

88C74443
B 40

BIOFIZIKA

TOSHKENT – 2013

ISSN 2474-7754

Китобларни вақтида топшириш варағи

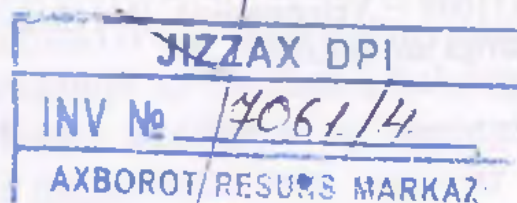
[illegible]

20.07.2013
B-70

O'ZBEKISTON RESPUBLIKASI
OLIIY VA O'RTA MAXSUS TA'LIM VAZIRLIGI

BIOFIZIKA

*O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim
vazirligi tomonidan oliy o'quv yurtlarining talabulari uchun
darslik sifatida tavsiya etilgan*



Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi
Toshkent 2013 109/11

AXBOROT RESURS MARKAZ

UO'K: 577.352

KBK 28.071ya73

B70

Mualliflar jamoasi:

E. Ismailov, N. Mamatqulov, G'. Xodjayev, N. Norboyev

Taqrizchilar:

N. Nizomov – fizika-matematika fanlari doktori, SamDU professori;

*K. Umarov – Samarqand tibbiyot instituti «Informatika va biofizika»
kafedrası dotsenti.*

B70 Biofizika: darslik /E. Ismailov, N. Mamatqulov, G'. Xodjayev, N. Norboyev; O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligi. – Toshkent: Cho'lpon nomidagi NMIU, 2013 – 208 b.
ISBN 978-9943-05-605-3

Mazkur darslik O'zbekiston Respublikasi Oliy va o'rta maxsus ta'lim vazirligining 2009-yil 27-oktabrdagi 373-sonli buyrug'i bilan tasdiqlangan. «Biofizika» fanining namunaviy o'quv dasturi asosida yozilgan.

Unda 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.

Darslik 5440100 – Veterinariya, 5410600 – Zootexniya (tarmoqlar bo'yicha), 5420200 – Qorako'chilik (tarmoqlar bo'yicha), 511000 – Kasb ta'limi (5111009 – Veterinariya), (5111015 – Zootexniya) bakalavr ta'lim yo'nalishlariga mo'ljallangan.

UO'K: 577.352

KBK 28.071ya73

ISBN 978-9943-05-605-3

© E. Ismailov va boshq., 2013

© Cho'lpon nomidagi NMIU, 2013

SO'ZBOSHI

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» 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.

Darslikda 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 tatbiq qila oladigan yuqori malakali mutaxassislarsiz tasavvur qilib bo'lmaydi. Har tomonlama yetuk mutaxassislarni tayyorlash, asosan, oliy ta'lim muassasalari zimmasiga tushadi. Bunday sharaflili va o'ta mas'uliyatli vazifani bajarish uchun yangi pedagogik texnologiyalardan va zamonaviy axborot texnologiyalaridan dars berish jarayonida

unumli foydalanish talab qilinadi. Mamlakatimiz mustaqillikka erishgandan buyon veterinariya, zootexniya va qorako'chilik ta'lim yo'nalishlari uchun o'zbek tilida yozilgan «Biofizika» fani bo'yicha darslik nashr etilmagan. Mualliflar tomonidan tavsiya etilayotgan «Biofizika» 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, kapillarlik 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 to'liq bayon qilingan.

Darslik mualliflari O'zbekiston Milliy universiteti biofizika kafedrası jamoasi va shaxsan kafedra mudiri Y.V. Leviskayaga darslikni yozishda bergan ko'rsatmalari uchun o'z 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» fanining ham maqsadi tirik tabiat va tirik organizmni o'rganishdan iborat. 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 shaklidir, lekin oddiy harakatni bilmasdan 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 shakli sifatida unga har tomonlama yondashishni talab qiladi.

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

Biofizikaga quyidagicha ta'rif berish mumkin.

Biofizika — fizik va fizik-kimyoviy jarayonlarni, biologik tizimlar ultrastrukturasini tashkil qilishning hamma sohalarini submolekular va molekulalardan to to'qima va to'liq organizmgacha o'rganadigan fanidir.

Tirik organizmda sodir bo'ladigan turli jarayonlarning murakkabligiga 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 molekular jarayonlar ham sodir bo'ladir 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, tamoyillari 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 biopotensiallarini yozib olishdir. Tola optikasiga asoslangan endoskoplar esa organizm ichki qismlarini ko'rishga imkon bermoqda. Spektral tahlil qilishdan esa kriminalistika, gigiyena, farmakologiya 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, ultrabinafsha, 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 qo'llanilayotgan materialning mexanik mustahkamligini, elastikligini, issiqlik o'tkazish qobiliyatini, elektr o'tkazuvchanlikni va boshqa xossalarni bilish muhimdir.

Tirik organizm atrof-muhit bilan o'zaro ta'sirlashgan holdagina yashashi mumkin. U muhitning harorat, namlik, havo bosimi va boshqa fizik xarakteristikalarining o'zgarishlaridan keskin ta'sirlanadi. Tashqi muhit yordamida davolash ham mumkin. Masalan, klimatoterapiya va baroterapiya.

I BOB

BIOMEXANIKA ASOSLARI

1.1-§. 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 xossalarini 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 ... $\text{CH}_2 - \text{CHCl} - \dots$

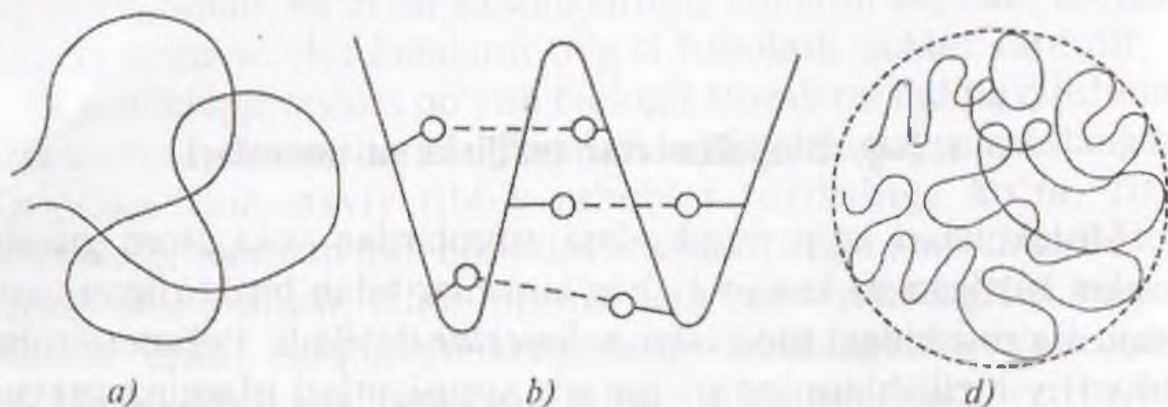
Bir xil kimyoviy tuzilishga ega bo'lsa ham polimerlar past molekulali moddalardan o'zining mexanik xossalari bilan keskin farq qiladi. Polimerlar yetarlicha mustahkam va shu bilan birga katta qaytuvchan deformatsiyalanish qobiliyatiga ega. Polimerlar mexanik xossalari jihatidan qattiq jism va suyuqliklar xossalarining 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 guruhlar orasidagi o'zaro ta'sir kuchlari va issiqlik harakati tufayli makromolekula o'lchamlari va

shakli turlicha bo'lishi mumkin. Ushbu ta'sirlar natijasida polimer makromolekulasining tashqi ko'rinishining o'zgarishiga konformatsion o'zgarishlar deyiladi. 1.1-rasmda polimer makromolekulalarining ayrim konformatsiyalari keltirilgan:



1.1-rasm. Polimer makromolekulalarining konformatsiyalari:

a — statistik o'ram; *b* — spiralsimon; *d* — globula.

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

Spiralsimon konformatsiya oqsillar va nuklein kislotalarga xos bo'lib, ularda ushbu shakl bo'lishiga atom guruhlar orasidagi ta'sirlar javobgardir (masalan, vodorod bog'lanishlar). Globula konformatsiyasiga, ya'ni deyarli sferik shakldagi kompakt konformatsiyaga kuchli ichki molekular o'zaro ta'sirga ega polimer makromolekulalari ega bo'ladi. Masalan, fluor atomiga ega bo'lgan polimerlar (politetrafluoretilen).

Polimer zanjirida valentli bog'lanishlar orasidagi burchaklar ma'lum qiymatga ega bo'ladi (1.2-rasm). Bu esa zanjirdagi bir bo'g'in vaziyatining undan oldingi bo'g'in vaziyatiga bog'liqligiga olib keladi. Bunday zanjir erkin bo'g'imlanganiga qaraganda kam sonli konformatsiyani qabul qiladi, lekin katta egiluvchanlik qobiliyatiga ega.

Polimerlar molekular massasi bir necha o'n mingdan millionlargacha bo'lgani uchun juda katta o'lchamlarga ega bo'lishi mumkin. Polimerlar o'lchami juda katta bo'lganligi tufayli ularning qaynash harorati haddan tashqari yuqori bo'ladi. Shuning uchun

polimerlar kondensatsiyalangan 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 konformatsiyasi spiral-simon (fibrillar oqsillar) yoki globula (globular oqsillar) shaklida bo'lishi mumkin. Ushbu strukturalar (oqsillar uchun ular ikkilamchi deb ataladi, birlamchi deb yaqin tartibdagi bo'g'inlar konformatsiyasiga 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 qilsa, to'rtlamchi struktura vujudga keladi.

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

Amorf polimer yuqori elastiklik holatida kuchli deformatsiyalanish xossasiga (100% gacha) ega bo'lib, uning deformatsiyalanishida qaytuvchanlik mavjuddir.

Kristall polimerlarning eng tarqalgan turlariga quyidagilar kiradi: kristallitlar, monokristallar, fibrillalar, sferolitlar. 1.3-rasmda ayrim kristall polimerlar tuzilishi ko'rsatilgan.

Yuqori molekular 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, yarimelastik 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 holatida ichki dinamik harakat deyarli yo'qligi tan



1.2-rasm.
Ma'lum
qiymatli valent
burchakli
polimer
zanjiri.

olinadi. Yarimelastik polimerlar nazariyasi bu ikki chekka holat nazariyalarining sintetik birlashmasidan iborat.

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

$$\frac{dG}{ds} = \frac{dG}{d\theta} \cdot \frac{d\theta}{ds} + \frac{1}{2} \left(\frac{d^2G}{d\theta^2} \right) \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2. \quad (1.1)$$

Zanjirda doimiy egilish momenti bo'lmasa,

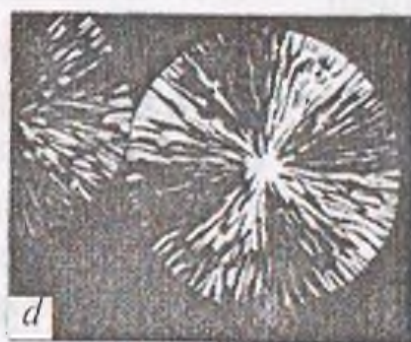
$$\frac{dG}{d\theta} = 0 \text{ va bu holda (1.1) tenglamadan}$$

$$\frac{dG}{ds} = \frac{k}{2} \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2. \quad (1.2)$$

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

$$k = \frac{d^2G}{d\theta^2}. \quad (1.3)$$

To'la energiyaning o'zgarishi (ΔG) ni topish uchun (1.2) ifodani L -kontur uzunligi bo'yicha integrallaymiz:



1.3-rasm. Kristall polimerlar strukturasi:

- a* – monokristall (polietilen);
- b* – halqali sferolit;
- d* – radial sferolit;
- e* – sferolit tasma.

$$\Delta G = \frac{k}{2} \int_0^L \left(\frac{d\theta}{ds} \right)^2 ds. \quad (1.4)$$

Zanjirning kichik siljishlarida egilish burchagi siljish uzunligiga proporsional bo'ladi ($\theta = r \cdot s$, bunda r — doimiy kattalik), u holda (1.3) tenglama quyidagicha bo'ladi:

$$\Delta G = kr^2 \int_0^L \frac{ds}{2}. \quad (1.5)$$

Bunda $r = \frac{d\theta}{ds}$.

Umumiy egilish burchagi quyidagi ifodadan topiladi:

$$\theta_L = \int_0^L r ds = rL. \quad (1.6)$$

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

$$\Delta G = \frac{k \cdot \theta_L^2}{2L}. \quad (1.7)$$

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

$$\langle \theta_L^2 \rangle = \frac{\int_0^\pi e^{-\Delta G / kT} \theta_L^2 d\theta_L}{\int_0^\pi e^{-\Delta G / kT} d\theta_L} = \frac{LrT}{k}. \quad (1.8)$$

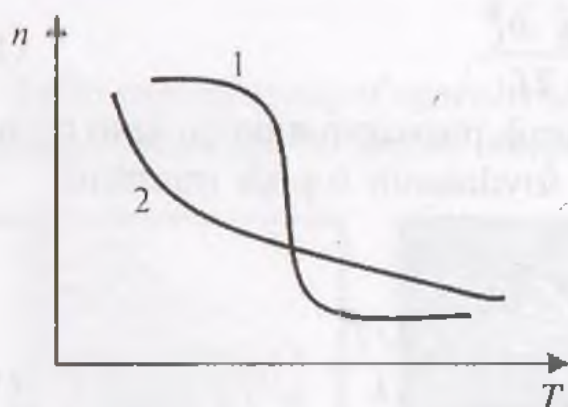
Zanjirning ko'ndalang yo'nalishlardagi siljishlari hisobga olinsa, (1.15) tenglamani 2 ga ko'paytirish kerak bo'ladi. U holda

$$\langle \theta_L^2 \rangle = \frac{2LrT}{k}. \quad (1.9)$$

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 konformatsiyasi — dumaloq oʻram shakli boʻlib, bunda tizim entropiyasi maksimal boʻladi. Polimer choʻzilishida oʻram ochilishi boshlanadi va mumkin boʻlgan konformatsiyalar soni kamayadi, bu entropiya kamayishiga olib keladi. Turli koʻp molekulali tizimlarda atomlar orasidagi barcha oʻzaro taʼsirlarni ikki turga ajratish mumkin: qoʻshni boʻgʻinlar atomlari orasidagi yaqin tartibli oʻzaro taʼsirlar va zanjir boʻylab bir-biridan uzoqdagi atomlarning zanjir egilishi paytida tasodifiy holda bir-biriga yaqinlashgan paytida hosil boʻlgan uzoqdan oʻzaro taʼsir yoki hajmiy effektlar. Hajmiy oʻzaro taʼsirlar tufayli yaqinlashgan qismlar bir-birini tortishi yoki itarishi mumkin. Harorat oshishi monomerlarning oʻzaro itarilishini oshirsa, pasayishi ularning oʻzaro tortilishiga imkon beradi. Shunday qilib, harorat oʻzgarishi polimer oʻlchamlarining oʻzgarishiga olib keladi, bu esa monomer boʻgʻinlari soni oʻrtacha zichliklari (n) oʻzgarishda oʻz ifodasini topadi. 1.4-rasmda qattiq tayoqcha zanjiri va egiluvchan zanjir uchun boʻgʻinlar soni oʻrtacha zichligining haroratga bogʻlanish grafigi keltirilgan.

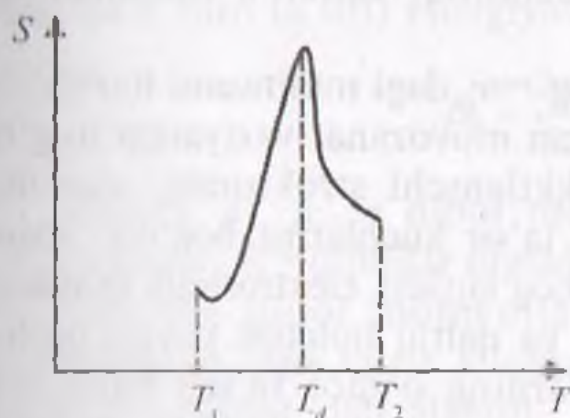


1.4-rasm. Monomer boʻgʻinlari soni oʻrtacha zichligining haroratga bogʻlanishi:
 1 — qattiq tayoqcha;
 2 — egiluvchan zanjir;
 n — boʻgʻinlar soni oʻrtacha zichligi;
 T — harorat.

Quyida keltirilgan grafikda qattiq tayoqcha uchun harorat oshgan sari oʻramning globulaga aylanishi turli fazalar orasidagi birinchi turdagi oʻtishi, yaʼni polimer, agregat holatining oʻzgarishi bilan birgalikda roʻy beradi. Egiluvchan zanjirlar uchun bu oʻtish issiqlik effektlarsiz, ikkinchi turdagi fazali oʻtish kabi roʻy beradi.

Yuqorida keltirilgan xulosalar gomopolimerlar uchun toʻgʻri edi. Real biopolimerlarda konformatsion oʻzgarishlarini qarab chiqishda monomer boʻgʻinlarining turli tabiatga ega ekanligi hamda hajmiy oʻzaro taʼsirlarning oʻziga xos xususiyatlarini hisobga olish zarur. Oqsillarning harorat denaturatsiyasi (tabiiy struktu-

rasining buzilishi) birinchi turdagi faza o'tishiga yaqin bo'ladi. Issiqlik denaturatsiyasi jarayonida biopolimerning globular (yoki spiral) holatdan denaturatsiyalangan o'ramli holatga o'tishida issiqlik sig'imining o'zgarishi ro'y beradi. 1.5-rasmda biopolimerlar issiqlik denaturatsiyasi sohasida issiqlik sig'imining o'zgarishi ko'rsatilgan.

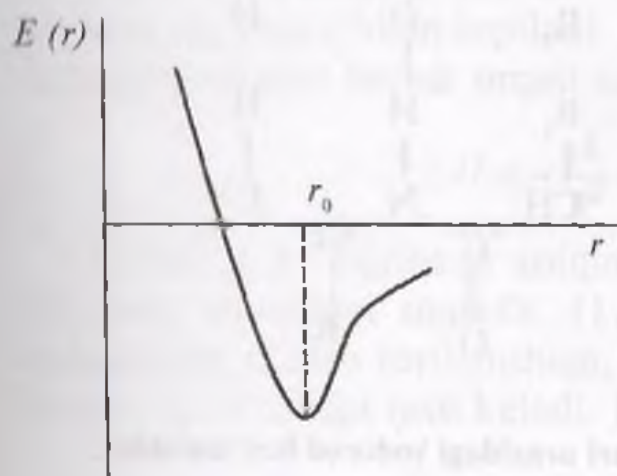


1.5-rasm. Biopolimerlar issiqlik denaturatsiyasi sohasida issiqlik sig'imining o'zgarishi: S — issiqlik sig'imi; T_1 — boshlang'ich harorat; T_d — issiqlik yurishi maksimumining harorati; T_2 — erish jarayonining oxirgi harorati.

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

1.2-§. Biopolimerlar orasidagi kuchlar

Polimer zanjirining asosiy ketma-ketligi yoki birlamchi strukturasini (oqsil zanjirdagi aminokislotalar, nuklein kislotalar zanjirdagi nukleotidlar) kimyoviy yoki valent o'zaro ta'sirlar bilan aniqlanadi, bundan tashqari molekulalar orasida kuchsiz kovalent kuchlar ta'sir etadi. 1.6-rasmda ikki zarra o'zaro ta'sir potensial energiyasining ular orasidagi masofaga bog'lanish grafigi keltirilgan.



1.6-rasm. O'zaro ta'sir energiyasining masofaga bog'lanish grafigi:

E — potensial energiya;
 r — masofa;

r_0 — muvozanat masofasi.

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

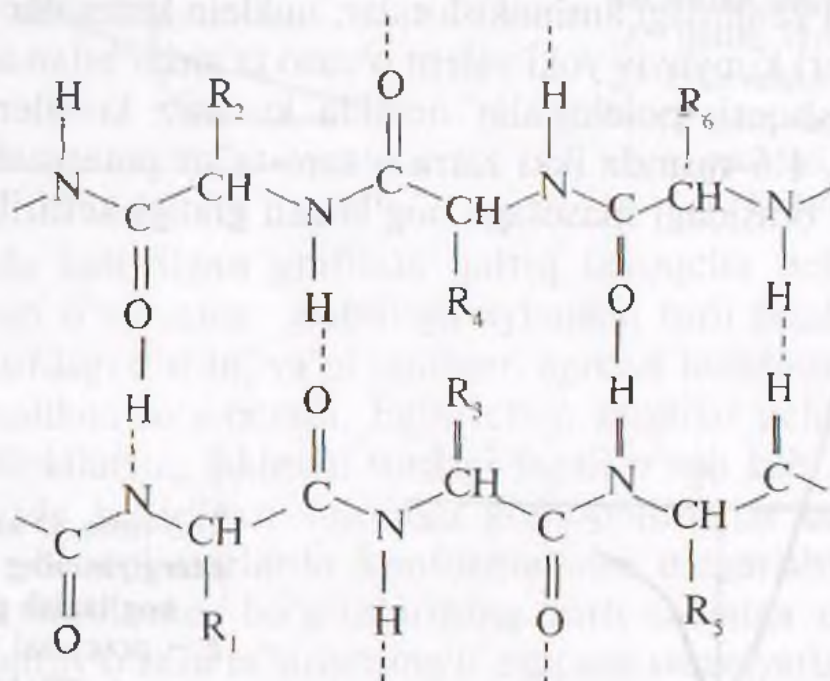
$$F(r) = \frac{dE(r)}{dr}. \quad (1.10)$$

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

1.7-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'lishida real gazlardagi molekulalarning o'zaro ta'siri katta rol o'ynaydi. Biologik makromolekulalarni ham kondensatsiyalangan tizimlar, deb qarasak, 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 ~2kJ/mol, kovalent bog'lanishlar energiyasi esa 170–630 kJ/molga teng.



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

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 har xil turlari mavjud.

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

$$E_0 = \frac{2p_1^2 \cdot p_2^2}{3kTR^2}. \quad (1.11)$$

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:

$$E_d = -\frac{1}{24(\pi\epsilon_0)_2 K^6} \sum nk \frac{|m_{n1}| \cdot |m_{k2}|^2}{(E_{1n} - E_{10}) + (E_{2k} - E_{20})} = -\frac{A}{R^6}. \quad (1.12)$$

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 (1.11) va (1.12) ifodalar yig'indisi bilan topiladi. Odatda, buning o'rniga Lennard-Jons potensialini berish orqali aniqlanadi:

$$U = -\frac{A}{R^6} + \frac{B}{R^{12}}. \quad (1.13)$$

Bunda A, B – tajribada aniqlanadigan doimiy sonlar; R – molekulalar orasidagi masofa. (1.13) ifodada birinchi had molekulalarning o'zaro tortishishiga, ikkinchi had esa molekulalarning o'zaro itarishishiga mos keladi. Masalan, 0...0 o'zaro ta'siri uchun

$A=1547,7 \text{ kJ}\cdot\text{nm}^5/\text{mol}$, $B = 895,23\cdot 10^3 \text{ kJ}\cdot 10^3 \text{ kJ}\cdot \text{nm}^4/\text{mol}$ qiymatga ega.

Vodorod bog'lanish deb 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. 1.7-rasmda ikki polipeptid zanjirda hosil bo'lgan vodorod bog'lanishlari punktir chiziqlar bilan, kovalent bog'lanishlar tutash chiziqlar bilan ko'rsatilgan.

Polipeptid zanjiri ikkilamchi strukturasi α -spiral yoki β - struktura ko'rinishida bo'lishi mumkin. Oqsildagi α -spiral quyidagi shartlarga bo'ysunadi: 1) C-N peptid bog'lanishi planar (bitta tekislikda yotuvchi) bo'lishi; 2) vodorod bog'lanishlari S=O va N-H guruhlari orasidagina bo'lishi zarur (1.8- va 1.9-rasmlar).

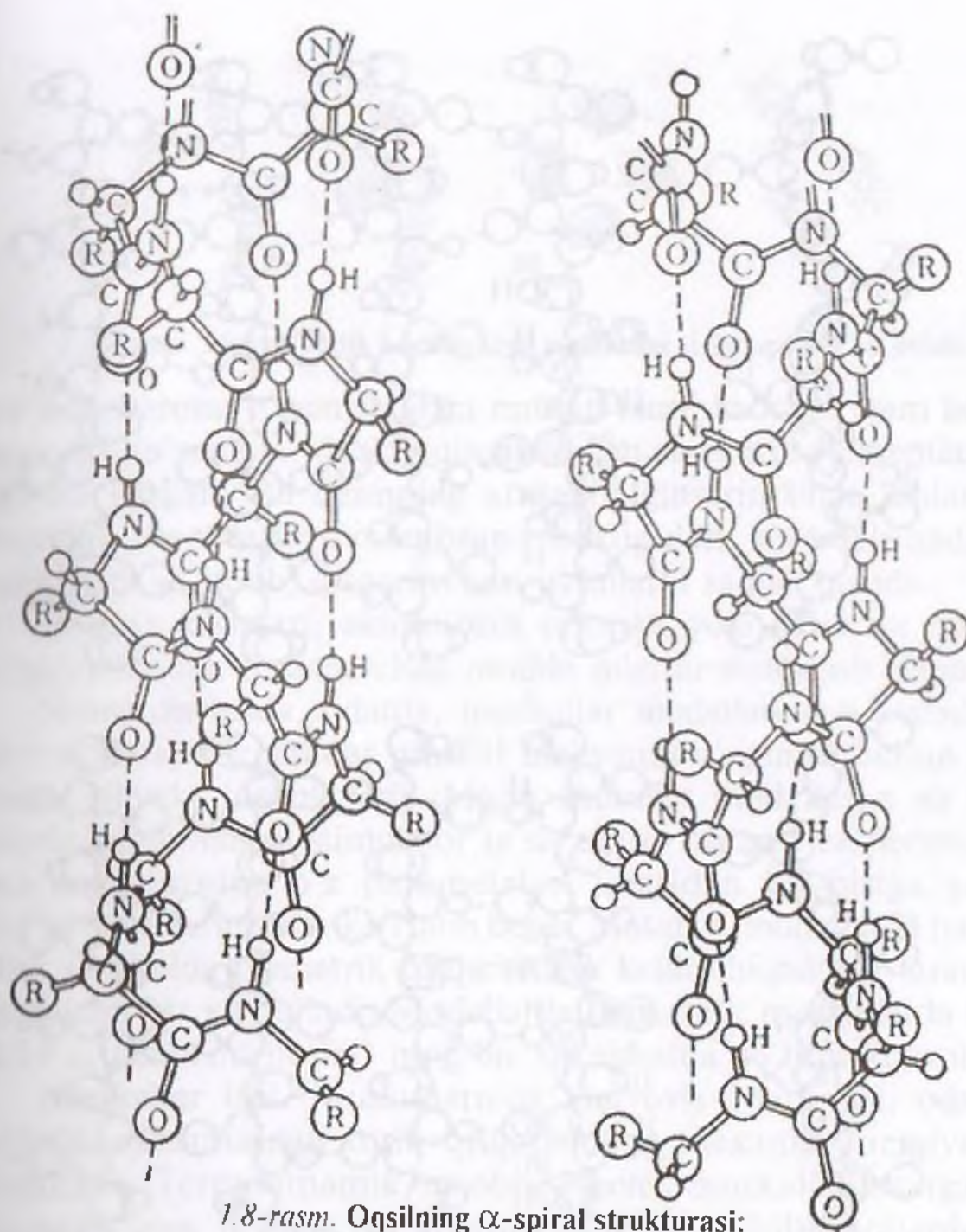
Yagona polipeptid zanjiri hosil qiladigan α -spiralidan farqli ravishda β -struktura ikki polipeptid zanjirlar orasida hosil bo'ladigan vodorod bog'lanishlar tufayli paydo bo'ladi (1.10-rasm).

α -spiral va β -struktura tipidagi ikkilamchi strukturalar vodorod bog'lanishlari tufayli hosil bo'ladi va nordon hamda asosiy aminokislotalar qoldiqlari orasidagi elektrostatik o'zaro ta'sirlar tufayli mustahkamlanadi. Peptid zanjirlaridagi turli atomlar ularda zaryad taqsimotiga qarab bir-biridan farq qiladi. Zaryadlangan atomlar orasidagi o'zaro ta'sir potensial energiyasi quyidagi tenglama bilan aniqlanadi:

$$E_e = \sum_{ij} \frac{q_i q_j}{\epsilon \cdot R_{ij}}. \quad (1.14)$$

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

Elektrostatik o'zaro ta'sir energiyasi ~500 kJ/mol. 1.10-rasmda molekular o'zaro ta'sirda elektrostatik kuchlar asosiy bo'lgan hollar ko'rsatilgan.

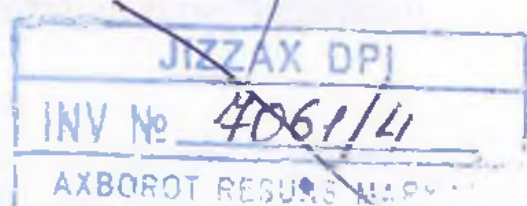
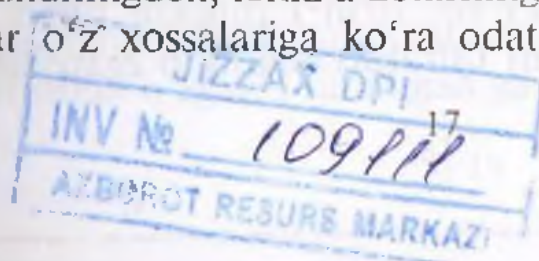


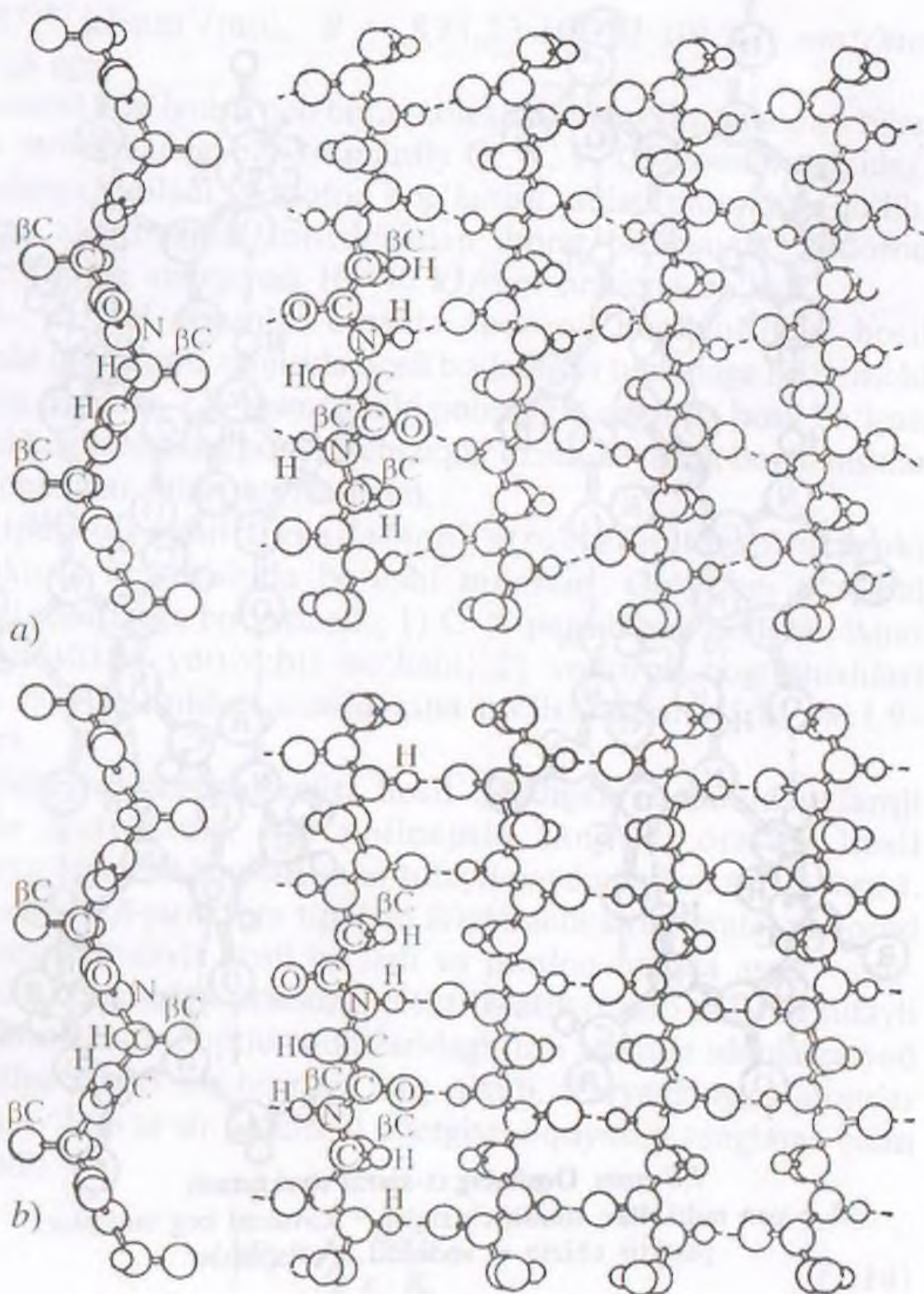
1.8-rasm. Oqsilning α -spiral strukturasi:

R – yon radikallar; tutash chiziqlar – kovalent bog‘lanishlar, punktir chiziq – vodorod bog‘lanishlar.

1.3-§. Muskul mexanikasi

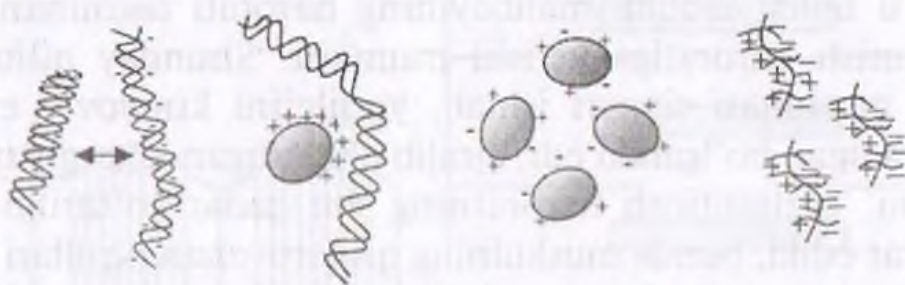
Muskul kimyoviy energiyani ish bajara oladigan mexanik energiyaga aylantirish xususiyatiga ega. Bu ish ixtiyoriy harakatlarni bajarish, shuningdek, ichki a'zolarining harakati uchun sarf bo'ladi. Muskullar o'z xossalariga ko'ra odatdagi qattiq jismlardan farq





1.9-rasm. Oqsilning turli β -strukturalari:
a – parallel; b – antiparallel.

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/m²) muskul bilan kauchuk cho'zilganida rentgen nurlari difraksiyasining o'zgarishlari bir xil



1.10-rasm. Elektrostatik kuchlarning molekular tizimlarda ta'sir etishi.

bo'ladi, harorat o'zgarishlariga muskul ham, kauchuk ham bir xil reaksiya ko'rsatadi. Muskul qisqaruvchan va elastik elementlardan tashkil topgan. Bu tizimning xossalari glitserin bilan ishlangan muskul preparatlari 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 stimulator 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 izometrik qisqarishdan kelib chiqadigan taranglik taxminan bir xil bo'ladi. Modellarda ham, tirik muskullarda ham ATF (Adenozintrifosfat) 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 tamoyiliga 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 birmuncha past bo'lgan qabul qiluvchi tomondan yutiladi. Shu boisdan foydali ish koeffitsiyenti, masalan, 30 % bo'lgan issiqlik mashinasining ishlashi uchun juda katta haroratlarning farqi bo'lishi talab qilinar ekan. Qabul qiluvchi harorati 37 °C atrofida o'zgarib turadigan gavda haroratiga teng keladigan

bo'lsa, u holda issiqlik manbayining harorati taxminan qip-qizil cho'g'lanish haroratiga yetishi mumkin. Shunday qilib, muskul issiqlik mashinasi singari ishlab, yoqilg'ini 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 denaturatsiyaga 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.

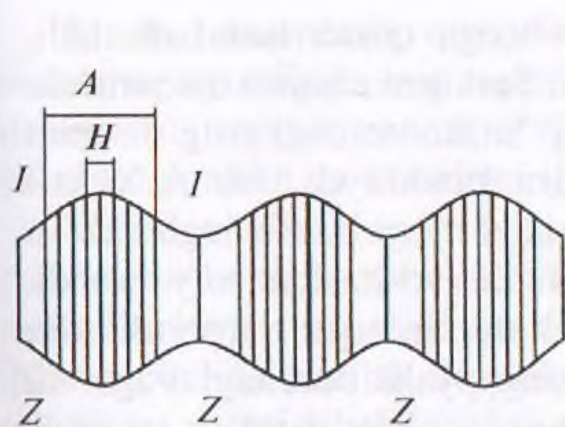
Ma'lumki, muskul tolalarining miofibrillalari Z-membranalar deb ataladigan kambar qora chiziqlar bilan ayrim qismlarga ajralsa (uzunligi taxminan 2,5 mkm keladigan qismlarga), ya'ni sarkomerlar bo'ylab joylashgan yorug' yo'llar, izotop yo'llar yoki I disklar deb atalsa, sarkomerning markazidagi qora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

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

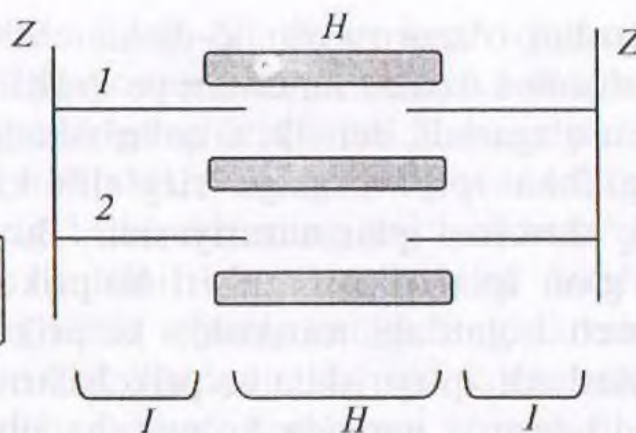
1.11-rasmda miofibrillaning bo'ylama kesimi, 1.12-rasmda esa uning sxematik tuzilishi ko'rsatilgan. 1.11-rasmdagi qora chiziqlar Z-chiziqlardir. Miofibrillaning ikkita Z-chiziqlar orasidagi qismi **sarkomer** deb ataladi.

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

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



1.11-rasm. Miofibrillaning kesimi tasviri.



1.12-rasm. Sarkomer tuzilishi bo'ylama tasviri.

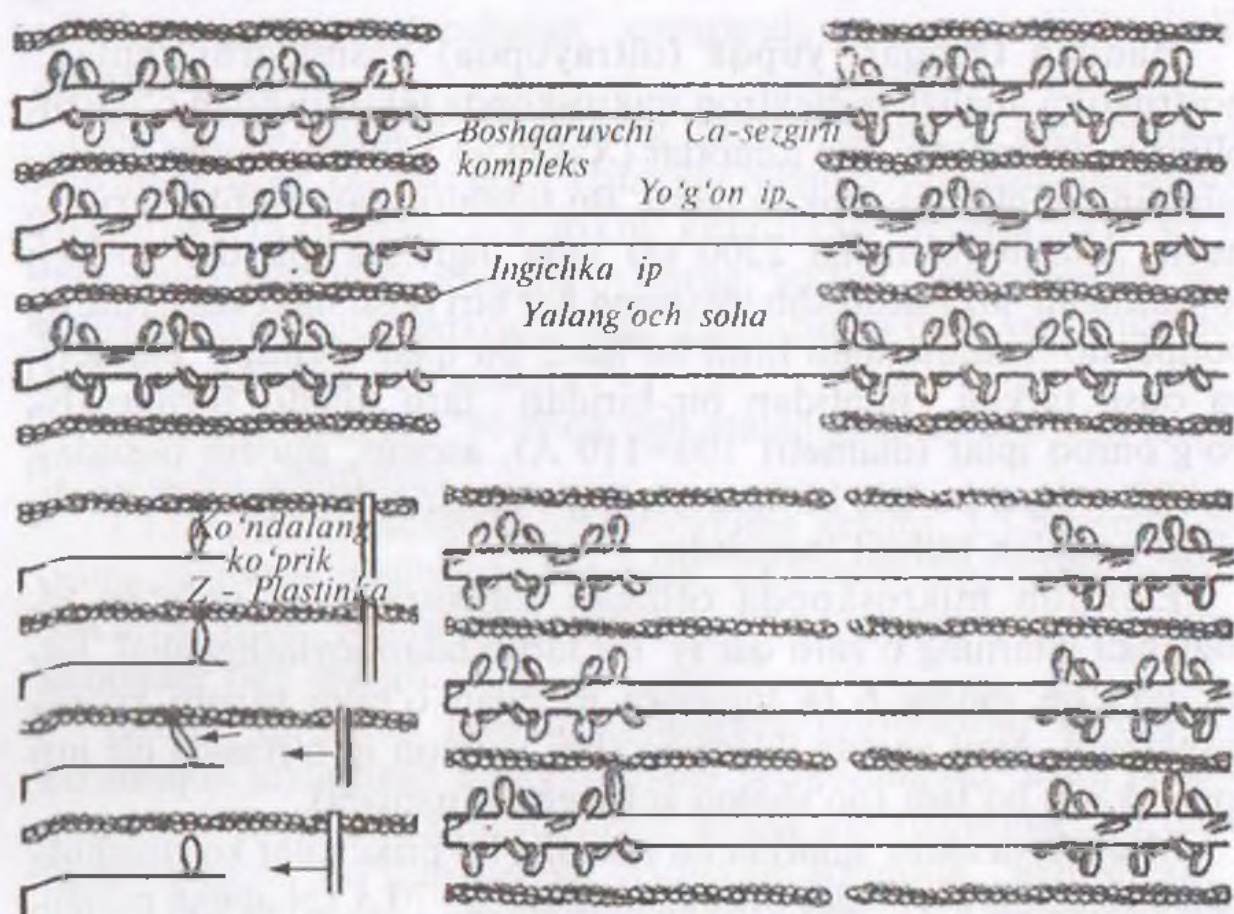
Haddan tashqari yupqa (ultrayupqa) kesmalarni rentgenostruktura analizi va elektron mikroskopda tekshirishdan o'tkazib olingan zamonaviy ma'lumotlar (Xaksli va Xanson) izotop disklar tabiatini aniqlashga imkon berdi. Bu tekshirishlar miofibrillarning necha yuzlab (o'rtacha 2500 ta) juda ingichka iplardan 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. Birmuncha yo'g'onroq iplar (diametri 100–110 Å), asosan, miozin oqsildan tashkil topgan bo'lsa, birmuncha ingichkalari (diametri 40–50 Å) 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 geksoqonal panjara).

Miozin va aktin iplarida ko'ndalang ko'prikchalar ko'rinishida yon birikmalar bor, bular orasi taxminan 60–70 Å 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 Å 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'zgarmaydi, 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.Xakslir sirg'aluvchan iplar nazariyasidir. Bu nazariyaga ko'ra ingichka va yo'g'on iplar o'zaro ta'siri ko'prikchalar vositasida ro'y beradi. Tinch holatdagi muskulda ko'prikchalar iplarga perpendikular joylashadi, qisqarishda ko'prikchalarning qiyalik burchagi o'zgaradi (1.13-rasm), natijada ko'prikcha ulangan aktiv markaz (rasmda ushbu markaz qora rangda berilgan) bir «qadam» ga siljishi ro'y beradi.



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

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

Muskul izometrik 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.

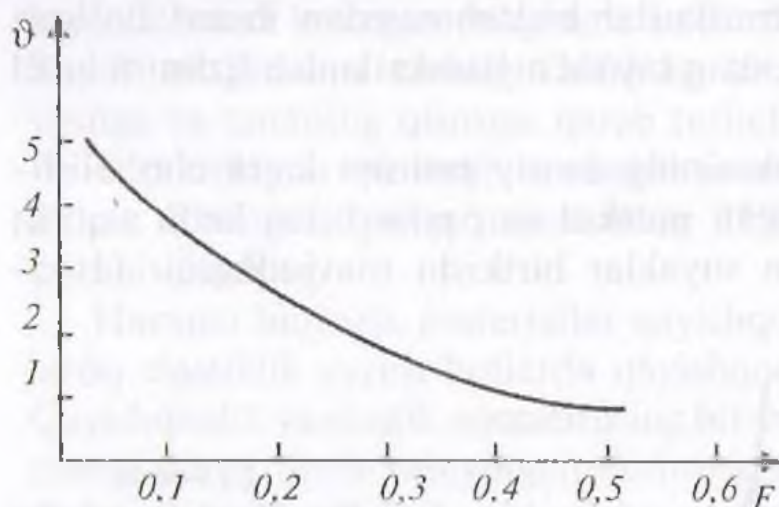
Yo'g'on miozin iplari A-diskda, birmuncha ingichka aktin iplari esa V-diskda turadi, shu aktin iplari — diskka kirib, N-zonaga yetib boradi. Asosan, A-disklarga yaqin miofibrilla sarkoplazmasida mitoxondriyalar joylashgan, bularda oksidlanish va fosforlanish jarayonlari natijasida hosil bo'ladigan ATF 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 xossalari taxminan 10 barobar kuchaytiradigan kompleks birikma aktomiozin hosil qila oladi. Aktomiozin ATF ta'sirida kichik konsentratsiyadagi magniy ionlari ishtirokida aktin va miozinga dissotsiatsiyalanadi.

Muskul qisqarishida ATF ikki xil rol o'ynaydi. U aktomiozin aktin va miozinga dissotsiatsiyalanishiga 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 sababchisi o'zlarini hosil qiluvchi elementlarining o'zaro ta'siriga

ro'yi beradi. Aktivlashish tugagandan keyin Ca^{2+} konsentratsiyasi 10^2 – 10^3 marta kamayadi va 10^{-7} – 10^{-8} molni tashkil etadi. Muskullar aktivlashishi tufayli qisqaradi yoki uzunligi o'zgarmagan holda kuchlanish hosil qiladi (izometrik qisqarish). Aksincha izotopik 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 (1.16-rasm).

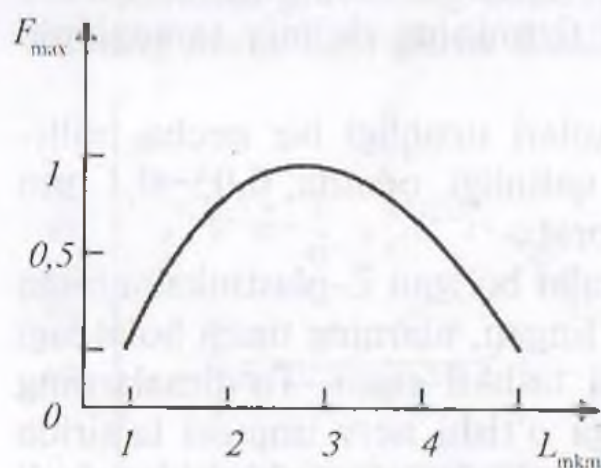


1.16- rasm. Qurbaqa biriktiruvchi muskuli qisqarish tezligi v bilan izotopik qisqarishdagi muskul kuchi F orasidagi bog'lanish.

$$(F + a)(v + b) = (F_{\max} + a), \quad (1.15)$$

bunda $F_{\max}$ – muskulning kuchlanishida hosil qiluvchi kuch, ya'ni izometrik qisqartirishdagi kuch; v – muskul qisqartirishning o'rtacha tezligi.

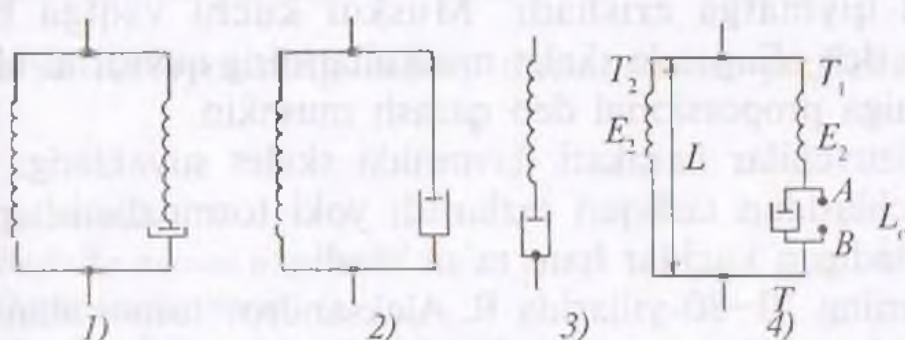
Muskullarning maksimal kuchi $F_{\max}$ sarkomerlar uzunligiga bog'liq. Bu bog'lanish 1.17-rasmda keltirilgan. Undan ko'rinadiki,



1.17-rasm. Muskul maksimal kuchi (F)ning sarkomer uzunligi (L)ga bog'lanishi.

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.

Muskullar strukturasi, energetikasi va biomexanikasi haqidagi ma'lumotlarni tushuntirish uchun muskul modellari taklif etilgan. Faol holatdagi muskulning qovushqoq elastik modelini A.Xill taklif etgan. Ushbu modelda muskul ikki parallel elastik elementlardan iborat bo'lib, ulardan biri qovushqoq dempfer bilan to'ldirilgan (1.18-1 rasm). Tinch holatdagi muskul faqat elastiklik xususiyatiga ega.



1.18-rasm. Muskulning 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 kombinatsiyasidan foydalana boshlashdi.

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; d) tenglamalardagi munosabatlar faqat bitta muskul uchun to'g'ri.

Xill tenglamasidan foydalanib, muskullar qisqarish paytida bajariladigan ishni oson topish mumkin:

$$A = FV \cdot t = bF \cdot t(F_{\max} - F)(F + a) \quad (1.16)$$

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

$$\frac{dA}{dt} = b(F_{\max} - F) \quad (1.17)$$

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 quvvatini ularning kuchlanishiga proporsional deb qarash mumkin.

Sutemizuvchilar 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. Aleksandrov 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 marta farq qilsa ham, maksimal kuchlanishlar kam farq qilgan: 50 dan 150 MN/m² gacha.

Bivenerli tadqiqotlarida massasi 0,1 kg bo'lgan burundiq va olmaxon uchun oyoq suyaklarida maksimal kuchlanish 58 dan 86 MN/m² 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 (1.1-jadval).

Hayvonlar hamda odam tayanch-harakat tizimining faoliyatini chuqurroq o'rganish suyaklar, muskullar, bo'g'in, paylarning xavfsiz ishlash mexanizmlarini, biomexanik tizimlar mustahkamlik chegarasini aniqlash, qishloq xo'jaligi va ve-

**Naysimon suyaklar siqilishida nisbiy deformatsiyaning
maksimal qiymatlari**

Hayvonlar	Suyaklar	Harakat turi	Nisbiy deformatsiya	Mustahkamlik zaxirasi
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
Kurka	Katta boldir	Yugurish	0,235	2,9

terinariya tibbiyotining asosiy masalalarini yechish imkonini beradi.

Sinov savollari

1. Biofizika nimani o'rganadi?
2. Qattiq jismlar nima?
3. Qanday deformatsiya turlarini bilasiz?
4. Elastik deformatsiyalangan jismining potensial energiyasi nimaga teng?
5. Muskul qisqarishida bajarilgan quvvat qanday aniqlanadi?
6. Tirik organizmda elastin va kollagenlarning roli nimadan iborat?
7. Ba'zi biologik a'zolar uchun elastiklik modulining qiymati qanchaga teng?

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 Hz dan 20 kHz 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} Hz) 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 perpendikular birlik yuzadan birlik vaqt ichida olib o'tilgan energiyaga aytiladi:

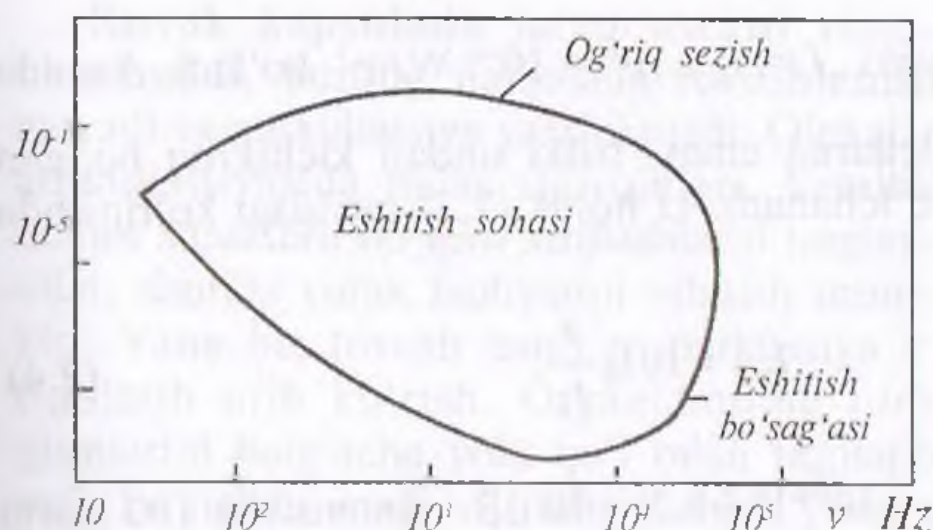
$$I = \frac{W}{S \cdot t} \left(\frac{W}{m^2} \right). \quad (2.1)$$

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. Tovush zarba deb, tovushning qisqa vaqtdagi ta'siriga aytiladi.

Normal odam qulog'i ancha keng diapazondagi tovush intensivligini qabul qiladi. M: 1 kHz chastotada $I_0 = 10^{-12}$ W/m² dan $I_m = 10$ W/m² gacha. Bunda I_0 — eshitish chegarasidagi

intensivlik, I_m — og'riq sezish chegarasidagi tovush intensivligi. Bu intensivliklar nisbati 10^{13} ga teng.

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



2.1-rasm. Odam qulog'ining eshitish sohasi.

Har qanday tovush oddiy garmonik tebranishlar to'plami emas, balki ma'lum chastotalar to'plamiga ega bo'lgan garmonik tebranishlarning yig'indisidan iboratdir.

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

Tembr — tovushning boshlanishi va oxiridagi amplituda o'zgarishini xarakterlaydi.

2.2-§. Tovushning fiziologik xossalari

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

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

Bunda I — tovush intensivligi; ρ — muhit zichligi; v — tovush tezligi. Yuqorida aytib o'tilganidek, tovush intensivligi juda keng diapazonga ega. Shu sababli logarifmik shkaladan foydalaniladi. I_0 ning qiymatini shkalaning boshlang'ich darajasi qilib olib, boshqa istalgan intensivlikni uning I_0 ga nisbatan o'nli logarifmi orqali ifodalash mumkin. Bu ishni Veber-Fexner amalga oshirgani sababli unga Veber — Fexnerning psixofizik qonuni deyiladi:

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

Bunda L – tovush qattiqligi; K – proporsionallik koeffitsiyenti. Bu qonunga binoan tovush intensivligi 1000 ga 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 $I = I_0 \times 10^4 = 10^{-8} \text{ W/m}^2$ bo'ladi. Amalda tovush qattiqligi Bellarda emas, balki undan kichikroq bo'lgan detsibellarda (dB) o'lchanadi. U holda (2.3) quyidagi ko'rinishda yoziladi:

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

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

kamayishini ko'rsatadi. Intensivlik $10 \text{ J/m}^2 \text{ s}$ bo'lsa, u tovush sifatida eshitilmaydi va quloqda og'riq seziladi. Detsibellarga 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 (yutqin, og'iz va burun bo'shliqlari, o'pka, bronx, traxeya) ishtirok etadi. Ovozni qabul qiluvchi a'zo 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 a'zosi 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 a'zolarining funksiyasi buzilsa, tovush ham o'zgaradi. Kasallikka tashxis qo'yishda keng tarqalgan tovushiy usul – auskultatsiya (bemorni eshitib ko'rish), bu usul eramizgacha bo'lgan II asrdan beri ma'lum. Auskultatsiya uchun stetoskop

yoki fonendoskopdan foydalaniladi. Fonendoskopning umumiy tuzilishi 2.2-rasmda ko'rsatilgan.

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 — tiqillatib urib ko'rish. Organizmning turli qismlarini bolg'acha yoki qo'l bilan tiqillatib urib ko'rishda majburiy tebranishlar yuzaga keladi. Bu tovushga **perkuter tovush** deyiladi. Yumshoq joyga (muskul, yog', teri) urganda qisqa to'liqin 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.

Hayvonlarning tovush chiqarish a'zolari turlichadir. Ular tovushdan ov qilish, aloqa vositalarida foydalanadi. Hamma hayvonlarda ham ovoz chiqarish a'zolari mavjud emas. Shu sababli ovoz chiqarish uchun ular boshqa a'zolaridan foydalanadi (qanotlar, oyoqlar va hokazo).

Bo'g'inoyoqlilar ishqalanish yoki bir a'zoning ikkinchisiga urilishi, membranalar tebranishi (qanotlar), tirqish orqali havo o'tkazish tufayli tovush chiqaradi. Ularning akustik spektri murakkab, chastotasi yuqori (2 kHz 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 xurrakka o'xshash, dengiz karasi esa tiqillashga o'xshash tovushlar chiqaradi. Baliqlar, asosan, suzuvchi jabrasi yordamida tovush chiqaradi. Uning ichida havosi bor. Buni



2.2-rasm.
Fonendoskopning
tuzilishi:
1 — kovak
kapsula;
2 — tovush
o'tkazadigan
membrana;
3 — quloqqa
boradigan rezina.

harakatga keltirish uchun baliqlar yonboshida joylashgan baraban muskullarini ishga soladi.

Qushlar. Ularning tarqatadigan tovushlarining ko'pchiligi tovush a'zolaridan emas, balki qanotlari, tumshuqlari, oyoqlaridan chiqadi. Masalan, turnalar taqillagan 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 Hz — 12 kHz chastotali, ba'zilar esa hatto 30–50 kHz chastotali ultratovushlar chiqarishi mumkin.

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

2.3-§. Tibbiyot va veterinariyada tovush usullaridan foydalanish

Chastotalari 20 kHz dan yuqori bo'lgan elastik to'lqinlarga ultratovushlar deyiladi (10^9 – 10^{13} Hz tovushlar gipertovushlar). Ultratovushlar, asosan, ikki yo'l bilan hosil qilinadi — teskari pyezoeffekt hodisasi, magnitostriksiya hodisasi. Ultratovushdan lokatsiya, 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'lqinlarining to'siqlardan qaytishiga qarab yo'lni topadi. Ultratovush 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 kHz chastotali ultratovushlar ishlatiladi. Ularning oʻrtacha intensivligi 1 W/sm^2 , nurlovchi qism va teri orasiga biror suyuqlik (masalan, yogʻ) quyiladi, chunki hatto yupqa havo qatlami ultratovushning organizmga oʻtishiga toʻsqinlik qiladi. Toʻqimaga qilinadigan mexanikaviy va issiqlik taʼsiri ultratovush terapiyasi asosida yotgan birlamchi mexanizmdir. Ultratovush jarrohlikda «skalpel» vazifasini bajaradi. Oddiy skalpeldan farqli oʻlaroq, ultratovush skalpeli juda ingichka qirqsa, ikkinchidan maʼlum energiyali tovush qonsiz kesadi. Bir vaqtning oʻzida ultratovush tikib (payvandlab) ketadi. Farmatsevtikada dorilar tayyorlashda ishlatiladi, yaʼni suyuqliklar ichidagi jismlarni parchalab, emulsiya hosil qiladi. Ultratovush ishtirokida tayyorlangan turli xil dorivor emulsiyalar oʻpka kasali, yuqori nafas yoʻllari katari, bronxial astma kabi kasalliklarni davolashda qoʻllaniladi. Hozirgi vaqtda shikastlangan yoki transplantatsiyalangan suyak toʻqimalarini «payvandlash» ning yangi usuli (ultratovush osteosintezi) yaratildi. Ultratovushning mikroorganizmlarga halokatli taʼsiridan moddalarni sterilizatsiya qilishda foydalanilmoqda. Koʻrlar uchun «Oriyentir» asbobi yaratilgan boʻlib, u bilan 10 metrgacha uzoqlikdagi jismlarni bilib olish va ularni qanday xarakterda ekanligini aniqlash mumkin. Ultratovushning issiqlik taʼsiridan oʻsimtalarni yemirishda ishlatiladi. Kichik intensivlikli ultratovushlar ($1,5-3 \text{ W/sm}^2$) oʻsimliklarning oʻsishiga yordam beradi, bronxial astma, radikulitni davolashda qoʻllaniladi, katta intensivlikli ultratovush (30 W/sm^2) organizmga salbiy taʼsir koʻrsatadi.

Veterinariya tibbiyotida ultratovush fonoforez usuli qoʻllaniladi, yaʼni ultratovush yordamida qoramollarga terisi orqali baʼzi dorilarni kiritish (masalan, gidrokortizon, tetrasiklin va boshqalar) mumkin. Bu elektroforezga oʻxshash, lekin elektr maydoni taʼsirida zaryadlangan zarralar harakatlansa, ultratovush yordamida zaryadsiz zarralar ham harakatlanadi. Ultratovush nurlantirishi fonoforez bilan birgalikda qoramol, echki, qoʻylardagi mastitni davolashda ishlatiladi.

Tashxisda qoramol va otlarning homiladorligini aniqlash mumkin. Hattoki homilaning 25 kunligini aniqlash 65–70 kunligini 100 foiz aniqlikda aytish mumkin. 1 soatda 200 qoʻyning homiladorligini aniqlasa boʻladi.

Infratovush — bu chastotasi 16 Hz dan kichik bo'lgan elastik to'liqlardan iborat. Lotinchadan «*infro*» — «kichik» ma'noni anglatadi. Infratovush atmosfera va dengiz shovqinlari tarkibida bo'ladi. Chaqmoq vaqtida, portlashda, to'plar otilganda va Yer qimirlaganda 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 Hz, qorin bo'shlig'i uchun 3–4 Hz, turgan holda 5–12 Hz, ko'krak qafasidiki 5–8 Hz 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 ventilatorlar ham kuchli shovqin chiqaradi. Masalan: SCh-70 ventilatori 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 331 m/s, suvda 1497 m/s, silliq to'qimada 1550 m/s, yog' to'qimasida 1460 m/s, miyada 1520 m/s, suyakda 3660 m/s, jigarda 1570 m/s, shishasimon jismda 1530 m/s. Chastota qancha katta bo'lsa, tovush

shuncha yuqori tonlarda qabul qilinadi. Masalan, ho'kizning ma'rashi 50 Hz bo'lsa, pashshaning tovushi 10 kHz chastotaga mos keladi.

Tovush to'liqlari ikki muhit chegarasiga tushganda uning bir qismi qaytadi, ikkinchi qismi esa sinib, ikkinchi muhitga o'tadi. Masalan, suvga tushgan tovush to'liqning atigi 0,12 foiz intensivligi suvga o'tadi, qolgan 99,88% i esa qaytadi. Ilgarilari dengiz hayvonlari akustik signalizatsiyaga ega emas, deb qaralar edi. Keyingi tadqiqotlar natijasida dengiz hayvonlari o'zidan tovush to'liqlari chiqarishi aniqlandi. Masalan, ular ov payti, xavf tug'ilganda, urchish paytlarida akustik signallar chiqaradi. Hozirgi davrda dengiz hayvonlari tovushlarining fonetikasi tuzilgan. Bu fonetika yordamida dengiz hayvonlari biologiyasini o'rganishda, baliqlar to'planini topishda foydalaniladi.

Demak, dengiz ham hayvonlarning tovush to'liqlari bilan to'lgan, lekin odam uning tubiga tushib ham bu tovushlarni eshitmaydi. 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'liqin moddada tarqalishida uning energiyasi modda zarralarini tebratishga sarf bo'ladi. Shu sababli to'liqin energiyasi masofa o'tishi bilan kamayadi, ya'ni so'nadi. Bu esa $I = I_0 e^{-\delta x}$ eksponensial qonun bilan yuz beradi. Bunda I_0 — tushayotgan to'liq intensivligi I — masofadagi intensivlik, δ — so'nish ko'effitsiyenti. So'nish ko'effitsiyenti bir jinsli muhit uchun quyidagiga teng:

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

Bunda λ — tovush to'liqin uzunligi, V — moddada tovush tezligi; η — yopishqoqlik ko'effitsiyenti, ρ — modda zichligi. Yuqoridagi formuladan ko'rinadiki, so'nish ko'effitsiyenti to'liqin 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 (parolon). Shu

sababli hozirgi vaqtda tovushni yomon o'tkazadigan materiallardan qurilishda keng qo'llanilmoqda. 2.1-jadvalda ba'zi materiallar uchun so'nish koeffitsiyenti keltirilgan.

2.1-jadval

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

Kichik to'lqin uzunlikka ega bo'lgan ultratovush 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.

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 $4\pi R^2 I$ ga teng bo'ladi. Bunda I — sferaning birlik yuzidan o'tuvchi intensivlik. U holda

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

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

Shunday qilib, tovushning so'nishi uchta sababga ko'ra yuz beradi, ya'ni yutilish moddaning birlashmasligi tufayli sochilishi

va masofaga qarab to'liq sirtining kengayishi tufaylidir. Oxirgi sababni kamaytirish uchun tovushni yassi yuzadan tarqatishga erishish kerak. Bunday sharoit quvurlarda yuzaga keltiriladi.

Sinov savollari

1. *Tovushni xarakterlovchi asosiy kattaliklar nimalar?*
2. *Tovushning fiziologik xossalari nimalar?*
3. *Veber — Fexnerning psixofizik qonuni nimani ifodalaydi?*
4. *Hell va detsibellar nimaning o'lchov birligi hisoblanadi?*
5. *Eshitish sohasi nima?*
6. *Tibbiyot va veterinariyada tovushdan foydalanish haqida nimalarni bilasiz?*
7. *Ultratovush va uning amalda qo'llanilishini ayting.*
8. *Infratovush va uning ahamiyati nimadan iborat?*
9. *Ultra- va infratovushlarning tirik organizmga ta'siri va ahamiyati qanday bo'ladi?*
10. *Shovqin va undan himoyalash usullarini ayting?*

III BOB

GIDRODINAMIKANING FIZIK ASOSLARI

3.1-§. 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

$$F \sim S \left| \frac{\Delta v}{\Delta X} \right| \quad (3.1)$$

yoki

$$F = \eta \left| \frac{\Delta v}{\Delta X} \right|. \quad (3.2)$$

Bunda η — 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 m² yuzada 1 m/s ga o'zgaradigan va 1 m² yuzasida 1 N kuch hosil bo'ladigan modda dinamik yopishqoqligiga teng. Yopishqoqlik qanchalik katta bo'lsa, unda shuncha katta ichki ishqalanish kuchlari yuzaga keladi.

Yopishqoqlik haroratga bog'liq bo'lib, suyuqlik va gazlar uchun turlichadir. Suyuqliklar uchun harorat oshganda η kamayadi, gazlarda esa teskari holat yuz beradi. Suyuqlik yopishqoqlik koeffitsiyentini aniqlash katta ahamiyatga ega bo'lib, bir qancha usullari mavjud. Biz Puazeyl usulini qarab chiqamiz. Bu usulda suyuqlik kichik kapillarda 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 ℓ , uchlaridagi bosimlar farqi ΔP va τ suyuqlikning oqib o'tish vaqti orasidagi bog'lanish Puazeyl formulasi bilan ifodalanadi:

$$V = \frac{\pi r^4 \cdot \Delta P \cdot \tau}{8\eta \ell}. \quad (3.3)$$

Bunda r — nay radiusi.

(3.3) 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 xarakterlaydigan kattalik kinematik yopishqoqlikdir:

$$\nu = \frac{\eta}{\rho}. \quad (3.4)$$

Bunda ρ — suyuqlik zichligi.

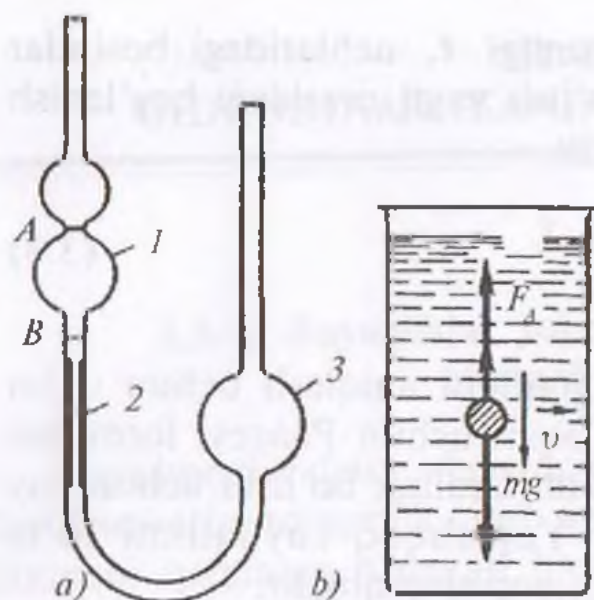
τ , ℓ , ΔP kattaliklarni aniqlash qiyin, shuning uchun taqqoslash usulidan foydalaniladi. Yopishqoqlikni aniqlovchi qurilmaga viskozimetr deyiladi. Bu usulda bir xil hajmdagi yopishqoqligi ma'lum va yopishqoqligi noma'lum suyuqliklar oqib o'tish vaqti taqqoslanadi. U holda kinematik yopishqoqlik

$$\nu = \nu_0 \frac{\tau}{\tau_0}. \quad (3.5)$$

(3.5) ifoda orqali hisoblanadi. Bunda ν va ν_0 mos ravishda noma'lum va etalon suyuqliklar kinematik yopishqoqligi, τ va τ_0 lar esa bu suyuqliklar uchun oqib o'tish vaqti (3.1-rasm).

(3.4) 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.

Suyuqliklar 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



3.1-rasm. Yopishqoqlik
koeffitsiyentini aniqlashning
vizkozimetriya

(a) va Stoks (b) usullari:

1,3 – oʻlchov hajmlari;

2 – kapillar;

F_A – Arximed kuchi;

mg – ogirlik kuchi;

v – tezlik.

holatga siljish kuchlanishi tufayli vujudga keladigan zarralar vaziyatining oʻzgarishi, agregatsiyasi va deformatsiyasi jarayonlari olib keladi.

Biologik suyuqliklar uchun tezlik gradiyenti oʻsishining katta oraligʻida yopishqoqlikning uzluksiz kamayishi kuzatiladi. Bunga zarrachalar vaziyatining oʻzgarishi va deformatsiyasi sababchi boʻladi.

Sutemizuvchilar, jumladan, odam qoni qon hujayralarining plazmadagi suspenziyasidan iborat. Qon plazmasining katta tomirlardan oʻtishida Nyuton xossalariga ega suyuqlik, deb qarash mumkin. Qonning yopishqoqligi tezlik gradiyenti oʻzgarishining keng sohasida kamayadi.

Boʻgʻinlar orasida moylash vazifasini bajaruvchi – sinovial suyuqliklarning yopishqoqlik asoslarini oʻrganish katta ahamiyatga egadir. 3.2-rasmdan koʻrinadiki, boʻgʻinda suyaklar qalinligi 0,2–0,5 mm boʻlgan sinovial suyuqlikning ingichka qatlami mavjud. Sinovial boʻgʻin xaltaning ichki qatlami tomonidan chiqaradigan qon dializatidan iborat.

Boʻgʻin xaltasi sinovial suyuqlikni boʻgʻinda ushlab turadi va boʻgʻin yuklanishda maʼlum miqdorda ichki bosimga qarshilik koʻrsatadi.

Boʻgʻin boshi boʻgʻin chuqurchasida sinovial suyuqlikda yopishqoqlik toza suvnikidan 10–60 marta katta boʻladi. Natijada uning boʻgʻindan sizib chiqishi qiyinlashadi.



3.2-rasm. Umurtqali hayvon suyak bo'g'ini anatomik tuzilishining sxematik tasviri.

Molekulalar harakati haroratga bog'liq ekan, u holda yopishqoqlik ham haroratga bog'liqdir. Suyuqliklar uchun yopishqoqlik harorat oshsa kamayadi. Qonning yopishqoqligi 37°C da $4 \cdot 10^{-3}$ Pa·s ga teng.

3.2-§. Yurak va qon tomirlarning yopiq biofizik tizimliliği

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 qutulish uchun organizmga nitroglitserin 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:

$$Re = \frac{Dv\rho}{\eta} \quad (3.6)$$

Bunda D – quvur diametri ρ – suyuqlik zichligi, agarda bu son suv uchun 2000 dan kichik bo'lsa, quvur orqali oqim laminar, bundan katta bo'lsa, turbulent oqim bo'ladi. Arteriyada qon oqimi uchun bu sonning qiymati 800 ga teng, demak, Reynolds soni 800 dan katta bo'lsa, organizmda patologik o'zgarishlar yuz beradi.

3.1-jadvalda qonning ayrim gidrodinamik parametrlari keltirilgan.

3.1-jadval

Odam uchun qon aylanishining ayrim gidrodinamik parametrlari

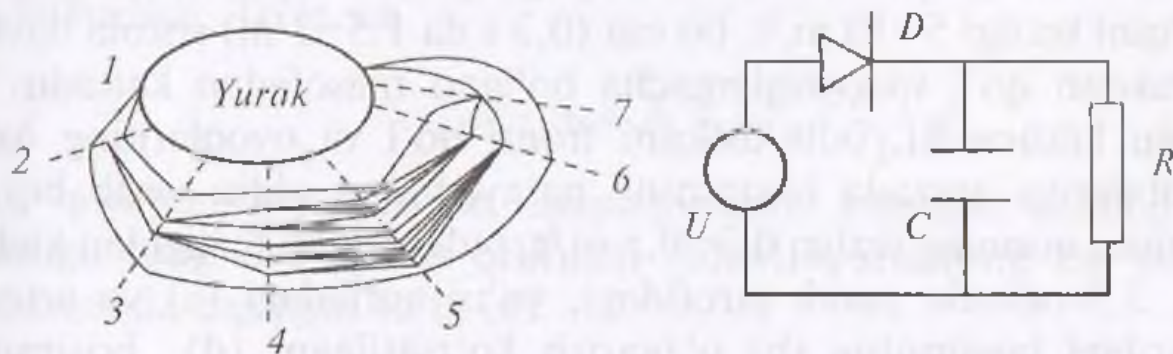
Tomir turi	O'rtacha tezlik, m/s	Diametr, m	Tezlikning tomir devori yonidagi o'rtacha gradiyenti, s^{-1}	Reynolds soni
Aorta	$4,8 \cdot 10^{-1}$	$2,5 \cdot 10^{-2}$	155	$3,4 \cdot 10^3$
Arteriya	$4,5 \cdot 10^{-1}$	$4 \cdot 10^{-3}$	900	$5 \cdot 10^2$
Arteriola	$5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-5}$	800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

Yurak va qon tomirlari yopiq biofizik tizimdir. Yurak nasos rolini bajaradi va u yurak qon tomirlarida qonni harakatga keltiruvchi asosiy energiya manbayidir. U ATF molekulalarida joylashgan kimyoviy energiyani yurak muskullarining mexanik energiyasiga aylantiradi. Demak, yurak impuls rejimda ishlaydi. Sutemizuvchilar 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 farqining yuzaga kelishi 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.

Yurakning kuchlanish manbayini U deb olsak, yurak klapani D diod rolini o'ynaydi, ya'ni bir tomonga ochiladi. Kondensator yarim davr ichida zaryadsizlanadi, yarim davr ichida esa R orqali zaryadsizlanadi. Kondensatorning roli qon bosimining tebranishlarini tekislashdir. Qon tomirlarini tarmoqlangan naychalar sifatida olish mumkin. 3.3-rasmda 1–2 aorta, 2–3 arteriyalar, 3–4 arteriolalar, 4–5 kapillarlar, 5–6 venulalar, 6–7 venalardan iborat. Yurak muskullarining qisqarishida (sistolada) qon yurakdan aortaga va undan tarqalib ketuvchi arteriyalarga siqib chiqarila boshlaydi.

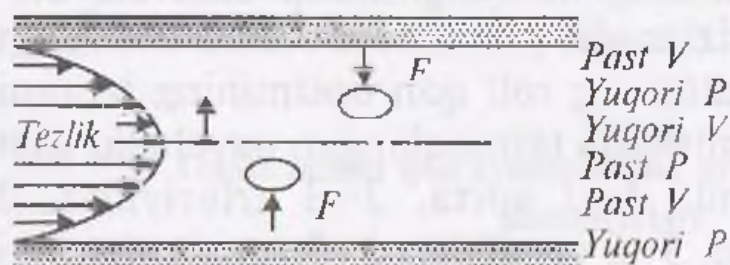
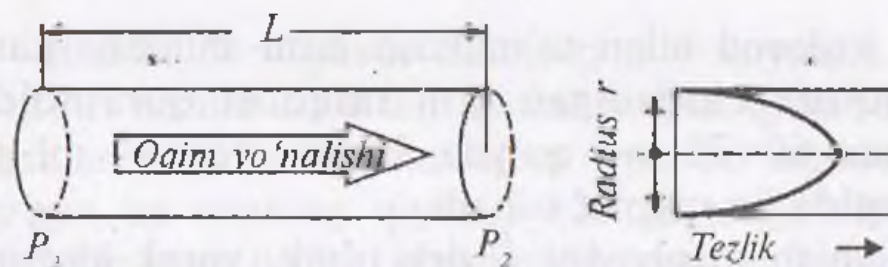


3.3-rasm. Yurak va qon tomirlari tuzilishi hamda yurak faoliyatini o'rganish elektron sxemasi:

U – elektr kuchlanish; D – diod; C – kondensator; R – rezistor.

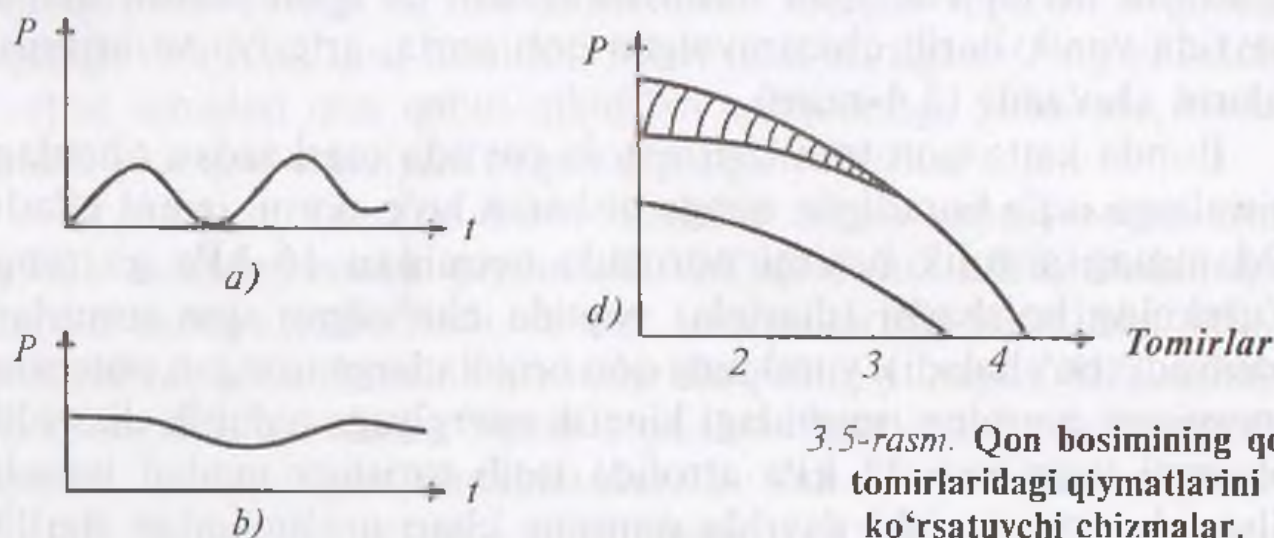
Agar bu tomirlar devorlari qattiq bo'lganda edi, qonning yurakdan chiqish paytida vujudga kelgan bosim tovush tezligida qismlarga uzatilgan bo'lar edi. Qon tomirlari elastik bo'lgani uchun sistola paytida yurak itarib chiqarayotgan qon aorta, arteriya va arteriolalarni cho'zadi (3.4-rasm).

Bunda katta qon tomirlari sistola paytida markazdan chetdagi qismlarga oqib boradigan qonga nisbatan ko'p qonni qabul qiladi. Odamning sistolik bosimi normada taxminan 16 kPa ga teng. Yurakning bo'shashi (diastola) paytida cho'zilgan qon tomirlari pasayadi (bo'shaladi), yurakning qon orqali ularga uzatgan potensial energiyasi qonning oqishidagi kinetik energiyaga aylanib diastolik bosimni taxminan 11 kPa atrofida tutib turishga madad beradi. Sistolalar yuz berishi davrida qonning chap qorinchadan itarilib



3.4-rasm. Quvurlarda suyuqliklarning oqim tezligi chizmasi.

chiqarilishi tufayli yuzaga kelgan va aorta hamda arteriyalar orqali tarqaluvchi yuqori bosimli to'liqqa 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 m/s, puls to'liqini tezligidan kichikdir. 3.5-rasmda yurak atrofidagi, ya'ni aortadagi (a) va arteriolalardagi bosimning (b) o'zgarish ko'rsatilgan, (d) bosimning o'rtacha qiymatining va qon oqimi tezligining qon harakatlanuvchi tomirlar turiga bog'liq holda o'zgarishi ko'rsatilgan. Bunda 2 – arteriyalar, 3 – kapillarlar, 4 – venalar, shtrixlangan soha bosim tebranishiga mos (puls to'liqini) kelishi tasvirlangan.



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

3.3-§. 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 ni silindr ko'rinishida ifodalaymiz. Yurak bu hajmni ko'ndalang kesim yuzi S bo'lgan aorta bo'ylab o'rtacha p bosim ostida ℓ masofaga siqib chiqaradi. Bunda bajarilgan ish

$$A_1 = F \cdot \ell = pSl = pV_3. \quad (3.7)$$

Bu hajmdagi qonga kinetik energiya berish uchun

$$A_2 = \frac{mv^2}{2} = \frac{\rho_3 V v^2}{2} \quad (3.8)$$

ish bajariladi. To'la ish

$$A_3 = A_1 + A_2 = pV_3 + \frac{\rho V_3}{2} v^2 \quad (3.9)$$

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

$$A = A_3 + 0,2A_3 = 1,2(pV_3 + \frac{\rho V_3 v^2}{2}). \quad (3.10)$$

$p = 13 \text{ kPa}$, $V_3 = 60 \text{ ml} = 6 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3$, $\rho = 1,05 \cdot 10^3 \text{ kg/m}^3$, $v = 0,5 \text{ m/s}$ bo'lsa, tinch holatda yurakning bir marta qisqarishida bajargan ishi $A = 1 \text{ J}$ ekanligini topamiz. 1 s da 1 marta qisqarsa 1 sutkada $A = 86400 \text{ J}$ ish bajaradi. Agar sistolalar davomiyligi 0,3 s

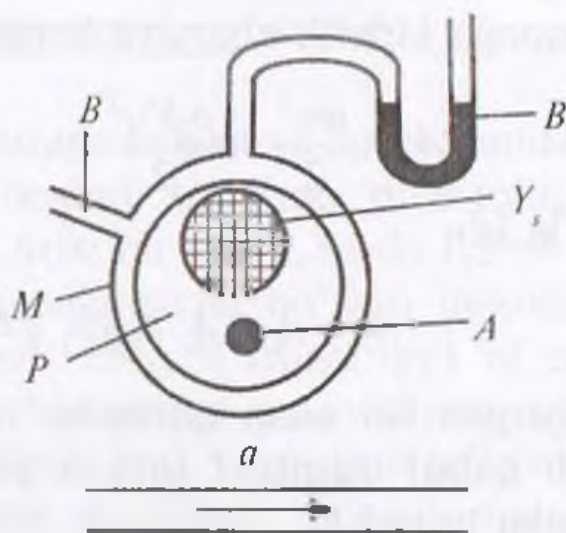
desak, yurakning bir marta qisqarishdagi quvvati $W = \frac{A}{t} = 3,3 \text{ W}$.

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

Arteriyalarning birortasidagi sistolik va diastolik bosimlar to'g'ri-dan to'g'ri manometrlarga ulangan igna yordamida o'lchanishi

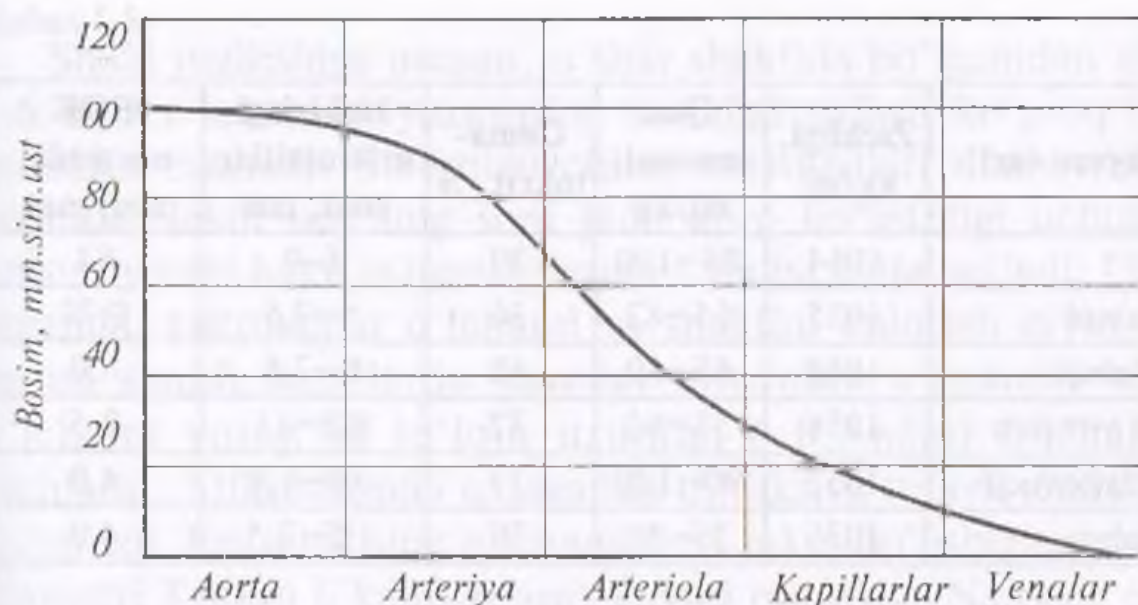
mumkin. Tibbiyotda esa N.S. Korotkov taklif qilgan qonsiz usuldan keng foydalaniladi (3.6-rasm).

Bunda M — manjet, P — qoʻlning bir qismi, Y_s — yelka suyagi, A — arteriya, B — rezina nay orqali manjetga havo yuborilganda manjet qoʻlni siqadi. Soʻngra shu rezina nay orqali havo sekin yuboriladi va B manometr yordamida manjetdagi bosim oʻlchanadi. Agar muskullar boʻshashtirilgan boʻlsa, elastik devorlardan iborat boʻlgan manjetga tegib yumshoq toʻqimalardagi bosimga teng boʻladi.



3.6-rasm. Qon bosimini oʻlchash.

Bosimni qonsiz oʻlchashning asosiy fizik gʻoyasi shundan iborat. Havo asta-sekin chiqarilib bosim kamaytirib boriladi va bosim sistolik bosimga teng boʻlsa, qon qattiq siqilgan arteriya orqali otilib chiqish imkoniyatiga ega boʻladi, bunda turbulent oqim yuzaga keladi. Hakam bosimni oʻlchashda fonendoskopni arteriya ustiga qoʻyib, turbulent oqimga taalluqli boʻlgan shovqinlarni eshitadi. Manjetdagi bosimni kamaytira borib laminar oqimni tiklash mumkin, buni eshitib koʻrilayotgan tonlarning birdaniga pasayib ketishidan bilish mumkin (3.7-rasm). Arteriyada laminar oqimning tiklanishiga mos keluvchi manjetdagi bosim diastolik bosim kabi qayd qilinadi. Sogʻlom kishi organizmi uchun normal sistolik bosim 120 mm sim.ust, diastolik bosim esa 80 mm sim.ust.ga tengdir. Qon yurakka qaytish davomida bosim kamayib boradi. Katta arteriyada 90 mm sim.ust.boʻlsa, kichik arteriyalarda 25 mm.sim.ust venada esa hatto 10 mm sim.ust.gacha kamayadi. Ammo, yurak urishi bilan bogʻliq boʻlgan bosim 120–80 mm



3.7-rasm. Qon bosimining tomirlar bo'yicha taqsimoti.

sim.ust.chegarasida o'zgarib turadi. Qon bosimining o'zgarishi esa organizm faoliyatining o'zgarishi bilan bog'liqdir. Bundan esa tashxis maqsadlarida keng foydalaniladi.

3.4-§. Qonning fizik xossalari

Hayvonlar organizmida qon muhim fiziologik funksiyani bajaradi. O'pkada qon kislorod bilan boyitiladi, so'ng to'qima va a'zolarga uzatiladi. Hazm qilish a'zolarida u oziq-ovqatlardan erigan tarkibiy qismlarni oladi. To'qimalardan qonga bir qancha mahsulot o'tadi va ular ajratuvchi a'zolarga 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 (eritrotsit, leykotsit, trombotsit va boshqalar)dan iborat. Qonning zichligi $(1,042 - 1,056) \cdot 10^3 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$, eritrotsitlar zichligi $1,09 \cdot 10^3$, plazmaniki $(1,025 - 1,034) \cdot 10^3 \text{kg/m}^3$. 3.2-jadvalda ba'zi hayvonlar qonining xarakteristikasi keltirilgin.

№	Hayvon turi	Zichligi, kg/m ³	Qon massasi, ml/kg	Gema- tokrit, %	1mkl.dagi eritrotsitlar soni, mln	SOE normada, 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(товуq)	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 zarraga markazdan qochma kuch ta'sir qiladi. U holda probirkada joylashgan qondagi eritrotsitlar 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'rindiki, 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 η_k orasidagi farq gematokrit kattalik bilan aniqlanadi va empirik formula orqali ifodalanishi

mumkin. Masalan, Xatchek tenglamasi orqali $\eta_k = \frac{\eta_n}{1 - \sqrt{f}}$. Bundan tashqari, qonning yopishqoqlik koeffitsiyenti, uning tezligiga ham bog'liq bo'ladi. Ya'ni, katta tomirlarda, kapillardagiga qaraganda tezligi katta va yopishqoqlik koeffitsiyenti kichikdir.

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

Eritrotsitdan ajratilgan qonda 3 ml kislorod erishi mumkin, to'liq qonda esa bu 200 ml ga tengdir. Sutemizuvchilar uchun eritrotsitlar ikki tomonlama botiq diskka o'xshaydi va u qalinligi 7,5 nm 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. Sutmizuvchilar eritrotsitlari diametri 5 mkm atrofida, lekin ularning soni juda ko'p bo'lganligi uchun uning umumiy yuzi hayvon tanasi yuzidan ancha katta bo'ladi. Umuman olganda, eritrotsitlar o'lchami va shaklini aniqlash qiyin, chunki uning shakli kapillarda 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. Eritrotsitning o'lchami 5–8 mkm bo'lishiga qaramasdan diametri 3 mkm li kapillarlarga kirishi mumkin. Natijada eritrotsit sirti va tomir yuziga tekkan qismi yuzasi oshadi natijada gaz almashish ko'payadi. Eritrotsitlar miqdorining qonda kamayishi anemiya kasalligiga olib keladi, chunki kislorod bilan ta'minlash susayadi.

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

$$\eta = \frac{2}{9} \cdot \frac{\rho - \rho_s}{\vartheta} g \cdot R^2. \quad (3.11)$$

Bunda ρ – eritrotsitlar zichligi; ρ_s – suyuqlik zichligi; ϑ – eritrotsitlar tushish tezligi; g – erkin tushish tezlanishi; R – eritrotsit radiusi.

Bu formula bo'yicha topilgan qiymatlar 3.2-jadvaldagi natijalardan kichik qiymatlarni beradi, bunga sabab eritrotsitlar 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.

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

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

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 usulining mohiyati nimadan iborat?*
10. *Hujayra membranasi mexanikasini tushuntiring.*
11. *Qonning fizik xossalari nimalardan iborat?*

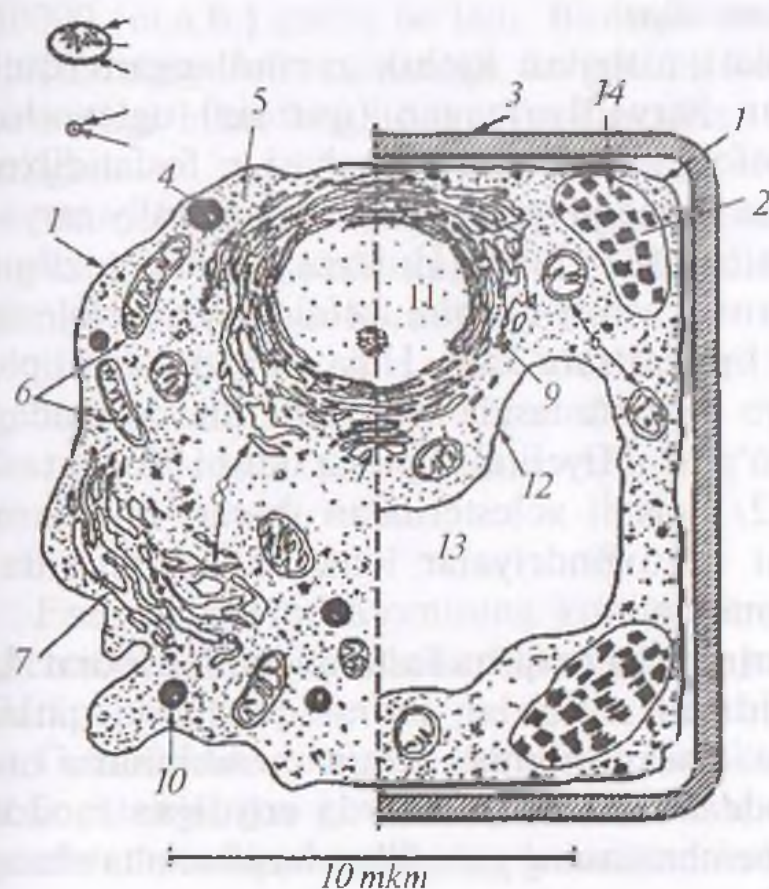
IV BOB MEMBRANALAR BIOFIZIKASI

4.1-§. Biologik membranalarining tuzilishi

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

Oxirgi yillarda biologik membranalarni o'rganish natijasida erishilgan muvaffaqiyatlar biologiya, tibbiyot va veterinariya soha-laridagi yutuqlarga olib keldi.

Biomembranalarning tuzilishi va dinamik xarakteristikalarini o'rganishga kirishishdan oldin hujayra morfologiyasi va uning alohida komponentlariga to'xtab o'tamiz. 4.1-rasmda hujayraning tuzilishi ko'rsatilgan.



4.1-rasm. Elektron
mikroskopda olingan
hujayraning 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 — silliq endoplaz-
matik to'r;
- 9 — Golji kompleks;
- 10 — lizosoma;
- 11 — yadro;
- 12 — monoplast;
- 13 — vakuola;
- 14 — xloroplast.

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

Hujayra ichidagi membranalarning umumiy massasi quruq membrana massasining $2/3$ qismini tashkil etadi. Membranalarning yuzi ancha kattadir.

Masalan, kalamush jigarining massasi 6 g bo'lgan holda, undagi hujayra ichidagi membranalarning umumiy yuzasi ming kvadrat metrlarga borib yetadi. Membranalar yuzasi qancha katta bo'lsa, hujayra metabolizmi intensivligi shuncha yuqori bo'ladi.

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

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. Fosfolipidlar 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 membranasida xolesterin mikrosomadagiga nisbatan uch marta ko'pdir. Miyelinda lipidlar ulushi 70%ni tashkil etadi, bunda uning $2/3$ qismi xolesterindan iborat. Lipidlarning eng past foiz ulushi mitoxondriyalar ichki membranasida va bakteriyalar membranasidadir.

Membrana lipidlarining 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 esa membrananing gidrofob sohasidan o'ta olmaydi.

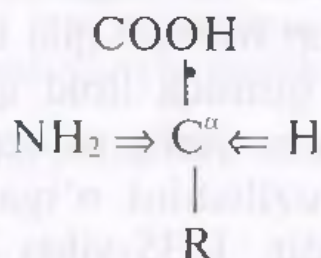
Ular hujayra ichida oqsil tabiatiga ega bo'lgan maxsus o'tkazuvchanlik kanallari orqali kirishadi.

Gidrofob (yunoncha *hydor* — suv, *phobos* — qo'rquv), gidrofil (*phileo* — yaxshi ko'raman) tushunchalari moddaning suvga bog'lanishini xarakterlaydi. Gidrofob moddalar suv bilan yomon bog'lansa, gidrofil moddalar kuchliroq bog'lanadi, moddalarning molekulalari suv molekulalari bilan molekulararo kuchlar yordamida bog'lana olish qobiliyatiga ko'ra gidrofil yoki gidrofob turlarga 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 membranalarining sirti gidrofil, chunki shu yerda zaryadli aminokislotalar va lipidlar guruhleri joylashgan. Biroq biomembranalar ichki sohasi gidrofob bo'lgani uchun, membranalar orqali gidrofil moddalar o'tishi membranada oqsil tabiatli kanallar mavjudligi bilan aniqlanadi.

Membranalardagi oqsillarning molekular 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 turli qoldiq bilan bog'langan: karboksil guruhi-COOH bilan, NH₂-aminoguruhi bilan, H-proton va R-radikal bilan.



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

Gidrofoblik darajasi, gidrofob aminokislotalar goldiqlari soni va joylashishiga qarab oqsillar yoki qisman, yoki butunlay membranalar lipid qatlamiga botirilgan holda bo'ladi. 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.

4.1-jadvalda sutemizuvchilarning turli hujayra membranalari tarkibi keltirilgan.

4.1-jadval

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

Membranalar tarkibining muhim komponenti suvdur. Membranalar tarkibidagi suv bog'langan, erkin va ushlab olingan turlarga bo'linadi. Bog'langan suvning asosiy qismi gidrat qatlamlar suvidir. Gidrat qatlamlar lipid molekulalari va oqsillarning qutbli qismlari atrofida hosil bo'ladi.

Asosiy lipidlar gidrat qatlamlari, odatda, 10–12 ta suv molekulasidan iborat. Bu suv osmotik jihatdan aktivmas va u moddalarning erituvchanlik qobiliyatiga ega emas.

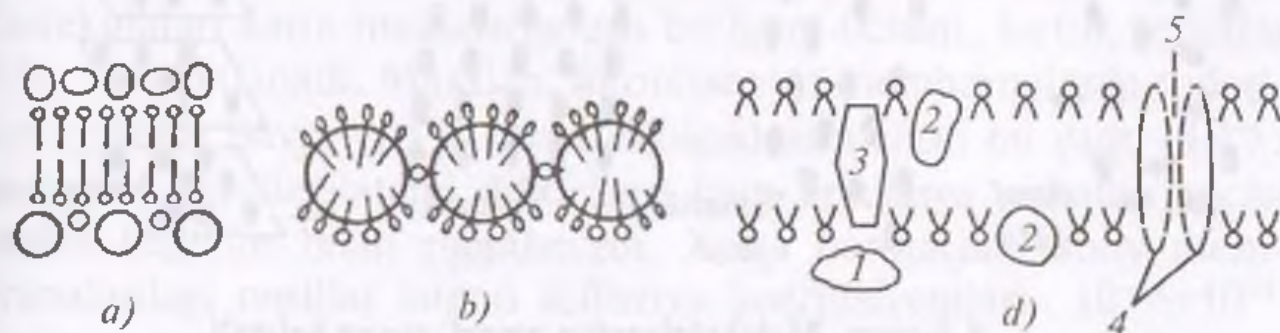
Erkin suv membranalar tarkibiga mustaqil faza holida kiradi va suyuq suv kabi izotrop harakat qila oladi. Ushlab olingan suv membranalar markaziy qismida lipid qo'shaloq qatlami orasida topiladi, harakatchanligi bo'yicha suyuq erkin suvga o'xshaydi.

Membranalarning tuzilishini o'rganish ularning ishlashini tushunish uchun kerakdir. 1935-yilda F.Danielli va G.Davson biologik membranalar tuzilishi haqida birinchi modelni taklif etishdi. Ushbu modelda (4.2-a rasm) membrana qo'shaloq lipid qatlamidan va ularni ikki tomondan qoplagan globular 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-*b* rasm). Bu holda uzluksiz lipid qo'shaloq qatlamining 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 turibdi.

Takrorlanuvchi komplekslar farazi ham tajribada tasdiqlanmadi. Shuning uchun membranalar tuzilishining uchinchi modeli taklif etildi. Bu modelda membrana qo'shaloq qatlamlardan 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). Suyuq mozaika modelida biomembranalar strukturaviy birligi bo'lib fosfolipid qo'shaloq qatlami hisoblanadi, ularda fosfolipid molekulalari uglevodorod zanjirlari suyuq holatdadir. Moy qovushqoqligiga ega bo'lgan bu qo'shaloq qatlarga oqsil molekulalari botib turibdi, ular membrana bo'ylab harakat qila oladi (4.2-*d* rasm).



4.2-rasm. Biologik membranalar turli modellari:

- a) – buterbrod (yagona membrana) modeli; b) – takrorlanuvchi bloklar modeli; d) – suyuq mozaika modeli. 1 – membrana sirtidagi oqsil; 2 – yarim botirilgan oqsil; 3 – to'la botirilgan oqsil; 4 – ionli kanal 5 ni hosil qiluvchi oqsillar.

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 molekularlar 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.

Modda suyuq holatda bo'lib, molekularining tartibli joylashishining fizik holatiga suyuq kristall holati deyiladi.

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



4.3-rasm. Molekulalarning amorf suyuq kristall holatda joylashishi.

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 oladi. Turli tabiiy membranalaridagi fosfolipid, sterik va yog'li kislotalar molekularining aylanish davri $\sim 6 \cdot 10^{-9}$ s ga teng.

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'chish 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:

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

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

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

Lipidlar flip-flop o'tishi tezligi nisbatan kichik tezliklar bilan ro'y beradi. Masalan, eritrotsit membranalarida zondlar bilan nishonlangan lipidlar sonining yarmi bir qatlamdan, ikkinchi qatlarga o'tish vaqti 20–30 minutga teng bo'lgan. Membranalardagi oqsil molekullari katta massalarga ega bo'lgani uchun, kichik tezliklar bilan harakatlanadi. Masalan, fotoretseptor membranalarda rodopsin aylanish davri $\sim 10^{-6}$, sitoxromoksidaza uchun bu vaqt $\sim 10^{-4}$ s ga teng. Oqsillar lateral diffuziyasi ham lipidlarga nisbatan ancha kichik tezliklar bilan ro'y beradi. Xona haroratida tabiiy membranalardagi oqsillar lateral diffuziya koeffitsiyentlari 10^{-10} – $10^{-12} \text{sm}^2/\text{s}$ ga teng. Fiziologik sharoitlarda membranalar qovushqoqligini Stoks — Eynshteyn tenglamasi yordamida baholash mumkin:

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

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

D — lateral diffuziya koeffitsiyenti; r — diffuziyalanayotgan molekula radiusi. Biroq membranalar bir jinsli bo'lmaganligi uchun bu yopishqoqlik qiymati lipidlar yoki oqsillar harakatlanish tezligini aniqlashda foydalaniladigan usullarga kuchli bog'liqdir. 4.2-jadvalda tabiiy membranalar, sun'iy membranalarining lipid qatlami uglevodod sohalari va ayrim sodda muhitlar qovushqoqligi qiymatlari keltirilgan.

Materiallar	Yopishqoqlik,	Harorat, °C	O'lchash usuli
Odam eritrotsitlari	2,5	37	Fluorescent zond
<i>E.coli</i> membranalar	2,5	30	EPR – Spin zondi qutblanish
Tuxum letsitini	0,73	37	—
Zaytun moyi	0,84	30	—
Glitserin	8,3	30	—
Suv	0,0106	30	—

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

Hujayra membranasining mexanik xususiyatlarini o'rganishning turli usullari membrana elastiklik moduli qiymati 10^5 – 10^6 N/m² chegaralarda ekanligini ko'rsatadi. Membranalar mexanik xossalari haqida keltirilgan ma'lumotlar membrana lipid qatlamining yetarlicha 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 yetarli. Shunday qilib, tirik hujayra osmotik boshqaruv buzilishlarini faqat o'zining shaklini o'zgartirishi orqali kompensatsiyalashi mumkin.

Sinov savollari

1. Suyuq mozaika modelining asosiy mohiyati nimadan iborat?
2. Biologik membranalar tuzilishi qanday?
3. Hujayra membranasining mexanikasining asosiy parametrlari?
4. Biologik membranalar lipid fazasi holati haqida nima bilasiz?
5. Membranalarda faza o'tishlari qanday ro'y beradi?
6. Lipidlarning eritrotsit membranasida lateral diffuziya tufayli ko'chishi nimalarga bog'liq?
7. Membrana lipidlarining qanday turlari mavjud?

V BOB

BIOLOGIK TIZIMLARDA KO'CHISH HODISALARI

5.1-§. Ko'chish turlari

Ko'chish tenglamasi alohida fizik hodisalarga qo'llaniladi.

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

$$\frac{d\rho}{dx} \neq 0. \quad (5.1)$$

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

$$M = -\frac{1}{3} \vartheta \lambda \cdot \frac{d\rho}{dx} S \cdot \Delta t. \quad (5.2)$$

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

$$M = -D \frac{d\rho}{dx} \cdot S \cdot \Delta t, \quad (5.3)$$

Bunda
$$D = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda. \quad (5.4)$$

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 kg/m^4 bo'lganda 1 m^2 yuzadan 1 s da ko'chib o'tgan massaga teng ekan. D (m^2/s) da

o'lchanadi, $\lambda \sim \frac{1}{\rho}$, $\vartheta \sim \sqrt{\frac{T}{\mu}}$ bo'lgani uchun diffuziya koeffitsiyenti

gazning turi (μ) va uning holatlari (p va T)ga bog'liq bo'ladi.

Issiqlik o'tkazuvchanlik. Ko'chishning asosiy tenglamasi (5.4) dan foydalanib — o'rniga uzatilgan issiqlik miqdori $Q \cdot n_0\xi$

o'rniga hajm birligidagi molekulalarning kinetik energiyasi

$E_k = \frac{i}{2} kTn$ ni qo'yamiz. $n\xi$ — molekulalarning konsentratsiyasi.

U holda

$$Q = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \frac{d}{dx} \left(\frac{1}{2} nkT \right) S \Delta t \quad \text{yoki} \quad Q = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \cdot \frac{i}{2} nK \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t. \quad (5.5)$$

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

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

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

$$Q = -\frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda C_V \rho \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t. \quad (5.6)$$

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

$$Q = -\chi \frac{dT}{dx} \cdot S \Delta t. \quad (5.7)$$

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

tenglamasida $S = 1 \text{ m}^2$, $\Delta t = 1 \text{ s}$; $\frac{dT}{dx} = 1 \frac{\text{grad}}{\text{m}}$ desak, $Q = \chi$, ya'ni issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti son jihatidan harorat gradiyenti 1 grad/m bo'lganda 1 m² yuzadan 1 s da ko'chib o'tgan issiqlik midoriga tengdir. χ J/m.sek. grad. larda o'lchanadi.

Ichki ishqalanish. Ko'chish formulasi (5.2) da $n\xi = F \Delta t$ va $n_0 \xi = \rho u$ hajm birligidagi molekulalarning harakati tufayli paydo bo'lgan impuls. U holda ko'chish tenglamasi

$$F \cdot \Delta t = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \frac{d(\rho v)}{dx} S \cdot dt \quad \text{yoki} \quad F = \frac{1}{3} \vartheta \lambda \rho \frac{du}{dx} \cdot S. \quad (5.8)$$

Ichki ishqalanish kuchi Nyuton formulasiga binoan aniqlanadi, ya'ni

$$F = -\eta \frac{du}{dx} \cdot S. \quad (5.9)$$

(5.12) va (5.13) ni taqqoslasak,

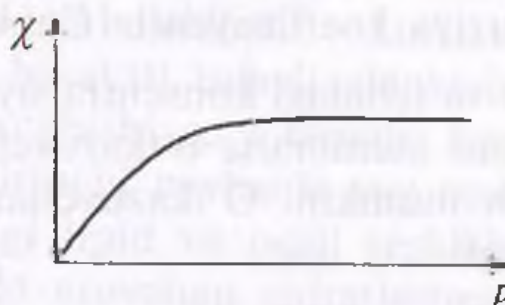
$$\eta = \frac{1}{3} \vartheta \cdot \lambda \cdot \rho. \quad (5.10)$$

Bunda η — yopishqoqlik koeffitsiyenti. (5.9)da $S=1\text{ m}^2$, $\frac{du}{dx} = 1\text{ s}^{-1}$ deb olsak, $F=\eta$ bo'ladi, ya'ni yopishqoqlik koeffitsiyenti son jihatidan tezlik gradiyenti 1 s^{-1} bo'lganda parallel harakatlanuvchi qatlamlarning 1 m^2 urinish yuzasiga ta'sir qiluvchi ichki ishqalanish kuchiga tengdir. η (kg/ms) larda o'lchanadi. $\eta d\chi$ orasida quyidagicha bog'lanish bor:

$$\frac{\eta}{d} = \rho, \quad \frac{\chi}{\eta} = C_v. \quad (5.11)$$

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

Bosimning keyingi kamayishida λ o'zgarmaydi, gaz zichligi kamayadi. Kichik bosimlardagi gazning issiqlik o'tkazuvchanligining 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 suyuqlikning harorati uzoq vaqt o'zgarmaydi (5.1-rasm).



5.1-rasm. Issiqlik o'tkazuvchanlik koeffitsiyentining (χ) bosimga (p) bog'liqlik grafigi.

5.2-§. 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 (5.2-rasm).

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

Passiv ko'chish deb moddaning konsentratsiyasi 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 potentsial gradiyentiga qarshi ko'chadi, bunda energiya sarf bo'ladi.

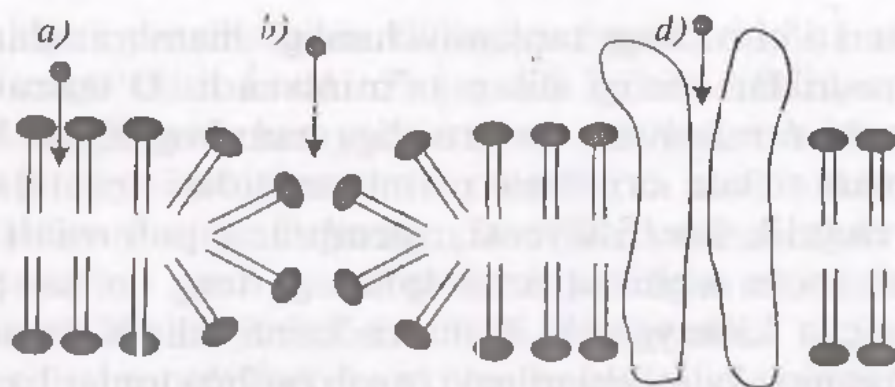
Erkin diffuziya deb molekulalarning xaotik issiqlik harakati tufayli moddaning konsentratsiyasi katta bo'lgan sohadan konsentratsiyasi kichik bo'lgan sohalarga o'z-o'zidan ko'chishga aytiladi. Biologik membranalar orqali erkin diffuziya amalga oshishining bir necha turi mavjud: lipid biqatlamli orqali,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

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

$$I = -D \text{grad} C = -D \frac{C_0 - C_i}{\ell} \quad (5.12)$$

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

$$P = \frac{DK}{\ell} \quad (5.13)$$



5.2-rasm. Membrana orqali erkin diffuziyaning asosiy turlari:
 a) lipid biqatlamli orqali; b) lipid qatlamidagi teshiklar orqali;
 d) oqsildagi teshiklar orqali.

Bunda K — modda konsentratsiyasining membrana tashqarisida va ichidagi nisbatini ko'rsatuvchi taqsimlanish koeffitsiyenti deb ataladi.

O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti orqali Fik qonuni quyidagicha ifodalanadi:

$$\tau = P(C_0 - C_i). \quad (5.14)$$

O'tkazuvchanlik koeffitsiyenti diffuziya koeffitsiyentiga (D), modda membranada naqadar yaxshi erishi (K) ga to'g'ri proporsional, membrana qalinligi (ℓ) 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 qatlamli 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 eritrotsit 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).

5.1-jadval

Kalmar aksonidagi kaliy nayidan bir valentli ionlar
o'tkazuvchanligining nisbati

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

Natriy va litiy ionlari eritmada gidratlashgan qatlam bilan o'ralgani uchun ularning radiusi kristallashgan holdagi radiusdan katta bo'ladi. Shuning uchun ularning kaliy nayidan o'tishi qiyinlashadi.

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

$$D = \frac{kT}{6\pi\eta r} \quad (5.15)$$

Bunda k — Bolsman doimiysi; T — absolut harorat; η — eritma qovushqoqligi; r — sferasimon zarralar radiusi. (5.15) tenglamaga asosan diametri 2 nm atrofida bo'lgan zarralarning 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 diffuziya-

dan tashqari yengillashgan diffuziya orqali o'tishi mumkinligini ham hisobga olish kerak. Hujayrada erkin diffuziyani tezlatish uchun ko'chish ro'y berayotgan sirtini oshiradi: masalan, ingichka ichak epiteliysi sitoplazmatik membrana sirtida ko'p sondagi burmalardan iborat. Organizmda diffuziyalanayotgan moddalar konsentratsiyasi 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 – izomerlari). 2) Yengillashgan diffuziya holida ko'chirilayotgan modda konsentratsiyasi oshishi bilan ko'chish tezligi o'zining maksimal qiymati $\vartheta_{\max}$ ga erishadi (to'yinish). A moddaning C tashuvchi vositasida membrana orqali ko'chishi quyidagi tenglama yordamida aniqlanadi:

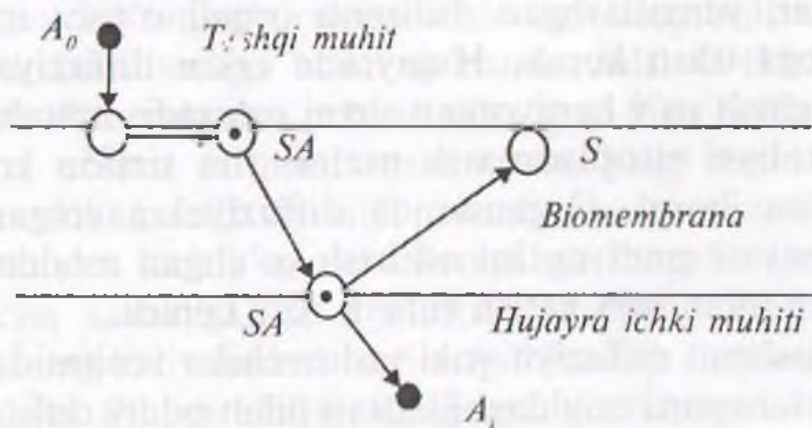
$$A_0 + C \rightarrow CA \rightarrow A_i + C. \quad (5.16)$$

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

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

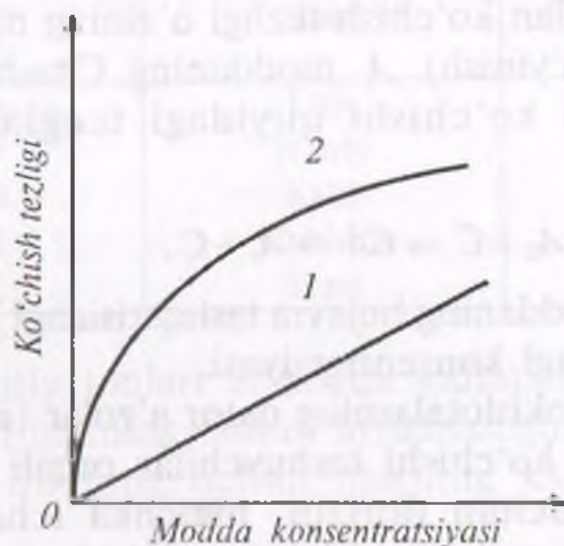
5.3-rasmda tashuvchi vositasida bo'ladigan yengillashgan diffuziya mexanizmi, 5.4-rasmda esa oddiy va yengillashgan diffuziya tezliklarining konsentratsiyaga bog'liqlik grafiklari ko'rsatilgan.

Membranada potentsiallar ayirmasi mavjud bo'lishi VI bobda ko'rib o'tiladi. U zaryadlangan zarralar: 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 guruhlar hamda kationlar bilan membrana sirtida



5.3-rasm. Tashuvchi vositasidagi boshlang'ich yengillashgan diffuziya:

A_0 – hujayra tashqarisida modda;
 A_i – hujayra ichkarisida modda;
 S – tashuvchi. SA – tashuvchi va modda birikmasi.



5.4-rasm. Moddaning ko'chish tezligining konsentratsiyaga bog'liqligi.

1 – oddiy; 2 – yengillashgan diffuziya.

joylashgan aminokislotalarning musbat zaryadlangan guruhlar orasidagi itarishish kuchlari mavjudligi uchun kamdir.

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 potensialining farqi mavjudligi talab

etiladi. Eritilgan moddaning kimyoviy potentsiali quyidagicha aniqlanadi:

$$\mu = \mu_0 + RT \ln c. \quad (5.17)$$

Bunda μ_0 — erituvchi tabiatiga bog'liq bo'lgan standart kimyoviy potentsial; c — modda konsentratsiyasi.

Konsentratsiyalarning katta qiymatlarida (5.13) s dagi modda aktivligi bilan almashtiriladi. Modda aktivligi konsentratsiyaning aktivlik koeffitsiyentiga ko'paytmasiga teng. Harakati konsentratsiyadan tashqari elektr potentsialiga ham bog'liq ionlar uchun kimyoviy potentsial o'rniga elektrokimyoviy potentsial ishlatiladi. i tipdagi ion uchun aktivlik konsentratsiyasiga teng bo'lgan holda elektrokimyoviy potentsial quyidagiga teng:

$$\bar{\mu} = \mu_0 + RT \ln c + ZF \cdot \varphi. \quad (5.18)$$

Bunda μ_0 — standart kimyoviy potentsial; Z — ion valentligi; φ — elektr potentsiali; T — absolut harorat (K); R — universal gaz

doimiysi $\left(R = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \right)$; F — Faradey soni $\left(8,65 \cdot 10^4 \frac{kl}{mol} \right)$.

Elektrokimyoviy potentsial 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 $(\mu_0 + RT \ln c)$ 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:

$$RT \ln c_1 + ZF \varphi_1 = RT \ln c_2 + ZF \cdot \varphi_2.$$

Bundan

$$\Delta \varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{RT}{Z \cdot F} \ln \frac{c_1}{c_2}. \quad (5.19)$$

(5.19) tenglama Nernst tenglamasi deb ataladi va elektrokimyoviy muvozanatda membrana bilan ajratilgan ikki sohadagi ionlar konsentratsiyasi 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:

$$X_i = -\text{grad} \bar{\mu}. \quad (5.20)$$

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

$$X_i = -\left(RT \frac{d \ln c}{dx} + ZF \frac{d\varphi}{dx} \right). \quad (5.21)$$

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

$$J = -UC \left(RT \frac{d \ln c}{dx} + ZF \frac{d\varphi}{dx} \right). \quad (5.22)$$

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 yechish uchun qo'shimcha shartlar kiritishadi, masalan, gradiyentlardan birining

membranada doimiyligi haqidagi faraz ($\frac{dc}{dx} = \text{const}$ yoki

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

Doimiy maydon farazida membrananing butun qalinligida

elektr maydon kuchlanganligi doimiy deb olinadi ($\frac{d\varphi}{dx} = \text{const}$).

Bu shart ingichka membranalarda, ya'ni ionlarning lipid biqatlami va hujayralar membranasini orqali diffuziyasida bajariladi. Bu holda (5.26) tenglamaning yechimi

$$J = \frac{ZF\varphi P}{RT} \cdot \frac{c_0 - c_i \exp[ZF\varphi/(RT)]}{1 - \exp[ZF\varphi/(RT)]}. \quad (5.23)$$

Bunda $P=4RT\gamma/h$ kattalik o'tkazuvchanlik koeffitsiyenti deb ataladi va m/s o'lchamiga ega, h — membrana qalinligi. (5.23) tenglama Goldman tenglamasi deb ataladi va ion konsentratsiyasining membrana ikki tomonidagi qiymati, membranadagi 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, (5.23) 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 (5.23) dagi membrana potentsiali uchun quyidagi tenglamaga ega bo'lamiz:

$$\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_0 + P_{Na}[Na^+]_0 + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_0}. \quad (5.24)$$

Bunda φ — membranadagi potentsiallar farqi; P_i — ionlar o'tkazuvchanligi, 0 va i indekslar ionlarning tashqi (0) va ichki muhitdagi konsentratsiyasi. (5.24) tenglama Goldman — Xojkin — Kats tenglamasi deb ataladi.

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

(5.25) 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:

$$j_i = \frac{ZF\varphi \cdot P}{RT} \cdot \frac{c_0}{1 - \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)}. \quad (5.25)$$

$$j_0 = \frac{ZF\varphi P}{RT} \cdot \frac{c_i \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)}{1 - \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)} \quad (5.26)$$

Demak, ikkala oqim membrana potentsiali φ , elektr zaryadi, ionlar konsentratsiyasi va ionlar o'tkazuvchanlik koeffitsiyentiga proporsional. Kiruvchi oqim j_i membrana tashqarisidagi ionlar konsentratsiyasiga chiziqli bog'liq bo'lib, ichki muhitdagi konsentratsiyaga bog'liq emas. O'z navbatida chiquvchi oqim ichki muhitdagi konsentratsiyaga bog'liq. (5.25) va (5.26) tenglamalarni bir-biriga bo'lsak, Ussing munosabati kelib chiqadi:

$$\frac{j_i}{j_0} = \frac{c_0}{c_i \exp\left(\frac{ZF\varphi}{RT}\right)} \quad (5.27)$$

Ussing tenglamasining bajarilishi ionlar oqimi faqat konsentratsiyalar gradiyenti va elektr maydoni ta'sirida ro'y beradigan passiv ko'chishning belgisidir. (5.27) 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 $^{40}K^+$ ionlari membrananing bir tomonidagi eritmaga kiritiladi va membrananing ikkinchi tomoniga bu izotopning o'tish tezligi o'lchanadi.

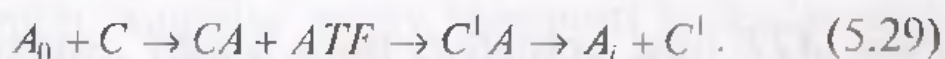
Aktiv transportda erigan moddalarning molekulari elektro-kimyoviy potentsialga qarshi ko'chadi, ya'ni molekular konsentratsiyasi kichik bo'lgan sohadan katta bo'lgan sohaga, ionlar esa elektr maydoni kuchlanganligiga qarama-qarshi yo'nalishda ko'chiriladi.

Bunday ko'chirilish energiya hisobiga amalga oshiriladi. Aktiv transportning passiv ko'chishidan muhim farqlari passiv transport tenglamalarini o'zgartirishni taqozo etadi. Aktiv transportning ichkariga J_i va j_0 tashqariga oqimlari orasidagi munosabatni topish uchun (5.27) tenglamani logarifmlaymiz:

$$\ln \frac{j_i}{j_0} = \ln \frac{c_0}{c_i} + \frac{ZF\varphi}{RT}. \quad (5.28)$$

Aktiv transportda moddaning membrana ikki tomonidagi konsentratsiyalari 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, $31,7 \text{ ml} \cdot \text{sm}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ 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:



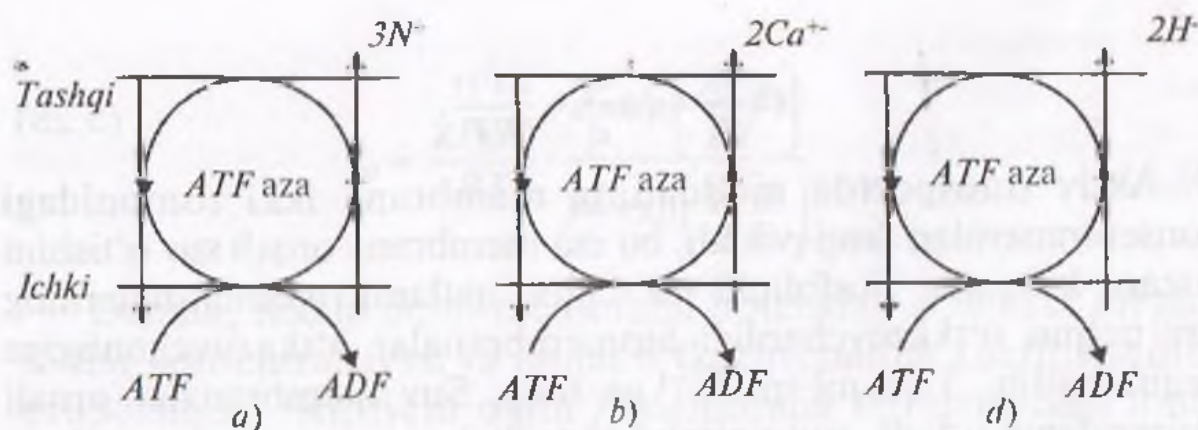
Bunda, A_0 — moddaning hujayra tashqarisidagi konsentratsiyasi; A_i — hujayra ichidagi konsentratsiyasi. Aktiv transportda A moddaning membrana ichki tomonidagi konsentratsiyasi tashqi tomonidagi konsentratsiyasidan ko'p bo'lishi mumkin. Bu holda CA kompleks ATF energiyasidan foydalanib, $C^I A$ kompleksiga aylanadi, bu kompleks hujayra ichida A moddani ajratadi.

Hozirgi paytda biologik membranalarda ATF gidrolizining energiyasi hisobiga ishlaydigan ionlarning membrana orqali aktiv ko'chishini amalga oshiradigan 3 ta ion nasosi ma'lum (5.5-rasm).

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

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

Ionli nasoslar ishining molekular mexanizmi to'raligicha o'rganilgan emas. Shunday bo'lishiga qaramay ularning asosiy bosqichlari haqida xulosa qilsa bo'ladi. $K^+ - Na^+ - ATF$ aza ATF gidrolizi bilan bog'liq quyidagi bosqichlar mavjud: 1) E-ferment



5.5-rasm. Ionli nasos turlari:

a) S – sitoplazmatik membranalarida

$K^+ - Na^+$ d) – ATF aza ($K-Na$ nasosi); b) $Ca^{2+} - ATF$ aza ($Ca^{2+} -$ nasosi);

d) – mitoxondriyalarning membranalaridagi $H^+ - ATF$ aza

($H^+ -$ nasos yoki proton pompasi).

bilan ATF ning kompleks hosil qilishi (ushbu reaksiya magniy ionlari bilan faollashtiriladi); 2) kompleks uchta natriy ionlari bilan bogʻlanadi; 3) ATF molekulalarining gidrolizi paytida ATF molekulalari va anorganik fosfat bilan bir qatorda energiya ajraladi; 4) fermentning membrana ichida flip-flop aylanishi; 5) membrana tashqi qavatida roʻy beradigan natriyning kaliyga ion almashish reaksiyasi; 6) ferment kompleksining qayta aylanishi tufayli kaliy ionlari hujayra ichiga oʻtkaziladi; 7) fermentning kaliy ionlarini va anorganik fosfatini ozod etishi bilan boshlangʻich holatga kelishi.

1 mol moddani kichik c_1 konsentratsiyali sohadan katta konsentratsiyali sohaga koʻchirib oʻtishda bajariladigan ish kimyoviy potentsialning oʻzgarishidan topilishi mumkin (5.17 tenglama):

$$A = \Delta\mu = RT \ln \frac{c_2}{c_1}. \quad (5.30)$$

Agar K^+ ionlarining hujayra ichidagi konsentratsiyasi, hujayra tashqarisidagiga nisbatan 50 marta ortiq boʻlsa, (5.34) ga muvofiq $37^\circ C$ temperaturada bajarilgan ish quyidagiga teng:

$$A = 8,31 \frac{J}{mol \cdot K} \cdot 310K \cdot \ln 50 = 2576J$$

Yuqorida koʻrib oʻtilgan ionli nasoslardan tashqari boshqa, ATF gidrolizi bilan bogʻliq boʻlmasdan, 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 konsentratsiyalar gradiyenti hosil bo'ladi. Bu gradiyent hisobiga shakar va amino-kislotalarning ular konsentratsiyasi gradiyentiga qarshi aktiv ko'chishi amalga oshiriladi. Bu jarayon ikkilamchi aktiv transport deb ataladi.

Eritrotsitlar membranasida 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.

5.3-§. Biomembranalarda elektronlar ko'chishi va energiya transformatsiyasi

Har qanday organizmning hayot faoliyati energiya yutilishi va chiqarilishi bilan boradi. 5.6-rasmning o'ng tomonida hujayrada turli faollik tiplari: mushak qisqarishi, endo- va ekzositoz, asab uyg'onishining tola bo'yicha uzatilishi, ionlarning aktiv transporti, tana haroratini saqlash, turli moddalar sintezi va boshqalar ko'rsatib o'tilgan. Sanab o'tilgan jarayonlar organizmda energiyaning turli tiplarining: mexanik, elektr, issiqlik, kimyoviy transformatsiyasi ro'y berishi tufayli amalga oshadi. Ayrim organizmlarda yorug'lik energiyasini ishlab chiqarish mumkin bo'lgani uchun, ular luminessensiyalanishi mumkin. Ammo ko'pchilik hollarda energiya *ATF* molekulasida makroergik bog'lanishlar kimyoviy energiyasi ko'rinishida jamlanadi.

ATF ning struktur formulasi 5.7-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 energiya-

sini kamaytiradi. Gidroliz natijasida paydo bo'lgan manfiy zaryadlangan ADF va HPO_4^{2-} itarishishi tufayli yana ATF ni hosil qila olmaydi, ATF gidrolizida chiqadigan nisbatan yuqori potensial energiya ($\sim 33,6 \frac{kJ}{mol}$) bu molekulaning strukturasi hamda uning gidrolizi mahsulotlari xossalari bilan bog'liqdir.

Hujayrada gidrolizi 25 kJ dan 46 kJ/molgacha energiya ajralishi bilan boradigan birikmalar makroergik deb ataladi. ATF dan tashqari ularga trinukleotidlar (GTF , STF , UTF), shuningdek, asetilfosfat, kreatinfosfat, fosfoenolpiruvat kiradi.

ATF gidrolizida ajraladigan energiya issiqlikka aylanadi. Ammo energiyani transformatsiyalash tizimlari mavjud bo'lsa, u energiya-ning boshqa turlariga ham aylantirilishi mumkin. Biomembranalar va mushak to'qimalari mikrostrukturasi energiyani transformatsiyalashning tizimlaridir. Ularning hammasida ATF ni ADF va P_i ga yoki AMF va pirofosfatga gidrolizlaydigan ATF aza fermenti mavjud. Ionlarning aktiv transporti, mushaklar aktomiozini kabi, ushbu fermentga egadir. Shuning uchun ATF qo'shilishi ion transportining boshlanishiga va mushaklar qisqarishiga olib keladi.

Ko'pchilik tirik organizmlar ATF ni ADF va P dan nafas olishda, turli moddalar oksidlanishida 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 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 molekular 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 membranalarining hammasida nafas olish zanjirlarini shakllantiruvchi oqsillar mavjud. Ushbu oqsillarning ketma-ket oksidlanish va qaytarilishida nafas olish zanjirida elektronlar ko'chishi amalga oshadi. Elektronlar transporti membranada protonlar konsentratsiyasining 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 xemosmotik nazariyasiga ko'ra

$$\Delta\mu H^+ = F \cdot \Delta\varphi + 2,3 \cdot RT \Delta pH. \quad (5.31)$$

Bunda $\Delta\varphi$ — elektr potentsiallari farqi; ΔpH vodorod ionlarining membrana ikki tomonidagi konsentratsiyalari farqi; F — Faradey soni; R — universal gaz doimiysi; T — absolut temperatura.

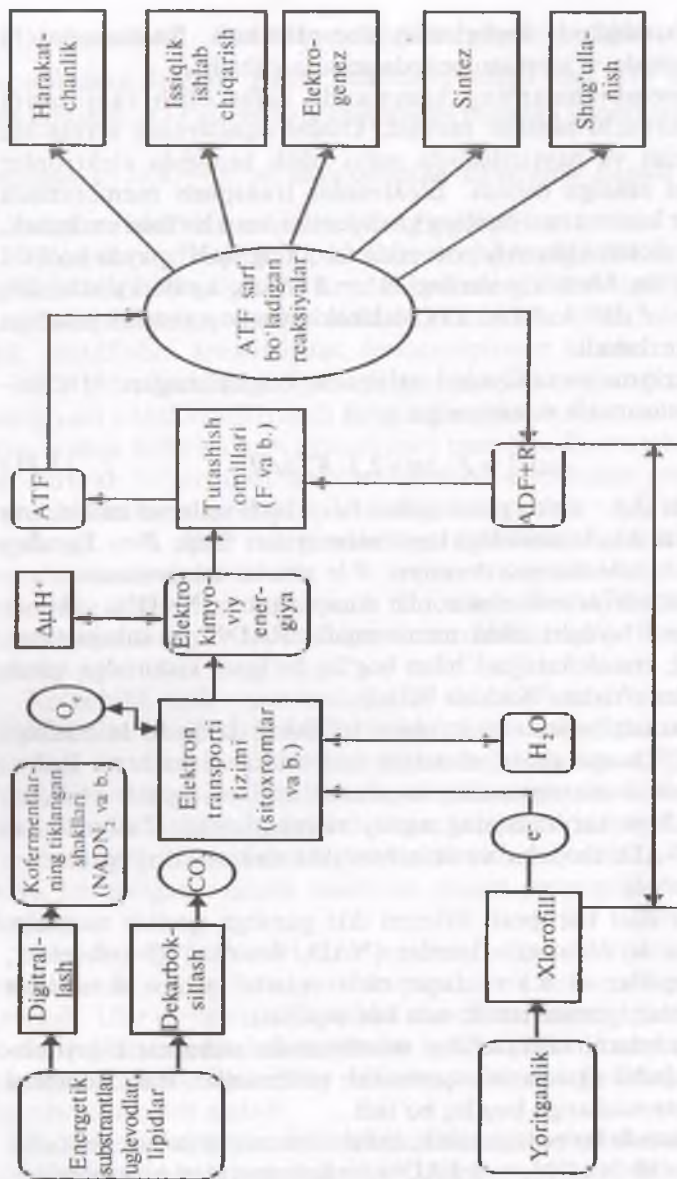
Mitoxondriyalarda elektronlar donorlarining ($NADN$, suksinat va b.) hosil bo'lishi ichki membranada $NADN$ va suksinatdan, protonlar, translokatsiyasi bilan bog'liq bo'lgan, kislorodga qarab elektronlar o'tishini boshlab beradi.

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).

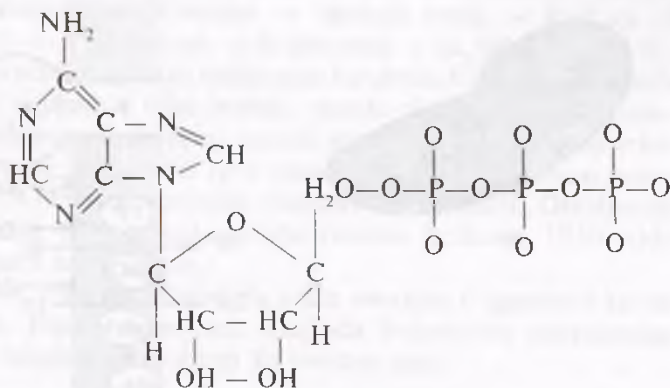
Elektronlarni tashuvchilar membranada asimmetrik joylashganligi sababli oksidlanish-qaytarilish potentsiallari transmembrial va sirt potentsiallariga bog'liq bo'ladi.

5.6-rasmda ko'rsatilganidek, nafas olish zanjiri uchun protonlar donori bo'lib $NADN_2^-$ va $FADN_2$ — kofermentlari xizmat qiladi.



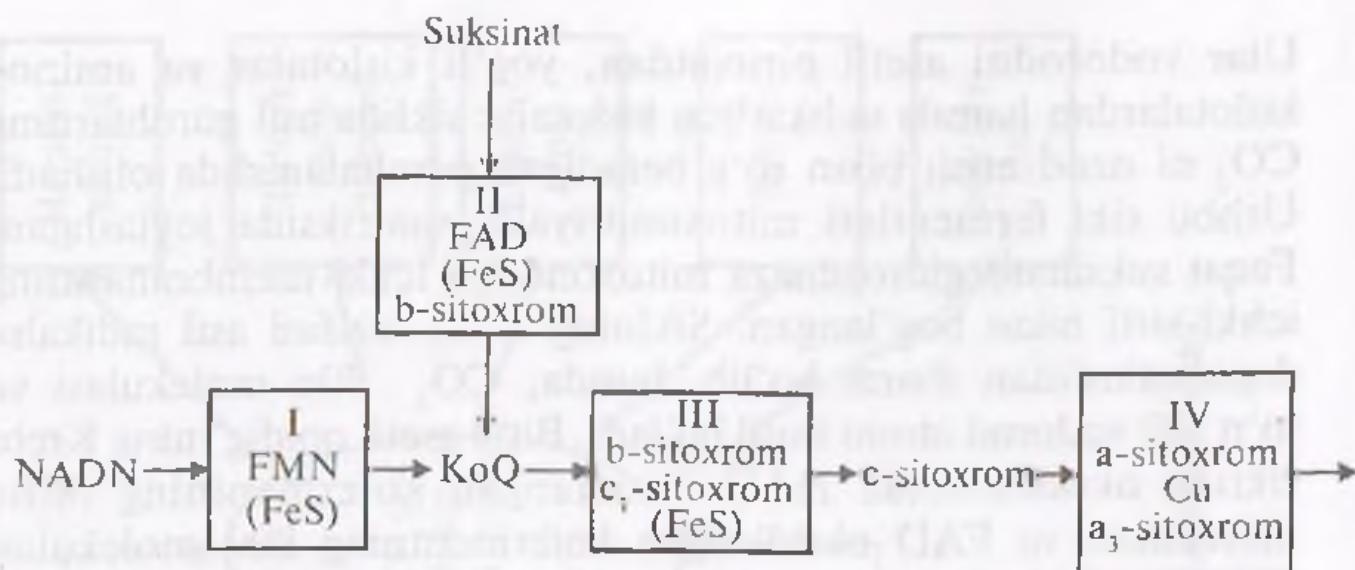
5.6-rasm. Organizmda energiya almashtirishlari va energetik oqimlar (Y. Kagava bo'yicha)
 $\Delta\mu H^+ - H^+$ elektrokimyoviy potentsiali farqi.

Ular vodorodni asetil piruvatdan, yog'li kislotalar va amino-kislotalardan hamda uchkarbon kislotalar siklida asil guruhlarining CO_2 ni ozod etish bilan ro'y beradigan parchalanishda olishadi. Ushbu sikl fermentlari mitoxondriyalar matriksida joylashgan. Faqat suksinatdegidrogenaza mitoxondriya ichki membranasi ichki sirti bilan bog'langan. Siklning bosh vazifasi asil radikalni degidratlashdan iborat bo'lib, bunda, CO_2 ikki molekulasini va to'rt juft vodorod atomi 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 NADN_2 va FADN_2 ni hosil qilishadi (NAD — nikotinamidadenin dinukleotid kofermenti, FAD — flavinadenin dinukleotid kofermenti). Elektron transporti to'liq tizimli to'rtta kompleksdan tashkil topgan (5.7-rasm).



ATFning struktur formulasi.

Elektronlar transporti tizimining tashkil etuvchilaridan biri flavoproteinlar bo'lib, ular vodorodni NADN_2 va suksinatdan olishadi. Vodorod atomi tarkibidagi elektronlarni organik substratdan elektron tashuvchilarga ko'chirishni degidrogenaza amalga oshiradi. NADN_2 -degidrogenaza tarkibiga flavinmononukleotid (FMN), suksinatdegidrogenaza tarkibiga flavinadenin dinukleotid (FAD) kiradi. Ushbu degidrogenazalar ishtirokida



5.7-rasm. Mitoxondriyalar nafas olish tizimini tashkil etuvchi komplekslar:

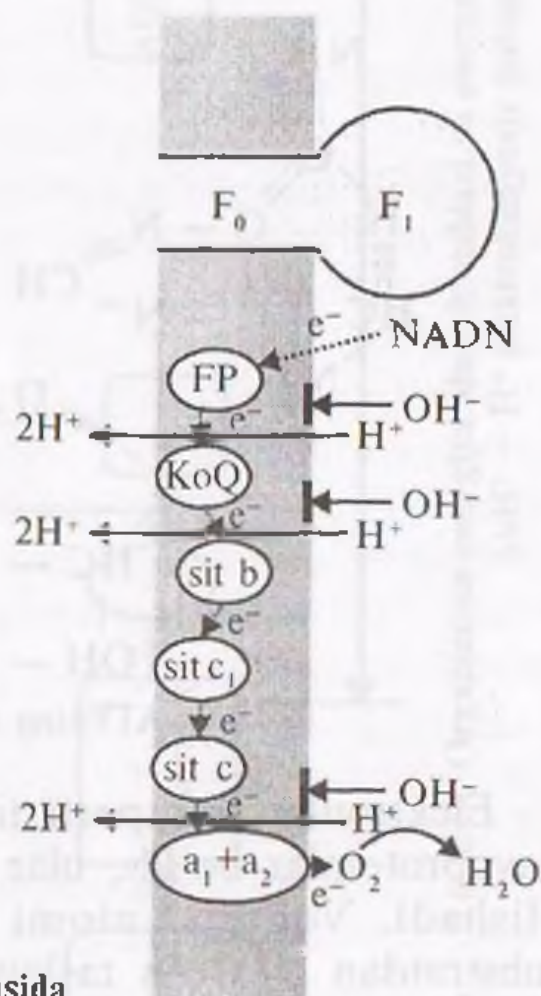
FMN – flavin mononukleotid, FAD – flavin adenin dinukleotid,

K_oQ – Q kofermenti, FeS – gamsiz temir,

Cu – mis, O₂ – kislorod.



a)



b)

5.8-rasm. Mitoxondriyalar ichki membranasida nafas olish tizimining sxemasi:

a) umumiy ko'rinish;

b) mitoxondriyalarda nafas olish tizimi.

o'tadigan oksidlanish-qaytarilish reaksiyasini substratdan FAD yoki FMN ga vodorod ioni jufti hamda ikkita elektron ko'chishi va fermentning tiklangan shakli hosil bo'lishi deb qarash mumkin (5.8-rasm).

Nafas olish zanjirida elektronlarni tashuvchilari bo'lib, sitoxromlar – temir, protoporfirin yoki gem guruhiga ega oqsillar xizmat qiladi. Zanjirda ishlashda ulardagi temir atomi oksidlanish va qaytarilishga uchraydi:

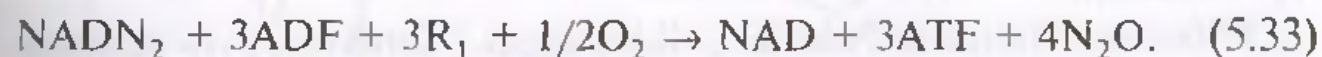


Elektronlar transporti tizimiga gemsiz temir va oltingugurtli oqsillar (rubredoksin, ferredoksin), misli oqsillar (plastosianin, sitoxromoksidaza) kiradi.

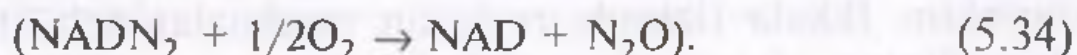
Yuqorida keltirilgan elektronlar transporti tizimini tashkil etuvchilari elektronlarni quyidagi zanjir bo'ylab ko'chirishadi: $NADN_2$ (yoki suksinat) $\rightarrow$ flavinlar $\rightarrow$ gemsiz temir $\rightarrow K_uQ \rightarrow v$ sitoxromi $\rightarrow S_1$ sitoxromi $\rightarrow S$ sitoxromi $\rightarrow aa_3$ 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:



$NADN_2$ ning oksidlanishida



$-218,4 \frac{kJ}{mol}$ 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 dvigatellarining FIK bundan kamroqdir. Yuqorida aytganimizdek, yashil o'simliklarda ATF sintezi yorug'lik energiyasi hisobiga amalga oshadi.

Xloroplastlarda elektronlar transporti zanjiri, yorug'lik yig'uvchi xlorofillardan tashkil topgan pigmentoqsilli komplekslar va tutashish omillari mavjud. Ko'rsatilgan barcha tashkil etuvchilar, xloroplastlar uchun xos lipidlar (DGDG — digalaktozildiasilglitserid; MGDG — monogalaktozildiasilglitserid va b.) dan iborat bo'lgan tilakoid membranaga o'rtnashgan. Xloroplastlardagi elektronlarni tashuvchi oqsillar kompleksi va tutashish omillari mitoxondriyalardagi ushbu komplekslar va omillarga o'xshashdir. Tabiat tomonidan evolutsion jarayon davomida yaratilgan bu kompleks va omillar turli organizmlar energetik ehtiyojlarini qondirish uchun yetarlicha universal bo'lib chiqdi.

Fotosintez tizimiga flavoproteinlar (ferredoksin — NADF — reduktaza), tarkibida gemsiz temir (ferridoksin) bo'lgan oqsillar, v tipdagi sitoxrom (v_6), f tipdagi sitoxrom (S sitoxrom turi), xiononlar (plastoxinon), tarkibida mis bor oqsillar (plastosianin) kiradi.

Nafas olish zanjiridagi kabi, fotosintez paytida elektronlar standart oksidlanish-qaytarilish potentsiallariga mos holda ko'chiriladi (5.9-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.

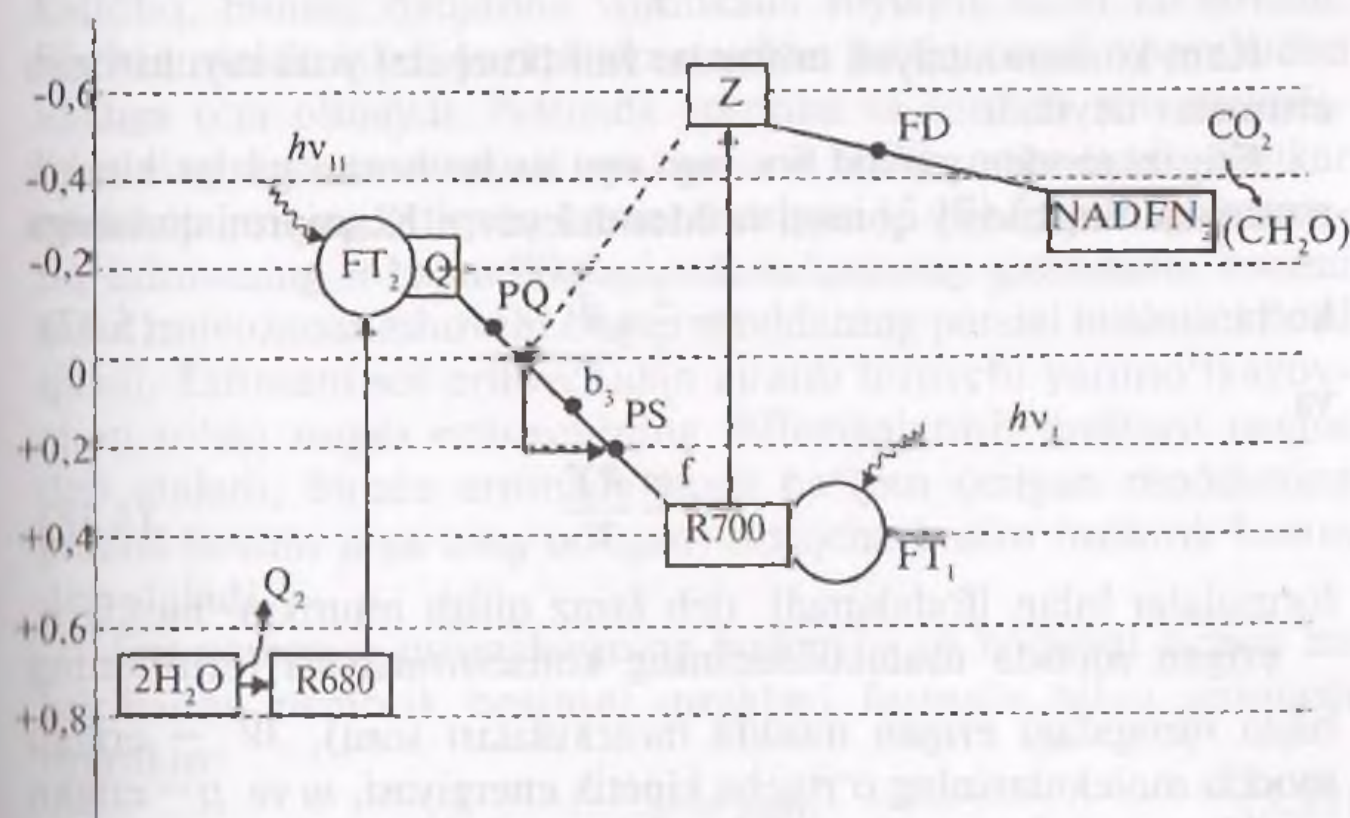
Fotosintez tizimini NADFni tiklaydigan 1 fotokimyoviy tizimiga (FT1) va suvni oksidlaydigan 2 fotokimyoviy tizimiga (FT2) bo'lish mumkin. Ikkala tizimda reaksiya markazlar deb ataladigan α xlorofillning o'ziga xos molekulalari mavjud ($P700$ — birinchi tizimda, $P680$ — ikkinchisida). Ularda fotosintetik birikmalar (xlorofill + karotinoid) yutgan yorug'lik energiyasi to'planadi, α xlorofill oksidlanadi, keyin (10^{-15} — 10^{-12} s davomida) uyg'onish energiyasining ko'chishi ro'y beradi. Fotosintez tizimida, porfirin

kompleksidan tashqari, elektronlar ko'chish vaqti 10^{-4} – 10^{-2} s ga teng.

Yorug'lik energiyasi hisobiga elektronlar ko'chishi fotofosforlanishning nosiklik shaklida suvdan NADFN_2 ga va siklik shaklida Z akseptordan f sitoxromga qarab ro'y beradi (5.9-rasmda punktir chiziq bilan ko'rsatilgan).

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.

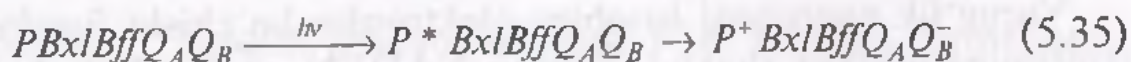
Fotosintezlovchi bakteriyalarning yorug'lik yig'uvchi reaksiya markazlari tarkibida 3 ta oqsil aniqlangan, ulardan har birida bakterioxlorofilning (BXL) 4 ta molekulasini, bakteriofeofitinning (BFF) 2 ta molekulasini, ubixinonning (Q) bitta yoki ikkita



5.9-rasm. Fotosintez jarayonida elektronlar transporti tizimi:

- Q – fototizim 2 (FT2) ning birlamchi akseptori, Z – fototizim 1 (FT1) ning birlamchi akseptori, $R700$ – FT1 ning reaksiya markazi, $R680$ – FT2 ning reaksiya markazi, PQ – plastoxinon, b_3 – sitoxrom, PS – plastosianin, FD – ferredoksin.

molekulasi, temir (F) atomi bor. Ushbu bakteriyalarda elektronlar ko'chishining to'g'ri reaksiyalarini quyidagicha yozsa bo'ladi:



Reaksion markazlar faoliyatining yuqori samaradorligi zanjirning har bir qismidagi to'g'ri reaksiyalar teskari reaksiyalarga nisbatan 2–3 tartibda tezroq ro'y berishi bilan bog'liq.

5.4-§. Osmos. Osmotik bosim

Suyuqlikda qattiq modda eritilganda, uning molekulalari 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,

$$C = \frac{m}{V}. \quad (5.36)$$

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

$$\text{ko'ra} \quad p = \frac{2}{3} n_0 \bar{W} \quad (5.37)$$

va

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} \quad (5.38)$$

formulalar bilan ifodalanadi, deb faraz qilish mumkin, bunda n_0 — erigan modda molekulalarining konsentratsiyasi (eritmaning hajm birligidagi erigan modda molekulalari soni), $\bar{W}$ — erigan modda molekulasi o'rtacha kinetik energiyasi, m va μ — erigan modda massasi va uning molyar massasi; V va T — eritmaning hajmi va harorati; R — universal gaz doimiysi.

Bu bosimni payqash uchun eritmani sof erituvchidan yarim-o'tkazuvchan to'siq bilan ajratish zarur, bu to'siq erituvchi

molekulalarini o'tkazib erigan modda molekulalarini o'tkazmasligi kerak. Shakarning suvdagi eritmasi uchun, masalan, ho'kiz pufagi, ichak to'qimasi va ba'zi sun'iy plastmassa plyonkalar yarim o'tkazuvchan to'siq bo'la olar ekan. Bu to'siqlarda teshiklar shu darajada kichikki, ulardan suv molekulalari o'tar ekan, lekin shakarning yirikroq molekulalari o'ta olmaydi. Agarda og'zi ho'kiz pufagi bilan tortilgan voronkaga shakarning suvdagi kuchsiz eritmasini solinsa va uni toza suvli idishga shunday o'rnatilsa, 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 molekulalarining konsentratsiyasi voronkadagi suv molekulalarining konsentratsiyasidan shakar molekulalari konsentratsiyasi kattaligicha katta. Shuning uchun yarimo'tkazuvchan to'siq orqali idishdan voronkaga ko'proq suv molekulalari diffuziyalanadi, qarama-qarshi yo'nalishda esa kamroq, buning natijasida voronkada suyuqlik sathi ko'tariladi. Shakar molekulalari yarimo'tkazuvchan to'siq orqali voronkadan idishga o'ta olmaydi. Natijada voronka va idishda suv molekulalarining konsentratsiyasi esa har xil bo'lib qolaveradi. Shakar molekulalarining ortiqcha konsentratsiyasi (5.17) formulaga muvofiq eritmaning h balandlikdagi ustunchasining gidrostatik bosimi bilan muvozanatlashuvchi erigan moddaning parsial bosimini hosil qiladi. Eritmani sof erituvchidan ajratib turuvchi yarimo'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 p gh bo'lgani uchun bu tajribadan osmotik bosimni quyidagi formula bilan aniqlash mumkin:

$$p = \rho gh, \quad (5.39)$$

bunda ρ — eritmaning zichligi, g — og'irlik kuchi tezlanishi. Ikkinchi tomondan, osmotik bosimni (5.38) yoki (5.39) 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 bosimi (5.42) formula bo'yicha hisoblanadi, bunda eritmaning konsentratsiyasi 1 l suvda 0,034 kg shakar bor deb olaylik. Shakarning kimyoviy formulasiga ko'ra, bir kilomol shakarning massasi 342 kg/mol, u holda,

$$p = \frac{m}{\mu} \frac{RT}{V} = \frac{0,034 \cdot 82 \cdot 300}{342 \cdot 1} = 2,46 \text{ (atm)}. \quad (5.40)$$

Osmotik bosim hammaga ma'lum bo'lgan quyidagi hodisada ravshan payqaladi. Agar quritilgan mevalar qobig'i (pardasi)ni 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 molekulalari o'tishi mumkin, biroq mevaning ichidagi shakar molekulalari o'ta olmaydi. Suv meva ichiga diffuziyalanib, u yerda shakarning suvdagi eritmasini hosil qiladi. Bu eritmada, yuqorida aytib o'tilgan shakarning suvdagi eritmasidagi singari, osmotik bosim hosil bo'lib, meva qobig'ini shishirib yuboradi.

(5.40) formuladan foydalanib, (5.42) formulaga eritmaning konsentratsiyasi C ni kiritilganda quyidagi ifoda hosil bo'ladi:

$$p = \frac{CRT}{\mu}. \quad (5.41)$$

Bundan shunday xulosa kelib chiqadi: osmotik bosim eritmaning konsentratsiyasi va haroratiga to'g'ri proporsional hamda erigan moddaning molekular 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 dissotsiatsiyalanishi sodir bo'lmaydigan kuchsiz eritmalar uchun o'rinlidir. Dissot-

siatsiyalangan eritmalar (ya'ni elektrolitlar) uchun osmotik bosim Vant-Goff qonunida nazarda tutilganidan ko'ra ancha katta bo'ladi. Bunga sabab shuki, dissotsiatsiyada 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 yarimo'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.

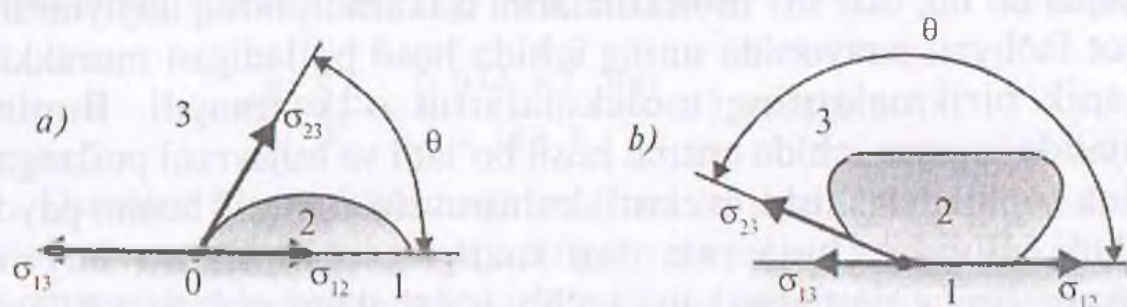
Organizmning hujayrasi shu hujayra pardasidan o'ta olmaydigan yuqori moddaning suvdagi konsentratsiya eritmasi bilan chegaradosh bo'lsa, u holda suv hujayradan o'sha eritmaga o'tadi. Bunda hujayradan suvning «osmotik so'rilishi» deb ataluvchi hodisa ro'y beradi. Ana shu hodisa tufayli shirin ovqat yeyilgandan 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.

5.5-§. Ho'llash va ho'llamaslik. Kapillar hodisalar

Ho'llash ta'sirlashuvchi muhitlarning yuzalaridagi molekulalar o'zaro ta'sir etuvchi kuchlar xarakteriga bog'liq. Ho'llovchi suyuqliklarda suyuqlik molekulalari va qattiq jism molekulalari orasidagi o'zaro tortishish kuchlari katta va suyuqlik qattiq jism bilan ta'sirlashuvchi yuzasini kengaytirishga intiladi. Ho'llamaydigan suyuqliklar molekulalari bilan qattiq jism molekulalari

orasidagi tortishish kuchi suyuqlik molekulalari orasidagi tortishish kuchidan kichik va suyuqlik qattiq jism bilan o'zaro ta'sirlashuvchi yuzasini qisqartirishga intiladi. 5.10-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 sirlarni ifodalovchi chiziqlar σ_{12} , σ_{13} , σ_{23} mos ravishda sirt taranglik kuchlarining vektor ifodasidir.



5.10-rasm. Ho'llash va ho'llamaslik.

Suyuqlik sirti bilan qattiq jism sirti orasiga o'tkazilgan urinma orasidagi burchak (θ) chegaraviy burchak deyiladi.

Tomchining muvozanat sharti (5.10-a rasm) qattiq jism sirtiga urinma yo'nalgan sirt taranglik kuchlarining yig'indisini nolga tengligi bilan ifodalanadi:

$$-\sigma_{13} + \sigma_{12} + \sigma_{23} \cos \theta = 0.$$

Bunda $\cos \theta = (\sigma_{13} + \sigma_{12}) / \sigma_{23}$.

Ushbu formuladan chegaraviy burchak o'tkir yoki o'tmas bo'lishligi σ_{12} va σ_{13} ning qiymatiga bog'liq bo'ladi. Agarda $\sigma_{13} > \sigma_{12}$ bo'lsa, $\cos \theta > 0$ va θ — burchak o'tkir, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llaydi. Agarda $\sigma_{13} < \sigma_{12}$ bo'lsa, $\cos \theta < 0$ bo'ladi va θ — burchak o'tmas, ya'ni suyuqlik qattiq jism sirtini ho'llamaydi. Agarda $\sigma_{13} > \sigma_{12} + \sigma_{23}$ bo'lsa, suyuqlik qattiq jism sirtiga to'liq 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

$$\Delta p = \frac{F}{S} = \frac{2\sigma\pi r^2}{R\pi r^2} = \frac{2\sigma}{R}. \quad (5.42)$$

Agarda suyuqlik sirti botiq bo'lsa, qo'shimcha bosim quyidagicha ifodalanadi:

$$\Delta p = -2\sigma / R. \quad (5.43)$$

Binobarin, suyuqlik sirti botiq bo'lgandagi bosim gaz bosimidan Δp ga kichik bo'ladi.

(5.42) va (5.43) lar Laplas formulalarining xususiy hollaridir.

Agarda ingichka (kapillar) bir uchuni keng idishga solingan suyuqlikka botirilsa, ho'llash yoki ho'llamaslik natijasida kapillarda suyuqlik sirti egriligi sezilarli o'zgaradi.

Agarda suyuqlik kapillar nayni ho'llasa, botiq menisk hosil bo'ladi, agarda ho'llamasa, qavariq menisk hosil bo'ladi.

Suyuqlik erkin sirti botiq bo'lganda (5.43) formula bilan ifodalanuvchi teskari qo'shimcha bosim hosil bo'ladi.

Bunday qo'shimcha bosim mavjudligi kapillarda suyuqlik ko'tarilishini ifodalaydi, vaholanki, yuzasi keng idish erkin yassi sirtida qo'shimcha bosim bo'lmaydi.

Agarda suyuqlik kapillar devorini ho'llamasa, qo'shimcha musbat bosim kapillarda suyuqlik pasayishiga olib keladi.

Kapillarda suyuqlik ustuni balandligining o'zgarishi kapillarlik hodisasi deyiladi.

Suyuqlik ustuni bosimi (gidrostatik bosim) ρgh bo'lganda kapillarda suyuqlik ustuni balandligi h ga o'zgarishi qo'shimcha bosim bilan tenglashadi, ya'ni

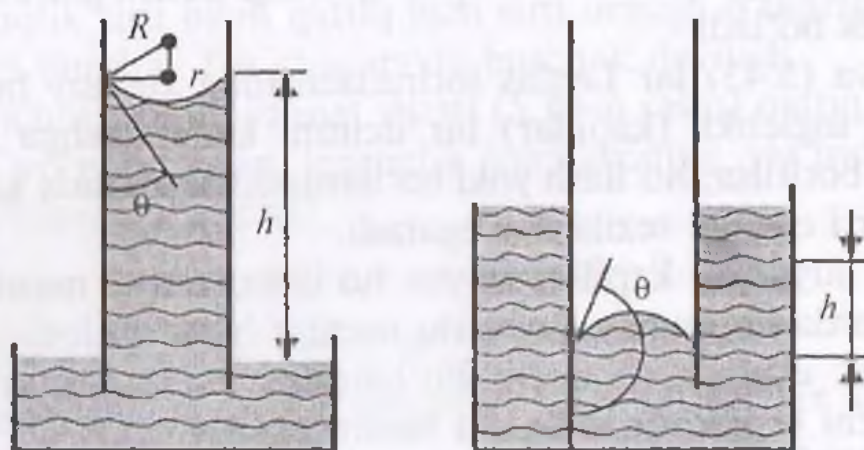
$$2\sigma/R = \rho gh.$$

Bunda ρ — suyuqlik zichligi; g — erkin tushish tezlanishi. Agarda r — kapillar radiusi; θ chegaraviy burchak bo'lsa 5.12-rasmdan ko'rinadiki, $2\sigma\cos\theta/r = \rho gh$ bo'ladi. Bundan

$$h = (2\sigma\cos\theta)/(\rho gh).$$

Ushbu formuladan ho'lovchi suyuqliklar kapillardan 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 manfiy qiymat oladi. Formuladan yana shu narsa ko'rinadiki, suyuqlik ko'tarilishi yoki pasayishi balandligi kapillar radiusiga teskari proporsionaldir. Ingichka kapillarda suyuqlik yetarlicha balandlikka ko'tarilishi mumkin. Masalan, tuproq va o'simliklarda namlik almashinishi ingichka kapillarda suyuqlik ko'tarilishiga asoslangan.



5.11-rasm. Kapillarlik hodisasini ifodalovchi chizma.

Ho'llanuvchi naylarda nisbatan kichik namliklarda ham kapillar kondensatsiya 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 kapillar nayda havo pufakchalarining holatini ko'rib chiqaylik. Agar havo pufakchasining turli tomonida suyuqlik bir xilda ta'sir ko'rsatayotgan bo'lsa, havo pufakchasining 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 Δp bosim esa bir-biridan farq qiladi. Bu hol havo pufakchalari tomonidan suyuqlikka shunday kuch ta'sir etishi natijasida suyuqlikning kapillar 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 a'zoning qon bilan ta'minlanishidan mahrum etishi mumkin. Gaz emboliyasi deb ataladigan bu hodisa natijada jiddiy funksional shikastlanishga yoki hatto letal (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 yetakchi rolni o'ynaydi, chunki u organizm va uni o'rab olgan havo bilan gaz almashinuvi jarayonida ishtirok etmaydi.

Sinov savollari

1. Ko'chish hodisasini ta'riflang.
2. Ko'chish hodisasining qanaqa turlarini bilasiz?
3. Fik, Fure 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.

VI BOB

BIOLOGIK JARAYONLAR TERMODINAMIKASI

6.1-§. Termodinamik jarayonlar va tizimlar

Organizmida 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 transformatsiyasini 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 , konsentratsiya C , entropiya S va boshqalar kiradi.

Mana shu parametrlardan birortasi o'zgarganda tizim holatining o'zgarishi termodinamik jarayon deb yuritiladi. Termodinamik jarayon bir qancha kattaliklarning ichki energiya o'zgarishi, erkin energiya o'zgarishi, reaksiyalarning issiqlik effekti va boshqalarni xarakterlab beradi. Termodinamik tizimlar izolatsiyalangan (alo-hida) yopiq va ochiq tizimlarga bo'linadi.

Izolatsiyalangan 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. Atrof-muhit harorati ko'tarilganda atrof-dan 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 atrof-dagi 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 polarizatsion 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 jismga 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 termodinamik tizim deyiladi.

Agar termodinamik tizim tashqi muhit bilan modda almashmasa, bunday tizimga yopiq termodinamik tizim deyiladi.

Agar tizimga berilgan energiya va sarf bo'lgan energiya o'zaro teng bo'lsa, bu holga issiqlik muvozanati holati deyiladi.

Har bir oziq-ovqatning kaloriyaliligi 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 muvozanati keltirilgan.

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 g)	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 statsionar holatda bo'lmaydigan rivojlanuvchi tizimdir. Ammo, odatda, kichik vaqt oralig'ida biologik tizimlar holatini statsionar holat deb olish mumkin. Statsionar holatda bo'lganda tizimning turli qismlaridagi parametrlarning qiymatlari, odatda, bir-biridan farq qiladi: odam tanasining turli qismlari harorati, biologik membrananing turli qismlaridagi diffuziyalanuvchi molekulalar konsentratsiyasi va hokazolar. Shunday qilib, tizim ayrim parametrlarining gradiyenti doimiy tutib turiladi, shu sababli kimyoviy reaksiyalar o'zgarmas tezlik bilan o'tishi mumkin. Har qanday real termodinamik tizim ochiq tizimdir, lekin ma'lum vaqt oralig'ida ideal modelni yopiq tizim deb olish mumkin. Yopiq

tizimning atrofidagi jismlar bilan o'zaro ta'sirini batafsilroq qarab chiqamiz. Issiqlik jarayonlari uchun energiya saqlanish qonuni termodinamikaning birinchi qonuni kabi ta'riflanadi.

Tizimga berilgan issiqlik miqdori tizimning ichki energiyasining o'zgarishiga va tizim bajaradigan ishga ketadi:

$$Q = \Delta U + A. \quad (6.1)$$

Tizimning ichki energiyasi deganda, uni tashkil etuvchi zarralarning kinetik va potensial energiyalari yig'indisi tushuniladi. Ideal gaz molekullari o'zaro ta'sirlashmaydi, shuning uchun uning potensial energiyasi nolga teng. U holda $U = E_k$ 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 ish holat funksiyasi emas, balki jarayon funksiyasidir. Shu sababli ΔU issiqlik miqdori ΔU 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 tatbiq etilsa, agarda $V = \text{const}$ bo'lganda, ya'ni gaz hajmi o'zgarmasa, u ish bajarmaydi. Demak, (6.3)ni

$$Q = \Delta U \quad \text{yoki} \quad dQ = dU \quad (6.5)$$

kabi yozish mumkin, ya'ni izoxorik jarayonda gazga berilgan issiqlik miqdori, uning ichki energiyasini oshirishga sarflanadi. Agarda $p = \text{const}$ bo'lsa, ya'ni izobarik jarayonda tenglama ko'rinishi (6.3) formula kabi bo'ladi. Agar $T = \text{const}$, ya'ni izotermik jarayonda $Q = A$ yoki $dQ = dA$ bo'ladi. Tashqi muhit bilan issiqlik

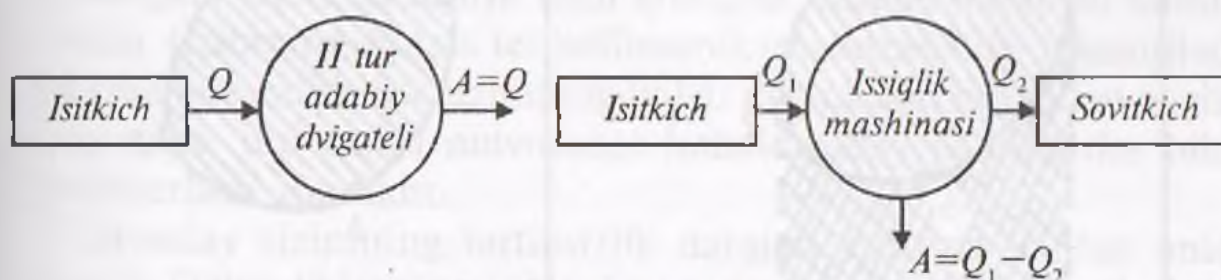
almashmasa, ya'ni adiabatik jarayonda bajarilgan ish ichki energiya o'zgarishi hisobiga bo'ladi.

$O = A + \Delta U$ yoki $A = -\Delta U$ $dA = -dU$ o'zgarish hajmdagi issiqlik sig'imidani tashqari C_p 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 almashinishida issiqlikning issiqroq jismdan sovuqroq jismga o'z-o'zidan o'tishi mumkin bo'lganidek, buning teskarisi, issiqlik sovuqroq jismdan issiqroq jismga o'tishi mumkin.

Lekin kundalik hayotda ikkinchi jarayon o'z-o'zidan yuz bermaydi. Masalan, xona ichidagi havoni sovitish hisobiga choynakdagi suv o'z-o'zidan isimaydi (6.1-rasm).



6.1-rasm. Issiqlik mashinasining chizmasi.

Termodinamikaning ikkinchi qonuni shu savollarga javob beradi. Termodinamika ikkinchi qonunining bir qancha ta'riflari mavjud.

1. Klauzius ta'rif: *issiqlik o'z-o'zidan harorati past jismdan harorati yuqori bo'lgan jismga o'ta olmaydi.*

2. Tomson ta'rif: *ikkinchi tur abadiy dvigatel bo'lishi mumkin emas, ya'ni bir jismning sovishi hisobiga issiqlik 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 sovitgichga uzatiladi.

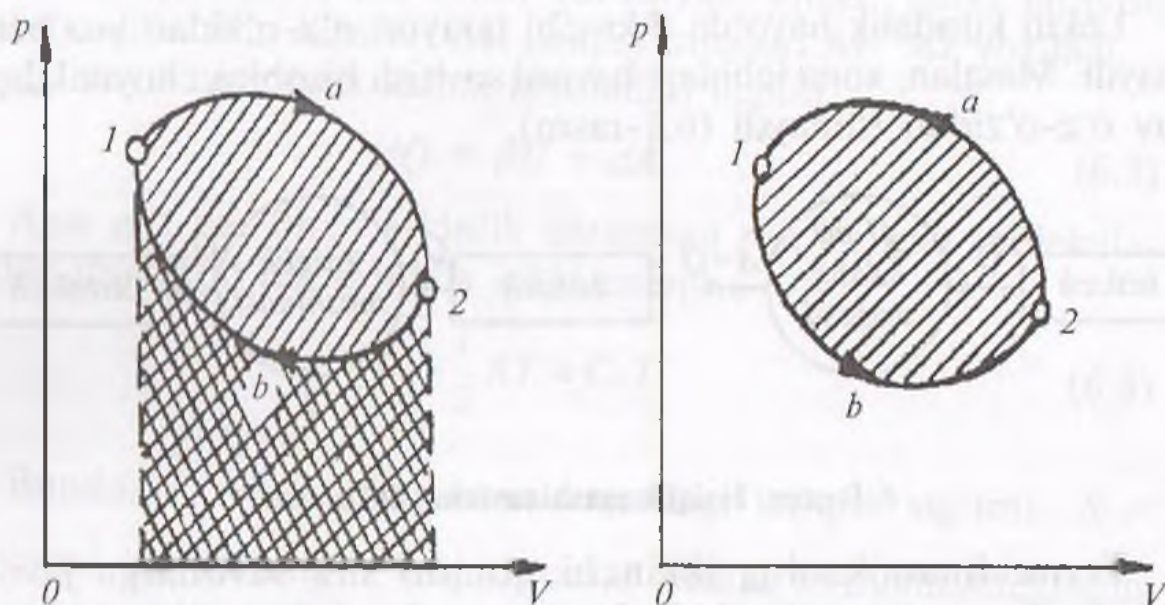
Issqlik mashinasining foydali ish koeffitsiyenti $\eta = \frac{A}{Q_1}$ formula bilan hisoblanadi.

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 quyidagi ifodani yozish mumkin:

$$\oint d\frac{Q}{T} = 0. \quad (6.7)$$



6.2-rasm. Termodinamik tizimda bajarilgan ishni hisoblash chizmasi:

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:

$$\Delta S = S_2 - S_1 = \int_1^2 \frac{dQ}{T}. \quad (6.8)$$

Bunda 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. Molekular-kinetik nazariya bo'yicha entropiya tizim zarralari tartibsizligining o'lchovi deb olish mumkin (6.2-rasm).

Tizimdagi tartibsizlik miqdoran termodinamikaviy ehtimollik W_{map} bilan xarakterlanadi.

Bolsman entropiyaning termodinamikaviy ehtimollikning logarifmiga proporsional ekanligini aniqladi:

$$S = k \ln W_{\text{map}}. \quad (6.9)$$

bunda 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 izolatsiyalangan 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 $ds=0$, $S=\text{const}$, $dS_i > 0$, $dS_e < 0$ 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 izolatsiyalangan tizimdagi kabi ortib boradi, ammo bunda organizmning entropiyasi o'zgarmas saqlanib qoladi.

Entropiya tizim tartibsizligining o'lchovidir. Shu sababli organizmning tartibliligi atrof-muhit tartibliligining kamayishi hisobiga saqlanadi.

Ayrim kasalliklar holatlarida biologik tizimlar entropiyasi oshishi mumkin ($dS > 0$), bu turg'un holatning bo'lmashligi 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

$$\frac{dS_i}{dt} = -\frac{dS_e}{dt} \quad \left(S = \text{const} \frac{dS}{dt} = 0 \right). \quad (6.12)$$

Prigojin prinsipiga muvofiq $\frac{dS_i}{dt} < 0$ 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 turishining asosi — diffuzion jarayonlar biokimyoviy reaksiyalar, osmotik hodisalar va hokazo shunga o'xshash jarayonlarning yuz berishi sharoitida turg'un holatini quvvatlab turishidan iboratdir.

6.4-§. Veterinariyada termodinamik davolash usullaridan foydalanish

Tibbiyot va veterinariyada termodinamik davolash usullari keng qo'llanilmoqda. Organizmga asta-sekin 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, 6.2-jadvalda shunday moddalar keltirilgan.

6.2-jadval

Modda	S_1 , kJ/kg·K	λ_p , W/mK
Suv	4,19	0,58
Loyqa	2,09	0,70
Torl	3,85	0,42
Parafin	3,23	0,23
Ozekerit	3,35	0,15

Bu usul qishloq xo'jaligi 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 soviydi va issiqlik o'tkazuvchanligi yomonligi sababli ichki qismlar harorati saqlanib asta-sekin tanaga beriladi. Parafin, ozekerit hayvonlarda mastit, ginekologik kasalliklarni davolashda keng qo'llaniladi.

Hayvonlarda tana haroratini doimiy saqlash xususiyati ularning gipotalamusida issiqlikni boshqaruvchi markazlarning borligi sababdir. Bunda uzatkichlar rolini teri va shilimshiq pardalarda joylashgan maxsus retseptorlar o'ynaydi. Tanada haroratning oshishi yoki pasayishida bu retseptorlarda 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 nafaqat issiqlik ta'siri, balki 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 statsionar 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 statsionar 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°K va suvning qaynash nuqtasi 100°C . Xuddi shunday absolut harorat shkalasi boshlang'ich nuqta 0°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 konservatsiya qilish uchun ishlatiladi. Anesteziya xossasiga ega bo'lgan sovuq yordamida asab kasalliklariga tegishli bo'lgan odam bosh miyasidagi ayrim hujayralar yadrosini yo'q qilishda ishlatiladi. Masalan, parkinsonizm, mikrojarrohlikda nam to'qimalarning sovuq metall asboblarga yopishib qolishi usulidan foydalanib, bu to'qimalarni boshqa joyga ko'chirishda foydalaniladi. Krioterapiya, kriojarrohlik va shu kabi yangi atamalar yuzaga kelmoqda.

6.5-§. Tirik organizmda issiqlik almashinishining biofizik asoslari

Ma'lumki, parrandalar va sutemizuvchilar 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 omillar ta'sir ko'rsatadi: havo harorati, konveksiya, nurlanish va boshqalar. Havo uchun issiqlik o'tkazish koeffitsiyenti $0,024 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. Yog' to'qimasi uchun $0,025$, metall uchun $40\text{--}400 \text{ W/m}\cdot\text{K}$. 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 yoyadi. 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 ($0,5 \text{ W/m}\cdot\text{K}$) issiqlik tezda ichki a'zolardan tashqi a'zolarga 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 teriosti yog' qatlamiga ega. Masalan, pingvinning teriosti yog' qatlami massasi $10\text{--}15 \text{ kg}$ ga teng bo'lib, uning o'zining massasi $30\text{--}35 \text{ kg}$. 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 zarralarga beradi. Issiqlik o'tkazuvchanlik har xil jismlarda har xildir.

Issiqlik o'tkazuvchanlikni xarakterlovchi kattalik issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentidir. 6.3-jadvalda ba'zi moddalar issiqlik o'tkazuvchanlik ko'effitsiyentlari keltirilgan.

6.3-jadval

T/r	Modda	$\chi, \text{W/m} \cdot \text{K}$
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 bo'ladi.

Eng yaxshi issiqlik o'tkazuvchanlikka muskul to'qimalari ega va unda qon o'tuvchi tomirlar ko'p bo'lib, ichki a'zolardan 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.

$$Q = L(T_{yu} - T_y). \quad (6.13)$$

Bunda L — konveksiya vaqtidagi issiqlik uzatish ko'effitsiyenti; T_{yu} — yuza harorati; T_y — moddaning o'rtacha harorati.

Konveksiya koeffitsiyenti tashqi muhit bosimi oshishi hamda havo tezligiga proporsional oshib boradi. Konveksiyada 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 oqimini 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_1 va havo harorati T_n — desak u holda natijaviy issiqlik oqimi intensivligi:

$$I_{nrr} = \varepsilon \sigma (T_1^4 - T_n^4). \quad (6.14)$$

Bunda σ — Stefan — Bolsman doimiysi; ε — dielektrik kirituvchanlik. Issiqqonli 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 0,5 kg suvni chiqarib yuboradi. Agar suvning solishtirma bug' hosil bo'lish issiqligini $2,52 \cdot 10^6 \text{ J/kg}$ desak, u holda bug'lanish orqali yo'qotiladigan issiqlik $0,85 \cdot 252 \cdot 10^6 = 2 \cdot 10^6 \text{ J}$. Bu esa organizmdagi issiqlik zaxirasining 30% ini tashkil qiladi. Bug'lanish tashqi haroratga va namlikka 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 suyuqlik yo'qotadi. Shu sababli normal namlikni molxonalarda saqlashga harakat qilish kerak.

Issiqlik yo'qotish fiziologik jarayon aktivligiga ham bog'liqdir. Masalan, bir kunda 12 litr sut beradigan sigir 1m^2 tanasidan soatiga 190 g suv bug'laydi ($4,6 \cdot 10^5\text{J}$), agarda bir kunda 25 litr sut bersa — 290 g ($7 \cdot 10^5\text{J}$) suv yo'qotadi.

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 jini 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.

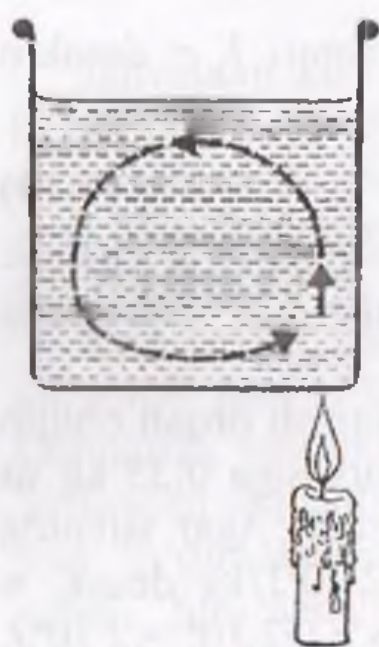
Molxonalarda tashqi harorat — 25°C bo'lganda ichkarida harorat 10°C , namlik maksimal 85%, minimal 40% bo'lishi kerak.

Agar harorat pasaysa va namlik oshsa, u holda sigirlar suti 30–40%, semirish darajasi 40–50% gacha kamayadi.

Qish vaqtida havo almashtirilib turilishi kerak. 100 kg massaga $17\text{ m}^3/\text{soat}$ bo'lishi kerak. Shamol tezligi uncha katta bo'lmasligi kerak, ya'ni $0,5\text{ m/s}$ dan 1 m/s gacha, tovuqxonalarda esa 1 kg og'irlik uchun $0,7\text{ m}^3/\text{soat}$ havo almashtirish zarur.

6.3-rasmida suv to'ldirilgan menzurkada konveksiya hodisasining kechish jarayoni tasvirlangan.

Konveksiya atmosfera va okeanda issiqlik almashinishida muhim mexanizm hisoblanadi.



6.3-rasm.
Konveksion oqimni
ifodalovchi chizma.

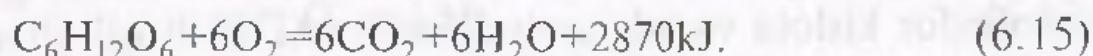
6.6-§. Tirik organizmda issiqlik balansi

Tirik organizm ochiq termodinamik tizim hisoblanadi. Unda haroratni doimiy saqlab turish uchun tashqi muhit va organizm o'rtasida issiqlik almashib turishi zarur. XVIII asrda fransuz

kimyogari Lavuazye tasavvuriga 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 Mayerning 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 ishini 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 kaloriyaliligini aniqlashda ishlatiladi. Organizmda yuz beradigan asosiy reaksiya, bu glukozaning oksidlanish reaksiyasidir (6.4-jadval).

Agar 1 mol glukozani (0,18 kg) 6 mol kislorodga (134,4l) qo'shsak u holda SO_2 (0,288 kg va 2870 kT issiqlik ajraladi:



6.4-jadval

Tirik organizmda energiya almashinuvi

T/r	Energiya almashinuvi turi	Energiya almashinadigan organizm qismi
1.	Kimyoviy energiyaning mexanik energiyaga o'tishi	Muskul to'qimasida
2.	Kimyoviy energiyaning elektr energiyasiga o'tishi	Hamma to'qimalarda
3.	Kimyoviy energiyaning yorug'lik energiyasiga o'tishi	Hasharotlar va baliqlar terisida
4.	Yorug'lik energiyasining kimyoviy energiyaga o'tishi	Ko'z to'qimasidagi fotoretseptorlarda, teri to'qimasida, bakteriyalarda, o'simlik barglarida (fotosintez)

5	Akustik to'liqlar mexanik energiyasining elektr energiyasiga o'tishi.	Quloq ichidagi, Korti organida
6	Hamma energiyalarning issiqlik energiyasiga o'tishi	Hamma to'qima va hujayralarda

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 manbayi bo'lib quyosh energiyasi hisoblanadi. Shu sababli karbonad angidrid va suvda uglevodorodlar hosil bo'ladi. Tirik organizmda energiyaning hosil bo'lishi murakkab biokimyoviy birikmalarda yuz beradi. Ulardan eng asosiysi adenzintrifosfat kislotadir (ATF).

Bu birikma molekulasida adenin organik birikma, riobaza uglerodi va uchta fosfor kislotasi qoldig'idan iborat. Bular manfiy zaryadlangan bo'lib, ular orasida itaruvchi elektrostatik kuchlar ta'sir qiladi. ATF ning gidroliz paytida fosfat guruhning 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 kislotasi 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 efirlarning gidrolizi vaqtida esa atigi 8 dan 12 kJ/mol energiya chiqadi xolos. Termodinamik nuqtayi nazaridan ATF molekulasidagi energiyasi ko'p bo'lgan tizim turiga kiradi. ADF molekulasidagi esa kam energiyali tizimdir. ATFning sintezi mitoxondriya membranasida bo'ladi va fermentlar ta'sirida organik moddalar hazm bo'lishida ADF fosfor guruhlarga 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 hokazo).

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 a'zolarida 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, hayvonlarning issiqlik mahsuldorligi, ya'ni birlik vaqt ichida ajralib chiquvchi issiqlik miqdori ($Q_r = Q/t$), uning massasi M ga to'g'ri proporsional va quyidagi empirik formula bilan ifodalanishi mumkin:

$$Q_r = kM^n. \quad (6.17)$$

Bunda k — empirik koeffitsiyent, n — ko'rsatkich darajasi bo'lib, Klayber ma'lumoti bo'yicha 0,75 ga teng. Bu formulani logarifmlasak $\lg Q_r = \lg k + n \lg M$. Demak, logarifmik koordinatalarda bu bog'lanish to'g'ri chiziqli bo'ladi.

$q = \frac{Q_r}{Mt}$ — 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 $Q_r = aM + bm^{2/3}$. Yuqoridagi formulalardan $q = a + \frac{b}{3\sqrt{M}}$ ni

hosil qilamiz, bunda a va b — doimiy kattaliklar bo'lib, tajribalar natijasida aniqlanishicha gomoyoterm hayvonlar uchun $a=41,9$ kJ/kg · kun va $b=244$ kJ/kg^{2/3} · 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 qilish lozim bo'ladi. Sayroqi mayda qushlar va kichik zararkunandalar bir kunda o'z massasidan ko'proq bo'lgan oziqani yeydi. Katta yirtqichlar esa o'z massasini 5–8% igacha oziqa iste'mol qiladi.

Sovuqqonli 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 issiqqonli jonivorlarda tana harorati tashqi muhit haroratiga bog'liq bo'lmaydi. Faqat uzoq vaqt sovitish 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 evolutsiya jarayonida tashqi muhit bilan issiqlik almashishni oshirish yoki kamaytirish yo'li bilan tana haroratini ozroq oshirgan yoki kamaytirgan. Masalan, jonivor sovuqotganda 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 impulsini 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 «isitkich» orqali o'tadi, so'ng (tana yuzasi, o'pka)da tashqi muhitga issiqlikni beradi va qayta o'ng yurakka kelib tushadi.

Sinov savollari

1. Qaytar va qaytmas jarayonlar nima?
2. Biologik tizimlarda energiyaning saqlanish qonunini ta'riflang.
3. Ichki energiya nima?
4. Termodinamikaning ikkinchi qonuni qanday ataladi?
5. Tirik organizm ochiq termodinamik tizim ekanligini tushuntiring.
6. Entropiya va uning fizik mohiyatini tushuntiring.
7. Prigojin teoremasini ta'riflang.
8. Veterinariyada kriogen texnikasidan foydalanishni asoslang.
9. Tirik organizmda issiqlik balansini tushuntiring.
10. Veterinariyada termodinamik usullardan foydalanishga misollar keltiring.

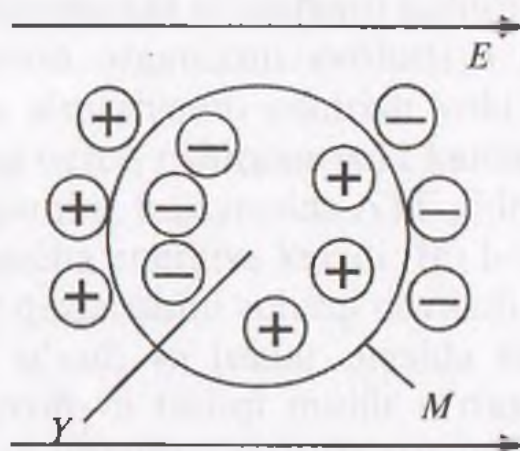


VII BOB BIOELEKTROMAGNETIZM

7.1-§. Tirik organizmga elektr tokining ta'siri

Biologik to'qimalarning qarshiligi unchalik katta bo'lmagan obyektlardir. Ularning qarshiligi elektr maydoni ta'sirida o'zgaradi. Odam organizmidan o'tuvchi tok kuchi uning qarshiligiga bog'liq. Sog'lom terining solishtirma qarshiligi 10^3 Om.m. Sog'lom teri quruq bo'lsa, qo'l uchlari orasidagi qarshilik 15000 Om ni tashkil qiladi. Odam uchun xavfsiz bo'lgan tok kuchi otni o'ldirishi mumkin. 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 suyuqligi, qon, limfa tokni yaxshi o'tkazadi, muskullar, jigar, yurak, o'pka muskullari yomon o'tkazadi. Yog' va suyak to'qimalari, teri ulardan ham yomon o'tkazadi. Hujayraning elektr xossalari ham ancha murakkabdir. Sitoplazmaning solishtirma qarshiligi 0,1 dan 300 Om m. chegarasida yotadi. Hujayra membranasi 1 sm^2 yuzining qarshiligi $10^3\text{--}10^4$ Om m. gacha bo'ladi. Biologik tizimlaridan tok o'tishiga hujayrada ro'y beradigan qutblanish hodisalari ancha ta'sir qiladi (7.1-rasm).



7.1-rasm. Hujayra elektr maydonida:
M — membrana; Y — yadro.

Elektr maydon ta'sirida hujayra sirtida qarama-qarshi yo'nalishda turli ishorali ionlar to'planadi. Bu ionlar konsentratsiyasi 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 Veyss formulasi orqali ifodalanadi:

$$J = \frac{a}{t} + b. \quad (7.1)$$

Tok kuchi kuchlanishiga proporsional bo'lgani uchun Veyss formulasini quyidagicha yozishi mumkin (7.2-rasm):

$$U = \frac{A}{t} + B. \quad (7.2)$$

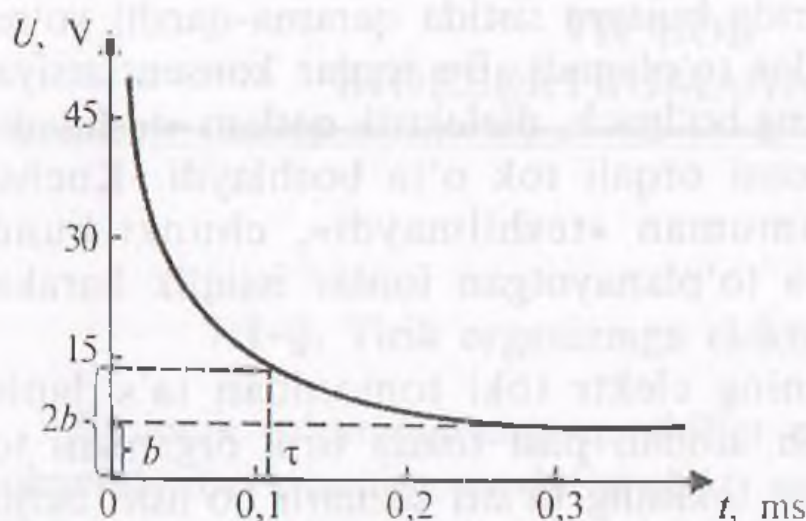
Bunda, A, B, a, b — tajribadan topiladigan o'zgarmas kattaliklar.

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.

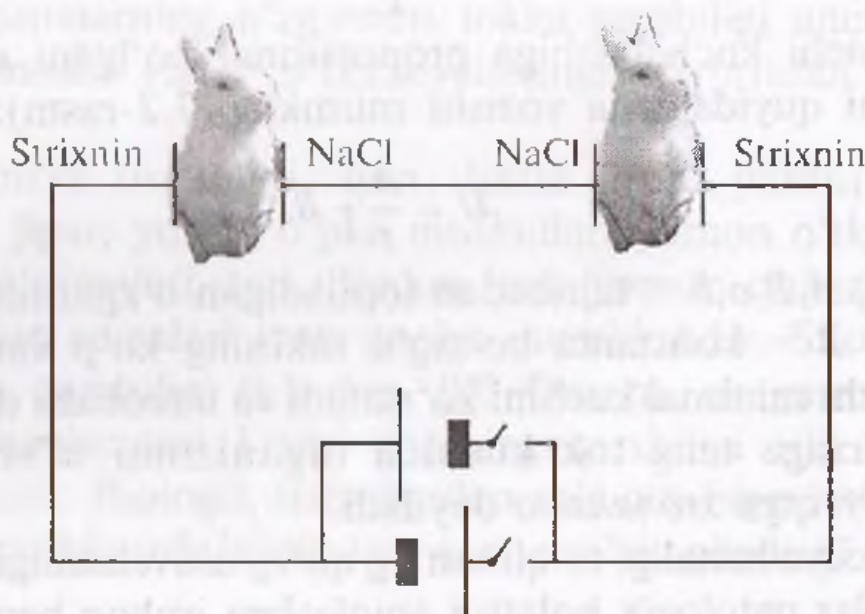
Qishloq xo'jaligida parrandalarga 60 dB dan yuqori shovqin bilan ta'sir etilsa, qushlarning xronaksiyasida o'zgarish ro'y beradi, shu bilan birga ularning fiziologik holati yomonlashadi va tuxum tug'uvchanligi pasayadi. Shu sababli xronaksiyani o'lchash orqali ayrim kasalliklarni aniqlash mumkin. Kuchsiz toklar terapevtik ta'sirga ega, kuchsiz o'zgarmas toklar bilan davolash usuliga galvanizatsiya deyiladi.

Bu usuldan XIX asr boshlarida foydalana boshlaganlar. Elektrodlar joylashishi o'rniga qarab ta'sir teridan nerv hujayralari orqali u yoki bu ichki a'zoga uzatiladi. Natijada tok ta'sirida almashish



7.2-rasm. Tovuq uchun doimiy tokning ta'sir etish vaqti.

va funksional xossalarda o'zgarishlar ro'y beradi. Teri va ichki a'zolarining tok ta'siriga javob reaksiyasi tufayli kapillarlar reflektor tarzda kengayadi, hujayra membranalarining o'tkazuvchanligi o'zgaradi (7.3-rasm).



7.3-rasm. Elektr maydoni yordamida tirik organizmga dori moddalar kiritish.

Veterinariya klinikasida elektr toki yordamida tirik organizmga dori moddalarni kiritish usuli elektroforez 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 organizmga o'tadi. Shu vaqtning o'zida teridan matoga hujayralardan K^+ , Na^+ , Cl^- va boshqa ionlar o'tadi.

7.2-§. Biopotensiallar va ularni o'lchash

Tirik organizm turli qismlari orasida mavjud bo'lgan potensiallar farqi *biopotensiallar* deyiladi. Biopotensiallar 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.

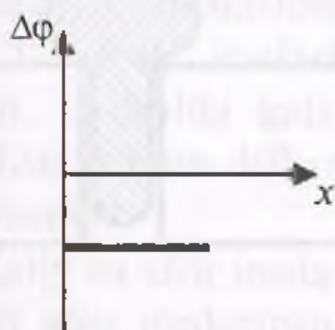
Bioelektrik hodisalarni o'rganish 1771-yilda L.Galvani tajribalaridan boshlandi. 1838-yilda Matteuchi muskulning tashqi sirti musbat, ichki sirti manfiy zaryadga ega ekanligini aniqladi. Tinch holatdagi muskulning tashqi va ichki sirlari orasidagi potensiallari esa muskulning qisqarishi, bezlar sekretsiyasi hujayralarning ta'sirlanishi paytida hosil bo'ladi.

Biopotensiallar quyidagi turlarga bo'linadi:

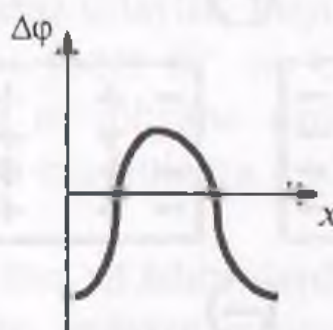
1. G'alayonlanmagan holatda bo'lgan hujayraning tashqi va ichki qismidagi potensiallar farqiga tinchlikdagi potensial deyiladi (7.4-rasm).

2. Hujayraga tashqi ta'sir ko'rsatilganda u g'alayonlanadi. Bunda o'lchangan potensiallar farqi *harakat potentsiali* deb ataladi (7.5-rasm).

1875-yilda rus fiziologi V.Y. Danilevskiy birinchi bo'lib, bosh miyaning biopotensiallarini aniqladi. Biopotensiallarning hosil bo'lishi ancha murakkab masala bo'lib, hozirgacha uning to'liq nazariyasi yaratilmagan. Hozirgi vaqtda 1952-yilda Xojkin, Xaksli, Kaslar taklif qilgan nazariya ko'p qo'llaniladi.



7.4-rasm. Tinchlikdagi potensialni o'lchash.

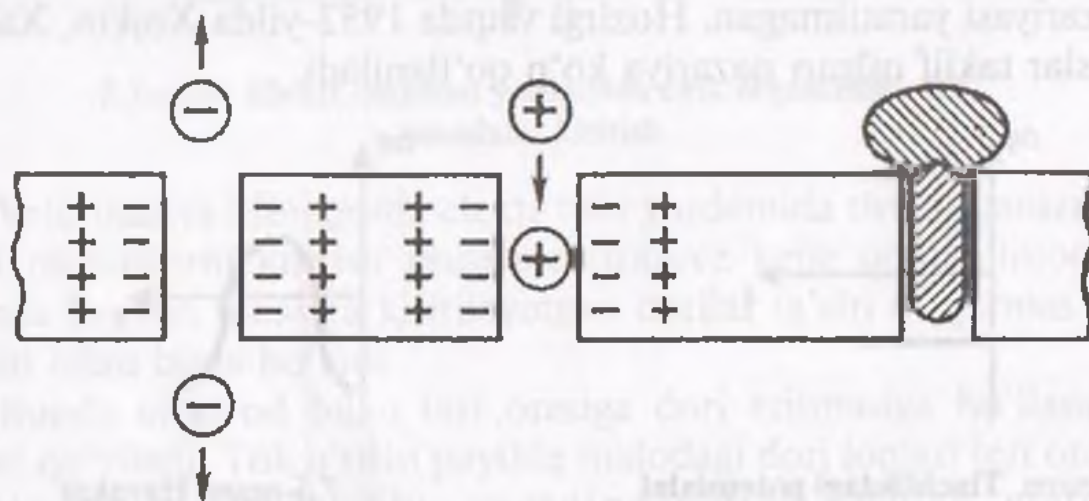


7.5-rasm. Harakat potentsialini o'lchash.

Shu nazariya bilan qisqacha tanishamiz.

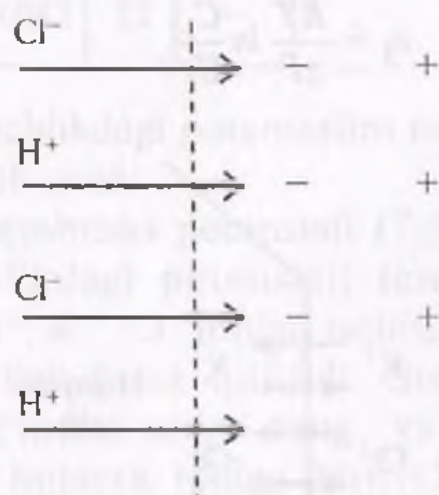
Biror to'qimaning potensialini uning tarkibidagi hujayralar potentsiallari yig'indisi deb qarash mumkin. U holda hujayra tirik organizmning asosiy struktura elementigina emas, asosiy elektrik elementi hamdir. Hujayra va uni o'rab olgan hujayradan tashqaridagi biologik muhitni, tashqi muhitdan yarimo'tkazgichli 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 xalaqit 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 (7.6-rasm):



7.6-rasm. Hujayrada biopotensial hosil bo'lishi.

1. Diffuz potensial $\Delta\phi$ paydo bo'lishi uchun (7.7-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. Vodorod ionlarining kattaroq harakatchanligi tufayli chegaradan o'ng tomonda ularning kattaroq konsentratsiyasi paydo bo'ladi, $\Delta\phi$ potentsiallar farqi hosil bo'ladi.



7.7-rasm. Diffuz potensial paydo bo'lishi.

Diffuz potentsiali $\Delta\phi$ Genderson tenglamasi bilan aniqlanadi.

$$\Delta\phi = \frac{U^+ - U^-}{U^+ + U^-} \cdot \frac{RT}{ZF} \ln \frac{S_1}{S_2}.$$

2. Teng vaznli membrana potentsialining 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^- ionlari, tashqarisida esa faqat K^+ va Cl^- ionlari bo'lsin. U holda kaliy va xlor ionlari membrana orqali ikkala yo'nalishda ham diffuziyalanadi, R^- ionlari esa hujayra ichida qoladi (7.8-rasm).

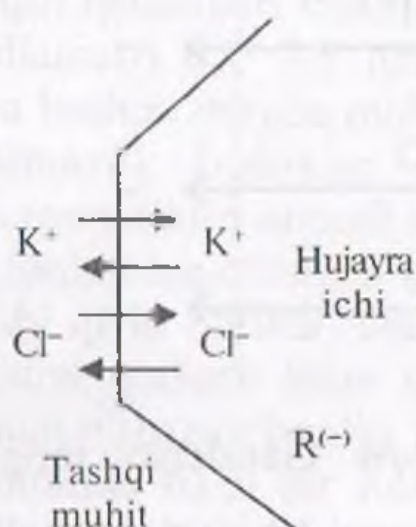
Kaliy va xlor ionlarining diffuziyasi har xil ishoralardan iborat, chunki xlor ionlarining tashqi muhitdan hujayra ichiga o'tishiga R^- ionlari hosil qilayotgan manfiy zaryad to'sqinlik qiladi. Natijada kaliy va xlor ionlarining hujayra ichida va tashqarisidagi konsentratsiyalari bir xil bo'lmaydi.

Bunda Danon tenglamasi deb ataladigan munosabat bajariladi:

$$[K^+]_u [Cl^-]_u = [K^+]_i [Cl^-]_i. \quad (7.3)$$

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 potentsiallar farqi Nernst tenglamasi deb ataladi:

$$\varepsilon_1 = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_1}{C_2}, \quad (7.4)$$



7.8-rasm. Hujayra membranasidan ionlarning o'tishi.

bunda $\frac{C_1}{C_2}$ — kaliy ionlari konsentratsiyasining nisbati:

$$\frac{[K^+]_u}{[K^+]_T} = \frac{[Cl^-]_T}{[Cl^-]_u} \quad (7.5)$$

7.1-jadvalda turli hayvonlar uchun $\frac{C_u}{C_T}$ va membrana potentsiali keltirilgan.

Nernst tenglamasi bo'yicha hujayra membranasida uchun Na^+ , K^+ , Cl^- ionlari hosil qilayotgan potentsiallar hisoblab topildi. Biroq, bu ionlarning yig'indi potentsiali tajribada o'lchangan qiymatlardan farq qildi.

To'qima turi	Na ⁺	K ⁺	Cl ⁻	Hayvon turi	To'qima	U, mV
Kalmar nervi	0,11	41	0,074	hasharot	qanot muskuli	80–90
Baqa asabi	0,31	44	–	baqa	oyoq muskuli	40–80
Baqa muskuli	0,12	1,2	0,01	ot	asab	6
Baqa yurak muskuli	0,082	52	–	it	silliqlik muskul	1–3

Hujayraning tinchlikdagi potensialini tushuntirish uchun yangi nazariya zarur bo'lib qoldi.

3. Statsionar membrana potensial (7.9-rasm). Xojkin va Kas hujayraning tinchlikdagi potensialini teng vaznli bo'lmagan, statsionar, ya'ni Na⁺, K⁺, Cl⁻ ionlari oqimlari dinamik muvozanati bilan aniqlanadi, deb faraz qilishdi. Statsionar 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⁺ va K⁺ ionlarining ATF gidrolizi paytida chiqadigan energiya hisobiga ro'y beradigan aktiv transporti bilan, ikkinchi tomondan Na⁺, K⁺, Cl⁻ ionlarining passiv transporti bilan aniqlanadi. Bu holda membranada paydo bo'ladigan potensial Golsman-Xojkin-Kas tenglamasi (5.28) bilan aniqlanadi:

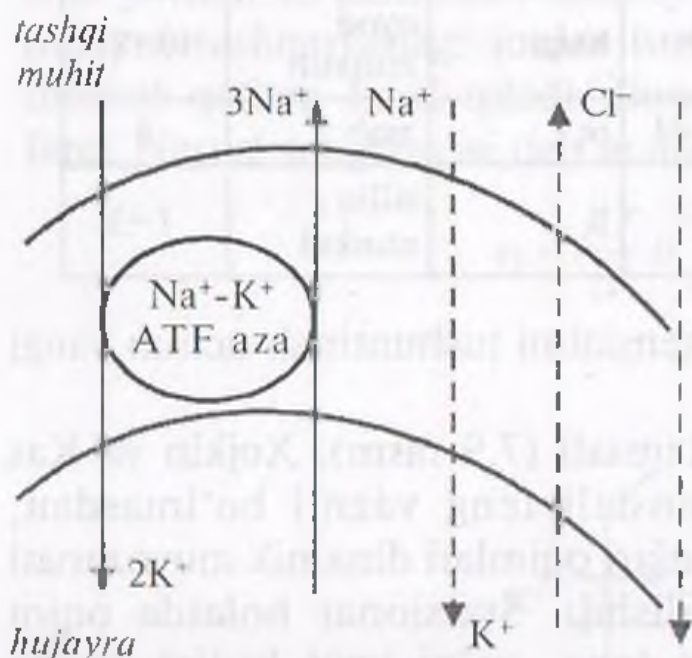
$$\Delta\varphi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_K[K^+]_0 + P_{Na}[Na^+]_0 + P_{Cl}[Cl^-]_i}{P_K[K^+]_i + P_{Na}[Na^+]_i + P_{Cl}[Cl^-]_0}.$$

Yuqorida ko'rib chiqilgan uch hol hujayra membranasida tinchlikdagi potensial paydo bo'lishiga olib keladi.

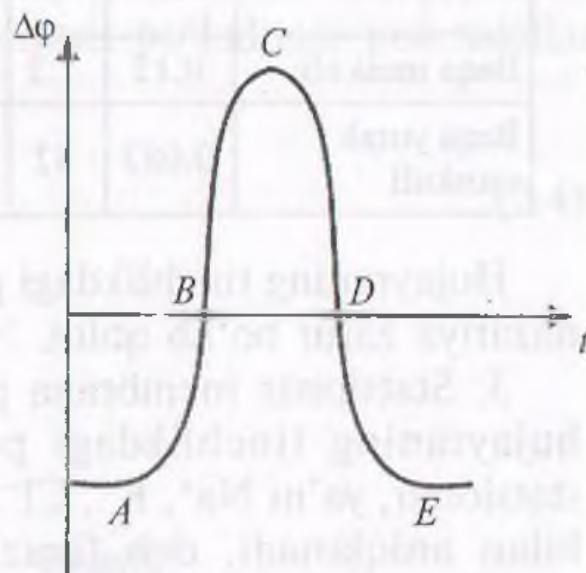
Hujayraga tashqi omillar ta'sir etsa, unda hujayra membranasining o'tkazuvchanligi o'zgarishi tufayli tinch biopotensial ham o'zgaradi. Bunda hosil bo'ladigan biopotensialga harakat

potensialini deyiladi. Bu potensial paydo bo'lishining sababi biror fizik omil (mexanik, issiqlik, elektr) ta'sirida hujayra membranasining o'tkazuvchanligi yuz martalab oshadi.

Harakat biopotensialini paydo bo'lishi mexanizmlarini ko'rib chiqaylik (7.10-rasm).



7.9-rasm. Statsionar membrana potensialining hosil bo'lishi.



7.10-rasm. Harakat potensialining paydo bo'lishi.

Hujayraga tashqi ta'sir etganda (masalan, to'g'ri burchakli tok impulslari) hujayra membranasini Na^+ ionlari uchun tanlanma o'tuvchan bo'lib qoladi. Ular hujayra ichiga gradiyent bo'yab aktiv kira boshlaydi va protoplazmaning manfiy potensialini 0 gacha kamaytiradi (chiziqning AB qismi). Na^+ ionlarining sizib o'tishi davom etib, u yerda musbat potensial hosil bo'ladi (chiziqning BC qismi).

C nuqtaga yetgach, membrananing natriy nayi yopilib, kaliy nayi ochiladi. K^+ hujayra ichidan aktiv chiqishi tufayli hujayraning musbat potensialini 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) $\text{K}^+ - \text{Na}^+$ nasos ishi hisobiga ro'y beradi. E 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. Potensialning 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'lsa-da hujayraning qo'shni qismini qo'zg'atadi. Natijada potensial impulsi tola bo'ylab tarqaladi. Harakat potensialining 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'lsa-da harakat potentsiali hamma hayvonlar va o'simliklar hujayralarida paydo bo'ladi. Biopotensiallar 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.

Odam 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 li kuchlanish 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 a'zolari mavjud ekan. Ko'plari bu elektr razryadini dushmaniga hamla qilishda ishlatga, ba'zilar okean tubida lokatsiya uchun ishlatadi. Baliqlarning asosiy elektr a'zosi, bu plastinka shaklidagi muskul to'qimalaridir. Masalan, ugrida 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 ugrida 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 a'zoning hamma hujayralari bir vaqtda uyg'onsa uni bevosita usul bilan o'lchash mumkin. Bunday a'zolarga yurak, muskullar, miyalar kiradi.

Tibbiyot va veterinariyada yurak biopotensial (EKG) to'qimalar biopotensial (EMG — elektromiografiya), miya biopotensial EEG (elektroensefalografiya)da keng qo'llaniladi. Biopotensialni o'lchash uchun kerakli a'zoga elektrodni 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.

7.3-§. Veterinariya tibbiyotida elektr tokidan foydalanish

Keyingi 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'otuvchi rejimda ishlaydi. Agarda tashqi manbadan kelayotgan tok yurak orqali o'tsa, u muskul tolalarini uyg'otadi va ta'sir potentsiali yurak orqali hamma yo'nalish bo'ylab tarqaladi, 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 oqibatlariga 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 impulsi 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 1 A dan 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 fibrillatsiyaga sabab bo'ladi. Yuqori kuchlanishli toklar esa kuchli kuyish yuzaga keltiradi, ammo birdaniga o'limga olib kelmaydi, yurak muskullarini qisqa vaqtda qisqarishiga olib keladi va u yana o'z holatiga qaytadi. Hozirgi vaqtda defibrillatorlar yurak holatini yaxshilashda, patologik tug'ishlarda bachadonni defibrillatsiya qilishda ishlatiladi. Elektrodlar ko'krak va orqaga qo'yilgan, unga 10A tok va bir necha kilovolt kuchlanish yuboriladi.

Fibrillatsiyani yuzaga keltira olmaydigan kichik toklar nafas a'zolarini nazorat qiluvchi nerv markazlarini ishdan chiqarishi mumkin. Hayvon tanasidan o'tuvchi tok kuchi qo'yilgan kuch-

lanish va elektr qarshiligiga bog'liq. Tana qarshiligi ko'plab omillarga 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 usul ekin maydonlarini 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 mA dan 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 kHz tok kuchi 10–15 mA bo'lganda yaxshi natija olish mumkin.

Elektronarkoz yordamida hayvonlarda turli xil operatsiyalarni o'tkazish mumkin. Oddiy narkozdan farqi bu holda aniq dozirovka, tez bajarish, boshqa effektlarning yo'qligidir.

7.4-§. Veterinariya terapiyasida magnit maydonining qo'llanilishi

Magnit maydonidan amalda ko'p maqsadlarda foydalanadilar. Tibbiyotda kuchli magnit maydoni yordamida ko'zdagi temir buyumlarni jarrohliksiz olishda ishlatiladi. Organizmning ko'p qismi diamagnitdir. Organizmdagi ion va molekulalar paramagnitdir. Organizmda ferromagnit zarralar yo'q. Organizmdagi biotoklar kuchsiz magnit maydoni hosil qiladi (magnitokardiografiya).

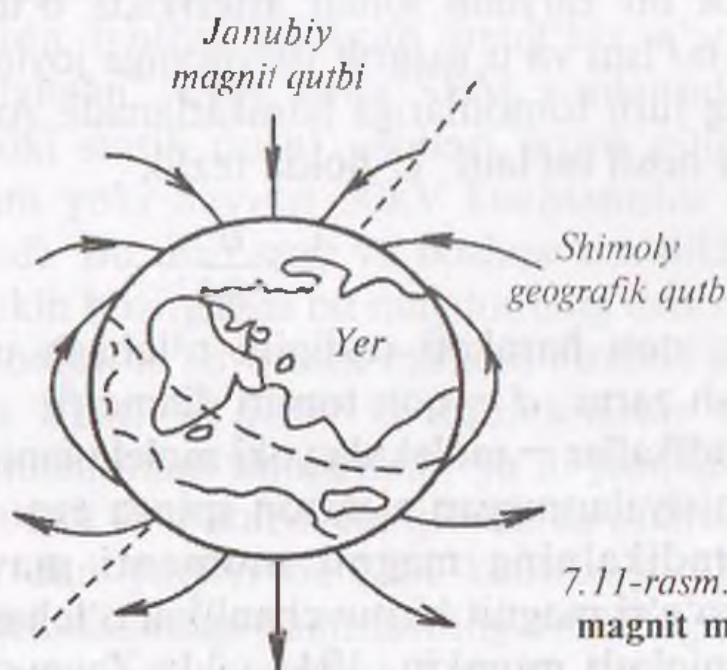
Magnitobiologiya magnit maydonning organizmga ta'sirini o'rganadi. Qonning xarakteristikasi magnit maydonida o'zgarishi

mumkin. Bunga sabab molekulalarning magnit maydonda oriyentirlanishi, ionlarning Xoll effekti tufayli siljishidir.

Yaxlit metallarda uyurmali toklar hosil bo'ladi. Bunday toklar biologik a'zolarida ham hosil bo'lishi mumkin. Fizioterapiyada uyurmali toklar yordamida terining ba'zi qismlarini isitishda foydalanadilar (induktoterapiya).

Magnit maydoni yordamida qoramollar yutgan temir buyumlarni oshqozondan olish mumkin.

Baland kengliklarda qutb yog'dusining ko'plab hosil bo'lishi, yer magnit maydonining ta'siri bilan tushuntiriladi (7.11-rasm).



7.11-rasm. Yerning magnit maydoni.

Kosmosdan yerga uchib kelayotgan zaryadli zarralar yerning magnit ta'sir doirasiga tushadi va maydonning kuch chiziqlari bo'ylab, ularga «o'ralgan» holda harakatlanadi. Yer magnit maydonining 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 hasharotlar populatsiyasi, 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. Leykotsit va eritrotsitlar ko'payadi. 3. Miyaning elektr aktivligi oshadi. 4. Hayvonlar harakatchanligi oshadi. Baliq va qushlarning $4000 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}$ magnit maydonda to'la harakati to'xtaydi. Yerning o'rtacha magnit maydoni $0,7 \cdot 10^{-4} \text{ Tl}$ dan iboratdir.

Qonning turli tomirlardagi tezligini o'lchash uchun maxsus elektromagnit hisoblagich ixtiro qilingan. Bu qurilma zaryadlangan zarralarning magnit maydonidagi harakatiga asoslangan. Qonda juda ko'p zaryadli ionlar mavjud. Masalan, qon plazmasida 145 mmol/l Na^+ ionlari, 125 mmol/l Cl^- ionlari mavjud.

Boshqa ionlar konsentratsiyasi ancha kam, faraz qilaylik ma'lum miqdor bir zaryadli ionlar arteriyada ϑ 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

$$\vartheta = \frac{U}{Bd} \quad (7.6)$$

Demak, qon harakati tezligini o'lchash uchun potensiallar farqini bilish zarur. d — qon tomiri diametri.

Erkin radikallar — molekula yoki molekulaning bir qismi bo'lib, u kompensatsiyalanmagan 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 xossalariga asoslangan. EPR yordamida biologik tizimlarda erkin radikallarni aniqlash mumkin.

Silliqli sirtli urug'larni (beda, zig'ir, yo'ngichqa) yovvoyi o'tlarning g'adir-budur sirtli urug'lardan tozalaydigan urug' tozalash magnit mashinasini ishlashi ham ferromagnit xossalariga asoslangan. Bu urug'lar aralashmasiga ferromagnit kukunlar aralashtiriladi. Ular yovvoyi o't urug'lari g'adir-buduriga kirib qoladi va elektromagnit barabaniga tortiladi.

Yerdagi hamma tirik jonzor 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, momaqalldiroq vaqti yuzlab marta oshadi.

XX asrda yuqori kuchlanishli elektr liniyalarining ishga tushishi SEM kuchlanganligini $5\text{--}20\text{ kV/m}$ 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 (franklinizatsiya 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 nuqtayi nazardan olganda SEM to'qima va molekulalar tarkibidagi hujayraning qutblanishi 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 molekulalardagi zanjirlarning uzulishiga olib keladi va xromosomalarning ajralishiga sabab bo'ladi.

Xuddi, SEM kabi yerdagi har bir jonzot doimiy magnit maydon (DMM) ta'sirida hamdir. Yerning magnit maydonining kelib chiqish sabablari aniq bo'lmasa-da, 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 molekulalarning 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'zgarish 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 oziqalar 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 MHz dan 10 GHz gachadir. Ammo, ularning intensivligi kichik va, odatda, 10^{-9} W/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 a'zolariga elektromagnit maydon ta'sir qilar ekan. Elektromagnit maydon bioobyekt bilan ta'sirlashganda u, asosan, organizmni isitadi. Chastota 10 MHz 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 uzunlikkacha 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 emotsional holatining o'zgarishiga, ya'ni o'ta agressiv yoki charchagandek hollarga olib kelishi mumkin. Tirik organizm tabiiy elektromagnit maydonidan qo'shimcha ma'lumotlar olishi mumkin. Odam, qurbaqa, hasharotlardagi xususiy elektromagnit maydonlarni o'lchashga imkon bo'ldi. Masalan, asalari 300 Hz chastotali tok impulsi hosil qiladi va unda 10 sm masofada uning qiymati $10 \mu \text{V/m}$ ga teng ekan. Tashqi va xususiy elektromagnit maydonlarning o'zaro ta'siri baliqlar to'planishi, qushlar va hasharotlar 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 kHz, kuchlanishi 20 kV, tok kuchi 15–20 mA bo'lgan impulsli toklar bilan davolash usuliga aytiladi.

Bu usulni 1892-yilda fransuz fizigi va fiziologi J.A.Darsonval taklif qilgan. Veterinariyada uzunligi 100 mikrosekund vaqt oralig'ida 0,02 sekund impuls hosil qiladigan Iskra-1 va «Ultratan» apparatlari ishlatiladi. Impuls generatoridan 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 a'zolarining unga reaksiyasi kuzatiladi. Elektrod ta'siri zonasida arterial kapillar 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 1–1,5 MHz, 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°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 a'zolariga 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 perpendikular joylashtirgan ma'quldir.

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 a'zolarini, nefritlarni, artritlarni, jigar kasalliklarini, jinsiy a'zolari va boshqalarni davolashda foydalaniladi.

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 isiydi (masalan, qon, jigar). Diatermiyadan usulning ustunligi, ancha yuqori chastotali toklar, ya'ni 10–15 MHz, ishlatilganligi uchun tananing birday isishiga erishadi.

Induktiv g'altak bir necha o'ramdan iborat bo'lib, u isitiladigan qismlarga joylashtiriladi.

O'YCh terapiyada chastotasi 30–300 MHz bo'lgan elektr maydonlari ishlatiladi. Hayvon yoki uning a'zosi tebranish konturidagi kondensator orasiga joylashtiriladi. O'YCh terapiyada suyak, to'qimalar, yog' to'qimalari, qon aylanuvchi tugunlarga qaraganda (limfa tugunlari) kuchliroq isiydi. O'YCh terapiyada teri maydon uchun shaffof hisoblanadi. Bu holda issiqlik effekti uncha kuchli emas. O'YCh elektr maydoni fermentlarni aktivlashtiradi. Katta O'YCh maydon qaytmas jarayonlarga ham olib kelishi mumkin. Masalan, kalamushlarni katta intensivlikdagi O'YCh maydon bilan nurlantirganda ularning lablari va burunlarining shishishi kuzatilgan. Yana kattaroq maydonlarda kalamushlar halok bo'lib, o'lishigacha olib kelgan.

Veterinariyada O'YCh terapiyadan bo'g'inlardagi shamollashlar, mastit, gaymorit, furunkul kasalliklarini davolashda foydalaniladi.

Kichik to'liqinli terapiya. Bu holda o'ta yuqori chastotali elektromagnit to'liqinlar ishlatiladi, ya'ni santimetr va detsimetrli to'liqinlar diapazoni elektromagnit to'liqinlarni magnetron generatorlar hosil qiladi. Bu to'liqin 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 $10\text{W}/\text{sm}^2$, DMT uchun $40\text{mW}/\text{sm}^2$. Kichik to'liqinlar 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 a'zosini kesish yoki ta'sir qilishga aytiladi. Diatermiyadan bu usulning farqi katta tok kuchi ishidadir. Bu holda tok zichligi $40\text{kA}/\text{m}^2$ gacha yetishi mumkin. Elektrojarrohlik usuli yordamida qon tomirlarini birlashtirishda, alveolalarni tikishda, ko'z to'r pardasini payvandlashda ishlatiladi. Elektrodlar ingichka igna yoki skalpel shaklida bo'ladi. Elektrojarrohlikning

odatdagi jarrohlik usullaridan quyidagi afzalliklari mavjud: kam qon yo'qotiladi, operatsiyadan keyin og'riqlarning kam bo'lishi, bakteritsid ta'siri, boshqa usullarga qaraganda elektrodlar shaklini o'zgartirib ko'p maqsadlarda ishlatish mumkin.

Sinov savollari

1. *Elektr maydon nima? Maydon kuchlanganligi haqida tushuncha bering.*
2. *Potensiallar farqi, uning o'lchov birligi nima?*
3. *Moddalarning elektr xossalarini ayting.*
4. *Elektrostatik induksiya hodisasi deb nimaga aytiladi?*
5. *Yarimo'tkazgich va ularning xossalarini tushuntiring.*
6. *Dielektrik kirituvchanlik nimani ko'rsatadi?*
7. *Tirik organizm dielektrik kirituvchanligi organizm holatiga qanday bog'liq?*
8. *Termistorlar va ularning qo'llanilish sohalarini tushuntiring.*
9. *Qanday suyuqliklar elektrolitlar deyiladi?*
10. *Elektroliz va uning qonunlari nimalardan iborat?*
11. *Tirik organizmga o'zgarmas tokning ta'siri qanday bo'ladi?*
12. *Elektroforez nima?*
13. *Uyg'onish tokining ta'sir etish vaqti nima?*
14. *Biopotensiallar nima? Tinchlik va qo'zg'alish biopotensiallarini tushuntiring.*
15. *Biopotensiallarni o'lchash (EKG) usullari.*
16. *Hujayra biopotensial nima?*
17. *Magnit maydoni nima?*
18. *Ersted va Amper tajribalarini tushuntiring.*
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 a'zosiga qanday ta'sir qiladi?*
24. *Magnit zondlari nima?*
25. *Magnitoterapiya nima?*
26. *Erkin radikallarni aniqlashda magnit maydonining roli nimadan iborat?*
27. *Elektroterapiya nima?*

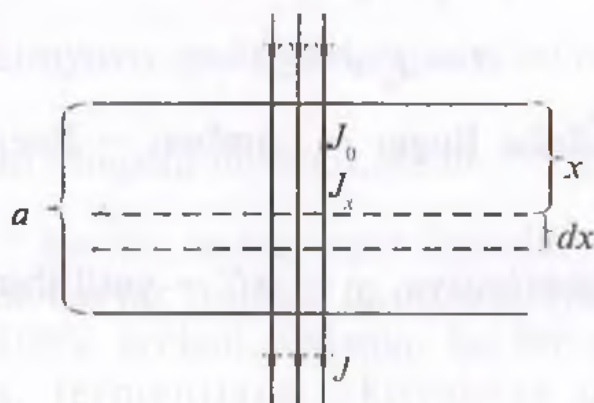
VIII BOB

KVANT BIOFIZIKASI

8.1-§. 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 (8.1-rasm).

Yorug'lik intensivligi deb nurga perpendikular 1 m^2 yuzaga 1s vaqt davomida olib o'tilgan energiya miqdoriga aytiladi. Biror shaffof moddadan α -qalinlikdagi qatlam ajratamiz. Yorug'likning bu qatlamdanda o'tishi tufayli intensivligining o'zgarishi (8.1-formula) Buger qonuni bilan ifodalanadi.



8.1-rasm. Yorug'likning yutilish qonunini chiqarish uchun chizma.

$$I = I_0 e^{-\alpha x}. \quad (8.1)$$

Bunda I_0 va I — tushayotgan va qalinligi x bo'lgan moddadan chiqayotgan yorug'lik intensivligi α -yutilish koeffitsiyenti bo'lib, yorug'lik to'lqin uzunligi modda kimyoviy tarkibiga va modda holatiga bog'liq bo'lib, intensivlikka bog'liq bo'lmaydi.

$x = \frac{1}{\alpha}$ qatlamda intensivlik e — marta kamayadi, normal sharoitda havo uchun $\alpha \cdot 10^{-3} \text{ m}^{-1}$, shisha uchun 1 m^{-1} , metallar uchun 10^6 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, ultrabinafsha nurlarni deyarli butunlay yutadi. Tirik o'simliklarning barglari ko'rinuvchi spektrning yashil ($0,52 < \lambda < 0,6$ mk) va to'q qizil ($\lambda > 0,7$ mm) sohalaridan tashqari butun sohani kuchli yutadi. Bunday yutishga barglardagi pigment, xlorofill sabab bo'ladi.

Yorug'likning yutilishi, uning molekular bilan o'zaro ta'siri tufayli sodir bo'lgani uchun yorug'likning yutilish qonunini molekulaning ba'zi bir xarakteristikalar bilan bog'lash mumkin. n -molekula konsentratsiyasi, σ -molekula yutilishining effektiv kesimi.

U holda

$$I = I_0 e^{-\sigma n x} \quad (8.2)$$

yoki

$$I = I_0 e^{-\chi c x} \quad (8.3)$$

(8.19), (8.20) formulalar Buger — Lambert — Beer qonunini ifodalaydi.

$C = \frac{n}{Na}$ — molar konsentratsiya, $\chi = \alpha C$ — yutilishining tabiiy molar ko'rsatkichi.

$$I = I_0 e^{-\alpha c x} \quad (8.4)$$

χ — yutilishning molar ko'rsatkichi

$$\tau = \frac{I}{I_0} \quad (8.5)$$

Shaffof moddalari yorug'likning o'tkazish koeffitsiyenti (8.22) formula bilan ifodalanadi:

$$D = \lg \frac{I_0}{I} = \frac{1}{2,3} \alpha C x \quad (8.6)$$

O'tkazish koeffitsiyenti teskari qiymatining o'nli logarifmiga eritmaning optik zichligi deyiladi.

Buger — Lamber — Beyer qonuniga asoslanib, bo'yalgan 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. Fotonni 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:

$$f_1 \Delta t_1 = f_2 \Delta t_2. \quad (8.7)$$

Fotokimyoviy reaksiya darajasini ko'rsatuvchi kattalik reaksiyaning kvant chiqishi deyiladi, ya'ni $\varphi = \frac{N}{N_y} N_y$ — 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 aktivatsiya 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 molekulalar soni fotonlar soniga proporsionaldir.

Aminokislota, oqsil, nuklein kislotalarni katta dozadagi ultrabinafsha 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 ultrabinafsha nurlar ta'sirida stratosferada kislorod molekulalarining dissotsiatsiyasi kuzatiladi:

$O_2 + h\nu \rightarrow 2O$. Hosil bo'lgan aktiv kislorod atomlari kislorod molekulalari bilan birlashib, ozon hosil qiladi: $O + O_2 \rightarrow O_3$. Ozonning parchalanishi ham fotokimyoviy reaksiya tufayli ro'y beradi.

$O_3 + h\nu \rightarrow O_2 + O$. 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 ultrabinafsha nurlarning kam kelishi tufayli reaksiyalar amalga oshmay qoladi. Quyoshdan kelayotgan ultrabinafsha nurlarning to'liq uzunligi 290 nm dan kamini stratosfera ozon qatlami to'liqligicha yutib oladi. Agar bu to'liq uzunlikli nurlar Yerga yetib kelganda edi, barcha tirik jonzorot halok bo'lar edi. Ozon infraqizil sohadagi 10 mkm to'liq uzunlikli nurlarni yutuvchi qatlamga ham egadir. Aynan shu to'liq uzunlik Yerdagi issiqlik nurlanishiga mos keladi. Demak, ozon 20% issiqlik nurlanishni ushlab turadi va issiqlik ekrani bo'lib xizmat qiladi. Natijada Yerdan issiqlikning koinotga tarqalishiga to'sqinlik qiladi. Afsuski, keyingi yillarda aviatsiyadan foydalanish va sanoat chiqindilari ta'sirida ozon qatlami qisman yemirilib bormoqda. Arktika ustida kengligi 5 mln. km² 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.

$$I = I_0 e^{-mI}, \quad (8.8)$$

bunda m — sochilish ko'rsatkichi.

Reley qonuniga binoan sochilgan nur intensivligi to'liq uzunligi to'rtinchi darajasiga teskari proporsionaldir:

$$I \sim \frac{1}{\lambda^4}. \quad (8.9)$$

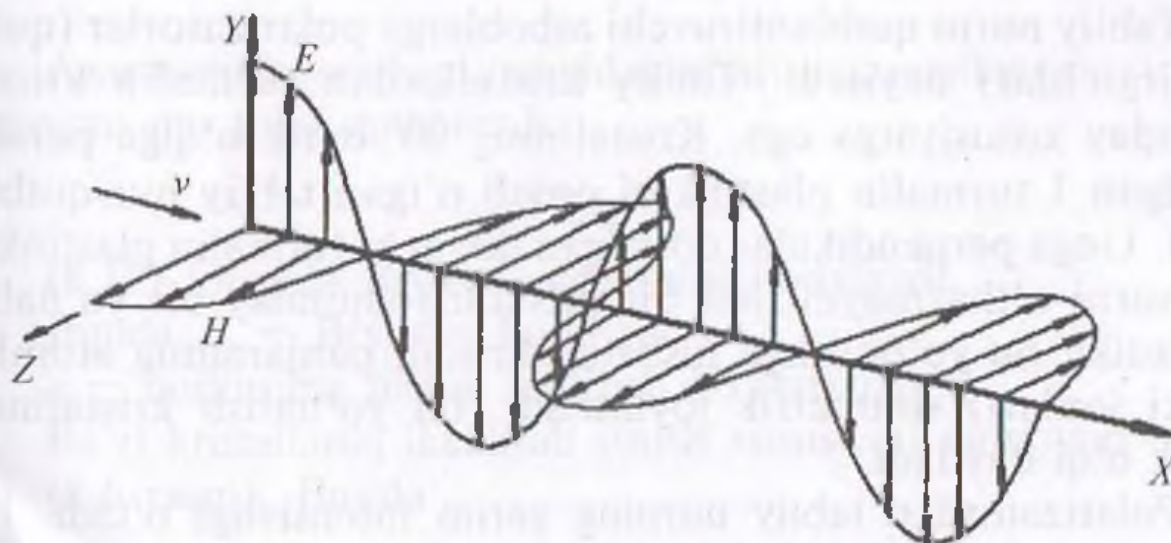
Osmonning ko'k rangi ham yorug'likning atmosfera zarralaridan sochilishiga sabab bo'ladi. Quyoshning botishidagi qizil rangi, ko'k va binafsha nurlarning qiya tushganda biosfera qatlamlari ichida ancha chuqurroq masofaga sochilishi natijasida oq yorug'lik spektrining o'zgarishidir. Infraqizil nurlar yanada kamroq sochiladi.

Maksvell nazariyasiga binoan elektromagnit to'liqlar ko'ndalang, ya'ni elektr va magnit maydon kuchlanganliklari E va H tebranishlari to'liq tarqalish yo'nalishiga perpendikularidir. Qutblanish qonunlarini tushuntirish uchun bulardan bittasini, odatda, elektr maydon kuchlanganlik $\vec{E}$ vektorining o'zini tutishini bilish yetarli.

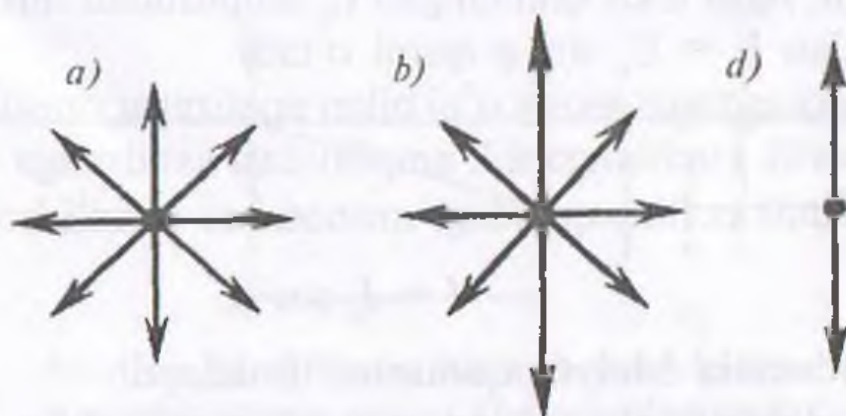
Yorug'lik ko'plab atomlar nurlanishi to'plamidan iboratdir. Atomlar esa bir-biriga bog'liq bo'lmagan holda nurlaydi (8.2-rasm).

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 $\vec{E}$ ($\vec{H}$) vektor tebranishi ajratilgan yorug'likka qutblangan yorug'lik deyiladi. Qutblanish darajasi quyidagi kattalik bilan aniqlanadi (8.3-rasm):



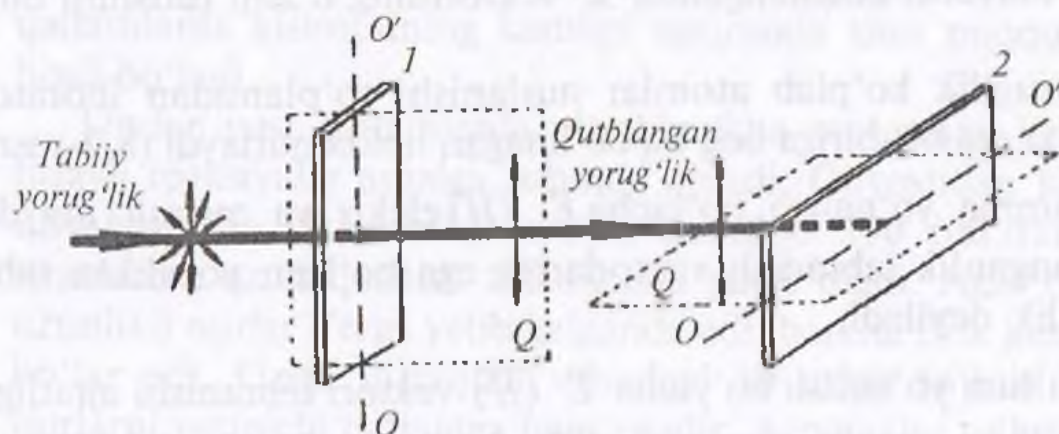
8.2-rasm. Elektromagnit to'liqlarning tarqalishi.



8.3-rasm. Tabiiy (a) , qisman qutblangan (b) va to'la qutblangan (d) nurlar.

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}} \quad (8.10)$$

$I_{\max}$ va $I_{\min}$ lar E elektr maydon kuchlanganlik vektorining o'zaro perpendikular tekisliklardagi intensivligi (8.4-rasm).



8.4-rasm. Yorug'likning qutblanishi.

Tabiiy nurni qutblantiruvchi asboblarga polarizatorlar (qutblantirgichlar) deyiladi. Tabiiy kristallardan turmalin kristali shunday xususiyatga ega. Kristallning OO' optik o'qiga parallel kesilgan 1 turmalin plastinkasi orqali o'tgan tabiiy nur qutblanadi. Unga perpendikular 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.

Polarizatoridan tabiiy nurning yarim intensivligi o'tadi. Polarizator 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.

φ — bu polarizator asosiy o'qi bilan analizator orasidagi burchak.

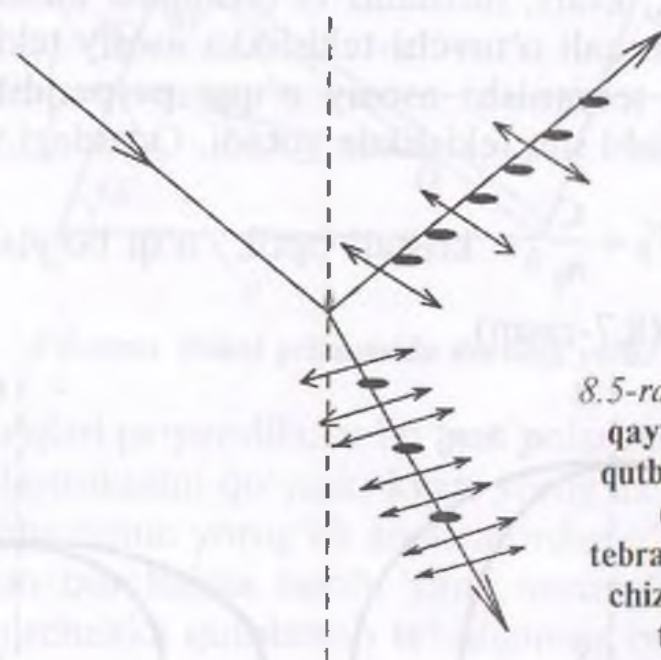
Intensivlik kuchlanganlik amplitudasi kvadratiga proporsional $I \sim E^2$ bo'lgani uchun quyidagi munosabat o'rinli bo'ladi:

$$I = I_0 \cos^2 \varphi. \quad (8.11)$$

(8.11) formula Malyus qonunini ifodalaydi.

Ikki dielektrik chegarasidan qaytuvchi tabiiy nur qisman qutblanadi. Qaytgan nurda tushish tekisligiga perpendikular tebra-

nishlar ko'p bo'lsa, singan nurda tushish tekisligiga parallel nurlar ko'p bo'ladi (8.5-rasm).



8.5-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:

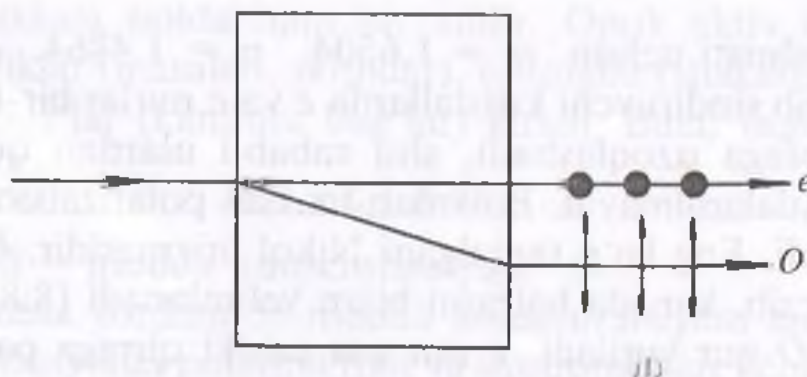
$$\operatorname{tgi}_b = n. \quad (8.12)$$

(8.12) formula Bryuster qonunini ifodalaydi.

Bunda: i_b — Bryuster burchagi;

n — muhitning nisbiy sindirish ko'rsatkichi.

Ba'zi kristalllarda ikkilanib sinish xususiyati namoyon bo'ladi (8.6-rasm). Bunda



8.6-rasm. Yorug'likning ikkilanib sinish hodisasi:

e — odatdaginas nurlar; O — odatdagi nurlar;

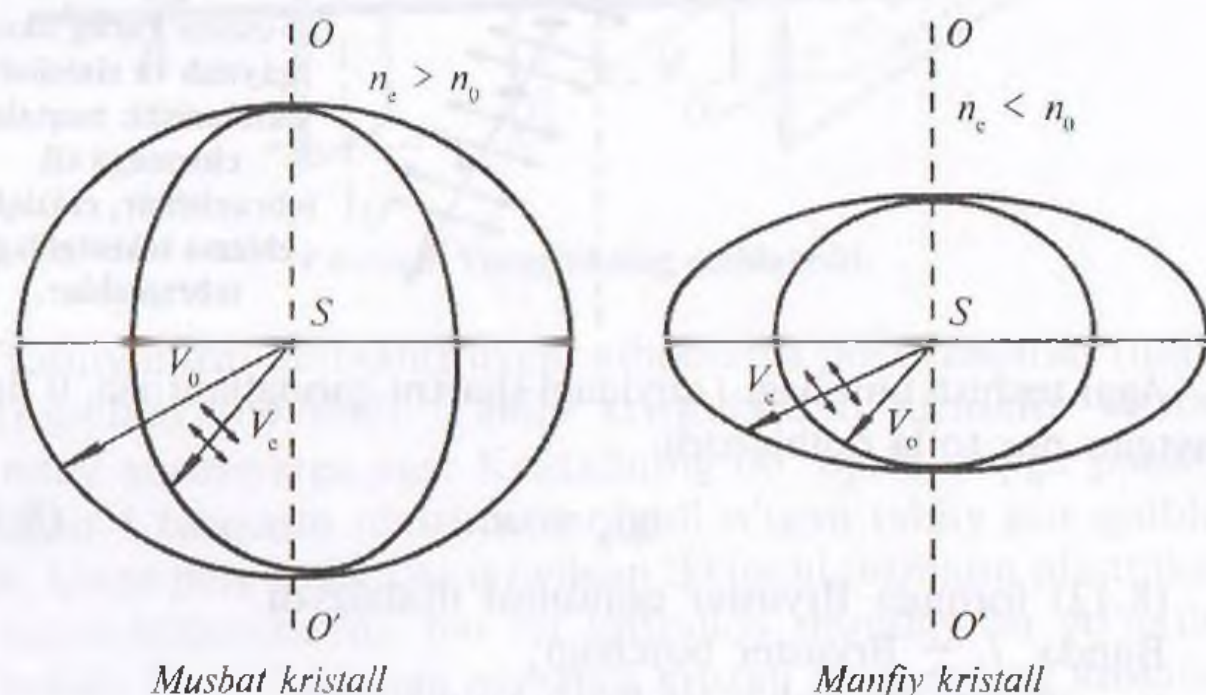
O uchun sinish qonuni o'rinli;

e uchun sinish qonuni bajarilmaydi.

o va e nurlarning tarqalishi bir xil bo'lgan o'qlarga kristallning optik o'qi deyiladi. Bunday o'q bitta bo'lsa, bir o'qli kristall deyiladi. Ularga Ca CO_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 perpendikular bo'lsa, e nurning tebranishi shu tekislikda yotadi. Odatdagi va odatdagimas

nurlar tezligi $V_0 = \frac{C}{n_0}$ — kristall optik o'qi bo'ylab ikkalasi ham bir xil bo'ladi (8.7-rasm).



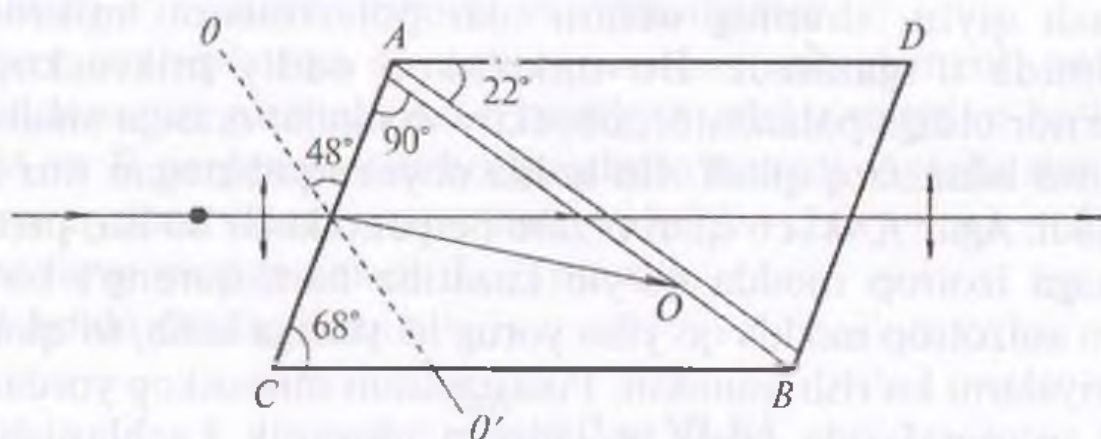
8.7-rasm. Musbat va manfiy kristallar. n_0 — oddiy nur uchun sindirish ko'rsatkichi.

Island shpati uchun $n_o = 1,6504$, $n_e = 1,4864$.

Ikkilanib sindiruvchi kristalllarda e va o nurlar bir-biridan juda kam masofaga uzoqlashadi, shu sababli ulardan qutblagichlar sifatida foydalanilmaydi. Bulardan maxsus polarizatsion prizmalar tayyorlanadi. Eng ko'p tarqalgani Nikol prizmasidir. Ikkita island shpatini kesib, Kanada balzami bilan yelimlanadi (8.8-rasm).

Unda O nur yutiladi, e nur esa pastki qirruga parallel holda chiqadi.

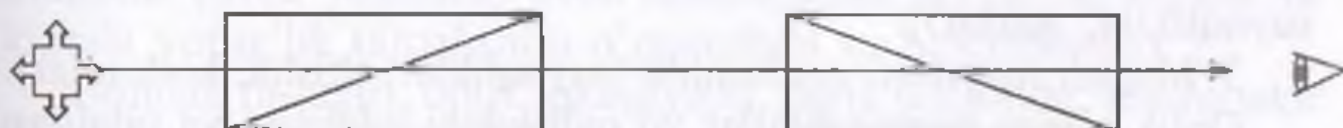
O'ziga tushgan tekis qutblangan nurni qutblanish tekisligida buradigan moddalarga optik aktiv moddalar deyiladi (kvars).



8.8-rasm. Nikol prizmasida nurning yo'li.

Agar optik o'qlari perpendikular bo'lgan polarizator va analizator orasiga kvars plastinkasini qo'ysak, kvars yorug'lik nuri qutblanish tekisligini burgani uchun yorug'lik analizatordan o'tadi (8.9-rasm).

A ni ma'lum burchakka burib, yana qorong'ilik hosil qilish mumkin. Bu burchakka qutblanish tekisligining buralish burchagi deyiladi.



8.9-rasm. Polarizator va analizatorda nurning yo'li.

Aniq to'lqin uzunlik uchun $\alpha = \alpha_0 \cdot l$, bunda l — optik aktiv moddada nurning yo'li.

α_0 — aylanish doimiysi (grad/mm). Ikki xil kvars mavjud, o'ngga (soat strelkasi bo'yicha) va chapga (soat strelkasiga teskari) buruvchi, ikkala holda ham bir xildir. Optik aktiv moddalarga toza suyuqliklar (masalan, skipidar), eritmalar (shakarning suvdagi eritmasi), bug'lar (kamfora bug'lar) kiradi. Bular uchun

$$\alpha = [\alpha_0] S \cdot l. \quad (8.13)$$

Bunda S — modda konsentratsiyasi.

Bu formula yordamida modda konsentratsiyani aniq o'lchash mumkin. Tibbiyotda polarimetrlar 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 polarizatsion mikroskop yordamida o'rganiladi. Bu mikroskop oddiy mikroskopdan kondensor oldiga polarizator, obyektiv va okular orasiga analizator qo'yilishi bilan farq qiladi. Bu holda obyekt qutblangan nur bilan yoritiladi. Agar R va A o'qlari o'zaro perpendikular bo'lsa, predmet stolchaga izotrop modda qo'yib kuzatilsa ham qorong'i bo'ladi. Ammo anizotrop modda qo'yilsa yorug'lik yuzaga kelib, to'qimalar, bakteriyalarni ko'rish mumkin. Polarizatsion 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 izotrop 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)].

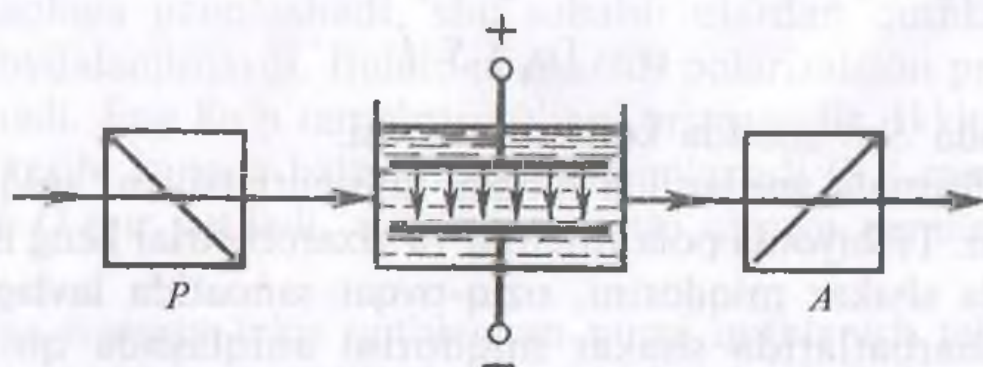
3. Magnit maydoni yordamida (suyuqliklar, shisha, kolloidlar).

Optik o'qiga perpendikular yo'nalishdagi odatdagi va odatdan tashqari nurlar sindirish ko'rsatkichlari 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).

δ — normal kuchlanish. K_1 K_2 K_3 — moddani xarakterlovchi doimiyliklar, E va N — elektr va magnit maydon kuchlanganliklari.

Elektr maydoni holini qaraymiz (8.10-rasm).



8.10-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 perpendikular 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 fazalar farqi

$$\varphi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = 2\pi VLE^2. \quad (8.14)$$

Bunda $V = K_2/\lambda$ — Kerr doimiysi.

Kerr effekti elektr maydon ta'sirida moddalar optik anizotropiyasi — har xil yo'nalishlar bo'yicha suyuqlik molekulalarining har xil qutblanishini tushuntiradi. Bu jarayon inersiyasiz 10^{-10} s da modda izotrop holatdan anizotrop 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 tarqalishini o'rganishda va hokazolarda).

Bundan tashqari, optik lokatsiyada, optik telefonda, mashinalar faralariga qutblagich qo'yib, qarama-qarshi yo'nalishda kelayotgan avtomobil chiroqlarini o'zaro perpendikular tekislikda 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 kristallchalar — qutblovcilar, masalan, gerappatit kristallchalari (yod xinin sulfati) bo'ladi.

Gerappatit barcha kristallchalarining optik o'qlari qutblagich (polaroid)ni tayyorlashda bir yo'nalishda oriyentirlanadi. Qutblagich plyonkasi unchalik qimmat emas, juda elastik, yuzi katta, ko'rinuvchi yorug'likning barcha to'lqin uzunliklarini deyarli birday (juda oz) yutadi.

8.2-§. Quyosh nurining biologik ahamiyati

To'liq uzunligi 400 nm dan 100 nm gacha bo'lgan elektromagnit to'liqlar *ultrabinafsha nurlanish* deyiladi. Uning to'liq uzunligi ko'rinadigan nurlar va yumshoq rentgen nurlari o'rtasida joylashgan. To'liq uzunligi 100 nm dan kichik bo'lgan to'liqlar yupqa havo qatlamida ham kuchli yutiladi. Shu sababli amaliyotda ultrabinafsha nurlarning qolgan qismi qo'llaniladi. Fizioterapiya va fotobiologiya bo'yicha xalqaro kongressda ultrabinafsha nurlanish sohasini shartli uchga bo'lish kelishib olingan. I-UBNA ($\lambda > 400 \div 315$ nm), UBN-V ($\lambda = 315 \div 280$ nm), *UFN - C* - ($\lambda = 280 \div 100$ nm) quyosh spektrining 9 foizi ultrabinafsha nurlanishdan iborat, lekin Yer sirtida 280 nm dan past to'liq uzunlikli nurlanishlar yo'q va UBN-V dan Yerga atigi 0,1% yetib keladi. Bunga sabab atmosferadagi azot va ozon qatlami ularni kuchli yutishidir. Agarda UBN-V va UBM-S yutilmaganda edi, yerdagi hamma jonzorot 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 ultrabinafsha nurlar chiqarishi mumkin. Lekin ulardan intensivligi katta bo'lgan qisqa to'liqlar chiqishi 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'liqli nurlar spektrini ultrabinafsha nurlar chiqaruvchi metall bug'larining elektr razryadlari vaqtida hosil qilinadi. Veterinariya amaliyotida 280–380 nm. to'liq beruvchi va bakteritsid (253–265 nm) lampalardan foydalaniladi. Ularni qayd qilish uchun sezgir fotoelementlar, fotoplastinkalar, luminessent moddalardan foydalaniladi.

Ultrabinafsha 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 luminessensiyaning hosil qilishi mumkin.

Ultrabinafsha nurlarning biologik ta'siri kuchli bo'lgani uchun u veterinariyada keng qo'llaniladi. Ultrabinafsha nurlarning biologik ta'siri mexanizmi juda murakkab bo'lib, hozirgacha aniqlan-

magan. Bu holda yutilish mexanizmi issiqlik effekti emas, balki fotokimyoviy reaksiyalardir. Ushbu holda foton ta'sirida molekulalardan elektron chiqib ketadi va oqsil molekulasida 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. Denaturatsiya esa bakteritsid to'liq sohasida kuzatiladi. DNK molekulalaridagi 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 har xil to'liq uzunliklarda halok bo'lishi mumkin. Masalan, stafilakokk 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.

Ultrabinafsha nurlarning bakteritsid ta'siridan yopiq binolarni sterilizatsiya 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 ultrabinafsha nurlar bilan nurlantiriladi. Ultrabinafsha nurlar dezinfeksiyadan tashqari havoni ionlashtiradi ham. Bu holda ozon hosil bo'ladi va molxonadagi yoqimsiz hidlarni kamaytiradi.

Hayvonlarga ultrabinafsha 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 pigmentatsiya, ya'ni kuyish hosil bo'lishidir. Teri pigmenti melanin epidermisning tubida joylashgandir.

Ultrabinafsha nurlanish ta'siridan teri va so'ng qolgan qismlarda modda almashinuvi yaxshilanadi va natijada organizm immuno-biologik holati yaxshilanadi. Shu sababli ultrabinafsha nurlar veterinariyada shamollash kasalliklarini davolashda ishlatiladi.

Ultrabinafsha nurlar ta'sirida D vitamini hosil bo'ladi. Bu esa kalsiy elementining o'zlashtirilishiga imkon beradi. Agarda organizmda D vitamini yetishmasa organizm kalsiyni suyakdan oladi va bu raxit kasalligiga olib keladi. D vitaminining yetishmasligi skeletning o'sishini sekinlashtiradi. D vitamini go'sht, yog'lar tarkibida bo'ladi, lekin uni organizmning o'zida ultrabinafsha nurlar ta'sirida hosil qilish mumkin. Buning uchun organizmni 280—315 nm li ultrabinafsha nurlari bilan nurlantirilishi kerak. Bu narsa buzoqlar va jo'jalarni nurlantirishda ishlatiladi. Oxirgi yillarda hayvonlar qonini UB nurlar bilan nurlantirish yo'li bilan hayvonlarning turli kasalliklarga chalinishining oldi olinmoqda. Buning uchun hayvon venasidan 1 kg massaga 1—2 ml qon olib, ultrabinafsha nurlar bilan nurlantirilib, yana organizmga yuboriladi.

Shuni qayd qilish kerakki, ultrabinafsha nurlarning salbiy ta'sirlari ham ko'p va undan himoyalaniish 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 ko'effitsiyentini oshirish zarur. Buning uchun sun'iy yorug'lik berish kerak. Bunda o'simliklar karbonat angidrid bilan boyib ildizdan suyuq oziqa 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. Ultrabinafsha nurlar tashqi qatlamda fotokimyoviy reaksiyani vujudga keltiradi, buning natijasida qo'ng'ir pigment hosil bo'ladi (kuyish), bu pigment melanin deyiladi va ultrabinafsha nurlarni kuchli yutib, organizmni ularning haddan tashqari

ta'siridan saqlaydi. Ultrabinafsha 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'liqinli ultrabinafsha nurlar kuchli bakteritsid ta'sirga ega.

Bundan binolarning havosini tozalash, sutni sterilizatsiya qilishlarda foydalaniladi. Bu nur kvars lampalar yordamida hosil qilinadi.

Yerga yetib keladigan quyosh nurlarida 0,29 mkm dan qisqa to'liqinli 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 a'zolar bo'ladi.

Bular 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.

8.3-§. Ko'rishning biofizik mohiyati

Ko'rish tizimiga tushgan yorug'lik elektr impulsiga aylanadi va u ko'rish nervlari orqali miyadagi markaziy nerv tizimiga beriladi. Fotoretseptorlar sezgirligi juda yuqori bo'lib, unga tushgan kuchsiz yorug'likni ham elektr impulsiga aylantirib beradi. Yorug'lik ta'sirida retseptor hujayralarida ma'lum biokimyoviy reaksiyalarni hosil qildiradi va harakat potentsiali yuzaga keladi.

Ko'z nafaqat elektromagnit to'liqinni qabul qiladi, balki ularni farqlay oladi ham. Buyum tasvirini va rangini, qanday masofada joylashganini ham aniqlaydi. Tabiat bunga uzoq evolutsiya tufayli erishdi.

Ba'zi umurtqali hayvonlar ham odam kabi ranglarni ajratadi. Masalan, otlar, qo'ylar va cho'chqalar faqat qizil va zangori ranglarni farqlaydi.

Tunda ov qiluvchi hayvonlar, masalan, mushuklar, bo'rilar rangni farqlamaydi. Hayvonlar ultrabinafsha va infraqizil nurlarni farqlay olmaydi. Bunga sabab quyoshdan yerga amalda 290 nm dan kichik to'liqlar yetib kelmaydi. Shu sababli hayvon va odamlarda bu to'liqlar uzunlikni sezuvchi a'zolar rivojlanmagan. Lekin, bundan ancha katta to'liqlar uzunlikli ultrabinafsha nurlarni ham ko'z sezmaydi. Bunga sabab yuqori energiyali ultrabinafsha nurlar ko'zdagi yorug'likka sezgir pigmentlarni buzishidir.

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

IQ nurlarni oladigan bo'lsak, uni hayvonlar tanasining o'zi ham chiqaradi. 37°C da maksimal nurlanish mkm to'liqlar uzunlikka mos keladi. 1 sm² hayvon tanasi 50 mW quvvatli energiyani nurlaydi. Bu esa ko'zga quyoshdan tushadigan energiyadan ancha kattadir.

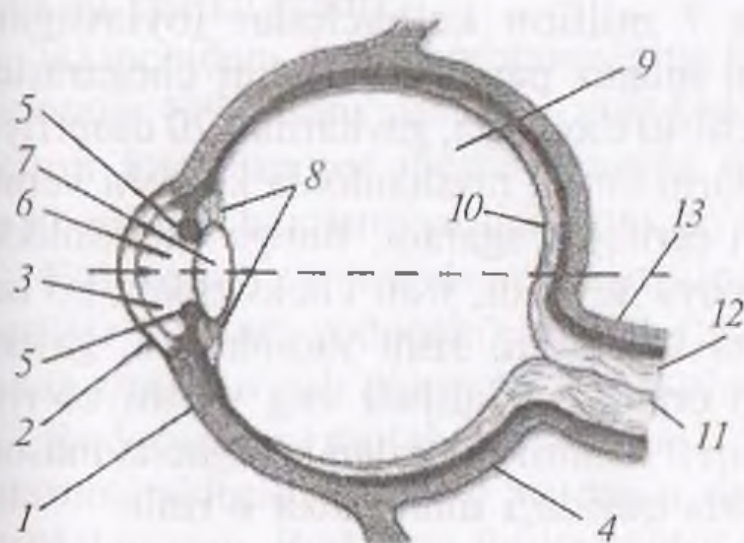
Lekin ko'z ko'rish sohasidan boshqa to'liqlarni ham sezadi. Masalan, odam 300 nm li ultrabinafsha va 950 nm infraqizil nurlarni ham sezadi. Agarda ko'z gavhari olib tashlansa, ko'zning ultrabinafshaga sezgirliги ancha oshadi.

Umurtqali hayvonlar uchun ko'rish spektri odamlarning yaqin fotoretseptor hujayradan keladigan informatsiyani bir bitga teng desak, bir sekundda nerv tolasi orqali miyaga beriladigan impulslar axboroti bitga teng.

Taqqoslash uchun oladigan bo'lsak, televizion kanal sekundiga 102 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 (8.11-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 gorizontal 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 qatlamdan iborat bo'lib, qatlamlarning qalinligi va yorug'likka sezgirligi turlicha. Unda yorug'likni sezuvchi hujayralar mavjud. Ularning cho'zinchoq uchlariga tayoqchalar, konussimon uchlariga kolbachalar deyiladi.



8.11-rasm. Ko'zning tuzilishi:

- 1 – tashqi oqsil qobiq (sklera);
- 2 – muguz parda;
- 3 – konyunktiv;
- 4 – qon tomirli qobiq;
- 5 – rangdor parda;
- 6 – qorachiq;
- 7 – ko'z gavhari;
- 8 – ko'zning oldingi kamerasi;
- 9 – shishasimon modda;
- 10 – ko'ruv nervi;
- 11 – to'r parda;
- 12 – ko'k dog';
- 13 – sariq dog'.

Ko'zning asosiy vazifasi ko'zga tushgan yorug'lik energiyasini (fotoretseptor to'qimalar yordamida) elektr energiyasiga aylantirib ko'rish nervlari yordamida markaziy miyaga yetkazishdir. Fotoretseptor to'qimalar sezgirligi juda kuchli. Odam ko'zi tirik organizmlarda eng mukammal tizimdir. Chuvalchanglarda ko'rish faqat yorug' va qorong'ilikni farqlashdan iborat bo'lib, ularda fokuslovchi qism yo'q. Molluskalarda 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 18° atrofida. Tayoqchalar ko'zning hamma sirtida bir tekisda joylashgan bo'lib, asosan, oq-qora retseptor 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 mm^2 bo'lgan ko'rish nervi ketadi, u esa million nerv tolalariga bo'linadi. Odam ko'zida 10 ta qatlam bo'lib, fotoretseptor to'qima eng oxirgisi hisoblanadi. Fotoretseptor 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'rish kerak. Buning uchun ko'z gavhari egriligi o'zgaradi. Bunga «keskinlikka to'g'rilanish» — akkomodatsiya 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 B , undan ko'zgacha masofa L va ko'rish burchagi orasida quyidagi munosabat o'rinli:

$$B = L\beta \text{ yoki } \beta = \frac{B}{L}. \quad (8.15)$$

Bu ko'zning ajrata olish qobiliyati taxminan $1'$ ga teng. Bu esa eng yaxshi ko'rish masofasi uchun ikki nuqta orasidagi masofa 70 mkm ga teng bo'lishini ko'rsatadi.

Bu holda to'r pardada 5 mkm tasvir hosil bo'ladi. Yaqindan ko'rishda akkomodatsiya 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 ko'ruvchi ko'zni tuzatish uchun yig'uvchi (musbat) linzalar ishlatiladi.

Tayoqchanning tuzilishi 8.12-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 membranalari bilan to'ldirilgan. Bu membranalarda yorug'likning birlamchi sezish jarayoni

boshlanadi. Shuning uchun disk membranalari fotoretseptor membranalar deb ataladi.

Barcha biomembranalar singari ular lipidlar va oqsillardan tashkil topgan, biroq disk membranalari uchun farq qildiruvchi ikkita muhim jihati mavjud:

birinchidan, uning asosiy oqsil tashkil etuvchisi bo'lib, ko'rish pigmenti — rodopsin xromoglikoproteidi hisoblanadi (uning konsentratsiyasi fotoretseptor membranada umumiy oqsilning 90%ini tashkil etadi);

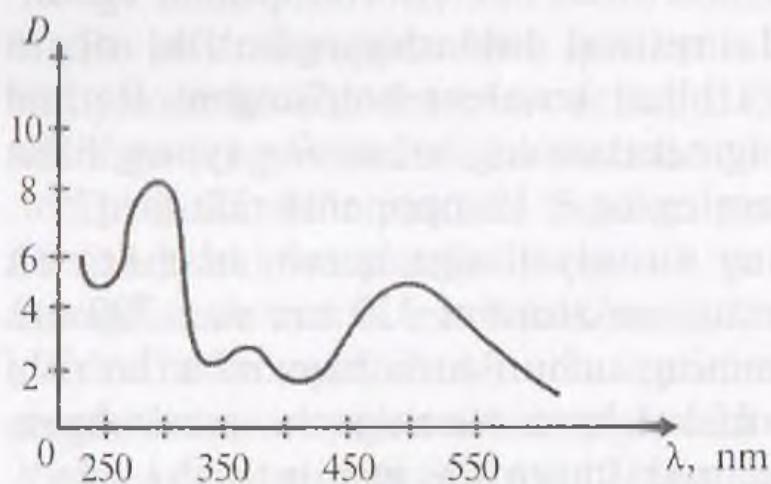
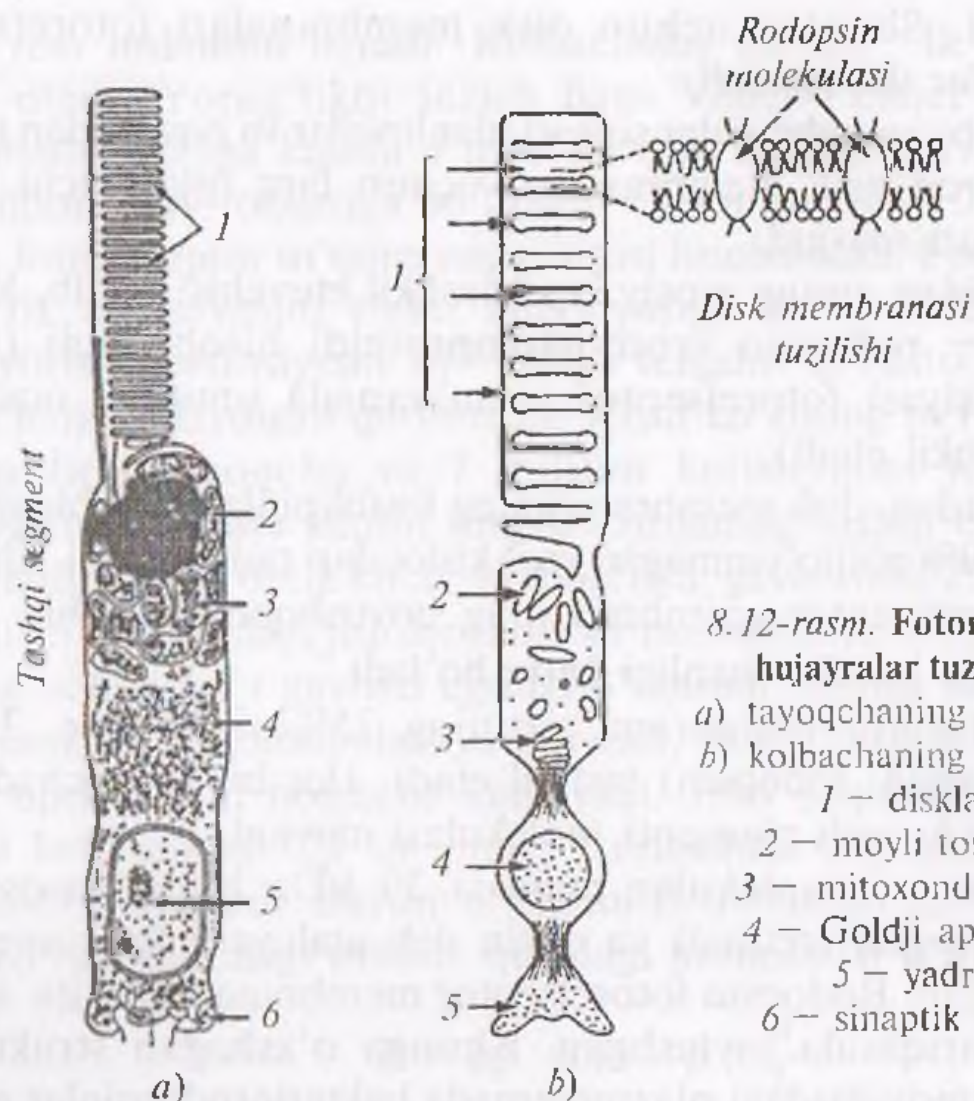
ikkinchidan, disk membranasining fosfolipidlari tarkibidagi yog' kislotalar 40% polito'yinmagan yog' kislotalari tashkil etadi. Shuning uchun fotoretseptor membrananing qovushqoqligi kichik bo'lib (~ 30 mPas), harakatchanligi katta bo'ladi.

Fotoretseptor membrana sirtining 75%ini lipidlar, 25%ini oqsillar (asosan, rodopsin) tashkil etadi. Har bir tayoqchada 109 tadan ortiq ko'rish pigmenti molekulasini mavjud.

Rodopsin — molekular massasi 39 kDa bo'lib, asosan, A vitamini aldegidi (retinal) va opsin deb ataluvchi lipoproteindan tashkil topgan. Rodopsin fotoretseptor membranada yettita spiralli ustunlar tariqasida joylashgan. Shunga o'xshagan strukturaga galofill bakteriyalardagi plazmolemeda bakteriorodopsinlar egadir. Lipid qo'shqatlami 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 nm dan 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.

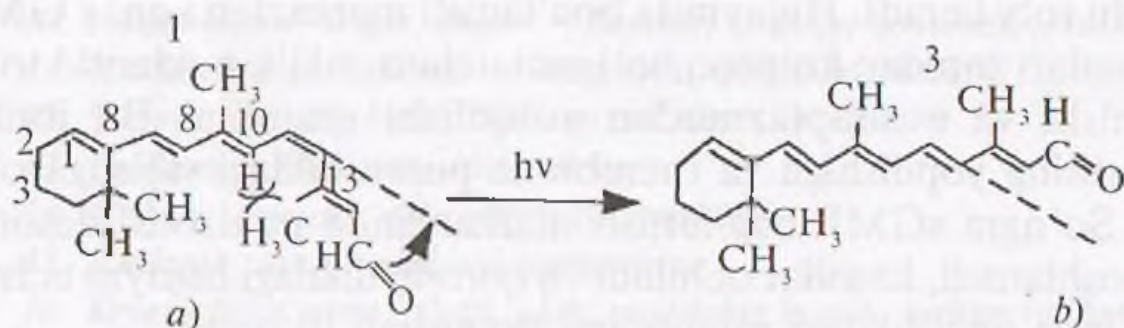
Rodopsin ultrabinafsha nurlarni ham yaxshi yutadi ($\lambda_{\max} = 278$ nm), biroq bu yutilish maksimumi retinalga emas, opsin tarkibiga kiruvchi aminokislotalar (triptofan va tirozin)ga bog'liq (8.13-rasm).

Biroq ultrabinafsha nurlar ko'zning to'ridagi rodopsinni qo'zg'ata olmaydi, chunki bu nurlarni ko'zning singdiruvchi muhiti yutib qoladi.



Qorong'ilikda 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 izomerga – to'la transretinalga o'zgartirish kerak. Yorug'lik ta'siridagi bunday o'zgartirishga fotoizomerlash deyiladi (8.14-rasm).



8.14-rasm. **Retinal fotoizomerlanishi sxemasi:**
11 sisretinal (a) ning to'la transretinal (b) ga aylanishi.

Fotoizomerlash — ko'rish aktidagi birinchi va yagona fotokimyoviy reaksiyadir. U alohida rodopsin molekulasida ichida ro'y beradi va fotosintezdan farqli o'laroq kimyoviy reaksiyalar bilan bog'liq bo'lmaydi. Ko'rishning fotosintezdan yana bir farqi shundaki, rodopsin molekulasida orasida energiya o'tishlari mumkin emas, chunki fotoretseptor membranada ular bir-biridan 7 nm masofada joylashgan. Fotoizomerlash tufayli ko'rish hissiyoti paydo bo'lishiga rodopsin molekulasining konformatsion o'zgarishi sababchi bo'ladi. 11-sisretinal fazoviy holda opsin aktiv markazi tuzilishiga to'g'ri keladi. Transizomer 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 sis shakliga qaytadi. Fotoizomerlashga teskari bunday jarayon *reizomerlash* deb ataladi. Har bir tayoqcha bir sutkada 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 fotoizomerlanishi tufayli opsinda paydo bo'ladigan konformatsion o'zgarishlar fotoretseptor membrananing fizik-kimyoviy xossalarini o'zgartiradi. Buning natijasida fotoretseptor hujayraning membrana potensialida o'zgarishlar ro'y beradi. Qorong'ilikda hujayrada erkin siklik guanozinmonofosfat (s GFM) 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 u sitoplazmadan yo'qolishi mumkin. Bu ionlar kanallarining yopilishiga va membrana potentsialdagi siljishga olib keladi. So'ngra sGMF 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-sisretinalga ega, ammo pigmentning oqsil qismida farq bo'lgani uchun, kolbachalar pigmenti yodopsin deb ataladi. Kolbachalarning tashqi segmenti berk bo'lmagan disklardan tashkil topgan (8.12-rasm, b). 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.

Sinov savollari

1. Yorug'lik tabiati haqida umumiy ma'lumotlar bering.
2. Geometrik optika qonunlarini ayting.
3. Yorug'likning to'la ichki qaytish hodisasi nima?
4. To'la ichki qaytishdan tibbiyot va veterinariyada qo'llanilishi sabablarini tushuntiring.
5. Refraktometrlar va ulardan foydalanish sohalarini ko'rsating.
6. Endoskopl va ulardan foydalanish sabablarini tushuntiring.
7. Yoritilganlik va uning o'lchov birligi nimadan iborat?
8. Yorug'lik kuchi va uning o'lchov birligi qanday?
9. Ravshanlik va uning o'lchov birligi qanday?

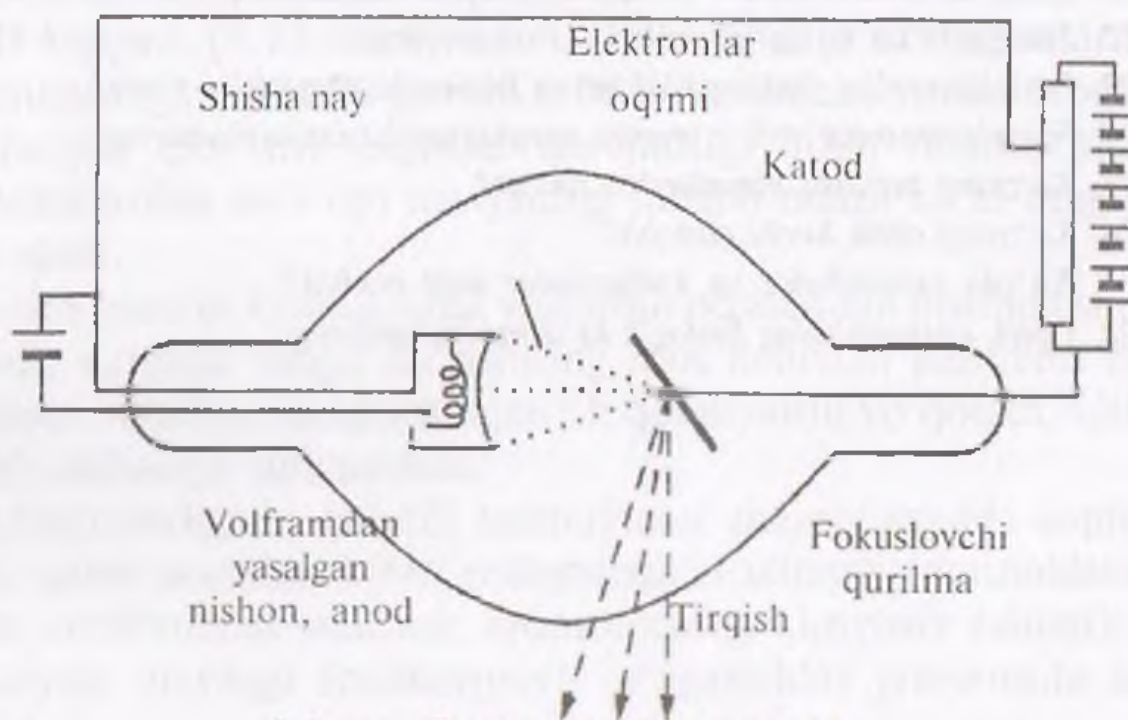
10. Yutilish nima? Buger, Buger — Lambert — Beyer qonunlarini tushuntiring.
11. Yutilishning qo'llanilishi va ahamiyati nimadan iborat?
12. Quyosh nurining biologik ahamiyati nimadan iborat?
13. Qutblanish hodisasini tushuntiring.
14. Malyus, Bryuster qonunlarini tushuntiring.
15. Ikkilaniy sinish hodisasini tushuntiring.
16. Keyer effekti nima? Optik aktiv moddalar haqida tushuncha bering.
17. Fotobiologik jarayonlarni tushuntiring.
18. Ko'rinadigan, infraqizil va ultrabinafsha 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 qonunlarini tushuntiring.
23. Fotoelementlar, fotoqarshiliklar va fotokuchaytirgichlar nima?
24. Fotoelementning volt — amper xarakteristikasini tushuntiring.
25. Ko'zning tuzilishi nimakardan iborat?
26. Ko'zning optik kuchi qancha?
27. Ko'zda tayoqchalar va kolbachalar soni nechta?
28. Optik nurlanishning biologik ta'sirini tushuntiring.

IX BOB

ATOM TUZILISHI VA NURLANISHI

9.1-§. Rentgen nurlari, xossalari va qo'llanilish sohalari

Rentgen nurlari deb to'liqin uzunligi 80 nm dan 10^{-6} nm gacha bo'lgan elektromagnit to'liqinlariga aytiladi. Rentgen nurlari 2 xil bo'ladi, (tormozli) va qattiq (xarakteristik). Rentgen nurlari rentgen trubkalarida hosil qilinadi (9.1-rasm).



9.1-rasm. Rentgen trubkasi tuzilishi.

Havosi so'rilgan (10^{-7} mm sim. 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'liqinli elektromagnit to'liqinlar (rentgen nurlari) chiqadi. Bunda turli elektronlar turlicha tezlikka ega bo'lgani uchun hosil bo'layotgan rentgen nurlarining to'liqin 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:

$$eU = h\nu_{\max} = \frac{hc}{\lambda_{\min}} \quad (9.1)$$

$$\lambda_{\min} = \frac{hc}{eU} \quad (9.2)$$

Qisqa to'lqin uzunlikka ega rentgen nurlari uzun to'lqin uzunlikli rentgen nurlariga qaraganda modda ichiga kuchli kirish xususiyatiga ega bo'lgani uchun, ularga qattiq rentgen nurlari, uzun to'lqin uzunlikli rentgen nurlariga esa yumshoq rentgen nurlari deyiladi. Rentgen nurlari oqimi

$$\Phi = k \cdot I \cdot U^2 \cdot Z \quad (9.3)$$

formuladan aniqlanadi. Bu yerda U va I lar rentgen trubkasidagi kuchlanish va tok kuchi, $k=10^{-9} \text{ V}^{-1}$ proporsionallik koeffitsiyenti, Z — anod moddasi atomining tartib nomeri. Xarakteristik rentgen nurlari 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 nurlari spektrining yadro zaryadi ortishi bilan katta chastota tomonga siljishiga olib keladi. Buni Mozli qonuni bilan ifodalash mumkin:

$$\sqrt{\nu} = A(Z - B), \quad (9.4)$$

bunda: ν — spektral chiziq chastotasi;

Z — nur chiqarayotgan elementning atom nomeri;

A va B — 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 , NO_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'i 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 rentgenoluminessensiya 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, ionizatsion ta'siri, rentgen nurlari ta'sirida o'tkazuvchanlikning oshishi.

Birlamchi rentgen nurlari moddadan o'tganda quyidagi qonun bo'yicha kamayadi:

$$\Phi = \Phi_0 e^{-mx}. \quad (9.5)$$

m — so'nishning chiziqli ko'effitsiyenti, ko'pchilik hollarda m ning o'rniga so'nishning massa ko'effitsiyenti μ_m ishlatiladi:

$$\mu_M = \frac{\mu}{\rho}. \quad (9.6)$$

Bunda ρ — zichlik.

Tibbiyotda rentgen nurlari, asosan, tashxis qo'yish maqsadlarida ishlatiladi. Buning uchun energiya 60–120 keV bo'lgan fotonlar to'plamidan foydalaniladi. Bu holda

$$\mu_m = K \lambda^3 Z^3. \quad (9.7)$$

Bunda K — proporsionallik ko'effitsiyenti, Z — atom nomeri, λ — to'lqin uzunligi.

Rentgen nurlarining yutilishi modda atomining qaysi birikmada bo'lishiga bog'liq emas. Shuning uchun so'nishning massa ko'effitsiyentini taqqoslash mumkin. Masalan, suyak uchun Ca

$(\text{RO}_4)_2 - \mu_0$ va N_2O suv uchun μ_{suv} va ular nisbati $\frac{\mu_0}{\mu_{\text{suv}}} = 68$ ga teng bo'ladi.

Demak, organizm turli qismlarida yutilishi turlicha bo'lgani uchun ichki a'zolarining ham soyasini suratda ko'rishimiz mumkin. Bu rentgenotashxis bo'lib, yoki suratini olish mumkin yoki luminessent ekranda tasvirini ko'rish mumkin. Agarda tekshiriluvchi a'zo va atrofdagi to'qimalar bir xil yutish qobiliyatiga ega bo'lsa, maxsus kontrast modda yutilib suratga olinadi. Flurografiya ham rentgen nurlari yordamida suratga olishdir. Davolash maqsadida rentgen nurlari o'simtalarni kuydirishda ishlatiladi.

Rentgenli tomografiya va uning mashina varianti — kompyuterli tomografiya usullari rentgenografiyaning qiziqarli va istiqbolli variantlari hisoblanadi. Oddiy rentgenogramma tananing katta qismini egallaydi va har xil a'zo 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 Xaunsild va Mak Kormak Nobel mukofotiga sazovor bo'ldilar.

9.2-§. Luminessensiya turlari, xarakteristikallari va qo'llanilishi

Luminessensiya deb modda atom va molekulalarning yuqori energetik sathdan quyi sathga o'tishida moddaning sho'llanishiga, ya'ni ko'rinadigan yorug'lik chiqarishiga aytiladi. Modda atom va molekulalari avvaldan uyg'otiladi. Ana shu uyg'otuvchi ta'siri olingandan so'ng luminessensiya modda tabiatiga qarab bir necha sekunddan bir necha kungacha davom etishi mumkin. Luminessensiyaning davom etish muddatiga qarab 2 turga bo'linadi.

1. Fluoressensiya — sho'lalanish vaqti kichik.

2. Fostoressensiya — sho'lalanish vaqti katta.

Luminessensiyani issiqlik nurlanishi va boshqa tur nurlanishlardan farqlash uchun unga yana quyidagi ta'rifni berish mumkin.

Luminessensiya — bu moddaning berilgan haroratda issiqlik nurlanishidan ortiqcha bo'lgan va chekli davom etadigan sho'lalanishidir.

Luminessensiyalanish qobiliyatiga ega bo'lgan moddalar luminoforlar deyiladi.

Luminessensiyani uyg'otish usullariga qarab bir necha turlarga bo'linadi:

1. Fotoluminessensiya — ko'rinadigan va ultrabinafsha nurlar bilan uyg'otiladi. Masalan, soat raqamlari yozuvi va strelkalari.

2. Rentgenoluminessensiya — rentgen nurlari bilan uyg'otiladi. Masalan, rentgen apparati ekranidagi tasvir.

3. Radioluminessensiya — radioaktiv nurlanish uyg'otadi. Masalan: ssintillatsion schotchik ekranida kuzatish mumkin.

4. Katodoluminessensiya — elektron oqimi uyg'otadi. Masalan, ossilograflar, televizor, radiolokator ekranlarida kuzatiladi.

5. Elektroluminessensiya — elektr maydon uyg'otadi. Masalan, gaz razryadi quvurlarida kuzatiladi.

6. Kimyoviy luminessensiya — kimyoviy jarayonlar uyg'otadi. Masalan, oq fosforning, chiriyotgan yog'ochning, hasharotlar, dengiz hayvonlari va bakteriyalarining sho'lalanishi.

Uyg'otilmagan molekulalar eng past energiyali holatda, ya'ni asosiy holatda bo'ladi. Organik molekulalarda bu holat singlet holat bo'lib, undagi to'lgan orbitaldagi elektronlar spini antiparalleldir (S_0 — holat, 9.2-rasm).

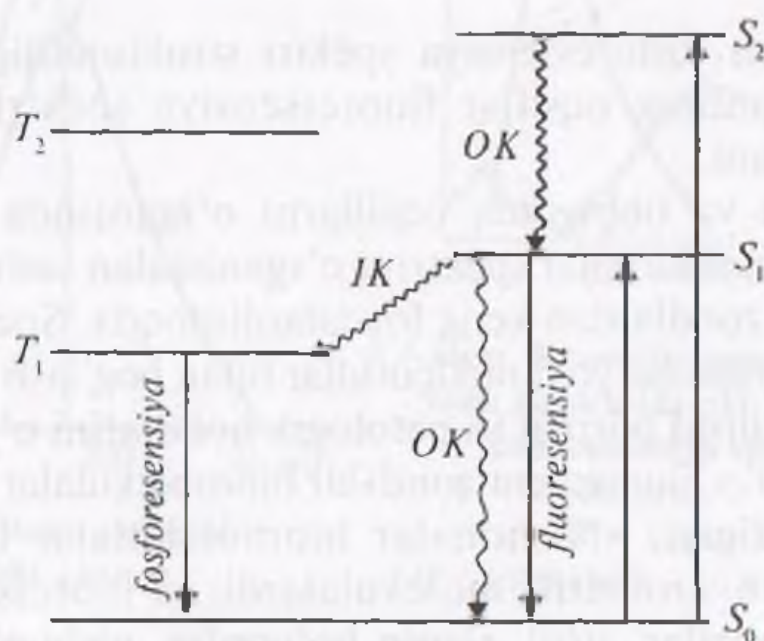
Asosiy S_0 holatdan molekula turli elektron holatlari S_1 , S_2 va h.k.ga energiya yutishi natijasida o'ta oladi. Luminessensiyalovchi molekulalarda uyg'ongan singlet holatlarda elektron 10^{-9} – 10^{-8} s yashay oladi. Boshqa molekulalarga energiya o'tishi ro'y bermasa va fotokimyoviy reaksiyalar bo'lmasa uyg'ongan molekulaning asosiy holatga o'tishi quyidagi uchta yo'l bilan bo'lishi mumkin.

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. (9.2-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 ehtimoli 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.

Biologik moddalarning yutilish va fluoressensiya spektrlarini o'rganish orqali ularning tuzilishi, konformatsion o'zgarishlari va boshqa xossalari haqida ma'lumot olish mumkin.



9.2-rasmi. Biomolekulalarda elektron o'tishlar: S_0 — asosiy (uyg'otilmagan) holat, S_1, S_2 va T_1, T_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); interkombinatsion konversiya (elektron spini o'zgarishi bilan bo'ladigan o'tish). $S_1 \rightarrow S_0$ o'tish fluoressensiya. $T_1 \rightarrow S_0$ o'tish fosforessensiya.

Biologik obyekt yoki eritma optik zichligining yutilayotgan yorug'lik to'liq uzunligiga bog'liqligi uning *yutilish spektri* deb ataladi. Ushbu spektrni konsentratsiya va kyuveta uzunligining birligiga nisbatan olinsa, yutilish spektri deb yutilish molyar koeffitsiyenti ϵ ning to'liq uzunligi λ ga bog'lanishiga aytiladi.

Biologik muhim moddalar yutilish spektri (9.3-rasm) bitta yoki bir necha maksimumi bor egri chiziqlardan iborat. Atomlar va sodda molekulalarning gaz holatida yutilish spektri chiziqli bo'ladi.

Oqsillarda uchraydigan aminokislotalardan uchitasi yaqin ultrabinafsha sohada yutilish va fluoressensiya spektrlariga ega: triptofan, tirozin va fenilalanin. Ulardan triptofan uyg'ongan holatdagi reaksiyalarga va oqsildagi molekular dinamikasiga nisbatan eng katta qiziqish o'yg'otadi (9.4-rasm). Buning bir necha sababi bor:

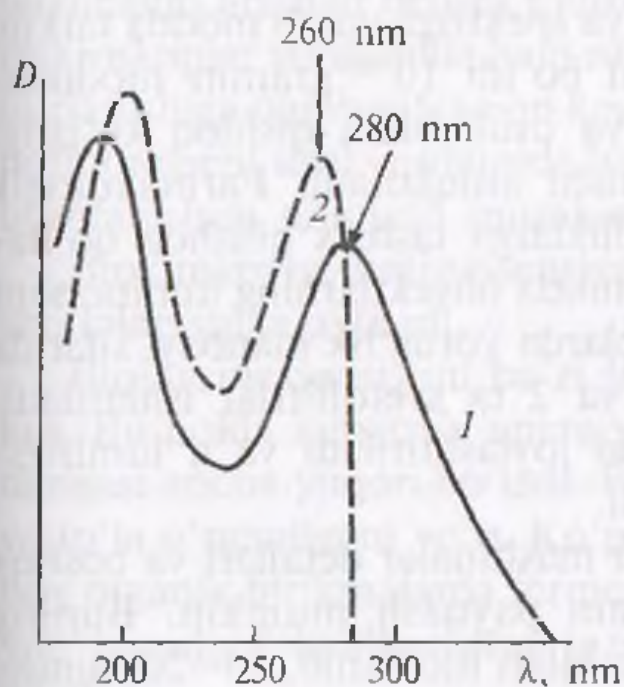
- triptofan fluoressensiya spektrlari muhit xossalariga kuchli bog'liq;
- triptofan turli fotofizik va fotokimyoviy reaksiyalarda ishtirok etadi;
- triptofan fosforessensiya spektri strukturaliligi;
- triptofanning oqsillar fluoressensiya spektrlaridagi ulushi yuqori bo'lgani.

Biologiya va tibbiyotda oqsillarni o'rganishda ular tarkibiga kiruvchi aminokislotalar spektrini o'rganishdan tashqari molekular 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 bo'yoqlar, nishonlarga rodamin, fluoressein kabi sintetik bo'yoqlar misol bo'la oladi.

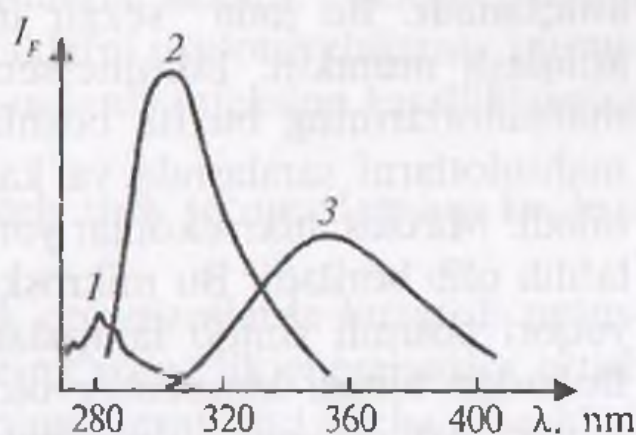
Demak, luminessensiya turli uzunlikdagi elektromagnit to'liqlar energiyasini ko'rinadigan yorug'lik energiyasiga aylantiradigan kvant generatori ekan. Yutilayotgan (W_0) energiyaning luminessensiya energiyasi (W)ga aylantirish darajasiga luminessensiyaning energetik chiqishi deyiladi:

$$\eta = \frac{W}{W_0}. \quad (9.8)$$

Luminessensiya spektri luminessensiyalanuvchi moddaning tabiatiga va luminessensiya turiga bog'liq. Yuqorida ko'rib o'tilgan luminessensiyalardan fotoluminessensiya amalda ko'proq ahamiyatga ega, shu sababli uni mufassalroq qarab chiqamiz. Luminessensiya spektri va uning maksimumini uyg'otishda foydalanilgan spektrga nisbatan uzunroq to'lqinlar tomonga birmuncha siljigan bo'ladi. Bunga Stoks qoidasi deyiladi (9.5-rasm). Buni kvant nazariyasiga asosan tushuntirish mumkin. Yutilayotgan ν_0 kvant energiyasining bir qismi boshqa energiyaga aylanadi. Masalan, issiqlik energiyasiga. Shuning uchun luminessensiya energiyasi $h\nu < h\nu_0$ bo'ladi. Bunda $\nu_0 > \nu$ yoki $\lambda_0 > \lambda$.



9.3-rasm. Stoks qonunini ifodalovchi chizma.

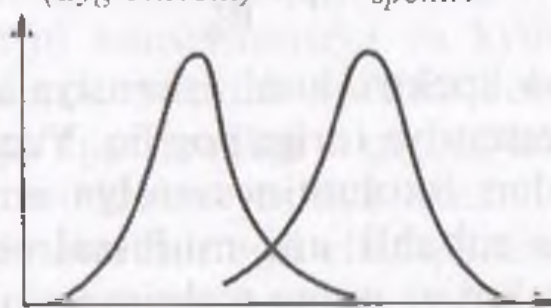


9.4-rasm. Aromatik aminokislotalarning xona haroratida pH 7,0 suvdagi luminessensiya spektrlari:
1 — fenilalanin; 2 — tirozin;
3 — triptofan;
 λ — intensivlik to'lqin uzunligi.

Ba'zida antistoks luminessensiya ham bo'ladi. $\lambda_0 > \lambda$ avval uyg'ongan molekula yorug'lik kvantini yutgan holda ro'y beradi. Bu holda luminessensiya kvantiga yutilgan foton energiyasining bir qismidan tashqari yana molekulaning uyg'onish energiyasi kiradi. Demak, $\nu_0 > \nu$ yoki $\lambda_0 > \lambda$.

Suyuq va qattiq luminoforlarning muhim xususiyati, ularning luminessensiya spektrining yorug'lik to'lqinlarining uzunligiga

Yutilish spektri Luminessensiya
(uyg'otuvchi) spektri



9.5-rasm. Stoks qonunini ifodalovchi chizma.

bog'liq bo'lmasligidan iborat. Shu tufayli fotoluminessensiya spektriga qarab suyuq va qattiq luminoforlarning tabiati to'g'risida fikr yuritish mumkin.

Atom yoki molekula ketma-ket oraliq nurlanishlardan asosiy holga o'tadi. Luminessent analiz — bunda ultrabinafsha nurlar bilan uyg'otilgan fotoluminessensiya spektriga qarab modda tarkibi aniqlanadi. Bu juda sezgir usul bo'lib 10^{-10} gramm moddani aniqlash mumkin. Luminessensiya usuli bilan qishloq xo'jaligi mahsulotlarining buzila boshlanishi aniqlanadi. Farmakologik mahsulotlarni saralashda va kasalliklarga tashxis qilishda qo'llaniladi. Maxsus mikroskoplar yordamida obyektlarning luminessent tahlili olib boriladi. Bu mikroskoplarda yorug'lik manbayi sifatida yuqori bosimli simob lampalari va 2 ta svetofiltrlar ishlatiladi. Bulardan bittasi kondensor oldida joylashtiriladi va u luminessensiya uyg'otuvchi nurni ajratadi.

Fotoluminessensiya yordamida mashinalar detallari va boshqa buyumlar sirtidagi yoriqlarni ham payqash mumkin. Buning uchun detal sirti luminofor modda bilan moylanib, 15–20 minutdan so'ng yuviladi. Yoriqlarda qolgan luminofor sho'lalanishi tasvirga olinadi. Fotoluminessensiya yashirin yoritish va dekorativ maqsadlarda (bo'yoq ranglar) foydalanilmoqda.

Luminessent analiz deb, ultrabinafsha nurlar ta'sirida moddalarning sho'lalanishiga qarab, ularning tarkibini aniqlash usuliga aytiladi. Bu holda tekshirilayotgan moddaning xususiy luminessensiyasi yoki unga kiritilgan luminoforning nurlanishi kuzatiladi. Bu usulda moddaning buzilishsiz tahlil o'tkazishga imkon beradi. Luminessent analiz fan va amaliyotning turli sohalarida ishlatiladi. Masalan, kriminalistikada ultrabinafsha nur bilan nurlantirish

yordamida qonning ko'rinmaydigan izlarini aniqlash mumkin. Odamlar, hayvonlar va qushlar qonining nurlanishi bir-biridan farq qiladi. Xuddi shunday haqiqiy va qalbaki pullar ham turlicha nurlaydi. Luminessent analiz yordamida suratlarning haqiqiy yoki nusxa ekanligini aniqlash mumkin.

Veterinariya-sanitariya ekspertizasida ham bu usuldan keng joydalaniladi. Masalan, go'sht-sut stansiyalarida, bozorlardagi veterinariya laboratoriyalarida mahsulot sifatini nazorat qilishda ekspress analiz uchun mahsulotlar ultrabinafsha 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. Luminessent analiz bir necha minut ichida mahsulotlarning boshlang'ich buzilishini aniqlab berishi mumkin. Bundan tashqari, luminessent mikroskoplar yordamida ham mahsulotlar sifatini, mikropreparatlar nurlanishiga qarab infeksiyon kasalliklarni uyg'otuvchilarni, immuno-fluorescent usul yordamida hayvonlarda infeksiyon kasalliklarning boshlanishini aniqlash mumkin.

Biokimyoviy luminessensiya deb tirik to'qimalarning kuchsiz sho'lalanishiga aytiladi.

Bioluminessensiya ba'zi tirik organizmlarda kuzatish mumkin. 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 lusiferinoz yuz beradi. Oksidlanishni tezlatuvchi fermentlarga lusiferedlar deyiladi.

Alohida olingan lusiferin oksidlanishi va nurlashi uncha katta emas, lekin lusiferin ta'sirida luminessensiya intensivligi 10000 marta oshishi mumkin. Bioluminessensiya bo'lishi uchun, lusiferin molekulalari bo'lishi zarurdir. Uning tarkibida atigi 10^{-9} gramm bo'lsa luminessensiya yuz beradi. Ba'zi hollarda fermentlar bo'lmasa ham nurlanish bo'lishi mumkin.

Bioluminessensiya ko'plab har xil jonivorlar uchun xos bo'lgan xususiyatdir. Masalan, bakteriyalar, hasharotlar baliqlar, molluskalar va hokazo. Taxminan 250 turga yaqin jonzotlarda bu

hol kuzatiladi. Ko'plari bu xususiyatni 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 jonzotlarda nurlanish intensivligi kuchsiz bo'lib, ularni fotokuchaytirgichlar yordamida qayd qilish mumkin. Bu luminessensiya hujayradagi bo'linishlar bilan bog'liq bo'lganligi sababli tirik organizmdagi o'zgarishlar haqida qo'shimcha axborotlar berishi mumkin.

9.3-§. Lazer nurlarining fizik xossalari va biologik ta'siri

Fotoluminessensiyada luminessensiyalanuvchi 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.

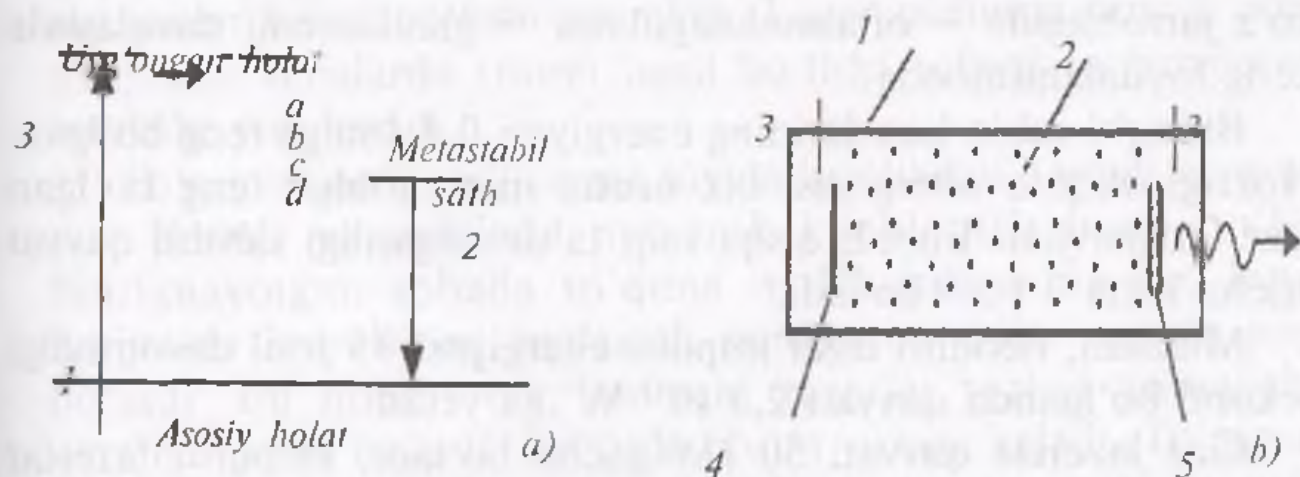
Agar o'tish majburiy bo'lib, foton bilan uyg'ongan zarra ta'sirlanishi natijasida hosil bo'lsa, majburiy (indutsirlangan) o'tish deyiladi. Majburiy o'tish paytida 2 ta foton tarqaladi: birlamchi

va ikkilamchi fotonlar. Majburiy o'tishlar soni birlamchi fotonlar intensivligi va energetik sohalarning to'laligiga bog'liq.

Zarralarning energetik sathlar bo'yicha taqsimlanishi Bolsman qonuniga 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 $T < 0K$ 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 ($J = J_0 S^{-\chi \ell}$), $\chi < 0$, 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 xizmat 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 (9.6-a rasm). Inversiya to'ldirilganlik hosil qilish uchun 3 holatda yashash davrini oshirish zarur. Geliy atomi esa xuddi shu vazifani bajaradi. Geliyning



9.6-rasm. Geliy-neon gaz lazeri: a – elektron sathlar; b – lazer tuzilishi;

1 – kvars trubkasi; 2 – Ne- He gaz aralashmasi 1 GPa bosimda joylashtiriladi; 3 – gaz razryadini amalga oshiruvchi elektrodlar; 4,5 – ko'zgular.

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 1 GPa 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) yarimshaffofdir. Majburiy nurlanishda chiqadigan fotonlar ko'zgulardan ko'p marotaba qaytib, o'zi majburiy o'tishlarni yuzaga chiqaradi va natijada 5 ko'zgu orqali chiqib ketadi.

Lazerlar monoxromatik nur manbayidir, ularning sochilishi kam. Masalan, Oyga yo'naltirilgan lazer nuri 3 km li dog' hosil qiladi. Oddiy proyektorlarniki 40000 km li dog' hosil qiladi. Energiya zichligi juda katta millionlargacha J/sm^2 s. 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 jarrohlik amaliyotida foydalaniladi. Saraton to'qimalarini kuydirishda, organizmda maxsus teshiklar hosil qilishda, tishlarni davolashda ham qo'llaniladi.

2. Geliy-neon lazer asosida gastroskop yaratilgan bo'lib, u oshqozonning hajmiy tasvirini ko'rishda ishlatiladi. Hozirgi vaqtda ko'z jarrohligida — oftalmokoagulator — glaukomani 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 $3 \cdot 10^{-12}$ bo'ladi.

Masalan, neodim lazer impulsi energiyasi 75 Joul davomiyligi sekund bo'lganda quvvati $2,5 \cdot 10^{13}$ W ga yetadi.

Gaz lazerlar quvvati 50 kW gacha bo'ladi. Impulsli lazerlar intensivligi $10^{14} W/m^2$ ga teng bo'ladi. Taqqoslash uchun quyosh nurining Yer sirtidagi intensivligi $10^3 W/m^2$ ga teng ekanligini 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 $3 \cdot 10^{10}$ V/m. Odatdagi nurlar maydon kuchlanganligi 10^4 V/m dan oshmaydi. Elektromagnit maydon moddaga tushganda unga bosim beradi. Oddiy yorug'lik nuri bosimi $4 \cdot 10^{-6}$ 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 mkm) to'g'ri keladi. Odam tanasi qaytarish koeffitsiyenti 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 reaksiyalarni tezlatuvchilari bo'lib fermentlarning buzilishi reaksiyasini susaytiradi va natijada hujayralar halok bo'lishi mumkin. Lazer nurining termik effekti natijasida venalarda tromb hosil bo'lishi tufayli 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 zarralar tezligi yo'nalishiga qarama-qarshi bo'ladi. Natijada bosim yuzaga keladi. To'qima va hujayraning suyuq komponentlarida bosimning oshishi tufayli tovush tezligidan katta tezlikda bo'lgan to'lqinlar hosil bo'ladi. Lazer nuri teriga tushganda uni buzmasa-da hosil bo'lgan to'lqin ichki to'qimalarni jarohatlashi mumkin. Xuddi shu usulda tajriba

tariqasida dengiz cho'chqalari miyasi energiyasi 100 J lazer bilan nurlantirilganda miyaning 1 mm³ hajmi 500°C gacha isigan va suyak ostida 20 atm bosim hosil bo'lgan.

Elektrostriksiya hodisasi tufayli elektromagnit to'liq 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. Ionizatsiya molekulalardagi kimyoviy bog'lanishlarni ham buzadi va ion radikallar hosil bo'ladi.

Biologik to'qimalarda mavjud bo'lgan suv eritmalarida lazer nurlari tufayli ON va NO₂ 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 naslning 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 SO₂ 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 sterilizatsiya 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 tikib ketiladi. Yorug'lik tolasi yordamida lazer nuri organizmni kesmasdan ovqat yo'llari orqali ichki a'zolari ham operatsiya qilish imkonini beradi. Ayniqsa, oshqozon-ichak, yurak, neyroxirurgik operatsiyalarda keng qo'llaniladi. Teri o'sim-talarini 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 o'tadi va bemor 2—3 oy statsio-narda davolanishi 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 va quvvat yetarlicha katta bo'lishi kerak.

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 sohaga 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. Luminessensiya nima?
14. Luminessensiya turlarini tushuntiring.
15. Luminessensiyadan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi?
16. Optik kvant generatorlari (OKG) nima?
17. Lazerlar turlari, tuzilishi va ishlash prinsipini tushuntiring.
18. Lazerlardan amalda qanday maqsadlarda foydalaniladi?

X BOB RADIOAKTIVLIK. RADIOBIOLOGIYA ASOSLARI

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 foydaniilmoqda. 1932-yilda D.D. Ivanenko hamma yadrolar tarkibida ikkita zarralar, ya'ni protonlar va neytronlar borligi haqida gipotezani bayon qildi. Rezerford α -zarralarning 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 zarra 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 ${}^6_6\text{C}^{12}$ izotopi atomi massasining $1/12$ qismi qabul qilingan: $1 \text{ m.a.b.} = 1,66 \cdot 10^{-27}$ kg.

U holda $m_p = 1,00747 \text{ m.a.b.}$ $m_n = 1,00892 \text{ m.a.b.}$

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 ${}^A_Z\text{X}$.

Yadroda protonlar soni bir xil, ammo neytronlar soni har xil atomlar *izotoplar* deyiladi. Masalan, vodorodning 4 ta izotopi mavjud: ^1_1H vodorod, ^2_1D (^2_1H) deyteriy, ^3_1T (^3_1H) tritiy va ^4_2He (^4_2He) 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 strukturasiidan kelib chiqadigan kimyoviy xossalari (massa soni, zichligi radioaktivligi va hokazolar) ancha farq qiladi.

Bu farq, ayniqsa, yengil kimyoviy elementlarda yaqqol ifodalan-gandir. Shu sababli Mendeleyev davriy sistemasidagi ko'p atomlar-ning 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 edi. 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 ($1 \text{ fm} = 10^{-15} \text{ m}$). U holda (10.2) formula quyidagicha yoziladi.

$$R = (1,45 - 1,5) A^{1/3}. \quad (10.3)$$

Yadro eng 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_1N uchun $\hbar$ ga teng. ^4_2He — uchun esa nolga teng.

Toq sonli nuklonlardan tashkil topgan yadroning spinini s_2 ga karrali, masalan, ^3_1H $\frac{1}{2} \hbar$ uchun $^{115}_{99}\text{Ir}$ esa $9/2 \hbar$.

Yadro spini bilan magnit momenti bog'langan. Uni yadro

magnetonni $M_J = \frac{eh}{2m_p} = 5,048 \cdot 10^{-27} \frac{J}{T}$ orqali aniqlash mumkin.

Protonning magnit momenti $P_{<mr} = 2,79 M_{ya}$, neytronniki esa $P_{<r} = 1,91 M_{ya}$ ga teng bo'ladi.

«-» ishora neytronning magnit momenti spiniga teskari yo'nalganligini ko'rsatadi.

Yadro kuchlari — bu nuklonlarni bog'lab turuvchi kuchlar bo'lib, zarra zaryadiga bog'liq emas. Ular $\sim 10^{-15}$ m masofada ta'sirlashadi. Yadro kuchlari to'yinish xususiyatiga ega, 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 etuvchi nuklonlar massalari yig'indisidan kichikdir. Bu farqqa massa defekti deyiladi. Nisbiylik nazariyasiga asosan massa va energiya o'zaro bog'liqdir.

$$E = mc^2. \quad (10.4)$$

Ya'ni, massa va energiya o'zaro bog'liqdir. 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:

$$E_{bog'>3} = (Zm_p + Nm_n - M_{ya})c^2 \quad (10.5)$$

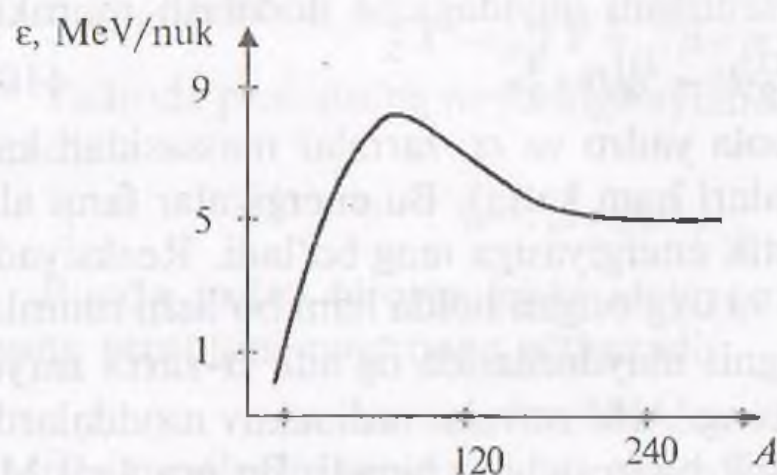
Im.ab. — taxminan 931 meV energiyaga to'g'ri keladi. U holda bog'lanish energiyasi

$$E_{bog'>3} = (Zm_p + Nm_n - M_{ya})c^2 \quad 931 \text{ meV}. \quad (10.6)$$

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 (10.1-rasm).

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.

Agar tizim katta energiya holatidan kichik energiya holatiga o'tsa, ya'ni boshqacha aytganda kichik bog'lanish energiya holatidan



10.1-rasm. Solishtirma bog'lanish energiyasi(ϵ)ning atom massasi(A)ga bog'liqlik grafigi.

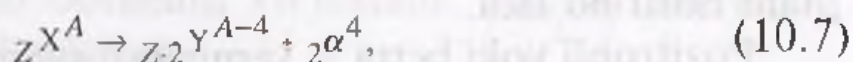
katta bog'lanishli energiya holatiga o'tganda reaksiyada energiya ajraladi. Atomdagi jarayonlarga qaraganda yadrodagi jarayonlarda katta energiya talab qilinadi. Atomdan elektron urib chiqarish uchun bir necha o'n elektron volt energiya kerak bo'lsa, yadrodan nuklonni chiqarish uchun bir necha meV energiya kerak bo'ladi.

10.2-§. Radioaktivlik, uning turlari va asosiy qonunlari

Radioaktivlik deb turg'un bo'lmagan yadrolarning o'zidan boshqa yadrolar yoki elementar zarralar chiqarib yemirilishiga aytiladi. Buning xarakterli tomonlaridan 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 elementlar aktiniy, toriy, poloniy, radiyga ham xos ekanligi aniqlandi. Poloniy va radiy nurlanishini 1898-yili Pyer 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 zarralar chiqarib boshqa yadroga aylanadi. Buni quyidagi ko'rinishda tasvirlash mumkin:



bunda X — onalik yadro, Y — bolalik yadro.

Uranning toriyga aylanishini quyidagicha ifodalash mumkin:



Ona yadro massasi bola yadro va α zarralar massasidan katta bo'ladi (demak, energiyalari ham katta). Bu energiyalar farqi alfa-zarra va bola yadro kinetik energiyasiga teng bo'ladi. Reaksiyadan so'ng bola yadro normal va uyg'ongan holda ham bo'lishi mumkin. α -zarralar elektr va magnit maydonlarida og'adi. α -zarra zaryadi $+2e$ ga, massa soni 4 ga teng. Alfa-zarralar radioaktiv moddalardan 10000 – 20000 km/s tezlik bilan uchib chiqadi. Bu esa 4–9 MeV kinetik energiyaga tengdir. Alfa-zarralar 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 zarralar qalinligi 0,06 mm bo'lgan aluminiy qatlamida yoki 0,12 mm bo'lgan biologik to'qima qatlamida to'la yutiladi.

Betta yemirilish deb yadro ichida neytron va protonlarning o'zaro aylanishiga aytiladi. Buning uch xil turi mavjud.

Elektron yoki betta yemirilishda yadrodan betta-zarra (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-zarralar bilan kichik massali boshqa zarralar ham chiqadi, degan gipotezani aytdi. Bu zarrani Fermi neytrino deb atadi. Keyinchalik aniqlanishicha, neytrino betta plus yemirilishida hosil bo'lar ekan. Betta minus yemirilishda esa antineytrino hosil bo'lar ekan.

Betta minus yemirilish sxemasi quyidagicha tasvirlanadi:



Masalan: tritiyning geliyga aylanishi ${}_1^3\text{H} \rightarrow {}_2^3\text{He} + {}_{-1}^0\beta + \bar{\nu}$ bunda $\bar{\nu}$ – antineytrino.

Betta yemirilish yadro ichida neytronning protonga aylanishida ham hosil bo'ladi.

Pozitronli yoki betta + yemirilish sxemasi quyidagicha tasvirlanadi:

$${}_Z^AX \rightarrow {}_{Z-1}^AY + {}_{+1}^0\beta + \nu. \quad (10.10)$$

Yadroda protonning neytronga aylanishi ham beta+ yemirilishga kiradi:

$${}_1^1P \rightarrow {}_0^1n + {}_{+1}^0\beta + \nu. \quad (10.11)$$

Bunda yadro birorta ichki elektronni qabul qilib, atomdagi uning protonini neytronga o'tkazadi:

$${}_1^1P + {}_{-1}^0\beta \rightarrow {}_0^1n + \nu. \quad (10.12)$$

β – zarralar massasi α – zarralarnikidan – 7350 marta kichik, o'rtacha tezligi 160000 km/s energiyasi 0,001–10 meV oralig'ida. Shuning uchun bularning ionlashtirish qobiliyati α –zarralarnikidan 100 marta kichik. Moddadan o'tish masofasi esa shuncha kattadir. Masalan, havoda 40 metrgacha aluminiyda 2 sm va biologik to'qimada 6 sm gacha kiradi.

γ -nurlanish – chastotasi juda katta (10^{20} Hz), to'lqin uzunligi esa juda kichik (10^{-12} m) bo'lgan fotonlar oqimidan iborat bo'lib, energiyasi 1 meV atrofida. γ -nurlar eng qattiq elektromagnit nurlar bo'lib, rentgen nurlariga o'xshash. Zaryadi yo'q, tezligi 300000 km/s ga teng. Kristalldan o'tganda difraksiyalanadi. γ -nurlar atom yadrosidan chiqadi. γ -nurlar ionlashtirish qobiliyati kichik, u havoda 100 ta (1 sm da 1–2 juft) ion hosil qiladi. O'tish qobiliyati katta, havoda yuzlab metr, 5 sm qo'rg'oshindan va kishi tanasidan bimalol 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 dN ta yadro yemirilsa, u holda quyidagini yozish mumkin:

$$dN = -\lambda N dt. \quad (10.13)$$

λ -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 λ o'rniga yarimyemirilish davri qo'llaniladi.

Yadrolarning yarimyemirilishi uchun ketgan vaqtga yarimyemirilish davri deyiladi. λ va T orasidagi bog'lanishni topish uchun (10.14) da $N = N_0/2$ deb olamiz. U holda $N_0/2 = N_0 e^{-\lambda T}$ yoki $1/2 = e^{-\lambda T}$, buni logarifmlasak, $T = \ln 2 / \lambda = 0,69 / \lambda$.

Radioaktiv moddalar bilan ishlaganda ulardan 1 sekunda chiqadigan zarralar va γ -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 $A = dN/dt = \lambda N = \lambda N_0 e^{-\lambda t} = N / \ln 2$ bo'ladi.

Aktivlik vaqtga qarab eksponensial qonun bo'yicha kamayib boradi. Aktivlik birligi Bekkerel (Bk) qabul qilingan.

1 Bk 1 sekunda 1 ta yemirilish bo'ladigan manbaning aktivligidir. Tizimdan tashqari va ko'p ishlatiladigan aktivlik birligi Kyuri (Ku).

$$1 \text{ Ku (kyuri)} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ Bk} = 3,7 \cdot 10^{10} \text{ s}^{-1}.$$

Yana boshqa birlik ham mavjud.

$$1 \text{ Rf (rezerford)} = 10^6 \text{ Bk}.$$

$$1 \text{ Rf} = 1/37000 \text{ Ku}.$$

Radioaktiv manba birlik massasining aktivligini xarakterlash uchun – solishtirma massa aktivligi kiritilgan (Bk/kg).

10.3-§. Rentgen va radioaktiv nurlarning tirik organizmga ta'siri

Zaryadlangan zarralar moddaga tushganda yadrolar va elektronlar bilan ta'sirlashadi, natijada modda va zarraning holati o'zgaradi. Bunda asosiy mexanizm α , β , γ -zarralarning moddada ionizatsiya tormozlanishi natijasida energiyasining bir qismining

yo'qolishidir, uning kinetik energiyasi modda atomlarining ionlanishiga sarf bo'ladi. Zarralarning modda bilan ta'siri miqdor jihatdan 3 ta kattalik bilan aniqlanadi: solishtirma ionizatsiya, solishtirma ionizatsion yo'qotish, zarraning moddadagi yo'li.

Solishtirma ionizatsiya deb, zarraning moddada 1 sm yo'l bosganda hosil qilgan ionlar soniga aytiladi.

Solishtirma ionizatsion yo'qotish deb zarraning 1 sm moddada yurganda energiyasining o'zgarishiga aytiladi.

Zarraning moddadagi yo'li (R) deb, bu zarraning moddada tezligi issiqlik harakati tezligidan katta tezlikda harakatlanadigan masofaga aytiladi.

α -zarralarning muhitda bosib o'tgan yo'li solishtirma ionizatsiyaga bog'liqdir.

Bitta molekulani ionlashtirish uchun 34 eV ga yaqin energiya talab qilinishi sababli $dE/dx = 0,7 \div 2,7$ MeV/sm oralig'ida bo'ladi.

α -zarrachalarning o'tish masofasi uning energiyasiga bog'liq, havoda quyidagi formula bilan ifodalanadi: $R = 0,318 e^{3/2}$, bunda e — α -zarra energiyasi.

α -zarraning suyuqlikda va to'qimada, ya'ni tirik organizmda o'tish yo'li 10–100 mkm ga teng.

α -zarraning tezligi molekulalar issiqlik harorati tezligigacha sekinlashgach, u moddada ikkita elektronni tutib olib, geliy atomiga aylanadi.

Ionizatsiya va uyg'onish birlamchi jarayonlardir, ikkilamchi jarayonlar esa molekular kinetik harakat tezligi oshishi, xarakteristik rengen nurlari chiqishi, radioluminessensiya, kimyoviy jarayonlardir.

α -zarralarning yadro bilan ta'siri ionizatsiya jarayonidan ancha ehtimolligi kamdir.

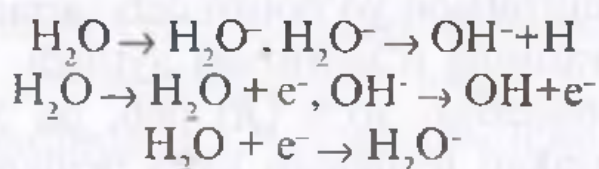
β -zarralar to'qimalarga 10–15 mm gacha kiradi. Aluminiyda esa 0,4 mm, suvda 1,1 mm gacha kiradi.

γ -nurlar moddaga tushganda rentgen nurlariga xos bo'lgan jarayonlardan (kogerent sochilish, Kompton effekt, fotoeffekt) tashqari elektron-pozitron juftligi hosil bo'lishi, fotoyadroviy reaksiyalar γ -fotonlar atomlarini ionlashtirishi ham mumkin.

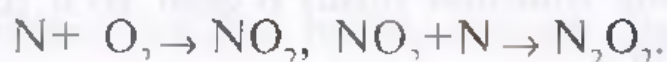
Ionlashgan zarralarning biologik ta'sirlari turlichadir. Masalan, neytrino biologik ta'sir ko'rsatmaydi. α -zarrachalar ham to'qi-

maning yuza qismida to'la yutiladi. Shuning uchun ham uning ta'siri kuchsizdir. Bu zarralarning ta'sirida erkin radikallar yoki suvning kimyoviy almashinuvlari (radioliz) va demak OH radikal va vodorod peroksid hosil bo'ladi. Biologik tizim molekulalari bilan kimyoviy reaksiyaga kirishadi.

Masalan, suv radiolizining mumkin bo'lgan mexanizmlari:



Kislorod bilan reaksiyada gidroperoksid va vodorod peroksidi hosil bo'ladi:



Nurlanishning kichik dozasi yutilganda katta biologik buzilishlar yuz berishi mumkin. Nurlanish olgan obyektlarning ta'siri naslga o'tadi. Shuning uchun nurlanishdan himoyalaniish katta ahamiyatga ega.

Nurlanishning bir xil dozasi hujayraning turli qismlarining sezgirligi turlichadir, nurlanishning ta'siriga hujayralarning yadrosi eng sezgirdir. Bo'linish qobiliyati hujayralarning eng nozik funksiyasi bo'lgani uchun nurlanishda eng avvalo o'suvchi to'qimalar jarohatlanadi. Demak, nurlanish eng avvalo bola organizmi uchun (embrionlik 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 hujayralarga nurlanish halokatli ta'sir qiladi.

Nurlanish ta'sirida o'simtalarni kuydirish mumkin.

Radioaktiv izotoplar tibbiyotda ikki maqsadda ishlatiladi: tashxis qo'yishda va davolashda. Tashxis uchun nishonlangan atom usulida organizmning ma'lum qismiga izotop kiritiladi va o'sha qismning aktivligi aniqlanadi. Masalan, izotop $_{53}\text{J}^{125}$ yoki $_{53}\text{J}^{131}$ hisoblagich yodning to'planishiga qarab tashxis qilish mumkin. Xuddi shunday izotopni o'simlik ildizlari yaqinidagi tuproqqa suv yoki havoning oqimiga, tirik organizm to'qimalariga, dvigatel moyiga kiritiladi. So'ngra hisoblagich yordamida kiritilgan izotopning ko'chishi kuzatiladi.

Bu kuzatishlar natijalari tahlil qilinib tekshirilgan tizimda oʻtadigan jarayonlar toʻgʻrisida maʼlumotlar olinadi. Nishonlangan atomlar qoʻllanishini qishloq xoʻjaligi ekinlarining fosforli oziqlanish jarayonini kuzatish bilan tushuntirish mumkin. Tekshiriladigan $^{32}_{15}\text{R}$ izotop tuproqqa ildiz oldiga koʻmiladi. Shundan soʻng oʻsimlik davriy ravishda hisoblagich yordamida tekshirilib turiladi. Bunda oʻsimlikning turli qismlaridan chiqadigan nurlanishga qarab fosforning taqsimlanishi haqida maʼlumot olish mumkin. Masalan, fosforning qachon ildiz tizimiga kirishi, oʻsimlik ichkarisida qanday tezlik bilan koʻchishi, oʻsimlikda taqsimlanishi, modda almashinuvida ishtiroki va hokazolar. Bu tekshirishlar, odatda, radioavtograflash bilan toʻldiriladi, yaʼni oʻsimlik kesilib quritiladi va fotografiya plastinkasiga joylashtirib surati olinadi. Fosfor bor joylar qorayadi. Renozariyada esa J izotopi tirik organizmga (odam yoki hayvon) yuborilib, radiogrammasi olinadi va buyrakning ish faoliyati oʻrganiladi. Nishonlangan atom usuli yordamida qishloq xoʻjaligi ishlab chiqarishi uchun muhim boʻlgan fotosintez, oʻgʻitlarni ratsional ravishda qoʻllash, oʻsimliklarning turli elementlarni oʻzlashtirishi, qishloq xoʻjaligi hayvonlarining ovqatlanishi, sut yogʻini va muskul oqsillarini sintez qilish, suv va suv bugʻining tuproqdagi koʻchishi, hasharotlarning koʻchib yurishi, insektitsidlarning (hasharotni oʻldiruvchi moddalar) taʼsiri, avtomobil va traktor detal-larining ishqalanadigan qismlarining yemirilishi va boshqalar muvaffaqiyatli oʻrganilmoqda. Radioaktiv izotoplarning organizmda toʻplanishini oʻrganish uchun gamma-tipograf (ssintigraf) ishlatiladi. Organizmdagi suyuqlik hajmini aniqlashda ham foydalaniladi. Masalan, qonning qanchaligini aniqlash mumkin. Davolash maqsadida γ -nurlar qoʻllaniladi. Manba sifatida Co^{60} ishlatiladi.

Nurlangan moddaga berilgan energiyaning shu modda massasiga nisbatiga nurlanishning yutilgan dozasi deyiladi.

Oʻlchov birligi Grey (Gr) — u 1 kg massali nurlangan moddaga 1J ionlovchi nurlanish energiyasi berilishiga teng boʻlgan nurlanish dozasi tengdir.

Nurlanish dozasi quvvati sekundiga Greylarda (Gr/s) ifodalanadi. Nurlanish dozasi tizimdan tashqari birligi rad. (Radiation Absorbed Dose soʻzlarining bosh harflari) $1 \text{ rad} = 10^{-2} \text{Gr}$. Quvvatining birligi (rad/s) larda ifodalanadi.

Yutilgan doza tushunchasidan tajribada kam foydalaniladi. Amalda jism yutgan dozani nurlanishning uni o'rab turgan havoga ionlovchi ta'siri bo'yicha baholanadi. Bunga ekspozitsion doza deyiladi. SI tizimida birligi (Kl/kg). Amalda esa rentgen ishlatiladi. Bunday dozada 1 sm³ quruq havoning ionlashishi natijasida 0°C va 760 mm sim.ust. bo'lgan vaqtda har bir ishorasi 1 birl. SGSq ga teng bo'lgan zaryad tashuvchi ionlar hosil bo'ladi.

Nurlanish va ekspozitsion dozalar o'zaro proporsionaldir.

$$D = f \cdot X.$$

Bunda f — o'tish ko'effitsiyenti.

Suv va odam tanasining yumshoq to'qimalari uchun $f = 1$.

Ionlanish uchun, odatda, nurlanish dozasi qancha katta bo'lsa, biologik ta'sir ham shuncha katta bo'ladi. Lekin turli nurlanishlar aynan bir xil yutilgan dozada ham turli xil ta'sir ko'rsatadi. Shuning uchun nurlanishning organizmlarga ta'sirini ko'rsatuvchi ekvivalent doza kattaligi qabul qilingan.

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-ko'effitsiyent sifat ko'effitsiyenti deb ataladi. Radiobiologiyada uni nisbiy biologik effektivligi (NBE) deb ataladi.

Yutilgan doza sifat ko'effitsiyenti bilan birgalikda ionlanuvchi nurlanishning biologik ta'siri to'g'risida ma'lumot beradi.

Ekvivalent doza birligi zivert (Zv) standart tarkibli biologik to'qimaning 1 $\frac{J}{kg}$ yutilish dozasi ga tengdir. Tizimdan tashqari birlik ber (rentgen biologik ekvivalenti): 13v = 10² ber.

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.

Dozimetrik asboblari deb ionlovchi nurlar dozasi ni o'lchash yoki dozalar bilan bog'langan kattaliklarni aniqlovchi asboblarga aytiladi. Tuzilishi jihatdan ular yadroviy nurlanish detektorlari va

o'lov qurilmadan iborat bo'ladi. Odatda, ular doza yoki doza quvvati birliklarida darajalangan bo'ladi. Ishlatiladigan detektor turiga qarab, dozimetrlarni ionizatsion, luminessent, yarim-o'tkazgichli, fotodozimetrlar va boshqa turlarga ajratiladi.

Rentgen va gamma nurlanishning ekspozitsion dozasini o'lchashga mo'ljallangan dozimetrlarga rentgenometrlar deyiladi.

Ularda detektor sifatida ionizatsion kamera qo'llaniladi. Kamera zanjirlardan o'tuvchi zaryad ekspozitsion doza, tok esa uning quvvatiga proporsionaldir. Masalan, MRM-2-mikrorentgenometrlar DK-0,2 — individual dozimetr kompleksi.

Detektorlari gaz razryad hisoblagichlaridan iborat bo'lgan dozimetrlar ham mavjud. Radioaktiv izotoplar aktivligini yoki konsentratsiyasini o'lchash uchun radiometrlar qo'llaniladi.

Radiatsion himoyalanişning uchta turi mavjud: vaqtdan, masofadan va material bilan himoyalaniş.

Vaqt qancha ko'p bo'lib, masofa qanchalik kam bo'lsa ekspozitsion doza shunchalik katta bo'ladi. Material bilan himoyalanişda nur turiga bog'liq. Alfa nurlanishdan himoyalaniş sodda bo'lib, bir varaq qog'oz yetarlidir. Ammo nafas yo'li va ovqat orqali ham nurlanish mumkin. Betta nuridan himoyalaniş uchun bir necha sm qalinlikdagi aluminiy, plestiglas yoki shisha plastinka yetarli. Neytral nurlanishlar hisoblangan rentgen va gamma nurlanishlarda himoyalaniş murakkabdir. Bulardan ham qiyini neytronlardan himoyalanişdir. Kosmik nurlar 92,9% protonlar, 6,3% alfa-zarralardan iborat. Birlamchi kosmik nur energiyasi 10^9 eV, Yerga yetib kelganda quvvati 1,5 GW bo'ladi.

Nurlanish organizmga qisqa vaqt ichida ta'sir qilsa (sekunddan bir necha soatgacha), unga *kiruvchi nurlanish* deyiladi. Agarda organizm uni uzoq vaqt davomida olsa (yillar va o'nlab yillar davomida) unga *doimiy nurlanish* deyiladi. 10.1-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 leykotsitlarning xromosomik abberatsiyasi va yoshligida nurlangan odamlarning o'sishida pasayish kuzatiladi. Keyingi izlanish natijalari, asosan, ko'krakda va o'pkada qattiq o'simtalarning hosil bo'lishi aniqlandi. Rak

kasalliklari nurlanishdan 30 yil o'tganda ham kuzatilishi mumkin ekan. 10.1-jadvalda natijalar butun tana uchun keltirilgan.

10.1-jadval

Organizmning λ -nurlanish olgan dozasi,	Effekt	Eslatma
0, -0,25	Kuzatilmaydi	—
0.25-1	Qonda ba'zi o'zgarishlar, kuchsiz chanqoqlik seziladi	Ilik limfotik tugunlar va taloqning biroz buzilishi
	Umumiy holsizlik, qonda o'zgarish, qayt qilish, charchash	Antibiotiklar bilan davolash natijasida to'la davolash mumkin
1 - 6	Yuqorida aytilgan effektlar va zaharlanish, qon quyilishi	Davolashda antibiotik va qon quyish. Ba'zi hollarda ilik ko'chirib o'tqazish. Tuzalish ehtimoli 50%
	Yuqorida aytilgan hamma effektlar va markaziy nerv tizimining jarohatlanishi	Agarda nurlanish dozasi $8 \frac{\text{J}}{\text{kg}}$ dan oshsa, o'lim muqarrar

Lekin tananing turli qismlari radiatsiyaga turlicha reaksiya beradi. Shu sababli 10.2-jadvalda tananing turli qismlarining radiatsiyaga chidamliligi keltirilgan.

10.2-jadval

A'zo	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	perekardiya, pankardiya	0,04	0,1
Suyak	nekroz, sinish	0,06	0,15
Ko'z qorachig'i	katarakta	5	0,012
Qalqonsimon bez	gipotireoz	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 radiatsiya ta'sirida mutatsiya natijasida xromosomada buzilishlar yoki DNK 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 dozaning birdaniga olingan holdagiga qaraganda ta'siri unchalik katta effektga ega emas. Bunga sabab odam va hayvonlar tanasi kichik dozada olgan nurlanishlarga qarshilik qobiliyatiga ega. Lekin har qanday nurlanish organizmda qandaydir o'zgarish yuzaga keltiradi. Nurlanishdan tibbiyot va veterinariyada ko'p foydalaniladi, chunki radioaktiv nurlar turli a'zolarida tanlab yutiladi. Masalan, qalqonsimon bez J^{131} kuchli yutiladi. J^{131} ning yarimyemirilish davri 8,05 kunga teng va shu sababli u organizmdan bir necha hafta ichida chiqib ketadi.

Radioaktiv izotop J yodni skanerlovchi qurilma yordamida oson aniqlash mumkin. Radioaktiv nurlardan ko'plab rak kasalliklarini davolashda foydalaniladi.

Turli xil rak kasalliklarini xirurgik yo'llar yoki radiatsiya yordamida davolash mumkin. Ko'plab hollarda radiatsion usul yaxshi natija beradi. Masalan, tomoq rakini jarrohlik yo'li bilan olib tashlashda 80% muvaffaqiyatga erishish mumkin. Ammo bu holda tovush a'zolari buziladi va odam umuman gapira olmasligi mumkin yoki uni ancha yomonlashtiradi. Uni radiatsion usul bilan davolashda ham 80% muvaffaqiyatga erishish mumkin. Lekin bu holda tovush a'zolari o'zgarmaydi. Ichki a'zolarida joylashgan o'simtalarni radiatsiya 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 nurlari energiyasi 150 keV ga teng. Bu nurlarning energiyasi organizm ichki qismlariga kirishga yetarli emas. Shu sababli davolashda ^{60}Co izotopidan chiqayotgan γ 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 tezlatkichlar ishlab chiqarish qimmatga tushadi. Shu sababli bunday qurilmalar kelajakda ko'plab ishlab chiqarilishi mumkin.

10.3-jadvalda hozirgi kunda kasalliklarga tashxis qo'yishda foydalaniladigan izotoplar keltirilgan.

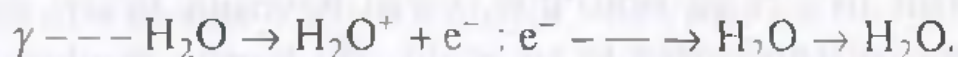
10.3-jadval

Radioizotop	Yarimyemirilish davri	Qo'llanilishi
^{32}R	14,3 kun	Leykemiya va boshqa rak kasalliklari
^{86}Sr	27,8 kun	Qon oqishini tekshirish, skaner qilishda rak to'qimalarini tashqi nurlantirish
^{60}Co	5,24 kun	Rak to'qimalarini tashqi nurlantirish
^{75}Se	127 kun	Qalqonsimon bezni tekshirish
^{84}Sr	64 kun	Suyaklarni tadqiq qilish
^{90}U	64 soat	Rak to'qimalarini mahalliy nurlantirish uchun zondlarga o'rnatiladi
^{99}Tc	6 soat	Miya, qalqonsimon bez, buyrak va taloqni tekshirishda, qalqonsimon bezni davolashda
^{125}I	60 kun	Qalqonsimon bezni tekshirish va davolashda
^{131}I	8,05 kun	Miya o'simtasini aniqlash, jigar, buyrak va o'pkani tekshirishda
^{198}Au	2,7 kun	Ko'krak rakini davolashda.

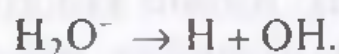
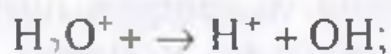
10.4-§. Radiatsion biofizika

Radioaktiv fon yildan yilga ortib borishining sabablari juda ko'p bo'lib, radioaktiv uranni qazib olish, qayta ishlash, boyitish jarayonlari radioaktiv moddalardan energetik nuqtayi nazaridan fan va qishloq xo'jaligida, tibbiyotda qo'llanilishi radioaktiv fonning ortib borishiga olib kelmoqda. Prezidentimiz I.A. Karimov o'zining «XXI asr bo'sag'asida: xavfsizlikka tahdid barqarorlik shartlari va taraqqiyot kafolatlari» (1997) asarida eng dolzarb ekologik

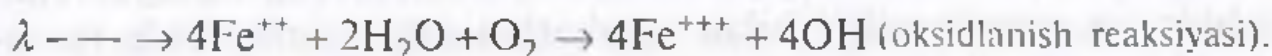
muammolardan biri deb, radioaktiv fonning oshib borayotganligini ta'kidlab o'tganlar. Chunki respublikamiz hududlarida radioaktivligi yuqori bo'lgan joylar ko'plab uchraydi. Ayniqsa, Uchquduq, Yangiobod, Chotqol tog' tizmalarida, Buxoro, Qashqadaryo, Surxondaryo, Namangan viloyatlarida radioaktiv uranli tuproqlarda yem-xashak o'tlari o'sadi va hayvonlar boqiladi. Natijada bevosita hayvonlarning go'shtida, sutida radioaktivlik paydo bo'ladi. Bu esa nafaqat hayvonlarda, balki odamlarda ham «nur kasalligi»ning elementlari paydo bo'lishiga olib keladi. Shuning uchun ham hozirgi avlod atom nurlarining tirik organizmga, jumladan, hayvonlarga zararli ta'siri oqibatlarini astoydil o'rganish kerak. Bitta misol keltiraylik: gamma-kvant radiatsiyaning suvga ta'sirini ko'rib o'taylik, chunki tirik organizmning 50–80% ini suv tashkil etadi:



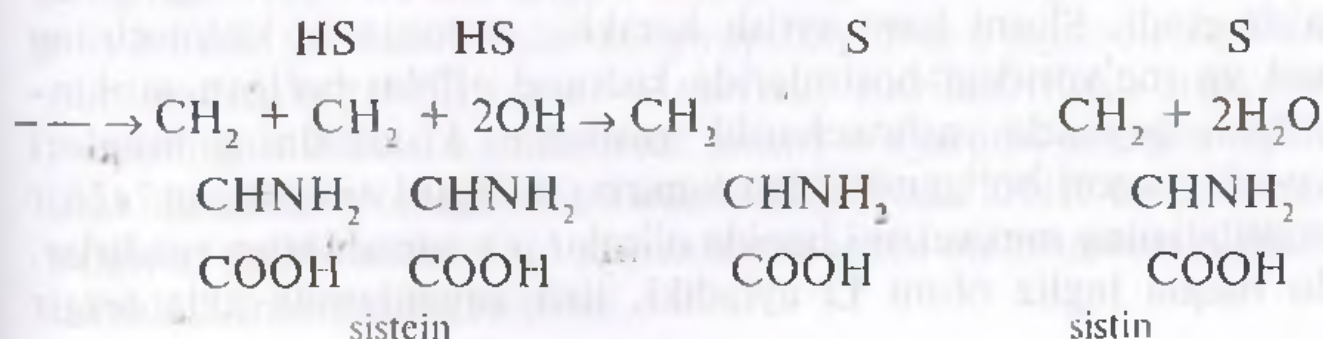
Bu holatda fizikaviy-kimyoviy xususiyatlari ionlashtirilgan suv molekulasidan farq qiladi. Ionlashtirilgan suv molekulasi qisqa vaqt yashab erkin elektronlar hosil qiladi. Musbat suv ionlari proton va gidroksillarga, qoldiqlari vodorod atom gidroksil qoldiqlariga aylanadi:



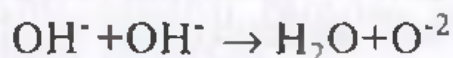
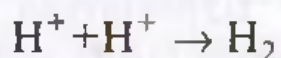
Ionlovchi nurlarning to'g'ri ta'siri natijasida oksidlanish-qaytarilish reaksiyalari vujudga keladi:



Bu moddalar yuqori kimyoviy faolligi bilan hamda erkin elektronlar mavjudligi natijasida suvda eritilgan moddalar bilan reaksiyaga kirishib, quyidagi moddalar hosil bo'ladi.



Bu hollarda suvdagi erigan kislorod hisobiga suv va vodorod peroksidi hosil bo'ladi:



Yuqoridagi reaksiyalardan ko'rinib turibdiki, erkin radikallar-ning hosil bo'lishi nurlangan hayvon va o'simliklarda kimyoviy birinchi reaksiyalarni vujudga keltirar ekan. Bu esa «Nur kasalligi»ning boshlanishidan dalolat beradi. Erkin radikallarning tirik organizmda kimyoviy moddalar bilan o'zaro ta'siri 10^{-5} – 10^{-6} sekundni tashkil etadi. Erkin radikallarni kimyoviy organik va noorganik moddalar bilan o'zaro ta'siri oksidlanish-qaytarilish reaksiyalarini to'g'ri va noto'g'ri, ya'ni bevosita ta'siri natijasida hayvonlarga, o'simliklarga ta'sir etadi. Bu haqda akademik A.M. Kuzinni radiatsiyaning bevosita molekulaning strukturasi ta'siri haqidagi nazariyasi mavjuddir (A.M. Kuzin, 1986). Bu nazariyaga asosan nurlantirilgan organizmda kislorodning miqdori asosiy rol o'ynaydi. Chunki kislorod bilan tirik organizmda birinchi reaksiyalar vujudga keladi. Bu effekt natijasida nur kasalligi tobora rivojlanadi. Asosan kislorod effekti gamma va rentgen nurlanishlarda α -nurlanishga nisbatan ko'proq bo'ladi. Kislorod effekti barcha biologik obyektlarda: biofizik, biokimyoviy hamda fiziologik jarayonlarda o'z ta'sirini ko'rsatadi.

Kislorod effekti tibbiyot klinikasida «nur kasalligi»ning rivojlanishida va nur kasalligi bilan jarohatlanishni kamaytirish masalalarida qo'llaniladi. Kemiruvchi hayvonlarda ko'pincha me'yorida bo'lgan kislorod bosimi (30–45 GPa) zararli ta'sirida hayvonlarni radiatsiyaga bo'lgan chidamliligi ortadi. Kislorodni atrof-muhitda ortishi radiatsiyadan keyingi tiklanish holatiga ijobiy ta'sir etadi. 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'lgani aniqlangan. «Nur kasalligi»ning mexanizmi haqida olimlar o'z qarashlariga egadirlar. Bu haqda ingliz olimi Li aytadiki, tirik organizmda juda sezgir

molekulalar bor. Ana shunday molekulalar asosan DNK bo'lib, ular «nishon» deyiladi. Agar radiatsion 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, aldegid, keton va epoksid kabi zaharli moddalar hosil bo'lib, nur kasalligiga olib keladi deyiladi.

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, Y.B. Kudryashov nazariyasi bo'lib, radiatsiyaga chidamlilik organizmdagi endogen himoya rolini o'ynaydigan moddalarga bog'liq deydi va kalamush, sichqonlardagi endogen 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, sietinsestialin moddalari oddiy tuproqqa (15–25 mkR/s) nisbatan ko'proq sintez bo'lib to'planganligi tajribalar yordamida tasdiqlandi. Yuqorida keltirilgan gipotezalar hayvonlar organizmi uchun ham radiatsiyaning birinchi ta'sir mexanizmi uchun to'g'ri, ammo hayvonlarda neyroendokrin reaksiyasida alohida xususiyatga ega.

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 radiatsiyaning 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 yadroning o'lchami kattalashadi, mitoz o'zgaradi, hujayra aylana shakliga kelib qoladi. Nurlantirilgan hujayrada DNK molekulasida zanjirlar uzilib, xromosom aberratsiyasi ichki membranasi o'zgarib, modda almashinishi buziladi.

Olib borilgan ilmiy tekshirish ishlari natijalari ko'rsatadiki, ionlovchi radiatsiyaning ta'siriga hujayra bo'linishining profaza bosqichi eng sezgir ekan. Ionlovchi nurlar ta'sirida hujayra to'qimalarida mitozga stimulatsiya beruvchi auksin kabi moddalar hosil bo'lishi isbotlangan.

Radiatsiya ta'sirida hujayra membranasining o'tkazuvchanligi buziladi, ayniqsa sitoplazma va yadroning membranalarida elektrolitlarning o'tkazuvchanligi o'zgaradi. Bu esa hujayraning bo'linishiga zararli ta'sir etadi. Radiatsiya ta'sirida hujayraning bo'linishini susaytiruvchi moddalar hosil bo'ladi. Masalan, ATF me'yorida ortiq hosil bo'lishi hujayraning bo'linishini to'xtatadi.

Ionlovchi nurlar ta'sirida dezoksiribonuklein kislotasi (DNK) sintez bo'lishi susayadi. Bu esa mitoz bo'lishiga zararli ta'sir etadi. Ionlovchi nurlar ta'sirida xromosomalarning strukturasi buziladi. Natijada hujayrani o'limga olib keladi. Hayvonlarda radiatsiyaga sezgirlik juda xilma-xil bo'lib, radiatsiyaning quvvatiga, miqdoriga hamda tirik organizmning turiga bog'liqdir. Ko'pgina LD 50/30 va LD 100/30 (letal dozasi) o'limga olib boruvchi radiatsiya miqdori 30 kun mobaynida 50% va 100% o'limga olib keladi. Hayvonlarning radiatsiyaga bo'lgan sezgirligi darajasini aniqlab beradigan to'liq nazariya hozirgacha yo'q. Shuni ham aytish kerakki, hayvonlarda, insonlarda nurlanishga juda sezgir qushlarga, baliqlarga, suvda yashovchi jonivorlarga nisbatan hayvonlarning radiatsiya zararli ta'siriga sezgirligi hatto bir to'qimaning har xil joyidagi hujayralarda ham bir-biriga nisbatan farq qiladi. Hatto radiatsiya ta'siridan tiklanishi ham farq qiladi. Radiosezgirlik hayvonlar organizmida quyidagi tartibda pasayib boradi: katta yarimshar, bosh miya, limfalar, orqa miya, oshqozon-ichak tizimi, jigar, o'pka, buyrak, yurak, muskullar, teri va suyak to'qimasi.

Hayvonlar nurlantirilgan jarayondan keyin a'zolarining tiklanishini 3 guruhga bo'lish mumkin:

- 1) limfatik usullar, oshqozon-ichak trakti, miya, qorataloq, jinsiy a'zolarida 25 R miqdorida radiatsiya olganda ham seziladi;
- 2) radiatsiya 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 morfoogik o'zgarishlar seziladi.

Tirik organizmni umumiy bir xil radiatsiya miqdorida nurlantirish biofizik effekt beradi. Agar hayvonni ekranlashtirib, birorta a'zosini nurlantirsak, tirik organizmning chidamliligini oshiradi. Ionlashtiruvchi radiatsiyadan masalan, oshqozonosti bezi himoyalashtirilgan hayvonning ayrim a'zolari yashovchanligini ko'ramiz.

10.4-jadvalda sichqonlarning ayrim qismlarini ekranlashtirib nurlantirilganda yashovchanligi ko'rsatilgan.

10.4-jadval

№	Ekranlashtirilgan joyi	Nurlanish miqdori, R	30 kun davomida yashovchanligi, %
1.	Qorataloq	1025	77,7
2.	Jigar	1025	33,0
3.	Kalla	1025	27,7
4.	Ichak	1025	26,6
5.	Nazorat	1025	0
6.	Qorataloq	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 a'zolarga nisbatan birmuncha ionlashtiruvchi 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, ensefalit kasalliklari kuzatiladi. Ionlovchi nurlarning ta'siri shuni ko'rsatadiki, nur ta'sirida oldingi fazada jarayonlarni faollashtiradi, keyingi fazada susaytiradi (10.5-jadval).

Ko'rinib turibdiki, hayvonlarning gomeostatik funksiyasi bir xil o'zgarishda ionlashtiruvchi nurlar ta'siri bir xil bo'lmaydi.

10.5-jadval

**Organizm nurlangandan keyin bo'ladigan jarayonlar
dinamikasi**

No	Nurlanish miqdori R	O'zgarish	1-faza	2-faza
1.	1000	Quyov qoni oq qismining o'zgarishi	Nurlangandan keyin birdaniga leykotsitoz	24 soatdan keyin leykopeniya
2.	1000	Quyov qonida va ko'zning ichki kamerasida adrenalin miqdori o'zgaradi	ortadi	24 soatdan keyin kamayadi
3.	800	Kalamushning 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

Ionlashtiruvchi nurlar hayvonlarning markaziy nerv tizimiga umumiy va spetsifik ta'sir etadi. Umumiy ta'sir etish refleklari shu bilan birgalikda markaziy nerv tizimida nurlanishga javob reaksiyasi sinxronsiz o'tadi.

Miya po'stlog'i va po'stloq tagidagi markazlarda o'zaro ta'sirining buzilishi ionlovchi nurlar rivojlanishida katta vazifani bajaradi. Kalamushlarni umumiy nurlantirganda sodir bo'ladi. Ammo lokal nurlantirganda sodir bo'lmaydi.

Radioaktiv nurlarning ta'siriga eng birinchi javob reaksiyasi bioelektrik faollik bilan markaziy nerv tizimi javob beradi. Ya'ni, bosh miya po'stlog'i quyovlarning nurlanishini birinchi sekundlaridayoq 0,05 r ni sezadi.

Nerv tizimi juda yuqori radiatsion sezgirlikka egadir. Nerv tizimi radiatsiyaning ta'siriga spetsifik va nospetsifik ta'sir reaksiyalariga egadir.

Xulosa qilib aytish mumkinki, rentgen nurlari, yuqori chastotali elektromagnit maydoni bilan bir xil jarayonlar hayvonlarda kechishi aniqlangan. Hayvonlarni shartli reflektorlik faoliyatida, birinchi ta'sir mexanizmidagi spetsifik jarayonlar ham mavjuddir.

Ionlovchi radiatsiyani hayvonlarni sezish a'zolariga ta'siri, ya'ni eshitish, ta'm bilish, hid sezish, vestibular va boshqa a'zolariga 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 nurlari 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 gavhari-ning 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 yetarlidir. 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, kataraktning rivojlanishi uchun 15—20 R yetarlidir.

Ko'z to'qimasida, ya'ni gavharda hayvonlarning 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 radiatsiyaga sezgir bo'ladi. Lokal nurlantirilganda ta'sir terining oldingi holatiga bog'liqdir. Terining ionlovchi nurlar ta'sirida o'zgarishiga 2 R nurlanish yetarli. Radiatsiya 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 regeneratsiyaning pasayishiga, hujayra bo'linishining buzilishiga, ko'p yadroli hujayralarning paydo bo'lishiga yoki yadroning shishib ketishiga, jun tolalari follikullarining kamayishiga, ya'ni yog' bezlarining yo'q bo'lishiga olib keladi.

Har xil hayvonlarning ionlovchi nurlar ta'siriga javob reaksiyasi bir-biridan ozgina farq qiladi. Masalan, qo'yning radiatsiya 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'liq shaklida ro'y beradi, ya'ni avvalo xuddi nur kasalligi tingandek bo'lsa-da, ammo ikkinchi to'liqida biofizik, fiziologik va morfologik o'zgarishlar ro'y beradi. Agarda kuchli, ya'ni o'limga olib boruvchi letal miqdorda nurlantirilsa, qo'yni 3-4 kunda o'limga olib keladi. Qo'ylarda nur kasalligi elementlari boshqa hayvonlarga nisbatan ko'proq sodir bo'ladi. Letal miqdorda nurlantirilgan qo'ylarda terining tiklanish holati bo'lmaydi.

Hayvonlarning endokrin bezlariga radiatsiyaning ta'siri bevosita va bilvosita bo'ladi hamda 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 eng sezgir hujayra eritoblastlardir. Ammo har xil hayvonlarda har xildir. Masalan, tovuqda juda ham past. Demak, hayvonlar qonining radiatsiyaga sezgirligi har xildir. Ionlovchi nurlarning oshqozonga ta'siri shuni ko'rsatadiki, radiatsiya sezgirligi jihatidan ingichka ichak, so'lak bezlari, oshqozon, to'g'ri va o'rama ichak, oshqozonosti bezi va jigar bo'lib hisoblanadi.

300 R bilan nurlangandan keyingi 24 sutkalarda qo'y oshqozonosti sekretiya bezi kichik nurlangan hayvonlarda gipersekretiya — oshadi, giposekretiya kamayadi. 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. Radiatsiyaning og'ir formolari nur kasalliklarida birinchi kunlari peristaltika sekretiya bezlari kattalashadi va fermentlarning faolligi oshadi. Keyinchalik beshinchi kunga borib sekretiya bezlari va

fermentlar faolligi pasayib ketadi. Shuni ham aytish kerakki, radiatsiyaning ta'siri hayvonlarda fermentlarning sintez bo'lishi to'liqsimon o'zgarib turadi. Membrananing qisqa vaqtda o'tkazuvchanligi nur kasalligida o'zgarib, keyinchalik esa oshqozon bezlarida pasayib ketadi. Bu jarayon yosh buzoqchalarda kichik miqdordagi radiatsiyalarda radiatsion 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 fermentlarning faolligi oshadi va peristaltikaning nurlangan hayvonlarda oshqozon-ichak tizimining tiklanishi har xil muddatda bo'ladi.

10.6-jadval

№	A'zolar	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 pH	30 35 14
3.	O'n ikki barmoqli ichak	Shira miqdori Shirada qon aralashmasining yo'qolishi Enterokinazalar Fosfatazalar miqdori	153 164 100 114
4.	Ingichka ichakning o'rta qismi	Shira miqdori Shirada qon aralashmasining yo'qolishi Enterokinazalar Fosfatazalar miqdori	172 198 178 187

10.6-jadvaldan ko'rinib turibdiki, haqiqatan ham itning oshqozon-ichak a'zolarining tiklanishi har xil muddatlarda sodir bo'lar ekan. Demak, endokrin strukturasi radiatsion sezgirligi ya'ni radiatsiyaga chidamliligi har xil ekan. Ionlovchi nurlar hayvonlarning yurak-qon tomirlar tizimida yurakda eng avval ritm tizimida seziladi. O'rta miqdordagi radiatsiya ta'sirida hayvonlarning

morfologik funksiyalari o'zgaradi. Ko'pincha yurakda har xil darajada qon quyilish jarayonlari sodir bo'ladi. Bu jarayonlar RNK va DNK miqdorining 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 kasalligining 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 buyrakning jarohatlanishi ro'y berib, siydik chiqarish yo'llarida qon quyilish degenerativ-distrofik o'zgarishlar bo'ladi va natriy, kaliy, xlor kabi moddalarni ko'proq chiqarib, siydik pufagida morfologik va funksional o'zgarishlar sodir bo'ladi. Itni 400 R nurlantirilganda oshqozon a'zolarining tiklanish muddatlari o'zgaradi.

Radiatsiya ta'sirida hayvonlarning suyagi, muskuli va chidamliligi hayvonlarning yoshiga bog'liq bo'lib, yosh mollar chidamsiz, o'sishdan to'xtagan, voyaga yetgan hayvonlar suyagi chidamlidir. Asosan, radiatsiya suyaklarni birlashtirib turgan joylariga ta'sir etib, ularni suyaklar ajralib ketishiga olib keladi. Radiatsiyaning nisbatan yuqori miqdorlarida hayvonlarda nekroz suyaklar sinib ketadi, ya'ni mo'rt bo'lib qoladi. Hayvonlarning boshi, ya'ni kallasi nurlantirilganda tishlarida kariyes jarohati rivojlanadi, yosh buzoqchalarning o'sishi, rivojlanishi susayadi.

Hayvonlarning muskul to'qimalari nisbatan radiatsiyaga chidamli bo'lib, hatto lokal nurlantirilganda bir necha ming rentgendagina o'zgarishlarni ko'rish mumkin.

Hayvonlarning ko'payish a'zolari radiatsiya ta'siriga juda sezgir bo'lib, hayoti davomida o'zgarib turadi hamda pusht to embrion bo'lib yetilgunicha vaqt davomida radiatsiyaga sezgirligi kamayib boradi. Hayvonlarning jinsiy a'zolarida radiatsiya, asosan, generativ a'zolariga ta'sir etadi, ammo gormonal xususiyatlari kamroq jarohatlanadi.

Hayvonlarning tuxumdonlari 25–50 R radiatsiya ta'sirida strukturaviy o'zgarishlarga olib keladi. Radiatsiyaning 500R va undan ortiq miqdorlarida tuxumdonlari o'lchami o'zgarib boradi. Xo'rozlarni 600R bilan nurlantirilganda ularda deyarli o'zgarishlar sezilmaydi, ammo letal va subletal radiatsiyaning miqdorlarida jinsiy a'zolarida salbiy o'zgarishlar sodir bo'ladi, ya'ni ular tiklanmaydi. Ma'lumki, hayvonlar boqiladigan dalalarda har xil radionuklidlar mavjud bo'lib, yem-xashak bilan tirik organizmlarga ham o'tadi va tirik organizmlarda nur kasalligining elementlarini paydo qiladi. Demak, hayvonlarning go'shti, suti orqali odam organizmiga ham o'tishi mumkin. Shuning uchun ham radionuklidlarning ta'sirini tirik organizmda o'rganish muhim radiatsion biofizik ahamiyatga egadir. Hozirgi vaqtda radionuklidlarni tirik organizmga o'tishini pasaytirishning zootexnik, agrotexnik, agrokimyoviy usullari ishlab chiqilgan bo'lib, yetarli darajada organizmning nurlanishini kamaytiradi. Hayvonlar va parrandalarni dala joylaridan o'troq joylarga o'tkazish bilan go'shtda, sutda va tuxumda radionuklidlar miqdori minimal darajaga keltiriladi. Yangi joyga ko'chirilgan hayvonlarni so'yishdan oldin radionuklidlar kam bo'lgan oziqalar bilan boqiladi.

Ma'lumki, 1945-yil avgust oyida Yaponiya davlatining Xirosima va Nagasaki shaharlari ustida AQSH atom bombasini portlatganidan so'ng, yana ko'p atom bombalari tajriba sifatida portlatildi hamda radioaktiv uranli tuproqlarni qazib olish va boyitish jarayonlari natijasida havoda, tuproqda, suvda radioaktiv moddalar miqdori oshib bordi. Olimlarning tekshirish natijalari ko'rsatadiki, atmosferada ^{90}Sr , ^{131}I , ^{137}Cs , ^{144}Ce kabi radionuklidlar ko'paydi.

10.5-§. Atom yadro nurlarining qishloq xo'jaligida qo'llanilishi

Hozirgi vaqtda atom texnikasining yutuqlaridan foydalanib, qishloq xo'jaligi ekinlarining biokimyó, biofizika, fiziologik, morfologik va genetik jarayonlarini ochish sohasida diqqatga loyiq muvaffaqiyatlarga erishildi.

Radioaktiv nurlarning o'simliklarning o'sishi borasidagi ijobiy ta'sirini alohida uqtirib o'tish kerak. Bu borada ayniqsa,

A.N. Kolsov, A.M. Kolsovalarning o'simliklarning mutatsiyalar sohasidagi birinchi ishiga katta e'tibor berish kerak. 1962-yil mobaynida L.P. Bereslaves radiostimulatsiya sohasida katta ishlarni bajardi. Keyinchalik radiostimulatsiya sohasida A.M. Kuzin va M.M. Berezinaning tadqiqotlari natijasi nurlantirilgan chigitning tez unib-o'sishi va qishloq xo'jaligiga foyda keltirgani diqqatga sazovordir. Tabiiy radioaktiv element bo'lgan tuproqda mineral o'g'it sifatida foydalanish ham muhim ahamiyatni kasb etadi. Bu ishlarni N.N. Timofeyev-Resovskiy, P.A. Vlasyuk, N.G. Jekson va boshqalar amalga oshirdilar. Ma'lumki, respublikamiz paxtakor o'lkadir. O'zbekiston olimlari yadro nurlaridan, ayniqsa, paxtachilikda foydalanish borasida juda ko'plab ulkan yutuqlarni qo'lga kiritdilar. Masalan, akademik J.A. Musayev va N.N. Nazirov g'o'zaga yadro nurlarining biologik, biokimyoviy, fiziologik va morfologik ta'sirini o'rgandilar. Bundan tashqari N.N. Nazirov va F. Joniqulovlar tomonidan g'o'za navlariga radioaktiv fosfor-32 berish bilan yangi navlar yaratildi.

Yadro nurlaridan genetikaning mutatsion jarayonlarida foydalanish, ayniqsa, katta istiqbollar ochib berdi. Mutatsion 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'sirlanishi va metastabillik darajasi ortadi. Masalan, 4% namligi eksikatorida quritilgan urug' 8—12% namlikka ega bo'lgan urug'ga nisbatan kuchli ta'sirlanadi. Kechpishar g'o'za navlari ertapishar navlarga nisbatan ionlovchi radiatsiyaga ancha chidamsiz bo'ladi. Nurlantirish uchun qishloq xo'jaligi ekinlari eng qulay obyekt hisoblanadi va nurlangandan keyingi birinchi yil laboratoriyada saqlab keyin radiatsion effektlarni aniqlashda va nur bilan jarohatlangan «yara» ni qayta tiklash muammosini hal etishda ham katta ahamiyatga egadir.

Olimlardan G.A. Nadson va G.S. Fillipov, L.N. Deloyev, A.A. Sanigen, S.A. Krivoy va boshqalar birinchi bo'lib radioaktiv nurlar ta'sirida mutatsiya 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 almashinuvinining 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 vegetatsion davr qisqargan, ko'sak yirikligi, hosildorligi oshgan.

N.N. Nazirov va O.Jalilovlar 1965–1980-yillarda S-4727 navi-ning 30 kunlik ko'sagiga gamma nuri ta'sir ettirib, qishloq xo'jaligi uchun muhim bo'lgan belgilarni saqlagan holda ertapishar ko'sagi yirik mutant olishga erishdilar. Olingan mutant «AN-Chimboyobod», «AN-Kattaqo'rg'on» deb nomlangan. Shu olimlar tomonidan tezpishar «1306-DV» navli urug'ni ekishdan oldin radioaktiv fosfor R32 eritmasida 24 soat ivitib qo'yish va ivitilgan chigitdan unib chiqqan o'simlikni takroriy yakka tanlash usulini yaratganlar. Uning dastlabki formaga nisbatan ko'sagi yirik bo'lib; ertapisharligi saqlangan. Keyingi yillarda akademik O.Jalilov va professor F.Joniqulovlar radiatsiya ta'sirida g'ozaning yangi navlarini yaratdilar.

G'o'zaning vilt kasalligiga chidamli navlarini yaratishda ham radioaktiv fosfor — R32 eritmalari yaxshi natijalar bermoqda. 1960–1970-yillarda N.N.Nazirov, F.Joniqulov va boshqalar yovvoyi Meksikanum g'o'za chigitini ekishdan oldin radioaktiv fosfor eritmasida (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 ertapishar, 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.

1971-yildan boshlab «AN-401» navi 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 ega bo'lgan g'o'za navlarini yaratdilar. Shuni aytish kerakki, hozirgi kunda nurlarning qo'zg'atuvchi (kuchsiz va mutagen kuchli) fazalari barcha qishloq xo'jaligi ekinlari uchun aniqlangan.

Tajribada gamma nurining 1 va 2 kR dozasi bilan nurlantirilgan urug'larning unib chiqishi duragay o'simliklarda 2—3 kunga tezlashishi 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'jaligi mahsulotlarini radiosterilizatsiya qilishda ham keng foydalanilmoqda. Odatda, qishloq xo'jaligi mahsulotlarini yig'ib olishda ularning 25—30% miqdori isrof bo'ladi. Shuning uchun ham qishloq xo'jaligi mahsulotlarini saqlash muddatini radiosterilizatsiya usuli yordami bilan cho'zish olimlar, muhandislar diqqatini o'ziga jalb etdi.

Radiatsion sterilizatsiya usuli yordamida bahorgi-yozgi davrlarda kartoshka, piyoz va boshqa ekinlar, tez buzilib qoladigan mevalarning sharbati saqlanadi. Baliqlarni, go'shtlarni va yarimtayyor mahsulotlarni saqlashda ham radiatsion 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 radiatsion nur bilan nurlantirilganda 5—6 kecha-kunduzdan to 12—13 kecha-kunduzgacha saqlash mumkin. Bu esa mevalarni boshqa shaharlarga jo'natish muddatini oshiradi. Bunday miqdorda nurlantirish katta iqtisodiy samaradorlikka ega bo'lib, shaftoli, o'rik, gilos va boshqa mevalarni saqlash uchun ahamiyatlidir. Yadro nurlarining ta'siri qishloq xo'jaligi zararkunandalariga qarshi kurashda ham katta rol o'ynamoqda. Masalan: hozirgi kunda gelmintlar va boshqa zararkunanda hasharotlarning rivojlanishi yadro nurlari bilan to'xtatilmoqda.

A.Murodov va V.D. Bubnov (1971)lar 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'jaligi zararkunandalariga qarshi kurash, ayniqsa, yadro nurlarining miqdoriga ham bog'liq bo'ladi. Oziq-ovqat texnologiyasida yuqori sifatli mahsulotlar ishlab chiqarish talab etiladi. Ammo yuqori sifatli mahsulot esa uzoq muddat saqlashni talab etadi. Bunga yorqin misol qilib konyak ishlab chiqarishni keltirish mumkin. Yoqimli konyak ishlab chiqarish uchun ichimlik eman bochkalarda uch va besh yilgacha saqlanishi 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 qo'llaniladigan reaksiyaning tezlanishiga yordam berar ekan. Bunday nurlantirish sog'liq uchun zararli, chunki nurlangan oziq-ovqat mahsulotlarida kanserogen moddalar hosil bo'lishi mumkin. Radiatsion texnologiyada mahsulotlarni saqlashda nurlantiruvchi manba sifatida kobalt-60 va seziy-137 qurilmalari hamda tezlashtiruvchi elektron generatorlar ishlatilmoqda.

Radiatsion ishlov berish quyidagi maqsadlar uchun amalga oshiriladi:

1. Qishloq xo'jaligi mahsulotlarida bo'ladigan fiziologik jarayonlarni to'xtatish.
2. Mahsulotlarga zarari bo'lgan mikroorganizmlarni pasterizatsiya yo'li bilan to'xtatish.
3. Sterilizatsiya yo'li bilan zararli mikroorganizmlarni butunlay yo'qotish.
4. Dezinseksiya, ya'ni zararli hasharotlarni yo'qotish.

Har qanday tur mahsulotlarning 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'jaligi mahsulotlarining buzilishida zararli hasharotlar ham katta rol o'ynaydi. Atrof-muhitni e'tiborga olgan holda zararli hasharotlarni keltirgan iqtisodiy zararlariga ko'ra 2 kategoriyaga bo'lish mumkin:

- 1) oziq-ovqat mahsulotlarini iste'mol qiluvchi hasharotlar;
- 2) qishloq xo'jaligi o'simliklari va hayvonlariga zarar keltiruvchi hasharotlar.

Qishloq xo'jaligi zararkunandalariga qarshi radiatsion yo'l bilan kurashning bir necha usullari mavjud.

1-usul: qishloq xo'jaligi mahsulotlarini zararkunandalar, ya'ni hasharotlarni butunlay yo'q qilish uchun bevosita yuqori radiatsion miqdordagi 10–100 krad nur bilan nurlantirish.

2-usul: kichikroq miqdordagi (1–10 krad) nur bilan jinsiy urchishini to'xtatish, ya'ni radiatsion sterilizatsiya qilish.

Bu holatda zararli hasharotlar birdaniga o'lib ketmaydi-yu, ammo kelgusidagi ko'payish tezda kamayadi. Bu usul uzoq muddat talab qilsa, birinchi usulga nisbatan mahsulotlar sifatining saqlanishiga imkon yaratadi.

3-usul: bu ham 2-usulga yaqin. Ammo bu holatda faqatgina hasharotlarning erkagini biofabrikalarda ko'paytirilib nurlantiriladi, keyin esa tabiiy sharoitda qo'yib yuboriladi. Bu nurlantirilgan zararkunanda-kemiruvchilar nasl qoldirmaydi, natijada bu populatsiya o'lib ketadi.

Oziq-ovqat mahsulotlarini radiatsion sterilizatsiya yo'li bilan saqlash va qishloq xo'jaligi 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 texnologiyaning iqtisodiy samaradorligi bilan taqqoslaniladi.

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 izlanish Ukrainada akademik P.A. Vlasjuk rahbarligida olib borildi. Urug'larni ekishdan avval tarkibida fosfor-32, rux-65, kalsiy-45 va boshqa radioaktiv izotoplari bo'lgan tuzlarning eritmasi bilan ishlanganida ekinning tekis unib chiqishi va hosildorlikning ortishi aniqlandi.

Masalan, qandavlagining og'irligi radioaktiv nurlar ta'sirida 1,5—2 marta ortdi. Urug'larni kichik dozalardagi radioaktiv nurlar bilan nurlantirish natijasida bug'doyning boshqoq chiqarishining tezlashishi va beda hosildorligining ortishiga sabab bo'ldi. Lyutik — chiroyli o'simlik urug'lariga ekishdan avval radioaktiv rux tuzlari eritmasi bilan ishlov berish ekin ildizining kattalashganligiga, o'simlikning yaxshi o'sishiga va ildizda azotli bakteriyalar bor tuganaklarni yo'qotishga yordam berdi.

O'simlik kichik dozalardagi nurlar bilan nurlantirilganda tez rivojlanadi. Masalan, grechka nurlantirilsa, uning ko'k massasi unumdorligi ortadi. Bu jihatdan sabzavot ekinlari ham e'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 pomidor tarkibida shakar miqdori ko'payadi. Ekishdan oldin bodring urug'lari radioaktiv nurlar bilan nurlantirilganda hosil 15—30%, sabzida esa 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 radiatsion seleksiya fani vujudga keldi. O'simliklar yuqori dozali nurlar bilan nurlantirilsa, u holda bunday nurlar xo'jalik uchun foydali yangi xossalari bo'lgan shakllarni olish mumkin bo'ladi. O'simliklar bunday nurlar bilan nurlantirilganda ularda turli kasalliklarga chidamlilik ham oshadi. Kichik dozadagi radiatsiyaning o'simliklargagina emas, balki hayvon organizmiga ham foyda yetkazishi ma'lum bo'ldi. Moskva viloyati ayrim xo'jaliklarida tovuq tuxumi nurlantirilganda jo'ja ochildi 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 ettirilganda 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 kurashishda foydalanish nihoyatda katta istiqbollarga olib kelmoqda. Olimlarning hisoblab chiqishlariga ko'ra, butun

dunyoda yiliga zararkunandalar yeb ketadigan mahsulot 200 million kishilarning ovqatlanishlari uchun yetarlidir.

Hasharotlar 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 sterilizatsiya qilish kerak bo'ladi. Zararli mikroorganizmlarning 80—90 foizining yo'qotilishining o'zi ham, turli mahsulotlarning saqlanish muddatini bir necha marta oshiradi.

Radioaktiv izotoplar yordami bilan tajribalar o'tkazish natijasida lavlagi, makkajo'xori, g'oz kabi o'simliklar sochma usulda berilgan o'g'itni yomon o'zlashtirishi aniqlandi. Turli qishloq xo'jaligining ekinlari o'simlikning qaysi davrida fosforni maksimal o'zlashtirishini tekshirish ustida olib borilgan tajribalar yaxshi natijalar berdi. Masalan, fosforni g'oz, tamaki va qandlavlagi, sholi kabi o'simliklar o'sishining dastlabki davrlarida yaxshi o'zlashtiradi. Bu ma'lumotlardan foydalanib Uzoq Sharqdagi ekish stansiyalarida yerga beriladigan o'g'itlarning umumiy miqdori kamaytirilgan holda har gektaridan olinadigan hosil 25 sentnerdan oshmaydi.

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. Yarimyemirilish davri deb nimaga aytiladi?
9. Radioaktiv yemirilish turlarini tushuntiring.
10. Radioaktiv zarralarni qayd qilishning qanday usullarini bilasiz?
11. Rentgen va radioaktiv nurlar tirik organizmga qanday ta'sir qiladi?
12. Nishonli atom va ularning ishlatilishi haqida nimalarni bilasiz?
13. Qishloq xo'jaligining qaysi sohalarida radioaktiv nurlardan foydalaniladi?
14. Radioaktiv nurlardan qanday himoyalaniish mumkin?
15. Grey va Zivert nimani anglatadi?
16. Dozimetrik asboblarni haqida nimalarni bilasiz?
17. Radioaktiv nurlarning qanday ekologik ta'siri mavjud?

FOYDALANILGAN ADABIYOTLAR

1. *Грабовский Р.И.* Физика курси. — Т.: Ўқитувчи. 1980.
2. *Ремизев А.Н.* Тиббий ва биологик физика. — Т.: Ибн Сино номидаги нашриёт, 1990.
3. *Мерион Ж.Б.* Общая физика с биологическими примерами. — М.: Высшая школа, 1986.
4. *Рубин А.Е.* Биофизика. 1–2-том. — М.: Высшая школа, 1982.
5. *Белановский А.С.* Основы биофизики ветеринарии. — М.: Агропромиздат, 1989.
6. *Аккерман В.* Биофизика. — М.: 1964.
7. *Волькенштейн В.М.* Биофизика. — М.: Высшая школа. 1981.
8. *Глазер Р.* Очерки основы биомеханики. — М.: Мир, 1988.
9. *Левинцов Н.М.* Курс физики. — М.: Высшая школа, 1978.
10. Основы агрофизики под редакцией АФ Иоффе. — М.: Высшая школа, 1990.
11. Tom A.Waigh. Applied biophysics: A molecular approach for physical scientists. — University of Manchester, 2007.
12. *Самойлов В.О.* Медицинская биофизика. СП б. 2004.
13. *Антонов В.Ф.* Биофизика. — М.: Дрофа. 2000.
14. *Владимиров Ю.А., Потапенко А.Я.* Физико-химические основы фотобиологических процессов. — М.: Высшая школа. 1989.

MUNDARIJA

Soʻz boshi	3
Kirish	5

I BOB. Biomexanika asoslari

1.1-§. Biopolimerlar tuzilishi va xossalari.....	7
1.2-§. Biopolimerlar orasidagi kuchlar.....	13
1.3-§. Muskul mexanikasi.....	17

II BOB. Bioakustika

2.1-§. Tovush. Tovushning veterinariyadagi ahamiyati va fiziologik xossalari.....	30
2.2-§. Tovushning fiziologik xossalari.....	31
2.3-§. Tibbiyot va veterinariyada tovush usullaridan foydalanish.....	34

III BOB. Hidrodinamikaning fizik asoslari

3.1-§. Suyuqliklar yopishqoqlik koeffitsiyentini oʻlchash usullari.....	40
3.2-§. Yurak va qon tomirlarning yopiq biofizik tizimliliigi.....	43
3.3-§. Yurakning ishi va quvvati.....	47
3.4-§. Qonning fizik xossalari.....	49

IV BOB. Membranalar biofizikasi

4.1-§. Biologik membranalarining tuzilishi.....	53
4.2-§. Hujayra membranasi mexanikasi.....	57

V BOB. Biologik tizimlarda koʻchish hodisalari

5.1-§. Koʻchish turlari.....	61
5.2-§. Biologik membranalarda koʻchish.....	64
5.3-§. Biomembranalarda elektronlar koʻchishi va energiya transformatsiyasi.....	75
5.4-§. Osmos. Osmotik bosim.....	84
5.5-§. Hoʻllash va hoʻllamaslik. Kapillar hodisalar	87

VI BOB. Biologik jarayonlar termodinamikasi

6.1-§. Termodinamik jarayonlar va tizimlar.....	93
6.2-§. Biologik tizimlarda energiyaning saqlanish qonuni.....	95
6.3-§. Ochiq tizimlar uchun entropiya.....	98
6.4-§. Veterinariyada termodinamik davolash usullaridan foydalanish...	101
6.5-§. Tirik organizmda issiqlik almashinishining biofizik asoslari.....	102
6.6-§. Tirik organizmda issiqlik balansi.....	106

VII BOB. Bioelektromagnetizm

7.1-§. Tirik organizmga elektr tokining ta'siri.....	112
7.2-§. Biopotensiallar va ularni o'lchash.....	115
7.3-§. Veterinariya tibbiyotida elektr tokidan foydalanish.....	122
7.4-§. Veterinariya terapiyasida magnit maydonining qo'llanilishi.....	124

VIII BOB. Kvant biofizikasi

8.1-§. Yorug'likning moddalar bilan o'zaro ta'siri.....	133
8.2-§. Quyosh nurining biologik ahamiyati.....	144
8.3-§. Ko'rishning biofizik mohiyati.....	147

IX BOB. Atom tuzilishi va nurlanishi

9.1-§. Rentgen nurlari, xossalari va qo'llanilish sohalari.....	156
9.2-§. Luminessensiya turlari, xarakteristikalar va qo'llanilishi.....	159
9.3-§. Lazer nurlarining fizik xossalari va biologik ta'siri.....	166

X BOB. Radioaktivlik. Radiobiologiya asoslari

10.1-§. Atom yadrosining tuzilishi, fizik xarakteristikalar.....	172
10.2-§. Radioaktivlik, uning turlari va asosiy qonunlari.....	175
10.3-§. Rentgen va radioaktiv nurlarning tirik organizmga ta'siri.....	178
10.4-§. Radiatsion biofizika.....	186
10.5-§. Atom yadro nurlarining qishloq xo'jaligida qo'llanilishi.....	197
Foydalanilgan adabiyotlar.....	205

Ermamat Ismailov
Nuriddin Mamatqulov
G'ayrat Xodjayev
Norali Norboyev

BIOFIZIKA

Oliy o'quv yurtlarining talabalari uchun darslik

Muharrir Xudoyberdi Po'latxo'jayev

Badiiy muharrir Yasharbek Rahimov

Texnik muharrir Yelena Tolochko

Kichik muharrir Gulbayra Yeraliyeva

Musahhih Zulfiya G'ulomova

Kompyuterda sahifalovchi Gulchehra Azizova

Litsenziya raqami AI № 163. 09.11.2009. Bosishga 2013-yil 5-noyabrda ruxsat etildi. Bichimi 60×84¹/₁₆. Ofset qog'oz. Tayms garnituras. Shartli bosma tabog'i 12,09. Nashr tabog'i 10,98. Adadi 500 nusxa. Shartnoma № 74–2013. Buyurtma № 68–6. Bahosi kelishilgan narxda.

O'zbekiston Matbuot va axborot agentligining Cho'lpon nomidagi nashriyot-matbaa ijodiy uyi. 100129, Toshkent, Navoiy ko'chasi, 30.
Telefon: (371) 244-10-45. Faks (371) 244-58-55.

«TAFAKKUR-BO'STONI» MCHJ bosmaxonasida chop etildi. Toshkent shahar, Chilonzor ko'chasi, 1-uy.





***Cho'lpon nomidagi
nashriyot-matbaa ijodiy uyi***

ISBN 978-9943-05-605-3



9 789943 056053