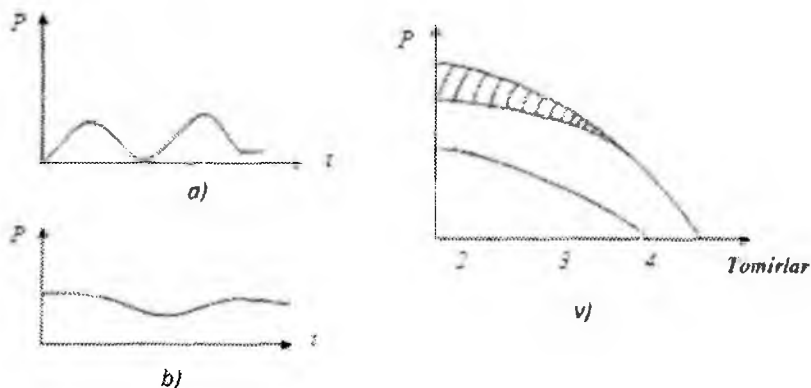
Agar bu tomirlar devorlari qattiq bo'lganda edi, qonning yurakdan chiqish paytida vujudga kelgan bosim tovush tezligida qismlarga uzatilgan bo'lar edi. Qon tomirlari elastik bo'lgani uchun sistola paytida yurak itarib chiqarayotgan qon aorta, arteriya va arteriolalarni cho'zadi.



3.6-rasm. Quvurlarda suyuqliklarning oqim tezligi chizmasi

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

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



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

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

### §3.4. Yurakning ishi va quvvati

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

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

Bu hajmdagi qonga kinetik energiya berish uchun

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

ish bajariladi. To'la ish

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

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

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

(3.17)

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

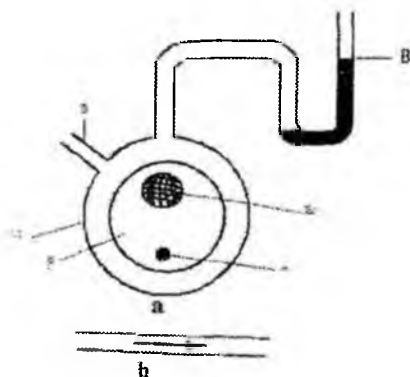
Qoramollar uchun  $A = 2,93 \text{ J}$ , quvvat 11,7 Vt. 70 yil yashagan odam yuragi 2,5 milliard marta qisqaradi. Bajargan ishi  $10^9 \text{ J}$ . har qanday davriy nasos 10 mln. taktdan ko'p ishlay olmaydi. Yurak esa bundan yuzlab marta ko'p ishlay oladi. Yurakning siqib chiqargan qoni miqdori 1 km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

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

Bunda M-manjet, P – qo'lning bir qismi, Ye<sub>s</sub> – yelka suyagi, A – arteriya, V – rezina nay orqali manjetga havo yuborilganda manjet

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

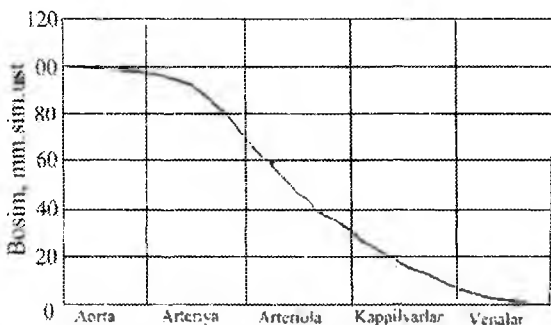
Bosimning qonsiz o'lchashning asosiy fizik g'oyasi shundan iborat. Havo asta sekin chiqarilib bosim kamaytirib boriladi va bosim sistolik bosimga teng bo'lsa, qon qattiq siqilgan arteriya orqali otilib chiqish imkoniyatiga ega bo'ladi, bunda turbulent oqim yuzaga keladi. Hakam bosimni o'lchashda fonendaskopni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



**3.8-rasm. Qon bosimini o'lchash.**

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

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



3.9-rasm. Qon bosimining tomirlar bo'yicha taqsimoti

### § 3.5. Qonning fizik xossalari

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

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

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

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

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

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

kapilyardagiga qaraganda tezligi katta va yopishqoqlik koeffitsiyenti kichikdir.

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

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

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

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

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

Bunda  $\rho$  – eritrositlar zichligi,  $\rho_c$  – suyuqlik zichligi,  $g$  – eritrositlar tushish tezligi,  $g$  – erkin tushish tezlanishi,  $R$  – eritrosit radiusi.



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

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

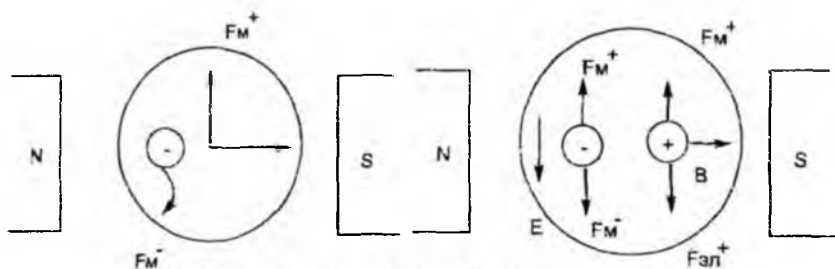
Ul'tratovush gemoliz usuli bilan o'tkazilgan tajribalar sog' va kasal hayvonlar eritrosit membranalari chidamliligi turlicha ekani aniqlanadi. Masalan: jigar serrozida eritrositlar toksik moddalar tomonidan qisman buziladi, bu esa jigar faoliyatini yomonlashtiradi. Shu bilan butun eritrositlar massasining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

### **§ 3.6. Qon tezligini aniqlash**

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

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

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



3.10-rasm. Arteriyadagi ionlarning magnit maydonida harakati

Bunda  $B$  – magnit maydon induksiya vektori,  $E$ -elektr maydon kuchlanganligi

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

Hosil bo‘lgan elektr maydoni arteriyada  $\Delta U$  potensiallar farqini yuzaga keltiradi.

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

Bunda,  $d$  – arteriya diametri.

Bu elektr maydoni  $F_{el}^+$  va  $F_{el}^-$  elektr maydon kuchlarini yuzaga keltiradi.

Arteriya qarama-qarshi devorlarida ionlar konsentrasiyasi

$F_{el}^+ = F_{el}^-$  shart bajarilguncha oshib boradi. U holda

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

Bundan

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

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

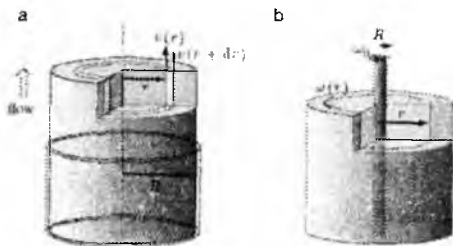
$$U = \mathcal{G} B d = 0,3 \text{ m/s} \cdot 0,0001 \text{ Tl} / \text{m} = 300 \text{ mkV}$$

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

### §3.7. Qon tomiri tarmoqlari

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

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



3.11-rasm.

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

Bu qatlam yuzi  $2\pi r$ , ta'sir etuvchi kuch

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

Df 2 – ishqalanish kuchi ta'sirida suyuqlik tezligi  $r$  katta bo'lgan joydan quvur sirti tomon kamayib boradi va natijada  $df_3$  kuch paydo bo'ladi. Uzunligi  $4$  bo'lgan quvur  $f_2$  kuch manfiy  $f_3$  kuch esa musbat bo'ladi. U holda muvozanat holatida

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

$$df_1 + df_2 + df_3 = 0$$

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

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

Shunday qilib  $df_2$  dan  $df_3$  gacha

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

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

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

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

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

Demak quvurda suyuqlik qanday harakatlanishini ko'rishimiz mumkin.

Oqimning umumiy miqdori quyidagi formuladan topiladi

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

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

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

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

### § 3.8. Yopishqoq suyuqliklar

Biz oldin uzluksizlik va Bernulli tenglamalarni koʻrib chiqdik. Biz hozirgacha ideal suyuqliklar bilan ish koʻrdik. Real suyuqliklarda yopishqoqlik mavjud boʻlib, uzluksizlik tenglamasi umumiydir. Qanning murakkab xarakteri uning xususiyatlarini oʻrganib, odamda qon aylanishini oʻrganish mumkin.

Oxirida kapillyar hodisalar va sirt taranglik hodisalarini koʻrib chiqamiz. Oddiy suyuqliklar yopishqoqligi. Real suyuqlik molekulalari harakatlanganda ishqalanish kuchlari yuzaga keladi, yaʼni qarshilik kuchlari hosil boʻladi. Bu ish bajarishda mexanik energiyaning kamayishiga olib keladi. Qarshilik esa suyuqlik harakatiga qarshilikdir. Suvga nisbatan kraska va siroplar yuqori yopishqoqlikka egadir. Yopishqoqlikni miqdor tomondan baholash uchun suyuqlikda harakatlanayotgan plastinkaga taʼsir etayotgan tashqi kuchlarni aniqlash zarur. Qarshilik kuchi boʻlmaganda yuqorigi qatlam tezlashadi va suyuqlik yopishqoqligi katta boʻlsa sirtida qoʻshimcha qatlam hosil boʻladi.



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

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

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

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

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



**3.13-rasm. Truba bo'ylab o'sha tezlikda oquvchi suyuqlikning kopelyar lominar oqimi konsentrik halqalar yordamida ko'rsatilgan**

3.12-rasmda laminar oqim ko'rsatilgan.

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

Suyuqlik yopishqoqligi  $50 Pa \cdot s$ .

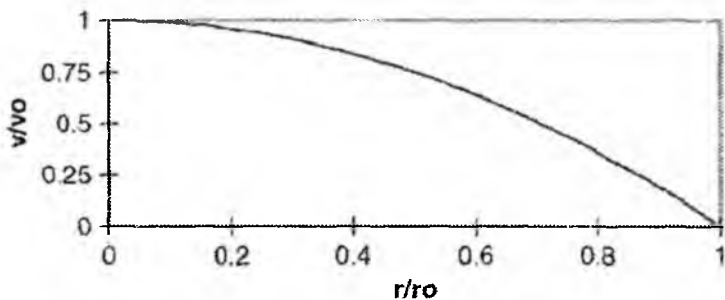
Echish. oldin kuchlanishni  $\frac{F}{A}$  ni topamiz.

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

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

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

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



3.14-rasm. Radiusi  $r_0$  bo‘lgan kapilyar trubada tezlik profile

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

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

Bunda  $P$  – bosimlar farqi,  $\ell$  – truba uzunligi,  $r$  – truba radiusi.

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

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

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



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

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

$1\text{sm}^3$  –qon oqib o‘tishi uchun 13 s.vaqt kerak bo‘ladi. U holda 1 l qon o‘tishi uchun 3,6 soat vaqt talab qilinar ekan.

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

3.15-rasmda kapillyardan oqib o‘tadigan suyuqlik yopishqoqlik koeffitsientini aniqlash qurilmasi ko‘rsatilgan.

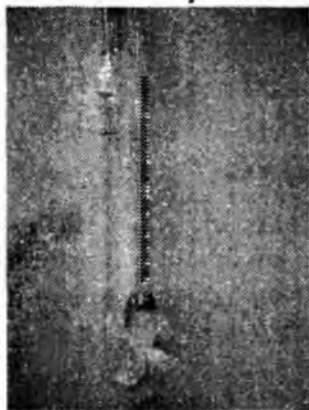
Puazeyl usuli eritmalar va syuqliklar yopishqoqlik koeffitsientini aniqlashda ishlatiladi.

Bu qurilmada etalon yopishqoqligi noma‘lum suyuqliklarning oqib o‘tish vaqti aniqlanadi.

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

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

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



3.15-rasm

3.15-rasmda viskozimetr keltirilgan. Suyuqlikning yopishqoqligini aniqlashda ishlatiladigan kopelyar viskozimetr.

Stoks qonuniga binoan suyuqlikda harakatlanayotganda ta'sir etuvchi kuch

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

Suspensalar yopishqoqligini aniqlash ancha qiyin masala hisoblanadi.

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

J. Newman, Physics of the Life Sciences, DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2 9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008, pp. 243-246

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

### Xulosalar

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

### Test savollari

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

- b) qon bosimi oshganda;
- c) tana harorati oshganda;
- d) qon bosimi kamayganda.

3. Necha xil qon bosimi bor?

- a) ikki xil;
- b) uch xil;
- c) to'rt xil;
- d) bir xil.

4. Qaysi qon tomiridagi yopishqoqlik koeffitsiyenti katta bo'ladi?

- a) venada;
- b) aortada;
- c) kapillyarda;
- d) arteriyada.

5. Ideal suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasini ko'rsating?

- a)  $\eta = qD$
- b)  $S\vartheta = const$
- c)  $E = mgh$
- d)  $\frac{\rho\vartheta^2}{2} + \rho gh + P = const$

6. Quyidagi birliklarning qaysi biri yopishqoqlik koeffitsiyentiga ta'luqli?

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

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

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

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

- a) suyuqliklar uchun energiyaning saqlanish qonuni;
  - b) oqimning uzluksizligini ifodalaydi;
  - c) ta'sir etuvchi kuchlarni ifodalaydi;
  - d) suyuqliklarning trubada oqishini xarakterlaydi.
16. Sistola nima va unda qon bosimi qancha?
- a) yurakning siqilishi, bosim 16kPa;
  - b) yurakning bo'shishi, bosim 11 kPa;
  - c) yurakning siqilishi, bosim 11 kPa;
  - d) yurakning bo'shishi, bosim 9k kPa.

### **Sinov savollari**

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

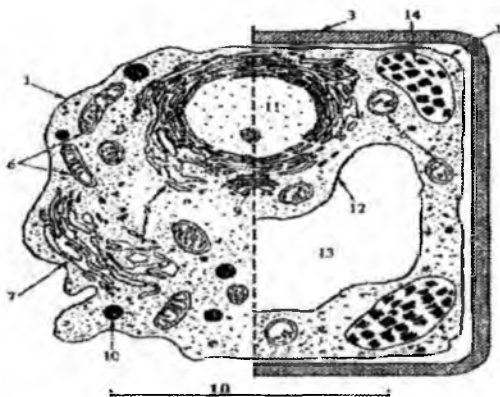
## IV bob. MEMBRANALAR BIOFIZIKASI

### § 4.1 Biologik membranalar tuzilishi

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

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

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



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

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

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

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

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

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

Membrana lipidlarning katta qismi fosfolipidlardan iborat. Ular ichki gidrofob va gidrofil sirtlardan iborat qo'shaloq qatlamli strukturalar hosil qila oladi. Shuning uchun membranalar orqali yog'da eriydigan moddalar o'ta oladi, suvda eriydigan moddalar va gidrofil ionlar membrananing gidrofob sohasidan o'ta olmaydi. Ular

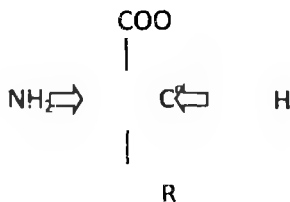
hujayra ichida oqsil tabiatiga ega bo'lgan maxsus o'tkazuvchanlik kanallari orqali kirishadi.

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

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

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

Aminokislota molekulasidagi uglerod atomi 4 ta turli qoldiq bilan bog'langan: karboksil guruhi-COOH bilan, NH<sub>2</sub>-aminoguruhi bilan H-proton va R-radikal bilan.





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

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

Quyidagi jadvalda sut emizuvchilarning turli hujayra membranalari tarkibi keltirilgan.

4.1-jadval.

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

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

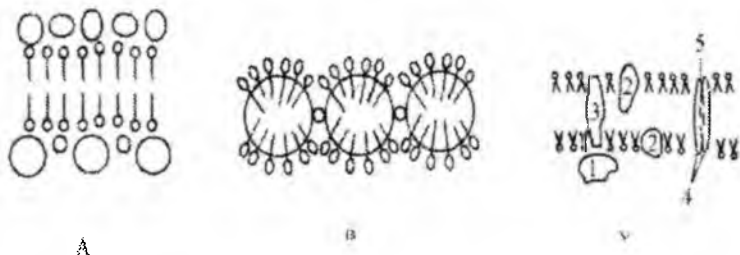
Erkin suv membranalar tarkibiga mustaqil faza holida kiradi va suyuq suv kabi izohrop harakat qila oladi. Ushlab olingan suv

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

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

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

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



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

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

Membranalar kimyoviy tuzilishi masalasi biokimyo kursida ko'rib chiqiladi.

#### **§ 4.2. Hujayra membranasi mexanikasi.**

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

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

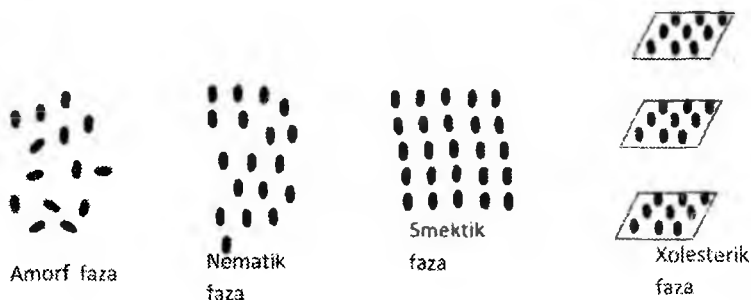
Agregat holati suyuqlik bo'lib molekular joylashishda tartib bo'lgan fizik holatga suyuq kristall holati deyiladi.

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

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

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

bog‘liq. Lipidlar molekulari o‘zlarining uzun o‘qlari atrofida aylanma harakat qila olishadi. Turli tabiiy membranadagi fosfolipid, sterik va yog‘li kislotalar molekularining aylanish davri  $\sim 6 \cdot 10^{-9}$  c ga teng.



**4.3-rasm. Molekularning amorf suyuq kristall holatda joylashishi**

Lipidlar molekulari qatlam bo‘ylab diffuzion ko‘chishi (lateral diffuziya) va bir qatlamdan ikkinchi qatlamga o‘tishi (“Flip -flop” deb ataladigan ko‘chish) mumkin. Ushbu ko‘chishi tezliklari EPR – hamda fluoressent zondlar usullari yordamida o‘lchangan. Lipidlarning lateral diffuziya tufayli membrana bo‘ylab t vaqtda o‘rtacha ko‘chishi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

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

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

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

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

nishonlangan lipidlar sonining yarmi bir qatlamdan, ikkinchi qatlama o'tish vaqti 20 – 30 minutga teng bo'lgan.

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

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

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

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

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

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

4.2-jadval

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

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

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

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

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

### § 4.3. Membranalarda fazaviy o'tishlar

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

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

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

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

Gosh-konformasiyalar (trans-konformasiyaga nisbatan  $120^0$  ga burilgan) energiya jihatidan trans-konformasiyadan kam farq qiladi (2–3 kJ/mol), biroq bu holatlar balandligi 12–17 kJ/mol bo'lgan energetik to'siq bilan ajratilgan. Trans-konformasiyada uglevodorod zanjirlari chiziqli tuzulishga ega bo'lsa, gosh-konfigurasiyalar paydo bo'lishi uglevodorod zanjirida «kinki» (sirtmoq) hosil qiladi. Kinkilar soni oshishda membranalar uglevodorod zonasida tartibsizlikni oshiradi. Bunda lipidlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari kamayadi, lipidlar harakatchanligi oshadi.

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

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

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

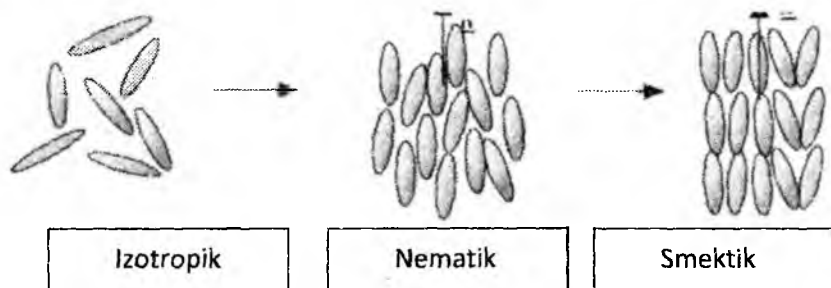
Membranalardagi lipidlarning faza o'tishlarini nazariy yo'l bilan tushuntirish uchun bir necha modellar taklif etilgan (J.Naygl, S.Marcheli). Umumiy holda faza o'tishlarini Landauning nazariyasi yordamida tavsiflash mumkin. Bu usulda xolestirin va oqsillarning faza o'tishlariga ta'siri ko'rib chiqilgan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

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

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

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

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



**4.4-rasm. Izotropik-nematik va nematik-smektik faza o'tishlarining sxematik diagrammasi**

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

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

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

Faza o'tish parametrlarini topish uchun erkin energiyani  $S$  bo'yicha differensiyalaymiz va nolga teng deb olamiz:

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

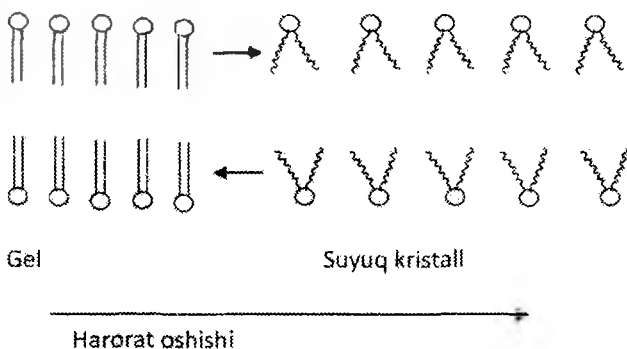
Bundan erkin energiyaning lokal maksimumi yoki minimumi sharti kelib chiqadi:

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



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

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



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

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

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

Lipidli membranalar kimyoviy tarkibiga qarab gel-suyuq kristall faza o'tishi harorati  $-20^0$  dan (to'yinmagan lipidli membranalar)  $-60^0$  gacha (to'yingan lipidlardir) o'zgarishi mumkin.

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

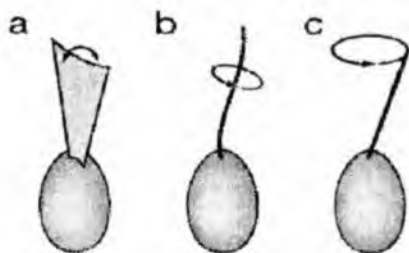
Membranalar ionli o'tkazuvchanligining oshishi hujayralarni sovuq ta'sirida buzilishlardan qutqazadi. Bunga hujayradan suv va tuzlar chiqishi oshganligi uchun hujayra ichidagi suvning muzlashiga to'sqinlik qiladi.

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

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

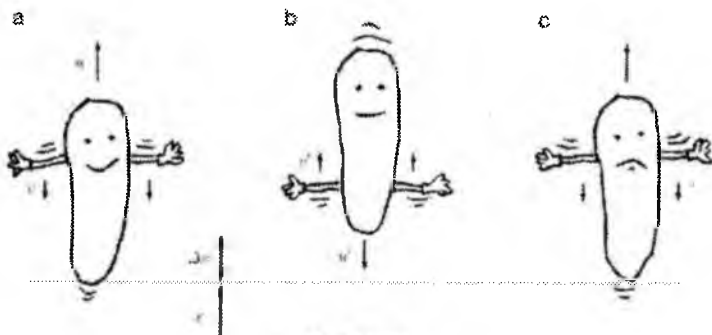
#### **§ 4.4. Suzish va so'rilish**

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



4.6-rasm: (sxematik). Uchta suzuvchi holat

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



4.7-rasm

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

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

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

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

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

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

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

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

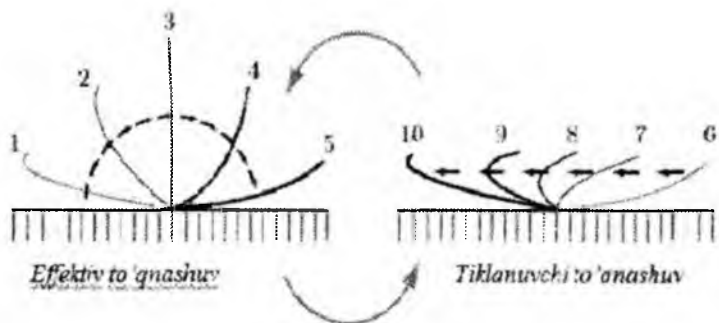
c) biz boshlang'ich holatga qaytishimiz uchun :

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

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

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

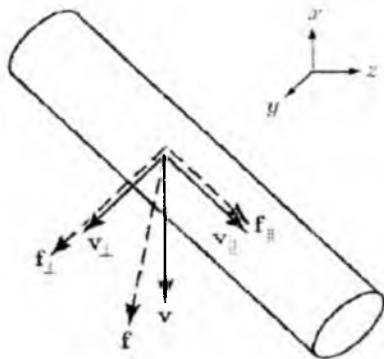
matematik isboti bu kitob doirasiga kirmaydi. Yopishqoq fraktsion koeffitsient  $E_{11}$  sterjenning o'z o'qiga parallel harakatlanganidek uning perpendikulyar harakati  $E_1$  koeffitsientidan kichik bo'ladi. Natijada sterjen uzunligiga bog'liq boladi, bu kitobda uning 2/3 qismi qo'llaniladi.



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

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

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

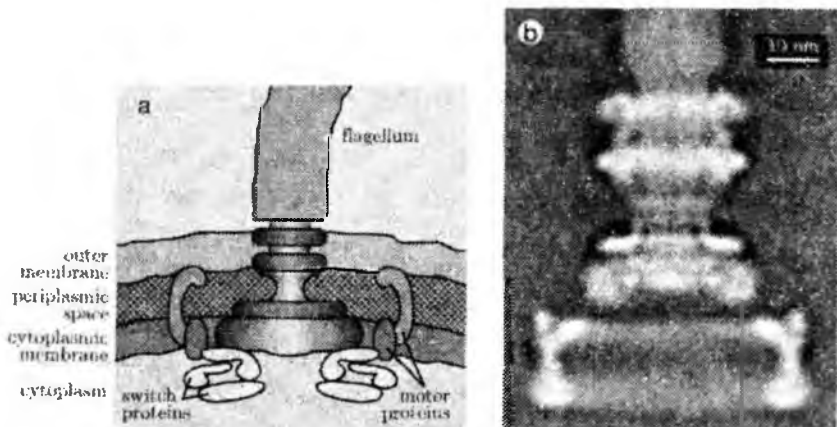


**4.9-rasm: (sxematik).  $v$  tezlikka ega kichik Reynold sonli yupqa metall sterjen**

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

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

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

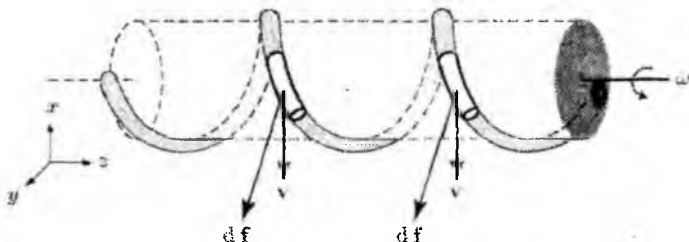


4.10-rasm.

Aralashish yoki aralshmaslik.

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

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



4.11-rasm. Bakteriyalardagi flagell jarayon

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

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



## Test savollari

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

- c) Smektik
  - d) Nematik, smektik, xolesterik
8. Hujayralarni sovuqqa chidamliligini oshirish mexanizmi qaysi javobda ko'rsatilgan?
- a) Hujayra ionli o'tkazuvchanligining oshishi
  - b) Hujayralarning bir-biriga yopishishi
  - c) Hujayralarning kengayishi
  - d) Hujayra membranasining torayishi
9. Lipid qushaloq qatlamida gel-suyuq kristall faza o'tishida hosil bo'ladigan kanallar radiusi qanday?
- a) 1–3 nm; b) 1–3 mkm; s) 5–10 nm; d) 5–10 mkm

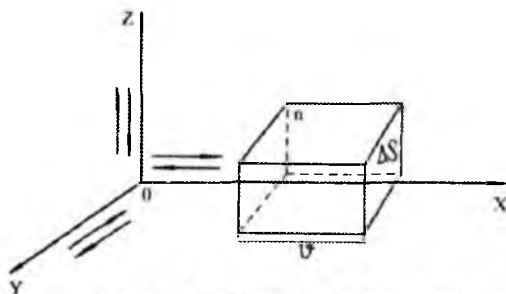
### **Sinov savollari**

1. Suyuq-mozaika modelining asosiy mohiyati nimadan iborat?
2. Biologik membranalar tuzilishi qanday?
3. Hujayra membranasini mexanikasining asosiy parametrlari?
4. Biologik membranalar lipid fazasi holati haqida nima bilasiz?
5. Membranalarda faza o'tishlari qanday ro'y beradi?
6. Lipidlarning eritrosit membranasida lateral diffuziya tufayli ko'chishi nimalarga bog'liq?
7. Membrana lipidlarning qanday turlari mavjud?
8. Stoks – Eynshteyn tenglamasi nimani ifodalaydi?
9. Yopishqoqlikni aniqlashning qanday usullari mavjud?
10. Yopishqoqlik koeffisienti temperaturadan qanday bog'liq?

## V bob. BIOLOGIK TIZIMLARDA KO'CHISH HODISALARI

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

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



5.1-rasm. Ko'chish hodisasini ifodalovchi chizma.

$\Delta S$ -ko'ndalang kesim yuzi,  $n$ -molekulalar konsentrasiyasi.

Bir o'q yo'nalishi bo'ylab umumiy molekulalarning  $1/3$  ta qismi, shundan o'ngga umumiy molekulaning  $1/6$  qismi, chapga  $1/6$  qismi harakatlanishini hisobga olib,  $\Delta S$  yuzadan  $\Delta t$  vaqt birligi ichida o'tgan molekular sonini aniqlab olamiz. Vaqt birligi ichida bir tomonga asosi  $\Delta S$  molekulalarning o'rtacha harakat tezligi  $\bar{v}$  ga

teng bo'lgan to'g'ri burchakli parallelepiped hajmidagi barcha molekulalarning  $\frac{1}{6}$  qismi, ya'ni  $\frac{1}{6}n_0\Delta S \cdot \mathcal{G}$  ta molekula o'tadi. Bu yerda  $n_0$  - hajm birligidagi molekulalar soni. U holda bir yo'nalishda  $\Delta S$  yuza orqali  $\Delta t$  vaqtda o'tgan molekulalar soni

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

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

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

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

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

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

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

yoki

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

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

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

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

ko'chish tenglamasini hosil qilamiz.  $\xi$  - fizik kattalik ko'chish gradiyentiga teskari yo'nalishda bo'lgani uchun «minus» ishora qo'yiladi.

### § 5.2. Ko'chish turlari

Ko'chish tenglamasini alohida fizik hodisalarga qo'llaymiz.

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

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

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

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

Diffuziyada  $S$  yuza orqali  $\Delta t$  vaqt ichida ko'chiriluvchi massa Fik tenglamasi orqali aniqlanadi.

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

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

$D$ -diffuziya koeffitsiyenti deyiladi.  $S = 1 \text{ m}^2$ ,  $\Delta t = 1 \text{ s}$ .

$\frac{d\rho}{dx} = -1 \text{ kg/m}^4$  desak,  $M = D$  bo'ladi, ya'ni diffuziya koeffitsiyenti son jihatidan zichlik gradiyenti  $1 \text{ kg/m}^4$  bo'lganda  $1 \text{ m}^2$  yuzadan  $1 \text{ s}$  da ko'chib o'tgan massaga teng ekan.  $D$  ( $\text{m}^2/\text{s}$ ) da o'lchanadi

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

**Issiqlik o'tkazuvchanlik.** Ko'chishning asosiy tenglamasi (5.4) dan foydalanib  $n\xi$  - o'rniga uzatilgan issiqlik miqdori  $Q$ .  $n_0\xi$  - o'rniga hajm birligidagi molekulalarning kinetik energiyasi

$E_K = \frac{i}{2}kTn$  ni qo'yamiz.  $n\xi$  - molekulalarning konsentratsiyasi. U holda

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

Bunda  $k = \frac{R}{N_A}$  - Bolsman doimiysi:  $n = \frac{\rho}{m_0}$ ,  $\mu = m_0N_A$

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

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

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

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

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

(5.11) - formula issiqlik o'tkazuvchanlik formulasi yoki Furye qonuni deyiladi. Demak, uzatilgan issiqlik miqdori issiqlikning o'tgan vaqtiga, yuzaga, harorat gradiyentiga va issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga proporsional ekan. Furye tenglamasi nafaqat gazlar, balki suyuqlik va qattiq jismlar uchun ham o'rindir.

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

ya'ni, issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti son jihatidan harorat gradiyenti 1 grad/m bo'lganda 1 m<sup>2</sup> yuzadan 1 s da ko'chib o'tgan issiqlik midoriga tengdir.  $\chi$  j/m.s.grad. larda o'lchanadi.

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

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

Ichki ishqalanish kuchi Nyuton formulasiga binoan aniqlanadi. ya'ni

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

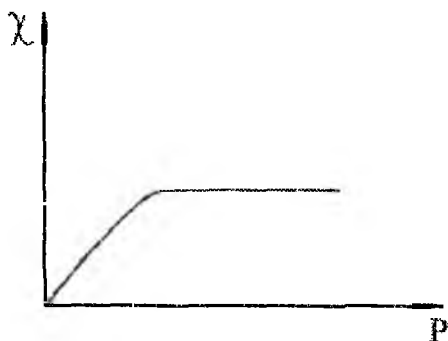
(5.12) va (5.13) solishtirsak

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

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

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

Bosim kamayishi bilan o'rtacha erkin chopish  $\lambda$  masofa idish o'lchamiga tenglashguncha davom etadi.



**5.2-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining ( $\lambda$ ) bosimga ( $p$ ) bog'liqlik grafigi**

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

### **§ 5.3. Biologik membranalarda ko'chish**

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

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

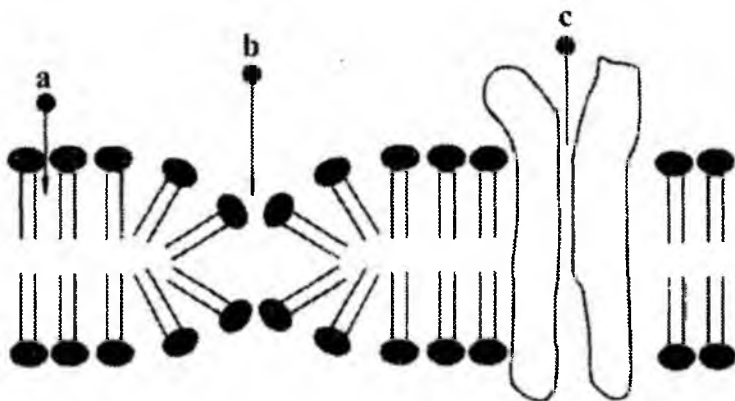


Passiv ko'chish deb moddaning konsentrasiyasi yoki elektrokimyoviy potentsiali katta bo'lgan joydan kichik bo'lgan joylarga ko'chishga aytiladi. Passiv ko'chishning quyidagi turlari bor:

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

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

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



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

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

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

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

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

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

O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti orqali Fik qonuni quyidagicha ifodalanadi:

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

O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti diffuziya koeffitsiyentiga ( $D$ ), modda membranada naqadar yaxshi erishi ( $K$ ) ga to'g'ri proporsional, membrana qalinligi ( $\ell$ ) ga teskari proporsionaldir. O'tkazuvchanlik koeffitsiyentining o'lchami m/s dir.

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

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

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

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

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

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

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

### Kalmar aksonidagi kaliy nayidan bir valentli ionlar o'tkazuvchanligining nisbati

5.1-jadval

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

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

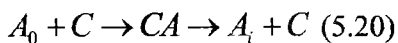
katta bo'лади. Shuning uchun ularning kaliy nayidan o'tishi qiyinlashadi.

Fik qonunidagi diffuziya koeffitsiyenti  $D$  ning haroratga proporsional ekanligini A.Eynshteyn ko'rsatgan edi:

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

Bunda  $k$  – Bolsman doimiysi,  $T$  – absolyut harorat,  $\eta$  – eritma qovushqoqligi,  $r$  – sferasimon zarrachalar radiusi. (5.19) tenglanaga asosan diametri 2 nm atrofida bo'lgan zarrachalarning 25°C dagi diffuziya koeffitsiyentini topish mumkin. Uning kattaligi  $2.45 \cdot 10^{-5} / r$  ( $r$  – nm larda) ga teng. Biologik membranalar uchun birinchidan, harorat oshishi bilan reaksiyalar tezligi oshishini va ikkinchidan, biologik membranalarda moddalar erkin diffuziyadan tashqari yengillashgan diffuziya orqali o'tishi mumkinligini ham hisobga olish kerak. Hujayrada erkin diffuziyani tezlatish uchun ko'chish ro'y berayotgan sirtini oshirishadi: masalan, ingichka ichak epiteliysi sitoplazmatik membrana sirtida ko'p sondagi burmalardan iborat. Organizmda diffuziyalanayotgan moddalar konsentrasiyasi gradiyentini oshirish ko'chgan moddalarni qonda limfa oqimi bilan olib ketish tufayli ro'y beradi.

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



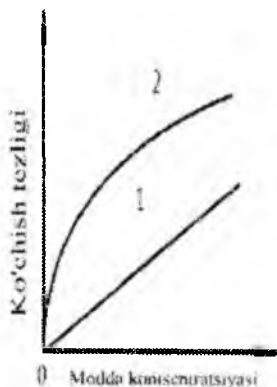
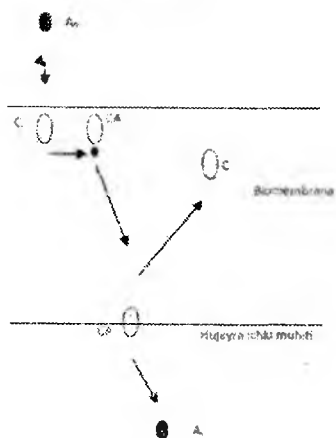
Bunda,  $A_0$  – moddaning hujayra tashqarisidagi konsentrasiyasi,  $A_i$  – hujayra ichidagi konsentrasiyasi.

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

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

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

Tashqi muhit



5.4-rasm. Tashuvchi

vositasidagi boshlang'ich  
yengillashgan diffuziya

$A_2$ -hujayra tashqarisida modda,

$A_1$ -hujayra ichkarisida modda

$C$ -tashuvchi,  $CA$ -tashuvchi va  
modda birikmasi

5.5-rasm. Moddaning ko'chish  
tezligining konsentratsiyaga

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

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

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

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

Bunda  $\mu_0$  – erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan standart kimyoviy potensial,  $c$  – modda konsentratsiyasi.

Konsentrasiyalarning katta qiymatlarida (5.21) dagi  $c$  modda aktivligi bilan almashtiriladi. Modda aktivligi konsentratsiyaning aktivlik koeffitsiyentiga ko'paytmasiga teng. Harakati konsentratsiyadan tashqari elektr potensialiga ham bog'liq ionlar uchun kimyoviy potensial o'rniga elektrokimyoviy potensial ishlatiladi.  $i$  tipdagi ion uchun aktivlik konsentratsiyasiga teng bo'lgan holda elektrokimyoviy potensial quyidagiga teng:

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

Bunda  $\mu_0$  – standart kimyoviy potensial,  $Z$  – ion valentligi,  $\varphi$  – elektr potentsiali,  $T$  – absolyut harorat (k),  $R$  – universal gaz doimiysi  $\left( R = 8,31 \frac{\text{ЖК}}{\text{МОЛ} \cdot \text{К}} \right)$ ,  $F$  – Faradey soni  $\left( 8,65 \cdot 10^4 \frac{\text{КЛ}}{\text{МОЛЬ}} \right)$ .

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

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

$$RT \ell n c_1 + ZF \varphi_1 = RT \ell n c_2 + ZF \cdot \varphi_2$$

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

$$\frac{d\varphi}{dx} = const).$$



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

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

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

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

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

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

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

Bunda  $\varphi$  – membrnadagi potentsiallar farqi,  $P_i$  – ionlar o'tkazuvchanligi, 0 va  $i$  indekslar ionlarning tashqi (0) va ichki

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

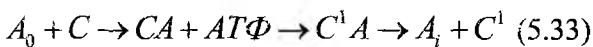
Aktiv transportda erigan moddalarning molekulari elektrokimyoviy potensialga qarshi ko'chishadi, ya'ni molekular konsentrasiyasi kichik bo'lgan sohadan katta bo'lgan sohaga, ionlar esa elektr maydoni kuchlanganligiga qarama-qarshi yo'nalishda ko'chiriladi.

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

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

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

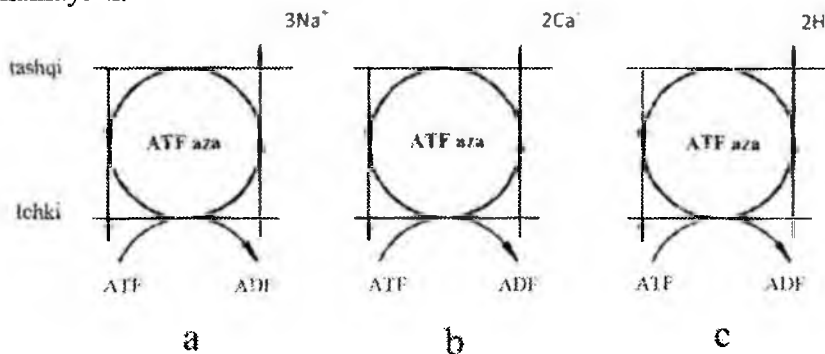
Aktiv transportni (5.20) tenglamaga o'xshash tenglama bilan ko'rsatish mumkin:



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

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

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



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

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

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

1 mol moddani kichik  $c_1$  konsentrasiyali sohadan katta  $c_2$  konsentrasiyali sohaga ko'chirib o'tishda bajariladigan ish kimyoviy potensialning o'zgarishidan topilishi mumkin (5.21 tenglama).

$$A = \Delta\mu = RT \ln \frac{c_2}{c_1} \quad (5.34)$$

Agar  $K^+$  ionlarining hujayra ichidagi konsentrasiyasi, hujayra tashqarisidagiga nisbatan 50-marta ortiq bo'lsa, (5.34) ga muvofiq  $37^\circ C$  haroratda bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$A = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 310K \cdot \ln 50 = 2576J$$

Yuqorida ko'rib o'tilgan ionli nasoslardan tashqari boshqa,  $ATP$  gidrolizi bilan bog'liq bo'lmasdan, oksidlanish-qaytarilish fermentlari yoki fotosintez ishi bilan bog'liq bo'lgan moddalarni to'plovchi tizimlar mavjud. Bu holda moddalar transporti ikkilamchi bo'lib qoladi. Masalan,  $Na^+$  ionlarining ingichka ichak epiteliysi hujayralari membranasi orqali aktiv ko'chishi natijasida  $Na^+$  ning ichakda va sitoplazmada konsentrasiyalar gradiyenti hosil bo'ladi. Bu gradiyent hisobiga shakar va aminokislotalarning ular

konsentrasiyasi gradiyentiga qarshi aktiv ko'chishi amalga oshiriladi. Bu jarayon ikkilamchi aktiv transport deb ataladi.

Eritrositlar membranasida  $\text{Na}^+$  ionlarining aktiv ko'chishi hisobiga membrana potentsiali hosil bo'ladi, bu potentsial boshqa ionlarning birinchi navbatda xlor anionlarining diffuziyasiga olib keladi. Ularning passiv transporti elektr gradiyenti bo'ylab ro'y beradi. Shunday qilib, anionlar passiv transporti kationlar aktiv transporti bilan bog'liq bo'lib qoladi, bu bilan hujayralar hayotiy faoliyati ta'minlanadi.

#### **§ 5.4. Biomembranalarda elektronlar ko'chishi va energiya transformasiyasi**

Har qanday organizmning hayot faoliyati energiya yutilishi va chiqarilishi bilan boradi. 5.7-rasmning o'ng tomonida hujayrada turli faollik tiplari: mushak qisqarishi, endo- va ekzositoz, asab o'yg'onishining tola bo'yicha uzatilishi, ionlarning aktiv transporti, tana haroratini saqlash, turli moddalar sintezi va b. ko'rsatib o'tilgan. Sanab o'tilgan jarayonlar organizmda energiyaning turli tiplarining: mexanik, elektr, issiqlik, kimyoviy transformasiyasi ro'y berishi tufayli amalga oshadi. Ayrim organizmlarda yorug'lik energiyasini ishlab chiqarish mumkin bo'lgani uchun, ular lyuminessensiyalashi mumkin. Ammo ko'pchilik hollarda energiya *ATF* molekulasida makroergik bog'lanishlar kimyoviy energiyasi ko'rinishida jamlanadi.

*ATF* ning struktur formulasi 5.8- rasmda keltirilgan.

Bu molekula uchta fosfat guruhdan iborat bo'lib, ular *pH* 7.8 bo'lganda 3.8 birlik manfiy zaryadga ega va shuning uchun elektrostatik itarishish kuchlari bilan ta'sirlashadi. *ATF* gidrolizida uchdagi fosfat guruhining ajralishi elektrostatik itarishish energiyasini kamaytiradi. Gidroliz natijasida paydo bo'lgan manfiy zaryadlangan *ADF* va  $\text{HPO}_4^{2-}$  itarishishi tufayli yana *ATF* ni hosil qila olmaydi, *ATF* gidrolizida chiqadigan nisbatan yuqori potentsial

energiya ( $\sim 33,6 \frac{\text{kJ}}{\text{mol}}$ ) bu molekulaning strukturasi hamda uning

gidrolizi mahsulotlari xossalari bilan bog'liqdir.

Hujayrada gidrolizi 25 kJ dan 46 kJ/molgacha energiya ajralishi bilan boradigan birikmalar makroergik deb ataladi. *ATF* dan tashqari ularga trinukleotidlar (*GTF*, *STF*, *UTF*), shuningdek asetilfosfat, kreatinfosfat, fosfoyenalpiruvat kiradi.

*ATF* gidrolizida ajraladigan energiya issiqlikka aylanadi. Ammo energiyani transformasiyalash tizimlari mavjud bo'lsa, u energiyaning boshqa turlariga ham aylantirilishi mumkin. Biomembranalar va mushak to'qimalari mikrostrukturasi energiyani transformasiyalashning tizimlaridir. Ularning hammasida *ATF* ni *ADF* va  $P_i$  ga yoki *AMF* va pirofosfatga gidrolizlaydigan *ATF* fermenti mavjud. Ionlarning aktiv transporti, mushaklar aktomiozini kabi, ushbu fermentga egadirlar. Shuning uchun *ATF* qo'shilishi ion transportini boshlanishiga va mushaklar qisqarishiga olib keladi.

Ko'pchilik tirik organizmlar *ATF* ni *ADF* va  $P$  dan nafas olishda, turli moddalar oksidlanishda paydo bo'ladigan energiya hisobiga sintezlaydi. Yashil o'simliklar hujayralarida *ATF* sintezi yorug'lik energiyasidan foydalanish tufayli amalga oshadi. Yorug'lik ta'sirida o'simliklar bargida kechadigan jarayonda kislorod ajraladi va *ATF* hosil bo'ladi. Bu jarayon fotofosforlanish deb ataladi. U bilan birga kechadigan organik moddalar sintezi jarayoniga fotosintez deyiladi.

Oksidlanuvchi fosforlanish va fotofosforlanish jarayonlari membranali organellalar — xloroplastlar va mitoxondriyalarda kechadi. Ular membranalari tashkil etuvchilari tarkibi bilan hamda fosforlanish komplekslari molekulyar tuzilishi bilan ham bir-biriga yaqindir. Ushbu organellalar membranalari energiya bog'langan membranalar deb ataladi. Eukariot hujayralarida oksidlanish, fosforlanish mitoxondriyalarda, prokariot hujayralarida — sitoplazmatik membranalarda, yashil o'simliklarda fosforlanish

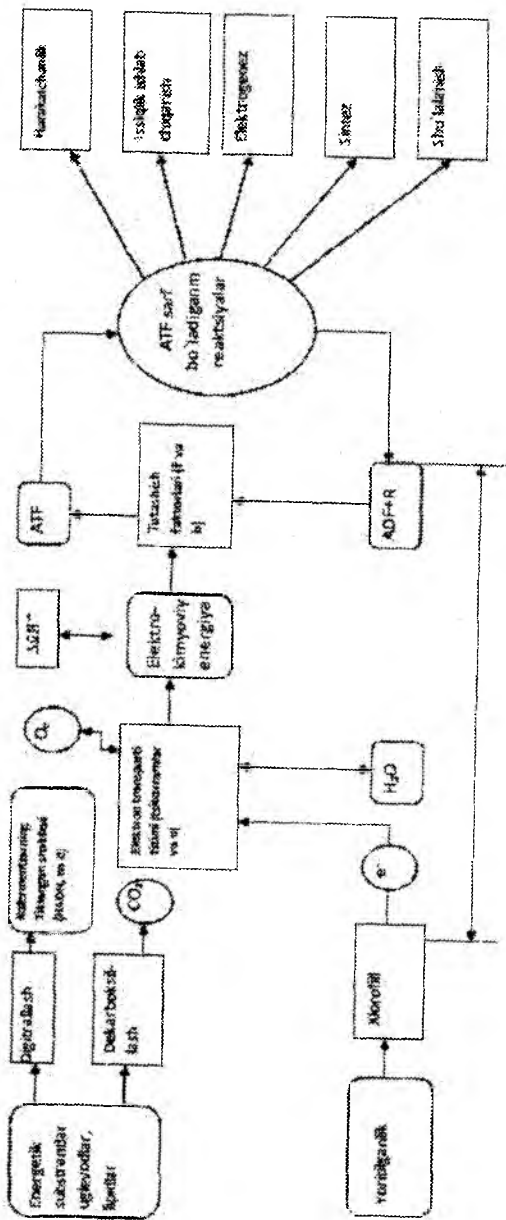
xloroplastlarda, fotosintezlovchi bakteriyalarda – xromatoforlarda amalga oshadi.

Bu membranalarning hammasida nafas olish zanjirlarini shakllantiruvchi oqsillar mavjud. Ushbu oqsillarning ketma-ket oksidlanish va qaytarilishda nafas olish zanjirida elektronlar ko‘chishi amalga oshadi. Elektronlar transporti membranada protonlar konsentrasiyasining gradiyentini hosil bo‘lishi va demak,

$H^+$  ioni elektrokimyoviy potentsiali farqining  $\Delta\mu H^+$  paydo bo‘lishi bilan bog‘liq. Membranalardagi  $H^+$  – *ATF* aza oqsillari yordamida *ADF* va *P* dan vodorod ioni elektrokimyoviy potentsiali hisobiga *ATF* sintezlanadi. Bu jarayon mexanizmlari oxirigacha o‘rganilmagan. Mitchelning xemiosmotik nazariyasiga ko‘ra

$$\Delta\mu H^+ = F \cdot \Delta\varphi + 2,3 \cdot RT\Delta pH \quad (5.35)$$





5.7-rasm. Organizmda energiya dimashimlilari va energatik oqimlar (Ya Kagava bo'yicha)  $\Delta pF - H^+$  elektrokimyoviy potentsiali farqi

Bunda  $\Delta\varphi$ -elektr potentsiallari farqi,  $\Delta pH$  – vodorod ionlarining membrana ikki tomonidagi konsentrasiyalari farqi,  $F$  – Faradey soni,  $R$  – universal gaz doimiysi,  $T$  – absolyut harorat.

Mitoxondriyalarda elektronlar donorlarining (NADN, suksinat va b.) hosil bo'lishi ichki membranada NADN va suksinatdan, protonlar, translokasiyasi bilan bog'liq bo'lgan, kislorodga qarab elektronlar o'tishini boshlab beradi.

Mitoxondriyalarda elektronlar ko'chishi zanjirini ta'minlaydigan yigirmaga yaqin elektron tashuvchilar ma'lum. Bular, mitoxondrial membranalar, oqsilning 25%ini tashkil etuvchi, mitoxondriya tuzilmasining asosiy elementlaridir. Tashuvchilar orasida NAD, flavinlar va ubixinon ikki elektronli, qolganlari – bir elektronli.

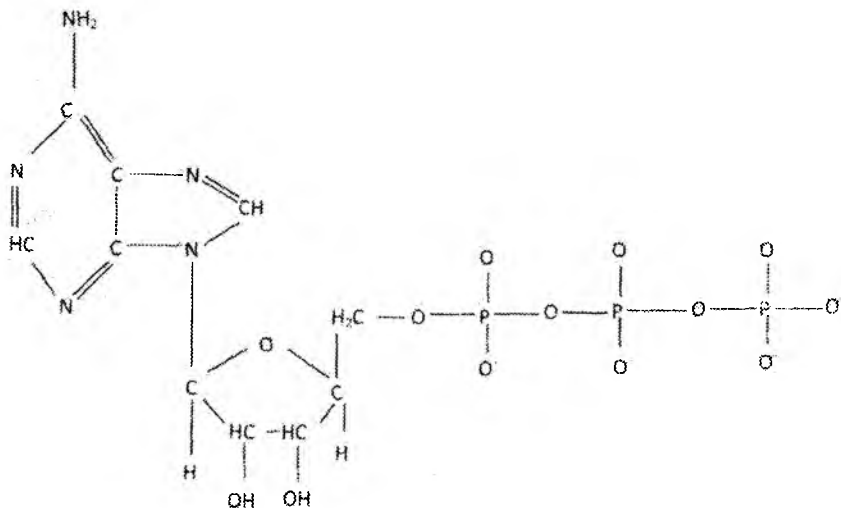
Elektronlar transporti tizimini ikki guruhga ajratish mumkin: vodorodni ko'chiruvchi tizimlar (NAD, flavinlar,  $Q$  koferment,  $SH$  – oqsillar va b.) va faqat elektronlarni tashuvchi tizimlar (sitoxromlar, gemsiz temir, mis bor oqsillar).

Elektronlarni tashuvchilar membranada asimmetrik joylashganligi sababli oksidlanish-qaytarilish potentsiallari transmembrial va sirt potentsiallariga bog'liq bo'ladi.

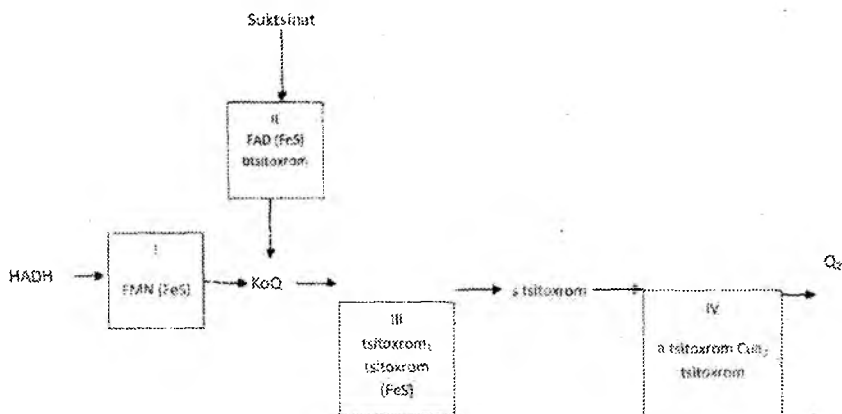
5.7-rasmda ko'rsatilganidek nafas olish zanjiri uchun protonlar donori bo'lib NADN<sub>2</sub> – va FADN<sub>2</sub> – kofermentlari xizmat etadi. Ular vodorodni asetil –  $KoA$  ning piruvatdan, yog'li kislotalar va aminokislotalardan, hamda uchkarbon kislotalar siklida asil guruhlarining CO<sub>2</sub> ni ozod etish bilan ro'y beradigan parchalanishda olishadi. Ushbu sikl fermentlari mitoxondriyalarda matriksida joylashgan. Faqat suksinatdegidrogenaza mitoxondriya ichki membranasining ichki sirti bilan bog'langan. Siklning bosh vazifasi asil radikalni degidratlashdan iborat bo'lib, bunda, CO<sub>2</sub> ikki molekulasini va to'rt juft vodorod atomini hosil bo'ladi. Bitta asetil qoldig'ining Krebs siklida oksidlanishda NAD oksidlangan kofermentning oltita molekulasini va FAD oksidlangan kofermentning ikki molekulasini sakkizta vodorod atomini qo'shib olishadi va mos

holda  $\text{NADN}_2$  va  $\text{FADN}_2$  ni hosil qilishadi ( $\text{NAD}$  – nikotinamidadenin dinukleotid kofermenti,  $\text{FAD}$  – flavinadenin dinukleotid kofermenti). Elektron transporti to'liq tizimli to'rtta kompleksdan tashkil topgan (5.8-rasm).

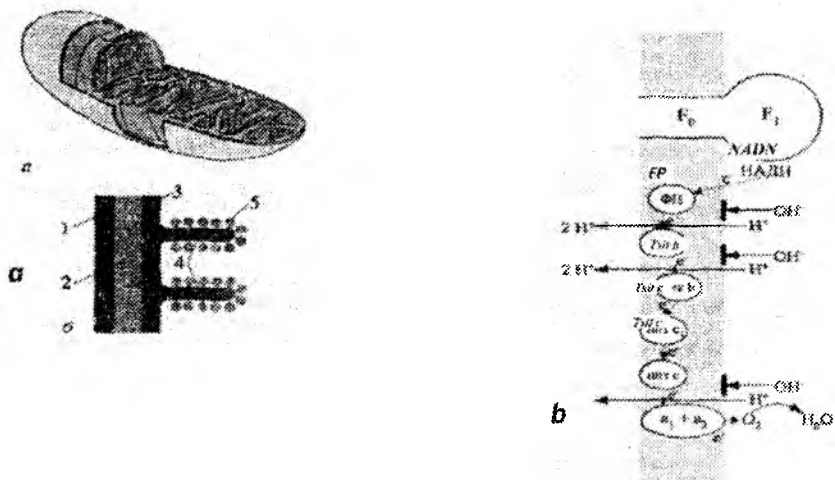
Elektronlar transporti tizimining tashkil etuvchilardan biri flavo-proteinlar bo'lib, ular vodorodni  $\text{NADN}_2$  va suksinatdan olishadi. Vodorod atomi tarkibidagi elektronlarni organik substratdan elektron tashuvchilarga ko'chishini degidrogenaza amalga oshiradi.  $\text{NADN}_2$  – degidrogenaza tarkibiga flavinmononukleotid (FMN), suksinatdegidrogenaza tarkibiga flavinadenindinukleotid (FAD) kiradi. Ushbu degidrogenazalar ishtirokida o'tadigan oksidlanish-qaytarilish reaksiyasini substratdan FAD yoki FMN ga vodorod ioni jufti va ikkita elektron ko'chishi va fermentning tiklangan shakli hosil bo'lishi deb qarash mumkin.



**ATFning struktura formulas**



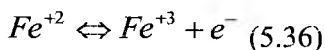
**5.8-rasm. Mitoxondriyalar nafas olish tizimini tashkil etuvchi komplekslar: FMN – flavin mononukleotid, FAD – flavin adenin dinukleotid, K<sub>o</sub>Q – Q kofermenti, FeS-gemsiz temir, Cu-mis O<sub>2</sub>-kislrod**



**5.9-rasm. Mitaxondriyalar ichki membranasida nafas olish tizimining sxemasi. a)- umumiy ko‘rinish, b) mitoxondriyalarda nafas olish tizimi**

Nafas olish zanjirida elektronlarni tashuvchilari bo‘lib, sitoxromlar – temir, protoporfirin, yoki gem guruhiga ega oqsillar

xizmat etadi. Zanjirda ishlashda ulardagi temir atomi oksidlanish va qaytarilishga uchraydi:

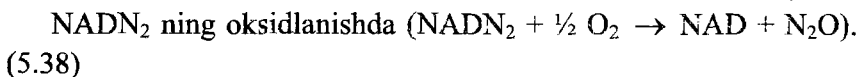
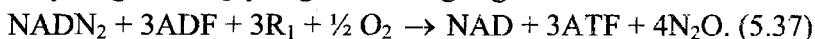


Elektronlar transporti tizimiga gemsiz temir va oltingugurtli oqsillar (rubredoksin, ferredoksin), misli oqsillar (plastosianin, sitoxromoksidaza) kiradi.

Yuqorida keltirilgan elektronlar transporti tizimini tashkil etuvchilari elektronlarni quyidagi zanjir bo'ylab ko'chirishadi:  $NADN_2$  (yoki suksinat)  $\rightarrow$  flavinlar  $\rightarrow$  gemsiz temir  $\rightarrow K_oQ \rightarrow v$  sitoxromi  $\rightarrow S_1$  sitoxromi  $\rightarrow S$  sitoxromi  $\rightarrow aa_3$  sitoxromi  $\rightarrow Q_2$ .

Nafas olish zanjiridan elektronlar ko'chishi ATF molekulalarida energiya to'planishi bilan boradi, chunki elektronlar oksidlanish-qaytarilish potentsiallarining oshishi yo'nalishida ko'chishda erkin energiyaning o'zgarishi ro'y beradi. Ozod bo'layotgan erkin energiya ATF ning kimyoviy energiyasiga aylanadi. Oksidlanish fosforlanish ro'y beradi. Ushbu muhim hodisani 1930-yilda V.Engelgard kashf qilgan.

$NADN_2$ ning oksidlanishida erkin energiya o'zgarishini ko'rib chiqaylik. Bunda nafas olish zanjirida fosforlanish jarayonining umumiy tenglamasi quyidagi ko'rinishga ega:



$-218,4 \frac{kJ}{mol}$  Energiya ajraladi. 1 mol ATF ni sintezlash uchun

$-29,4kJ$  energiya zarurligini hisobga olsak, ushbu jarayon FIK ni topamiz:

$$\eta = \frac{3 \cdot 29,4 \text{ kJ}}{218,4 \text{ (kJ)}} \cdot 100\% = 40,4\%$$

Odatdagi issiqlik dvigatellarning FIK bundan kamroqdir. Yuqorida aytganimizdek yashil o'simliklarda ATF sintezi yorug'lik energiyasi hisobiga amalga oshadi.

Xloroplastlarda elektronlar transporti zanjiri, yorug'lik yig'uvchi xlorofillardan tashkil topgan pigmentoqsilli komplekslar va tutashish faktorlari mavjud. Ko'rsatilgan barcha tashkil etuvchilar, xloroplastlar uchun xos lipidlar (DGDG – digalaktosildiasilgliserid; MGDG – monogalaktosil diasilgliserid va b.) dan iborat bo'lgan tilakoid membranaga o'rnashgan. Xloroplastlardagi elektronlarni tashuvchi oqsillar kompleksi va tutashish faktorlari mitoxondriyalardagi ushbu komplekslar va faktorlarga o'xshashdir. Tabiat tomonidan evolyusion jarayon davomida yaratilgan bu kompleks va faktorlar turli organizmlar energetik ehtiyojlarini qondirish uchun yyetarlicha universal bo'lib chiqdi.

Fotosintez tizimiga flavoproteinlar (ferredoksin – NADF – reduktaza), tarkibida gamsiz temir (ferridoksin) bo'lgan oqsillar, v tipdagi sitoxrom ( $v_6$ ), f tipdagi sitoxrom (S sitoxrom turi), xinonlar (plastoxinon), tarkibida mis bor oqsillar (plastosianin) kiradi.

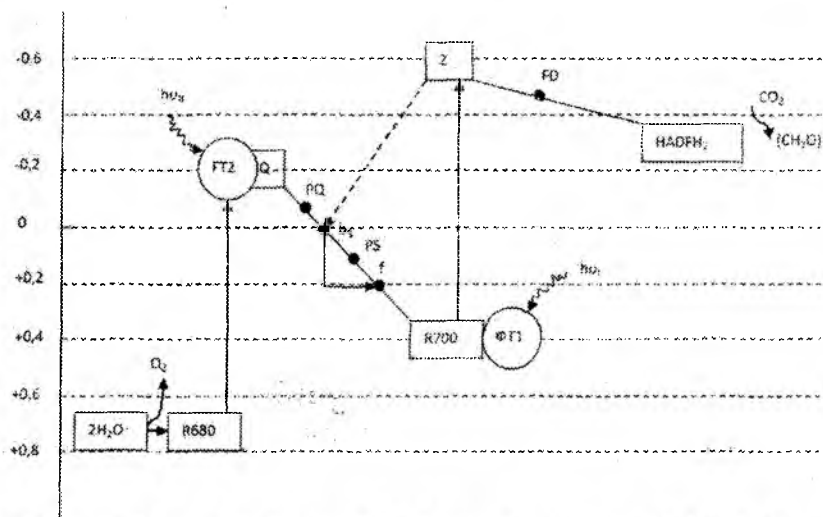
Nafas olish zanjiridagi kabi, fotosintez paytida elektronlar standart oksidlanish-qaytarilish potentsiallariga mos holda ko'chiriladi (5.10-rasm).

Biroq fotosintez tizimida oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarini boshlab yuborish uchun, nafas olish zanjiridagi substratlar oksidlanish energiyasidan emas, yorug'lik yutilish natijasida xlorofillarda paydo bo'lgan elektronning uyg'ongan holati energiyasidan foydalaniladi.

Fotosintez tizimini NADFni tiklaydigan I fotokimyoviy tizimiga (FTI) va suvni oksidlaydigan II fotokimyoviy tizimiga (FTII) bo'lish mumkin. Ikkala tizimda reaksiyon markazlar deb ataladigan *a* xlorofillning o'ziga xos molekulari mavjud (*P700* – birinchi tizimda,

*P680*–ikkinchisida). Ularda fotosintetik birikmalar (xlorofill + karotinoid) yutgan yorug‘lik energiyasi to‘planadi, *a* xlorofill oksidlanadi, keyin ( $10^{-15}$ – $10^{-12}$  s davomida) uyg‘onish energiyasining ko‘chishi ro‘y beradi. Fotosintez tizimida, porfirin kompleksidan tashqari, elektronlar ko‘chish vaqti  $10^{-4}$ – $10^{-2}$  s ga teng.

Yorug‘lik energiyasi hisobiga elektronlar ko‘chishi fotofosforlanishning nosiklik shaklida suvdan  $\text{NADFN}_2$  ga va siklik shaklida *Z* akseptordan *f* sitoxromga qarab ro‘y beradi (5.10-rasmda punktir chiziq bilan ko‘rsatilgan).

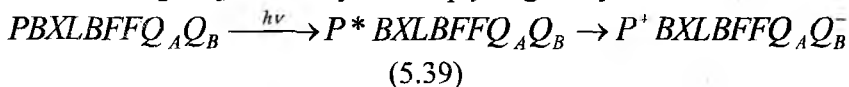


**5.10-rasm. Fotosintez jarayonida elektronlar transporti tizimi. *Q* – fototizim 2(*FT2*) ning birlamchi akseptori, *Z* - fototizim 1 (*FT1*) ning birlamchi akseptori, *R700* – *FT1* ning reaksiyon markazi, *R680* – *FT2* ning reaksiyon markazi, *PQ* – plastoxinon, *b<sub>3</sub>* – sitoxrom, *PS* - plastosianin, *FD* – ferredoksin**

*FT1* uchun elektronlar donori sifatida plastosianin xizmat etadi. *FT2* ning birlamchi akseptorlaridan elektronlarni plastoxinonlar qabul etadi, ular tiklanganda bir vaqtning o‘zida protonlarni ham qo‘shib oladi. Sitoxrom *f* dan tashqari *FT1* bilan aloqada bo‘lgan v

sitoxromlar ham mavjud bo'lib, ular siklik elektronlar transportida ishtirok etadi.  $b_3$  sitoxromi ko'proq FT2 bilan bog'liq.

Fotosintezlovchi bakteriyalarning yorug'lik yig'uvchi reaksiyon markazlari tarkibida 3 ta oqsil aniqlangan, ulardan har birida bakterioxorofillning (BXL) 4 ta molekulasi, bakteriofeofitinning (BFF) 2 ta molekulasi, ubixinonning ( $Q$ ) bitta yoki ikkita molekulasi, temir ( $F$ ) atomi bor. Ushbu bakteriyalarda elektronlar ko'chishining to'g'ri reaksiyalarini quyidagicha yozsa bo'ladi.



Reaksiyon markazlar faoliyatining yuqori samaradorligi zanjirning har bir qismidagi to'g'ri reaksiyalar teskari reaksiyalarga nisbatan 2–3 tartibga tezroq ro'y berishi bilan bog'liq.

### § 5.5. Diffuziyaning biologik tizimlarda sodir bo'lishi

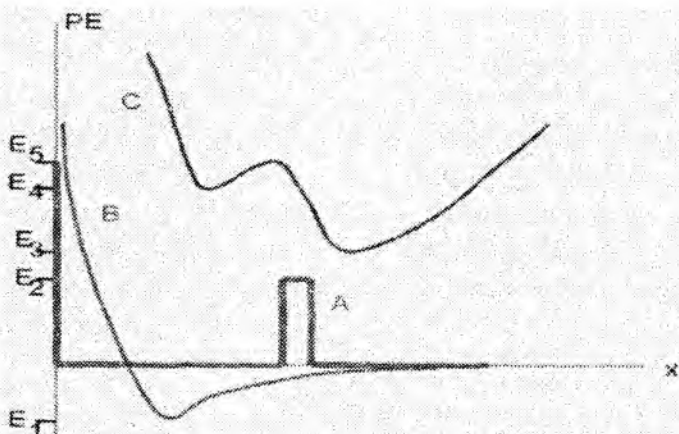
Diffuziya tenglamasini ko'rib chiqdik, lekin uning echimini qaramadik. Bu bo'lim murakkab matematik tenglamalarni ishlatmagan holda differensial tenglamani yechishni o'z oldiga maqsad qilib qo'ygan. Bundan esa bizga kerak bo'lgan xulosalarni chiqarishimiz mumkin.

Sun'iy membranalarda diffuziya. Faraz qilaylik uzunligi  $L$  bo'lgan ingichka shisha idish (kopilyar) suv bilan to'ldirilgan bo'lsin. Uning bir uchi suvli vannada ikkinchi uchi esa  $C_0$  konsentratsiyali siyoh rangga ulangan bo'lsin. Oxiri truba ichida konsentratsiyasi  $0$  va  $C_0$  konsentratsiyali eritma hosil bo'ladi, ammo bu ma'lum vaqtdan so'ng yuz beradi. Oxiri truba tubida konsentratsiya  $C(0) = C_0$  va truba ustida  $C(L) = 0$ , o'rta holda konsentratsiya  $C(x)$  bo'ladi.

Kvazi – Turg'un xolni aniqlash uchun  $\frac{dc}{dt} = 0$  differensial tenglama echimini izlaymiz. bu hol  $\frac{d^2c}{dx^2} = 0$  ga mos keladi. Shunday qilib  $C(x)$  grafigi to'g'ri chiziqdan iborat bo'ladi.

$$(\text{rasm 5.11b,}) \text{ yoki } C(x) = C_0 \left(1 - \frac{x}{L}\right)$$





**5,11-rasm. Nuqtaviy massa uchun uchta boshqa energetik funksiyalar (A)**

Oddiy potensial to'siq, (B) Odatdagi interaksion potensial, (C) Ikki minimumli potensial.

Fluktatsiya doimiysi  $j_s = DC_0/L$  so'ngra siyoh rangi sochiladi. (S indeks suvda erigan modda miqdorini ko'rsatadi). Agarda konsentratsiya ikkala tomonda ham o'zgarsa, u holda argument  $+x$  ga o'zgaradi va  $\dot{\gamma}_s = -\frac{D(\Delta c)}{L}$ , bunda  $\Delta c = c_2 - c_0$  konsentratsiyalar farqi.

Membranadan ingichka bo'lgan tor kanallar mavjudligi aniqlangan. Shunday qilib diffuziyani membranadagi yupqa kanal bo'ylab bo'lishini ko'rsatish mumkin. Membrana orqali o'zgarish  $I_s = -P_s \Delta C$  bilan aniqlanadi. Bunda  $P_s$  - eritmada membrana kirituvchanligi bo'lib molekula va membranadan bog'liq holda o'zgaradi.

Oddiy hollarda  $P_s$  tirqishlar kengligi va diffuziya koeffitsientini ko'rsatadi.

- $P_s$  ning o'zgarish tezligini
- $P_s$  ning  $D/L$  dan bog'liq ekanini ko'rsating.

Misol: hujayrani radiusi  $R = 10 \text{ mm}$  bo'lgan xalta shaklida tasavvur qiling va kirituvchanligi  $P_s = 20 \mu\text{m} \cdot \text{c}^{-1}$  bo'lgan spirtida bo'lsin.

Savol: Dastlabki holda spirt konsentratsiyasi vaqt o'tishi bilan qanday o'zgaradi?

Echimi: tashqi dunyo shu darajada kengki uning kirituvchanligi sekin o'zgaradi va uning konsentratsiyasi o'zgarmaydi.  $N(+)$  molekula bo'lsa uning konsentratsiyasi

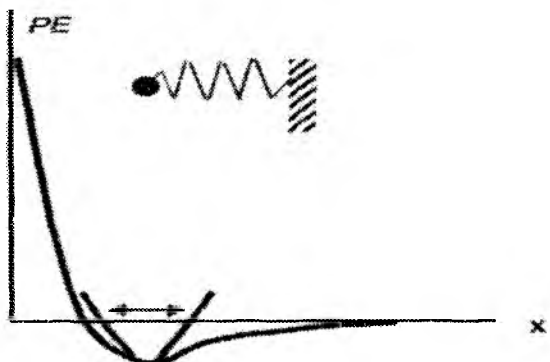
$$C(t) = \frac{N(t)}{V}, \text{ bunda } V = \frac{4\pi R^3}{3} \text{ hujayra hajmi.}$$

U holda fluktatsiya doimiysi.

$j_s = -P_s (C_{tap} - C(H) = -P_s \cdot \Delta c(t))$ .  $j_s$  - manfiy bo'lishi ham mumkin. Xujayra yuzasi  $4\pi R^2$  bo'lsin,  $\frac{dN}{dt} = -A \cdot j_s$  ienglamadan  $c_m = \frac{N}{V}$ , ya'ni konsentratsiyaning o'zgarishi  $-\frac{d(\Delta c)}{dt} = \left(\frac{\Delta P_s}{V}\right) \Delta c$  konsentratsiyaning relaksatsion o'zgarishi. Bu differensial tenglamaning echimi  $\Delta c(t) = \Delta c(0)e^{-t/\tau}$ , bunda  $\tau = V/AP_s$  -konstanta. Berilgan holda  $\tau \approx 0,2s$ .

Demak bizga berilgan savolga javob  $Sin(t) = C_{top} - (C_{tash} - Cu(0))e^{-t/\tau}$ .

Boshlang'ich konsentratsiya eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi. Bir sekunddan so'ng konsentratsiya dastlabki xolga nisbati  $e^{-1s} = 0,7\%$  ga teng. Kichik yacheyka sirt hajmga ega bo'lishi kerak. Bu konsentraitson farqni yanada tezlashtiradi. Boshqa jarayonlar ham kirib borishga yordam beradi.



5.12-rasm. Muvozonat holatidagi potensial energiya funksiyasining prujina potensial aproksamasiyasi. .

Masalan, molekula membrana materialiga qo‘shilib ketadi. Hatto sun‘iy membranalarda ham tirqishlar yordamida aralashib ketish yuz beradi. Xuddi Fik qonunidagidek sodir bo‘ladi. Molekula membrana orqali o‘tadi. 5.12-rasmda kirituvchanlik va diffuziya koeffitsient orasidagi bog‘lanish ko‘rsatilgan. Bu grafikni tushunish uchun konteynerdagi suv yuzidagi neft mahsulotini tasavvur qilish kerak. Agar bunga ozroq shakar qo‘shsak, hammasi suvda erimaydi. Shakarning suvdagi eritmasi va neftdagi miqdori ajralish koeffitsienti (B) deyiladi.

Shunday qilib ikkita  $C_1$  va  $C_2$  shakar eritmasi bilan ajratilgan membrana  $BC_1$  shakar konsentratsiyasiga ega bo‘ladi. Ikkinchi tomondan  $BC_2$ , u holda tomchi  $\Delta c = B(c_1 - c_2)$  membrana orqali o‘tadi. Natijada membrana kirituvchanligi  $P_s = \frac{BD}{L}$  shunday qilib biz  $L$  koeffitsient qiymatini bilsak ham kirituvchanlik takriban ma‘lum bo‘ladi.

### § 5.6. Osmos. Osmotik bosim

Suyuqlikda qattiq modda eritilganda, uning molekullari suyuqlikning butun hajmida bir tekis tarqalib, eritma deb ataluvchi muhitni hosil qiladi; suyuqlik erituvchi deb, qattiq jism esa erigan modda deb ataladi. Eritmaning  $V$  hajm birligiga to‘g‘ri keladigan erigan modda massasi  $m$  eritmaning konsentratsiyasi  $C$  deyiladi; binobarin,

$$C = \frac{m}{V} \quad (5.40)$$

Kam konsentratsiyali eritmalar zaif (kuchsiz) yoki suyultirilgan eritmalar deyiladi.

Erigan modda parsial bosimga ega va bu bosim gazlar kinetik nazariyasining asosiy qonuni va Mendeleyev-Klapeyron qonuniga ko‘ra

$$p = \frac{2}{3} n_0 \overline{W} \quad (5.41)$$

va

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \quad (5.42)$$

yuqoridagi formulalar bilan ifodalanadi, deb faraz qilish mumkin, bu yerda  $n_0$  – erigan modda molekularining konsentrasiyasi (eritmaning hajm birligidagi erigan modda molekulari soni),  $\overline{W}$  – erigan modda molekulasiining o‘rtacha kinetik energiyasi,  $m$  va  $\mu$  – erigan modda massasi va uning molyar massasi,  $V$  va  $T$  – eritmaning hajmi va harorati,  $R$  – universal gaz doimiysi.

Bu bosimni payqash uchun eritmani sof erituvchidan yarim o‘tkazuvchan to‘siq bilan ajratish zarur, bu to‘siq erituvchi molekularini o‘tkazib erigan modda molekularini o‘tkazmasligi kerak. Shakarning suvdagi eritmasi uchun, masalan, ho‘kiz pufagi, ichak to‘qimasi va ba‘zi sun‘iy plastmassa plyonkalar yarim o‘tkazuvchan to‘siq bo‘la olar ekan. Bu to‘siqlarda teshiklar shu darajada kichikki, ulardan suv molekulari o‘tar ekan, lekin shakarning yirikroq molekulari o‘ta olmaydi. Agarda og‘zi ho‘kiz pufagi bilan tortilgan voronkaga shakarning suvdagi kuchsiz eritmasini solinsa va uni toza suvli idishga shunday o‘rnatilsaki, voronkadagi va idishdagi suyuqliklarning sathlari bir xil bo‘ladi. Kuzatishlar shuni ko‘rsatadiki, voronkadagi eritma sathi asta-sekin ko‘tarila boshlaydi va idishdagi suvning sathidan biror  $h$  balandlikda to‘xtaydi. Buning sababi idishdagi suv molekularining konsentrasiyasi voronkadagi suv molekularining konsentrasiyasidan shakar molekulari konsentrasiyasi kattaligicha katta. Shuning uchun yarim o‘tkazuvchan to‘siq orqali idishdan voronkaga ko‘proq suv molekulari diffuziyalanadi, qarama-qarshi yo‘nalishda esa kamroq, buning natijasida voronkada suyuqlik sathi ko‘tariladi. Shakar molekulari yarim o‘tkazuvchan to‘siq orqali

voronkadan idishga o'ta olmaydi. Natijada voronka va idishda suv molekulalarining konsentrasiyasi esa har xil bo'lib qolaveradi. Shakar molekulalarining ortiqcha konsentrasiyasi (5.17) formulaga muvofiq eritmaning  $h$  balandlikdagi ustunchasining gidrostatik bosimi bilan muvozanatlashuvchi erigan moddaning parsial bosimni hosil qiladi. Eritmani sof erituvchidan ajratib turuvchi yarim o'tkazuvchan to'siq orqali erituvchining diffuziyalanish hodisasi osmos deb ataladi, bunda eritmada hosil bo'lgan (erigan moddaning parsial bosimi  $p$ ga teng bo'lgan) ortiqcha bosim osmotik bosim deb ataladi.

Eritmaning  $h$  ustunchasining bosimi  $\rho gh$  bo'lgani uchun bu tajribadan osmotik bosimni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$p = \rho gh \quad (5.43)$$

bu yerda  $\rho$  – eritmaning zichligi,  $g$  – og'irlik kuchi tezlanishi. Ikkinchi tomondan, osmotik bosimni (5.18) yoki (5.19) formuladan hisoblash mumkin. har ikkala hisob ham osmotik bosimning mos keladigan qiymatlarini beradi, bundan ideal gaz bilan kuchsiz eritmada erigan modda orasidagi o'xshatish o'rinli ekanligi haqidagi fikrga kelish mumkin.

Osmotik bosimning kattaligi to'g'risida tasavvur hosil qilish uchun shakar  $C_{12}H_{22}O_{11}$  ning  $27^{\circ}C$  haroratda suvdagi eritmasining osmotik bosimini (5.42) formula bo'yicha hisoblaymiz, bunda eritmaning konsentrasiyasi 1 l suvda 0,034 kg shakar bor deb olaylik. Shakarning kimyoviy formulasiga ko'ra, bir kilomol shakarning massasi 342 kg/mol, u holda,

$$p = \frac{m RT}{\mu V} = \frac{0,034 \cdot 82 \cdot 300}{342 \cdot 1} = 2,46(atm) \quad (5.44)$$

Osmotik bosim hammaga ma'lum bo'lgan quyidagi hodisada ravshan payqaladi. Agar quritilgan mevalar qobig'ini (pardasini) yormagan holda suvga solinsa, tez orada meva sferik shaklni olgan holda bo'kib qoladi, bu mevaning ichida ortiqcha bosim borligining alomatidir. Bu ortiqcha bosim osmotik bosim bo'ladi. Mevaning qobig'idan suv molekullari o'tishi mumkin, biroq mevaning ichidagi shakar molekullari o'ta olmaydi. Suv meva ichiga diffuziyalanib, u yerda shakarning suvdagi eritmasini hosil qiladi. Bu eritmada, yuqorida aytib o'tilgan shakarning suvdagi eritmasidagi singari, osmotik bosim hosil bo'lib, meva qobig'ini shishirib yuboradi.

(5.40) formuladan foydalanib, (5.42) formulaga eritmaning konsentratsiyasi  $S$  ni kiritilganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi.

$$p = \frac{CRT}{\mu} \quad (5.45)$$

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi: osmotik bosim eritmaning konsentratsiyasi va haroratiga to'g'ri proporsional va erigan moddaning molekulyar og'irligiga teskari proporsionaldir.

Bu qonun 1887-yilda Gollandiyalik kimyogar Vant – Goff tomonidan aniqlangan. Shuni qayd qilib o'tish kerakki, Vant – Goff qonuniga ko'ra osmotik bosim erituvchining xossalriga bog'liq bo'lmaydi.

Vant-Goff qonuni faqat erigan moddaning dissosiasiyalanishi sodir bo'lmaydigan kuchsiz eritmalar uchun o'rinalidir. Dissosiasiyalangan eritmalar (ya'ni elektrolitlar) uchun osmotik bosim Vant-Goff qonunida nazarda tutilganidan ko'ra ancha katta bo'ladi. Bunga sabab shuki, dissosiasiyada erigan moddaning zarralari soni ko'payib ketadi (bir molekuladan ikkita ion hosil bo'lishi mumkin), va demak, (2) formulaga muvofiq, osmotik bosim ortadi.

Osmos hodisasi o'simliklar va jonli organizmlar hayotida muhim rol o'ynaydi. Tirik hujayralarning pardalari yarim o'tkazuvchan

to'siqlar bo'lib, ular suv molekulalarini o'tkazadi, biroq hujayraning hayot faoliyati jarayonida uning ichida hosil bo'ladigan murakkab organik birikmalarning molekulalarini o'tkazmaydi. Buning natijasida hujayra ichida eritma hosil bo'ladi va hujayrani puflangan rezina koptokdek shishirib elastiklashtiruvchi osmotik bosim paydo bo'ladi. Bunday hujayralardan tuzilgan o'simlik va hayvon to'qimalarining elastikligi katta bo'lib, o'z shaklini saqlash qobiliyati ortadi. Biologiyada osmos bilan bog'liq bo'lgan bu hodisa hujayralar turgori deyiladi.

Suv bilan o'ralib turgan o'simlik hujayralarida osmotik bosim juda katta bo'lishi mumkin. Masalan, sabzida osmotik bosim bir necha atmosferaga yetadi.

Organizmning hujayrasi shu hujayra pardasidan o'ta olmaydigan yuqori moddaning suvdagi konsentrasiya eritmasi bilan chegaradosh bo'lsa, u holda suv hujayradan o'sha eritmaga o'tadi. Bunda hujayradan suvning "osmotik surilishi" deb ataluvchi hodisa ro'y beradi. Ana shu hodisa tufayli shirin ovqat yeyilgandan keyin chanqash hissi paydo bo'ladi.

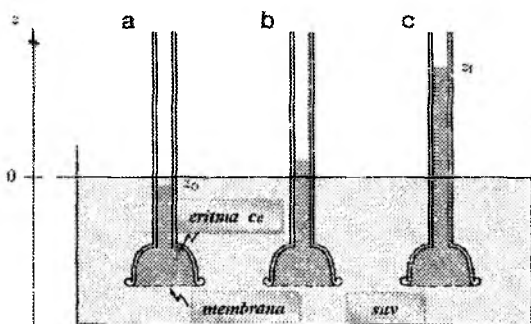
Oziqlanish, ajratib chiqarish, nafas olish va shunga o'xshash boshqa fiziologik jarayonlar vositasida tirik organizmlarning hujayralarida doimiy osmotik bosim saqlanib turadi.

### **§ 5.7. Muvozanatdagi osmotik bosim ideal gaz qonuniga bo'ysunadi**

Biz endi osmotik bosimni ko'rib chiqamiz. Membranani ikkiga bo'lish mumkin: birinchisi toza suv bilan ishlaydigan; ikkinchisi V hajmi egallagan boshqa N zarrachalardan iborat aralashmali modda bilan ishlaydigan. Aralashmali moddalar alohida molekulalardan (shakar) tortib kolloid zarrachalargacha bo'lishi mumkin. Membrana suvda o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi, aralashmali moddalarda esa aksincha, o'tkazuvchalikka ega bo'lmasligi kerak. Tizim shakarli eritma tomondan katta gidrostatik bosim ostida muvozanatda bo'ladi. Bu bosimni miqdor jihatdan hisoblashimiz mumkin.

Ideal gaz qonunlarini o'rganishga qaraganda bosimni o'rganish bir qancha qiyinchiliklarga olib keladi. Umuman olganda aralashmali modda molekulari doimo suv molekulari bilan to'ldirilib turiladi. Ammo ko'rinadiki, osmotik muammoda ikkalasi ham bir xil tarzda bo'ladi. Haqiqatdan ham aralashmali modda molekulari suv molekulari bilan o'zaro kuchli ta'sirlashadi. Lekin aralashmali modda molekulari bir-birlari bilan o'zaro ta'sirlashmaydi. Aniqroq aytganda, aralashmali modda molekulari  $\{r_i\}$  holat integrali yordamida o'zaro ta'sirni amalda qarshilik qiladi (bu holda ideal gaz qonuni qattiq gazlar uchun o'rinli bo'lmaydi).

Shunday qilib, aralashmali modda molekularining qayd qilingan holatlari bo'yicha funksiyasini va boshqa erkin haroratdagi holatlarini tadbiq qilinishini hisoblaymiz.  $r_i$  ning aksariyat qiymatlari yuqoridagi holatlarga javob beradi. u holda natijaviy  $\int d^3r_1 \dots d^3r_N$  integral  $V^N$  ko'rsatkich ko'rinishiga keladi.



**5.13-rasm. Osmotik bosim tajribasi. (a)  $c_0$  konsentratsiyali shakar eritmali idishdagi yarim o'tkazuvchi membrana, Dastlab shakar eritmasi idishning  $z_0$  sathigacha ko'tariladi. (b) idishdagi osmotik oqim (c)  $Z_F$  muvozanat balandlikgacha ko'tariladi. Muvozanat  $Z_F$  holatdagi oxirgi bosim  $\rho_m g$  ga teng bo'ladi, bunda  $\rho_m$  massaga bog'liq bo'lgan zichlik**

Bunday holatda  $V$  hajm faqat aralashmali moddalar uchun o'rinlidir. In  $Z$  hosilasi har qanday holatda  $N/V$  ga teng bo'ladi.

Osmotik bosim muvozanati ideal gaz qonuni ko'rinishida berilgan:



$$P = ck_B T \text{ Vant- Goff (5.46)}$$

Bunda  $c=N/V$  – aralashma modda molekulalar sonining zichligi,  $P$  – muvozanatga erishish uchun aralashma modda tomondan ortgan bosim..

Berilgan asbob tashqarisidagi atmosfera bosimi inobatga olinmagan edi. 5.46-tenglamaga ega bo‘lamiz, ammo membraning ikki tomonidagi bosimlar farqi inobatga olinadi. Shunday qilib,  $p=z_f \rho_m g$ , bu yerda  $z_f$  – suyuqlikning oxirgi sathi,  $\rho_m$  – zichlik,  $g$  – erkin tushish tezlanishi. Bunday holatda idishdagi aralashmali modda konsentratsiyasi muvozanat vaziyatdagi suyuqlik balandligiga proporsional bo‘ladi.

Vant Goff formulasi osmotik mashina yordamida oshiriladigan maksimal ish formulasi uchun noaniq empirik faktni tushuntirib beradi. Tasavvur qilaylik, hajmning o‘ng tomonidagi aralashma ikki marta orttirilsin. Butun oqim bo‘yicha porshen yuklanishga ega bo‘ladi. Tizimdan butun mumkin bo‘lgan maksimal ishdan xolos bo‘lish uchun oqimni butunlay to‘xtatmasdan uzluksiz ravishda yuklanishni boshqarish kerak bo‘ladi.

Topshiriq

*5.46-tenglamadan foydalangan holda yuklanishga qarshi porshening maksimal natijaviy qiymatini toping, qiyoslang va doimiy proporsional qiymatni toping*

Baholash. Osmotik bosimning haqiqatdan ham hujayralar dunyosi uchun muhim ekanligini baholang. Faraz qilaylik, hujayraning hajmi 30 % konsentratsiyali oqsildan iborat va radiusi 10 nm sfera shaklida bo‘lsin (bundan keyin hujayrani 0.3 hajmli deb hisoblaymiz). Bunda qizil qonli hujayra gemogloblin bilan to‘yingan bo‘ladi. 5.46-tenglamadagi konsentratsiyani toppish uchun bitta oqsil hajmini 0.3 miqdordagi hajmli oqsil deb hisoblaymiz.

$$0.3 = c \times \frac{4\pi}{3} (10^{-8}m)^3 \quad (5.47)$$

Bunda  $C \approx 7 \cdot 10^{22} \text{ m}^{-3}$ . Bunda bir litrda bir mol konsentratsiyani quyidagicha hisoblaymiz:  $N_{\text{mole}}/(10^{-3} \text{ m}^3)$ . Biz 1 mol/L bir molyar massani  $M=\text{mol/L}$  ko‘rinishda yozamiz. Eslatib o‘tamizki, bu kitobda mol so‘zi Avagadro sonining sinonimi bo‘lib bundan  $c = 1.2 \cdot 10^{-4} \text{ m}$  ekanligini topamiz.

Shunday qilib, agar toza suvdagi hujayra harakatini to‘xtatsak, suvning ichki oqimi  $k_B T_c \approx 300 \text{ Pa}$  ga teng bo‘lgan bosimni to‘xtatish kerak bo‘ladi. Bu albatta atmosfera bosimidan ( $10^5 \text{ Pa}$ ) kichikroqdir. Ammo bu hujayra uchun katta hisoblanadi.

Faraz qilamiz, hujayraning radiusi  $R = 10\mu\text{m}$  bo‘lsin. Ortiqcha ichki bosim membrana hujayrasini kuchlanishiga olib keladi: membrananing har bir qismi ikkinchi qismga qarab intiladi. Yuzadagi sirtida hosil bo‘lgan chiziqni tasavvur qilgan holda chiziqdan chap tomonda joylashgan membrana sirt taranglik  $\Sigma$  yordamida ma’lum uzunlik birligida membranani boshqa tomonga tortadi. Ammo membranani katta sirtga siljitish uchun  $A$  dan  $A+dA$  gacha ish bajarishimiz kerak. Agar  $l$  uzunlikdagi ikkita parallel chiziqlarni zich joylashtirsak va ular orasidagi masofani  $x$  dan  $x+dx$  gacha oshirsak, bajarilgan ish  $(l\Sigma) \cdot dx$  ga teng bo‘ladi. Bu ishga  $\Sigma \cdot dA$  ekvivalentdir, bunda  $dA = ldx$  yuzaning o‘zgarishi. Shunga o‘xshash, radiusini  $R$  dan  $R+dR$  gacha orttirilgan sferik shakldagi hujayrani tortish uchun u o‘zining yuzasini  $A = (dR) \frac{dA}{dR} = 8\pi R dR$  ga qadar oshirishi va energiyasining  $\Sigma \cdot dA$  ga teng bo‘lishi kerak. Xujayraning tortishi membranani harakatga keltiruvchi energiya qiymatiga yetganda erkin energiyaning kamayishini muvozanatga keltiradi. Natijaviy bosim esa  $p dV = p \frac{dV}{dR} dR = p 4\pi R^2 dR$  ga teng bo‘ladi. Bu  $\Sigma \cdot 8\pi R dR$  teskari qiymat sirt taranglikning muvozanatini anglatadi:

$$\Sigma = Rp/2 \text{ Laplas formulasi (5.48)}$$

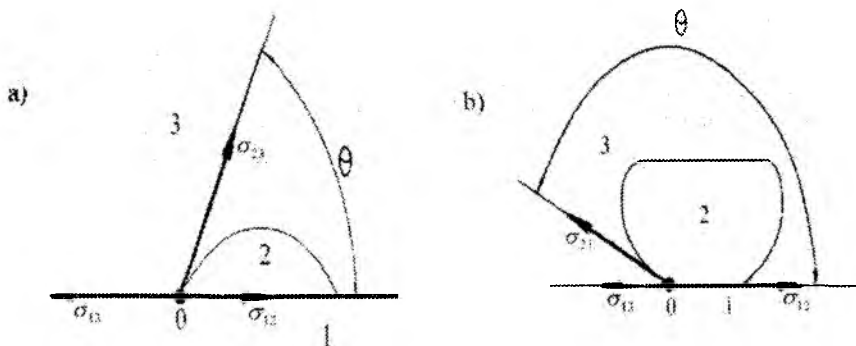
P kattalik uchun  $\Sigma = 10^{-5} \text{ m} \times 300 \text{ Pa} / 2 = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ N m}^{-1}$ . almashtirishni bajaramiz. Bu kuchlanish hujayrani o'ldirish uchun yyetarlidir. Shu sababli osmotic bosim hujayra uchun muhim hisoblanadi.

Yuqoridagi masala hattoki tuz eritmasidar tashlik topgan moddalarda jiddiy hisoblanadi. Bilayer membranasi natriy ionlarini va xloridlarni o'tkazmaydi. Bir  $\text{m}^3$  tuz eritmasi tarkibida taxminan 1027 ta ion mavjud. Umuman olganda, siz qizil qonli hujayrani toza suvga aralastira olmaysiz.

Philip Nelson. Biological Physics. Energy, Information, Life. 2008.Pp 248–251

### § 5.8. Ho'llash va ho'llamaslik. Kapillyar hodisalar

Ho'llash ta'sirlashuvchi muhitlarning yuzalaridagi molekularlar o'zaro ta'sir etuvchi kuchlar xarakteriga bog'liq. Ho'llovchi suyuqliklarda suyuqlik molekulari va qattiq jism molekulari orasidagi o'zaro tortishish kuchlari katta va suyuqlik qattiq jism bilan ta'sirlashuvchi yuzasini kengaytirishga intiladi. Ho'llamaydigan suyuqliklar molekulari bilan qattiq jism molekulari orasidagi tortishish kuchi suyuqlik molekulari orasidagi tortishish kuchidan kichik va suyuqlik qattiq jism bilan o'zaro ta'sirlashuvchi yuzasini qisqartirishga intiladi. 5.13-rasmdagi 0 nuqtaga uchta muhitning sirt taranglik kuchlari qo'yilgan va ularning yo'nalishi o'zaro ta'sirlashuvchi ikki muhit sirtiga urinma ravishda tasvirlangan. Ta'sirlashuvchi sirtlarni ifodalovchi chiziqlar  $\sigma_{12}$ ,  $\sigma_{13}$ ,  $\sigma_{23}$  mos ravishda sirt taranglik kuchlarining vektor ifodasidir.



5.13-rasm. Ho'llash va ho'llamaslik

Suyuqlik sirti bilan qattiq jism sirti orasiga o'tkazilgan urinma orasidagi burchak ( $\theta$ ) chegaraviy burchak deyiladi.

Tomchining muvozanat sharti (5.13 a rasm) qattiq jism sirtiga urinma yo'nalgan sirt taranglik kuchlarining yig'indisini nolga tengligi bilan ifodalanadi.

$$-\sigma_{13} + \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta = 0$$

$$\text{Bunda } \cos \theta = (\sigma_{13} - \sigma_{12}) / \sigma_{23}$$

Ushbu formuladan chegaraviy burchak o'tkir yoki o'tmas bo'lishligi  $\sigma_{12}$  va  $\sigma_{13}$  ning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Agarda  $\sigma_{13} > \sigma_{12}$  bo'lsa,  $\cos \theta > 0$  va  $\theta$  - burchak o'tkir, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llaydi. Agarda  $\sigma_{13} < \sigma_{12}$  bo'lsa,  $\cos \theta < 0$  bo'ladi va  $\theta$  - burchak o'tmas, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llamaydi. Agarda  $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$  bo'lsa, suyuqlik qattiq jism sirtiga to'lik yopishib ketadi. Bu holat to'liq ho'llash deb yuritiladi (masalan: kerosin shisha ustida). Agarda  $\sigma_{12} > \sigma_{13} + \sigma_{23}$  bo'lsa, suyuqlik tomchisi ta'sirlashish nuqtasida sirtini shar shaklida qisqartirishga intiladi va bu hodisa to'liq ho'llamaslik deb yuritiladi (masalan: parafin sirtidagi suv tomchisi). Ho'llash va ho'llamaslik ajoyib xususiyatga ega, ya'ni suyuqliklar biror jism sirtini ho'llasa boshqasini ho'llamaydi. Masalan: suv shishani ho'llaydi, ammo

parafinni ho'llamaydi. Simob shishani ho'llamaydi, ammo metallning toza sirtini ho'llaydi.

Agarda suyuqlik yuzasi yassi bo'lmasa, ya'ni egrilangan bo'lsa, u suyuqlikka qo'shimcha bosim beradi. Bu bosim sirt taranglik kuchiga bog'liqdir. Qo'shimcha bosimni aniqlash uchun suyuqlik erkin sirti radiusi  $R$  bo'lgan sferadan iborat deb hisoblaymiz. Egrilangan sirt uchun sirt taranglik kuchi hosil qiladigan qo'shimcha bosim

$$\Delta P = \frac{F}{S} = \frac{2\sigma\pi r^2}{R\pi r^2} = \frac{2\sigma}{R} \quad (5.49)$$

Agarda suyuqlik sirti botiq bo'lsa, qo'shimcha bosim quyidagicha ifodalanadi.

$$\Delta P = -2\sigma / R \quad (5.50)$$

Binobarin, suyuqlik sirti botiq bo'lgandagi bosim gaz bosimidan  $\Delta P$  ga kichik bo'ladi.

(5.49) va (5.50) har Laplas formulalarining xususiy hollaridir.

Agarda ingichka (kapillyar) bir uchuni keng idishga solingan suyuqlikka botirilsa, ho'llash yoki ho'llamaslik natijasida kapillyarda suyuqlik sirti egriligi sezilarli o'zgaradi.

Agarda suyuqlik kapillyar nayni ho'llasa, botiq menisk hosil bo'ladi, agarda ho'llamasa, qovariq menisk hosil bo'ladi.

Suyuqlik erkin sirti botiq bo'lganda (5.50) formula bilan ifodalanuvchi teskari qo'shimcha bosim hosil bo'ladi.

Bunday qo'shimcha bosim mavjudligi kapillyarda suyuqlik ko'tarilishini ifodalaydi, vaholanki, yuzasi keng idish erkin yassi sirtida qo'shimcha bosim bo'lmaydi.

Agarda suyuqlik kapillyar devorini ho'llamasa, qo'shimcha musbat bosim kapillyarda suyuqlik pasayishiga olib keladi.

Kapillyarlarda suyuqlik ustunining balandligini o'zgarishi kapillyarlik hodisasi deyiladi.

Suyuqlik ustuni bosimi (gidrostatik bosim)  $\rho gh$  – bo'lganda kapillyarda suyuqlik ustuni balandligi  $h$  ga o'zgarishi qo'shimcha bosim bilan tenglashadi, ya'ni

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

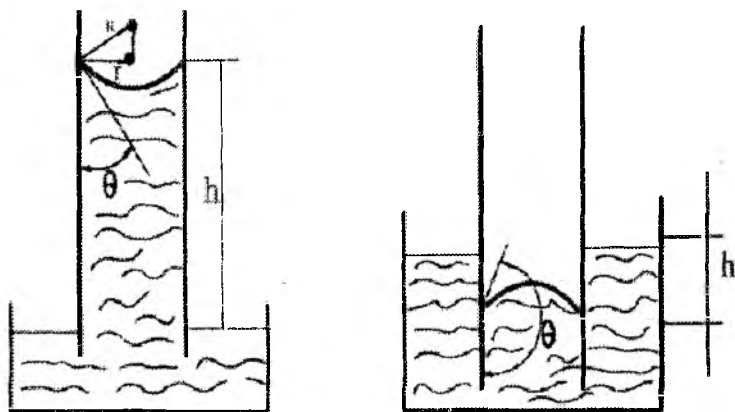
Bunda  $\rho$  - suyuqlik zichligi,  $g$  – erkin tushish tezlanishi.

Agarda  $r$  – kapillyar radiusi,  $\theta$  chegaraviy burchak bo'lsa 5.14-rasmdan ko'rinadiki  $2\sigma \cos \theta / r = \rho gh$  bo'ladi. Bundan

$$h = (2\sigma \cos \theta) / (\rho gr)$$

Ushbu formuladan ho'lovchi suyuqliklar kapillyardan ko'tariladi, ho'llamaydigan suyuqliklar pasayadi.  $\theta < \frac{\pi}{2}$  ( $\cos \theta > 0$ )

bo'lganda  $h$  – musbat qiymat,  $\theta > \frac{\pi}{2}$  ( $\cos \theta < 0$ ) da  $h$  – manfiy qiymat oladi. Formuladan yana shu narcha ko'rinadiki, suyuqlik ko'tarilishi yoki pasayishi balandligi kapillyar radiusiga teskari proporsionaldir. Ingichka kapillyarlarda suyuqlik yyetarlicha balandlikka ko'tarilishi mumkin. Masalan: tuproq va o'simliklarda namlik almashinishi ingichka kapillyarlarda suyuqlik ko'tarilishiga asoslangan.



5.14-rasm. Kapillyarlik hodisasini ifodalovchi chizma

Ho‘llanuvchi naylarda nisbatan kichik namliklarda ham kapillyar kondensasiya yuz beradi. Shu tufayli g‘ovak moddalar bug‘ tarkibidagi deyarli ko‘p miqdordagi suvni ushlab qoladi, bu esa zax uylarda ich kiyimlarning, paxtaning namlanishiga olib keladi, gigroskopik jismlarning esa quritilishini qiyinlashtiradi, tuproqda namlikni saqlashga imkoniyat yaratadi va hokazo. Ho‘llamaydigan suyuqliklarda esa aksincha, g‘ovak jismlarga suyuqlik o‘ta olmaydi.

Suyuqlikli kapillyar nayda havo pufakchalarining holatini ko‘rib chiqaylik. Agar havo pufakchasining turli tomonida suyuqlik bir xilda ta’sir ko‘rsatayotgan bo‘lsa, havo pufakchasi ikkala tomoni ham bir xil egrilik radiusiga ega bo‘ladi. Agar pufakchaga tomonlardan biri ortiqroq bosim bilan ta’sir etsa, masalan, suyuqlik harakatida menisklar deformatsiyalanadi va ularning egrilik radiuslari o‘zgaradi, havo 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 tizimida ham yuz berishi mumkin.

Qonga kirib qolgan havo pufakchalari kichik qon tomirlarini to’sib qolishi va birorta organning qon bilan ta’minlanishidan mahrum etishi mumkin. Gaz emboliyasi deb ataladigan bu hodisa natijada jiddiy funksional shikastlanishga yoki hatto letall (o‘lim) ga olib kelishi mumkin. Gaz emboliyasi yirik venalar jarohatlanganda hosil bo‘lishi mumkin; bunda qon oqimiga kirib qolgan havo pufakchasi qonning harakatlanishiga to’sqinlik qiladi. Vena tomirlari ichiga turli xil dorivorlar quyishda havo pufakchalari kirib qolmasligi lozim.

G‘avvoslar juda katta chuqurlikdagi suv ostidan tezlik bilan suv sathiga chiqarilganda ularning qonidan gaz ajralib chiqib, pufakchalar paydo bo‘lishi, uchuvchilarda va kosmonavtlarda juda yuqori balandliklarda kabinalari va skafandrlarining germetikligi

ishdan chiqishida gaz emboliyasi yuz berishi mumkin. Bu hol qon tarkibidagi suyultirilgan gazlarning, atrofdagi atmosfera bosimining keskin kamayishi tufayli erkin holga, ya'ni gaz holatiga o'tishidir. Qon tarkibidagi gazlar bosimining asosiy qismini azot tashkil etganligi tufayli bosimning keskin kamayishida gaz pufakchalarining qonda paydo bo'lishida ham azot yyyetakchi rolni o'ynaydi, chunki u organizm va uni o'rab olgan havo bilan gaz almashinuvi jarayonida ishtirok etmaydi.

### **§ 5.9. Tirik organizmda issiqlik almashinishining biofizik asoslari**

Ma'lumki, parrandalar va sut emizuvchilar atrof-muhit harorati o'zgarsa ham tana haroratini doimiy saqlab turadi. Buning uchun quyidagi shart bajarilishi kerak, issiqlik yo'qotish issiqlik hosil bo'lishiga teng bo'lishi kerak. Hayvon ichida yuzaga kelgan issiqlik teriga qisman to'qimalar orqali atrof-muhitga chiqariladi. Issiqlik almashinish jarayoniga quyidagi tashqi faktorlar ta'sir ko'rsatadi: havo harorati, konveksiya, nurlanish va boshqalar. Havo uchun issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti  $0,024 \text{ Vt/m.K}$ . Yog' to'qimasi uchun  $0,025$ , metall uchun  $40-400 \text{ Vt/m.K}$ . Tevarak atrof muhit haroratining ko'tarilishi, ya'ni havo va tana haroratlari orasidagi farqning kamayishi, issiqlik o'tkazuvchanlikning oshuvini talab qiladi. Aksincha, havoning ancha past harorati issiqlik o'tkazuvchanlikni ma'lum chegarada o'zgartirishi mumkin. Buning uchun tana sirtiga qonning oqib kelishini o'zgartirish yoki tashqariga qaraganda tana qismlarining sirtini oshirish bilan (qo'l-oyoqlarning jun bilan qoplangan qismini ochish) teriga qonning oqib kelishini cheklash tananing ichki qismidan issiqlikning yuzaga chiqishini chegaralaydi. Junni va patni o'stirish issiqlik himoyalashni kuchaytiradi. Tanani gujum qilish uning ochiq qismi sirtini kamaytiradi va shu bilan issiqlik yo'qotishni kamaytiradi. Havo isiganda tovuqlar, kabutarlar qanotini yoyishadi. Bu usul ham ma'lum darajada samara beradi. Harorati ma'lum qiymatdan past



bo'lgan hayvonlar o'z haroratini issiqlik vujudga keltirishini oshirishi tufayli saqlab turadi. Tirik organizmdagi to'qimalar issiqlik o'tkazuvchanligi turlichadir. Bu esa organizmning issiqlik rejimi uchun muhimdir. Muskul to'qimasining ancha katta issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lishi ( $0,5 \text{ Vt/m}\cdot\text{K}$ ) issiqlik tezda ichki organlardan tashqi organlarga o'tkazilishiga yordam beradi. Masalan, tashqi muhit sovuq bo'lganda yog' qatlami issiqlikning chiqib ketishiga to'sqinlik qiladi. Shu sababli sovuq yurtlarda yashovchi hayvonlar ancha katta teri osti yog' qatlamiga ega. Masalan, pingvinning teri osti yog' qatlami massasi 10–15 kg ga teng bo'lib, uning o'zining massasi 30–35 kg. Xuddi shunday jun qatlami qalinligi ham katta rol o'ynaydi.

Organizmda issiqlik muvozanatini aniqlovchi to'rt xil mexanizm mavjud. Bularidan biri issiqlik o'tkazuvchanlikdir. Issiqlik o'tkazuvchanlikda atom, molekula yoki erkin elektronlar o'zlarining kinetik energiyasini kichik energiyali zarrachalarga beradi. Issiqlik o'tkazuvchanlik har xil jismlarda har xildir.

Issiqlik o'tkazuvchanlikni harakterlovchi kattalik issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentidir. Quyidagi jadvalda ba'zi moddalar issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentlari keltirilgan.

5.2-Jadval

T/r	Modda	$\chi, \text{Vt/m}\cdot\text{K}$
1	Quruq havo	0,024
2	Jun mato	0,025
3	Yog' to'qimasi	0,17 – 0,21
4	Odam epidermisi	0,25
5	Muskul to'qimasi	0,50
6	Suv	0,585
7	Metall	40 dan 400 gacha

Jadvaldan ko‘rinadiki eng yaxshi issiqlik o‘tkazuvchi modda bu metallidir. Unda issiqlikni katta harakatchanlikka ega bo‘lgan elektronlar tashiydi. Gazlar esa eng kichik issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega. Tirik organizmda to‘qimalar turli issiqlik o‘tkazuvchanlikka ega. Eng yaxshi issiqlik o‘tkazuvchanlikka muskul to‘qimalari ega bo‘lib unda qon o‘tuvchi tomirlar ko‘p bo‘lib, ichki organlardan tashqariga issiqlikni tezda chiqaradi va organizmni ortiqcha isib ketishdan saqlaydi. Aksincha, tashqi muhit harorati past bo‘lganda yog‘ to‘qimalari issiqlikning tashqariga chiqib ketishiga to‘sqinlik qiladi. Shu sababli shimolda yashovchi hayvonlar yog‘ qatlami qalin bo‘ladi.

Issiqlik konveksiya yo‘li bilan ham uzatilishi mumkin. Ayniqsa, gaz va suyuqliklarda bu yaxshi namoyon bo‘ladi. Sovuq qatlamlar pastga qarab, issiq qatlamlar esa yuqoriga qarab harakat qiladi. Konveksiya vaqtida beriladigan issiqlik oqimi intensivligi yuza harorati farqiga proporsionaldir.

$$I_0 = L(T_{\infty} - T_{\gamma}) \quad (5.51)$$

Bunda  $L$  – konveksiya vaqtidagi issiqlik uzatish koeffitsiyenti,  $T_{\infty}$ -yuza harorati,  $T_{\gamma}$ -moddaning o‘rtacha harorati.

Konveksiya koeffitsiyenti tashqi muhit bosimi oshishi hamda havo tezligiga proporsional oshib boradi. Konveksiya ham issiqlik o‘tkazuvchanlik kabi harorat past tomonga qarab yuz beradi. Agarda atrof-muhit harorati hayvon haroratiga teng yoki yuqori bo‘lsa, u holda konveksiya va issiqlik o‘tkazuvchanlik issiqlik oqimi yuzaga keltiradi. U esa organizm ichiga yo‘nalgan bo‘lib, ma’lum sharoitda organizmning o‘ta isishiga va hayvonning halok bo‘lishiga olib keladi (oftob urishi).

Har qanday atom va molekula elektromagnit energiya nurlaydi va o‘zi bilan ichki energiyaning bir qismini olib ketadi. Ichki energiya oshishi bilan nurlanish intensivligi ham oshib boradi.

Xuddi shunday moddaga tushgan nurlanish uning haroratini oshiradi. Muhim tomoni nurlanish havosiz joyda ham tarqalish

xususiyatiga ega. Issiqlik nurlanishi har qanday haroratda har qanday jismda yuz beradi.

Agarda hayvon terisi harorati  $T_T$  va havo harorati  $T_h$  – desak u holda natijaviy issiqlik oqimi intensivligi

$$I_{quvvur} = \varepsilon \sigma (T_T^4 - T_x^4) \quad (5.52)$$

Bunda  $\sigma$  - Stefan-Bolsman doimiysi,  $\varepsilon$  - dielektrik kirituvchanlik. Issiq qonli hayvonlar uchun issiqlik uzatish 50 – 60% gacha boradi.

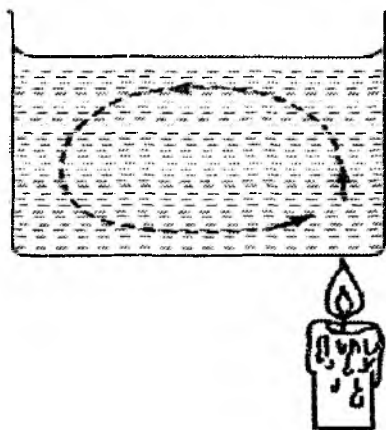
Organizmdan ko'p miqdordagi issiqlik bug'lanish orqali chiqib ketadi. Masalan, odam nafas chiqarish bilan sutkasiga 0,35 kg va normal terlashda 0,5kg suvni chiqarib yuboradi. Agar suvning solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligini  $2,52 \cdot 10^6 J/kg$  desak, u holda bo'g'lanish orqali yo'qotiladigan issiqlik  $0,85 \cdot 252 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 J$  Bu esa organizmdagi issiqlik zaxirasining 30% ni tashkil qiladi. Bug'lanish tashqi haroratga va namlikga bog'liq bo'ladi. Yerdagi hayvonlar uchun muhitning normal namligi 40 – 50% ga teng. Katta namlikda bug'lanish sekinlashadi va demak, issiqlik ajratishni ham kamaytiradi va organizmning ortiqcha isishiga olib keladi. Shu sababli odamlarning namlik katta bo'lgan subtropik hududlarda yashashi qiyin. Namlik 40%dan kam bo'lsa, organizm ko'p suyuqlikni yo'qotadi. Shu sababli normal namlikni molxonalarda saqlashga harakat qilish kerak.

Issiqlik yo'qotish fiziologik jarayon aktivligiga ham bog'liqdir. Masalan, bir kunda 12 litr sut beradigan sigir  $1m^2$  tanasidan soatiga 190 g suv bug'laydi ( $4,6 \cdot 10^5 J$ ), agarda bir kunda 25 litr sut bersa – 290 g ( $7 \cdot 10^5 J$ ) suv yo'qotadi.

Bizga ma'lumki, agarda suvda cho'milganda qaltirasak, u holda issiqlik mahsuldorligimiz oshadi, chunki himoyalovchi mexanizm yetishmaydi. Katta jonivorlar ancha qulay sharoitda bo'ladi.

Birinchidan, ularning tana sirti hajmiga nisbatan kichik bo'lsa, ikkinchidan, ularning juni ancha qalin bo'ladi. Shu sababli tana o'lchami kamayishi bilan issiqlik o'tkazuvchanlik issiqlik mahsuldorligiga qaraganda tez kamayadi. Natijada katta hayvonlar past haroratlarga chidamliroq bo'ladi. Kichik hayvonlar pulsi katta bo'ladi.

Molxonalarda tashqi harorat –  $25^{\circ}\text{C}$  bo'lganda ichkarida harorat  $10^{\circ}\text{C}$ , namlik maksimal 85%, minimal 40% bo'lishi kerak. Agar harorat pasaysa va namlik oshsa, u holda sigirlar suti 30–40%, semirish darajasi 40–50% gacha kamayadi. Qish vaqtida havo almashtirilib turilishi kerak. 100 kg massaga  $17\text{ m}^3$ /soat bo'lishi kerak. Shamol tezligi uncha katta bo'lmasligi kerak, ya'ni 0,5 m/s dan 1 m/s gacha, tovuqxonalarda esa 1 kg og'irlik uchun  $0,7\text{ m}^3$ /soat havo almashtirish zarur. Quyidagi rasmda suv to'ldirilgan menzurkada konveksiya hodisasining kyechish jarayoni tasvirlangan. Konveksiya atmosfera va okeanda issiqlik almashinishida muhim mexanizm hisoblanadi.



**5.15-rasm. Konveksion oqimni ifodalovchi chizma**

**Tayanch iboralar:** diffuziya, gradiyent, konveksiya, impuls, termos, kopilyar, lipid.

## Xulosalar

Ko'chish hodisalarni bilish tirik organizmda va atrof muhitda bo'layotgan jarayonlarni to'liq tushinish uchun muhim hisoblanadi. Tirik organizmda ovqatning hazm bo'lib energiyaga aylanishi, organizmni kislorod bilan ta'minlash diffuziya tufaylidir. Issiqlik mahsuldorlikni aniqlash, uni doimiy saqlash, chorva mollari samaradorligini oshirishda muhim rol o'ynaydi. Molxona va parrandaxonalarda haroratni doimiy saqlash, ularni shamollatib turish ham juda muhim masala hisoblanadi.

## Test savollari

1. Keltirilgan formulalarning qay biri diffuziya (Fik) qonunini ifodalaydi?

a)  $F = ma$

b)  $M = D \frac{ds}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c)  $Q = \kappa \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

d)  $F = \eta \frac{d\vartheta}{dx} \cdot S$

2. Diffuziyada qaysi fizik kattalik ko'chadi?

a) energiya;

b) harorat;

c) impuls;

d) massa.

3. Quyidagi formulalarning qaysi biri issiqlik o'tkazuvchanlik (Furye) qonunini ifodalaydi?

a)  $D = \frac{1}{3} \cdot \bar{v} \cdot \bar{\ell}$

b)  $M = D \frac{dq}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c)  $Q = K \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

d)  $F = \eta \cdot \frac{d\mathcal{G}}{dx} \cdot S$

4. Issiqlik o'tkazuvchanlikda qaysi fizik kattalik ko'chadi?

- a) tezlik;
- b) zichlik;
- c) energiya;
- d) massa.

5. Issiqlik o'tkazuvchanlik hodisasi sodir bo'lishi uchun qaysi fizik kattalikning gradiyenti mavjud bo'lishi kerak?

- a) zichlik;
- b) harorat;
- c) to'liq;
- d) energiya.

6. Hayvonlardagi jun qatlamining asosiy vazifasi nimadan iborat?

- a) issiq va sovuqdan himoya qilish;
- b) sovuqdan himoya qilish;
- c) issiqdan himof qilish;
- d) tabiat in'omi.

7. Ichki ishqalanish (Nyuton) formulasini ko'rsating?

a)  $M = D \frac{dq}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

b)  $Q = K \frac{dT}{dx} \cdot S \cdot \Delta t$

c)  $F = \eta \frac{d\mathcal{G}}{dt} \cdot S$

d)  $D = \frac{1}{3} \bar{g} \cdot \bar{\ell}$

8. Yopishqoqlik koeffitsiyenti SI tizimda qanday birliklarda o'lchanadi?

- a) Puaz
- b) Pa s.
- c)  $kg/m \cdot s$
- d)  $m/s^2$

9. Ko'chishning qanday turlarini bilasiz?

- a) issiqlik o'tkazuvchanlik;
- b) diffuziya;
- c) ichki ishqalanish;
- d) hammasi to'g'ri.

10. Quyidagi formulalardan qay biri Vant-Goff qonunini ifodalaydi?

a)  $\rho = qgh$

b)  $\rho = \frac{cRT}{M}$

c)  $\rho = \sigma \frac{RT}{V}$

d)  $\rho = \frac{3}{2} n_0 \overline{W}$

11. Sirt taranglik koeffitsiyenti deb nimaga aytiladi?

- a) yuza birligiga ta'sir etuvchi kuchga;
- b) kontur uzunligiga ta'sir etuvchi kuchga;
- c) yerning tortish kuchiga;
- d) og'irlik kuchiga.

12. Yog' to'qimasi issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti qiymatini ko'rsating?

a)  $0,024 \frac{Vt}{m \cdot K}$

b)  $0,025 \cdot \frac{Vt}{m \cdot K}$

c)  $40 \frac{Vt}{m \cdot K}$

d)  $10 \frac{Vt}{m \cdot K}$

13. Qish vaqtlarida molxonalarda 100 kg massali mollar uchun necha metr kub havo almashtirish zarur?

- a)  $7 \text{ m}^3/\text{soat}$
- b)  $17 \text{ m}^3/\text{soat}$

c)  $27 \text{ m}^3/\text{soat}$

d)  $3 \text{ m}^3/\text{soat}$

14. Issiqlik muvozanati nima?

a) tizimga berilgan issiqlik miqdori;

b) tizimga kelgan va sarf bo'lgan energiyalarning tengligi;

c) tizim va tashqi muhit haroratlarining tengligi;

d) tizimning sarf qilgan energiyasi.

15. Jyuren formulasini ko'rsating?

a) 
$$h = \frac{2\delta \cos \alpha}{pgr}$$

b) 
$$\Delta p = \frac{2\delta}{r}$$

c) 
$$p = pgh$$

d) 
$$p = \frac{CRT}{M}$$

### Sinov savollari

1. Ko'chish hodisasini ta'riflang?

2. Ko'chish hodisasining qanaqa turlarini bilasiz?

3. Fik, Furye va Nyuton qonunlarini tushuntiring?

4. Biologik tizimlar: o'pka, qon tomirlari, oshqozon, ichak va teri qatlamlarida ko'chish hodisasi qanday ro'y beradi?

5. Tirik organizmda issiqlik almashish jarayoni qanday ro'y beradi?

6. Konveksiya. Konveksion oqim nima?

7. Ko'chish hodisasi tirik organizm uchun qanday ahamiyatga ega?

8. Molxona va parrandaxonalarda namlik va harorat qanday bo'lishi kerak?

9. Hujayra membranasi mexanikasini tushuntiring?

10. Tirik organizmda issiqlik muvozanati qanday saqlanadi?



## VI bob. BIOLOGIK JARAYONLAR TERMODINAMIKASI

### § 6.1. Termodinamik jarayonlar va tizimlar

Organizmدا moddalar almashinuvi energiyaning bir turdan ikkinchi turga o'tish jarayonlari bilan birga davom etadi. Energiya va moddalar almashinuvi hayot faoliyatining asosida yotgan yagona jarayondir. Tirik organizm oziq moddalarning kimyoviy energiyasini sarflaydi va energiyaning shu turini organizm tomonidan bajariladigan barcha ish jarayonlari energiyasiga aylantirib ortiqcha miqdordagi issiqlikni tashqariga chiqaradi.

Termodinamika – energiyani bir turdan ikkinchi turga o'tishini, ya'ni energiya transformasiyasini o'rganadigan fizikaning bo'limidir. Termodinamik tizim deyilganda ichida ro'y beradigan jarayonlarni o'rganib chiqish osonroq bo'lishi uchun atrofdagi fazodan shartli ravishda ajratib qo'yilgan jism yoki jismlar yig'indisi tushuniladi. Tizimning holati esa barcha fizik va kimyoviy xossalarga bog'liq bo'ladiki, bu xossalarning o'zgarishi tizim holatining o'zgarishiga olib keladi.

Tizim holatining ana shunday parametrlari jumlasiga harorat  $T$ , bosim  $P$ , hajm  $V$ , massa  $M$ , ichki energiya  $U$ , konsentrasiya  $C$ , entropiya  $S$  va boshqalar kiradi.

Mana shu parametrlardan birortasi o'zgarganda tizim holatining o'zgarishi termodinamik jarayon deb yuritiladi. Termodinamik jarayon bir qancha kattaliklarni ichki energiya o'zgarishi, erkin energiya o'zgarishi, reaksiyalarning issiqlik effekti va boshqalarni xarakterlab beradi. Termodinamik tizimlar izohyasiyalangan (alohida) yopiq va ochiq tizimlarga bo'linadi.

Izolyasiyalangan tizimlar shunday tizimlarki, ular tashqi muhit bilan energiya bilan ham, modda bilan ham almashinilmaydi. Ularda energiya va massa o'zgarmay qoladi. Yopiq tizimlar tashqi muhit bilan faqat energiya almashinib turadigan tizimlardir. Bunday tizimlarning massasi doimiy bo'ladi-yu, lekin energiyasi o'zgarib turishi mumkin. Atrofdagi muhit harorati ko'tarilganda atrofdan issiqlik oladigan muhit harorati pasayganda esa issiqlik chiqaradigan har qanday jismni yopiq tizim deb qarash mumkin, yopiq tizim unga

tashqi muhitdan o'tgan energiya hisobiga yoki o'zining ichki energiyasi hisobiga ish bajaradi.

Ochiq tizimlar – boshqa tizimlar bilan modda ham, energiya ham almashina oladigan tizimlardir, ya'ni bunday tizimlarda massa ham energiya ham o'zgarib turadi.

Tirik organizmlar ochiq termodinamik tizimlar jumlasiga kiradi, chunki ularning o'ziga xos xususiyati atrofda muhit bilan modda va energiya almashinib turadi. Biroq tirik organizmlarni faqat ochiq tizimlar deb qarash uncha to'g'ri emas, chunki ular beshta asosiy belgisi bilan boshqa ochiq tizimlardan farq qiladi:

- tirik organizmlar oqsil jismlarning tirik organizmda tashkil qiluvchi boshqa moddalar bilan birgalikda alohida yashash shaklidir;
- ular o'z-o'zidan ko'payish qobiliyatiga ega;
- tirik organizmlar o'z-o'zidan rivojlanish qobiliyatiga ega;
- tirik tizimlarda polyarizasion sig'imning mavjudligi;
- tirik tizimlar molekulalarining disimmetrikligi.

Tirik organizmlarda ro'y berib turadigan energetik jarayonlar ham xuddi tirikmas tizimlarda bo'ladigan energetik jarayonlar singari termodinamikaning umumiy qonunlariga bo'ysunadi. Termodinamika energiyaning bir turdan ikkinchi turga aylanish jarayonlariga bo'ysunadigan asosiy qonunlarini belgilab beradi.

Termodinamika jismlarning mikroskopik tuzilishini hisobga olmagan holda, ular orasida energiya almashinuvi mumkin bo'lgan tizimlarni qarab chiquvchi fizika bo'limidir. Termodinamik tizimning holati asosan bosim, hajm, harorat kabi fizik kattaliklar bilan aniqlanadi. Shu sababli umumiy holda  $f(PVT) = 0$  termodinamik tizimning holat tenglamasi deyiladi. Tizimning bir holatdan ikkinchi holatga o'tishiga termodinamik jarayon deyiladi. Energiya bir jismdan ikkinchi jisimga ikki xil usulda o'tadi, ya'ni ish bajarganda va issiqlik almashganda.

Agarda termodinamik tizim tashqi muhit bilan modda almashinuviga (energiya va impuls) ega bo'lsa, bunday tizimga ochiq termo-dinamik tizim deyiladi.

Agar termodinamik tizim tashqi muhit bilan modda almashmasa, bunday tizimga yopiq termodinamik tizim deyiladi.

Agar tizimga berilgan energiya va sarf bo'lgan energiya o'zaro teng bo'lsa, bu holga issiqlik muvozanati holati deyiladi.

Har bir oziq- ovqatning kalloriyaligi mavjud: Masalan, oqsil 24,3 MJ/kg, uglevodlar 17,6 MJ/kg, yog'lar 38,9 MJ/kg. Ana shular hisobida organizmda issiqlik muvozanati saqlanadi. 6.1 – jadvalda odam organizmi issiqlik muvozanatini keltiramiz.

6.1-jadval

Issiqlik kelishi	$Q$ kJ	Issiqlik sarfi	$Q$ kJ
Oqsil(56,8 g)	993	Issiqlik chiqishi	5757
Yog'lar(140 g)	5476	Gaz chiqarish	180
Uglevodlar (79,9)	1404	nafas chiqarish	758
		tanadan bug'-lanish	951
		turli tuzatishlar	46
Jami	7873	Jami	7788

### § 6.2. Biologik tizimlarda energiyaning saqlanish qonuni

Biologik tizimlar ochiq tizimga kiradi, chunki tashqi muhitdan qabul qilingan mahsulot hisobiga organizm rivojlanadi va yashaydi, ya'ni modda almashinuvi doimo yuz berib turadi. Umuman, tirik organizm stasionar holatda bo'lmaydigan rivojlanuvchi tizimdir. Ammo odatda kichik vaqt oralig'ida biologik tizimlar holatini stasionar holat deb olish mumkin. Stasionar holatda bo'lganda tizimning turli qismlaridagi parametrlarning qiymatlari odatda bir-biridan farq qiladi: odam tanasining turli qismlari harorati, biologik membrananing turli qismlaridagi diffuziyalanuvchi molekular konsentratsiyasi va hokazolar. Shunday qilib, tizim ayrim parametrlarining gradiyenti doimiy tutib turiladi, shu sababli kimyoviy reaksiyalar o'zgarish tezlik bilan o'tishi mumkin. har qanday real termodinamik tizim ochiq tizimdir, lekin ma'lum vaqt oralig'ida ideal model yopiq tizim deb olish mumkin. Yopiq tizimning atrofidagi jismlar bilan o'zaro ta'sirini batafsilroq qarab chiqamiz. Issiqlik jarayonlari uchun energiyaning saqlanish qonuni termo-dinamikaning birinchi qonuni kabi ta'riflanadi.

Tizimga berilgan issiqlik miqdori tizimning ichki energiyasining o'zgarishiga va tizim bajaradigan ishga ketadi.

$$Q = \Delta U + A \quad (6.1)$$

Biz tizimning ichki energiyasi deganda, uni tashkil etuvchi zarrachalarning kinetik va potensial energiyalari yig'indisi tushuniladi. Ideal gaz molekullari o'zaro ta'sirlashmaydi, shuning uchun uning potensial energiyasi nolga teng.  $U$  holda  $U = E$  bo'ladi. Ichki energiya tizimning holat funksiyasi bo'lib, berilgan holat uchun ma'lum qiymatga ega bo'ladi.

$$\Delta U = U_2 - U_1 \quad (6.2)$$

Issiqlik miqdori va ish holat funksiyasi emas, balki jarayon funksiyasidir. Shu sababli  $\Delta U$  issiqlik miqdori  $\Delta$  siz yoziladi.

$Q$  va  $A$  ning juda kichik qiymatlari uchun

$$dQ = dU + dA \quad (6.3)$$

Agar gaz har biri  $i$  erkinlik darajasiga ega bo'lgan molekullardan iborat bo'lsa, u holda ichki energiya

$$U = \frac{i}{2} RT = C_v T \quad (6.4)$$

Bunda  $C_v = \frac{i}{2} R$  o'zgarmas hajmdagi issiqlik sig'imi.  $R$  - universal gaz doimiysi. Izojarayonlar uchun termodinamikaning birinchi qonuni tadbiq etilsa, agarda  $V = const$  bo'lganda, ya'ni gaz hajmi o'zgarmasa, u ish bajarmaydi. Demak, (6.3)ni

$$Q = \Delta U \text{ yoki } dQ = dU \quad (6.5)$$

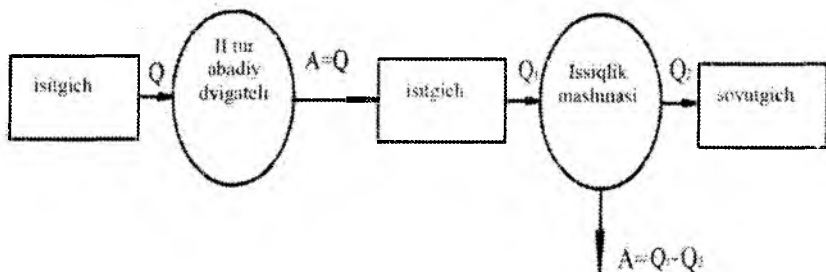
yuqoridagi kabi yozish mumkin, ya'ni izohorik jarayonda gazga berilgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasining oshirishga sarflanadi. Agarda  $P = const$ , bo'lsa, ya'ni izoharik jarayonda tenglama ko'rinishi (6.3) formula kabi bo'ladi. Agar  $T = const$ , ya'ni izohermik jarayonda  $Q = A$  yoki  $dQ = dA$  bo'ladi. Tashqi

muhit bilan issiqlik almashmasa, ya'ni  $dQ = 0$  adiabatik jarayonda bajarilgan ish ichki energiya o'zgarishi hisobiga bo'ladi.

$0 = A + \Delta U$  yoki  $A = -\Delta U$   $dA = -dU$  o'zgarish hajmdagi issiqlik sig'imidan tashqari  $Sr$  issiqlik sig'imi ham mavjud bo'lib, ular orasida oddiy munosabat bor, ya'ni bunga Mayer tenglamasi deyiladi.

$$C_p = C_v + R \quad (6.6)$$

Energiyaning saqlanish qonuni hisoblangan termodinamikaning birinchi qonuni jarayonlarning borishi mumkin bo'lgan yo'nalishlarni ko'rsatmaydi. Masalan, termodinamikaning birinchi qonuniga binoan issiqlik almashinishda issiqlikning issiqroq jismdan sovuqroq jismga o'z-o'zidan o'tishi mumkin bo'lganidek, buning teskarisi, issiqlikning sovuqroq jismdan issiqroq jismga o'tishi mumkin. Lekin kundalik hayotda ikkinchi



6.1-rasm. Issiqlik mashinasining chizmasi

jarayon o'z-o'zidan yuz bermaydi. Masalan, xona ichidagi havoni sovitish hisobiga choynakdagi suv o'z-o'zidan isimaydi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni shu savollarga javob beradi. Termodinamika ikkinchi qonunning bir qancha ta'riflari mavjud.

1. Klauzius ta'rifi: issiqlik o'z-o'zidan harorati past jismdan harorati yuqori bo'lgan jismga o'ta olmaydi.

2. Tomson ta'rifi: ikkinchi tur abadiy dvigatel bo'lishi mumkin emas, 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, lekin bunda issiqlikning bir qismi albatta sovutgichga o'zatiladi.

Issiqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti quyidagi formula bilan hisoblanadi.

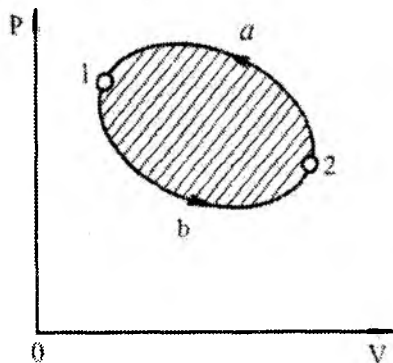
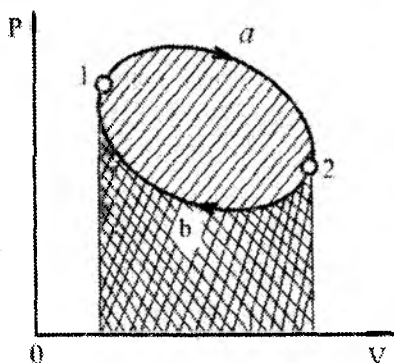
$$\eta = \frac{A}{Q_1} \quad (6.6)$$

### § 6.3. Ochiq tizimlar uchun entropiya

Ishchi modda tomonidan olingan yoki berilgan issiqlik miqdorining issiqlik almashinish jarayonidagi haroratiga nisbati keltirilgan issiqlik miqdori deyiladi, ya'ni  $\frac{Q}{T}$

Demak, kichik sikllar uchun ifodani yozish mumkin.

$$\oint d\frac{Q}{T} = 0 \quad (6.7)$$



6.2-rasm. Termodinamik tizimda bajarilgan ishni hisoblash chizmasi. Bunda P-bosim, V-hajm

Jarayon yoki ko'chishga bog'liq bo'lmagan fizik xarakteristikalar odatda tizimning vaziyatiga yoki boshlang'ich va oxirgi holatiga mos keluvchi biror funksiya ikki qiymatining ayirmasi kabi ifodalanadi. Qaytuvchi jarayon uchun keltirilgan issiqlik miqdorining yig'indisini tizim holatining entropiyasi deb ataluvchi biror funksiya ikki qiymatining ayirmasi kabi ifodalash mumkin:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T} \quad (6.8)$$

Bu yerda  $S_2$  va  $S_1$  tizimning oxirgi va boshlang'ich holatlariga mos keluvchi entropiyasi. Shunday qilib, entropiya tizimning holat funksiyasi bo'lib, ikki holat uchun entropiya qiymatlarining ayirmasi tizimning bir holatidan boshqa holatiga qaytuvchi o'tishlaridagi keltirilgan issiqlik miqdorlarining yig'indisiga teng. Molekulyar-kinetik nazariya bo'yicha entropiya tizim zarralari tartibsizligining o'lchovi deb olish mumkin. Tizimdagi tartibsizlik miqdoran termodinamikaviy ehtimollik  $W_{map}$  bilan xarakterlanadi.

Bolsman entropiyaning termodinamikaviy ehtimollikning logarifmiga proporsional ekanini aniqladi:

$$S = k \ln W_{map} \quad (6.9)$$

$k$  – Bolsman doimiysi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni birinchi qonunni to'ldirgani kabi, entropiya ham energiya tushunchasini to'ldiradi. Ochiq tizimning holati termodinamik muvozanatda tekshiriladi. Agarda termodinamik tizimning holati muvozanat holatidan ozgina farq qilsa, uni xuddi muvozanat holatidagiday parametrlar bilan xarakterlash mumkin. Bunday tizimning tartibsizlik darajasi entropiya bilan aniqlanadi. Ochiq tizimning entropiyasi muvozanat bo'lmagan holatda tizimga energiya va modda kelishi munosabati bilan entropiyasi oshadi. Termodinamikaning ikkinchi asosiga binoan yopiq izohyasiyalangan tizim entropiyasi oshib boradi va

o'zining maksimumiga intiladi. Ochiq tizimda esa doimiy entropiyali turg'un holat bo'lishi mumkin. Organizm – turg'un tizim uchun  $dS = 0$ ,  $S = const$ ,  $dS_i > 0$ ,  $dS_e < 0$  deb yozish mumkin. Bunda  $dS_i$  - tizimdagi qaytmas jarayonlar bilan bog'liq bo'lgan entropiyaning o'zgarishi  $dS_e$  - tizimning tashqi muhit jismlari bilan ta'sirlashuvi tufayli yuzaga kelgan entropiyaning o'zgarishi quyidagicha hisoblanadi.

$$dS = dS_i + dS_e \text{ yoki } dS_e = dS - dS_i < 0 \quad (6.10)$$

Bu esa tizimga o'tayotgan mahsulotdagi (modda va energiya) entropiya tizimdan chiqayotgan mahsulotdagi entropiyadan kichik ekanligini bildiradi.

Prigojin turg'un holat uchun entropiyaning minimumi hosil bo'lish prinsipini ta'riflab, ayrim funksiyalarning ekstremal qiymatlarini ko'rsatdi.

Organizm atrof-muhit entropiyasi izohyasiyalangan tizimdagi kabi ortib boradi, ammo bunda organizmning entropiyasi o'zgarmas saqlanib qoladi. Entropiya tizim tartibsizligining o'lchovidir. Shu sababli organizmning tartibliliigi atrof-muhit tartibliliigining kamayishi hisobiga saqlanadi.

Ayrim kasalliklar holatlarida biologik tizimlar entropiyasi oshishi mumkin ( $dS > 0$ ), bu turg'un holatning bo'lmasligi tartibsizlikning yo'qligi bilan bog'liq. Masalan, rak kasalliklarida hujayralarning tartibsiz ravishda ko'payib ketishi yuz beradi.

(6.10) ifodani quyidagi ko'rinishda yozish mumkin.

$$\frac{dS}{dt} = \frac{dS_i}{dt} + \frac{dS_e}{dt} \quad (6.11)$$

turg'un holat uchun esa

$$\frac{dS_i}{dt} = - \frac{dS_e}{dt} \quad (S = const \frac{dS}{dt} = 0) \quad (6.12)$$



Prigojin prinsipiga muvofiq  $\frac{dSi}{dt} > 0$  va minimaldir, demak  $\frac{dS}{dt}$

ham minimal qiymatga ega bo'ladi.

Bundan quyidagi xulosa chiqadi; atrof-muhit entropiyasining o'zgarishi organizmning turg'un holati saqlanib qolgan holda ham minimumga ega. Tirik tizimlar (hujayra, a'zolar, organizm) ishlab turishiing asosi – diffuzion jarayonlar biokimyoviy reaksiyalar, osmotik hodisalarning va hokazo shunga o'xshash jarayonlarning yuz berishi sharoitida turg'un holatini quvvatlab turishidan iboratdir.

#### § 6.4. Veterinariyada termodinamik davolash usullardan foydalanish

Tibbiyot va veterinariyada termodinamik davolash usullari keng qo'llanilmoqda. Organizmga sekinlik bilan qo'shimcha issiqlik berish bilan bir qancha kasalliklarni davolash mumkin. Buning uchun o'ziga issiqlik energiyani to'plab, so'ng asta-sekin beradigan materiallardan foydalaniladi. Masalan, jadvalda shunday moddalar keltirilgan.

6.2-jadval

Modda	$C_1$ kJ/kg · K	$\lambda_1$ Vt/m K
Suv	4,19	0,58
Loyqa	2,09	0,70
Torf	3,85	0,42
Parafin	3,23	0,23
Ozekrit	3,35	0,15

Bu usuldan qishloq xo'jalik hayvonlarini davolashda keng qo'llanilmoqda. Masalan, muskullar shamollashida, revmatizm kasalliklarida va hokazo. Parafin va ozekerit 85°C gacha isitilishi mumkin va u tanani kuydirmaydi, chunki tanaga tekkan qismi tezda 45°C gacha sovuydi va issiqlik o'tkazuvchanligi yomonligi sababli ichki qismlar harorati saqlanib asta-sekin tanaga beriladi. Parafin, ozekerit yordamida hayvonlarda mastit, ginekologik kasalliklarini davolashda keng qo'llaniladi.

Hayvonlarda tana haroratini doimiy saqlash xususiyati ularning gipotalamusida issiqlikni boshqaruvchi markazlarning borligi sababdir. Bunda uzatgichlar rolini teri va shilimshiq pardalarda joylashgan maxsus reseptorlar o'ynaydi. Tanada haroratning oshishi yoki pasayishida bu reseptorlarda seskanish yuz beradi va nerv tizimida issiqlik oqimini ichkariga yoki tashqariga yo'naltiradi.

Teri issiqlik almashishda (70%), asosiy rolni o'ynaydi shu sababli unga issiq yoki sovuq bilan ta'sir qilib issiqlik almashinishni boshqarish mumkin. Masalan, issiqlik ta'sirida ter chiqishi oshadi va bu issiqlik almashinishni yaxshilaydi va organizmdan zaharli moddalarning chiqib ketishini ta'minlaydi. Tanaga sovuqlik ta'sir qildirib og'riqni kamaytirish usuli ko'pchilikka ma'lum. Organizm sovuq qotganda qonning zichligi va yopishqoqligi ortadi. Davolash maqsadida o'zida issiqlikni uzoq vaqt saqlab qoladigan, katta solishtirma issiqlik sig'imiga ega bo'lgan moddalardan foydalaniladi. Masalan, suv yordamida vanna qabul qilish va boshqalar.

Torf va loyqa yordamida davolashda u nafaqat issiqlik ta'siri, balkim mexanik ta'siri ham mavjuddir. Bundan tashqari loyqa tarkibidagi ba'zi foydali kimyoviy elementlar ham teri orqali organizmga kiradi. Konveksiya yo'qligi tufayli uni ancha yuqori haroratgacha isitish mumkin. Tanaga tekkan qismi tezda tana haroratigacha soviydi, qolgan qismidagi issiqlik asta-sekin organizmga o'tadi.

Agar organizm tashqi muhit sharoitlarining o'zgarishida stasionar holatini saqlash imkoniyatiga ega bo'lmasa, bu holatdan chetlashsa, bu uning o'limiga olib keladi, chunki organizm bu vaziyatga tezda moslasha olmaydi, ya'ni sharoitning o'zgarishiga mos holda nisbatan tezlik bilan stasionar holatga o'ta olmaydi. Harorat har qanday fizik hodisaning asosini tashkil qiladi. Haroratni to'g'ridan-to'g'ri o'lchab bo'lmaydi. Ikki xil shkala mavjud. Selsiy – boshlang'ich nuqtasi muzning erish nuqtasi  $0^{\circ}\text{C}$  va suvning qaynash nuqtasi  $100^{\circ}\text{C}$ . Xuddi shunday absolyut harorat shkalasi boshlang'ich nuqta  $0\text{K}$ , ya'ni  $-273,15^{\circ}\text{C}$  bitta reper nuqtaga ega.

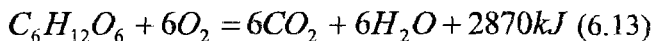
Harorat termometrlar yordamida o'lchanadi. Past harorat tibbiyotda tana ayrim qismlarini uzoq vaqt konservasiya qilish uchun ishlatiladi. Anestaziya xossasiga ega bo'lgan sovuq yordamida asab kasalliklariga tegishli bo'lgan odam bosh miyasidagi ayrim hujayralar yadrosini yo'q qilishda ishlatiladi. Masalan, parkinsonizm, mikrojarroxlikda nam to'qimalarning sovuq metall asboblarga yopishib qolishi usulidan foydalanib, bu to'qimalarni boshqa joyga ko'chirishda foydalaniladi. Krioterapiya, kriojarroxlik va shu kabi yangi terminlar yuzaga kelmoqda.

### **§ 6.5. Tirik organizmda issiqlik balansi**

Tirik organizm ochiq termodynamik tizim hisoblanadi. Unda haroratni doimiy saqlab turish uchun tashqi muhit va organizm o'rtasida issiqlik almashib turishi zarur. XVIII – asrda fransuz kimyogari Lavuazye tassavvuriga binoan hayot bu «sekin yonish» jarayonidan iborat, ya'ni nafas olishda havodagi kislorodning vodorod va uglerodga qo'shilish reaksiyasi tufayli energiya chiqishdan iboratdir. XIX asrda yashagan nemis olimi Mayer xulosalariga binoan tirik organizmdagi oksidlanish reaksiyasida energiya qisman issiqlikka aylanadi, bir qismi esa ishga sarf bo'ladi. Demak, Mayer birinchi marta termodinamikaning birinchi qonunini tirik organizmga qo'llash mumkinligini aytgan va shu bilan bioenergetikaga asos soldi.

Hamma hayotiy jarayonlar asosini organizm qabul qilgan oziq-ovqatlarning parchalanishi va organizmda energiyaning yuzaga kelishi, hamda issiqlik ajralishi tashkil qiladi. Organizm qabul qilgan va ajratgan issiqlikni taqqoslash kerak. Bu ishni Gess qonuniga asosan amalga oshirsa bo'ladi. Turli xil ketma-ket holatlardan o'tuvchi kimyoviy reaksiyadagi issiqlik effekti kimyoviy tizim boshlang'ich va oxirgi holatlar energiyalari farqiga bog'liqdir. Gess qonuni oziq-ovqatlar kalloriyaligini aniqlashda ishlatiladi. Organizmda yuz beradigan asosiy reaksiya, bu glyukozaning oksidlanish reaksiyasidir.

Agar 1 mol glyukozani (0,18kg) 6 mol kislorodga (134,4l) qo'shsak, u holda 6 mol CO<sub>2</sub> (0,288kg) va 2870 kJ issiqlik ajraladi.



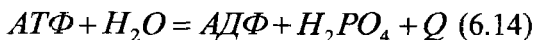
### Tirik organizmda energiya almashinuvi

6.3-jadval

T/r	Energiya almashinuvi turi	Energiya almashinadigan organizm qismi
1	Kimyoviy energiyaning mexanik energiyaga o'tish.	Muskul to'qimasida
2	Kimyoviy energiyaning elektr energiyasiga o'tishi.	Hamma to'qimalarda
3	Kimyoviy energiyaning yorug'lik energiyasiga o'tishi.	Hashoratlar va baliqlar terisida.
4	Yorug'lik energiyaning kimyoviy energiyaga o'tishi	Ko'z to'qimasidagi fotoreseptorlarda, teri to'qimasida, bakteriyalarda, o'simlik barglarida (fotosintez)
5	Akustik to'lqinlar mexanik energiyaning elektr energiyasiga o'tishi.	Quloq ichidagi, Korti organida
6	Hamma energiyaning issiqlik energiyasiga o'tishida	Hamma to'qima va hujayralarda.

Demak, organizm 1l kislorod yutishda yoki 1l karbonat angidrid chiqarishda  $2870/13,34 = 21,35$ kJ issiqlik chiqarar ekan. U holda har qanday jonzor uchun issiqlik chiqarishni 21,35 kJ ni yutgan kislorod yoki chiqargan karbonat angidridga ko'paytirish yo'li bilan aniqlash mumkin.

Issiqlik mashinasidagi kabi tirik organizmda ham oziq-ovqatlarning, ya'ni oqsil, uglevod va yog'larning hazm bo'lishida energiya ajralib chiqadi. Bundan tashqari o'simliklarda birlamchi energiya manbai bo'lib quyosh energiyasi hisoblanadi. Shu sababli karbonad angidrid va suvda uglevododlar hosil bo'ladi. Tirik organizmda energiyaning hosil bo'lishi murakkab biokimyoviy birikmalarda yuz beradi. Ulardan eng asosiysi adenzintrifosfor kislotadir (ATF). Bu birikma molekulasi adinin organik birikma, riobaza uglerodi va uchta fosfor kislotaga qoldig'idan iborat. Bular manfiy zaryadlangan bo'lib, ular orasida itaruvchi elektrostatik kuchlar ta'sir qiladi. ATF ning gidroliz paytida fosfat gruppining bog'lanishi susayadi va elektrostatik itarish kamayadi. Gidroliz tufayli hosil bo'lgan manfiy zaryadlangan radikallar o'z-o'zidan qayta hosil bo'lolmaganligi sababli  $H^+$  va  $OH^-$  eritma ionlariga qo'shilib ortofosfor kislotaga va adenzindifosfat (ADF) hosil qiladi. Demak, reaksiya sxemasi quyidagicha bo'ladi.



Qaytarilishda adenzinmonofosfat (AMF) hosil bo'ladi. ATF molekulasidagi mikroenergetik bog'lanish buzilishida 25 dan 33 kJ/mol chiqishga olib keladi. Oddiy murakkab efilarning gidrolizi vaqtida esa atigi 8 dan 12 kJ/mol energiya chiqadi xolos. Termodinamik nuqtai nazaridan ATF molekulari energiyasi ko'p bo'lgan tizim turiga kiradi. ADF molekulari esa kam energiyali tizimdir. ATFning sintezi mitoxondriya membranasida bo'ladi va fermentlar ta'sirida organik moddalar hazm bo'lishida ADF fosfor gruppalariga qo'shiladi.

To'qimalar turiga qarab ularda o'nlab, hattoki yuzlab mitoxondriyalar mavjuddir. O'simlik to'qimalarida ATF sintezi yorug'lik nuri ta'sirida hosil bo'ladi. Bu jarayon fotofosforlash deyiladi. Organik moddalarning sinteziga fotosintez deyiladi. Oziq ovqatlarning hazm bo'lishida hosil bo'ladigan energiya issiqlik ajratishga sabab bo'ladi. Bu issiqlikni shartli ikki turga bo'lish

mumkin, ya'ni birlamchi (asosiy) va ikkilamchi (aktiv). Birinchisi oziq-ovqat hazm bo'lishi bilan ajraladi va u organizmni isitishga sarf bo'ladi. Tanada 50% energiya mikroenergetik bog'lanishlarda to'planadi va uning yordamida hayotiy zarur ishlar bajariladi (yurak ishi, muskullar ishi va hokozo).

Patologik o'zgarishlarda mikroenergetik bog'lanishlar hosil bo'lishi susayadi va shu sababli birlamchi issiqlikning sarfini oshiradi, bu esa tana haroratining oshuviga olib keladi.

Issiqlikning ajralishi asosan muskullarda, ichki organlarda yuz beradi va u hayvon turiga, yoshiga, o'lchamiga, jinsiga va boshqalarga bog'liq bo'ladi. Umumiy ajratadigan issiqlik juda katta bo'lishi mumkin. Masalan, odam bir yilda 4 GJ issiqlik ajratishi mumkin.

1932-yilda M.Klayberning aniqlashicha hayvonlarining issiqlik mahsuldorligi, ya'ni birlik vaqt ichida ajralib chiquvchi issiqlik miqdori ( $Q_T = Q/t$ ) uning massasi  $M$  ga to'g'ri proporsional va quyidagi empirik formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$Q_T = kM^n \quad (6.15)$$

Bunda  $k$  – empirik koeffitsiyent,  $n$ –ko'rsatkich darajasi bo'lib, Klayber ma'lumoti bo'yicha 0,75 ga teng. Bu formulani logarifmlasak  $\lg Q_T = \lg k + n \lg M$ . Demak, logarifmik koordinatalarda bu bog'lanish to'g'ri chiziqli bo'ladi.

$q = \frac{Q_T}{Mt}$  – solishtirma issiqlik mahsuldorligi son jihatdan birlik

vaqt ichida hayvonning birlik massasi ajratib chiqaradigan issiqlik miqdoriga teng. A.I. Bexovskiy fikricha, tananing issiqlik mahsuldorligi tananing ikki a'zolarini hujayralarning o'zaro ta'siri va tananing barcha hujayralarining massasiga proporsionaldir, ya'ni uning umumiy massasi  $M$  tanani atrof-muhit bilan o'zaro ta'siriga, ya'ni tana yuzasiga to'g'ri proporsional yoki  $S = \sqrt[3]{M^2}$ . Shunday

qilib  $Q_T = aM + bM^{2/3}$ . Yuqoridagi formulalardan  $q = a + \frac{b}{3\sqrt{M}}$

ni hosil qilamiz, bunda  $a$  va  $v$  – doimiy kattaliklar bo‘lib, tajribalar natijasida aniqlanishicha gomoyoterm hayvonlar uchun  $a=41,9$   $kJ/kg \cdot kun$  va  $v=244$   $kJ/kg^{2/3} \cdot kun$  ga teng.

Tajribalarning ko‘rsatishicha, tana massasi oshishi bilan issiqlik mahsuldorligi kamayib boradi. Bu esa o‘lchamning kamayish bilan uning yuzasining hajmiga nisbati oshishiga olib keladi. Solishtirma yuza qancha katta bo‘lsa, tanadan atrof–muhitga sarflanadigan issiqlik ham shuncha katta bo‘ladi. Shu sababli tana haroratini saqlash uchun issiqlik mahsuldorligi ham katta bo‘lishi kerak. Buning uchun ko‘proq oziq-ovqat iste‘mol qilishi lozim bo‘ladi. Sayroqi mayda qushlar va kichik zararkunandalar bir kunda o‘z massasidan ko‘proq bo‘lgan ozuqani yeydi. Katta yirtqichlar esa o‘z massasini 5 – 8% gacha ozuqa iste‘mol qiladi.

Sovuq qonli hayvonlarda boshqa hayvonlarga nisbatan issiqlik mahsuldorligi 25 – 30-marta kamdir. Ularda tashqi muhit bilan issiqlik almashinish kam bo‘ladi, chunki tana harorati bilan tashqi muhit harorati farqi kichik bo‘ladi.

Issiqlik mahsuldorligi tufayli issiq qonli jonivorlarda tana harorati tashqi muhit haroratiga bog‘liq bo‘lmaydi. Faqat uzoq vaqt sovutish organizmning boshqa funksiyalarining zaiflashishi bilan bo‘lishi mumkin. Yurak va miya jarrohligi shunga asoslangandir. Sovuq qonli jonivorlarda tana harorati tashqi muhit haroratiga qarab chiziqli o‘zgaradi. Tashqi sharoit va fiziologik jarayonlar ma‘lum chegarada o‘zgargani uchun turg‘un haroratni saqlash uchun hayvon organizmi evolyusiya jarayonida tashqi muhit bilan issiqlik almashishni oshirish yoki kamaytirish yo‘li bilan tana haroratini ozroq oshirgan yoki kamaytirgan. Masalan, jonivor sovqotganda uning hujayrasida ATF gidrolizi tezligi oshadi va muskulga qo‘shimcha energiya keladi. Bu holdagi turli muskul tolalarining tartibsiz qisqarishini achitqi deyiladi. Bundan tashqari hayvonlarda

tuklar o'sadi va tuklar orasida havo qatlami kengayadi. Bu esa hayvon va tashqi muhit o'rtasida issiqlik almashinishni kamaytiradi. (Odamlar terisida "tovuq badan" tanachalar paydo bo'lishi).

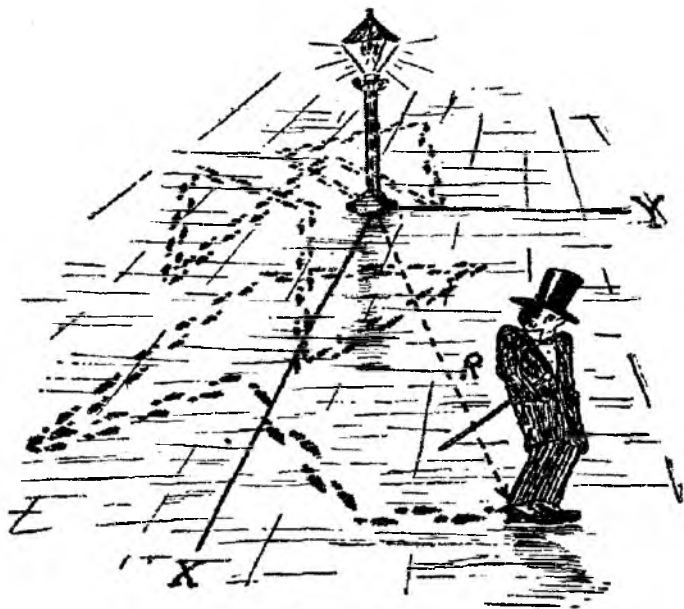
Tashqi muhit harorati oshsa, organizmda haroratni pasaytiruvchi markazlarning ishga tushishiga va natijada qon tomirining kengayishi, terlashning ko'payishi, nafas olishning qiyinlashuviga olib keladi.

Tana haroratini doimiy saqlab turishda gipotalamusdagi ikkita markaz muhim rol o'ynaydi. Ulardan biri unga keluvchi qon haroratining oshishiga reaksiya qilsa, ikkinchisi uning kamayishiga reaksiya qiladi. Ularning har birida haroratning o'zgarishi nerv impulsi yuzaga keltiradi va u ko'rsatilgan mexanizm bo'yicha haroratni tenglashtiradi. Bunda asosiy rolni (80%) yuqori issiqlik o'tkazuvchanlikka ega bo'lgan qon bajaradi. Qon chap yurak qorinchasidan itariladi, u "isitgich" orqali o'tadi, so'ng (tana yuzasi, o'pka) da tashqi muhitga issiqlikni beradi va qayta o'ng yurakga kelib tushadi.

### **§. 6.6. Tasodifiy ko'chishlar diffuziv harakatdir**

Eynshteynning ikkita muammoni, yani bir-biriga qarama –qarsh muammolarni birdaniga hal qildi. Bu logikani tushunish uchun baland bino ostiga chzilgan shaxmat doskasini tasavvur qiling. Bir sekundda siz qura tashlaysiz. har safar siz bosh qotirganda sharqqa qaraganingizda bir qadam orqada g'arbga qaraydi. Sizda yuqoridan pastga qarovch do'stingiz bor. U shaxmat doskasidagi muammoni induvudal hal qila olmaydi; chunki ular bir biridan ancha uzoqlashgan. Ammo bazan siz 100marta tashlab turasiz, shunday qilib uzoqdan ko'rasiz. Bunday hodisalar kamdan kam uchraydi; Sizning do'stingiz bu o'yinda har soatda yoki shunga o'xshash vaqtda tekshirib turishi mumkin. Xuddi shu usul bilan Eynshteyn biz kichik chang zarrachalarni ko'ra olmasakda kamdan –kam uchraydigan siljishlarni ko'ra olamiz.

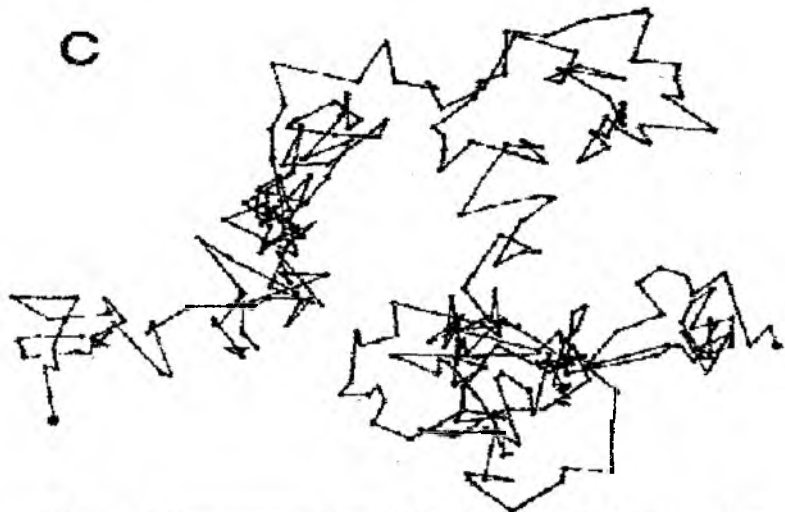




6.3-rasm. Metafora

Fakt shundan iboratki kam uchraydigan katta siljishlar mavjud bo'lib, ba'zida aniq ko'rinadi, chunki biz kichik obektlarni qaraymiz. Bu narsa o'simliklarda ko'p uchraydi. Bundan tashqari bunday siljishlarni o'rganish jarayonning to'g'riligini va molekular harakati haqida malumot beradi. (Xususiy holda Bolsman doimiysining mohiyatini) Biologiyada chang zarrachalarining harakati muhimga o'xshamaydi, ammo issiqlik harakati muhim hisoblanadi va biologik molekulaalr chang zarralaridan ancha kichikdir. Bu hodisalarni molekular harfkatiga moslashtirish ikki yoki uch o'lchashda aniqlash mumkin. Ikki o'lchash uchun faqat har flip ikki sekunda, pens va nikelda. Pensdan foydalanib shashkani sharqdan g'arbga siljitishda foydalaniladi. Nikeldan foydalanib shashkani shimoldan janubga foydalaniladi. Shashkaning o'tgan yo'li ikki o'lchmli tasoddiy saoyhati bo'ladi.

C



6.4-rasm. Eksperementali natijalar. Matematik fluktasiyalar

Faraz qilaylik bizning do'stimiz nigohini 10000 s (taxminan 3 soat) boshqa tomonga yurish uchun biz 5000 qadam o'gga va 5000chapgga yuramiz. Ammo bu qanchalik aniq natija? Ikki qadam sayohat uchun ikkita boshlang'ich imkon bor. Bu holatlar biz boshlagan nuqtada tugaydi. Umumiy holda  $2.2 = 4$ , u holda boshlangan nuqtaga qaytish ehtimoliyati  $2/2.2$  yoki  $0,5$ . To'rt qadamga sayohat uchun boshlang'ich holatga qadamga sayohat uchun biz yana  $N$  ta different natijalarni topishimiz kerak,

Yechim; Mumkin bo'lgan  $N$  ta boshlang'ich holatlardan 5000 tasini yozish mumkin.

Tanga tashlashdagi tashlashlar ketma-ketligini yozish uchun asosiy tashlashlarni ajratamiz. U bizga different sonlar qatorini beradi.  $(n_1, \dots, n_{5000})$   $n_1$  sifatida 1 bilan 10000 orasidagi,  $n_2$  sifatida 9999 va hokozo sonlarni olish mumkin.

Umumiy holda  $N=10000 \times 9999 \times \dots \times 5001$  qator olinadi. BUNI  $(10000!)/5000!$  ko'rinishida olish mumkin Bunda undov belgisi faktorial funksiyasidir. Ammo har qanday ikki differensial

olmashtirish ni  $^1$  ni mumkin bo'lgan olmashtirishlarga moslash kerak. U holda  $5000 \times 4999 \times \dots \times 1$ . Umumiy holda

$$M_0 = \frac{10000!}{5000! \times 5000!} \quad (6.16)$$

Bu esa boshlang'ich holatga qaytishga imkon beradi.

$$M_0 = \frac{M_0}{M} \approx 0,008$$

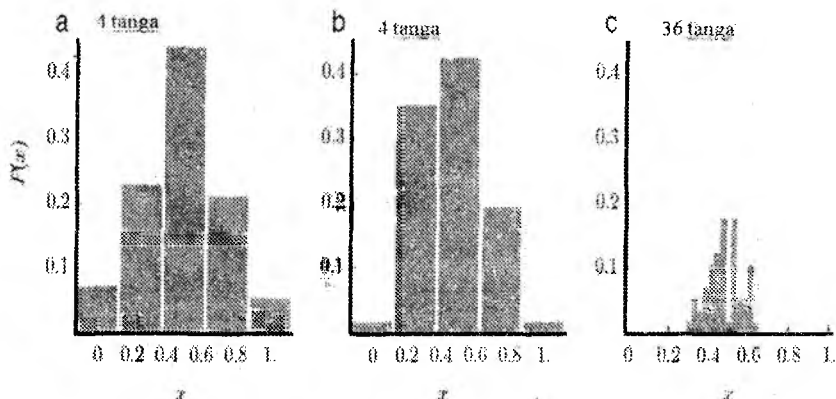
Buning ehtimoliyati 1% dan kamdir. Yuqorida topilgan taqsimotga Binomial taqsimot deyiladi.

Oldin keltirilganlarni kalkulyatr yordamida hisoblay olmaymiz. Buni kompyuter yordamida qilishingiz mumkin. Sterling formulasi  $N!$  Faktorial uchun taqriban mos keladi

$$\ln N! = N \ln N - N + \frac{1}{2} \ln(2\pi N) \quad (6.17)$$

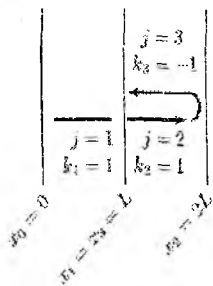
Oldin aytilganlarga ko'ra boshlagan holatga qaytish ehtimoliyati kam.

$$P \approx 5 \cdot 10^{-3011}$$

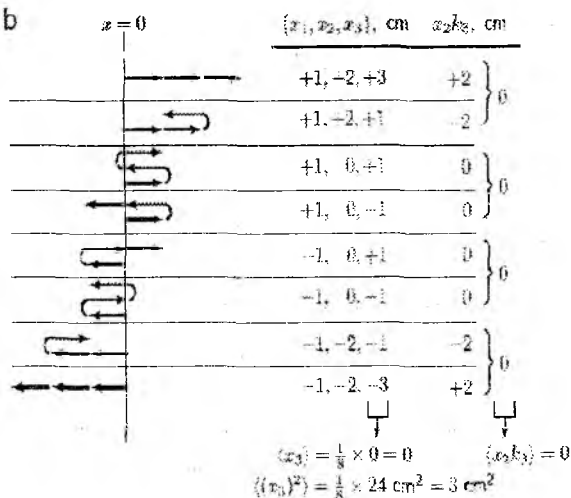


6.5-rasm: (tajriba ma'lumotlari). Binomning taqsimot holati

a



b



### 6.6-rasm: (diagramma). Erkin harakatlanuvchi anatomiya

Faraz har bir qadam uzunligi  $L$  bo'lsin, u holda qadam siljishi  $KjL$ , har bir holat uchun  $\bar{F}1$  uchun bir xil ehtimoliyatga ega.

Shunday qilib o'rtacha siljish nolga teng.

Shu hisoblashni to'rt qadam uchn bajaring.

Hamma mumkin bo'lgan holatlarni hisoblashda matematik usuldan foydalanamiz

$$(\llbracket x_N \rrbracket) = (x_{N-1} + kNL)^2 = ((x_{N-1})^2 + 2Lx_{N-1}kN + L^2(k_N)^2) \quad (6.18)$$

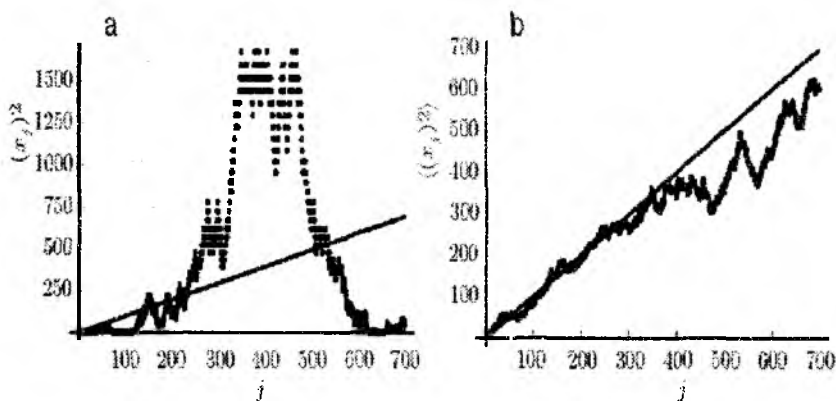
Bazi bir tasavvurlarga ko'ra

$$\llbracket x_N \rrbracket^2 = NL^2 \quad (4.4)(6.19)$$

1 s.da qiladigan qadamlar soni.  $N=t/\Delta t$  Diffuzion jarayon doimiysi

$$D = \frac{L^2}{(2\Delta t)} \text{ Bunga asosan Diffuzion qonun}$$

$$\llbracket x_N \rrbracket^2 = NL^2$$



**6.7-rasm: (matematik funksiya). Bir o'lovli yagona 700 qadamli og'ish**

Broun harakatiga holda  $D$  ni tajribada aniqlash mumkin va undan so'ng uni mikroskopik kattaliklar ni  $L$  va  $\Delta t$  bilan bog'lash mumkin. Uch o'lchamli fazoda diffuzion o'zgarish quyidagi formula bilan aniqlanadi

$$(rN)^2 = 6Dt \quad (6.20)$$

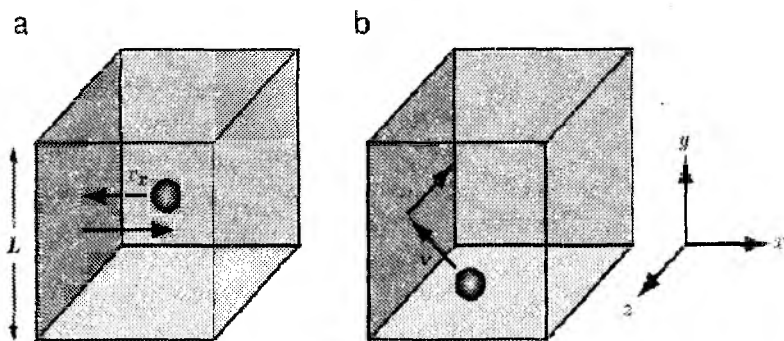
Har qanday o'lchashda siljishning o'rtach kvadrati vaqtga proporsional oshib boradi.

Philip Nelson. Biological Physics. Energy, Information, Life. 2008. Pp 110–116

### **§ 6.7. Harorat – issiqlik harakatining o'rtacha kinetik energiyasidir**

Agar biz noaniq yangi ifodaga duch kelsak, dunyodagi  $n$  tahliliy o'lchovlarni bilishimiz kerak. Shunday qilib, tabiat qonuniga ko'ra qurilma energiyasi fundamental va universal konstantani tashkil qiladi. Biz hali bu konstanta qiymatini izohlamadik, lekin qurilmani bilish momenti davomida biz bunga erishamiz. Agar zichlik yyetarlicha kamaytirilsa (ideal gaz) molekulalar bir-biriga qarab tez-tez harakat qilmaydi. Ammo shubhasiz, hammasi idish devorlarini

shikastlaydi va devorning doimiy shikastlanishi bosim tushunchasini aniqlashga imkon beradi. Faraz qilaylik,  $m$  massali gaz molekulari uzunligi  $L$  bo'lgan kub shakldagi idishda uning bir qirrasida  $v_x$  tezlik bilan harakatlanadi (6.8a-rasm).



**6.8-rasm: (sxema).  $L$  uzunlikli kub shaklli idishdagi gaz bosimi. (a) molekular  $v_x$  tezlik bilan idish qirralarida parallel harakatlanadi. Harakatlanayotgan molekular  $2mv_x$  kuch bilan idish devoriga uriladi. (b) molekular  $v$  tasodifiy tezlik bilan harakatlanadi. Agar molekularning keying to'qnashuvi yz tekisligida parallel bo'lsa, effektiv to'qnashuv idish devoriga  $2mv_x$  kuch bilan ta'sirlashuvchi molekular  $x$  komponentlari qaytadan tiklanadi**

Idish devoriga ta'sir qiluvchi har bir molekula ta'sirlashuvchi impulsni  $mv_x$  dan  $-mv_x$  ga o'zgartiradi: bunda idish devoriga  $2mv_x$  impuls ta'sir etadi. Bu holat molekula har safar u tomondan bu tomonga  $\Delta t = 2L/v_x$  vaqt sarflab harakat qiladi. Agar molekula shunday tezlikka ega bo'lsa, devor tomonga harakatlanuvchi kuch  $(2mv_x)(v_x/2L)N$  ga teng bo'ladi. Ammo fizika kursidan ma'lumki, harakatlanuvchi kuchning qiymat ko'rsatkichi idish devoriga aniq kuch bilan ta'sir qiladi.

Haqiqatdan ham har bir molekula o'zining xususiy va individual  $v_x$  tezligiga ega bo'ladi. Shunday qilib, bitta molekulaning kvadrat tezligi  $N$  marta talab qilinmaydi, lekin ularning o'rniga barcha molekularning yo'li ularning ekvivalent qiymatlari  $N$  marta o'rtacha kvadratik tezligi beriladi.

Devorga ta'sir qiluvchi kuch bosim deb ataladi:

$$p = m\langle v_x^2 \rangle N/V. \quad (6.21)$$

6.21-tenglama gaz molekular harakatini tashkil qilshini ko'rsatadi. Bundan bosim  $N$  va  $1/V$  to'g'ri proporsional ekanligini ko'rishimiz mumkin.

Skeptiklar shuni ko'rsatadiki, "Bir daqiqa. Real gazlarda molekular  $x$  yo'nalishda harakatlanadi. Bu haqiqat" (6.8b-rasm). har bir individual molekula  $v$  tezlik vektoriga ega. Idish devori  $x=L$  bo'lganda  $v_x$  komponent belgisi o'zgaradi, ammo  $x_y$  va  $v_z$  o'zgarmaydi. Bunda devorga qo'yiladigan impuls yana  $2mv_x$  ga teng bo'ladi. Bundan tashqari bu ikki devor orasiga sakrash  $2L/v_x$  ga teng bo'ladi, hattoki molekula bir devordan boshqasiga sakrashi va natijada o'zining  $y$  va  $z$  o'qi bo'yicha harakatlanishi mumkin. 6.21-tenglamaga argumentni qayta kiritish orqali modifikatsiya talab qilinmaydigan umumiy holatni aniqlaymiz.

Ideal gaz qonunini 6.21-tenglama bilan birlashtirsak quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$m\langle v_x^2 \rangle = k_B T. \quad (6.22)$$

Gaz molekulari atrofda erkin uchib yuradi. Bunda ( $v_x$ ) ning o'rtacha qiymati nolga teng bo'ladi: ko'plab molekular idishning chap va o'ng tomonida bir xil harakatda bo'ladi. lekin kvadrat tezlik ham nolga teng bo'lishi mumkin. Chap va o'ng tashuvchilarning  $v_x^2$  qiymati musbat bo'ladi.

Dalillarga ko'ra  $x$  yo'nalishi bo'yicha maxsus tushunchalar mavjud. O'rtacha qiymat  $\langle v_x^2 \rangle$ ,  $\langle v_y^2 \rangle$  va  $\langle v_z^2 \rangle$  larga teng bo'ladi. Sunday qilib, ularning yig'indisi individual holatdagiga qaraganda uch marta katta bo'ladi. Ularning umumiy tezlik vektori uzunligi  $v_x^2 + v_y^2 + v_z^2$  ga teng bo'ladi. Bunga asosan 6.22-tenglamani quyidagi ko'rinishga keltirish mumkin:

$$\frac{1}{2} \times \frac{1}{3} m\langle v^2 \rangle = \frac{1}{2} k_B T. \quad (6.23)$$

Endi biz 3.23-tenglamadagi kinetik energiya ifodasini  $\frac{1}{2}mu^2$  ekanligini inobatga olsak, ideal gazning o'rtacha kinetik energiyasi quyidagiga teng bo'ladi:

$$E = \frac{3}{2}k_B T \quad (3.24)$$

Hattoki, aralashmali gaz molekullari ham 3.24-tenglamaga bo'ysunadi.

3.24-tenglamaga oid tahlilat Rudolf Gauss tomonidan 1857-yilda o'rganilgan: bu ideal gaz qonunining chuqur molekulyar qiymatini nomoyon qiladi. Bundan tashqari ideal gaz maxsus holatlarida 3.24-tenglama harorat to'g'risida tushuncha beradi.

Atmosfera bosimi nima? Bu bsim shunday bosimki, u suv sathidan taxminan 10 metr balandlikda bo'ladi (siz bu sathni undan yuqori ko'tara olmaysiz). Atmosfera bosimini quyidagicha hisoblash mumkin:

$$p \approx 10 \text{ m} \times \left(10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}\right) \times \left(9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}\right) \approx 10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m s}^2} = 10^5 \text{ Pa}. \quad (3.25)$$

Bu yerda bosimning o'lchov birligi SI tizimida Paskal hisoblanadi.  $V = 0.024 \text{ m}^3$ ,  $\rho \approx 10^5 \text{ kg m}^{-3}$  va  $N = N_{mol}$  ekanligini inobatga olsak, ideal gaz qonuni quyidagi ko'rinishga keladi:

$$\left(10^5 \frac{\text{kg}}{\text{m s}^2}\right) \times (0.024 \text{ m}^3) \approx (6.0 \cdot 10^{23}) \times (4.1 \cdot 10^{-21} \text{ J}).$$

Havoning asosiy qismini azot molekullari tashkil qiladi. Azot N ning nisbiy atom massasi 14g, nisbiy molekulyar massasi  $N_2$  28 g ga teng bo'ladi. Shunga ko'ra bitta azot molekulasining massasi  $m = \frac{0.028 \text{ kg}}{N_{mol}} = 4.7 \cdot 10^{-26} \text{ kg}$  ga teng bo'ladi.

Shunday qilib, xona ichidagi havo molekullari to'xtovsiz jozibador harakat qiladi. O'rtacha kinetik energiya formulasi:

$$\Delta U = mg(9 \text{ km}) \approx \frac{1}{2}m(v^2). \quad (6.26)$$

Bu bo'limda ideal gaz qonuniyatlarini va boshqa ko'plab faktlarni tushuntiradigan absolyut haroratga proporsional bo'lgan



o'rtacha kinetik energiyali molekularlar harakatining tasodifiy gipotezasini qarab chiqdik.

### § 6.8. Entropiya – tartibsizliklarning maksimumi hisoblanadi

Keling izohiyasiyalangan statik sistemani o'rganishga to'xtalamiz. (Keyinchalik umumiy formulirovkada to'xtalamiz va u holda izohiyasiyalangan sistemalarga ham qo'llash mumkin bo'ladi). Agarda molekulaning  $E$  energiyaga ega bo'lgan soni  $N$  ta bo'lsa,  $\Omega(E, N \dots)$ , bunda nuqtalar ixtiyoriy cheklovlar sonini ko'rsatadi, masalan, hajmli. Statistik postulatlariga asosan mikrostat sistemada muvozanat ketma-ketligining namoyon bo'lishi har qaysining ehtimolligi bir xil ekani va demak sistema tartibsizligi muvozanatini ko'rsatadi  $I(E, N \dots) = \ln \Omega(E, N \dots)$ . Odatda  $K = 1 / \ln 2$ .

Demak  $\Omega$  gazning uy temperaturasidagi qismidan ancha kattadir. Molekulalar juda ko'p bo'lgani uchun u ancha kattadir. Agar biz uncha katta bo'lmagan konstanta bilan ishlaganimizda xuddi bitta molekulaning termik energiyasiga uning tartibsizligini qo'shish zarur bo'ladi. Odatda konstantani tanlash ancha aniq bo'lib  $K_b/K$ , u tartibsizlik darajasi o'lchovi deb atalgan entropiyani ifodalaydi va u quyidagicha bo'ladi.

$$S = \frac{K_b}{K} I = K_b \ln \Omega \quad (6.27)$$

Bu abstraksiya haqida so'zlash uchun avvalambor entropiyani sistema uchun baholash kerak. Bu oxirgi natijani ifodalovchi formula sakur tetro deb ataladi.

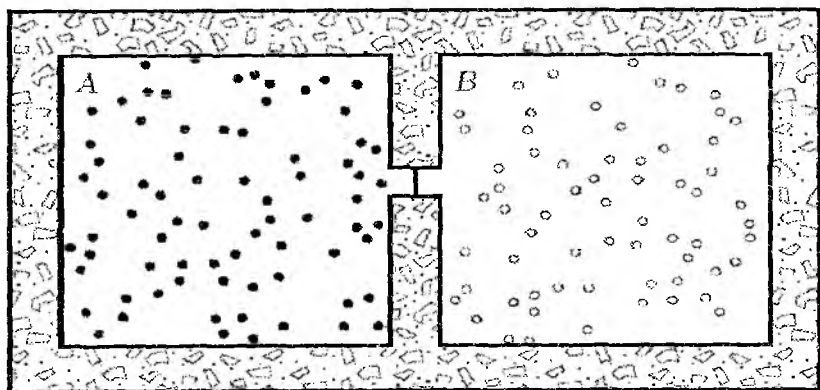
$$S = K_b \ln \left[ \left( \frac{2\pi^{3N/2}}{(3N-1)!} \right) (2mE)^{3N/2} V^N \frac{1}{N!} (2\pi\pi)^{-3N} \frac{1}{2} \right] \quad (6.28)$$

Bu murakkab formula, ammo biz har bir ko'rsatkichni alohida ko'rib uning mohiyatini tushunishimiz mumkin. Birinchi ko'rsatkich aylana qavs ichida bo'lib, u radiusi 1 ga teng sfera  $3N$  o'lchamida. Buni geometrik fakt sifatida qabul qilish mumkin va kitobdan topish mumkin. U  $2\pi$  ga teng bo'ladi, agar  $3N = 2$  bo'lsa va unga javob bo'ladi. Yuqoridagi misolda aniqlanganidek bu keyingi ikki ko'rsatkichdir. Ko'rsatkich  $(N!)^{-1}$  gaz molekularlar bir-biridan farq qilmasligini ko'rsatadi. Agarda biz  $r_1, p_1, x_2, p_2$  bilan almashtirsak

$Z_{is}$  va  $P_{is}$  larning boshqa ro'yxatini hosil qilamiz, ammo sistemaning boshqa fizik holatini emas.  $h$  – Plank doimiysi, Kvant mexanikasida ba'zi konstantalarni aniqlash uchun (6.28) tenglamada ba'zi o'lchashlar olib borish kerak. Fizik o'lcham bizning fizik farazlardan kelib chiqadi.

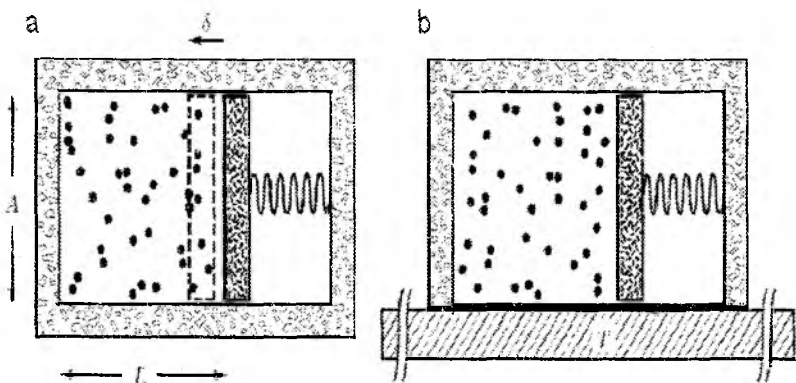
(6.28) tenglama vahimali ko'rinadi, ammo ko'pchilik darajalar unchalik ahamiyatli emas. Masalan,  $N$  uncha katta bo'lmaganda dastlabki ikkita tartib boshqasi bilan o'rab olingan bo'ladi. Shuning uchun biz unua qo'shimcha ko'rsatkich  $\frac{1}{2}$  qo'shiladi.

Xuddi (6.28) tenglamadagidek.



**6.9-rasm.** Ikkita termik izohyasiyalangan sistema lekin ular bir-biridan qisman izohyasiyalangan. Korpus termik izohyasiyani ko'rsatadi, faqat juda kichik tirqishdan tashqari. Qutilardagi zarrachalar energiyasi bilan almashib turadi. Ikki tomon turli molekulalardan tashkil topgan bo'lishi mumkin

$(m/2\pi^2\pi^2)^{3N/2}$  o'xshash ko'rsatkichlar molekula uchun qo'shimcha doimiylarni qo'shadi va u  $\frac{ds}{de}$  hosilaga ta'sir ko'rsatadi (keyinchalik odatdagi kimyoviy potensialda biz bu ko'rsatkichga yana e'tibor berishimiz kerak).



**6.10-rasm. (sxema). Prujina yordamida gaz siqilgan. Bosimning oshishi chap tomonga yoʻnalgan. a) sistemaga temperaturasi  $T$  boʻlgan rezervuar bilan kontaktda. Bir qism (b) issiqlik pastda, chunki quti devorlari termik izohyasiyalangan. har bir holda oʻng tomonda hech qanday gaz yoʻq, faqat chap tomondagi bosim muvozanat keltiradi**

Shunday qilib, sistema muvozanat holatidan oʻtayotganda entropiya oshib boradi. Agar biz muvaffaqiyatga uchrasak, u holda boshlangʻich tartibsizlik yoʻqoladi. Biz hozir sistema haqidagi bilimimizni yoʻq qildik. Endi faraz qilaylik. Biz kengayayotgan gaz bilan mashq qilaylik. Holatni modifikatsiya qilib bu safar gazni kengayishida ish bajarishiga majbur qilamiz. Bundan tashqari biz avtomat sistemani qaraymiz, ammo bu holda sirpanuvchi parvandan foydalanamiz. Boshlangʻich temperaturasi  $T$  boʻlgan chap silindrda  $N$  ta molekula bor. Oʻng tomon boʻsh. Boshlangʻich momentda parvanni  $x = L$  holatda mahkamlaymiz va muvozanatga kelishiga imkon beramiz. Parvanni  $L$  holatga kelganda chap tomonga  $f$  kuch taʼsir qiladi.

Misol: 6.10 a rasmni analiz qilishni davom ettiramiz.

a) Endi porshen erkin  $L - \delta$  pozitsiya tomonga siljiydi va sistemaning muvozanat holatga kelishiga imkon beramiz. Bunda  $\delta - L$  ga nisbatan juda kichik. Entropiyaning yangi va oldingi qiymatlarini toping.

b) faraz qilaylik porshen erkin harakatlanishi uning holati aniq bo'lishi uchun termik ehtimoliyat eng katta bo'lishi kerak. O'sha pozitsiyani aniqlang.

Echish: Aniq bo'lishi uchun  $\delta$  — uncha katta emas va musbat deb olamiz. Rasm 6.10 a. Boshlang'ich holatda gaz molekulari umumiy  $E_{kin} = 3/2 K_B T$  kinetik energiyaga ega bo'lsin. Sistemaning umumiy energiyasi  $E_{tot}$ , molekular  $E_{kin}$  kinetik va o'zaro ta'sir  $E_{tos}$  energiyalar yig'indisidan iborat bo'ladi. Sistema izohyasiyalanganligi uchun  $E_{tot}$  o'zgarmaydi. Shunday qilib yo'qolgan potensial energiya  $f\delta$  kinetik energiya  $E_{kin}$  ni oshiradi bu esa o'z navbatida gaz temperaturasi va entropiyasini biroz oshiradi.

Shu vaqtning o'zida hajmning ortiqchasi  $\Delta V = -A\delta$  entropiyani kamaytiradi. Biz gazda entropiya o'zgarishini aniqlashimiz kerak.  $\Delta \ln V = (\Delta V)/V$  va  $\Delta \ln E_{kin}$  dan foydalanib haqiqiy o'zgarishni aniqlaymiz.

$$\Delta S/K_B = \Delta(\ln E_{kin}^{3N/2} + \ln V^N) = \frac{3}{2} \frac{N}{E_{kin}} \Delta E_{kin} + \frac{N}{V} \Delta V$$

$E_{kin}/N$  ni  $\frac{3}{2} K_B T$  bilan almashtirib  $E_{kin} = f\delta$  va  $\frac{\Delta V}{V} = -\frac{\delta}{L}$  ekanidan  $\Delta S/K_B = \left(\frac{3}{2} \frac{f}{3K_B T} - \frac{N}{L}\right) \delta$  ekanidan  $\Delta S = \frac{1}{T} \left(f - \frac{NK_B T}{L}\right) \delta$  olamiz.

b) Statistik postulatga ko'ra har qanday mikrostat bir xil ehtimoliyatga ega. Xuddi 6.3.1 dagi kabi biror bir katta  $L$  mikrostat topiladiki, uning qiymati  $L_{eg}$  ga yaqin va  $L$  ning boshqa qiymatlari uchun oshuvchi entropiyaga ega bo'ladi. Oldingi formuladagi  $\Delta S = 0$  holatda  $L_{eg}$  uchun.  $f = NK_B T/L_{eg}$  yoki  $L_{eg} = NK_B T/f$  ni hosil qilamiz.

Muvozanat holda parqungga beriladigan bosim  $p = f/A = NK_B T/(AL) = NK_B T/V$  bo'ladi. Biz yana bir bor ideal gaz qonunini isbotladik. Bu holda ikkinchi qonunidan foydalanish orqali. Agarda  $N$  katta bo'lsa, buning sistema ehtimolini to'ldiradi. Biz bu holatni hajm qisqarganda ideal gaz bosimi tenglashganda mexanik bosim bilan muvozanatlashuv orqali xarakterlashimiz mumkin.

**Tayanch iboralar:** termos, kopilyar, lipid. Entropiya, ichki energiya, issiqlik miqdori, termodinamik tizim, issiqlik sig'imi.

### Xulosalar

Termodinamik jarayonlar ko'plab fizik va biologik hodisilar asosini tashkil qiladi. Issiqlik energiyaning bir turi bo'lib, ayniqsa tirik mavjudod uchun juda katta ahamiyatga egadir. Inson va hayvonlar hayoti faoliyatida haroratning va holatining ozga o'zgarishi uning rivojiga va borlig'iga katta ta'sir ko'rsatadi. Entropiya esa tirik va o'lik mavjudod uchun tartibsizliklar darajasini ko'rsatuvchi energiya o'lchovidir.

### Test savollari

1. Tirik organizmga kelayotgan energiyaning asosiy qismi qaysi modda hisobiga bo'ladi?
  - a) non mahsulotlari;
  - b) oqsillar;
  - c) uglevodlar;
  - d) yog'lar.
2. Organizm qabul qilgan umumiy energiyaning eng ko'p qismini o'zining qanday faoliyati uchun sarflaydi?
  - a) ish bajarish uchun;
  - b) tana haroratini saqlash uchun;
  - c) quvvatni oshirish uchun;
  - d) yurakning ish bajarishi uchun.
3. Quyidagi ta'riflardan qaysi biri termodinamikaning ikkinchi qonunini to'g'ri ifodalaydi?
  - a) issiqlik energiyasi issiq jismga o'tishi mumkin;
  - b) energiya bir jismdan ikkinchisiga o'tadi;
  - c) issiqlik o'z-o'zidan sovuq jismdan issiq jismga o'tmaydi;
  - d) issiqlik sovuq jismdan issiq jismga o'tadi.
4. Quyidagi formulalarning qaysi biri termodinamikaning birinchi qonuni ifodasi hisoblanadi?
  - a)  $F = kx$
  - b)  $Q_1 = Q_1 + Q_2$
  - c)  $Q = A + \Delta U$

d)  $Q = cm(T_2 - T_1)$

5. Qanday termodinamik tizimga ochiq termodinamik tizim deyiladi?

a) agar termodinamik tizim tashqi muhit bilan energiya va massa almasha;

b) agar termodinamik tizim tashqi muhit bilan energiya va massa almasha;

c) tizimga berilgan energiya uning ichki energiyasini oshirsa;

d) tizimga berilgan energiya ish bajarishga sarflanma.

6. Tirik organizmga qanday termodinamik tizim hisobalanadi?

a) ochiq;

b) yopiq;

c) ochiq va yopiq;

d) ideal.

7. Javoblarning qaysi birida biologik tizimlar termodinamikasining birinchi qonuni ta'rifi keltirilgan?

a) tizimga berilgan energiya ish bajarishga sarflanadi;

b) tizimga berilgan issiqlik miqdori ichki energiyani oshiradi;

c) birinchi tur abadiy dvigatel yaratish mumkin;

d) tizimga berilgan energiya uning ichki energiyasining o'zgarishiga va ishga sarf bo'ladi.

8. Quyidagi formulalarning qaysi qaytar termodinamik jarayonni ifodalaydi?

a)  $P_1V_1 = P_2V_2$ ;

b)  $(P_1V_1T_1) \Leftrightarrow (P_2V_2T_2)$ ;

c)  $(P_1V_1T_1) \rightarrow (P_2V_2T_2)$ ;

d)  $P = P_1 + P_2 + P_3$ .

9. Termodinamik tizimning foydali ish koeffitsiyenti maksimal qiymatga to'g'ri keluvchi formulani ko'rsating?

a)  $\eta = \frac{A_F}{A_T}$

§ 7.1. Elektr maydoni va uning asosiy xarakteristikalari

Elektr maydoni materiyaning ko'rishlaridan biridir. Shu maydonda turgan elektr zaryadlariga maydon tomonidan kuch ta'siri vujudga keladi. Biologik to'qimalarda hosil bo'ladigan elektr maydonning xossalari organizm holati haqida axborot beradi.

Qadim zamondan shoyiga ishqalangan qahrabo o'ziga mayda buyumlarni tortishi aniqlangan. Hozirgi vaqtda hamma moddalar tarkibida ikki xil zaryad bo'lishi mumkinligi aniqlangan. Teriga ishqalangan shishada paydo bo'lgan zaryad musbat, movutga ishqalangan ebonitda paydo bo'lgan zaryad manfiy bo'ladi. Bir xil ishorali zaryadlar o'zaro itarishadi, turli xillari esa tortishadi.

Amerikalik olim Milliken elektr zaryad diskret qiymatlariga ega bo'lganligini aniqladi. Eng kichik zaryad elementar zaryad deb ataladi va uning qiymati  $e = 1,6 \times 10^{-19} \text{ Kl}$ . Elektron massasi  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$  zaryadi manfiy va proton massasi  $m_p = 1,76 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$  bo'lib, musbat zaryadlidir.

1843-yilda Faradey zaryadlarning saqlanish qonunini yaratdi: har qanday yopiq tizimda elektr zaryadlarning algebrik yig'indisi o'zgarmasdan qoladi.

$$\sum_{i=1}^n q_i = \text{const}$$

1785-yilda Kulon qo'zg'almas zaryadlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchini aniqlovchi qonunni yaratdi; vakuumdagi ikkita nuqtaviy zaryad orasidagi o'zaro ta'sir kuchi zaryadlar miqdorlari ko'paytmasiga to'g'ri proporsional, ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsionaldir.

$$F = k \frac{q_1 \cdot q_2}{r^2} \quad (7.1)$$

bunda  $k$  proporsionallik koeffitsiyenti bo'lib, uning qiymati

$$k = \frac{1}{4\pi\epsilon_0}$$

$\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12}$  f/m -elektr doimiysi deyiladi.

Ushbuni e'tiborga olib, vakuumda zaryadlarning o'zaro ta'siri uchun Kulon qonuni quyidagicha yoziladi:

$$F = \frac{q_1 \cdot q_2}{4\pi\epsilon_0 r^2}$$

Elektr zaryadlarining o'zaro ta'sir qilishga vosita bo'lgan materiya turi elektr maydon deyiladi. Elektr maydonning kuch xarakteristikasi bo'lib elektr maydon kuchlanganligi hisoblanadi.

Elektr maydon kuchlanganligi – maydonning berilgan nuqtasiga qo'yilgan nuqtaviy zaryadga ta'sir etuvchi kuchning, shu zaryadga bo'lgan nisbatiga aytiladi.

$$E = \frac{F_0}{q_0} \quad (7.2)$$

Kuchlanganlik vektor kattalik bo'lib, uning yo'nalishi berilgan nuqtasida joylashgan nuqtaviy musbat zaryadga ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi bilan bir xil bo'ladi. Elektr maydon kuchlanganligi grafik usulida kuch chiziqlar yordamida tasvirlanadi.

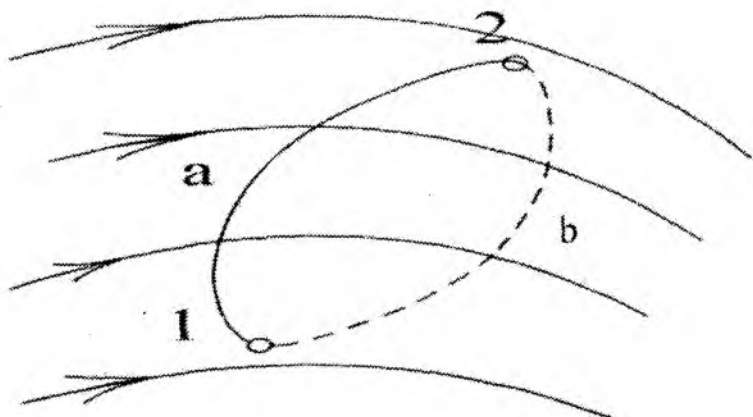
Elektr maydonning kuch chiziqlari – uning har bir nuqtasiga o'tkazilgan urinma kuchlanganlik vektori bilan mos keladigan xayohiy chiziqqa aytiladi. Maydon chiziqlari parallel va bir xil uzoqlikda joylashgan bo'lsa bir jinsli maydon bo'ladi. Nuqtaviy zaryad kuchlanganligi quyidagicha ifodalanadi:

$$E = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q}{r^2} \quad (7.3)$$

Elektr maydon kuchlanganlik birligi v/m

Elektr maydonning energetik xarakteristikasi potentsialdir. Elektr maydonida  $q$  zaryad 1  $a$  va 1  $b$  trayektoriya bo'yicha 1 dan 2 ga qarab siljiganda maydon kuchlari tomonidan ish bajaradi. Bu ish elektr maydon kuchlanganligi orqali ifodalaniladi.





7.1-rasm. Elektr maydonida zaryadni ko‘chirishda bajarilgan ishni hisoblash chizmasi

$$A = Q_1 \int^2 E_\ell \cdot dl \quad (7.4)$$

$d\ell$  – elementar siljish,  $E_e$  - elektr maydon kuchlanganligining  $d$   $\ell$  yo‘nalishidagi proyeksiyasi.

Elektrostatik maydon kuchlarining ishi siljish trayektoriyasiga bog‘liq emas. Bunday xossaga ega maydon potensial maydon deyiladi.

Elektr maydon potentsiali deb – potensial energiyaning zaryad miqdoriga nisbatiga aytiladi.

$$\varphi = \frac{W_n}{q} \quad (7.5)$$

Elektr maydon potentsiali ko‘chish trayektoriyasiga bog‘liq bo‘lmasdan, balki zaryadga, ko‘chishning boshlang‘ich va oxirgi nuqtalariga va maydonning o‘ziga bog‘liqdir.

Son jihatidan elektr maydon kuchlarining birlik musbat zaryadni maydonning bir nuqtasidan ikkinchi nuqtasiga ko‘chirishda bajarilgan ishga teng bo‘lgan kattalik maydon ikki nuqtasi orasidagi potentsiallar ayirmasi deyiladi.

$$U_{12} = \varphi_1 - \varphi_2 = \frac{A}{q} = q_1 \int^2 \frac{E_e dl}{q} = \int^2 E_e dl \quad (7.6)$$

bu yerda  $\varphi_1$  va  $\varphi_2$  - elektr maydonning 1 va 2 nuqtalariga mos potentsiallari. Demak, (7.6) formuladan ikki nuqta orasidagi potentsiallar ayirmasi maydonga va tanlangan nuqtalar vaziyatiga bog'liq bo'lar ekan. Nuqtaviy zaryad maydoni potentsialini umumiy holda quyidagicha yozish mumkin:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (7.7)$$

Turli nuqtalar potentsiallarini ko'rgazmali ravishda bir xil potentsialli sirtlar (ekvipotentsial sirtlar) shaklida tasvirlash mumkin. Potensial va kuchlanganlik orasidagi bog'lanishni quyidagicha ifodalash mumkin.

$$E = -\frac{\Delta\varphi}{\Delta l} \quad (7.8)$$

« - » ishora maydon kuchlanganligi potentsialning kamayish tomoniga, potentsial gradiyenti esa potentsialning ortish tomoniga qarab yo'nalgani uchun qo'yilgan. Shunday qilib, maydon kuchlanganligi kattaligi jihatdan potentsial gradiyentiga tengdir va unga qarama-qarshi yo'nalgandir.

$$E = -\text{grad } \varphi \quad (7.9)$$

Potensial o'lchov birligi volt - bu shunday maydon nuqtasining potentsialligiki, u yerda 1 Kl li zaryad 1 J potentsial energiyaga ega bo'ladi ( $1V=1J/Kl$ ). Agar potentsial bir qancha zaryadlar tomonidan hosil qilinayotgan bo'lsa, u holda maydon potentsiali hamma zaryadlar potentsiallari algebraik yig'indisiga teng bo'ladi.

$$\varphi = \sum_{i=1}^n \varphi_i = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \sum_{i=1}^n \frac{q}{r_i} \quad (7.10)$$

## § 7.2. Elektr hodisalar

Bunda tabiatdagi to'rtta fundamental ta'sirlardan biri elektromagnitizmni ko'rib chiqamiz. Og'irlik kuchidan boshlab hamma kuchlar elektromagnit kuchlardan kichikdir. Cho'zilish, siljish va boshqa kuchlar tabiati elektromagnit kuchlardan iboratdir. Elektr va magnit kuchlar ham kimyoviy kuchlar ham elektromagnit xarakterga ega. Yorug'lik va boshqa nurlanishlar ham elektromagnit xarakterga ega. Optikadagi nur ham elektromagnit kuchlar filialidir. Elektromagnit hodisalarning asosiy qonunlari 19 asrning 50 yillarida ochildi. Bu ishlarning kulminatsiyasi Maksvell tenglamalaridir. Bu tenglama bizning hayotda juda katta ahamiyatga egadir. Og'irlik kuchidan tashqari yana ikkita fundamental kuchlar, yadro kuchlari ham bor, lekin uni biz kundalik hayotda sezmaymiz. Bu va keyingi boblarda elektr hodisalar va materiyaning elektr xossalari haqida so'z yuritamiz.

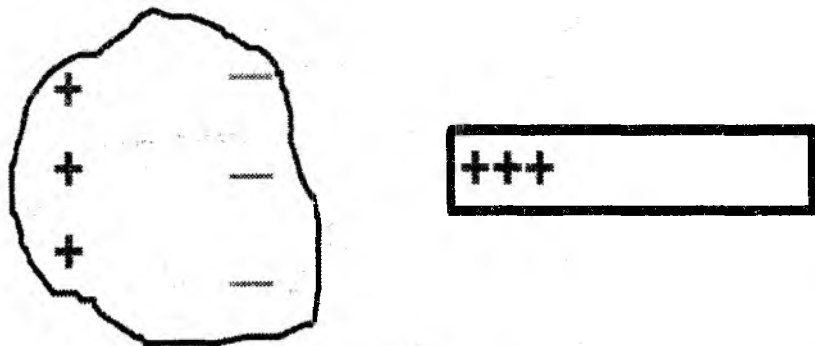
1. Elektr zaryadi va uning saqlanish qonuni. Elektr bilan birinchi tanishuv chaqmoq hodisasidan boshlanadi. Greklar sun'iy statistik elektr maydonini ochdi. Ishqalanish natijasida elektrlanish, qalin gilamda yurgandan so'ng metallga tegkanda iskra chiqishi. Faqat 20 asrda biz buning asosini atom tarkibidagi proton va elektronlar sababchi ekani aniqlandi. Materiya haqidagi tasavvurlar 1-bo'limda aytib o'tilgan edi. Atom yadro va uning tarkibida musbat proton va neytral neytrondan hamda uning atrofida aylanuvchi manfiy elektronlardan tashkil topgan. Elektr zaryadi

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{kl}$$

Hamma tanish elementar zarrachalar shu elementar zaryadga karrali zaryadga egadir. Elektr zaryadining ikki ishorali bo'lishi ularning tortishi va itarishida namoyon bo'ladi.

Faqat gravitatsion ta'sirda tortish kuchlari mavjud. Bir xil ishorali elektr zaryadlari o'zaro tortadi, har xillari esa o'zaro itaradi. Yadroda zarrachalarni yadro kuchlari ushlab turadi, unda bu kuchlar zaryad ishorasidan bog'liq emas, odatda makroskopik jism neytral holda bo'ladi. Lekin kam miqdordagi moddada ham shu darajada

molekulalar ko'pki, unda atom va molekuladan elektron chiqib ketib zaryadlangan ionlar hosil bo'ladi. Ko'p hollarda elektronning bir moddadan ikkinchisiga o'tishi sababli birida elektronlar soni ortib ketadi (manfiy) boshqasida elektronlar soni kamayadi (musbat) zaryadlanadi. Bundan tashqari ko'pchilik neytral molekulada musbat va manfiy zaryadlar og'irlik markazlari mavjud. Ular ustma-ust tashmasligi mumkin (rasm 7.2).



7.2-rasm.

Bu holda bu molekulalar boshqa qutblangan molekulalar bilan ta'sirlashishi mumkin. Hozirgi zamon fizikasining asosiy yo'nalishlardan biri saqlanish qonunlaridir. Biz mexamikada energiyaning, massaning, impuls momentining saqlanish qonunlarini ko'rib chiqdik.

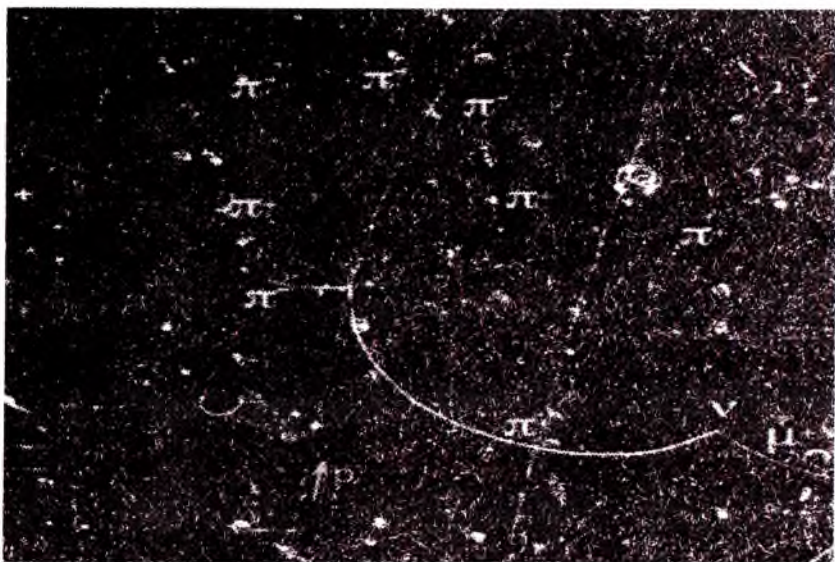
$$n^0 \rightarrow p^{+1} + e^{-1} + \vartheta^{-0}$$

Elektr zaryadining saqlanish qonuni fanning asosiy sifat tomonlaridan biridir. Yopiq sistemada elektr zaryadlar yig'indisi o'zgarmas qoladi. Bu fundamental qonunlardan biridir. Bu holda zaryad ham doimiy qoladi. Neytron uchta zarrachaga emirilib o'tadi. (yuqorida reaksiya sxemasi yozilgan).

Bu reaksiya bir necha minut davomida yuz beradi. Yadroda esa o'zgarish bo'lmasligi mumkin. Neytron yadroda bo'linganda yadroda bitta proton va neytrondan katta bo'lgan yadro paydo

bo'ladi. Bu betta emirilishdir. Natijada elektron va antineytrino chiqib ketadi. Bu reaksiya bir qancha saqlanish qonunlarini qanoatlantirish zarur. Bular ichida energiya, impuls va zaryadlarning saqlanish qonunlari. Bular ichida zaryadlarning saqlanish qonuni, yuqoridagi reaksiyada, zaryadlar  $+1$ ,  $-1,0$  yakunda neytron neytral zaryadda qoladi.

Ikkinchi misol proton va antiprotonning qo'shilishi natijasida pionlar hosil bo'ladi. Beshlang'ich nol zaryad saqlanadi. (rasm 7.3). 4 ta musbat va 4 ta manfiy zaryad pion hosil qiladi.



7.3-rasm. Pufakli kamera, qo'zg'almas protonga nisbatan antiproton izi tasviri(belgilangan),bu holda ular o'zaro tasirlashib xuddi pionlar kabi sof energiyani hosil qiladi. Kamera kuchli magnit maydonida bo'lib zaryadlangan zarralar traektoriyasini teskari tomonga og'diradi. Ammo piandan so'ng myuon va neytron hosil bo'ladi va ularning izi qolmaydi.

Demak, har qanday holda yakuniy yig'indi zaryad saqlanadi.

2. Kulon qonuni. Zaryadlangan sistemalarga ta'sir etuvchi kuch Kulon qonunidan aniqlanadi. Superpozitsiya prinsipiga binoan vektorlarni qo'shish qoidasini aniqlash kerak va teng ta'sir etuvchi kuch aniqlanadi.

$$\vec{F}_{1,2} = K \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r} \quad (7.11)$$

ya'ni ikkita zaryad orasidagi ta'sir etuvchi kuch zaryadlar ko'paytmasiga to'g'ri proporsional, ular orasidagi masofa kvadratiga teskari proporsionaldir. Bu erda  $K$  –proporsionallik koeffitsienti. Nyuton uchinchi qonuniga binoan  $q_1$  va  $q_2$  zaryadlar kuchi bir xil va qarama-qarshi yo'nalgandir.

Bu erda  $K = 9,0 [10^9 \text{ n. m}^2 / \text{s}^2]$

Bu 2 ta zaryad vakuumda ta'sir etuvchi kuchni ko'rsatadi. 7.3 rasmda pufakli kamerada antiprotonning izlari ko'rsatilgan. Kamera kuchli magnit maydoniga joylashtirilgan va unda zaryadlangan zarrachalar turli tomonga og'adi. Keyinchalik pionlardan biri myuonga va neytrinoga aylanadi.

0,1 nm gacha yaqinlashgan elektron va proton orasidagi kuchni hisoblaymiz.

$$F = K \frac{e^2}{r^2} = 9 \cdot 10^9 \frac{(1,6 \cdot 10^{-19})^2}{(10^{-10})^2} = 2,3 \cdot 10^{-8}$$

Bu ancha kichik ko'rinadi, lekin amalda bu ancha katta hisoblanadi. Miozin va aktina molekulari orasidagi ta'sir kuchi  $10^{-8}$  ga teng.

Misol 7.1. proton va elektron orasidagi elektr ta'sir kuchi ular orasidagi gravitatsion ta'sirdan qanchaga katta?

Tenglamada elektron massasi  $m_e$ , proton massasi  $m_p$ ,  $q = e$ . U holda

$$\frac{F_{\text{elek. prot. el}}}{F_{\text{grav.}}} = \frac{k \frac{e^2}{r^2}}{G \frac{\mu_e \mu_p}{r^2}} = \frac{ke^2}{G \mu_e \mu_p} = 2 \cdot 10^{39} \text{ marta}$$

Shunday qilib bularning farqi  $2 \cdot 10^{39}$  marta ekan. Elektr kuchlariga qaraganda gravitatsion kuchlarni hisobga olmasa ham bo'ladi, faqat jism neytral bo'lgan holdagina gravitatsion kuchlarni e'tiborga olsa bo'ladi. Odatda Kulon qonuni umumiy holda

$$\vec{F}_{12} = \frac{1}{4\pi\epsilon_0} \cdot \frac{q_1 q_2}{r^2} \vec{r} \quad (7.12) \text{ ko'rinishda yoziladi.}$$

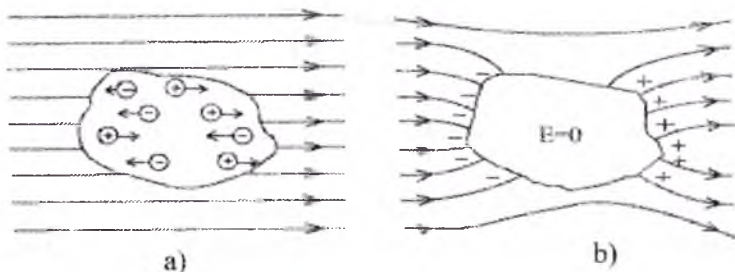
Bunda  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ kl/n.m}^2$  elektr doimiysi.

Ikkitadan ko'p bo'lgan zaryad qatnashayotgan holda superpozitsiya qo'llaniladi. U holda kuch  $\vec{F} = \sum_{i=1}^N \vec{F}_i$  ga teng bo'ladi.

### § 7.3. Moddalarning elektr xossalari

Moddalar o'zlarining elektr o'tkazuvchanligiga qarab uchga bo'linadi. Elektr tokini yaxshi o'tkazuvchi -- o'tkazgichlar, umuman o'tkazmaydigan moddalar -- dielektriklar va qisman o'tkazuvchilar (yarim o'tkazgichlar) ga bo'linadi.

Agarda neytral o'tkazgich tashqi elektrostatik maydonga joylashtirilsa, uning zaryadlariga elektr maydon ta'sir qiladi va ular harakatga keladi. Zaryadlarning ko'chish toki zaryadlar taqsimotida muvozanat yuzaga kelguncha davom etadi. Bu holda o'tkazgich ichidagi elektrostatik maydon nolga teng bo'ladi. Agar shunday bo'lmaganda edi, tashqi maydon ta'sir qilmasa ham, zaryadlar ko'chishi va tok oqishi mumkin bo'lar edi. Demak, elektr maydon kuchlanganligi o'tkazgich ichidagi hamma nuqtalarda  $Ye = 0$  bo'ladi. O'tkazgich ichida maydonning yo'qligi uning hamma nuqtalarida potensial bir xil bo'lishini ko'rsatadi ( $\varphi = \text{const}$ ), ya'ni elektrostatik maydonda o'tkazgich sirti ekvipotensial hisoblanadi. Bu esa maydon kuchlanganligi vektorining o'tkazgich sirtiga normal bo'lishini ko'rsatadi. Agar shunday holat bo'lmasa, zaryadlar maydon ta'sirida harakatga kelar edi.



**7.4-rasm. Elektrostatik maydonda o'tkazgich. a-induksiyalangan zaryadlar hosil bo'lishi, b-kuchlanganlik chiziqlarning uzulishi**

O'tkazgich ikki uchi ikki ishorali, zaryadlanib qoladi, demak, neytral o'tkazgich elektrostatik maydonga kiritilsa, kuchlanganlik chiziqlari uziladi. Indusirlangan zaryadlar tashqi sirtida taqsimlanadi.

Sirt zaryadlarining tashqi elektrostatik maydonda qayta taqsimlanish hodisasi elektrostatik induksiya hodisasi deyiladi (induksiya lotincha so'z induction – qo'zg'atish, uyg'otish degan ma'noni anglatadi). Sirt yaqinida maydon kuchlanganligi quyidagicha ifodalanadi.

$$E = \frac{\delta}{\epsilon_0} \quad (7.13)$$

Bu yerda  $\delta$  - zaryadlar sirt zichligi,  $\epsilon$  - o'tkazgichni o'rab turuvchi muhit dielektrik singdiruvchanligi. O'tkazgich ichida maydon yo'q bo'lishiga asoslanib elektrostatik himoya qo'llaniladi. Yakkalangan o'tkazgichga berilgan zaryad potensialga to'g'ri proporsionaldir, ya'ni  $q \sim \varphi$  Agar proporsionallikdan tenglikka o'tsak, u holda  $q = C \cdot \varphi$  Bunda C- yakkalangan o'tkazgich elektr sig'imi deyiladi :

$$C = \frac{q}{\varphi} \quad (7.14)$$



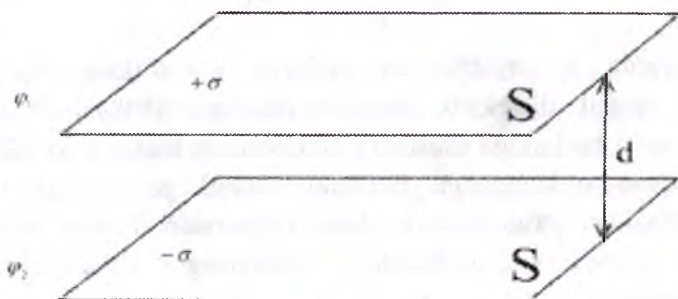
Elektr sigimining birligi ( $1\text{Kl}/1\text{V}$ ) = farad ( $f$ ). 1 Farada deb unga 1 Kulon zaryad berilgan potentsiali 1 Voltga o'zgaradigan o'tkazgich elektr sig'imiga aytiladi. O'tkazgichning elektr sig'imi uning o'lchamlari va shakliga bog'liq bo'lgan muhim elektr kattalikdir. Biroq, bunday deyish faqat yagona turgan o'tkazgichlar uchun o'rinli bo'ladi.

Farad sig'imning haddan tashqari katta birligidir. Shuning uchun ko'pincha mikrofarada ( $\text{mkF}$ ) va pikofarada ( $\text{pF}$ ) dan foydalaniladi.

$1\text{mkF} = 10^{-6} F$   $1\text{pF} = 10^{-6} \text{mkF}$ . Bu sig'imlar radiusi 9 km va 0,9 sm bo'lgan yakkalangan o'tkazuvchan sharlar sig'imi bo'ladi. Yerning radiusi  $R = 6400\text{km}$  bo'lgan o'tkazgich shar deb hisoblash mumkin. Bu holda Yyer sharining elektr sig'imi

$$C = \frac{6400}{9} = 711\text{mkF}. \quad \text{Dielektriklar bilan ajratilgan}$$

o'tkazgichlardan tuzilgan elektr tizim kondensator deb ataladi. Bunday tizim o'lchami kichik bo'lganda ham sig'imi katta bo'ladi. Eng sodda kondensator yupqa dielektrik qatlami bilan ajratilgan ikkita parallel metall qoplamalardan tuzilgan bo'ladi va bu qatlamlarga kattalik jihatdan teng bo'lgan turli ishorali zaryadlar beriladi.



7.5-rasm

Yassi kondensatorning sig'imini quyidagi formula orqali ifodalash mumkin:

$$C = \frac{\epsilon_0 \epsilon S}{d}$$

Bu yerda  $d$  – kondensator qoplamalari orasidagi masofa,  $S$  – har bir qoplamaning yuzi,  $\epsilon$  – qoplamalar orasidagi muhitning dielektrik singdiruvchanligi.

Amalda erkin zaryad tashuvchilari bo'lmagan moddalar dielektriklar deyiladi. Masalan: shisha, plastmassa va hokazo.

Dielektriklar ham boshqa moddalar qatori atom va molekulalardan tuzilgan. Moddadagi barcha yadrolarning musbat zaryadlari barcha elektronlarning zaryadlar yig'indisiga teng bo'lgani sababli molekula zaryad jihatdan zaryadsiz bo'ladi.

Agarda tashqi elektr maydon ta'siri bo'lmaganda musbat va manfiy zaryadlar "og'irlik" markazlari ustma-ust tushadi, bu holda molekula dipol momenti  $P$  nolga teng bo'ladi. Bunday dielektriklar molekulari qutbsiz deyiladi. Qutbsiz molekulaga ega bo'lgan dielektriklarga ( $N_2$ ,  $H_2$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ ,  $CH_4$ ...) har kiradi.

Tashqi elektr maydon ta'sirida qutbsiz molekularning zaryadlari qarama-qarshi tomonga siljiy boshlaydi va molekula dipol momentiga ega bo'la boshlaydi.

Tabiatda shunday guruh dielektriklar ( $H_2O$ ,  $NH_3$ ,  $CO_2$ ,  $CO$ , ...) mavjudki ularning molekulari asimmetrik tuzilishga ega, ya'ni musbat va manfiy zaryadlarning "og'irlik" markazlari mos kelmaydi va dipol momentiga ega bo'ladi. Bunday dielektriklarning molekulari qutbli deyiladi.

Dielektrikni tashqi elektrostatik maydonga joylashtirilsa u qutblanadi, ya'ni maydon farq qiluvchi dipol momentiga ega bo'ladi. Dielektrik qutblanishini miqdoriy baholash uchun qutblanganlik vektor kattaligidan foydalaniladi.

Qutblanganlik (P) elektr maydon kuchlanganligiga (E) to'g'ri chiziqli bog'liqlikka egadir. Agarda dielektrik izohrop modda bo'lsa va E uncha katta bo'lmagan holda quyidagi formula o'rinli bo'ladi:

$$P = \chi \epsilon_0 E \quad (7.15)$$

Bunda  $\chi$  – moddaning dielektrik kirituvchanligi bo'lib, dielektrik xossalarni xarakterlovchi o'lchamsiz kattalikdir. Masalan: spirt uchun  $\chi \approx 25$  ga, suv uchun  $\chi = 80$  ga teng.  $\chi$  doimo musbat va  $\chi > 0$  bo'ladi. Muhitning dielektrik singdiruvchanligi deb quyidagi o'lchamsiz kattalikka  $\epsilon = 1 + \chi$  ga aytiladi va dielektrik ta'sirida maydon necha marta kuchsizlaganligini ko'rsatadi.

Nemis fizigi G.S. Om tajriba yo'li bilan bir jinsli metall o'tkazgichdan o'tuvchi tok kuchi o'tkazgich uchlaridagi kuchlanish U – tushuviga to'g'ri proporsional va utkazgich qarshiligiga teskari proporsional ekanligini aniqladi. O'tkazgich qarshiligi uning o'lchamiga, shakliga va uning xossalariga hamda qanday materialdan yasalganligiga bog'liq bo'ladi. O'tkazgich materiali xossasiga bog'liq bo'lgan elektrik kattalik solishtirma qarshilik deb ataladi va  $\rho$  – bilan belgilanadi, o'lchov birligi  $Om \cdot m$  larda ifodalanadi.

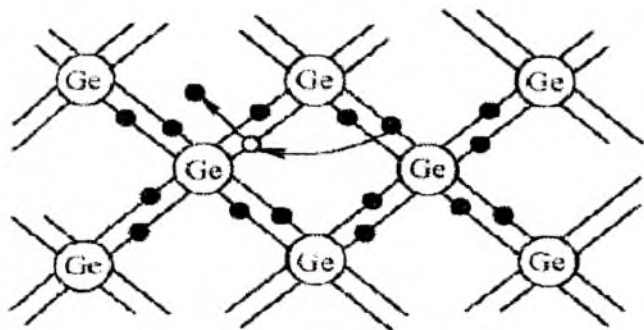
O'tkazgichning solishtirma qarshiligi  $10^{-7} Om \cdot m$  ga, dielektriklarning solishtirma qarshiligi  $10^8 Om \cdot m$  ga teng va undan katta bo'ladi. Tabiatda mavjud bo'lgan ko'pgina moddalarning solishtirma qarshiligi  $10^{-7} Om \cdot m$  –  $10^8 Om \cdot m$  oralig'ida joylashgan bo'ladi. Ular yarim o'tkazgichlar deb yuritiladi va elektrik xossalari bilan metallardan farq qiladi. Masalan: harorat ortishi bilan yarim o'tkazgichning qarshiligi kamayadi.

Metallardan farqli ravishda yarim o'tkazgichlarda elektr toki faqat erkin elektronlarga emas, balki atom bilan bog'lanishda bo'lgan elektronlarning harakati bilan ham yuzaga keladi va uning

o'tkazuvchanligida asosiy rolni o'ynaydi. Yarim o'tkazgichlarda kam miqdorda qo'shilgan aralashma solishtirma qarshiligini keskin o'zgartirib yuboradi. Elektronlar asosan atomlar bilan bog'langan holatda bo'ladi va past haroratda erkin elektron miqdori kam bo'ladi.

Yarim o'tkazgich elektr maydoni ta'sirida bo'lganda erkin elektronlar maydonga qarshi yo'nalishda harakat qilib, zaif tok hosil qilishi mumkin. Erkin elektronlarning bunday harakatidan yuzaga keluvchi o'tkazuvchanlik "elektron" o'tkazuvchanlik yoki "n" tip o'tkazuvchanlik (negative – manfiy) deyiladi. Atom bilan bog'langan elektronlarni bog'lanishdan ozod qilish uchun yyetarli ishga teng bo'lgan tashqi energiya, ya'ni issiqlik energiya berish kerak. Bu holda yarim o'tkazgichlarning qarshiligini kamayishi yoki o'tkazuvchanligini oshishiga sabab bo'luvchi erkin elektronlarning miqdori ortadi. Yarim o'tkazgichlar qarshilik termometri "termistor" shu hodisaga asoslangan holda ishlaydi. Bu termistor yordamida o'simlik va jonli organizmlarning nuqtaviy qismlarining xaroratini o'lchash mumkin.

Yorug'lik intensivligini o'lchash uchun foydalaniladigan termistorlar fotoqarshiliklar deyiladi. Yarim o'tkazgichlar uchun bog'langan elektronlarning ko'chishi bilan bo'lgan, ya'ni bir tur o'tkazuvchanlik xarakterlidir.



7.6-rasm. Elektron yarim o'tkazgich chizmasi.

7.3-rasmda germaniy atomlari orasidagi elektron bog'lanishlarning tekislikdagi sxemasi ko'rsatilgan. Doirachalar bilan germaniy atomlari, nuqtalar bilan tashqi elektronlar, chiziqlar bilan atomlarning elektron bog'lanishlari belgilangan. Tashqi qizdirish yoki yoritish ta'sirida atom bog'lanishdan bitta elektron ozod bo'ladi va uning o'rnida kattalik jihatdan teng bo'lgan musbat "teshik" deb ataladigan zaryad paydo bo'ladi, ya'ni elektronni ozod bo'lishi bilan teshik hosil bo'ladi. Ayni vaqtda tashqi maydon ta'sirida bog'langan elektronlarning bir qo'shni bog'lanishdan ikkinchisiga va ayni vaqtda teshiklarning qarama-qarshi tomonga harakati boshlanadi. Teshiklarning bunday tartibli harakati ham yarim o'tkazgichda tokning hosil bo'lishini ta'minlaydi va bunday o'tkazuvchanlik teshikli o'tkazuvchanlik yoki p tipli o'tkazuvchanlik (positive – musbat) deyiladi.

Yarim o'tkazgichlarda elektron va teshiklarning umumiy harakati elektr tokini vujudga keltiradi va yarim o'tkazgichning xususiy o'tkazuvchanligi deyiladi. Xususiy o'tkazuvchanlik sof yarim o'tkazgichlarda bo'ladi, sof yarim o'tkazgich esa tabiatda yo'q. Vaholanki, yarim o'tkazgichga ozgina qo'shilgan aralashma uning o'tkazuvchanligini keskin o'zgartirib yuboradi. Ba'zi aralashmalar yarim o'tkazgichni erkin elektronlar bilan boyitadi va n – tip aralashma deb yuritiladi. n– tip aralashma donor (beruvchi) deb atalib, bu holda elektron o'tkazuvchanlik oshadi. Ayrim aralashmalar yarim o'tkazgichni teshiklar bilan boyitadi va teshikli o'tkazuvchanlikni oshiradi. Bunday aralashma akseptor deyiladi va yarim o'tkazgich p – tip yarim o'tkazgich deb ataladi.

Germaniyga 0,0001% mishyak aralashmasi qo'shilganda tashqi issiqlik harakati yoki boshqa ta'sir tufayli erkin elektronlar soni 1000-marta ortadi. Bunda teshiklar soni ortmaydi. Germaniyga kam miqdorda indiy qo'shilganda, uning har bir atomi yarim o'tkazgichda bittadan teshik hosil qiladi va bunda erkin elektronlar

soni ko'paymaydi. Natijada germaniy teshiklar bilan boyiydi va germaniy aralashmali teshikli yarim o'tkazgichga aylanadi.

Dielektrik kirituvchanlikni bilgan holda tirik organizmda bo'ladigan ba'zi o'zgarishlar haqida xulosa chiqarish mumkin. Organizmdagi hujayrani va uni o'rab olgan hujayralardan tashqari biologik muhit tashqi muhitdan yarim o'tkazuvchi hujayra membranasi bilan ajralgan murakkab tizim deb qarash mumkin. Hujayra ochiq termodinamik tizim bo'lib, tashqi muhit bilan uzluksiz energiya, modda va ma'lumot almashinadi va bu almashinuv membranalar orqali amalga oshadi. Membrana oddiy holda lipid qatlamidan iborat bo'lib, lipidlar qatoriga neytral yog'lar, efirlar kiradi. Hujayrada lipidlar oqsil qatlamlari bilan o'rab olingan bo'ladi. Ko'pchilik membranalar taxminan 40% lipidlardan, 60% oqsillardan iborat. Sitoplazmatik membrananing qalinligi taxminan 5–10 nm. Hujayra membranalarining umumiy yuzasi juda katta. Masalan, kalamush jigarining massasi atigi 6 g. Uning membranalarining umumiy yuzasi 100 m<sup>2</sup>. Membranada lipid qatlami borligi uning dielektrik xossalarini belgilaydi. Membranalar solishtirma qarshiligi juda katta 10<sup>8</sup> Om.m. atrofida bo'ladi, bu esa sitoplazma va hujayralararo muhit qarshiligidan o'n millionlab kattadir. Membranalar dielektrik xarakteristikalari ko'pchilik texnik izohyatornikidan katta. Masalan, mitoxondriya membranasing qalinligi 8nm bo'lgan holda sirtlardagi potentsiallar farqi 200 mVga teng. Shunday qilib, membranadagiga elektr maydon kuchlanganligi

$$E = \frac{200 \cdot 10^{-3} V}{8 \cdot 10^{-9} m} = 25 \cdot 10^6 V/m$$

Shuni aytib o'tish kerakki, dielektrik sifatida ishlatiladigan chinni bu kuchlanganlikdan yuz marta kichik kuchlanganlikda «teshiladi».

#### § 7.4. Suyuqliklarda elektr toki

Elektr toki metallar yoki yarim o'tkazgichlardan o'tganda hech qanday kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'lmaydi. Bunday moddalar birinchi tur o'tkazgichlar deb ataladi. Elektr toki ayrim moddalardan

o'tganda kimyoviy o'zgarishlar sodir bo'ladi. Bunday moddalar ikkinchi tur o'tkazgichlar yoki elektrolitlar deb yuritiladi. Elektrolitlarga tuz, ishqor yoki kislotalarning suvdagi va boshqa suyuqliklardagi eritmaları, ayrim organik birikmalar kiradi. Shuning uchun elektr tokini o'tkazuvchi suyuqliklarni fizik xossasini o'rganish biologiyada katta ahamiyatga egadir. Elektrolitlarda elektr toki tashuvchilar bo'lib molekulari eritilgan modda eritmalarida dissosiasiyalanadigan, ya'ni parchalanadigan ionlar xizmat qiladi. Dissosiasiya natijasida hosil bo'lgan ionlar eritmada erkin harakatlanadi, agarda turli ishorali ionlar yyetarlicha kichik masofaga yaqinlashsa, qaytadan birlashib molekulaga aylanishi mumkin. Dissosiasiyaga teskari bo'lgan bu jarayon ionlarning rekombinatsiyasi deb ataladi. Eritmalardan tok o'tganda bu ikki jarayon bir vaqtda sodir bo'ladi. Erigan modda molekularining qanday qismi dissosiasiyalangan holatda bo'lishini ko'rsatuvchi  $\alpha$  – dissosiasiyalanish koeffitsiyentini xarakterlaydi. Agarda hajm birligida erkin modda molekularining soni  $n$  ga teng bo'lsa, u holda  $n' = \alpha n$  ta molekula eritmada ion ko'rinishda bo'ladi yoki  $n'' = (1 - \alpha)n$  ta molekula dissosiasiyalangan molekula ko'rinishida bo'ladi.

Elektrolitlar orqali tok o'tishi elektrodalarda elektrolitlarning tarkibiy qismlari ajralish bilan kuzatiladigan hodisaga elektroliz deyiladi.

Elektroliz vaqtida elektrodda ajralib chiqqan modda massasi eritmadan o'tayotgan tok kuchiga va uning o'tish vaqtiga proporsional bo'lishligini Faradey tajriba natijasida 1836-yilda aniqladi va bu qonun elektrolizning I-qonuni deyiladi.

$$m = kIt = kq \quad (7.16)$$

$k$  – moddaning tabiatiga bog'liq bo'lgan elektrokimyoviy ekvivalent deyiladi,  $m$  – ajralgan modda massasi.

$q=1$  Kl bo'lsa,  $k=m$  bo'ladi, ya'ni elektrokimyoviy ekvivalent deb eritmada 1 Kl zaryad o'tganda ajralib chiqqan modda massasiga aytiladi.  $A/Z$  – moddaning kimyoviy ekvivalenti, bu yerda  $A$  – atom og'irligi.

$Z$  – berilgan moddaning valentligi, u holda

$$K = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \quad (7.17)$$

Elektrolizning II-qonuni quyidagicha ta'riflanadi. Barcha moddalarning elektrokimyoviy ekvivalentlari uning kimyoviy ekvivalentiga to'g'ri proporsionaldir.

(7.15) va (7.16) dan birlashgan formulani olamiz

$$m = \frac{1}{F} \cdot \frac{A}{Z} \cdot q = \frac{AIt}{FZ} \quad (7.18)$$

$m = \frac{A}{Z}$  bo'lsa  $F=q$  bo'ladi.

Faradey soni kattalik jihatidan shunday elektr zaryadiga tengki, bu elektr zaryadi eritma orqali o'tganda elektrodda 1 kilogramm ekvivalent modda ajralib chiqadi.

Tajriba yo'li bilan  $F = 9.652 \cdot 10^7 \frac{\text{Kl}}{\text{kg} \cdot \text{ekv}}$  teng ekanligi aniqlangan.

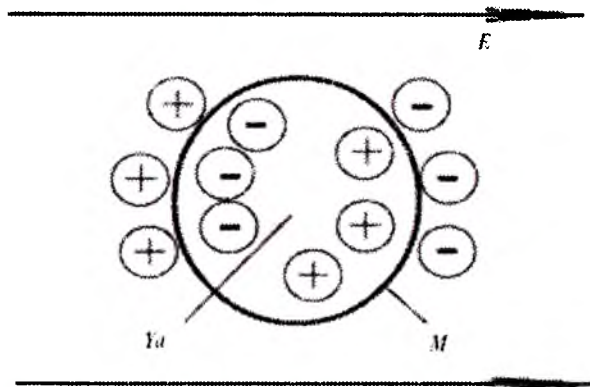
Elektrolizdan sanoatda mis, alyuminiy olishda, nikellash, xromlashda, nusxa ko'chirishda, galvanoplastikada foydalaniladi.

### § 7.5. Tirik organizmga elektr tokining ta'siri

Biologik to'qimalarning qarshiligi unchalik katta bo'lmagan obyekt-lardir. Jonivor va o'simlik organizmlarining suyuqliklari elektrolitlarning eritmalaridir. Shuning uchun tirik organizmdan o'zgarimas tok o'tganda organizmda kimyoviy reaksiyalar va elektr zaryadlarining kayta taqsimlanishi ro'y beradi, bu organizmda turli-turan seskanishlarni vujudga keltiradi. Seskanish intensivligi va tokning boshqa fiziologik ta'sirlarining intensivligi asosan tok kuchi



bilan aniqlanadi. Amperning yuzdan bir ulushiga teng tok odam tanasini jarohatlaydi. Odam yoki hayvon tanasidan o'tayotgan tok kuchi uning elektr qarshiligiga bog'liq, bu qarshilikni asosan terining qarshiligi tashkil qiladi. Qishloq xo'jalik hayvonlari ichida otning tokka juda sezgir ekanligini aytib o'tish zarur. Odam uchun zararsiz bo'lgan tok, ko'pincha otni nobud qilishi mumkin. Sog'lom terining solishtirma qarshiligi  $10^3 \text{ Om} \cdot \text{m}$ . Sog'lom teri quruq bo'lsa, bir qo'l uchlaridan ikkinchi qo'l uchlarigacha bo'lgan tananing qarshiligi 15000 Om ni tashkil qiladi. Tajribalarning ko'rsatishicha, sitoplazma, tirik hujayra, ayrim to'qimalarning o'zgarmas tokka qarshiligi ancha kattadir. Turli to'qimalar elektr o'tkazuvchanligi bir-biridan ancha farq qiladi. Orqa miya suyug'ligi, qon, limfa tokni yaxshi o'tkazadi, muskullar, jigar, yurak, o'pka muskullari esa yomon o'tkazadi. Yog', suyak to'qimalari va teri ulardan ham yomon o'tkazadi. Hujayraning elektr xossalari ham ancha murakkabdir. Sitoplazmaning solishtirma qarshiligi 0,1 dan 300  $\text{Om} \cdot \text{m}$  chegarasida yotadi. Hujayra membranasi 1  $\text{sm}^2$  yuzining qarshiligi  $10^3-10^4 \text{ Om} \cdot \text{m}$  gacha bo'ladi. Biologik tizimlaridan tok o'tishiga hujayrada ro'y beradigan qutblanish hodisalari ancha ta'sir qiladi.



7.7-rasm. Hujayra elektr maydonida. M-membrana, Ya-yadro

Elektr maydon ta'sirida hujayra sirtida qarama-qarshi yo'nalishda turli ishorali ionlar to'planadi. Bu ionlar konsentrasiyasi ma'lum bir miqdorga teng bo'lgach, dielektrik qatlam «teshiladi», ya'ni hujayra membranasi orqali tok o'ta boshlaydi. Kuchsiz toklarda membrana umuman «teshilmaydi», chunki bunda hujayraning ikki uchida to'planayotgan ionlar issiqlik harakati tufayli sochiladi. Demak, to'qimalarning elektr toki tomonidan ta'sirlanish bo'sag'asi mavjud bo'lib, undan past tokda tirik organizm tok ta'sirini sezmaydi. Elektr tokining ta'siri sezilarli bo'lishi uchun hujayra sirtida ma'lum miqdorda zaryad to'planishi shart, buning uchun ma'lum bir vaqt kerak bo'ladi. Bo'sag'a tokining vaqtga bog'lanishi Veys formulasi orqali ifodalanadi.

$$J = \frac{a}{t} + b \quad (7.19)$$

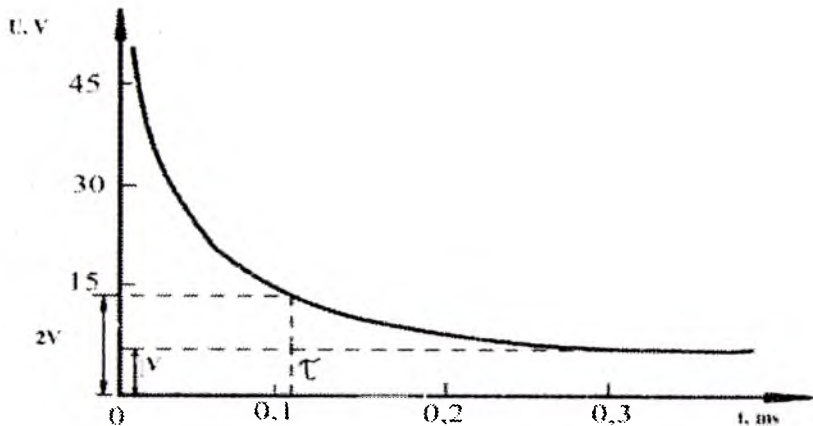
Tok kuchi kuchlanishiga proporsional bo'lgani uchun Veys formulasini quyidagicha yozish mumkin (7.5-rasm).

$$U = \frac{A}{t} + B \quad (7.20)$$

Bunda, A, B, a, b –tajribadan topiladigan o'zgarmas kattaliklar.

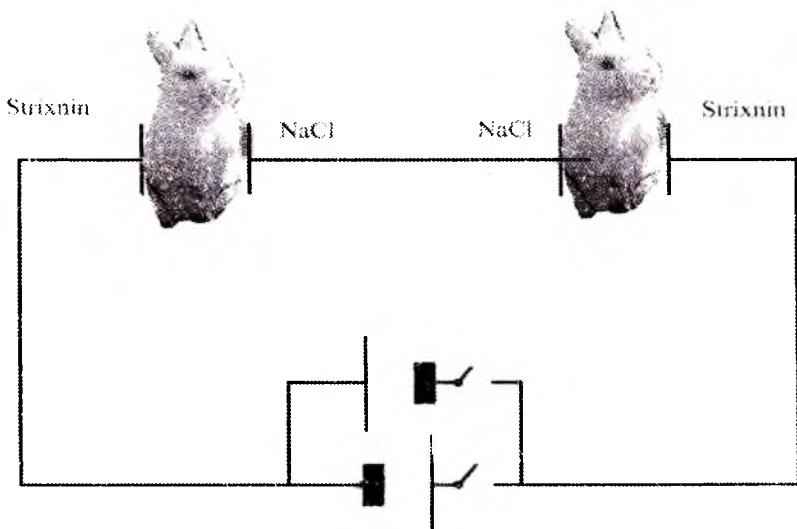
b yoki B – konstanta bo'sag'a tokining ko'p vaqt davomida ta'sir etuvchi minimal kuchini ko'rsatadi va u reobaza deb yuritiladi. Ikki reobazaga teng tok kuchida organizmni ta'sirlashtirishga ketadigan vaqtga xronaksiya deyiladi.

Xronaksiya kattaligi to'qimaning qo'zg'aluvchanligini ko'rsatadi va hayvonlar patologik holatini aniqlashga imkon beradi.



7.8-rasm. Tovuq uchun doimiy tokning ta'sir etish vaqti.

Qishloq xo'jaligida parrandalarga 60 DBdan yuqori shovqin bilan ta'sir etilsa qushlarning xronaksiyasida o'zgarish ro'y beradi, shu bilan birga ularning fiziologik holati yomonlashadi va tuxum tug'uvchanligi pasayadi. Shu sababli xronaksiyani o'lchash orqali ayrim kasalliklarni aniqlash mumkin. Kuchsiz toklar terapevtik ta'sirga ega, kuchsiz o'zgarimas toklar bilan davollash usuliga galvanizatsiya deyiladi. Bu usuldan XIX asr boshlarida foydalanila boshlaganlar. Elektrodlar joylashishi o'miga qarab ta'sir teridan nerv hujayralari orqali u yoki bu ichki organga uzatiladi. Natijada tok ta'sirida almashish va funksional xossalarda o'zgarishlar ro'y beradi. Teri va ichki organlarning tok ta'siriga javob reaksiyasi tufayli kapillyarlar reflektor tarzda kengayadi, hujayra membranalarining o'tkazuvchanligi o'zgaradi.



**7.9-rasm. Elektr maydoni yordamida tirik organizmga dori moddalar kiritish.**

Veterinariya klinikasida elektr toki yordamida tirik organizmga dori moddalarni kiritish usuli elektrofarez keng qo'llanilmoqda. Bunda hayvon tanasiga kiritilayotgan dorilar ta'siri o'zgarmas tok ta'siri bilan birga bo'ladi. Bunda elektrod bilan teri orasiga dori eritmasiga ho'llangan mato qo'yiladi. Tok o'tishi paytida matodagi dori ionlari teri orqali orga-nizmga o'tadi. Shu vaqtning o'zida teridan matoga hujayralardan  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$  va boshqa ionlar o'tadi

### **§ 7.6. Biopotsiallar va ularni o'lchash**

Tirik organizm turli qismlari orasida mavjud bo'lgan potentsiallar farqi biopotsiallar deyiladi. Biopotsiallar hayvon va o'simliklarning hujayralarida, to'qimalarida va organizmlarida paydo bo'ladi. Ularning ba'zilar doimiy mavjud, ayrimlari tashqi ta'sirlar tufayli paydo bo'ladi.

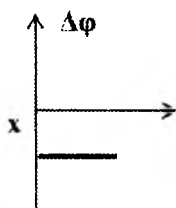
Elektr impulslari nerv, muskul to'qimalarining faoliyati vaqtida paydo bo'ladi va tirik organizmlarda kechadigan fiziologik va

patologik jarayonlarni aks ettirishi mumkin. Bioelektrik hodisalarni o'rganish 1771-yilda L.Galvani tajribalaridan boshlandi. 1838-yilda Matteuchi muskulning tashqi sirti musbat, ichki sirti manfiy zaryadga ega ekanligini aniqladi. Tinch holatdagi muskulning tashqi va ichki sirlari orasidagi potentsiallari esa muskulning qisqarishi, bezlar sekretsiyasi, hujayralarning ta'sirlanishi paytida hosil bo'ladi.

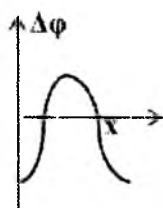
Biopotensiallar quyidagi turlarga bo'linadi:

1. G'alayonlanmagan holatda bo'lgan hujayraning tashqi va ichki qismidagi potentsiallar farqiga tinchlikdagi potentsial deyiladi (7.7-rasm).

2. Hujayraga tashqi ta'sir ko'rsatilganda u g'alayonlanadi. Bunda o'lchangan potentsiallar farqi harakat potentsiali deb ataladi (7.8-rasm).



**7.10-rasm. Tinchlikdagi potentsialni o'lchash.**



**7.11-rasm. Harakat potentsialini o'lchash.**

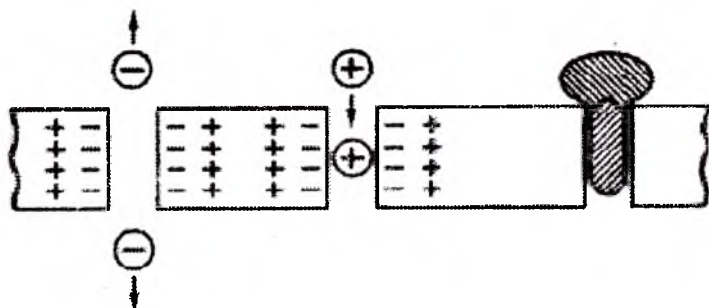
1875-yilda rus fiziologi V.Ya.Danilevskiy birinchi bo'lib bosh miyaning biopotensiallarini aniqladi. Biopotensialarning hosil bo'lishi ancha murakkab masala bo'lib, hozirgacha uning to'liq nazariyasi yaratilmagan. Hozirgi vaqtda 1952-yilda Xodjkin, Xakslit, Katslar taklif qilgan nazariya ko'p qo'llaniladi.

Shu nazariya bilan qisqacha tanishamiz.

Biror to'qimaning potentsialini uning tarkibidagi hujayralar potentsiallari yig'indisi deb qarash mumkin. U holda hujayra tirik orga-nizmning asosiy struktura elementigina emas, asosiy elektrik elementi hamdir. Hujayra va uni o'rab olgan hujayradan

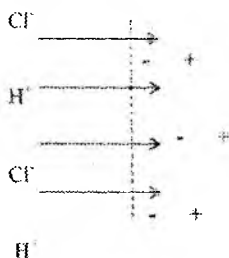
tashqaridagi biologik muhitni, tashqi muhitdan yarim o'tkazgichli hujayra membranasi bilan ajralgan murakkab tizim deb qarash mumkin. Hujayra ochiq termodinamik tizim bo'lib tashqi muhit bilan uzluksiz energiya, modda va informatsiya almashinadi. Bu almashinuv membranalar orqali amalga oshiriladi. Membrana oddiy holda lipid qatlamidan iboratdir. Lipidlar qatoriga neytral yog'lar, efirlar kiradi. Hujayrada lipidlar, oqsil qatlamlari bilan o'rab olingan. Membrana lipid qatlamida diametri 0,7–0,8 nm li teshiklar mavjud bo'lib, ular orqali suv va boshqa mayda molekulalar o'tadi, katta molekulalar esa o'ta olmaydi. Teshiklar, elektr zaryadiga ega bo'lganligi uchun, hujayraga ma'lum ishorali ionlar o'tishiga imkon beradi va teskari ishorali ionlarning o'tishiga halaqit beradi. Ayniqsa ko'p valentli ionlar o'tishi qiyin bo'ladi, chunki ularning zaryadi katta bo'lgani uchun gidrat qatlami bilan qoplanadi va effektiv diametri oshadi. Turli ionlar o'tkazuvchanligi har xil bo'lgani uchun membrananing turli tomonida ba'zi bir ionlarning nosimmetrik tarqalishini biopotensiallar paydo bo'lishining asosiy sababi deb qarash kerak. Biopotensiallar paydo bo'lish mexanizmi bo'yicha quyidagi turlari mavjud:

1. Diffuz potensial  $\Delta\phi$  paydo bo'lishi uchun (7.10-rasm) turli konsentratsiyali va anionlar, kationlar harakatchanligi turlicha bo'lgan elektrolitlarning kontakti bo'lishi kerak ( $U_{H^+} \gg U_{Cl^-}$ ). Chegara sirti ikkala ion uchun bir xil o'tkazuvchanlikka ega.  $H^+$  va  $Cl^-$  ionlar o'tishi kichik konsentratsiyalar tomoniga bo'ladi.



7.12 -rasm. Hujayrada biopotensial hosil bo'lish.

Vodorod ionlarining kattaroq harakatchanligi tufayli chegaradan o'ng tomonda ularning kattaroq konsentratsiyasi paydo bo'ladi,  $\Delta\varphi\alpha$  potentsiallar farqi hosil bo'ladi.



7.13-rasm. Diffuz potentsial paydo bo'lishi.

Diffuz potentsiali  $\Delta\varphi\alpha$  Genderson tenglamasi bilan aniqlanadi.

$$\Delta\varphi\alpha = \frac{U^+ - U^-}{U^+ + U^-} \cdot \frac{RT}{ZF} \ln \frac{C_1}{C_2}$$

1. Tengvaznli membrana potentsiali hosil bo'lishi.

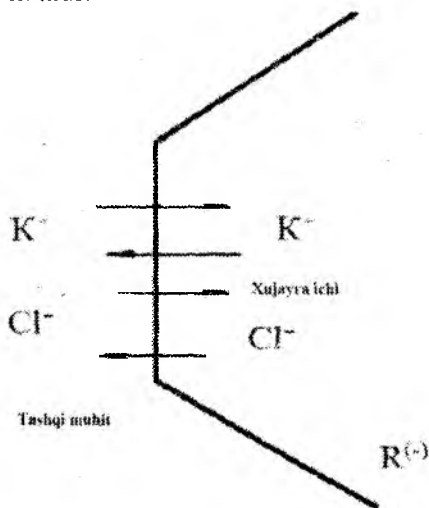
Hujayra sitoplazmasida va tashqi muhitda eng ko'p miqdorda bo'lgan asosiy ionlar, bu  $K^+$ ,  $Na^+$ ,  $Cl^-$ , va katta diametrli ionlar. Masalan, aminokislota ionlari R dir. Faraz qilaylik hujayra ichida  $K^+$ ,  $Cl^-$  va R<sup>-</sup> ionlari, tashqarisida esa faqat  $K^+$  va  $Cl^-$  ionlari bo'lsin. U holda kaliy va xlor ionlari membrana orqali ikkala yo'nalishda ham diffuziyalanadi, R<sup>-</sup> ioni esa hujayra ichida qoladi(7.11-rasm).

Kaliy va xlor ionlarining diffuziyasi har xil ishoralardan iborat, chunki xlor ionlarining tashqi muhitdan hujayra ichiga o'tishiga R-ionlari hosil qilayotgan manfiy zaryad to'sqinlik qiladi. Natijada kaliy va xlor ionlarining hujayra ichida va tashqarisidagi konsentratsiyalari bir xil bo'lmaydi. Bunda Danon tenglamasi deb ataladigan munosabat bajariladi.

$$[K^+]_u [Cl^-]_u = [K^+]_t [Cl^-]_t \quad (7.21)$$

Membrana orqali o'ta olmaydigan R- ionlar membrana ichki sirti yonida to'planishib, manfiy zaryad hosil qiladi. Bu zaryad hujayra

tashqarisidagi ionlar tortishib, membrana tashqi sirtida musbat qatlam hosil qiladi. Bunda hosil bo'ladigan potenciallar farqi Nernst tenglamasi deb ataladi:



7.14-rasm. Hujayra membranasidan ionlarning o'tishi.

$$\varepsilon_i = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (7.22)$$

bu yerda  $\frac{c_1}{c_2}$  – kaliy ionlari konsentratsiyasining nisbati

$$\frac{[K^+]_i}{[K^+]_t} = \frac{[Cl^-]_t}{[Cl^-]_i} \quad (7.23)$$

Quyidagi jadvalda turli hayvonlar uchun  $\frac{C_u}{C_T}$  va membrana potensial keltirilgan.



To'qima turi	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	Hayvon turi	To'qima	U, mV
Kalmar nervi	0.11	41	0,074	hashorat	qanot muskuli	80-90
Baqa nervi	0,31	44	-	baqa	oyoq muskuli	40-80
Baqa muskuli	0,12	1,2	0,01	ot	nerv	6
Baqa yurak muskuli	0,082	52	-	it	silliqlik muskul	1-3

Nernst tenglamasi bo'yicha hujayra membranasi uchun Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ionlari hosil qilayotgan potentsiallari hisoblab topildi. Biroq, bu ionlarning yig'indi potentsiali tajribada o'lchangan qiymatlardan farq qildi. Hujayraning tinchlikdagi potentsialini tushuntirish uchun yangi nazariya zarur bo'lib qoldi.

3. Stasionar membrana potentsiali  $\Delta\varphi_{ms}$  (7.12-rasm). Xodjkin va Kats hujayraning tinchlikdagi potentsiali tengvaznli bo'lmagan, stasionar, ya'ni Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ionlari oqimlari dinamik muvozanati bilan aniqlanadi, deb faraz qilishdi. Stasionar holatda oqim zichliklarining yig'indisi nolga teng, ya'ni vaqt birligi ichida membrana orqali hujayra ichiga kiruvchi va hujayra ichidan membrana orqali chiquvchi turli xildagi ionlarning soni bir-biriga teng:  $I=0$ .

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

Ularning faraziga ko'ra yig'indi oqim bir tomondan Na<sup>+</sup> va K<sup>+</sup> ionlarining ATF gidrolizi paytida chiqadigan energiya hisobiga ro'y beradigan aktiv transporti bilan, ikkinchi tomondan Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Cl<sup>-</sup> ionlarining passiv transporti bilan aniqlanadi. Bu holda membranada paydo bo'ladigan potentsial Golsman-Xodjkin-Kats tenglamasi (5.28) bilan aniqlanadi:

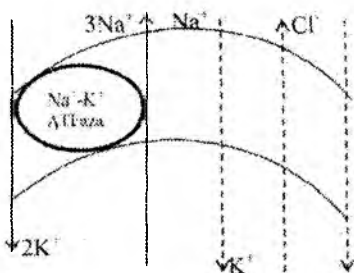
$$\Delta\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K [K^+]_0 + P_{Na} [Na^+]_0 + P_{Cl} [Cl^-]_i}{P_K [K^+]_i + P_{Na} [Na^+]_i + P_{Cl} [Cl^-]_0}$$

Yuqorida ko'rib chiqilgan uch hol hujayra membranasida tinchlikdagi potensial paydo bo'lishiga olib keladi.

Hujayraga tashqi faktorlar ta'sir etsa unda hujayra membranasining o'tkazuvchanligi o'zgarishi tufayli tinch biopotensial ham o'zgaradi. Bunda hosil bo'ladigan biopotensialga harakat potentsiali deyiladi. Bu potensial paydo bo'lishining sababi biror fizik faktor (mexanik, issiqlik, elektr) ta'sirida hujayra membranasining o'tkazuvchanligi yuz martalab oshadi.

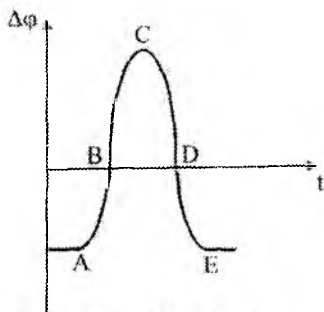
Harakat biopotentsiali paydo bo'lishi mexanizmlarni ko'rib chiqaylik (7.13-rasm).

Tashqi  
muhit



Hujayra ichi

7.15-rasm. Stasionar membrane potentsiali hosil bo'lishi



7.16-rasm. Harakat potentsiali paydo bo'lishi

Hujayraga tashqi ta'sir etganda (masalan, to'g'ri burchakli tok impulsleri) hujayra membranasini  $Na^+$  ionlari uchun tanlanma o'tuvchan bo'lib qoladi. Ular hujayra ichiga gradiyent bo'ylab aktiv kira boshlaydi va protoplazmaning manfiy potentsialini 0 gacha kamaytiradi (chiziqning AB qismi).  $Na^+$  ionlarining sizib o'tishi davom etib, u yerda musbat potentsial hosil bo'ladi (chiziqning BC qismi). C nuqtaga yetgach membrananing natriy nayi yopilib, kaliy nayi ochiladi.  $K^+$  hujayra ichidan aktiv chiqishi tufayli hujayraning

musbat potentsiali kamayadi (chiziqning CD qismi). D nuqtada membrana  $K^+$  va  $Na^+$  ionlari o'tkazuvchanligi bo'yicha boshlang'ich holatga keladi. Potensialning keyingi o'zgarishi (chiziqning DE qismi)  $K^+ - Na^+$  nasos ishi hisobiga ro'y beradi. Ye nuqtada hujayra g'alayonlanmagan holatga qaytadi.

Membrana tashqi sirti qo'zg'atilmagan qismlariga nisbatan musbat zaryadli bo'lib qoladi. Masalan, Kalmar gigant aksonining tinchlik potentsiali  $-45$  mV, qo'zg'alish tufayli hujayra ichining potentsiali  $+40$  mV, bo'ladi. Potensialining to'liq o'zgarishi yoki harakat potentsiali  $85$  mV, membrananing natriy ionlari o'tkazuvchanligining oshishi qisqa vaqt davom etadi, so'ngra u kamayadi, shu vaqtda kaliy ionlarining o'tkazuvchanligi oshadi, bu esa tinchlik potentsiali tiklanishiga olib keladi.

Harakat potentsiali bir joyda yo'q bo'lsada hujayraning qo'shni qismini qo'zg'atadi. Natijada potentsial impulsi tola bo'ylab tarqaladi. Harakat potentsialining davom etish vaqti  $2$  ms, tarqalish tezligi esa  $100$  m/s

Baqaning muskul tolasi harakat potentsiali  $110$  mV, it yurak muskul tolasi potentsiali  $120$  mV. Elektr baliqlarda ancha katta harakat potentsiali paydo bo'ladi. Kichik bo'lsada harakat potentsiali hamma hayvonlar va o'simliklar hujayralarida paydo bo'ladi. Biopotentsiallar mavjudligi hujayra hayotiy faoliyatining xarakterli belgisidir. Shuning uchun tashqi elektr maydoni hujayrada ro'y beradigan jarayonlarga ta'sir etadi.

Masalan; kalamushning kesilgan oyog'iga mikroelektrodlar qo'yilib, kichik tok o'tkazilishi natijasida suyak va muskul tolalarining  $5-7$  mm ga o'sishi kuzatiladi. Hozirgi vaqtda tibbiyot va veterinariya klinikasida yurak potentsiallarini qayd qilish usullari (EKG) va muskul to'qimalarining potentsialini qayd qilish usuli (elektromiografiya yoki EMG) keng ishlatilmoqda. Yuqori chastotali elektr toklari va elektromagnit maydonlardan foydalanilmoqda.

Odamlar organizmi uchun xavfli tok 100 mA, buzoqlar uchun 200–300- mA, qo‘zilar uchun 150–200 mA, cho‘chqalar uchun 170–200 mA, qoramollar uchun 220 mA. Qanday tok xavfli ekanligi to‘g‘risida biror qonuniyat mavjud emas. Hattoki 12 V ham odamni o‘ldirishi mumkin, masalan, bir fermada mollarni avtomatik sug‘oruvchi qurilmaga elektrodvigateldan bir fazaga tegishi tufayli 93 mol halok bo‘lgan. Hattoki 3–4 V kuchlanishi sigirning sut berish mahsuldorligini kamaytirib yuboradi.

Odatda biopotensiallar uncha katta emas, ya’ni bir necha o‘n millivoltdir. Lekin ba’zi akula va qiltiqli baliqlarda bir necha yuz voltga yetishi mumkin. Ugri, skat kabi elektr baliqlarning borligi qadimdan ma’lum edi.

Aniqlanishicha 300 turga yaqin baliqlarda elektr organlari mavjud ekan. Ko‘plari bu elektr razryadidan dushmaniga hamla qilishda ishlatsa, ko‘plar okean tubida lokasiya uchun ishlatadi. Baliqlarning asosiy elektr organi, bu plastinka shaklidagi muskul to‘qimalaridir. Masalan, ugri bu plastinka qalinligi 10 mkm uzunligi 10 mm atrofida bo‘ladi. Bitta plastinka kuchlanishi kichik, lekin ular ketma – ket ulanib oshiriladi. Masalan, Janubiy Amerika suvlarida yashovchi ugri 8000 tagacha plastinka bo‘lib, kuchlanishi 500 voltgacha yetishi mumkin. Suvning o‘tkazuvchanligi katta bo‘lganligi sababli, bu baliq o‘z zaryadi bilan ot yoki sigirni o‘ldirishi mumkin.

Biopotensialni o‘lchash uchun mikroelektrodlar kerak. Agarda organning hamma hujayralari bir vaqtda uyg‘onsa uni bevosita usul bilan o‘lchash mumkin. Bunday organlarga yurak, muskullar, miyalar kiradi.

Tibbiyot va veterinariyada yurak biopotensial (EKG) to‘qimalar biopotensial (EMG–elektromiografiya), miya biopotensial EEG (elektroensafalografiya)da keng qo‘llaniladi. Biopotensialni o‘lchash uchun kerakli organga elektrodlarni qo‘yish bilan aniqlanadi. Lekin klinik amaliyotda hayvon va odam tanasi sirtida hosil bo‘ladigan kuchlanish o‘lchash yordamida aniqlanadi.

Veterinariyada muskullar aktivligini tekshirish muhim rol o'ynaydi. Masalan, oshqozon va ichaklardagi hosil bo'ladigan biopotensiallarni o'lchash.

### **§ 7.7. Biologik tizimlarda o'zgarma va o'zgaruvchan tok**

Elektr toki deb zaryadlangan zarrachalarning tashqi maydon ta'sirida bir tomonga tartibli harakatiga aytiladi. Bunday zarrachalarga elektronlar, musbat va manfiy ionlar kiradi.

Elektron o'tkazuvchanlik metallarga xos bo'lsa, eritmalar uchun ionli o'tkazuvchanlik xarakterlidir. Real holda esa har qanday o'tkazuvchanlikda ionlar ham, elektronlar ham qatnashishi mumkin.

Biologik tizimlarda sof elektron o'tkazuvchanlik bo'lmaydi. Chunki ular yo dielektrik yoki elektrolitlar eritmasidan iborat bo'ladi. Masalan, qon, qon plazmasi, to'qima suyuqliklari shularga kiradi. Qon plazmasi tarkibida 0,32% osh tuzi va boshqa tuzlar, 6 – 7% oqsil bor. Bunday ko'plab erkin ionlarga ega bo'lgan tizim solishtirma qarshiligi kichik bo'lishi kerak, lekin sitoplazmaning o'zgarma tokka solishtirma qarshiligi katta, ya'ni  $1 \div 3$  om.m. ko'plab to'qimalar solishtirma qarshiligi  $10 \div 100$  kom.m atrofida bo'ladi. Bunga sabab sitoplazma tarkibiga elektrolitlardan tashqari yog'lar va oqsillar ham bo'lib, hujayradagi membrana ham elektr xossalarga katta ta'sir ko'rsatadi. Turli to'qimalar solishtirma qarshiligi turlichadir. Tirik obyektlarda elektr o'lchashlar olib borish ancha murakkab, chunki vaqt o'tishi bilan organizm fizik o'lchamlari o'zgarib turadi. Ularning o'zgarishiga undan tok o'tishi ham, fiziologik jarayonlar ham sabab bo'lishi mumkin.

Organizmdagi alohida to'qimalarda o'lchashlar olib borishda o'tkazuvchanlikning ion xarakterda ekanini e'tiborga olish zarur va ularda doimiy namlikni ta'minlash zarur. Buning uchun to'qima maxsus nam kameraga joylashtiriladi. Lekin bu holda hosil bo'ladigan yuza namligi hajmiy qarshilik bilan shuntlanganligi sababli natija noto'g'ri bo'lishi mumkin. Shuni unutmash kerakki,

har bir keyingi o'lchash oldingi o'lchash natijasiga ta'sir qilishi mumkin, shu sababli keyingi o'lchashlarda olingan natijalar tajriba qiymatlariga mos kelmasligi mumkin. Alohida hujayra elektr parametrlari o'lchash bundan ham murakkabdir. Hujayraga mikroelementni qo'yish unga ma'lum ta'sir ko'rsatadi va natijada uning elektr o'tkazuvchanligi o'zgaradi.

Doimiy tok o'tishida sitoplazmada dissosiasiya yuz beradi va u ancha katta bo'lsa hujayraning halokatiga olib keladi. Shu sababli hujayra yoki tirik organizm elektr o'tkazuvchanligini o'lchashda kichik toklardan foydalanish tavsiya qilinadi, lekin bu holda aniqlik darajaga kamayadi.

Ba'zi to'qimalarning solishtirma elektr qarshiligi quyidagi jadvalda keltirilgan.

7.2-jadval

No	Modda	$\rho$ $Om \cdot m$	Modda	$\rho$ $Om \cdot m$
1	Miya suyuqligi	0,55	Yog' to'qimasi	33
3	Qon plazmasi	0,71	Quruq teri	$10^5$
4	Qon	1,7	Suyak	$10^7$
5	Muskullar	2,0	Kimyoviy toza suv	$10^6$
6	Jigar	3,3	Kumush	$1,6 \cdot 10^{-8}$
7	Miya	14	yantar	$10^{18}$

Aktiv, induktiv va sig'im qarshilikka ega bo'lgan zanjirdan o'zgaruvchan tok o'tganda tok kuchi va kuchlanish orasidagi bog'lanish  $Om$  qonuni orqali ifodalanadi, ya'ni

$$I = \frac{U}{Z} \quad (7.24)$$

Bunda  $Z$  – zanjirdagi to'la qarshilik. Biologik tizimlarda umuman olganda induktivlik bo'lmaydi, shu sababli to'la qarshilik

aktiv va sig‘im qarshilikdan iborat bo‘ladi. Agarda aktiv va sig‘im qarshiliklar ketma-ket ulangan bo‘lsa, u holda to‘la qarshilik quyidagi formula bilan aniqlanadi, ya‘ni

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}} \quad (7.25)$$

Bunda  $\omega = 2\pi\nu$  - o‘zgaruvchan tokning doiraviy chastotasi,  $R_c = \frac{1}{\omega C}$  - sig‘im qarshilik. Reaktiv qarshiligi, ya‘ni sig‘im va induktiv qarshiliklari, bo‘lgan zanjirlarda tok kuchi va kuchlanish o‘zaro  $\varphi$  fazasiga siljigan bo‘ladi. Masalan, aktiv va sig‘im qarshiliklar ketma-ket ulanganda ulardagi tok kuchlari orasida faza siljishi ulardagi kuchlanishlar tushuvi orqali aniqlanadi.

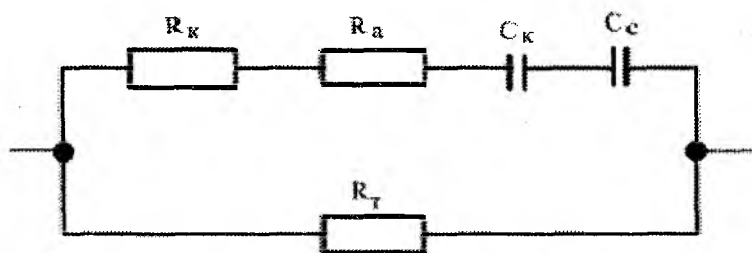
$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{U_C}{U_R} = \frac{I R_C}{I_R R} = \frac{R_c}{R} = \frac{1}{\omega R C} \quad (7.26)$$

Biologik tizimlar sig‘imi hujayra membranasi sig‘imi  $C_m$  va hujayra qutblanishi sig‘imi  $C_q$  orqali aniqlanadi va ular ketma-ket ulangan, deb olinadi. U holda natijaviy sig‘im

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_m} + \frac{1}{C_q} \quad C = \frac{C_m C_q}{C_m + C_q} \quad (7.27)$$

$C_q$  - qutblanish sig‘imi elektr maydon ta‘sir etish vaqtiga bog‘liq. O‘zgaruvchan tok chastotasi kichik va uzoq vaqt ta‘sir qilganda qutblanish sig‘imi hatto statik sig‘imdan ham katta bo‘lishi mumkin. O‘zgaruvchan tok chastotasi qancha yuqori bo‘lsa qutblanish sig‘imi shuncha kam bo‘ladi va chastota 10 kGs statistik sig‘imdan bir necha karra kichik bo‘ladi, ya‘ni  $C_q \ll C_m$  u holda (7.26) ga binoan  $C \approx C_q$  deb olish mumkin.

Biologik tizim uchun ekvivalent sxema quyidagi rasmda keltirilgan



7.17-rasm. Biologik tizim uchun ekvivalent chizma

Bunda,  $R_q$ -hujayra membranasida hosil bo'ladigan qutblanishlar tufayli vujudga keladigan aktiv qarshilik. Qutblanish qarshiligi qutblanish sig'im kabi chastota va vaqtga bog'liqdir. Qutblanish sig'imi va qarshiligi bilan ketma-ket hujayra sitoplazmasining aktiv qarshiligi  $R_a$  ulangandir. Tok hujayradan tashqari suyuqlik orqali ham o'tadi, shu sababli hamma hujayra ichidagi qarshilik hujayradan tashqari qarshilik bilan shunt qilinadi, kichik chastotalarda qutblanish bilan bog'liq effektlar xuddi o'zgarimas tokdagi kabi kattadir. Shu sababli  $C_q$  va  $R_q$  har ham kattadir, hujayralar oralig'i katta bo'lganda ular qarshiligi kichik bo'lib, asosiy tok  $R_t$  shunt qarshilik orqali o'tadi. Agarda hujayralar oralig'i kichik bo'lsa,  $R_t$  qarshilik oshadi va o'lchanadigan qarshilik  $R_q$  bilan aniqlanadi.  $R_q$  ning membraning o'tkazuvchanligiga bog'liqligidan kichik chastotalarda o'lchanadigan qarshilik membrana kirituvchanligidan iborat bo'ladi. Chastota oshishi bilan qutblanish effektlari kamayadi va demak  $C_q$  ham kamayadi. Bir necha MGs chastotalarda membraning qutblanishi amalda yo'qoladi va  $R_q$ ,  $C_q$  ni e'tiborga olmasa ham bo'ladi. U holda yuqori chastotalarda o'lchangan qarshilik

$$Z = \frac{R_x \cdot R_T}{R_x + R_T} \quad (7.28)$$

Bundan biologik tizimlarning yuqori chastotalarda o'lchangan qiymati ulardagi ionlar konsentratsiyasi o'lchovi bo'lishi mumkin.



Chastota 1GGs va undan yuqori bo'lganda qutblanish yana kamayadi va dielektr kirituvchanlikning kamayishiga olib keladi. Shunday qilib, elektr o'tkazuvchanlik ham hujayra membranasi xossalari bilan hamda hujayra va hujayra oralig'idagi suyuqlik xossalari bilan bog'liqdir.

Yuqorida aytilganidek, tirik organizm solishtirma qarshiligini o'lchash murakkabdir. To'qimalarda bo'layotgan o'zgarishlar haqida ma'lumot olish uchun veterinariyada shamollashlarni tashxis qilishda ularning elektr o'tkazuvchanligi o'zgarishi kuzatiladi. Shamollashning boshlang'ich davrida hujayra tuzilishida o'zgarish sezilarli bo'lmaydi va elektr qarshiligida ham o'zgarish bo'lmaydi.

Ammo, bu holda hujayra va to'qimaning shishishi kuzatiladi va hujayralar oralig'i kichrayadi. Bu esa aktiv qarshilikning oshuviga olib keladi. Yuqorida aytilganidek, kichik chastotalarda to'qima qarshiligining asosiy qismi hujayralar oralig'i qarshiligidan iborat bo'ladi. Shu sababli kichik chastotalarda qarshilikni o'lchab shamollash boshlanganini aniqlash mumkin. Shamollashning keyingi oshishida hujayra kimyoviy tarkibi va tuzilishi o'zgaradi, membrananing ionlarni o'tkazuvchanligi oshadi. Bu esa elektr sig'imning va hujayra qarshiligining kamayishiga va oqibatda umumiy qarshilikning kamayishiga olib keladi. Shunday qilib, past chastotalarda to'qimalar elektr qarshiligining kamayishi shamollash jarayonining boshlanishidan darak beradi.

Tirik organizm to'qimasining to'la qarshiligi qon aylanishiga bog'liqdir. Qon hujayra va tomirlar devoriga qaraganda kichik solishtirma qarshilikka ega. Shu sababli sistola paytida to'qimalarning qon bilan to'lishi to'qima qarshiligining kamayishiga, diastola vaqtida oshishiga olib keladi.

To'qimalar elektr qarshiligini periferik qon aylanish orqali o'lchash usuliga reografiya deyiladi.

Bu usulda chastotasi 20 – 30 kGs li o'zgaruvchan tok yordamida yurakning bir urish siklida to'qimaning ma'lum qismida to'la qarshilik o'lchanadi. Bu usul yordamida bosh miya tomirlari

(reosefalografiya), o'pka (reapulmonografiya), ko'z (reoofalmografiya) tekshiriladi.

### **§ 7.8 Veterinariya tibbiyotida elektr tokidan foydalanish**

Keyinga vaqtlarda tibbiyot va veterinariya tibbiyotida elektr toki yordamida tashxis qilish va davolash keng qo'llanilmoqda. Shu sababli elektr tokining qanday qiymati xavfsiz ekanini bilishning ahamiyati kattadir. Elektr toki hayvonga ta'sir qilganda asosan nerv tizimi ishdan chiqadi va natijada nafas olishning va yurak faoliyatining to'xtashiga sabab bo'ladi. Odam miyasida qon aylanishining ham buzilishiga olib keladi.

Yurakning ritmik ishi yurak oldi zonasida joylashgan sinuslar tugunida boshqariladi. Bu tugunda hosil bo'ladigan potensial oldin yurak oldi qismining va so'ng (odamda 0,1s) qorinchada qisqarishga olib keladi. Bu kechikish yurakning qisqarishidan oldin yurak oldining qonni yurakchalarga o'tkazishiga olib keladi. Potensial impulsi yurakcha sirtlari orqali yurakka qaytadi. Sinusoidal tugundan keyingi impuls chiqqan yurakchani qisqartirguncha 0,8 sekund vaqt o'tadi. Shunday qilib, yurak o'z-o'zidan uyg'onuvchi rejimda ishlaydi. Agarda tashqi manbadan kelayotgan tok yurak orqali o'tsa u muskul tolalarini uyg'otadi va ta'sir potensiali yurak orqali hamma yo'nalish bo'ylab tarqaladi va yurakchanning boshqarilmaydigan qisqarishiga olib keladi. U boshqa sabablar tufayli ham yuzaga kelishi mumkin: xirurgik operatsiya vaqtida, sovuq suvga birdan tushishda, zaharlanganda va boshqalar.

O'z-o'zidan boshlangan jarayon uni hosil qiluvchi ta'sir olingandan so'ng ham davom etishi mumkin. 1 – 2 minut davomida qon olmagan yurak muskullari zaiflashadi va muskullarning normal siqilishi to'xtaydi va u yomon oqibatlarga olib keladi. Lekin yurakning bunday tartibsiz ish jarayonini to'xtatish mumkin. Buning uchun unga qisqa vaqt davomida yo'nalgan katta tok impulsi beriladi.

Bu tok impuls ta'sirida yurak muskullari birdaniga qisqaradi va impuls berish to'xtatilgandan so'ng muskullar bir vaqtda bo'shashadi. Bunda sinus tuguni yurakning hamma muskul tolalarini o'ziga bo'ysundiradi va yurakning ritmik ishlashi tiklanadi. Bu holatda tok kuchi 1Adan kam bo'lmasligi kerak, chunki undan kam tokda hamma muskul tolalari birdaniga ritmik qisqarmasligi mumkin. Shu sababli kuchlanishi 220 V bo'lgan tok o'limga olib keladi, chunki bu holda yurak muskulidan 0,1 – 0,2 A tok o'tadi va u fibrilyasiyaga sabab bo'ladi. Yuqori kuchlanishli toklarda esa kuchli kuyish yuzaga keltiradi, ammo birdaniga o'limga olib kelmaydi va yurak muskullarini qisqa vaqtda qisqarishiga olib keladi va u yana o'z holatiga qaytadi. Hozirgi vaqtda defibrilyatorlar yurak holatini yaxshilashda, patologik tug'ishlarda bachadonni defibrilyasiya qilishda ishlatiladi. Elektrodlar ko'krak va orqaga qo'yilgan, unga 10A tok va bir necha kilovolt kuchlanish yuboriladi.

Fibrilyasiyani yuzaga keltira olmaydigan kichik toklar nafas organlarini nazorat qiluvchi nerv markazlarini ishdan chiqarishi mumkin. Hayvon tanasidan o'tuvchi tok kuchi qo'yilgan kuchlanish va elektr qarshiligiga bog'liq. Tana qarshiligi ko'plab faktorlarga bog'liq: elektrodning qo'yilishiga, teri holatiga. Nerv tizimida uncha katta bo'lmagan kuchlanish ham sutni ajratuvchi reflekslarni to'xtatishi mumkin. Xavfsiz chegaradan yuqori bo'lmagan toklar yordamida mollarni boqish uchun ajratilgan maydonlarni chegaralashda ham ishlatiladi. Bu holda 5 – 12kV kuchlanish to'siqlarga beriladi va agar mollar unga tegsa unda seskanish hosil qiladi. Bu usuldan ekin maydonlarni yovvoyi hayvonlar, g'ozlardan himoya qilishda ham ishlatiladi. Tokning ta'sir vaqti 10 millisekunddan kichik bo'lishi kerak. Generatordan 5 millisekund davom etuvchi kuchlanish beriladi. Ikki impuls orasidagi vaqt 1 sekundga teng. Bu holda hayvonga ta'sir etuvchi tok 100 mAdan oshmaydi. 10 – 15-marta hayvonga tok ta'sir qilsa, unda tokli o'tkazgichga yaqinlashganda qo'rqish hissi uyg'onadi va u tok o'tkazgichga yaqinlashmaydi.

Sinusoidal yoki impulsli tok yordamida og'riqni qoldirish (elektronarkoz) keng qo'llanilmoqda. Umumiy og'riq qoldirish uchun ignali elektroddan foydalaniladi. Uni hayvon boshi orqa tomoniga qo'yiladi. Unga sinusoidal yoki impulsli kuchlanish beriladi. Qoramollar uchun chastotasi 1 kGs tok kuchi 10 – 15 mA bo'lganda yaxshi natija olishi mumkin.

Elektronarkoz yordamida hayvonlarda turli xil operatsiyalarni qilish mumkin. Oddiy narkozdan farqi bu holda aniq dozirovka, tez bajarish, boshqa effektlarning yo'qligidir.

### **§ 7.9 Magnit maydonining asosiy fizik xarakteristikalari**

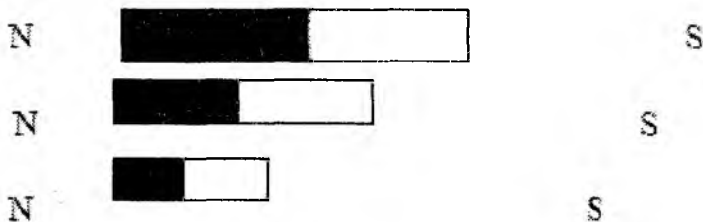
Qadim zamonlardan temir birikmasi ( $\text{FeO}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) boshqa temir jismlarni tortishi ma'lum bo'lgan. Yerning ham magnit xossalari mavjudligi aniq bo'lgan va o'tkir uchga qo'yilgan magnit sterjen o'z-o'zidan meridian bo'ylab joylashishi aniqlangan. Kompas Xitoyda bundan 3000-yil ilgari kashf qilingan. Doimiy magnitlarni dastlab 1600-yilda Gilbert o'rgangan. Ularning ikkita qutbi, ya'ni, temir buyumlarni katta kuch bilan tortuvchi chekka sohalari va ular orasida tortmaydigan neytral sohalari mavjuddir. Qutblarning biri doim shimolga, ikkinchisi esa doimo janubga qaragan bo'ladi va shuning uchun shimoliy va janubiy qutblar deyiladi.

Turli ismli qutblar o'zaro tortishadi, bir xillari esa itarishadi. Xuddi zaryadlangan jismlar elektr maydoni orqali ta'sirlashgani kabi magnit jismlar ham bir-biri bilan magnit maydoni orqali ta'sirlashadi.

Faqat harakatlanayotgan elektr zaryadlarigina (va o'zgarayotgan elektr maydonlarigina) magnit ta'siriga egadir. Magnit maydon materiyaning maxsus turi bo'lib, u orqali harakatlanayotgan zaryadlangan zarrachaga boshqa magnit momentga ega bo'lgan jismlarning o'zaro ta'siri o'rganiladi. Tabiatda magnit zarrachalari yo'q.

Magnitni qancha bo'lakchalarga bo'lsak ham alohida shimoliy qutb va alohida janubiy qutbga ega bo'lgan magnitni olib bo'lmaydi.

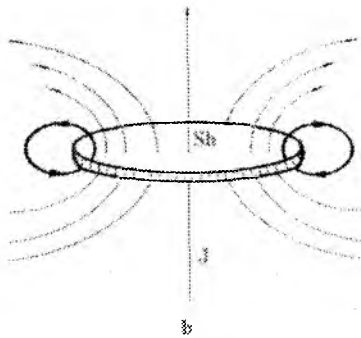
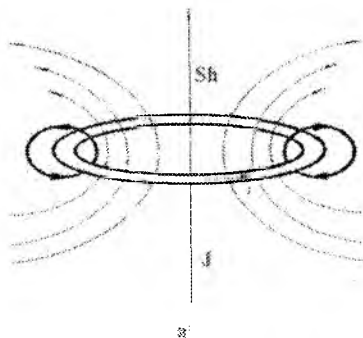
XVIII asrda Daniyalik fizik Ersted chaqmoq nazariyasini o'rgandi, chaqmoq ta'sirida temir buyumlarning magnitlanishi va kompastning magnitsizlanishini aniqladi. Bu esa magnit va elektr hodisalar o'zaro bogliq ekanligini ko'rsatadi. Ersted metall o'tkazgichdan tok oqayotganda uning atrofidagi magnit strelkasining yo'nalishi o'zgarishini tajriba orqali aniqladi. Keyinchalik fransuz fizigi Amper tokli ikki o'tkazgichning o'zaro magnit ta'sirini aniqladi.



**7.18-rasm. Doimiy magnitning qutblari ko'rinishi.**

Magnit maydonni grafik usulda tasvirlash uchun magnit kuch chiziqlari degan tushuncha kiritiladi.

Magnit maydon kuch chizig'i deb uning ixtiyoriy nuqtasiga o'tkazilgan urinma magnit maydonining shu nuqtasidagi shimoliy magnit qutbiga ta'sir etuvchi kuch bilan bir xil yo'nalgan xayoliy chiziqqa aytiladi. Magnit kuch chiziqlari doimo berk bo'ladi. Tokli o'tkazgich atrofida hosil bo'ladigan magnit maydon yo'nalishi burg'u qoidasiga asosan aniqlanadi. Unga binoan agar burg'u ilgarilanma harakat yo'nalishi tok yo'nalishi bilan mos kelsa, burg'u dastasining harakat yo'nalishi magnit maydon yo'nalishini ko'rsatadi.



**7.19-rasm. Aylanma tok va doimiy magnitda magnit induksiya kuch chiziqlarining joylashuvi**

Demak, aylanma tok va doimiy magnit maydoni induksiya kuch chiziqlari joylashuvi bir xil. Shuning uchun 1820-yil Amper doimiy magnitning sababchisi aylanma toklar ekanligi haqidagi gipotezani ilgari surdi. Aylanma toklar esa elektronlarning o'z o'qi va yadro atrofida aylanishi natijasida hosil bo'ladi. Magnit maydonni miqdoriy tomondan baholash uchun magnit induksiya vektori degan tushuncha kiritiladi. Bir jisimli magnit maydon induksiyasi birlik momentiga ta'sir etuvchi maksimal magnit momentiga son jihatidan teng bo'lgan fizik kattalikdir.

$$B = \frac{M_{\max}}{P_m} \quad (7.29)$$

Mikrotoklar magnit maydonini magnit maydon kuchlanganligi ifodalaydi,  $V$  – esa ham makro, ham mikrotoklar magnit maydonini xarakterlaydi. U holda ular orasida quyidagi bog'lanish mavjud.

$$B = \mu\mu_0 H \quad (7.30)$$

$\mu_0$  – magnit doimiysi,  $4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$  Gn/m  $\mu$  – o'lchamsiz kattalik bo'lib magnit kirituvchanlik deyiladi. U makrotoklar maydoni, mikrotoklar maydoni hisobiga qanchaga kuchayishini ko'rsatadi.

Magnit maydoni ham superpozitsiya prinsipiga amal qiladi.

$$B = \sum_{i=1}^n B_i \quad (7.31)$$

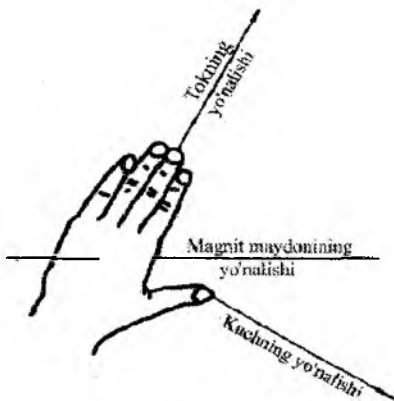
Magnit induksiya birligi qilib tesla (Tl) qabul qilingan.

1 Tl – bu shunday bir jinsli magnit maydon induksiyasiki, unda bir amper tok o'tayotgan  $1\text{m}^2$  yuzali konturga 1  $H \cdot M$  aylantiruvchi moment ta'sir qiladi.

Amperning aniqlashicha magnit maydonidagi  $d\ell$  o'tkazgichga maydon tomonidan ta'sir etadigan  $dF$  kuch undan o'tuvchi tok kuchiga,  $I d\ell$  element uzunligiga va magnit maydon induksiyasiga proporsionaldir.

$$\vec{dF} = I [ d\vec{\ell}, \vec{B} ] \quad (7.32)$$

Ta'sir etuvchi kuch yo'nalishi chap qo'l qoidasiga asosan topiladi.



**7.20-rasm. Magnit maydon kuchining yo'nalishini aniqlashning chap qo'l qoidasi**

Agar chap qo'limiz shunday qo'yilsaki, unga qo'limiz kaftiga magnit maydon kuchlanganlik vektori kiradigan va yozilgan to'rtta barmog'imizni esa tok bo'ylab yo'naladigan qilib joylashtirsak, u holda bosh barmog'imiz bu tokka ta'sir etuvchi kuch yo'nalishini ko'rsatadi. Amper kuchi moduli quyidagi formula bilan ifodalanadi.

$$dF = IBdl \sin \alpha \quad (7.33)$$

$\alpha$  –  $d\ell$  va  $B$  orasidagi burchak. Ikkita parallel tok uchun Amper qonuni quyidagicha bo‘ladi.

$$dF = \frac{\mu\mu_0}{4\pi} \frac{2I_1 I_2}{R} \cdot dl \quad (7.34)$$

Harakatlanayotgan zaryadlangan zarrachaga magnit maydon tomonidan ta’sir etuvchi kuch Lorens formulasi orqali ifodalanadi.

$$F = qvB \sin \alpha \quad (7.35)$$

$\alpha$  –  $v$  va  $B$  orasidagi burchak,  $q$ -zarracha zaryadi,  $q$  – uning tezligi,  $B$  - magnit maydoni induksiya vektori kattaligi.

### § 7.10 Elektromagnetizm

Bu bo‘limda biz 4 ta fundamental qonunlardan biri bo‘lgan elektromagnetizmni qarab chiqamiz. Siz mikroskop ostida mikroblarni ko‘rayotirsiz. Ba’zi mikroblar buyum stolida ko‘chib yuradi. Bunda ko‘chishga moyil aniq yo‘nalishni topish qiyin. Keyingi urinishlarda ham buni ko‘rish mumkin. Mikroskopni bursangiz ham hech narsa o‘zgarmaydi. Bu natijalardan so‘ng siz hayron bo‘lasiz. Qanaqadir tashqi kuch borgan o‘xshaydi? Og‘irlik kuchi vertikal ta’sir qiladi va gorizohtal yo‘nalishda mikroskop orientatsiyasiga bog‘liq emas. Siz mikroskopni boshqa xonaga qo‘ysangiz ham shu holat takrorlanadi, ya’ni bakteriyalar bir tomonga harakat qiladi. Uchinchi xonada stolga magnit o‘tkazamiz, bu holda bakteriyalar boshqa tomonga harakat qiladi va mikroskop harakatiga bog‘liq emas. Magnit qutbi o‘zgarsa, bakteriyalar harakatning harakat yo‘nalishi ham o‘zgaradi. Magnit yordamida bakteriya harakatini boshqarish mumkin. Siz bakteriyalar magnitga sezgirligini ko‘rasiz. Haqiqatan ham bakteriyalarda mikroskopik tartib bilan joylashgan doimiy magnitlar mavjud ekan. Bu hodisa 1975-yilda aniqlangan edi. 7.21 rasmda juda kichik bakteriyalarda magnitlar joylashuvi ko‘rsatilgan. Bakteriyalar uchun magnitning ular hayotidagi rolini aniqlash mumkin.

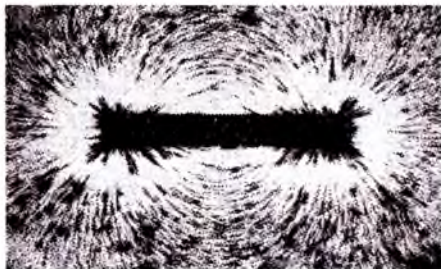




**7.21-rasm. har birining o'lchami 100 nm dan bo'lgan magnit zarrachalar zanjiridan tashkil topgan magnit bakteriyalar**

Ular magnitning shimoliy qutbigagina emas magnitning shimoliy tomoniga ham xarakatlanadi va loyqa suvda ham magnit maydoni tufayli o'z yo'lini topib oladi. Boshqa hayvonlarda ham, masalan, asalari, baliqlar, qushlar ham mikroskopik magnitlari bo'lib, yo'lini topib oladi. Xolodelnikdagi rasmini ushlab turuvchi magnit metallidagi magnit bilan ta'sirlashib ushlab turadi. Bu bobda magnit maydonining hosil bo'lishi va harakatini o'rganamiz. Miyadagi neyronlar ham shu xususiyatga ega.

1. Magnit kuchlar va maydonlar. Odamzod magnitni aniqlagandan so'ng uning xossalari va hosil bo'lish mexanizmini o'rganishga kirishdi. Tabiatda magnitik  $Fe_3O_4$  mineral va temir buyumlarda kuzatiladi. (72.2 rasmda magnit ko'rsatilgan) Magnitlar orasidagi tortishish va itarilish mineral atomida yuz berayotgan jarayonlar natijasidir.



**7.22-rasm. Magnit kuch chiziqlarini korsatuvchi temir kukunlari. Kompas ignasi magnit yoniga joylashtirilganda uning magnit kuch chiziqlari bo'ylab joylashuvi**

Oddiy kompas strelka yordamida magnitning yoʻnalishi va hatto kuchini aniqlash mumkin. Shunday qilib, kompas strelkasini elektrmaydonidagi zaryad kabi tasavvur qilish mumkin. Keyinchalik koʻrsatamizki kompas strelkasi taʼsirida aylanadi. Keyinchalik biz elektr toklar yordamida magnit maydonining hosil boʻlishini koʻrib chiqamiz. Mikrotoklar nimaligini koʻramiz. Hozirgi magnit maydoni va elektr zaryadi orasidagi taʼsirini koʻrib chiqamiz. Faraz qilaylik  $\vec{B}$  bir jinsli magnit maydoni fazoda mavjud boʻlsin. Bu fazoda  $Q$  zaryadga taʼsir etuvchi magnit kuchlarini aniqlaymiz. Avvalambor, shuni taʼkidlash kerakki, zaryad harakatsiz boʻlsa, magnit kuchlari boʻlmaydi. Agarda zaryad magnit maydoniga perpendikulyar  $V$  tezlik bilan harakatlansa, unda kuch paydo boʻladi.

$$F_M = q \cdot v \cdot B (\vec{V} \perp \vec{B})$$

Magnit kuch tezlik va magnit maydoniga perpendikulyar boʻladi. Kuch yoʻnalishi oʻng qoʻl qoidasiga asosan topiladi.

Magnit induksiya birligi SI sistemada Tesla (Tl).

$$1Tl = 1n \cdot s / kl \cdot m$$

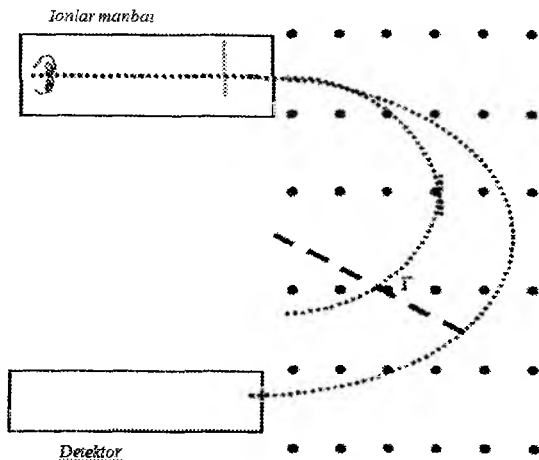
1 tesla katta birlik hisoblanadi. Masalan, Yerning magnit maydoni  $0.5 \cdot 10^{-4}Tl$  ga teng.

Yerning magnit maydon induksiyasi 0,56 Tl ga teng. Magnit maydoni taʼsirida bu zaryadning traektoriyasi qanday boʻladi? Kuch tezlik vektoriga perpendikulyar boʻlsa, u holda zaryad tezligi oʻzgarmas va unga markazga intilma taʼsir qiladi va uning yoʻnalishi oʻzgaradi. Demak, zaryad yopiq aylana boʻylab harakat qiladi. Bunda magnit maydon zaryadni aylana boʻylab harakat qilishga sababchi boʻladi.

Shunga asosan Nyutonning ikkinchi qonuni va markazga intilma tezlanishni eʼtiborga olib, quyidagi tenglamani yozamiz:

$$F_M = qvB = ma = \frac{mv^2}{r},$$

Bunda  $m$  – zarracha massasi,  $r$  – aylana radiusi. Bu tenglamani yechish uchun  $\frac{q}{m} = \frac{v}{rB}$  ni yozib olamiz. U holda  $m = \left(\frac{er^2}{2v}\right) B^2$ .



**7.23-rasm. Mass spektrometr sxemasi. Massa koeffisientiga binoan musbat ionlarning siklik yo'l bo'yicha radiusdan bog'lanishi. B-nuqtalar magnit kuch chiziqlari uchlarining biz tomon yo'nalishini ko'rsatadi**

Bundan zarracha  $r$  radiusli orbita bo'ylab doimiy tezlikda harakat qilishini ko'rish mumkin. Bu esa mass – spektrometrlarda qo'llaniladi va unda nisbiy massa va ionlar miqdorini aniqlashda qo'llaniladi. 7.23 rasmda ko'rsatilgandek musbat ionlar potentsiallar farqida tezlashtirilib EV energiya oladi. So'ng u bir jinsli magnit maydoniga tushib aylana bo'ylab harakatlana boshlaydi. Bundan biz ion massasini aniqlab olishingiz mumkin.

$$eB = \frac{1}{2}mv^2 \text{ bunda } v = \sqrt{\frac{geV}{m}}$$

7.23 mass – spektrometr sxemasi.

$$F_M = qvB \sin \theta \quad (7.36)$$

Misol. 17 % proton magnit induksiyasi 0,5 tI bo'lgan maydonda koordinatalar  $y = 0$  va  $y = 20 \text{ sm}$ , uning tezligi x o'q bo'ylab  $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ , y o'q bo'ylab  $6 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  bo'lsin, u holda topish kerak.

- a) uning aylanish vaqtini;
- b) uning traektoriyasini;
- s)  $B$  maydonga airish nuqtasi va tezligini.

Echish. a) tezlikning  $y$  o'qdagi qiymati o'zgarmas, uning o'tish vaqti

$$t = \frac{y}{v_y} = \frac{0,2}{6 \cdot 10^5} = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}$$

b) tezlik doimiy bo'lishiga qaramasdanuning potensial tezligi ham doimiy bo'ladi. Proton – vint ko'rinishidagi orbita bo'ylab harakat qiladi, uning radiusi

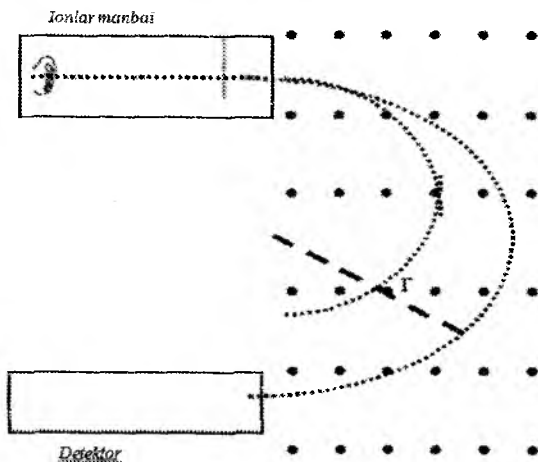
$$r = \frac{v_x \cdot m}{B \cdot e} = 8,4 \text{ mm}$$

s) protonning necha marta aylanishini topish uchun uning umumiy aylana uzunligini aniqlashimiz kerak.

Uning uzunligi 0,13 m, aylanish soni 105 ga teng. Aylana bo'ylab harakatlanganda magnit maydoni hech qanday ish bajarmaydi

### § 7.11 Moddalarning magnit xossalari

Tabiatdagi barcha moddalar o'zlarining magnit xususiyatlariga ko'ra uch guruhga bo'linadi: diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalarga. Jismlar atom va mole-kulalardan tashkil topganligi uchun ularning magnit xususiyatini ham shu zarrachalarning magnit xususiyatlari belgilaydi. Klassik nuqtai nazardan qarasak elektron orbitasida  $\mathcal{G}$  tezlik bilan aylanadi. Bu aylanma tokka o'xshash. Shuning uchun u orbital magnit momenti bilan xarakterlanadi:  $P_m = ISn$ . Elektronning o'z orbitasidagi aylanish chastotasi  $\nu$  desak, u holda tok  $I = e \cdot \nu$  yoki



**7.23-rasm. Mass spektrometr sxemasi. Massa koeffitsientiga binoan musbat ionlarning siklik yo‘l bo‘yicha radiusdan bog‘lanishi. B-nuqtalar magnit kuch chiziqlari uchlarining biz tomon yo‘nalishini ko‘rsatadi**

Bundan zarracha  $r$  radiusli orbita bo‘ylab doimiy tezlikda harakat qilishini ko‘rish mumkin. Bu esa mass – spektrometrlarda qo‘llaniladi va unda nisbiy massa va ionlar miqdorini aniqlashda qo‘llaniladi. 7.23 rasmda ko‘rsatilgandek musbat ionlar potentsiallar farqida tezlashtirilib EV energiya oladi. So‘ng u bir jinsli magnit maydoniga tushib aylana bo‘ylab harakatlana boshlaydi. Bundan biz ion massasini aniqlab olishingiz mumkin.

$$eB = \frac{1}{2}mv^2 \text{ bunda } v = \sqrt{\frac{geV}{m}}$$

7.23 mass – spektrometr sxemasi.

$$F_M = qvB \sin \theta \quad (7.36)$$

Misol. 17 % proton magnit induksiyasi 0,5 tI bo‘lgan maydonda koordinatalar  $y = 0$  va  $y = 20 \text{ sm}$ , uning tezligi x o‘q bo‘ylab  $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ , y o‘q bo‘ylab  $6 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  bo‘lsin, u holda topish kerak.

- a) uning aylanish vaqtini;
- b) uning traektoriyasini;
- s)  $B$  maydonga airish nuqtasi va tezligini.

Echish. a) tezlikning  $y$  o'qdagi qiymati o'zgarmas, uning o'tish vaqti

$$t = \frac{y}{v_y} = \frac{0,2}{6 \cdot 10^5} = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}$$

b) tezlik doimiy bo'lishiga qaramasdanuning potensial tezligi ham doimiy bo'ladi. Proton – vint ko'rinishidagi orbita bo'ylab harakat qiladi, uning radiusi

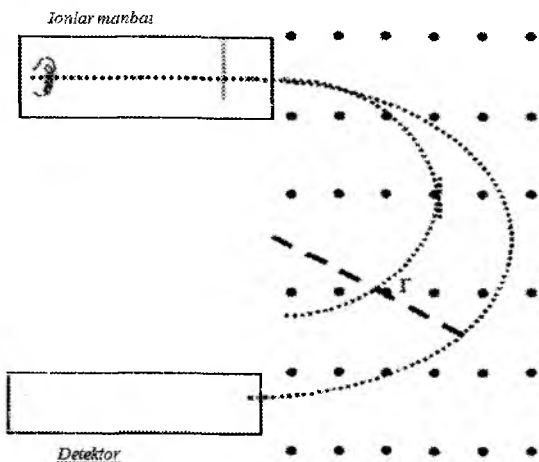
$$r = \frac{v_x \cdot m}{B \cdot e} = 8,4 \text{ mm}$$

s) protonning necha marta aylanishini topish uchun uning umumiy aylana uzunligini aniqlashimiz kerak.

Uning uzunligi 0,13 m, aylanish soni 105 ga teng. Aylana bo'ylab harakatlanganda magnit maydoni hech qanday ish bajarmaydi

### § 7.11 Moddalarning magnit xossalari

Tabiatdagi barcha moddalar o'zlarining magnit xususiyatlariga ko'ra uch guruhga bo'linadi: diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalarga. Jismlar atom va mole-kulalardan tashkil topganligi uchun ularning magnit xususiyatini ham shu zarrachalarning magnit xususiyatlari belgilaydi. Klassik nuqtai nazardan qarasak elektron orbitasida  $\mathcal{G}$  tezlik bilan aylanadi. Bu aylanma tokka o'xshash. Shuning uchun u orbital magnit momenti bilan xarakterlanadi:  $P_m = ISn$ . Elektronning o'z orbitasidagi aylanish chastotasi  $\nu$  desak, u holda tok  $I = e \cdot \nu$  yoki



**7.23-rasm. Mass spektrometr sxemasi. Massa koeffisientiga binoan musbat ionlarning siklik yo'l bo'yicha radiusdan bog'lanishi. B-nuqtalar magnit kuch chiziqlari uchlarining biz tomon yo'nalishini ko'rsatadi**

Bundan zarracha  $r$  radiusli orbita bo'ylab doimiy tezlikda harakat qilishini ko'rish mumkin. Bu esa mass – spektrometrlarda qo'llaniladi va unda nisbiy massa va ionlar miqdorini aniqlashda qo'llaniladi. 7.23 rasmda ko'rsatilgandek musbat ionlar potentsiallar farqida tezlashtirilib EV energiya oladi. So'ng u bir jinsli magnit maydoniga tushib aylana bo'ylab harakatlana boshlaydi. Bundan biz ion massasini aniqlab olishingiz mumkin.

$$eB = \frac{1}{2}mv^2 \text{ bunda } v = \sqrt{\frac{geV}{m}}$$

7.23 mass – spektrometr sxemasi.

$$F_M = qvB \sin \theta \quad (7.36)$$

Misol. 17 % proton magnit induksiyasi 0,5 **tI** bo'lgan maydonda koordinatalar  $y = 0$  va  $y = 20 \text{ sm}$ , uning tezligi  $x$  o'q bo'ylab  $4 \cdot 10^5 \text{ m/s}$ ,  $y$  o'q bo'ylab  $6 \cdot 10^5 \text{ m/s}$  bo'lsin, u holda topish kerak.

- a) uning aylanish vaqtini;
- b) uning traektoriyasini;
- s)  $B$  maydonga airish nuqtasi va tezligini.

Echish. a) tezlikning  $y$  o'qdagi qiymati o'zgarmas, uning o'tish vaqti

$$t = \frac{y}{v_y} = \frac{0,2}{6 \cdot 10^5} = 0,33 \text{ m} \cdot \text{s}$$

b) tezlik doimiy bo'lishiga qaramasdanuning potensial tezligi ham doimiy bo'ladi. Proton – vint ko'rinishidagi orbita bo'ylab harakat qiladi, uning radiusi

$$r = \frac{v_x \cdot m}{B \cdot e} = 8,4 \text{ mm}$$

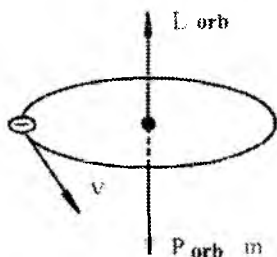
s) protonning necha marta aylanishini topish uchun uning umumiy aylana uzunligini aniqlashimiz kerak.

Uning uzunligi 0,13 m, aylanish soni 105 ga teng. Aylana bo'ylab harakatlanganda magnit maydoni hech qanday ish bajarmaydi

### § 7.11 Moddalarning magnit xossalari

Tabiatdagi barcha moddalar o'zlarining magnit xususiyatlariga ko'ra uch guruhga bo'linadi: diamagnit, paramagnit va ferromagnit moddalarga. Jismlar atom va mole-kulalardan tashkil topganligi uchun ularning magnit xususiyatini ham shu zarrachalarning magnit xususiyatlari belgilaydi. Klassik nuqtai nazardan qarasak elektron orbitasida  $\mathcal{G}$  tezlik bilan aylanadi. Bu aylanma tokka o'xshash. Shuning uchun u orbital magnit momenti bilan xarakterlanadi:  $P_m = ISn$ . Elektronning o'z orbitasidagi aylanish chastotasi  $\nu$  desak, u holda tok  $I = e \cdot \nu$  yoki





7.24-rasm. Magnit momentining yo‘nalishini aniqlovchi chizma

$$I = \frac{ev}{2\pi r} \quad (7.37)$$

U holda orbital magnit momenti yoki elektronning orbita bo‘ylab harakat sharti quyidagicha ifodalanadi:

$$P_{orb} = \frac{evr}{2} \quad (7.38)$$

Elektronning mexanik impuls momenti  $L_e = m_e \cdot \mathcal{G} \cdot r$  ga teng, bunda  $m_e$  - elektron massasi,  $\mathcal{G} = 2\pi\nu R$  bu yerda  $L_e$  - elektronning mexanik orbital momenti deyiladi.

Elektron magnit momentining uning mexanik momentiga bo‘lgan nisbatiga

$$\frac{P_m}{M} = -\frac{e}{2m} \quad (7.39)$$

magnitomexanik nisbat deyiladi.

Elektron xususiy magnit momentga ham ega bo‘lib unga spin deyiladi. Spin magnitomexanik nisbat orbital magnito mexanik nisbatdan ikki marta katta bo‘ladi.  $P_m$  va  $L_e$  har yo‘nalishi qarama-qarshidir. Shuning uchun

$$p_m = -\frac{e}{2m} L_e = gL_e \quad (7.40)$$

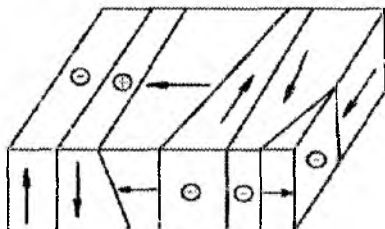
Bunda  $g = -\frac{e}{2m}$  ga teng.

Molekulaning magnit momenti atomlarning magnit momentlari yig'indisiga teng. Magnit maydonda magnit momentlar oriyentirlanadi va jism magnitlanadi. Magnitlanish darajasi magnitlanish vektori  $j$  bilan xarakterlanadi. Ya'ni, hajm birligidagi magnit momentlar yig'indisi:

$$j = \frac{\sum P_m}{V} \quad (7.41)$$

Klassik nazariyaga binoan paramagnit jismlarda noldan farqli magnit momentlar mavjud, lekin ular xaotik joylashgan. Shuning uchun magnitlanish vektori nolga teng ( $j = 0$ ).

Tashqi maydonga kiritilgan paramagnitdagi magnit momentlar magnit maydon bo'ylab joylashadi. Ular uchun nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu > 1$  bo'ladi. Paramagnit moddalarga kislorod, azot, alyuminiy, molibden, volfram, platina, ishqor va ishqoriy yer metallar va boshqalar kiradi.



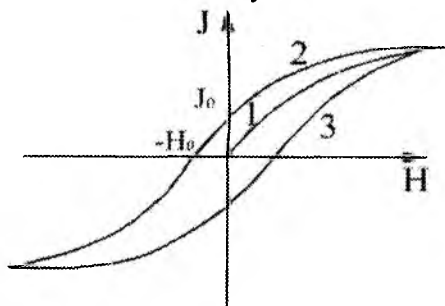
7.25-rasm. Ferromagnitlarda domenlarning joylashuvi

Diamagnitlar uchun nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu < 1$ . Diamagnit moddalarga fosfor, oltingugurt, surma, uglerod, vismut, simob, oltin, kumush, mis, suv va boshqa birikmalar kiradi.

Diamagnitlarda tashqi magnit maydoni ta'sirida atom orbitasi bo'ylab harakatlanayotgan elektronlar harakatida o'zgarish paydo bo'ladi. Natijada tashqi maydon yo'nalishida joylashgan elektronlar magnit maydonlari kamayadi, tashqi maydonga qarama-qarshi bo'lgan elektron magnit maydonlari oshadi. Natijada diamagnit moddalarda magnit maydoni kamayadi.

Ferromagnitlarda nisbiy magnit singdiruvchanlik  $\mu \gg 1$ . Ferromagnit moddalarga temir, nikel, kobalt, gadoliny, disproziy, marganes va xromning ba'zi qotishmalari kiradi.

Ferromagnit tabiati kvant nazariyasi asosida tushuntiriladi.



**7.26-rasm. Ferromagnitlarda gisterezisni ko'rsatuvchi chizma. H-magnit kuchlanganligi, J-magnitlanish vektori,  $J_0$ -qoldiq magnitlanish,  $H_c$ -koersitiv kuch**

To'yinish xolatigacha magnitlangan ferromagnitda maydon kuchlanganligi ( $H$ ) ni kamaytira boshlasak, induksiya  $V$  ham kamayadi, biroq boshqa yo'nalish orqali kamayadi.  $H=0$  bo'lganda ferromagnit to'la magnitsizlanmaydi, ya'ni qoldiq  $V_0$  magnit induksiya aniqlanadi. U to'la magnitsizlanishi uchun  $H=-H_k$  ga tengkuchlanganlikli qarama-qarshi tashqi maydon hosil qilishi zarur. Bu kuchlanganlik koersitiv kuch deyiladi.

Magnit induksiya o'zgarishlarining magnitlovchi maydon kuchlanganligi o'zgarishlaridan orqada qolish hodisasi magnit gisterezisi deb va 7.20-rasmdagi berk egri chiziq esa gisterezis sirtmog'i deb ataladi. Gisterezis – (grekcha) orqada qolish degan ma'noni anglatadi.

Ferromagnitlarning yana bir muhim xususiyati bor; har bir ferromagnit uchun Kyuri nuqtasi deb ataluvchi aniq haroratda ular o'zlarining magnit xossalarini yo'qotadi. Masalan: temir uchun bu harorat  $-770^{\circ}\text{C}$ , nikel uchun  $-360^{\circ}\text{C}$

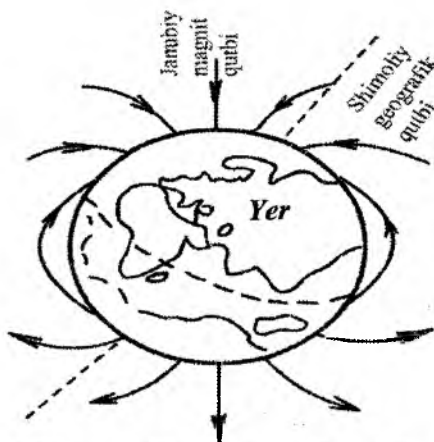
## § 7.12. Veterinariya terapiyasida magnit maydonning qo'llanilishi

Magnit maydonidan amalda ko'p maqsadlarda foydalanadilar. Medi-sinada kuchli magnit maydoni yordamida ko'zdagi temir buyumlarni jarrohliksiz olishda ishlatiladi. Organizmning ko'p qismi diamagnitdir. Orga-nizmdagi ion va molekular paramagnitdir. Organizmda ferromagnit zarrachalar yo'q. Organizmdagi biotoklar kuchsiz magnit maydoni hosil qi-ladi (magnitokardiografiya).

Magnitobiologiya magnit maydonning organizmga ta'sirini o'rganadi. Qonning xarakteristikasi magnit maydonida o'zgarishi mumkin. Bunga sabab molekularning magnit maydonda oriyentirlanishi, ionlarning Xoll effekti tufayli siljishidir.

Yaxlit metallarda uyurmali toklar hosil bo'ladi. Bunday toklar biologik organlarda ham hosil bo'lishi mumkin. Fizioterapiyada uyurmali toklar yordamida terining ba'zi qismlarini isitishda foydalanadilar (induktoterapiya).

Magnit maydoni yordamida qoramollar yutgan temir buyumlarni oshqo-zondan olish mumkin.



7.27-rasm. Yerning magnit maydoni

Baland kengliklarda qutb yog'dusining ko'plab hosil bo'lishi, yer magnit maydonining ta'siri bilan tushuntiriladi. Kosmosdan yerga uchib kelayotgan zaryadli zarrachalar yerning magnit ta'sir doirasiga tushadi va maydonning kuch chi-ziqlari bo'ylab, ularga «o'ralgan» holda harakatlanadi. Yer magnit maydo-ning konfiguratsiyasi shundayki, zarralar yerga asosan qutb sohalarida yaqinlashadi va erkin atmosferada yolqin razryad hosil qiladi. Rus olimi Chijovski ko'plab biologik jarayonlarning davriy takrorlanishini aniqladi. Bu esa quyosh aktivligi o'zgarishi bilan bog'liqdir. Hayvonlar va hashoratlar populyatsiyasi, epidemiyalarning takrorlanishi, bir davrdan boshqa davrda hayvonlarning ko'chishi, inson va hayvon qon to'qimasi tarkibining o'zgarishi, tug'ilish va o'lish, hattoki avtomobil halokatlari va travmatizmning o'zgarishi ham magnit bo'ronlariga bog'liq ekan. Magnitobiologik effektlar asosan quyidagilardan iborat: 1. Doimiy magnit asosan tomirlarga, jigarga, o'pkaga ta'sir qiladi. 2. Leykosit va eritrositlar ko'payadi. 3. Miyaning elektr aktivligi oshadi. 4. Hayvonlar harakatchanligi oshadi. Baliq va qushlarda  $4000 \cdot 10^{-4}$  Tl. magnit maydonda to'la harakati to'xtaydi. Yerning o'rtacha magnit maydoni  $0,7 \cdot 10^{-4}$  Tl. iboratdir.

Qonning turli tomirlardagi tezligini o'lchash uchun maxsus elektro-magnit hisoblagich ixtiro qilingan. Bu qurilma zaryadlangan zarrachalarning magnit maydonidagi harakatiga asoslangan. Qonda juda ko'p zaryadli ionlar mavjud. Masalan, qon plazmasida  $145 \text{ mmol/l Na}^+$  ionlari,  $125 \text{ mmol/l Cl}^-$  ionlari mavjud.

Boshqa ionlar konsentratsiyasi ancha kam, faraz qilaylik ma'lum miqdor bir zaryadli ionlar arteriyada  $\mathcal{G}$  tezlik bilan harakat qilayotgan bo'lsin va u magnit maydoniga joylashtirilsa, bu ionlar arteriyaning turli tomonlariga harakatlanadi. Arteriyada U potensiallar farqi hosil bo'ladi. U holda tezlik

$$\mathcal{G} = \frac{U}{Bd} \quad (7.42)$$

Demak, qon harakati tezligini o'lchash uchun potentsiallar farqini bilish zarur.  $d$  – qon tomiri diametri.

Erkin radikallar – molekula yoki molekulaning bir qismi bo'lib, u kompensasiyalanmagan elektron spinga ega.

Erkin radikalning magnit momenti mavjud, shu sababli to'g'ridan-to'g'ri magnit kirituvchanlikni o'lchash yo'li bilan erkin radikalni aniqlash mumkin. 1944-yilda Zavoytskiy elektron paramagnit rezonans usulini aniqladi. Bu usul moddaning magnit xossasi bilan bog'liq elektromagnit energiyaning yutilishiga, ya'ni elektron va atom yadrosi magnit xossalari asoslangan. EPR yordamida biologik tizimlarda erkin radikallarni aniqlash mumkin.

Silliq sirtli urug'larni (beda, zig'ir, yo'ngichka) yovvoyi o'tlarning g'adur-budur sirtli urug'lardan tozalaydigan urug' tozalash magnit masini ishlatish ham ferromagnit xossalari asoslangan. Bu urug'lar aralashmasiga ferromagnit kukunlar aralastiriladi. Ular yovvoyi o't urug'lari g'adur-buduriga kirib qoladi va elektromagnit barabaniga tortiladi.

Yerdagi hamma tirik jonzod kuchsiz statik elektr maydoni (SEM) ta'siridadir. Bu elektr maydoni yerdagi ortiqcha manfiy zaryadlar tomonidan hosil qilinadi. Yer shari o'tkazgich sifatida va atmosferaning yuqori o'tkazuvchan qismlari ionosfera musbat zaryadi toklardan iborat bo'lib, sferik kondensatorni hosil qiladi va elektr maydon kuch chiziqlari ionosferadan yerga qarab yo'nalgandir. Yer elektr maydoniga undagi o'tkazuvchilarning hajm bo'ylab taqsimlanishi va atmosfera sharoitlari ta'sir ko'rsatadi. Yer sirtida o'rtacha maydon kuchlanganligi taxminan 150V/m. ga teng bo'lib, momaqaldiroq vaqti yuzlab marta oshadi.

XX-asrda yuqori kuchlanishli elektr liniyalarining ishga tushishi SEM kuchlanganligini 5 – 20 kV/m gacha oshirdi. Shu sababli bu maydonning tirik organizmga ta'sirini o'rganish muhimdir.

SEM yordamida ishlov berilgan urug'lar o'suvchanligi tezlashganligi aniqlangan. XVII-asrda SEM yordamida davolash (franklinizasiya yoki statik dush) usullari ixtiro qilingan. Ular

qo'llanilganda odam yoki hayvon 50kv kuchlanishli elektrodlar orasiga joylashtiriladi. Bu usul asab va boshqa kasalliklarni davolashda ishlatiladi, lekin hozirgacha bu maydonning tirik organizmga qanday mexanizm orqali ta'sir qilishi ma'lum emas. Fizik nuqtai nazardan olganda SEM to'qima va molekularlar tarkibidagi hujayraning qutublanishi bilan aniqlanadi, ya'ni jism sirtida elektr zaryadlari paydo bo'ladi va o'tkazuvchi qismlarda mikrotoklar hosil bo'ladi. 10 kV/m dan yuqori bo'lgan kuchlanganlikda elektr maydon DNK molekularlardagi zanjirlarning uzulishiga olib keladi va xromosomalarning ajralishiga sabab bo'ladi.

Xuddi, SEM kabi yerdagi har bir jonzod doimiy magnit maydon (DMM) ta'sirida hamdir. Yerning magnit maydonining kelib chiqish sabablari aniq bo'lmasada, uning asosiy xarakteristikasi ma'lumdir.

Geomagnit maydonning o'rtacha qiymati taxminan  $0,7 \cdot 10^{-4} \text{Tl}$  ga teng. Lekin, yerdagi ayrim anomaliyalar tufayli ba'zi joylarda magnit maydon induksiyasi  $2 \cdot 10^{-4} \text{Tl}$  gacha ham yetishi mumkin. Yerning magnit maydoniga asosiy sabab yer tubidagi jarayonlardir, lekin bundan tashqari ionosferadagi elektr toklar ham unga ta'sir ko'rsatadi. Bular ichida eng kuchli ta'sir quyoshda bo'ladigan magnit bo'ronlaridir. Eng ko'p ma'lum bo'lgani 11 kunlik davriy sikldir. Lekin 27 kunlik sikl ham mavjud. Gravitatsion maydon kabi geomagnit maydon ham biosferaga ta'sir ko'rsatadi. Keyingi vaqtlarda magnit maydonning tirik organizmlarga biologik ta'siriga e'tibor qaratilmoqda.

Olimlarning ko'p yillik izlanishlari tirik organizmda magnit maydoni ta'sirida quyidagi o'zgarishlar bo'lishi mumkinligini aniqladi.

1. Qonning magnitogidrodinamik tormozlanishi. Magnit maydoni ta'sirida biologik suyuqliklarda induksion toklar paydo bo'lib qon harakatini to'xtatadi.

2. Magnit maydoni ta'sirida bo'lgan nerv tolasi orqali harakatlanadigan elektr impulsiga Amper kuchi ta'sir qiladi va tola egiladi. Bu holda o'zinduksiya toki hosil bo'ladi va Lens qonuniga binoan to'xtaydi.

3. Nerv tolasida hamma molekulalar magnit momentiga ega bo'lib, ba'zi molekulalarni magnit momenti ancha katta bo'ladi. Ularning magnit maydoniga mexanik moment ta'sir qiladi va uni ma'lum yo'nalishda oriyentirlaydi. Biologik aktiv molekulalarda bo'ladigan o'zgarishi biokimyoviy reaksiya kinetikasi va biomembrana singdiruvchanligiga ta'sir ko'rsatishi mumkin.

Doimiy magnit maydondan veterinariyada ko'p maqsadlarda foydalaniladi. Chorvachilikda ishlatiladigan poxol, somon va boshqa ozuqalar ichiga tushib qolgan turli xil metall parchalar magnit yordamida ushlab qolinadi.

Barcha tirik organizmlar quyosh va kosmosdan kelayotgan elektromagnit maydon ta'sirida bo'ladi. Bu to'lqinlar diapazoni 10 MGs dan 10 GGs gachadir. Ammo, ularning intensivligi kichik va odatda  $10^{-9} \text{ Bm} / \text{m}^2$  ga tengdir. Oxirgi vaqtlarda texnikaning rivoji, bu maydonning oshishiga olib keldi.

Hayvonlar bilan o'tkazilgan tajribalar shuni ko'rsatadiki, barcha jonivorlar shu jumladan odamning ham ko'p organlariga elektromagnit maydon ta'sir qilar ekan. Elektromagnit maydon bioobyekt bilan ta'sirlashganda u asosan organizmni isitadi. Chastota 10 MGs atrofida bo'lganda hamma to'qimalarni o'tkazgich deb olish mumkin. UVCh va SVCh to'lqinlarda to'qimalarni o'tkazgich deb olib bo'lmaydi. Elektromagnit maydon to'qimaga yarim to'lqin uzunligacha masofaga kirishi mumkin.

To'qimada ajraladigan issiqlik miqdori to'qimaning elektr kattaliklariga, chastotaga, intensivlikka bog'liqdir. Elektromagnit maydon odamda yurak faoliyati ish rejimining buzilishi qon bosimi oshishiga, modda almashinuvi buzilishiga, ko'rish qobiliyatining pasayishiga, eshitish qobiliyatining pasayishiga olib kelishi mumkin.



Hayvonlarda emosional holatining o'zgarishiga, ya'ni o'ta agressiv yoki charchagandek hollarga olib kelishi mumkin. Tirik organizm tabiiy elektromagnit maydonidan qo'shimcha ma'lumotlar olish mumkin. Odam, qurbaqa, hashoratlardagi xususiy elektromagnit maydonlarni o'lchashga imkon bo'ldi. Masalan, asalari 300 Gs chastotali tok impulsi hosil qiladi va unda 10 sm masofada uning qiymati  $10 \mu V/m$  ga teng ekan. Tashqi va xususiy elektromagnit maydonlarning o'zaro ta'siri baliqlar to'planishi, qushlar va hashorotlar migratsiyasiga ham ta'sir qiladi.

**Elektroterapiya.** Elektromagnit maydondan terapiya va jarrohlik amaliyotida foydalanishda ularning chastotasi va intensivligi muhim ahamiyatga egadir. Darsonvalizatsiya deb chastotasi 200 – 500 kGs, kuchlanishi 20 kV, tok kuchi 15 – 20 mA bo'lgan impulsi toklar bilan davolash usuliga aytiladi.

Bu usulni 1892-yilda fransuz fizigi va fiziologi J.A.D.Arsonval taklif qilgan. Veterinariyada uzunligi 100 mikrosekund vaqt oralig'ida 0,02 sekund impuls hosil qiladigan Iskra-1 va «Ultratan» apparatlari ishlatiladi. Impuls generatordan hayvonga maxsus vakuum shisha quvurlar yordamida uzatiladi. Tok kuchi kichik bo'lgani sababli darsonvalizatsiya vaqtida to'qimalarning isishi unchalik sezilarli bo'lmaydi. Qutblanuvchanlik sababli hujayra membranasida ancha sezilarli o'zgarishlar bo'lishi mumkin.

Bu usulning asosida tok ta'sirida reflektiv hodisalar yuz berishi yotadi. Mahalliy darsonvalizatsiya vaqtida – retseptorlarni kichik uchqunlar bilan uyg'otiladi. Buning natijasida ichki organlarning unga reaksiyasi kuzatiladi. Elektrod ta'siri zonasida arterial kapillyar tomirlar kengayadi va qonning aylanishi tezlashadi. Mahalliy darsonvalizatsiya yara va lat yegan joylarning bitishini tezlashtiradi, og'riqni kamaytiradi. Umumiy darsonvalizatsiyada hayvon yuqori chastotali generatorga ulangan to'r ichiga joylashtiriladi. Bu to'r solenoidga o'xshash magnit maydon impulslarini hosil qiladi. Hayvon tanasida impuls toklari yuzaga keladi. Bu usuldan itlardagi

o'lat kasalligidan keyingi diasez vaqtida, ekzemadan davolashda qo'llaniladi.

Diatermiya deb to'qimaning ichki qismlarini endogen issiqlik bilan isitish usuliga aytiladi. Bu usulda chastotasi 1 – 1,5MGs, kuchlanishi 200 – 250 V va tok kuchi 1–3 A bo'lgan toklar yordamida tananing aniq bir qismi isitiladi. Diatermiyada biror to'qima haroratini 2 – 5<sup>0</sup>C gacha isitish mumkin.

Hayvon tanasiga mexanik elektrod o'rnatiladi va bu elektrod harorati tok o'tganda o'zgarmaydi. Hayvon tanasidagi ajraladigan issiqlik miqdori tok kuchi kvadratiga to'g'ri proporsionaldir. Solishtirma qarshilikka qarab issiqlik qon, muskullar, jigar, quruq teri, o'pka, yog' to'qimalari, suyakda ajralib chiqadi. Ichki organlarga qaraganda terida ko'proq isiydi. Ana shu diatermiyaning kamchiliklaridan biri hisoblanadi. Terining ko'proq isishi, ya'ni elektrod ostida tok zichligi ko'proq bo'ladi, chunki ichkariga kirgandan so'ng tok tarmoqlanadi. Bu tarmoqlanish ham bir jinsli bo'lmaydi, chunki tananing turli qismlari solishtirma qarshiligi turlichadir. Eng kam qarshilik qonda bo'lgani uchun diatermiyada elektrodlarni qon tomirlariga perpendikulyar joylashtirgan ma'quldur. Diatermiyada fiziologik effektning mohiyati shundaki, tana ichki qismlari harorati oshadi va u tashqi manba uzilgandan keyin ham bir necha soat saqlanib turadi. Diatermiyada qon harakati oshadi va biokimyoviy reaksiyalarning aktivlashuviga olib keladi. Veterinariyada diatermiyadan nafas organlarini, nefritlarni, artritlarni, jigar kasalliklarni, jinsiy organlarini va boshqalarni davolashda qo'llaniladi.

**Induktotermiya** deb yuqori chastotali elektromagnit maydonlar yordamida hayvon tanasida induksion toklar hosil qilish usuliga aytiladi. Diatermiyada elektrod qo'yilgan joyda katta tok zichligi yuzaga kelib kuydirishi mumkin, ikkinchidan tana va elektrod orasida havo bo'shlig'i qolsa uchqunlar chiqib noxush natijalarga olib kelishi mumkin. Induktoterapiyada bu kamchiliklar tugatiladi. Bu holda ajraladigan issiqlik to'qima solishtirma qarshiligiga teskari

proporsionaldir. Demak, qancha solishtirma qarshiligi kichik bo'lsa shu qism shuncha ko'p issiydi (Masalan, qon, jigar). Diatermiyadan usulning ustunligi, ancha yuqori chastotali toklar, ya'ni 10 – 15 MGs, ishlatilganligi uchun tananing birday isishiga erishadi.

Induktiv g'altak bir necha o'ramdan iborat bo'lib, u isitiladigan qismlarga joylashtiriladi.

UVCh terapiyada chastotasi 30 – 300 MGs bo'lgan elektr maydonlari ishlatiladi. Hayvon yoki uning organi tebranish konturidagi kondensator orasiga joylashtiriladi. UVCh terapiyada suyak, to'qimalar, yog' to'qimalari, qon aylanuvchi tugunlarga qaraganda (limfa tugunlari) kuchliroq isiydi. UVCh terapiyada teri maydon uchun shaffof hisoblanadi. Bu holda issiqlik effektlar uncha kuchli emas. UVCh elektr maydoni fermentlarni aktivlashtiradi. Katta UVCh maydon qaytmas jarayonlarga ham olib kelishi mumkin. Masalan, kalamushlarni katta intensivlikdagi UVCh maydon bilan nurlantirganda ularning lablari va burunlarining shishishi kuzatilgan. Yana kattaroq maydonlarda kalamushlar halok bo'lib, o'lishigacha olib kelgan.

Veterinariyada UVCh terapiyadan bo'g'inlardagi shamollashlar, mastit, gaymorit, furunkul kasalliklarini davolashda foydalaniladi.

**Kichik to'lqinli terapiya.** Bu holda o'ta yuqori chastotali elektromagnit to'lqinlar ishlatiladi, ya'ni santimetr va detsimetrli to'lqinlar diapazoni elektromagnit to'lqinlarni magnetron generatorlar hosil qiladi. Bu to'lqin tananing kerakli qismiga yuboriladi. U organizmga, santimetrli diapazonda 2 – 6 sm, millimetrli diapazonda 7 – 9 sm kiradi. Asosiy energiya dielektrlarda sarflanadi. Suvning dielektrik kirituvchanligi katta, shu sababli endogen issiqlik suvi ko'p to'qimalarda yuzaga keladi (qon, muskullar). Hayvonlar uchun to'qimalar intensivligining chegaraviy qiymati SMT uchun  $10Vt/sm^2$ , DMT uchun  $40 mVt/sm^2$ . Kichik to'lqinlar ta'sirida biologik aktiv moddalar hosil bo'ladi.

Veterinariyada, bu usuldan nerv tizimini, ginekologik kasalliklarni davolashda foydalaniladi.

**Elektrojarrohlik.** Elektrojarrohlik deb yuqori chastotali tok yordamida hayvon biror organini kesish yoki ta'sir qilishga aytiladi. Diatermiyadan bu usulning farqi katta tok kuchi ishidadir. Bu holda tok zichligi  $40 \text{ kA/m}^2$  gacha yetishi mumkin. Elektrojarrohlik usul yordamida qon tomirlarini birlashtirishda, alveolalarni tikishda, ko'z to'r pardasini payvandlashda ishlatiladi. Elektrodlar ingichka igna yoki skalpel shaklida bo'ladi. Elektrojarrohligining odatdagi jarrohlik usullardan quyidagi afzalliklari mavjud: kam qon yo'qotiladi, operatsiyadan keyin og'riqlarning kam bo'lishi, bakterisid ta'siri, boshqa usullarga qaraganda elektrodlar shaklini o'zgartirib ko'p maqsadlarda ishlatish mumkin.

**Tayanch iboralar:** xronaksiya, riobaza, elektrofarez, galvanizasiya, biopotensiallar, eletroliz, tok zichligi, kirnyoviy ekvivalent, elektrokimyoviy ekvivalent, galvanoplastika, yarim o'tkaz-gich, dielekrtik, ekvipotensial sirt Magnit maydon induksiyasi, diamagnitlar, para-magnitlar, ferromagnitlar, ferritlar, magnit kirituvchanlik, magnitokardiografiya, magnit kuch chizigi, domenlar, gistrezis

## Xulosalar

Elektr maydonning tirik organizm qismlari orasida hosil bo'lishi ko'plab ma'lumotlarni, ya'ni organizm faoliyatining o'zgarishlari haqidagi ma'lumotlarni bizga beradi. Elektr toki yordamida ko'plab kasalliklarni davolash hozirgi vaqt davr talabidan kelib chiqmoqda. Fizioterapiyaning dori yordamida davolashga qaraganda zararsiz ekani va arzon ekanligi sababli ham ular keng qo'llanilmoqda, yuqori chastotali toklar va maydonlar yordamida ichki organlarning ma'lum qismlarini boshqa organlarga ta'sir qilmasdan, davolash ancha keng yo'lga qo'yilgan. Biopatensiallarni o'lchash yo'li bilan diagnostika qilish tez va inshonchli usuldir. Bu usullar kelajakda yanada takomillshishi muqarrar. Magnit maydoni va uning turli moddalarga ta'siri, jumladan, tirik organizmga ta'siri qadim

zamonlardan o'rganib kelingan. Ayniqsa hozirgi texnika asrida magnit maydoni yordamida tirik mavjudodning barcha turlariga ta'sirlari o'rganilmoqda. Magnitaterapiya, magnitadiagnostika, magnitakardiog-rafiya va shunga o'xshash ko'plab usullar keng qo'llanilmoqda. Quyoshda bo'ladigan magnit bo'ronlarning tirik organizmga ta'siri hozirgi vaqtda aktual masalalardan isoblanadi.

### Test savollari

1. Hozirgi vaqtda tibbiyot va veterinariyada keng ishlatiladigan yurak potensialining qayd qilish usuli kim tomonidan taklif qilingan?

- a) Kulon;
- b) Tomson;
- c) Eynshteyn;
- d) Plank.

2. Elektrokardiografiyaning to'g'ri ta'rifini toping?

a) Uyg'ongan holatdagi (sistola) yurak muskullarida hosil bo'lgan biopotensial;

- b) Yurakning diastola paytidagi biopotensial;
- c) Qon tomirlari va yurak orasidagi biopotensial;
- d) Buyrakning biopotensial.

3. Biopotensialning to'g'ri ta'rifini toping?

- a) ikki qo'l orasidagi potentsiallar farqi;
- b) ikki oyoq orasidagi potentsiallar farqi;
- c) qo'l va oyoq orasidagi biopotensial;
- d) organizmning turli qismlari orasidagi potentsiallar farqi.

4. Javoblarning qaysi birida elektr maydon potensialining formulasi keltirilgan?

a) 
$$\vec{E} = \frac{\vec{F}}{q}$$

b) 
$$\varphi = \frac{A}{q}$$

c)  $\Delta\xi = \xi_1 - \xi_2$

d)  $F = qE$

5. SI tizimsida potensial qanday birliklarda o'lchanadi?

a) N/Kl;

b) J/Kl;

c) N/m;

d)  $\frac{Vt}{m^2}$

6. Qaysi elektrokinetik hodisa yordamida odam va hayvonlar tanasiga dori moddalar yuborish mumkin?

a) franklizasiya;

b) galvanizasiya;

c) elektroforez;

d) EKG.

7. Elektr tokining organizmga ta'sirining vaqtga bog'liqligini xarakterlovchi biofizik kattalik reabazaning to'g'ri ta'rifini ko'rsating?

a) uzoq vaqt ta'sir etish natijasida muskullarning qisqarishi uchun yetarli bo'lgan kuchlanishning eng kichik qiymati;

b) uzoq vaqt ta'sir etish natijasida muskullarning qisqarishi uchun kerak bo'lgan kuchlanishning eng katta qiymati;

c) elektr tokining organizmga ta'sir etish vaqti davomiyligi;

d) tok kuchining eng minimal qiymati.

8. Bir xil tok kuchiga ega bo'lgan o'zgarmas va o'zgaruvchan toklarning qaysi birining ta'sir effektivligi katta?

a) o'zgarmas tokniki;

b) chastotasi yuqori bo'lgan tokniki;

c) o'zgaruvchan tokniki;

d) uch fazali tokniki.

9. Quyidagi ifodalardan qay biri Amper qonunini ifodalaydi?

a)  $F = ma$ ;

b)  $F = q\mathcal{B}\sin\alpha$

c)  $F = IBl\sin\alpha$

d)  $\delta = E \cdot \varepsilon$

10. Qay bir javobda paramagnit moddalar uchun  $\mu$  ning qiymati to'g'ri ko'rsatilgan?

- a)  $\mu \ll 1$
- b)  $\mu < 1$
- c)  $\mu \gg 1$
- d)  $\mu > 1$

11. Qoramollar oshqozonidan temir buyumlarni oladigan qurilma nomini ko'rsating?

- a) magnit tayoqchalari;
- b) magnit qutblar;
- c) magnit zondlar;
- d) taqasimon magnit.

12. Yarim o'tkazgichlarda elektr tokini qaysi zarrachalar tashiydi?

- a) elektronlar, teshiklar;
- b) ionlar, teshiklar;
- c) protonlar, elektronlar;
- d) teshiklar, musbat ionlar.

13. Magnit maydonida harakatlanayotgan zaryadlangan zarrachaga ta'sir etuvchi kuch nomini ko'rsating?

- a) Kulon kuchi;
- b) Amper kuchi;
- c) Arximed kuchi;
- d) Lorens kuchi.

14. O'zgaruvchan tokka ta'rif bering?

- a) kattaligi va yo'nalishi davriy ravishda o'zgarib turadigan tok;
- b) faqat kattaligi o'zgaradigan tok;
- c) miqdor va yo'nalishi o'zgarmaydigan tok;
- d) o'zgarmas magnit maydonida tinch holatda bo'lgan o'tkazgichda hosil bo'ladigan tok.

15. Magnetiklar deb qanday moddalarga aytiladi?

a) kichik koersitiv kuchga ega bo'lgan va qisqa gistrozis halqasiga ega moddalar;

b) magnit maydon ta'sirida magnit momentiga ega barcha moddalar;

c) tashqi magnit maydoni ta'sirida maydon yo'nalishiga qarshi magnitlanuvchi moddalar;

d) sun'iy yarim o'tkazgichli ferromagnitlar.

16. Birinchi tur o'tkazuvchanlikda asosiy tok tashuvchilar nimalardan iborat?

a) protonlar;

b) ionlar;

c) elektronlar;

d) tirqishlar.

17. Qanday moddalarga diamagnitlar deyiladi?

a) tashqi magnit maydonni susaytiruvchi moddalar;

b) tashqi magnit maydonni kuchaytiruvchi moddalar;

c) tashqi maydonni o'zgartirmaydigan moddalar;

d) tashqi magnit maydonni yo'qotuvchi moddalar.

18. Xronaksiya nima?

a) tok ta'sir etish vaqti;

b) bo'sag'a toki;

c) maksimal tok qiymati;

d) minimal tok qiymati.

19. Magnit induksiyasi qanday birliklarda o'lchanadi?

a) amper;

b) veber;

c) lyuks;

d) tesla.

20. Baliqlar va qushlar magnit maydon induksiyasi qancha bo'lganda harakatdan to'xtaydi?

a) 0,4 tI;

b) 4 tI;

c) 40 tI;



d) 0,04 tL.

21. Hujayra membranasi qanday kuchlanganlikda teshiladi?

a) 15 ming V/m;

b) 250 V/m;

c) 2500 V/m;

d) 30 ming V/m.

### Sinov savollari

1. Elektr maydon nima? Maydon kuchlanganligi haqida tushuncha bering.

2. Potensiallar farqi, uning o'lchov birligi nima.

3. Moddalarning elektr xossalari.

4. Elektrostatik induksiya hodisasi.

5. Yarim o'tkazgich va ularning xossalari.

6. Dielektrik kirituvchanlik nimani ko'rsatadi.

7. Tirik organizm dielektrik kirituvchanligi organizm holatiga qanday bog'liq.

8. Termistorlar va ularning qo'llanilish sohalari.

9. Qanday suyuqliklar elektrolitlar deyiladi.

10. Elektroliz va uning qonunlari.

11. Tirik organizmga o'zgarimas tokning ta'siri.

12. Elektroforez nima?

13. Uyg'onish tokining ta'sir etish vaqti nima?

14. Biopotensiallar nima? Tinchlik va qo'zg'alish biopotensiallarni tushuntiring.

15. Biopotensialarni o'lchash (EKG) usullari.

16. Hujayra biopotensial nima?

17. Magnit maydoni nima?

18. Ersted va Amper tajribalari.

19. Amper qonunini tushuntiring.

20. Tesla nimaning o'lchov birligi?

21. Magnit kirituvchanligi nima?

22. Moddalar magnit xususiyatiga ko'ra necha xil bo'ladi?
23. Magnit maydonining tirik organizmga ta'siri.
24. Magnit zondlari nima?
25. Magnitoterapiya nima?
26. Erkin radikallarni aniqlashda magnit maydonining roli.
27. Elektroterapiya nima?

## VIII bob. KVANT BIOFIZIKASI

### § 8.1. Yorug'likning tabiati va uning tarqalish qonunlari

Optika – grekcha optikos – ko‘rish degan ma‘noni bildiradi. Bu bo‘lim yorug‘likning tabiati, uning boshqa moddalar bilan o‘zaro ta‘sirini o‘rganadi. XVII asrda yorug‘likning to‘lqin (Gyuygens) va korpuskulyar (Nyuton) nazariyalari paydo bo‘ldi. XVIII asrda korpuskulyar nazariya tarafdorlari g‘alaba qilgan bo‘lsa, XIX asrda to‘lqin nazariyasi oldinda bo‘ldi. To‘lqin «Dunyo efirida» tarqaladi degan fikr noto‘g‘ri deb hisoblandi. Maksvell elektromagnit to‘lqinlar nazariyasini yaratgandan so‘ng «Dunyo efi»ga hojat qolmadi. Maksvell nazariyasini Fizoh(1849 ), Fiko (1850) va Maykelson (1881 ) tajribalari tasdiqladi. P.N.Lebedev esa (1899 ) yorug‘likning bosimini o‘lchadi. Shu davrda yana fotoeffekt, kompton effekti va boshqa hodisalarni elektromagnit to‘lqinlar nazariyasi bilan tushuntirib bo‘lmadi. Faqatgina 1900-yildan Plank kvant nazariyasini yaratgandan so‘ng va Eynshteynning yorug‘lik kvant nazariyasi e‘lon qilingandan so‘ng bu qarama-qarshilik barham topa boshladi. Eynshteyn nazariyasiga binoan yorug‘lik fotonlar oqimidan iborat deb faraz qilindi. Bu nazariyani N.Bor (1913), Shredinger (1925) va Fok (1957), Feynman (1949-y) yoqlab chiqdi. Hozirgi davrda yorug‘lik to‘g‘risidagi ikkala ta‘limot ham o‘rinli ekani va korpuskulyar-to‘lqin dualizmi haqida gap yuritiladi.

Geometrik optikaning to‘rtta qonuni mavjud.

1. Yorug‘lik bir jinsli optik muhitda to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqaladi. Bunga yorug‘likning to‘g‘ri chiziq bo‘ylab tarqalish qonuni deyiladi.

2. Yorug‘lik nurining mustaqillik qonuni. Yorug‘lik to‘lqinlari bir-biri bilan kesishganda ular bir-biriga halaqit bermaydi.

3. Yorug‘likning qaytish qonuni. Qaytgan nur, tushuvchi nur va ikki muhit chegarasiga o‘tkazilgan normal bir tekislikda yotadi. Tushish burchagi qaytish burchagiga tengdir.

4. Yorug'likning sinish qonuni. Tushuvchi nur, singan nur va ikki muhit chegarasiga o'tkazilgan normal bir tekislikda yotadi. Tushish burchagi sinusining sinish burchagi sinusiga nisbati berilgan moddalar uchun doimiy bo'lib, ikkinchi muhitning birinchi muhitga nisbatan sindirish ko'rsatkichi deyiladi.

$$\frac{\text{Sini}_1}{\text{Sini}_2} = n_{21} \quad (8.1)$$

Barcha nuqtalarida yorug'likning tarqalish tezligi bir xil bo'lgan muhitga optik bir jinsli muhit deyiladi.

Muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi deb, yorug'likning vakuumdagi  $S$  tezligining moddadagi  $V$  tezligiga nisbatiga aytiladi.

$$n = \frac{C}{V} \quad (8.2)$$

U holda (8.1) ga asosan  $n_2 = \frac{C}{\mathcal{G}_2}$   $n_1 = \frac{C}{\mathcal{G}_1}$

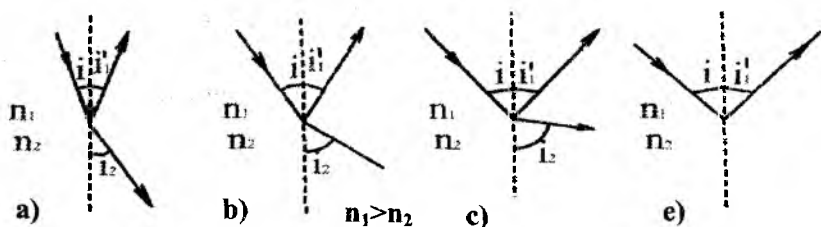
Ya'ni,  $\frac{\text{Sini}_1}{\text{Sini}_2} = \frac{n_2}{n_1} = \frac{V_2}{V_1} = \frac{\mathcal{G}_1}{\mathcal{G}_2} \quad (8.3)$

Cindirish ko'rsatkichi yorug'likning muhitga tushganda tezligining qanchaga kamayishini ko'rsatar ekan.  $i_1 = 0$  bo'lsa,  $i_2 = 0$  bo'ladi, demak ikki muhitning ajralish chegarasiga normal tushuvchi nur sinmaydi. Sindirish ko'rsatkichining kattaligi optik zichlikni ko'rsatadi.

Yer atmosferasi bir jinsli emas, shu sababli uning sindirish ko'rsatkichi Yer sirtidan ko'tarilgan sari kamayib boradi. Shuning uchun yorug'lik yerga kelguncha parallel qatlamlarda sinib qabariqlanadi. Bu hodisaga refraksiya deyiladi.

Agarda yorug'lik optik zichligi katta muhitdan optik zichligi kichik muhitga tushsa, u holda  $i_2 > i_1$  sinish burchagi tushish burchagidan katta bo'ladi. Demak.

$$\frac{\text{Sini}_1}{\text{Sini}_2} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \quad (8.4)$$



**8.1-rasm. Yorug'likning to'la ichki qaytish hodisasini ifodalovchi chizma.  $n_1, n_2$ - muhit sindirish ko'rsatkichlari,  $i_1$ -tushish burchagi,  $i_1'$ -kaytish burchagi,  $i_2$ -sinish burchagi**

$i_2 = 90^\circ$  va  $\text{Sin } i_2 = 1$  va bu holda singan nur ikki muhit chegarasi bo'ylab tarqaladi, bunda tushish burchagi to'la qaytishning limit burchagi deb ataladi:

$$\text{Sini}_{1n} = \frac{n_2}{n_1} \quad (8.5)$$

Agar ikkinchi muhit havo bo'lsa

$$\text{Sini}_{1n} = \frac{1}{n} \quad (8.6)$$

Bu hodisa yorug'likning to'la ichki qaytish hodisasi deyiladi. Shisha havo chegarasi uchun limit burchagi  $42^\circ$ . Shu burchakdan katta bo'lsa to'la ichki qaytish yuz beradi. To'la ichki qaytish hodisasidan ko'plab optik asboblarda foydalaniladi.

Masalan, nurni  $90^\circ$  ga burish, tasvirni teskari burish, hozirgi vaqtda to'la ichki qaytishdan tola optikasida (svetovodlar) keng qo'llanilmoqda. Shisha tola optik zichligi kamroq modda bilan qoplanadi. Tolaning bir uchiga tushgan nur ikkinchi uchidan bema'lol chiqib ketadi.

To'la ichki qaytish yordamida bir muhitning absolyut sindirish ko'rsatkichi ma'lum bo'lsa, boshqa muhitning sindirish ko'rsatkichini aniqlashga asoslangan asbobja refraktometr deyiladi.

Pulfrix refraktometri suyuq va qattiq shaffof jismlarning sindirish ko'rsatkichini aniqlaydi. Bunda prizmadan o'tgan nurlarning sinish burchagini o'lchab, modda sindirish ko'rsatkichi topiladi.

Abbe refraktometrining ishlash prinsipi yorug'likning sindirish ko'rsatkichlari turlicha bo'lgan ikki muhitning ajralish chegarasidan o'tganda sodir bo'ladigan optik hodisalarga asoslangan.

Refraktometrlar yordamida moddalar tarkibi, turli mahsulotlar sifatini nazorat qilishda, dorishunoslikda, oziq-ovqat sanoatida keng qo'llaniladi. Qattiq va suyuq moddalar gidrodinamik tadqiqotlari yordamida ularning bir jinsliliigi tekshiriladi.

Endoskoplar ishlash prinsipi to'la ichki qaytish hodisasiga asoslangan bo'lib ingichka naydan iborat. Uning ichida lampochka va linza qo'yilgan. Undan asosan odam va hayvonlar ichki organlarni, asosan oshqozonni tekshirishda ishlatiladi. Endoskopning ikkinchi uchi monitorga ulangan bo'lib, ichki organlar tasvirini ko'rsatib turadi. Undan ichki organlarni jarrohlik usulida davolashda ham ishlatiladi. Endoskop elastik nayi yorug'lik tolasidan iboratdir, u har qancha egilib, buralsa ham monitorda tasvir aniq ko'rinadi.

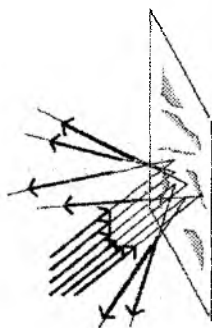
Refraktometrlar yordamida veterinariyada hayvon organizmidan olingan turli suyuqliklar, ayniqsa, siydik sindirish ko'rsatkichini aniqlash yo'li bilan uning kasalliklarini tashxis qilish mumkin. Qonda, siydikda shakar miqdorini yuqori daraja aniqlikda o'lchash mumkin. Bularni aniqlash esa hayvon organizmi holati haqida to'la ma'lumot olishga imkon beradi. Olingan natijalarga ko'ra davolash usullarini qo'llash mumkin.

## **§ 8.2. Optik hodisalar**

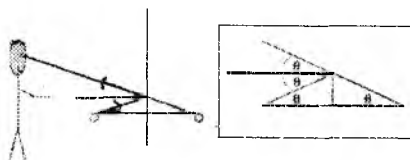
Yorug'lik ikki muhit chegarasiga tushganda u qisman qaytadi va qitsman ikkinchi muhitga o'tadi.

Bu yorug'likning bir jinsli muhitda tarqalishini kuzatishimiz mumkin. Ya'ni yorug'lik to'lqini uchun nurlar parallel holda

tarqaladi. Agar yorug'lik manbai sferik bo'lsa, to'lqin fronti ham sferik bo'ladi. Bu holda ham tarfalish yo'nalishi to'lqin frontiga perpendikulyar bo'ladi. Yassi sirtga tushgan to'lqin u tushgan va qaytgan nurlar burchagi o'zaro teng bo'ladi. Bu qonunni matematik ko'rinishida yozish mumkin  $\theta_1 = \theta_2$ .



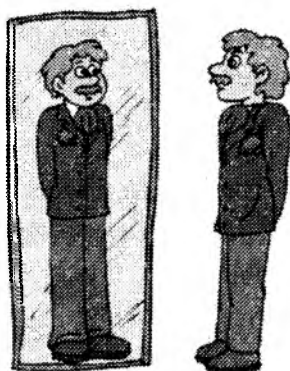
8.2-rasm.



8.3-rasm

Agarda qaytaruvchi sirt g'adir-budur bo'lsa, qaytgan nurlar turli burchakda bo'ladi. Bunga diffuz qaytish hodisasi deyiladi. 8.2-rasmda g'alir-budur sirtidan qaytish hodisasi ko'rsatilgan.

8.3-rasmda nuqtaviy manbadan chiqqan nurning qaytish hodisasi keltirilgan.



8.4 –rasm. Odam va uning ko'zgidagi tasviri ko'rsatilgan

Nuqtaviy yorug'lik manbaidan chiqqan nur oynada qaytganida uning mavhum manbadan, ya'ni nur orqasidagi chiqayotgandek ko'rinadi. Bunday tasvir virtual tasvir deyiladi. Tasvir bilan oyna orasidagi masofa manba bilan oyna orasidagi masofaga teng bo'ladi. Agar manba o'lchami katta bo'lsa, ya'ni xuddi lampaga o'xshash bo'lsa, u holda oyna ortida virtual tasvir hosil qilish mumkin. Yassi oynada tasvir kattaligi buyum o'lchamiga teng bo'ladi. Leonardo da Vinchi o'zining suratlarini oynadagi tasvirlarga qarab chizgan. Pparallel nurlarning bir qismi ikkinchi muhitga o'tadi. Agar ikkinchi muhit sindirish ko'rsatkichi katta bo'lsa, u holda ikkinchi muhitda yorug'lik tezligi kichik bo'ladi. Nurlar ikkinchi muhitda normalga yaqinlashgan holda harakatlanadi. Sinish burchagi sinish qonuni yoki Spelius qonunidan aniqlanadi.

$$n_1 \sin \theta_1 = n_2 \sin \theta_2 \quad (8.7)$$

Fermi prinsipiga asosan nur har doim eng qisqa vaqt talab qiladigan yo'l bo'ylab harakat qiladi.

$$\frac{dt}{dx} = \frac{1}{c} \frac{d}{dx} \left( n_1 \sqrt{x^2 - y^2} + \sqrt{(L - x)^2 + y^2} \right) = 0$$

### § 8.3. Fotometriya asoslari

Fotometriya optikaning yorug'lik intensivligini o'lchash bilan shug'ullanadigan bo'limidir. Fotometriyada ikki xil kattaliklar qaraladi:

1. Energetik-optik nurlanishni quvvat tomondan xarakterlaydi.
2. Yorug'likning fiziologik ta'siri o'rganiladi.

Nurlanish oqimi  $\Phi_e$  deb, biror sirdan o'tayotgan yorug'lik nurlanishi elektromagnit to'lqinlarining shu sirdan Isekundda olib o'tgan energiya miqdoriga aytiladi.

$$\Phi_e = \frac{W}{t} \quad (8.8)$$



Nurlanish oqimi vatt (Vt) larda o'lchanadi.

Birlik yuzadan vaqt birligida o'tuvchi yorug'lik energiyasiga yorug'lik oqimi zichligi deyiladi.

$$\Phi_m = \frac{W}{S} \quad (8.9)$$

Nurlanish oqimini ko'rish xususiyatini hisobga olgan holda quyidagicha ifodalash mumkin.

$$\Phi_m = W_\lambda \cdot V_\lambda \quad (8.10)$$

Bunda  $V_\lambda$  – ko'rinuvchanlik koeffitsiyenti.

$$V_\lambda = \frac{W_M}{W_\lambda} \quad (8.11)$$

$\lambda = 0,555$  mkm dagi nurlanish quvvati  $W_m$  odam ko'zi shu to'lqin uzunlikdagi nurlanishga (spektrning yashil qismi) eng sezgirdir.

Nuqtaviy yorug'lik manbai deb, o'lchamlari yorug'lik yetib borgan masofaga nisbatan juda kichik bo'lgan manbaga aytiladi. Yorug'lik kuchi deb, nuqtaviy yorug'lik manbaining birlik fazoviy burchak hosil qiluvchi yorug'lik oqimiga aytiladi.

$$I = \frac{\Phi}{\Omega} \quad (8.12)$$

Bunda  $\Omega$  – fazoviy burchak. Yorug'lik kuchining birligi Vt/sterradian

Fazoning konus sirti bilan chegaralangan qismi fazoviy burchak deyiladi

$$\Omega = \frac{S}{R^2} \quad (8.13)$$

fazoviy burchak o'lchov birligi sterradian.

Butun fazoviy burchak  $\frac{4\pi R^2}{R^2} = 4\pi = \Omega$

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (8.14)$$

Yorug'likning turli to'liqin uzunliklarda ko'zga ta'siri har xil bo'lgani uchun faqat yorug'lik uchun maxsus birliklar kiritiladi. SI birliklar tizimida yorug'lik kuchining birligi – kandela asosiy birlikdir.

$$\Phi = I \cdot \Omega \quad (8.15)$$

Bundan yorug'lik oqimi ta'rifi kelib chiqadi.

Yorug'lik oqimi fazoviy burchak bir sterradian bo'lganda 1 kd yorug'lik nurlayotgan nuqtaviy manbaning hosil qilgan oqimi deb qarash mumkin. U holda uning o'lchov birligi 1 lyumen bo'ladi.

$$1lm = 1kandela \cdot 1steradian$$

Sirtlarni yoritishni miqdoriy baholash uchun yoritilganlik tushunchasi kiritilgan.

Yoritilganlik deb, shu sirtga tushayotgan yorug'lik oqimining shu sirt yuziga nisbatiga teng bo'lgan kattalikka aytiladi.

$$E = \frac{\Phi}{S} \quad (8.16)$$

Agar sirtning o'lchamlari manbagacha bo'lgan masofaga nisbatan kichik bo'lsa,

u holda

$$E = \frac{I \cos \alpha}{r^2} \quad (8.17)$$

Yoritilganlik o'lchov birligi lyuks.

$$1lk = \frac{1lm}{1m^2}$$

Yoritilganlik haqida yaxshiroq tasavvurga ega bo'lish uchun quyidagi kattaliklarga e'tibor beramiz.

Quyosh yorug'ligi tikka tushsa  $E \sim 10^5$  lk, o'qish uchun zarur bo'lgan yoritilganlik 40 lk, to'lin oy hosil qilgan yoritilganlik 0,2 lk, o'qish uchun minimal yoritilganlik 10 lk, auditoriya, laboratoriya uchun 150 lk, buzoqxona, cho'chqaxona uchun 10 lk, tovuqxona uchun 20 lk.

Manba nuqtaviy bo'lmasa, u holda yorug'lik kuchi tushunchasi yyetarli xarakteristika bo'la olmaydi. Chunki, kuchi bir xil bo'lgan manbalardan sirti kichigi ravshanroq ko'rinadi. Shuning uchun yoyilgan yorug'lik manbalari uchun qo'shimcha xarakteristika ravshanlik tushunchasi kiritiladi.

Ravshanlik yoyilgan manbaning birlik sirtidan chiqayotgan yorug'lik kuchiga teng kattalikdir.

$$B = \frac{I}{S} \quad (8.18)$$

Ravshanlik o'lchov birligi nit (nt) dir.

$$1nt = \frac{1kandela}{1m^2}$$

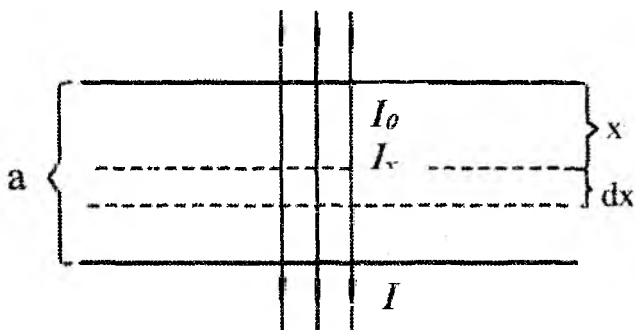
Tush vaqtida quyosh sirtining ravshanligi  $10^9$  nt, cho'g'lanish elektr lampa tolasi  $10^6$  nt, kerosin lampa alangasi  $10^4$  nt, oydinsiz tungi osmon ravshanligi  $10^{-4}$  nt. Ko'zning farq qiladigan eng kichik ravshanligi  $10^{-6}$  nt. Geliy-neon lazeri energetik ravshanligi  $4 \cdot 10^{15}$  nt, ya'ni quyosh ravshanligidan taxminan 2,5 million marta katta.

Bir manba yorug'lik kuchini bilgan holda noma'lum kuchli manba yorug'lik kuchini aniqlovchi asboblarga fotometrlar deyiladi.

#### § 8.4. Yorug'likning moddalar bilan o'zaro ta'siri

Yorug'likning yutilishi deb uning biror muhitga tushganda energiyaning bir qismini issiqlik va boshqa tur energiyalarga aylanishiga aytiladi. Yutilish natijasida intensivlik kamayadi.

Yorug'lik intensivligi deb nurga perpendikulyar  $1m^2$  yuzaga 1s vaqt davomida olib o'tilgan energiya miqdoriga aytiladi. Biror shaffof moddadan  $\alpha$  - qalinlikdagi qatlam ajratamiz. Yorug'likning bu qatlamdan o'tishi tufayli intensivligining o'zgarishi



8.5-rasm. Yorug'likning yutilish qonunini chiqarish uchun chizma

$$I = I_0 e^{-\alpha x} \quad (8.19)$$

(8.19-formula) Buger qonuni bilan ifodalanadi. Bunda  $I_0$  va  $I$  - tushayotgan va qalinligi  $x$  bo'lgan moddadan chiqayotgan yorug'lik intensivligi  $\alpha$  - yutilish koeffisienti bo'lib, yorug'lik to'liq uzunligi modda kimyoviy tarkibiga va modda holatiga bog'liq bo'lib, intensivlikka bog'liq bo'lmaydi.

$x = \frac{1}{\alpha}$  qatlamda intensivlik ye-marta kamayadi, normal sharoitda havo uchun  $\alpha = 10^{-3} \text{ m}^{-1}$ , shisha uchun  $1 \text{ m}^{-1}$ , metallar uchun  $10^6 \text{ m}^{-1}$ .

Har qanday modda yorug'likni tanlab yutish xususiyatiga ega. Masalan, suv va suv bug'i infraqizil nurlarni kuchli yutadi. Odatdagi shisha ko'rinadigan nurlarni yaxshi o'tkazadi, infraqizil nurlarni ancha zaiflashtiradi, ul'traqizil nurlarni deyarli butunlay yutadi. Tirik o'simliklarning barglari ko'rinuvchi spektrning yashil ( $0,52 < \lambda < 0,6 \text{ mk}$ ) va to'q qizil ( $\lambda > 0,7 \text{ mm}$ ) sohalaridan tashqari butun sohani kuchli yutadi. Bunday yutishga barglardagi pigment, xlorofill sabab bo'ladi.

Yorug'likning yutilishi, uning molekularlar bilan o'zaro ta'siri tufayli sodir bo'lgani uchun yorug'likning yutilish qonunini

molekulaning ba'zi bir xarakteristikalari bilan bog'lash mumkin.  $n$  – molekula konsentratsiyasi,  $\sigma$  – molekula yutilishining effektiv kesimi.

$$\text{U holda } I = I_0 e^{-\sigma n x} \quad (8.20)$$

$$\text{yoki } I = I_0 e^{-\chi x} \quad (8.21)$$

(8.20), (8.21) formulalar Buger – Lambert – Beyer qonunini ifodalaydi.

$$C = \frac{n}{Na} \text{ – molyar konsentratsiya, } \chi = \alpha C \text{ – yutilishining tabiiy}$$

molyar ko'rsatkichi.

$$I = I_0 e^{-\alpha C x} \quad (8.22)$$

$\chi$  – yutilishning molyar ko'rsatkichi

$$\tau = \frac{I}{I_0} \quad (8.23)$$

Shaffof moddalari yorug'likni o'tkazish koeffitsiyenti (8.23) formula bilan ifodalanadi.

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \frac{1}{2,3} \alpha C x \quad (8.24)$$

O'tkazish koeffitsiyentining teskari qiymatining o'nli logarifmiga eritmaning optik zichligi deyiladi.

Buger – Lambert – Beyer qonuniga asoslanib buyalgan eritmalarda modda konsentratsiyasini aniqlashning bir qator fotometrik usullari mavjud.

Modda orqali yorug'lik oqimi o'tganda bir qism modda atomlari tomonidan ushlanib qolinadi va yorug'lik oqimi intensivligi kamayadi. Fotolni ushlab qolish fotoeffekt vaqtida yoki elektronlarning atomdagi yuqoriroq energetik holatlarga o'tishida yuz berishi mumkin.

Fotokimyoviy reaksiya deb, yorug'lik ta'sirida bo'ladigan reaksiyalarga aytiladi. Bu holda foton ta'sirida molekula uyg'onadi yoki ionlashadi. har qanday reaksiyadagi kabi fotokimyoviy reaksiya

vaqtida ham fotonlar tashqi elektron qobiqlardagi elektronlar bilan ta'sirlashadi. Yutilgan energiya miqdori nurlanish tezligiga to'g'ri proporsional bo'ladi. Bu fotokimyoviy reaksiyaning asosini tashkil qiladi va Bunzen – Rasko qonuni deyiladi:

$$\phi_1 \Delta t_1 = \phi_2 \Delta t_2 \quad (8.25)$$

Fotokimyoviy reaksiya darajasini ko'rsatuvchi kattalik reaksiyaning kvant chiqishi deyiladi, ya'ni  $\phi = \frac{N}{N_{yu}}$   $N_{yu}$  - yutilgan fotonlar soni,  $N$  - barcha tushayotgan fotonlar soni.

Agarda har bir yutilgan foton reaksiyaga kirishsa u holda kvant chiqish 100% bo'ladi. Odatda, bu bir necha foizdan oshmaydi. Masalan, fermentlarni aktivasiya qilish reaksiyasi uchun 0,1 – 0,01% ga teng.

Birlamchi va ikkilamchi fotokimyoviy reaksiyalarni farqlash muhim ahamiyatga ega. Eynshteyn ko'rsatishicha har bir molekula bitta fotonni yutadi va demak birlamchi reaksiyadagi molekularlar soni fotonlar soniga proporsionaldir.

Aminokislota, oqsil, nuklein kislotalarni katta dozadagi ul'trabinafsha nurlar bilan nurlantirsa fotoyemirilish yuz beradi. Natijada, kimyoviy bog'lanishlar uzilib radikallar, ionlar va neytral atomlar hosil bo'ladi. Bu tur reaksiyaga Yerda bo'ladigan kislorod – ozon reaksiyasi kiradi.

Quyoshdan kelayotgan ul'trabinafsha nurlar ta'sirida stratosferada kislorod molekularining dissosiatsiyasi kuzatiladi  $O_2 + h\nu \rightarrow 2O$ . Hosil bo'lgan aktiv kislorod atomlari kislorod molekulari bilan birlashib ozon hosil qiladi.  $O + O_2 \rightarrow O_3$ . Ozonning parchalanishi ham fotokimyoviy reaksiya tufayli ro'y bo'ladi.

$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$  Bu ikki reaksiya natijasida 25 km yuqorida qalinligi 2 – 3 km.li ozon qatlami hosil bo'ladi. Undan yuqori

qatlamlarda kislorodning kamligi natijasida kam miqdorda ozon hosil bo'ladi.

Undan past qatlamlarda ul'trabinafsha nurlarning kam kelishi tufayli reaksiyalar amalga oshmay qoladi. Quyoshdan kelayotgan ul'trabinafsha nurlarning to'lqin uzunligi 290 nm.dan kamini stratosfera ozon qatlami to'laligicha yutib oladi. Agar bu to'lqin uzunlikli nurlar Yerga yetib kelganda edi, barcha tirik jonzor halok bo'lar edi. Ozon infraqizil sohadagi 10 mkm to'lqin uzunlikli nurlarni yutuvchi qatlamga ham egadir. Aynan shu to'lqin uzunlik Yerdagi issiqlik nurlanishga mos keladi. Demak, ozon 20% issiqlik nurlanishni ushlab turadi va issiqlik ekрани bo'lib xizmat qiladi. Natijada Yerdan issiqlikning koinotga tarqalishiga to'sqinlik qiladi. Afsuski, keyingi yillarda aviasiyadan foydalanish va sanoat chiqindilari ta'sirida ozon qatlami qisman yemirilib bormoqda. Arktika ustida kengligi 5 mln. km<sup>2</sup> li "Ozon tirqishi" hosil bo'lgan. Bu "tirqish" ning keyingi oshuvi yerda turli kasalliklarning kelib chiqishiga sabab bo'ladi va uning ekologik ta'sirini baholash qiyindir.

Yorug'likning sochilishi ham ko'rsatkichli qonunga bo'ysunadi:

$$I = I_0 e^{-ml} \quad (8.26)$$

$m$  – sochilish ko'rsatkichi.

Reley qonuniga binoan sochilgan nur intensivligi to'lqin uzunligi to'rtinchi darajasiga teskari proporsionaldir:

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4} \quad (8.27)$$

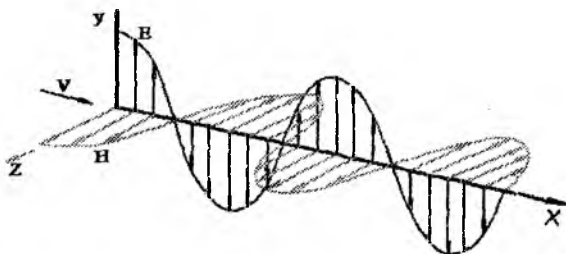
Osmonning ko'k rangi ham yorug'likning atmosfera zarrachalaridan sochilishi sabab bo'ladi. Quyoshning botishidagi qizil rangi, ko'k va binafsha nurlarning qiya tushganda biosfera qatlamlari ichida ancha chuqurroq masofaga sochilishi natijasida oq yorug'lik spektrining o'zgarishidir. Infraqizil nurlar yanada kamroq sochiladi.

Maksvell nazariyasiga binoan elektromagnit to‘lqinlar ko‘ndalang, ya’ni elektr va magnit maydon kuchlanganliklari  $E$  va  $H$  tebranishlari to‘lqin tarqalish yo‘nalishiga perpendikulyardir. Qutblanish qonunlarini tushuntirish uchun bulardan bittasini, odatda elektr maydon kuchlanganlik  $\vec{E}$  vektorining o‘zini tutishini bilish yyyetarli.

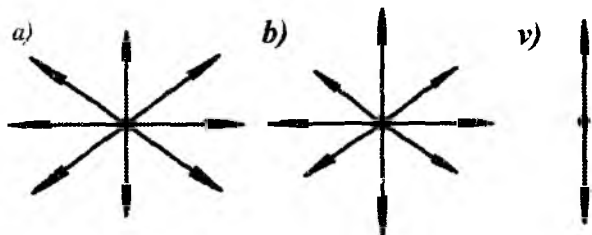
Yorug‘lik ko‘plab atomlar nurlanishi to‘plamidan iboratdir. Atomlar esa bir-biriga bog‘liq bo‘lmagan holda nurlaydi.

Hamma yo‘nalish bo‘yicha  $\vec{E}$  ( $\vec{H}$ ) elektr va magnit maydon kuchlanganlik tebranish vektorlariga ega bo‘lgan yorulikka tabiiy yorug‘lik deyiladi.

Ma’lum yo‘nalish bo‘yicha  $\vec{E}$  ( $\vec{H}$ ) vektori tebranishi ajratilgan yorug‘likka qutblangan yorug‘lik deyiladi. Qutblanish darajasi quyidagi kattalik bilan aniqlanadi :



8.6-rasm. Elektromagnit to‘lqinlarning tarqalishi

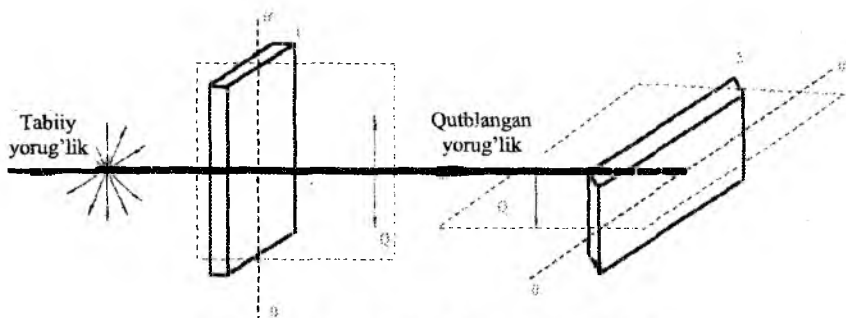


8.7-rasm. Tabiiy (a), qisman qutblangan (b) va to‘la qutblangan (v) nurlar.



$$P = \frac{I_{max} - I_{min}}{I_{max} + I_{min}} \quad (8.28)$$

$I_{max}$  va  $I_{min}$  har Ye elektr maydon kuchlanganlik vektorining o'zaro perpendikulyar tekisliklardagi intensivligi.



8.8-rasm. Yorug'likning qutblanishi

Tabiiy nurni qutblantiruvchi asboblarga polyarizatorlar (qutblantirgichlar) deyiladi. Tabiiy kristallardan turmalin kristali shunday xususiyatga ega. Kristallning 00' optik o'qiga parallel kesilgan 1 turmalin plastinkasi orqali o'tgan tabiiy nur qutblanadi. Unga perpendikulyar qo'yilgan ikkinchi turmalin plastinkasi bu nurni o'tkazmaydi, har bir kristalda shunday bir yo'nalish bo'ladiki, bu yo'nalishga nisbatan kristall panjaraning atomlari (yoki ionlari) simmetrik joylashadi, bu yo'nalish kristallning optik o'qi deyiladi. Polyarizatoridan tabiiy nurning yarim intensivligi o'tadi. Polyarizator buralsa, qutblanish tekisligi buraladi, lekin intensivlik o'zgarmaydi. Agar tekis qutblangan  $E_0$  amplitudali nur analizatorga tushsa, undan  $E = E_0 \cos \varphi$  qismi o'tadi.

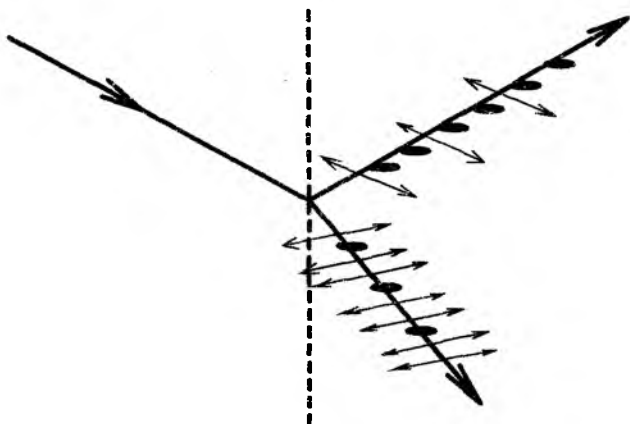
$\varphi$  – bu polyarizator asosiy o'qi bilan analizator orasidagi burchak.

Intensivlik kuchlanganlik amplitudasi kvadratiga proporsional  $I \sim E^2$  bo'lgani uchun quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi.

$$I = I_0 \cos^2 \varphi \quad (8.29)$$

(8.28) formula Malyus qonunini ifodalaydi.

Ikki dielektrik chegarasidan qaytuvchi tabiiy nur qisman qutblanadi. Qaytgan nurda tushish tekisligiga perpendikulyar tebranishlar ko'p bo'lsa, singan nurda tushish tekisligiga parallel nurlar ko'p bo'ladi (8.6-rasm).



**8.9-rasm. Yorug'likning qaytish va sinishida qutblanishi: nuqtalar chizmaga tik tebranishlar, chiziqlar chizma tekisligidagi tebranishlar**

Agar tushish burchagi  $i$  quyidagi shartni qanoatlantirsa, u holda qaytgan nur to'la qutblanadi.

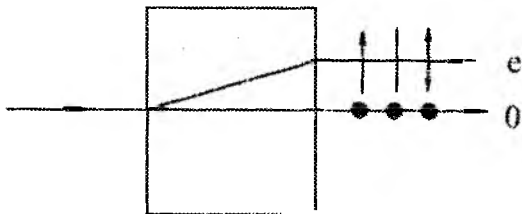
$$\operatorname{tg} i_b = n \quad (8.30)$$

(8.30) formula Bryuster qonunini ifodalaydi.

Bu yerda;  $i_b$  – Bryuster burchagi,

$n$  – muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi.

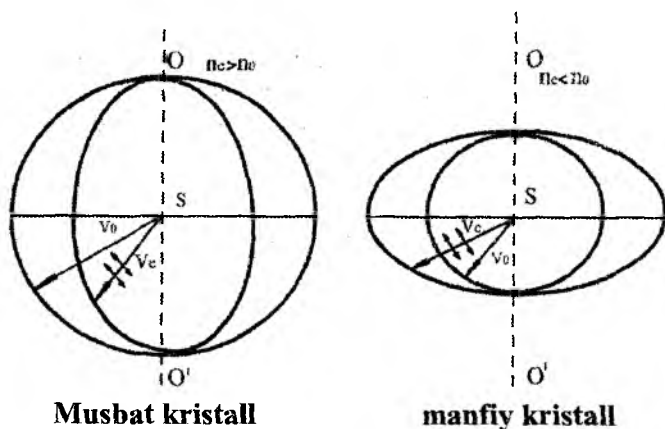
Ba'zi kristallarda ikkilanib sinish xususiyati namoyon bo'ladi (8.10-rasm). Bunda



**8.10-rasm. Yorug'likning ikkilanib sinish hodisasi.**  
 **$e$  – odatdagimas nurlar,  $o$  – odatdagi nurlar,  $\theta$  – uchun**  
**sinish qonuni o'rinli  $e$  – uchun sinish qonuni bajarilmaydi.**

$o$  va  $e$  nurlarning tarqalishi bir xil bo'lgan o'qlarga kristalning optik o'qi deyiladi. Bunday o'q bitta bo'lsa, bir o'qli kristall deyiladi. Ularga  $\text{CaCO}_3$ , kvars, turmalin va boshqalar kiradi. Optik o'q va tushuvchi nur orqali o'tuvchi tekislikka asosiy tekislik deyiladi.

$O$  nurning tebranishi asosiy o'qqa perpendikulyar bo'lsa,  $e$  nurning tebranishi shu tekislikda yotadi. Odatdagi va odatdagimas nurlar tezligi  $V_o = \frac{C}{n_o}$  – kristall optik o'qi bo'ylab ikkalasi ham bir xil bo'ladi.

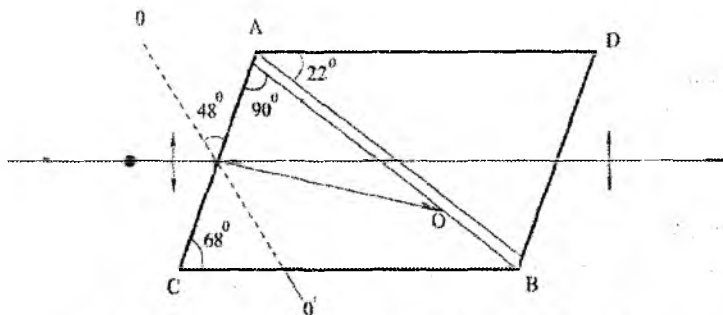


**8.11-rasm. Musbat va manfiy kristallar.  $n_o$  – oddiy nur uchun**  
**sindirish ko'rsatkichi**

Island shpati uchun  $n_o = 1,6504$   $n_e = 1,4864$ .

Ikkilanib sindiruvchi kritstallarda  $e$  va  $o$  nurlar bir-biridan juda kam masofaga uzoqlashadi, shu sababli ulardan qutblagichlar sifatida foydalanilmaydi. Bularndan maxsus polyarizasion prizmalar tayyorlanadi. Eng ko'p tarqalgani Nikol prizmasidir. Ikkita island shpatini kesib kanada balzami bilan yelimlanadi.

Unda  $O$  nur yutiladi,  $ye$  nur esa pastki qirraga parallel holda chiqadi.

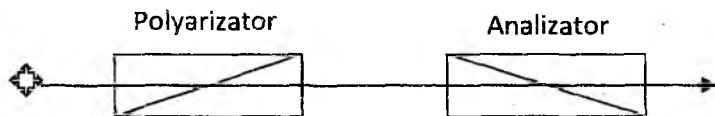


8.12-rasm. Nikol prizmasida nurning yo'li

O'ziga tushgan tekis qutblangan nurni qutblanish tekisligida buradigan moddalarga optik aktiv moddalar deyiladi (kvars).

Agar optik o'qlari perpendikulyar bo'lgan polyarizator va analizator orasiga kvars plastinkasini qo'ysak, kvars yorug'lik nuri qutblanish tekisligini burgani uchun yorug'lik analizatordan o'tadi.

A ni ma'lum burchakka burib yana qorong'ulik hosil qilish mumkin. Bu burchakka qutblanish tekisligining buralish burchagi deyiladi.



8.13-rasm. Polyarizator va analizatorda nurning yo'li

Aniq to'liqin uzunlik uchun  $\alpha = \alpha_o \cdot l$ , bunda  $l$  – optik aktiv moddadagi nurning yo'li.

$\alpha_o$  - aylanish doimiysi (grad/mm). Ikki xil kvars mavjud, o'ngga (soat strelkasi bo'yicha) va chapga (soat strelkasiga teskari) buruvchi, ikkala holda ham  $\alpha$  bir xildir. Optik aktiv moddalarga toza suyuqliklar (masalan, skipidar), eritmalar (shakarning suvdagi eritmasi), bug'lar (kamfora bug'lar) kiradi. Bular uchun

$$\alpha = [\alpha_o] c \cdot l \quad (8.31)$$

Bunda  $c$  – modda konsentratsiyasi.

Bu formula yordamida modda konsentratsiyani aniq o'lchash mumkin. Medi-sinada polyarimetrlar va saxarometrlar keng ishlatiladi. Siydikda shakar miqdorini, oziq-ovqat sanoatida lavlagi, uzum, olma sharbatlarida shakar miqdorini aniqlashda qo'llaniladi. Biologik obyektlarni mikroskopda qarab ularning tuzilishini aniqlash qiyin, shuning uchun ular polyarizasion mikroskop yordamida o'rganiladi. Bu mikroskop oddiy mikroskopdan kondensator oldiga polyarizator, obyektiv va okulyar orasiga analizator qo'yilishi bilan farq qiladi. Bu holda obyekt qutblangan nur bilan yoritiladi. Agar  $P$  va  $A$  o'qlari o'zaro perpendikulyar bo'lsa, predmet stolchaga izohrop modda qo'yib kuzatilsa ham qorong'i bo'ladi. Ammo anizotrop modda qo'yilsa yorug'lik yuzaga kelib to'qimalar, bakteriyalarni ko'rish mumkin. Polyarizatsion mikroskop yordamida suyak to'qimalarida hosil bo'ladigan mexanik kuchlanishlarni kuzatish mumkin.

Optik anizotropiya ikkilanib sinishi tabiiy moddalarda o'rinli. Ammo optik anizotropiyani sun'iy yo'l bilan ham hosil qilish mumkin. Optik izohrop moddalarni anizotrop qilishning 3 xil usuli mavjud.

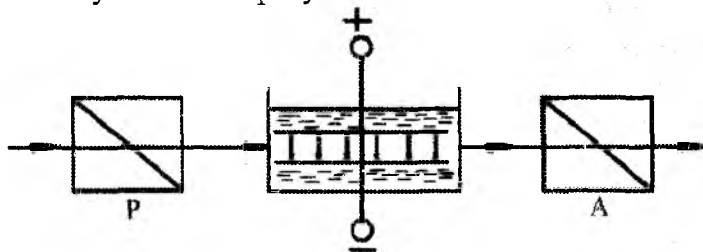
1. Bir tomonlama siqilish va cho'zish (kubik kristallar, shisha va boshqa moddalar.)

2. Elektr maydon yordamida [(Kerr effekti) (amorf jismlar, suyuqliklar, gazlar.)]
3. Magnit maydoni yordamida (suyuqliklar, shisha, kolloidlar).

Optik o'qiga perpendikulyar yo'nalishdagi odatdagi va odatdan tashqari nurlar sindirish ko'rsatkichlar farqi hosil bo'ladigan optik anizotropiya o'lchovi bo'lib xizmat qiladi. Bu ta'sirlar deformatsiyasi natijasida  $n_o - n_e = K_1 \sigma$  optik yo'llar farqi hosil bo'ladi.

$n_o - n_e = K_2 E^2$  (elektrostatik maydon bo'lganda),  $n_o - n_e = K_3 N^2$  (magnit maydon).

$\delta$  – normal kuchlanish.  $K_1 K_2 K_3$  – moddani xarakterlovchi doimiyliliklar,  $E$  va  $H$  – elektr va magnit maydon kuchlanganliklari  
Elektr maydoni holini qaraymiz.



8.14-rasm. Kerr effektini suyuqlikda ko'rsatuvchi qurilma

Bunda P-qutblantirgich, A-analizator

Kerr yacheykasiga suyuqlik (masalan, nitrobenzol) solingan va kondensator plastinkalari o'rnatilgan elektr maydon bo'lmasa, nur (A va R perpendikulyar bo'lganda) o'tmaydi. Agarda shu holda elektr maydoni ulansa nur o'tadi, ya'ni  $\Delta = L(n_o - n_e) = K_2 L E^2$  yo'llar farqi yuzaga keladi.  $L$  – masofa. U holda fazaiar farqi

$$\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = 2\pi V L E^2 \quad (8.32)$$

Bunda  $V = K_2 / \lambda$  – Kerr doimiysi.

Kerr effekti elektr maydon ta'sirida moddalar optik anizotropiyasi- har xil yo'nalishlar bo'yicha suyuqlik molekularining har xil qutblanishini tushuntiradi. Bu jarayon inersiyasiz  $10^{-10}$  s da modda izohrop holatdan anizohrop holatga elektr maydon ta'sirida o'tadi. Shuning uchun u Kerr yacheykasi zatvori bo'lib xizmat qilishi mumkin. (ovoz yozishda, ovoz eshittirishda, tez fotografiyada va kinoda yorug'lik tarqali-shini o'rganishda va hokazolarda). Bundan tashqari optik lokasiyada, optik telefonda, mashinalar faralariga qutblagich qo'yib, qarama-qarshi yo'nalishda kelayotgan avtomobil chiroqlarini o'zaro perpendikulyar tekis-likda qutblash mumkin. Natijada haydovchilar ko'zi qamashmaydi.

Magnit maydoni ta'sirida qutblanish tekisligining burilishini Faradey aniqladi va unga Faradey effekti deyiladi. Bu esa optik va magnit hodisalar bog'liq ekanini ko'rsatuvchi dalildir.

Keyingi yillarda yorug'likni qutblash uchun qutblagichlar keng ishlatilmoqda. Qutblagich qalinligi 0,1 mm ga yaqin bo'lgan shaffof polimer plyonka bo'lib, unda ko'plab mayda sun'iy kristalchalar – qutblovchilar, masalan, gerappatit kristalchalari (yod xinin sulfati) bo'ladi. Gerap-patit barcha kristalchalarining optik o'qlari qutblagich (polyaroid)ni tayyor-lashda bir yo'nalishda oriyentirlanadi. Qutblagich plyonkasi unchalik qimmat emas, juda elastik, yuzi katta, ko'rinuvchi yorug'likning barcha to'liq uzunliklarini deyarli birday (juda oz) yutadi.

### **§ 8.5. Quyosh nurining biologik ahamiyati**

To'liq uzunligi 400nm dan 100 nmgacha bo'lgan elektromagnit to'liqlar ul'trabinafsha nurlanish deyiladi. Uning to'liq uzunligi ko'rinadigan nurlar va yumshoq rentgen nurlar o'rtasida joylashgan. To'liq uzunligi 100 nmdan kichik bo'lgan to'liqlar yupqa havo qatlamida ham kuchli yutiladi. Shu sababli amaliyotda ul'trabinafsha nurlarning qolgan qismi qo'llaniladi. Fizioterapiya va fotobiologiya bo'yicha xalqaro kongresda ul'trabinafsha nurlanish sohasini shartli

uchga bo'lish kelishib olingan.  $UBN_A$  ( $\lambda > 400 \div 315nm$ ),  $UBN_B$  ( $\lambda = 315 \div 280nm$ ),  $UBN_C$  ( $\lambda = 280 \div 100nm$ ). quyosh spektrining 9 foizi ul'trabinafsha nurlanishdan iborat, lekin yer sirtida 280 *nmdan* past to'lqin uzunlikli nurlanishlar yo'q va  $UBN_B$  dan yerga atigi 0,1% yetib keladi. Bunga sabab atmosferadagi azot va ozon qatlami ularni kuchli yutishidir. Agarda  $UBN_B$  va  $UBN_C$  yutilmaganda edi, yerdagi hamma jonzod halok bo'lgan bo'lar edi.

Sun'iy yorug'lik manbalaridan keng spektrdagi nurlanish olish mumkin. 3000 K dan yuqori darajada isitilgan qattiq jismlar ko'p miqdorda ul'trabinafsha nurlar chiqarishi mumkin. Lekin ulardan intensivligi katta bo'lgan qisqa to'lqinlar chiqish amalda mumkin emas. Chunki nurlanishning maksimumi 100 *nm* ga to'g'ri kelishi uchun jismni 29000 K. gacha isitish zarur. Bunday harorat faqat yadro portlaganda markazida bo'lishi mumkin. Shu sababli qisqa to'lqinli nurlar spektrini ul'trabinafsha nurlar chiqaruvchi metall bug'larining elektr razryadlari vaqtida hosil qilinadi. Veterinariya amaliyotida 280 – 380 *nm*. to'lqin beruvchi va bakterisid (253 – 265*nm*) lampalardan foydalaniladi. Ularni qayd qilish uchun sezgir fotoelementlar, fotoplastinkalar, lyuminessent moddalardan foydalaniladi.

Ul'trabinafsha nurlar energiyasi ko'rinadigan nurlarnikidan katta bo'lgani uchun modda bilan kuchli ta'sirlashadi. Shu sababli ular ko'rinadigan nurlarga qaraganda ko'proq fotoeffekt, fotokimyoviy reaksiyalar va lyuminessensiyani hosil qilishi mumkin.

Ul'trabinafsha nurlarning biologik ta'siri kuchli bo'lgani uchun u veterinariyada keng qo'llaniladi. ul'trabinafsha nurlarning biologik ta'siri mexanizmi juda murakkab bo'lib, hozirgacha aniqlanmagan. Bu holda yutilish mexanizmi issiqlik effekti emas, balki fotokimyoviy reaksiyalardir. Ushbu holda foton ta'sirida molekulalardan elektron chiqib ketadi va oqsil molekulasini zaryadi o'zgaradi. Nurlanish fotolizga olib keladi, ya'ni katta molekulalar bo'laklari hosil bo'ladi va ular yuqori biologik aktivlikka egadir.



Fotolizni to'liq uzunligi eritem sohada bo'lgan to'liqlar hosil qiladi. Denaturasiya esa bakterisid to'liq sohasida kuzatiladi. DNK molekularidagi nuklein kislotalarida bo'ladigan o'zgarishlar hujayralar hayotiy holatiga ta'sir qiladi va ularning o'sishiga va keyin hujayra va bir hujayrali organizm – bakteriyalarning halokatiga olib keladi. Turli bakteriyalar turli to'liq uzunliklarda halok bo'lishi mumkin. Masalan, stafilakok to'liq uzunligi 265 nm, *E. coli* - 251nm nurlanish ta'sirida halok bo'ladi. Hujayraning halok bo'lishi uchun katta miqdorda nurlanish dozasi talab qilinadi. Masalan, *E. coli* – hujayrasini o'ldirish uchun  $2 \cdot 10^6$  ta foton kerak bo'ladi.

Ul'trabinafsha nurlarning bakterisid ta'siridan yopiq binolarni sterilizasiya qilishda foydalaniladi.

Sanoat parrandachiligida bu keng qo'llaniladi, chunki ko'p miqdordagi tovuqxonalarda havo orqali turli xil mikroblar tarqalishi mumkin. Jo'ja boqiladigan xonalarni sutkasiga 3 mahal 5 – 25 minutdan nurlantirish jo'jalarning yaxshi o'sishi va kam halok bo'lishiga olib kelgan.

Dezinfeksiya maqsadlarida chorva binolariga beriladigan havolar ham ul'trabinafsha nurlar bilan nurlantiriladi. Ul'trabinafsha nurlar dezinfeksiyadan tashqari havoni ionlashtiradi ham. Bu holda ozon hosil bo'ladi va molxonadagi yoqimsiz hidlarni kamaytiradi.

Hayvonlarga ul'trabinafsha nurlanishning ta'siri uning terisiga tushganda yutilishi bilan bog'liqdir. Nurlanish biologik effekt berishi uchun u teri ostida joylashgan qon va nerv tomirlarigacha yetib borishi kerak. Odam terisi uchun to'liq uzunligi 300 nm dan kichik bo'lgan to'liqlar 0,5 mm kiradi xolos. Hayvonlar terisi qalin va juni bo'lganligi uchun ham kam masofaga o'tadi.

Yorug'lik ta'sirida biokimyoviy reaksiyalar va fiziologik jarayonlar tufayli teri ostida gistamin hosil bo'ladi.

Gistamin boshqa molekula «bo'laklari» bilan qon tomirlari orqali tarqaladi. Gistamin qon tomirlarini kengaytiruvchi modda

bo'lib, natijada giperamin hosil bo'ladi. Organizmning nurlanishiga aks ta'siri terida pigmentasiya, ya'ni kuyish hosil bo'lishidir. Teri pigmenti melanin epidermisning tubida joylashgandir.

Ul'trabinafsha nurlanish ta'siridan teri va so'ng qolgan qismlarda modda almashinuvi yaxshilanadi va natijada organizm immunobiologik holati yaxshilanadi. Shu sababli ul'trabinafsha nurlar veterinariyada shamollash kasalliklarini davolashda ishlatiladi.

Ul'trabinafsha nurlar ta'sirida D vitamini hosil bo'ladi. Bu esa kalsiy elementining o'zlashtirishiga imkon beradi. Agarda organizmda D vitamin yetishmasa organizm kalsiyni suyakdan oladi va bu raxit kasalligiga olib keladi. D vitaminning yetishmasligi skeletning o'sishini sekinlashtiradi. Vitamin D go'sht, yog'lar tarkibida bo'ladi, lekin uni organizmning o'zida ul'trabinafsha nurlar ta'sirida hosil qilishi mumkin. Buning uchun organizmni 280 – 315 nmli ul'trabinafsha nurlar bilan nurlantirilishi kerak. Bu narsa buzoqlar va jo'jalarni nurlantirishda ishlatiladi. Oxirgi yillar hayvonlar qonining UB nurlar bilan nurlantirish yo'li bilan hayvonlarning turli kasalliklarga chalinmasligini oldini olishda foydalanilmoqda. Buning uchun hayvon venasidan 1 kg massaga 1 – 2 ml qon olib, ul'trabinafsha nurlar bilan nurlantirilib yana organizmga yuboriladi.

Shuni qayd qilish kerakki, ul'trabinafsha nurlarning salbiy ta'sirlari ham ko'p va undan himoyalanih ham zarur.

Quyosh nuridan fotosintezda foydalanilishi ma'lum, lekin tushayotgan quyosh nurining atigi 5 foizi bevosita fotosintezga sarflanadi (bahorgi bug'doy uchun 3,26 foiz, kartoshka uchun 3,02 foiz, makkajo'xori uchun 2,35 foiz va h.k). O'simliklarning organik massasi fotosintez jarayonida to'planadi, shuning uchun qishloq xo'jaligi ekinlarining hosildorligini oshirish uchun quyosh energiyasidan foydalanish koeffitsiyentini oshirish zarur. Buning uchun sun'iy yorug'lik berish kerak. Bunda o'simliklar karbonat angidrid bilan boyib ildizdan suyuq ozuqa berilgani holda sun'iy

ravishda qo‘shimcha yoritiladi. Yorug‘lik teri qatlamiga ham ta‘sir qiladi. Ko‘rinadigan va infraqizil nurlar asosan terining sirtini qizdiradi. Ul‘trabinafsha nurlar tashqi qatlamda fotokimyoviy reaksiyani vujudga keltiradi, buning natijasida qo‘ng‘ir pigment hosil bo‘ladi (kuyish), bu pigment melanin deyiladi va ul‘trabinafsha nurlarni kuchli yutib, organizmni ularning haddan tashqari ta‘siridan saqlaydi. Ul‘trabinafsha nurlarning kuchsiz (normal) ta‘siri organizmga foydali ta‘sir ko‘rsatadi, uning yuqumli kasalliklarga qarshiligini ko‘rsatadi va modda almashinuvini yaxshilaydi.

Odam, hayvon va o‘simliklar yashashi uchun yorug‘lik zarurdir, uning yetmasligi organizmning normal faoliyatini buzadi. 0,28 mkm dan qisqa to‘lqinli ul‘trabinafsha nurlar kuchli bakterisid ta‘sirga ega. Bundan binolarning havosini tozalash, sutni sterilizatsiya qilishlarda ishlatiladi. Bu nur kvarts lampalar yordamida hosil qilinadi. Yerga yetib keladigan quyosh nurlarida 0,29 mkmdan qisqa to‘lqinli nurlar bo‘lmaydi, chunki bu nurlarni atmosferaning yuqori qatlamlari (12–50 km) ozon ( $O_3$ ) batamom yutib qoladi.

Infraqizil nurlar ilonlar hayotida muhim ahamiyatga ega. Ilonlarda ko‘rish, eshitish, hid bilish zaif, lekin infraqizil nurlarni o‘tkir qabul qiladi. Ilonning boshida ko‘zlari bilan burun orasida ikkita chuqurcha bo‘lib, ularda o‘ziga xos «termolokatorlar» – infraqizil nurlarga sezgir organlar bo‘ladi. Bu yordamida turli mayda qushlar va hayvonlardan kelayotgan zaif issiqlik nurlanishlarni ham tutib oladi va ularning turgan joylarini aniqlaydi. Shuning uchun qorong‘ida ham ilon o‘z o‘ljasiga aniq tashlanadi. Bir yilda quyosh nuri ta‘sirida 450 milliard tonna organik modda hosil bo‘ladi.

### **§ 8.6. Optik nurlanishning biologik ta‘siri**

Yorug‘lik – hayotiy funksiyalarni boshqaruvchi muhim omildir. Ko‘rinadigan yorug‘lik ko‘z qorachig‘i orqali organlarga ham ta‘sir ko‘rsatadi. Teriga tushgan nur uni isitadi, natijada teri reseptorlarini uyg‘otadi va ichki reflektik ta‘sir ko‘rsatadi. Quyosh nuri sun‘iy hosil qilinadigan nurlarga qaraganda ancha kuchli biologik ta‘sir

ko'rsatadi, chunki quyoshda ul'trabinafsha va infraqizil nurlar ancha ko'pdir.

Yorug'lik nuri muhim biologik birikmalarda yutilganda foydali va zararli jarayonlar kyechishi mumkin. Yorug'lik nuri zararli ta'siri ham ikkiga bo'linadi. Yorug'lik nuri teriga, ko'zga ta'sirida allergiya berishi bo'lsa, fotoperiodizm ta'sirida hayvonlarda yillik, sutkalik sikllar mavjud bo'lishi mumkin.

Bu jarayonlar yorug'lik nuri bilan boshqariladi, ya'ni odam va kemiruvchilarda ko'z, qushlarda gipotalamus, baliqda epifiz, hashoratlarda miya, o'simliklarda xlorofill asosiy fotobiologik jarayonlar fotosintez, fototaksis, fototropizm va fotoperiodizmdir.

Fotosintez – yorug'lik nuri energiyasi hisobiga organik molekulalar sintezi;

Fototaksis – organizmning, masalan bakteriyalarning, yorug'likka yoki qarama-qarshi tomonga harakati;

Fototropizm – o'simlik barglari yoki poyalarining yorug'likka yoki yorug'likdan burilishi;

Ko'rish – ko'z to'rida yorug'lik energiyasining asab impulsi energiyasiga aylanishi;

Ul'trabinafsha nurlarning ta'siri (mikroorganizmlarga bakterisid ta'siri, mutagen ta'sir, D vitaminning hosil bo'lishi, teriga eritem ta'siri va h.).

Biofizika kursida asosan quyidagi fotobiologik jarayonlar o'rganiladi: Yorug'lik kvantini yutish, molekula tarkibida energiya almashinish, molekulalar orasida qo'zg'algan holat bo'lganda energiya o'tkazish, ya'ni energiya migrasiyasi va birlamchi fotokimyoviy akt jarayonlari o'rganiladi.

Fotobiologiya fizik-kimyoviy biologiyaning biologik obyektlarga ul'trabinafsha va ko'rinuvchi nurlar ta'sirini o'rganadigan sohadir. Infraqizil va o'ta qisqa to'lqin uzunlikli (rentgen va gamma) nurlarning biologik ta'sirini o'rganish esa fotobiologiyaning muammolariga kirmaydi. Demak, fotobiologiya fotofizika va fotokimyoga bevosita bog'liq ekan.

Asosiy fotokimyoviy reaksiyalar jumlasiga quyidagilar kiradi: fotoionlashish (elektronning molekula tashqarisiga o'tilib chiqib, ionlar yoki erkin radikallar hosil bo'lishiga olib kelishi), fotoqaytarilish yoki fotooksidlanish (elektronning bir molekuladan ikkinchisiga o'tishi), fotodissosiasiya (molekulalarning ionlarga parchalanishi) va fotoizoherizasiya (molekulalar fazoviy konfiguratsiyasining yorug'lik ta'siri ostida o'zgarishi).

Har qanday fotokimyoviy reaksiya ikki bosqichda o'tadi: birinchi bosqich-yorug'likka aloqador bosqich bo'lib buning natijasida qo'zg'algan molekulalar, ionlar va erkin radikallar hosil bo'ladi.

Ikkinchi bosqich – “qorong'ulikka aloqador” bo'lib, birlamchi (dastlab paydo bo'lgan), aktiv mahsulotlarning keyinchalik qayta o'zgarishidan iborat. Bu bosqichda energiyaga boy molekulalar yana reaksiyaga kirishadi, bu reaksiyalar endi biokimyoviy reaksiyalar bo'ladi. Yaxlit biologik tizimda bu jarayonlar birin-ketin tartib bilan boradi, ya'ni kvant yutilishi – fotokimyoviy reaksiyalar – kimyoviy va biokimyoviy reaksiyalar – fiziologik aktdir.

Fotobiologik jarayonlar mexanizmini aniqlash uchun umuman shu jarayonning oxirgi yakunini tekshirish kerak. Masalan: ul'trabinafsha nurining teriga qanday ta'sir ko'rsatishini analiz qilish uchun eritemaning darajasi, chuqurligi va maydoni aniqlanadi.

Fotobiologik jarayonlarni o'rganishdagi masalalardan biri ta'sir etuvchi nurlanishni yutayotgan va jarayonning boshlang'ich bosqichlarida qatnashayotgan moddani aniqlashdan iborat. Buning uchun fotokimyoviy ta'sir spektri o'rganiladi va reaksiya qatnashchilari deb faraz qilinayotgan moddalar spektri bilan taqqoslanadi.

Suvda radiatsiya ta'sirida gidroperekis ( $\text{HO}_2$ ) vodorod peroksidi ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) gidroksil ( $\text{OH}$ ) radikallari paydo bo'lib, o'ta tez reaksiyaga kirishuvchidir. Erkin radikallar organik molekulalarda ham ionlovchi nur, ul'trabinafsha nur ta'sirida oqsillarda, fenollarda, nuklein kislotalarda erkin radikallar hosil bo'ladi. Masalan, fenol

moddasining xenonga aylanishida semixinon erkin radikali hosil bo'ladi. Semixinon erkin radikalining miqdori hujayra va to'qimalarni, o'simlik urug'larini funksional holatiga bog'liq bo'ladi.

O'simlik urug'lariga, barglariga ionlovchi nurlar ta'sir etganda va o'simlik urug'ida semixinon radikali miqdorini nazoratga nisbatan yuqori ekanligini Z.N.Norboyev tomonidan aniqlangan. Demak, erkin elektronlar yuqori tartibda radiatsiyaga kirishuvchan bo'lib, paramagnetizm xossasi, ya'ni kompensatsiyalashgan magnit momentiga ega, ya'ni juftlashmagan elektronlar hisoblanadi va zanjirli reaksiyaga olib keladi. Shuning uchun tirik organizmdagi biofizikaviy, biokimyoviy jarayonlarda juftlashmagan, ya'ni erkin elektronlar ishtirok etib, funksional holatini belgilaydi. Bu erkin radikallarning miqdori hujayra va to'qimalarning funksional holatiga bog'liq bo'lishini Z.N.Norboyev atmosfera har xil gazlar bilan ifloslanganda radioaktiv uranli tuproqda o'sayotgan o'simlik urug'larida elektron paramagnit rezonans usuli yordamida aniqlagan. Hujayra va to'qimalarining membranalari asosan fosfor, lipidlardan tuzilgan bo'lib, ionlovchi nurlar ta'sir etganda erkin radikallar hosil bo'ladi.

Ul'trabinafsha nurlar ko'plab hayvonlar va odamlarda sezgi uyg'otmaydi. Uning ta'siri asosan eritmik va bakterisid bo'lishi mumkin.

Eritmik ta'sir deb, ul'trabinafsha nur ta'sirida terining qizarish hodisasiga aytiladi.

Bu holda teri sirti yaqinidagi arteriolalar kengayadi va to'qimalarda to'planadi. Bunda asosiy vazifani ul'trabinafsha nur ta'sirida hosil bo'ladigan gistamin o'ynaydi. U esa qon tomirlarini kengaytirish xususiyatiga ega. Ul'trabinafsha nurlar eritmik ta'sirini ifodalovchi kattalikka eritmik oqim deyiladi. Uning o'lchov birligi erg. To'lqin uzunligi 296,7 nm bo'lgan 1Vt quvvatli nurlagich 1 erg oqim hosil qiladi. Quvvati 1 Vt bo'lgan boshqa to'lqin uzunlikli

nurlagich hosil qiladigan oqim  $V_y(\lambda)$  ga teng bo'ladi. Xromatik bo'lmagan nurlanish uchun oqim

$$\delta_y = \int_{\lambda=200\text{nm}}^{\lambda=380\text{nm}} V_y(\lambda)r(\lambda, O)d\lambda \quad (8.33)$$

Eritmik nurlanish kuchi (erg/s), eritmik nurlanish ( $\text{Erg/m}^2$ ) va boshqalarda aniqlanadi.

Ul'trabinafsha nurlar bakterisid ta'sirida bakteriyalar halok bo'ladi. Organizmda immunobiologik holatning oshuvi ham bakterisid ta'sirida ifodalanadi.

Bakterisid ta'sir effektivligi  $V\delta(\lambda)$  bog'lanish orqali aniqlanadi. Eng kuchli bakterisid xususiyatga 254 nmli to'lqin egadir. 200 – 380 nm diapazondan tashqaridagi to'lqinlar uchun bakterisid ta'sir unchalik sezilarli emas. Nurning bakterisid ta'sirini aniqlovchi kattalik bakterisid oqim deyiladi va baktlarda o'lchanadi. To'lqin uzunligi 254 nm bo'lgan 1Vt quvvatli nurlanish 1 bakt. oqim hosil qiladi. Boshqa to'lqin uzunlikli nurlanish  $V\delta(\lambda)$  oqim hosil qiladi. Masalan, to'lqin uzunligi 280 nm bo'lgan nurlanish 0,6 bakt. oqim hosil qiladi.

$$\Phi\delta = \int_{200}^{380} V\delta(\lambda)r(\lambda, T)d\lambda \quad (8.34)$$

qolgan bakterisid qiymatlar: bakterisid nurlanish kuchi (bakt/m)da o'lchanadi. Bakterisid nurlanish (bakt/m<sup>2</sup>) 200 nmdan kichik to'lqinlarda tez yutiladi. Shu sababli ulardan foydalanib bo'lmaydi.

Qish oylarida va yopiq binolarda saqlanadigan qishloq xo'jalik hayvonlari quyosh nuriga chanqoqlik sezadi va ularda mahsuldorlik kamayadi, hamda infeksiyon kasalliklarga tez chalinishi mumkin. To'g'ri tanlangan sun'iy yoritish ana shu kamchiliklarni qisman kamaytirishi mumkin.

Infraqizil nurlar to'lqin uzunligi 760 nmdan 1 – 2 mm gacha sohani o'z ichiga oladi. Bu soha shartli uch qismga bo'linadi, ya'ni

yaqin ( $0,76 - 2,5 \mu\text{m}$ ), o'rtta ( $2,5 - 50 \mu\text{m}$ ) va uzoq ( $50 - 2000 \mu\text{m}$ ). Vin qonuniga binoan jism harorati qancha past bo'lsa, uning nurlanish to'liqin uzunligi shuncha katta bo'ladi. Quyosh nurlanishi spektrining IK nurlanishi ( $T_k = 6000\text{K}$ ) 50% ni tashkil qilsa, cho'g'lanma lampa uchun IK spektr ( $T_l = 2800\text{K}$ ) - 90% ni tashkil qiladi. Xuddi shunday IK nurlanishni isigan o't, odam va hayvon tanasi chiqarishi mumkin.

IK nurlarni qayd qilish uchun issiqlik va fotoelektron qabul qiluvchilardan foydalaniladi. Nurlagich turiga qarab IK spektr tutash yoki chiziqli bo'lishi mumkin. Isigan qattiq jismlar uyg'ongan gaz atomlari chiziqli spektr nurlaydi. Infraqizil spektroskopiya tirik hujayralarni o'rganishda qo'llaniladi. IK nurlanishning yutilishi va qaytish hodisalari ko'rinadigan nurlarnikidan farq qiladi. Masalan, suv ko'rinadigan nurni yaxshi o'tkazsa, IK nurni yutadi. Shu sababli yoritilgan biror jismning isishidan xabardor bo'lish uchun manba va jism o'rtasiga suvli kyuveta qo'yiladi.

Suv va suv bug'larining IK nurlarni kuchli yutishi bizning planetamizdagi issiqlik muvozanatini saqlashda muhim rol o'ynaydi. Qish vaqtida Yer atmosferasining IK nurlanishini kuchli yutishi yerdan kutarilayotgan issiqlikni saqlashda muhim rol o'ynaydi va Yerning sovib ketishiga to'sqinlik qiladi.

Xuddi shunday hodisa issiqxona effektida ham yuz beradi. Quyoshdan tushayotgan nur issiqxona tuprog'ini isitadi. Issigan tuproq IK nurlari nurlaydi va u issiqxona shisha tomonidan yutiladi va yana issiqxona ichiga qaytadi. Shunday qilib shisha IK nurlanishning yo'qotilishiga to'sqinlik qiladi. IK nurlar yordamida texnik quritishda keng qo'llanilmoqda. Masalan, bo'yalgan avtomobil, mebel, yonuvchi modda yoki mevalarni, ho'l donlarni quritishda qo'llanilmoqda.

IK nurlarning biologik ta'siri to'qimalarning isishi bilan aniqlanadi. Haroratning oshishi hujayralar aktivligini, ularning ko'payishini, almashish jarayonini tezlashtiradi.



IK nurlanishning hayvonlar organizmiga ta'siri terida bo'ladigan effektlardan boshlanadi. Hayvonlar terisi IK nurlanish uchun deyarli shaffof bo'lib, unga 2,5 – 4 smgacha va ba'zida undan ham ko'proq kirishi mumkin. Nurlanish yutiladigan teri qismlari isishi natijasida u yerdagi reseptorlarni uyg'otadi. Natijada potentsiallar farqi yuzaga keladi va markaziy nerv tizimiga borib issiqlik balansini boshqarishga harakat qiladi. Natijada nurlangan qismlarda qon aylanish tezlashadi va to'qimalarning kislorod bilan ta'minlashi yaxshilanadi. Bu esa biologik funksiyalarning aktivlashuviga olib keladi. Katta to'lqin uzunlikli nurlar terining ustki qatlamini isitadi, qisqa to'lqinlar esa teri ichkarisiga 6 – 8 sm kirishi va ichki organlarni isitishi mumkin.

IK nurlanish tibbiyotda va veterinariya fizioterapiyasida keng qo'llaniladi. Undan bo'g'inlarni, terini, limfa tugunlarni davolashda foydalaniladi. IK nurlanish suv tomonidan kuchli yutilishi tufayli bug'lanish tezligini oshiradi.

Natijada terining ho'l yuzasining qurishini tezlashtiradi. Bu xususiyatdan ekzema va sovuq urishni davolashda ishlatiladi. IK nurlar bilan davolashning boshqa issiqlik usullaridan farqi, bu holda issiqlik ancha ichki organlarga kirishidadir. Bundan tashqari, issiqlik manbai va isitiladigan jism orasida kontakt yo'qligi to'qimalar o'yg'onishi va ifloslanishining oldini oladi.

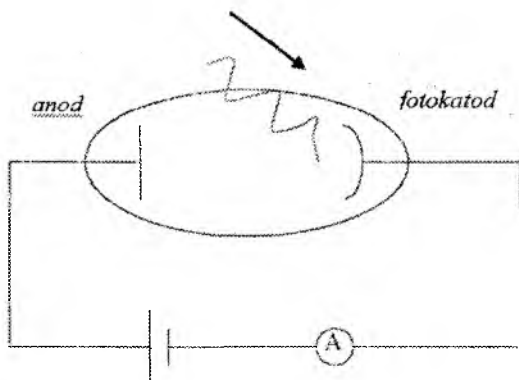
IK nurlanish bilan buzoqlar saqlanadigan xonalarni isitish ham keng qo'llanilmoqda, chunki yangi tug'ilgan buzoqlar birlik massasiga ko'ra ko'proq energiya yutadi. Sun'iy isitish yangi tug'ilgan buzoqlarning tashqi sharoitga tez moslashuviga olib keladi.

Shuni aytish kerakki, IK nurlanish ko'zga salbiy ta'sir ko'rsatadi, chunki ko'z qorachig'i va shishasimon suyuqligi IK nurlarni kuchli yutadi. Bu esa kataraktga, to'r pardaning ajralishiga va boshqa ko'z kasalliklarga olib kelishi mumkin. Oxirgi yillarda odam va hayvonlar organlari orqali chiqariladigan nurlanishlarni elektrooptik usul bilan qayd qiluvchi termografiya usullar keng qo'llanilmoqda. To'qimalar IK nurlanishni ko'rinadigan nurlanishga

qaraganda kuchsiz yutadi va shu sababli IK spektrga asosan ko'rinadigan nur sezmaydigan teri osti detallarni sezish mumkin. Teri ostidagi venalar fotosuratda yoki televizoh ekranida IK nurda yaxshi ko'rinadi, chunki venadagi qon harorati uni o'rab turuvchi to'qimalar haroratidan biroz yuqori bo'ladi. Suratlar yordamida qayerlarda shamollashlar boshlanayotganini aniqlash mumkin. IK nurlanishni qayd qiluvchi hozirgi zamon qurilmalar tromboz yoki o'simalarni aniqlashda foydalanilmoqda.

### § 8.7. Kvant-optik hodisalar

Kvant nazariyasi haqida tushuncha. Oldin biz ko'rib o'tgan edik, zarracha holatga qarab to'lqin xususiyatini ham namoyon qilar edi. Masalan, foton o'zini zarracha kabi (fotoeffekt, kompton effekt) yoki to'lqin kabi (interfer, difraksiya) namoyon qilishi mumkin. Bu erda biz zarrachalarning kvant xarakteri bilan bog'liq bo'lgan hodisalar bilan tanishamiz. Fotoeffekt yorug'lik ta'sirida metallar sirtidan elektronlarning chiqish hodisasidir. Yorug'likning metall sirti bilan ta'sirini uni to'lqin deb qaralganda tushuntirib bo'lmadi. Faqat 1905-yilda Eynshteyn yorug'likning kvant nazariyasini yaratgandan so'ng bu masala hal bo'ldi.



8.15-rasm. Fotoeffekt hodisasini hosil qiluvchi qurilma.  
Eynshteynning fotoeffekt uchun tenglamasi

$$E = hf - \frac{hc}{\lambda} \quad (8.35)$$

Bunda  $h$  – Plank doimiysi  $h = 6.625 \cdot 10^{-34} \text{ J} \cdot \text{s}$ ,  $c = f \cdot \lambda$  – yorug‘lik tezligi. Uning impuls momenti

$$P = \frac{E}{c} = \frac{h}{\lambda}$$

Yorug‘lik ta’sirida metall sirtidan urib chiqarilgan elektronlar anod tomon harakatlanadi. Zanjirda tok paydo bo‘ladi. Yorug‘lik oqimi o‘zgarmas bo‘lsa, kuchlanish oshishi bilan anodga etib boruvchi elektronlar ham ko‘payib boradi. Biror bir kuchlanishdan boshlab tok oshmay qoladi. Bu esa metalldan chiqqan barcha elektronlarning anodga etib borishini ko‘rsatadi. bunga to‘yinish toki deyiladi. Elektronning kinetik energiyasi

$$KE_{max} = eV_{tor} \quad (8.36)$$

yoki

$$KE_{max} = hf - 1 \quad (8.37)$$

Kinetik energiyasi kichik bo‘lgan elektronlar metall sirtidan chiqib keta olmaydi.

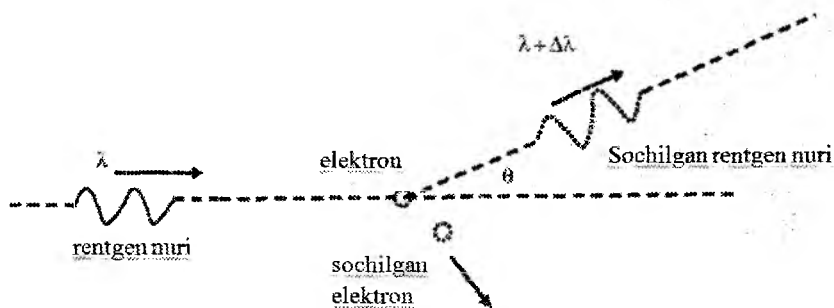
Kvant fizikasi va nisbiylik prinsipi. Fotoeffeki kuzatiladigan eng kichik chastota  $f_{min} = \frac{Q}{h}$  bundan kichik chastotada fotoeffekt kuzatilmaydi. Bu fotoeffektning qizil chegarasi deyiladi, chunki eng kichik chastota eng katta to‘lqin uzunligiga mos keladi. Bu esa qizil nurga mos keladi (8.37) formuladan ko‘rinadiki, elektronning maksimal kinetik energiyasi faqat chastotadan bog‘liq bo‘lib, uning intensivligiga bog‘liq emas.

Misol . Qizil nur (633 nm) va yashil nur (488 nm) energiyasi 2,25 eV bo‘lib, metallga yuborilgan. Sekundiga  $10^{12}$  ta foton tushsa va u 100% effektivlikka ega bo‘lsa, hamda elektronlarning hammasi anodga borib etsa, intensivlik 10-marta oshirilsa nima bo‘ladi? Ushlab qoluvchi potensial nimaga teng?

Echish. Qizil va yashil yorug‘lik fotonlar energiyasi  $\frac{hc}{\lambda}$  formula bilan aniqlanadi. U 2,0 va 2,5 eV ga teng. O‘rtacha 2,25 eV ga teng. Sekundiga  $10^{12}$  ta foton tushsa, u holda tok  $10^{12} \cdot 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ kl} = 1,6 \cdot 10^{-7} \text{ A} = 0,16 \text{ mA}$ .

Agarda intensivlik 10-marta oshsa, tok ham 10-marta oshadi, ya'ni  $1,6 \text{ mA}$  bo'ladi.

Qizil nur uchun ushlab qoluvchi potensial nolga teng bo'ladi, chunki elektronning maksimal kinetik energiyasi  $2,5 - 2,25 = 15 \text{ eV}$  ga teng, bu esa fotoeffekt hosil qilmaydi.



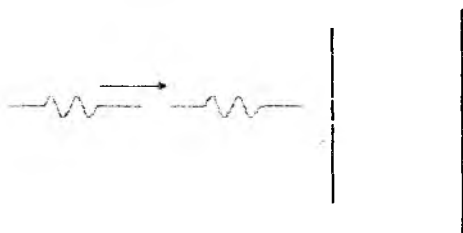
8.16- rasm. Rentgen nurlarining sochilishi

1920-yilda Kompton rentgen nurlarining engil atomlarda sochilishini o'rganishda sochilgan nur tarkibida tushayotgan nur bilan birga undan kattaroq to'liqin uzunligiga ega bo'lgan nurning mavjudligini aniqladi. Bu nurning to'liqin uzunligi faqat sochilish burchagidan bog'liq ekan

$$\Delta\lambda = \lambda c(1 - \csc \theta)$$

$$\lambda c = \frac{h}{mc} = 2,43 \cdot 10^{-12} \text{ m}$$

Bunda  $m$  — elektron massasi.



8.17-rasm. Fotonlar to'liqin paketi

Har bir foton alohida tirqishdan o'tsa, ekranda tasvir hosil bo'ladi. Alohida fotonlar tirqishlar orqali o'tib o'zining shaxsiy to'liqin fronti bilan uchrashib interferensiya hosil bo'ladi. (8.35) ga binoan to'liqin uzunlik  $\lambda = \frac{h}{p}$  ga teng. Bu elektron to'liqin uzunligidir. Elektron florissant ekranga tushib unda nurlanish hosil qilishi mumkin. 1927-yilda Devison va Jermer elektronlarning kristall ranjarasidagi diffraksiyasini kuzatib, elektronlar to'liqin xususiyatiga ham ega bo'lishini isbotladi. Demak, zarracha ba'zi hodisalarda o'zini zarracha kabi tutsa, ba'zi hollarda o'zini to'liqin kabi namoyon qiladi. Shunday qilib, to'liqin zarracha dualizmi nazariyasi paydo bo'ldi. Bu xulosa faqat elektron uchun emas, balki barcha zarrachalar uchun o'rinlidir. Katta zarrachalar uchun bu to'liqin uzunlik juda kichik. Masalan, 1 kg massali jism 1 m/s tezlik bilan harakatlansa, uning to'liqin uzunligi  $10^{-33}m$  ga teng bo'ladi. Lekin mikrolirda zarrachalar massasi ancha kichik va to'liqin uzunligi ham ancha katta bo'ladi. Elektron harakatlanganida 1,2 nm to'liqin uzunlikka ega bo'ladi. Bu esa atom massasiga nisbatan katta hisoblanadi. Elektr impuls  $p = \sqrt{2mE} = 5,4 \cdot 10^{-25} kg \cdot \frac{m}{s}$ .

Pauli prinsipiga binoan bitta energetik holatda to'rtala kvant soni bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas. Ba'zi moddalarda juda past teperaturalarda o'ta o'tkazuvchanlik hodisasi yuz beradi, masalan, geliy temperaturasida, ya'ni 4K.

Geliy 2,18 K temperaturada sovutilsa, o'ta oquvchan bo'lib qoladi va qarshiligi yo'qoladi.

### § 8.7. Yorug'likning kvant tabiati

Elektromagnit nurlanish elektr zaryadlarining xususan, moddaning atomlari va molekulari tarkibiga kiruvchi zaryadlarning tebranishi sababli paydo bo'ladi. Masalan, molekularlar va atomlarning tebranma va aylanma harakati-infracizil nurlanishni, atomda elektronlarning muayyan ko'chishlari-

ko'rinadigan va infraqizil nurlanishni, erkin elektronlarning tormozlanishi esa rentgen nurlanishni vujudga keltiradi.

Tabiatda elektromagnit nurlanishning eng keng tarqalgan turi issiqlik nurlanishidir. Bu nurlanish moddaning atomlari va molekulalarining issiqlik harakati energiyasi hisobiga, ya'ni modda ichki energiyasi hisobiga bajariladi va shuning uchun nurlanayotgan jismning sovushiga olib keladi. Issiqlikdan nurlanish absolyut noldan boshqa har qanday haroratda bo'ladi va tutash spektrga ega. har qanday jism nur chiqarish bilan birga nur ham yutadi. Shu sababli issiqlik muvozanati o'rinlidir.

Jismning nur chiqarish qobiliyati  $R_e$  deb (uni ba'zan energetik yorqinlik ham deb ataladi), jism birlik sirtining 1 sekda chiqaradigan energiya kattaligiga aytiladi. O'lchov birligi.  $\left(\frac{J}{m^2 s}\right)$

Har qanday haroratda o'ziga tushgan nurni to'la yutuvchi jismlarga absolyut qora jism deyiladi.

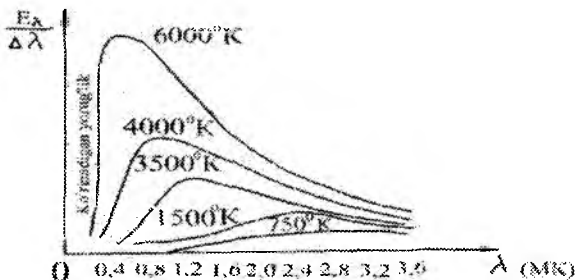
*Stefan-Bolsman* qonuniga binoan absolyut qora jismning energetik yorqinligi absolyut qora jism haroratining to'rtinchi darajasiga proporsionaldir.

$$R_e = \sigma T^4 \quad (8.38)$$

Bunda  $\sigma = 5,67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{m^2 K^4}$  – Stefan – Bolsman doimiysi.

Vinning siljish qonuniga binoan to'liqin uzunligining haroratga bog'liqligi quyidagi formuladan aniqlanadi.

$$\lambda_{max} = \frac{b}{T} \quad (8.39)$$



8.18-rasm. Issiqlik nurlanishining to'liqin uzunligiga bog'lanish grafigi.  $\lambda$ - to'liqin uzunligi  $\frac{E_\lambda}{\Delta\lambda}$  - yorituvchanlikning spektral zichligi

ya'ni harorat oshsa, to'liqin uzunlik  $\lambda$  kamayadi. Bu yerda  $\epsilon$  – Vin doimiysi.  $\epsilon = 0,28979 \cdot 10^{-12} m \cdot K$

Vin qonuniga asosan birinchi marta quyosh harorati aniqlangan. Quyosh nurlanishi maksimum energiyasi  $\lambda = 0,47$  mikm to'liqin uzunligi mos keladi, u holda quyosh harorati

$$T = \frac{0,2898 \cdot 10^{-2}}{0,47 \cdot 10^{-6}} = 6160K$$

Yer yuzasida asosiy issiqlik nurlanishi va ko'rinadigan nurlar manbai quyosh hisoblanadi. Yer sirtida quyosh nurlanishi intensivligi  $1382 \text{ Wt/m}^2$ , bunga quyosh doimiysi deyiladi. Yyer shari quyoshdan bir yilda  $3,84 \cdot 10^{24} \text{ J}$  energiya oladi. Bu esa insoniyatning boshqa manbalaridan oladigan energiyasidan ancha ko'pdir. ( BMT ning xabarlariga ko'ra 1975-yil barcha tur ishlab chiqilgan energiyalar miqdori  $2,1 \cdot 10^{20} \text{ J}$  ga teng).

Quyosh nurlanishi maksimumi  $470 \text{ nm}$ ga to'g'ri keladi, ammo yerda quyosh nurini tanlab yutilishi, bu maksimumni  $555 \text{ nm}$ ga siljitadi. Ko'z ham shu to'liqin uzunlikni yaxshi sezadi.

Yer atmosferasi yuqori chegarasida quyosh nurlanishining intensivligi

$8,4 \cdot 10^4 \frac{J}{m^2}$  ga yaqin, yer sirtiga 25 foizi yetib keladi.

Klassik elektrodinamika asosida olingan ifodalar nurlanishning tajriba natijalari bilan to'la mos kelmasligi aniqlandi. 1900-yili nemis olimi Plank tajriba natijalarini to'la tushuntiruvchi nazariyani yaratdi.

Plank gipotezasiga binoan atom ossilyatorlari uzluksiz emas, balki porsiya-kvant shaklida nur chiqaradi va yutadi, uning energiyasi

$$E = h\nu \quad h = 6,625 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s} - \text{Plank doimiysi. (8.40)}$$

Demak, energiya diskret qiymatlarni qabul qiladi.  $E = nh\nu$  ( $n = 1, 2, 3, \dots$ )

1900-yil 14-dekabrda shu masala nemis fiziklar jamiyatida e'lon qilindi va bu kun kvant mexanikasining tug'ilish kuni hisoblanadi. Katta to'lqin uzunliklar uchun energiyaning uzunligi sezilmaydi, kichik to'lqinlar uchun yaxshi namoyon bo'ladi. Plank nazariyasiga asoslangan holda 1905-yilda Eynshteyn yorug'likning kvant nazariyasini, Bor esa 1913-yilda atom tuzilishining kvant nazariyasini ishlab chiqdi.

Eynshteyn nazariyasiga binoan yorug'lik kvant shaklida chiqariladi va yutiladi. Ularni fotonlar deb atadi. Uning energiyasi  $E = h\nu$ , massasi

$$m = \frac{h\nu}{c^2}$$

impulsi  $P = \frac{h\nu}{c}$ . Foton kvazizarracha tezligi  $c$ , uning tinchlikda massasi yo'q. Agar foton impulsga ega bo'lsa, yorug'lik yuzaga bosim berishi kerak.

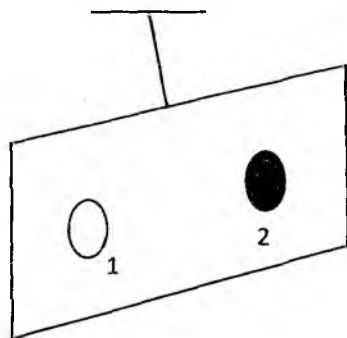
Bu bosim

$$P = \frac{h\nu}{c} N(1 + \rho) \quad (8.41)$$



ifoda orqali aniqlanishi kerak. bunda  $\rho$  – qaytarish koeffitsiyenti.

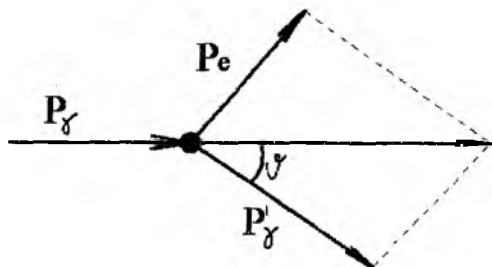
$N$  – 1 sekunda tushuvchi fotonlar soni.



**8.19-rasm. Yorug'lik bosimini o'lchashdagi Lebedev tajribasi qurilmasi. 1- ko'zgusimon sirt, 2- qoraytirilgan sirt**

Bu bosimni tajribada 1899-yilda rus olimi Lebedev aniqladi. Ko'zgusimon sirtga bosim, qoraytirilgan sirtga qaraganda ikki marta katta bo'ladi(8.13-rasm).

Yorug'lik kvant xossalarini A.Kompton effekti yaqqol ko'rsatadi. Ame-rika fizigi A.Kompton 1923-yilda monoxromatik rentgen nurlarning yengil atomlardan sochilishini kuzata turib, sochilgan nur tarkibida boshlang'ich to'liqin uzunlik bilan bir qatorda kattaroq to'liqin uzunlik borligini payqadi.



**8.20-rasm. Kompton effektini ifodalovchi chizma.  $P_\gamma$ -rentgen fotoni impulsi,  $P_e$ -elektron impulsi,  $P'_\gamma$ -sochilgan rentgen fotoni impulsi**

Tajribalarni ko'rsatishicha  $\Delta\lambda = \lambda' - \lambda$  ayirma tushuvchi  $\lambda$  to'liq uzunlikka va moddaga bog'liq bo'lmasdan faqat  $\theta$  sochilish burchagiga bog'liq ekan.

$$\Delta\lambda = \lambda' - \lambda = 2\lambda_c \cdot \sin^2 \frac{2\theta}{2} \quad (8.42)$$

$\lambda_c$  - kompton to'liq uzunligi.

$\lambda'$  - sochilgan nur to'liq uzunligi.

Fotoelektrik effekt – yorug'lik ta'sirida elektronlarning metallardan chiqish hodisasiga aytiladi.

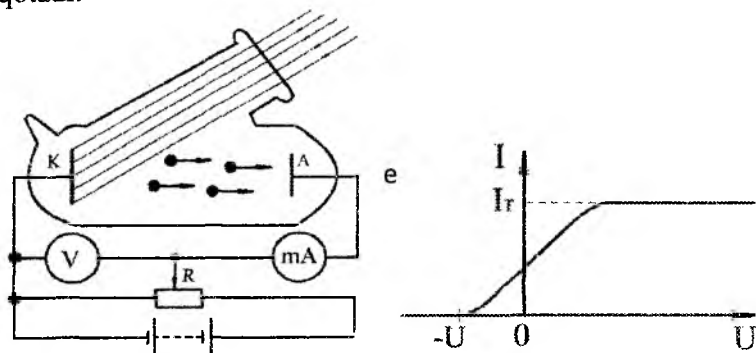
1. Agarda yorug'lik ta'sirida elektronlar metall sirtidan tashqariga chiqsa, tashqi fotoeffekt deyiladi.

2. Agarda elektronlar metaldan chiqmasdan erkin holatiga o'tsa ichki fotoeffekt deyiladi.

Fotoeffekt hodisasini 1887-yilda Gers kuzatgan. Bu hodisa qonuniyatlarini rus olimi Stoletov o'rgangan. Katodni turli xil to'liq uzunlikli nurlar bilan yoritib, Stoletov quyidagi xulosaga keldi:

1) Eng effektiv fotoeffekt ul'trabinafsba nurlar ta'sirida hosil bo'ladi.

2) Yorug'lik ta'sirida modda faqat manfiy elektronlarni yo'qotadi.



**8.21-rasm. Fotoeffektning kuzatuvchi qurilma chizmasi va uning volt-amper xarakteristikasi: Bunda K-katod, A-anod, e-elektron, U-kuchlanish, I-tok kuchi**

Yorug'lik ta'sirida hosil bo'ladigan tok kuchi yorug'lik intensivligiga proporsionaldir. 1898-yilda Dj.Tomson chiqayotgan zarrachalar solishtirma zaryadini o'lchab, bu zarrachalar elektron ekanini aniqladi. Ichki fotoeffektga o'xshash yana ventil fotoeffekt ham mavjud.

Bu holda ikki yarim o'tkazgich tutashgan joyni yorug'lik bilan yoritganda EYuK hosil bo'ladi. Bu hodisa yorug'likni to'g'ridan-to'g'ri elektr energiyasiga aylantirishda qo'llaniladi.

Metallarda tashqi fotoeffekt uchta jarayondan iborat.

1. O'tkazuvchan elektronning fotonni yutishi natijasida elektronning kinetik energiyasi oshadi.
2. Elektronning metall yuzi tomon harakati yuzaga keladi.
3. Elektronning metalldan chiqishi yuz beradi.

Bu jarayonlarni Eynshteyn o'rgangan va quyidagi tenglamani taklif qilgan.

$$h\nu = A + \frac{m_0 v^2}{2} \quad (8.43)$$

Bu tenglama Eynshteyn tenglamasi deb yuritiladi.

Bunda  $e = h\nu - A$  – foton energiyasi,  $A$  – elektronning chiqish ishi.

$\frac{m_0 v^2}{2}$  metalldan chiqqan elektronning kinetik energiyasi.

Agar metalni monoxromatik nur bilan yoritsak va uning chastotasini kamaytira borsak, biror chastotadan boshlab fotoeffekt kuzatilmaydi. Bunga fotoeffektning qizil chegarasi deyiladi. Bu

holda  $E_k = 0$ , ya'ni  $h\nu_{\text{cheg}} = A$  yoki  $\nu = \frac{c}{\lambda}$  bo'lganidan, qizil chegara

to'liq uzunligi uchun

$$\lambda_{\text{cheg}} = \frac{hc}{A} \quad (8.44)$$

Ichki fotoeffekt yarim o'tkazgich va dielektriklarni yoritishda kuzatiladi. Foton elektronni valent zonadan o'tkazuvchanlik zonasiga o'tkazadi va fotoo'tkazuvchanlik yuzaga keladi. Fotoeffektning quyidagi qonunlari mavjud:

1. To'yinish fototoki kuchi yorug'lik oqimiga to'g'ri proporsional

$$I = k\Phi \quad (8.45)$$

$k$  – yoritiladigan sirt fotosezgirliigi  $\left(\frac{mA}{lm}\right)$

2. Tushayotgan yorug'lik chastotasi ortishi bilan fotoelektronlarning tezligi orta boradi va u yorug'likning intensivligiga bog'liq emas.

3. Har bir metall uchun «fotoeffektning qizil» chegarasi mavjuddir, ya'ni eng kichik chastota, undan past chastotalarda fotoeffekt kuzatilmaydi.

Fotoqarshiliklar (fotorezistorlar) juda yuqori integral sezgirlikka ega asboblardir. Ularni yasash uchun  $P\epsilon S$ ,  $CdS$ ,  $P\epsilon Se$  va boshqa elementlardan foydalaniladi.

Fotoqarshiliklar spektrning infraqizil sohalarida ham (3 – 4 mkm) o'lchash olib borishga imkon beradi. Ularning o'lchami kichik, lekin kamchiligi – inersiyali bo'lganligi uchun tez o'tuvchi jarayonlarda qo'llab bo'lmaydi.

Ventil fotoelementlar integral sezgirliigi 2 – 30 mA/lm bo'lgan selenli, ko'proqsidli oltingugurt–kumushli va h.k turlari mavjud.

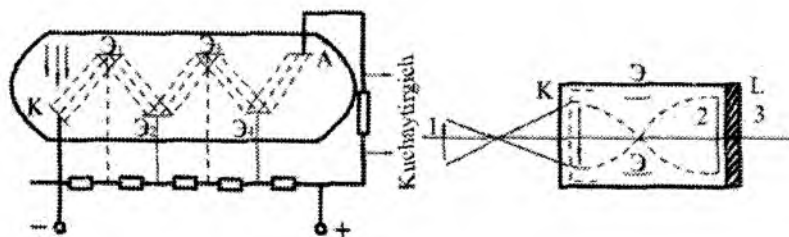
Ayniqsa kremniyli fotoelementlar quyosh batareyalarida ishlatiladi, ularning FIK ~ 10 % atrofida bo'lib, uni 22 % gacha oshirish mumkin. Ular turli jarayonlarni nazorat qilishda, avtomatlashtirishda, harbiy texnikada, ovozli kinoda, lokasiyada, aloqa tizimida, boshqaruv tizimida ishlatiladi.

Fotoeffekt hodisasi asosida ishlaydigan asboblarda fotoelementlar deb ataladi. Fotoelementlar anod va katoddan iborat bo'lib asosiy xarakteristikasi sezgirliigi, ya'ni tushgan yorug'lik oqimi ta'sirida

paydo bo'ladigan fototok kuchining ( $I$ ) oqimiga ( $\Phi$ ) nisbatidir:  $\frac{I}{\Phi}$

. Uning birligi esa  $\frac{mA}{lm}$  o'lchanadi.

Vakuum fotoelement sezgirliigi ~ 100 mkA/lm atrofida bo'ladi.



8.22-rasm. Fotokuchaytirgichning sxematik tasviri

Fototokning kuchini oshirish uchun gaz bilan to'ldirilgan fotoele-mentlar qo'llaniladi. Ularda mustaqil bo'lmagan razryad mavjud bo'lib, ya'ni metall yuzi birlamchi elektronlar bilan bombardimon qilinadi va bunda ikkilamchi elektronlar chiqadi. Fototok miqdorini oshirish uchun fotoelektron kuchaytirgichlardan (FEK) foydalaniladi. Ularda ikkilamchi elektronlar emissiyasidan foydalaniladi. Kuchaytirish koeffitsiyenti  $\sim 10^7$ , kuchlanish 1 – 1,5 kV, sezgirligi  $\sim 10$  A/lm.

Ushbu asboblarni kichik nurlanishlarni o'lchash uchun ishlatiladi. Masalan; juda kichik bioluminessensiyalarni qayd qilishda ishlatiladi.

Tibbiyotda rentgen nurlarining yoritilganligini oshirish uchun qo'llaniladi. Bu esa nurlanish dozasini kamaytiradi.

### § 8.8. Ko'rishning biofizik mohiyati

Ko'rish tizimiga tushgan yorug'lik elektr impulsiga aylanadi va u ko'rish nervlari orqali miyadagi markaziy nerv tizimiga beriladi. Fotoresseptorlar sezgirligi juda yuqori bo'lib, unga tushgan kuchsiz yorug'likni ham elektr impulsiga aylantirib beradi. Yorug'lik ta'sirida reseptor hujayralarida ma'lum biokimyoviy reaksiyalarni hosil qildiradi va harakat potentsiali yuzaga keladi.

Ko'z nafaqat elektromagnit to'liqinni qabul qiladi, balkim 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 ul'trabinafsha va infraqizil nurlarni farqlay olmaydi. Bunga sabab quyoshdan Yerga amalda 290 *nmdan* kichik to'liqlar yetib kelmaydi. Shu sababli hayvon va odamlarda bu to'liqin uzunlikni sezuvchi organlar rivojlanmagan. Lekin, bundan ancha katta to'liqin uzunlikli ul'trabinafsha nurlarni ham ko'z sezmaydi. Bunga sabab yuqori energiyali ul'trabinafsha nurlar ko'zdagi yorug'likka sezgir pigmentlarni buzishidadir.

Shu sababli gavhar va shishasimon suyuqlik nafaqat UB nurlarni balki to'liqin uzunligi 400 *nmg*a yaqin ba'zi nurlarni ham kuchli yutadi. Agar bu nurlar energiyasi katta bo'lsa to'r pardani kuydiradi.

IK 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 *mVt* quvvatli energiyani nurlaydi. Bu esa ko'zga quyoshdan tushadigan energiyadan ancha kattadir.

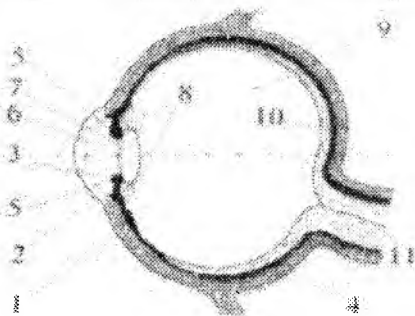
Lekin ko'z qo'rish sohasidan boshqa to'liqlarni ham sezadi. Masalan, odam 300 *nml*i ul'trabinafsha va 950 *nm* infraqizil nurlarni ham sezadi. Agarda ko'z gavhari olib tashlansa, ko'zning ul'trabinafshaga sezgirli ancha oshadi.

Umurtqali hayvonlar uchun ko'rish spektri odamlarning yaqin fotoreseptor hujayradan keladigan informasiyani bir bitga teng desak bir sekundda nerv tolasi orqali miyaga beriladigan impulslar axboroti 3·10<sup>8</sup> bitga teng.

Taqqoslash uchun oladigan bo'lsak, televizion kanal sekundiga 10<sup>2</sup> bit axborot beradi, bu esa 30-marta kamdir. Lekin bu taxminiy hisoblardir. Amalda bundan bir necha marta katta bo'lishi mumkin.

Ko'z o'ziga xos optik asbob bo'lib, u optikada alohida o'rin tutadi (8.17-rasm). Ko'z kosasi uncha to'g'ri bo'lmagan shar shaklida bo'lib, katta odamlarda uning old – orqa o'lchami o'rtacha 24,3 mm vertikal o'lchovi 23,4 mm va gorizohtal o'lchovi 23,6 mm. Muguz parda, ko'zning eng kuchli sindiruvchi qismidir.

Ko'z gavhari ikki tomonlama diametri 8–10 mm bo'lgan qavariq linzadir, oldingi egrilik radiusi 10 mm, orqasining egrilik radiusi 6 mm, uning sindirish ko'rsatkichi 1,4 dan kattaroq. To'r parda bir necha qatlamlardan iborat bo'lib, qatlamlarning qalinligi va yorug'likka sezgirligi turlicha. Unda yorug'likni sezuvchi xo'jayralar mavjud. Ularning cho'zinchoq uchlariga tayoqchalar, konussimon uchlariga kolbachalar deyiladi.



**8.23-rasm. Ko'zning tuzilishi: 1-tashqi oqsil qobiq (sklera), 2-muguz parda, 3-koniyunktiv, 4-qon tomirli qobiq, 5-rangdor parda, 6-qorachiq, 7- ko'z gavhari, 8-ko'zning oldingi kamerasi, 9-shishasimon modda, 10-ko'ruv nervi, 11-to'r parda, 12-ko'r dog', 13-sariq dog'**

Ko'zning asosiy vazifasi ko'zga tushgan yorug'lik energiyasini (fotoreseptor to'qimalar yordamida) elektr energiyasiga aylantirib ko'rish nervlari yordamida markaziy miyaga yetkazishdir. Fotoreseptor to'qimalar sezgirligi juda kuchli. Odam ko'zi tirik organizmlarda eng mukammal tizimdir. Chuvalchanglarda ko'rish faqat yorug' va qorong'ulikni farqlashdan iborat bo'lib, ularda fokuslovchi qism yo'q. Malyuskalarda chuqurcha mavjud bo'lib, u yorug'likning tushish yo'nalishini aniqlay oladi. Chayonlarda esa

ancha rivojlangan bo‘lib, fokuslovchi linzasi ham bor. Tayoqchalar har xil hayvonlarda turlichadir. Masalan, chumolida 100 ta bo‘lsa, ninachida 28 mingta, lekin ularda ajrata olish qobiliyati kichik. Sochish burchagi  $1-8^{\circ}$  atrofida. Tayoqchalar ko‘zning hamma sirtida bir tekisda joylashgan bo‘lib, asosan oq-qora reseptor rolini o‘ynaydi. Kolbachalari esa markazda to‘plangan bo‘lib, asosan rang uchun javobgardir. Tayoqchalar sezgirligi kolbachalarnikidan katta. Masalan, tayoqchalar  $10^{-6}$  lk da ko‘rish imkonini beradi. Kolbachalar esa  $10^{-2}$  lk da rangni ajrata oladi. Yorug‘likni sezish ham Veber-Fexner qonuniga bo‘ysunadi. Ko‘zga kesimi  $4 \text{ mm}^2$  bo‘lgan ko‘rish nervi keladi, u esa million nerv tolalariga bo‘linadi. Odam ko‘zida 10 ta qatlam bo‘lib, fotoreseptor to‘qima eng oxirgisi hisoblanadi. Fotoreseptor yorug‘lik energiyasini elektr energiyasiga aylantiradi va uning kuchaytirish koeffitsiyenti  $10^5 - 10^6$  ga tengdir. U hatto 3-4 foton tushsa ham ishlaydigan qurilmadir. Kishi ko‘zining to‘r qatlamida 130 million tayoqcha va 7 million kolbachalar joylashgan. Yorug‘likning asosiy sinishi muguz pardaning tashqi chegarasida yuz beradi. Uning optik kuchi 40 dioptriya, gavharniki 20 dioptriya. Ko‘z turli uzoqlikdagi jismlarni bir xil ravshanlikda ko‘rishi kerak. Buning uchun ko‘z gavhari egriligi o‘zgaradi. Bunga «keskinlikka to‘g‘rilanish» – akkomodasiya deyiladi, jism cheksizlikda bo‘lsa, uning optik kuchi nolgacha kamayadi. Jism yaqinlashsa, gavhar radiusi kattalashadi. 25 sm oraliq zo‘riqishsiz eng yaxshi ko‘rish masofasi hisoblanadi. Buyum o‘lchami V, undan ko‘zgacha masofa L va ko‘rish burchagi  $\beta$  orasida quyidagi munosabat o‘rinli:

$$B = L \beta \text{ yoki } \beta = \frac{B}{L} \quad (8.46)$$

Bu ko‘zning ajrata olish qobiliyati taxminan  $1'$  ga teng. Bu esa eng yaxshi ko‘rish masofasi uchun ikki nuqta orasidagi masofa 70 mkmga teng bo‘lishini ko‘rsatadi.



Bu holda to'rt pardada 5 mkm tasvir hosil bo'ladi. Yaqindan ko'rishda akkomodasiya yo'qoladi va tasvir parda oldida bo'ladi. Uzoqdan ko'rishda esa fokus pardadan orqada bo'ladi. Yaqindan ko'ruvchi ko'zni tuzatish uchun sochuvchi (manfiy), uzoqni kuruvchi ko'zni tuzatish uchun yig'uvchi (musbat) linzalar ishlatiladi.

Tayoqchanning tuzilishi 8.24-rasmda ko'rsatilgan. Uning xarakterli tashkil etuvchisi tashqi segmentlardir (TS). Odamda uning qalinligi 2 mkm, uzunligi 20–30 mkm, tayoqchanning umumiy uzunligi 50–60 mkm. TS ning butun sitoplazmasi disklar deb ataluvchi maxsus organoidlar bilan to'lgan. har bir tayoqchanning TS da 700 tadan 1000 tagacha disk mavjud, ular bir-biri ustiga joylashtirilgan tashqi segment disk membranalar bilan to'ldirilgan. Bu membranalarda yorug'likning birlamchi sezish jarayoni boshlanadi. Shuning uchun disk membranalar fotoreseptor membranalar deb atashadi.

Barcha biomembranalar singari ular lipidlar va oqsillardan tashkil topgan, biroq disk membranalar uchun farq qildiruvchi ikkita muhim jihati mavjud:

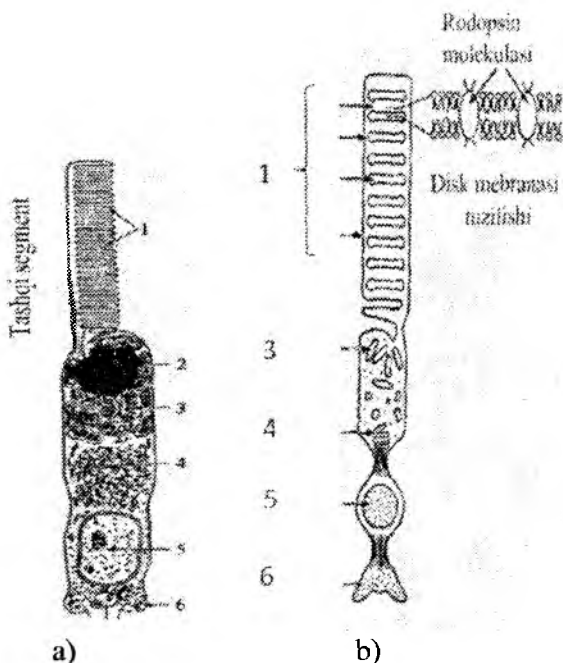
Birinchi, uning asosiy oqsil tashkil etuvchisi bo'lib ko'rish pigmenti-rodopsin xromoglikoproteidi hisoblanadi (uning konsentratsiyasi fotoreseptor membranada umumiy oqsilning 90%ini tashkil etadi).

Ikkinchi, disk membranasi fosfolipidlari tarkibidagi yog' kislotalar 40% polito'yinmagan yog' kislotalari tashkil etadi. Shuning uchun fotoreseptor membrananing qovushqoqligi kichik bo'lib (~30 mPa s), harakatchanligi katta bo'ladi.

Fotoreseptor membrana sirtining 75%ini lipidlar, 25%ini oqsillar (asosan, rodopsin) tashkil etadi. har bir tayoqchada  $10^9$  tadan ortiq ko'rish pigmenti molekulasi mavjud.

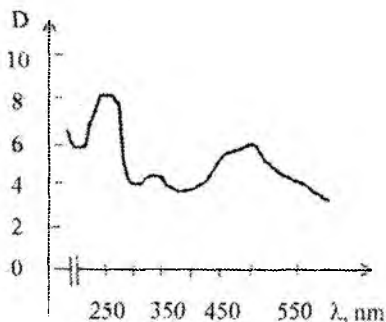
Rodopsin – molekulyar massasi 39 kDa bo'lib, asosan A vitamin aldegidi (retinol) va opsin deb ataluvchi lipoproteindan tashkil topgan. Rodopsin fotoreseptor membranada yettita  $\alpha$ -spiralli

ustunlar tariqasida joylashgan. Shunga o'xshagan strukturaga galofill bakteriyalardagi plazmolemeda bakteriorodopsinlar egadir. Lipid qo'shqatлами ichida retinal joylashgan bo'lib, opsin molekulasidagi lizin qoldig'i bilan kovalent bog'langan. Retinal barcha hayvonlar ko'rish pigmentlarining xromofor (yorug'likka sezgir) guruhidir, ammo ularning oqsil komponentlarida farq bor. Turli hayvonlar opsinlarining xususiyatlariga qarab, ular ko'rish pigmentlari yutilish spektrining maksimumi 330 *nmdan* 700 *nm*gacha bo'lishi mumkin. Shuning uchun turli hayvonlar ko'rish turli muhitlarga – dengiz tubidan havo okeanigacha moslashgan. Rodopsin yutilish spektridagi maksimum 498 *nm*ga to'g'ri keladi.



**8.24-rasm. Fotoreseptor hujayra har tuzilishi: a) tayoqchanning tuzilishi; b) kolbachaning tuzilishi; 1.Disklar; 2. Moyli tomchi; 3.Mitoxondriyalar;4. Goldji apparati; 5. Yadro; 6. Sinaptik zona**

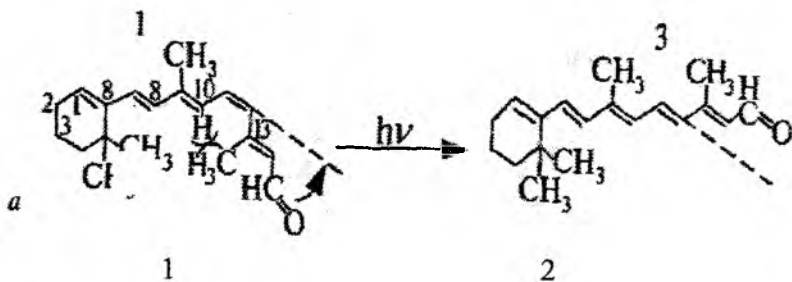
Rodopsin ultrabinafsha nurlarni ham yaxshi yutadi ( $\lambda_{\max} = 278\text{nm}$ ) – biroq bu yutilish maksimumi retinalga emas, opsin tarkibiga kiruvchi aminokislotalar (triptofan va tirozin)ga bog‘liq (8.25-rasm).



8.25-rasm. Rodopsin yutilish spektri.  $\lambda$ -to‘lqin uzunligi, D-optik zichlik

Biroq ultrabinafsha nurlar ko‘zning to‘ridagi rodopsinni qo‘zg‘ata olmaydi, chunki bu nurlarni ko‘zning singdiruvchi muhiti yutib qoladi.

Qorong‘ulikda retinal buralgan 11-sis shaklda bo‘ladi. Bu shakldagi sisretinal molekulasi opsin bilan kuchli ta’sirlashadi, shuning uchun ular birikmasi ancha turg‘undir. Uni yemirish uchun 11-sisretinalni boshqa izoherga – to‘la transretinalga o‘zgartirish kerak. Yorug‘lik ta’siridagi bunday o‘zgartirishga fotoizohirlash deyiladi (8.26-rasm).



8.26-rasm. Retinal fotoizohirlanishi sxemasi:  
11 sisretinal (1) ning to‘la transretinal (2) ga aylanishi.

Fotoizohirlash – ko‘rish aktidagi birinchi va yagona fotokimyoviy reaksiyadir. U alohida rodopsin molekulasi ichida ro‘y beradi va fotosintezdan farqli ularoq kimyoviy reaksiyalar bilan bog‘liq bo‘lmaydi. Ko‘rishning fotosintezdan yana bir farqi shundaki, rodopsin molekulalari orasida energiya o‘tishlari mumkin emas, chunki fotoreseptor membranada ular bir-biridan 7 nm masofada joylashgan. Fotoizohirlash tufayli ko‘rish hissiyoti paydo bo‘lishiga rodopsin molekulasining konformasion o‘zgarishi sababchi bo‘ladi. 11 – sisretinal fazoviy holda opsin aktiv markazi tuzilishiga to‘g‘ri keladi. Transizoher hosil bo‘lganda bu muvofiqlik buziladi, natijada retinal opsindan ajraladi va rodopsin rangsizlanadi – fotolizga uchraydi.

Yorug‘lik ta‘sir etmagan holda parchalangan rodopsin tiklanadi. Transretinal o‘zining sishshakliga qaytadi. Fotoizohirlashga teskari bunday jarayon reizoherlash deb ataladi. har bir tayoqcha bir sutkada  $8 \cdot 10^5$  rodopsinni, 11-sisretinalni opsin bilan qo‘shilishi orqali sintezlaydi. Bu ko‘rish pigmentining bir sutkadagi umumiy sintezi  $2 \cdot 10^{14}$  molekulani tashkil etadi.

Retinal fotoizohirlanishi tufayli opsinda paydo bo‘ladigan konformasion o‘zgarishlar fotoreseptor membrananing fizik-kimyoviy xossalarni o‘zgartiradi. Buning natijasida fotoreseptor hujayraning membrana potensialida o‘zgarishlar ro‘y beradi. Qorong‘ilikda hujayrada erkin siklik guanozinmonofosfat (s GMF) mavjud va sitoplazmatik membrananing ionlar kanallari ochiq, membrana potensialida hujayra ichida “+” ishoraga ega.

Yorug‘likning bir necha millisekund davomidagi ta‘sirida tayoqchalarning tashqi segmentlari s GFM ni ATF ishtirokida bog‘lashi ro‘y beradi. Hujayrada bog‘lanish markazlari soni s GMF molekulalari sonidan ko‘proq bo‘lgani uchun, siklik nukleotid to‘la bog‘lanishi va uning sitoplazmadan yo‘qalishi mumkin. Bu ionlar kanallarining yopilishiga va membrana potensialdagi siljishga olib keladi. So‘ngra s GMF bog‘lanish markazlarida nukleotid

desorbsiyasi boshlanadi, kanallar ochiladi va qorong'ilikdagi hujayra uchun xos bo'lgan tinchlikdagi membrana potentsiali tiklanadi.

Kolbachalar orasida yutilish spektri molekula maksimumlari 445, 535 va 570 nm bo'lgan 3 turi ochilgan. Kolbachalar pigmenti, rodopsindagi kabi, 11-sis-retinalga ega, ammo pigmentning oqsil qismida farq bo'lgani uchun, kolbachalar pigmenti yodopsin deb ataladi. Kolbachalarning tashqi segmenti berk bo'lmagan disklardan tashkil topgan (8.24-rasm, v). Uchala tipdagi kolbachalarning pigmentlardagi xromofor guruhi retinaldan iborat, yutilish spektridagi farqlar esa turli oqsillar mavjudligi bilan tushuntiriladi. Kolbachalarning uch tipi mavjudligi sababli odam ko'zi ranglarni ajrata oladi.

Ayrim genetik kasalliklarda yodopsin oqsillardan birining sintezi buziladi, natijada rangli ko'rishning mos keluvchi pigmenti hosil bo'lmaydi va odam ranglarni ajratish qobiliyatini yo'qotadi. Ushbu kasallik daltonizm deb ataladi.

Bakteriorodopsin galofill bakteriyalar membranasida topilgan bo'lib, qator xossalari bilan rodopsinga o'xshaydi (aminokislotali tarkibi, molekulalar massasi, xromoforning kimyoviy tabiati). Bu umumiylik ulardagi fotokimyoviy o'zgarishlar jarayonida ham mavjud.

**Tayanch tushunchalar:** Sindirish ko'rsatkichi refraktometriya, to'la ichki qaytish, endoskoplar, svetovodlar, yorug'lik oqimi, yoritilganlik, yorug'lik kuchi, ravshanlik. Yorug'likning yutilishi, kolorometriya, qutblanish, ikkilanib sinish, saxarometrlar, fotosintez, zagar. Fotoeffekt, fotoeffektning qizil chegarasi, fotoelement, issiqlik nurlanishi, absolyut qora jism, fotosintez,

## Xulosalar

Bu mavzuda biz yorug'lik tabiati bilan bog'liq bo'lgan ba'zi bir hodisalar bilan tanishdik. Moddalarning sindirish ko'rsatkichi refraktometriya to'la ichki qaytish hodisalari nafaqat ilmiy balki amaliy ishlarida ham muhim ahamiyatga ega. Tola optikasida hozirgi vaqtda amalda keng qo'llanilmoqda. Hayvonlar ichki organlarini tekshirishda va jarrohlik ishlarida svetovodlardan foydalanilmoqda. Fotometriya qonunlari esa kundalik hayot uchun ilmiy va amaliy ishlar uchun ham muhimdir.

## Test savollari

1. Yorug'lik kuchi qanday birliklarda o'lchanadi?
  - a) amper;
  - b) kandela;
  - c) lyuks;
  - d) lyumen.
2. Yoritilganlik qanday asbob yordamida o'lchanadi?
  - a) voltmetr;
  - b) ampermetr;
  - c) lyuksmetr;
  - d) vattmetr.
3. Qaysi ifoda yoritilganlik qonunini ko'rsatadi?
  - a)  $E = \frac{\Phi}{S}$
  - b)  $I = \frac{\Phi}{\Omega}$
  - c)  $I = \frac{W}{S \cdot t}$
  - d)  $B = \frac{I}{S_0}$
4. Odam va hayvonlar ichki organlarini tekshiruvchi asbobning ish prinsipi qanday fizik hodisaga asoslangan?

- a) yorug'likning to'la ichki qaytish;
  - b) yorug'likning sinishi;
  - c) yorug'likning qaytishi;
  - d) yorug'likning ikkilanib sinishi.
5. Qizil nurning to'lqin uzunligi qancha?

- a) 620 nm;
- b) 300 nm;
- c) 450 nm;
- d) 120 nm.

6. Saxarometr qaysi optik jarayon asosida ishlaydi?

- a) qaytish;
- b) yutilish;
- c) sinish;
- d) qutblanish.

7. Fotoeffekt uchun Eynshteyn tenglamasini ko'rsating?

a)  $E = h\nu$

b)  $h\nu = A + \frac{m_0^2 c^4}{2}$

c)  $E = mc^2$

d)  $E = mgh + \frac{m_0^2 c^4}{2}$

8. Yorug'lik ta'sirida ko'zda ko'rish tizimida qanaqangi birlamchi biofizik

jarayon sodir bo'ladi?

- a) qaytish;
- b) sinish;
- c) yutilish;
- d) sochilish.

9. Auditoriyada yoritilganlik qancha bo'lishi kerak?

- a) 150 lk;
- b) 20 lk;
- c) 100 lk;
- d) 50 lk.

10. Ko'zda qancha tayoqcha bor?

- a) 7 mln;

- b) 100 ta;
- c) 13 mln ta;
- d) 130 mln ta;

11. Ko'zda qancha kolbacha bor?

- a) 7 mln ta;
- b) 130 mln ta;
- c) 13 mln ta;
- d) 100 ta;

12. Ko'z to'rt pardasidagi tayoqchalar vazifasi nimadan iborat?

- a) rangli tasvir hosil qilish;
- b) oq-qora tasvir hosil qilish;
- c) ravshanlikni oshirish;
- d) ham rangli ham oq-qora tasvir hosil qilish uchun.

13. Kandela nimaning o'lchov birligi?

- a) ravshanlik;
- b) yorug'lik kuchi;
- c) yoritilganlik;
- d) yorug'lik oqimi.

14. Spektral analiz nima?

- a) modda spektrini o'rganish;
- b) spektr yordamida modda tarkibini aniqlash;
- c) spektrning turini aniqlash;
- d) spektr yordamida to'liq uzunlikni aniqlash.

15. Infraqizil nurlar qaysi hayvonlar uchun ov qilishda muhim

rol

o'ynaydi?

- a) ko'rshapalaklar;
- b) delfinlar;
- c) ilonlar;
- d) mushuklar.

16. Ko'zning optik kuchi qancha?

- a) 40 dp;
- b) 20 dp;
- c) 60 dp;
- d) 10 dp.

17. Ko'zdagi tayoqchalar sezgirliги qancha?



- a)  $10^{-2}$  lk;
- b)  $10^{-4}$  lk;
- c)  $10^{-6}$  lk;
- d)  $10^{-1}$  lk.

18. Fotoeffektning qizil chegarasi nima?

- a) moddaga tushayotgan qizil nur chastotasi;
- b) fotoeffekt kuzatiladigan eng kichik chastota;
- c) eng kichik to'liq uzunlik;
- d) fotoeffekt kuzatiladigan eng katta chastota.

19. Polyarimetrlar tibbiyot va veterinariyada asosan qanday maqsadlarda

ishlatiladi?

- a) biologik suyuqliklar tarkibidagi uglevodlarni aniqlashda;
- b) biologik suyuqliklarda shakar miqdorini aniqlashda;
- c) qon tarkibini aniqlashda;
- d) biologik suyuqliklardagi hujayralar sonini aniqlashda.

20. Refraktometrlar veterinariyada nima maqsadlarda ishlatiladi?

- a) qonning sindirish ko'rsatgichini aniqlashda;
- b) qondagi hujayralar sonini aniqlashda;
- c) biologik suyuqliklar tarkibini aniqlashda;
- d) to'la ichki qaytish hodisasini o'rganishda.

### **Sinov savollari**

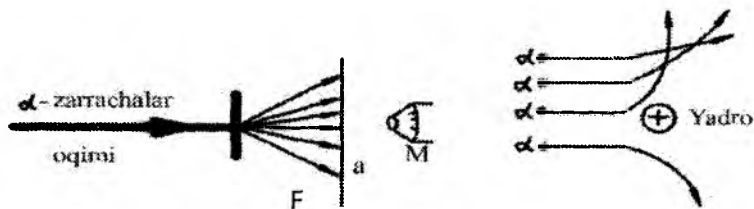
1. Yorug'lik tabiati haqida umumiy ma'lumotlar.
2. Geometrik optika qonunlari.
3. Yorug'likning to'la ichki qaytish hodisasi.
4. To'la ichki qaytishdan tibbiyot va veterinariyada qo'llanilishi.
5. Refraktometrlar va ulardan foydalanish.
6. Endoskopl va ulardan foydalanish.
7. Yoritilganlik va uning o'lchov birligi.
8. Yorug'lik kuchi va uning o'lchov birligi.
9. Ravshanlik va uning o'lchov birligi.
10. Yutilish nima? Buger, Buger – Lambert – Beyer qonunlari.
11. Yutilishning qo'llanilishi va ahamiyati.

12. Quyosh nurining biologik ahamiyati nimadan iborat?
13. Qutblanish hodisasini tushuntiring.
14. Malyus, Bryuster qonunlarini tushuntiring.
15. Ikkilanib sinish hodisasini tushuntiring.
16. Keyer effekti nima? Optik aktiv moddalar haqida tushuncha bering.
17. Fotobiologik jarayonlarni tushuntiring.
18. Ko‘rinadigan, infraqizil va ul‘trabinafsha nurlardan diagnostika, profilaktika va davolashda qo‘llanilishini tushuntiring.
19. Stefan-Bolsman va Vin qonunlarini tushuntiring.
20. Plank gipotezasi nimadan iborat.
21. Yorug‘lik bosimi nima? Kompton effektini tushuntiring.
22. Fotoeffekt va uning qonunlari.
23. Fotoelementlar, fotoqarshiliklar va fotokuchaytirgichlar nima.
24. Fotoelementning volt – amper xarakteristikasini tushuntiring.
25. Ko‘zning tuzilishi nimalardan iborat.
26. Ko‘zning optik kuchi qancha.
27. Ko‘zda tayoqchalar va kolbachalar soni nechta.
28. Optik nurlanishning biologik ta‘sirini tushuntiring.

## § 9.1. Atom elektron qobiqlarining tuzilishi

XX asr boshida atomning ichki tuzilishini o'rganish haqidagi masala o'rtaga qo'yildi. Birinchi bor bu masalani 1903-yilda Dj.Tomson amalga oshirishga urindi. Uning modeli bo'yicha, atom uzluksiz musbat zaryadlangan shardan iborat bo'lib uning ichida o'zining muvozanati atrofida tebranib turuvchi elektronlar joylashgan musbat va manfiy zaryadlar yig'indilari nolga teng bo'lib, shu sababli atom normal holda neytraldir Atom radiusi  $10^{-10}$  m bo'lgan shar shaklidagi zarrachadir.

Atom tuzilishi haqidagi ta'limotda Rezerford  $\alpha$  -zarrachalarning moddada sochilish bo'yicha olib borgan tajribasi muhim rol o'ynaydi.  $\alpha$  - zarrachalar radioaktiv yemirilish paytida hosil bo'ladi. Ular musbat zaryadlangan bo'lib zaryadi  $+2ye$  va masasi  $7350m_e$  ga teng, tezligi  $10^7$  m/s



**9.1-rasm. Rezerford tajribalari. Bunda  $F$  – oltin folga,  $a$  – lyuminessent ekran,  $M$  – mikroskop.**

Rezerfordning tajribasida qalinligi 1 mkm bo'lgan oltin folgadan  $\alpha$  - zarrachalarning o'tishi kuzatildi. Natijada asosiy  $\alpha$  - zarrachalar yo'nalishidan ozroq og'gan holda o'tib ketadi, lekin ba'zi (20000 dan 1 tasi)  $\alpha$  - zarrachalar o'z yo'nalishidan keskin burilib ketadi (hattoki  $180^0$  ga) Elektronlar massasi juda kichik bo'lgani uchun bunday og'dirishga qodir emas va demak, qandaydir og'ir musbat zaryad ta'sirida shunday hol bo'lishi kerak. Ana shu tajriba

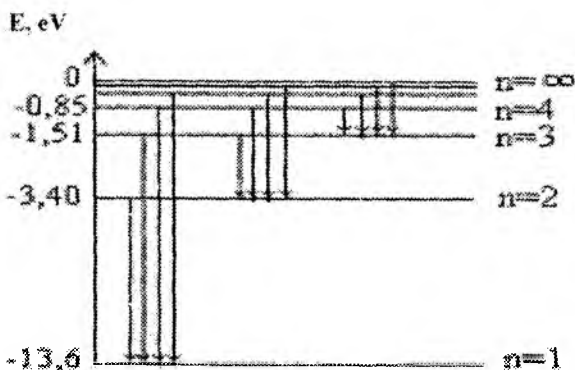
natijalariga asoslangan holda 1911-yilda Rezerford atomning planetar modelini taklif qildi. Bu modelga binoan zaryadi Ze bo'lgan musbat yadro (o'lchami  $10^{-14} - 10^{-15}$ m) atrofida yopiq orbita bo'ylab elektronlar aylanadi. Atom neytral zarracha bo'lgani uchun yadro zaryadi, elektronlar zaryadlari yig'indisiga tengdir. Atomning butun massasining 99.94 foizi yadroda mujassamlangandir. Bu yerda Z – ximiyaviy element tartib nomeri.

Bu ta'limot klassik fizika qonunlariga mos kelmaydi. Klassik elek-trodinamikaga binoan elektron yadro atrofida  $10^6$  m/s tezlik bilan ayla-nib (tezlanishi  $10^{22}$  m/s<sup>2</sup>) aylanish chastotasiga mos elektromagnit to'lqinlar chiqarishi kerak . Bu esa energiyaning kamayishiga olib keladi va elektron yadroga qulab tushishi kerak. Elektron yadroga yaqinlashgan sari uning aylanish chastotasi oshib boradi. Bu esa atom tutash spektrli nurlanish chiqarishi kerakligini ko'rsatadi. Demak, klassik fizika atomning planetar modelini tushuntirib bera olmaydi, chunki atom turg'un tizim bo'lganligi uchun atom tutash emas, chiziqli spektr nurlaydi.

Turli xil gazlarning spektrini o'rganish shuni ko'rsatdiki, har qanday gaz ma'lum chiziqli spektrni berar ekan. Spektral chiziqlarni grupp (seriya)larga taqsimlash mumkin. Biror seriyaga tegishli spektr o'zaro ma'lum qonuniyatlar bilan joylashadi. Shveysariyalik matematik-fizik Balmer vodorod atomini o'rgandi va ularning nurlanish chastotasi quyidagi empirik formula bilan aniqlanishini ko'rsatdi.

$$\nu = R \left( \frac{1}{2^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (9.1)$$

Bunda R Ridberg doimiysi bo'lib, qiymati  $R = 3,29 \cdot 10^{15} c^{-1}$ , n = 3.4.5.....



9.2-rasm. Vodород atomining nurlanish seriyalari.

Bu nurlanish chastotalariga Balmer seriyalari deyiladi. Bundan tashqari ul'trabinafsha sohada Layman, infraqizil sohada Pashen, Brekett, Pfund, Xemfri seriyalari ham mavjud. (9.2-rasm) Balmerning umumlashgan formulasini yozib hamma seriyalarga tadbiq qilish mumkin.

$$\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right) \quad (9.2)$$

Bunda  $n = m + 1$  va  $m = 1, 2, 3, \dots$

Demak, atomlarning chiziqli spektridan ko'rinadiki atomlar nurlanishi va yutish jarayonlarida istalgan miqdorda emas, balki aniq parsial kvantlarni yutar va chiqarar ekan. Atom ma'lum energetik xolatlarda bo'lib, u bir holatdan ikkinchi holatga o'tganda nur chiqaradi yoki yutadi.

Atomlarning energetik holatlarining diskretligi haqidagi ta'limotga binoan 1913-yilda daniyalik fizik N.Bor atom tuzilishining kvant nazariyasini yaratdi. Bu nazariyaning asosini quyidagi uchta postulat tashkil qiladi.

1. Elektronlar atomda ixtiyoriy orbitalar bo'ylab emas, balki aniq radiusli orbitalarda harakatlanadi. Bu stasionar orbitalar radiuslari quyidagi

$$r = \frac{n}{m\mathcal{G}} \cdot \frac{h}{2\pi} \quad (9.3)$$

formula orqali aniqlanadi. (9.3) formulaga orbitalarning kvantlanish sharti deyiladi. Bunda  $h$  – Plank doimiysi,  $m$  – elektron massasi,  $\mathcal{G}$  – elektron tezligi.

2. Elektronlarning stasionar orbitalarda harakatlanishida energiya chiqarish (yoki yutish) ro'y bermaydi.

3. Elektronning bir stasionar orbitadan boshqasiga o'tishida aniq kvant energiyasini chiqarish (yoki yutish) sodir bo'ladi

$$h\nu = E_1 - E_2 \quad (9.4)$$

Bu formulaga chastotalar sharti deyiladi.

Masalan: vodorod atomida bitta elektron yadro (bitta proton) atrofida aylanadi. Yadroning massasi elektron massasidan 1840-marta katta bo'lgani uchun yadroni qo'zg'almas deb olish mumkin. Elektron markazga intilma tezlanish bilan yadroning tortishish Kulon kuchi ta'sirida  $r$  radiusli orbitada harakat qiladi.

$$\frac{m\mathcal{G}^2}{r} = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r^2} \quad (9.5)$$

Bunda  $\epsilon_0$  elektr doimiysi bo'lib qiymati  $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \text{ } \phi / \text{M}$

Bu holda (9.3) va (9.4) tenglamalarda turg'un orbita radiusi uchun quyidagi

$$r = n^2 \frac{\epsilon_0 h^2}{\pi m e^2} \quad (9.6)$$

ifodani hosil qilamiz.

Bunda  $n = 1, 2, 3, \dots$  qiymatlarni qabul qiladi va bosh kvant soni deyiladi.

(9.5) da  $n=1$  bo'lsa, u holda birinchi orbita radiusi  $r = 0,53 \cdot 10^{-8} \text{ cm} = 0,53 \text{ \AA}$ . Turg'un orbitalar radiuslari o'zaro nisbati, natural sonlar qatori kvadratlari kabi bo'ladi, ya'ni 1:4:9:16 .....u holda  $r_2 = 2,12 \text{ \AA}$ ,  $r_3 = 4,77 \text{ \AA}$ ,

$r_4 = 8,48 \text{ \AA}$ ,  $r_5 = 13,25 \text{ \AA}$ ,  $r_6 = 19,08 \text{ \AA}$  bo'ladi.

Elektronning to'la energiyasi kinetik va yadroga tortilish potensial energiyalari yig'indisidan iboratdir:

$$E_K = \frac{mv^2}{2} = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad \text{va} \quad E_p = \frac{e^2}{4\pi\epsilon_0 r} \quad (9.7)$$

$$\text{Bulardan to'la energiya } E = E_K + E_p = \frac{e^2}{8\pi\epsilon_0 r} \quad (9.8)$$

$n = 1$  da vodorod uchun  $E = -21,68 \cdot 10^{-19} \text{ \AA} = -13,55 \text{ \AA}$ ;

$E_2 = -3,38 \text{ \AA}$ ;  $E_3 = -1,5 \text{ \AA}$ ;  $E_4 = 0,84 \text{ \AA}$ ,  $E_5 = -0,54 \text{ \AA}$ .

U holda elektron ikkinchi orbitadan birinchisiga o'tsa

$h\nu_{2-1} = -3,38 - (-13,55) = 10,17 \text{ eV}$  energiya nurlanadi.

Uchinchi orbitadan ikkinchisiga o'tganda  $h\nu_{3-2} = -1,5 - (-3,38) = 1,88 \text{ eV}$  energiya nurlanadi.

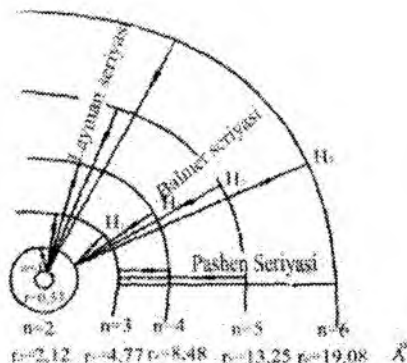
Elektron quyi energetik holatdan yuqori energetik holatga o'tsa, energiya yutadi.

Tajribalarning ko'rsatishicha, ko'p elektronli atomlarda ham diskret energetik sathlar mavjud. Sathlarning diskretligi atomda aniq radiusli elektron qatlamlar borligi bilan bog'liq. har bir qatlam stasionar elliptik orbitalar to'plamidan iboratdir. Bu orbitalar fazoda oriyentatsiyasi bilan farq qiladi. Shuning uchun bitta elektron qatlamdagi elektronlar ham turli turg'un orbitalarda harakat qiladi.

Pauli prinsipiga binoan bir atomda harakat holati bir-biriga o'xshash ikkita yoki bir nechta elektronlarning bo'lishi mumkin emas. Elektron qatlamlar K,L,M,N,O, harflar bilan belgilash qabul qilingan. Bir qatlamda bo'la olishi mumkin bo'lgan elektronlarning eng ko'p miqdori  $m = 2n^2$  bilan aniqlanadi.

Demak, K qatlamda  $n = 1$  da  $m = 2$  ta elektron bo'lishi mumkin. L da  $n = 2$  da  $m = 8$  ta, M da  $n = 3$ ,  $m = 18$  ta va hokazo.

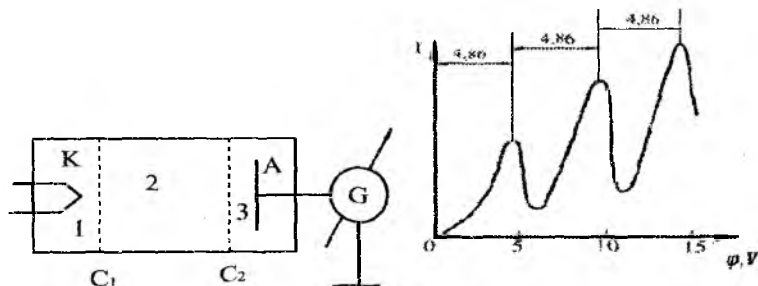
Kimyoviy element atomidagi elektronlarning umumiy soni elementning Mendeleev davriy tizimidagi tartib (atom) nomeriga teng. Elektron qatlamlar soni element tegishli bo'lgan davr nomeriga teng, tashqi qatlamdagi elektronlar soni esa grappa nomeriga teng bo'ladi.



### 9.3-rasm. Atomda elektron qatlamlarning joylashuvi

Hozirgi zamon kvant mexanikasida atomda elektronlarning harakati holatini 4 ta kvant soni xarakterlaydi.

- 1 Bosh kvant soni  $n=1 \dots \infty$
2. Orbital kvant soni  $\ell=0 \dots n-1$
3. Magnit kvant soni  $m_{yc} = -\ell \dots 0 \dots +\ell = 2\ell + 1$
4. Spin kvant soni  $m_s = \pm \frac{1}{2}$



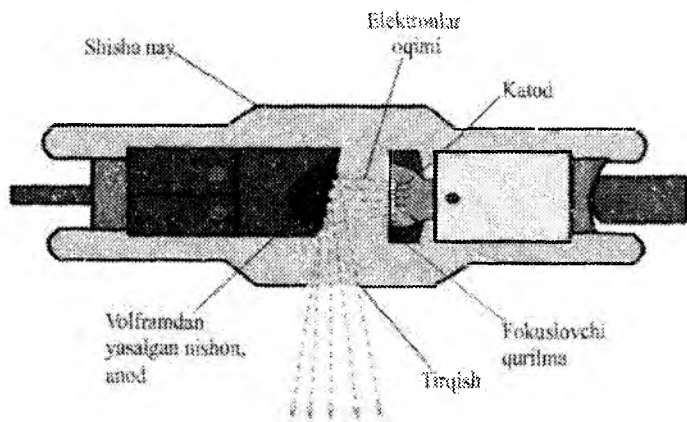
9.4-rasm. Frank – Gers tajribalari. Bunda K-katod, A-anod,  $s_1$  va  $s_2$  – to'rlar G-galvanometr, I-tok kuchi, U-kuchlanish



Haqiqatdan ham energetik holatlar diskretligini tajribada 1913-yilda nemis fiziklari Frank –Gers aniqladi.

### § 9.2. Rentgen nurlari, xossalari va qo‘llanilish sohalari

Rentgen nurlari deb to‘lqin uzunligi 80 *nmdan*  $10^{-6}$  *nmgacha* bo‘lgan elektromagnit to‘lqinlariga aytiladi. Rentgen nurlar 2 xil bo‘ladi, tormozli va qattiq (xarakteristik). Rentgen nurlari rentgen trubkalarida hosil qilinadi.



9.5-rasm. Rentgen trubkasi tuzilishi.

Havosi surilgan ( $10^{-7}$  mm ust.gacha) idishdagi anod va katod orasida  $10^5$  V kuchlanish beriladi. Bunda katoddan chiqayotgan elektronlar 100000 km/s ga yaqin tezlikka erishadi. Bu elektronlar anodda tormozlanganda undan qisqa to‘lqinli elektromagnit to‘lqinlar (rentgen nurlar) chiqadi. Bunda turli elektronlar turlicha tezlikka ega bo‘lgani uchun hosil bo‘layotgan rentgen nurlarning to‘lqin uzunligi ham turlicha bo‘ladi va u tutash spektrga egadir. Shu sababli ularga oq rentgen nurlari deyiladi. Kuchlanish katta bo‘lganda esa xarakteristik rentgen nurlari chiqa boshlaydi va u chiziqli spektrni beradi. Elektronlar anodda tormozlanganda energiyaning faqat bir qismi rentgen nuri hosil qiladi. Qolgan qismi

esa anodni qizdirishga sarf bo'ladi.  $\lambda_{\min}$  – bu elektron energiyasi foton energiyasiga teng bo'lganda hosil bo'ladi.

$$eU = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad (9.9)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad (9.10)$$

Qisqa to'liqin uzunlikka ega rentgen nurlari uzun to'liqin uzunlikli rentgen nurlariga qaraganda modda ichiga kuchli kirish xususiyatiga ega bo'lgani uchun, ularga qattiq rentgen nurlar, uzun to'liqin uzunlikli rentgen nurlarga esa yumshoq rentgen nuri deyiladi. Rentgen nurlar oqimi

$$\Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z \quad (9.11)$$

formuladan aniqlanadi. Bu yerda  $U$  va  $I$  har rentgen trubkasidagi kuchlanish va tok kuchi,  $k = 10^{-9} V^{-1}$  proporsionallik koeffitsiyenti,  $Z$  – anod moddasi atomining tartib nomeri. Xarakteristik rentgen nurlar spektri chiziqlidir. Katta tezlikka ega elektronlar atomning ichki elektron qobiqlariga kiradi va undan elektronni urib chiqaradi. Bo'sh o'rinlarga yuqori energetik holatlardan elektron o'tadi va rentgen fotoni chiqadi.

Optik spektrlardan farqli holda rentgen spektrlari turli atomlarda o'xshash bo'ladi. Buning sababi turli atomlarning ichki qatlamlari o'xshash bo'lib, faqat energetik jihatdan farq qiladi, ya'ni yadroning ta'siri tartib nomeri ortishi bilan ortib boradi. Bu esa xarakteristik rentgen nurlar spektrining yadro zaryadi ortishi bilan katta chastota tomonga siljishiga olib keladi. Buni Mozli qonuni bilan ifodalash mumkin.

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B) \quad (9.12)$$

$\nu$  - spektral chiziq chastotasi

$Z$  - nur chiqarayotgan elementning atom nomeri

$A$  va  $B$  har doimiylar.

Xarakteristik rentgen nurlarining optik nurlardan yana bir farqi shundaki, u atomning qanaqa kimyoviy bog'lanishda bo'lishiga bog'liq emas. Masalan: kislorod atomining xarakteristik rentgen nuri  $O_1, O_2$ ,  $HO_2$  larda bir xildir, Bularning optik spektrlari farq qiladi, shuning uchun ham xarakteristik rentgen nuri deyiladi. Xarakteristik rentgen nurlanish ichki qatlamlarda bo'sh joy bo'lganda (u qanday hosil bo'lishidan qat'iy nazar) paydo bo'ladi. Rentgen nurlari atomda yutilganda undan elektron chiqishi mumkin va atom ionlashadi. Agar rentgen fotoni energiyasi unchalik katta bo'lmasa, atomning uyg'onishi elektron chiqmasdan ham bo'lishi mumkin. Bu birlamchi effektlar. Bundan tashqari, ikkilamchi, uchlamchi va hokazo hodisalar bo'lishi mumkin. Masalan: ionlashgan atom xarakteristik rentgen nuri chiqarishi mumkin va uyg'ongan atomlar ko'rinadigan nur chiqaradi. Bunga rentgenolyuminessensiya deyiladi. Bundan maxsus yorug'lik ekranlar qurishda va unda rentgen nurlanishni vizual ko'rishda qo'llaniladi. Rentgen nurlarining kimyoviy ta'siri ham mavjud Masalan: vodorod peroksid hosil bo'lishi, ionizasion ta'siri, rentgen nurlari ta'sirida o'tkazuvchanlikning oshishi.

Birlamchi rentgen nurlari moddadan o'tganda quyidagi qonun bo'yicha kamayadi.

$$\Phi = \Phi_0 e^{-mx} \quad (9.13)$$

$m$ - so'nishning chiziqli koeffitsiyenti, ko'pchilik hollarda  $m$ -ning o'rniga so'nishning massa koeffitsiyenti  $\mu_m$  ishlatiladi.

$$\mu_M = \frac{\mu}{\rho} \quad (9.14)$$

Bunda  $\rho$  – zichlik

Tibbiyotda rentgen nurlari asosan tashxis qo'yish maqsadlarida ishlatiladi. Buning uchun energiya 60–120 keV bo'lgan fotonlar to'plamidan foydalaniladi. Bu holda

$$\mu_m = K \lambda^3 Z^3 \quad (9.15)$$

Bunda  $K$  – proporsionallik koeffitsiyenti,  $Z$  – atom nomeri,  $\lambda$  – to‘lqin uzunligi

Rentgen nurlarining yutilishi modda atomining qaysi birikmada bo‘lishiga bog‘liq emas. Shuning uchun so‘nishning massa koeffitsiyentini taqqoslash mumkin. Masalan, suyak uchun  $\text{Ca}(\text{PO}_4)_2$  –  $\mu_o$  va  $\text{H}_2\text{O}$  suv uchun  $\mu_{\text{cys}}$

va ular nisbati  $\frac{\mu_o}{\mu_{\text{cys}}} = 68$  ga teng bo‘ladi.

Demak, organizm turli qismlarida yutilishi turlicha bo‘lgani uchun ichki organlarning ham soyasini suratda ko‘rishimiz mumkin. Bu rentgenotashxis bo‘lib yoki suratini olish mumkin yoki lyuminissent ekranda tasvirini ko‘rish mumkin. Agarda tekshiruvchi organ va atrofdagi to‘qimalar bir xil yutish qobiliyatiga ega bo‘lsa, maxsus kontrast modda yutilib suratga olinadi. Flyurografiya ham rentgen nurlar yordamida suratga olishdir. Davolash maqsadida rentgen nurlaridan o‘simtalarni kuydirishda ishlatiladi.

Rentgenli tomografiya va uning mashina varianti – kompyuterli tomografiya metodlari rentgenografiyaning qiziqarli va istiqbolli variantlari hisoblanadi. Oddiy rentgenogramma tananing katta qismini egallaydi va har xil organ va to‘qimalar bir-biriga soya tushiradi, tomografiyada esa qatlamma-qatlam rentgen tasvirini olish mumkin. Mana shundan tomografiya nomi kelib chiqqan. Bundan foydalanib hattoki miyaning kulrang va oq moddalarini farqlay olish, hamda kichik o‘simtalarni ko‘rish mumkin.

Birinchi Nobel mukofoti 1901-yilda Rentgenga berilgan bo‘lsa, kompyuterli rentgen tomografiyasi ishlab chiqqanlari uchun 1979-yilda Xaunsfeld va Mak Kormak Nobel mukofotiga sazovor bo‘ldilar.

### § 9.3. Lyuminessensiya turlari, xarakteristikalari va qo'llanilishi

Lyuminessensiya deb modda atom va molekulalarning yuqori energetik sathdan quyi sathga o'tishida moddaning shu'lalanishiga, ya'ni ko'rinadigan yorug'lik chiqarishga aytiladi. Modda atom va molekulalari avvaldan uyg'otiladi. Ana shu uyg'otuvchi ta'siri olingandan so'ng lyuminessensiya modda tabiatiga qarab bir necha sekunddan bir necha kungacha davom etishi mumkin. Lyuminessensiyaning davom etish muddatiga qarab 2 turga bo'linadi.

1. Fluoressensiya- shu'lalanish vaqti kichik.
2. Fosforessensiya shu'lalanish vaqti katta .

Lyuminissensiyani issiqlik nurlanishi va boshqa tur nurlanishlardan farqlash uchun unga yana quyidagi ta'rifni berish mumkin.

Lyuminessensiya – bu moddaning berilgan haroratda issiqlik nurlanishidan ortiqcha bo'lgan va chekli davom etadigan shu'lalanishidir.

Lyuminessensiyalanish qobiliyatiga ega bo'lgan moddalar lyuminofofor-lar deyiladi.

Lyuminessensiyani uyg'otish usullariga qarab bir necha turlarga bo'linadi:

1. Fotolyuminessensiya – ko'rinadigan va ul'trabinafsha nurlar bilan uyg'otiladi. Masalan, soat raqamlari yozuvi va strelkalari.
2. Rentgenolyuminessensiya – rentgen nurlari bilan uyg'otiladi. Masalan, rentgen apparati ekranidagi tasvir.
3. Radiolyuminessensiya – radioaktiv nurlanish uyg'otadi. Masalan: ssintillyasion schyotchik ekranida kuzatish mumkin.
4. Katodolyuminessensiya – elektron oqimi uyg'otadi. Masalan: ossilograflar, televizoh, radiolakator ekranlarida kuzatiladi.
5. Elektrolyuminessensiya – elektr maydon uyg'otadi. Masalan, gaz razryadi quvurlarida kuzatiladi.

6. Kimyoviy lyuminessensiya – kimyoviy jarayonlar uyg‘otadi, Masalan, oq fosforning, chiriyotgan yog‘ochning, hashoratlar, dengiz hayvonlari va bakteriyalarining shu‘lalanishi.

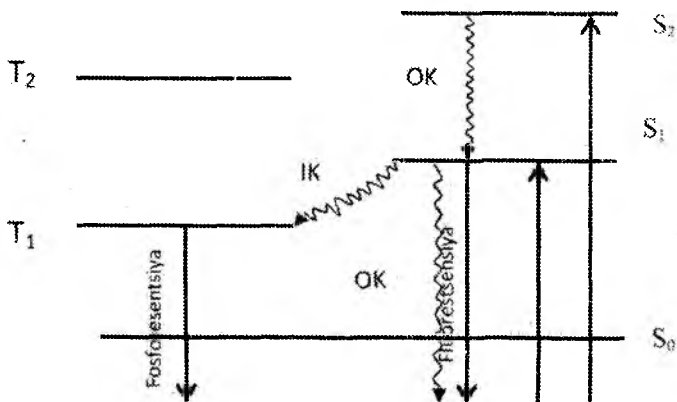
Uyg‘otilmagan molekular eng past energiyali holatda bo‘lishadi, ya’ni asosiy holatda. Organik molekularlarda bu holat singlet holat bo‘lib, undagi to‘lgan orbitaldagi elektronlar spini antiparalleldir ( $S_0$  – holat, 9.6-rasm).

Asosiy  $S_0$  holatdan molekula turli elektron holatlari  $S_1, S_2$  va h.k.ga energiya yutishi natijasida o‘ta oladi. Lyuminessensiyalovchi molekularlarda uyg‘ongan singlet holatlarda elektron  $10^{-9} - 10^{-8}$  s yashay oladi. Boshqa molekularga energiya o‘tishi ro‘y bermasa va fotokimyoviy reaksiyalar bo‘lmasa uyg‘ongan molekulaning asosiy holatga o‘tishi quyidagi uchta yo‘l bilan bo‘lishi mumkin (9.6-rasm).

1. Elektron uyg‘ongan holat  $S_1$  dan asosiy holat  $S_0$  ga o‘tsa, fluoressensiya yorug‘lik kvanti chiqadi.

2. Uyg‘ongan holat energiyasi asta-sekin molekulaning issiqlik harakatiga sarf bo‘ladi. Elektron uyg‘ongan  $S_1$  holatdan asosiy  $S_0$  holatga o‘tishda yorug‘lik kvanti chiqmaydi. (9.6-rasmdagi OK o‘tish). Bunday elektron o‘tish nurlanishsiz deb ataladi.

3.  $S_1$  holatda elektron spini teskari buriladi va molekula triplet holat  $T_1$  ga o‘tadi, bu holat energiyasi singlet holatnikidan bir qadar kam. Triplet holatdan asosiy singlet holatga to‘g‘ridan-to‘g‘ri o‘tish ehtimoliyati kam bo‘lgani uchun molekula triplet holatda  $10^{-4}$  s dan bir necha sekundgacha bo‘lishi mumkin. Oddiy haroratlarda suyuqliklarda bu vaqt ichida triplet holatdan asosiy holatga nurlanishsiz o‘tish sodir bo‘ladi  $T_1 \rightarrow S_0$ . Suyuq azot bilan muzlatilgan eritmalarda va qattiq jismlar uchun xona haroratida  $T_1 \rightarrow S_0$  o‘tishda fosforessensiya kvanti nurlanishi mumkin.

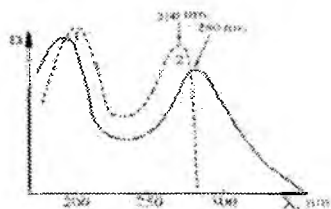


**9.6-rasm. Biomolekulalarda elektron o'tishlar:**  $S_0$  – asosiy (uyg'otilmagan) holat,  $S_1S_2$  va  $T_1T_2$  – uyg'otilgan mos holda singlet va triplet holatlar,  $S_0 \rightarrow S_1$  va  $S_0 \rightarrow S_2$  o'tishlar energiya yutilishi; **OK**–ichki konversiya (elektron spinlari o'zgarmasdan o'tishi); **IK** – interkombinatsion konversiya (elektron spini o'zgarishi bilan bo'ladigan o'tish),  $S_1-S_0$  o'tish flyuoressensiya,  $T_1-S_0$  o'tish fosforessensiya

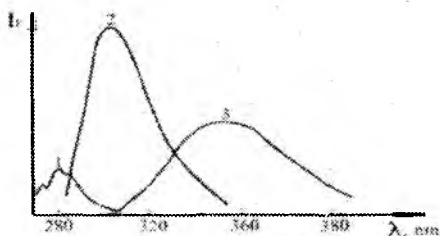
Biologik moddalarning yutilish va fluoressensiya spektrlarini o'rganish orqali ularning tuzilishi, konformasion o'zgarishlari va boshqa xossalari haqida ma'lumot olish mumkin.

Biologik obyekt yoki eritma optik zichligi  $D$  ning yutilayotgan yorug'lik to'lqin uzunligiga bog'liqligi uning yutilish spektri deb ataladi. Ushbu spektrni konsentrasiya va kyuveta uzunligining birligiga nisbatan olinsa, yutilish spektri deb yutilish molyar koeffitsiyenti  $\varepsilon$  ning to'lqin uzunligi  $\lambda$  ga bog'lanishiga aytiladi.

Biologik muhim moddalar yutilish spektri (9.7-rasm) bitta yoki bir necha maksimumi bor egri chiziqlardan iborat. Atomlar va sodda molekularning gaz holatida yutilish spektri chiziqli bo'ladi.



9.7-rasm. Oqsil (1) va nuklein kislotalar (2) yutilish spektri.  $\lambda$  - to'liq uzunligi, D - optik zichlik.



9.8-rasm. Aromatik aminokislotalarning xona haroratida pH 7.0 suvdagi lyuminesseksiya spektrlari: 1-fenilalanin, 2-tirozin, 3-triptofan, I - intensivlik  $\lambda$  - to'liq uzunligi

Oqsillarda uchraydigan aminokislotalardan uchtasi yaqin ul'trabinafsha sohada yutilish va fluoressensiya spektrlariga ega: triptofan, tirozin va fenilalanin. Ulardan triptofan uyg'ongan holatdagi reaksiyalarga va oqsildagi molekulyar dinamikasiga nisbatan eng katta qiziqish o'yg'otadi (9.8-rasm). Buning bir necha sababi bor:

- triptofan fluoressensiya spektrlari muhit xossalariga kuchli bog'liq;
- triptofan turli fotofizik va fotokimyoviy reaksiyalarda ishtirok etadi;
- triptofan fosforessensiya spektri strukturaliligi;
- triptofanning oqsillar fluoressensiya spektrlaridagi ulushi yuqori bo'lgani.

Biologiya va tibbiyotda oqsillarni o'rganishda ular tarkibiga kiruvchi aminokislotalar spektrini o'rganishdan tashqari molekulyar nishonlar va zondlardan keng foydalanilmoqda. Spektral nishonlar va zondlarni oqsillar yoki nukleotidlar bilan bog'lash orqali ularning xossalari, tuzilishi normal va patologik holatlarini o'rganish imkoni paydo bo'ladi. "Fluorescent zond"lar biomolekulalar bilan kimyoviy bog'lanmaydigan, "Nishon"lar biomolekulalar bilan kovalent bog'lanadigan aromatik molekulalardir. Fluorescent zondlarga naftalin sulfanatlar, stiril, sianin buyoqlar, nishonlarga rodamin, flyuoressein kabi sintetik buyoqlar misol bo'la oladi.

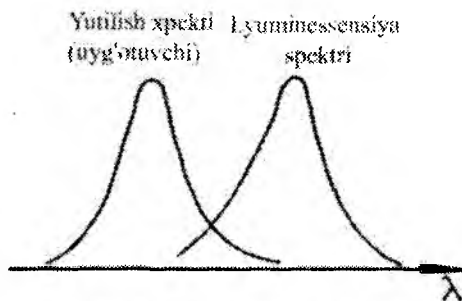


Demak, lyuminessensiya turli uzunlikdagi elektromagnit to'liqlar energiyasini ko'rinadigan yorug'lik energiyasiga aylantiradigan kvant generatori ekan. Yutilayotgan ( $W_0$ ) energiyaning lyuminessensiya energiyasi ( $W$ )ga aylantirish darajasiga lyuminessensiyaning energetik chiqishi deyiladi.

$$\eta = \frac{W}{W_0} \quad (9.16)$$

Lyuminessensiya spektri lyuminessensiyalanuvchi moddaning tabiatiga va lyuminessensiya turiga bog'liq. Yuqorida ko'rib o'tilgan lyuminessensiya-lardan fotolyuminessensiya amalda ko'proq ahamiyatga ega, shu sababli uni mufassalroq qarab chiqamiz. Lyuminessensiya spektri va uning maksimumi uyg'otishda foydalanilgan spektrga nisbatan uzunroq to'liqlar tomonga birmuncha siljigan bo'ladi. Bunga Stoks qoidasi deyiladi. Buni kvant nazariyasiga asosan tushuntirish mumkin. Yutilayotgan  $h\nu_0$  kvant energiyasining bir qismi boshqa energiyaga aylanadi. Masalan, issiqlik energiyasiga. Shuning uchun lyuminessensiya energiyasi  $h\nu < h\nu_0$  bo'ladi. Bunda  $\nu_0 > \nu$  yoki  $\lambda_0 < \lambda$

Ba'zida antistoks lyuminessensiya ham bo'ladi.  $\lambda_0 > \lambda$  Avval uyg'ongan molekula yorug'lik kvantini yutgan holda ro'y beradi. Bu holda lyuminessensiya kvantiga yutilgan foton energiyasining bir qismidan tashqari yana molekulaning uyg'onish energiyasi kiradi. Demak,  $h\nu > h\nu_0$  va  $\lambda_0 > \lambda$



9.9-rasm. Stoks qonunini ifodalovchi chizma

Suyuq va qattiq lyuminofrlarning muhim xususiyati, ularning lyuminessensiya spektrining yorug'lik to'liqlarining uzunligiga bog'liq bo'lmisligidan iborat. Shu tufayli fotolyuminessensiya spektriga qarab suyuq va qattiq lyuminofrlarning tabiati to'g'risida fikr yuritish mumkin.

Atom yoki molekula ketma-ket oraliq nurlanishlardan asosiy holga o'tadi. Lyuminessent analiz – bunda ul'trabinafsha nurlar bilan uyg'otilgan fotolyuminessensiya spektriga qarab modda tarkibi aniqlanadi. Bu juda sezgir usul bo'lib 10–<sup>10</sup> gramm moddani aniqlash mumkin. Lyuminessensiya usuli bilan qishloq xo'jalik mahsulotlarining buzila boshlanishini aniqlanadi. Farmakologik mahsulotlarni saralashda va kasalliklarga tashxis qilishda qo'llaniladi. Maxsus mikroskoplar yordamida obyektlarning lyuminessent tahlili olib boriladi. Bu mikroskoplarda yorug'lik manbai sifatida yuqori bosimli simob lampalari va 2 ta svetofiltrlar ishlatiladi. Bulardan bittasi kondensor oldida joylashtiriladi va u lyuminessensiya uyg'otuvchi nurni ajratadi.

Fotolyuminessensiya yordamida mashinalar detallari va boshqa buyumlar sirtidagi yoriqlarni ham payqash mumkin. Buning uchun detal sirti lyuminofor modda bilan moylanib 15–20 minutdan so'ng yuviladi. Yoriqlarda qolgan lyuminofor shula'lanishi tasvirga olinadi.. Fotolyuminessensiya yashirin yoritish va dekorativ maqsadlarda (buyoq ranglar) foydalanilmoqda.

Lyuminessent analiz deb, ul'trabinafsha nurlar ta'sirida moddalarning shulalanishiga qarab, ularning tarkibini aniqlash usuliga aytiladi. Bu holda tekshirilayotgan moddaning xususiy lyuminissensiyasi yoki unga kiritilgan lyuminoforning nurlanishi kuzatiladi. Bu usulda moddaning buzilishsiz tahlil o'tkazishga imkon beradi. Lyuminessent analiz fan va amaliyotning turli sohalarida ishlatiladi. Masalan, kriminalistikada ul'trabinafsha nur bilan nurlantirish yordamida qonning ko'rinmaydigan izlarini aniqlash mumkin. Odamlar, hayvonlar va qushlar qonining nurlashi bir-biridan farq qiladi. Xuddi shunday haqiqiy va qalbaki pullar ham

turlicha nurlaydi. Lyuminessent analiz yordamida suratlarining haqiqiy yoki nusxa ekanligini aniqlash mumkin.

Veterinariya-sanitariya ekspertizasida ham bu usuldan keng qo'llaniladi. Masalan go'sht-sut stansiyalarida, bozorlardagi veterinariya laboratoriyalarda mahsulot sifatini nazorat qilishda ekspres analiz uchun mahsulotlar ul'trabinafsha nurlar bilan nurlantirilganda uning buzilish darajasining ko'payishiga qarab qizil binafsha rangdan, zangori-ko'k rang ko'rinishida, baliqlar – sariq rangdan sarg'ish-zangori rang ko'rinishida, sut – zangor sarg'ish rangdan ko'k rang ko'rinishiga qarab o'zgaradi. Lyuminessent analiz bir necha minut ichida mahsulotlarning boshlang'ich buzilishini aniqlab berishi mumkin. Bundan tashqari, lyuminessent mikroskoplarda ham mahsulotlar sifatini, mikropreparatlar nurlanishiga qarab infeksiyon kasalliklarni uyg'otuvchilarni, immunofluoressent usul yordamida hayvonlarda infeksiyon kasalliklarning boshlanishini aniqlash mumkin.

Biokimyoviy lyuminessentsiya deb tirik to'qimalarning kuchsiz shu'lalanishiga aytiladi.

Biolyuminessensiyada ba'zi tirik organizmlarning nurlanishning ko'rinadigan sohasida lyuminessent nurlanishiga aytiladi. Bu holda kimyoviy energiyaning yorug'lik energiyasiga o'tish darajasi ancha yuqori bo'ladi. Buning mexanizmi ancha murakkab va to'la o'rganilgani yo'q. Ko'p tirik organizmlarda vodorod bilan boy organik birikmalarda fermentativ oksidlanish, ya'ni lyusiferin yuz beradi. Oksidlanishni tezlatuvchi fermentlarga lyusiferedlar deyiladi.

Alohida olingan lyusiferin oksidlanishi va nurlashi uncha katta emas, lekin lyusiferin ta'sirida lyuminessensiya intensivligi 10000-marta oshishi mumkin. Biolyuminessensiya bo'lishi uchun, lyusiferin molekullari bo'lishi zarurdir. Uning tarkibida atigi  $10^{-9}$  gramm bo'lsa lyuminissensiya yuz beradi. Ba'zi hollarda fermentlar bo'lmasa ham nurlanish bo'lishi mumkin.

Biolyuminessensiya ko'plab har xil jonivorlar uchun xos bo'lgan xususiyatdir. Masalan, bakteriyalar, hashoratlar baliqlar,

malyuskalar va hokazo. Taxminan 250 turga yaqin jonzodlarda bu hol kuzatiladi. Ko'plari bu xususiyatdan o'ljasini ushlashda, ba'zilar dushmanini qo'rqitishda qo'llaydi. Bunday hollarda nurlanish energiyasi 0,02 kJ bo'lishi mumkin. Ko'plab o'simlik va jonzodlarda nurlanish intensivligi kuchsiz bo'lib, ularni fotokuchaytirgichlar yordamida qayd qilish mumkin. Bu lyuminessensiya hujayradagi bo'linishlar bilan bog'liq bo'lganligi sababli tirik organizmdagi o'zgarishlar haqida qo'shimcha axborotlar berishi mumkin.

#### **§ 9.4. Lazerlar va ularning tibbiyot va biologiyada qo'llanilishi**

Lazerlar hozirgi zamonda shu darajada turmushga va fanga kirib keldiki, u qo'llanmaydigan sohaning o'zi yo'q. Hozirda lazerlarning yuzdan ortiq turlari mavjud va sanoat usulida ishlab chiqilmoqda. Ko'riladigan nurli lazerlar tola-optika telefon aloqada, televizohlarni masofadan boshqarish qurilmalarida SD va DVD playlarda va boshqa qurilmalarda ma'lumot olishda ishlatilmoqda. Supermarketlarda shtrix kodlarni o'qishda, sanoatda "fleshka"larni payvandlash, materiallarni qayta ishlashda, ularni testdan o'tkazishda va hokazolarda ishlatiladi. Tibbiyotda lazerlar qo'llanilish sohasi oshib bormoqda. Ichki va tashqi xirurgiyada, to'qimalarni davolashda, ularni isitishda, ko'z xirurgiyasida u shunchalik muhim qurilma ekan, u qanday ishlaydi, qanaqa xossalari bor? Lazer nuri boshqa nurlardan bir qancha farqlari bor. Eng asosiysi lazer nuri juda kichik interval chastota yoki to'lqin uzunlikka egaligidir. Ko'plab lazerlar monoxromatik nurga ega. Masalan Geliy-Neon lazeri 632,8 nm to'lqin uzunlikli qizil nur chiqaradi. Chastota kengligi 100 mGs. Buning aniqlik darajasi 5 milliondan 1 ga teng, ya'ni 632,8 ... va verguldan so'ng 7 ta sifri bilan aniqlanadi. Xozirgi vaqtda infraqizil, ultrabinafsha va ko'rinadigan sohalarda ham lazerlar mavjud. Geliy-Neon lazeri

quvvati o'nlab mVt ga etishi mumkin. 1 mVt nurda  $N$  ta foton bo'lib, uning soni  $10^{15}$  1/s ga teng.

Qolgan biror xil nurdan aniq chastotali va rangli bunday fotonni olish mumkin emas. Masalan, 100 Vt li cho'g'lanma lampa uzluksiz spektrli fotonlar chiqaradi va undan chiqarilgan nur turli tomonga tarqaladi, lekin Geliy-Neon lazeri nuri kengligi 1 mm va undan ham kichik bo'lishi mumkin. Uning quvvati 1 Vatt dan boshlab  $10^6$  Vattgacha va hattoki  $10^{12}$  Vt gacha (terovatt), birlik yuzaga. Agarda 1 Tw quvvatli lazer fokuslansa energiya zichligi  $10^{22}$  Vt/m<sup>2</sup> ga etishi mumkin. Buni tasavvur qilish uchun quyidagi misolni keltiraman. Masalan, AQSH da qo'llaniladigan lazer quvvati  $3 \times 10^{12}$  Vt ga teng. Lekin bu quvvat juda qisqa vaqt ichida bo'ladi. Shu sababli ularni qo'llash effektivligi kam. Lekin sanoatda qo'llaniladigan ba'zi lazerlar effektivligi yaxshi, ya'ni FIK 20–30% ni tashkil etadi., lazerlar uzluksiz va impulsli bo'lishi mumkin. Impuls davomiyligi  $10^{-3}$  s dan  $10^{-12}$  s gacha bo'lishi mumkin. Bunday qisqa impulsli nurlar tez o'tuvchi kinetik jarayonlarni o'rganishda qo'llaniladi.

Lazerning yana bir xususiyati ularning kogerentligidir, nurning butun diametri bo'yicha to'lqin fronti yassidir. Lazerning bu xususiyati golografiya va spektroskopiyadan muhim rol o'ynasa, xirurgiya, sanoatda ishlatilishida buning ahamiyati yo'q. Bu holda intensivlik va quvvat muhim rol o'ynaydi.

Endi lazerning umumiy xossalarini ko'rib chiqamiz. Keyinchalik ba'zi aniq lazer turlarini qaraymiz. Lazer bu majburiy nurlanish turi. Buni bilish uchun majburiy emissiya nima ekanligini tushunish zarur. Termodinamikadan ma'lumki, ikkita energetik holatlarda elektronlarning joylashuvi Bolsman ko'paytuvchisi orqali aniqlanadi.

$$N_2 = N_1 e^{-\frac{E_2 - E_1}{k_v T}}$$

Bunda  $k_v T$  – issiqlik energiyasi.

Uy temperaturasida  $E_2 - E_1$  energetik holatlar ayirmasi 1 eV bo'lsa  $\frac{N_2}{N_1} \sim 4 \cdot 10^{-18}$  va hamma elektronlar asosiy holatda bo'ladi. Atomni uyg'otish uchun uni isitish yoki yorug'lik fotoni bilan ta'sir ko'rsatish zarur. Atom yuqoriligi uyg'ongan energetik holatda bo'lganda ikkita holat bo'lishi mumkin. Sponton holatda asosiy holatga o'tishi yoki bir vaqtda o'tish induktirlangan o'tishni 1917-yilda Eynshteyn birinchi marta taklif qildi. Tajribada buni 10 yildan so'ng yo'lga qo'yildi. Lekin birinchi amaliy lazer 40 yildan so'ng 1957-yilda ishga tushdi. Shu yili Gorden Guld, Artur Shavlov va Charlz Tauns uyg'ongan holda yuqori energetik holatda pastdagisidan ko'proq atom bo'lishini aytishdi.

Misol. Issiqlik muvozanati holatida uyg'ongan holatda asosiy holatga nisbatan atomlar ko'p bo'lmasligini ko'rsating. Bolsman taqsimotiga ko'ra ixtiyoriy ikki holat uchun yuqoridagi formulada ko'rsatilgan. Agarda 2 energetik holat 1 ga nisbatan yuqoriroq bo'lsa, u holda daraja ko'rsatkichi manfiy bo'lishi kerak. Shu sababli  $N_2/N_1 < 1$  dan. Shu sababli energiyalar farqidan va temperaturadan bog'liq bo'lmagan holda energetik holatlarning to'lish darajasi kamayadi. Shu sababli energetik holatlar energiyasi oshib borishi bilan uning to'lish darajasi kamayib boradi.

Bu masalani yechish uchun yuqoridagi energetik holatlar sonini oshirish kerak. Ikkinchidan bu atom holatlarning bir vaqt ichida quyi energetik holatga o'tishini ta'minlash va rezonator yordamida kuchaytirish va ingichka nur hosil qilish mumkin. Rezonator oynalari asosan 100% qaytaruvchi bo'ladi. Lekin ulardan bittasi -1% fatonlarni chiqarib yuboradi. SVCh lazerlar doimiy ravishda nakachka qilib to'ldirilib boriladi. Impuls lazer holatida har bir impuls chiqqandan so'ng yana energiya bilan to'ldiriladi. Bu hodisa uzluksiz ravishda takrorlanib turiladi. Lazer nuri hosil qilish uchun 3 ta energetik holat zarur bo'ladi. Eng ko'p qo'liyaniladigan Geliy-Neon lazerida 4 ta energetik holat mavjud. Bunda 632,8 nm li qizil nurli lazer hosil qilinadi. Bu lazer unchalik qimmat emas, oddiy va

texnik xizmatga muhtoj emas, arzon turadi. Bundan tashqari argon, is gazli, suyuq kristalli, neodimli lazerlar ham mavjud.

### § 9.5. Lazer nurlarining fizik xossalari va biologik ta'siri

Fotolyuminessensiyada lyuminessensiyalanuvchi moddaning atomlari mutlaqo tartibsiz nurlaydi. Ular har xil vaqtda nurlanadi, chastotalari va fazalar ayirmasi turlicha bo'ladi, yo'nalishlar ham har xil. Ammo keyingi vaqtlarda bir xil yo'nalishli yorug'likning ingichka dastasini hosil qiluvchi monoxromatik nur hosil qiluvchi qurilmalar paydo bo'ldi. Bularga optik kvant generatorlar (OKG) deyiladi.

«Lazer» degan nom quyidagi inglizcha so'zlarning birinchi harflaridan tuzilgan Light Amplification by Stymylated Emission of Radiotion. (Majburiy nurlantirish yo'li bilan yorug'likni kuchaytirish). Ishlatiladigan modda turiga qarab qattiq, suyuq va gaz lazerlari mavjud. Lazerlarni N.G. Basov, A.M.Proxorov, Ch.Tauns yaratgan. Lazer ishlay boshlashi uchun uning ishchi moddasidagi ko'p atomlar metastabil holatlarga o'tishi kerak. Unda atom nisbatan uzoq vaqt yashaydi, ya'ni  $10^{-3}$  sekund. Buning uchun ishchi moddaga maxsus manbadan yetarlicha katta elektromagnit energiya beriladi, metastabil holdan barcha atomlar deyarli bir vaqtda normal holatga o'tadi. Shu masalani to'laroq qarab chiqaylik.

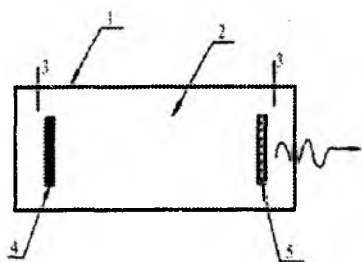
Kvant o'tishlar 2 ga bo'linadi. Agar bu o'tish ichki bo'lib, atom o'z-o'zidan quyi holatga o'tsa, bunday o'tishga spontan o'tish deyiladi. Bu vaqt bo'yicha tasodifiy va xaotikdir. Oddiy yorug'lik manbalari spontan nur chiqaradi.

Agar o'tish majburiy bo'lib foton bilan uyg'ongan zarracha ta'sirlanishi natijasida hosil bo'lsa majburiy (indusirlangan) o'tish deyiladi. Majburiy o'tish paytida 2 ta foton tarqaladi: birlamchi va ikkilamchi fotonlar. Majburiy o'tishlar soni birlamchi fotonlar intensivligi va energetik sohalarning to'laligiga bog'liq.

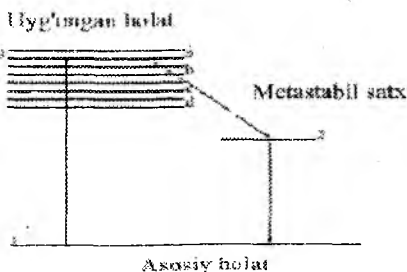
Zarrachalarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi Bolsman konuniga bo'ysunadi. Elektromagnit to'lqinlarning kuchayishini kuzatish uchun hech bo'lmaganda ikki energetik holat uchun Bolsman taqsimotiga teskari holatni yuzaga keltirish zarur.

Bu holat Bolsman taqsimotida formal  $T < OK$  uchun hosil qilinishi mumkin. Shuning uchun bu holatga manfiy haroratli holat yoki inversli holat deyiladi.

Bunday moddada yorug'lik tarqalsa uning intensivligi oshadi, ya'ni yutilish kam bo'ladi. Bu degani Buger qonunida ( $I = I_0 e^{-\chi l}$ )  $\chi < 0$  ya'ni yutish koeffitsiyenti manfiy. Inversiya to'ldirilganlik holati maxsus uyg'otiladi. (elektr yoki yorug'lik bilan). O'z-o'zidan manfiy haroratli holat ko'p vaqt tura olmaydi. Bu OKGlar ishlash prinsipidir. Birinchi o'ta yuqori chastotali radioto'lqinlar diapazonda lazer 1955-yilda yaratilgan. 1960-yilda rubin kristalida lazer yaratildi. Shu yili geliy – neon lazeri yaratildi, unda nurlovchi bo'lib neon atomi hizmat qiladi. Geliy atomi esa yordamchi vazifasini bajaradi. Elektr razryadi vaqtida neon atomlarining bir qismi asosiy 1 holatdan 3 holatga o'tadi, neon uchun 3 holatda yashash davri kam va tezda u 1 yoki 2 holatga o'tadi. (9.10 a-rasm) Inversiya to'ldirilganlik hosil qilish uchun 3 holatda yashash davrini oshirish zarur.



a)



b)

**9.10-rasm. Geliy-neon gaz lazeri. a- elektron satxlar, b-lazer tuzilishi: 1-kvars trubkasi. 2-Ne- Nye gaz aralashmasi 1 GPa bosimda joylashtiriladi. 3- gaz razryadini amalga oshiruvchi elektrodlar, 4,5-ko'zgular**

Geliy atomi esa xuddi shu vazifani bajaradi. Geliyning birinchi uyg'ongan holati neonning 3 holatiga to'g'ri keladi. Agar uyg'ongan



geliy uyg'onmagan neon bilan to'qnashsa, energiya berish jarayoni yuz beradi. Geliy-neon lazerining asosiy qismi 1-gazorazryad nayi (odatda qo'shimcha kvarsli nay) dan iborat. 2-nayda 1GPa bosimda geliy va neon aralashmasi solinadi (geliy 90%, neon 10% atrofida). Nayda gaz razryadini hosil qilish uchun 3 elektrodlar kavsharlangan. Nay uchlarida 4 va 5 ko'zgular joylashgan bo'lib, ulardan biri (5) yarim shaffofdir. Majburiy nurlanishda chiqadigan fotonlar ko'zgulardan ko'p marotaba qaytib, o'zlari majburiy o'tishlarni yuzaga chiqaradi va natijada 5 ko'zgu orqali chiqib ketadi.

Lazerlar monoxromatik nur manbaidir, ularning sochilishi kam. Masalan: Oyga yo'naltirilgan lazer nuri 3 km li dog' hosil qiladi. Oddiy projektorlarniki 40000 kmli dog' hosil qiladi. Energiya zichligi juda katta millionlargacha  $J/sm^2s$  Linzalar yordamida fokuslab energiya zichligini yanada oshirib, o'ta qattiq moddalarni teshish, payvandlash mumkin. Ular tibbiyotda 2 xil maqsadda ishlatiladi.

1. Lazerlar biologik to'qimalarni buzishi mumkin, bundan jarroxlik amaliyotida foydalaniladi. Saraton to'qimalarini kuydirishda, organizmda maxsus teshiklar hosil qilishda, tishlarni davolashda ham qo'llaniladi.

2. Geliy-neon lazer asosida gastrokop yaratilgan bo'lib, u oshqozonning hajmiy tasvirini ko'rishda ishlatiladi. Hozirgi vaqtda ko'z jarroxligida – oftalmokagulyator – glaukomaning davolashda keng foydalanilmoqda

Birinchi rubin lazerlarining energiyasi 0,1 Joulga teng bo'lgan. Hozirgi vaqtda energiyasi bir necha ming joulga teng bo'lgan lazerlar mavjud. Impuls qisqa vaqt ta'sir qilganligi sababli quvvat ancha katta bo'ladi. Masalan: neodim lazer impulsi energiyasi 75 Joul davomiyligi  $3 \cdot 10^{-12}$  sekund bo'lganda quvvati  $2,5 \cdot 10^{13} V_t$  ga yetadi. Gaz lazerlar quvvati 50 kVt gacha bo'ladi. Impulsli lazerlar intensivligi  $10^{14} V_t/m^2$  ga teng bo'ladi. Taqqoslash uchun quyosh nurining Yer sirtidagi intensivligi  $10^3 V_t/m^2$  ga teng ekanini

ko'rsatish mumkin. Eng kuchsiz lazerlar yorqinligi quyosh yorqinligidan million marta kattadir.

Lazer nuri kogerent, monoxromatik va qutblangan, sochilish burchagi juda kichik, ya'ni  $10^{-3}$  rad elektr maydon kuchlanganligi juda katta, ya'ni  $10^{10}$  V/m. Odatdagi nurlar maydon kuchlanganligi  $10^4$  V/m dan oshmaydi. Elektromagnit maydon moddaga tushganda unga bosim beradi. Oddiy yorug'lik nuri bosimi  $4 \cdot 10^{-6}$  Pa ga teng, atmosfera bosimi  $10^5$  Pa lazerniki esa  $10^{12}$  Pa ga yetadi. Bunday bosim eng qattiq materiallarni qayta ishlashda ishlatiladi. Masalan, olmos va o'ta qattiq qotishmalarda teshiklar hosil qilish mumkin.

Lazer nuri biologik obyektlarga tushganda u bilan ta'sirlashadi.

Lazer nuri modda bilan ta'sirlashganda uning asosiy energiyasi issiqlikka aylanadi. Biologik to'qimada yutilish tanlab yuz beradi, chunki to'qima tarkibiga kiruvchi hujayra, fermentlar, gormonlar, pigmentlar turli xil yutish va qaytarish xususiyatiga ega. Masalan, gavhar ko'rinadigan nurni deyarli yutmaydi, melanin yutish maksimumi spektrning qizil qismiga (0,65 – 0,75  $\mu$ m) to'g'ri keladi. Odam tanasi qaytarish koeffisienti 35 – 40% qora tanlilar uchun bundan ham kichik bo'ladi.

Kuchli lazer ta'sirida to'qimalarning jarohatlanishi xuddi yuqori chastotali toklar ta'siridagi kuyishga o'xshash bo'ladi, faqat kuyish chegarasi aniq ifodalangan bo'ladi. Bu nurning yo'nalganligi bilan tushuntiriladi. Termik ta'sirga sezgir bo'lgan hujayralar birinchi bo'lib buziladi. Ular biokimyoviy reksiyalarni tezlatuvchilari bo'lib fermentlarning buzilishi reaksiyasini susaytiradi va natijada xo'jayralar halok bo'lishi mumkin. Lazer nurining termik effekti natijasida venalarda tromb hosil bo'lishi natijasida to'qimalarning buzilishi yuz beradi.

To'qimaning lazer tushgan joyida issiqlikdan hajmiy kengayish yuz beradi va natijada mexanik kuchlanish hosil bo'ladi. Nurlanayotgan sohada to'qima molekulalarining bug'lanishi

natijasida impulsning saqlanish qonuni bo'yicha impuls paydo bo'ladi. Bu impuls bog'lanuvchi zarrachalar tezligi yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Natijada bosim yuzaga keladi. To'qima va hujayraning suyuq komponentalarida bosimning oshishi tufayli tovush tezligidan katta tezlikda bo'lgan to'liqlar hosil bo'ladi. Lazer nuri teriga tushganda uni buzmasada hosil bo'lgan to'liqin ichki to'qimalarni jarohatlashi mumkin. Xuddi shu usulda tajriba tariqasida dengiz cho'chqalari miyasi energiyasi 100 J lazer bilan nurlantirganda miyaning 1 mm<sup>3</sup> hajmi 500<sup>0</sup>C gacha isigan va suyak ostida 20 atm bosim hosil bo'lgan.

Elektrostriksiya hodisasi tufayli elektromagnit to'liqin ta'sirida moddada deformatsiya yuzaga kelishi mumkin. Masalan, dengiz cho'chqalari jigari energiyasi 250 J bo'lgan lazer nurlari bilan nurlantirilganda uning solishtirma qarshiligi 4-marta kamaygan, dielektrik kirituvchanlik esa 8-marta oshgan. Bunga sabab atomlarning ionlashishidadir. Ionizasiya molekulardagi kimyoviy bog'lanishlarni ham buzadi va ion radikallar hosil bo'ladi.

Biologik to'qimalarda mavjud bo'lgan suv eritmalarida lazer nurlari tufayli OH va HO<sub>2</sub> radikallar hosil bo'ladi. Erkin radikallar nafaqat lazerlar ta'sirida, balki tabiiy modda almashinuvida ham hosil bo'ladi. U bilan hayvon organizmida bo'ladigan bir qancha patologik o'zgarishlar bog'langandir. Aniqlanishicha, buning natijasida biologik keksayish va ba'zi rak kasalligi formalarining kelib chiqishi mumkin ekan. Shu sababli lazer nuri ta'sirida qo'shimcha erkin radikallarning hosil bo'lishi maqsadga muvofiq emas.

Bir necha mikron qalinlikka ega bo'lgan lazer nurlari yordamida hujayra va to'qimalarda bo'ladigan jarayonlarga ta'sir ko'rsatish imkoni tug'ildi. Tuxum hujayrasini nurlantirish yo'li bilan uning rivojlanish yo'nalishini o'zgartirish, xromosomani nurlantirish bilan naslni o'zgartirish ham mumkin. Lazer gen-injenerligida, ya'ni yangi xususiyatlarga ega bo'lgan organizmlar hosil qilishda qo'llaniladi.

Lazer yordamida hujayrani ajratib, uning hayotini kuzatish mumkin. U hujayra ichidagi biokimyoviy bog'lanishlarni, hujayra yutgan moddalar taqsimotini, turli holatlarda bo'lgan hujayralarni taqqoslashda va hujayradagi patologik o'zgarishlarni aniqlashda qo'llaniladi.

Tibbiyot va veterinariyada CO<sub>2</sub> lazer yordamida jarrohlik operatsiyalari bajarilmoqda. Kesish chuqurligi to'qima turiga bog'liq bo'lib, odatda

2–3 mm bo'ladi. Oddiy mexanik kesishga qaraganda ko'p qulayliklar mavjud. Energiya intensivligi katta bo'lgani uchun lazer qon tomirchalarini payvandlab, operatsiyani qonsiz bajarishga imkon beradi. Bundan tashqari, terini sterilizasiya qiladi, ya'ni begona mikroorganizmlar halok bo'ladi. Lazer mexanik ta'sir ko'rsatmaydi, shu sababli jarrohlik og'riqsiz o'tadi. Lazer yordamida kesilgan joylar tikilib ketiladi. Yorug'lik tolasi yordamida lazer nuri organizmni kesmasdan ovqat yo'llari orqali ichki organlarni ham operatsiya qilish imkoni beradi. Ayniqsa, oshqozon ichak, yurak, neyroxirurgik operatsiyalarda keng qo'llaniladi. Teri o'simtlarini 97% holatda lazer nuri yordamida davolash mumkin ekan.

Lazerlar oftalmologiyada keng qo'llanilmoqda. Ko'z gavhari va shishasimon suyuqligi qizil nur uchun shaffof bo'lsa, to'r parda uni kuchli yutadi. Ayniqsa, to'r pardani ko'z tubidan ajralishida lazerlar yaxshi natija beradi. Oddiy xirurgik yo'l bilan bu jarrohlikni bajarish murakkab, og'riq bilan bo'ladi va 2 – 3 oy bemor stasionarda davolashi kerak bo'ladi. Lazer nuri yordamida bu ish ancha oson va kam vaqtda bajariladi. Glaukomaning davolashida ham yaxshi natijalarga erishilmoqda. Glaukomada ko'z ichidagi suyuqlik tashqariga chiqmay qoladi va ko'z ichida bosim oshadi, ko'rish qobiliyati kamayadi va ko'r bo'lib qolish mumkin. Shu sababli lazer yordamida ko'zda kichik teshik hosil qilinadi. Buning uchun lazerning ta'sir vaqti  $10^{-7}$  s va quvvat yetarlicha katta bo'lishi kerak.

**Tayanch tushunchalar:** rentgenastruktur analiz, rentgenadiagnostika, flyurografiya, rentgonografiya, rentgenotomografiya, lyuminissent analiz, siljish qonuni lazeroterapiya.elektron qobiqlar, atomning nurlanishi, Bor postulatlari, lyuminasiya, siljish qonuni, rentgen nurlari, lazer , spektral seriyalar

### **Xulosalar**

Atom tuzilishi haqidagi ta'limot kelajak tabiiy fanlarining rivojlanishi uchun muhim ahamiyatga ega edi. Rezerford tajribalari va Bor pastulatlari kvant fizikasining rivoji uchun katta turtki bo'ldi . Hozirgi davrda issiqlik nurlanishdan tortib rentgen nurlarigacha barcha nurlanishlar shu qonuniyatlar yordamida tushuntiriladi. Ayniqsa rentgen nurlarining ochilishi fizika va boshqa fanlarning kelajagini belgilaydi desak xato qilmaymiz.

Hozirgi davrda ko'plab kasalliklarning paydo bo'lishi va ularni diagnostika qilish va davolash oddiy usullar bilan bajarish qiyin, shu sababli tibbiyot va veterinariya xodimlari uchun bu nurlanishlardan amalda foydalanish muvaffaqiyatli amalga oshirilmoqda. Lazerlarning ishlatilish sohasiga e'tibor bersak, u shunchalik keng va samarali ularning qaysi sohada ishlatilayotganini emas, balki ishlatilmagan sohalarni sanash osonroqdir.

## Test savollari

- Rentgen nurlari nima?
  - to'liqin uzunligi 400 nm dan 760 nm gacha bo'lgan elektromagnit to'liqinlar;
  - elektronlar oqimi;
  - to'liqin uzunligi 80 nm dan  $10^{-6}$  nm gacha bo'lgan elektromagnit to'liqinlar;
  - chastotasi 20 kGs dan yuqori elektromagnit to'liqinlar.
- Rentgenografiya qaysi fizik jarayonga asoslangan?
  - odam va hayvon organizmidagi yutilish hodisasiga;
  - odam organizmidagi yutilish hodisasiga;
  - hayvon organizmidagi yutilish hodisasiga;
  - odam va hayvon organizmidan o'tayotgan rentgen nurlari ta'sirida ekranda hosil bo'ladigan lyuminessensiya hodisasiga.
- Rentgen nurlari tibbiyot va veterinariyada qanday maqsadlarda ishlatiladi?
  - odam va hayvonlar organizmini kuzatishda;
  - odam va hayvonlar organizmini davolashda;
  - tirik organizmni tashxis qilishda;
  - barcha javoblar to'g'ri.
- Rentgen nurlarining qanday turlari mavjud?
  - xarakteristik, qattiq;
  - xarakteristik, oq;
  - oq va yumshoq;
  - qattiq.
- Rentgen nurlari ta'sirida tirik organizmda sodir bo'ladigan o'zgarishlarni qanday bosqichlarga bo'lish mumkin?
  - uch bosqichga: 1) molekulalarda o'zgarish sodir bo'ladi; 2) hujayra; 3) butun organizmda mikroskopik o'zgarishlar;
  - ikki bosqichga: 1) hujayra; 2) butun organizmda mikroskopik o'zgarishlar;
  - bir bosqichga: 1) hujayra;

d) to'rt bosqichga: 1) molekulalarda o'zgarish sodir bo'ladi; 2) hujayra ; 3) butun organizmda mikroskopik o'zgarishlar. 4) organizm halokati.

6. Lazer nima?

a) rentgen nurlari hosil qilish;

b) yorug'lik nurlarining o'zaro qo'shilishi natijasida kuchayishi;

c) yorug'likni majburiy nurlantirish bilan kuchaytirish;

d) ikki nurning qo'shilishi.

7. Tibbiyot va veterinariyada lazerlar qanday maqsadlarda ishlatiladi?

a) jarroxlilikda;

b) oftalmologiyada;

c) o'simtalarni kuydirishda;

d) barchasi to'g'ri.

8. Necha xil lyuminessensiya turi mavjud?

a) fluoressensiya, elektrolyuminessensiya;

b) fosforessensiya, fluoressensiya;

c) fotolyuminessensiya, himilyuminessensiya;

d) katodolyuminessensiya, rentgenlyuminessensiya.

9. Yakkalangan atom qanaqa spektr chiqaradi?

a) yo'l-yo'l;

b) tutash;

c) chiziqli;

d) chiqarmaydi.

10. Lazer ixtirochisi kim?

a) N.G.Basov;

b) A.M.Proxorov;

c) Ch.Tauns;

d) Barchasi.

11. Suyak va suvning rentgen nurlarini yutish koeffitsiyenti qanchaga farq qiladi?

a) 38;

b) 48;

c) 58;

d) 68.

12. Rentgen tomografiya nima?

- a) rentgen nuri yordamida aniq organni tekshirish;
- b) rentgen nuri yordamida to'liq organizmni tekshirish;
- c) rentgen nurlarining yutilishi;
- d) rentgen nurlarining qaytishi.

13. Pauli prinsipi nima?

a) bitta qatlamda kvant soni bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin emas;

b) bitta elektron qatlamda to'rtala kvant soni bir xil bo'lgan ikkita elektron bo'lishi mumkin;

c) har bir elektron qatlamda istalgan elektron bo'lishi mumkin;

d) bitta elektron qatlamda uchtadan ortiq elektron bo'lishi mumkin emas.

14. Rezerford atomining planetar modelini qachon e'lon qilgan?

a) 1900;

b) 1905;

c) 1911;

d) 1913.

15. Rentgenostruktur analiz nima?

a) rentgen nurlar yordamida modda tarkibini aniqlash;

b) rentgen nurlari yordamida moddaga ta'sir ko'rsatishi;

c) rentgen nuri yordamida o'simtalarni kuydirish;

d) rentgen nuri yordamida moddada tirqish hosil qilish.

16. Quyidagi ifodalardan qay biri Balmer formulasi?

a) qatlamda  $\mathcal{G} = \lambda \cdot \nu$

b)  $\nu = R \left( \frac{1}{m^2} - \frac{1}{n^2} \right)$

c)  $\nu = \frac{1}{T}$

d)  $\nu = \frac{E}{h}$



## Sinov savollari

1. Atom tuzilishi haqidagi dastlabki tasavvurlar qanday edi.
2. Rezerford tajribasining mohiyati nimadan iborat.
3. Atom elektron qobiqlari qanday tuzilgan.
4. Balmer formulasi va seriyalarini tushuntiring.
5. Ko‘rinadigan sohada qanday seriyalar o‘rinli.
6. Bor postulatlari nimalardan iborat?
7. Frans-Gers tajribasining mohiyati nimadan iborat?
8. Rentgen nurlari qanday hosil qilinadi?
9. Rentgen nurlarining qanday turlarini bilasiz?
10. Rentgen nuri nima?
11. Tomografiya nima?
12. Rentgen nurlari veterinariyada qanday maqsadlarda ishlatiladi?
13. Lyuminessensiya nima?
14. Lyuminessensiya turlarini tushuntiring?
15. Lyuminessensiyadan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi?
16. Optik kvant generatorlari (OKG) nima?
17. Lazerlar turlari, tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring?
18. Lazerlardan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi.

§ 10.1. Atom yadrosining tuzilishi va fizik xarakteristikalari

Atom yadrosi haqidagi ta'limotlar XX asrning boshida intensiv rivojlanib bordi va hozirgi vaqtda bu sohada juda katta ishlar olib borilmoqda. Yadro energiyasidan tinchlik maqsadlarida ham ko'plab qo'llanishlar amalga oshirilmogda. 1932-yilda D.D.Ivanenko hamma yadrolar tarkibida ikkita zarrachalar, ya'ni protonlar va neytronlar borligi haqida gipotezani bayon qildi. Rezerford  $\alpha$ -zarrachalarning sochilishi bilan o'tkazgan tajribalarida atomning asosiy massasi uning markazida joylashganini aniqladi va uni yadro deb atadi. Yadro tarkibidagi proton musbat zaryadlangan bo'lib, zaryadi elektron zaryadiga tengdir, ya'ni  $e_+ = 1,6 \cdot 10^{-19}$  Kl, uning tinchlikdagi massasi  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27}$  kg. Neytron zaryadsiz zarracha bo'lib uning massasi  $m_n = 1,6748 \cdot 10^{-27}$  kg. Proton va neytronlar birgalikda nuklonlar deb ataladi. Hamma yadrolar musbat zaryadlangan bo'lib ular zaryadi protonlar zaryadi bilan aniqlanadi. Masalan: yadroda  $Z$  ta proton bo'lsa, u holda yadro zaryadi  $q_{ya} = Ze$  ga teng bo'ladi. Yadroning massasi atomning massasidan ozgina farq qiladi. Odatda yadro massasi maxsus birlikda (massaning atom birligi m.a. b) da o'lchanadi.

Massaning atom birligi uglerod  ${}^6_6C^{12}$  izohopi atomi massasining  $1/12$  qismi qabul qilingan: 1 m.a.b. =  $1,66 \cdot 10^{-27}$  kg.

U holda  $m_p = 1,00747$  m.a.b.  $m_n = 1,00892$  m.a.b.

Massa soni – yadrodagi nuklonlar soniga teng, ya'ni  $Z$  protonlar va  $N$  neytronlar bo'lsa, u holda massa soni

$$A = Z + N \quad (10,1)$$

Yadro quyidagicha belgilanadi  ${}^A_ZX$

Yadroda protonlar soni bir xil, ammo neytronlar soni har xil atomlar izotoplar deyiladi.

Masalan, vodorodning 4 ta izohopi mavjud:  $^1_1\text{H}$  vodorod,  $^2_1\text{D}$  ( $^2_1\text{H}$ ) deyeriy,  $^3_1\text{T}$  ( $^3_1\text{H}$ ) tritiy va  $^4_1\text{X}$  ( $^4_1\text{H}$ ) 4 ta nuklonli-nomi yo'q.

Bir kimyoviy elementning barcha izotoplari elektron qobiqlarining tuzilishi bir xil bo'ladi. Shuning uchun ularning fizik xossalari ham bir xil bo'ladi. Lekin yadro strukturasi kelib chiqadigan kimyoviy xossalari (massa soni, zichligi radioaktivligi va hokazolar) ancha farq qiladi. Bu farq, ayniqsa, yengil kimyoviy elementlarda yaqqol ifodalanadi. Shu sababli Mendeleev davriy tizimidagi ko'p atomlarning atom og'irligi butun son emas. Ya'ni ular ko'p izotoplar aralashmasidan iboratdir.

Rezerford birinchi bor tajribalar natijasiga binoan yadro radiusi  $10^{-15} - 10^{-14}$  m degan xulosaga kelgan yedi. Umuman barcha yadrolar radiuslari quyidagi formuladan taxminan hisoblanadi.

$$R = (1.45 \div 1.5) 10^{-15} A^{1/3} \quad (10.2)$$

Yadro fizikasida uzunlikning femtometr degan o'lchov birligi ishlatiladi.

(1 fm =  $10^{-15}$  m.) U holda (10.2) formula quyidagicha yoziladi.

$$R = (1.45 - 1.5) A^{1/3} \quad (10.3)$$

Yadro yeng zich modda hisoblanadi, uning zichligi taxminan  $4,1 \cdot 10^{17} \text{ kg/m}^3$  ga tengdir.

Yadroning spini nuklonlar spinlarining yig'indisidan iborat. Proton va neytronlar spinlari o'zaro teng bo'lib, quyidagiga teng  $S_1 = 1/2 \hbar$ .

Ko'pchilik hollarda spin  $\hbar$  o'lchamlarida aniqlanadi. Demak, proton va neytron spinlari  $1/2$  ga teng ekan.

Juft sonli nuklonlardan tashkil topgan yadroning spini  $\hbar$  ning butun sonlariga karrali yoki nol bo'ladi.

Masalan:  $^2_1\text{H}$  uchun  $\hbar$  ga teng.  $^4_2\text{He}$  – uchun esa nolga teng.

Toq sonli nuklonlardan tashkil topgan yadroning spinini  $S_2$  ga karrali, masalan,  $\text{H}^3 \frac{1}{2} \hbar$   $^{115}_{99}\text{M}$  uchun esa  $9/2 \hbar$ .

Yadro kuchlari – bu nuklonlarni bog‘lab turuvchi kuchlar bo‘lib, zarracha zaryadiga bog‘liq emas. Ular  $\sim 10^{-15}$  m masofada ta’sirlashadi. Yadro kuchlari to‘yinish xususiyatiga yega, ya’ni nuklon o‘zini o‘rab turuvchi hamma nuklonlar bilan emas, balki bir nechta aniq nuklonlar bilan ta’sirlashadi. Yadro kuchlari elektromagnit kuchlaridan ancha kattadir.

Yadroning massasi uni tashkil yetuvchi nuklonlar massalari yig‘indisidan kichikdir. Bu farqqa massa defekti deyiladi. Nisbiylik nazariyasiga asosan massa va energiya o‘zaro bog‘liqdir.

$$E = mc^2 \quad (10.4)$$

Yadro energiyasi ham nuklonlar energiyalari yig‘indisidan kichikdir.

Yadroni alohida nuklonlarga ajratish uchun zarur bo‘lgan energiyaga bog‘lanish energiyasi deyiladi.

(10.4) ga asosan bog‘lanish energiyasi uchun quyidagini yozish mumkin:

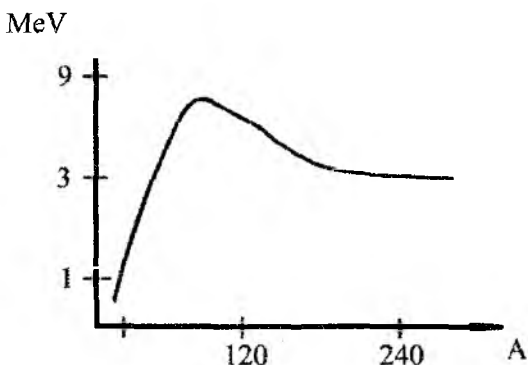
$$E_{\text{bog‘lanish}} = (Zm_p + Nm_n - M_x)c^2 \quad (10.5)$$

Im.ab.-taxminan 931 MeV energiyaga to‘g‘ri keladi. U holda bog‘lanish energiyasi

$$E_{\text{bog‘lanish}} = (Zm_p + Nm_n - M_x) 931 \text{ MeV} \quad (10.6)$$

Amalda bitta yadroni ikki bo‘lakka bo‘lishda kerak bo‘ladigan energiyani hisoblash zarur bo‘ladi. Bunday hollarda bitta nuklonga to‘g‘ri keladigan bog‘lanish energiyasi aniqlanadi.

Solishtirma bog‘lanish energiyasining atom massasiga bog‘lanish grafigidan ko‘rinadiki, maksimal bog‘lanish energiya 8,6 MeV massa soni  $A=50$  ga yaqin bo‘lgan yadrolarga to‘g‘ri keladi.



**10.1-rasm. Solishtirma bog‘lanish energiyasi( $\epsilon$ )ning atom massasi(A)ga bog‘liqlik grafigi.**

Agar tizim katta energiya holatidan kichik energiya holatiga o‘sa reaksiyada energiya ajraladi, ya‘ni boshqacha aytganda kichik bog‘lanish energiya holatidan katta bog‘lanishli energiya holatiga o‘tganda. Atomdagi jarayonlarga qaraganda yadrodagi jarayonlarda katta energiya talab qilinadi. Atomdan elektron urib chiqarish uchun bir necha o‘n elektron volt energiya kerak bo‘lsa, yadrodan nuklonni chiqarish uchun bir necha MeV energiya kerak bo‘ladi.

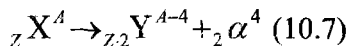
### **§ 10.2. Radioaktivlik, uning turlari va asosiy qonunlari**

Radioaktivlik deb turg‘un bo‘lmagan yadrolarning o‘zidan boshqa yadrolar yoki yelementar zarrachalar chiqarib yemirilishiga aytiladi. Buning xarakterli tomonlardan biri reaksiyaning o‘z-o‘zidan bo‘lishidir. Radioaktivlik ikki turga bo‘linadi: tabiiy va sun‘iy. Tabiiy radioaktivlikni 1896-yilda fransuz fizigi Bekkerel uranda aniqlagan, keyinchalik bu xususiyat boshqa og‘ir yadroli yelementlar aktiniy, toriy, poloniy, radiyga ham xos ekanligi aniqlandi. Poloniy va radiy nurlanishini 1898-yili Per va Mariya Kyurilar ochgan. Sun‘iy radioaktivlik esa yadro reaksiyalari paytidagi nurlanishlardir.

Tabiiy va sun‘iy radioaktivlikda prinsipial farq yo‘q. Bular uchun umumiy qonuniyatlar o‘rinlidir. Radioaktiv nurlanishlar o‘z

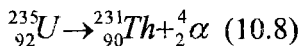
tabiatiga qarab murakkabdir. Nurlanishlarning uchta turi mavjud, ya'ni alfa, betta, gamma nurlanishlar.

Alfa nurlanishlarda yadro alfa zarrachalar chiqarib boshqa yadroga aylanadi. Buni quyidagi ko'rinishda tasvirlash mumkin.



X-onalik yadro, Y-bolalik yadro.

Uranning toriyga aylanishini quyidagicha ifodalash mumkin.



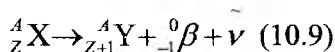
Ona yadro massasi bola yadro va  $\alpha$  zarralar massasidan katta bo'ladi (demak, energiyalari ham katta). Bu energiyalar farqi alfa zarracha va bola yadro kinetik energiyasiga teng bo'ladi. Reaksiyadan so'ng bola yadro normal va uyg'ongan holda ham bo'lishi mumkin.  $\alpha$ -zarralar elektr va magnit maydonlarida og'adi.  $\alpha$ -zarracha zaryadi  $+2e$  ga, massa soni 4 ga teng. Alfa zarrachalar radioaktiv moddalardan 10000–20000 km/s tezlik bilan uchib chiqadi. Bu esa 4–9 MeV kinetik energiyaga tengdir. Alfa zarrachalar moddadan o'tganda ularga o'z maydoni bilan ta'sir qilib ionlashtiradi va ikkita elektron qo'shib olib neytral geliy atomiga aylanadi. Alfa zarraning havoda o'tish yo'li 3–9 sm va ionlashtirish qobiliyati 250000 juft ionga teng. Alfa zarrachalar qalinligi 0,06 mm bo'lgan alyuminiy qatlamida yoki 0,12 mm bo'lgan biologik to'qima qatlamida to'la yutiladi.

Betta yemirilish – bu yadro ichida neytron va protonlarning o'zaro aylanishiga aytiladi. Buning uch xil turi mavjud.

Elektron yoki betta yemirilishda yadrodan betta-zaracha (elektron) uchib chiqadi va spektri tutash bo'ladi. Bu esa yadroning diskret energetik holatlardan tashkil topganligi to'g'risida tasavvurlarga to'g'ri kelmaydi. Shuning uchun 1932-yilda Pauli bu holda betta zarrachalar bilan kichik massali boshqa zarrachalar ham chiqadi degan gipotezani aytdi. Bu zarrani Fermi neytrino deb atadi. Keyinchalik aniqlanishicha, neytrino betta plyus yemirilishida hosil

bo'lar ekan. Beta minus yemirilishda esa antineytrino hosil bo'lar ekan.

Betta minus yemirilish sxemasi quydagicha tasvirlanadi.

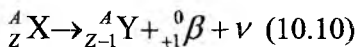


Masalan: tritiyning geliyga aylanishi  ${}^3_1H \rightarrow {}^3_2He + {}^0_{-1}\beta + \bar{\nu}$  bunda

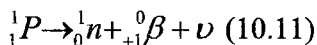
$\bar{\nu}$  -antineytrino

Betta yemirilish yadro ichida neytronning protonga aylanishida ham hosil bo'ladi

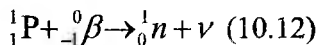
Pozitronli yoki betta + yemirilish sxemasi quyidagicha tasvirlanadi:



Yadroda protonning neytronga aylanishi ham beta+ yemirilishga kiradi,



Bunda yadro birorta ichki elektronni qabul qilib atomdagi uning protonini neytronga o'tkazadi.



$\beta$  – zarrachalar massasi  $\alpha$  – zarrachalarnikidan – 7350-marta kichik, o'rtacha tezligi 160000 km/s energiyasi 0,001–10 meV oralig'ida. Shuning uchun bularning ionlashtirish qobiliyati  $\alpha$  zarrachalarnikidan 100-marta kichik. Moddadan o'tish masofasi esa shuncha kattadir. Masalan, havoda 40 metrgacha alyuminiyda 2 sm va biologik to'qimada 6 sm gacha kiradi.

$\gamma$  – nurlanish – chastotasi juda katta ( $10^{20}$ Gs), to‘lqin uzunligi esa juda kichik ( $10^{-12}$ m) bo‘lgan fotonlar oqimidan iborat bo‘lib, energiyasi 1 meV atrofida.  $\gamma$ -nurlar yeng qattiq elektromagnit nurlar bo‘lib, rentgen nurlariga o‘xshash. Zaryadi yo‘q, tezligi 300000 km/s ga teng. Kristalldan o‘tganda difraksiyalanadi.  $\gamma$  – nurlar atom yadrosidan chiqadi.  $\gamma$  – nurlar ionlashtirish qobiliyati kichik, u havoda 100 ta (1sm da 1–2 ga juft) ion hosil qiladi. O‘tish qobiliyati katta, havoda yuzlab metr, 5 sm qo‘rg‘oshindan va kishi tanasidan bemalol o‘tadi. Radioaktiv nurlanish atomlarning elektron qobiqlaridan emas, balki atom yadrosidan chiqadi.

Radioaktiv nurlanish statistik hodisa bo‘lib, berilgan nostabil yadro qachon yemirilishini aytish qiyin. Faqat ehtimolligini aytish mumkin. Juda ko‘p yadrolar uchun yemirilmagan yadrolarning vaqtga bog‘liqligini ifodalovchi statistik qonunni chiqarish mumkin. Agar dt vaqt ichida d N ta yadro yemirilsa, u holda quyidagini yozish mumkin:

$$dN = -\lambda N dt \quad (10.13)$$

$\lambda$ - yemirilish doimiysi turli yadrolar uchun turlichadir.

“-“ har doim  $dN < 0$  ekanligini, ya’ni yemirilganda radioaktiv moddalar doim kamayib borishini ko‘rsatadi. (10.13) formulani integrallab quyidagini olamiz.

$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (10.14)$$

Bunda  $N_0$  – yadrolarning boshlang‘ich soni,  $N$  – qolgan yadrolar soni.

Bu radioaktiv yemirilishning asosiy qonunidir. Amalda  $\lambda$  o‘rniga yarim yemirilish davri qo‘llaniladi.

Yadrolarning yarmi yemirilishi uchun ketgan vaqtga yarim yemirilish davri deyiladi.  $\lambda$  va T orasidagi bog‘lanishni topish uchun



(10.14) da  $N=N_0/2^{t/T}$  deb olamiz. U holda  $N_0/2=N_0e^{-\lambda t}$  yoki  $1/2=e^{-\lambda t}$  buni logarifmlasak  $T=\ell n 2/\lambda=0,69/\lambda$

Radioaktiv moddalar bilan ishlaganda ulardan 1 sekunda chiqadigan zarralar va  $\gamma$ - fotonlar sonini bilish zarur. Bu son yemirilish tezligiga proporsional bo'lib, aktivlik deyiladi.

$$A = -dN/dt \quad (10.15)$$

(10.14) va (10.15) ga asosan  $A=dN/dt = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = N / \ell n 2$  bo'ladi.

Aktivlik vaqtga qarab eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi. Aktivlik birligi Bekkerel (Bk) qabul qilingan.

1Bk deb, 1 sekunda 1ta yemirilish bo'ladigan manbaning aktivligidir. Tizimdan tashqari va ko'p ishlatiladigan aktivlik birligi Kyuri (Ku).

1 Ku (kyuri) =  $3,7 \cdot 10^{10}$  Bk =  $367 \cdot 10^{10} s^{-1}$  Yana boshqa birlik ham mavjud.

$$1Rf (\text{rezerford}) = 10^6 \text{Bk}. \quad 1Rf = 1/37000 \text{Ku}.$$

Radioaktiv manba birlik massasining aktivligini xarakterlash uchun – solishtirma massa aktivligi kiritilgan (Bk/kg)

### § 10.3 Radioaktivlik

Hayot fizikasi. Bu bo'limda radiatsiyaning organizmga ta'siri o'rganiladi. Boshqa nurlanishlar nima? Ular qanday xavfga ega? Odam uchun qanday nurlanish normal hisoblanadi. Nurlanish manbalarini qayerlardan topish mumkin.

Ionizasion nurlanish. Nurlanishning 3 turi mavjud.

1.  $\alpha$  –nurlanish  ${}_2\text{He}^4$  ning yalong'ochlangan yadrosi, ya'ni geliyning tashqi orbitasidan elektron chiqib ketadi. Bu ionizasion jarayon ma'lum kinetik energiya talab qilinadi.  $\alpha$  –zarrachalar moddaga tushganda bir qism energiyasini yo'qotadi. Bu nurlanish u qadar kuchli emas, uni bir varaq qog'oz yordamida ham to'xtatish mumkin.  $\beta$  –nurlar esa to'qimaga 6 sm gacha kirishi mumkin.

2. Neytron nurlanish. Bu nurlanish ta'sirida modda molekulalar ionlashmaydi, lekin u moddadagi protonni chiqarib ion hosil qilishi mumkin.

Suvga tushganda  $H^+$  va  $OH^-$  radikallar hosil bo'ladi. Bu nurlar ta'sirida hujayrada katta o'zgarishlar bo'ladi, ya'ni rak kasalligiga olib kelishi mumkin.

3. Rentgen nurlari va  $\gamma$ -nurlanish. Rentgen va  $\gamma$ -nurlar elektromagnit to'lqinlar yoki fotonlar oqimidan iborat. Rentgen nuri to'lqin uzunligi 3 nm,  $\gamma$ -nurniki 0,03 nm ga teng. Bu nurlar moddaga kirish qobiliyati ancha yuqori ta'siri bo'lganda foton energiyasini beradi va atomdan chiqib ketadi. Bu  $\beta$  zarrachalar esa moddaga ta'sir qiladi.

Nurlanish dozasi.

Nurlanish to'qimaga tushganda qanday hodisalar yuz beradi. Biz nurlanishning to'qima massasiga nisbati bilan aniqlanadigan doza nurlanishini qarab chiqamiz.

Ion juft hosil qilish uchun nurlanish dozasini birlik massa tomonidan yutgan dozaga nisbatan olinadi, ya'ni

$$1 \text{ grat} = 1 \text{ j/kg}$$

(oldinlari "rad" qabul qilingan yedi,  $1 \text{ grat} = 100 \text{ rad}$ ).

Shu bilan birga nurlanish ionizatsiyasi yakka ko'rsatkich emas. Nurlanish qancha zich bo'lsa, u holda u shuncha biologik kuchli ta'sir qiladi. har bir nurlanishning sifat ko'rsatkichi bor. Sifat ko'rsatkichiga qarab uning ta'sir effekti ham yuqori bo'ladi. Masalan, neytron nurlanishining sifat ko'rsatkichi 20 ga teng.  $\alpha$ -zarrachalarniki 20,  $\beta$  va  $\gamma$ -nurlariniki 1 ga teng.

Odam organizmida nurlanishni o'lchash uchun ekvivalent doza ishlatiladi. Bu zivert bo'lib,  $1 \text{ zivert} = 1 \text{ grat} \times 1 \text{ sifat ko'rsatkichi}$ . (avvallari "chet" o'lchov birlik ishlatilgan, ya'ni  $1 \text{ zivert} = 100 \text{ chet}$ ).

Hayot uchun xavfli ta'sir yetuvchi effekt. Ta'sir qilish vaqti kichik (minut yoki soat) va katta (xaftalab) bo'lishi mumkin. Ta'sir vaqti qancha katta bo'lsa, u shunchalik ko'p nurlanadi. Qisqa vaqt ichida katta doza ta'sir qilsa 6 zivertdan katta bo'lsa, bir zumda halok bo'ladi. 4 zivert bo'lsa 50% o'lish ehtimoli bor.

1 zivert bo'lsa miyaga qon qo'yilish ehtimoli mavjud. 0,75 zv. bo'lsa, ko'ngil aynish, qusish, soch to'kilishi, yarim zv. da esa suv ichgisi keladi. 0,1 zv. dan katta bo'lganda ximiyaviy effektlar kuzatiladi.

Oldin nurlangan kishilarda hech qanday effektlar bo'lmasligi mumkin, lekin ba'zi hollarda buning asorati leykimiya yoki ilik rakiga olib kelishi mumkin. Nurlanish kelajak avlod uchun ham ta'sirini o'tkazishi mumkin. Agarda ota-onadan bir otasi 1 zivert nurlanish bilan zaharlangan bo'lsa, u holda ularning farzandlari yoki nabiralarning nur kasalligiga chalinishi 4/1000, ya'ni (0,4%) ehtimolga ega.

Risk dozaga proporsional holda bo'ladi, lekin ba'zi hollarda bunday bo'lmasligi ham mumkin.

Xerosima va Nagasaki hamda Chernobil AES atrofidagi odamlarda o'tkazilgan tekshirishlardan xavfli o'simtalar paydo bo'lishi uchun zarur bo'lgan dozalarni aniqlash ehtimolligini ko'rsatish mumkin.

1 Zv. Dozaga nurlanish 1/50 yoki 2% ehtimollik bilan odamning o'lishini ko'rsatadi.

Ba'zi radioaktiv moddalarning nurlanish quvvati:

Odam organizmi 150 mg kaliy bo'lib, shunda 0,012% – radioaktiv 40 mZv/yil radon 0,39 mZv/yil, kaliy, uran va toriy 0,28 mZv/yil.

Kosmik nurlar 0,27 g, jami 3,0 mZv/yil.

Umumiy nurlanish quvvati 3,0 mZv/yil ga teng bo'lar ekan.

Joyiga qarab radioaktivlik o'zgaradi. Radioaktivlik tabiiy hodisa bo'lib, asosiy fenomen hisoblanadi.

Nurlanishning boshqa manbalari.

10-marta samolyotga uchgan yo'lovchi olgan dozasi 1 yilda 30 mZv.

1 yil davomida televizoh ko'rgan odam uchun 2–15 mZv, elektrostansiyada ishlovchi xodim 1 yilda 0,2 mZv, rentgen nuridan 1 yilda olgan dozasi 100 mZv, flarissint manbalaridan olingan doza 100 mZv.

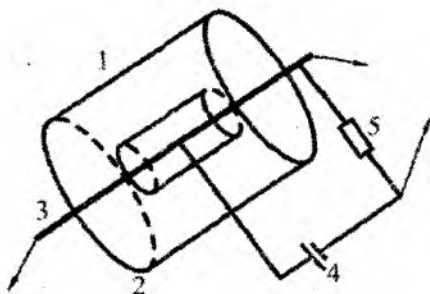
Bundan tashqari 1 yil davomida odam tabiiy va sun'iy nurlanishlardan 3,6 mZv/yil nurlanish oladi.

1999-yilgi aktiga binoan yuridik cheklanish 1+20 mZv/yilda yoki 50 mZv/yil – 5 yilda 100 mZv nurlanish olishi mumkin.

#### § 10.4. Radioaktiv nurlarni qayd qilish usullari

Atom yadrolarini va yadrodagi ichki jarayonlarni o'rganishda juda ham kichik zarrachalar (elektronlar, protonlar,  $\alpha$ -zarrachalar va hokazolar) bilan ish ko'rishga to'g'ri keladi. Bu mikrozar-rachalarni kuzatish va qayd qilish uchun yadro fizikasi asosan quyidagi asboblardan foydalanadi: ionizasion hisoblagich, ssintillyasiya hisoblagich, Vilson kamerasi, pufakli kamera, qalin qatlamli fotografiya yemulsiyasi va boshqalar.

Ionizasion schyotchigi – bu harakatlanayotgan zaryadlangan mikrozar-racha gazni ionlashtirishida gazda razryad paydo bo'lishini qayd qiladi.



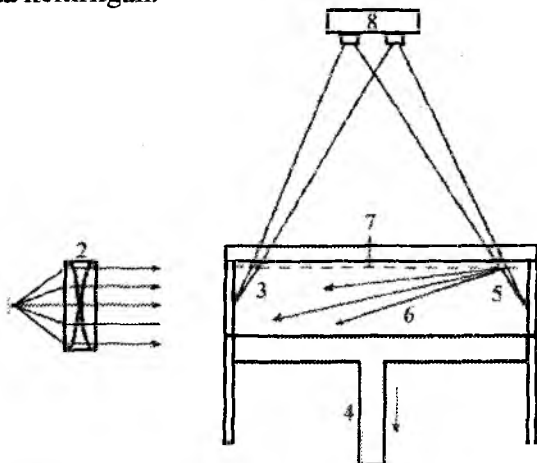
10.2-rasm. Geyger – Myuller hisoblagichi: 1-shisha ballon, 2-kondensor, 3-metall tola, 4-batareya, 5-qarshilik.

U shisha idishdan iborat bo‘lib, ichi 100 – 200 mm.sm ust. bosimida gaz bilan to‘ldirilgan. Metall tolaga batareyadan yuqori omli, qarshilik orqali kuchlanish beriladi. Agar idishga zaryadlangan zarracha uchib kirs, gazni ionlashtiradi va gaz razryadi vujudga keladi.

Kondensator zanjiridan o‘tadigan qisqa muddatli tok tufayli qarshilikdagi kuchlanish hosil bo‘ladi. Kuchlanishning bunday tebranishi odatdagi radiotexnik usullarda kuchaytiriladi va so‘ngra signal lampochkasining chaqnashi yoki elektrotexnik hisoblagich strelkasining harakati bilan qayd qilinadi. Bu hisoblagich har sekunda 10000 zarrachani qayd qila oladi.

Ba‘zi detektorlar zarrachalarning trayektoriyasini aniqlashda qo‘lla-niladi. Vilson kamerasi, diffuzion va pufakchali kameralar shular jumlasidandir.

Vilson kamerasini 1912-yilda ingliz fizigi Vilson ixtiro qilgan. Bu kamera ishi havoda uchib o‘tayotgan mikrozarracha hosil qiladigan ionlarning o‘ta to‘yingan bug‘ uchun kondensasiyalanish markazlari bo‘lib qolishiga asoslangan. Vilson kamerasini tuzilishi 10.3-rasmda keltirilgan.



**10.3-rasm. Vilson kamerasi. Bunda 1- yorug‘lik manbai, 2 – kondensator, 3 – kamera, 4 – porshen, 5 – radioaktiv preparat, 6 – nurlar, 7 – elektr kuchlanishni berish uchun yupqa simdan yasalgan to‘r, 8 – stereofotokamera**

Bunda suv bug'ı o'ta to'yingan holatga o'tadi va kameraga silindr devorining yupqa qismidan o'tib kirgan mikrozaracha hosil qilgan ionlarda kondensasiyalanadi. Zarrachalarning butun yo'lini suv tomchilari qoplaydi. Kameraning ichki hajmini yoritib, bu yo'lni – treklarni kuzatish yoki suratga olish mumkin. Trekning ko'rinishiga qarab ionlanuvchi zarachaning tabiati to'g'risida fikr yuritish mumkin (masalan, elektronning treki  $\alpha$  – zarrachasidan ingichkaroq va uzunroq bo'ladi).

**Tayanch tushunchalari:** Atom yadrosi, massa soni, massa defekti, bg'-linish reaksiyasi protonlar, bog'lanish energiyasi. massaning atom birligi, radioaktivlik, yarim yemirilish vaqti, termoyadro reaksiyalari.

### Xulosalar

Radioaktiv nurlarning tirik organizmga ta'siri turlichadir. Normadan ortiqcha ta'sirlar organizm to'qimalarini buzadi. Shuning uchun ekspozasion doza va nurlanish dozasi degan tushunchalar kiritilgan. Radiatsiyadan himoyalaniş ham muhim ahamiyatga ega. Yadro tuzilishi haqidagi ta'limot yaqindagina o'z rivojini topdi. Lekin shunga qaramasdan hozirgi vaqtda yadroda bo'layotgan jarayonlardan amalda keng foydalanilmoqda. Yadroda bo'linish va sintez reaksiyalari kelajak energetikasining asosini tashkil qiladi. Boshqa energiya zahiralari tugab bormoqda. Radioaktiv nurlardan qishloq xo'jaliginig turli sohalarida keng qo'llanilmoqda (urug'larni nurlantirish, stirlizasiya, hayvonlarni davolash va hokazolar).

## Test savollari

1. Atom yadrosining tarkibiy qismi nimalardan iborat?

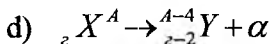
- a) protonlar, elektronlar;
- b) elektronlar, ionlar;
- c) protonlar, neytronlar;
- d) ionlar, neytronlar.

2. Radioaktivlikning asosiy qonuni ifodasini ko'rsating?

a)  $N = N_0 e^{-\lambda t}$

b)  $I = I_0 e^{-\alpha x}$

c)  $A = \lambda N$



3. Quyidagilardan qay biri yadroning yarim yemirilishi davrini ifodalaydi?

a)  $T = \frac{1}{\nu}$

b)  $T = \frac{0,693}{\lambda}$

c)  $T = \frac{t}{N}$

d)  $T = 2\pi\sqrt{LC}$

4. Tirik organizmga bir xil energiya miqdori olib kelayotgan nurlarning qay biri kuchli hisoblanadi?

- a)  $\alpha$
- b)  $\beta$
- c)  $\gamma$
- d)  $\ell$

5. Quyidagi ifodalardan qay biri bog'lanish energiyasini ko'rsatadi?

a)  $E = \frac{m g^2}{2}$

b)  $E = m \cdot c^2$

c)  $E = (Zm_p + Nm_n - M_x)c^2$

d)  $E = mgh$

6. Massa defekti nima?

- a) nuklonlar massasi;
- b) nuklonlar alohida massasi;
- c) nuklonlarning birgalikdagi va alohida massalari farqi;
- d) yadrodagi nuklonlar massasi.

7. Radioaktiv yemirilish turlarini keltiring?

- a) sun'iy;
- b) tabiiy;
- c) tabiiy va sun'iy;
- d) hammasi noto'g'ri.

8. Radioaktivlikning ekologiyaga qanday ta'siri bor?

- a) radiasiya ekologiyaga ta'sir qilmaydi;
- b) radiasiya ekologiyani yomonlashtiradi;
- c) radiasiya tabiatga qisman ta'sir qiladi;
- d) radiasiyaning ba'zi turlarigina ekologiyaga ta'sir qilishi mumkin?

### Sinov savollari.

- 1. Atom yadrosi nimalardan tashkil topgan?
- 2. Yadro kuchlari nima va u qanday xarakterga ega?
- 3. Massa defekti deb nimaga aytiladi?
- 4. Bog'lanish energiyasi nimaga teng?
- 5. Izotoplar deb qanday moddalarga aytiladi?
- 6. Radioaktivlik deb nimaga aytiladi?
- 7. Yemirilish qonuni nimadan iborat?
- 8. Yarim yemirilish davri deb nimaga aytiladi?
- 9. Radioaktiv yemirilish turlarini tushuntiring.
- 10. Radioaktiv zarrachalarni qayd qilishning qanday usullarini bila-siz?



## XI bob. RADIOLOGIYA ASOSLARI

### §11.1. Radiologiya predmeti va tarixi

Biosfera evolyutiyasi doimiy ionlanuvchi radiyasiya ta'sirida kechganligi tufayli, tirik organizmlarning nurlanishga biologik javobi mexanizmi paydo bo'lgan. XIX asr oxirida Rentgen nurlarining va radioaktiv yemirilish hodisasining ochilishi va shundan so'ng biologik tizimlarning ionlanuvchi ta'sirlarga reaksiyalarini har tomonlama o'rganish radiobiologiya fanining paydo bo'lishiga sabab bo'ldi. XX asrda radiobiologiyaning tez rivojlanishiga atom qurollarining yaratilishi va ularning Xirosima va Nagasakini bombardimon etishda ishlatilishi, yadro qurollari sinovlari, atom energetikasining rivojlanishi tufayli radiatsion fonning ortishi, radiatsion avariya ta'sir etdi.

Radiobiologiya (lotincha radio-nurlanish) – ionlanuvchi nurlarning tirik organizmlarga ta'siri haqidagi fandır.

Ionlanuvchi nurlanish deb, uning muhit atom va molekulariga ta'sirida turli ishorali ionlar hosil bo'lishiga olib keluvchi nurlanishlarga aytiladi. Ionlanuvchi nurlanishlarga:  $\alpha$ -,  $\beta$ - nurlar, proton, neytron va turli shakldagi foton nurlanishlar (rentgen va  $\gamma$ -nurlar) kiradi. Ionlanuvchi nurlanishga infraqizil, ultrabinafsha, odam ko'zi ko'radigan yorug'lik kirmaydi.

Ionlanuvchi nurlanishlar energiyasi molekulyar aro va molekular ichki bog'lanish energiyasidan kattadir.

Radiobiologiyaning asosiy masalasi ionlanuvchi ta'sirga biologik javobning umumiy qonuniyatlarini ochishdan iborat.

Radiobiologiyaning asosiy vazifalariga quyidagilar kiradi:

- biologik obyektlarining nurlanishga reaksiyalarini o'rganish;
- organizmlarning turli radiosezgirlik sabablarini tushuntirish;
- organizmlarni ionlanuvchi nurlanishlar ta'siridan himoya yetish usullarini izlash;

- organizmlarning nurlanishdan keyingi tiklanish mexanizmlarini o'rganish;
- atrof-muhitning radiasiya darajasi oshishi haqini baholash;
- ionlanuvchi nurlanishlardan tibbiyotda, qishloq xo'jaligida va sanoatda foydalanish yo'llari va vositalarini izlash.

Ionlanuvchi nurlanishning tirik organizmlarga ta'sirining xususiyati biologik obyektning yutgan energiyasi kichik qiymati bilan uning biologik ta'siri o'ta kuchliligi hisoblanadi. Bunday mos kelmaslik asosiy radiobiologik paradoks deb ataladi. Masalan, ionlanuvchi nurlanishning turiga bog'liq bo'lmagan holda 10 Gr dozadagi nurlanish barcha sut emizuvchilar uchun halokatlidir. Agar bu energiyani issiqlik energiyasiga aylantirsak, odam organizmi harorati atigi  $0,001^{\circ}C$  gagina oshadi.

Har qanday tirik mavjudot ionlanuvchi nurlanishdan halok bo'lishi mumkin. Biroq, o'limga olib keluvchi nurlanish dozasi (letal doza) turli obyektlar uchun turlichadir. 11.1-jadvalda turli biologik obyektlar uchun 50% ni halok bo'lishiga olib keluvchi foton nurlanishlari dozalari keltirilgan.

11.1-jadval

**Nurlangan organizmlarning 50% ni halok bo'lishiga olib keluvchi foton nurlanishlar dozasi  $D_{50}$ , Gr ( Yarmonenko, 1984)**

Biologik tur	$D_{50}$ , Gr	Biologik tur	$D_{50}$ , Gr
Odam	2,5–3,5	Qushlar	8,0–20,0
Qo'y	2,0–3,8	Baliqlar	8,0–20,0
It	2,5–3,0	Ilonlar	80,0–200,0
Maymun	2,5–6,0	Hasharotlar	10,0–100,0
Sichqon	6,0–15,0	O'simliklar	10,0–1500,0

Radiobiologiya fizika, biofizika, biokimyo, molekulyar biologiya, sitologiya, genetika, fiziologiya kabi fanlar bilan bog'liq. Radiobiologiyani nazariy qarashlari ionlanuvchi nurlanishning

tirik organizmlarga ta'sirini o'rganuvchi fanlar uchun katta ahamiyatga ega.

Hozirgi paytda radiobiologida maxsus ilmiy yo'nalishlar ajralib chiqdi: radiasion biokimyo, radiasion genetika, radiasion ekologiya, klinik dozimetriya v.h.

Radiobiologiya eksperimental fan bo'lib, unda tirik tabiatning molekulyar darajasidan biosferagacha tekshirishlar olib boriladi.

Radiobiologiyaning paydo bo'lishi V.K.Rentgenning X-nurlarni (1895-y.), A. Bekkerelning uran tabiiy radioaktivligini (1896-y.) va M.Sklodovskaya- Kyuri va P. kyurining poloniy va radiy radioaktiv xossalari (1898-y.) ochilishi bilan bog'liq. Rentgen nurlari ochilishidan so'ng ionlanuvchi nurlanishning biologik ta'sirini o'rganish boshlandi. G. Hyeyneke rentgen nurlari bilan sichqonlarga ta'sir yetib nurlanishli anemiya va leykopeniyani o'rgandi. 1903-yilda D. Bun hujayra radiosezgirligida uning yadrosi shikastlanishi rolini aniqladi. Radiobiologiyaning boshlang'ich davrida ionlanuvchi nurlanish ta'sirida hujayralar bo'linishi sekinlashuvi (Kornike, 1905) va turli hujayralarning nurlanishga reaksiyalarida farqi borligi (Bergone va Tribondo, 1906) aniqlandi.

XX asrning birinchi choragida ionlanuvchi nurlanishning embriogenezga ta'siri o'rganildi. Shu davrda radiobiologiyaning miqdoriy bog'lanishlari tadqiq etila boshlandi. 1922-yilda F. Dessauyer hujayrada ionlashish hodisalarini tushuntiruvchi birinchi nazariyani taklif etdi, amerikalik olim G. Miller ionlasshtiruvchi nurlanishning mutagen ta'sirini ochdi.

XX asrning 40–60 yillarida AQSh, Yyyevropa va Rossiyada yirik atom markazlari qoshida maxsus radiobiologiya laboratoriyalari tashkil etildi. Shu paytlarda amerika olimlari A.Hollender, G.Kurtis, A.Sperrou, V.Rasel, ingliz olimlari L.Grey, P.Aleksandr, J.Lautit, fransuz olimlari P.Latarje, J.Mate, olmon olimlari K.Simmer,U.Hagen,B.Rayevskiy, yapon olimi T.Sugahara, rus olimlari A.Kuzin,N.Dubin 1945-yilda Hirosima va Nagasaki shaharlarida atom bombalari portlatilganidan so'ng radiobiologik

effekt mexanizmlari va nur kasalligi patogenezini o'rganishga, nurlanishdan himoya usullarini ishlab chiqishga katta e'tibor berishdi.

O'zbekistonda 1956-yilda Yadro fizikasi instituti tashkil etilgach radiobiologiya tadqiqotlari boshlandi. 1964-yilda akademik Yo.X.To'raqulov va R.Isloimbekovlar qalqonsimon bezning kasalliklarini davolashda ionlanuvchi nurlanishlardan foydalangani uchun davlat mukofotiga sazovor bo'lishdi. SamQXI fizika kafedrasida ishlagan dosent M.Yangibayev ham akademik Yo.X.To'raqulov rahbarligida qalqonsimon bezga ionlanuvchi nurlanish ta'sirini o'rgandi. 1976-yilda nishonli radiopreparatlar chiqarish yo'lga qo'yildi. O'zbekistonda radiobiologiya sohasida salmoqli hissa qo'shgan olimlar qatorida A.Qosimov, J.Musayev, N.Nazirovlar ham bor.

1950–60 yillarda turli mamlakatlarda radionuklidlarning tarqalishi va tirik organizmlarda to'planishiga oid tadqiqotlar o'tkazilishi natijasida yadro qurollarining atmosferada, suv ostida va kosmosda sinovlarini o'tkazishni taqiqlash haqidagi xalqaro shartnomalar qabul qilindi.

Radiobiologiyaning dolzarb masalalarini o'rganish uchun Birlashgan Millatlar Tashkiloti qoshida maxsus qumitalar tashkil qilindi.

Hozirgi davrda radiobiologiyada hujayralar radiasion shikastlanishi mexanizmlari, nurlanish kasalligini davolash usullari, radiasion kanserogenez mexanizmlari, kosmik radiobiologiya masalalarini o'rganish bormoqda.

## **§ 11.2. Modda bilan radiasiyaning o'zaro ta'siri fizikasi va kimyosi**

To'qnashish paytida ionlashtirishga yetarli kinetik energiyaga ega bo'lgan zaryadli zarrachalar (elektronlar, protonlar,  $\alpha$ -zarrachalar) tashkil yetgan nurlanishlar bevosita ionlanuvchi nurlanish deyiladi. Zaryadlanmagan zarrachalardan (neytronlar,

fotonlar) iborat nurlanishlar bilvosita ionlanuvchi nurlanish deyiladi. Bunday ionlanuvchi nurlanishlar yadro o'zgarishlariga sababchi bo'ladi. O'zining fizik tabiatiga ko'ra ionlanuvchi nurlanishlar elektromagnit va korpuskulyar turlarga bo'linadi.

Elektromagnit nurlanishlarga rentgen va  $\gamma$  – nurlar kiradi. Bu nurlar fazoda yorug'lik tezligi bilan tarqaluvchi elektromagnit to'liqlardir. Rentgen nurlari xarakteristik va tormozli tiplari mavjud. Tormozli nurlar katta tezlik bilan harakatlanayotgan zaryadli zarrachalarning elektr maydonida tormozlanishi paytida hosil bo'ladi. Xarakteristik nurlar uyg'ongan atomlarda ichki elektron qobiqlarda energetik o'zgarishlar natijasida hosil bo'ladi.  $\gamma$  – nurlar radioizotoplarda yadro o'zgarishlari mahsulidir. Rentgen va  $\gamma$  – nurlar spektri bir-biriga tutashib ketadi.

Korpuskulyar nurlanishlarga elektronlar va pozitronlar ( $\beta$  – zarrachalar), protonlar, deutronlar,  $\alpha$  – zarrachalar va og'ir ionlar, neytronlar, mezonlardan iborat oqimlarga aytiladi. Korpuskulyar nurlanishlar katta energiyaga ega bo'lib, moddalardagi atomlarni ionlashtirishi mumkin.

Ionlanuvchi nurlanishlarning biologik obyektlarga ta'siri bosqichlari 11.2- jadvalda keltirilgan.

11.2-jadval

Ionlanuvchi nurlanishlarning biologik obyektlarga ta'siri bosqichlari

N	Hodisalar	Bosqich davomiyligi
1.	Fizik-kimyoviy bosqich (ionlanuvchi energiyaning ko'chishi va o'yg'onish jarayoni)	$10^{-12} - 10^{-8} s$
2.	Kimyoviy buzilishlar (erkin radikal-lar, uyg'ongan molekulalarning issiqlik muvozanatigacha)	$10^{-7} s$ – bir necha soatgacha
3.	Biomolekulalar buzilishlari (oqsillar,	$10^{-6} s$ – bir necha

	nuklein kislotalar va h.)	soatgacha
4.	Erta biologik effektlar (hujayra halokati, hayvonlar o'limi)	Soatlar – haftalar
5.	Uzoq biologik effektlar (o'simtalar hosil bo'lishi, genetik effektlar)	Yillar-yuz yillar

Zaryadlangan zarralar moddaga tushganda yadrolar va elektronlar bilan ta'sirlashadi, natijada moddaning va zarrachaning holati o'zgaradi. Bunda asosiy mexanizm  $\alpha, \beta, \gamma$  zarrachalarning moddada ionizasiya tormozlanishi natijasida energiyasining bir qismining yo'qolishidir, uning kinetik energiyasi modda atomlarining ionlashiga sarf bo'ladi. Zarralarning modda bilan ta'siri miqdor jihatdan 3 ta kattalik bilan aniqlanadi: solishtirma ionizasiya, solishtirma ionizasion yo'qotish, zarrachaning moddadagi yo'li.

Solishtirma ionizasiya deb, zarrachaning moddada 1sm yo'l bosganda hosil qilgan ionlar soniga aytiladi.

Solishtirma ionizasion yo'qotish deb zarrachaning 1sm moddada yurganda energiyasining o'zgarishiga aytiladi.

Zarrachaning moddadagi yo'li (R) deb, bu zarrachaning moddada tezligi issiqlik harakati tezligidan katta tezlikda harakatlanadigan masofaga aytiladi.

$\alpha$  - zarrachalarning muhitda bosib o'tgan yo'li solishtirma ionizasiyaga bog'liqdir.

Bitta molekulanı ionlashtirish uchun 34 eV ga yaqin energiya talab qilinishi sababli  $dE/dx=0,71 \div 2,7 \text{ MeV/sm}$  oralig'ida bo'ladi.

$\alpha$  - zarrachalarning o'tish masofasi uning energiyasiga bog'liq, havoda quyidagi formula bilan ifodalanadi:  $R=0,318e^{3/2}$ , bunda  $e$  -  $\alpha$  zarracha energiyasi

$\alpha$  - zarrachaning suyuqlikda va to'qimada, ya'ni tirik organizmda o'tish yo'li 10 – 100 mkm ga teng.

$\alpha$  - zarrachaning tezligi molekularlar issiqlik harorati tezligigacha sekinlashgach, u moddada ikkita elektronni tutib olib, geliy atomiga aylanadi.

Ionizatsiya va uygʻonish birlamchi jarayonlardir, ikkilamchi jarayonlar esa molekulyar kinetik harakat tezligi oshishi, xarakteristik rengen nurlar chiqishi, radiolyuminessensiya, kimyoviy jarayonlardir.

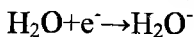
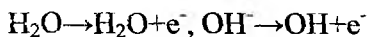
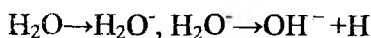
$\alpha$ -zarrachalarning yadro bilan taʼsiri ionizatsiya jarayonidan ancha yehtimolligi kamdir.

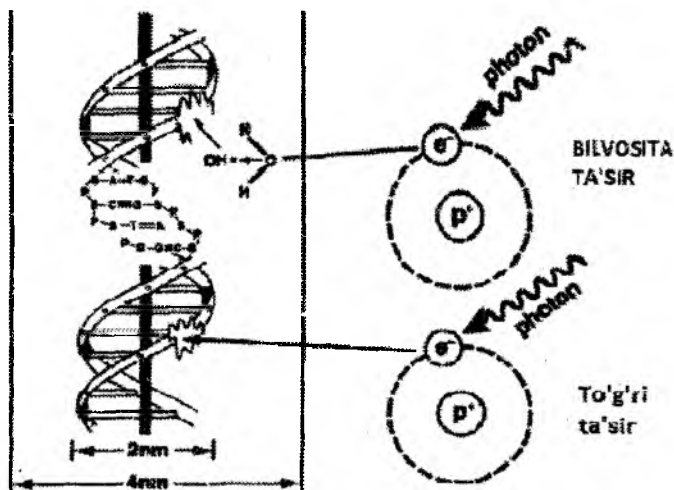
$\beta$ - zarrachalar toʻqimalarga 10–15 mm gacha kiradi. Alyuminiyda esa 0,4 mm, suvda 1,1 mm gacha kiradi.

$\gamma$ -nurlar moddaga tushganda rentgen nurlariga xos boʻlgan jarayonlardan (kogerent sochilish, Kompton effekt, fotoeffekt) tashqari elektron-pozitron juftligi hosil boʻlishi, fotoyadroviy reaksiyalar  $\gamma$ - fotonlar atomlarni ionlashtirishi ham boʻladi. Elektromagnit nurlanishlarning fotonlari biologik obyektlarga toʻgʻridan-toʻgʻri yoki bilvosita taʼsir yetishi mumkin. Bilvosita taʼsirda suvning radiolizi mahsulotlari orqali taʼsir yetiladi. Buni DNK misolida 11.1-rasm orqali koʻrsatsa boʻladi.

Elementar zarrachalarning biologik taʼsirlari turlichadir. Masalan, neytrino biologik taʼsir koʻrsatmaydi.  $\alpha$ - zarrachalar ham toʻqimaning yuza qismida toʻla yutiladi. Shuning uchun ham uning taʼsiri kuchsizdir. Bu zarrachalarning taʼsirida erkin radikallar yoki suvning kimyoviy almashinuvi (radioliz) va demak OH radikal va vodorod peroksid hosil boʻladi. Biologik tizim molekulari bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi.

Masalan, suv radiolizining mumkin boʻlgan mexanizmlari:





**11.1-rasm. Elektromagnit nurlanishning DNK molekulasiga bilvosita va to'g'ri ta'siri**

Kislorod bilan reaksiyada gidroperoksid va vodorod peroksidi hosil bo'ladi.



Suvning ionizasiyasida  $H_2O^+$  ioni va elektron  $e^-$  hosil bo'ladi. Bu elektron moddadan o'tishida o'zining energiyasini yo'qotib, suv ioni bilan rekombinasiya yetishi va neytral suv molekulasini hosil qilishi, yoki suv neytral molekulasini manfiy ionga  $H_2O^-$  aylantirishi mumkin. Bu ionlar nostabil bo'lib,  $H^+$  va  $OH^-$  ionlarga parchalanadi. Ular rekombinasiya tufayli suv molekulasiga va yerkin radikallarga aylanadi. Hidroksil radikal  $OH$  va vodorod radikali  $H^*$  yuqori reaksiyon xususiyatga yega.

### **§11.3. Radioaktivlik dozimetriyasi**

Nurlangan moddaga berilgan energiyaning shu modda massasiga nisbatiga nurlanishning yutilgan dozasi deyiladi:



$$D = \frac{dW}{dm}$$

O'lov birligi Grey (Gr) – u 1 kg massali nurlangan moddaga 1J ionlovchi nurlanish energiyasi berilishiga teng bo'lgan nurlanish dozasi tengdir.

Nurlanish dozasi quvvati sekundiga Greylarda (Gr/s) ifodalanadi. Nurlanish dozasi tizimdan tashqari birligi rad. (Radiation Absorbed Dose so'zlarining bosh harflari) 1 rad = 10<sup>-2</sup>Gr. Quvvatining birligi (rad/s) larda ifodalanadi.

Foton nurlanishi ta'sirini baholash uchun ekspozision doza tushunchasi kiritilgan. Amalda jism yutgan dozani nurlanishning uni o'rab turgan havoga ionlovchi ta'siri bo'yicha baholanadi. Ekspozision doza X fotonlar ma'lum hajmdagi havoda hosil qilgan bir xil ishorali barcha ionlar zaryadi yig'indisi dQ ning ushbu hajmli havo massasi dm ga nisbatiga deyiladi:

$$X = \frac{dQ}{dm}$$

SI tizimida birligi (Kl/kg). Amalda esa rentgen ishlatiladi. Bunday dozada 1sm<sup>3</sup> quruq havoning (0°C haroratda va 760 mm.sm.ust. bosimda) ionlashishi natijasida bu jarayonlar tugagan vaqtda har bir ishorasi 1 birl. SGSq ga teng bo'lgan zaryad tashuvchi ionlar hosil bo'ladi. 1R = 2,58 · 10<sup>-4</sup> Kl/kg. Ekspozision doza tushunchasi faqat foton nurlanishi uchun kiritilgani uchun undan foydalanish tavsiya yetilmaydi.

Yutilishva yekpozision dozalar o'zaro proporsionaldir  $D = f \cdot X$

Bunda  $f$  – o'tish koeffitsiyenti.

Suv va odam tanasining yumshoq to'qimalari uchun  $f = 1$

Ionlanish uchun odatda yutilish 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. Shuning uchun nurlanishning organizmlarga ta'sirini ko'rsatuvchi ekvivalent doza kattaligi qabul etilgan:

To'qimalarda yutilgan doza birday 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 uni nisbiy biologik effektivligi (NBE) deb ataladi.

Yutilgan doza sifat koeffitsiyenti bilan birgalikda ionlanuvchi nurlanishning biologik ta'siri to'g'risida ma'lumot beradi. ionlanuvchi nurlanishning yekivalent dozasi H yutilgan doza D bilan sifat ko'rsatgichi K ning ko'paytmasiga teng:  $H=K D$ .

Sifat koeffitsiyenti Rentgen,  $\gamma$  - va  $\beta$  - nurlar uchun 1, sekin neytronlar uchun 5, protonlar va tez neytronlar uchun 10,  $\alpha$  - zarrachalar uchun 20 ga teng.

Ekivalent doza birligi Zivert (Zv) standart tarkibli biologik to'qimaning yutilish dozasining sifat koeffitsiyentiga ko'paytmasi 1

$\frac{J}{kg}$  tengdir. Tizimdan tashqari birlik ber (rentgen biologik ekivalenti):  $1Zv = 10^2$  ber.

Turli ionlanuvchi nurlanishlarning yutilgan dozalari har xil biologik ta'sirga yega. Bu ta'sir yutilgan dozaning fazoda taqsimlanishini xarakterlovchi va energiyaning chiziqli uzatilishi deb ataladigan kattalik LET(Linear energy transfer) bilan aniqlanadi. LET moddaga zaryadlangan zarracha bergan enegiyaning uning moddada bosib o'tgan yo'liga nisbatiga teng:

$$LET = \frac{\Delta E}{\Delta l}$$

LET birligi J/m yoki nostandart birliklarda keV/mkm.

LET oshishi bilan hujayra mikrohajmining shikastlanishi oshadi. 11.3-jadvalda ayrim ionlanuvchi nurlanishlarning energiyasi chiziqli uzatilish kattaliklari keltirilgan (Hull va Giaccia, 2006).

Ayrim ionlanuvchi nurlanishlar uchun LET kattaliklari, keV/mkm

Co-60 $\gamma$ -nurlari	0,2
250 kV li Rentgen nurlari	2,0
10 MeV protonlar	4,7
150 MeV protonlar	0,5
14 MeV neytronlar	12
2,5 MeV $\alpha$ -zarrachalar	166
2 GeV Fe ionlari	1000

Nurlanishning nisbiy biologik effektivligi LET kattaligiga bog'liq. Nurlanishning NBE si 10 keV/mkm dan boshlab osha boshlaydi va 100 keV/mkm da maksimumga erishadi. LET ning bundan keyingi o'sishida NBE keskin kamayadi. Buning sababi yutilgan nurlanishning ma'lum dozasidan hujayraning o'limi sodir bo'ladi. LET oshishi bilan bunday hodisaning ehtimoliyati oshadi. Shundan so'ng energiya o'lgan hujayralarda yutila boshlaydi. Demak, ionlanuvchi nurlanish solishtirma effektivligi pasayadi. Bunga qayta o'ldirish (overkill) effekti deyiladi.

Tabiiy radioaktiv manbalari (kosmik nurlar, yer bag'ri hamda suv radioaktivligi, odam gavdasi tarkibidan yadrolar radioaktivligi va hokazolar) taxminan 125 mber ekvivalent dozaga mos fon hosil qiladi.

Nurlanish bilan ish olib borgan kishilar uchun bir yillik ruxsat etilgan dozasi 5 ber, o'limga olib boradigan dozasi 60 ber.

Ionlanuvchi nurlanishlarni o'lchash uchun mo'ljallangan asboblarni uch guruhga bo'linadi: radiometrlar, dozimetrlar va spektrometrlar.

Radiometrlar radioaktiv moddalar aktivligini, ionlovchi nurlar oqimi zichligini, turli jismlar, shu jumladan o'simlik va chorvachilik ozuqalari va mahsulotlarining solishtirma va hajmiy aktivligini o'lchash uchun mo'ljallangan.

Radiometrlarning deyarli barchasi nurlanishlarni sezuvchi qurilma-detektor, signallarni kuchaytirgich, sanoq asbobi, tok manbasidan iborat. Radiometrlardan PSO-2, UMF-2000, RUB-01P, "Betta" kabilar veterinariya-sanitariya laboratoriyalarida chorvachilik mahsulotlarini radiasion nazorati va  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{40}\text{K}$ ,  $^{226}\text{Ra}$ ,  $^{232}\text{Th}$  kabi radionuklidlar mavjudligini aniqlashda ishlatiladi. RUP-1 radiometri bilan turli sirtlarning  $\alpha$ -,  $\beta$ -aktiv moddalar bilan ifloslanganligini aniqlasa bo'ladi.

Dozimetrik asboblarda deb ionlovchi nurlar dozasini o'lchash yoki dozalar bilan bog'langan kattaliklarni aniqlovchi asboblarga aytiladi. Tuzilishi jihatdan ular yadroviy nurlanish detektori va o'lchov qurilmadan iborat bo'ladi. Odatda ular doza yoki doza quvvati birliklarida darajalangan bo'ladi.

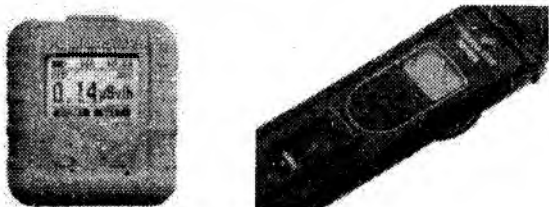
Ishlatiladigan detektor turiga qarab, dozimetrlarni ionizasion, lyuminessent, yarim o'tkazgichli, fotodozimetrlar va boshqa turlarga ajratiladi.

Rentgen va gamma nurlanishning ekspozision dozasini o'lchashga mo'ljallangan dozimetrlarga rentgenometrlar deyiladi.

Ularda detektor sifatida ionizasion kamera qo'llaniladi. Kamera zanjirlardan o'tuvchi zaryad ekspozision doza, tok esa uning quvvatiga pro-porsionaldir. Masalan, MRM-2-mikroengenometrlar DK-0,2-individual dozimetr kompleksi.

Detektorlari gaz razryad hisoblagichlaridan iborat bo'lgan dozimetrlar ham mavjud. Stasionar dozimetrlarga O'zbekiston chegara postlarida AQSh va Rossiya yordamida o'rnatilgan "Yantar" va "Sistema" ko'p kanalli asboblarda, Vj-18 dozimetri, UIM2-ikki kanalli dozimetrlar kiradi. Ko'chma dozimetrlar bilan doimiy radiasion nazorat kerak bo'lmagan binolar, fermalar, qishloq xo'jalik dalalarida nurlanish dozasi va doza quvvatini aniqlash mumkin. Bu asboblarda jumlasiga DRGZ-02, IRD-02B, SRP-68-01, ANRS-01 ("Sosna") va h. kiradi.

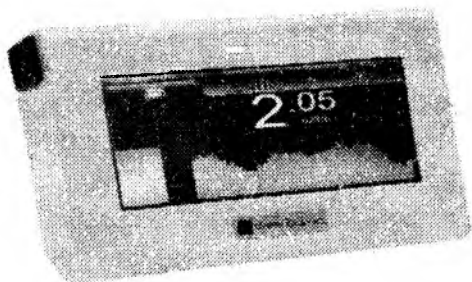
Individual dozimetrik asboblar KID-1, DK-02, DP-24 va h. rentgen va gamma nurlanishlar bilan ishlashda doza chegarasini o'lchashda qo'llaniladi. Bu dozimetrlar ishi ular ichidagi oldindan zaryadlangan kondensatorning ionlanuvchi nurlanish ta'sirida zaryadsizlanishiga asoslangan.



**11.2-rasm. Gamma-rentgen 11.3-rasm. PM1401K  
nurlar PM1610B dozimetri rusmli  
 $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$  - nurlar dozimetri**

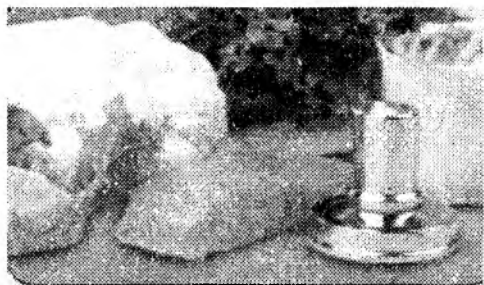
Individual rentgen va  $\gamma$ -nurlar dozimetri PM1610 nurlanishining energiyasi 20 keVdan 10 MeV gacha oraliqda o'lchaydi. Uning ko'rinishi 11.2-rasmda berilgan. 11.3-rasmda  $\alpha$ -,  $\beta$ -,  $\gamma$  - nurlar dozimetri PM1401K ko'rsatilgan.

Dalada dozimetrik o'lchovlarni olib borish uchun Areayexpert dozimetri mavjud. Uning yordamida 0,013 mR/soat quvvatdan 1000 mR/soat quvvatgacha bo'lgan nurlanishlarni o'lchash mumkin (11.4-rasm).



**11.4-rasm. Dala dozimetri Areayexpert 71210**

Gamma va neytronlar nurlanishini o'lchaydigan dozimetr DMC 2000 neytronlar uchun doza oraligi 10 mkZv/soat dan 10 Sv gacha, gamma nurlar uchun 1 mkZv dan 10 Sv gachadir (11.5-rasm). Oziq-ovqat mahsulotlarini radioyeksperiment qilish uchun chiqarilayotgan radiometrlardan PM1406  $^{137}\text{Cs}$  va  $^{40}\text{K}$  ning nurlanish dozasini o'lchaydi (11.6-rasm).



**11.5-rasm. Gamma va neytronlar radiometri nurlanishini o'lchaydigan dozimetr DMC2000 PM 1406**

Spektrometrlar nurlanishlarning energiya, zaryad va massa bo'yicha taqsimotini aniqlash uchun ishlatiladi.

Spektrometrlar  $\gamma$  – fotonlar energiyasini elektr impulsiga aylantiruvchi detektor, kuchaytirgich, tok manbasi, elektr impulslarini sanaydigan asbob (ossillograf, kompyuter) dan tashkil topadi.

Veterinar nazoratida MSPS-50 Ge, "Gamma-Plyus", "Progress" kabi spektrometrlardan foydalanishadi.

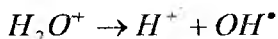
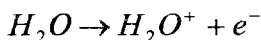
## Sinov savollari

1. Radiobiologiyaning predmeti va vazifalari nimadan iborat?
2. Ionlanuvchi nurlanish nima va uning qanday turlari bor?
3. Radioaktivlik nima va uning birliklari?
4. Ekspozision doza nima va uning birligi?
5. Yutilgan doza va uning birligi?
6. Nurlanish effektiv dozasi nima?
7. Nurlanish dozasi quvvati nima va uning birligi?
8. Ionlanuvchi nurlanishning biologik obyektlarga ta'siri bosqichlari qanday?
9. Radiasiyaning to'g'ri va bilvosita ta'siri mohiyati nimadan iborat?
10. Suv radiolizida qanday reaksiyalar kechadi?
11. LET kattaligi nimalarga bog'liq?
12. Ionlanuvchi nurlanish dozalarini o'lchovchi asboblarning qanday turlarga ajratiladi?
13. Radiometrlar nimani o'lchaydi va ularning tuzilishi qanday?
14. Dozimetrlar nima uchun ishlatiladi?

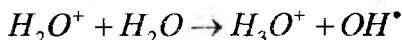
## XII bob. IONLANUVCHI NURLANISHNING BIOLOGIK TA'SIRI

### 12.1. Molekulyar va hujayra radiobiologiyasi

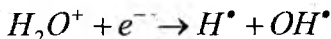
Ionlanuvchi nurlanish energiyasi biologik to'qimalardan o'tishida atom va molekularga beriladi. Natijada molekular uyg'onadi va ionlar hosil bo'ladi. Biologik to'qimalarning 60–70% ni suv tashkil qiladi. Nurlanish ta'sirida suvda radikallar hosil bo'lishi quyidagi tenglamalar bilan ifodalanadi:



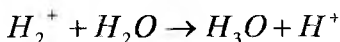
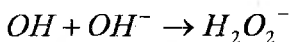
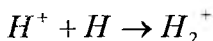
Ionlashgan suv molekulari boshqa neytral suv molekulasi bilan reaksiyaga kirib OH radikalini hosil qiladi:



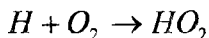
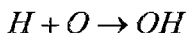
Atomidan uzilgan elektron tezda uzining energiyasini atrofidagi suv molekulariga beradi. Natijada suvning molekulasi uyg'ongan holatga o'tadi va ikkita radikal  $H^*$  va  $OH^*$  ga ajralib ketadi:



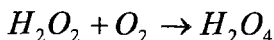
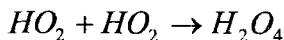
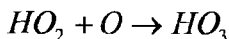
Parchalanish mahsulotlarining bir qismi o'zaro birikib molekula tiklanishi, yoki vodorod perioksidlar hosil bo'lishi mumkin:



Suv radiolizining mahsulotlari muhitdagi kislorod bilan birikib perioksidlar guruhiga kiruvchi quyidagi moddalarni hosil qilishi mumkin:



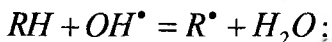




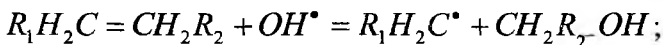
Ushbu moddalar kuchli oksidlovchi bo'lib hisoblanadi. Yuqorida keltirilgan reaksiyalar natijasida hujayralarda ko'p miqdorda faol oksidlovchi radikallar va uyg'ongan molekularlar hosil bo'ladi. Ushbu radikallar to'qimalarning biomolekularini jiddiy shikastlantirishi mumkin. Suv radiolizida hosil bo'ladigan yerkin radikallar va oksidlovchilar oksillar, fermentlar va boshqa biologik molekularlar bilan reaksiyaga kirishib organizmda biologik jarayonlar kyechishini o'zgartiradi. Natijada almashinish jarayonlari buziladi, fermentlar aktivligi susaytiriladi, to'qimalar o'sishi to'xtaydi, organizm uchun xos bo'lmagan yangi birikmalar-toksinlar hosil bo'ladi. Bu organizm hayot faoliyatida o'zgarishlarga sababchi bo'ladi.

Biologik makromolekulalarda suv radiolizi mahsulotlari ta'sirida ro'y beruvchi radiasion-kimyoviy o'zgarishlarning birinchi bosqichida quyidagi reaksiyalar natijasida yerkin radikallar hosil bo'ladi:

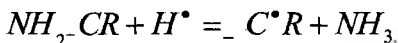
- -C-H bog'lar uzilishida vodorod atomlarining ajralishi:



- Uglerodlar qo'sh bog'larining uzilishi:



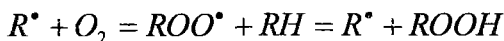
- Qushib olingan guruhning uzilishi:



Ikkinchi bosqichda radikallar o'zaro reaksiyalari va radikallar bilan boshqa molekularlar reaksiyalari boshlanadi:

- gidroksillanish:  $R^\bullet + OH(H) = ROH(H)$  va keyinchalik  $RC=O$  karbon bog'lar hosil bo'lishi;

- dimerlanish:  $R^{\bullet} + R^{\bullet} = R_2$ ;
- disproporsiyalanish:  $R^{\bullet} + R^{\bullet} = RH + RC = CR$ ;
- gidroperoksid aylanishlar:



Yerkin radikallar yuzaga chiqartirgan ushbu reaksiyalarga nurlanish ta'sir yetmagan ko'plab molekularlar jalb yetiladi. Bu ionlanuvchi nurlanishning biologik obyektlarga ta'sirining hususiyatidir.

Asosiy biologik makromolekulalarda nurlanish reaksiyalarini ko'rib o'tamiz.

Hujayra membranasi tarkibiga kiruvchi fosfolipidlarda ionlanuvchi nurlanish ta'sirida to'yinmagan yog' kislotasida qo'sh bog'larning yemirilishi ro'y beradi. Kislorod mavjudligida shundan so'ng gidroperoksid hosil bo'ladi va uning yemirilishi tufayli turli karbon birikmalar hosil bo'ladi.

Nuklein kislotalardan DNK da nurlanish ta'sirida uglevod asosda glikozid bog'larning va uglevod-fosfatning fosfoyefir bog'larining uzilishi ro'y beradi. DNK polinukleotidlari zanjir iplarining uzilishi natijasida DNK yemirilishi mumkin. Radiasiya ta'sirida nuklein kislotalarning o'zaro va oqsillar bilan birikmalari hosil bo'ladi. Bu o'zgarishlar darajasi yutilgan nurlanish dozasi bog'liq. RNK har soni ko'p bo'lgani va zarur bo'lganda sintezlanishi xususiyati tufayli ularning radiasion shikastlanishi hujayraning shikastlanishida DNK kabi rol ni o'ynamaydi.

Uglevodlarning radiolizida uglerod atomidan vodorodning uzilishi tufayli uglevod radikali paydo bo'ladi. Oddiy uglevodlar yeritmasi nurlanishi ta'sirida oksidli parchalanishi, aldegidlar ajralib chiqishi, uglevodlar zanjirining qisqarishi ro'y beradi. Disaxaridlar (maltoza, saxaroza, laktoza) nurlanganda kislorod bog'lari uzilib, ular shakarga aylanadilar.

Oqsillarning radiosezgirligi ularning tarkibiga kiruvchi aminokislotalar sezgirligi bilan bog'liq. Radiosezgirlik kamayishiga

qarab aminokislotalar qatori quyidagicha: oltinugurt borlari (sistein, metionin), tirozin, triptofan, gistidin, qoldig'ida azot bor guruhlariga yega bo'lganlari (arginin, asparagin, glutamin), qoldig'ida qo'shib olingan guruhlariga yega bo'lmagan, yoki  $-OH$  ga yega aminokislotalar (fenilalanin, prolin, valin, leysin, izoheysin, glisin, serin, treonin). Oksillar nurlanishdan shikastlanishi aminokislotalar qoldiqlarining joylashishiga, oqsil molekulasining tuzilishiga bog'liq.

Ionlanuvchi nurlanishning oqsillarga ta'sirida C-C bog'lar uzilishi bilan karboksil guruhlar, C-H bog'lar uzilishi bilan aminoguruhlar ajralishi boshlanadi.

Suvli muhitlarda oqsil molekulalarining radiasion-kimyoviy o'zgarishlarida suv radiolizi mahsulotlari  $-OH^{\bullet}$  radikali va gidratlashgan elektron muhim rolni o'ynaydi. Oqsil molekulasida energiya almashinishi natijasida yerkin radikalli shakllar hosil bo'lib, ular keyingi reasiyalarda qatnashadi. Ular ta'sirida oqsil molekulasida polimerlash jarayonlari boshlanishi, amidlar va karbonil birikmalar hosil bo'lishi mumkin, vodorod bog'larning buzilishi oqsil denaturasiyasiga (hayotiy xususiyatlarning yo'qolishi), oqsilning ikkilamchi va uchlamchi strukturasi yemirilishiga olib keladi. Oqsil konformasion holatining o'zgarishi ularning o'z-o'zini terish qobiliyatini susaytiradi.

Oqsillar molekulalarining ko'pligini hisobga olganda o'rtacha nurlanish dozalarida oqsil molekulalarining shikastlanishi hujayra hayoti uchun unchalik muhim emasdir.

## **12.2. Hujayralar va to'qimalarning nurlanishga reaksiyasi**

Hujayralar va to'qimalarning turli tiplari radiosezigirligi bo'yicha ancha farq qiladi. Agar limfositlar va suyak mugizi hujayralari 0,1 Gr nurlanishdan keyin halok bo'lsa, muskul va nerv hujayralari o'nlab Gr dozali nurlanishga ham chidaydi. To'qimalarning radiosezigirligidagi birinchi qonuniyatni 1906-yilda fransuz olimlari

Bergone va Tribondo ochishgan. Bu qonuniyat Bergone va Tribondo qoidasi deb ataladi va quyidagicha ta'riflanadi: To'qimalar, ularni tashkil yetuvchi hujayralar proliferativ faolligi qancha katta bo'lsa, shuncha radiosezgir bo'lishadi, va ular differensiallashuvi darajasi qancha baland bo'lsa, shuncha radiosezgirliги past bo'ladi.

Organizm hujayralari bitta tuqimaning o'zida ham turli radiosezgirlikka yega. Bu ular rivojlanishining bosqichiga, yoshiga, holatiga bog'liq. Hujayralarda 1000 R dozagacha nurlatishda bir zumdagi o'zgarishlar kuzatilmaydi. Dozaning miqdoriga qarab ular 2–3 sutkadan so'ng paydo bo'ladi. Sitoplazmada nurlanishdan so'ng quyidagilar ro'y beradi:

- yopishqoqlik o'zgaradi: kichik dozalarda kamayadi, katta dozalarda oshadi;
- sitoplazmaning vakuollashuvi;
- membranalarning elektrolitlar va suv uchun o'tkazuvchanligi oshadi-hujayradan kaliy chiqadi, va unda natriy to'planadi;

Nurlatilgan hujayralarda yadro o'lchamlari oshadi, shakli o'zgaradi. Hujayraning nurlanishdan shikastlanishining ayrimlari nurlanishdan so'ng birdaniga paydo bo'ladi va tezda o'tib ketadi. Masalan, mitozlarning nurlanish tufayli sekinlashuvi. Tajribalarda aniqlanishicha, har 1 Gr dozada bo'linishlar 1 soatga kechikadi. Bo'linishning kechikishi ayniqsa hujayralar siklining sintetik va sintetikdan so'ng fazalarida nurlatilganda kuchliroq namoyon bo'ladi. Hujayralar nurlanishdan keyingi mitotik aktivligi dinamikasi nurlanish turiga va dozasiга bog'liq.

Hujayralarning nurlanishdan halok bo'lishining turlari quyidagicha: interfazali va mitotik o'lim. Nurlanish dozasi qancha katta bo'lsa hujayra shuncha tez o'ladi. Mitotik o'limning asosiy sababi DNK ning shikastlanishidir. Bu shikastlanishlar xarakteri to'g'risida bundan oldin aytib o'tdik. DNK larning shikastlanishi mutasiyalar bilan bog'liq. Biologlar mutasiyalarni ikki turga bo'ladi: genlar nuqtaviy mutasiyasi-bitta genning o'zgarishi, xromosomli mutasiyalar (aberrasiyalar) –xromosomalarning katta qismining o'zgarishi yoki to'liq xromosomalarning yo'qolishi. Somatik hujayralarda mutasiyalar oqibati unchalik katta emas. Chunki hatto bu hujayra funksiyasi o'zgarsa yoki hujayra o'lsa ham, ko'p

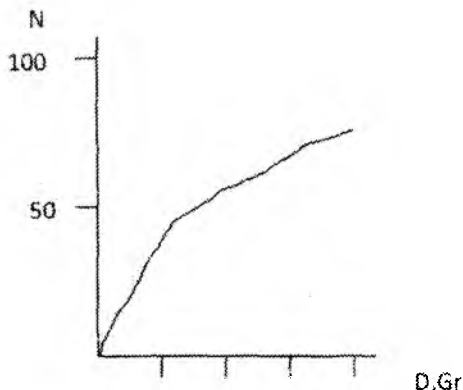
millionli to'qimalar yoki organlar uchun bu uncha sezilmaydi. Biroq somatik hujayralardagi mutasiyalar rak kasalligiga yoki qarishga olib kelishi mumkin.

Jinsiy hujayralardagi mutasiyalar keyingi avlod uchun halokatli ta'sirga sabab bo'lishi mumkin. Tuxum hujayrasi yoki spermatozoidlar rivoylanishining har qanday bosqichida ro'y beradigan mutasiyalar avlodnind o'limiga yoki unda jiddiy anomaliyalarga sababchi bo'ladi.

Hujayralar radiosezigirligida yadroning hal qiluvchi roli ko'p tajribalarda isbotlangan. Shulardan biri I. Orda va K. Daniyellining tajribasidir. Ular amyobalarni 150 Gr dozada nurlatib (bunda ularning 5% tirik qolgan), ularning ydrolarini boshqa amyobalarga mikroxirurgik usulda ko'chirtirgan. Bu hujayralarning atigi 4% tirik qolgan. Agar faqat sitoplazmaning o'zigina nurlatilsa (250 Gr doza bilan) va so'ngra unga nurlatilmagan yadro ko'chirilsa, barcha amyobalar tirik qolgan.

Radiasiya dozasi bilan uning ta'siri darajasi orasidagi bog'lanishni ko'rsatish uchun grafikdan foydalanishadi. Bunda absissa o'qida dozalar qiymati, ordinatalarda radiobiologik ta'sir miqdori (hujayralar tirik qolishi, xromosom abberasiyalar chiqishi v.h.) qo'yiladi. Agar doza-ta'sir chizig'i qandaydir analitik tenglama bilan ifodalansa, undan radiobiologik ta'sir modeli sifatida foydalanishadi.

Hujayralarning kichik dozalardagi tirik qolishi chiziqli bog'lanish bilan ifodalanadi. Boshqa hollarda esa bu bog'lanish yeksponensial funksiya bilan yoki sigmasimon chiziq bilan ifodalanadi (12.1-rasm). Tirik qolish yegri chiziqlarining modellari sifatida nishonlar modelidan foydalaniladi. Ularning yeng soddasida ikki yoki ko'proq nishonga bitta nurlanish tushishidan hujayra o'lishi mumkin. Ikkinchi modelda hujayraning o'limiga olib keluvchi jarayonlar ko'p. Bu modelda kichik dozalarda ham hujayralar o'limi hisobga olinadi. Uchinchi modelda tirik qolishning chizig'i kvadratik tenglamaga bo'ysinadi.



**12.1-rasm. O‘lgan viruslar soni N ning nurlanish dozasi D ga bog‘lanishi**

Hujayralarning nurlanishga reaksiyalari uning hayotiy sikli bosqichlariga bog‘liq. Mitoz paytida hujayralarning radiosezigirligi yeng katta bo‘ladi. Mitoz vaqtida xromatinlar qiz hujayralar orasida bo‘linishi ro‘y beradi. Uning nurlangan hujayralar uchun ahamiyati juda katta. Mitoz boshlanishiga qadar hujayra ichidagi tiklanish jarayonlari to‘xtaydi. DNK ning buzilishlari mitoz paytida hujayraning o‘limiga, yoki hujayra avlodlariga irsiyat mexanizmi orqali uzatilib ularning hayotchanligini kamaytiradi va mutasiyalar shaklida namoyon bo‘ladi.

LET ning yuqori qiymatlarida (masalan, tez neytronlar va  $\alpha$ -zarrachalar) hujayra siklining turli fazalaridagi radiosezigirlik orasidagi farq kichik LET li nurlanish

Hujayralarning nurlanishdan so‘ng tiklanishi fermentativ reparasiya tizimlari orqali bo‘lishi mumkin. Hujayralarning reproduktiv halokatini xarakterlash uchun ikki tushunchadan foydalaniladi: subletal va potensial letal shikastlanishlar.

Subletal shikastlanishlar deb bevosita o‘zi hujayrani o‘limiga olib kelmaydigan, ammo qayta nurlanishda uning safdan chiqishini (inaktivasiyasini) osonlashtiruvchi o‘zgarishlarga aytiladi. Potensial letal shikastlanishlar bevosita o‘zi hujayrani o‘limiga olib kelishi mumkin, ammo ma‘lum sharoitda tiklanishi ham mumkin bo‘lgan o‘zgarishlardir. Potensial letal shikastlanishlar hujayralar hayotining

sharoitlari o'zgarishi bilan o'limning kamayishiga qarab aniqlanadi. Potensial letal shikastlanishlar tiklanishi uchun muhitning haroratini pasaytirish bilan, hujayra hayotiy siklini cho'zish, sintetik faza va mitoz boshlanishini orqaga so'rish yordamida yerishish mumkin.

Subletal va potensial letal shikastlanishlarning tiklanishi asosan DNK strukturasi buzilishlarining reparasiyasi bilan bog'liq deb hisoblanadi. Bu tiklanish to'liq yoki to'liq bo'lmasligi mumkin. Ikki ipli uzilishlarda reparasiya asosan to'liq bo'lmaydi. Subletal shikastlanishlarning reparasiyasida hujayradagi metabolik jarayonlar katta ahamiyatga ega. Hujayra fermentlari ishtirokida ro'y beruvchi metabolik jarayonlar turli nurlanishdan keyingi va boshqa shikastlanishlarni tiklashga qodir.

### **12.3. Ionlanuvchi nurlanishning organizm to'qimalariga va organlarga ta'siri**

Nurlanishning kichik dozasi yutilganda katta biologik buzilishlar yuz berishi mumkin. Nurlanish olgan obektlarning ta'siri naslga o'tadi. Shuning uchun nurlanishdan himoyalaniş katta ahamiyatga ega.

Nurlanishning bir xil dozasi hujayraning turli kismlarining sezgirligi turlichadir, nurlanishning ta'siriga hujayralarning yadrosi yeng sezgirdir. Bo'linish qobiliyati hujayralarning yeng nozik funksiyasi bo'lgani uchun nurlanishda yeng avval o'suvchi to'qimalar jarohatlanadi. Demak, nurlanish yeng avval bola organizmi uchun (yembrionlik davridan boshlaboq) xavflidir. Odam organizmining doimiy yoki davriy bo'linib turadigan hujayralardan tashkil topgan to'qimaga, oshqozon va ichakning shilimshiq pardasiga, qon hosil qiluvchi to'qimalarga, jinsiy hujayra larga nurlanish halokatli ta'sir qiladi.

Nurlanish organizmga qisqa vaqt ichida ta'sir qilsa (sekundan bir necha soatgacha), unga kiruvchi nurlanish deyiladi. Agarda organizm uni uzoq vaqt davomida olsa (yillar va o'nlab yillar davomida) unga doimiy nurlanish deyiladi. Quyidagi jadvalda turli intensivlikdagi nurlanishning organizmga ta'siri keltirilgan.

Xirosima va Nagasaki aholisini kuzatish natijalari shuni ko'rsatdiki, ko'z qorachig'ining xiralashuvi (ko'z kataraktasi),

qalqonsimon bez leykemiya, qondagi leykositlarning xromosomik abberasiyasi va yoshligida nurlangan odamlarning o'sishida pasayish kuzatiladi. Keyingi izlanish natijalari asosan ko'krakda va o'pkada qattiq o'simalarning hosil bo'lishi aniqlandi. Rak kasalliklari nurlanishdan 30 yil o'tganda ham kuzatilish mumkin ekan. 12.1 – jadvalda natijalar butun tana uchun keltirilgan.

12.1 – jadval

Turli intensivlikdagi nurlanishning organizmga ta'siri

Organizmni $\gamma$ - nurlanish olgan dozasi, j/kg	Effekt	Eslatma
0, – 0,25	Kuzatilmaydi	-
0,25 – 1	Qonda ba'zi o'zgarishlar kuchsiz chanqoqlik seziladi	Ilik limfotik tugunlar va taloqning bir oz buzilish
1 – 3	Umumiy holsizlik, qonda o'zgarish, qayd qilish, charchash	Antibiotiklar bilan davolash natijasida to'la davolash mumkin.
3 – 6	Yuqorida aytilgan effektlar va zaharlanish, qon qo'yilish,	Davolashda antibiotik va qon quyish. Ba'zi hollarda ilik ko'chirib o'tqazish. Tuzalish yehtimoli 50%
6	Yuqorida aytilgan ham-ma effektlar va marka-ziy nerv tizimining jarohatlanishi	Agarda nurlanish dozasi $8 \frac{\text{K}}{\text{KZ}}$ dan oshsa o'lim muqarrar



Lekin tananing turli qismlari radiyasiyaga turlicha reaksiya beradi. Shu sababli 12.2 – jadvalda tananing turli qismlarining radiyasiyaga chidamliligi keltiriladi.

12.2 – jadval

Odam organizmi qismlarining radiyasiyaga chidamliligi

Organ	Simptomlar	5 yillik simptomga asosan, olgan nurlanish dozasi, J/kg	
		5%	50%
Teri	Yara, tolalar hosil bo'lishi.	0,055	0,07
Oshqozon	Yara hosil bo'lishi	0,045	0,05
Jigar	og'riq assitoz	0,035	0,04
Buyrak	nefroskleroz	0,013	0,028
Yurak	perekordiya, pankardiya	0,04	0,1
Suyak	nekroz, sinish	0,06	0,15
Ko'z qorachig'i	katarakta.	5	0,012
Qalqonsimon bezi	Gipoterioz	0,045	0,15
Muskullar	o'sish to'xtaydi	0,02– 0,03	0,04– 0,05
Ilik	Gipoplaziya	2	5
Homila	O'lim	2	4

Nurlanishning genetik ta'sirini aniqlash juda qiyin. Lekin radiyasiya ta'sirida mutasiya natijasida xromosomada buzilishlar yoki DNKa zanjirida o'zgarishlar yuzaga keladi.

Yaponiyada olib borilgan tekshiruvlar natijasiga ko'ra hozirgacha genetik effektlar kuzatilmagan. Lekin hozircha unchalik ko'p vaqt o'tmagan.

Doimiy nurlanish bilan ishlaganda olingan nurlanish dozasi o'sha dozani birdaniga olingan holdagiga qaraganda ta'siri unchalik katta effektga yega emas. Bunga sabab odam va hayvonlar tanasi kichik dozada olgan nurlanishlarga qarshilik qobiliyatiga yega. Lekin har qanday nurlanish organizmida qandaydir o'zgarish yuzaga keltiradi. Nurlanishdan tibbiyot va veterinariyada ko'p foydalaniladi, chunki radioaktiv nurlar turli organlarda tanlab yutiladi. Masalan, qalqonsimon bez  $J^{131}$  kuchu yutiladi.  $J^{131}$  ning yarim yemirilish davri 8,05 kunga teng va shu sababli u organizmdan bir necha hafta ichida chiqib ketadi. Biroq keyingi paytlarda bu izohop homilador ayollarga berilganida yembrionga zarar keltirishi aniqlangan.

Radioaktiv izohop J yodni skanerlovchi qurilma yordamida oson aniqlash mumkin. Radioaktiv nurlardan ko'plab rak kasalliklarini davolashda ishlatish mumkin.

Turli xil rak kasalliklarini xirurgik yo'llar yoki radiasiya yordamida davolash mumkin. Ko'plab hollarda radiasion usul yaxshi natija beradi. Masalan, tomoq rakini jarrohlik yo'l bilan olib tashlashda 80% muvaffaqiyatga yerishish mumkin. Ammo bu holda tovush a'zolari buziladi va odam to'lasincha gapira olmasligi mumkin yoki uni ancha yomonlashtiradi. Uni radiasion usul bilan davolashda ham 80% muvaffaqiyatga yerishish mumkin. Lekin bu holda tovush organlari o'zgarmaydi.

Ichki organlarda joylashgan o'simtalarni radiasiya bilan nurlantirganda nurlanish tashqi manbadan yuboriladi. Bunday o'simtalarni buzish uchun zarur bo'lgan bir oylik nurlanish dozasi 60 Greyga teng. Oddiy rentgen qurilmalarda hosil qilinadigan rentgen nurlar energiyasi 150 keV ga teng. Bu nurlarning energiyasi organizm ichki qismlariga kirishga yyetarli emas. Shu sababli davolashda  $^{60}CO$  izohopidan chiqayotgan  $\gamma$  nurlar ishlatiladi. Uning

energiyasi 1 MeV ga teng. Bu nurlar rentgen nuriga qaraganda organizmga ancha chuqur kiradi. Hozirgi vaqtda energiyasi 4 MeV ga teng bo'lgan elektronlar oqimidan foydalaniladi. Organizmning juda ichki qismlarida joylashgan o'simtalarni nurlantirish uchun uglerod, kislorod yoki neon ionlaridan foydalanish yaxshi natijalar beradi. Bu holda o'simta atrofidagi sog'lom to'qimalar juda oz nurlanish olar ekan. Ammo hozirgi vaqtda bunday ionlarni ancha yuqori energiyalarga tezlashtiruvchi tezlatgichlar ishlab chiqarish qimmatga tushadi. Shu sababli bunday qurilmalar kelajakda ko'plab ishlab chiqarilishi mumkin.

Quyidagi jadvalda hozirgi kunda kasalliklarga tashxis qo'yishda foydalaniladigan izohoplar keltirilgan.

12.3-jadval

**Kasalliklarga tashxis qo'yishda va davolashda qo'llaniladigan izohoplar**

Radioizohop	Yarim yemirilishning davri	Qo'llanilishi
$^{32}\text{P}$	14,3 kun	Leykemiya va boshqa rak kasalliklarini davolashda
$^{51}\text{Sr}$	27,8 kun	Qon oqishini tekshirish skaner qilishda rak to'qimalarini tashqi nurlantirish
$^{60}\text{Co}$	5,24 kun	Rak to'qimalarini tashqi nurlantirish.
$^{75}\text{Se}$	127 kun	qalqonsimon bezni tekshirishda

$^{85}\text{Sr}$	64 kun	Suyaklarni tadqiq qilishda
$^{90}\text{U}$	64 soat	Rak to'qimalarining mahalliy nurlantirish uchun zondlarga o'rnatiladi.
$^{99}\text{S}$	6 soat	Miya, qalqonsimon bez, buyrak va taloqni tekshirishda, qalqonsimon bezni davolashda
$^{125}\text{J}$	60 kun	Qalqonsimon bezni tekshirish va davolashda
$^{131}\text{J}$	8,05 kun	Miya o'simtasini aniqlash, jigar, buyrak va o'pkanini tekshirishda
$^{198}\text{Au}$	2,7 kun	Ko'krak rakini davolashda.

Akademik A.M.Kuzin nazariyasi bo'yicha atom nurlari ta'sirida modda almashinish jarayonida sitoplazmatik jarayonlar tufayli hujayra strukturasi o'zgarishlar sodir bo'ladi. Bu nazariya bilan akademik A.M.Kuzin tirik organizmda fenolni xinonga aylanishida semixinon, ortoxinon kabi moddalar o'zgarishi bo'lib "nur kasalligi"ni vujudga keltiradi deydi. Keyingi nazariyalardan biri, Yu.B.Kudryashov nazariyasi bo'lib, radiasiyaga chidamlilik organizmdagi yendogen himoya rolini o'ynaydigan moddalarga bog'liq deydi va kalamush, sichqonlardagi yendogen misolida tasdiqlaydi. Bunda radioaktiv uranli tuproqda o'sayotgan o'simliklar

misolida prof. N.Norboyev ham tasdiqlaydi. Ya'ni yuqori radioaktiv tuproqda o'sayotgan o'simliklarda rutin, kvarsetin, siyetin-sestialin moddalari oddiy tuproq (15–25 mkR/s)qa nisbatan ko'proq sintez bo'lib to'planganligi tajribalar yordamida tasdiqlandi. Yuqorida keltirilgan gipotezalar hayvonlar organizmi uchun ham radiasiyaning birinchi ta'sir mexanizmi uchun to'g'ri, ammo hayvonlarda neyroyendokrin reaksiyasida alohida xususiyatga yega.

Hayvonlar organizmining hujayralari ionlovchi nurlar ta'siriga rivojlanish bosqichiga qarab har xil chidamlilikda bo'ladi. Qonning buzilishi hatto 30 soatdan keyin sodir bo'ladi. Hujayraning organoidlari orasida yadro juda ham radiasiyaning zararli ta'siriga sezgirdir. 1000 R nur olgan hujayrada morfologik o'zgarishlar ro'y beradi, ya'ni sitoplazmaning yopishqoqligi o'zgaradi, oqsillarda nur sindirish koeffitsiyenti o'zgaradi, nurlantirilgan hujayrada yadroni o'lchami kattalashadi, mitoz o'zgaradi, hujayra aylana shakliga kelib qoladi. Nurlantirilgan hujayrada DNK molekulasida zanjirlar uzilib, xromosom aberrasiyasi ichki membranasi o'zgarib, modda almashinishi buziladi.

Olib borilgan ilmiy tekshirish ishlari natijalari ko'rsatadiki, ionlovchi radiasiyaning ta'siriga hujayra bo'linishining profaza bosqichi yeng sezgir ekan. Ionlovchi nurlar ta'sirida hujayra to'qimalarida mitozga stimulyasiya beruvchi auksin kabi moddalar hosil bo'lishi isbotlangan.

Radiasiya ta'sirida hujayra membranasining o'tkazuvchanligi buziladi, ayniqsa sitoplazma va yadroning membranalarda elektrolitlarning o'tkazuvchanligi o'zgaradi. Bu esa hujayrani bo'linishiga zararli ta'sir yetadi. Radiasiya ta'sirida hujayraning bo'linishini susaytiruvchi moddalar hosil bo'ladi. Masalan, ATF me'yorida ortiq hosil bo'lishi hujayrani bo'linishini to'xtatadi.

Ionlovchi nurlar ta'sirida dezoksiribonuklein kislotasi (DNK) sintez bo'lishi susayadi. Bu esa mitoz bo'lishiga zararli ta'sir yetadi. Ionlovchi nurlar ta'sirida xromosomalarni strukturasi buziladi. Natijada hujayrani o'limiga olib keladi. Hayvonlarda radiasiyaga

sezgirlik juda xilma-xil bo'lib, radiasiyani quvvatiga, miqdoriga bog'liq hamda tirik organizmni turiga bog'liqdir. Ko'pgina LD 50/30 va LD 100/30 (letal dozasi) o'limiga olib boruvchi radiasiya miqdori 30 kun mobaynida 50% va 100% o'limga olib keladi. Hayvonlarning radiasiyaga bo'lgan sezgirliги darajasini aniqlab beradigan to'liq nazariya hozirgacha yo'q. Shuni ham aytish kerakki, hayvonlarda, insonlarda nurlanishiga juda sezgir qushlarga, baliqlarga, suvda yashovchi jonivorlarga nisbatan hayvonlarning radiasiya zararli ta'siriga sezgirliги hatto bir to'qimaning har xil joyidagi hujayralarda ham bir-biriga nisbatan farq qiladi. Hatto radiasiya ta'siridan tiklanishi ham farq qiladi. Radiosezgirlik hayvonlar organizmida quyidagi tartibda pasayib boradi: katta yarimshar, bosh miya, limfalar, orqa miya, ichak oshqozon tizimi, jigar, o'pka, buyrak, yurak, muskullar, teri va suyak to'qimasi.

Hayvonlar nurlantirilgan jarayondan keyin organlarning tiklanishini 3 guruhga bo'lish mumkin:

- 1) limfatik usullar, oshqozon ichak trakti, miya, qorataloq, jinsiy organlarda 25 R miqdorida radiasiya olganda ham seziladi;
- 2) radiasiyani ta'siriga sekin-asta sezuvchan teri va ko'z;
- 3) ionlovchi nurlarning ta'siriga chidamli jigar, o'pka, buyrak, miya, yurak, suyak, nerv tolalari hatto 100 R olgandagina morfologik o'zgarishlar seziladi.

Tirik organizmni umumiy bir xil radiasiya miqdorida nurlantirish biofizik effekt beradi. Agar hayvonni yekranlashtirib, birorta organini nurlantirsak, tirik organizmning chidamliligini oshiradi. Ionlanuvchi radiasiyadan masalan, oshqozon osti bezi himoyalashtirilgan hayvonning ayrim organlari yashovchanligini ko'ramiz.

12.4-jadvalda Sichqonlarning ayrim qismlarini yekranlashtirib nurlantirilganda yashovchanligi ko'rsatilgan.

№	Ekranlashtirilgan joyi	Nurlanish miqdori, R	30 kun davomida yashovchanligi, %
1	Taloq	1025	77,7
2	Jigar	1025	33,0
3	Kalla	1025	27,7
4	Ichak	1025	26,6
5	Nazorat	1025	0
6	Taloq	800	33,4
7	Nazorat	800	0
8	Orqa oyoq	700	30,4
9	Nazorat	700	0
10	Ikkala oyoq	600	88,2
11	Bitta oyoq	600	70,6
12	Nazorat	600	17,6

Yuqoridagi jadvaldan ko‘rinib turibdiki, orqa oyoq boshqa organlarga nisbatan birmuncha ionlanuvchi nurlarning ta‘siriga sezgir ekan. Ionlovchi nurlarning zararli ta‘siriga N.R.Tarxanov nerv tizimi sezgir ekanligini ko‘rsatadi. Agar umumiy ravishda (5000R) nur bilan yoki lokal ravishda nurlantirilsa, hayvonlarning markaziy nerv tizimida sindrom kuzatiladi, ya‘ni meningit, yensefalit kasalliklari kuzatiladi. Ionlovchi nurlarning ta‘siri shuni ko‘rsatadiki, nur ta‘sirida oldingi fazada jarayonlar faollashtiradi, keyingi fazada susaytiradi (12.5-jadval).

Ko‘rinib turibdiki, hayvonlarning gomeostatik funksiyasi bir xil o‘zgarishda ionlanuvchi nurlar ta‘siri bir xil bo‘lmaydi.

**Organizm nurlangandan keyin bo'ladigan  
jarayonlar dinamikasi.**

№	Nurlanish miqdori R	O'zgarish	1-faza	2-faza
1	1000	Quyov qonini oq qismini o'zgarishi	Nurlangandan keyin birdaniga leykositoz	24 soatdan keyin leykopeniya
2	1000	Quyov qonida va ko'zni ichki kamerasida adrenalini miqdori o'zgaradi	ortadi	24 soatdan keyin kamayadi.
3	800	Kalamushni ichagida peristaltika o'zgaradi	1 soat davomida tezlashadi	3 kun davomida pasayib ketadi
4	1000	Kalamush yodni qalqonsimon bezga biriktirib oladi.	ortadi	24 soat davomida pasayadi.

Ionlanuvchi nurlar hayvonlarning markaziy nerv tizimsiga umumiy va spetsifik ta'sir yetadi. Umumiy ta'sir yetish reflekslari shu bilan birgalikda markaziy nerv tizimida nurlanishga javob reaksiyasi sinxronsiz o'tadi.

Miya po'stlog'i va po'stloq tagidagi markazlarda o'zaro ta'sirini buzilishi ionlovchi nurlar rivojlanishida katta vazifani bajaradi. Kalamushlarni umumiy nurlantirganda sodir bo'ladi. Ammo lokal nurlantirganda sodir bo'lmaydi.



Radioaktiv nurlarni ta'siriga yeng birinchi javob reaksiyasi bioelektrik faollik bilan markaziy nerv tizimi javob beradi. Ya'ni bosh miya po'stlog'i quyonlarni nurlanishini birinchi sekundlaridayoq 0,05 r ni sezadi. Nerv tizimsi juda yuqori radiasion sezgirlikka yegadir. Nerv tizimsi radiasiyaning ta'siriga spesifik va nospesifik ta'sir reaksiyalariga yegadir.

Xulosa qilib aytish mumkinki, rentgen nurlari, yuqori chastotali elektromagnit maydoni bilan bir xil jarayonlar hayvonlarda kyechishi aniqlangan. Hayvonlarni shartli reflektorlik faoliyatida, birinchi ta'sir mexanizmida spesifik jarayonlar ham mavjuddir.

Ionlovchi radiasiyani hayvonlarni sezish organlariga ta'siri ya'ni yeshitish, tam bilish, hid sezish, vestibulyar va boshqa organlariga ta'siri umumiy xarakterda bo'ladi. Ammo tirik mavjudotning boshlang'ich faoliyati sezgirligiga ham bog'liqdir.

Ionlovchi nurlarning ko'zga ta'siri juda ilgariroq o'rganilgan bo'lib, ya'ni rentgen nurlarini kashf etilishi bilan bog'liqdir. Albatta ionlovchi nurlarning miqdori yuqori bo'lganda ko'z kasalligi vujudga keladi. Ya'ni yuqori ionlovchi nurlar ta'sirida ko'z gavharining hamma organoidlarida kasallik sodir bo'ladi. Organizmning umumiy o'zgarishi natijasida agar ko'zga lokal nurlanish berilsa, nerv tolalarida ham ba'zi bir javob reaksiyalari bo'ladi. Ko'z uchun jarohatga olib boruvchi nur 0,5–0,85 R miqdorida yyetarlidir. Nurlantirilgandan keyingi vaqtlarda ko'z hujayralarida bo'linish faoliyati susayadi. 2–20 R nurlanishda ko'zning muguz pardasida vaqtinchalik o'zgarishlar bo'ladi, ammo 250 R va yuqori dozalarda qaytmas morfologik o'zgarishlar ro'y beradi. Ko'zga ionlovchi nurlarning kuchli ta'sirida gavharda o'zgarish bo'lib, ko'z kataraktiga olib keladi, katarakti rivojlanishi uchun 15–20 R yyetarlidir.

Ko'z to'qimasida ya'ni gavharda hayvonlarni yashashi o'sishi bilan ko'z kasalligini tiklanish imkoniyati kamayib boradi.

Ionlovchi nurning teriga, ya'ni to'qimaga ta'siri shuni ko'rsatadiki, hayvonlarni nurlantirilganda birinchi reaksiya terida

bo'ladi. Teri birinchi navbatda radiyasiyaga sezgir bo'ladi. Lokal nurlantirilganda ta'sir terining oldingi holatiga bog'liqdir. Terini ionlovchi nurlar ta'sirida o'zgarishiga 2 R nurlanish yyyetarli. Radiasiya miqdori oshishi bilan terida morfologik o'zgarishlar ro'y beradi.

Hayvonlarning nur kasalligiga olib keluvchi qismi bu bazal, ya'ni junlarni tomir olgan qatlami bo'lib hisoblanadi, ya'ni bunda fiziologik regenerasiyaning pasayishiga, hujayra bo'linishining buzilishiga, ko'p yadroli hujayralarning paydo bo'lishiga yoki yadroning shishib ketishiga, jun tolalarini follikullarining kamayishiga, ya'ni yog' bezlarining yo'q bo'lishiga olib keladi.

Har xil hayvonlarning ionlovchi nurlar ta'siriga javob reaksiyasi ozgina bir-biridan farq qiladi. Masalan, qo'yning radiasiya ta'sirida juni tushib ketadi. Xuddi shunday holat cho'chqalarda ham ro'y beradi. Ya'ni terisi qizarib ketadi. Agarda juda yuqori miqdorda terini lokal nurlantirilsa terining kuyishi ro'y beradi. Nurlantirilgan hayvonlarda teri kasalligi to'liqin shaklida ro'y beradi, ya'ni avvalo xuddi nur kasalligi tingandek bo'lsada, ammo ikkinchi to'liqinda biofizik, fiziologik va morfologik o'zgarishlar ro'y beradi. Agarda kuchli, ya'ni o'limga olib boruvchi letal miqdorda nurlantirilsa, qo'yni 3-4 kunlarda o'limga olib keladi. Qo'ylarda nur kasalligi yelementlari boshqa hayvonlarga nisbatan ko'proq sodir bo'ladi. Letal miqdorda nurlantirilgan qo'ylarda terini tiklanish holati bo'lmaydi.

Hayvonlarni yendokrin bezlariga radiasiyaning ta'siri bevosita va bilvosita bo'ladi va organizmning ichki muhitiga ham bog'liqdir. Ionlovchi nurlarning qonga va qon hujayralariga ta'siri juda kuchli bo'lib hisoblanadi. Ammo qon hujayralarining chidamlilik masalasi ionlovchi nurlar ta'siriga chidamliligi haqida hozirgacha olimlar tomonidan bir xil fikr yo'q. Ayrim olimlarning fikricha ionlovchi nurlar ta'siriga yeng sezgir hujayra yeritoblastlardir. Ammo har xil hayvonlarda har xildir. Masalan, tovuqda juda ham past. Demak, hayvonlar qonining radiyasiyaga sezgirliigi har xildir. Ionlovchi

nurlarning oshqozonga ta'siri shuni ko'rsatadiki, radiasiya sezgirliги jihatidan ingichka ichak, so'lak bezlari, oshqozon, to'g'ri va urama ichak, oshqozon osti bezi va jigar bo'lib hisoblanadi.

300 R bilan nurlangandan keyingi 24 sutkalarda qo'y oshqozon osti bezi sekresiya bezi kichik nurlangan hayvonlarda gipersekresiya – kamayadi, giposekresiyada oshadi. Bu holatda oshqozondan ajralgan suyuqlik o'zgaradi. Oshqozonning hazm qilishi o'zgarib morfologik o'zgarishlarga olib keladi va qon quyulishiga olib kelib oshqozonda yara hosil qiladi.

Lokal va umumiy nurlanishlarda ingichka va o'n ikki barmoqli ichaklarda fermentlarning faolligi to'liqinsimon o'zgaradi. Radiasiyaning og'ir formalari nur kasalliklarida birinchi kunlari peristaltika sekresiya bezlari kattalashadi va fermentlarning faolligi oshadi. Keyinchalik beshinchi kunga borib sekresiya bezlari va fermentlar faolligi pasayib ketadi. Shuni ham aytish kerakki radiasiyani ta'siri hayvonlarda fermentlarning sintez bo'lishi to'liqinsimon o'zgarib turadi. Membrananing qisqa vaqtda o'tkazuvchanligi nur kasalligida o'zgarib keyinchalik esa oshqozon bezlarida pasayib ketadi. Bu jarayon yosh buzoqchalarda kichik miqdordagi radiasiyalarda radiasion effekt katta hayvonlarga nisbatan ko'proq sodir bo'ladi. Yosh qoramollarni qisqa muddatda nurlantirilganda oshqozon membranalarida fazaviy o'zgarishlar ro'y beradi. Ya'ni avvalo jarohatlangan hayvonlarda fermentlar faolligi pasayadi, keyinchalik esa fermentlarining faolligi oshadi va peristaltikaning nurlangan hayvonlarda oshqozon ichak tizimini tiklanishi har xil muddatda bo'ladi (12.6-jadval).

**Itni 400 R nurlantirilganda oshqozon organlarining  
tiklanish muddatlari**

№	Organlar	Ko'rsatkichlar	Nurlangandan keyingi tiklanish muddatlari (kunlarda)
1	Oshqozon	Shira miqdori Pepsinlar miqdori Kislotalar	83 2 67
2	Oshqozon osti bezi	Shira miqdori Pepsin va amilaza miqdori rN	30 35 14
3	O'n ikki barmoqli ichak	Shira miqdori Shirada qon aralashmasini yo'qolishi Enterokinazalar Fosfatazalar miqdori	153 164 100 114
4	Ingichka ichakni o'rta qismi	Shira miqdori Shirada qon aralashmasini yo'qolishi Enterokinazalar Fosfatazalar miqdori	172 198 178 187

Ushbu jadvaldan ko'rinib turibdiki, haqiqatdan ham itning oshqozon-ichak organlarini tiklanishi har xil muddatlarda sodir bo'lar ekan. Demak, yendokrin strukturasi radiasion sezgirliги ya'ni radiyasiyaga chidamliligi har xil ekan. Ionlovchi nurlarning hayvonlarni yurak-qon tomirlar tizimida yurakda yeng avval ritm tizimida seziladi. O'rta miqdordagi radiasiya ta'sirida hayvonlarning morfologik funksiyalari o'zgaradi. Ko'pincha yurakda har xil

darajada qon quyilish jarayonlari sodir bo‘ladi. Bu jarayonlar RNK va DNK miqdorini pasayishiga olib keladi.

Ionlovchi nurlarning kichik miqdorlarida hayvonlarni nafas olish intensivligi deyarli o‘zgarmaydi. Ammo yuqori ionlovchi nurlar ta‘sirida nafas olish intensivligi aniq o‘zgarib, hayvonlar o‘pkasida ba‘zi bir kasallik alomatlari paydo bo‘lib nur kasalligini kuchayishi, qon quyilishi bilan bronxional tomirlarida qora, qizil ranglarda ko‘rinib qoladi.

Nur kasalligida o‘pkada gemografik shamollash hodisalari sodir bo‘ladi va davriy ravishda hayvonlarda yo‘talish paydo bo‘ladi.

Radioaktiv nur ta‘siriga hayvonlarning buyragi juda sezgir bo‘lib 3–5kR lokal nurlanish ta‘sirida buyrakni jarohatlanishi ro‘y berib siydik chiqarish yo‘llarida qon quyilish degenerativ-distrofik o‘zgarishlar bo‘lib, natriy, kaliy, xlor kabi moddalarni ko‘proq chiqarib siydik pufagida morfologik va funksional o‘zgarishlar sodir bo‘ladi.

Radiasiya ta‘sirida hayvonlarni suyagi, muskuli va chidamliligi hayvonlarni yoshiga bog‘liq bo‘lib, yosh mollar chidamsiz, o‘shidan to‘xtagan, voyaga yetgan hayvonlar suyagi chidamlidir. Asosan radiasiya ta‘sirida suyaklarni birlashtirib turgan joylariga ta‘sir yetib suyaklar ajralib ketadi. Radiasiyaning nisbatan yuqori miqdorlarida hayvonlarda nekroz suyaklar sinib ketadi, ya‘ni mo‘rt bo‘lib qoladi. Hayvonlarni boshi ya‘ni kallasi nurlantirilganda tishlarida kariyes jarohati rivojlanadi, yosh buzoqchalarni o‘sishi, rivojlanishi susayadi. Hayvonlarni muskul to‘qimalari nisbatan radiasiyaga chidamli bo‘lib, hatto lokal nurlantirilganda bir necha ming rentgendagina o‘zgarishlarni ko‘rish mumkin.

Hayvonlarning ko‘payish organlari radiasiya ta‘siriga juda sezgir bo‘lib hayoti davomida o‘zgarib turadi hamda pusht to yembrionni yetilganicha vaqt davomida radiasiyaga sezgirliги kamayib boradi. Hayvonlarni jinsiy organlarida radiasiya asosan generativ organlariga ta‘sir yetadi, ammo gormonal xususiyatlari kamroq jarohatlanadi.

Hayvonlarni tuxumdonlari 25–50 R radiasiya ta'sirida strukturaviy o'zgarishlarga olib keladi. Radiasiyaning 500R va undan ortiq miqdorlarida tuxumdonlari o'lchami o'zgarib boradi. Xo'rozlarning 600R bilan nurlantirilganda deyarli o'zgarishlar sezilmaydi, ammo letal va subletal radiasiyaning miqdorlarida jinsiy organlarida o'zgarishlar sodir bo'ladi, ya'ni jinsiy organlari tiklanmaydi. Ma'lumki, hayvonlar boqiladigan dalalarda har xil radionuklidlar mavjud bo'lib yem-xashak bilan tirik organizmga ham o'tadi. Bu tirik organizmda nur kasalligining elementlarini paydo qiladi. Natijada hayvonlarning go'shti, suti orqali odam organizmiga ham o'tishi mumkin. Shuning uchun ham radionuklidlarning ta'sirini tirik organizmda o'rganish muhim radiasion biofizik ahamiyatga yegadir.

Hozirgi vaqtda radionuklidlarni tirik organizmga o'tishini pasaytirishning zootexnik, agrotexnik, agrokimyoviy usullari ishlab chiqilgan bo'lib, yyetarli darajada organizmni nurlanishini kamaytiradi. Hayvonlarni, qushlarni dala joylaridan o'troq joylarga o'tkazish bilan go'shtda, sutda va tuxumda radionuklidlar miqdori minimal darajaga keltiriladi. Hayvonlar yangi joyga ko'chirilganda so'yishdan oldin radionuklidlar kam bo'lgan oziqalar bilan boqiladi.

Ma'lumki, 1945-yil avgust oyida Yaponiya davlatining Xirosima va Nagasaki shaharlari ustida AQSh mamlakati atom bombasi portlatilgandan so'ng, yana ko'p atom bombalari tajribalar sifatida portlatishda hamda radioaktiv uranli tuproqlarni qazib olish va boyitish jarayonlarida havoda, tuproqda, suvda radioaktiv moddalar miqdori oshib boradi. Olimlar tekshirish natijalari shuni ko'rsatadiki atmosferada  $^{90}\text{Sr}$ ,  $^{131}\text{I}$ ,  $^{137}\text{Cs}$ ,  $^{144}\text{Ce}$  kabi radionuklidlar ko'paydi.

#### 12.4. Radiobiologik effektlar

Radiobiologik effektlar deb biologik tizimlarga ionlanuvchi nurlanish ta'sir yetganda paydo bo'ladigan o'zgarishlarga aytiladi. Ularni shakllanish darajasiga, yuzaga chiqish vaqtiga, joylashishiga,

nurlanish dozasi bilan bog‘lanishiga, nurlatilgan organizm uchun ahamiyatiga, nasldan-naslga berilishiga qarab turlarga bo‘lishadi.

Biotizimlar nurlatilganda biomolekulalarning nurlanishning o‘zi bilan, yoki suv radiolizi mahsulotlari bilan ta’sirlashishi natijasida molekulyar darajadagi o‘zgarishlar sodir bo‘ladi. Ular ichida DNK va biologik membranalar shikastlanishi yeng ahamiyatlidir. DNK ning shikastlanishi keyinchalik xromosom abberasiyalarga olib keladi. Biologik membranalar lipidlarida yerkin radikallar aktivlashishi natijasida to‘yinmagan yog‘li kislotalar oksidlanishi mahsulotlari to‘plana boshlaydi. Natijada metabolik jarayonlarda patologik o‘zgarishlar sodir bo‘ladi. RNK zanjitlarining uzilishlari va asoslari shikastlanishi, mukopolisaxaridlar yemirilishi, fermentlar birlamchi va ikkilamchi strukturasi buzilishlari, ular funksional xossalari o‘zgarishlari ro‘y beradi.

Hujayra darajasida ionlanuvchi nurlanish ta’siri hujayralarning interfazali yoki reproduktiv o‘limiga, mitozlarning vaqtincha to‘xtashiga, noletal mutasiyalarga olib keladi.

To‘qimalar, organlar darajasida radiasiya ta’siri sitopenik effekt bilan xarakterlanadi, uning asosida hujayralar o‘limi va mitozning radiasiya ta’sirida to‘xtashi yotadi.

Organizm darajasidagi radiasion effektlar turli kasaliklar bilan bog‘langan.

Nurlatilgan organizm taqdiriga bo‘lgan ta’siriga qarab radiobiologik effektlar patologik va gormetikka bo‘linadi. Patologik effektlar biologik obyektga salbiy ta’sir yetadi. Gormetik ta’sirda esa nurlanishning kichik dozalarida organizmning hayotga turg‘unligi oshadi. Ushbu usuldan tibbiyotda radon vannalarida odamlarni kichik dozalar bilan nurlatish orqali organizmning funksional holatini yaxshilash uchun foydalaniladi.

Nasldan-naslga uzatish imkoniyati bo‘yicha radiobiologik effektlar somatik (somatik hujayralarda paydo bo‘ladigan) va genetikka (jinsiy hujayralarda hosil bo‘ladigan) ajraladi.

Radiobiologik effektlarni ular organizmning qaaysi qismida hosil bo'lishiga qarab ham ajratish mumkin.

Radiobiologik effektlar paydo bo'lishi muddati bo'yicha yaqin va uzoqlashgan turlarga bo'lishadi. Yaqin effektlar bir necha oy ichida yuzaga chiqadi. Masalan, o'tkir nurlanish kasalligi, nurli dermatit, nurli alopesiya.

Uzoqlashgan effektlar nurlangach bir necha yillardan so'ng paydo bo'ladi. Ularga misol yetib o'simtalar hosil bo'lishi, gemoblastoz, distrofik, sklerotik jarayonlarni ko'rsatish mumkin.

Nurlanish dozasi bilan bog'lanish xarakteriga qarab radiobiologik effektlar stoxastik (ehtimoliyatli) va nostoxastik (determinalashgan) turlari bor.

Stoxastik effektda bir yoki kam miqdordagi hujayralar shikastlanishidan paydo bo'ladigan zararlanishdir. Stoxastik effektlar har qanday kichik nurlanish dozasi ham paydo bo'ladi. Nurlanish dozasi oshishi bilan stoxastik effektlar yehimoliyati oshadi, ammo uning sifati o'zgarimas qoladi. Stoxastik effektda hujayra o'limi, leykemiya, rak, boshqa genetik effektlarni kiritishadi.

Determinalashgan effektlar nurlatilgan to'qima yoki organizmda katta qismdagi hujayralar kollektiv shikastlanishi natijasidir. Bu effektlar nurlanish dozasi bo'sag'a qiymatidan o'tganda ro'y beradi. 12.7-jadvalda odam organizmi uchun nurlanishning determinalashgan effektlari paydo bo'lishining minimal dozalari keltirilgan.

12.7-jadval

**Odam organizmi uchun nurlanishning determinalashgan effektlari dozalari bo'sag'asi**

Determinalashgan effekt	Doza bo'sag'asi, Gr
O'tkir nurli reaksiya	0,25
Erkaklar tiklanadigan bepushtligi	0,4



Qayd qilish	0,5
O'tkir nurlanish kasalligi	1,0
Surunkali nurlanish kasalligi	1,0
Nurli katarakta	2,0

Determinalashgan effektlar jumlasiga quyidagilar kiradi:

- yaqin effektlar: ayrim organlar va to'qimalarning nurlanishdan shikastlanishi, o'tkir nurli reaksiyalar, o'tkir nurlanish kasalligi;

- uzoqlashgan effektlar: surunkali nurlanish kasalligi, nurli katarakta.

Nurlatishdan oldin organizmga kiritilgan va nurlanishning letal effektini kamaytiruvchi moddalar radioprotektorlar deb ataladi.

Radiosensibilazatorlar aksincha nurlanishning ta'sirini oshiruvchi moddalardir. Radiosezgirlikni modifikasiyalovchi (o'zgartiruvchi) vositalar sifatida kimyoviy va fizikaviy faktorlar olinishi mumkin. Kimyoviy modifikatorlar bevosita radiasion-kimyoviy reaksiyalar mahsulotlari, erkin radikallar, ionlar bilan o'zaro ta'sirlashadi. Fizikaviy faktorlar bevosita radiasion-kimyoviy reaksiyalar borishiga yoki hujayra va organizmning holatiga ta'sir yetishlari mumkin.

Radiomodifikasiya effektini baholash uchun quyidagi to'rtta mezon (kriteriy) dan foydalanishadi:

- Effektning absolyut kattaligi-tajribadagi va nazoratdagi modifikasiya ko'rsatkichlari farqi.

- Effekt indeksi- tajribadagi va nazoratdagi modifikasiya ko'rsatkichlari nisbati.

- Doza o'zgarishi faktori- teng effektli ikki doza ko'rsatkichlari nisbati.

- Modifikasiya koeffitsiyenti-nazoratdagi va tajribadagi zararlanishlar farqining nazoratdagi nisbiy zararlanishga nisbati.

Turli organizmlar radiosezgirlikining har xilligini va radiomodifikasiyalanishini tushuntiruvchi umumiy nazariya hozircha yo‘q.

Belgiyalik radiobiologlar Z. Bak va A.Aleksander tomonidan “biokimyoviy shok” farazida modifikasiyalovchi faktor ta’sirida organizm funksiyalarida kuchli o‘zgarish ro‘y beradi deb hisoblanadi. Bunda hujayraning radioturg‘unligi nurlanishning biokimyoviy kuchayishi mexanizmi susaytirilishi orqali oshadi.

Ko‘pchilik tajribalarda turli tirik obyektlarning radioturg‘unligini protektorlar yordamida oshirishda ularda sulfgidril guruhlar ko‘payishi aniqlangan. Shuning uchun sulfgidril guruhlar tabiiy protektorlar sifatida qarala boshlandi. Keingi yillarda qator protektorlarning nurdan himoya qilish effekti yendogen glutationning C‘H-guruhlar bilan tushuntiruvchi nazariyalar paydo bo‘ldi. Protektorlar ta’sirida radiohimoyaviy aktivlikka yega bo‘lgan yendogen aminlar (serotonin, dofamin, gistamin) soni oshirilsa, ikkinchi tomondan lipidlar oksidlanishining zararli bo‘lgan mahsulotlari miqdori kamayadi. Ulardan birinchisi yendogen protektorlar, ikkinchisi –yendogen radiosensibilizatorlar deb qaraladi.

Radioprotektorlar turli biokimyoviy tizimlarni yuqori radiorezistent holatga o‘tkazishlari aniqlangan. Bunday tizimlar qatoriga DNK biosintezi nazorat mexanizmlari, yadro fosforlashuvi, mitoxondriyalarda oksidlanuvchi fosforlashuvini ko‘rsasa bo‘ladi. Ushbu hodisaning biofizik mexanizmi 1977-yilda L.Yeydus tomonidan tushuntirilgan. Uning nazariyasida protektorlar hujayradagi diffuziya va aktiv transportga ta’sir yetishlari oqibatida hujayralar radiasion shikastlanishiga olib keluvchi jarayonlar tezligi kamayadi va natijada tiklanish jarayonlari kuchayadi.

Nurlanishning tirik hujayralarga ta’siri kislorod mavjud bo‘lganida kuchayishiga kislorod effekti deyiladi. Tajribalar indolilalkilaminlar sinfiga mansub bo‘lgan protektorlar, hamda radiohimoya xossasiga yega bo‘lgan boshqa birikmalar (adrenalin,

gistamin, morfin, uglerod II-oksidi, natriy nitriti, unitiol va h.) to'qimalarda kislorod kamayishiga olib kelishini ko'rsatdi. Bu bilan to'qimalarning radiorezistenligi oshishiga yerishiladi.

Kislorod effekti tibbiyot klinikasida "nur kasalligi"ning rivojlanishida va nur kasalligi bilan jarohatlanishini kamaytirish masalalarida qo'llaniladi.

Kemiruvchi hayvonlarda ko'pincha me'yorida bo'lgan kislorod bosimida (30–45 GPa) da zararli ta'sirida hayvonlarni radiasiyaga bo'lgan chidamligi ortadi. Kislorodni atrof-muhitda ortishi radiasiyadan keyingi tiklanish holatiga ijobiy ta'sir yetadi.

Shuni ham aytish kerakki, quyonlarda kislorodning past va me'yoridagi bosimlarida kislorod effekti bo'lgan nurlantirilgan quyonda yashovchanlik xususiyati kislorodning miqdori havoda yuqori bo'lgandagidan kamroq bo'lganini aniqlangan.

### **Sinov savollari**

1. Biologik obyektlarning nurlanishdan zararlanishining molekulyar mexanizmlari qanday?
2. Nurlanish ta'sirida nuklein kislotalar, oqsillar, yog'lar, uglevodlarda qanday o'zgarishlar ro'y beradi?
3. Hujayralarning nurlanishga reaksiyalari qanday?
4. Hujayralar nurlatilganda asosiy "nishon" bo'lib nima hisoblanadi?
5. Hujayralar interfazali o'limi mohiyatini tushuntiring.
6. To'qimalarning radiosezgirliги bo'yicha farq qilishi qanday?
7. Bergone- Tribondo qoidasi nimadan iborat?
8. Radiobiologik effektlar turlari qanday?

## XIII bob. NURLANISH KASALLIGI

### 13.1. Tashqi ionlanuvchi nurlanish ta'sirida kelib chiqadigan shikastlanishlar

“Nurlanish kasalligi”ning mexanizmi haqida olimlar o‘z qarashlariga yegadirlar. Bu haqda ingliz olimi Li aytadiki, tirik organizmda juda sezgir molekulalar bor. Ana shunday molekulalar asosan DNK bo‘lib, ular “nishon” deyiladi. Agar radiasion nur DNK molekulasiga urilsa nur kasalligi vujudga keladi deydi. Bu nazariya bir hujayrali organizmlar uchun tasdiqlanadi. Ammo ko‘p hujayrali organizmlar uchun tasdiqlanmaydi. Keyingi nazariya tirik organizm nur kasalligiga chalinganida hujayra va to‘qimalardagi yog‘lar radioaktiv nur ta’sirida suv, vodorod peroksid, al’degid, keton va epoksid kabi zaharli moddalar hosil bo‘lib, nur kasalligiga olib keladi deyiladi.

Odamning nurlanishdan zararlanishi tashqi nurlanish, radioaktiv moddalarning teriga tushishi, radionuklidlarning organizm ichiga tushishi (inkorporasiya) , turli tipdagi nurlanishlarning birgalikdagi ta’siri, radiasiya va boshqa faktorlar (jarohatlar, kuyish, yaralanish) ning aralashgan holdagi ta’siri natijasi bo‘lishi mumkin.

Tashqi nurlanishdan zararlanishni ta’sir yetuvchi nurlarga ko‘ra quyidagi turlarga bo‘lishadi:

- \*  $\gamma$  - yoki rentgen nurlardan zararlanish;
- \* neytron nurlanishidan zararlanish;
- \* proton nurlanishdan zararlanish.

Rentgen va  $\gamma$ -nurlanish, hamda yuqori energiyali neytronlar yuqori o‘tuvchanlik qobiliyatiga yega bo‘lib, o‘z yo‘lidagi barcha to‘qimalarga zarar yetkazadi. Odam va hayvonlarni ushbu nurlar bilan mos dozalar bilan umumiy nurlatganda o‘tkir nurlanish kasalligi paydo bo‘ladi. Protonlar nurlanishi ancha kam o‘tuvchanlik qobiliyatiga ega. Shuning uchun ular faqat teri qatlamlarini zararlantirishi mumkin.

Yutilgan doza taqsimlanishiga qarab organizmda umumiy va mahalliy zararlanishlar paydo bo‘ladi.

Radiasion ta’sirning davomiyligiga qarab nurlanishdan zararlanishning o‘tkir va xronik (surunkali) shakllari bor. O‘tkir nurlanish kasalligi uchun zararlantiruvchi doza bir hafta ichida olingan bo‘ladi. Agar nurlanish vaqti bir necha oy va yillarni tashkil yesa, zararlanishning xronik shakli rivojlanadi.

Nurlanishdan zararlanishning og‘irligi asosan nurlanish dozasiga bog‘liq. O‘tkir nur kasalligi 1 Gr dozadan ko‘proq tashqi nurlanish (rentgen,  $\gamma$  - va neytron) qisqa vaqt ichida olinganda rivojlana boshlaydi. Nurlanish dozasiga ko‘ra o‘tkir nur kasalligining quyidagi shakllari bor (13.1-jadval):

13.1-jadval

**Tashqi tekis nurlanish ta’sirida hosil bo‘ladigan o‘tkir nur kasalining klinik shakllari va og‘irlik darajasi**

Doza, Gr	Klinik shakli	Og‘irlik darajasi	Hayot uchun bashorat	O‘lim%	Halok bo‘lish muddati, kun
1–2	Suyak ko‘migi	I (yengil)	Absolyut yaxshi	0	-
2–4	Suyak ko‘migi	II (o‘rta)	Nisbiy yaxshi	5	40–60
4–6	Suyak ko‘migi	III (og‘ir)	Ishonchsiz	50	30–40
6–10	Suyak ko‘migi	IV (o‘ta og‘ir)	Yomon	95	10–20
10–20	Ichakli	IV (o‘ta og‘ir)	Mutlaq yomon	100	8–16
20–50	Toksemik (tomirli)	IV (o‘ta og‘ir)	Mutlaq yomon	100	4–7
50 dan ko‘p	Serebral	IV (o‘ta og‘ir)	Mutlaq yomon	100	1–3

1 Gr dan kam nurlanishda kuzatiladigan klinik belgilar o'tkir nurli reaksiyalar deb ataladi. Ularga holsizlik, qayd qilishlik, neytrofillar va trombositlar sonining kamayishi kiradi.

1–10 Gr dozada nurlanganda o'tkir nur kasalligining suyak ko'migi shakli rivojlanadi. Bunda qon hosil qiluvchi to'qimalar zararlanadi. Bunda infeksiyon asoratlari, qon oquvchanlik, anemiya paydo bo'lishi mumkin.

10–20 Gr dozadagi nurlanish ingichka ichak yepitelyasida zararlanishlarga olib keladi. 20–50 Gr dozadagi nurlanish deyarli barcha parenximatov organlarning zararlanishiga va natijada toksemiya rivojlanishiga sabab bo'ladi. 50 Gr dan katta nurlanishda markaziy nerv sistemasi zararlanadi.

Nurlanish ta'sirida sut yemizuvchi hayvonlar hayotining o'rtacha davomiyligi nurlanish dozasiga bog'liq. Ko'pchilik hayvonlar 1–1,5 Gr dozada o'lmaydi, 1,5–2 Gr dozada ayrimlari nurlanishdan 20–30 kun o'tgach o'ladi. Doza oshgan sari olishning yehtomoliyati oshib, 4–6 Gr da deyarli 100% halok bo'lishadi, hayotning o'rtacha davomiyligi kamayadi. Dozaning yanada oshishi 100% tajriba hayvonlarining o'limiga olib keladi, va 100–120 Gr oraliqda hayotning o'rtacha davomiyligi deyarli o'zgarmaydi va 4–6 kunga teng bo'ladi. 200–300 Gy dozalarda hayotning o'rtacha davomiyligi keskin kamayadi (1–2 kun). Minglab Gr larda hayvonlar birdaniga o'ladi.

Sut emizuvchilarning nurli o'limi turli biologik mexanizmlar natijasida ro'y beradi. 1,5–6 Gr oraliqda o'lim sababi qon hosil qilish organlarining zararlanishi va qon tarkibining o'zgarishidir. 6–100 Gr oraliqda hayvonlar o'limi sababi hazm qilish organlarining zararlanishi natijasidir. Ingichka ichak yepitelyasining nilli zararlanishi sababli uning to'siq funksiyasi buziladi, organizmga infeksiyalar kira boshlaydi, diareya, qon quyuglanishi va kollaps ro'y beradi.

Yanada yuqoriroq dozalarda markaziy nerv tizimi nurlari zararlanishi, nerv hujayralari yemirilishi va bosh miyaning qon bilan ta'minlanishi buziladi.

Tana bo'yicha notekis nurlanishda organizmning o'limi boshqa sabablar tufayli ro'y berishi mumkin. Teri 7 Gr dan yuqori dozada kam o'tuvchi nurlar (masalan,  $\beta$ -nurlar) bilan nurlanganda hayvonlarda o'tkir nur kasalining teri shakli hosil bo'ladi. Terining to'siq funksiyasi buzilishi, organizmning to'qimalari yemirilishi mahsulotlari bilan zaharlanishi va og'riq shoki o'limning sababi bo'ladi.

Bosh qismining 50–70 Gr dozada nurlanishi tufayli hayvonlarning og'zidagi shilliq pardalar og'ir jaroxatlanadi. Ular ovqatlanma va suv icha olmasligi sababli halok bo'ladi.

Nurlanish dozasi sohasiga qarab organizm o'limiga olib keluvchi kritik organlar tushunchasi kiritilgan. Kritik organdagi zararlanishlar shunday vaqtda ro'y beradiki, boshqa organlarda bu vaqtdagi zararlanishlar organizm uchun havfli bo'lgan darajagacha rivojlanib ulgurmagani bo'ladi. Shuning uchun o'rtacha hayot davomiyligi bilan nurlanish dozasi orasidagi bog'lanish zina-poya shakliga egadir. Halok bo'lishning bosqichli xarakteri kritik tizimlarning ishdan chiqishi bilan bog'liqligi umumbiologik qonuniyat bo'lib, hayvonlarda ko'p tajribalarda isbotlangan.

Umumiy o'tkir nurlanishda 1,5–6 Gr dozada qon hosil qilish organlari kritik bo'lsa, 10–100 Gy oraliqda ingichka ichak yepiteliysi, 100 Gy dan yuqori dozalarda markaziy nerv tizimi kritik organ bo'ladi.

Odam organizmining 2 Gr dan kattaroq dozalardagi birlamchi reaksiyasi qayd qilish, ishtahaning yo'qolishi, bosh og'riqi, umumiy holsizlanish, uyquga tortishdan iborat. Bu 1–3 kun davom yetadi.

Kasallikning og'ir kyechishini ko'rsatuvchi (umumiy doza 10 Gr, dan oshganida) belgilarga qon bosimining pasayishi, xushni qisqa vaqtga yo'qotish, subfebril harorat, ich o'tishi kiradi.

Periferik qonda nurlanishdan so'ng birinchi kunlarda neytrofil leykositoz, limfopeniya kuzatiladi.

Odanning suyak ko'migida miyelokariositlar sonining kamayishi, yosh hujayralarning yo'qolishi ro'y beradi.

Qon va siydik tarkibida 3–4 Gr dan yuqorida shakar va bilirubinning oshishi va xloridlar miqdorining kamayishi aniqlanadi.

2–4 kundan so'ng birlamchi reaksiya belgilari yo'qoladi va kasallar holati yaxshilanadi. Kasallikning latent yoki yashirin bosqichi boshlanadi. Bu bosqich zararlanish og'irligiga bog'liq bo'lib, odamlarda 14–32 kun davom yetadi. 10 Gr dan katta dozalarda bu bosqich umuman boshlanmaydi.

Latent bosqichda sochlar tushishi va nevrologik simptomlar kuzatiladi. Qon tashxisida yaqqol limfopeniya, neytrofillar, trombositlar soni kamayishi aniqlanadi. Suyak miyasida birinchi kunlardanoq aplaziya, 2–3 hafta ichida regenerasiya belgilari kuzatiladi. Shu davrda tuxumdonlar atrofiyasi va spermatogenez susayishi paydo bo'ladi.

Latent bosqichning oxirida kasallar holati keskin yomonlashadi, holsizlik kuchayadi, temperatura oshadi, eritrositlar cho'kishi tezligi ko'payadi. Kasallikning og'ir bosqichi boshlanadi. Gemorragik sindrom ro'y beradi: terida, shilliq pardalarda, hazm qilish yo'llarida, miyada, yurakda, o'pkada qon quyilishi ro'y beradi. Ushbu davrda bu jarayonlar kasallar hayoti uchun yeng havflidir.

Qonning tarkibi bu davrda asosan limfositlardan iborat. Bu bosqichda anemiya kuchaya boshlaydi. Suyak ko'migida va limfatik tugunlarda regenerasiya boshlanadi. Qon hosil qilish tizimida gipoproteinemiya va gipoalbuminemiya kuzatiladi, asosiy azot miqdori oshadi, xloridlar miqdori kamayadi. Moddalar almashinishidagi buzilishlar tufayli odam massasi kamayadi. Davolanish natijasida kasallik to'rtinchi bosqichi-tiklanish boshlanishi mumkin.



### 13.2. Ionlanuvchi nurlanishning ichki organlarga tushishi natijasidagi zararlanishlar

Atom energetikasidan foydalanish oshgan sari ionlanuvchi nurlanish manbalari (radionuklidlar) ning atrof muhitda tarqalishi va ovqatlanish zanjirlari bo‘ylab harakatlanishi muammosi paydo bo‘ldi.

Organizm ichiga tushayotgan radionuklidlar uni ko‘p davomli vaqt nurlantiradi. Bu shu dozadagi tashqi nurlanish bilan bir marta nurlanganga nisbatan kattaroq zararlanishga sabab bo‘ladi. Organizmga katta miqdordagi radionuklidlar tushishida o‘tkir nur kasalligi rivojlana boshlaydi. Bunda radionuklidlar qaysi organda ko‘proq to‘plansa, shu organ eng ko‘p jaroxtalanadi. Tashqi nurlanishdan farqli ravishda ichki nurlanishda organizmning o‘zi to‘qimalarda nur dozasini hosil qilishda qatnashadi. Bu radionuklidlarning organizm ichidagi harakati bilan bog‘liq. Masalan, 30% radioaktiv iod tana massasining 0,03% qismini hosil qiluvchi qalqonsimon bezda to‘planadi, natijada unda nurlanishning yuqori letal dozasi hosil bo‘ladi.

Ichki nurlanish nuklidning organizmdan chiqarilishigacha yoki nuklidning radioaktiv emirilishi tufayli aktivligining kamayishigacha organizmni nurlatadi. Radionuklidlarning organizmdan chiqarilishi eksponensial qonuniyatga bo‘ysungan holda nuklidni organizmdan yarim chiqishi samarali davri tushunchasidan foydalaniladi:

$$T_{ef} = \frac{T_{ch} T_{1/2}}{T_{ch} + T_{1/2}}$$

Bunda  $T_{ch}$  - yarim chiqarish davri,  $T_{1/2}$  - yarim yemirilish davri.

Tashqi nurlanishdan farqli ravishda ichki nurlanishda  $\alpha$  – va  $\beta$  – nurlarning havfi oshadi. Radionuklidlar organizmga nafas olish, hazm qilish organlari va teri orqali tushadi. Nafas olish organlari orqali tushgan nuklidlar yutish natijasida nuklidlarga nisbatan

ko'proq bo'ladi. Shikastlanmagan teri orqali nuklidlar tushishi hazm qilish yo'li bilan tushishga nisbatan 200–300-marta kam.

Kritik organga tushayotgan nuklidlar konsentrasiyasi nuklidlar tabiatiga va o'lchamlariga bog'liq. Radiasion himoya xalqaro qumitasining hisobiga ko'ra ayerozollar o'lchami 1 mkm bo'lganda nafas olishda tushgan nuklidlarning 35% nafas bilan chiqadi, 30% yuqori nafas olish yo'llarida o'tiradi, 25% o'pkaning alveolarida va 8% traxeyalarda o'tirib qoladi.

Kritik organlardan nuklidlarni biologik yarim chiqarish davri o'nlab kundan (tritiy,  $C_{14}$ ,  $Na_{24}$ ) cheksizgacha (stronsiy-90, plutoniy-239 ning to'la yutilishi) bo'ladi.

Organizmدا nuklidlar tarqalishiga qarab uch guruhga bo'linadi: suyaklarda to'planadiganlari (ittriy-90, stronsiy-90, plutoniy-239 va h.), jigarda (poloniy-210, seriy-144 va h.), butun tanada to'planadigan (tritiy, uglerod-14, seziy-137 va h.).

Radionuklidlar organizmga tushishida ularni tezda chiqarish usullaridan foydalanish zarur. Buning uchun qayd qiluvchi preparatlar, nuklidlar adsorbentlarini berish, ko'p suv ichish kerak.

Odam organizmiga tushgan radionuklidlar inkorporasiyalashgan nuklidlar deb ataladi. Yarim yemirilish davri 10 yildan ortiq bo'lgan radionuklidlarda kimyoviy toksiklik birinchi o'rinda, yarim yemirilish davri 10 yil bo'lgan nuklidlarda kimyoviy va nur toksikligi teng kuchli va yarim emirilish davri ming yillar bo'lsa radiasion sarar yeng katta bo'ladi.

$\beta$  – va  $\gamma$  –nurlar chaqaruvchi moddalarga nisbatan,  $\alpha$  –nurlari radionuklidlar bir marta ta'sirga nisbatan samaraliroq bo'ladi. Natijada bu nurlardan zararlanish kuchliroq bo'ladi.

Radionuklidlar bug'oz hayvonlarga tushishida ona organizmidan hosilaga o'tishi (fosfor-32, stronsiy-90) va yembrionni zararlantirishi mumkin. Plutoniy- 239 esa embrion plasentasida to'planadi va yuqori dozalarda embrionni halok qildiradi.

Yaqin vaqtlargacha tibbiyotda bo'g'oz ayollarga iod-131 ni terapevtik davolash uchun kiritilishi hosilada 65 Gy gacha nurlantirish hosil qilgan va uning qalqonsimon bezining yemirilishiga olib kelgan.

Sichqonlarga bo'g'ozlikning 19-kunida stronsiy-90 ning ineksiyalari qilinganda nasl qoldirish funksiyasining buzilishi, fibroz, va tuxumdonlar ichki qismining o'simtalari paydo bo'lishi kuzatilgan.

Teri tagiga stronsiy-90 radionuklidi kiritilgan kalamushlarda teri sklerozi, o'choqli fibroz, turli o'simtalar paydo bo'lgani kuzatilgan.

Nafas olish orqali o'pkaga tushgan radionuklidlar ta'sirida o'pka nurli pnevmoniyasi, alveolalar fibrozi va o'pka raki boshlanishi mumkin. Kemiruvchilar bilan o'tkazilgan tajribalarda o'pkada Gy ning har o'ndan biriga million hayvondan  $\beta$  - va  $\gamma$  - nurlar uchun 10-50 tasi rakdan o'lgan,  $\alpha$  - nurlar uchun esa rak bo'lganlari soni 600-1500 ta bo'lgan.

O'pka singari hazm qilish tizimi ham radionuklidlarning organizmga tushishi va chiqarilishi yo'lidir. Radionuklidlarning hazm qilish yo'llarida shimilishi ularning qanday birikmada ekanligiga bog'liq. Masalan, hazm qilish tizimida plutoniy-238 ning shimilishi plutoniy nitratining shimilishidan 25-marta katta.

Radionuklidlarning uzoq vaqt tushishi natijasidagi surunkali nur kasalligida ko'r, sigmasimon va to'g'ri ichaklarda yaralar, shamollashlar paydo bo'lgan. Kasallikning surunkali bosqichida hayvonlarning bir qismi nefroskleroz, jigarning distrofik va sklerotik o'zgarishlaridan o'lgan. Patologik jarayonga yaqin yotuvchi arteriyalar ham yo'liqadi.

Yurak -tomirlar tizimi radionuklidlar bilan nurlanganida kapillyar tarmoqlar, vena bo'limi va arteriya tarmoqlari buziladi. Kalamushlar organizmiga radionuklidlar kiritilganda uzoq muddatlarda gipofiz o'simtasi hosil bo'lgani tajribalarda isbotlangan. Ichki nurlanish ta'sirida buyrak tomirlari va parenximasida zararlanishlar aniqlangan. Qon tizimi orqali

radionuklidlar suyaklarda to'planishi mumkin. Nurlanishning kichik dozalarida ham yosh hayvonlar kalla suyaklari o'sishi kamaygan, tos suyaklari o'lchamlari va shakli o'zgargan.

### 13.3. Nurlangan organizmlar tiklanishi

Tiklanish fazasi boshlanishi haroratning normallasuvi, kasal kayfiyatining yaxshilanishi, ishtaha ochilishi, uyqu tiklanishi bilan xarakterlanadi. Odatda kasal tanasining massasi osha boshlaydi. Qon ko'rsatkichlari asta-sekin tiklana boshlaydi, 2–3 oy ichida eritrositlar soni boshlang'ich darajasiga yerishadi.

Qon morfologik tarkibining normalashuvi qon hosil qilish tizimida regenerator jarayonlar kuchayishi bilan bog'liq. Ushbu davrda qon va siydik biokimyoviy ko'rsatkichlari ham normallasadi.

Tiklanish fazasining davomiyligi 2–2,5 oy. 3 oy oxiriga kelib kasallar holati qoniqarli bo'lib qoladi. Ammo nurlanish kasalligining ayrim asoratlari qoladi. Masalan, soch to'kilishi (sochning o'sishi 4 oyga borib tiklanadi).

Nurlanishdan zararlanishning patogenetik mexanizmlarini bilish o'tkir nurlanish kasalligini davolash uchun kerak. Bunda nurlanish kasalligini hayvonlarda o'rganishda odamlarda bu kasallikning o'ziga hos xususiyatlari borligini yesdan chiqarmaslik kerak. Birinchidan, odamlarda suyak ko'migi sindromi rivojlanishi uchun yyetarli bo'lgan 2–3 Gr doza, sichqonlar, quyonlar va kalamushlarda qon hosil bo'lishini unchalik buzmaydi. Odamlardagiday sindrom paydo bo'lishi uchun ularni mos holda 6,7,8 Gr dozalar bilan nurlatish kerak. Ikkinchidan, odamlarda va hayvonlarda tipik simptomlar paydo bo'lish vaqtlari orasida katta farq bor. Odamlarda suyak ko'migi sindromi 4–5 haftalarda rivojlansa, kalamushlar, quyonlar, sichqonlar, maymunlar, itlar va cho'chqalarda nurlanishdan so'ng 2–3 haftalarda boshlanadi. Uchinchidan, kasallikning kuchaygan davrida paydo bo'luvchi simptomlari ham mos kelmaydi. Kalamushlar, sichqonlar,

quyonlarda o'rtacha letal dozada nurlatilganda granulopeniya nurlanishdan so'ng ancha yerta boshlanadi va tiklanishga qarab o'zgaradi. Bu davrda esa trombositopeniya o'zining yeng katta ifodalanishiga yerishadi.

O'tkir nurlanishdan so'ng organizmda kechuvchi tiklanish jarayonlari qolgan hujayralarni proliferasiyasi hisobiga kritik organlar hujayralari populyasiyasini to'ldirish va ularning funksional aktivligining tiklanishidan iborat.

XX asrning birinchi yarmida postradiasion tiklanish faqat zararlanmagan hujayralar hisobiga ro'y beradi deb hisoblanar edi. Hozir kritik organ va tizimlar reparasiyasi qisman zararlangan tiklanuvchi hujayralar hisobiga ham ro'y beradi deb hisoblanadi.

Hujayralar tiklanishi eksponensial qonunga bo'ysungani uchun, amaliyotda to'liq tiklanish davri emas, yarim tiklanish davri olinadi. Yarim tiklanish davri kattaligi hayvon umri uzoqligiga bog'liq. Bu ko'rsatkich sichqonlar uchun 2–8 kun, kalamushlarda 6–9 kun, itlarda 14–18 kun, odamlarda 25–45 kunga teng. Radiasiyadan keyingi tiklanish to'liq bo'lmaydi, zararlanishning kamida 10% tiklanmaydi. Tiklanmagan qoldiq o'zgarishlar miqdori yutilgan dozaga proporsionaldir. Organizmning radiasiyadan keyingi tiklanishni baholash uchun uning keyingi nurlanishga sezgirligini o'rganish usuli qabul qilingan. Bu usulni 1955-yilda G. Bler taklif yetgan va keyinchalik G. Devidson rivojlantirgan. Organizmning keyingi nurlanishga sezgirligini baholash uchun LD<sub>50/30</sub> kattaligi olinadi (organizmning 30 kunda 50% o'limiga keltiruvchi doza qiymati) va uni birlamchi nurlanishdagi shunday kattalik bilan taqqoslashadi. Blerning klassik nazariyasida tiklanish jarayoni doimiy tezlik bilan boradi deb hisoblanadi. Ushbu nazariyaga ko'ra sof shikastlanish bilan effektiv doza orasidagi bog'lanish quyidagi tenglama bilan beriladi:

$$D_f = D [f + (1-f) e^{-\beta t}],$$

Bunda  $f$ -zararlanishning tiklanmaydigan qismi,  $(1-f)$ -tiklanadigan zararlanish qismi,  $\beta$  - kuniga tiklanishning tezligi, % da,  $t$ -kunlar,  $e$ -natural logarifma asosi.

Takroriy nurlanish va  $LD_{50/30}$  ni aniqlash turli vaqt oraliqlarida amalga oshirilsa, birlamchi va keyingi nurlanishdagi  $LD_{50/30}$  har farqiga qarab, qoldiq radiasion zararlanishning o'zgarishini, radiorezistent organizmning tiklanish tezligini va organizm yarim tiklanishining vaqtini topish mumkin. Bler-Devidson nazariyasi asosan tajribalarda tasdiqlangan bo'lsa ham keyingi paytda undagi kamchiliklar haqida fikrlar ham paydo bo'ldi. Ularga ko'ra tajribalarda organizmlar zararlanishi va tiklanishi jarayonlarini o'rganishda tekshirilayotgan nurlanish dozasiida kritik bo'lgan organlarni ajratib qarash kerak.

Fiziologik regenerasiya kuchli bo'lgan to'qimalardan farqli o'laroq, kam yangilanuvchi to'qimalarda radiasion zararlanishlar ko'zga tashlanmaydi. Mexanik shikastlanish yordamida bu to'qimalarda tiklanish jarayonlarini stimullashtirish hisobiga yashirin o'zgarishlarni ro'yobga chiqarish mumkin. Bu fikrni tajribada tekshirishda Samarqand tibbiyot institutining olimlari professorlar F.Golub, A.Britun, U.Oripovlarning ham xizmati bor.

### **Sinov savollari**

1. Radiasion zararlanishning qanday turlari mavjud?
2. O'tkir nur kasalligiga ta'rif bering
3. O'tkir nur kasalligining nurlanish dozasiiga qarab og'irlik darajalari qanday?
4. O'tkir nur kasalligining suyak ko'migi shaklida qanday davrlarni ko'rsatish mumkin?

5. Nurlanishning qanday dozasida o'tkir nur kasalligining ichak shakli rivojlanadi?

6. 20 Gr dan 50 Gr gacha nurlanish dozasida o'tkir nur kasalligining qanday shakli rivojlanadi?

7. O'tkir nur kasalligining serebral shakli qanday dozada boshlanadi?

8. Tashqi notekis nurlanishdan radiasion zararlanishning qanday shakli rivojlanadi?

## XIV bob. RADIASION EKOLOGIYA VA TOKSIKOLOGIYA

### §14.1. Radioekologiya va uning vazifalari

Radioekologiya- ekologiya fanining bo'limi bo'lib, uning asosiy vaifasi –ionlanuvchi nurlanishlarning biosenoza ta'sirini o'rganishdan iborat.

Ionlanuvchi nurlanishning odam faoliyatining turli sxalarida tobora keng foydalanilayotganligi, radionuklidlarning atrof muhitga chiqishi va tabiatga ta'sir yetishining kuchayishi masalalari radioekologiyani alohida fan bo'lib ajralishiga sabab bo'ldi.

Yerimiz rivojlanishi davomida turli geofizik jarayonlar natijasida yer tabiiy radiyasiya shakllandi. Bu radiasiya mavjudligi hayvonlar va o'simliklar yevolyusiyasiga doimiy ta'sir yetib turdi. Shuning o'zi yer tabiiy radiyasiyasining tirik organizmlar moslashish shakllarini yuzaga keltirishda, ularning takomillashishida ijobiy rol o'ynaganini ko'rsatadi.

Kosmosdan Yerga tushuvchi nurlar va Yer jinslarida, qurilish materiallarida, oziq-ovqatda bo'lgan radioaktiv moddalar tabiiy radiyasiyani hosil qiladi. Xalqaro atom energiyasi agentligi (IAEA) ning ma'lumotlariga ko'ra ionlanuvchi nurlanishning yerda bir yilda o'rtacha individual dozasi miqdori 14.1-jadvalda keltirilgan [1].

Tabiiy radioaktiv izohoplar Yerning barcha qatlamlarida: litosfera, gidrosfera, atmosfera, biosferada mavjud.

Barcha tabiiy nurlanish manbalari odamlar va hayvonlarga tashqi va ichki yo'llar bilan ta'sir yetishi mumkin. Tashqi manbalardan kosmik nurlar, tuproqdagi va qurilish materiallaridagi tabiiy radiasiya katta ahamiyatga ega. Ichki manbalardan- havoda, suvda, oziq-ovqatda va odam organizmidagi radioaktiv moddalardir. Ular orasida kaliy-40 va radon-222 alohida o'ringa ega.

Yerdagi radiasiya manbalari tirik organizmlar tabiiy manbalardan nurlanishining asosiy qismini tashkil yetadi. O'rtacha hisobda ular aholi oladigan yillik effektiv yekivalent dozaning 5/6



qismini beradi. Tabiiy radioaktiv moddalar tashqi muhitga asosan tog' jinslaridan tushadi. Bu moddalarning tog' jinslaridagi konsentratsiyasi 14.2-jadvalda keltirilgan.

14.1-jadval

**Yerda ionlashtiruvchi nurlanishning bir yilda o'rtacha individual effektiv dozasi (mSv)**

Manba	Doza	Chegarasi
Tabiiy fon Tashqi nurlanish		
Kosmik	0,4	0,3–1,0
Xududiy	0,5	0,3–0,6
Ichki nurlanish		
Nafas olish bilan	1,2	0,2–10
Hazm qilish orqali	0,3	0,2–0,8
Jami	2,4	1–10
Tibbiy muolaja bilan	0,4	0,04–1,0
Yadroviy sinovlar		0,15-kamayish trendi
Chernobil avariyasi	0,002	0,04- kamayish trendi
Nurlanishli mahsulotlar	0,0002	kamayish trendi
<b>Jami</b>	<b>2,8</b>	<b>1–10</b>

Radioizohoplarning harakati jarayonlarida o'simlik va hayvonlar katta rol ni o'ynaydi. O'simlik va hayvonlarning radioaktivligi tabiatda uchraydigan barcha radioizohoplar bilan bog'langan. Ularda ayrimlari stabil izohoplar bilan birikkan holda tirik organizmlar hayot faoliyatida qatnashadi ( $K^{40}$ ,  $C^{14}$ ,  $H^3$ ). Ularning organizmdagi miqdori stabil izohoplar to'planishi darajasi bilan bog'liq. Masalan, nuxatda kaliy 0,9%, sariq yog'da – 0,012%, shuning uchun nuxatning kaliy-40 hisobiga nisbiy aktivligi 274 Bk/kg teng bo'lsa, sariq yog'niki- 3,7 Bk/kg.

Yerdagi jinslarda kaliy, radiy va toriy  
konsentrasiyasi

Jins	Mamlakat	Sinovlar soni	O'rtacha konsentrasiya, Bk/m <sup>3</sup>		
			K <sup>40</sup>	Ra <sup>226</sup>	Th <sup>232</sup>
Granit	FRG	34	1200	100	80
Granit g'ishtlar	Buyuk Britaniya	7	1000	90	85
Granit	Rossiya	2	1500	110	17
Vulkan penzasi	FRG	20	1100	130	13

Organizmdagi boshqa izohoplar ( $U^{238}$ ,  $Ra^{226}$ ,  $Th^{232}$ ,  $Pb^{210}$ ,  $Po^{210}$ ) miqdori ularning atrof muhitdagi miqdoriga bog'liq. Masalan, odatdagi tuproqda o'stirilgan o'simliklar kuyasida uran o'rtacha  $3 \cdot 10^{-4}$  g/kg bo'lsa, uran bilan boyitilgan tuproqlarda o'sgan o'simliklar kuyasida  $2 \cdot 10^{-3}$  g/kg bo'ladi.

O'simliklarda K<sup>40</sup> ning miqdori tuproqdagi miqdoridan 3–10-marta kam. Hayvonlar organizmida kaliy miqdori undan ham kam (tuproqdagi miqdoridan 10–15-marta kam). Massasi 70 kg bo'lgan odam organizmida 130 g kaliy bor. 14.3-jadvalda odam organizmining ayrim organlarida kaliy miqdori va uning nisbiy radioaktivligi berilgan.

Katta odam tanasida uglerodning umumiy miqdori 18% ni, ya'ni 12,6 kg ni tashkil yetadi. Uglerod to'qimalarda tekis tarqalganini hisobga olsak, ularning C<sup>14</sup> bo'yicha nisbiy radioaktivligi 52 Bk/kg ga teng.

Muskullarda tritiy miqdori 10,2%, suyaklarda esa 6,4%. Odam tanasining yumshoq to'qimalarining H<sup>3</sup> hisobiga nisbiy radioaktivligi 0,55 Bk/kg, ssuyaklarniki 0,34 Bk/kg ga teng. Radiy asosan suyaklarda to'planadi va miqdori  $0,5 \cdot 10^{-13}$  kg atrofida

bo'ladi. Qurg'oshin  $Pb^{210}$  ning asosiy qismi skeletda bo'lib, uning nisbiy aktivligi 15 Bk/kg. Organizmda uranning umumiy miqdori kam.

14.3-jadval

**Odam organizmining ayrim organlarida kaliy miqdori va uning nisbiy radioaktivligi**

Organ , to'qima	Kaliy miqdori, mg	Nisbiy radioaktivlik, Bk/kg
Muskullar	360	107
Bosh miya	330	89
Jigar	215	63
O'pka	150	44
Yog' to'qimasi	60	19
Suyak	61	18

Odam organizmidagi radioaktivlik darajasi almashish jarayonlari tezligiga va rasionida radioizohoplar mavjudligiga bog'liq.

Qurilishda ishlatiladigan materiallar tarkibida radionuklidlar bo'lishi mumkin.  $\gamma$  – fonning yeng kichik qiymati yog'ochdan yasalgan uylarda kuzatiladi- 0,5 Gr/kg, g'ishtli uylarda -1 Gr/kg, temir beton uylarda-1,7 Gr/kg.

Odamning yerdagi tabiiy radionuklidlar nurlanishining yillik effektiv yekivalent dozasi  $3,5 \cdot 10^{-4}$  Zv ga teng. Bu dozaning asosiy qismi yopiq binolarda nafas olishi natijasida tushadi. Bunda radon gazi asosiy rolni o'ynaydi. Yopiq binolarga radon asosan tuproqdan o'tadi. Radon konsentrasiyasini kamaytirish uchun binolar ventilyasiyasiga ye'tibor berish zarur. Havo almashinishi yomon bo'lgan binolar ichida radonning darajasi  $740 \text{ Bk/m}^3$  ga yetadi. Radon yer sirtining yuqori qatlamlaridan atmosferaga tushadi. Radonning atmosferaga tushish tezligi tuproqning holatiga, namligiga, haroratga bog'liq. Qor qatlami yerning tabiiy radiyasiyasini kamaytiradi.

Dunyoning ayrim joylarida tabiiy radiasion fonning doza quvvati boshqa joylarga nisbatan ancha katta bo'ladi. Bunday joylar Pomir va Tibetdagi tog'li rayonlarda aniqlangan. O'zbekistonda uran olinadigan korxonalar joylashgan hududlar: Markaziy Qizilqum va Chotkol-Kuramada radiasion fon yuqoridir.

Yer radioaktiv fonida kosmik nurlanishning ham ulushi bor. Kosmik nurlanish uch manbadan keladi: Yer atmosferasidagi radiasion qatlamlardan, galaktikadan, Quyoshdan. Birlamchi kosmik nurlanishning 92% protonlardan, 7%  $\alpha$  – zarrachalardan va boshqa atomlarning yadrolaridan iborat. Ushbu kosmik zarrachalar atmosferadagi atom va molekulalar bilan ta'sirlashganida radionuklidlardan iborat bo'lgan ikkilamchi kosmik nurlanish hosil bo'ladi. Yerga yaqinlashgan sari birlamchi kosmik nurlanish intensivligi kamayadi, ikkilamchi kosmik nurlanishniki oshadi.

Yer atrofida magnit maydoni ta'sirida ushlab qolingani va qutbdan-qutbga qarab harakatlanayotgan zaryadli zarrachalardan iborat bo'lgan qatlamlar mavjud. Ular radiasion qatlamlar deb ataladi. Radiasion qatlamlar yer radiusining 1,2 sidan 8 tasiga teng bo'lgan masofalarda joylashadi. Ichki qatlam asosan protonlardan iborat, tashqi qatlam elektronlardan tashkil topgan.

Quyosh radiyasiyasi elektromagnit nurlanishdan va korpuskulyar nurlanishdan iborat. Quyosh korpuskulyar nurlanishi asosan protonlar va elektronlar oqimidan tashkil topadi. Quyosh aktivligi keskin oshganda kosmik nurlanish intensivligi 4–100% gacha oshishi mumkin. Bunday paytlarda odamlarning bir qismida yurak va asab kasalliklari kuchayishi ro'y beradi.

Uran asosan yerning yuqori qatlamlarida mavjud. Yerning 20 km li qatlamida  $10^{17}$  kg uran bor. O'zbekistonda uran olinadigan va olinishi to'xtagan, ammo uran qoldiqlari saqlanayotgan hududlar jumlasiga Navoiy, Uchquduq, Angren, Yangiobod shaharlari, Chorkesar, Chauli, Maylikatan qishloqlari kiradi.

Ayrim hayvonlar radiasiya ta'sirini sezadi. Chumolilar harakati tezlashadi, ular nurlanish zonasini tashlashga intiladi. Tropik

baliqlar ham o'zini shunday tutadi. 14.4-jadvalda odam yerning radiasiya fonidan olayotgan nurlanishi effektiv dozalari berilgan.

14.4-jadval

**Odaming tabiiy nurlanish manbalaridan olayotgan nurlanish effektiv dozasi, mkZv/yil**

Radiasiya manbalari	Tashqi nurlanish dozasi	Ichki nurlanish dozasi	Yig'indi doza
Kosmik nurlanish	300	-	300
Kosmogen nuklidlar	-	15	15
K <sup>40</sup>	120	180	300
Rb <sup>87</sup>	-	6	6
U <sup>238</sup> qatori	90	1150	1240
Th <sup>232</sup> qatori	140	230	380
Jami	650	1600	2250

Insonlarning faoliyati natijasida radiasion fon o'zgarib bormoqda. Biosferaga radioaktiv chiqindilar tushishi manbalari sifatida quyidagilarni ko'rsatish mumkin:

- yadro qurollarini sinash;
- yadro energetikasi uchun kerakli moddalarni oladigan, ularni qayta ishlaydigan korxonalar;
- radionuklidlardan ishlab chiqarishda foydalanadigan korxonalar, laboratoriyalar.

Atom portlashida yadro yoqilg'isi bo'linishi mahsulotlari atrof muhitga tushadi. Uran va plutoniy parchalanishi natijasida 36 kimyoviy yelementning 200 ga yaqin izohoplari hosil bo'ladi. Ulardan biologik siklga faol qushilishi va katta yarim yemirilish davriga ega bo'lgan Sr<sup>90</sup> va Cs<sup>137</sup> izohoplar yeng havflidir. Termoyadro portlashlarda qo'shimcha holda C<sup>14</sup> va H<sup>3</sup> hosil

bo'ladi. Sobiq Sovet Ittifoqida yadro sinovlarining 95% Qozoqistondagi Semipalatinsk yadro poligonida o'tkazilgan. Ushbu yadro sinovlari natijasida Yerimizning shimoliy yarim shari tabiiy muhitining ifloslanishiga qo'shilgan xissa 40% ni tashkil yetgan. AQShda o'tkazilgan yadro qurollari sinovlari ham ifloslanishga 40% xissa qo'shgan, qolgan 20% ni Angliya, Fransiya va Xitoyda o'tkazilgan sinovlar bergan.

Uranni kavlab oluvchi, qayta ishlovchi korxonalar jumlasiga uran konlari va gidrometallurgik kombinatlar, yadro reaktorlari bor elektrostansiyalar va ilmiy muassasalar kiradi.

Butun jahonda ishlab chiqarilayotgan elektr energiyasining 20% atom elektr stasiyalarida (AES) olinadi. O'zbekistonga qo'shni mamlakatlardan Rossiyada 10 ta AES, Qozoqistonda 1 AES, Eronda 1 AES mavjud. 2020–2025-yillar davomida Misrda, Saudiya Arabistonida, Vetnamda yangi AES qurilishi belgilab qo'yilgan. Bundan tashqari Markaziy Osiyo mamlakatlarida 2, Yaqin Sharq mamlakatlarida 12 ta yadro tadqiqot reaktorlari ishlab turibdi.

Ularning ishlashi natijasida gazzimon, suyuq, qattiq holdagi radioaktiv chiqindilar paydo bo'ladi. Radioaktiv fon yildan-yilga ortib borishining sabablari juda ko'p bo'lib, radioaktiv uranni qazib olish, qayta ishlash, boyitish jarayonlari radioaktiv moddalardan energetik nuqtai nazaridan fan va qishloq xo'jaligida, tibbiyotda qo'llanilishi radioaktiv fonning ortib borishiga olib kelmoqda. 1986-yilda Ukrainada joylashgan Chernobil atom elektrostansiyasida avariya natijasida Ukraina, Belorussiya, Rossiyaning ayrim hududlari radiasion ifloslanishi ro'y bergan. Uning asoratlari hozirgi kunga qadar sezilmoqda. 2014-yilda Yaponiyada zilzila natijasida Fukudzima atom elektrostansiyasi shikastlanishi natijasida katta hududda yer va suvning radioaktiv moddalar bilan ifloslanishi ro'y berdi. 1995-yilda Toshkent viloyati Angren shahrida Appartakda toshko'mir ni ochiq kavlab olishda radiasiya darajasi meyordan o'nlab marta oshganligi aniqlandi. Angren shahri va qo'shni hududlarning radioaktiv zararlanishini oldini olish uchun

Appartakdan 100000 tonna radioaktiv toshko‘mir maxsus joyga chiqarilib ko‘mildi.

Tabiiy radionuklidlarning qishloq xo‘jaligi o‘simliklaridagi konsentratsiyasi  $^{40}K$  uchun 100–500 Bk/kg, chorva mollarida 70 Bk/kgni,  $^{220}Ra$  mos holda 0,5 va 0,07 Bk/kg ni,  $^{238}U$  uchun 0,006 va 0,0012 Bk/kg ni tashkil etadi.

O‘zbekiston hududida radiasion vaziyat asosan me‘yor talablariga mos keladi.

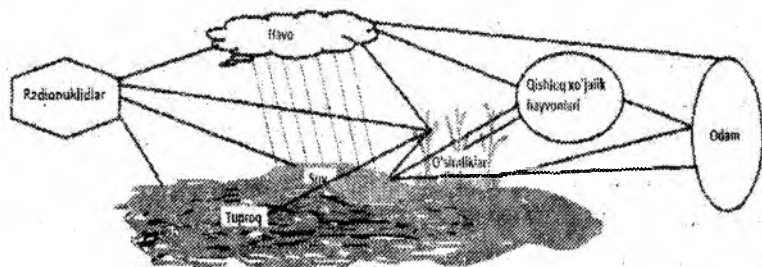
O‘zbekistonning birinchi Prezidenti I.A.Karimov o‘zining “XXI asr bo‘zag‘asida: xavfsizlikka tahdid barqarorlik shartlari va taraqqiyot kafolatlari” asarida (1997) eng dolzarb ekologik muammolardan biri deb, radioaktiv fonning oshib borayotganligini ta‘kidlab o‘tganlar. Chunki bizning respublikamiz hududlarida radioaktivligi yuqori bo‘lgan joylar ko‘plab uchraydi. Ayniqsa, Uchquduq, Yangiobod, Chotqol tog‘ tizmalarida, Buxoro, Qashqadaryo, Surxandaryo, Namangan viloyatlarida radioaktiv uranli tuproqlarda yem-xashak o‘tlar o‘sadi va hayvonlar boqiladi. Natijada bevosita hayvonlarning go‘shida, sutida radioaktivlik paydo bo‘ladi. Bu esa nafaqat hayvonlarda, balki odamlarda ham “nurlanish kasalligi”ni elementlari paydo bo‘lishiga olib keladi. Shuning uchun ham hozirgi avlod atom nurlarining tirik organizmga, jumladan hayvonlarga zararli ta‘sir oqibatlarini astoydil o‘rganish kerak.

#### **§14.2. Radioaktiv moddalarning organizmlarga tushishi, to‘planishi va chiqarilishi**

Yadro parchalanishi mahsulotlari gravitasion kuch ta‘sirida quruq holda, yoki asosan yog‘inlar bilan birga yer sirtiga tushgach, radioaktiv chiqindilar bilan birga tuproq va suvga, o‘simlik va hayvonlarga o‘tadi va moddalar almashinishida qatnasha boshlaydi.

Radionuklidlarning organizmga tushish yo‘llari ularning havoda, tuproqda, ichimlik suvida, o‘simlik va go‘sh t mahsulotlarida

mavjudligiga bog‘liq. Ulardan asosiysi havodagi radionuklidlardan tashqi nurlanish, ularning nafas olishda organizm ichiga tushishi, tuproqdagi radionuklidlardan tashqi nutlanish, tuproq va suvdagi radionuklidlarning ovqatlanish zanjiri orqali organizmga tushishi natijasida ichki nurlanish yuzaga kelishidir. Tabiatda radionuklidlar harakatining asosiy zanjirlari 14.1-rasmda ko‘rsatilgan.



**14.1-rasm. Tabiatda radionuklidlar harakati**

Radionuklidlarning ovqatlanish zanjiri orqali harakatlanishi ularning fizik-kimyoviy xossalariga va tuproqning turi, mineral tarkibi, kislotaligi, unda organik moddalar miqdori, namligi va h. bog‘liq.

O‘simliklarda stronsiy eng ko‘p o‘zlashtiriladi, so‘ngra seziy. Tuproqdagi mikroorganizmlar radionuklidlar bilan bog‘lanib ularning harakatlanishiga to‘sqinlik qiladi. Ular  $^{137}\text{Cs}$  ning 60% ni bog‘lab, uning ovqatlanish zanjiriga qo‘shilishiga qo‘ymaydi. O‘simliklarga tushgach radionuklidlarning bir qismi ildizlarda, boshqalari poya, barg va urug‘larda taqsimlanadi. Masalan, o‘simliklarga tushgan radioaktiv stronsiyning 50–80% gemisellyuloza va kraxmal bilan bog‘lansa, 6–40% oson eriydigan shaklda bo‘ladi va 10% dan kam to‘qimalarda bo‘ladi. Fitatlar bilan boy oziqalarda radioaktiv rux kalsiy bilan bog‘lanadi va cho‘chqalar tomonidan yomon o‘zlashtiriladi. Mis, kobalt, iod, temir, mangan



kabi mikroyelementlarning radioizohoplari oziqalarda organik yoki xelatlar birikmalari shaklida bo'lishi mumkin. Bunda turg'unligi kam birikmalardagi metallar hayvonlar organizmiga yaxshiroq o'tadi.

Odam o'pkasining alveolalari umumiy yuzasi taxminan  $100 \text{ m}^2$  ga teng bo'lib, odam terisining yuzasidan 50-marta katta. Shuning uchun organizm radionuklidlarning ayerozollari, gazlari bilan uchrashganida zararlanishning asosiy yo'li nafas olish orqali bo'ladi.

Nafas olish organlariga to'g'ri keladigan nurlanish dozasi hisoblash uchun Radiasion himoya xalqaro komissiyasi taklif yetgan modeldan foydalaniladi. Unda nafas olishda tushgan zarrachalarda 25% nafas chiqarish bilan chiqib ketadi deb hisoblanadi. Agar qolgan radionuklidlar 100% deb olinsa, ularning 25% rezorbsiyalanadi, makrofaglar tomonidan ushlangan radionuklidlar 15% ni, fagositlar tomonidan ushlanganlari 10% ni tashkil yetadi. 50% radionuklidlar organizmdan chiqarish tizimlari orqali ajralib chiqadi, bunday jarayonda yarim chiqarishning effektiv davri 20 kunga teng. Radionuklidlarning kamgina qismi o'pka parenximalarida, yepitelial hujayralarda saqlanadi, ulardan yarim chiqarishning effektiv davri 600 kunga teng. Radionuklidlar o'pka-bronxlar limfatik tugunlarida yanada kuchliroq bog'lanib qolishadi.

Ingalyasiyada o'pkada 75% radionuklidlar qoladi, ulardan deyarli yarmi bronxlardan chiqishida yutiladi va oshqozon-ichak yo'llariga tushadi. O'pkada qolgan radionuklidlarning bir qismi fagositlanadi, o'pka limfatik tugunlariga tushadi, bir qismi alveolalar orqali qonga o'tadi.

Organizmgaga radionuklidlar tushishining ikkinchi asosiy yo'li oshqozon-ichaklar orqalidir. Yaxshi yeruvchi radionuklidlar asosan ingichka ichakda shimiladi. Ishqoriy metallar va galoidlarning yeritmalari ayniqsa tez va to'la rezorbsiyalanadi. Plutoniya va transuran yelementlar radioizohoplari yomon shimiladi. Erimaydigan va kam yeriydigan  $\gamma$  - radionuklidlar ichaklarni va

boshqa organlarni nurlantirsa, protonli nurlanish asosan ichaklarning shilliq qatlamini katta ichakdan taxminan 30 soatda chiqarilganigacha nurlantiradi.

Radionuklidlarning organizmga tushishining yana bir yo'li teri orqali tushishidir. Shikastlanmagan teri radionuklidlarni kam o'tkazadi. Biroq zararli radioaktiv moddalar teridagi yaralar, kuygan sirtlar orqali tushishi mumkin. Ular orqali ishqoriy, ishqoriy-Yer yelementlari, galoidlarning shimilishi shikastlanmagan teri orqali shimilishdan 100–200-marta kattadir.

Organizmga tushgan radioaktiv moddalarning ko'pchiligi qonga shimilgach proteinlar bilan bog'lanadi. Qonga tushgan radionuklidlarning bir qismi organizmdan chiqariladi, bir qismi organlarga o'tib ularda to'planadi. Turli organlarda to'planish qobiliyatiga qarab radioaktiv moddalarni quyidagi guruhlarga bo'lishadi:

- Suyaklarda to'planuvchi (osteotrop) radionuklidlar: ishqoriy-yer yelementlari (rady, stronsiy, bariy, kalsiy), hamda plutoniy va toriyning ayrim birikmalari. Ular ta'sirida suyakda o'simtalar, leykoz rivoylanishi mumkin.

- Retikulo-yendotelial tizimlarda to'planuvchi (gepatotrop) radionuklidlar: lantan, sery, prometiy, aktiniy, toriy izohoplari. Ular jigarni va ichakning proksimal bo'limlarini zararlantirishi mumkin.

- Organizmda nisbatan tekis taqsimlanadigan radionuklidlar: ishqoriy metallar izohoplari, vodorod, uglerod, azot va poloniy. Ular tushishida limfoid to'qimalar atrofiyasi, yumshoq to'qimalarda o'simtalar paydo bo'ladi.

- Alohida organlarda to'planuvchi radionuklidlar: iod-qalqonsimon bezda, temir-eritrositlarda, rux-oshqozon osti bezida, molibden-ko'zning kamalak qatlamida.

- Yomon rezorbsiyalanuvchi radionuklidlar.

Organizmga tushgan radionuklidlar buyrak, oshqozon-ichak trakti, o'pka orqali, hamda so'lak, terlash va sut orqali chiqarilishi

mumkin. Katta ichak orqali chiqarilishda radioaktiv moddalarning reabsorbsiya jarayonlari ham bo'lishi mumkin. Radionuklidlar siydik orqali chishida buyraklar zararlanishi yehtimoliyati oshadi.

### §14.3. Radioaktiv moddalar toksikologiyasi

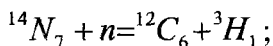
Toksikologiya turli abiotik faktorlarning tirik organizmga ta'sirini o'rganadi. Radiotoksikologiyada radioaktiv moddalarning zararli ta'sirlari o'rganiladi. Radionuklidlarning zararlighi (toksikligi) quyidagi faktorlar bilan bog'liq:

- nurlanish turi va energiyasi, yarim yemirilish davri;
- radionuklidlar organizmga qaysi moddalar tarkibida tushishi;
- organlar va to'qimalar bo'yicha taqsimlanish turi;
- organizmdan chiqarilish tezligi.

Ayrim radioaktiv moddalar toksikologiyasi bilan tanishaylik.

Tritiy ( $T^3$ ) vodorodning izohopi bo'lib, tabiatda kam miqdorda uchraydi. Tritiy-rangsiz gaz, 18,5 keV energiyali  $\beta$  – nurlarni chiqaradi. Uning yarim yemirilish davri 12,26 yil. Tritiy atmosferaning yuqori qatlamlarida quyidagi uchta jarayon tufayli hosil bo'ladi:

1. Ikkilamchi kosmik nurlanishning azot yadrolari bilan o'zaro ta'sirida:



2. Turli elementlar yadrolarining katta energiyali kosmik nurlar ta'sirida parchalanishi;

3. Vodorod bombasi portlashida kehadigan termoyadro reaksiyalari.

Tabiiy sharoitda tritiy havodagi kislorod bilan birikib og'ir suv – HTO va  $T_2O$  molekulalarini hosil qiladi va yog'inlar, hamda chang bilan yer sirtiga tushadi.

HTO bug'lari bilan nafas olinganda o'pkaga 85–100% gacha yutiladi. Oshqozon-ichaklar orqali tritiy suv bilan birga yutiladi. HTO suvi ichilgandan 2–9 minut o'tgach odamlar qonida tritiy aniqlanadi. HTOning ichaklarda shimilishi 40–45 minutda tugaydi.

Organizmga tritiy oksidining birlamchi tushishida tritiyning ko'p qismi organizmning suvli fazalarida to'planadi.

Tritiyning tuproq ichida joylashgan mevaidizlardagi suv tarkibida miqdori tuproq ustidagi o'simliklarga nisbatan kattadir. Don o'simliklarida tritiy miqdori yanada kam. Oziq-ovqat bilan tushishda organik bog'langan tritiyning odam va hayvonlar organlaridagi miqdori ancha o'sadi. Tritiyning organizmdan chiqarilishi buyraklarda, nafas olish organlarida va oshqozon-ichaklarda ro'y beradi. HTO ning organizmdan yarim chiqarish davri 6–14 kunga teng va odam yoshiga bog'liq. Odam yoshi oshgan sari HTO ning organizmdan chiqarilishi tezlashadi.

Turli hayvonlarda HTO bilan zararlanishining boshlang'ich davrida holsizlik, adinamiya, ovqat emaslik kuzatiladi. O'tkir dozali nurlanishda 5–7 kunda gemorragik sindrom aniqlanadi. Qon quyruqlanish vaqti uzayadi, teri tomirlari o'tkazuvchanligi oshadi, ahlat va siydikda qon paydo bo'ladi. Qon morfologik tarkibida gemoglobin, leykosit, eritrosit, trombositlar miqdori kamayadi. Zararlanishning o'tkir bosqichida qon hosil bo'lishi keskin kamayadi. Hayvonlarning jigari funksiyasi o'zgaradi. Tritiyning nisbatan katta biologik faolligi uning to'qimalar hajmining birligida rentgen va  $\gamma$  – nurlarga qaraganda 10–30-marta kattaroq ionlashish zichligini hosil qilishi bilan bog'liq. Bundan tashqari tritiy parchalanishida  $^3\text{He}_2$  hosil bo'ladi, bu izohop DNK dagi vodorod bog'larni uzishi mumkin. Natijada genetik effektlar paydo bo'ladi.

Uglerod izohopi  $^{14}\text{C}$  energiyasi 0,156 MeV bo'lgan  $\beta$  – nurlarni chiqaradi, uning yarim yemirilish davri 5760-yilga teng. Tabiatda  $^{14}\text{C}$  atmosferaning pastki qatlamlarida kosmik nurlardagi neytronlarning azot atomi yadrosiga ta'siri natijasida hosil bo'ladi.

Uglerodning sun'iy manbalari qatoriga yadro portlashlari, turli tipdagi yadro reaktorlari, ilmiy-tadqiqot laboratoriyalari kiradi.

Odam va hayvonlar organizmiga  $^{14}\text{C}$  oziq-ovqat tarkibidagi birikmalar tarzida tushadi.  $^{14}\text{C}$  ning havo bilan tushishi katta havf tug'dirmaydi, chunki qonda uglerod turg'unmas birikmalar hosil qilgani uchun organizmda kam saqlanadi.  $^{14}\text{C}$  ning yaxshi yeriydigan organik birikmalari organizmda 90–100% gacha o'zlashtiriladi.  $^{14}\text{C}$  organizmda tekis taqsimlanadi.  $^{14}\text{C}$  organizmda  $^{14}\text{C O}_2$  ga oksidlanib, o'pka orqali chiqariladi. Bir kun ichida 56%  $^{14}\text{C}$  o'pka orqali chiqib ketadi. Qon, jigar, oshqozon va ichaklardan 1 kunda 80%  $^{14}\text{C}$  chiqariladi. Yog' va teridan  $^{14}\text{C}$  yarim chiqarish davri 20 kunga teng.

$^{14}\text{C}$  organizmning barcha qismlariga o'ta oladi va bevosita organik birikmalarga qushiladi. Ularda uglerod atomlari azot atomlariga aylanishi (transmutasion effekt) tufayli zararli ta'sir yetishi mumkin. Bu DNK dagi kimyoviy bog'larning uzilishiga olib keladi.  $^{14}\text{C}$  ning transmutasion effekti barcha genetik va comatik zararlanishlarning 10% ni tashkil yetadi.

Uran bo'linishida katta sondagi izohoplar hosil bo'ladi. Ular orasida toksikologik jihatdan ahamiyatlilari qatoriga Sr, I, Cs, Ru, Y, Te, Zr, Nb, Ce, Pm izohoplari kiradi. Uran bo'linishi mahsulotlari atom sanoati chiqindilari va atom quroli portlashi mahsuloti sifatida toksikologik havfga yega. I, Sr, Cs, Ca, Te izohoplari yuqori shimilishiga yega. Ce, Pm, Y, Zr, Nb, Np va Pu organizmda yomon shimiladi.

Organizm uchun rezorbsiyasi katta va hayot uchun yeng muhim organlarda ko'p to'planadigan radionuklidlar yeng havflidir. Uran parchalanishining mahsulotlarining katta qismi jigarda va suyaklarda to'planadi. Bu mahsulotlar miqdori organizmga tushgach yemirilishi va organizmdan chiqarilishi natijasida tezda kamayadi. Parchalanish mahsulotlarining 39% ahlat bilan, 7,5% siydik bilan chiqadi.

Parchalanish mahsulotlari organizmga yyetarli miqdorda tushganida nurlanish kasali boshlanadi. Parchalanish mahsulotlari organizmga yentral tushganida kritik organ oshqozon-ichak tizimi hisoblanadi. Uning nurlanishdan zararlanishining klinik simptomlariga ishtahaning yo'qolishi, qayd qilish, diareya, qorinda og'riq kiradi. Parchalanish mahsulotlari ta'sirida yurak-tomirlar tizimida ham o'zgarishlar kuzatiladi. Hayvonlarda puls oshadi, toni pasayadi, arterial bosim kamayadi.

Yerigan parchalanish mahsulotlarining organizmdan chiqishi buyrak orqali bo'ladi. Bunda buyrak nefronlari  $\beta$  – nurlanadi.

Uran parchalanish mahsulotlari ta'sirida uglevodlar, oqsillar va lipidlar almashishida o'zgarishlar paydo bo'ladi. Bu o'zgarishlar jigarning zararlanishi natijasidir. Jigarda uran parchalanish mahsulotlarining 15% to'planadi.

Yadro parchalanish mahsulotlari tarkibining 20% ni <sup>131-135</sup>I izohoplari tashkil qiladi. Bu izohoplar qalqonsimon bezda to'planadi. Qalqonsimon bezning nurlanish dozasi boshqa organlar dozasidan 100–1000-marotaba ko'proqdir. Yadro parchalanish mahsulotlari organizm immun reaktivligini o'zgartiradi. Natijada organizmda uzoq muddatlarda patologiyalar kelib chiqishiga sabab bo'luvchi asoratlar paydo bo'ladi. Tezda hayvonlarda terining bakterial xossalari, leykositlarning fagositar aktivligi pasayadi. Qalqonsimon bezning nurlanishdan zararlanishi tufayli gormonal balans buziladi. Yadro parchalanishi mahsulotlari bilan o'tkir zararlanish hayvonlarning tuzalishi, kasallikning xronik tarzga o'tish yoki o'lim bilan tugaydi. O'limning eng ko'p sababi oshqozon-ichak tizimi va nafas olish tizimining zararlanishidir.

Tirik qolgan hayvonlarda tiklanish jarayonlari inkorporasiyalangan radionuklidlar bilan nurlanish kyechishi bilan birga boradi. Tiklanish sur'ati yutilgan doza va organizmning fiziologik holatiga bog'liqdir.

Parchalanish mahsulotlari bilan zararlanishdan uzoq muddatlarda hayvonlarda o'simtalar paydo bo'ladi.

Yadro parchalanishida hosil bo'ladigan  $^{90}\text{Sr}$  izohopi 0,54 MeV energiyali  $\beta$ -nurlar manbasidir, uning yarim yemirilish davri 28,6 yilga teng. Stronsiy mikroyelement tarzida hayvonlar organizmida mavjud. Yer sirtiga tushgan stronsiy o'simlik va chorvachilik mahsulotlari bilan odam organizmiga tushadi.  $^{90}\text{Sr}$  oshqozon-ichaklar traktida yaxshi shimiladi. Stronsiy asosan suyaklarda to'planadi. Stronsiyning organizmdan chiqishi ahlat va siydik bilan bo'ladi.  $^{90}\text{Sr}$  ning yutilish dozasi katta bo'lganda hayvonlarda o'tkir nur kasalligi boshlanadi. Hayvonlarda anemiya rivojlanadi, spermatogenez va ovogenez susayadi, jigar va buyraklar funksiyasi buziladi.  $^{90}\text{Sr}$  bilan zararlanish oqibatida jigarda nekroz o'choqlari, bosh miyada qon quyilishlar, buyraklarda nefroz belgilari kuzatiladi. Uzoq muddatlarda suyaklar leykozi va o'simtalari paydo bo'ladi.

Uran parchalanishi mahsulotlarining 6% ni seziiy izohoplari tashkil yetadi.

$^{137}\text{Cs}$  o'zidan  $\beta$ - va  $\gamma$ -nurlarni chiqaradi. Bu nurlarning energiyasi mos holda 0,51 MeV (92%) va 1,17 MeV (8%), yarim yemirilish davri 30 yil. Yadro qurollarining portlash, yadro yenegetikasi korxonalarining, atom suv osti kemalarining ishlashida  $^{137}\text{Cs}$  ning atmosferaga va suvlarga tushishi mumkin. Natijada biologik zanjirlar orqali hayvonlar organizmiga tushadi. Stabil seziiy odam va hayvonlar organizmida 1 g yumshoq to'qimalar tarkibida 0,6 mg gacha miqdorda bo'ladi. Seziiy izohoplaridan kimyoviy tahlil o'tkazishda, nurli terapiyada va sterializasiy qilishda foydalanishadi. Seziiy izohoplari oshqozon-ichaklarda 100% gacha shimiladi. Qonga o'tgandan keyin seziiy nisbatan tekis holda organlar va to'qimalarga tarqaladi.  $^{137}\text{Cs}$  ning xronik ravishda tushishida organizmda ma'lum darajagacha to'planadi. Turli hayvonlar uchun seziiyning to'planish

karraligi har xil: sichqonlarda -- 3, kalamushlarda – 17, quyonlarda – 23, itlarda-30.

<sup>137</sup>Cs organizmdan asosan buyraklar orqali chiqariladi. Bir oy ichida organizmga tushgan seziyning 80% chiqib ketadi.

Seziy izohoplari organizmga kuchli ta'sir yetadi. Kalamushlar terisi ostiga kiritilgan <sup>137</sup>Cs ning dozasi 60 Zv gayetganida ularda holsizlanish, ishtahaning yo'qolishi, qonli ich ketish, burnidan qon ketish kuzatilgan. Qon tarkibida limfositlar, neytrofilar miqdori kamaygan, shartli reflekslar susaygan. Itlarda seziy bilan zararlanishda o'pka, oshqozon-ichak trakti va teri ostida qon quyilishlar ro'y bergan.

Chernobil AES dagi avariya natijasida atmosferaga chiqqan va so'ngra yerga tusgan <sup>137</sup>Cs ning umumiy miqdori taxminan  $3,7 \cdot 10^{16}$  Bk ga teng. Mol go'shtida <sup>137</sup>Cs ning miqdori  $3,7 \cdot 10^4$  Bk/kg gacha yetgan. Hozirgi kungacha avariya zararlangan hududlarda <sup>137</sup>Cs asosiy nurlantiruvchi modda bo'lib qoimoqda.

Organizmda <sup>137</sup>Cs ni aniqlash uchun tanadan  $\gamma$ -nurlanish, ahlat va siydikda  $\beta$ -,  $\gamma$ -nurlanishni dozimetrlar yordamida o'lchashadi. <sup>137</sup>Cs bilan zararlanishning oldini olish uchun individual himoya vositalaridan foydalanish va shaxsiy gigiyena qoidalariga amal qilish kerak.

#### **§14.4. Ionlanuvchi nurlanishdan himoyalaniş**

Radiasion\_himoyalanişning uchta turi: vaqtdan, masofadan va material bilan himoyalaniş mavjud.

Vaqt qancha ko'p bo'lib, masofa qanchalik kam bo'lsa ekspozision doza shunchalik katta bo'ladi. Material bilan himoyalanişda nur turiga bog'liq. Alfa nurlanishdan himoyalaniş sodda bo'lib, bir varaq qog'oz yyetarlidir. Ammo nafas yo'li va ovqat orqali ham nurlanish mumkin.

Betta nuridan himoyalaniş uchun bir necha sm qalinlikdagi alyuminiy, plestiglas yoki shisha plastinka yyetarli.



Neytral nurlanishlar hisoblangan rentgen va gamma nurlanishlarda himoyalaniş murakkabdir. Bulardan ham qiyini neytronlardan himoyalanişdir. Kosmik nurlar 92,9% protonlar, 6,3% alfa zarrachalardan iborat. Birlamchi kosmik nur energiyasi  $10^9$  yeV, Yerga yetib kelganda quvvati 1,5 GVt bo'ladi. Ma'lumki, uran yoki plutoniy yadrosining bo'linishidan juda katta miqdorda energiya ajralib chiqadi. 1 gramm uran-238 yelementining parchalanishida: 2 3000 000 kVt soat issiqlik energiyasi ajralib chiqadi yoki 1 kg uran-238 yelementi energiyasi 2500 000 kg toshko'mirni, 2000000 kg benzinni, 25000000 kg trinitrotoluolni portlagandagi energiyasiga teng.

Bu keltirilgan ma'lumotlardan ko'rinib turibdiki, atom energiyasidan energetik resurs sifatida foydalanish nihoyatda katta ahamiyatga yegadir. Hozirgi vaqtda butun dunyoda 100 dan ortiq atom elektr stansiyalari bo'lib, ularning umumiy quvvati bir necha million kilovattidir.

Hozirgi zamon fani va texnikasi atom energiyasidan foydalanishning turli usullarini ishlab chiqmoqda. Keyingi yillarda atom energiyasidan foydalanish usullari tibbiyotda, veterinariyada va texnikaning turli sohalariga qo'llanilishi ikkita masalani ko'ndalang qilib qo'ydi. Birinchidan, atom nurlari bilan bevosita shug'ullanuvchilar xavfsizligini ta'minlash bo'lsa, ikkinchidan butun yer yuzidagi insoniyatni yoppasiga qirg'in atom qurollari zarbidan saqlashdir.

Shuning uchun ham yer yuzidagi butun progressiv insoniyat atom, vodorod va neytron bombalari ishlab chiqarishning to'xtatilishi va mavjudlarini ham yo'q qilib tashlashni talab yetmoqdalar.

Yadro bombalarining portlatilishi va atom energiyasidan tinchlik maqsadlarida foydalanish ma'lum bir darajada atmosferadagi radioaktivlik fonini oshishiga olib kelmoqda. Agarda hamma joyda atom va vodorod bombalari portlash to'xtatilganda ham faqatgina tinchlik maqsadlaridagi qo'llanilayotgan atom energetik

qurilmalaridan ruxsat yetilgan me'yorda radiasiya miqdori bo'lsada baribir oz miqdorda atrof-muhitga radioaktiv ifloslanish bo'lishi mumkin. Demak, radioaktiv ifloslanish atom ta'sirining majburiy faktoridir. Shuning uchun ham atrof-muhitni doimiy ravishda kontrol qilib turish kerak. Radioaktiv moddalar bilan ifloslanish haqida aholi o'rtasida tushuntirish ishlari olib borilishi kerak. Ayniqsa, oziq-ovqat mahsulotlarini yehtiyotkorlik bilan radioaktiv ifloslanishdan saqlash kerak. Atom nurlaridan tinchlik maqsadlarida foydalanishda radiasiya xavfsizligidan saqlash uchun maxsus xizmatchilar mavjuddir. Masalan, atmosferaning, dengizlarning, daryolarning va havoning radioaktiv ifloslanishini biofizik radiologlar nazorat qilib turish kerak. Aholi yashaydigan punktlarni radioaktiv ifloslanishdan saqlash vazifasi radiologlarga topshirilgan.

Yuqoridagi keltirilgan tashkilotlar nazorat qilish bilan birga radioaktiv ifloslanishni kamaytirish masalalari ustida ham ishlaydilar. Radiasion xavfsizlikning oldini olish uchun tabiiy radioaktiv fonini aniqlashimiz kerak. Tabiiy radioaktivlik foniga kosmik nurlar, tuproqdagi tabiiy radioaktiv nurlar kiradi. Hozirgi vaqtda kosmik nurlanishga asosan yuqori atmosfera qatlamiga dunyo fazosidan kelib tushadigan protonlar 79%, alfa zarrachalar 20%, uglerod, azot va kislorod yadrosidan tushadigani 0,7% va atom yadrosining nomerlari 10 dan oshiq bo'lganlari kiradi. Birinchidan, kosmik nurlanish zarrachasining energiyasi  $10^{20}$ -yev gacha yetadi. Birinchi kosmik nurlanish atmosferaning atom yadrolari bilan o'zaro to'qnashib hammasi protonlar, elektronlar, mezonlar va neytronlar hosil qiladi. Dengiz yuzasi balandligida kosmik nurlanish asosan 80% mezonlardan, 20% elektronlardan tashkil topadi. Faqatgina 0,05% protonlar dengiz yuzasi balandligiga yetib keladi. Kosmik nurlanish geografik kenglikka va balandlikka bog'liq bo'ladi. Masalan, dengiz yuzasidan 300 metr balandlikda ancha ko'proq bo'ladi. Tabiiy radionuklidlardan asosan to'rtta radioaktiv nuklidlar mavjuddir.

Dinamik jarayonlar yordamida biosferada doimiy ravishda modda almashinuvi natijasida radioaktiv moddalar oilasining muvozanati buzilib turadi. Ma'lum bo'lishicha, N va  $C^{14}$  biosferada, ya'ni vodorod bombasining portlashigacha 15000-yil davomida radionuklidlar miqdori doimiy bo'lib turgan. Ma'lumki yyer sharining uran va toriy konlari bor ayrim nuqtalarida radionuklidlar ko'proqdir. Masalan: Braziliyada vulkanik jinslarda radioaktivlikning quvvati 12 rad yiliga, Hindistonning ayrim yerlari qum tarkibida aholi yashaydigan joylarda radioaktiv nurlanish 0,2–2,6 rad yiliga ekanligi aniqlangan.

Radionuklidlarning manbalari va tarqalishi bilan radioekologiya fani shug'ullanadi. Radioekologiya fani asosan radionuklidlarni har xil yer zonalarida migrasion mexanizmi bilan shug'ullanadi.

O'simliklar radioaktiv uglerodni atmosferadan oladi. Ko'pincha atmosferadan yog'ingarchilik bilan tushadigan radionuklidlarni o'simliklar o'ziga singdirib oladi. Chorvachilikdagi asosiy radioaktiv zararlantirish ham oziqaviy o'simliklarda bo'lgan radioaktiv nuklidlar sabablidir. Yeng xavfli radioaktiv ifloslanish bu reaktorlarda og'ir yadroning bo'linishidan hosil bo'ladigan mahsulotlardir. Hozirgi vaqtda asosiy yetibor odamning ichki organlarida to'planib qoladigan va uzoq yashovchi stronsiy-90 va seziy-137 bo'lib, radiyasiyaga yeng sezgir ichki organlarni nurlantiradi. Odamning ichki organlariga, tuproq – o'simlik – odam yoki tuproq-o'simlik – hayvon – odam zanjir orqali insonni ichki organlarga radionuklidlar joylashib oladi. Ma'lumki qishloq xo'jalik radiologlari radioaktiv ifloslanishni kamaytirish choralarini ham ko'radi. Ya'ni tuproq yekini, hosillarini dezaktivatsiya qilish bilan ham shug'ullanadi.

Agar ifloslanish aktivligi yer yuzida  $10^{-3}$  Ki ga ortiq bo'lsa, bu holatda aktivlik  $10^{-4}$  Ki bo'lganga qadar dala ishini to'xtatib turish kerak. Agar o'rtacha radioaktivlik ifloslanish darajasi  $10^{-4}$ ,  $10^{-3}$  Ki bo'lsa, tuproqning radioaktivligini tushirish choralarini ko'rish kerak.

Qishloq xo‘jalik ekinlarining yoki dalaning radioaktivlik bilan ifloslanishini kamaytirish muammolari hozircha shartli bo‘lib meliorativ va gidrotexnik metodlardan foydalaniladi. Meliorativ usul yordamida yerning ustki qismida buldozerlar bilan tuproq to‘planadi. Bu to‘plangan tuproqning aktivligi tushguncha saqlanadi. Agar kichik lokal uchastkalar radioaktiv ifloslangan bo‘lsa, u holda butun iflos tuproq karerlarga tashlanadi.

Tuproqning ustki qismini olish metodi kelgusi hosilga zarar keltiradi, ya‘ni ko‘p mineral o‘g‘it solish kerak bo‘ladi. Gidromeliorasiya usulida esa tuproq asosan suv bilan yuviladi, yomg‘ir yog‘diruvchi apparatlar bilan esa qum tuproq yerlarda amalga oshiriladi. Bu usul faqatgina gidromeliorativ inshootlar bor joyda amalga oshirilishi mumkin. Radioaktivlikni kamaytirishning kimyoviy meliorasiya usullari ham mavjuddir. Kimyoviy meliorasiya usullaridan biri tuproqning tarkibiga kimyoviy reagentlar (kislota, tuzlar, komplekslar) yuborish bilan yeritib radionuklidlarni adsorbsiya qilish radioaktivlik bilan ifloslangan maydonlarda amalga oshirish kerak. Agrotexnik usullardan radioaktivlik bilan ifloslangan o‘simlik maydonlarini chopiq, kultivasiya, suvlash, mineral o‘g‘it berish yo‘li bilan o‘simliklarni radionuklidlardan oziqlanishini kamaytiradi.

#### **§ 14.5. Radiasion havfsizlikni ta‘minlash**

O‘zbekistonda radiasion havfsizlikni ta‘minlashning davlat nazorati 2000-yil 31-avgustida qabul qilingan N120-II sonli “Radiasion havfsizlik haqida” qonunga muvofiq amalga oshiriladi. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2011yil 24-avgustidagi N242 sonli “O‘zbekiston Respublikasi favqulodda vaziyatlarda ularning oldini olish va harakat qilish davlat tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida” qarorining 3-ilovasida Sog‘liqni saqlash vazirligiga atrof tabiiy muhitning radioaktiv, kimyoviy, zaharli moddalar va bakterial vositalar bilan ifloalanishni nazorat qilishni tashkil etish, Qishloq va suv xo‘jaligi Vazirligiga

qishloq xo'jalik ekinzorlarining radioaktiv zaharli moddalar bilan ifloslanishini nazorat qilish, Davlat geologiya va mineral resurslar qo'mitasiga yer osti suvlarining radioaktiv, kimyoviy va boshqa zaharli moddalar bilan ifloslanishini kuzatish va nazorat qilish yuklatilgan.

“O'zdonmahsulot” aksiyadorlik kompaniyasi Sog'liqni saqlash vazirligi bilan birgalikda oziq-ovqat va suvlarning radioaktiv moddalar, og'ir metallar, nitratlar va pestisidlar bilan yo'l qo'yilishi mumkin bo'lgan konsentrasiyalarning belgilangan darajasidan ortiqcha ifloslanishini nazorat qilishni amalga oshirish, mahsulotlar va boshqa tovarlarni zararlantirish, texnologik qayta ishlash yoki zararlantirib bo'lmaydigan turlarni yo'q qilish topshirilgan.

O'simliklarni himoya qilish va agrokimyo nazorati xizmatiga qishloq xo'jalik yerlarining radioaktiv va zaharli moddalar bilan ifloslanishi ustidan nazoratni tashkil etish va amalga oshirish, yekinzorlar, yaylovlar hamda chorvachilik va dehqonchilik mahsulotlarini zararsizlantirish vazifalari yuklangan.

Ushbu nazoratni o'tkazish chorvachilik va veterinariya obyektlarini radiasion nazoratini olib borish, radiasion himoya choralari o'tkazish va shu sohadagi ma'lumotlarni tahlil yetishni taqozo yetadi.

O'zbekistonning “Radiasion havfsizligi normalari va radiasion havfsizlikni ta'minlashning asosiy sanitariya qoidalari haqida” 2006-yildagi qarorida aholining individual effektiv nurlanish dozasi yiliga 5mZv dan oshmasligi belgilangan.

Radiasion havfsizlik normalari (RHN-2006) nafas olish va hazm qilish organlari orqali organizmga yil davomida tushishi mumkin bo'lgan radionuklidlarning chegara miqdorlari, hamda atmosfera va suvda radionuklidlarning mumkin bo'lgan konsentrasiyalari ko'rsatilgan .

Ushbu qarorda oziq-ovqat mahsulotlari sifati va havfsizligiga qo'yiladigan gigiyenik talablarda radionuklidlarning chegara qiymatlari berilgan (14.5-jadval). Agar oziq-ovqat mahsulotlari va

ichimlik suvi nurlanishining effektiv dozasi 5 mZv bo'lsa, uni iste'mol qilish chegaralanadi.

14.5-jadval

Radiasion ifloslangan oziq-ovqat mahsulotlarini  
iste'mol qilishni cheklash mezonlari

Radionuklidlar	Radionuklidning oziq-ovqat mahsulotlarida solishtirma aktivligi, kBk/kg	
	A daraja	B daraja
$^{131}I, ^{134}Cs, ^{137}Cs$	1	10
$^{90}Sr$	0,1	1,0
$^{238}Pu, ^{239}Pu, ^{241}Am$	0,01	0,1

Birlashgan millatlar tashkilotining Oziq ovqat va qishloq xo'jaligi tashkilotining Mahsulotlar sifatini boshqarish Komissiyasi (Codex Alimentarius Comission) va Jahon sog'liqni saqlash tashkiloti tomonidan oziq-ovqat mahsulotlarini xalqaro savdosi uchun radionuklidlar miqdori normativlari qabul qilingan.

O'zbekiston qishloq xo'jaligi tomonidan yetishtirilayotgan homashyo va oziq-ovqat mahsulotlari jahonning ko'p mamlakatlariga eksport qilinayotganligi uchun sanitariya normalariga amal qilishni qattiq nazoratga olinishi zarur.

Davlat radiasion havfsizlik nazoratining vazifalariga quyidagilar kiradi:

- Chorvachilikda radiasion vaziyatni baholash, obyektlar va hayvonlarning radiasion ifloslanishini nazorat qilish;
- Radioaktiv ifloslangan hududlarda hayvonlarni tekshirish, dispanserlash, radiasion havfsizlik me'yorlariga javob bermaydigan hayvonlar va qishloq xo'jalik mahsulotlarini yo'q qilish;
- Hayvonlarni profilaktik, diagnostik, davolash muolajalarini, obyektlar dezaktivaziyasini o'tkazish;

- Chorvachilik va qishloq xo'jalik o'simliklari mahsulotlarini sanitariya ekspertizasi;

- Radiasion havfsizlik talablariga mos ravishda qishloq xo'jalik hayvonlari sog'ligini saqlashga qaratilgan veterinariya tadbirlarni tashkil etish;

- Qishloq xo'jalik hayvonlari radiasion havfsizligi qoidalari va me'yorlarini ishlab chiqish;

- Radiasiyaga qarshi veterinariya tadbirlarining bajarilishini nazorat qilish.

Qishloq xo'jalik mahsulotlarida radioaktiv moddalar borligining sanitariya nazorati rejali davriy, rejali sistematik, rejadan tashqari operativ va yalpi tarzda o'tkaziladi.

Davlat veterinariya nazorati tashkilotlari o'tkazadigan radiologik tadqiqotlari va ular tomonidan aniqlanadigan radionuklidlar to'plami radiasion vaziyatga, va ularga qo'yilgan vazifalarga bog'liq.

Radiasion ifloslanish ro'y bergan hollarda sanitar nazoratining birinchi navbatdagi vazifalari jumlasiga quyidagilar kiradi:

- atrof muhitning radioaktiv ifloslanishi turi, fizik-kimyoviy holati va taqsimoti xarakterini aniqlash;

- qishloq xo'jalik hayvonlari fiziologik holati va ular organizmiga tashqi va ichki nurlanishning dozasi baholash;

- qishloq xo'jalik mahsulotlari, yem-hashak va hayvonlardan foydalanish yo'llarini aniqlash;

- qishloq xo'jalik mahsulotlari, yem-hashak va hayvonlarga halokat natijasi mahsulotlarining to'g'ridan-to'g'ri tushishini oldini olish;

- me'yoriy toza mahsulotlar olinishi imkoniyatlarini aniqlash;

- chorvachilikni qayta o'zgartirish, podalar strukturasi o'zgartirish zarurligini aniqlash;

- uzoq muddatlarga mo'ljallangan veterinar tadbirlarni o'tkazish ehtimoliyatini baholash.

Chorvachilik mahsulotlarining radioaktiv moddalar bilan ifloslanishi darajasi uning fizik-kimyoviy xossalariga, hayvonlar organizmidagi metabolizm xususiyatlariga bog'liq. Hayvonlar radiasion havfsizligini ta'minlash –ularga berilayotgan yem-xashak, suvning sifatiga bog'liq.

Chorvachilik mahsulotlarida radionuklidlar borligi quyidagi formula bilan aniqlanadi:

$$A_m = A_{ras} K / 100\%$$

Bunda  $A_{ras}$  - kunlik rasion bilan tushayotgan radionuklidning yig'indi aktivligi (Bk),  $K$  - radionuklidning rasiondan 1 kg mahsulotga o'tish koeffitsiyeti (%). Ushbu koeffitsiyentning qiymatlari 14.6-jadvalda keltirilgan.

14.6-jadval

**Radionuklidlarning kunlik rasiondan chorvachilik mahsulotlariga o'tish koeffitsiyentlari (1 kg mahsulotga % hisobida)**

Mahsulot turi	Radionuklidlar	
	<sup>137</sup> Cs	<sup>90</sup> Sr
Sigir suti(o'rtacha bir yilda)	0,62	0,14
Mol go'shti	4	0,04
Chuchqa go'shti	25	0,1
Qo'y go'shti	15	0,1
Tovuq go'shti	450	0,2
Tuxum	3,5	3,2

Radionuklidlarning oziqadan chorvachilik mahsulotlariga o'tish miqdori ularning o'simliklardagi holatiga, organizmlarga tushish vaqtiga, hayvonlar yoshiga, ularning fiziologik holatiga, ovqatlanishiga bog'liq. Yuqori maxsuldor hayvonlarda radionuklidlarning oziqadan organizmga o'tishi koeffitsiyenti



maxsuldorligi past hayvonlarga nisbatan kam bo'ladi. O'tish koeffitsiyentining qiymatiga hayvonlar rasionida asosiy va mineral yelemntlar balansi ham katta ta'sir yetadi.

Kunlik rasion bilan tushayotgan radionuklidning yig'indi aktivligi uning tarkibidagi har bir yemda mavjud radionuklidning 1 kg ga to'g'ri keladigan aktivligining yem massasiga ko'paytmalari yig'indisidan iborat:

$$A_{ras} = A_1 m_1 + A_2 m_2 + \dots + A_n m_n.$$

Demak, ushbu mahsulot uchun bir kunlik rasion bilan tushayotgan radionuklid miqdorining yeng katta darajasi (Bk):

$$ED = \frac{N_m}{K \cdot 100\%}$$

bunda  $N_m$ -chorvachilik mahsulotida radionuklidning normativ miqdori (Bk/kg).

Kunlik rasionda radionuklidning ijozat yetilgan normasiga amal qilish toza mahsulot olishning asosiy parametri bo'lib hisoblanadi.

Ushbu mahsulot (sut, go'sht, tuxum va h.) uchunkunlik rasionda radionuklidning mumkin bo'lgan darajasi aniqlangach, ushbu radionuklidning oziqada, oziqaga qo'shimchalarda, oziqa hom ashyosida miqdorini aniqlasa bo'ladi.

#### **§ 14.6. Atom yadro nurlarining qishloq xo'jaligida qo'llanilishi**

Hozirgi vaqtda atom texnikasining yutuqlaridan foydalanib qishloq xo'jalik yekinlarining biokimyoy, biofizika, fiziologik, morfologik va genetik jarayonlarini ochish sohasida diqqatga loyiq muvaffaqiyatlarga yerishdi.

Radioaktiv nurlarining o'simliklarning o'sishi borasidagi ijobiy ta'sirini alohida uqtirib o'tish kerak. Bu borada ayniqsa, A.N.Kolsov, A.M.Kolsovalarning o'simliklarning mutasiyalar sohasidagi birinchi ishiga katta e'tibor berish kerak. 1962-yillari mobaynida L.P.Bereslaves radiostimulyasiya sohasida katta ishlar bajardi. Keyinchalik radiostimulyasiya sohasida A.M.Kuzin va M.MBerezinaning tadqiqotlari natijasi nurlantirilgan chigitning tez unib-o'sishi va qishloq xo'jaligiga foyda keltirgani diqqatga sazovordir. Tabiiy radioaktiv yelemnt bo'lgan tuproqda mineral

o'g'it sifatida foydalanish ham muhim ahamiyatni kasb yetadi. Bu ishlarni N.N.Timofeyev-Resovskiy, P.A.Vlasyuk, N.G.Jekson va boshqalar amalga oshirdilar. Ma'lumki, bizning Respublikamiz paxtakor o'lkadir. O'zbekiston olimlari yadro nurlaridan ayniqsa, paxtachilikda foydalanish borasida ko'plab juda ulkan yutuqlarni qo'lga kiritdilar. Masalan, akademik J.A.Musayev va N.N.Nazirov g'o'zaga yadro nurlarining biologik, biokimyoviy, fiziologik, morfologik ta'sirini o'rgandi. Bundan tashqari N.N.Nazirov va F.Joniqulovlar tomonidan g'o'za navlariga radioaktiv fosfor – 32 berish bilan yangi navlar yaratdi.

Yadro nurlaridan genetikaning mutasion jarayonlarida qo'llanish ayniqsa katta istiqbollari ochib berdi. Mutasion o'zgarish vujudga kelgan formalar seleksionerlar uchun boshlang'ich material bo'lib xizmat qiladi.

N.N.Nazirov ilmiy ishlarida shuni ko'rsatadiki, tirik organizmlarning radioaktiv nurlaridan ta'sirlanish va mutabilik darajasi ortadi. Masalan, 4% namlikni yeksikatorida quritilgan urug' 8–12% namlikka yega bo'lgan urug'ga nisbatan kuchli ta'sirlanadi. Kechpishar g'o'za navlari yerta pishar navlarga nisbatan ionlovchi radiyasiyaga ancha chidamsiz bo'ladi. Qishloq xo'jalik yekini nurlantirish uchun yeng qulay obekt hisoblanadi va nurlangandan keyingi birinchi yil laboratoriyada saqlab keyin radiasion effektlarni aniqlashda va nur bilan jarohatlangandan "yara" ni qayta tiklash muammosini hal yetishda ham katta ahamiyatga yegadir.

Olimlardan G.A.Nadson va G.S.Filipov, L.N.Deloev, A.A.Sanigen, S.A.Krivoy va boshqalar birinchi bo'lib radioaktiv nurlar ta'sirida mutasiya formalari olishni isbotladilar.

Radioaktiv nurlar kuchsiz miqdorlarining organizmga ta'siri to'g'risida bir qancha fikrlar mavjud. L.P.Bereslaves radioaktiv nurlarning kuchsiz miqdorlari organizmdagi bo'linadigan hujayralar sonini oshiradi degan xulosaga kelgan. A.M.Kuzin va boshqalar esa bu jarayonni fermentlarning aktivlanishi natijasida moddalar almashinuvining tezlanishi bilan bog'laydilar. Ikkinchi fikr olimlar tomonidan ma'qullangan.

G'o'za chigitini nurlantirishda gamma nurlarining kuchsiz dozasi 0,5–3kR gacha bo'lganda Sh.I.Ibragimovning kuzatishi

natijasida radioaktiv kobalt ( $CO^{60}$ ) ning 500r dan 2kR gacha bo'lgan dozasi bilan nurlantirilgan "108-F" g'o'za navining chigitlari nurlantirilmaganlarga qaraganda tez unib chiqqan. Birinchi avlod o'simliklarida unib chiqqanidan keyin vegetasion davr qisqargan, ko'sak yirikligi, hosildorligi oshgan.

N.N.Nazirov, O.Jalilovlar 1965–1980-yillarda S-4727 navining 30 kunlik ko'sagiga gamma nuri ta'sir yettirib qishloq xo'jaligi uchun muhim bo'lgan belgilarni saqlagan holda yerta pishar ko'sagi yirik mutant olishga yerishdilar. Olingan mutant "AN-Chimboyobod", "AN-Kattaqurg'on" deb nomlangan. Shu olimlar tomonidan tezpishar "1306-DV" navli urug'ni yekishdan oldin radioaktiv fosfor  $R^{32}$  yeritmasida 24 soat ivitib qo'yish va ivitilgan chigitdan unib chiqqan o'simlikni takroriy yakka tanlash usulida yaratganlar. U dastlabki formaga nisbatan ko'sagi yirik bo'lib; yertapisharligi saqlangan, keyingi yillarda akademik O.Jalilov va professor F.Joniqulovlar tomonidan radiyasiya ta'sirida yangi-yangi navlar yaratdilar.

G'o'zaning vilt kasalligiga chidamli navlarini yaratishda ham radioaktiv fosfor – P32 yeritmalari yaxshi natijalar bermoqda. 1960–1970-yillarda N.N.Nazirov, F.Joniqulov va boshqalar yovvoyi Meksikanum g'o'za chigitini yekishdan oldin radioaktiv fosfor yeritmasida (30 ta chigitni 50 mikrokyuri dozada) 48 soat mobaynida ivitib so'ngra sun'iy ravishda vilt bilan zararlantirgan. Birinchi bo'g'inda meva beradigan viltga chidamli bitta o'simlik chiqqan. Bu o'simliklardan olingan urug'lardan bir necha yil saralash natijasida yertapishar, serhosil vilt kasalligiga chidamli 1,5–7% gacha kasallanadigan AN-401 navini yaratdilar. Ularning dastlabki ma'lumotlariga qaraganda, AN-401 navi 108-F ga nisbatan vilt bilan zararlangan maydonlarda 3–4 hissa ko'proq hosil berar ekan.

"AN-401" navi 1971-yildan boshlab davlat nav sinash uchastkalarida sinalgan. Tinimsiz izlanishlar natijasida keyingi yillar davomida N.N.Nazirov shogirdlari bilan AN-402, AN-403, AN-405, AN-407, AN-408, AN-412, AN-416 kabi bir qancha afzalliklarga yega bo'lgan g'o'za navlarini yaratdilar. Shuni aytish kerakki,

hozirgi kunda nurlarning qo'zg'atuvchi (kuchsiz va mutagen kuchli) fazalari barcha qishloq xo'jalik yekinalari uchun aniqlangan.

Tajribadan gamma nurining 1 va 2 kR dozasi bilan nurlantirilgan urug'larning unib chiqishi duragay o'simliklarda 2–3 kunga tezlashish kuzatiladi. Ayniqsa "Toshkent-3" navining chigitlari shu doza ta'sirida duragay va kontrol chigitlariga nisbatan 3–4 kun kech unib chiqdi. Shuni ta'kidlash kerakki, radioaktiv nurlarning ta'sirini o'rganishda birinchi bo'g'in nihollarining asosiy poyasining o'sishi asosiy mezonlardan biri hisoblanadi. Chunki bu jarayonni birinchidan o'simliklar, mineral o'g'itlarning ko'p solinishiga, sug'orishning ko'p va me'yorida, ikkinchidan, organizmdagi birinchi murakkab biokimyoviy jarayonlari, ya'ni organizmlarning genetik komponentlariga bog'liqdir.

Yadro nurlaridan qishloq xo'jalik mahsulotlarini radiosterilizatsiya qilish sohasida ham keng qo'llanilmoqda. Odatda qishloq xo'jalik mahsulotlarini yig'ib olishda 25–30% miqdori isrof bo'ladi. Shuning uchun ham qishloq xo'jalik mahsulotlarini saqlash muddatini radiosterilizatsiya metodi yordami bilan cho'zish olimlar, injenerlar diqqatini o'ziga jalb yetdi.

Radiasion sterilizatsiya usuli yordamida bahorgi-yozgi davrlarda kartoshka, piyoz va boshqa yekinlar, tez buzilib qoladigan mevalarning sharbatini saqlanadi. Baliqlarni, go'shtlarni va yarim fabrika mahsulotlarini saqlashda ham radiasion usuldan foydalaniladi. Tajribalar shuni ko'rsatadiki, 10 kR gamma nuri bilan nurlantirilgan kartoshka 3–4 oy yaxshi saqlanadi va insonlar tomonidan iste'mol qilinadi va hech qanday zararli ta'sir ko'rsatmaydi.

Mevalarni 200–300 krad miqdordagi radiasion nur bilan nurlantirilganda 5–6 kecha-kunduzdan to 12–13 kecha kunduzgacha saqlash mumkin. Bu esa mevalarni boshqa shaharlarga jo'natish muddatini oshiradi. Bu katta iqtisodiy samaradorlikka yega bo'lib, shaftoli, o'rik, gilos va boshqa mevalarni saqlash uchun ahamiyatlidir.

Yadro nurlarining ta'siri qishloq xo'jalik zararkunandalariga qarshi kurashda ham katta rol o'ynamoqda. Masalan: hozirgi kunda gelmintlarni va boshqa zararkunanda hashoratlarni rivojlanishi yadro nurlari bilan to'xtatilmoqda.

A.Murodov, V.D.Bubnov (1971), tomonidan olib borilgan ishlar shuni ko'rsatadiki, askaridaning tuxumini 80–120 krad miqdorda nurlantirilsa, uning rivojlanishi to'liq to'xtaydi. Yuqori harorat va yadro nurlanishi ta'sirida bu jarayon yaxshi amalga oshiriladi.

Qishloq xo'jalik zararkunandalariga qarshi kurash ayniqsa yadro nurlarining miqdoriga ham bog'liq bo'lar ekan. Oziq-ovqat texnologiyasida yuqori sifatli mahsulotlar ishlab chiqarish talab etiladi. Ammo yuqori sifatli mahsulot esa uzoq muddatli saqlashni talab etadi. Bunga yorqin misol qilib konyak ishlab chiqarishni olsak bo'ladi. Yoqimli konyak ishlab chiqarish uchun ichimlik dub bochkalarda uch va besh yilgacha saqlanish kerak.

Tekshirish ishlari shuni ko'rsatadiki, nurlantirilgan o'simlik va hayvonlar to'qimasida o'tkazuvchanlik hamda hosil bo'lgan erkin radikallar hisobiga hosildorlik bir necha marta oshar ekan. Natijada oziq-ovqat texnologiyasida ishlatiladigan reaksiyani tezlanishiga yordam berar ekan.

Bunday nurlantirish sog'lik uchun yaramaydi, chunki nurlangan oziq-ovqat mahsulotlarida kanserogen moddalar hosil bo'lishi mumkin. Radiasion texnologiyada mahsulotlarni saqlashda nurlantiruvchi manba sifatida kobalt-60 va seziv – 137 qurilmalari hamda tezlashtiruvchi elektron generatorlari ishlatilmoqda.

Radiasion ishlov berish quyidagi maqsadlar uchun amalga oshiriladi:

1. Qishloq xo'jalik mahsulotlarida bo'ladigan fiziologik jarayonlarni to'xtatish;

2. Mahsulotlarga zarar bo'lgan mikroorganizmlarning pasterizasiya yo'li bilan to'xtatish;

3. Sterilizasiya yo'li bilan butunlay zararli mikroorganizmlarni yo'qotish;

#### 4. Dezinfeksiya – ya'ni zararli hashoratlarni yo'qotish.

Har qanday tur mahsulotlari buzilishi uchun asosan bitta asosiy sabab bo'ladi, masalan, kartoshka, piyoz, sabzi kabi mahsulotlarning buzilishi ularning unib chiqishidan boshlanadi. Bu holatlarda ionlovchi nur yordamida shu fiziologik jarayonni to'xtatish kerak. 5–10 krad gamma nuri bilan nurlantirilgan kartoshka 18 oygacha buzilishdan saqlanadi.

Qishloq xo'jalik mahsulotlarining buzilishida zararli hashoratlarning ham katta rol o'ynaydi. Atrof-muhitni e'tiborga olgan holda zararli hashoratlarni keltirilgan iqtisodiy zararlariga ko'ra 2 kategoriyaga bo'lish mumkin.

1. Oziq-ovqat mahsulotlarni iste'mol qiluvchi hashoratlarning.

2. Qishloq xo'jalik o'simliklariga va hayvonlariga zarar keltiruvchi hashoratlarning.

Qishloq xo'jalik zararkunandalariga radiasion yo'l bilan qarshi kurashning bir necha usullari mavjud.

1-usul: qishloq xo'jalik mahsulotlarini zararkunandalari, ya'ni hashoratlarni butunlay o'ldirish uchun bevosita yuqori radiasion miqdordagi 10–100 krad nur bilan nurlantirish.

2-usul: kichikroq miqdordagi (1–10 krad) nur bilan jinsiy urchishini to'xtatish, ya'ni radiasion sterilizatsiya qilinishi.

Bu holatda zararli hashoratlarning birdaniga o'lib ketmaydi-yu, ammo kelgusidagi ko'payish tezda kamayadi. Bu usul uzoq muddat talab qilsa, birinchi usulga nisbatan mahsulotlarning sifatini saqlanishiga imkon yaratadi.

3-usul: bu ham 2-usulga yaqin. Ammo bu holatda faqatgina hashoratlarni yerkaqini biofabrikalarda ko'paytirilib nurlantiriladi, keyin esa tabiiy sharoitda qo'yib yuboriladi. Bu nurlantirilgan zararkunanda-kemiruvchilar nasl qoldirmaydi, natijada bu populyatsiya o'lib ketadi.

Oziq-ovqat mahsulotlarini radiasion sterilizatsiya yo'li bilan saqlash va qishloq xo'jalik zararkunandalariga qarshi kurash yadro nurlaridan foydalanishning boshqa bu sohada qo'llanayotgan

usullariga nisbatan iqtisodiy jihatdan afzalligi bormi, degan savol tug'ilishi tabiiydir. Radiobiologiya texnologiyasini ishlab chiqish odatdagi texnologiyani iqtisodiy samaradorligi bilan solishtiriladi.

Radioaktiv nurlanishning o'simlikda bo'ladigan biokimyoviy jarayonlariga, modda almashinishi va fotosintezga ta'sirlarini o'rganish natijasida juda muhim ma'lumotlar qo'lga kiritildi. Bu kabi ilmiy tekshirish Ukrainada akademik P.A.Vlasyuk rahbarligida olib borildi. Urug'larni yekishdan avval tarkibidagi fosfor-32, rux-65, kalsiy-45 va boshqa radioaktiv izohoplar bo'lgan tuzlarning yeritmasi bilan ishlanganida yekinning tekis unib chiqishi va hosildorlikning ortishi aniqlandi.

Masalan, qand lavlagining og'irligi radioaktiv nurlar ta'sirida 1,5–2-marta ortdi. Urug'larni kichik dozalardagi radioaktiv nurlar bilan nurlantirish natijasida bug'doyni boshqoq chiqarishi tezlashgani va beda hosildorligining ortishiga sabab bo'ldi. Lyutik- chiroyli o'simlik urug'lariga yekishdan avval radioaktiv rux tuzlari yeritmasi bilan ishlov berish yekin ildizining kattalashganligiga, o'simlikning yaxshi o'sishiga va ildizda azotli bakteriyalar bor to'ganaklarni yo'qotishga yordam berdi.

Kichik dozalardagi nurlar bilan nurlantirilganda o'simlik tez rivojlanadi. Masalan, grechka nurlantirilsa uning ko'k massasi unumdorligi ortadi. Bu jihatdan sabzavot yekinlari ham ye'tibordan tashqarida qolgan emas. Olib borilgan tekshirish ishlari shuni ko'rsatdiki, pomidor ildizidan radioaktiv kobalt bilan oziqlantirilganda, hosildorlik ikki martaga yaqin ortadi va shu bilan pomidorda shakar miqdori ko'payadi. Ekishdan oldin bodring urug'lari radioaktiv nurlar bilan nurlantirilganda hosil 15–30%, sabzida 25–30% ortadi. Lekin radioaktiv nurlarning ta'siri faqat hosildorlikni oshirish va pishish muddatini qisqartirish bilan cheklanib qolmaydi. Olimlar o'tkazgan tajribalar bu nurlar ta'sirida o'simlikning qurg'oqchilikka va sovuqqa chidamliligi ham ortishini ko'rsatdi.

Hozirgi zamon qishloq xo'jaligi fanida yangi soha radiasion seleksiya fani vujudga keldi. O'simliklar yuqori dozali nurlar bilan nurlantirilsa, u holda bunday nurlar xo'jalik uchun foydali yangi xossalari bo'lgan formalarni olish mumkin bo'ladi. Bunday nurlar bilan nurlantirilgan o'simliklarda turli kasalliklarga chidamlilik ham oshadi. Kichik dozadagi radiasiyaning o'simliklargagina emas hayvon organizmiga ham foyda yetkazishi ma'lum bo'ldi. Moskva viloyati ayrim xo'jaliklarida tovuq tuxumi nurlantirilganda jo'ja ochib chiqish muddati tezlashgan, xuddi shunday tajribalar professor P.A.Hakimov, akademik A.M.Kuzin rahbarligida ham olib borildi. Shuni ham aytish kerakki, nur ta'sir yettirilganda tuxumlardan chiqqan jo'jalar katta bo'lganida oddiy tovuqlarga qaraganda o'rtacha 12–17% ko'p tuxum qiladi. Radioaktiv nurlardan qishloq xo'jaligining turli zararkunandalariga qarshi kurashda foydalanish nihoyatda katta istiqbollarga olib kelmoqda. Olimlarning hisoblab chiqishlariga ko'ra butun dunyoda yiliga zararkunandalar yeb ketadigan mahsulot 200 million kishilarning ovqatlanishlari uchun yyetarlidir.

Hashoratlar va bakteriyalarning ko'pchiligi juda katta bo'lmagan dozalardagi radioaktiv nurlar ta'sirida nobud bo'lishlari aniqlangan. Ammo ularni butunlay yo'qotish uchun bu dozani anchagina oshirish kerak bo'ladi. Faqat ba'zi hollardagina to'liq sterilizasiya qilish kerak bo'ladi. Zararli mikroorganizmlarning 80–90 foizining yo'qotilishining o'zi ham, turli mahsulotlarning saqlanish muddatini bir necha marta oshiradi.

Radioaktiv izohoplar yordami bilan tajribalar o'tkazish natijasida lavlagi, makkajo'xori, g'o'za kabi o'simliklar sochma usulda berilgan o'g'itni yomon o'zlashtirishi aniqlandi. Turli qishloq xo'jaligining yekinlari o'simlikning qaysi davrida fosforni maksimal o'zlashtirishini tekshirish ustida olib borilgan tajribalar yaxshi natijalar berdi. Masalan, g'o'za, tamaki va qand lavlagi, sholi kabi o'simliklar fosforning o'sishini dastlabki davrlarda yaxshi o'zlashtiradi. Bu ma'lumotlardan foydalanib Uzoq Sharqdagi yekish



stansiyalarida yerga beriladigan o'g'itlarning umumiy miqdori kamaytirilgan holda har gektaridan olinadigan hosil 2–5-sentnerdan oshmaydi.

### Test savollari

- Oziq-ovqat mahsulotlarida radioaktiv stronsiyni cheklash mezonlari qaysi javobda to'g'ri ko'rsatilgan?  
a) 1–10; b) 1–5; c) 0,01–0,1; d) 0,1–1
- Radionuklidlar toksikligi faktorlari qaysi javobda to'g'ri ko'rsatilgan?  
a) nurlanish turi va energiyasi, yarim yemirilish davri;  
b) radionuklidlarning organizmga tushish va chiqarilish yo'llari;  
c) organlar bo'yicha taqsimlanish;  
d) barchasi to'g'ri
- Turli organizmlarda to'planish qobiliyatiga ko'ra radionuklidlar nechta guruhga bo'linadi?  
a) 3; b) 4; c) 5; d) 6
- O'simliklarda kaliy-40 ning miqdori tuproqdagidan necha marta kam?  
a) 2–5; b) 3–5; c) 2–6; d) 3–10
- Yerda ionlanuvchi nurlanishning bir yilda o'rtacha individual effektiv dozasi necha mSv ga teng?  
a) 1,2; b) 0,4; c) 2,8; d) 2,4
- Odamning tabiiy nurlanishdan olayotgan bir yillik effektiv dozasi necha mkSv?  
a) 850; b) 1240; c) 1150; d) 2250
- Nishonlangan atom usuli qishloq xo'jaligida qanday maqsadlarda foydalaniladi?  
a) yekinlar o'sishini tezlashtirishda;  
b) yekinlarning fosfor o'g'itiga bo'lgan yehתיyojini aniqlashda;  
c) hayvonlar ichki organlarini tekshirishda;  
d) hayvonlar organizmiga dori moddalar yuborishda.
- Odam uchun xavfli nurlanish dozasi qancha?  
a) 5 ber;  
b) 60 ber;

- c) 125 ber;
  - d) 500 ber.
9. Radiasiyadan himoyalanişning qanday usullari bor?
- a) masofadan;
  - b) material yordamida;
  - c) vaqt;
  - d) hammasi to'g'ri.
10. Radioaktiv nurlar tirik organizmning qaysi organlariga eng avval ta'sir ko'rsatadi?
- a) yurakka;
  - b) o'pkaga, miyaga;
  - c) yosh organizmga, hujayraga;
  - d) hamma organga birday.
11. Grey nimaning o'lchov birligi?
- a) nurlanishning yutilgan dozasi;
  - b) nurlanish dozasi quvvati;
  - c) yutilgan doza;
  - d) ekspozision doza.
12. Zivert nimaning o'lchov birligi?
- a) yutilgan doza;
  - b) ekspozision doza;
  - c) ekvivalent doza;
  - d) nurlanish dozasi.

## Sinov savollari

1. Radioekologiya predmeti va vazifalari?
2. Radionuklidlarning hayvonlar organizmiga tushish yo'llari?
3. Radionuklidlarning qishloq xo'jalik mahsulotlariga tushish qonuniyatlari tushuntiring.
4. Radiotoksikologiya nimani o'rganadi?
5. Radionuklidlarning odam va hayvonlar uchun zararini nima belgilaydi?
6. Radioaktiv iod, stronsiy, seziyning organizmda to'planishi va chiqarilishi xususiyatlari qanday?
7. Hayvonlar va odam organizmida radionuklidlar to'planilishi va chiqarilishi tezligi nimalarga bog'liq?
8. Ichki nurlanishning uzoq oqibatlari qanday?
9. Yadro bo'linishi mahsulotlari bilan zararlanmaslik uchun qanday choralar ko'rish kerak?
10. Qalqonsimon bezda radioaktiv iod to'planishining oldini olishning qanday choralari bor?
11. Nishonli atom va ularning ishlatilishi haqida nimalarni bilasiz?
12. Qishloq xo'jaligining qaysi sohalarida radioaktiv nurlardan foydalaniladi?
13. Radioaktiv nurlardan qanday himoyalaniş mumkin?
14. Radioaktiv nurlarning qanday ekologik ta'siri mavjud?

Glossariy

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Deformatsiya	Deformation	Деформация	Qattiq jismlarga tashqi kuch ta'sir qilganda ularning o'lchami va shaklining o'zgarishi
Elastiklik	Resilience	Эластичность	Qattiq jismlardan tashqi kuch olinganda uning dastlabki holatga qaytishi
Yuq moduli	Module cabin boy	Модул юнга	Jismning o'lchamini ikki barobar oshirish uchun zarur bo'lgan mexanik kuchlanish
Mexanik kuchlanish	Mechanical voltage	Механическая нагрузка	Birlik yuzaga ta'sir etuvchi kuch
Oquvchanlik	fluidity	текучесть	Kuchlanish o'zgarmagan holda jismning o'z-o'zidan uzayish hodisasi
Kollogen	Kollagen	Коллаген	Tirik organizmni tashkil etuvchi polimersimon modda
Elastin	Elastin	Эластин	Rezina kabi cho'liuvchi organizmdagi polimersimon modda
Muskul	Muscle	Мускул	Tarkibida kollogen va elastin tolalaridan tarkib topgan tutashiruvchi to'qimalar
Mustahkamlik chegarasi	Border to toughness	Граница прочности	Jismning uzilishi uchun zarur bo'lgan kuchlanish miqdori

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Intensivlik	Intensity	Интенсивность	Yuza birligiga tushuvchi tovush energiyasi
Shovqin	Noise	Шум	Tarkibida barcha chastotalar ishtirok etuvchi tovush to'liqlari
Perkussiya	Perkussiya	Перкуссия	Kasalikni aniqlashda bemorni urib ko'rish usuli
Auskultatsiya	Auskultatsiya	Аускультация	Kasalikni aniqlashda bemorni eshitib ko'rish usuli
Tovush spektri	Spectrum of the sound	Спектр звука	Tovush intensivligining chastotasidan bog'liqligi
Akustika	Acoustics	Акустика	Eng past chastotali elastik to'liqlar-dan o'ta yuqori chastotali to'liqlarni o'rganuvchi fizikaning bo'limi
Ultr tovush	Ultrasound	Ультразвук	Chastotasi 20 kGs dan $10^6$ Gs chastotali elastik to'liqlar
Infratovush	Infra sound	Инфразвук	Chastotasi 0 Gs dan 20 Gs chastotali elastik to'liqlar
Nuqson	Defect	Дефект	Moddada zarrachalar joylashuvi tartibining buzilishi

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Ionoforez	Ionoforez	Ионофорез	Tirik organiz terisi orqali dori moddalarni kiritish usuli
Laminar	Laminar	Ламинар	Oqim chiziqlari o'zaro parallel bo'lgan suyuqliklardagi oqim turi
Turbulent	Turbulent	Турбулент	Oqim chiziqlari o'zaro aralashib ketgan bo'lgan suyuqliklardagi oqim turi
Yopishqoqlik	Viscosity	Вязкость	Bir suyuqlik qatlami harakatining ikkinchi suyuqlik qatlami harakatiga qarshilik ko'rsatish hodisasi
Sistola	Systole	Систола	Yurakning siqilish hodisasi, ya'ni qonga bosim berishi
Diastola	Diastole	Диастола	Qonning yurakka qayta quyilish hodisasi
Arteriya	Artery	Артерия	Qon tomiri turi
Aorta	Aorta	Аорта	Sut emizuvchilardagi eng katta qon tomirlari
Kopillyar	Capillary	Капилляр	Sut emizuvchilardagi eng katta qon tomirlari

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Viskozimetr	Viskozimetr	Вискозиметр	Suyuqlik yopishqoqligini o'lchash uchun mo'ljallangan qurilma
Alveola	Alveolus	Альвеола	O'pkada mavjud bo'lgan nafas olish xaltachalari
Diffuziya	Diffusion	Диффузия	Bir modda molekularining boshqa modda molekulari bilan aralashib ketish hodisasi
Gradiyent	Gradient	Градиент	Moddaning biror xususiyatining masofaga qarab o'zgarish hodisasi
Kapillyar	Capillary	Капилляр	Diametri juda kichik bo'lgan ingichka naylar yoki qon tomirlari
Viskozimetriya	Viskozimetriya	Вискозиметрия	Suyuqliklar yopishqoqlik koeffitsiyentini o'lchash usullari
Entropiya	Entropy	Энтропия	Sistema molekularining tartibsizlik darajasini ko'rsatuvchi kattalik
Sikl	Cycle	Цикл	Sistemaning boshqa holatlardan o'tib yan dastlabki holatga qaytishi

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Konveksiya	Convection	Конвекция	Havoning ko'chishi
Puaz	Puaz	Пуаз	Yopishqoqlik o'lchov birligi
Ozekerit	Ozocerite	Озокерит	Fizioterapiyada ishlatiladigan maxsus loyqaning bir turi
Biopotensiyal	Biopotencial	Биопотенциал	Tirik organizmlarning turli qismlari orasida potentsiallar ayirmasining hosil bo'lish hodisasi
Elektroliz	Electrolysis	Электролиз	Elektrolitlardan elctr toki o'tganda modda ajralib chiqish hodisasi
Elektroforez	Electrophoresis	Электрофорез	Odam va hayvonlar terisi orqali organizmga dori moddalar yuborish hodisasi
Induktoterapiya	Induktoterapiya	Индуктотерапия	Elektr va magnit maydoni yordamida odam va hayvonlar organizmining ba'zi qismlarini isitish
Xronaksiya	Hronaksiya	Хронаксия	Tirik organizmga ta'sir etuvchi eng kichik tok kuchi
Reobaza	Reobaza	Реобаз	Tirik organizmga ta'sir etuvchi eng kichik tok kuchining ta'sir etish vaqti



Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Galvanizatsiya	Galvanization	Гальванизация	Organizmi davolash uchun ishlatiladigan kichik toklar usuli
Dielektrik	Dielektrik	Диэлектрик	Elektr tokini o'tkazmaydigan materiallar
Dissosiasiya	Dissociasiya	Диссоциация	Molekulalarning ionlarga ajralish hodisasi
Darsenzalizatsiya	Darsenzalizasiya	Дарсенваллизация	Davolash maqsadida tirik organizmga yuqori chastotali toklar yordamida ta'sir qilish usuli
Magnitokardiogramma	Magnitokardiogramma	Магнитокардиограмма	Magnit maydoni yordamida yurak ish faoliyatini o'rganish
Magnit zondi	Magnetic probe	Магнитный зонд	Qattiq magnitlar yordamida qoramollar oshqozonidan temir buyumlarni olish usuli
Gisterezis	Gisterezis	Гистерезис	Magnit moddalarning magnitlanish vektorining magnit maydon kuchlanishidan bog'lanishini ko'rsatuvchi grafik
Tesla	Tesla	Тесла	Magnit induksiyasining o'lchov birligi

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Magnitobiologiya	Magnitobiologiya	Магнитбиология	Magnit maydon yordamida biologic ob'yektlarni o'rganish
Domenlar	Domeny	Домены	Ferromagnitlarda mavjud bo'lgan bir xil yo'nalishdagi qutblanish sohalari
Qutblanish	Polarization	Поляризация	Musbat va manfiy zaryadlarning turli tomonlarga siljishidan paydo bo'ladigan sistema
Ferrit	Ferrite	Феррит	Antiferromagnit turi
Optika	Optics	Оптика	Grekcha – ko'rish ma'nosini anglatadi.
Sindirish ko'rsatgichi	Factor of the refraction	Показатель преломления	Yorug'likning vakuumdagi tezligining moddada qanchaga kamayishini ko'rsatuvchi fizik kattalik
Yoritilganlik	Luminosity	Освещенность	Yuza birligiga tushuvchi yorug'lik oqimi
Ravshanlik	Brightness	Яркость	Birlik fazoviy burchakka mos keluvchi yorug'lik kuchi

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Fotometriya	Fotometriya	Фотометрия	Yorug'lik intensivligini o'lchash bilan shug'ullanuvchi optikaning bo'limi
Endoskop	Endoskop	Эндоскоп	Odam va hayvonlarning ichki organlarini tekshiruvchi asbob
Refraktometr	Refraktometr	Рефрактометр	Suyuqliklar sindirish ko'rsatkichini to'la ichki qaytish hodisasiga asoslanib aniqlovchi asbob
Kandela	Kandela	Кандела	Yorug'lik kuchining o'lchov birligi
Nit	Nit	Нит	Ravshanlikning o'lchov birligi
Lyuks	Luxary	Люкс	Yortilganlikning o'lchov birligi
Lyumen	Lyumen	Люмен	Yorug'lik oqimining o'lchov birligi
Kvant	Quantum	Квант	Eng kichik zarracha
Foton	Photon	Фотон	Yorug'lik zarrachasi
Fotoeffekt	Photoeffect	Фотоэффект	Yorug'lik ta'sirida moddalardan elektronlarning chiqish hodisasi
Akkomodatsiya	Akkomodasiya	Аккомодация	Ko'zning turli masofadagi buyumlarni birdek ko'rish hodisasi
Kolorimetr	Kolorimetr	Колориметр	Rangli suyuqliklarning tarkibini aniqlovchi asbob

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Saxarometr	Saharometr	Сахарометр	Suyuqliklar tarkibidagi shakar miqdorini aniqlovchi optik asbob
Kuyish	Tan	Загар	Odam organizmining quyosh nurlari ta'sirida qorayish hodisasi
Fotoelement	Photocell	Фотоэлемент	Yorug'lik nuri ta'sirida ishlovchi optik asbob
Melanin	Melanin	Меланин	Quyosh nuri ta'sirida teri qatlami yuzida hosil bo'luvchi qatlam
Rentgenodiagnostika	X-rays diagnostics	Рентгенодиагностика	Roentgen nurlari yordamida tirik organizmdagi kasalliklarni aniqlash usuli
Lyuminessinsiya	Luminescence	Люминесценция	Tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng moddalarning ko'rinadigan nur chiqarish, shulalanish hodisasi
Lazeroteropiya	Lazer therapy	Лазеротерапия	Lazer nuri yordamida tirik organizmdagi ba'zi kasalliklarni davolash usuli
Tomografiya	Tomotherapy	Томография	Tirik organizmning aniq organlarni roentgen nuri yordamida kasalliklarni aniqlash usuli

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Roentgen	X-rays	Рентген	Noma'lum nurlar, radioaktiv nurlanishning o'lchov birligi
Postulat	Postulate	Постулат	Isbot talab qilinmaydigan bashorat
Qobiq, qatlam	Shell	Оболочка	Atom electron qavatlar
Flyuorografiya	Flyuorografiya	Флюорография	Roentgen nuri yordamida o'pkaning tasvirini olish
Flouressensiya	Fluorescence	Флуоресценция	Tashqi ta'sir to'xtatilgandan so'ng moddalarning qisqa vaqt ichida shulalanish hodisasi
Haydash	Pumping	Накачка	Elektronlarni pastki energetik holatdan yuqori energetik holatga o'tkazish
Radioaktivlik	Radioactivity	Радиоактивность	Og'ir elementlarning o'z-o'zidan boshqa yadrolarga yemirilib o'tish hodisasi
Nishonlangan atom	Dartboard atom	Мечный атом	O'simliklarning mineral o'g'itlarga bo'lgan ehtiyojini radioaktiv nurlanish yordamida aniqlash usuli

Atamaning o'zbek tilida nomlanishi	Atamaning ingliz tilida nomlanishi	Atamaning rus tilida nomlanishi	Atamaning ma'nosi
Renazariya	Renazariya	Реназария	Odam va hayvonlar buyragining ishlash faoliyatini radioaktiv moddalar yordamida o'rganish
Dozimetriya	Dozimetriya	Дозиметрия	Tabiat va tabobat olamida olingan nurlanishlarni o'lchash usuli
Atom massa birligi	Atomic unit of the mass	Атомная единица массы	Uglerod atomining 1/12 qismi
Nuqsonli massa	Defect masses	Дефект массы	Yadro massasining uni tashkil qiluvchi nuklonlar massalari yig'indisidan farqi
Grey	Grey	Грей	Tirik organism nurlanish dozasining o'lchov birligi
Zivert	Zivert	Зиверт	Nurlanish dozasining o'lchov birligi
Rentgenning biologik ekvivalenti	Biological equivalent of the x-rays	Биологический эквивалент рентгена	Nurlanish dozasining rentgenga nisbatan olingan qiymati
Detektor	Detector	Детектор	Zarrachalarni qayd qilish qurilmasi

## ADABIYOTLAR:

1. Ph. Nelson. Biological Physics-Energy, Information, Life Updated First Edition. New York.2008
2. Radiobiology for the Radioloist Eric J., Hall, D. Phil., New York, 2011.
3. Ismoilov E., Mamatqulov N. va boshqalar. Biofizika.Darslik T.Chulpon. 2013.
4. Lыsenko N. P., i dr. Radiobiologiya: Uchebnik 3- ye izd., SPB Izdatel'stvo «Lan'», 2016.- 576.: il. – (Uchebnik dlya vuzov. Spesal'naya literatura).
5. Norboyev Z.P va boshqalar “Biofizika” T.: 2003.
6. J. Newman, Physics of the Life Sciences. DOI: 10.1007/978-0-387-77259-2\_9, © Springer Science+Business Media, LLC 2008,
7. Norboyev K.N. va b. «Ichki yuqumsiz kasalliklardan praktikum» S. 2009
8. Lqsenko I.P. «Veterinarnaya radiologiya» Groz. Un. Kurs leksii. M. 2012.
9. Norboyev K.N., Ibragimov B.X. «Radioizohopli differensial diagnostika usuli» O'quv qo'llanma. 1999
10. Biological and Environmental Physics.D.J. Miller. [www.physics.gla.ac.uk](http://www.physics.gla.ac.uk).
11. Raduation Biology: A Handbook for Teachers and Students.No.42,IAEA, Vienna,2010.
12. Tibbiy va biologik fizika. Remizev A.N.–T.Ibn-Sino nomidagi nashriyot, 616 bet. 1990.
13. Radiobiologiya cheloveka i jivotnix, Yarmonenko, S.,P.,M.:VSh,2004.
14. Obshaya fizika s biologicheskimi primerami Merion J.B. – M.: Visshaya shkola, 623 bet.1986.
15. Fundamentals Biophysics ,Rubin A.B.. NY,Springer,2014
16. Radiobiologiya.Pod red. Lisenko N.,P., SPb.:Lan,2012.
17. Physics of Biological Systems Frauenfelder,H.,Springer,Berlin, 1997.
18. Selskoxozyaystvennaya radiobiologiya, Fokin A.,D.M.:Drofa,2005.

19. Veterinary Toxicology. Edit. by R., C., Gupta. Academic Press, Elsevier, 2007.
20. From Being to Becoming: Time and Complexity in the Physical Sciences. Prigogine, I., San Francisco, 1980.
21. Biomembrans: Molecular Structure and function. Genns, R. B., Springer, Berlin, 1989.
22. Applied biophysics: A molecular approach for physical scientists. Tom A. Waigh. –University of Manchester, 478 bet. 2007.
23. Medisinskaya biofizika. Samoylov V. O. SPb. 612 bet. 2004.
24. Fiziko-ximicheskiye osnovi fotobiologicheskix prosessov. Vladimirov Yu. A. Potapenko A. Ya. –M.: Visshaya shkola, 198 bet. 1989.
25. Radioekologiya. Saxarov V., K., SPb.: Lan, 2006.
26. Fluouessentniye zondi v issledovanii kletok, membran i lipoproteidov. Dobresov G. Ye. –M.: Nauka, 411 bet. 1989.
27. Lyuminessensiya i dinamika strukturi belkov. Demchenko A. P. –Kiyev.: Naukova dumka, 288 bet. 1988.
28. DNA: Structure and Function, . Sinden, R., Academic Press, Sandiego, 1990.
29. Fizika i biofizika. Antonov V. F, Korjuyev F. V. Moskva.: Medisina, 2004 g. 192 str.
30. Biofizika biopolimerov. Vechkanov Ye. YuFU. 2010-y. 302 bet
31. Biofizika. . Kostyuk P. G, Grodzinskiy D. M, Zima V. L., Magura I. S., Sidorik Ye. P., Shuba M. F. Kiyev Visha shkola, 1988-yil. 326 bet.
32. Osnovi vzaimodeystviya ul'trazvuka s biologicheskimi obyektami. Akopyan V. B., Yershov Yu. A. M.: Medisina. 2005-y. 168 bet.
33. Physics, Bruinsma, R., International Thomson Publishing, NY, 1998.
34. Textbook of Biophysics, Roy, R. N., New central Book Agency, 2001, 676 p
35. Introduction to molecular biophysics. J. A. Tuszynski, M. Kurzynski. CRC Press, London, NY, 2003, 540 p.



36. Biological and Environmental Physics. D.J.Miller. <http://www.physics.gla.ac.uk>.
37. The biophysics of photosynthesis.J.,Golbeck,Art van der Est editor, Springer, NY, 2014.
38. Introduction to biophysics. B.Kappen,Radboud university, 2008, p.97
39. Biophysics. R.Glaser, Springer,2001.
40. Molecular and Cellular Biophysics.B.Meyer Jackson, Cambridge University Press, 2006.
41. Biophysics Lecture.[www.physics.drexel.edu](http://www.physics.drexel.edu),2012.
42. Methods in Modern Biophysics.B. Nolting. Springer, 2006,260p.
43. Moleculaar Biophysics. R. Podgornik. University of Ljubljana, Slovenia, 2012,320p.
44. Biophysics: Searching for Principles. W. Bialek, NY,2011,310 p.
45. Radiobiology for the Radiologist. Hall,E.J., Giaccia,E., J.B.Lippincott Company, Philadelphia, USA, 2006.
46. Bakirov Baxtiyor. Sigirlarda oqsil – uglevod – lipid almashinuvining buzilishi va jigar distoriyasi. 28.11.2016-y. Veterinariya fanlari doktori.
47. B.M.Eshbo‘riyev. Bo‘g‘oz sigirlarning endemik mikroelementozlari, ularning oqibatleri va profilaktika chora-tadbirlari. 28.11.2016-y. Veterinariya fanlari doktori.
48. S.B.Eshbo‘riyev. Sigirlar ikkilamchi osteodistrodiyasining etiopatogenezi va profilaktikasi. 28.11.2015-y. Nomzodlik dissertatsiyasi.
49. Xayritdinov Sayfitdin. Buzoqlar dispepsiyasining etiologiyasi uni davolash va oldini olishni takomillashtirish. 2016-y. Magistrlik dissertatsiyasi.
50. Bektanova Xabiba. Sutdan chiqarilgan sigirlarda mineral moddalar almashinuvi buzilishlari sabablari va uning profilaktikasi. 2016-y. Magistrlik dissertatsiyasi.

## NORMATIV HUJJATLAR

1. [www.lex.uz](http://www.lex.uz). “Radiasion hafvsizlik haqida” qonun (N120-II, 31-avgust 2000y )
2. [www.lex.uz](http://www.lex.uz).”Davlat sanitariya nazorati haqida” qonun (N647-XII,3-iyul 1992)
3. [www.lex.uz](http://www.lex.uz).”Radiasion hafvsizlik normalari” (RHN, 2006-yil).
4. O‘zbekiston Respublikasi Vazirlar Mahkamasining 2011-yil 24-avgustdagi 242-sonli “O‘zbekiston Respublikasida favqulodda vaziyatlarda ularning oldini olish va harakat qilish davlat tizimini yanada takomillashtirish to‘g‘risida” qarori.

# MUNDARIJA

<i>Kirish</i> .....	5
---------------------	---

## I BOB. BIOMEXANIKA

1.1. Qattiq jismlar deformatsiyasi .....	8
1.2. Polimerlar tuzilishi va xossalari .....	12
1.3. Biopolimerlar orasidagi kuchlar .....	20
1.4. Muskul mexanikasi .....	26
1.5. Biomexanik jarayonlar .....	43

## II BOB. BIOAKUSTIKA

2.1. Tovush, fizik xossalari va uning ahamiyati .....	51
2.2. Tovushning fiziologik xossalari .....	52
2.3. Tibbiyot va veterinariyada tovush usullaridan foydalanish ...	56
2.4. Shovqin va uning veterinariyadagi roli .....	62
2.5. Shovqin va undan himoyalaniş. Кичик шовқинлар .....	65

## III BOB. GIDRODINAMIKANING FIZIK ASOSLARI

3.1. Ideal suyuqlik oqimining uzluksizlik tenglamasi .....	71
3.2. Yopishqoqlik koeffitsiyentini o'lash usullari .....	74
3.3. Yurak va qon tomirlari yopiq biofizik tizim .....	78
3.4. Yurakning ishi va quvvati .....	82
3.5. Qonning fizik xossalari .....	85
3.6. Qon tezligini aniqlash .....	88
3.7. Qon tomiri tarmoqlari .....	90
3.8. Yopishqoq suyuqliklar .....	93

## IV BOB. MEMBRANALAR BIOFIZIKASI

4.1. Biologik membranalar tuzilishi .....	101
4.2. Hujayra membranasi mexanikasi .....	106
4.3. Membranalarda fazaviy o'tishlar .....	109
4.4. Suzish va so'rilish .....	113

## V BOB. BIOLOGIK TIZIMLARDA KO‘CHISH HODISALARI

5.1. Ko‘chish hodisasining fizik mohiyati va uning tenglamasi.....	122
5.2. Ko‘chish turlari.....	124
5.3. Biologik membranalarda ko‘chish.....	127
5.4. Biomembranalarda elektronlar ko‘chishi va energiya transformasiyasi .....	141
5.5. Diffuziyaning biologik tizimlarda sodir bo‘lishi .....	151
5.6. Osmos. Osmotik bosim.....	154
5.7. Muvozanatdagi osmotik bosim ideal gaz qonuniga bo‘ysunadi .....	158
5.8. Ho‘llash va ho‘llamaslik. Kapilyar hodisalar .....	162
5.9. Tirik organizmda issiqlik almashinuvining biofizik asoslari.....	167

## VI BOB. BIOLOGIK JARAYONLAR TERMODINAMIKASI

6.1. Termodinamik jarayonlar va tizimlar .....	176
6.2. Biologik tizimlarda energiyaning saqlanish qonuni .....	178
6.3. Ochiq tizimlar uchun entropiya .....	181
6.4. Veterinariyada termodinamik usullardan foydalanish.....	184
6.5. Tirik organizmda issiqlik balansi.....	186
6.6. Tasodifiy ko‘chishlar diffuziv harakatdir. ....	191
6.7. Harorat – issiqlik harakatining o‘rtacha kinetik energiyasidir.....	196
6.8. Entropiya – tartibsizliklarning maksimumi hisoblanadi. ....	200
6.9. Ikkinchi qonun. Cheklanish olib tashlansa entropiya uzluksiz ortadi .....	202

## VII BOB. BIOELEKTROMAGNETIZM

7.1. Elektr maydoni va uning asosiy xarakteristikalar.....	210
7.2. Elektr hodisalar .....	214
7.3. Moddalarning elektr xossalari .....	218
7.4. Suyuqliklarda elektr toki.....	225
7.5. Tirik organizmga elektr tokining ta’siri.....	227
7.6. Biopotensiallar va ularni o‘lchash .....	231

7.7. Biologik tizimlarda o'zgarmas va o'zgaruvchan tok .....	240
7.8. Veterinariyada elektr tokidan foydalanish .....	245
7.9. Magnit maydonining asosiy fizik xarakteristikalari .....	247
7.10. Elektromagnetizm .....	251
7.11. Moddalarning magnit xossalari .....	255
7.12. Veterinariya terapiyasida magnit maydonining qo'llanilishi.....	259

## **VIII BOB. KVANT BIOFIZIKASI**

8.1. Yorug'likning tabiati va uning tarqalish qonunlari.....	274
8.2. Optik hodisalar.....	277
8.3. Fotometriya asoslari.....	279
8.4. Yorug'likning moddalar bilan o'zaro ta'siri .....	282
8.5. Quyosh nurining biologik ahamiyati .....	294
8.6. Optik nurlanishning biologik ta'siri.....	298
8.7. Kvant-optik hodisalar .....	305
8.8. Yorug'likning kvant tabiati.....	308
8.9. Ko'rishning biofizik mohiyati .....	316

## **IX BOB. ATOM TUZILISHI VA NURLANISHI**

9.1. Atom elektron qobiqlarining tuzilishi.....	330
9.2. Rentgen nurlari, xossalari va qo'llanilishi sohalari.....	336
9.3. Lyuminessensiya turlari, xarakteristikalari va qo'llanilishi .....	340
9.4. Lazerlar va ularning tibbiyot va biologiyada qo'llanilishi....	347
9.5. Lazer nurlarining, fizik xossalari va biologik ta'siri.....	350

## **X BOB. RADIOAKTIVLIK**

10.1. Atom yadrosining, tuzilishi va fizik xarakteristikalari .....	361
10.2. Radioaktivlik, uning turlari va asosiy qonunlari.....	364
10.3. Radioaktivlik.....	368
10.4. Radioaktiv nurlarni qayd qilish usullari.....	371

## **XI BOB. RADIOBIOLOGIYA ASOSLARI**

11.1. Radiobiologiya predmeti va tarixi .....	376
11.2. Modda bilan radiasiyaning o'zaro ta'siri fizikasi va kimyosi .....	379
11.3. Radioaktivlik dozimetriyasi .....	383

## **XII BOB. IONLASHTIRUVCHI NURLANISHNING BIOLOGIK TA'SIRI**

12.1. Molekulyar va hujayra radiobiologiyasi .....	391
12.2. Hujayralar va to'qimalarning nurlanishga reaksiyasi .....	394
12.3. Ionlashtiruvchi nurlanishning organizm to'qimalari va organlarga ta'siri .....	398
12.4. Radiobiologik effektlar .....	413

## **XIII BOB. NUR KASALLIGI**

13.1. Tashqi ionlashtiruvchi nurlanish ta'sirida kelib chiqadigan shikastlanishlar .....	419
13.2. Ionlashtiruvchi nurlanishning ichki organlarga tushishi natijasidagi zararlanishlar.....	424
13.3. Nurlangan organizmlar tiklanishi .....	427

## **XIV BOB. RADIATION EKOLOGIYA VA TOKSIKOLOGIYA**

14.1. Radioekologiya va uning vazifalari .....	431
14.2. Radioaktiv moddalarning organizmlarga tushishi, to'planishi va chiqarilishi .....	438
14.3. Radioaktiv moddalar toksikologiyasi .....	442
14.4. Ionlashtiruvchi nurlanishdan himoyalaniş .....	447
14.5. Radiation havfsizlikni ta'minlash.....	451
14.6. Atom yadro nurlarining qishloq xo'jaligida qo'llanilishi ..	456
<i>Foydalaniladigan adabiyotlar</i> .....	478

## Qaydlar uchun

**Qaydlar uchun**



**E.Ismailov, N.Mamatkulov,  
G'.Xodjayev, Q.Norboyev**

# **BIOFIZIKA VA RADIOBIOLOGIYA**

Darslik

**Muharrirlar:** A.Tilavov  
A.Abdujalilov  
**Texnik muharrir:** Y.O'rinov  
**Badiiy muharrir:** I.Zaxidova  
**Musahhiha:** N.Muxamedova  
**Dizayner:** Y.O'rinov

Nash.lits. № AI 245. 02.10.2013.

Terishga 23.09.2018-yilda berildi. Bosishga 23.11.2018-yilda ruxsat  
etildi. Bichimi: 60x84 1/16. Ofset bosma. «Times New Roman»  
garniturasida. Shartli b.t. 30.5. Nashr b.t. 28,365.

Adadi 300 nusxa. Buyurtma №110.

Bahosi shartnoma asosida.

«Sano-standart» nashriyoti, 100190, Toshkent shahri,  
Yunusobod-9, 13-54. e-mail: sano-standart@mail.ru

«Sano-standart» MCHJ bosmaxonasida bosildi.  
Toshkent shahri, Shiroq ko'chasi, 100-uy.  
Telefon: (371) 228-07-96, faks: (371) 228-07-95.



«Sano-standart»  
nashriyoti

ISBN 978-9943-5335-9-2



9 789943 533592