



Lukmançylyk we biologiki fizika

Lukmançylyk we
biologiki fizika





**GARAŞSYZ, BAKY BITARAP
TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**

LUKMANÇYLYK WE BIOLOGIKI FIZIKA

Türkmen döwlet lukmançylyk institutynyň talyplary üçin okuw kitaby

Aşgabat – 2010ý.

Okuw kitabynda molekulýar derejeden başlap bütün adam bedeninde bolup geçýän fiziki we fiziki-fiziologiki hadysalara, daşky gurşawyň bedene ýetirýän täsirlerine hem-de fotomedisina we onuň lukmançylykda ulanylýan usullaryna seredilip geçilýär. Şeýle hem bu kitapda gemodinamikanyň fiziki esaslary, biologiki termodinamika, ses we ultrases hem-de olaryň lukmançylykda ulanyş usullary, biologiki membranalar we olaryň üstünden maddalaryň geçiriliş ýollary, gözüň optiki ulgamy we görüşüň biofiziki esaslary, ionizirleýji şöhleler we olaryň tebigaty barada giňişleýin düşünje berilýär.

Okuw kitaby Türkmen döwlet lukmançylyk institutynyň talyplary hem-de bu ugur bilen gyzyklanýan giň okyjylar köpçüligi üçin niýetlenendir.

© S.Tilkiliýew, S.N.Nuryýew, Ýe.I.Zawodçikowa, 2010

Türkmenistanyň Prezidenti
Gurbanguly BERDIMUHAMEDOW:

Häzirki zaman şertlerinde islendik döwletiň kuwwaty we gülläp ösmegi, ilkinji nobatda, ylmyň we tehnologiýalaryň ösüşi, milletiň intellektual derejesi bilen kesgitlenýär. Ylym ähli ösüşiň özenidir, hamyрмаýasydyr. Ylymsyz ýurduň durmuş-ykdysady taýdan durnukly ösüşini gazanmak asla mümkin däldir.

SÖZBAŞY

“Men halkymyzyň eşretli durmuşynyň gözbaşlaryny ylym-bilim ulgamynyň kämilleşmeginde görýärin. Biziň bu ýolumyz kämilliğiň ýoludyr. Mähriban halkymyzyň, ata Watanymyzyň durmuşynda ykbal kesgitleýji ýoldur. Bu ýol biziň ýaşlarymyzy sowatly, bilimlilerbiýeli, giň dünýägaraýyşly, ruhy-ahlak taýdan sagdyn, ynsanperwer adamlar edip ýetişdirmegiň ýoludyr” diýip biziň Hormatly Prezidentimiz özüniň ýurt Baştutanlygyna geçen ilkinji günlerinden başlap nygtap gelýär we häzirki wagta çenli bu ugurda ummasyz köp işler amala aşyryldy we aşyrylýar.

Hormatly Prezidentimiz Gurbanguly Berdimuhamedow “Döwlet adam üçindir” diýen şygary yglan edip, bilimi durmuşyň esasy intellektual we ruhy ulgamy diýip kesgitledi. Bu ulgam jemgyýetimiziň, ýurdumyzyň, onuň ykdysadyýetiniň, medeniýetiniň we beýleki ugurlaryň ösüşini üpjün edýär.

Türkmen döwlet lukmançylyk institutynda okaýan we bilim alýan talyplaryň ýokary derejeli lukman bolup ýetişmekleri üçin, olaryň özleşdirýän beýleki okuw dersleri bilen birlikde “Lukmançylyk we biologiki fizikasy” dersiniň hem öz tutýan orny bardyr.

Hormatly Prezidentimiziň ýokary okuw mekdepleriniň professor-mugallymlaryna görkezýän talaplaryndan ugur alyp “Dünýä tejribesini öwreniş” kafedrasynyň mugallymlary tarapyndan täze okuw maksatnamasyna laýyklykda “Lukmançylyk we biologiki fizika” dersi boýunça okuw kitaby taýýarlanyldy. Bu kitap kafedramyz boýunça talyplaryň geçýän beýan we amaly sapaklary çuňňur özleşdirmeklerine kömek berer diýip umyt edýäris.

Bütin dünýä, bizi gurşap alan we duýgy organlarymyz tarapyndan kabul edilýän ähli zatlar materiýa bolup durýandyrlar.

Materiýa hereketsiz bolýan däldir. Materiýa bilen hereketi biri-birinden aýratynlykda göz önüne getirip bolmaz. Hereketsiz materiýa bolup bilmez, materiýasyz hereket bolup bilmez.

Materiýa özüne mahsus bolan hususy häsiýetler bilen birlikde, birnäçe anyk formalarda-da bolup biler. Materiýanyň ol anyk formalary biri-birine öwrülüp bilerler we degişlilik-de, öz häsiýetlerini üýtgedip bilerler. Ýöne materiýanyň umumy häsiýeti üýtgemän galýandyr, ýagny ol obýektiv hakykatdyr we biziň aňmyza we oňa baglanşyksyz bardyr.

Materiýanyň dürli we köpgörnüşli hereketiniň formalaryny şertleýin baş sany esasy (**mehaniki, fiziki, himiki, biologiki we sosial**) bölege bölýärler. Munuň beýle edilmegi seredilip geçilýän dürli ylmlary hereketiň haýsy görnüşini öwrenýändigine baglylykda klassifisirlenmäge mümkinçilik berýär. Fizika materiýanyň hereketiniň mehaniki we fiziki formasyny öwrenýär. Eger has içgin seredilse, onda materiýanyň hereketiniň fiziki formasyny, öz gezeginde molekulýar – ýylylyk, elektromagnit, atom we içkiýadro görnüşlerine bölmek bolar. Elbetde, şeýle bölmeklik şertleýin häsiýete eýedir. Ýöne oňa garamazdan, fizika okuw dersi hökmünde hut şeýle bölümler bilen beýan edilýär.

Fizikada, edil beýleki ylmlarda bolşy ýaly, geçirilýän barlaglaryň dürli usullaryny ulanýarlar. Bu barlaglaryň hemmesi, düýp manysy boýunça, nazaryýetiň we amalyýetiň bütewiligine gönükdirilendir. Gözegçilikler esasynda nazaryýet döredilýär, kanunlar we çaklamalar kesgitlenilýärler, olar soň dürli usullar boýunça barlanýarlar we amalyýetde

ulanylýarlar. Şeýlelik bilen, bizi gurşap alan dünýä barada has doly we obýektiw düşünje almaklyk üçin öňe gidişlik bolýar we umuman alnanda aň ýetirmeklikde öňki ýagdaýa garanda ýokary derejä galynýar.

Materiýanyň hereketiniň dürli formalary özara biri-birine baglydyrlar we baglanyşyklydyrlar, bu bolsa öňki bar bolan ylymlaryň araçağynda täze ylymlaryň (mysal üçin, biofizika, biokimiýa, astrofizika, himiki fizika we başgalar) ýüze çykmaklygyna getirýär. Bir ylymda gazanylan üstünlikler beýleki bir ylmyň ösmekligi üçin itergi bolup durýar, netijede, täze-täze kanunalaýyklyklar, dünýägaraýyşlar döreýär, ylymlaryň özara baýlaşmagy bolup geçýär.

Biz häzir gysgaça fizikanyň medisina bilen arabaglanşygyna seredip geçeliň. Fiziki düşüňjeleriň, usullaryň we fiziki hadysalaryň esasynda işleýän enjamlaryň medisinaýyň içine aralaşmagy has köptaraplaýyndyr. Şeýle arabaglanşygyň diňe käbir esasy aspektleri şu aşakdakylardan ybaratdyr.

ORGANIZMDE BOLUP GEÇÝÄN FIZIKI HADYSALAR, BIOFIZIKA

Adam organizminde bolup geçýän dürli hadysalaryň çyryşymlydygyna we özara baglanyşyklydygyna garamazdan, köplenç olaryň içinden fiziki hadysalara ýakyn bolan hadysalary tapawutlandyrmak bolar. Mysal üçin, bedendäki ganaýlanyş ulgamyna seredip geçeliň. Ganaýlanyş çyryşymly fiziologiki hadysa bolmak bilen özüniň düýp manysy boýunça fiziki hadysa bolup durýandyr, çünki ol suwuklygyň akymy bilen (gidrodinamika), maýyşgak yrgyldylaryň damarlar boýunça ýaýramagy bilen (yrgyldylar we tolkunlar), ýüregiň mehaniki işi bilen (mehanika), biopotensiallaryň generasiýasy bilen (elektrik hadysalary) we ş.m bilen baglanyşyklydyr. Dem almaklyk gazyň hereketi bilen (aerodinamika), ýylylygyň çalşygy bilen (termodinamika), bugarmak bilen (faza öwürülişikleri) we ş.m bilen baglanyşyklydyr.

Adam organizminde fiziki makrohadysalardan başga-da molekulýar hadysalar hem bolýandyr, olar umumylaýyn alnanda biologiki ulgamlaryň häsiýetlerini kesgitleýärler. Şeýle mikrohadysalaryň fizikasyna düşünmeklik organizmiň ýagdaýyna, duş gelýän keselleriň tebigatyna, ulanylýan dermanlaryň täsirine we ş.m dogry baha bermeklik üçin zerurdyr.

Şu seredilen soraglaryň hemmesinde fizikanyň biologiýa bilen örän jebis arabaglanşygynyň bardygyna göz ýetirmek bolýar. Şeýle arabaglanşyk özbaşdak ylymyň-biofizikanyň kemala gelmegine getirýär. Biofizika janly organizmlerde fiziki we fiziki-himiki hadysalary, şeýle hem biologiki ulgamlaryň submolekulýar we molekulýar derejelerinden başlap tä öýjüge we bütewi organizme çenli bolan ultrastrukturasyny öwrenýär.

Biofizikanyň usulyýet ähmiýeti uludyr. Biologiki kanunlar fizikanyň we himiýanyň umumy kanunalaýyklyklaryna esaslanýandyr, bu bolsa biofizikanyň esasy prinsipleriniň biri bolup durýandyr. Ýaşayşyň dürli ýüze çykmalaryna fizikanyň we fiziki-himiýanyň nukdaý nazaryndan yzygiderli seredilmegi ýaşayş hadysalaryna we organizmdäki näsazlyklara idealistiki düşündiriş berilmeklige hiç hili orun goýýan däl.

Biofizika barada birnäçe kesgitlemeleriň arasyndan oňa umumylaşdyrylan görnüşde şeýle kesgitlemäni bermek bolar. ***Biofizika – bu biologiki obýektleriň fiziki häsiýetlerini we olaryň funkcionirlenmeginiň esasy bolup durýan fiziki we fiziki-himiki hadysalary öwrenýän ylymdyr.***

Adam organizminiň we onuň işe bolan ukyplylygynyň bozulmaklygy bilen baglanyşykly bolan dürli hadysalaryň öwrenilmegi lukmançylyk biofizikasynda seredilýän ilkinji meseleler bolup durýandyr.

Barlag obýektleriniň dürlüligi babatda seredilende biofizika has giň göwrümleýin biologiki dersleriň hataryna girýändir. Biofizika şeýle derejelerde fiziki häsiýetleri we hadysalary öwrenýär: **a)** çyryşymly ulgamlar (mysal üçin, organizm-gurşaw), aýry-aýry organlar, dokumalar, öýjükler, suböýjük strukturalar (mysal üçin, biologiki membranalar ýa-da miofibrillalar) derejesinde; **b)** makromolekulalar derejesinde; (mysal üçin, beloklaryň

(proteinleriň) ýa-da nuklein kislotalarynyň molekulalary derejesinde); **ç**) biologiki taýdan möhüm bolan molekulalaryň elektron strukturalarynyň derejesinde.

Biofizika aýratynam soňky 10-15 ýyllykda uly üstünliklere ýetdi. Bu molekulýar biologiýanyň we öýjükleriň biologiýasynyň ösmekligi bilen; fizikada we himiýada gazanylan üstünlikler bilen; iň täze enjamlaryň we barlag usullarynyň täze görnüşleriniň döredilmegi bilen we ahyrsoňunda, EHM-iň ulanylmagyna esaslanýan matematiki modelirlemegiň biologiýada giňden ornaşdyrylmagy bilen düşündirilýändir.

Häzirki zaman biofizikasy – bu fundamental biologiki dersleriň biridir we ony bilmeklik lukmanyň umumybiologiki taýýarlygynyň zerur elementi bolup durýandyr. Ähli biologiki dersleriň arasynda biofizika has takyk ylmlaryň hataryna degişlidir. Onuň beýan ediliş aýratynlygy şu aşakdakylardan ybaratdyr: takyk tejribelere esaslanmak bilen bir öňe sürülýän düzgüniň logiki taýdan pugta subut edilmegi; hadysalaryň mukdar taýdan ýazylyp beýan edilmegi; iň täze tehnologiýa esaslanýan enjamlaryň we fiziki hem-de matematiki modelirmek bilen utgaşdyrylýan barlag usullarynyň giňden ulanylmagy. Şu aýdylanlaryň hemmesi biofizikany daşky görnüşi boýunça häzirki zaman fizikasy, himiýasy we matematikasy bilen has meňzeş edýär. Şunuň bilen birlikde takyklyga we birmanyly subut etmeklige, şeýle hem hadysalaryň mukdar taýdan ýazylyp beýan edilmekligine bolan ymtlylyşyň diňe bir biofizika däl-de, umuman alnanda, ähli häzirki zaman ylmyňa (şol sanda biologiýa we medisina) mahsus bolan tendensiýadygyny belläp geçmelidir. Biofizika bu umumy tendensiýanyň has ýiti ýüze çykarylýan ugurlarynyň biridir.

KESELLERI ANYKLAMAKLYGYŇ WE BIOLOGIKI ULGAMLARY BARLAMAKLYGYŇ FIZIKI USULLARY

Keselleri anyklamaklygyň we barlag çärelerini geçirmekligiň köp usullary fiziki prinsipleriň we ideýalaryň ulanylmagyna esaslanýandyr. Häzirki zaman lukmançylyk enjamlarynyň aglabasy konstruktiv taýdan fiziki enjamlar bolup durýandyr. Şu aýdylanlary suratlandyrmaklyk üçin käbir mysallara seretmeklik ýeterlikdir.

Mehaniki ululyk bolan ganyň basyşy käbir kesellere baha bermeklik üçin ulanylýan görkeziji bolup durýandyr. Organizmiň içinde ýerleşýän ses çeşmeleriniň döredýän sesleriniň diňlenilmegi organlaryň kadaly ýa-da patologiki ýagdaýlary barada informasiýa almaklyga mümkinçilik berýär. İşleýiş prinsipi boýunça simabyň ýylylykdan giňelmegine esaslanýan medisina termometri örän giň ýaýran anyklaýyş enjamydyr. Soňky ýyllarda, elektron gurluşlaryň kämilleşdirilmegi bilen baglylykda, janly organizmlerde döreýän biopotensiallaryň registrirlenmegi anyklaýyş usul hökmünde has giň ýaýran usul bolup durýandyr. Ýüregiň işleýiş ýagdaýyny suratlandyran biopotensiallaryň ýazgysy (elektrokardiografiýa) has belli bolan usuldyr. Mediki-biologiki barlaglar geçirilende ulanylýan mikroskopyň ýerine ýetirýän roly hemmämize giňden bellidir.

Süýüm optikasyna esaslanýan häzirki zaman medisina enjamlary organizmiň içki boşluklaryna gözegçilik etmeklige mümkinçilik berýär. Spektral derňew kazyýet lukmançylygynda, gigiýenada, farmakologiýada we biologiýada ulanylýar. Atom we ýadro fizikasynda gazanylan üstünlikler anyklaýyşyň has belli bolan usullarynda, ýagny rentgenanyklaýyşda we belgilenen atomlaryň usulynda ulanylýar.

BEJERIŞ MAKSATLARY ÜÇIN ORGANIZME FIZIKI FAKTORLAR BILEN TÄSIR ETMEKLIK

Medisinada bejeriş maksatlary üçin ulanylýan usullaryň umumy kompleksinde fiziki faktorlar bilen täsir etmeklik hem belli bir orny tutýandyr. Olaryň käbirine mysal hökmünde seredip geçeliň. Döwür – ýenjiklerde ulanylýan gips daňysy şikeslenen organlaryň ýagdaýynyň mehaniki fiksatory bolup durýandyr. Bejeriş maksatlary üçin ulanylýan sowatmaklyk (buz) we

gyzdyrmaklyk (grelka) ýylylyk täsirine esaslanýandyr. Elektrik we elektromagnit täsiri fiziobejergide giňden ulanylýandyr.

Görünýän we görünmeýän ýagtylyk (ultramelewşe we infragyzyň şöhleler), şeýle hem rentgen şöhleleri bejeriş maksatlary üçin giňden ulanylýandyr.

LUKMANÇYLYKDA ULANYLYÁN MATERIALLARYŇ FIZIKI HÄSIÝETLERI. BIOLOGIKI ULGAMLARYŇ FIZIKI HÄSIÝETLERI

Lukmançylykda ulanylyan daňylar, abzallar, elektrodlar, protezler we ş.m. daşky gurşawyň täsiri astynda we şol sanda köplenç gönüden-göni biologiki ulgam bilen galtaşýan ýagdaýda işleýärler. Şular ýaly ýagdaýda olaryň hakyky (real) şertlerde ulanylmak mümkinçiligine baha bermek üçin hökmany suratda, olaryň ýasalýan materiallarynyň fiziki häsiýetleri barada maglumatlar gerekdir. Mysal üçin, protezleri ýasamak üçin (dişler, damarlar, klapanlar we ş.m.) olaryň hemişe sezewar edilýän ýüklenmelere bolan mehaniki berkligini, durnuklylygyny, şeýle hem çyýeligini, ýylylyk geçirijiligini, elektrik geçirijiligini we beýleki häsiýetlerini bilmek möhümdir.

Käbir ýagdaýlarda biologiki ulgamlaryň ýaşayşa bolan ukyplygyna ýa-da kesgitli daşky täsirlere döz gelip bilmek ukyplygyna baha bermek üçin olaryň fiziki häsiýetlerini bilmek wajyp mesele bolup durýandyr. Biologiki obýektleriň fiziki häsiýetleriniň üýtgemekligi boýunça keselleri anyklap bolýandyr.

DAŞKY GURŞAWYŇ FIZIKI HÄSIÝETLERI WE HÄSIÝETLENDIRMELERI

Janly organizm elmydama daşky gurşawyň täsirine sezewar bolýandyr. Ol gurşawyň temperaturasynyň, çyglylygynyň, howanyň basyşynyň we beýleki ş.m. fiziki häsiýetlendirmeleriň üýtgemekligine güýçli derejede reagirleýändir. Daşky gurşaw organizme diňe täsir ediji faktor bolmak bilen çäklenýän däl. Ol bejeriş maksatlary üçin hem ulanylýandyr (klimatoterapiýa we baroterapiýa).

Bu mysallar lukmanyň daşky gurşawyň fiziki häsiýetlerine we häsiýetlendirmelerine dogry baha berip bilmäge ukyply bolmalydygyny görkezýändir.

Fizikanyň gysgaça medisina ulanylyşyna getirilen mysallar lukmançylyk fizikasynyň düýbünü tutýar. Lukmançylyk fizikasy – bu amaly ähmiýetli fizikanyň we biofizikanyň bölümleriniň toplumydyr. Olarda lukmançylyk meseleleriniň çözülmegi üçin ulanylyan fiziki kanunlara, hadysalara, proseslere we häsiýetlendirmelere seredilýär.

MEDISINA WE TEHNIKA

Häzirki zaman medisina köplenç konstruktiv taýdan fiziki bolup durýan dürli görnüşli enjamlaryň giňden ulanylmagyna esaslanýandyr.

Şoňa görä-de “Lukmançylyk we biologiki fizika” dersinde esasy lukmançylyk enjamlarynyň gurluşyna we işleýiş prinsipine seredilýär.

MEDISINA, ELEKTRON-HASAPLAÝYŞ MAŞYNLARY WE MATEMATIKA

Elektron-hasaplaýyş maşynlary (EHM) lukmançylyk barlaglarynyň netijelerini gaýtadan çalt işläp taýýarlamak üçin hem-de keselleriň anyklanylmagy üçin giňden ulanylýar. Matematika janly ulgamlarda bolup geçýän hadysalary ýazyp beýan etmeklik üçin hem-de degişli modelleri döretmeklik we derňew bermeklik üçin ulanylýar. Matematiki statistika keselleriň görnüşlerini, epidemiýanyň ýaýramaklygyny hasaba almaklyk we beýleki ş.m. maksatlar üçin ulanylýar.

Bulardan başga-da fizika-matematika ylymy lukmanlara janly organizmlerde bolup geçýän hadysalara materialistik garaýşy kemala getirmek üçin möhüm derejede gerekdir.

I. ULGAM BARADA DÜŞÜNJE. ADAMYŇ DAÝANÇ - HEREKET ULGAMY. ERGOMETRIÝA

1.1. ULGAM BARADA DÜŞÜNJE

Haýsydyr bir umumy funksiýa bilen baglanyşykly bolan elementleriň toplumyna ulgam diýilýär.

Ýa-da başgaça ulgama şeýle kesgitleme bermek bolar:

Özara täsir edişýän we baglanyşykly bolan obýektleriň (ýagny bölekleriň) tertipleşdirilen toplumyna ulgam diýilýär.

Mysal üçin, planetalar ulgamy, transport ulgamy, bilim ulgamy, dokumalar ulgamy we ş.m.

Ulgamy näme häsiýetlendirýärkä?

Ilki bilen ulgamyň düzümine girýän elementler özara baglanyşykda bolmalydyrlar. Şeýle hem ulgamyň düzümine özüniň ölçegleri we ähmiýeti boýunça birmeňzeş bolmadyk dürli obýektler deňişli bolup bilerler. Mysal üçin, adamyň **nerw ulgamy onlarça milliard ýönekeý öýjüklerden** (ýagny neýronlardan) ybaratdyrlar, olardan bolsa öz gezeginde aýratyn anatomiki döremeler kemala gelýärler [ýagny beýni gabygy, orta beýni, beýnijik (kiçi beýni)], bular özara nerw ýollaryny döredýän neýronlaryň ösüntgileri bilen baglanyşyklydyrlar.

Ýöne, şol bir wagtda, elementar öýjügiň özi hem çylşyrymly ulgam bolup durýandyr. Janly öýjük ösýär, iýmitlenýär hem-de ýaşayş prosesini dowam etmeklik üçin, bölünmek bilen, köpeliýär. Hut şoňa görä-de, her bir ulgam özüne mahsus bolan wezipäni ýerine ýetirýär we deňişlilikde, onuň düzümine girýän elementleriň ýerleşşi tötänleýin häsiýete eýe däl, ýagny olar tertipleşdirilen ýagdaýda ýerleşýändirler.

Ýagny başgaça aýdylanda, ulgamy düzýän elementler belli bir **iýerarhiki** derejede ýerleşýärler hem-de şol bir wagtda, ulgamlaryň özleriniň **iýerarhiki** tutýan orunlary bardyr. Mysal üçin, adam bedenine seredip geçeniňizde, onda bedeniň düzümine girýän ulgamlaryň iýerarhiki derejelerini şeýle görnüşde görkezmek bolar:

- öýjükler;
- dokumalar;
- organlar;
- hem-de şularyň esasynda döreýän bütewi beden.

Janly organizmiň düzümine girýän ulgamlar örän berk kesgitlenen çäklerde kadaly ýagdaýda funksionirlenýärler hem-de olaryň arasyndaky özara serhetleri anyk kesgitlemek kyn mesele bolup durýandyr. Mysal üçin, bedeniň temperaturasy elmydama gradusyň ondan bir ülüşine çenli hemişelik ululykda saklanmalydyr. Mundan hem başga, biologiki ulgam juda çylşyrymly bolup durýandyr. Mysal üçin, gözüň torjumak bardasyna seredip geçeliň, ol özünde onlarça million ýönekeý duýgur öýjükleri (~ 6,5 million kolbajyklary we ~ 125 million taýajyklary) saklaýandyr, olar kelle beýnisi bilen millionlarça nerw süýümleriniň tory bilen baglanyşyklydyr; şol bir wagtda beýniniň özi hem milliardlarça özara baglanyşykly nerw öýjüklerinden ybarat bolup durýandyr.

ORGANLARYŇ ULGAMY

Umumy funksiýany ýerine ýetirýän organlaryň birleşmesine organlaryň ulgamy diýilýär.

Organlaryň şeýle ulgamlaryny tapawutlandyryrlar:

- nerw ulgamy;
- daýanç – hereket ulgamy;
- ýürek – gan damar ulgamy;
- dem alyş ulgamy;
- iýmit siňdiriş ulgamy;
- bölüp – çykaryş ulgamy;
- köpeliş (jýns) organlarynyň ulgamy.

Öýjük.

Öýjük elementar janly ulgamdyr, ol ösümlükleriň we janly organizmleriň esasy struktura birligi bolup durýandyr. Öýjük öz-özünü täzelemäge, sazlamaga we dikeltmäge ukyplydyr.

Islendik eukariot öýjügiň esasy 2-sany bölegi bolýar, ýagny **sitoplazma** (1) we **ýadro** (2).

1. Sitoplazma.

Sitoplazmada endoplazmatiki tor, ribosomlar, mitohondriýa, lizosomlar, Goldžiniň toplumy bolýar. Sitoplazmada duzlaryň erginlerini we organiki maddalary (olaryň içinde beloklar agdyklyk edýärler) özünde saklaýan suwuň köp mukdary bardyr. Sitoplazma fiziologiki prosesleriň we himiki reaksiýalaryň geçýän gurşawy bolup durýandyr.

Endoplazmatiki tor (EPT) – kanalyyklaryň, turbajyklaryň, köpürjikleriň, sisternalaryň toplumyndan ybaratdyr.

EPT beloklaryň, ýaglaryň we beýleki öýjüge gerek bolan maddalaryň sintezine gatnaşýar. Şeýle hem EPT öýjükdäki sekretirlenmek üçin niýetlenen beloklaryň saklanmagynda we transportirlenmeginde möhüm orny eýeleýär. Ol öýjügiň işine zeper ýetirip biljek maddalary dargadýar (mysal üçin, bagryň öýjüginde). Bu hadysa detoksikasiýa diýilýär.

Lizosomlar diametri ~0,5 mkm deň bolan membrana köpürjikleri bolup durýarlar. Lizosomlarda sitoplazmadan izolirlenen iýmit siňdiriş fermentleri bar. Lizosomlar Goldžiniň toplumynda döreýär we ondan kiçijik köpürjiksiz görnüşinde bölünip aýrylýar. Ol fagositoza gatnaşýar, şeýle hem ölýän organellalaryň, bütewi öýjükleriň we organlaryň aýrylmagyna gatnaşýar (mysal üçin, lizosomlaryň fermentleriniň täsiri astynda golowastigiň guýrugynyň aýrylmagy).

Ribosomlar diametri 15-35 nm deň bolan organelladyr, onda beloklaryň biosintezi amala aşyrylýar. Her öýjükdäki onuň birnäçe ýüzlerçesi bardyr. Ribosomlaryň köp bölegi ýadronyň ýadrojygynda döreýär we soň sitoplazma geçip, erkin ýagdaýda bolýar.

Beloklaryň ýerine ýetirmeli funksiýasyna baglylykda olaryň biosinteziniň 2-görnüşini tapawutlandyryýarlar. Eger-de beloklar sitoplazma üçin niýetlenen bolsa, onda olar erkin ýagdaýda ýerleşýän ribosomlar tarapyndan sintezlenýärler (adatça 1-belogyň “ýygnaýmagyna” ortaça 5-den 70-e çenli ribosomlar gatnaşýar).

Öýjügiň daşyna çykýan ýa-da öýjügiň içinde galýan beloklar (mysal üçin, iýmit siňdiriş mäsleriň sekretleri, dargadyjy fermentler, beloklar-antitelalar, gemogloblin) bütür-sütür (granulýar) endoplazmatiki torda ýerleşýän ribosomlar tarapyndan sintezlenýärler.

Goldžiniň toplumy sisternalaryň çogdymyndan ybarat bolup, onuň gýralaryndan turbajyklar we ownuk köpürjiksiz şahalanylýan gidýärler. Islendik öýjükdäki adatça 20-ä çenli şeýle organella bardyr. Olar aşakda getirilen yzygiderlik boýunça membranalar ulgamynyň düzümine girýärler (ýagny: ýadro gabygynyň daşky membranasy → endoplazmatiki tor → Goldžiniň toplumy → daşky öýjük membranasy). Bularda öýjükdäki döredilýän dürli birleşmeleriň sintezi we geçirilişi amala aşyrylýar. Şeýle hem Goldžiniň toplumy lizosomlaryň döremegine we uglewodlaryň toplanmagyna gatnaşýar.

2. Ýadro.

Ýadronyň içki boşlugyna **nukleoplazma** diýilýär. Nukleoplazmada belokdan we RNK-dan ybarat bolan ýadrojyk ýerleşýär. Häzirki wagtda hut ýadrojygyň içinde ribosom-RNK-nyň sintezi bolup geçýändir diýilip hasap edilýär. Şeýle hem nukleoplazmada, aýratynam ýadro membranasyň golaýynda **hromatin** bardyr, onuň düzümine DNK-nyň molekulalary we nukleoproteidler (ýadro beloklary) girýärler. Ähli öýjük DNK-synyň esasy bölegi (95% we ondan hem ýokary) hromatinde saklanýar diýilip hasap edilýär.

Diýmek, ýadroda **genetiki informasiýa**: birinjiden, DNK-görnüşinde **saklanýar**; ikinjiden, öýjügiň beýleki böleklerine **geçirilýär** (ýagny DNK → RNK → beloklar, şunlukda

beloklaryň biosintezi sitoplazmada amala aşyrylýar); üçünjiden, ýadro *replisirlenýär* we öýjügiň köpelmegini üpjün edýär (ýagny DNK → DNK).

Dokumalar.

Gelip çykyşy, gurluşy we ýerine ýetirýän funksiýalary boýunça birmeňzeş bolan öýjükleriň we öýjükara maddalaryň toplumyna dokumalar diýilýär.

Adam organizminde dokumalaryň esasan şu aşakdaky ýaly 4-toparyny tapawutlandyrýarlar, ýagny:

- 1 – epitelial;
- 2 – birleşdiriji;
- 3 – myşsa;
- 4 – nerw dokumalary.

Epitelial dokuma – bedeniň, mázleriň örtüklerini döredýärler we içki organlaryň boşluklarynyň üstüni örtýärler.

Birleşdiriji dokuma – süňk we kekirdewük dokumasy birleşdiriji dokumanyň bir görnüşi bolup durýandyr. Skeletiň süňkleri we myşsalar bedeniň daýanç strukturasy bolmak bilen birlikde gorag funksiýany hem ýerine ýetirýärler. Şeýle hem gan birleşdiriji dokumanyň bir görnüşidir. Gan organizmde transport funksiýany ýerine ýetirýär.

Myşsa dokumasy – skelet myşsalaryň we beýleki birnäçe içki organlaryň esasy dokumasy bolup durýandyr. Myşsa dokumasy bilen bedeniň hereket funksiýasy baglydyr. Ýylmanak we kese-zolaklaýyn myşsa dokumasyny tapawutlandyrýarlar.

Nerw dokumasy – kelle we oňurga beýnisini düzýär.

Nerw öýjüklerinden çykýan nerw süýümleri kelle we oňurga beýnisinden çykyp, ähli organlara we dokumalara barýar hem-de organizmiň dürli bölejikleri arasynda çalt arabaglanýşygyň bolmaklygyny üpjün edýär.

Organlar.

Organ – bu bedeniň bir bölegidir, ol kesgitli forma we gurluşa eýedir, onuň bedende kesgitli eýeleýän ýeri bardyr we bir ýa-da birnäçe funksiýany ýerine ýetirýändir.

Ýa-da, başgaça aýdylanda, *organ diýilip birnäçe tipli dokumalaryň struktura – funksional birleşmesine aýdylýar.* Mysal üçin, adamyň derisiniň düzümine epiteliýa we birleşdiriji dokumalar girýärler (ýagny dürli tipli dokumalar), şol bir wagtda deri gorag, termosazlaýyş, bölüp çykaryş, metaboliki funksiýany (ýagny dürli funksiýalary) ýerine ýetirýär.

Organlar: el-aýak, ýürek, böwrekler, bagyr, dalak, deri we beýlekiler.

Käbir organlar bedeni şikesden goraýarlar, beýlekileri hereketi üpjün edýärler, başgalary iýmit siňdirilişine gatnaşýarlar, ondan başgalary iýmitlendiriş maddalary we kislorody organizm boýunça dargadýarlar.

Belläp geçişimiz ýaly, her bir organ birnäçe tipli dokumalar tarapyndan döredilýärler, ýöne olaryň haýsydyr bolsa biri agdyklyk edýär we şoňa baglylykda ol organyň esasy funksiýasyny kesgitleýär.

Her bir organda hökman gan aýlanyş damary we nerwler bardyr.

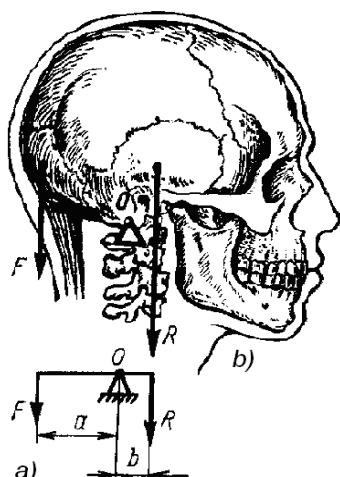
1.2. ADAMYŇ DAÝANÇ – HEREKET ULGAMY. ERGOMETRIÝA

Adamyň daýanç-hereket ulgamy skeletiň özara sepleşen süňklerinden ybaratdyr, olaryň kesgitli ýerlerine myşsalar berkidilendirler. Skeletiň süňkleri sepleşýän ýerlerinde daýanç nokady bar bolan ryçaglar ýaly işleýärler we olar myşsalaryň ýygrylmagynda ýüze çykýan dartyjy güýç boýunça herekete getirilýärler.

Adamyň daýanç – hereket ulgamy fiziki nukdaý nazardan deňagramlylykda saklanyan ryçaglaryň utgaşmasy bolup durýandyr.

Üç görnüşli ryçaglary tapawutlandyrýarlar.

1. Özara täsir edýän güýçleriň **daýanç nokadyndan dürli tarapda** ýerleşýän ýagdaýyndaky ryçag. Muňa mysal hökmünde täsir edýän F güýjüň we garşylygy ýeňilip geçilýän R güýjüň daýanç “O” nokadynyň dürli tarapynda goýlan ýagdaýyndaky ryçagy görkezmek bolar. (1.1-nji surat “a”).



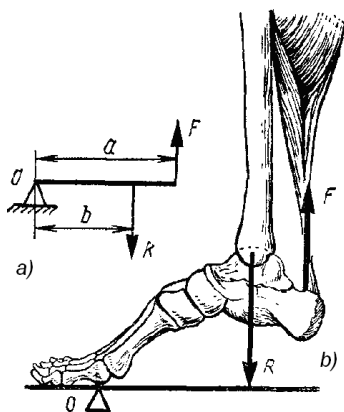
1.1-nji surat.
O – daýanç nokady;
R – agyrlyk güýji;
F – agyrlyk güýjüne
garşylykly täsir edýän
güýç.

Mysal üçin, sagittal tekizlikde seredilýän kelle çanaklygynyň süňki (1.1-nji surat “b”).

Ryçagyň aýlanmak “O” oky kelle çanaklygynyň birinji boýun oňurga bilen seplesýän nokadynyň üstünden geçýär. Daýanç nokadynyň önünde otnositel gysga egin aralygynda kelläniň “R” agyrlyk güýji täsir edýär, ol kelle çanaklyk süňküniň massa merkezine goýlandyr (“türk eýeriniň” birazrak yzynda). Daýanç nokadynyň yzynda bolsa ýeňse süňke birleşdirilen myşsalaryň we baglaýjylaryň dartýjy “F” güýji täsir edýär.

$Fa = Rb$ deňlik (1.1-nji surat) ryçagyň deňagramlylyk şertini aňladýandyr.

2. “F” we “R” güýçleriň **daýanç “O” nokadyň bir tarapyna** goýlan ýagdaýyndaky ryçag, şunlukda “F” güýç ryçagyň gyraky ujuna goýlandyr, “R” güýç bolsa oňa garanda daýanç nokadyna ýakyn aralykda ýerleşýändir (1.2-nji surat “a”).



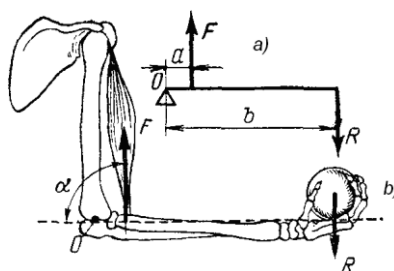
1.2-nji surat.
a – daýanç nokadyndan F güýjiň goýlan nokadyna
çenli aralyk;
b – daýanç nokadyndan R güýjiň goýlan nokadyna
çenli aralyk.

$F_a = R_b$ deňlik ryçagyň deňagramlylyk şertini aňladýandyr. Ýöne $a > b$; diýmek, $F < R$, ýagny şeýle ryçag güýçde utuş berýär, orun üýtgetmekde bolsa utulýar we şoňa görä-de oňa **güýç ryçagy** diýilýär.

Mysal üçin, daban gümmeziniň (depesiniň) ýarymbarmaklyga galdyrylan ýagdaýy (1.2-nji surat “b”).

Ryçagyň aýlanma oky geçýän “O” daýanç nokady bolup daraklyk süňkleriniň başjagazlary (kellejikleri) hyzmat edýärler. Aýagyň üstüne düşýän bedeniň agyrlýk güýji – ýagny ýeňilip geçilýän güýç R ökje üsti süňke goýlandyr. Bedeni galdyrmaklyga getirýän täsir ediji myşsa güýji F ahillowo siňiriniň üsti bilen geçirilýär we ol ökje süňküniň çykyp duran ýerine (tümmerçegine) goýlandyr.

3. F güýjüň R güýje görä daýanç nokadyna ýakyn ýerleşen ýagdaýyndaky ryçag (1.3-nji surat “a”).



1.3-nji surat.

$F_a = R_b$ deňlik ryçagyň deňagramlylyk şertini aňladýandyr. Ýöne $a < b$; diýmek $F > R$, ýagny bu ryçag güýçde utulyş berýär, orun üýtgetmekde bolsa utuş berýär we şoňa görä-de oňa **tizlik ryçagy** diýilýär. Mysal üçin, goşar (bilek) süňkleri (1.3-nji surat “b”).

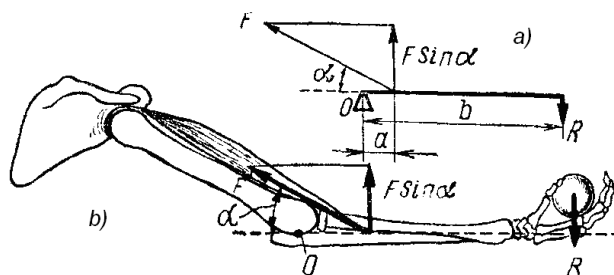
Daýanç nokady “O” tirsek bognunda ýerleşýär. Täsir ediji güýç F – bu myşsalaryň goşary epýän güýjüdir. Garşylyk görkezýän güýç R – bu saklanýan ýüküň agyrlýk güýjüdir, ol adatyça penjä goýlandyr. Şeýle hem R güýje goşaryň öz agramy girýändir (ol massa merkezine goýlandyr). Mundan başga-da tizlik ryçagyna aşaky eňek mysal bolup biler. Täsir ediji güýç çeynewaç myşsa tarapyndan amala aşyrylýar. Onuň garşysyna gönükdirilen güýç (ýagny gysylýan (owradylýan) iýmitiň garşylygy) dişlere täsir edýär. Täsir ediji güýjiň egni oňa garşylyk görkezýän güýçleriňkiden ep-esli kiçidir, şoňa görä-de çeynewaç myşsa gysgadyr we güýçlidir. Haçan-da haýsy hem bolsa bir gaty madda owradyljak (gysyljak) bolsa, onda adam oňa azy dişi bilen täsir edýär, şunlukda garşylyk güýjiniň egni gysgalýar.

Eger-de skelete bir organizme birleşdirilen aýratyn zwenolaryň utgaşmasy hökmünde seredilse, onda ol zwenolaryň ählisi kadaly durýan görnüşinde (ýagny kadaly durgyda) örän deňagramsyz ýagdaýda ýerleşýän ulgamy döredýärler. Mysal üçin, göwräniň daýanç nokady ýanjyk (çanaklyk-but) sepleşmesiniň şar görnüşli üstlerinden ybaratdyr. Göwräniň massa merkezi daýanç nokadynyň ýokarsynda ýerleşýär, bu bolsa şar görnüşli diregde deňagramsyz ýagdaýy döredýär. Şu aýdylanlar dyz birleşmesine we injik-daban birleşmesine hem degişlidirler. Şu zwenolaryň hemmesi durnuksyz ýagdaýda ýerleşýärler.

Adam bedeniniň massa merkezi kadaly durgyda (durulýan ýagdaýda) çanaklyk – but, dyz we aýagyň injik-daban sepleşmeleriniň merkezleri bilen bir wertikalda (dik çyzykda); türeden (aýryt sommagyndan) 2,0-2,5 sm aşakda we ýanjyk (çanaklyk-but) okundan 4-5 sm ýokarda ýerleşýär. Şeýlelik bilen, adamyň bedeni skeletiň dürli zwenolarynyň biri-birleri bilen birleşýän in durnuksyz ýagdaýyna eýe bolýandyr.

Şoňa görä-de, ähli ulgamyň deňagramlylyk ýagdaýynda saklanmaklygy onuň düzümine girýän myşsalaryň hemişe güýjenmeli ýagdaýda bolmaklygy bilen üpjün edilýändir.

Adamyň daýanç – hereket ulgamynda myşsa güýji F köplenç ryçagyň okuna 90° ululyk bilen däl-de, käbir α burçy boýunça goýlandyr (1.4-nji surat “a”).



1.4-nji surat.

Ryçagyň deňagramlylyk şertini $F \cdot \sin \alpha a = Rb$ deňlik kanagatlandyryýandyr. Bu ýerden alarys:

$$F = R \left(\frac{b}{a} \right) \left(\frac{1}{\sin \alpha} \right), \text{ ýagny myşsanyň dartýjy güýji } F \text{ garşylyk görkeziji } R \text{ güýji ýeňip}$$

geçmek üçin ryçagyň okuna näçe kiçi burç bilen gönükdirilen bolsa, onda ol (ýagny F güýç) şonça hem uly bolmalydyr. Mysal üçin, adam goşaryny epýän ýagdaýynda otnositel uly agramly ýüki saklap bilýär, goşary ýazylan ýagdaýda bolsa agramy ýeňil bolan ýüki saklap bilýändir (1.4-nji surat “b”).

Skeletiň süňkleriniň köpüsi bir wagtyň özünde birnäçe myşsalaryň täsiri astynda bolýarlar, şoňa baglylykda olaryň dartýjy güýçleri dürli tarapa gönükdirilendirler. Olaryň deňtäsiredijileri parallelogramyň düzgüni boýunça güýçleriň özara goşulmak usuly bilen tapylýarlar.

Daýanç – hereket ulgamynyň süňkleri özara sepleşiklerde, ýa-da bogunlarda birleşýärler.

Bogunlary döredýän süňk uçlarynyň ählisi olaryň daşyny berk gurşaýan bogun haltajygy tarapyndan hem-de süňklere berkidilen baglaýjylar tarapyndan saklanýarlar. Sürtülmäni azaltmak üçin süňkleriň galtaşýan üstleri ýylmanak kekirdewük bilen örtülendirler we olaryň arasynda ýelmeşdiriji suwuklygyň ýuka gatlagy bardyr.

Bogunlaryň **erkinlik dereje sany** olaryň esasy mehaniki häsiýetlendirilmesi bolup durýandyr, ol sepleşýän süňkleriň özara aýlanyp biljek oklarynyň sanyny görkezýändir. **Erkinlik dereje sany** esasan bogunlardaky galtaşýan süňkleriň üstleriniň geometriki formasy bilen kesgitlenýändir. **Erkinlik dereje sanlary bire, ikä we üçe deň bolan bogunlary tapawutlandyryýarlar.**

Mehaniki ulgamyň erkinlik dereje sany diýilip ulgamyň ähli mümkin bolan hereketlerini suratlandyrmak üçin zerur bolan özara baglanyşyksyz koordinatlaryň sanyna aýdylýar.

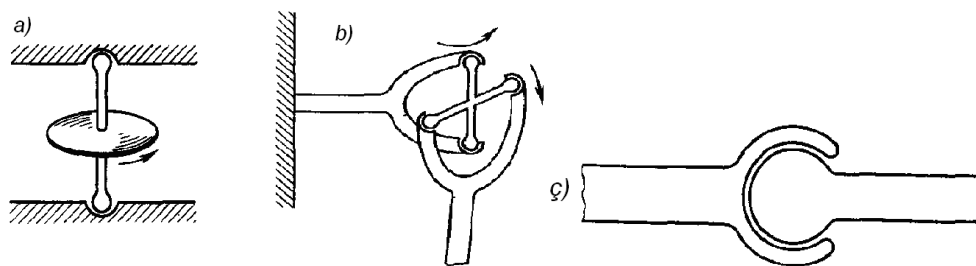
Material nokat üç özara perpendikulýar ugurlar boýunça hereketlenip bilýändir, onda şoňa baglylykda onuň 3-erkinlik dereje sany bardyr. Erkin gaty maddanyň 6-erkinlik dereje sany bardyr: üç sany öňe bolan hereket (üç özara perpendikulýar ugurlar boýunça) we üç sany aýlanma hereketi (üç özara perpendikulýar oklara otnositellikde aýlanmasy).

Bir nokada berkidilen gaty maddanyň diňe 3-aýlanma erkinlik dereje sany bardyr, gozganmaýan oka berkidilen maddanyň bolsa diňe 1-erkinlik dereje sany bardyr (ýagny onuň bu okuň daşynda aýlanmagy).

Bir atomly gazyň molekulasynda material nokat hökmünde seretmek bolar, onda şeýle erkin molekulanyň 3-erkinlik dereje sany bardyr.

Üç atomly we köp atomly molekulalaryň (eger-de olara gaty maddalar hökmünde seredilse) 6-erkinlik dereje sany bardyr. Ýöne hakyky ýagdaýda köp atomly molekulalaryň atomlary elmydama yrgyldyly hereketde bolýarlar we şoňa görä-de olaryň erkinlik dereje sany 6-dan köpdür.

1.5-nji suratda erkinlik dereje sany degişlilikde 1-e (a), 2-ä (b) we 3-e (ç) deň bolan şarnirli birleşmeler görkezilendir.



1.5-nji surat.

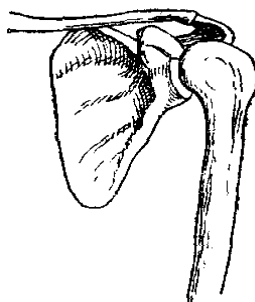
Tirsek bogrunyň bir erkinlik dereje sany bardyr (tekiz sepleşme) (1.3-nji surat). Tirsek bogny ýarymaýlaw görnüşli oý bilen bognuň oky bolup hyzmat edýän çigin süňkündäki silindriki çykyndyny (tümmerçeği) gurşap alýar. Bogundaky hereketler, ýagny epilmek we yazylmak hereketi bognuň okuna perpendikulýar bolan tekizlikde bolup geçýär.

Goşar bogrunyň iki erkinlik dereje sany bardyr, onda epilme we ýazylma (göneltme) we az derejede bolsa-da, penjäniň çepe we saga bolan hereketi (ýagny penjäniň gapdallaýyn hereketi we öňki ýagdaýa getirilmegi) amala aşyrylýandyr.

Üç erkinlik dereje sanlary bar bolan (giňişlik sepleşmesi) bogunlara ýanjyk (çanaklyk-but) we pilçe-egin (çigin) sepleşmeleri girýärler (1.6-njy surat).

Mysal üçin, pilçe-çigin sepleşmesinde çigin süňküniň şar görnüşli kellejigi pilçäniň çykyndysynyň (tümmerçeginiň) sferiki oýtumyna girýär.

Egin bognunda epmeklik we ýazmaklyk (saggital tekizlikde), çekmeklik we goýbermeklik (frontal tekizlikde) we gollaryň boý okunyň daşynda aýlanmak hereketlerini ýerine ýetirip bolýandyr.



1.6-njy surat.

Kelleçanak süňküniň oňurgaara bogunlaryň käbir hereketine baglylykda (bu hereket çäklendirilen görnüşe eýedir) 6-erkinlik dereje sany bardyr.

Daýanç-hereket ulgamynyň işjeň bölegini myşsalar düzýärler. Merkezi nerw ulgamyndan gelýän impulslaryň täsiri astynda, olar ýygrylýarlar, ýagny özleriniň uzynlyklaryny üýtgedýärler we şunlukda kesgitli ululykly güýji ýüze çykarýarlar. Bu güýçler myşsalaryň berkidilen ýerlerinde skeletiň süňklerine geçirilýärler, bu bolsa olaryň özara orun üýtgetmelerini döredýär.

Netijede elleriň ýa-da aýaklaryň ýa-da beden bölekleriniň ol ýa-da başga bir hereketi ýüze çykarylýar.

Şunlukda daşky maddanyň ornuny üýtgetmek boýunça iş ýerine ýetirilip bilinýär.

Ýygrylýan wagty myşsa öz uzynlygyny üýtgedip, ululygy boýunça hemişelik bolan güýjenmäni döredýän bolsa, onda şeýle ýygrylma **izotoniki ýygrylma** diýilýär.

Ýygrylmanyň başga bir görnüşi hem bardyr, onda myşsa öz uzynlygyny üýtgetmezden güýjenmäni ýüze çykaryp bilýär. Şeýle ýygrylma **izometriki ýygrylma** diýilýär. Izometriki ýygrylma dürli jisimleri we zähmet enjamlaryny saklamaklyga mümkinçilik berýär we ol, edil izotoniki ýygrylma ýaly, adamyň zähmet döredijiligi üçin zerur gerek bolup durýandyr.

Izometriki ýygrylmada myşsa işçi (ýygrylan) ýagdaýda bolýar we energiýany sarp edýär, ol energiýa myşsanyň özünde bölünip çykýan ýylylyga öwürülýär.

Maksimal ýygrylmada ýüze çykýan güýç, seredilýän myşsanyň düzümine girýän myşsa süýümleriniň mukdaryna göni proporsionaldyr.

Absolýut myşsa güýji diýilip myşsany düzyän umumy myşsa süýümleriniň 1sm² kesegine düşýän güýjüne aydylýar (käbir myşsalaryň gurluş aýratynlygyna baglylykda bu hemişe myşsanyň öz kese-kesigi bilen gabat gelýän däldir). Mysal üçin, adamyň baldyr myşsasy üçin bu güýç ortaça $60 \frac{N}{sm^2}$ deňdir, iki kelleli çigin myşsasy üçin $110 \frac{N}{sm^2}$ deňdir, üç kelleli çigin myşsasy üçin $170 \frac{N}{sm^2}$ deňdir we ş.m.

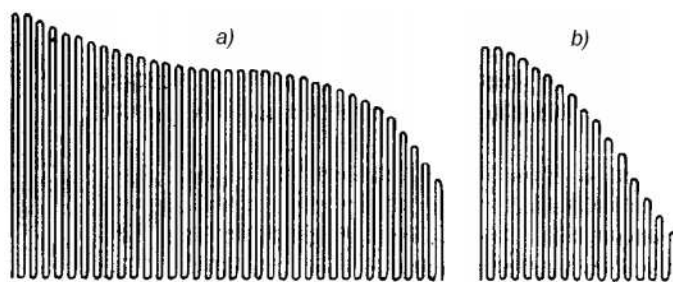
Edil şol bir myşsalar tarapyndan doredilýän güýjüň we kuwwatyň diňe myşsalaryň tebigy görkezijilerine bagly bolman, ondan başgada birnäçe fiziologiki şertlere (ýaş, iýilýän iýmite, türgenleşige we ş.m.) bagly bolmaklygy myşsa ulgamynyň aýratynlygy bolup durýandyr. Bulardan başga-da, myşsalar uly ýüklenmelere, aýratynam gysga wagtyň içinde bolup geçýänlere, çydamlydyrlar.

Myşsalaryň mahsus aýratynlygyna olaryň ýadawlygy (argynlygy) degişlidir, ol myşsa güýjüniň ep-esli peselmekligi bilen baglanyşyklydyr. Ýadawlyk uzak dowamlaýyn ýerine ýetirilýän işde ýa-da aşa ýüklenmelerde ýüze çykýar. Ol işe juda köp güýç sarp edilmek bilen ýa-da işiň has çalt depginde ýerine ýetirilmegi bilen baglanyşyklydyr. Myşsalaryň işe bolan ukyplylygyny dikeltmek üçin işiň arasynda hökman arakesme (dynç) alynmalydyr.

Myşsalaryň işe bolan ukyplylygyny barlamaklyga, adam tarapyndan dürli şertlerde ýerine ýetirilýän mehaniki işi hem-de bu işiň organizme ýetirýän täsirini öwrenmeklige **ergometriýa** diýilýär. Degişlilikde, ergometriýada ulanylýan enjamlara **ergometrler** diýilýär.

Ergometriň kömegi bilen myşsalaryň işe bolan ukyplylygy barlananda, barlanýan myşsa ýa-da myşsalar topary tarapyndan ýerine ýetirilýän kesgitli hereketiň amplitudalary registrirlenýärler (has sada ýagdaýda – kimografda). Muňa mysal hökmünde bilegiň ýa-da elniň penjesiniň epilmegini görkezmek bolar. Myşsalaryň ýadawlygy hereket amplitudasynyň çalt peselmegi bilen ýüze çykýar.

1.7-nji suratda ýadamadyk (1.7, “a”) we ýadan (1.7, “b”) myşsalaryň ergogrammalary getirilendirler.

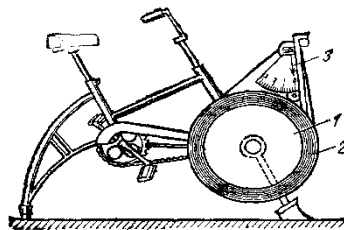


1.7-nji surat.

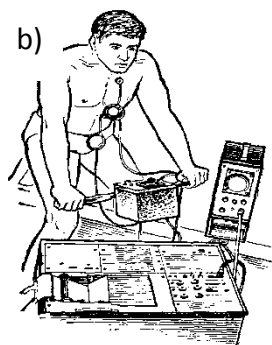
Myşsalaryň dürli güýçlerde we hereketiň gaýtalanmak ritmlerinde ýadawlygyň ýüze çykýan pursatlaryny deňeşdirmek bilen, dürli zähmet proseslerinde myşsalaryň amatly işleýiş şertlerini kesgitlemek bolýar.

1.8-nji “a” suratda welosiped sürmek boýunça türgenleşik üçin ulanylýan ergometr görkezilendir. Pedallar tarapyndan herekete getirilýän tigrirde (1) togtadyjy gurluş bardyr (ol tigre galtaşýan lenta (2) görnüşindedir).

a)



b)



1.8-nji surat.

Togtadyjy gurluşyň kömegi bilen barlanýan adam tarapyndan ýüze çykarylýan güýji sazlap we dinamometr (3) bilen ölçäp bolýandyr. Tigrin aýlanmak sanyny hem-de türgenleşigiň geçirilýän wagty (dowamlylygyny) göz önünde tutmak bilen, welosipedçi tarapyndan dürli ýüklenmelerde ýerine ýetirilýän işi we kuwwaty kesgitlep bolýar. Şol bir wagtyň özünde zerur bolan funksional barlaglar, mysal üçin, EKG-niň ýazgysy geçirilýär (1.8-nji surat “b”).

II. SUWUKLYGYŇ GIDRODINAMIKASY. GEMODINAMIKANYŇ FIZIKI ESASLARY

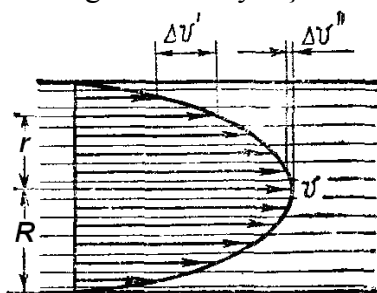
2.1. SUWUKLYGYŇ ŞEPBEŞIKLIGI

Hakyky suwukluklyklarda molekulalaryň arasynda özara dartys güýçleri bardyr, olar içki sürtülmeňi ýüze çykarýarlar.

Içki sürtülme, mysal üçin, suwuklyk garylada garşylyk güýjüni ýüze çykarýar, suwuklygyň içine goýberilen maddalar aşak gaçanda olaryň tizligini peseldýär, şeýle hem kesgitli şertlerde laminar akymyň döremegine getirýär.

Suwuklygyň aýry-aýry gatlaklarynyň biri-birine görä typýan görnüşde hereketlenmegine laminar (gatlaklaýyn) akym diýilýär.

Hemişelik kese-kesikli gorizontaly ýagdaýda duran turba boýunça uly bolmadyk tizlikde akýan suwuklygyň akymy laminar häsiýete eýedir. Şeýle ýagdaýda turbanyň diwaryna galtaşýan molekulalaryň gatlagy oňa ýelmeşýärler we gozganman galýarlar. Molekulalaryň soňky gatlagy basyş güýjüniň täsiri astynda we gatlaklaryň arasyndaky içki sürtülme güýjüniň garşylykly täsiri boýunça diwarýaka gatлага otnositellikde öňe süýşýärler we uly bolmadyk tizlik bilen hereket edýärler. Molekulalaryň her bir soňky gatlagy öňki gatлага görä birazrak öňe süýşüp, turbanyň diwarjygyna otnositellikde kem-kemden artýan tizlik bilen hereket edýärler. Ol tizlik turbajygyň merkezi boý okunda iň uly baha eýe bolýar. Şu aýdylanlara laýyklykda, suwuklyk akymynyň tizlikleriniň gatlaklar boýunça bölünmesi paraboliki häsiýete eýedir (2.1-nji surat).

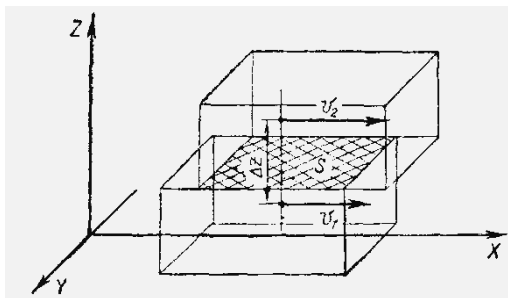


2.1-nji surat.

I.Nýuton (1643-1727ý.) suwuklygyň dürli tizlik bilen hereket edýän iki gatlagynyň arasynda ýüze çykýan içki sürtülme güýjüniň (F_s) ululygyny kesgitlepdir. Ol içki sürtülme güýjüň suwuklygyň tebigatyna baglydygyny we biri-birine galtaşýan gatlaklaryň “S” meýdanyna hem-de olaryň arasyndaky tizligiň dv/dz gradiýentine göni proporsionaldygyny anyklapdyr (2.2-nji surat), ýagny:

$$F_s = \eta \cdot S \frac{dv}{dz} \quad (1)$$

Bu ýerde η – proporsionallyk koeffisiýenti, oňa şepbeşiklik koeffisiýenti ýa-da ýöne suwuklygyň şepbeşikligi diýilýär. η suwuklygyň tebigatyna baglydyr.



2.2-nji surat.

Içki sürtülme güýç suwuklyk gatlaklarynyň özara galtaşýan üstüne galtaşma çyzygy boýunça täsir edýär. Ol haýal hereket edýän gatlagu onuň tizligini ýokarlandyryýan ugur boýunça hem-de çalt hereket edýän gatlagyň tizligini, onuň tersine, peseldýän ugur boýunça gönükdirilendir.

Seredilýän ýagdaýda tizligiň grandiyenti suwuklyk gatlaklarynyň arasyndaky tizligiň üýtgeýiş çaltlygyny häsiýetlendirýär. Ol akymyň ugruna perpendikulýar bolan ýagdaýda seredilýändir. Tizligiň grandiyenti gutarnykly bahalar üçin şeýle kesgitlenýär:

$$\frac{dV}{dz} = \frac{(V_2 - V_1)}{dz} \quad (2)$$

Tizligiň grandiyenti diwarýaka gatlagda maksimaldyr we soň kem-kemden kiçelip, turbajygyň merkezi boý okunda ol nola öwrülýär.

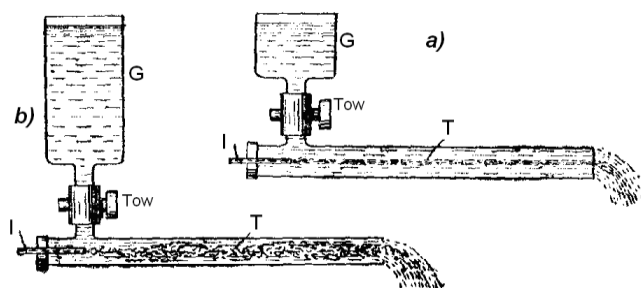
Laminar akym içki üsti ýylmanak diwarlyja turbalarda, turbalaryň kese-kesik meýdanynyň üzül-kesil üýtgemeyän we egrelmeýän ýerlerinde, şeýle hem olaryň birnäçe şahalara bölünmeýän ýerlerinde bolýandyr.

Şu şertleriň ýerine ýetirilmeyän ýagdaýlarynda we aýratynam suwuklygyň ýokary tizliklerinde **laminar akym turbulent akyma** geçýär.

Suwuklyklaryň dürli gatlaklarynda ýerli köwlenmeleriň döremekleri netijesinde olaryň biri-birine garyşyp akýan akymyna turbulent (köwlenme) akym diýilýär.

Turbulent akymda suwuklyk bölejikleriniň tizligi tertipsiz görnüşde üýtgeýärler we ýerli köwlenmeler döreýärler, ýagny suwuklyk bölejikleriniň özara biri-birlerine garyşmasy bolup geçýär.

Muňa şeýle tejribede gözegçilik etmek bolar (2.3-nji surat).



2.3-nji surat.

Aýnadan ýasalan turba (T) towlawajyň (Tow) üsti bilen içi suwly gaba (G) birleşdirilendir. Turbanyň bir ujuna reňklenen suwuklygy akdyrmak üçin niýetlenen inçejik (I) turbajyk birleşdirilendir, ýagny onuň üsti bilen suwuň umumy akymyna reňklenen suwuklygyň insizje akymjygyny akdyryp bolýandyr. Suwuň akym tizligi towlawaç (Tow) bilen sazlanýar. Suwuň uly bolmadyk akym tizliginde reňklenen suwuklygyň insizje akymjygy suwuň esasy akymy bilen garym-gatym bolman özbaşdak akymyny saklaýandyr, **ýagny bu akym – laminar akymdyr** (2.3-nji “a” surat).

Eger suwuň akýş tizligi ýokarlandyrylsa, onda reňklenen suwuklygyň akymjygy deňagramlylyk ýagdaýyndan çykýar, onuň esasy akymdaky aýyl-saýyl serhedi bozulýar we ýerli köwlenmeler ýüze çykýar. Eger ondan soň suwuň akymy has-da ýokarlandyrylsa, onda reňklenen suwuklygyn akymjygy bölekler bölünýär we umumy akym bilen tertipsiz ýagdaýda garym-gatym bolýar. **Ýagny akym turbulent akyma öwrülýär** (2.3-nji “b” surat).

Turbulent akymda bölejikleriň tizligi her ýerde yzygider we haotiki üýtgeýär. Şeýlelik-de, stasionar ýagdaýda bolmadyk akym ýüze çykýar. Turbulent akymda suwuklygyň basyşynyň ýerli üýtgeşmeleri bolup geçýändir, olar bölejikleriň ses hadysalaryny ýüze çykarýan yrgyldyly hereketini döredýärler (ýagny üýtgeşik ses, jürüldi we ş.m). Şeýle alamatlaryň bolmaklygy bilen **turbulent akymyň** bardygyny derrew aňlap bolýar.

Laminar akymyň turbulent akyma geçmek tizligini (V_{kr}) tejribe üsti bilen tapylan kriteriýa boýunça-ýagny Reýnoldsyň sany (Re) boýunça kesgitlemek bolýar. Reýnoldsyň sanynyň ölçege

birliği ýokdyr. Ol akymyň kritiki tizligini (V_{kr}) suwuklygyň dyklyzlygy (ρ) we şepbeşikligi (η) hem-de turbanyň diametri (D) bilen şeýle görnüşde baglanyşdyrýar:

$$Re = \frac{V_{kr} \cdot \rho \cdot D}{\eta} \quad (3)$$

Eger Reýnoldsyň sany käbir kritiki bahadan uly bolsa (ýagny $Re \geq Re_{kr}$), onda **laminar akym turbulent akyma** öwrülýär. Içi ýylmanak üstli silindriki turbalar üçin Reýnoldsyň sany 2300-e deňdir, ýagny $Re_{kr} = 2300$.

Reýnoldsyň sanynyň suwuklygyň şepbeşikligine we dyklyzlygyna baglydygyna görä, olaryň gatnaşygyny häsiýetlendirýän **kinematiki şepbeşiklik** diýlen ululygy girizmeklik amatlydyr:

$$\eta_{kin} = \frac{\eta}{\rho}; \quad (4) \quad \text{ölçeg birliği} \quad \left[\frac{m^2}{s} \right].$$

Bu düşüňjani ulanyp, Reýnoldsyň sanyny şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$Re = \frac{V \cdot D}{\eta_{kin}} \quad (5)$$

Kinematiki şepbeşiklik içki sürtülme güýjüniň suwuklygyň ýa-da gazyň akýş häsiýetine bolan täsirini dinamiki şepbeşiklige görä has doly suratlandyrýar. Mysal üçin, suwuň şepbeşikligi howanyň şepbeşikligi bilen deňeşdirilende (0°C -da) takmynan 100 esse uludyr. Ýöne, şol bir wagtda, suwuň kinematiki şepbeşikligi howaňka garanda 10 esse kiçidir we şoňa görä-de şepbeşiklik howanyň akýş häsiýetine suwuňky bilen deňeşdirilende has güýçli derejede täsir edýändir.

5-nji deňlikden görnüşi ýaly, suwuklygyň ýa-da gazyň akýş häsiýeti turbanyň ölçeglerine möhüm derejede baglydyr. **Giň turbalarda** hat-da gaty bir uly bolmadyk tizliklerde-de **turbulent akym döräp biler**. Mysal üçin, **diametri 2 mm** bolan turbajykda suwuň akymy **127 sm/s tizlikde** turbulent häsiýete eýe bolýar, **diametri 2 sm** bolan turbada bolsa turbulent akym eýýäm **12 sm/s tizlikde** bolýar (bu aýdylanlar 16°C temperatura degişlidir). **Ganyň akymy 2 sm diametrli turbada 50 sm/s tizlikde turbulent häsiýetde bolardy**, ýöne amaly taýdan şeýle diametrli gan aýlanyş damarlarynda hat-da mundan pes tizliklerde-de turbulent akym ýüze çykýar.

Arteriýalardaky gan akymy kadaly ýagdaýda laminar akymdyr, uly bolmadyk turbulent akym klapanlaryň ýanynda döreýär. Patologiýada, haçan-da ganyň şepbeşikligi kadaly ýagdaýdan pes bolan-da, Reýnoldsyň sany kritiki bahadan ýokary bolup biler we şeýlelikde **akym turbulent akyma öwrüler**.

Turbulent akym suwuklygyň hereketinde goşmaça energiýanyň sarp edilmegi bilen baglanyşyklydyr, bu bolsa anyk gan akymyna seredilýän ýagdaýda ýüregiň goşmaça işi ýerine ýetirmegine getirýändir. Ganyň turbulent akymynda ýüze çykýan ses galmagalyny keselleri anyklamak üçin ulanmak bolýandyr. **Bu galmagal çigin arteriýasynda ganyň basyşy ölçenilede diňlenilýär.**

Howanyň burun boşlugyndaky akymy **kadaly ýagdaýda laminar akymdyr**. Ýöne sowuklamada ýa-da kadaly ýagdaýdan başga bir gyşarmalarda **ol turbulent akyma** öwrülip biler, bu bolsa dem alyş myşsalarynyň ýerine ýetirýän goşmaça işiniň ýüze çykmaklygy bilen baglanyşyklydyr.

Şepbeşiklik koeffisiýenti ölçegleriň halkara ulgamynda (HU) $\left[\frac{N \cdot s}{m^2} \right] = [Pa \cdot s]$ ölçeg

birliğinde ölçelýär.

Amalyýetde suwuklygyň şepbeşikligini **otnositel şepbeşiklik** bilen (η_{otn}) häsiýetlendirýärler. **Şol bir temperaturada seredilýän suwuklygyň şepbeşiklik koeffisiýentiniň distillirlenen suwuň şepbeşiklik koeffisiýentine bolan gatnaşygyna otnositel şepbeşiklik diýilýär:**

$$\eta_{om} = \frac{\eta}{\eta_{suw}} \quad (6)$$

($\eta_{suw}=1 \cdot 10^{-3}$ Pa·s; haçan-da $t=20^{\circ}\text{C}$ bolanda).

Köp suwuklyklaryň (suw, pesmolekulýar organiki birleşmeler, arassa erginler, eredilen metallar we olaryň duzlary) **şepbeşiklik koeffisiýenti temperaturanyň ýokarlanmagy bilen peselýär**. Şeýle suwuklyklaryň şepbeşikligi tizligiň gradiýentine bagly däldir. Şeýle suwuklyklar Nýutonyň deňlemesi (1) bilen häsiýetlendirilýärler we olara **nýuton suwuklyklary** diýilýär.

Käbir suwuklyklaryň, esasan ýokarymolekulýar (mysal üçin, polimerleriň erginleri) ýa-da dispersiýa ulgamlarynyň (suspensiýalar we emulsiýalar) şepbeşiklik koeffisiýenti **diňe bir temperatura bagly bolman, eýsem-de bolsa olaryň akýş ýagdaýyna, ýagny basyşa we tizligiň gradiýentine hem baglydyrlar**. Bu görkezijileriň ýokarlanmagy bilen *suwuklygyň şepbeşikligi* akymda onuň içki strukturasynyň bozulmagyna baglylykda *peselýär*. **Şular ýaly suwuklyklara strukturalaýyn şepbeşikli ýa-da nýutondäl suwuklyk diýilýär**. Olaryň şepbeşikligini şepbeşikligiň şertleýin koeffisiýenti bilen häsiýetlendirýärler. Bu koeffisiýent suwuklyk akymynyň kesgitli şertlerine (basyşa, tizlige) degişlidir.

Gan belok erginlerindäki - plazmadaky forma elementleriniň suspensiýalary bolup durýandyr. **Şonuň üçin hem ol nýutondäl suwuklyklaryň** hataryna girýär diýilip hasap edilmelidir. Ondan hem başga, gan damarlar boýunça akyp geçende, onuň akymynyň merkezi böleginde forma elementleriniň konsentrasiýasy ýüze çykýar we şoňa degişlilikde-de ol ýerde şepbeşiklik artýar. Emma, oňa garamazdan, ganyň şepbeşikliginiň ol diýen uly baha eýe däldigine görä, bu görkezilen ýagdaýlar göz önünde tutulmaýar we onuň şepbeşiklik koeffisiýenti hemişelik ululyk diýilip hasap edilýär.

Ganyň otnositel şepbeşikligi **kadaly ýagdaýda 4,2–6,0** aralykda bolýar. Patologiki ýagdaýlarda bu görkeziji **2-3 çenli (anemiýada)** peselip ýa-da **15-20 çenli (polisitemiýada)** ýokarlanyp biler.

Ganyň syworotkasynyň otnositel şepbeşikligi **kadaly ýagdaýda 1,64-1,69** deňdir, **patologiýada bolsa ol 1,5-2,0** aralykda bolýar. Bu görkezijileriň şeýle bolmaklygy eritrositleriň çökmeklik tizligine (EÇT) öz täsirini ýetirýändir. Wenadaky gan arterial gana garanda az-kem uly şepbeşiklige eýedir. Agyr fiziki zähmetde ganyň şepbeşikligi ýokarlanýar. Käbir ýokanç keselleri ganyň şepbeşikligini ýokarlandyrýar, a käbirleri bolsa, mysal üçin, garyn garahassalygy we inçekesel – peseldýär.

Ganda forma elementleri bardyr. Esasan olara eritrositler degişlidirler, şoňa görä-de **gan - nýutondäl suwuklykdyr**. Ganyň reologiki (**reologiýa** – grek sözi bolup, ol **akýaryn** diýen manyny berýär) häsiýetlerine eritrositleriň häsiýetleri, olaryň hereketi, aýlanmasy we gan akymyndaky oriýentasiýasy, olaryň deformasiýasy, ýagny eritrositleriň fiziki häsiýetleri tasir edýärler. **Eger-de eritrositler sferiki görnüşde** bolsalar we olaryň membranasy (gabygy) gaty bolsa, onda eritrositleriň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy bilen ganyň şepbeşikligi hem güýçli derejede artýar. Eritrositler disk görnüşde bolsalar we olaryň gabygy çeyre bolan ýagdaýynda ganyň şepbeşikligi ýokary däldir, bu bolsa gany ganaýlanyş damarlary boýunça aýlamakda ýürege düşýän ýüklenmäniň kiçelmegi üçin möhüm ähmiýete eýedir. Patologiki hadysalarda eritrositleriň membranalarynyň gatylygynyň artmaklygy ganyň şepbeşikliginiň ýokarlanmaklygyna we degişlilikde gan aýlanşynyň erbetleşmegine (peselmegine) getirýär.

Puazeýl Ž.L.M (1799-1869ý.) tejribe üsti bilen diametri uly bolmadyk hemişelik kese-kesikli tegelek gorizental turbadan akýan suwuklygyň **laminar akymda** ortaça tizliginiň şeýle bolýandygyny kesgitleýdi:

$$V_{or} = \frac{R^2}{8\eta} \frac{(P_1 - P_2)}{l} \quad (7)$$

bu ýerde R - turbanyň radiusy;

l - turbanyň uzynlygy;

P_1 we P_2 – deňişlilikde turbanyň başlangyç we ahyrky uçastoklaryndaky basyş.

Soň Gagen bu deňligi nazary taýdan hasaplap çykarypdyr.

Suwuklyk akymynyň ortaça tizligi V_{or} wagt birliginde “S” kese-kesikli turbadan akyp geçýän suwuklygynyň “Q” möçberini kesgitleýär, ýagny: $Q = V_{or} \cdot S$; (bu ýerde $S = \pi R^2$).

Diýmek:

$$Q = \frac{(P_1 - P_2)}{l} \cdot \frac{\pi \cdot R^4}{8\eta} \quad (8)$$

Bu deňlige adaty Gagen-Puazeýliň deňligi diýilýär. Oňa şeýle görnüşi bermek bolar:

$$Q = \frac{P_1 - P_2}{\omega}; \text{ bu ýerde } \omega = \frac{8l\eta}{\pi \cdot R^4};$$

“ ω ” – **ulylyga gidrawliki garşylyk diýilýär**. Ol radiusyň 4-nji derejesine ters proporsionaldyr we şoňa görä-de ol turbanyň radiusynyň kiçelmegi bilen has ýokary baha eýe bolýandyr.

Gagen-Puazeýliň kanunyna filtrasiýa hadysasy boýun bolýar. **Filtrasiýa – bu gidrostatiki we osmos basyşlaryň täsiri astynda suwuklyklaryň öýjük membranalarynyň boşluklaryndan ýa-da gangeçiriji damarlaryň diwarlaryndan geçirilmegidir**. Böwrek nefronlarynda ilkinji peşew suwuklygynyň döremekligi gan basyşynyň täsiri astynda, ýagny filtrasiýa netijesinde bolup geçýär. Arterial damarlarda suw ganyň plazmasyndan filtrasiýa netijesinde gangeçiriji ýoldan limfa we birleşdiriji dokuma çykýar, wena damarlarda bolsa plazma girýär.

2.2. ÜST DARTYLYŞY

Suwuklygyny we onuň doýgun buglarynyň, iki sany biri-birine garyşmaýan suwuklyklaryň, suwuklygyny we gaty maddanyň bölünme üstlerinde (serhetinde) käbir güýç döreýär, ol çäkleşýän gurşawlaryň dürli molekulýarara täsirleri astynda ýüze çykýar.

Atomlaryň we molekulalaryň arasynda özara täsir güýçleri bardyrlar. Eger-de olar uly aralykda ýerleşýän bolsalar (ýagny $d > r_0$) – onda olaryň arasynda **dartyjy güýçler**; eger-de kiçi aralykda ýerleşýän bolsalar (ýagny $d < r_0$) – onda **iteriji güýçler** ýüze çykýarlar. Bu ýerde d – atomlaryň ýadrolary arasyndaky aralyk; r_0 – molekulalaryň durnukly deňagramly ýagdaýda durýan aralygy. Ýagny $d = r_0$ bolanda molekulalaryň arasyndaky iteriji güýçler olaryň arasyndaky dartyjy güýçler bilen deňagramlaşýarlar. Dürli molekulalar üçin r_0 dürli baha eýedir.

$$r_0 \approx 0,7 - 2 \cdot 10^{-8} \text{ sm.}$$

Atomlaryň we molekulalaryň arasynda iteriji güýçleriň bolmaklygy şol seredilýän atomlaryň we molekulalaryň giňişlikde kesgitli belli bir ýeri eýeleýändiglerini we şoňa baglylykda, edil şol ýerleriň beýleki atomlar we molekulalar tarapyndan eýelenmekligine päsgel berýändiglerini aňladýandyr.

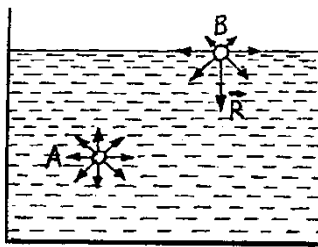
Atomlar we molekulalar elmydama haotiki hereketde bolyandyrlar we diýmek, olar kesgitli kinetik energiýa eýedirler. Dartyjy güýçler atomlaryň we molekulalaryň ýeke – tak bir bütewi ulgam bolmaklygy üçin olary baglanyşdyrjak bolup ymtylýarlar; olarda kinetik energiýanyň bolmaklygy bolsa şeýle ymtylyşa päsgelçilik döredýärler.

Suwuklyk özüniň guýulan gabynyň göwrümini eýeleýändir, ýöne onuň görnüşini saklaýan däl. Agramsyzlyk ýagdaýynda suwuklygynyň şar görnüşli bolmaklygy şu aýdylanlara ters gelýän däl. Suwuklyk elmydama özüne täsir edýän güýçlere laýyklykda kesgitli görnüşe eýe bolýar. Agramsyzlyk ýagdaýynda oňa **üst dartyjy güýji** täsir edýär we onuň şar görnüşli bolmaklygy durnuklylygynyň umumy şertine gabat gelýär. Molekulalar suwuklykda biri-birine galtaşyp ýakyn ýerleşýärler. Ýöne olaryň oňnositel ýagdaýlary kesgitli bir ýere berkidilen görnüşde däl. Olar biri-birlerine görä kem-kemden ýerlerini üýtgedýärler.

Suwuklykda molekulalaryň özara dartyjy güýçleriniň potensial energiýasy absolýut bahasy boýunça olaryň kinetik energiýasyndan agdyklyk edýärler. Şeýle ýagdaýda molekulalaryň özara dartyjy güýçleri ulydyrlar we olar islendik göwrüme guýulan suwuklygyny molekulalaryny saklamaklygy üpjün edýärler. Şeýlelik bilen, suwuklykda onuň göwrümini çäklendirýän üstki meýdan döreýär. Berlen göwrümi çäklendirýän üstki meýdan onuň (ýagny

göwrümiň) görnüşine baglydyr. Belli bolşy ýaly, dürli görnüşli şol bir göwürümde minimal üstki meýdana şar eýe bolýandyr.

Suwuklygyň içinde ýerleşýän islendik “A” molekula suwuklygyň beýleki molekulalary bilen gurşalandyr we ol dürli tarapdan birmeňzeş dartyjy güýje sezewar bolýandyr (2.4-nji surat).



2.4-nji surat.

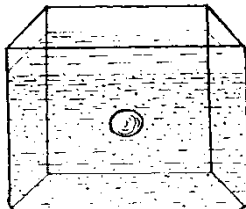
Suwuklygyň ýuka üstki gatlagynda ýerleşýän “B” molekula onuň üstki gatlagyndan ýokarda ýerleşýän buglaryň, gazlaryň molekulalarynyň dartyjy güýjüne garanda suwuklygyň öz molekulalary tarapyndan güýçli dartylýarlar. Şoňa görä-de “B” molekula täsir edýän ähli molekulýar güýçleriň deňtäsiredijisi suwuklygyň içine aşak gönükdirilendir. Edil şeýle güýçler üstki gatlagyň galan beýleki molekulalaryna hem täsir edýändirler we şoňa laýyklykda **ähli suwuklyk** üstki gatlag tarapyndan döredilýän we **suwuklygyň içine gönükdirilen** (onuň üstki meýdanyna dik ýagdaýda) **basyşyň täsiri astynda bolýandyr. Şeýle basyşa suwuklygyň içki basyşy diýilýär.** Suwuklygyň örän az gysylyjylyk häsiýete eýe bolmaklygy onuň eýýäm hut içki basyş tarapyndan gysylan ýagdaýda bolýandygy bilen düşündirilýändir.

Şol bir wagtda suwuklygyň käbir molekulalary onuň içinden ýokarky gatлага çykarylmalý bolýarlar. Onuň üçin kesgitli iş ýerine ýetirilmelidir. Üst dartylyşy (σ) hemişelik temperaturada suwuklygyň käbir üstüni döretmeklik üçin sarp edilýän işiň (A) bu üstüň meýdanyna (S) bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär, ýagny:

$$\sigma = \frac{A}{S} \quad (9) \quad \text{ölçeg birligi} \quad \left[\frac{N \cdot m}{m^2} \right] = \left[\frac{N}{m} \right]$$

Başga bir tarapdan, molekulýar güýçleriň täsiri astynda “B” molekula (2.4-nji surat) üstki gatlagdan suwuklygyň içine (aşaky gatlaglara) geçmäge ymtylýar. Edil şeýle güýçler suwuklygyň üstki gatlagynda ýerleşýän beýleki molekulalara hem täsir edýändir. Şoňa görä-de onuň erkin üsti ähli bolup biljek ululyklardan iň kiçi baha eýe bolýandyr. **Berlen birdeň göwürüm üçin ähli geometriki şekilleriň içinden şar iň kiçi üstki meýdana eýe bolýandyr.** Şoňa görä-de suwuklygyň damýan kiçijik damjalary sferiki görnüşe eýedir.

Şeýle bir mysala seredip geçeliň. Ösümlik ýagyňyň otnositel uly ölçeqli damjasyny dykzlygy edil ösümlik ýagyňky ýaly bolan ön içi suwuň we spirtiň garyndysy bilen doldurylan gapda ýerleşdirilen (2.5-nji surat). **Ýag şar görnüşine eýe bolar** we garyndyda eýelenen ýerine tapawutsyzlykda deňagramlylyk ýagdaýynda saklanar.

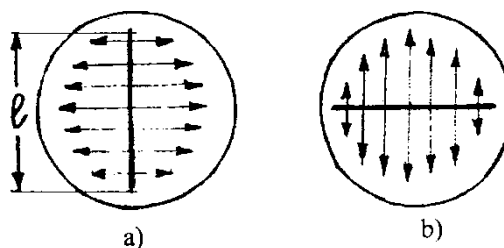


2.5-nji surat.

Üst dartylyşyna **mehaniki nukdaý nazardan** seredip geçeliň. Mehaniki ulgamlarda bolşy ýaly, seredilýän suwuklyk iň kiçi potensial energiýaly ýagdaýda durmaklyga ymtylýar we diňe şeýle ýagdaý onuň üçin has durnukly ýagdaý bolup durýandyr. Şoňa görä-de **suwuklygyň üsti**

ýygrylmaklyga ymtylýar. Şuňa baglylykda suwuklygyň üsti boýunça **üst dartyş güýji** diýilip atlandyrylýan güýçler täsir edýärler. Şu babatda suwuklygyň üstki gatlagy onuň üstki tekizligi boýunça ähli taraplara izotrop çekdirilen ýuka rezin bardasyňa meňzedilýär. Üstki dartyş güýji suwuklygyň üstüni bölýän göni çyzygyň islendik elementine dik gönükdirilendir (suwuklygyň üstki meýdanyna galtaşma boýunça).

Eger-de suwuklygyň üstünde “ l ” uzynlykly käbir kesimi alsak (ýagny göz öňüne getirsek), onda şertleýin bu güýçleri kesime dik bolan strelkalar görnüşinde görkezmek bolar (2.6-njy surat).

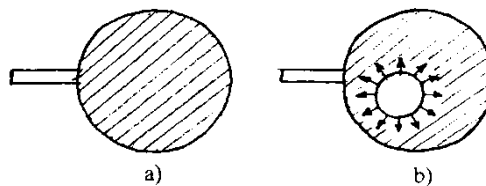


2.6-njy surat.

Üst dartylyşy (σ) üst dartyjy güýjüň (F) bu güýç tarapyndan täsir edilýän kesimiň uzynlygyna (l) bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär:

$$\sigma = \frac{F}{l}; \quad (10) \quad \text{ölçeg birligi} \quad \left[\frac{N}{m} \right].$$

Üst dartyş güýjüniň bardygyny şeýle tejribe subut edýär. Eger sabynly suwa töwerek görnüşli inçejik simi çümdürsek, onda ol sabynly barda bilen çekdirilýär (2.7-nji surat, “a”).



2.7-nji surat.

Ol bardanyň üstüne ýüpek sapagyndan ýasalan uly bolmadyk halkajygy goýalyň we bardany ýaňky ýüpek halkajyk bilen gurşalan ýerde deşeliň. Şunuň yz ýany derrew halkajygyň ähli elementlerine birmeňzeş güýç bilen täsir edýän sabyn bardasy ony dartar we oňa töwerek şekilini berer (2.7-nji surat, “b”). Çyzyklaryň ugry bardanyň serhetinde täsir edýän **üst dartyş güýjüni** aňladýarlar.

1-nji tablisada käbir suwuklyklaryň 20°C temperaturada üst dartyş koeffisiýenti getirilendir.

1-nji tablisa

$\sigma, \frac{N}{m}$		$\sigma, \frac{N}{m}$	
suw	0,0725	simap	0,47
süýt	0,05	spirt	0,022
peşew	0,066	ganyň syworotkasy	0,06
öt	0,048	efir	0,017

Üst dartylyşy temperatura baglydyr. **Kritiki temperatura** diýilip atlandyrylýan temperaturadan daşda onuň ululygy temperaturanyň ýokarlanmagy bilen çyzykly peselýändir. (Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen onuň käbir ululygynda suwuklykdan doýgun buguň ýüze

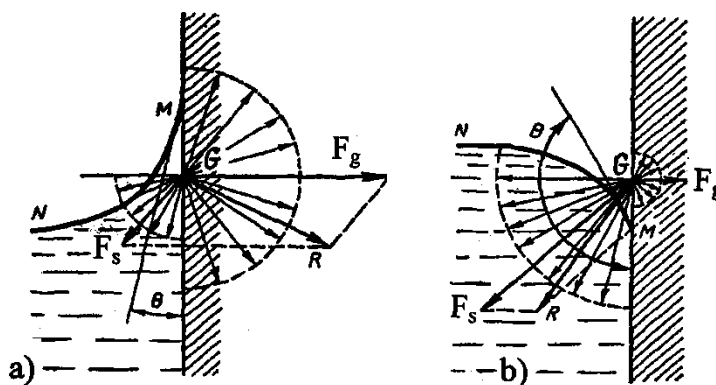
çykmaklygy togtaýar we belli bir göwrümde (V_{kr}) hem-de basyşda (P_{kr}) aşa gyzan bug suwuk ýagdaýa geçýär. Şeýle temperatura **kritiki temperatura** diýilýär.

Üst dartylyşyň peselmekligini suwuklyga **üstki-isjeň maddalar** diýilip atlandyrylýan maddalaryň girizilmegi bilen gazanmak bolýar. Şeýle maddalar suwuklygyň üstki gatlagynyň energiýasyny peseldýärler. Üstki energiýa minimal baha eýe bolmaklyga ymtylýar. Bu üstki gatlagyň meýdany kiçelende, şeýle hem üst dartylyşy kiçelende mümkindir. Şoňa görä-de haýsydyr bir suwuklyga oňka garanda başga bir üst dartylyşy kiçi bolan suwuklyk goşulsa, onda soňky goşulan suwuklyk esasan üstki gatlakda adsorbirlenýär – netijede oňki suwuklygyň üst dartylyşy kiçelýär. Şeýle maddalara üstki-isjeň maddalar diýilýär (mysal üçin, sabyn).

2.3. KAPILLÝAR HADYSALAR

Diametri 1mm we ondan hem kiçi bolan insizje kanally turbajyklara kapillýarlar diýilýär (latynça capillus-saç diýen manyny berýär).

Molekulýar dartyjy güýçler suwuklygyň we oňa galtaşýan maddanyň molekulalary arasynda hem bardyr (2.8-nji suratlardaky “G” molekula). Ululygy boýunça ol güýçler suwuklygyň we şeýle hem gaty maddanyň tebigatyna baglydyrlar.



2.8-nji surat.

Eger suwuklygyň we gaty maddanyň molekulalary arasyndaky özara dartyjy güýçler suwuklygyň öz molekulalary arasyndaky dartyjy güýçlerden uly bolsa, ondan suwuklygyň gaty madda galtaşýan bölejikleri oňa ýelmeşýärler. Bu hadysa **öllemek** diýilýär, suwuklygyň özüne bolsa **ölleýji suwuklyk** diýilýär.

Içinde suwuklyk ýerleşýän gaba seredip geçeliň.

Içi suwuklykly gabyň dik diwarynyň ýanyndaky üstde ýerleşýän ölleýji suwuklygyň molekulasy (2.8-nji surat “a”) diwarjygy düzyň maddanyň molekulalary we suwuklygyň öz molekulalary tarapyndan güýçler täsir edýärler. Diwarjygyň maddasynyň molekulalary tarapyndan täsir edýän güýçleriň deňtäsirediji güýji (F_g) diwarjyga tarap gönükdirilendir, suwuklygyň öz molekulalary tarapyndan täsir edýän güýçleriň deňtäsirediji güýji (F_s) bolsa suwuklygyň içine tarap gönükdirilendir. Seredilýän “G” molekula täsir edýän jemleýji güýç bu güýçleriň wektor goşulmak usuly bilen tapylýar: $R = F_g + F_s$. Ölleýji suwuklyk üçin bu jemleýji güýç (R) gabyň daşyna gönükdirilendir. Şunlukda her bir molekula täsir edýän “R” güýçlere dik bolmaly bolan dynçlyk ýagdaýynda duran suwuklygyň üsti oýuk forma eýe bolýar (MN çyzyk) oňa **oýuk menisk** (üstüň egrelmesi) diýilýär.

Eger suwuklygyň we gaty maddanyň molekulalarynyň arasyndaky özara täsir ediji güýçler suwuklygyn öz molekulalarynyň arasyndaky özara täsir ediji güýçlerden kiçi bolsa, onda suwuklyga **öllemeyän suwuklyk** diýilýär.

Bu ýagdaýda suwuklygyň molekulalary gaty maddanyň üstüne ýelmeşýän dälidirler. Şunlukda gabyň diwarjygynyň ýanynda ýerleşýän suwuklygyň molekulasy täsir edýän güýçleriň deňtäsirediji güýji (R) gabyň içine gönükdirilendir (2.8-nji surat “b”). Şeýlelik bilen suwuklygyň üsti güberçek forma eýe bolýar (MN çyzyk) oňa **güberçek menisk** diýilýär.

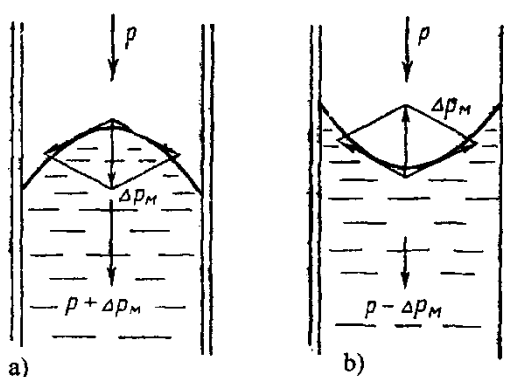
Eger $Q < \pi/2$ we suwuklyk gaty maddany ölleýän bolsa, onda şeýle ýagdaýda gaty maddanyň üstüne **gidrofil üst** diýilýär.

Eger $Q > \pi/2$ we suwuklyk gaty maddanyň üstüne öllemeýän bolsa, onda şeýle ýagdaýda gaty maddanyň üstüne **gidrofob üst** diýilýär.

Q burç – bu öllenýän (ýa-da öllenmeýän) üst bilen suwuklygyň üstüne geçirilen galtaşma çyzygy arasynda döreýän burçdyr.

Şol bir suwuklyk käbir maddalary ölleýändir we käbir beýleki maddalary ölleýän däldir. Mysal üçin, suw aýnany ölleýär we ýaglary öllänok. Toprak, agaç we onuň gabygy, ýagy aýrylan zygyr süýümleri, kenep süýümi, ýüň we beýlekiler suw tarapyndan öllenýärler, ýaglar we smolalar (şepbikler) – aşgarny suwly erginleri tarapyndan öllenýärler.

Meniskiň egrişyzykly üstüne gysgaltmaga çalyşýan **üstki dartyjy güýç**, suwuklyga daşyndan täsir edýän (P) basyşdan başga, meniskiň aşagynda (ýa-da ýokarsynda) goşmaça ΔP_m basyşy döredýär. Bu goşmaça döreýän ΔP_m basyş üst dartyjy güýjüň koeffisiýentine we üstüň egrililigine baglydyr. Güberçek meniskde ol suwuklygyň içine gönükdirilendir we daşky basyş bilen goşulyşýandyr (2.9-njy surat “a”). Bu ýagdaýda meniskiň aşagyndaky basyş şeýle kesgitlenýär: $P_m = P + \Delta P_m$.



2.9-njy surat.

Oýuk meniskde bu goşmaça döreýän basyş suwuklygyň daşyna gönükdirilendir (2.9-njy surat “b”) we ol daşky basyşdan aýrylýandyr: $P_m = P - \Delta P_m$.

Meniskiň aşagynda döreýän goşmaça basyşyň ululygy doly öllenmede we “ r_m ” radiusly ýarymsfera görnüşli meniskde ýarymsferanyň esasyňyň perimetri boýunça täsir edýän üst dartyjy güýjüň ($F = 2\pi r_m \sigma$) onuň meýdanyna ($S = \pi r_m^2$) bolan gatnaşygy görnüşinde kesgitlenýär:

$$\Delta P_m = \frac{F}{S} = \frac{2\pi \cdot r_m \sigma}{\pi \cdot r_m^2} = \frac{2\sigma}{r_m}; \quad (11)$$

Bu ýerde σ -üst dartyjy güýjüň koeffisiýenti.

Üst dartyjy güýjüň koeffisiýenti ölçegleriň Halkara ulgamynda $\left[\frac{N}{m} \right]$ ölçeg birliginde ölçelýär.

11-nji deňlige Laplasyň deňligi diýilýär.

Adatça meniskiň egrilik radiusy “ r_m ” turbajygyň radiusyna “ r_m ” deň diýilip kabul edilýär.

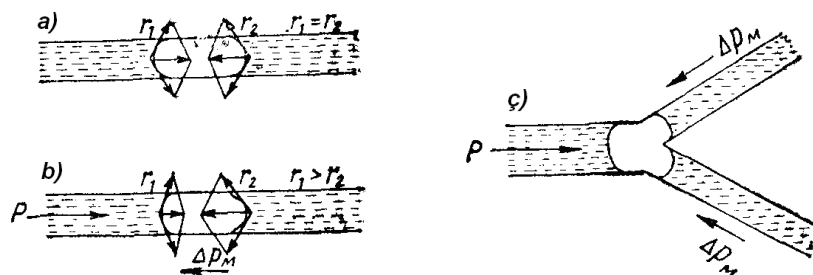
Goşmaça döreýän basyşyň täsiri astynda insizje diamterli turbajyklarda suwuklygyň derejesiniň bolmaly derejesinden ýokaryk galmaklyk ýa-da aşak peselmeklik hadysasyna kapillýarlyk diýilýär.

Islendik içi öýjük-öýjük düzümlü bolan maddalar kapillýarlyk hadysasyna eýedirler, mysal üçin, filtrleýji kagyz, gury hek, depip agdarylan toprak we ş.m. Şeýle maddalar ölleýji suwuklyk tarapyndan ýeňil öllenýärler hem-de ol suwuklygy özlerinde saklaýarlar. Öllemeýän suwuklyklar üçin bolsa, tersine, şeýle maddalar geçiriji (syzyjy) däldirler.

Kapillýarlyk hadysanyň ösümlükler üçin uly ähmiýeti bardyr, çünki ol suwuň we iýmitlendiriji erginleriň ösümlükleriň düýpleri boýunça ýokary galmaklygyna ýardam edýär.

Insizje turba boýunça akýan ölleýji suwuklygyn içine düşen gazyň köpürjigi turbanyň iki tarapyndan menisk bilen çäklendirilýändir. Şeýlelik bilen, ol meniskiň aşagynda goşmaça basyş döreýär. Eger suwuklyk dynçlyk ýagdaýynda duran bolsa, onda meniskler birmeňzeş radiusa eýedirler ($r_1 = r_2$) we şoňa görä-de olaryň aşagynda döreýän goşmaça basyş özara deňleşýärler (2.10-njy surat “a”).

Eger suwuklyga daşky basyş (P) täsir edýän bolsa, onda turbanyň diwarynyň ýanyndaky ýelmeşdiriji güýçler tarapyndan saklanýan meniskler deformirlenýärler we olaryň radiuslary üýtgeýärler (2.10-njy surat “b”: $r_1 > r_2$). Şeýle ýagdaýda ol meniskleriň aşagynda döreýän goşmaça basyşlar özara biri-birlerine deň däldirler we olar daşky basyşyň (P) garşysyna täsir edýän we suwuklygyn hereketini kynlaşdyrýan basyşlaryň aratapawudyny (ΔP_m) döredýärler. Eger köpürjikler köp bolsa, onda turbada suwuklygyn hereketi üçin doly ýapylmak ýagdaýyň ýüze çykmak mümkinçiligi bardyr.



2.10-njy surat.

Köpürjigiň meniskiniň suwuklygyn hereketine bolan has uly garşylygy aýratynam turbanyň iki (ýa-da birnäçe) şahalara bölünýän ýerlerinde bolýandyr, çünki bu ýagdaýda köpürjigiň bir tarapynda egrilik radiusy has kiçi bolan iki sany (ýa-da birnäçe) menisk ýüze çykyandyr (2.10-njy surat “ç”).

Şeýle hadysalar adamyň ganyňlanyş ulgamynda hem bolup biler.

Ganyň içine düşen howa köpürjikleri insizje diametrli damarlarda akyma böwet bolup ony ýapmak bilen haýsydyr bir organy ganüpjünçiliginden kesip bilerler. Bu hadysa gaz emboliýasy diýilýär.

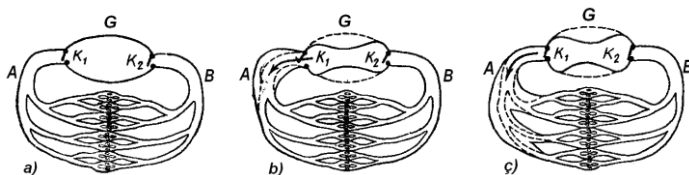
Gaz emboliýasy düýpli funksional bozulmalara we hatda ölüm bilen gutarmaklyga getirip biler. Mysal üçin, howa emboliýasy iri wenalar ýaralananda ýüze çykyp biler. Gan akymyna aralaşan howa ganyň akysyna päsgel berýän howa köpürjigini döredýär. Howa köpürjikleri içkiwena guýulmalarynda wenanyň icine düşmeli dälirler.

Gaz köpürjikleri ganda haçan-da suwaçümüjiler çuň aralykdan çalt ýokaryk çykanda we şeýle hem uçary sürüjilerde we kosmonawtlarda has ýokary beýiklikde kabinanyň ýa-da skafandryň germetikligi bozulanda ýüze çykyp biler. Bu daşky atmosfera basyşynyň peselmekligi netijesinde ***ganyň gazlarynyň ergin ýagdaýdan erkin gaz görnüşli ýagdaýa geçmekligi bilen baglanyşyklydyr.*** Basyşyň peselmekligi bilen gaz köpürjikleriniň döremekliginde esasy orun azoda degişlidir, sebäbi ganyň umumy basyşynyň esasy bölegi azot bilen baglanyşyklydyr we ol organizm bilen ony gurşaýan howanyň arasyndaky bolup geýýän gaz alyş-çalşygyna gatnaşýan dälir.

2.4. GEMODINAMIKA

Damar ulgamy boýunça ganakymynyň hereketini öwrenýän biomehanikanyň bölümüne gemodinamika diýilýär. Hidrodinamika gemodinamikanyň fiziki esasy bolup durýandyr. Ganakymy ganyň öz häsiýetlerine we şeýle hem gan akýan damarlaryň gurluşlaryna baglydyr.

Ýürek-damar ulgamynyň fiziki modelini ýapyk (ýagny atmosfera bilen arabaglanyşygy bolmadyk) birnäçe bölege bölünen we suwuklyk bilen doldurylan çäýe diwarly turbajyklar ulgamy görnüşinde görkezmek bolar (2.11-nji surat “a”). Ondaky suwuklyk akymy ritmiki işleýän iteriji nasosyň kömegi bilen bolup geçýär (ol 2.11-nji suratda rezin gruşasy (G) görnüşinde görkezilendir).



2.11-nji surat.

Umuman alnanda ulgamyň işini şeýle görnüşde göz öňüne getirmek bolar.

Gruşa G gysylanda onda saklanýan suwuklyk (K_1) klapanyň üsti bilen (A) tarapdaky turbajyklar ulgamyna çykarylýarlar we olarda suwuklyklaryň “B” turbajyklar ulgamyna tarap hereketini döredýärler, soň (K_1) klapanyň ýapylýar, gruşa giňelýär we (K_2) klapanyň üsti bilen suwuklygyň deňişli mukdary ulgamyň “B” tarapyndan gruşanyň içine girizilýär.

Turbajyklaryň kem-kemden we birnäçe bölege bölünmegi, aýratynam onuň orta böleginde bölünmegi, **şeýle ulgamyň aýratynlygy bolup durýandyr**. Ulgamyň orta bölegi kese-kesiginiň meýdany kiçi bolan örän kop sanly gysgajyk parallel turbajyklardan durýandyr. Olaryň ählisiniň bileleşip döredýän açyklyk ýşynyň örän uly kese-kesigi bardyr we şoňa göre-de suwuklygyň tizligi bu ýerde tas nola çenli diýen ýaly peselýändir.

Ýöne bu turbajyklaryň diwarýaka ýanyndaky içki sürtülme güýji örän ýokarydyr we şoňa laýyklykda, hut ulgamyň seredilýän ýagdaýdaky orta bölegi suwuklyk akymyna uly garşylyk görkezýär we basyşyň maksimal pese düşmegine getirýär.

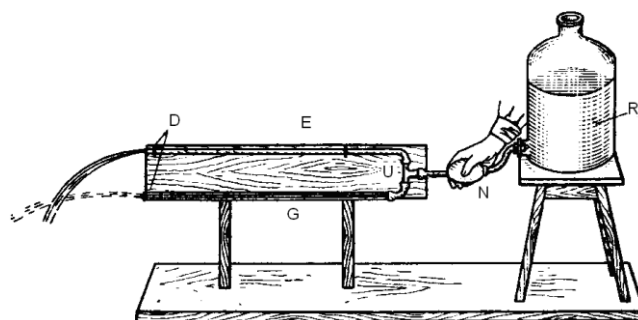
Turbajyklaryň diwarlarynyň elastikligi (çeyeligi) şeýle **ulgamyň beýlekisi bir aýratynlygy** bolup durýandyr, şoňa baglylykda nasos ritmiki işleýän wagtynda suwuklyk akymy deňölçepli üznüksiz häsiýete eýe bolýar.

Goý, gruşa gysylanda suwuklygyn käbir mukdary, öň içi käbir basyş astynda suwuklyk bilen doldurylan “A” turbajyga girizilýär diýeliň. Şunlukda “A” turbajykdaky basyş ýokarlanýar, onuň çäýe diwarlary giňelýärler we şoňa baglylykda olar artykmaç suwuklygy özlerine sygdyrýarlar (2.11-nji surat “b”).

Soň “A” turbajygyň diwarlary öňki kadaly ýagdaýa gelmek üçin kem-kemden gysylýarlar we artykmaç suwuklygy özüniň yz ýanynda ýerleşen ýerlere geçirýärler, olaryň diwarlary hem ilki başda giňelýärler, ondan soň bolsa gysylýarlar we şuňa meňzeş yzygiderlikde suwuklyk turbajyklar ulgamynyň soňky ýerlerine itilip geçirilýärler (2.11-nji surat “ç”). Netijede suwuklyk akymy kem-kemden deňölçepli häsiýete eýe bolýar.

Şeýle hadysanyň suratlandyrmasy bolup şu aşakdaky tejribe

hyzmat edýär (2.12-nji surat). Iki sany turba (olaryň biri G-gaty we beýlekisi E-çäýe diwarly turbalarydyr) üçe bölüji gurluşyň (Ü) kömegi bilen nasosa-gruşa (N) birikdirilýärler. Öz gezeğinde nasos-gruşa suwly rezerwuar (R) bilen birleşdirilendir. Turbalaryň uçlarynda uly bolmadyk deşikli dykylar (D) bardyrlar, olar suwyň erkin akyp çykmaklygyna päsgelçilik berýärler.



2.12-nji surat.

Haçanda gruşa gysylp işe girizilende, “G” turbadan suwuň üzňükli akymynyň, “E” turbadan bolsa – üzňüksiz akymynyň akýandygyny görmek bolar. Şunlukda “E” turbanyň diwarlary periodiki giňelýändir we daralýandyr.

Indi damarlar ulgamyna seredip geçeliň. Ähli damarlar ulgamy boyunca ganyň akyp geçmekligi üçin zerur bolan başlangyç basyş ýüregiň işlemekligi bilen döredilýär.

Gan aylanýş ulgamynyň uly aýlawynda bolup geýän hadysalara shematiki seredip geçeliň. Ýüregiň çep garynjagazynyň her gezekki ýygrylmasynda, oň degisli basyş astynda gan bilen doldurylan aortanyň içine, takmynan 65-70 ml barabar bolan ganyň **urgy mukdary** diýlip atlandyrylýan gan girizilýär. Soň aortanyň klapanlary ýapylyrlar.

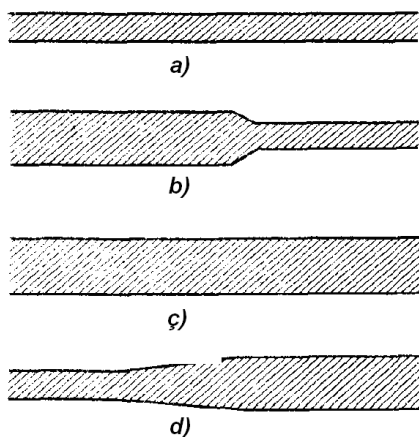
Aorta girizilen goşmaça gan mukdary ondaky basyşy ýokarlandyrýar we şoňa degişlilikde onuň diwarlaryny giňeldýär.

Damar diwarjyklarynyň çeyre bolmaklygyna görä **sistola wagtynda** (ýürek myşsasynyň ýygrylmasynda) ýürek tarapyndan itilip çykarylýan gan aortanyň, arteriýalaryň we arteriollaryň dartylmagyna getirýär, ýagny iri damarlar özünde sistola wagtynda periferiýa akyp gidýän gana garanda köp mukdarda bolan gany saklaýar. Adamyň sistoliki basyşy kadaly ýagdaýda takmynan 16 kPa deňdir.

Sistoliki diýlip atlandyrylýan ýokary basyşly tolkun, damar diwarjyklarynyň yrgyldylaryny döredýär. Ol yrgyldylar has uly arteriýalaryň boý ugry boyunca maýyşgak tolkun görnüşinde ýaýraýrlar.

Basyşyň täsiri astynda döreýän şeýle tolkuna **puls tolkuny** diýilýär, onuň ýaýraýyş tizligi damar diwarjyklarynyň maýyşgaklygyna baglydyr we takmynan 5-10m/s deňdir.

Diýmek, **sistola wagtynda** (onuň dowamlylygy takmynan 0,3s deňdir) puls tolkuny 1,5-3m aralyga ýaýramalydyr, bu bolsa ýürek bilen gyraky uçlara çenli bolan aralykdan uludyr. Bu puls tolkun frontynyň entek aortada basyş peselmäge başlamaka gyraky uçlara ýetjekdigini aňladýar. Arteriýanyň profili shematiki 2.13-nji suratda görkezilendir.



2.13-nji surat.

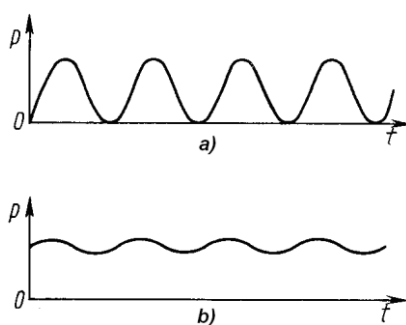
- a – puls tolkuny geçenden soň;
- b – arteriýadan puls tolkunynyň fronty geýär;
- ç – arteriýada puls tolkuny bar;
- d – ýokarlandyrylan basyş pese düşüp başlaýar.

Puls tolkunyna iri arteriýalardaky ganakymynyň tizliginiň pulsirlenmegi deňşlidir, ýöne ganyň akýş tizligi (ol maksimal 0,3-0,5m/s deňdir) puls tolkunynyň ýaýramak tizliginden ep-esli kiçidir.

Soň, ýürek myşsalarynyň gowşayan periodynda (*diastola*), aortanyň diwarjyklary kem-kemden ilkibaşdaky ýagdaýyna gaýdyp gelýärler we girizilen ganyň mukdaryny has iri distal arteriýalara iterýärler. Öz gezeginde arteriýalaryň diwarjyklary giňelýärler we soň ýygrylmak bilen, gany damar ulgamynyň soňky böleklerine itekleýärler. Netijede, ganyň akymy üznüksiz häsiýete eýe bolýar, onuň tizligi iri damarlarda (0,3-0,5m/s) ululyga ýetýändir.

Ganyň akyp gitmekligine (geçilýän “ I ” aralygyň ulalmagyna) baglylykda basyş tarapyndan döredilýän yrgyldylar timarlanýarlar, ýagny “göneldilýärler”. 2.14-nji suratda ýürege golaý bolan aortadaky (a) we arteriýalardaky (b) basyşyň ýüze çykarýan yrgyldylarynyň görnüşleri shematiki görkezilendir.

Gan akymynyň şeýle mehanizminde, ýürek myşsasynyň ýygrylmasynda döreýän energiýanyň diňe bir bölegi göniden-göni aortadaky gan massasyna berilýändir we onuň kinetik energiýasyna öwürülýändir.



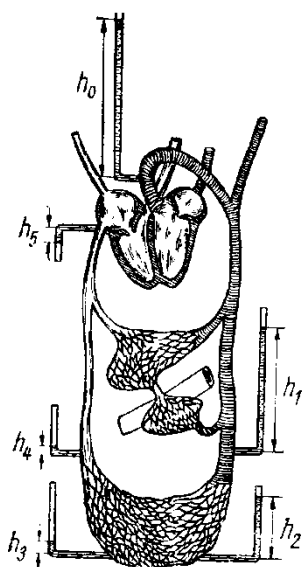
2.14-nji surat.

Energiýanyň galan bölegi uly damarlaryň (esasan aortanyň) çeyde diwarjyklarynyň giňelmegindäki deformasiýanyň potensial energiýasyna öwürülýärler we soň kem-kemden olaryň ilkibaşdaky ýagdaýyna gaýdyp gelmek derejesine görä, ýürek myşsasynyň gowşamak periodynda, ganyň massasyna geçirilýärler (ýagny gan akymynyň kinetik energiýasyna öwürülýärler).

Wagt birliginde damarlar ulgamyndaky bölek ýerleriň kese-kesiginden akyp geçýän, gan akymynyň göwrüm tizligi diýilip atlandyrylýan ganyň (Q) mukdary bölek ýerleriň başyndaky we soňundaky basyşyň aratapawudyna hem-de onuň gan akymyna görkezýän garşylygyna baglydyr.

Damarlar ulgamynyň aýry-aýry böleklerinde gan akymynyň göwrüm tizligi hasaplananda birinji ýakynlaşmada Gagen-Puazeýliň deňligini peýdalanýarlar. Ýöne damarlar ulgamynyň ganyň akymyna bolan hakyky garşylygy şeýle deňlik boýunça hasaplanyp çykarylýan bahasyndan uludyr, onuň beýle bolmaklygy çeyde diwarjyklaryň deformasiýasynda bolan energiýanyň käbir ýitgileri bilen we damarlaryň bölünýän ýerlerinde gutulgysyz suratda ganyň akymynda bolup geçýän köwlenme hadysalaryň ýüze çykmagy bilen baglanyşyklydyr. Şu şertleriň göz önünde tutulmagy bilen takyk hasaplamalary geçirmeklik örän çylşyrymlydyr.

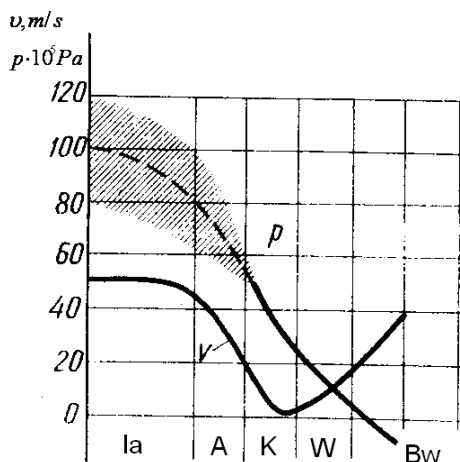
Damarlar ulgamynyň dürli ýerlerinde gan akymyna bolan garşylyk we diýmek, basyşyň pese düşmekligi örän dürli-dürlidir. Ol bölümlerdäki damarlaryň umumy açyklyk ysna we sanyna baglydyr. Ganyň basyşynyň ilkibaşdaky basyşdan 50 göterimden az bolmadyk görnetin peselýän ýeri arteriollarda bolup geçýär. Umumy açyklyk ysý az derejede ulalýan arteriollaryň sany uly arteriýalaryň sanyna garanda ýüzlerçe esse köpdür. Şoňa görä-de basyşyň diwarýaka sürtülmedäki ýitgisi örän ýokarydyr. Kapillýarlaryň umumy sany arteriollaryňkydan hem has köpdür. Ýöne olaryň gysga bolmaklygy basyşyň arteriollaryňka garanda az pese düşmekligine getirýär.



2.15-nji surat.

Kese-kesiginiň meýdany arteriýalaryňky bilen deňeşdirilende takmynan iki esse uly bolan wena damarlarynda gan akymynyň tizligi ýokary dälär we gan basyşynyň pese düşmekligi ujypsyzdyr. Ýüregiň ýanyndaky uly wenalarda gan basyşy atmosfera basyşyndan birnäçe millimetr simap sütüniçe pese düşýändir. Gan bu ýagdaýlarda dem alynyan wagtda döş kapasasynyň sorujy täsiri astynda hereketlenýändir. 2.15-nji suratda uly gan aýlanyş aýlawynda damarlar ulgamynyň aýratyn böleklerinde gan basyşynyň bölünmesi görkezilendir.

2.16-njy suratda damarlar ulgamynyň esasy böleklerinde gan akymynyň basyşynyň we tizliginiň üýtgeýişleriniň grafikleri görkezilendir.



2.16-njy surat.

Ia – iri arteriýalar;
A – arteriollar;
K – kapillyarlar;
W – wenalar;
B_w – ýürege girýän içi boş wena

Ganyň damarlardaky akymy, aýratynam onuň damarlar ulgamynyň dürli bölekleri arasyndaky bölünmesi, diňe bir ýüregiň işleýşine bagly bolman, ondan hem başga ol damar diwarjyklarynyň tonusy bilen kesgitlenýän damarlaryň umumy ýşynada baglydyr.

Çeýe diwarly damarlaryň ýylmanak myşsa süýümleri bardyr, damaryň yş açyklygy olaryň ýygrylmak derejesine baglydyr. Şeýle hem sirkulirlenýän (gan aýlawynda aýlanýan) ganyň umumy mukdarynyň, onuň şepbeşikliginiň we ş.m. ähmiýeti bardyr.

Şu faktorlaryň hemmesi merkezi nerw ulgamynyň sazlaýjy täsiri astynda bolýarlar. Şeýlelik bilen, fiziologiki faktorlar, fiziki kanunalaýyklyklaryň üstüne goşulyp, organizmiň dürli böleklerinde gan akymyny sazlaýarlar.

Kadaly ýagdaýda damarlar ulgamy ýapyk ulgamdyr we onuň atmosfera bilen baglanyşygy ýokdur. Damarlar dürli tarapa gönükdirilen ýagdaýda ýerleşýärler we onuň üstesinede ganyň garşylykly ugur boýunça hereket edýän arterial we wena damarlarynyň köp bölegi özara parallel ýerleşýändirler.

Şeýle damarlar özara kapillýarlar bilen birleşýärler, şonuň üçin hem olardaky ganyň gidrostatiki basyşyny, edil biri-birine birleşýän gaplardaky ýaly, birinji ýakynlaşmada, özara deňagramlaşýarlar diýip kabul etmek bolar we onuň modeli hökmünde gorizontall turbajyklaryň ulgamyna seretmek bolar.

Damar diwarjyklary şikeslenen wagtynda damarlaryň atmosfera bilen baglanyşygynyň ýüze çykmagy mumkindir we şonda gan akymynyň gidrostatiki basyşynyň täsiri ýüze çykýar. Mysal

üçin, el-aýagyň şikeslenen damaryndan gan akymyny gowşatmaklyk üçin onuň ýokary galdyrylyp saklanmalydygy hemmelere mälimdir.

Damarlar ulgamyndaky gan akymy **kadaly şertlerde laminar häsiýete eýedir. Onuň turbulent akyma geçmekligi** kadaly şertleriň bozulmagynda, mysal üçin, damarlaryň diametrleriniň (yş açyklygynyň) birden daralmagynda bolup biler. Şeýle ýagdaý ýürek ýa-da aortal klapanlaryň doly däl açylmagynda, ýa-da tersine, doly däl ýapylmagynda bolup biler.

Şunlukda, şeýle ýagdaýyň alamatlarynyň biri hökmünde ýüregiň döredýän galmagallary diýilip atlandyrylýan sesler ýüze çykýar.

2.5. ÝÜREGIŇ ÝERINE ÝETIRÝÄN IŞI WE KUWWATY

Ýürek tarapyndan ýerine ýetirilýän iş, garynjagazlaryň ýygrylmasynda, esasan çep garynjagazyň ýygrylmasynda bolýar. Sag garynjagazyň işi çep garynjagazyň ýerine ýetirýän işini 0,2-0,15 bölegine deň diýilip kabul edilýär.

Çep garynjagazyň her gezekki ýygrylmasynda ýürek myşsasynyň ýerine ýetirýän işi itilip çykarylýan gana energiýa bermeklige sarp edilýar, ol energiýa doly gan aýlawynda ganyň hereketi üçin zerurdyr. Bu energiýa ganyň geçýän ähli ýolunda oňa görkezilýän garşylygy ýeňip geçmeklik üçin gerek bolan basyşyň **potensial energiýasyndan** we gan massasynyň hereketlenmegine zerur bolan tizligi bermeklik üçin gerek bolan **kinetik energiýadan** ybaratdyr.

Ýüregiň çep garynjygynyň işi şeýle deňlik bilen kesgitlenýär:

$$A_{(\text{garynj.})} = P \cdot V_{(\text{urgy})} + mv_a^2/2 = (P + \rho v_a^2/2) \cdot V_{(\text{urgy})}$$

bu ýerde P – ortaça basyş, şeýle basyş astynda gan aorta itilip çykarylýar.

$$(P = 100 \text{ mm sim.s.} = 10^5 \cdot 100/760 = 1,3 \cdot 10^4 [\text{Pa}]);$$

$$\rho - \text{ganyň dykzlygy; } (\rho = 1,05 \cdot 10^3 [\text{kg/m}^3]);$$

$$v_a - \text{ganyň aortadaky tizligi, dynçlyk ýagdaýynda}$$

$$v_a = 0,5 [\text{m/s}];$$

$$V_{(\text{urgy})} - \text{ganyň itilip çykarylýan urgy mukdary, dynçlyk ýagdaýynda}$$

$$V_{(\text{urgy})} = 70 \text{ sm}^3 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3;$$

Şulary göz önünde tutup, alýarys:

$$A_{(\text{garynj.})} = (1,3 \cdot 10^4 + 1,05 \cdot 10^3 (0,5)^2/2) \cdot 7 \cdot 10^{-5} = 0,95 [\text{J}]$$

Sag garynjagazyň işini göz önünde tutup, umuman alnanda, ýüregiň işi üçin taparys:

$$A_{(\text{ýürek})} = 1,2 \cdot A_{(\text{garynj.})} = 1,2 \cdot 0,95 = 1,14 [\text{J}]$$

Garynjagazlaryň ýygrylmak wagty t (garynj $\approx 0,3 \text{ s}$) onda, ýüregiň ýygrylmasy netijesinde ýüze çykýan kuwwat şeýle ululyga deň bolar:

$$N_{(\text{ýürek})} = A_{(\text{ýürek})} / t_{(\text{garynj})} = 1,14 \text{ J} / 0,3 \text{ s} = 3,4 \text{ Wt};$$

1 minutda ýüregiň ortaça 60 gezek ýygrylmasy bolyar diýip hasap etmek bilen, onuň 1 minutdaky we 1 gije-gündizdäki işini kesgitläp bolyandyr:

$$A_{(\text{min})} \approx 68 \text{ J} \quad \text{we} \quad A_{(\text{gije-gündiz})} \approx 98000 \text{ J};$$

Ýüregiň ýerine ýetirýän işi hasaplananda ganyň urgy mukdary $V_{(\text{urgy})}$ deregine ganyň minutdaky ugry mukdaryny $V_{(\text{min})}$ göz önünde tutmak bolar, ýagny:

$$V_{(\text{min})} = N V_{(\text{urgy})} = 60 \cdot V_{(\text{urgy})} = 60 \cdot 70 = 4200 \text{ ml/min} = 4,2 \text{ l/min}$$

Adamyň asuda wagty (dynçlyk ýagdaýynda) ýüreginiň bir sapar ýygrylmasynda ýerine ýetirýän işi:

$$A \approx 1 \text{ J}$$

Ortaça intensiwliki myşsa işinde ganyň 1 minutdaky mukdary takmynan 5 gezek ýokarlanýar, ýagny $V_{m-i} = 20 \text{ l/min}$. Şunlukda aortadaky gan akymynyň tizligi hem ýokarlanýar: $V_{aor} = 5 \cdot 0,5 = 2,5 \text{ m/s}$.

Onda, ýüregiň 1 minutda ýerine yetirýän işi şeýle bolar:

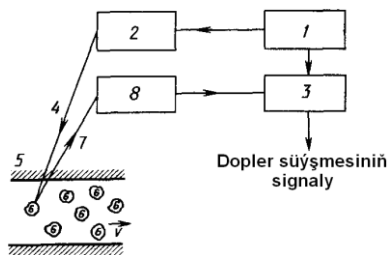
$$A_{\text{ýür}} = 1,2 [(1,3 \cdot 10^4 + 1,05 \cdot 10^3 \cdot (2,5)^2 / 2) 20 \cdot 10^{-3}] \approx 360 \text{ [J]}.$$

2.6. GANYŇ AKYŞ TIZLIGINI KESGITLEÝÄN USULLAR

Ganyň akym tizliginiň kesgitlenişiniň birnäçe usullary bar. Häzir şolaryň ikisiniň fiziki esaslaryna seredip geçeliň.

Ultrases usuly. Bu usul Dopleriň efektine esaslanýar.

Ultrases ýygylkly elektrik yrgyldysyny döredýän generatordan (1) signal ultrases şöhlenendirijä (2), hem-de ýygylk deňeşdiriji gurluşa (3) gelýär. Ultrases tolkuny (4) gan damarlaryna siňip (5), hereketlenýän eritrositlere (6) täsir edýär hem-de olardan yzyna serpikdirilýär (7) we kabul ediji (8) gurluşa barýar. Şol yerde ultrases tolkuny elektrik yrgyldylaryna özgerdilýärler we güýçlendirilýärler. Güýçlendirilen elektrik yrgyldylary 3-nji gurluşa düşýär. Bu ýerde, gan damaryna barýan hem-de, ondan serpigen tolkunlaryň ygryldylary deňeşdirilýär (2.17-nji surat).



2.17-nji surat.

Şunlukda elektrik yrgyldylary görnüşinde dopler süýşmesi ýüze çykarylyar: $U = U_0 \cos 2\pi v_D t$; bu ýerde v_D – ýygylgyň dopler süýşmesi;

Dopler süýşmesini bilip eritrositleriň tizligini V_0 kesgitläp bolýar.

$$V_0 = \frac{V}{2} \cdot \frac{v_D}{v_g}$$

bu ýerde: V – generator tarapyndan şöhlelendirilýän tolkunlaryň tizligi;

v_g – generator tarapyndan şöhlelendirilýän tolkunlaryň ýygylgy.

Iri damarlarda eritrositleriň tizligi olaryň damarlarda ýerleşýän yerlerine görä dürli-dürlidir. Damarlaryň “boý oky” boýunça hereketlenýän eritrositleriň tizligi ýokarydyr; “diwarýakada” ýerleşýänleriňki bolsa pesdir. US – tolkuny damarlaryň dürli ýerinden hereketlenip barýan eritrositlerden serpigýändir, şoňa görä-de dopler süýşmesi bir ýygylk görnüşinde däl-de, ýygylklaryň interwaly görnüşinde alynýandyr. Şeýlelik bilen, **Dopleriň effekti** ganakymynyň diňe bir ortaça tizligini kesgitlemäge mümkinçilik bermän, eýsem-de bolsa ganyň dürli gatlaklarynyň hereket tizligini kesgitlemäge-de mümkinçilik berýär.

Elektromagnit usuly.

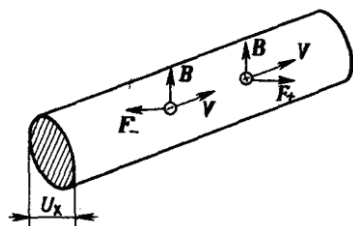
Damarlarda ganyň tizliginiň ölçelişiniň bu usuly magnit meýdanynda hereket edýän zarýadly bölejikleriň öz ugurlaryny üýtgetmek häsiýetlerine esaslanyar. Gan tebigaty boýunça neýtral ulgam bolsa-da ol otrisatel hem-de položitel ionlardan durýar. Şunlukda, ganyň tizligini zarýadlanan bölejikleriň akymy görnüşinde göz önünde getirip bolar. Hereketlenýän elektrik zarýadyna B induksiýaly magnit meýdanynda güýç täsir edýär, onuň ululygy şeýle kesgitlenýär:

$$F = q \cdot V_g \cdot B$$

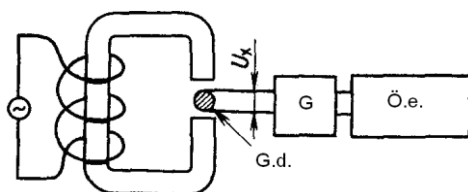
bu ýerde: F – täsir edýän güýç,
 q – zaryadlanan bölejik;
 V_g – zaryadlanan bölejikleriň tizligi;
 B – magnit meýdanynyň induksiýasy (2.18-nji surat).

Eger-de zaryad otrisatel bolsa onda güýç wektor köpeltmek hasylynyň tersine ugrukdyrylandyr, ýagny $V_g \cdot B$.

2.18-nji suratda görkezilişi ýaly, magnit meýdany tarapyndan dürli atly zaryadlara täsir edilende döreýän güýçler dürli ugurlara gönükdirilendir. Damaryň bir gapdalyndaky diwarynda položitel zaryadlar, beýleki gapdalyndaky diwarynda bolsa ot-



2.18-nji surat.



2.19-njy surat.

G – güýçlendiriji;
 Ö.e. – ölçeg enjamy;
 $G.d.$ – gangeçiriji damar.

risatel zaryadlar agdyklyk edýarler. Damaryň kese-kesigi boýunça zaryadlaryň bölünmegi elektrik meýdanynyň döremegine getirýär. Bu fiziki hadysa **Hollyň effekti** ýa-da güýjenmesi diýip at berilýär.

Hollyň güýjenmesi (U_H) ionlaryň hereket tizligine, ýagny ganyň tizligine baglydyr. Şeýlelikde, şu güýjenmäni ölçäp ganyň akýş tizligini kesgitlep bolýandyr. Diýmek, damaryň kese-kesiginiň meýdanyny bilip ganyň göwrüm tizligini hasaplamak mümkindir: $Q = V_g \cdot S$, bu ýerde Q – göwrüm tizligi, V_g – ganyň tizligi. S – damaryň kese-kesiginiň meýdany. Amalyýetde üýtgeýän magnit meýdanyny ulanmak amatlydyr, sebäbi şeýle ýagdaýda üýtgeýän Hollyň güýjenmesi döreýär. Ony soň gerekli derejede güýçlendirip we ondan soň ölçäp bolýar (2.19-njy surat).

III. BIOLOGIKI ULGAMLARYŇ TERMODINAMIKASY

3.1. UMUMY ÝAGDAÝLAR

Termodinamika – energiýanyň öwrülmeleri baradaky ylymdyr.

Janly organizmiň ýaşamaklygy we ondaky ýaşaýşy üpjün edýän ähli prosesler ulgamyň (has takygy “janly organizm –daşky gurşaw” ulgamynyň) energetiki balansynyň üýtgemekligi bilen jebis baglanyşyklydyr. Şuňa baglylykda barlaglaryň termodinamiki usullary biologiýada giňden ulanylýandyr.

Termodinamiki usullar özüniň düýp mazmuny boýunça statistiki usullar bolup durýandyr. Dogrudan hem, mysal üçin, haýsydyr bir ýeke-täk molekulanyň aýratynlykda temperaturasyny ýa-da basyşyny göz önüne getirip bolmaz, sebäbi bu seredilýän termodinamiki parametrler makroulgamy düzýän biçak köp sanly molekulalaryň özara täsirlerini suratlandyrýandyr.

Termodinamika ol ýa-da başga bir hadysanyň tebigaty ýa-da onuň geçiş mehanizmi baradaky soraga jogap berýän däl. **Termodinamika diňe berlen prosesni geçip bilmek mümkinçiligini we onuň energetiki we entropiýa nukdaý nazardan hakyky amala aşyrylyp biljekdigini (ýa-da amala aşyrylyp bilmejekdigini) beýan edýär.** Bu ýagdaý biologiki ulgamlar öwrenilende örän möhüm ähmiýete eýe bolup durýandyr.

Termodinamiki hasaplamalar biologiýada we medisina giňden ulanylýandyr. Muňa, hususan-da, şu aşakdakylary mysal getirmek bolar:

Birinjiden - bütewi janly organizmde ýa-da onuň aýry-aýry ulgamlarynda dynçlyk ýagdaýynda we iş ýerine ýetirilende (mysal üçin, myşsa ýygrylmasynda; nerw impulslary geçirilende; osmos hadysasynda) bolup geçýän energetiki öwrülmeleriň hasaplamalary; biologiki prosesleriň netijeliliginiň we bihimiki birleşmeleriň baglanyşyk energiýasynyň kesgitlenmegi.

Ikinjiden – janly organizmleriň stasionar ýagdaýda termodinamiki deňagramlylygyň golaýynda ýerleşýän aýk termodinamiki ulgam hökmünde öwrenilmegi. Bu, mysal üçin, öýjük membranalarynyň üstünden geçýän maddalaryň aktiw we passiw transportyny we olarda (ýagny membranalarda) bioelektriki potensiallaryň döremekligini ýakyndan öwrenmeklige mümkinçilik berýär.

Termodinamikada barlagyň esasy obýekti hökmünde **ulgam** çykyş edýär we oňa şeýle kesgitleme berilýär:

bölejikleriň örän köp mukdaryndan ybarat bolan islendik material obýekte, islendik madda ulgam diýilýär.

Diýmek, ulgamyň ölçegi ony düzýän bölejikleriň ölçeglerinden has uludyr.

Termodinamikada üç dürli görnüşli (kysymly) ulgamlara seredilýär, olara **aýk, ýapyk we izolirlenen** ulgamlar degişlidir. Bu ulgamlar özara biri-birlerinden daşky gurşaw bilen täsir ediş häsiýetleri boýunça tapawutlanýarlar.

Eger-de ulgam daşky gurşaw bilen energiýa we madda çalşygyny amala aşyrýan bolsa, onda oňa **aýk ulgam** diýilýär.

Eger-de ulgam daşky gurşaw bilen diňe energiýa çalşygyny amala aşyrýan bolsa, onda oňa **ýapyk ulgam** diýilýär.

Eger-de ulgam daşky gurşaw bilen energiýa we madda çalşygyny amala aşyrmaýan bolsa, onda oňa **izolirlenen ulgam** diýilýär.

Termodinamiki nukdaý nazardan janly organizm aýk ulgama degişlidir.

3.1.a. Termodinamiki funksiýalar

Ulgamyň fiziki we himiki häsiýetleriniň utgaşmalary onuň ýagdaýyny kesgitleýärler. Ulgamyň ýagdaýy termodinamiki funksiýalaryň (ýagny temperaturanyň, basyşyň, göwrümiň, energiýanyň, entropiýanyň we ş.m.) üsti bilen beýan edilýär.

Ulgamdaky mikrobölejikleriň massasyna ýa-da mukdaryna bagly bolan termodinamiki funksiýalara **ekstensiw** ýa-da sygymyň faktorlary diýilýär (göwrüm, energiýa, entropiýa).

Ulgamdaky mikrobölejikleriň massasyna ýa-da mukdaryna bagly bolmadyk termodinamiki parametrlere **intensiw parametrler** ýa-da potensialyň faktorlary diýilýär (basyş, temperatura, entropiýanyň üýtgemek tizligi).

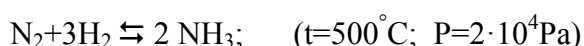
Şeýle hem **deňagramly** we **deňagramsyz** ulgamlary we olardaky bolup geçýän **öwrülişikli** we **öwrülişiksiz** hadysalary tapawutlandyryrlar.

Eger-de ulgamyň ähli nokatlarynda fiziki –himiki ululyklar (temperatura, basyş, konsentrasiýa) hemişelik bolsa we onuň dürli nokatlarynda şol seredilýän ululyklaryň bahasy birmenzeş (ýagny üýtgemeyän) bolsa, onda oňa **deňagramly ulgam** diýilýär.

Eger-de ulgamyň dürli nokatlarynda fiziki-himiki ululyklar üýtgäp, olar biri-birinden tapawutlanýan bolsalar, onda oňa **deňagramsyz ulgam** diýilýär.

Haçan-da deňagramlylykdan çykarylan ulgam başlangyç ýagdaýyna energiýa sarp etmezden geçýän reaksiýalaryň kömegi bilen gelýän bolsa, onda ol hadysalara (reaksiýalara) **öwrülişikli hadysalar** (reaksiýalar) diýilýär.

Öwrülişikli hadysanyň mysaly hökmünde molekulýar azotdan we wodoroddan ammiagyň alnyş prosesini görkezmek bolar:



Bu reaksiýada katalizator hökmünde Al, K, Ca ýa-da Si goşundyly demir ulanylýar. Eger-de basyş $P=2 \cdot 10^4\text{Pa}$ -dan ýokarlandyrylsa – onda ammiak sintezlenýär; eger-de ol ýokarda görkezilen ululykdan peseldilse – onda molekulýar azot we wodorod alynýar.

Şeýle hem öýjügiň gyjyndyrylyşyny öwrülişikli hadysanyň mysaly hökmünde görkezmek bolar.

Eger-de ulgam deňagramlylyk ýagdaýyna energiýany sarp edýän hadysalaryň kömegi bilen gelýän bolsa, onda ol hadysalara öwrülişiksiz hadysalar diýilýär.

Öwrülişiksiz hadysalara mysal hökmünde, umuman alnanda, organizmiň ösüşini, ýylylygyň gyzgyn maddadan sowuk madda geçmegini, gazyň wakuuma giňelmegini, diffuziýany, ýokardan aşak gaçan daşy we ş.m. görkezmek bolar.

Termodinamiki deňagramlylyk. Termodinamiki deňagramlylykda energiýanyň dürli görnüşleriniň (himiki, elektrik) gradiýentleri deňleşýärler we şuna baglylykda ulgamyň iş edip bilijilik ukyplygy nola deň bolýar. Ulgam şeýle ýagdaýdan daşyndan alýan energiýany sarp etmese çykyp bilmeýär.

3.1.b. Energiýa we entropiýa

Energiýa we entropiýa.

Islendik ulgamyň iş edip bilijilik ukypyny görkezýän ululyga energiýa diýilýär.

Energiýanyň birnäçe görnüşlerini tapawutlandyryrlar.

Içki energiýa (U) - ulgamy düzýän bölejikleriň kinetik we potensial energiýalarynyň jemine deňdir.

Energiýanyň peýdaly (işe öwrülýän) we peýdasyz (işe öwrülmeýän) bölekleri bolýar.

Energiýanyň maksimal iş edip biljek bölegine eksergiýa diýilýär. Energiýanyň işe öwürlmän peýdasyz ýitip gidýän (köplenç ýagdaýda ýylylyga öwrülýän) bölegine onuň entropiýa bölegi diýilýär (latynça: entropia-öwürüm, öwürlmek diýen manyny berýär).

*Eger hadysa hemişelik göwrümde ($v=\text{const}$) bolup geçýän bolsa, onda energiýanyň peýdaly bölegine **erkin energiýa** diýilýär:*

$$F = U - TS \quad (12)$$

bu ýerde F-erkin energiýa, U-içki energiýa, T-absolýut temperatura [$T=273+t^\circ\text{C}$ (K)], S-entropiýa.

Eger hadysa hemişelik basyşda ($P=\text{const}$) bolup geçýän bolsa, onda energiýanyň peýdaly bölegine **Gibbsiň energiýasy** diýilýär:

$$G = U + pV - TS \quad (13)$$

bu ýerde: p – basyş,
 V – göwrüm.

3.2. TERMODINAMIKANYŇ KANUNLARY

Termodinamikanyň 1-nji kanuny

Termodinamikanyň 1-nji kanuny şeýle kesgitlenýär:

Ulgam tarapyndan daşky güýçleriň garşysyna amala aşyrylýan iş ulgama goýlan (ýagny oňa berilýän) ýylylyk mukdary bilen onuň içki energiýasynyň üýtgemekligi arasyndaky aratapawuda deňdir, ýagny:

$$\left. \begin{array}{l} dA = dQ - dU \\ \text{ýa-da } dQ = dU + dA \end{array} \right\} \quad (14)$$

bu ýerde : dA – amala aşyrylan işiň mukdary;
 dQ – ulgamyň daşky gurşawdan alan ýylylyk mukdary;
 dU – içki energiýanyň üýtgemekligi.

Mukdar taýdan termodinamikanyň 1-nji kanuny energiýanyň saklanmak kanunyny suratlandyrýandyr.

Şeýlelik bilen, termodinamikanyň 1-nji kanuny boýunça içki energiýa diýlen düşünje girizilýär, ol ulgamyň düzümine girýän bölejikleriň ähli görnüşli hereketleriniň we olaryň özara täsir güýçleriniň jemine deňdir.

Termodinamikanyň 1-nji kanuny boýunça ýerine ýetirilýän işiň ulgamyň içki energiýasynyň üýtgemekliginiň hasabyna ýa-da ulgama käbir ýylylyk mukdarynyň berilmekliginiň hasabyna amala aşyrylyp bilinjekdigi barada netije gelip çykýar.

Janly ulgamda, organizmiň bütewiligine seredilmegine ýa-da onuň aýratyn organlaryna seredilmegine garamazdan, iş olarda saklanýan ýylylygyň hasabyna ýerine ýetirilip bilinýän däl-dir, ýagny janly organizm ýylylyk maşyny ýaly işläp bilýän däl-dir.

Termodinamikanyň 2-nji kanuny

Taryhy taýdan termodinamikanyň 1-nji we 2-nji başlangyçlary (kanunlary) ilki bilen ýylylyk maşynlary üçin kesgitlenildi. Nemes fizigi R.Klauzisiň garaýşyna laýyklykda, termodinamikanyň 2-nji kanuny şeýle ýagdaýy anyklaýdyrýar, ýagny **ýylylyk özakymlaýyn diňe gyzgyn maddadan sowuk madda geçip biler; ýylylyk özakymlaýyn sowuk maddadan gyzgyn madda geçip bilmez.**

Termodinamikanyň 2-nji kanuny haýsydyr – bir görnüşli energiýanyň işe we beýleki görnüşli energiýalara geçiş kanunalaýyklyklaryny kesgitleýär.

Termodinamikanyň 2-nji kanunyna laýyklykda

$$dS \geq \frac{dQ}{T} \quad (15)$$

bu ýerde dS – entropiýanyň üýtgemegi;
 dQ – ulgamyň daşky gurşawdan alýan ýylylyk mukdary.
Eger ulgam izolirlenen bolsa, onda:

$$dS \geq 0 \quad (16)$$

bu ýerde $dS > 0$ (deňagramsyz ýagdaýda),
 $dS = 0$ (deňagramly ýagdaýda)

Diýmek, termodinamikanyň 2-nji kanuny boýunça, izolirlenen deňagramly ulgamda entropiýa hemişelik bolmak bilen iň uly bahany alýar.

16-njy deňsizlik izolirlenen ulgamlardaky hadysalaryň ugruny görkezýär. **Izolirlenen ulgamlardaky özakymlaýyn öwrülişiksiz hadysalar entropiýanyň ulalyp, iň uly bahany almagyna we ulgamda termodinamiki deňagramlylygyň döremegine getirýär.**

Açyk ulgamda entropiýa hemişe ulalýar.

Açyk ulgamda entropiýanyň umumy üýtgemesi (dS) iki bölekden durýar, ýagny:

$$dS = dS_i + dS_e \quad (17)$$

bu ýerde: dS_i –ulgamyň içinde bolup geçýän öwrülişiksiz hadysalara baglylykda entropiýanyň üýtgemegi;
 dS_e – daşky gurşawyň täsiri astynda ulgamyň entropiýasynyň üýtgemegi.

Janly organizmlerde aşakdaky şertler ýerine ýetmelidir:

$$\frac{dS_e}{dt} < 0, \quad \frac{dS_e}{dt} > \frac{dS_i}{dt}. \quad (18)$$

Ýagny daşky gurşawyň täsiri astynda organizmiň entropiýasy kiçelmelidir. Bu şertiň ýerine ýetmegi daşky gurşaw bilen bedeniň arasynda çatyrym hadysalaryň bolup geçýändigini bilen düşündirilýär.

Çatyrym hadysalar. Biologiki hadysalarda we ulgamlarda energetiki çatyrymlylygyň uly ähmiýeti bardyr. *Eger bir reaksiýanyň bölüp çykarýan energiýasynyň (ýylylygynyň) hasabyna başga bir energiýany (ýylylygy) talap edýän reaksiýa geçýän bolsa, onda şeýle reaksiýalara çatyrym reaksiýalar diýilýär.* Şeýle reaksiýalarda

$$dS_i/dt = (1/T)A\nu > 0, \quad (19)$$

bu ýerde: A – maddalaryň biri-biri bilen birleşip bilijilik ukybyny görkezýän ululyk (himiki meňzeşlik),
 ν – reaksiýanyň tizligi.
 Çatyrym reaksiýalar üçin

$$A_1\nu_1 + A_2\nu_2 > 0 \quad (20)$$

diýmek,

$$\nu_1 = A_2\nu_2 / A_1. \quad (21)$$

Himiki reaksiýalaryň energetiki netijeliliginiň ýokarlanmagy, olaryň bilelikde biri-birini goldap çatyrymlylygy geçmegindedir. **Bir reaksiýadaky emele gelýän entropiýa beýleki reaksiýanyň geçmegi üçin peýdaly energiýa bolup durýar.**

Biologiki ulgamlarda çatyrymlylygy hadysalaryň bolmagy umumy ulgamyň energetiki netijeliligini ýokarlandyrýar. Ulgamda **öwrülişiksiz hadysalaryň** bolmagy, erkin energiýanyň dargamagyna we ýylylygyň bölünip çykmagyna getirýär. Çatyrymlylygy hadysalaryň esasynda bolsa, şeýle ýitgiler azalyp, olaryň köp böleginiň himiki baglanyşyklar görnüşinde saklanmagyna getirýär.

Eger iki reaksiýa üçin Gibbsiň energiýasy deň bolsa ($dG_1=dG_2$), onda haýsy reaksiýa çalt geçýän bolsa, şol reaksiýada hem entropiýanyň emele gelmegi uludyr. Diýmek, **energetiki nukdaý nazardan, çalt geçýän reaksiýalar organizm üçin peýdaly dälidirler.**

Şeýlelikde, **çatyrym we haýal geçýän hadysalaryň energetiki netijeliligi uly bolýar.**

Azyk önümlerini iýmek we Günün energiýasyny peýdalanmak janly organizmleriň entropiýasyny peseldýär, ol bolsa organizmiň içki energiýasynyň ulalmagyna getirýär. Daşardan otirisatel entropiýanyň gelmegi, organizmiň gurluşynyň tertipleşip, iýmit maddalarynyň tertipsizleşmegi bilen bagly bolman, eýsem ol iýmitiň bedende dargap, erkin energiýa öwürülýänligine baglydyr.

Izolirlenen ulgamlar wagtyň geçmegi bilen deňagramlylyk ýagdaýyna geçýärler, şol ýagdaýda ulgamyň entropiýasy maksimal bahany alýar.

Eger wagtyň geçmegi bilen ulgamyň ýagdaýy, onuň düzüm bölekleri üýtgemese, onda oňa stasionar ýagdaý diýilýär.

Stasionar deňagramly açyk ulgamlarda içki hadysalaryň hasabyna entropiýanyň emele gelmek tizligi minimum baha ymtylýar. Entropiýanyň minimum emele gelmek düzgünine Prigožiniň düzgünü (prinsipi) diýilýär.

Entropiýa düşüňjesine başga-da birnäçe kesgitleme bermek bolar:

1. Entropiýa energiýanyň peýdasyz bölegidir.

2. Entropiýa islendik ulgamy düzýän bölekleriň tertipsizligini görkezýän ululykdyr. Diýmek, ulgamyň entropiýasy näçe uly bolsa, onuň tertipsizligi hem şonça uludyr, ýa-da tersine.

3. Entropiýa hadysanyň ýerine ýetip biljekdiginiň ölçegidir. Entropiýasy ulalýan (öwrülişiksiz) ýa-da hemişelik galýan (öwrülişikli) hadysalar özakymlaýyn geçip bilýärler. Entropiýasy kiçelýän hadysalar hiç wagt öz-özünden ýerine ýetirilmeýärler. Şu ýerde **köp iş etmek düzgünini** belläp geçmek maksada laýyk bolardy: **diňe ýylylygy bölüp çykaryan reaksiýalar öz -**

akymlaýyn bolup geçýärler. Diýmek, özakymlaýyn reaksiýalaryň bolup geçýän ulgamlarynyň, **birinjiden**, erkin energiýasy minimuma ymtylýar, **ikinjiden**, olaryň tertipsizligi iň uly bahany alýar, **üçünjiden bolsa**, ýylylyk bölünip çykýar.

Izolirlenen ulgamlaryň entropiýasynyň uludygy sebäpli, olardaky tertipsizlik ýokary bolýar, şol sebäpli hem olaryň iş edip bilijilik ukyby azalýar.

Açyk ulgamlarda daşky gurşawdan gelýän energiýa ulgamda belli bir tertiplilik döredýär we onuň iş edip bilijilik ukybyny artdyrýar. Eger ulgam durnuksyz ýagdaýda bolsa, onda daşky energiýanyň hasabyna täze durnukly ýagdaý emele gelýär.

Biologiki ulgamlaryň entropiýasy. Biologiki ulgamlaryň ýagdaýyny energetiki nukdaý nazardan häsiýetlendirýän, energiýa we ýylylyk bilen baglanyşykly ahli ululyklaryň arasynda iň uly ähmiýetlisi entropiýadyr. Entropiýa düşüňjesini ilkinji bolup, 1865-nji ýylda Rudolf Klauzius girizdi. Bu ululyga biologlar hem uly üns berýärler. Sebäbi, janly organizmlerde edil jansyz tebigatdaky ýaly termodinamikanyň ähli kanunlary we düzgünleri doly ýerine ýetýärler. Ýöne janly organizmleriň jansyz tebigatdan aýratynlyklarynyň bardygyny bellemek hökmandyr. Mysal üçin, janly organizmler ösýärler, köpeliýärler we ş.m. Janly organizmlerde berlen şertlerde haýsy hadysalaryň bolup biljekdigini, olaryň haýsy çäge çenli mümkindigini bilmek zerurdyr. Şu soraglara jogap bermek üçin iň amatly ululyklaryň biri ýene-de entropiýadyr.

Biologiki ulgamlarda dürli energetiki hadysalar bolup geçýärler: dem alyş, fotosintez, myşsalaryň ýygrylmany, maddalaryň geçişi we ş.m. Olary hil taýdan dürlüdigine garamazdan, iki bölege bölmek mümkin: öwrülişikli we öwrülişiksiz hadysalar.

Ulgam wagtyň her berlen pursatynda termodinamiki deňagramlylyga has ýakyn bolmak bilen, ondaky şertleriň azajyk üýtgemegi bilen hem yzyna gaýdyp gelýän hadysalara öwrülişikli biologiki hadysalar diýilýär.

Bu ýerde termodinamiki deňagramlylyk diýip, ulgamdaky energiýanyň ähli görnüşleriniň üýtgemeginiň ujypsyz bolup, ulgamyň iş edip bilijilik ukybynyň nola deň bolmagyna düşünilýär. Öwrülişikli hadysanyň yzyna öwürlip gelmegi bilen daşky gurşawda hiç hili üýtgeşmeler bolmaýarlar.

Bu hadysalardan tapawutlylykda, öwrülişiksiz hadysalarda ulgam özüniň soňky ýagdaýyna tarap belli bir tizlik bilen üýtgeýär (hadysa öz-özünden bolup geçeninde ol deňagramlylyk ýagdaýyna tarap üýtgeýär). Şeýle hadysalarda ulgamyň erkin energiýasynyň belli bir bölegi (ýagny, hemişelik temperaturada ulgamyň işe öwürlip biljek energiýasy) ýylylyk görnüşinde ýitip gidýär. **Mysal üçin**, eger ulgam mehaniki işi ýerine ýetirýän bolsa, onda energiýanyň belli bir bölegi sürtülmä sarp bolýar. Şeýle hadysany yzyna öwürüp getirmek üçin ýitgileriň öwezini dolmaly bolýar. Şeýlelikde, öwrülişiksiz hadysalaryň esasynda daşky gurşawda üýtgeşmeler bolup geçýärler. **Entropiýa öwrülişiksiz hadysalardaky ýylylyga öwürlip, peýdasyz ýitip gidýän**

energiýany häsiýetlendirýär. Şu ýerden öwrülişikli hadysalarda entropiýanyň üýtgemeginiň nola deňdigi, öwrülişiksiz hadysalarda bolsa, onuň ulalýandygy we položitel bahany alýandygy gelip çykýar.

Biologiki ulgamlaryň esasy aýratynlyklarynyň biri olarda öwrülişikli hadysalaryň amaly taýdan ýoklugydyr, ähli hadysalaryň öwrülişiksiz bolup, olarda entropiýanyň ulalýandygydyr. Diýmek, biologiki ulgamlarda ähli sarp edilýän energiýa durşy bilen peýdaly işe öwrülmeýär. Onuň bir bölegi ýylylyga öwrülýär.

Ýerine ýetirilen işiň şol işi ýerine ýetirmek üçin umumy sarp edilen energiýa bolan gatnaşygyna biologiki ulgamlardaky hadysalaryň peýdaly täsir koeffisiýenti (PTK) diýilýär.

$$PTK = \frac{\text{ýerine ýetirilen iş}}{\text{umumy sarp edilen energiýa}}$$

Myşsalaryň ýygrylmasynyň PTK-sy 30% golaý, glikoliz hadysasynyňky 36% golaý we ş.m. Görnüşi ýaly, biologiki hadysalarda erkin energiýanyň ýitgileri gaty kändir. Ýöne şol bir wagtyň özünde PTK-sy uly bolan biologiki hadysalar hem düş gelýär. Mysal üçin, käbir mör-möjekleriň şöhlelenmeginde PTK 98-99%, elektrik balyklarynyň zarýadsyzlanmasynda bolsa bu san 98%-e deňdir.

Biologiki ulgamlar we termodinamikanyň ikinji kanuny. Bu kanun tebigatyň esasy kanunlarynyň biri bolup, oňa laýyklykda **izolirlenen ulgamda energiýa diňe has uly derejeden pes derejä özakymlaýyn geçip bilýär.** R.Klauziusyň belleýşi ýaly, “ýylylyk öz-özünden sowuk ýerden gyzgyn ýere geçip bilmeýär”.

Entropiýa düşünjesinden peýdalanyň, bu kanuna has anyk kesgitleme berip bolýar: **izolirlenen ulgamlarda öz-özünden diňe entropiýasy hemişelik (öwrülişikli) ýa-da entropiýasy ulalýan (öwrülişiksiz) hadysalar geçip bilýärler. Ulgamda entropiýanyň öz-özünden kiçelmegi hiç wagt bolmaýar.**

Termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda, biologiki ulgamlarda ýokary energetiki derejeden pes energetiki derejä geçýän birnäçe hadysalar bolýar. **Mysal üçin,** dem alyş hadysasy. Bu hadysanyň dowamynda energiýa baý bolan birleşmeler (uglewodlar) pes energiýaly maddalara çenli (suw we kömürturşy gaz) dargaýarlar, bölünip çykýan energiýa bolsa, beýleki hadysalaryň geçmegi üçin ulanylýar (ATF-ň sintezi). Ýöne belli bolşy ýaly, janly ulgamlarda energiýanyň pes derejeden ýokary gerejä geçýän halatlary hem bolýar. **Mysal üçin,** fotosintez hadysasy. Şu hadysada energiýa garyp bolan ýönekeý birleşmeler bolan kömürturşy gazyndan we suwdan ýagtylygyň gatnaşmagynda energiýa baý bolan birleşmeler (uglewodlar) sintezlenýärler.

Bu hadysalar üçin termodinamikanyň ikinji kanuny ýerine ýetirilmeýärmikä diýlen sorag ýüze çykýar. Soraga jogap bermek üçin, janly ulgamlaryň daşky gurşawdan izolirlenen, üzne däl-de, tersine, onuň bilen doly aragatnaşygynyň bardygyny bellemek gerek. Ýokarda bellenilişi ýaly, izolirlenen ulgamlardaky özakymlaýyn geçýän hadysalar ulgamy termodinamiki deňagramlylyga getirýär. Bu ýagdaýda ulgamda energiýanyň üýtgemegi bolmaýar, onuň iş edip bilijilik ukyby nola deň bolýar, entropiýasy bolsa iň uly bahany alýar. Ýöne janly organizmlerde şeýle ýagdaý hiç wagt bolmaýar. Olar hemişe işe ukyply bolýarlar we olaryň entropiýasy uly bolmaýar. **Bu biologiki ulgamlaryň izolirlenen däl-de, açyk ulgam bolany üçin şeýle bolýar.** Janly organizmler daşky gurşaw bilen energiýa çalşygyny amala aşyrýar. Erkin energiýa bolsa bedene dürli iýmitler, şöhleler bilen gelýär, bedenden ýylylyk ýa-da pes energiýaly birleşmeler görnüşinde bölünip çykýar. **Erkin energiýanyň ulgamyň entropiýasyny azaldýanlygy üçin, beden daşky gurşawdan otrisatel entropiýany alyp, daşaryk bolsa položitel entropiýany berýär diýip düşünilýär.**

Ýokardan gelip çykyşy ýaly, termodinamikanyň ikinji kanunyny biologiki ulgamlar üçin ulanylanda, bedeniň özüne ýeke-täk aýratynlykda däl-de, ony gurşap alýan gurşaw bilen bilelikde seretmek gerek. Diňe şeýle edilende termodinamikanyň kanunyny peýdalanyň bolýar. Biologiki ulgamyň aýratyn böleklerinde entropiýa kiçelip hem biler (mysal üçin fotosintezde),

ýöne ulgamyň beýleki bir böleginde entropiýa hökman ulalýandy (mysal üçin, fotosintez üçin gerek bolan ýagtylygy şöhlelendirýän çeşmede). Netijede, ulgamyň umumy entropiýasy termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda azalanok-da, ulalýar. Şeýlelikde, termodinamikanyň kanunyny janly organizmler üçin hem doly peýdalanyp bolýar.

Biologiki ulgamlaryň stasionar ýagdaýy. Biologiki ulgamlaryň aýratynlyklarynyň biri onuň diňe açykdygy däl-de, eýsem onuň ýagdaýynyň wagta bagly daldigidir, stasionardygydyr.

Stasionar ýagdaýda energiýanyň ulgama gelýän we ondan çykýan tizligi hemişelik bolýar, onuň umumy entropiýasy bolsa wagta görä üýtgemeyär. Stasionarlyk janly organizmlere näme üçin gerekkä?

Stasionarlyk ýagdaýynyň esasynda janly organizmler daşky gurşaw bilen hemişe energiýa çalşygyny amala aşyrmagyň hasabyna diňe bir termodinamiki deňagramlylykdan (entropiýasy iň uly, ýöne energetiki derejesi iň kiçi bolan ýagdaý) daşda bolman, eýsem olar özleriniň işe bolan ukyplylygyny saklaýarlar we öz içki ululyklaryny hemişelik saklamaga (homeostaz) mümkinçilik gazanýarlar. Stasionar ýagdaýda biologiki ulgamlar öz-özlerini sazlamak ukypyny hem saklaýarlar.

Biologiki ulgamlaryň stasionar ýagdaýyna **iki sany häsiýet** mahsusdyr. **Birinjiden**, bu ýagdaý ulgamyň termodinamiki deňagramlylykdan näçe daşda ýerleşýändigini görkezýän energetiki derejesini aňlagýar. Ostwaldyň belleýşi ýaly, **janly organizm - durnugyşan stasionar ýagdaýlaryň ojagydyr**. Her ýagdaýyň derejesi tötänleýin däl. Bu derejeler janly organizmleriň ewolýusion ösüşi döwründe emele gelip, olar berlen şertlerde organizmleriň daşky gurşaw bilen iň amatly energiýa çalşygyny amala aşyrmaga mümkinçilik berýär.

Bedende bolup geçýän hadysalaryň köpüsi deňagramlylykdan has daşda ýerleşýärler. Şeýle şertlerde ulgam bilen daşky gurşawyň arasynda entropiýa çalşygy amala aşyrylýar, bu bolsa ulgamda öz-özüni gurnamak hadysalarynyň geçmegine we ýörite gurluşlaryň döremegine getirýär. **Deňagramlylykdan daşda ýerleşip, energiýanyň has köp dargamagyna sebäp bolýan ulgamlara dissipatiw ulgamlar diýilýär.**

Stasionar ýagdaýyň **ikinci häsiýetleriniň biri onuň durnuklylygydyr**. Şeýle ýagdaýda ulgam gowşak (kiçi) täsiriň astynda deňagramlylykdan çykarylan hem bolsa, ol ýene-de öňki ýagdaýyna gaýdyp gelýär. Durnuklylyga mysal edip, adamynyň ganyndaky glýukozanyň mukdaryny getirmek bolar. Belli bolşy ýaly, onuň mukdary hemişelikdir, ýöne bu hemişelik glýukozanyň üznüksiz gelmegi we gitmegi bilen amala aşyrylýar. Eger gana glýukozanyň belli bir mukdary goýberlise, elbetde, onuň gandaky mukdary hem artýar, ýöne belli bir wagtdan soň ol ýene-de öňki ýagdaýyna gaýdyp geler.

Stasionar ýagdaýlaryň durnuklylygynyň sebäbini I.Prigožin açdy. Onuň pikiriçe, stasionar ýagdaýda dS_i ululyk položitel, ýöne iň az baha ymtylýar (17-nji deňlemä seret).

$$dS_i \rightarrow \min. \quad (22)$$

Diýmek, ulgamdaky entropiýanyň emele gelmegi minimuma ymtylanda, ol durnukly stasionar ýagdaýda bolýar. Prigožiniň bu düzgünine belli bioenergetik A.Kaçalskiý şeýle baha berdi: *”Şu düzgün janly organizmleriň parasatlydygyny aňladýar. Ýaşayş – entropiýanyň ulalmagynyň garşysyna gönükdirilen hemişelik göreşdir. Energiýa baý bolan uly molekulalaryň sintezi, çylşyrymly gurluşy bolan öýjükleriň emele gelmegi, bedeniň ösüşi – bularyň hemmesi entropiýanyň garşysyna gönükdirilen hadysalarydyr. Ýöne tebigatyň ähli hadysalary üçin umumy bolan termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda, entropiýanyň ulalmasyndan gaçyp gutulmak mümkin däl. Şonuň üçin organizmler iň kiçi kynçylygy saýlap alypdyrlar – olar entropiýanyň ulalmak tizligi iň kiçi bolan stasionar ýagdaýy saýlap alypdyrlar”.*

Ýene-de janly organizmleriň entropiýasy barada. Ýokardaky aýdylanlar janly organizmler üçin entropiýanyň uly ähmiýetiniň bardygyny görkezýär. Ýöne entropiýanyň birnäçe manysynyň bardygyny bellemek zerurdyr.

•Entropiýa öwrülišiksiz biologiki hadysalarda dargayan, biderek sarp edilýän, işe öwürilmeyän energiýanyň ölçegidir. Hadysada entropiýanyň ulalmagy näçe köp bolsa,

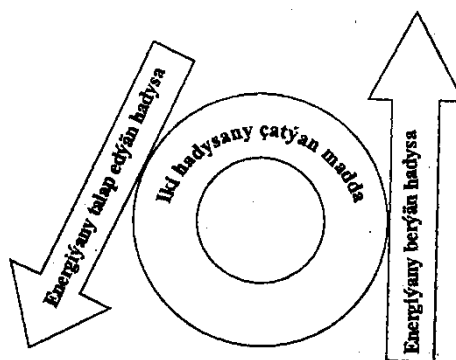
energiýanyň dargamagy, ýylylygyň bölünip çykmagy hem şonça köp bolýar we hadysa şonça-da öwrülişiksiz bolýar.

Janly organizmleriň özlerindäki energiýanyň çeşmelerini parasatly peýdalanýandygyny aşakdaky mysaldan görmek bolýar. Janly organizmlerde energetiki nukdaý nazardan mümkin bolan hadysalar bilen birlikde mümkin bolmadyk hadysalar hem geçýärler. Soňkulara entropiýasy kiçelýän, erkin energiýasy bolsa ulalýan dürli maddalaryň biosintezi, maddalaryň aktiw transportyny amala aşyryýan we beýleki hadysalar degişlidirler. Janly organizmlere bu hadysalary ýerine ýetirmek nähili başardýarka? Şeýle hadysalaryň esasynda **energetiki çatrymlylyk** ýatyr. *Bu hadysanyň manysy - entropiýanyň ulalmagy nukdaý nazardan mümkin bolan hadysada bölünip çykaýan peýdasyz energiýa (ýylylyk), şu nukdaý nazardan mümkin bolmadyk hadysanyň geçmegi üçin sarp edilýär. Başgaça aýdylanda, bir hadysa üçin peýdasyz energiýa, başga bir hadysa üçin peýdalanylýar. Şeýlelikde, iki hadysa üçin energiýanyň peýdasyz bölegi azalýar, umumy ulgamyň entropiýasy kiçelýär.*

Energetiki çatrym hadysalaryň bolmagy üçin iki şertiň ýerine ýetmegi hökmanydyr:

1. Termodinamiki mümkin bolan reaksiýada bölünip çykýan energiýanyň mukdary, termodinamiki mümkin bolmadyk reaksiýanyň geçmegi üçin gerek bolan energiýadan has köp bolmalydyr.

2. Çatrym reaksiýalaryň ikisi üçin hem umumy bolan bir maddanyň bolmagy zerurdyr. Biologiki ulgamlar üçin umumy madda hökmünde fosfat, protonlaryň elektrohimiýa gradiýenti we başgalar bolup bilerler (3.1-nji surat).



3.1-nji surat. Biologiki çatrym hadysalarda energiýanyň çalşygy.

Biologiki ulgamlarda energetiki çatrymlylygyň bolmagy tebigatyň iň uly tilsimleriniň, emelleriniň biridir. Iň ýerlikli mysallaryň biri okislenme fosforlaşma hadysalarydyr. Şu hadysalaryň netijesinde dem alyş zynjyryndan geçýän elektronlaryň energiýasynyň hasabyna energiýa baý bolan ATF-ýň molekulasyň sintezi amala aşyrylýar.

Biologiki ulgamlarda öz-özünü gurnamak hadysalary. Ýokarda aýdylyp geçilişi ýaly, janly organizmler daşardan otrisatel entropiýany alyp, özlerinde belli bir tertipliligi döredýärler.

Daşky gurşawyň täsiri astynda durnuksyz ulgamyň başlangyç gurluşynyň ýitip, onuň ýerine täze durnukly gurluşlaryň emele gelmek hadysalaryna öz-özünü gurnamak hadysalary diýilýär. Şol hadysalaryň geçmek şertleri:

1. ***Ulgam termodinamiki açyk bolmaly.***

2. ***Ulgamyň ýagdaýy deňagramlylyk ýagdaýyndan has daşlaşan bolmaly.***

3. ***Ulgamy düzýän bölejikler bilelikde toplumlaýyn hereket etmeli.***

Diýmek, daşky gurşawyň täsiri astynda ulgamyň gurluşy bir durnukly ýagdaýdan başga bir durnukly ýagdaýa geçýär (trigger ulgamlar). Elbetde, täze gurluşlar energiýany has köp talap edýärler, sebäbi olaryň esasy maksady daşardan täsir edilýän uly energiýany ýok etmek, olaryň öwezini dolmak we kompensirlemektir. Şonuň üçin olara **dissipatiw (energiýany dargadýan, sarp edýän) gurluşlar** diýilýär. Eger daşyndan energiýa täsir etmese, bu gurluşlar ýitip gidýärler.

Öz-özüni gurnamak hadysalara we dissipatiw gurluşlara bir öýjükden köp we dürli öýjükleriň emele gelmekligi, yrgyldyly hadysalar we daşky gurşawyň täsirine görä, bir öýjükli organizmleriň birleşip, köpöýjükli organizmi emele getirmek hadysalary mysal bolup bilerler.

Janly organizmleriň gurluşlarynyň tertipsizlenmegi, şol gurluşda keseliň emele gelmegini aňladýar. Bejermek işleri şol tertipsizligi ýok etmekligi aňladýar. Ewolýusiýanyň dowamynda daşky gurşawyň yzygider täsirleriniň netijesinde organizmlerde tertiplilik artypdyr. Şol sebäpli ilki bir öýjükli organizmler, soňra bolsa köpöýjükli organizmler emele gelip kämilleşipdirler.

Deňagramlylyk ýagdaýynda duran ulgama ony şol ýagdaýdan çykarmaga ukyply bolan daşky täsir bar bolsa, onda ulgamda şol täsiri ýok etmek üçin onuň garşysyna ugrukdyrylan hadysalar geçip başlaýarlar, başgaça aýdylanda, organizmdäki özüni gurnamak hadysalary daşky täsiri ýok etmek üçin bolup geçýärler. Bu düzgüne iň az mejbur etmek ýa-da Le-Şatélye–Braunyň düzgüni (prinsipi) diýilýär.

Prigožiniň we Le-Şatélye–Braunyň prinsipleri bilelikde biologiki hadysalaryň we ulgamlaryň amatlylyk düzgünine gabat gelýärler: islendik ulgam iň az energiýa we madda sarp etmek bilen iň köp işi ýerine ýetirmäge ymtlýar.

Biz häzir öz-özüni gurnamak hadysalaryna we agzalan düzgünlere gabat gelýän birnäçe mysallara seredip geçeliň.

r- we k-strategiýalary. Daşky gurşawyň dürli täsirleri esasynda janly organizmlerde ewolýusion ösüşiň dowamynda täze gurluşlar peýda bolýar. Elbetde, şol gurluşlaryň emele gelmegi genlerdäki mutasiýa hadysalaryň esasynda bolup geçýär. Bu hadysa aşakdaky tapgyrlardan durýar:

- *käbir genlerde tötänleýin mutasiýanyň döremegi ýa-da belli bir üýtgeşmeleriň ýüze çykmagy;*
- *organizmdäki berlen gene bagly bolan biologiki funksiýanyň üýtgemegi;*
- *ýaşayyş üçin göreşde mutasiýa geçen bedeniň mutasiýa geçmedik bedenden üstün çykmagy we mutasion üýtgeşmeleriň genlerde has berkemegi (has uýgunlaşan organizmleriň ýaşayyş üçin göreşde üstün çykmagy).*

1967-nji ýylda R.Makartur we E.Uilson populýasiýalaryň sanynyň wagta görä üýtgemek kanunlaryny öwrenip, **r- we k-strategiýalary** teklip etdiler. **r-strategiýa – organizmleriň ömürleriniň gysga bolup, çalt köpelmegi, k-strategiýa bolsa, organizmleriň ömürleriniň uzak bolup olaryň haýal köpelmegi.**

r-strategiýa daşky gurşawyň täsiriniň kynlaşyp, agyrlaşyp, organizmleriň şol şertlere uýgunlaşmak maksady bilen özlerinde täze gurluşlaryň, häsiýetleriň, alamatlaryň emele getirýän wagty amatlydyr.

k-strategiýa organizmiň täze şertlere uýgunlaşyp, durnukly, amatly ýagdaýa geçen döwri peýdalanylsa maksada laýyk bolýandyr. Elbetde, organizmleriň nesil çalşygy näçe çalt bolsa, täze özgerilişikleri genlere geçirmek hem şonça-da az wagtyň dowamynda bolup geçmelidir. Janly organizmlere ýaşayyş üçin göreşde üstün çykmak we köpeliş ukybyny ýokarlandyrmak aňsat (mugt) düşmeýär, bular üçin organizmler ömürlerini gysgaltmak bilen hasaplaşýarlar. Diýmek, daşky gurşawyň täsirleriniň üýtgemegi netijesinde strategiýalaryň çalyşmagy biologiki ewolýusiýanyň esasy mehanizmleriniň biridir.

1998-nji ýylyň tomsunda iňlis alymy Entoni Mur Geteborg şäherinde geçen hünärmenleriň 10-njy Ýewropa bioenergetiki maslahatynda täsin maglumat bilen çykyş edipdir. Başda çykyş edýänleriň düzüminde Muruň ady ýok eken, ýöne onuň alan netijeleriniň diýseň gyzyklydygy üçin oňa nobatdan daşary çykyş etmäge rugsat berilipdir. Ol molekulýar massasy 70 kD (kilodalton) bolan, ýylylyk stressiniň beloklarynyň mitohondrial görnüşini (iňlisçe: **mitohondrial Heat shock protein 70, mHsp70**) sintezirleýän, aktiw genli temmäki ösümliginiň transgen görnüşini alandygy barada habar beripdir. Superekspressiýanyň netijesinde **mHsp70** mukdary 30 esse köpeldir.

Temmäkiniň genomyňa täsir etmek geň galdyryjy netijeleri beripdir. Transgen temmäkiniň boýy kadaly temmäkiden iki esse uzyn, biomassasy we mitohondriýalarynyň dem alyş tizligi üç esse, fotosintez reaksiýalary bolsa birnäçe esse ulalypdyr.

mHsp70 nämekä we olar nähili işi amala aşyryarkalar? ***Bu belok ýylylyk stressiniň beloklarynyň toparyna girmek bilen “tymarlaýjy” ady bilen bellidir. Eger başga beloklar nädogry görnüşi alan bolsalar, ýagny denaturirlenen bolsalar, onda mHsp70 olary “düzetmäge” kömek edýär.*** Islendik belok uzyn polimer bolup, ol bitewi polipeptid zynjyryny emele getirýän, peptid baglanyşygy bilen birleşdirilen ýüzlerçe, käwagt bolsa münlerçe monomerlerden (aminokislotlardan) durýar. İşjeň ýagdaýda beloklar kesgitli bir görnüş boýunça düýrlenendirler. Polipeptid zynjyry ribosomlarda sintezlenende aýyk, düýrlenmedik ýagdaýynda bolýar. Şu ýagdaýdan soň onuň düýrlenmegi belogyň “bişen”, işjeň ýagdaýa geçmegine getirýär. Polipeptid zynjyrynyň dogry düýrlenmegine ýylylyk stressiniň beloklary kömek edýärler. Olara başgaça ***saperonlar*** hem diýilýär.

Polipeptidiň dogry düýrlenmegi daşky gurşawyň oňaýsyz täsiri astynda bozulyp bilýär. Mysal üçin, gyzdyrylanda belogyň denaturasiýasy, dargamagy bolup geçýär. Denaturirlenen beloklaryň dikelmegine (öňki ýagdaýyna gelmegine), renaturasiýasyna ýene-de ýylylyk stressiniň beloklary kömek edýärler. Köplenç daşky gurşawyň uly temperaturasynyň gyzdyrmasyna jogap edip, beden olaryň mukdaryny artdyrýar.

mHsp70 belogy sitozolda we mitohondriýada köp bolýar, ol bu organellalardaky sintezlenýän 15 görnüşli beloklaryň “bişmegine” we renaturasiýasyna gatnaşýar. Bulardan başga-da, sitozolda sintezlenýän 500-e golaý belogy mitohondriýanyň içine geçirmekde olaryň uly ähmiýeti bardyr.

Birinjiden, mitohondriýa salynýan beloklar başda aýyk (düýrlenmedik) görnüşinde bolýarlar. Olaryň bir ujy mitohondriýanyň içine giren badyna mHsp70 bilen birleşýär, galan bölegi bolsa näbelli sebäplere görä, şu birleşmeden soň dessine mitohondriýanyň içine girip gidýär. **Ikinjiden**, mHsp70 mitohondriýa giren belogyň dogry düýrlenmegini (işjeň görnüşe geçmegini) amala aşyryar.

Ýokardaky aýdylanlardan başga-da, mHsp70 mitohondriýanyň DNK-syny anyk böleklere bölýän, molekulýar massasy 50 kD deň bolan mitohondrial **endonukleaza** fermenti bilen birleşip bilýär.

Transgen temmäkisindäki mHsp70 belogyň özboluşly aýratynlygyna onuň haýsy häsiýetleriniň täsir edýändigini entek belli däl. Ýöne aşakdakylaryň bolmagy mümkindir:

- bu belogyň çalt köpelmegi sitozoldaky beloklaryň mitohondriýa girmek we olaryň “bişmek” tizligini, şeýle hem, öýjügiň energetiki birligi bolan adenzotrifosfatyň (ATF) sintezine gatnaşýan, dem alyş we okislenme fosforlaşma hadysalaryny katalizirleýän fermentleriň mukdaryny artdyrýar;
- dem alşyň çaltlaşmagy ATF-ň mukdaryny artdyrýar we öýjügiň energiýa üpjünçiligini gowulaşdyrýar;
- energiýa bilen üpjünçiligiň gowulaşmagy ösümligiň pajarlap ösmegine getirýär.

Bulardan başga-da, şu hadysalarda kislorod bilen baglanyşykly käbir has inçe hadysalaryň uly ähmiýetiniň bardygy bellidir. Ýöne nähili bolanynda hem mHsp70 belogyň organizmleriň k-strategiýadan r-strategiýa geçmeginde uly ähmiýeti bardyr.

E.Mur şeýle hadysalaryň transgen alakalarda hem bolup geçýändigini anyklapdyr. Bu bolsa alymyň umumybiologiki kanuny açandygyny aňladýar.

Başga bir mysal. Tebigatda *Caenorhabditis elegans* diýen bary-ýogy 945 öýjükden ybarat bolan gurçuk bar. Alymlar tarapyndan bu gurçugyň her bir öýjügiň döremegi, olaryň ykbaly doly öwrenilipdir. Kanadaly biolog S. Hekiminiň barlaglarynyň görkezişi ýaly, gurçugyň genomyndaky genleriň belli birlerinde mutasiýa geçse, onuň ömri birnäçe esse uzalýar. Şu hadysada gurçugyň ýumurtgadan başlap, ulalan görnüşine gelyänçä ähli tapgyrlaryň dowamlylygy uzalýar, onuň köpelmegi, hereketlenmegi, iýmilenmegi peselýär, ýöne onuň

daşky gurşawyň ýokary temperaturasy, wodorodyň aşýan okisine we beýleki zyýan beriji şertlere bolan durnuklylygy ýokarlanýar. Bu organizmiň r-strategiýadan k-strategiýa geçýändigini aňladýar.

1997-nji ýylda S. Hekimi adamda hem şol genlere meňzeş genleriň bardygyny anyklapdyr. Şeýle genler droždarda hem tapylypdyr. Droždarda bu genleriň kodirleýän beloklarynyň öýjügiň kislorodsyz (anaerob) metabolizmden kislorodly (aerob) metabolizme geçmeginde uly ähmiýetiniň bardygyny anyklanylypdyr.

Önler organizmiň ömrüni gysgaldýan, şol bir wagtyň özünde hem organizmiň we öýjükleriň okislendirijilere, temperatura we açlyga bolan duýujylygyny ýokarlandyryýan genler drozofillerde we droždarda bellidi. Ş.Murakami we T.Jonson şeýle genlere **gerontogenler** diýip at berdiler.

Şeýlelikde, daşky gurşawyň täsiriniň erbetleşmegi bilen çalt köpeliş, çydamly, ýöne ömürleri gysga bolan, tersine, täsiriň gowulaşmagy bilen uzak ýaşayan, işjeňligi pes, haýal köpeliş populýasiýalar emele gelýärler.

Medisina, entropiýa we kesel. Ýokarda bellenilip geçilişi ýaly, janly organizmleriň iň esasy aýratynlyklarynyň biri olardaky bolup geçýän köp hadysalaryň esasynda umumy entropiýanyň peselýänligidir. Bu hadysalaryň ýüze çykmagynyň sebäbi organizmleriň açyklygy we deňagramсыз stasionardygyny bilen düşündirilýär. Elbetde, entropiýanyň kiçelmeginde ulgama gelýän informasiýanyň, maglumatyň ähmiýeti uludyr.

Informasiýa organizmiň ýagdaýynyň üýtgemeginiň esasy sebäbi bolmak bilen uýgunlaşma kanunyna laýyklykda, onuň dowam etmegi, ýaşamagy üçin entropiýanyň derejesini kesgitleýär. Elbetde, organizm üçin entropiýanyň iň az derejesini saklamak amatlydyr. Sebäbi bu dereje berlen energiýa üpjünçiliginde organizmiň ýagdaýyny iň ýokary durnuklylykda saklamaga mümkinçilik berýär. Informasiýa bilen entropiýanyň arasynda berk baglanyşygyň barlygy organizmiň deňagramсыз stasionar ýagdaýyny durnukly saklaýar. Şonuň üçin organizmdäki informasion hadysalaryň bozulmagy keseliň döremeginiň esasy düzýär. Şu nukdaý nazardan **kesel – bu informasiýadan üžňe durmuşdyr** diýip aýtmak bolar. Dürli täsirleriň esasynda döreýän patologiki hadysalar durnuksyzdyrlar. Patologiki hadysalaryň durnuklaşmagy bedeniň hökmany suratda ölümüne getirýär. Bu U.Eşbi tarapyndan kesgitleme berlen ulgam düşüňjesi baradaky ylmy taglymatlardan gelip çykýar. U.Eşbiniň düzgünine laýyklykda, **ulgamy düzýän ähli bölekleriň ýekejesiniň durnuksyz bolmagy bütün ulgamyň durnuksyz bolmagyna getirýär.** Bedeniň kesele bolan garşylygy örän güýçlüdir. Şonuň üçin kesel gysga wagtlyk dowam edýär we dargaýar, bu bolsa öz gezeginde bedeniň sagalmagyna alyp barýar. Keseliň emele gelmegi informasiýanyň bozulmagy, bedende tertipsizligiň emele gelmegi bilen baglanyşyklydyr.

IV. BEDENIŇ ÝYLYLYK ÇALŞYGY. TERMOGENEZ

4.1. ORGANIZMDE ÝYLYLYGYŇ DÖREÝIŞ ÝOLLARY

Bioenergetikada, biohimiýada we fiziologiýada “madda çalşygy”, “esasy çalşyk”, “umumy çalşyk” ýaly düşüňjeler duş gelýär.

Madda çalşygy diýilip *organizme düşýän maddalaryň ýönekeý maddalara dargamagy ýa-da çylşyrymly maddalaryň sintezlenmegi netijesinde bolup geçýän metaboliki hadysalara aýdylýar.*

Esasy çalşyk diýilip *bedeniň fiziologiki dynçlyk ýagdaýyndaky energiýanyň sarp edilmegine aýdylýar, ýagny bu bedeniň organlarynyň we ulgamlarynyň ýaşajyk ukybyny saklamak üçin gerek bolan minimal mukdardaky energiýadyr.*

Umumy çalşyk diýilip *organizmiň fiziologiki aktiw şertlerinde energiýanyň sarp edilýş derejesini görkezýän ululyga aýdylýar. Ol esasy çalşykdan we zähmet, fiziologiki, dynç we beýleki işler üçin gerek bolan energiýalardan durýar.*

Organizm üçin erkin energiýa iýmit bilen düşýär. Bu energiýa beloklardaky, ýaglardaky we uglewodlardaky himiki baglanyşyklarda saklanýar. Şol energiýany boşatmak üçin, iýmitdäki maddalar ilki bilen gidrolizlenýärler, soňra bolsa anaerob ýa-da aerob şertlerde okislenýärler.

Garyn-ıçege ýolundaky gidroliz hadysasynda erkin energiýanyň bary-ýogy 0,5% bölegi boşadylýar, şoňa görä-de ony bioenergetiki maksatlar üçin peýdalanmak bolmaýar, sebäbi ol ATF-ň energiýasy görnüşinde saklanylman, ýylylyk energiýasyna öwrülýär we organizmiň temperatura gomeostazyny saklamak üçin sarp edilýär.

Anaerob hadysalarynda hem az mukdarda erkin energiýa bölünip çykýar, ýöne ony eýýäm ATF-i sintezlemek üçin peýdalanyp bolýar we myşsalaryň ýygrylmasynda, natriý-kaliý nasosynda we beýleki işlerde ulanyp bolýar. Mysal üçin, glýukozanyň anaerob okislenmesinde onuň umumy energiýasynyň 5% bölegi bölünip çykýar.

Aerob hadysasynda maddanyň umumy energiýasynyň 94,5%-i boşaýar. Bu hadysa Krebsiň sikliniň esasynda bolup geçýär hem-de wodorodyň elektronlarynyň dem alyş zynjyryndan geçip, kisloroda birleşenlerindäki aralykda boşaýan energiýanyň hasabyna umumy energiýanyň 52-55% ATF-ň energiýasy görnüşinde saklap bolýar.

Esasy çalşyk.

Bu “ortaça” adamyň emosional dynçlykda, komfort temperaturada (18-20°C), iýmit iýeninden 12-14 sagat geçeninden soň aç ýatan ýagdaýyndaky sarp edýän energiýasydyr. 35 ýaşly, 165 sm boýy we 70 kg massasy bolan erkek adamynyň esasy çalşykda sarp edýän energiýasy 1700 kkal/gije-gündiz, ýa-da 70,8 kkal/sag. deň bolýar. Aýallarda androgenleriň mukdarynyň azlygy sebäpli olaryň esasy çalşygy erkekleriňkiden 10-15% pesdir. Bu energiýany bedeniň organlary aşadaky mukdarda sarp edýärler: bagyr – 27%, beýni – 19%, myşsalar – 18%, ýürek – 7%, böwrekler – 10%, beýleki organlar – 19%.

Esasy çalşygyň ululygyny (EÇU) bilmek nämä gerek? Sagdyn adam üçin **EÇU 1700 kkal/gije-gündize** deňdir, fiziologiki işjeň ýagdaýynda bu ululyk 3400 kkal/gije-gündize, ýagny 2 EÇU deňdir. Ol ilki bilen organizmiň ýagdaýyny kesgitlemek üçin gerek. Mysal üçin, galkan şekilli maziň giperfunksiýasynda (T₃ we T₄ gormonlar aşa köp öndürilende) EÇU has ýokarlanýar, bu maziň gipofunksiýasynda bolsa, tersine, EÇU peselýär. Şol sebäpli, eger organizmdäki T₃ we T₄ gormonlary kesgitlemek kyn bolsa, onda endokrinologlar näsagyň ýagdaýyny EÇU üsti bilen kesgitleýärler.

Umumy çalşyk. Bu organizmiň hakyky gündelik durmuşdaky sarp edýän energiýasydyr.

Umumy çalşykda sarp edilýän energiýanyň gije-gündüziň dowamyndaky (kkal/gije-gündiz) mukdary zähmetiň görnüşine görä üýtgäp durýar:

Ýeňil zähmet	Orta zähmet	Agyr zähmet	Örän agyr zähmet
--------------	-------------	-------------	------------------

2200 - 3300	2350 - 3500	2500 - 3700	2900 - 4200
-------------	-------------	-------------	-------------

Umumy çalşygyň derejesi adamynyň fiziki işeňňirliginiň derejesini görkezýär. Eger bu ululyk kiçi bolsa (2400–3500 kkal/gije-gündiz), onda ol gipokineziýany (gipodinamiýany) görkezýär. Şeýle ýagdaý beden üçin howplydyr: gipokineziýanyň esasynda ýaşlykdan ateroskleroz, ýüregiň işemiýa keseli, aşgazyň we 12-barmak içegäniň ýara we beýleki kesellere getirmeginiň mümkinçiligi artýar.

Ýokary derejeli türgenlerde barlaglaryň görkezişi ýaly, bedeniň aşa köp işeňňirligi hem oňa peýda getirmeýär.

Şeýlelikde, organizmiň iýmit bilen alýan energiýasy onuň fiziki we biologiki işleri ýerine ýetirmegine sarp edilýär. Iş edilýän wagty energiýanyň belli bir bölegi ýylylyga öwrülýär. Eger organizm bilen daşky gurşawyň arasyndaky ýylylyk çalşygy hem hasaba alynsa, onda organizmde näçe mukdarda goşmaça energiýanyň onuň öz temperaturasyny hemişelik saklamak üçin gerekdigini bilmek bolýar.

Bioenergetikanyň esasy prinsipleriniň biri dürli işleri ýerine ýetirmekde organizm üçin energiýanyň çeşmesi bolan ýokary energiýaly molekulalary (makroergleri) sintezlemektir. Islendik öýjük üçin giňden ýaýran we esasy makroergleriň biri hem ATF-ň molekulasydyr. Belli bolşy ýaly, ATF-ň sintezi üçin gerek bolan energiýa maddalaryň okislenme hadysalarynyň hasabyna alynýar. Bioenergetikanyň öýjükdäki makroergleriň sintezini sazlamak prinsipine belli amerikan biohimigi Efraim Rekeriň beren kesgitlemesine görä, ATF diňe gerek bolan wagty sintezlenýär.

Belli bolşy ýaly, glýukozanyň bir molekulasy kislorodyň gatnaşmagynda aerob okisleneninde ATF-ň 36 sany molekulasy emele gelýär. Ýöne şol molekula glikoliziň esasynda anaerob darganynda ATF-ň bary-ýogy iki sany molekulasy emele gelýär. Diýmek, energetiki nukdaý nazardan organizm üçin aerob hadysalar has netijelidir. Barlaglaryň görkezişi ýaly, adam dynçlyk ýagdaýynda bolanynda onuň myşsalarynyň sarp edýän energiýasynyň 4%-i glikoliziň hasabyna alynýar. Orta agyrykdaky iş edilende bu ululyk 26%-e çenli ulalyp biler. Ýöne muňa garamazdan, organizmler üçin energiýanyň esasy çeşmesi okislenme hadysalaryndaky bölünip çykyan erkin energiýadyr.

Organizme energiýa iş etmek üçin gerek. Şol işiň görnüşleri nähilikä? **Birinjisi**, ionlary konsentrasýanyň we elektrik potensiallarynyň gradiýentleriniň garşysyna geçirip, aktiw transporty amala aşyrmak üçin sarp edilýän elektrik işi. **Ikinji görnüş**, organiki we käbir organiki däl maddalary sintezlemek üçin amala aşyrylýan himiki iş. **Üçünjisi bolsa**, myşsalarý ýygrymak üçin sarp edilýän mehaniki iş.

Işiň şu görnüşleriniň hersine näçe mukdarda energiýanyň gerekdigini dogry hasaplamak kyn mesele bolup durýar, ýöne olara baha bermek mümkindir. Organizmiň dynçlyk ýagdaýynda (esasy çalşyk) myşsalarý ýygrylmany az hem bolsa, ýürek her sagatda 250-350 l gany itekleýär, hemişe dem alyş myşsalarý, skelet myşsalarý we gan damarlaryň hem-de bronhlaryň tekiz myşsalarý işleýärler. Şeýle ýagdaýda umumy energiýanyň 12-15%-i ýüregi ýygrymak we dem alyş myşsalarý işletmek üçin sarp edilýär, galanlary bolsa sintez üçin himiki işe we ionlary konsentrasýa we elektrik gradiýentleriniň garşysyna hereketlendirmek üçin sarp edilýär. Dem almak we gan aýlanyş bolsa diňe şol energiýalary sarp etmeklige gulluk edýärler.

Organizmiň iş edenindäki sarp edýän energiýasynyň köp bölegi (**50-70%**) peýdasyz ýylylyga öwrülýär. Mundan başga-da, organizm öz temperaturasyny hemişelik saklamak üçin ýörite mehanizmleriň kömegi bilen ýylylyk öndürýär (termogenez). **Termogeneziň birnäçe mehanizmleri bar: goňur ýag dokumasyndaky energiýa, titremek bilen baglanyşykly we titremesiz termogenez, ýygrylma we ýygrylmasyz termogenez.**

Goňur ýag dokumasy

Ýag dokumasy – bu organizmiň öýjükleriniň toplumydyr, onuň esasy funksiýasy energiýanyň ýag görnüşinde saklanmagyndan ybarat bolup durýandyr. Elbetde, ýag dokumasynyň başga-da birnäçe funksiýalary bardyr, olara mysal hökmünde ýylylykizolýasiýany, organlaryň daşynda özboluşly ýag “ýassygy” görnüşinde ýerleşmek bilen mehaniki goragyň

döredilmegini we endokrin funksiýany, ýagny gana birnäçe maddalaryň bölünip çykarylmagyny görkezmek bolar.

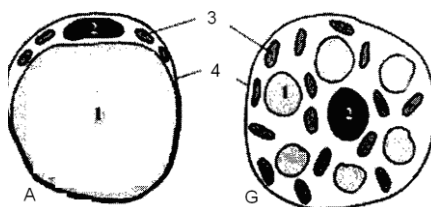
Ýag dokumasynyň iki görnüşini tapawutlandyrýarlar, ýagny ol ak we goňur ýag dokumasy görnüşinde bolýar.

Hut ak ýag dokumasy ýokarda agzalan dört funksiýany ýerine ýetirýändir; goňur ýag dokumasynyň bolsa bulardan başga-da aýratyn funksiýasy bardyr.

Adamda ak ýag dokumasy goňur ýag dokumasyna garanda has köpdür. Ak ýag dokumasy ak ýa-da sarymtyl reňke eýedir; şol bir wagtda goňur ýag dokumasynyň hakykatdan hem goňur reňki bardyr. Goňur ýag dokumasynyň öýjüginde köp sanly mitohondriýalar bardyr, olar, hususan-da onuň goňur reňkde bolmaklygyna getirýärler.

Ak we goňur ýag dokumalarynyň öýjükleri biri-birinden tapawutlanýarlar. Ak ýag dokumasynyň öýjügi özünüň içinde bir uly ýag “köpürjigini” saklaýandyr (4.1-nji surat). Bu ýag “köpürjigi” amaly taýdan dolulygyna öýjügi eýeläp, onuň ýadrosyny gyra gysyp çykarýandyr, bu bolsa ýadronyň ýasy (gysylan) görnüşe eýe bolmaklygyna getirýär.

Goňur ýag dokumasynyň öýjügi köp sanly ýag “köpürjiklerine” (bölejiklerine) eýedir, şoňa görä-de onuň ýadrosy tegelekligine galýar (4.1-nji surat).



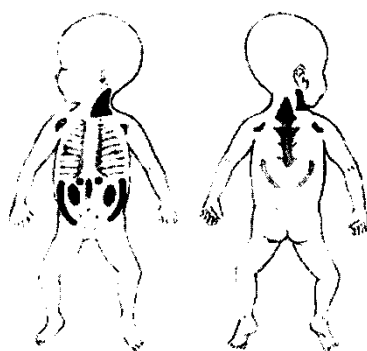
4.1-nji surat.

Ak (A) we goňur (G) ýag dokumasynyň öýjükleri:

1 - ýag “köpürjigi”, 2 - öýjügiň ýadrosy; 3 – mitohondriýalar;

4 - öýjügiň gabygy (membranasy).

Täze doglan çagada goňur ýag dokumasy bedeniniň agramynyň 8% -ne çenli bolýar. Ol pilçeleriň arasynda, döş süňküniň yzynda, boýnunyň töwereginde we onuň damarlarynyň arasynda, goltuk asty oýtumlarda, oňurgalygyň ugry boýunça, böwrekleriň girelgesinde bolýar. 4.2-nji suratda täze doglan çagada goňur ýag dokumasynyň ýerleşýän ýerleri görkezilendir (has garamtyl görkezilen ýerler).



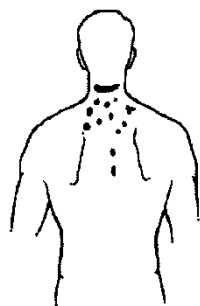
4.2-nji surat.

Bir ýylyň içinde goňur ýag dokumasynyň köp bölegi ak ýag dokumasyna öwrülýär.

Uly adamda goňur ýag dokumasy ýok diýen ýalydyr, ýöne ol bütewi ýitip gidýän dälendir.

Uly adamda goňur ýag dokumasy onuň agramyna görä takmynan 0,1% mukdarda saklanýar diýilip hasap edilýär.

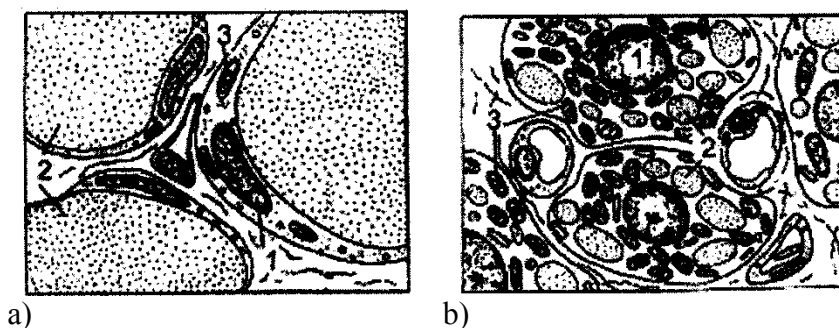
Goňur ýag dokumasy arassa görnüşde böwrekleriň we galkan görnüşli maziň ýanynda bolýar. Mundan hem başga, pilçeleriň arasynda, döş kapasasynda we çiginlerde ak we goňur ýag dokumasyndan ybarat bolan **garyşyk ýag dokumasy** bardyr. (4.3-nji surat).



4.3-nji surat.

Käbir keseller bilen kesellän gartaşan adamlarda onuň mukdarynyň köpelmek mümkinçiligi bardyr. Goňur ýag dokumasy lipomanyň (howpsuz çişň) ýüze çykmagynyň çeşmesi bolup biler.

Goňur ýag dokumasynyň öýjükleri-adipositler kapillýarlaryň güri tory bilen gurşalandyrlar, olaryň sitoplazmasynda biri-biri bilen birleşmeýän köp sanly ýag bölejikleri bardyr (ak ýag dokumasynyň lipositlerinde adipositlerdäki ýaly köp bölejikler bolman bütewi ýag “damjalary” bardyr). (4.4-nji surat).



4.4-nji surat.

Ak ýag dokumasynyň lipositleriniň (a) we goňur ýag dokumasynyň adipositleriniň (b) gistologiki gurluşy: 1-ýadro; 2-ýag bölejikleri; 3-mitohondriýalar.

Goňur ýag dokumasyna mahsus bolan goňur reňk olaryň mitohondriýalarynda köp sanly reňklenen okslendiriji fermentleriň – sitohromlaryň saklanýandygy bilen baglanyşyklydyr.

Goňur ýag dokumasynyň esasy funksiýasy - termogenez mitohondriýalaryň struktura we funksional aýratynlyklary bilen üpjün edilýär. Olarda **termogenin** diýlen belok bardyr, bu belok metaboliki prosesleri, ýagny okslenmek bilen fosforlaşmagy biri-birinden aýyrýar (ýagny, bu ýagdaýda ATF-ň sintezi amala aşyrylýan dälendir). Goňur ýag dokumasyna **termogenin** belogynyň bardygy 1984-nji ýylda Nikols we Riýal tarapyndan anyklanylýdyr.

Goňur ýag dokumasynyň bol gan üpjünçiligi öndürilýän ýylylygyň çalt äkidilmegini (ýaýramagyny) üpjün edýär.

Simpatiki nerw ulgamynyň höweslendirilmeginde okslendiriliş hadysalaryň işeňňirligi goňur ýag dokumasyna ýüzlerçe esse ýokarlanýar we onuň damarlarynda ganakymynyň güýçlenmegine getirýär. Umuman alnanda, goňur ýag dokumasy ýokary kaloriýaly ätiýaçlyk material bolup hyzmat edýär.

Dürli keseller (pnewmoniýa, anemiýa, intoksikasiýa) goňur ýag dokumasynyň tapdan düşmekligi (surnukmagy) we ýylylyk öndürilişiniň üzül-kesil peselmekligi bilen bolup geçýär, bu bolsa täze doglan çaganyň bedeniniň sowamaklygyna getirip biler.

Goňur ýag dokumasy diňe ýylylygy öndürmek üçin niýetlenen aýratyn dokuma bolup durýandyr.

Goňur ýag dokumasy diňe süýtendirijilerde bolýar, ol beýleki endoterm jandarlarda (guşlarda ýa-da ýylyganly balyklarda) ýokdur.

Süýtendirijileriň hem hemmesi goňur ýag dokumasyna eýe dälidirlir.

Goňur ýag dokumasy bolýar:

1 – gýşky ukusyna gidýän haýwanlarda (olar oýanan ýagdaýynda güýçlendirilen görnüşde ýylylyk öndürilişi başlanýar);

2 – süýtemdirijileriň esasan beýleki ýylylyk öndüriji çeşmeleri ýa-da ýeterlik derejede ýylylyk izolýasiýasy bolmadyk täze doglan çagalarynda;

3 – sowuga uýgunlaşan süýtemdirijileriň käbirlerinde.

Goňur ýag dokumasynyň mukdary organizmde hemişelik däl, ol ontogeneziň tapgyrynda we sowuga uýgunlaşmak derejesine baglylykda üýtgeýändir.

Goňur ýag dokumasy beýleki dokumalardan özüniň mitohondriýalarynda ATF-ň sintezlenýän zynjyrynda ýörite şuntly bolmaklygy bilen tapawutlanýandyr.

Mitohondriýanyň içki membranasynda döreýän elektrohimiýa proton gradiýentine baglylykda matrikse gaýdyp gelýän protonlar şol şuntlyň üsti bilen geçýärler we şunlukda olardan boşadylýan ähli energiýa ýylylyga öwrülýär. Şeýlelik bilen, goňur ýag dokumasynyň öýjüklerinde ýokary derejede ýylylygyň öndürilişini saklamaklyk üçin ATF-ň molekulalarynyň köp mukdarda sintezlenmek we ondan soň olaryň dargadylmak zerurlygy aradan aýrylýar. Suw, CO₂ we ýylylyk goňur ýag dokumasynyň dargadylmagynda bölünip çykýan ýeke-täk önümler bolup durýarlar.

Garaşylyşy ýaly, goňur ýag dokumasy, beýleki dokumalara garanda aerob prosesleriň ýokary intensiwligi bilen tapawutlanýar.

Hadysanyň geçişiniň sazlanýş nukdaý nazaryndan seredilende goňur ýag dokumasy organizm üçin edil ýadro reaktorlarynyň elektrostansiýalar üçin howply bolşy ýaly howply bolup durýandyr. Bu ýagdaýlaryň ikisinde-de ýylylygyň öndürilişine bolan ýokary ukyplylyk saklanýandyr we ol gözegçilik astyndan sydyrylsa düzedilip bolunmajak netijelere getirip biler.

Goňur ýag dokumasynyň işjeňligi sazlanmasa ol organizmiň aşa gyzmaklygyna getirip biler. Şoňa görä-de ýylylygyň öndürilişi diňe goňur ýag dokumasynyň mitohondriýalaryna mahsus bolan mehanizmiň kömegi bilen berk gözegçilik astynda saklanýar. Mitohondriýalarda bardygy anyklyan ýeke-täk özboluşly **belok-termogenin** içki mitohondrial membrananyň daşky üstünde lokalizirlenendir, ol purinnukleotidleri (esasan GDF-i; pes derejede ADF-i) baglanyşdyrmaga ukyplydyr. **Bu belogyň funksiýasy içki mitohondrial membranada ýerleşýän şuntly proton geçirijiligini üýtgetmekden ybarat bolup durýandyr.** Belogyň GDF bilen baglanyşmagy şuntly proton geçirijiliginiň üzüň-kesil peselmegine getirýär. Dokumada bu sazlaýjy belogyň mukdary organizmiň ösüş tapgyryna we sowugyň täsir ediş derejesine baglylykda üýtgeýändir. Şunlukda dokumanyň termogeneze bolan ukyplygy we onuň sazlanmagy üýtgedilip durulýandyr. “Oňat gurnalan” metaboliki ulgam hut şeýle häsiýetlere eýe bolmalydyr.

Goňur ýag dokumasynyň ulgam we öýjük derejesinde işjeňligini sazlaýan mehanizmiň esasynda daşky signallar (mysal üçin, daşky gurşawyň temperaturasy) bilen mitohondriýanyň içki membranasy arasyndaky çatyrymlylyk ýatandyr. Bu çatyrymlylygy gormonal signallar ýüze çykarýarlar (noradrenalin goňur ýag dokumasy bilen birleşenden 1- minutdan soň lipolizi çaltlandyrýar we bu dokuma tarapyndan kislorodyň sarp edilişini ýokarlandyrýar).

Adipositlerde we izolirlenen mitohondriýalarda geçirilen barlaglar daşky gurşawyň temperaturasynyň peselmegine goňur ýag dokumasynyň termogen jogabyndaky hadysalaryň şeýle tapgyrlardan bolup geçýändigini ýüze çykarmaklyga mümkinçilik berýär:

1. Deriniň sowugy duýýan reseptorlary işjeňleşýärler we beýnä, gipotalamusyň termosazlaýjy merkezine signal iberýärler.

2. Gipotalamusdan goňur ýag dokumasyna simpatiki neýronlaryň üsti bilen signal gelýär. Şoňa baglylykda, nerw uçlaryndan (ahyrlaryndan) adipositleriň arasyndaky giňişlikde noradrenalin bölünip çykarylýar.

3. Noradrenalin goňur ýag dokumasynyň öýjüginin plazmatiki membranasyň daşky tarapynda lokalizirlenen aýratyn beloklar-reseptorlar (olara β-adrenoreseptorlar diýilýär) bilen birleşýär. Bu beloklaryň bir uýy sitoplazmada ýerleşýändir.

4. Beloklar – reseptorlar noradrenalin bilen baglanyşandan soň, olar sitoplazmada ýerleşen adenilatsiklaza fermentine täsir edýärler we ony işjeňleşdirýärler.

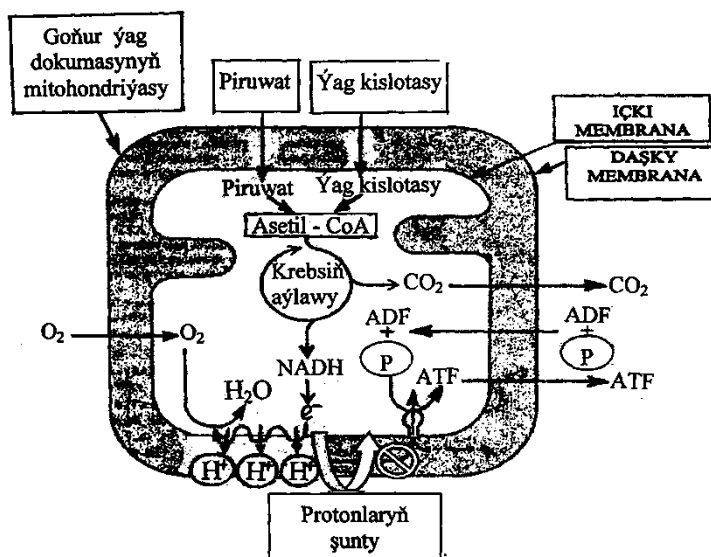
5. Adenilatsiklaza ATF-den aýratyn maddanyň, ýagny sikliki AMF-ň (sAMF) döremegini katalizirleýär. sAMF öýjügiň içinde ýerleşýän köp fermentleri işjeňleşdirmäge ukyplydyr (ýagny ol fermentleriň işini sazlaýjy bolup çykyş edýändir).

6. sAMF proteinkinaza fermentine täsir edýär we onuň işjeňleşmegine getirýär.

7. Proteinkinaza fermenti öz gezeginde lipaza fermentini işjeňleşdirýär (fosforlaşdyrýar).

8. Netijede lipaza işjeň ýagdaýa geçýär we ýagy gliserine hem-de ýag kislotasyna dargadýar, bular bolsa soň Krebsiň sikli boýunça dargadylýarlar.

Goňur ýag dokumasynnda himiki baglanyşyklaryň energiýasy 100% ýylylyga öwrülýär. Şol sebäpli goňur ýag dokumasynyň mitohondriýasynda energiýa başga görnüşde (mysal üçin, ATF) saklanmaýar. Bu hadysa has anyk seredeliň.



4.5-nji surat. Goňur ýag dokumasynyň mitohondriýasynyň işleýiş düzgüni.

4.5-nji suratda adaty mitohondriýadaky ATF-i sintezlemegiň hemiosmos mehanizmi hem-de goňur ýag dokumasynnda ýylylyk öndürilýän ýagdaýynda protonlaryň akymynyň ugry görkezilendir. Aday mitohondriýada wodorodyň gidrid ionundaky elektronlaryň içki membranadan geçirilmegine baglylykda matriksden daşyna çykarylýan protonlar ýene-de yzyna gaýdyp gelenlerinde ATF-sintaza fermentiniň üstünden geçýärler we öz energiýalaryny ATF-i sintezlemäge sarp edýärler. Goňur ýag dokumasynyň mitohondriýasynyň adaty mitohondriýalardan tapawudy matrikse gaýdyp gelýän protonlar ATF- sintaza ýetmän ýörite şuntuň üsti bilen girýärler. Şol sebäpli hem protonlar öz erkin energiýalarynyň hemmesini ýylylyk görnüşinde sarp edýärler, ATF-ň molekulasy bolsa emele gelmeýär. **Diýmek, goňur ýag dokumasy bolan organizmlere öz temperaturasyny hemişelik saklamak üçin ATF-i sarp etmek hökman däl.** Şu maksatlar üçin goňur ýag dokumasyny dargytmak ýeterlikdir, şonda ýylylyk bilen birlikde suw we CO₂ emele gelýär.

Öň belläp geçişimiz ýaly, goňur ýagyň mitohondriýasynyň içki membranasynda aýratyn **belok-termogenin** bardyr (oňa başgaça **belok-protonofor** hem diýilýär). Ol içki membranada ýerleşýän şuntuň proton geçirijiligini sazlap durýar we şoňa baglylykda, ýylylygyň döredilişi hem sazlanyp durulýar.

Ýokarda seredilip geçilen termogen jogabyň tapgyrlaryny shematiki suratda şeýle görkezmek bolar:

Noradrenalin → belok –reseptor → adenilatsiklaza fermenti → sAMF →

→ proteinkinaza fermenti → lipaza fermenti → ýag → Gliserin
→ Ýag kislotasý

Indi şeýle sorag ýüze çykýar, ýagny goňur ýag dokumasyny dargytmak üçin şeýle çylşyrymly köpbasgançakly signallar ulgamy näme üçin gerek bolduka?

Munuň şeýle bolmagy ýylylygy öndürýän ulgamyň özboluşly güýçlendiriji kaskad bolup durýandygyny aňladýandyr:

a) Gormonyň bir molekulasy adenilatsyklaza bermentiniň bir molekilasyny işjeňleşdirýär ($1 \rightarrow 1$);

b) Adenilatsyklaza bolsa sAMF-ň birnäçe molekulasyny emele getirýär ($1 \rightarrow$ birnäçe);

c) *sAMF-ň hersi proteinkinazanyň bir molekulasyny işjeňleşdirýär (hersi $\rightarrow 1$);*

d) proteinkinaza bolsa lipazanyň köp molekulasyny fosforlaşdyrýar ($1 \rightarrow$ köp molekula).

Diýmek, (b) we (d) tapgyrlardan görnüşi ýaly, noradrenaliniň 1-molekulasy lipazanyň birnäçe molekulasyny işjeňleşdirýär we şoňa baglylykda güýçlendiriji kaskady emele getirýär.

Titremek bilen baglansykly termogenez.

Köp organizmlere işe (herekete) başlamazdan öň ýa-da bedeniniň temperaturasy kadaly ýagdaýdan pese düşüp başlanda bedenini ýylytmak (gyzdyrmak) zerurlygy ýüze çykýar. Adatça bu myşsa öýjüklerinde saklanýan fermentleriň kömegi bilen ATF-ň ADF-e dargadylmagy boýunça amala aşyrylýar; şunlukda substratlaryň dargadylmagy çaltlanýar we ýylylyk öndürilişi ýokarlanýar. Titremek myşsalar ulgamy tarapyndan ýylylygy öndürmekligiň adaty usuly bolup durýandyr (eger-de organizmiň ýagdaýy şeýle zerurlyga mätäç bolsa).

Mysal üçin, adam üşände ilki bilen titröp başlaýar. Bu ýagdaýda nähili hadysa bolup geçýärkä? Beden titreýän wagty nerw impulslarynyň täsiri astynda ýygrylmak ulgamyndaky ATF-i dargydýan ATFaza fermentleriň işjeňligi güýçlenýär. Şuňa baglylykda, ATF-ň dargamagyndaky boşadylýan energiýa bu myşsalaryň sazlaşykly işine däl-de, olaryň aýratynlykda ýüze çykarylýan kiçi amplitudaly yrgyldylaryna getirýär. Şunlukda, ATF-ň dargadylmagy boýunça alynýan energiýa ýylylyga öwürülýär we organizmi gyzdyrýar.

Titremek bilen ýylylygyň öndürilişi süýtemdirijilerde giňden ýaýrandyr we ol käbir mör-möjeklerde (mysal üçin, eşegarylarda) gabat gelýändir.

Titremesiz termogenez.

Termogeneziň bu görnüşiniň manysy, bir wagtyň özünde iki sany gapma-garşy reaksiýany katalizirleýän fermentleriň aktiwleşmegidir. Mysal üçin, bir fermentler topary glikogeni ýa-da glýukozany dargydýarlar, başga bir fermentler topary bolsa şol wagtyň özünde olary sintezleýär. Diýmek, şol bir wagtyň özünde glikogeniň ýa-da glýukozanyň organizmdäki mukdary hemişelik galýar, ýöne olary dargytmak we sintezlemek üçin bolsa ATF-ň molekulasy sarp edilýär. ATF-ň energiýasynyň köp bölegi ýylylyga öwürlip, temperaturany hemişelik saklamak üçin peýdalanýlar.

Ýygrylmasyz termogenez.

Belli bolşy ýaly, beýni we ýürekden beýleki içki organlar adam bedeniniň 8-9% massasyny düzýärler, ýöne şol bir wagtda olar umumy organizmiň 65% energiýasyny sarp edýärler. 17-20% energiýany dynçlykdaky myşsalar, takmynan 7-9% energiýany deri, süňkler we birleşdiriji dokumalar sarp edýärler. Şu energiýalar hem esasy çalşygyň derejesini we ýygrylmasyz termogeneziň göwrümini görkezýär. Termogeneziň bu görnüşi organizmler üçin hemişelik ululyk bolup galýar, sebäbi bu energiýa organizmiň umumy ýaşayş ukybyny, olaryň gurluşyny saklamak, dargamaz ýaly etmek üçin sarp edilýär.

Ýygryлма termogenezi.

Myşsalaryň azajyk ýygrylmagy hem organizmiň sarp edýän energiýasynyň mukdarynyň köpelmegine getirýär. Ýatan adamynyň oturan yagdaýa geçende onuň myşsalarynyň işi organizmiň sarp edýän energiýasynyň 40-50% ýokarlanmagyna getirýär. Adam arkaýyn ýöräninde hem sarp edýän energiýasynyň mukdary esasy çalşykdakydan 2-2,5 esse köpeliýär. Agyr zähmet işini ýerine ýetireninde onuň myşsalarynyň sarp edýän energiýasy 50-70 esse

artýar, organizmiň umumy sarp edýän energiýasy bolsa 10-15 esse köpeliýär. Şeýle ýagdaýlarda organizmiň ýaşayşyny üpjün edýän ulgamlar (dem alyş, gan aýlanyş) hem öz funksiýalaryny ýokarlandyrýarlar. Ýöne myşsalaryň iş kuwwatlylygy maksimal (15 we ondan hem köp esse uly) bolanynda hem dem alyş we gan aýlanyş ulgamlarynyň işi myşsalaryňky ýaly köp ulalmaýarlar. Ýokardaky aýdylanlardan aşakdaky düzgün gelip çykýar: esasy çalşykda organizmiň energetiki talaplaryny içki organlar we beýni kesgitelýärler, dürli işleri ýerine ýetirip, sarp edýän energiýasynyň köpelmegi organizmiň myşsa ulgamy bilen kesgitlenilýär. Şeýlelikde, myşsalaryň ýygrylmagy bilen baglanyşykly ýylylygyň emele gelmegine **ýygrylma termogenezi** diýilýär.

Termogenezdäki we daşky gurşawyň ýokary temperaturasynyň täsirindäki organizmde döreýän artykmaç ýylylygy bedeniň daşyna çykarmagyň mehanizmlerini öwrenmek **ýylylyk çalşygynyň** esasy meselesi bolup durýar.

4.2. ÝYLYLYK. ÝYLYLYK ÇALŞYGY WE ONUŇ GÖRNÜŞLERI

Ýylylyk – organizmi düzýän bölejikleriň orta kinetik energiýalarynyň jemidir. Diýmek, ýylylygyň ulalmagy bölejikleriň hereketiniň çaltlanýandygyny görkezýär. Klauziusyň kesgitlemesine görä, organizmiň daşardan alýan ýylylyk mukdary onuň entropiýasynyň ulalmagynyň temperatura köpeltmek hasyly bilen kesgitlenilýär. Başgaça aýdylanda, organizme gelýän ýylylygyň ulalmagy bilen onuň entropiýasy (tertipsizligi) hem artýar. Ýylylyk bilen temperaturanyň arasyndaky baglanyşygy başgada birnäçe ululyklaryň üsti bilen hem aňladyp bolýar.

a) **Ýylylyk sygymy** diýilip 1 kg maddany 1°C gyzdyrmak üçin sarp edilýän ýylylyk mukdaryna aýdylýar. Onuň ölçeg birligi $\left[\frac{J}{kg^{\circ}C} \right]$. Suwuň ýylylyk sygymy bir birlige, ýagny 1-e

dendir, ganyňky 0,9-0,93; ýagyň we turba şekilli süňkleriňki 0,7; tekiz süňkleriňki 0,3-e deňdir. Adam bedeniniň orta ýylylyk sygymy 0,8-0,83-e deňdir. Maddalaryň ýylylyk sygymynyň biri-birinden tapawutlygy olara şol bir ýylylyk mukdary berilende hem öz temperaturalaryny dürli üýtgedýänligini aňladýar, ýagny şol bir ýylylyk täsir etdirilende ýylylyk sygymy kiçi bolan maddalar temperaturasyny has ulaldýarlar, ýylylyk sygymy uly bolan maddalar bolsa öz temperaturasyny az ulaldýarlar.

b) **Ýylylyk geçirijilik** diýilip maddanyň ýylylygy geçirip bilijilik ukybyny görkezýän ululyga aýdylýar. Onuň ölçeg birligi $\left[\frac{J}{m \cdot sek^{\circ}C} \right]$. Ýylylyk geçirijilige ters bolan ululyga mad-

danyň **ýylylyk izolýasiýasy** diýilýär. Suwuň ýylylyk geçirijiligi 0,0014, howanyňky – 0,000091. Ýumşak dokumalaryň ýylylyk geçirijiligi 0,0011 we suwuňka ýakyn. Şonuň üçin organizmdäki suwuň mukdarynyň üýtgemegi onuň ýylylyk geçirijiligine täsir etmeýär. Edil şonuň ýaly, deridäki gan damarlarynyň gandan dolulygy ýa-da olardaky hadysalar hem ýylylyk geçirijilige täsir etmeýärler.

Organizm bilen daşky gurşawyň arasynda ýylylyk çalşygyny amala aşyrýan birnäçe mehanizmler bar: **ýylylyk geçirijilik, ýylylyk şöhlelenmesi, konweksiýa we deriň bugarmagy.** Bu mehanizmleriň san ululyklary daşky gurşawyň şertlerine baglylykda üýtgäp durýarlar. Komfort şertlerde (howanyň temperaturasy 20°C, otnositel çyglylygy 40-60%) adam bedeninden şöhlelenme boýunça 54 kkal/sag, ýylylyk geçirijiligi boýunça 26 kkal/sag we bugarma bilen 23 kkal/sag ýylylyk mukdary sarp edilýär.

Indi ýylylyk çalşygynyň mehanizmlerine aýratynlykda seredip geçeliň.

Ýylylyk geçirijilik.

Geçirijiligiň bu mehanizminde ýylylyk has gyzgyn ýerden sowuk ýere çalt hereketlenýän molekulalaryň haýal hereketlenýän molekulalara öz kinetik energiýasyny bermegi esasynda amala aşyrylýar. Özem şeýle çalşyk hereketlenmeýän gurşawyň üsti bilen gozganman duran ulgamlaryň arasynda bolup geçýär. Mysal üçin, duran gaz, suwuk we gaty maddalar bilen organizmiň arasyndaky ýylylyk çalşygy. Duran howanyň ýylylyk geçirijiligi suwuňkydan 3300

esse kiçidir. Şol sebäpli organizm bilen howanyň arasyndaky ýylylyk çalşygy organizm bilen suwuňka garanda has pesdir. Eger adamlar dürli sebäplere görä sowuk suwuň içinde galan bolsa, onda olar mümkin boldugyça bedeniň suw bilen galtaşýan üstüniň meýdanyny kiçeltmäge çalyşmalydyrlar. Şeýle ýagdaýda bedeniň aşsowaman, köp ýaşamaga mümkinçiligi artýar.

Käbir haýwanlar ýerden gelyän ýylylygy ýa-da sowugy azaltmak maksady bilen ýatanlarynda aýaklaryny göwresiniň aşagyna goýup ýatýarlar. Şeýle etmek bilen olar öz bedenleriniň ýer bilen galtaşýan üstleriniň meýdanyny peseldýärler.

Käbir halatlarda bedeniň gyzmak duýgusyny sowuk suw içmek bilen peseldýärler. Eger adam temperaturasy $5-10^{\circ}\text{C}$ bolan 200 ml suwy içse, onuň bütün bedeniniň temperaturasy baryýogy takmynan $0,1^{\circ}\text{C}$ kiçelýär. Diýmek, içilen bir stakan sowuk suw bedeniň temperaturasyna köp täsir etmeýän eken. Onda näme üçin biz sowuk suwy içenimizden soň özümizi sowan ýaly duýýarys? Munuň sebäbi az mukdarda sowan ganyň beýnidäki williziýew halkasynyň damarlaryna gelip, beýnä umumy bedeniň wagtlaýyn sowandygyny habar berýändiginden ybarat bolup durýandyr.

Radiasiýa (şöhlelenmek).

Janly organizmler üçin wajyp bolan ýylylyk radiasiýasy gysga (0,3-3 mkm) we uzyn (5-100 mkm) tolkun uzynlykly şöhlelerden durýar. Gysga tolkun uzynlykly radiasiýa Gunden we ýalyndan şöhlelenýär; uzyn tolkunly şöhlelenmeler bolsa pes temperaturaly jisimlerden hem-de organizmleriň özleri tarapyndan şöhlelendirilýärler. Gysga tolkunlary organizmler diňe siňdirýärler, uzyn tolkunlary bolsa hem siňdirýärler, hem şöhlelendirýärler. Bu tolkunlaryň organizmlere ýetirýän täsiri bedeniň we gurşawyň temperaturalary, täsir edişýän üstleriň meýdanlary we olaryň özara ugurlary, şeýle hem üstüň reňki bilen kesgitlenilýär. Gara reňkli üst ak reňklä garanda has köp gysga tolkunlary siňdirýär. Negrleriň gara reňkli derisi gysga tolkunly radiasiýanyň 18%-ni yzyna serpikdirýär, akýagy adamlaryň derisi bolsa onuň 40%-ni serpikdirýär. Negrleriň derisini gara edýän **melanin pigmentleriniň** ýaşyl reňkidir. Megerem, melanin pigmentleriniň benzol halkasindaky π -elektronlar gusga tolkunlary siňdirip, olary uzyn tolkunlar görnüşinde daşky gurşawa şöhlelendirýän bolsalar gerek.

Ähli uzyn tolkunly radiasiýalary dürli reňkli deriler deň derejede doly siňdirýärler. Şeýle ýagdaýda deri gyzýar we özünden sowuk jisimlere ýylylygyny şöhlelendirýär.

Ýeriň we beýleki jisimleriň şöhlelendirýän uzyn tolkunlaryny bulutsyz açyk asman has gowy siňdirýär. Şonuň üçin bulutsyz gijeler gök önümleri sowuk uragan bolýar. Bu hadysany käbir haýwanlar öz bedenlerini sowatmak üçin peýdalanýarlar. Mysal üçin, çöl towşany özüniň uly gulaklaryny demirgazyga bulutsyz asmana öwürip, artykmaç ýylylygyny şol tarapa şöhlelendirýär. Bu bolsa yssy howada we gyzgyn toprakda towşanyň öz temperaturasyny hemişelik saklamagyna kömek edýär.

Adam bedeniniň şöhlelendirýän ýylylygynyň tolkun uzynlygy 9 mkm deňdir.

Konweksiýa.

Ýylylyk çalşygynyň bu görnüşinde ýylylygy alyp gidiji bolup hereket edýän gaz ýa-da suwuklyk bolup durýar. Eger daşky gurşaw hereket etmeýän bolsa, onda konweksiýanyň ähmiýeti ýitip, ýylylyk geçirijiligiň hasabyna ýylylyk çalşygy amala aşyrylýar. Adamynyň özüniň duran wagtynda hem oňa galtaşýan howa gyzyp, $0,5\text{ m/sec}$ tizlik bilen ýokarlygyna hereket edip başlaýar, sebäbi gyzgyn howanyň agramy sowuk howanyň agramyndan ýeňil bolýar. Şeýle tizlik bilen hereket edýän howa baryýogy 1°C gyzýan hem bolsa, ol özi bilen 10 kkal, ýa-da esasy çalşykdaky ýylylygyň 15-17% bölegini alyp gidýär. Howanyň tizliginiň artmagy bilen bu ululyk hem ulalýar. Mysal üçin, 1 m/sec tizlik bilen hereketlenýän howa adam bedeniniň her 1 m^2 üstünden 1 sagatda 7 kkal (bütün beden üstünden 12,6 kkal) ýylylygy alyp gidýän bolsa, onda tizlik 4 m/sec ýeteninde konweksiýa bilen $15,5\text{ kkal}/(\text{m}^2\cdot\text{sag})$ (bütün beden üstünden takmynan 28 kkal) ýylylyk alynyp gidilýär. Bu bolsa bütün üstden alynyp gidilýän ýylylygyň 40%-ni düzýär.

Ýylylyk çalşygynda suwdaky konweksiýanyň ähmiýeti has uludyr. Mysal üçin, temperaturasy 15°C bolan ýata suwda adamynyň aşsowap, özünden gitmegi 2-4 sagadyň

dowamynda bolup geçýär. Eger güýçli akym ýa-da tolkunma bolan ýagdaýynda bu wagt has gysgalýar.

Elbetde, konweksiýanyň adam bedeniniň içki organlarynyň arasyndaky ýylylyk çalşygyny amala aşyrmakda roly uludyr. Orta ýaşly we orta agramly adamynyň minutdaky gan aýlanmasynyň göwrümi 3,5 l deň. Diýmek, şol adamynyň ýüregi gije-gündüziň dowamynda 5 müň litr gany iterip çykarýar. Eger ganyň ýylylyk sygymy $0,92 \text{ kal}/(\text{kg}^\circ\text{C})$ we arterial gan bilen dokumalaryň temperaturalarynyň arasyndaky tapawut $0,3^\circ\text{C}$ bolsa, onda gije-gündüziň dowamynda ganyň 1500 kkal ýylylygy organlardan daşaryk çykarmaga mümkinçiligi bar. Bu bolsa esasy çalşykdaky bölünip çykýan ýylylyk mukdarydyr.

Deriň bugarmagy.

Bedenden bölünip çykýan der bugaranynda deriniň üstüniň sowamagy bolup geçýär. Bedeniň ýylylyk energiýasynyň hemmesi deri bugartmaga sarp bolýar. Bu hadysanyň netijeliligi örän uludyr.

Ýylylyk çalşygynyň beýleki görnüşlerinden tapawutlylykda, bugarmagyň netijeliligini bedeniň we daşky gurşawyň temperaturalary we olaryň tapawutlary däl-de, derä gältaşýan howanyň we daşky howanyň çyglylyklarynyň (ýagny buglarynyň basyşlarynyň) tapawudy kesgitleýär. Şol tapawut näçe uly bolsa, bugarmagyň tizligi şonça-da uly bolýar. ***Eger daşky gurşawyň temperaturasy organizmiň temperaturasyndan uly bolsa, onda ýylylyk çalşygynyň beýleki görnüşleriniň netijeliligi ýitýär, ähli ýylylyk diňe bugarmak bilen çykarylýar.***

40°C temperaturasy bolan deriden 1 g der bugarsa 575 kal ýylylygy kompensirleýär. Ýöne 1 g suwy 40°C -dan 100°C çenli gyzdymaly bolsa, bary-ýogy 60 kal ýylylyk sarp edilýär. Diýmek az mukdardaky der bugardylanda köp mukdarda ýylylyk sarp edilýär. Esasy çalşykdaky bölünip çykýan 1500 kkal ýylylygy bedenden aýyrmak üçin 2,6 l suw gerek, 5 l suw bugaranynda bolsa iň agyr fiziki iş edileninde bölünip çykýan ýylylygy hem kompensirläp bolýar.

Çölde bedeniň her 1 m^2 üstüne $700\text{--}1100 \text{ Wt/m}^2$ Günüň radiasiýasy düşýär. Bu kadaly ýagdaýda adam bedeninde emele gelýän ýylylykdan (60 Wt/m^2) 11-18 esse köpdür. Şeýle köp mukdarda bedene düşýän ýylylygy kompensirlemek üçin köp mukdarly der gerek. Ýöne şol deriň mukdaryny azaltmak üçin organizm suw bilen birlikde deriň düzüminde dürli duzlary hem bölüp çykarýar. Deriň düzüminde duzlaryň bolmagy emele gelen ergini (deri) bugarmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryny köpeldýär. Sebäbi derden diňe suw bugarýar. Suwuň molekulalaryny duzuň molekulalaryndan goparyp almak üçin bolsa goşmaça ýylylyk sarp edilýär. Onuň üstesinede, duzlaryň ýylylyk geçirijiliginiň pesligi we duzuň kristallarynyň Günüň şöhesini yzyna serpikdirip bilýänligi üçin, emele gelen duz gatlagy organizmi daşky gurşawyň uly temperaturasyndan we Günüň radiasiýasyndan hem goraýar.

Belläp geçmeli faktlaryň biri, yssy we has çygly howada deriň bugarmasynyň ýylylyk çalşygyndaky ähmiýetiniň peselýänligidir. Şol sebäpli Türkmenistanyň şertlerinde tomus aýlary ýagys ýagsa, howanyň çyglylygy artyp, adamlaryň bedeniniň aşa gyzmagyna getirýär. Şeýle ýagdaýlarda gipertoniki we gipotoniki krizleriň, ýüregiň miokardynyň infarkty, insult ýaly heläkçilikleriň bolmagynyň mümkinçiligi atýar.

Ýylylyk çylyşygynda ýylylyk izolýasiýasynyň ähmiýeti.

Organizme daşky yssy howadan gelýän ýylylygy ýa-da sowuk howa gidýän bedeniň öz ýylylygyny azaltmak üçin hökman ýylylyk izolýasiýasy gerekdir. Izolýasiýanyň galyňlygy onuň ýylylyk geçirijiligine, bedeniň we daşky gurşawyň temperaturalarynyň aratapawudyna, bedeniň ýylylyk öndürüp bilijilik ukybyna, bedeniň üstüniň meýdanyna we beýleki ululyklara baglydyr. Ýylylyk izolýasiýasy dürli materiallardan edilen, dürli galyňlykly eşikler, tüýler, ýag gatlagy görnüşinde bolup biler.

Ýylylyk çalşygynda bedendäki egrilikleriň (barmaklaryň, gollaryň, aýaklaryň we ş.m.) radiusynyň uly ähmiýeti bardyr. Radiusyň kiçelmegi bilen ýylylyk izolýasiýasyny amala aşyran gatlagyň netijeliligi peselýär. In gyzykly faktlaryň biri bolsa, radius 0,6 sm kiçi bolanynda, izolirlemek üçin niýetlenen gatlak şol organyň ýylylygy diňe bir ýitirmezliligine däl-de, eýsem ýitginiň has hem ulalmagyna getirýär.

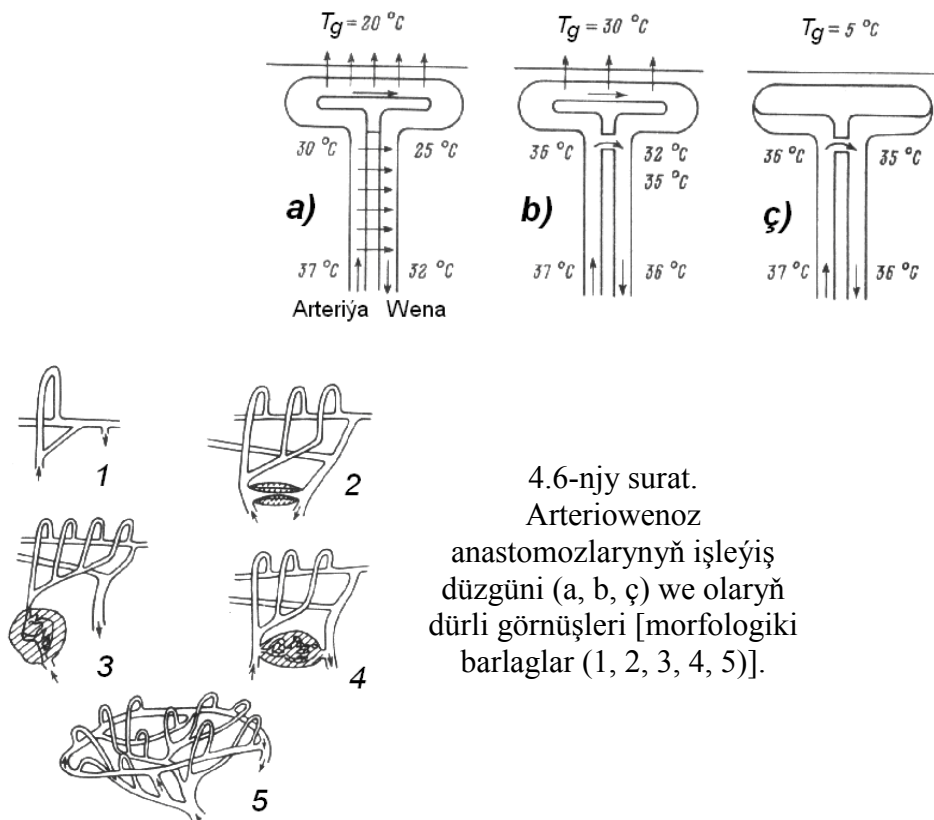
Käbir haýwanlaryň ýüň bilen örtülen inçejik aýaklaryndan köp mukdarda ýylylyk daşky gurşawa berilýär. Ewolýusiýanyň dowamynda şeýle hadysa organizmler üçin wajypdyr. Mysal üçin, duşmanyndan gaçyp barýan haýwan gaty ylgamaly bolýar. Şol sebäpli onuň aýaklarynyň myşsalary köp iş etmeli bolýar we köp mukdarda ýylylyk bölüp çykarýar. Organizmiň aýaklarynyň inçe bolanlygy sebäpli, öndürilýän ýylylyk bedeniň daşyna çykarylýar we bütin organizmiň temperaturasyny sazlamaga mümkinçilik berýär.

Adam bedeninde iň kiçi radiusly egrilikler onuň elleriniň barmaklarydyr. Megerem, şonuň üçindir, elleriň barmaklary ýylylyk çalşygyny iň gowy amala aşyrýan organlardyr. Organizm gyzan wagtynda barmaklardaky gan aýlanyş birnäçe ýüz esse ulalýar we sagatda 40 kkal ýylylygy daşaryk çykarmaga mümkinçilik berýär. Bu bolsa esasy çalşygyň 50-60% bölegidir. Daşky gurşawyň temperaturasy pes bolanynda ýa-da az mukdarda metaboliki ýylylyk öndürilende adam organizmindäki ýylylyk çalşygy diňe barmaklaryň üsti bilen inçe we dogry sazlanýlar. Munuň şeýle bolmagy, barmaklaryň radiusynyň kiçi bolyp, deridäki gan aýlanyşyň azajyk ýütgemegi bilen hem ýylylyk çalşygyny has netijeli amala aşyryp bolýandygy bilen düşündirilýär.

Ýylylyk çalşygynda gan aýlanyşygyň ähmiýeti.

Deride gan aýlanyşygyň kömegi bilen ýylylygy sazlamakda kapillýarlar gatnaşmaýarlar. Bu funksiýany esasan deridäki **arteriowenoz anastomozlary** ýerine ýetirýärler. Olar elleriň we aýaklaryň barmaklarynda köp bolup, her 1 sm² meýdanda 100-500 sanysy bardyr. Aşakdaky suratda ganyň aram we yssy howada öz ýylylygyny daşky gurşawa berişiniň we sowuk howada ýylylygyny saklap galyşynyň mehanizmleri hem-de anastomozlaryň görnüşleri görkezilendir.

Anastomoz – grek dilinden terjime edilende “iki damaryň tebigy suratda birleşýän yeri” diýen manyny berýär. **Arteriolany we wenulany birleşdirýän anastomoza arteriowenoz anastomozy diýilýär** (4.6-njy surat).



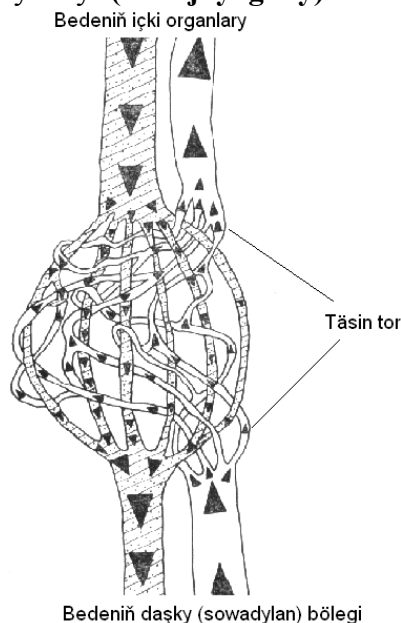
4.6-njy surat.
Arteriowenoz
anastomozlarynyň işleýiş
düzgüni (a, b, c) we olaryň
dürli görnüşleri [morfologiki
barlaglar (1, 2, 3, 4, 5)].

Ähli şertlerde anastomozlaryň işleýiş prinsipi meňzeşdir: kadaly şertlerde metaboliki ýylylygy arterial gan içki ordanlardan deriniň üstüne getirýär we ony daşky gurşawa berip wena gaýdyp gelýär. Has yssy şertlerde ganyň gyzmak mümkinçiliginiň barlygy üçin arterial ganyň belli bir mukdary derä ýetmän, anastomozlaryň üsti bilen wena goşulýar, galan bölegi bolsa derä gelip ýylylygy daşaryk çykarýar. Has sowuk ýagdaýlarda ganyň aşa sowamak howpunyň barlygy sebäpli anastomozlar doly açylyp, arterial ganyň hemmesi derä barman göni wena sowulýar.

Ýylylyk çalşygyny gan aýlanyşygynyň kömegi bilen amala aşyrmagyň ýene-de bir mehanizmi arteriýa we wena gan damarlarynyň “**täsin tory**” emele getirmegidir. 4.7-nji suratda ganlary garşylykly tarapa akýan gan damarlarynyň özara baglanyşygy görkezilendir. **Bu suratdan görnüşi** ýaly, arteriýa we wena gan damarlary çylşyrymly, biri-biriniň içinden çyrmaşyp geçýän hakykatdan hem **täsin tory** emele getirýärler. Bu toruň esasy funksiýasy, eger wenadan içki organlara sowuk gan gelýän bolsa, ony arteriýadaky gyzygyn ganyň ýylylygy bilen ýeterlik temperatura çenli gyzydymakdyr. Tersine, eger wenadan has gyzygyn gan gelýän bolsa, onda onuň belli bir mukdardaky ýylylygyny wena ganyna görä sowuk bolan arteriýa ganyna bermekdir. Bu aýdylanlara mysal hökmünde mawy tunesiň (ýyly deňizlerde ýaşaýan uly wagşy balyk) žabralaryndan gelýän gany; týuleniň ýüzgüçleriniň periferiki böleklerinden ýa-da deňiz guşlarynyň penjelerinden gelýän gany görkezmek bolar. Şeýlelikde, bedeniň temperaturasyny

hemişelik saklamakda, organizm bilen daşky gurşawyň arasynda ýylylyk çalşygyny amala aşyrmakda we ony sazlamakda gan aýlanyşygynyň uly ähmiýeti bardyr.

Organizmiň energetiki we ýylylyk çalşygynyň ontogenezdäki aýratynlyklary. Çagalaryň energetikasynyň esasy aýratynlyklarynyň biri onuň ösmegi we agramynyň köpelmegi üçin gerek bolan maddalaryň sintezine näçe mukdarda energiýanyň talap edilýänligünden ybarat bolup durýandyr (**birinji ýagdaý**).



4.7-nji surat. Täsin tor.

Çagalaryň bedenindäki energetiki we ýylylyk çalşygynyň aýratynlyklaryny häsiýetlendirýän ikinji uly mesele goňur ýag dokumasynyň bu hadysalardaky ähmiýetidir (**ikinji ýagdaý**). Üçünji uly meseleleriň biri täze doglan çaganyň bedeniniň meýdan üstüniň massa birligine bolan gatnaşygynyň uludygydyr (**üçünji ýagdaý**).

Çaganyň käbir aýratynlyklaryna seredip geçeliň. Belli bolşy ýaly, 75 kg agramly uly adam 29-30°C temperaturasy bolan hereketlenmeýän howada eşik-

siz ýagdaýda her sagatda 75 kkal ýylylygy öndürýär ($75 \frac{\text{kkal}}{\text{sag}}$). 3,5 kg agramy bolan täze doglan

çaganyň ýokardaky ýaly şertlerde umumy sarp edýän energiýasynyň we öndürýän ýylylygynyň mukdary her sagatda 5,25 kkal (1,73 Wt/kg) deňdir. Çaganyň bedeniniň umumy üstüniň meýdany $3,5^{2/3} = 2314 \text{ sm}^2$ -a deňdir.

Onuň her 1 kg agramynyň üsti $2314 : 3,5 = 661 \text{ sm}^2/\text{kg}$. Çaganyň 1 sm^2 üstünden geçýän ýylylyk akymynyň kuwwaty $1,73 : 661 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ Wt/sm}^2$. Bu ululyk uly adamlaryňkydan 1,85 esse kiçidir. Diýmek, çaganyň bedenindäki öndürilýän ýylylyk mukdary onuň temperaturasyny 37°C derejede saklamak üçin ýeterlik däl. Şu getirilen görkezijileri (ululyklary) deňeşdirmek aňsat bolar ýaly, olary tablisa görnüşinde görkezeliň.

2-nji tablisa

	Bedeniň meýdan üsti, [sm ²]	Ýylylyk öndürilişi, [kkal/sag]	1 kg. massa düşýän meýdan üsti, [sm ² /kg]	1sm ² üstünden geçýän ýylylyk akymynyň kuwwaty [Wt/sm ²]
Uly adam (75 kg)	18042	75	240,5	$4,8 \cdot 10^{-3}$
Täze doglan çaga(3,5 kg)	2314	5,25	661	$2,6 \cdot 10^{-3}$
Aratapawut	Çagada 7,8 esse pes	Çagada 14,3 esse pes	Çagada 2,75 esse uly	Çagada 1,85 esse pes

Şu tablisadan görnüşi ýaly, täze doglan çaga uly adama garanda seredilýän görkezijiler boýunça amatsyz yagdaýda bolyar.

Eger çaganyň derisiniň ýukalygy we onuň ýylylyk geçirijiliginiň uly adamlaryňkydan ýokarydygy, köp derleýänligi göz önünde tutulsa, onda çaganyň her 1 sm² üsti üçin öndürýän energiýasynyň we ýylylygynyň mukdary uly adamlaryňkydan 3,5-3,75 esse uly bolmalydyr. Çaganyň temperatura gomeostazyndaky ýüze çykýan meseleler onyň bir birlik agramynyň üstüniň uludygy, ýylylyk izolýasiýasynyň kiçidigi we esasy çalşygyň derejesiniň pesligi bilen baglydyr.

Ähli gomoýoterm organizmleriň çagalaryna mahsus bolan bir häsiýet bar – ol **tahimetabolizmdir**, ýagny – olaryň bedeninde madda çalşygynyň tizliginiň uly bolmagydyr. Poýkilotermlieriň çagalarynyňkydan bu ululyk 6-8 esse uludyr. **Çagalaryň organizmindäki esasy ýylylyk çeşmeleri goňur ýag dokumasy we myşsalardyr.** Täze doglan çagalarda üşemekden titremek hadysalary bolup geçmeýär.

Şeýlelikde, organizmiň ösüşi we onuň ölçegleriniň ulalmagy bilen baglanyşykly ontogeneizde energetiki çalşygyň üýtgemegi metabolizmiň intensiwliginiň kiçelmegi bilen bolup geçýär.

V. SES. AKUSTIKA

5.1. SESIŇ TEBIGATY. SES TOLKUNLARYNYŇ FIZIKI HÄSIÝETLENDIRMELERI

Maýyşgak gurşawy düzýän bölejikleriň boý tolkunlary görnüşinde ortaça 16-20000 Gs (Gers) ýygylýkly, adam gulagy tarapyndan eşidilýän çäklerde ýaýraýan yrgyldylaryna *ses yrgyldylary* ýa-da *ses* diýilýär.

Sesler şu aşakdaky toparlara bölünýärler:

- 1 – tonlar ýa-da saz sesleri;
- 2 – ses galmagallary;
- 3 – urgy sesleri.

1. Tonlar.

Amplitudasy we ýygylýgy wagta baglylykda hemişelik ýa-da käbir kanunalaýyklyk boýunça üýtgeýän yrgyldylardan ybarat bolan sese *ton* diýilýär. Ýa-da, başgaça aýdylanda, periodiki prosesden ybarat bolan sese *ton* diýilýär.

Gurşawy düzýän bölejikleriň yrgyldylarynyň görnüşine baglylykda ýönekeý (garmoniki) we çylşyrymly (angarmoniki) tonlary tapawutlandyryrlar.

Ýönekeý (ýa-da arassa, sap) tony kamertonyň ýa-da ses generatorynyň üsti bilen almak bolar. Arassa tonuň esasy fiziki häsiýetlendirmesine ýygylýk degişlidir.

Çylşyrymly tona saz gurallarynyň sesleri, adam gürländäki çekimli sesler we ş.m degişlidirler.

Sesiň tony ýygylýk (ýa-da period), amplituda we ýygylýgyň görnüşü ýa-da onuň garmoniki spektri bilen, şeýle hem ses tolkunlaryna degişli bolan intensiwlik (ýa-da sesiň güýji) we sesiň basyşy bilen häsiýetlendirilýär.

2. Ses galmagaly.

Ses galmagaly diýilip çylşyrymly, wagta görä baglanyşykly gaýtalanmaýan sese aýdylýar. Maşynlaryň seslerini, el çarpyşmalary, çygşyldyny, gapyň jygyldysyny, adam gürländäki çe-

kimsiz sesleri, suw çüwdürimleriniň döredýän seslerini we ş.m ses galmagalyna mysal hökmünde görkezmek bolar.

Ses galmagalyna tertipsiz üýtgeýän çylşyrymly tonlaryň utgaşmasy hökmünde seretmek bolar.

3. Urgy sesleri.

Tarkyldy, gümpüldi, partlama, gök gürlände we ş.m ýaly gysgawagtlaýyn ýüze çykýan ses täsirlerine urgy sesleri diýilýär. (Urgy sesleri urgy tolkun bilen garyşdyrylmaly däldir).

Sesiň intensiwligi ýa-da güýji (I) diýilip ses tolkunynyň energiýa akymynyň (W) onuň ýaýramak ugruna perpendikulýar bolan meýdan birligine (S) gatnaşygy bilen kesgitlenýän ululyga aýdylýar, ýagny:

$$I = \frac{W}{S} = \frac{W_{ort}}{St} \quad (23) \quad \text{çünki} \quad W = \frac{W_{ort}}{t}$$

bu ýerde:

W – ses tolkunynyň energiýa akymy, ölçeg birligi [Wt];

S – ses tolkunynyň geýýän üst meýdany, ölçeg birligi [m²];

W_{ort} – geýýän ses tolkunynyň ortaça energiýasy;

t – ses tolkunynyň energiýa akymynyň geýýän wagt aralygy, ölçeg birligi [s].

Sesiň intensiwligi $\frac{Wt}{m^2}$ ýa-da $\frac{mkWt}{sm^2}$ birliklerde ölçelýär.

Ses tolkunynnda bölejikleriň toplanýan (dykyzlanýan, ýygjamlaşýan) ýerlerinde döreýän goşmaça (ýagny daşky gurşawyň ortaça basyşyndan artykmaç bolan) basyşyň effektiv (ortakwadratiki) bahasyna **sesiň basyşy** ýa-da **akustiki** basyş “P” diýilýär. Ol [Pa] – Paskal ýa-da $\left[\frac{\text{din}}{\text{sm}^2}\right]$ ölçeg birliklerinde ölçelýär ($\frac{\text{din}}{\text{sm}^2}$ birlige başgaça **akustiki bar** diýilýär).

Tekiz garmoniki tolkun üçin sesiň basyşy “P” sesiň intensiwligi “I” bilen şeýle arabaglanyşykda bolýar:

$$I = \frac{P^2}{2\rho c} = \frac{P^2}{2\omega} \quad (24)$$

bu ýerde $\omega = \rho c$ – gurşawyň **udel akustiki garşylygy**;

ρ – gurşawyň dykyzlygy;

c – sesiň tizligi.

Udel akustiki garşylyk gurşawyň akustiki häsiýetleriniň esasy häsiýetlendirmesi bolup durýandyr.

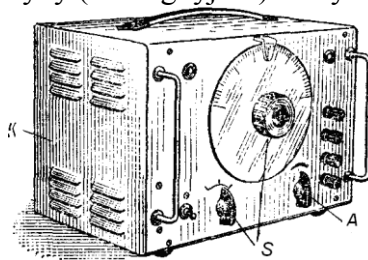
Gurşawda erkin ýaýraýan sese **ylgaýan tolkun** hökmünde seretmek bolar. Gurşawyň çäklendirilen ýerlerinde **duruý ses tolkunlary** döreýärler.

Ses tolkunynyň yrgyldy ýygylgy bilen gurşawyň bölek ýeriniň (uçastogynyň) öz hususy ýygylgy gabat gelen ýagdaýynda (ýa-da olar kratnyý gatnaşykda bolanda) yrgyldylaryň amplitudasy birden (üzül-kesil) ýokarlanýar. Bu hadysa **sesiň rezonansy** diýilýär we ol sesi güýçlendirmek üçin ulanylýar.

Adatça degişli ölçegli we görnüşli boşluklary doldurýan howa sütünleri (toplumlary) **ses rezonatorlary** bolup hyzmat edýärler. Eger-de rezonatora çylşyrymly ses tolkuný düşýän bolsa, onda bu ýagdaýda diňe rezonatoryň öz hususy ýygylgyna gabat gelýän ýa-da oňa bitin (kratnyý) gatnaşykda bolan garmoniki tonlar güýçlendirilýärler.

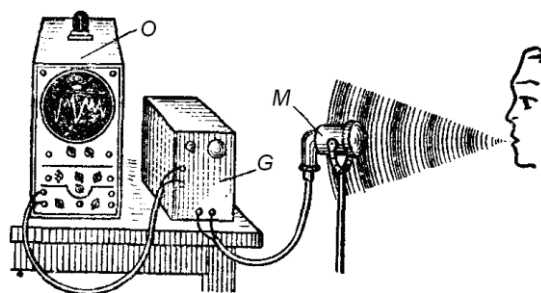
Ses barlaglarynda we onuň amaly ulanylyşynda ses yrgyldylarynyň elektrik yrgyldylaryna ýa-da elektrik yrgyldylarynyň ses yrgyldylaryna bolan özara öwürülmeleri ulanylýarlar. Mysal üçin, garmoniki tonlaryň standart çeşmesi bolup **ses generatory** hyzmat edýär. **Ses generatory** – bu ses ýygylklarynyň diapazonynda işleýän elektrik yrgyldylarynyň generatorydyr. Şeýle generatorda elektrik yrgyldylary telefonyň ýa-da dinamigiň kömegi bilen edil şuna meňzeş görnüşli we ýygylkly ses yrgyldylaryna öwürülýärler.

5.1-nji suratda ZG-10 kysymly ses generatory görkezilendir. Bu suratda: K – generatoryň korpusy; S – yrgyldynyň ýygylgyny sazlaýan basgançakly we aýlanýan geçirijiler – towlawaçlar; A – yrgyldynyň amplitudasyny (sesiň güýjüni) emaý bilen sazlaýan geçiriji – towlawaç.



5.1-nji surat.

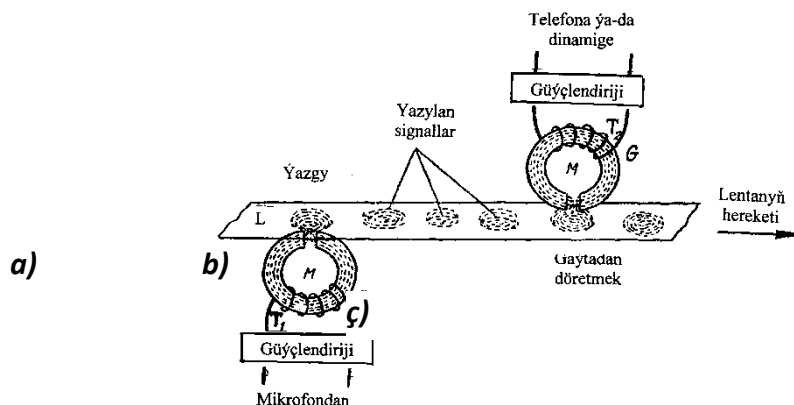
Mikrofonyň kömegi bilen ses yrgyldylaryny edil şuna meňzeş ýygylkly we görnüşli elektrik yrgyldylaryna öwürmek bolýar. Bu, mysal üçin, ses yrgyldylarynyň görnüşleri öwrenilende ulanylýar (5.2-nji surat). Şunlukda, elektrik yrgyldylary güýçlendirilenden soň olar elektron şöhle ossillografyna berilýärler we onuň ekranynda gözegçilik edilýärler (5.2-nji suratda: M – mikrofon; G – güýçlendiriji; O - ossillograf).



5.2-nji surat.

Häzirki wagtda sesiň magnit ýazgysyny ulanmaklyk giňden ýaýrandyr. Ýazgy, 5.3-nji suratda görkezilişi ýaly, ýörite ferromagnit maddasynyň ýuka gatlagy bilen örtülen lentada amala aşyrylýar. Ses signallary mikrofonyň kömegi bilen elektrik signallaryna özgerdiliýärler we olar güýçlendirijide güýçlendirilenden soň ýazgy ýazýan G – golowkanyň (başjagazyň) T_1 – tegegine beriliýärler (5.3-nji surat “a”). Tegegiň serdeçnigi güýçli hemişelik magnitden (M) ybaratdyr, onuň polýuslarynyň aralygyndaky boşlugyň ýanynda lenta (L) deňölçegli hereketlenýändir. Elektrik signallary polýusyň aralygyndaky boşlukda magnit meýdanynyň yrgyldylaryny döredýärler, olar lentany örtýän maddanyň üsti bilen utgaşyp, ony (ýagny lentany) magnitlendirýärler. Şeýlelik bilen ses signallary lentany örtýän maddanyň galyndyly magnitlendirilýän ýerleriniň (uçastoklarynyň) görnüşi hökmünde lenta ýazylýarlar. Ol ýazylýan ýerler (uçastoklar) ses signallarynyň häsiýetine baglylykda magnit meýdanynyň dürli konfigurasiýasyna (görnüşine) we güýjenmesine eýedirler (5.3-nji surat “b”).

Sesi gaýtadan ýüze çykarmak üçin ýazgy ýazylan lenta sesi dörediji (gaýtalaýjy) golowkanyň (başjagazyň) polýuslarynyň arasyndaky boşlugyň ýanynda hereketlendiriliýärler. Sesi gaýtadan ýüze çykarýan gurluş edil sesi ýazýan gurluşa meňzeşdir. Lentada signallaryň magnit meýdany golowkanyň (başjagazyň) hemişelik magnitiniň meýdany bilen goşulyşýar we jemleýji meýdanyň yrgyldylaryny döredýär.



5.3-nji surat.

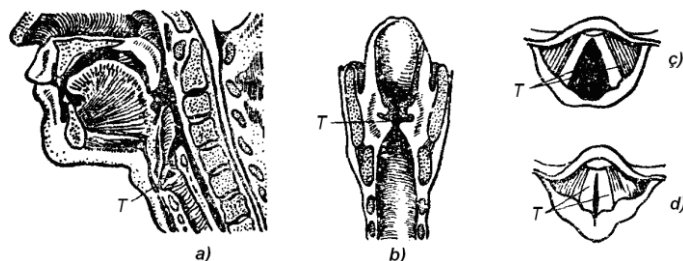
Şuňa baglylykda “ T_2 ” tegekde elektrik yrgyldylary induktirlenýärler, olar güýçlendirilenden soň telefona ýa-da dinamige beriliýärler, ol ýerde bolsa olar gaýtadan ses yrgyldylaryna öwürüliýärler (5.3-nji surat “ç”).

Adatça giriş hem-de çykyş elektrik signallary bir gurluşda güýçlendiriliýärler we ol enjama bütewilikde **magnitofon** diýilýär.

5.2. ADAMYŇ SES DÖREÝIŞ (GÜRLEÝIŞ) WE EŞIDIŞ ULGAMYNYŇ GURLUŞYNYŇ FIZIKI ESASLARY

Adam sesiniň ses tolkunynyň ses tarjagazlarynyň (T) kömegi bilen bokurdakda (traheýanyň ýokarky böleginde) döreýär. Ses tarjagazlary bogazyň gapdal diwarjyklaryndaky iki gasyndan (epinden) ybaratdyr, olarda myşsa we çäýe süýümler saklanýarlar (5.4-nji surat “a”, “b”).

Rahat ýagdaýda dem alnanda tarjagazlaryň arasynda giň ses ýşy döreýär, onuň içinden howa aňsatlyk bilen geçýär (5.4-nji surat “ç”). Ses dörende tarjagazlaryň myşsa süýümleri dartgynly ýagdaýa geçýärler we tarjagazlaryň boş uçlary (gyralary) ýşyň öz tekizliginde (ýagny bogazyň okuna perpendikulýar ugurda) yrgyldyly herekete gelýärler, bu bolsa onuň periodiki daralmagyna we giňelmegine getirýär (5.4-nji surat “d”).



5.4-nji surat.

Şunlukda dem goýberilende ýşdan geçýän howa akymynda gezekleşip gelýän dykyzlanýan (ýygjymlaşýan) we selçeňleşýän uçastoklar döreýärler hem-de howa bölejikleriniň *boý yrgyldylary* ýüze çykýar. Şeýlelik bilen **esasy ses tolkunyny** döreýär. Bu tolkunynyň yrgyldyly ýygjylygy we intensiwligi (sesiň güýji) ses tarjagazlarynyň güýjenme derejesine we dowamlylygyna, şeýle hem ýşdan geçýän howanyň tizligine we basyşyna baglydyr.

Adam gürlýän wagtyndaky sesleriň gutarnykly kemala gelmegi we oňa individual tembriniň berilmegi bokurdak, agyz we burun boşluklarynda bolup geçýär. Olar **esasy tolkunda** bar bolan kesgitli garmoniki tonlary güýçlendirýän rezonatorlar bolup hyzmat edýärler. Mysal üçin, gürlenýän wagtyndaky sesleriň kemala gelmegi üçin agyz boşlugynyň göwrüminiň we formasynyň üýtgemekligi diliň, dişleriň we dodaklaryň özara ýerleşmelerindäki üýtgeşmeler esasynda amala aşyrylýar. Çylşyrymly tonlaryň häsiýetine eýe bolan çekimli sesler, esasan, şeýle döreýärler.

Çekimsiz sesler döredilende ýumşak kentlewük, diliň ujy we dodaklar yrgyldyly herekete gelýärler, şonuň üçin hem olar ýüze çykyş tebigaty boýunça tonlara däl-de, ses galmaýalaryna has ýakyndyr.

Eşidiş ulgamy ses tolkunynyň kabul edilişini kelle beýnisi bilen birleşdirýär.

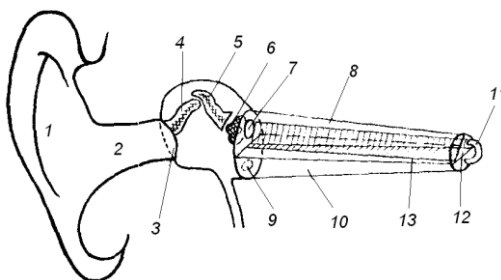
Kibernetiki düşünjeden peýdalanylýan, eşidiş ulgamyna informasiýany kabul ediji, gaýtadan işleýji we geçiriji ulgam diýip aýtmak bolar.

Eşidiş ulgamy **sesgeçiriji** we **seskabulediji** böleklerden durýandyr.

Eşidiş prosesinde bolup geçýän fiziki hadysalara düşünmeklik üçin eşidiş ulgamyndan **daşky (1), orta (2)** we **içki (3)** gulaga aýratynlykda seredip geçeliň.

1. Daşky gulak.

Daşky gulak gulak rakowinasyndan (çukurjygyndan) (1) we daşky gulak ýolundan (2) ybaratdyr (5.5-nji surat).

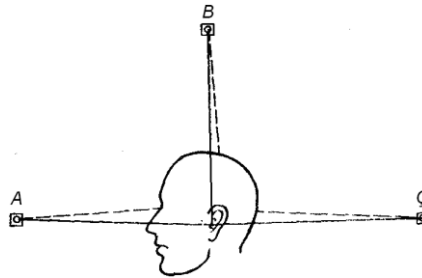


5.5-nji surat.

1 – gulak rakowinasy (çukurjygy); 2 – daşky gulak ýoly; 3 – deprek (gulak) perdesi; 4 – çekiçjik; 5 – sandal; 6 – üzeňňjik; 7 – süýri “äpişge”; 8 – westibulýar (girelge) basgançagy; 9 – tegelek “äpişge”; 10 – gulakperde (deprek) basgançagy; 11 – gelikotrema; 12 – ulitka kanaly; 13 – esas (bazilýar) membrana.

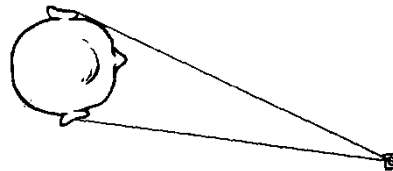
Adamyň gulak rakowinasy eşi diş prosesinde möhüm orny eýeleýän dälendir. Ol ses çeşmesi sagittal tekizlikde ýerleşýän ýagdaýynda onuň lokalizirlenen ýerini kesgitlemeklige mümkinçilik berýär.

Muňa düşündiriş bereliň. Goý, ses çeşmesinden ses gulak çukurjygyna düşýär diýeliň. Ses çeşmesiniň wertikal tekizlikde ýerleşýän ýagdaýyna görä ses tolkunlary gulak çukurjygyna dürli görnüşde difragirlenerler (5.6-njy surat). Bu daşky gulak ýoluna düşýän ses tolkunlarynyň spektral düzüminiň dürli ýagdaýda üýtgemekligine getirer. Adam özüniň durmuş tejribesi esasynda ses tolkunynyň spektriniň üýtgemekligini sesiň çeşmesiniň ýerleşýän ugry bilen assosirlenmäge öwrenipdir (5.6-njy suratdaky A, B we Ç ugurlar).



5.6-njy surat.

Iki seskabulediji gurluşa (ýagny gulaga) eýe bolmak bilen, adamlar we haýwanlar ses çeşmesiniň ýerleşýän ýerini (ugruny) kesgitlemeklige ukyplydyrlar – muňa **binaural effekt** diýilýär (5.7-nji surat). Bu ses çeşmesinden sesiň çep we sag gulaga çenli dürli aralygy geçýändigini bilen we gulak çukurjyklaryna düşýän tolkunlarda fazalaryň tapawudynyň döreýändigini bilen düşündirilýär.



5.7-nji surat.

Ses tolkunlary tarapyndan geçilýän aralyklaryň tapawudy “ δ ” we tolkunlaryň faza tapawudy “ $\Delta\varphi$ ” şeýle deňlikler bilen kesgitlenýärler:

$$\delta = \frac{\lambda}{2\pi} \Delta\varphi \quad \text{ýa-da} \quad \Delta\varphi = \frac{2\pi}{\lambda} \delta \quad (25)$$

bu ýerde λ – sesiň tolkun uzynlygy

Ses çeşmesiniň dürli ýerleşiş ýagdaýyna seredip geçeliň.

a) Eger sesiň çeşmesi göni adamyň önünde ýerleşýän bolsa, onda $\delta = 0$ we $\Delta\varphi = 0$.

b) Eger sesiň çeşmesi gapdalda, çep ýa-da sag gulak tarapda ýerleşýän bolsa (mysal üçin, sag gulak tarapda, 5.7-nji surat), onda çep gulagyň çukurjygyna ses giç (ýagny yza galyp) geler. Bu ýagdaýda “ δ ” takmynan iki gulagyň çukurjyklarynyň arasyndaky aralyga deňdir diýilip hasap edeliň. 25-nji deňlik boýunça ses tolkunlarynyň ýygylgy 1 kGs (kiloGers) we $\delta=0,15\text{m}$ diýip hasap etmek bilen tolkunlaryň faza tapawudyny kesgitlemek bolar. Ol takmynan 180° -sa deňdir (ýagny $\Delta\varphi=180^\circ$).

Gorizontalk tekizlikde seredilýän sesiň çeşmesiniň dürli ýerleşiş ýagdaýyna (ugruna) 0° bilen 180° aralygyndaky (0° - 180°) fazalaryň tapawudy deňişli bolup biler (ýokarda seredilip geçilen maglumatlara laýyklykda). Kadaly eşi diýän adam sesiň çeşmesiniň ýerleşýän ugruny 3° -sa çenli

takyklyk bilen kesgitlep bilmeklige ukyplydyr diýilip hasap edilýär, bu 6° fazalaryň tapawudyna degişlidir. Şoňa görä-de adam gulaklaryna düşýän ses tolkunlarynyň fazalarynyň tapawudynyň üýtgemekligini 6°-sa çenli takyklyk bilen tapawutlandyryp bilýär diýip aýtmak bolar.

Tolkunlaryň faza tapawudyndan başga-da **binaural effektiň** ýüze çykmaklygyna sag we çep gulaga düşýän sesiň intensiwliginiň birmeňzeş bolmazlygy, şeýle hem kelläniň bir gulak üçin döredýän “akustiki kölegesi” sebäp bolup biler.

Sesiň ses çeşmesinden çep gulaga difraksiýa netijesinde düşýändigini 5.7-nji suratda shematiki görnüşde görkezilendir.

Ses tolkunyny daşky eşidiş ýolundan geçip deprek (gulak)

perdesiniň (3) üstüne düşende, ol bu perde tarapyndan kem-käsleýin serpikdirilýär. Düşýän we serpikdirilen tolkunlaryň interferensiýasy netijesinde **akustiki rezonans** döräp biler. Bu ýagdaý haçan-da tolkun uzynlygy gulagyň daşky eşidiş ýolunyň uzynlygyndan dört esse uly bolanda döräp biler. Adamyň gulagynyň daşky eşidiş ýolunyň uzynlygy takmynan 2,7 sm deňdir.

Onda biz akustiki zeronansyň tolkun uzynlygynyň nähili ýygylgynda döräp biljekdigini kesgitleliň:

$$\nu = \frac{c}{\lambda} = \frac{331 \frac{m}{s}}{4 \cdot 2,7 \cdot 10^{-2} m} = \frac{331}{10,8 \cdot 10^{-2}} = 3064,8Gs \approx 3kGs$$

Diýmek, akustiki rezonans takmynan 3 kGs ýygylgyda döreýär.

b) Orta gulak.

Orta gulagyň iň möhüm böleklerine deprek perdesi [Dp] (3) we eşidiş süňkjagazlary bolan çekiçjik (4), sandal (5) we üzeňňijik (6) degişlidirler. Olar özlerinde degişli myşsalar, siňirleri we baglaýjylary saklaýandyrlar.

Süňkjagazlar mehaniki yrgyldylary daşky gulagyň howa gurşawyndan içki gulagyň suwuk gurşawyna geçirmekligi amala aşyrýarlar.

Içki gulagyň suwuk gurşawynyň tolkun garşylygy takmynan suwuň tolkun garşylygyna deňdir. Ses tolkunyny howadan suwa geçende onuň düşýän intensiwliginiň bary-ýogy 0,122%-i suwa geçirilýär, bu bolsa örän az ululyk bolup durýandyr. Şoňa görä-de orta gulagyň esasy wezipesi içki gulaga geçirilýän sesiň intensiwligini ýokarlandyrmak bolup durýandyr. Başgaça, tehniki dilde aýdylanda, orta gulak howanyň we içki gulakdaky suwuklygynyň tolkun garşylyklaryny sazlaýjy (biri-birine gabat getiriji) gurluş hökmünde çykyş edýandyr.

Süňkjagazlar ulgamynyň bir ujundaky çekiçjik (4) deprek perdesi (3) bilen birleşýär; beýleki ujundaky üzeňňijik bolsa (6) içki gulagyň süýri “äpişgesi” (deşigi) (7) bilen birleşýär (5.5-nji surata seret). Deprek perdesiniň meýdany (S_1) 64mm^2 -deňdir (ýagny $S_1=64\text{mm}^2$); süýri “äpişgäniň” meýdany (S_2) 3mm^2 -deňdir (ýagny $S_2=3\text{mm}^2$).

Ses tolkunyny deprek perdesine “ P_1 ” – basyşly “ F_1 ” güýç bilen täsir edýär:

$$F_1 = P_1 S_1 \quad (26)$$

Şunlukda içki gulagyň tegelek “äpişgesine” (deşigine) (9) F_2 güýç täsir edýär, ol suwuk gurşawda “ P_2 ” ululykly ses basyşyny döredýär. Bu ululyklar şeýle arabaglanyşykda bolýarlar:

$$F_2 = P_2 S_2 \quad (27)$$

Süňkjagazlar ulgamy içki gulak tarapyndan güýçde 1,3 esse utýan ryçag hökmünde işleýärler (5.8-nji suratda ol shematiki görnüşde görkezilendir), şoňa görä-de şeýle ýazmak bolar:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1} \quad (28)$$

26-njy deňligi 27-nji deňlige bölüp we ony 28-nji deňlige deňläp alarys:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{P_1 S_1}{P_2 S_2} = \frac{\ell_2}{\ell_1}$$

bu ýerden:

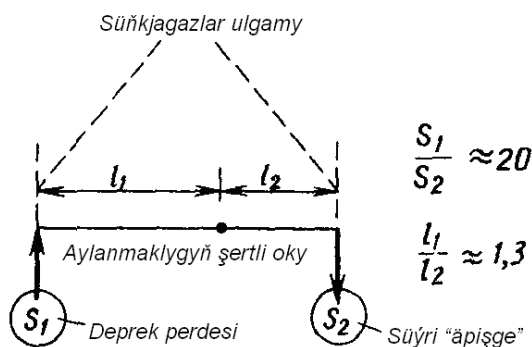
$$\frac{P_2}{P_1} = \frac{S_1 \cdot \ell_1}{S_2 \cdot \ell_2} = 20 \cdot 1,3 = 26$$

Bu ululygy logarifmiki birliklerde aňladyp, alarys:

$$L_{dB} = 20 \lg \left(\frac{P_2}{P_1} \right) = 20 \lg 26 = 20 \cdot 1,415 \approx 28 dB$$

Daşky gurşawyň (howanyň) ses basyşyny orta gulak şeýle derejede ulaldyp içki gulaga geçirýär, ýagny basyş içki gulakda 17 esse ulalýar.

Orta gulagyň beýleki bir möhüm funksiýasy **içki gulagy** has güýçli (gaty) sesleriň täsiri astynda döreýän aşa mehaniki ýüklenmelerden **goramak** bolup durýandyr. Bu ýagdaý sesiň intensiwligine (güýjüne) baglylykda üzeňňijigiň (6) yrgyldamak häsiýetiniň üýtgemekliginiň hasabyna gazanylýar. Sesiň basyşynyň bosaga we ondan ýokary ululyklarynda üzeňňijik porşen ýaly şüýşýär (yrgyldaýar). Onuň süýşmesiniň absolýut bahasy örän kiçidir we ol deprek perdesiniň hereketini gaýtalaýandyr.



5.8-nji surat.

Deprek perdesiniň süýşmek ululygyny kesgitläp bolýandyr. Deprek perdesiniň galyňlygy ses tolkunlarynyň uzynlygy bilen deňeşdirilende örän kiçidir we onuň orun üýtgetmesiniň tizligi howadaky tekiz tolkunynyň bölejikleriniň tizligi bilen gabat gelýändir. Tolkundaky bölejikleriň orun üýtgetmesiniň ortaça tizligi (v_{ort}) sesiň basyşy (p), tolkunynyň ýaýramak tizligi (C) we howanyň dykzlygy (ρ) bilen şeýle arabaglanyşyk boýunça kesgitlenýär:

$$v_{ort} = \frac{p}{(\rho \cdot c)} \quad (29)$$

Şol bir wagtda bölejikleriň orun üýtgetmesiniň ortaça tizligi bilen süýşmek amplitudasynyň (ℓ) arasynda şeýle arabaglanyşyk bardyr:

$$\ell = \frac{v_{ort}}{2\pi\nu} \quad (30)$$

bu ýerde ν – ses tolkunynyň ýygyllygy.

29-njy deňlige howanyň dykzlygynyň “ ρ ”, sesiň ýaýramak tizliginiň “ C ” we sesiň bosaga basyşynyň “ p_o ” ($\rho = 1,3 \frac{kg}{m^3}$; $C = 3,4 \cdot 10^2 \frac{m}{s}$; $P_o = 2 \cdot 10^{-5} Pa$) bahalaryny goýmak bilen, deprek

perdesiniň süýşmek tizligini tapmak bolar ($V_{ort} = 5 \cdot 10^{-8} \frac{m}{s}$). Onda 30-njy deňlik boýunça

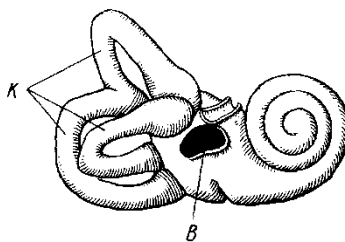
perdaniň süýşmek aralygyny taparys, ol 10^{-11} m deňdir (ýagny $\ell=10^{-11}$ m). Bu ululyk atomyň radiusyndan hem kiçidir. Eger sesiň güýjüni 130 dB çenli ulaltsak, onda gulak agyryny duýup başlaýar; 155-160 dB-de bolsa deprek perdesi bozulýar.

Eger sesiň basyşynyň pes ululyklarynda üzeňňijigiň süýşmesi amaly taýdan deprek perdesiniň hereketini gaýtalaýan bolsa, onda sesiň güýjüniň ýokarlanmaklygy bilen üzeňňijigiň yrgyldy häsiýeti hem üýtgeýär. Sesiň güýjüniň orta bahalarynda üzeňňijik *süýri “äpişganiň”* bir ujunda wertikal okuň daşynda yrgyldyly hereketine başlaýar (*edil açylýan we ýapylýan gapy ýaly*). Sesiň has ýokary intensiwliginde üzeňňijik süýri “äpişganiň” gorizont alokunyň daşynda aýlanma hereketine başlaýar, şunlukda onuň bir ujy süýri “äpişgä” basylýar, beýleki ujy bolsa ters tarapa hereketlenýär. Şeýlelik bilen, içki gulakdaky suwuklygyň kadaly ýagdaýdan artyk güýçli hereketiniň ýüze çykmaklygynyň öňi alynýar. Üzeňňijigiň hereketiniň şeýle häsiýetde üýtgemegi içki gulagy duýdansyz güýçli derejede ýüze çykýan sesler tarapyndan döredilip bilinjek mehaniki şikeslenmelerden goramak üçin möhüm ähmiýete eýedir (mysal üçin, partlamalarda, haçan-da goragyň islendik reflektor mehanizmi amala aşyrylyp ýetişilmeýän wagtynda).

Daşky we orta gulak *sesgeçiriji ulgama* degişlidirler. Içki gulak *seskabulediji ulgam* bolup durýandyr.

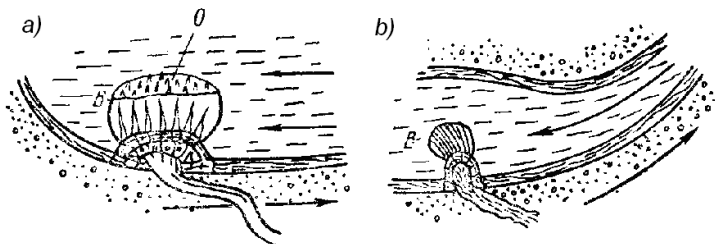
ç) Içki gulak.

Ulitka (eşidiş perdesi) içki gulagyň esasy bölegi bolup durýandyr, ol mehaniki yrgyldylary elektrik signallaryna öwürýändir. Şeýle hem içki gulaga westibulýar (deňagramlylyk) ulgamy degişlidir, ýöne onuň eşidiş funksiýasyna hiç hili dahyly ýokdur (5.9-njy surat).



5.9-njy surat.

Westibulýar ulgam üç özara perpendikulýar bolan ýarymaýlawly kanallardan (K) we girelge (bosaga) boşlugyndan (B) ybaratdyr. Girelgäniň diwarlarynyň içki üstünde we şeýle hem ýarymaýlawly kanallaryň giňelýän ýerlerinde duýgur nerw öýjükleriniň topary ýerleşýändir, olaryň uçlary tüýler bilen örtülendirler (5.10-njy surat “a”, “b”).



5.10-njy surat.

Girelgäniň (bosaganyň) we ýarymaýlawly kanallaryň içinde goýy massa (endolimfa) bardyr, ol özünde fosforturşy we komürturşy kalsiýniň ownuk kristallaryny saklaýar, olara *otolitler* (O) diýilýär (5.10-njy surat “a”).

Adam hereketlenende kelläniň orun üýtgetmesine baglylykda endolimfanyň we otolitleriň hereketini ýüze çykarýar, bu bolsa nerw öýjükleriniň tüýleriniň epilmegine (egrelmegine)

getirýär. Şunlukda olarda impulslar döreyär, olar endolimfanyň hereketiniň ugry we ululygy barada merkezi nerw ulgamyna (MNU) signal berýärler.

Kelläniň aýlaw hereketinde bu hadysalar esasan haýsy ýarymaýlaw kanal aýlaw tekizliginde ýerleşýän bolsa, onda şol kanalda hem ol has oňat bildirtýändir.

Kelläniň göniçyzykly hereketinde bolsa bu hadysalar girelgede (bosagada) ýüze çykýandyr we bu ýagdaýda, suwuklyk hereketiniň täsiri onuň bilen birlikde hereketlenýän otolit massasynyň täsiri tarapyndan güýçlendirilýändir.

Westibulýar ulgam, islendik beýleki fiziki ulgam ýaly, grawitasiýa täsirini ulgamyň beýleki hereketlerinde döreyän täsirden tapawutlandyryp bilýän däldir.

Adam organizmi agyrlyk güýjüniň täsirine uýgunlaşandyr. Adaty informasiýa westibulýar ulgamyň öýjükleri tarapyndan beýnä geçirilýär, ýöne haçan-da agramsyzlyk we aşa ýüklenmeler ýagdaýy dörän wagtynda organizm tarapyndan olar westibulýar ulgamyň (we beýleki organlaryň) üsti bilen adaty däl ýagdaý hökmünde kabul edilýär. Diýmek, organizmiň bu ýagdaýa uýgunlaşmak zerurlygy ýüze çykýar.

Eger adamyň westibulýar ulgamyna yzygider ýüze çykýan täsir bar bolsa, mysal üçin, korablyň çaykanmasy, onda bu ýagdaý organizmi *deňiz keseli* diýilip atlandyrylýan aýratyn ýagdaýa getirip biler.

Adamyň ulitkasy (eşidiş perdesi) uzynlygy 35 mm deň bolan süňk döremesi bolup durýandyr we ol sargy sany takmynan 3,75-e deň bolan konusşekilli spirala meňzeşdir. Onuň düýbünüň (esasynyň) diametri takmynan 9 mm-e; beýikligi bolsa takmynan 5mm-e deňdir.

Düşünmeklik amatly bolar ýaly 5.5-nji suratda ulitka açylan görnüşde görkezilendir. Ulitkada suwuklyk bilen doldurylan üç sany biri-birine parallel bolan kanal ýerleşýär. Olaryň biri süýri “äpişgeden” (7) başlanýar, oňa içki gulagyň *westibulýar (girelge) basgançagy* (8) diýilýär. Beýleki kanal tegelek “äpişgeden” (9) gelyär, oňa *gulakperde (deprek) basgançagy* (10) diýilýär. Westibulýar we deprek kanallary *perilimfa* bilen doldurylandyrlar we olar ulitkanyň depesinde özara kiçijik deşijek bilen (oňa *gelikotrema* (11) diýilýär) birleşýändirler. Şeýlelik bilen, bu iki kanal belli bir derejede bir bütewi ulgam bolup durýarlar. Üzeňijigiň (6) yrgyldylary (ýagny basyşyň täsiri astynda döreyän tolkunlar) süýri “äpişgäniň” (7) membranasyna, soň perilimfa we ondan soň tegelek “äpişgäniň” (9) membranasyna geçirilýärler we ony “pökgerdýärler”.

Westibulýar we deprek basgançaklarynyň arasyndaky boşluga *ulitka kanaly* (12) diýilýär, ol endolimfa bilen doldurylandyr. Ulitka kanaly (12) bilen deprek basgançagyň (10) arasynda ulitkanyň ugry boýunça *esas (bazilýar) membrana* (13) geçýär. Bazilýar membranada *kortiýew organ* ýerleşýar, ol özünde reseptor (tüýli) öýjükleri we nerw uçlaryny (ahyrlaryny) saklaýar; ulitkadan eşidiş nerwi gidýär (5.5-nji suratda bu aýdylanlar giňişleýin görkezilen däldirler).

Kortiýew organ (spirally organ) mehaniki yrgyldylary elektrik signallaryna özgerdiji ulgam bolup durýar.

Bazilýar membrananyň uzynlygy takmynan 32 mm-e deňdir. Bazilýar membrananyň ölçegleri uzynlygynyň ugry boýunça seredilende birmezeş däldir (ýagny dürli ululyklydyr). Süýri “äpişgeden” ulitkanyň depesine çenli ol giňelýär we galňaýar (ol 0,1mm-den 0,5 mm-e çenli giňelýär). Üzeňijigiň ýanynda ol dardyr, ýeňildir we depesine garanda maýyşgaklyk modulynyň ululygy takmynan 100-esse ýokarydyr. Bazilýar membrananyň mehaniki häsiýetleriniň birmeňzeş däldigine görä dürli ýygylkly tolkunlar onuň böleklerini dürli görnüşde herekete getirýärler.

Esas (bazilýar) membrana fiziki nukdaý nazardan seredilende örän tasin struktura bolup durýandyr, ol tolkunlary ýygylkly boýunça sazlap geçiriji häsiýete eýedir. Bazilýar membrana mehaniki oýandyrylyşy geçirýän birhilli (birdüzümlü) däl geçiriji madda bolup durýandyr. Akustiki täsir astynda bazilýar membrana boýunça tolkunlar ýaýraýarlar, şunlukda olar ýygylkly baglylykda dürli derejede togtaýarlar. Tolkunlaryň ýygylkly näçe pes boldugyça, onda olar şonça-da süýri “äpişgeden” uzak aralyga ýaýraýarlar we ondan soň togtap başlaýarlar.

Mysal üçin, 300 Gs ýygylkly tolkunlar süýri “äpişgeden” 25 mm aralyga ýaýrandan soň togtap başlaýarlar; 100 Gs ýygylkly tolkunlar bolsa 30 mm aralyga ýaýrandan soň togtap başlaýarlar.

Şular ýaly alnan netijeleriň esasynda **tonuň beýikliginiň kabul edilişiniň bazilýar membrananyň yrgyldysynyň maksimum ýagdaýy bilen kesgitlenýändigini** barada nazaryýet döredi.

Şeýlelik bilen, içki gulakda kesgitli funksional zynjyryň bardygy görünýär. Ol zynjyr şeýle görnüşe eýedir:

süýri “äpişgäniň” membranasynyň yrgyldysy → perilimfanyň yrgyldysy → bazilýar membrananyň çylşyrymly yrgyldysy → duýgur (tüyli) öýjükleriň gyjyndyrylyşy (kortiyew organynyň reseptorlary) → elektrik signalynyň generirlenmegi.

NERW IMPULSYNYŇ DÖREÝŞI

Eşidiş nerwinde nerw impulsy şeýle ýagdaýda doreýär. Bazilýar membrananyň hereketi (yrgyldysy) kortiyew organda ýerleşýän duýgur (tüyli) öýjükleriň deformasiýasyny döredýär. Tüyli öýjükleriň deformasiýasy olaryň sitoplazmatiki membranasyndaky potensiallaryň tapawudynyň bölekleyin depolýarlaşmagyna getirýär. Potensialyň şeýle üýtgeşmeleri afferent neýronlaryň miýelinizirlenmedik dendritlerine täsir edýär, olar tüyli öýjükleriň gapdal üsti we esasy bilen galtaşan ýagdaýda ýerleşýärler. Netijede eşidiş nerwleri oýandyrylýarlar. Kesgitli ýygylkly ses bazilýar membrananyň hereketlenmegine (yrgyldysyna) we nerw potensiallarynyň döremegine getirýär.

Adamyň eşidiş ulgamy juda duýgurdyr. Bosaga ses basyşynda deprek perdesiniň yrgyldylary (süýşmesi) 10^{-11} m deňdir. Bu ululyk atomyň radiusyndan kiçidir.

Deprek perdesiniň yrgyldysy tarapyndan döredilýän bazilýar membrananyň yrgyldysynyň amplitudasy bu ululykdan hem has kiçidir. Kortiyew organda gan damarlarynyň bolmaýandygy we şoňa görä-de gan basyşynyň pulsasiýasynyň duýgur (tüyli) öýjükleri herekete getirip eşidiş duýgusyny döretmeýändigini hut ýokarda agzalan yrgyldylaryň amplitudalarynyň örän kiçi ululykda bolmaklygy bilen düşündirilýändigini.

Kerligiň käbir görnüşleri ulitkanyň reseptor ulgamynyň zeperlenmegi bilen baglanyşyklydyr. Şeýle ýagdaýda ulitka mehaniki yrgyldylaryň täsiri astynda elektrik signallaryny generirläp bilýän däldir. Şular ýaly kerlere kömek berip bolýandyr, onuň üçin degişli elektrodlar ulitka implantirlenmelidir we olara edil mehaniki täsir astynda döreýän signallar ýaly elektrik signallar berilmelidir.

5.3. SESIŇ DUÝULYŞ HÄSIÝETLENDIRMELERI

Adamyň gulagy tarapyndan sesiň duýulmagynda onuň belentligi, gatylygy we tembri **subýektiw** tapawutlandyrylýarlar. Sesiň bu duýulyş häsiýetlendirmeleri yrgyldynyň ýygylgy, tolkunynyň intensiwligi we garmoniki spektr ýaly ses tolkunlarynyň **obyektiw** häsiýetlendirmeleri bilen baglanyşyklydyr. Bu arabaglanyşygy anyklamak we şeýlelik bilen dürli adamlaryň ses eşidiş derejesi barlananda olaryň **subýektiw sesi duýujylygyny obyektiw ölçegleriň maglumatlary** bilen özara birmeňzeş deňeşdirilmek mümkinçiligini gazanmak ses ölçegleri ulgamynyň esasy meselesi bolup durýandyr.

Adamyň gulagy tarapyndan eşidilýän ses tolkunlarynyň yrgyldylarynyň ýygylgyna **sesiň belentligi** hökmünde baha berilýär. Yrgyldy ýygylgy näçe ýokary boldugyça, onda ol şonça-da ýokary kabul edilýär, ýagny sesiň tony şonça-da belentdir. Ýa-da, başgaça aýdylanda, tonlary kabul etmek bilen, adam olary **belentligi** boýunça tapawutlandyrýar.

Sesiň belentligi, ilkinji nobatda, esasy tonuň ýygylgy bilen kesgitlenýän subýektiw häsiýetlendirmedir. Sesiň belentligi tolkunynyň intensiwligine has pes derejede baglydyr (şoňa görä-de ol amaly taýdan göz önünde tutulýan däldir).

Sesiň belentligine baha bermek üçin gulak tarapyndan kabul edilýän tonuň ähli diapazonlary *oktawa* diýilip atlandyrylýan interwallara bölünýärler.

Oktawa – bu iň gyraky ýygylklarynyň gatnaşygy ikä deň bolan tonlaryň belentligi arasyndaky interwaldyr, ol gatnaşyklar 3-nji tablisada görkezilendir.

3-nji tablisa

Oktawa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ýygylklaryň çäkleri, Gs	16 32	32 64	64 128	128 256	256 512	512 1024	1024 2048	2048 4096	4096 8192	8192 16384

Esasy ýygylgy birmeňzeş bolan çylşyrymly tonlar özara biri-birlerinden yrgyldylarynyň görnüşi we degişlilikde, garmoniki spektrleri boýunça tapawutlanyp bilerler. Şeýle tapawutlylyk gulak tarapyndan **sesiň tembri** hökmünde kabul edilýär. Mysal üçin, dürli adamlar gürlände ýüze çykarylýan esasy ýygylklary boýunça birmeňzeş bolan çekimli sesler tembrleri boýunça tapawutlanýarlar.

Tembr esasan sesiň spektral duzümi boýunça kesgitlenýär.

Sesiň gatylygy onuň ýene-de bir **subýektiw görkezijileriniň** biri bolup durýandyr, ol gulagyň sesi eşidiş derejesini häsiýetlendirýän ululykdyr.

Sesiň gatylygy sesiň duýulyşynyň bosaga duýulyşyndan¹ ýokary bolan derejesini görkezýär.

Sesiň gatylygy ilkinji nobatda onuň intensiwligine (I) baglydyr. Bu baglanyşyk çylşyrymly häsiýete eýedir we ol gulagyň ses tolkunlarynyň täsirine bolan duýujylygyny kesgitleýändir.

Duýujylyk – bu gulagyň fiziologiki häsiýetidir, ýöne ol öz gezeginde, ses tolkunlarynyň fiziki häsiýetlendirmelerine, ýagny yrgyldylarynyň ýygylgyna we tolkunynyň intensiwligine (sesiň güýjüne) baglydyr. Bularyň birinjisi gulagyň **seskabulediji ulgamynyň** öz hususy tebigaty bilen baglanyşyklydyr; ikinjisi bolsa (ýagny yrgyldylaryň ýygylgy we tolkunlaryň intensiwligi) ähli duýujy organlar üçin umumy bolan häsiýetdir we oňa gyjyndyryş güýjüne bolan **uýgunlaşmak** hadysasy diýilýär.

Uýgunlaşmaga baglylykda gulagyň duýujylygy gyjyndyryjy güýje (ýagny sesiň intensiwligine) görä üýtgeýär: sesiň intensiwligi ýokarlandygyça gulagyň duýujylygy peselýär we tersine. Şu aýdylanlara baglylykda gulak tarapyndan intensiwligi örän giň diapazonda bolan sesler kabul edilýär. Ýöne öna garamazdan yrgyldylaryň edil şol bir ýygylgynda-da sesiň gatylygy bilen intensiwligi arasynda göni arabaglanyşyk ýokdur.

Tejribeleriň görkezişi ýaly, gulagyň uýgunlaşmasyna baglylykda duýulyş derejesiniň görkezijisiniň iň kiçi bildirdýän ululyga çenli (ΔL) üýtgetmeklige getirýän gyjyndyryjy güýjüň artdyrmasyynyň (ΔI) ilkibaşdaky gyjyndyryjy güýje (I) bolan gatnaşygy $\frac{\Delta I}{I}$ ähli gyjyndyrylyş diapazonynda hemişelik ululykda galmaklygy bilen häsiýetlendirilýändir. Ýa-da, başgaça aýdylanda, gyjyndyrylyşy geometriki progeşsiýada (ýagny birmeňzeş esse) ýokarlandyrsak, onda onuň (ýagny gyjyndyrylyşyň) duýulyşy arifmetiki progeşsiýada (ýagny birmeňzeş ululykda) artýar. (**Weberiň – Fehneriň psihofiziki kanuny**).

Şu aýdylanlary berlen ýagdaýa görä ulanyp we ony differensial görnüşde aňladyp, alarys:

$$dL = k \frac{dI}{I} \quad (30)$$

¹ Gyjyndyrylyş bosagasy diýilip gulagyň minimal jogap reaksiýasyny ýa-da degişlilikde onuň duýujylygyny ýüze çykarýan gyjyndyryş güýjüne (intensiwligine) aýdylýar. Olara (ýagny minimal jogap reaksiýasyna ýa-da duýujylyga) degişlilikde **reaksiýa bosagasy** ýa-da **duýulyş bosagasy** diýilýär.

bu ýerde: dL – sesiň gatylyk derejesiniň elementar artdyrmasy;

I – başlangyç (ilkibaşdaky) intensiwlik;

dI – intensiwligiň artdyrmasy, ol gatylyk derejesini “ dL ” ululyga üýtgemeklige getirýär;

k – proporsionallyk koeffisiýenti, ol ýygylýa we intensiwlige baglydyr.

Onda sesiň berlen intensiwliginde (I) gatylygyň derejesi (dL) bu aňlatmany intensiwligiň I_0 derjesinden I derejä çenli bolan çäklerde integrirlemek usuly bilen tapylar, ýagny:

$$dL = \int_{I_0}^I k \frac{dI}{I} = k \ln \frac{I}{I_0} \quad (31)$$

bu ýerde I_0 – gatylygyň nol derejesine, ýagny eşidiş bosagasynda degişli bolan intensiwlik.

Bu ýerden şeýle netije gelip çykýar: **berlen sesiň gatylyk derejesi (yrgyldynyň şol bir ýygylýgynda) onuň logarifmiki ululyklarda alnan I intensiwliginiň eşidiş bosagasyň häsiýetlendirýän I_0 intensiwlige bolan gatnaşygyna göni proporsionaldyr.** (Weberiň – Fehneriň psihofiziki kanuny).

5.4. SES ÖLÇEGLERI

Gulagyň uýgunlaşma häsiýetini suratlandyran sesiň intensiwliginiň üýtgemekligine baglylykda gatylyk derejesiniň üýtgemekligi arasyndaky logarifmiki arabaglanyşyk ses ölçegleri ulgamynyň esasyňy düzýändir. Sesiň gatylygynyň ýygylýa bolan baglanyşygyny aradan aýyrmak üçin ses ölçegleri ulgamynda **1000 Gs ýygylýkly ton nusga (etalon) tony hökmünde** seredilip geçilýär.

Mundan başga-da, natural logarifmiň derejine bu gatnaşyga onluk logarifm girizilýär, ölçegler bolsa otnositel birlikde görkezilýär (şoňa görä-de $k=1$ diýilip alynýar).

Onda (1000 Gs ýygylýkly ton üçin) sesiň I -intensiwliginde gatylygyň ΔL derejesi otnositel ölçeg birliklerinde şeýle kesgitlener:

$$\Delta L = \lg \frac{I}{I_0} \quad \text{haçan-da} \quad v_{\text{etalon}} = 1000 \text{ Gs bolanda}$$

Sesiň intensiwligini ölçemek üçin ölçeg birlikleriniň şkalasy şu aşakdaky ýaly düzülendir.

Nol dereje üçin sesiň degişlilikde şeýle intensiwligi (I_0) ýa-da basyşy (Δp_0) kabul edilendir:

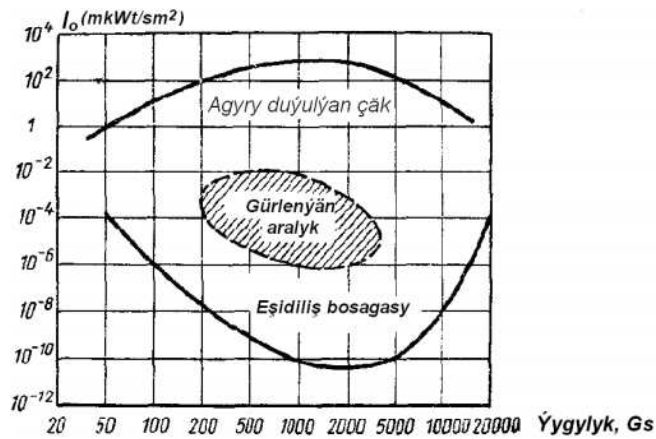
$$I_0 = 10^{-12} \frac{Wt}{m^2} \quad \text{ýa-da} \quad I_0 = 1 \frac{pWt}{m^2} \quad (\text{pWt-pikoWatt})$$

$$\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Pa}$$

Bu görkezilen ululyklar kadaly eşiýän adamlarda geçirilen tejribe boýunça alynan ortaça görkezijilere baglylykda (1000 Gs ýygylýkly tonda) **eşidiş bosagasynda** degişlidir.

Şkalanyň ýokarky derejesi üçin sesiň $I_{\text{maks}} = 10 \frac{Wt}{m^2} \left(10^2 \frac{mkWt}{sm^2} \right)$ ululykly intensiwligi ýa-da

$\Delta P = 64 \text{ Pa}$ ululykly ses basyşy kabul edilendir, bu ululyklarda gulagyň eşiği agyryny duýujy ýagdaýa geçýär [**oňa agyry duýulýan çäk (bosaga) diýilýär**] (5.11-nji surat).



5.11-nji surat.

Şkalanyň ýokarky we aşaky derejeleriniň arasyndaky 10^{13} ululykly arabaglanyşyga laýyklykda ähli şkala 13-derejä ýa-da birliklere bölünýär. Ol derejeleriň (birlikleriň) her biri iki sesiň intensiwlikleriniň 10-a deň bolan ýa-da ses basyşlarynyň $\sqrt{10} = 3,17$ –ä deň bolan gatnaşyklaryna degişlidir. Şkalanyň şeýle düzülen birligine **bel (B)** diýilýär, mundan 10 esse kiçi bolan ululyga bolsa **desibel (dB)** diýilýär.

Bel – bu ses intensiwliginiň derejelerini görkezýän şkalanyň birligidir, ol intensiwligiň derejeleriniň 10-esse üýtgemekligine degişlidir.

Eger “a” iki sesiň intensiwlik derejeleriniň gatnaşygyny (ýagny $\frac{I_2}{I_1}$) häsiýetlendirýän

belleriň sany bolsa, onda $\frac{I_2}{I_1} = 10^a$ bolar, bu ýerden alarys: $a = \lg \frac{I_2}{I_1}$. Mysal üçin, eger $a=3$

bolsa, onda $\frac{I_2}{I_1} = 10^3 = 1000$ bolar.

Otnositel şkaladan absolýut ululyklara geçmeklik nol derejäniň üsti bilen amala aşyrylýar. Şeýle geçişniň nähili amala aşyrylýandygyna seredip geçeliň.

Goý $a = 60 \text{ dB} = 6B$ bolsun, bu derejeleriň gatnaşygy $\frac{I_a}{I_o} = 10^a = 10^6$ diýmekligi aňladýandyr. Onda intensiwlik

$I_a = I_o \cdot 10^6 = 10^{-12} \cdot 10^6 = 10^{-6} \frac{Wt}{m^2}$ ululyga deň bolar.

Şeýle hem otnositel şkalany hem-de **bel** we **desibel** birlikleri, edil ses intensiwliginde ulanylyşy ýaly, **ses basyşynyň derejelerini häsiýetlendirmekde-de** ulanylýarlar.

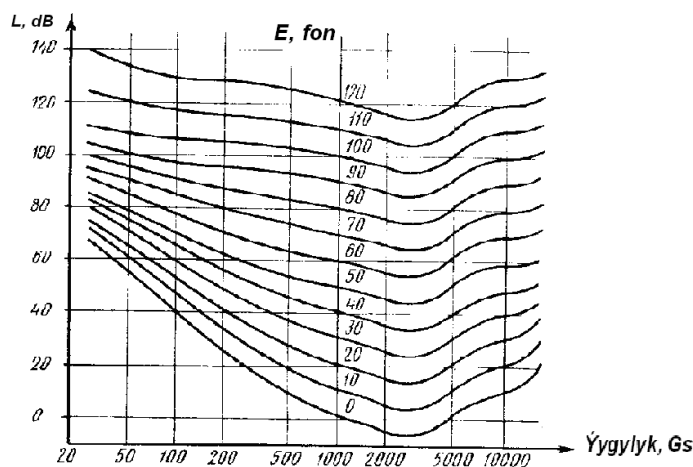
Indi bolsa sesiň gatylygynyň şkalasynyň düzülişine seredip geçeliň. Edil sesiň intensiwlik şkalasyna meňzeşlikde, **eşidiş bosagasy** bilen **agyry bosagasy** arasyndaky gatylyk derejesiniň interwaly hem 13-birlige bölünendir. Olar hem **bel** we **desibel** diýilip atlandyrylýarlar.

Sesiň intensiwliginiň şkalasyndaky desibellerden tapawutlandyrmak üçin sesiň gatylygynyň şkalasyndaky desibellere fonlar (fon) diýilýär.

Şeýlelik bilen, 1000 Gs ýygylýkly tonda alnan gatylyk şkalasyndaky **bel** sesiň intensiwligindäki şkala boýunça alnan **bele** gabat gelýändir. Şonuň üçin hem **gatylygyň beline** şeýle kesgitleme bermek bolar: **sesiň intensiwligi 10 esse üýtgände 1000 Gs ýygylýkly tonuň gatylyk derejesiniň üýtgemekligine bel diýilýär.**

Ses ölçegleri ulgamynda sesiň gatylygynyň yrgyldynyň ýygylýgyna bolan baglanyşygy kadaly eşidýän adamlarda geçirilen tejribeleriň netijeleri boýunça alnan ortaça görkezijiler esasynda kesgitleňýär. Şunuň ýaly alnan baglanyşyga **deň gatylykly egri çyzyklar diýilýär.**

Bu egri çyzyklar, haçan-da gatylygyň derejesi (E) hemişelik bolanda sesiň intensiwliginiň (I) ýa-da sesiň basyşynyň (Δp) yrgyldynyň ýygylgyna (v) bolan baglanyşygyny görkezýärler, ýagny $I = f(t)$ haçan-da $E = \text{Const}$ bolanda (5.12-njy surat). Amatly bolar ýaly, grafik onluk logarifmler masşabynda gurlandyr.



5.12-nji surat.

Gatylygyň nol derejesiniň ýa-da **eşidiş bosagasy**nyň egri çyzygynyň möhüm ähmiýeti bardyr, ol bosaga intensiwliginiň (I_0) ýygylgyna (v) bolan baglanyşygyny görkezýär. Şeýle egri çyzygyň grafığı 5.11-nji suratda getirilendir.

Kadaly eşidýän adamyň gulagy sesiň 16 Gs-den aşak ýa-da 20000 Gs-den ýokary bolan ýygylkly yrgyldylaryny eşidýän däl, ýagny bosaga eşidişiniň ululygy örän ýokarydyr. Haçan-da 16 Gs-den başlap ýygylk ýokarlandyrylan ýagdaýynda gulagyň duýujylygy artýar we eşidiş bosagasy peselýär. 1000-5000 Gs ululykly ýygylklar arasynda duýujylyk has ýokarydyr, ýagny sesiň eşidiliş bosagasy minimaldyr. Ýygylgyň 5000 Gs-den soň ýokarlandyrylmagy duýujylygyň peselmegine getirýär we onuň 20000 Gs-e ýetirilmegi duýujylygy aňrybaşa çenli peseldýär. Şeýle ýagdaýda sesiň eşidiş bosagasy kem-kemden ýokarlanylýar we 20000 Gs-de has uly baha eýe bolýar. 5.11-nji suratdaky grafikde görkezilen ýokarky egri çyzyk gulagyň duýujylygynyň ýokarky çägin görkezýär, ol çäkden ýokarda sesiň duýulyşy **basys** ýa-da **agyry duýulyşyna** geçýär. Grafikdäki sesiň ýygylklary we intensiwligi boýunça aýratynlykda belgilenen meýdan **adam gürländäki eýelenýän çägi** görkezýändir.

Eger şuna meňzeş egri çyzyklar gatylygyň dürli derejeleri üçin gurulsalar, mysal üçin her 10 fondan gaýtalanýan derejeler boýunça gurulsalar, onda grafikleriň ulgamy (5.12-nji surat) alnar, şoňa laýyklykda olara **deň gatylykly egri çyzyklar** diýilýär.

Umuman alnanda, deň gatylykly egri çyzyklar sesiň ýygylgy, intensiwlik derejesi we gatylyk derejesi arasyndaky özara baglanyşygy suratlandyrýar we şoňa baglylykda ol iki belli ululyklar boýunça üçünji näbelli ululygy tapmaklyga mümkinçilik berýär.

Şeýlelik bilen, 1000 Gs ýygylkly ton üçin gatylyk derejesiniň we intensiwlik derejesiniň **bellerdäki (ýa-da desibellerdäki)** san bahalary gabat gelýärler. Şeýle bolansoň, ön belläp geçişimiz ýaly, **gatylygyň desibeline fon diýilýär.**

Gulagyň duýujylygyny häsiýetlendirýän **bel** gatylygyň duýulyş derejesini, ýagny **sesiň subýektiv kabul edilişini** görkezýändir; şoňa görä-de ony haýsydyr bir hyýaly görnüşde beýan etmek (göz önüne getirmek) bolýan däl. Ony diňe 1000 Gs ýygylkly tonuň kömegi bilen onuň intensiwligi 10-esse üýtgände “eşidilişi boýunça” gaýtalap bolýandyr. Geçirilýän ölçegler hem hut şeýle ýagdaýa esaslanýandyr.

Gatylyk derejesiniň fonlardaky hasaplamalarynda (1000 Gs ýygylkly tona degişlilikde) şeýle deňlikler ulanylýar:

$$\Delta E = 10 \lg\left(\frac{I}{I_0}\right) \quad \text{we} \quad \Delta E = 20 \lg\left(\frac{\Delta p}{\Delta p_0}\right)$$

bu ýerde I we Δp – deňişlilikde sesiň intensiwliginiň we basyşyň berlen (seredilýän) ululyklary;

I_0 we Δp_0 – deňişlilikde olaryň bosaga (şkala boýunça nol) bahalary

Aşakdaky tablisada gelip çykyş tebigaty boýunça dürli häsiýetli sesleriň fiziki häsiýetlendirmeleri görkezilendir.

4-nji tablisa

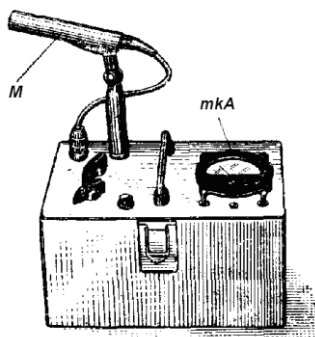
Sesiň häsiýeti	Sesiň intensiwligi; $\frac{W_t}{m^2}$	Sesiň basyşy, Pa	Bosaga eşiðilişine görä sesiň intensiwliginiň derejesi, dB; (ýa-da 1 kGs ýygylkda sesiň gatylyk derejesi, fon)
Eşidiliş bosagasy	10^{-12}	0,00002	0
Ýüregiň stetoskopyň üstünden geçýän ses galmagallary	10^{-11}	0,000064	10
Pyşyrdap gürlemek	10^{-10}	0,0002	20
	10^{-9}	0,00064	30
Gürleşmek:			
- ýuwaş	10^{-8}	0,002	40
- kadaly	10^{-7}	0,0064	50
- gaty	10^{-6}	0,02	60
Köp adamly köçedäki ses galmagallary	10^{-5}	0,064	70
Gykylyk	10^{-4}	0,2	80
Galmagal:			
- metroň poýezdinde	10^{-3}	0,64	90
- motosikliňki	10^{-2}	2	100
- uçaryň dwigateliňki	10^{-1}	6,4	110
- uçaryň ýanynda	10^0	20	120
Agyry duýulyş bosagasy	10	64	130

Gulagyň eşiðiş derejesini (ýitilgini) barlamaklyga audiometriýa diýilýär.

Audiometriýada ýörite enjam boýunça (**audiometrde**) dürli ýygylklarda gulagyň eşiðiş bosagasy kesgitlenýär, alnan egri çyzyga **audiogramma** diýilýär.

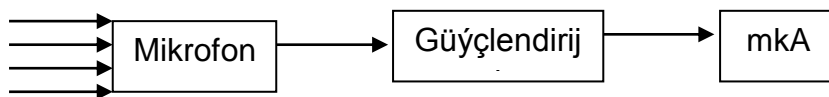
Näsag adamyň audiogrammasy bilen kadaly eşiðýän adamlaryň bosaga duýuşlarynyň ortaça görkezijileri boýunça düzülen audiogrammanyň deňeşdirilmegi esasynda eşiðiş organlaryň keseline diagnoz goýup bolýar.

Ses galmagalynyň gatylyk derejesini obýektiw ölçemeklik üçin **şumomer** diýilip atlandyrylýan enjam ulanylýar (5.13-nji surat).



5.13-nji surat.

Şumomerde mikrofon (M) bardyr, ol ses yrgyldylaryny elektrik yrgyldylaryna öwürýär. Soň bu yrgyldylar güýçlendirilýärler we ondan soň olaryň ortaça kuwwaty mikroampermetriň (mkA) kömegi bilen ölçelýär. Onuň struktura shemasy 5.14-nji suratda görkezilendir.



5.14-nji surat.

Şumomeriň häsiýeti adam gulagynyň häsiýetine ýakynlaşýandyr (5.12-nji suratdaky *deň gatylykly egri çyzyklara* seret), munuň üçin gatylygyň dürli diapazondaky derejelerine baglylykda korrektirleýji elektrik filtrlari ulanylýarlar.

5.5. TOLKUN GARŞYLYGY. SES TOLKUNLARYNYŇ SERPIKDIRILMEGI. REWERBERASIÝA

Sesiň basyşy “P” gurşawyň yrgyldaýan bölejikleriniň “v” tizligine baglydyr. Ol arabaglanyşyk şeýle görnüşe eýedir:

$$\frac{P}{v} = \rho c \quad \text{ýa-da } p = \rho c \cdot v = \omega v \quad (32)$$

bu ýerde: ρ – gurşawyň dykzyzlygy

c – tolkunynyň gurşawdaky tizligi

$\omega = \rho c$ – udel akustiki impedans (oňa başgaça tolkun garşylygy diýilýär).

Tolkun garşylygy, gurşawyň möhüm görkezijisidir, ol tolkunlaryň dürli gurşawlaryň serhedinde serpikmek we döwürlemek şertlerini kesgitleýär.

Goý, ses tolkuny iki gurşawyň bölünmek serhedine düşdi diýip göz önüne getireliň. Şunlukda tolkunlaryň käbir bölegi serpikdirilýärler, käbir bölegi bolsa döwürler.

Ses tolkunlarynyň serpikmek we döwürlemek kanunlary ýagtylygyň serpikmek we döwürlemek kanunlaryna meňzeşdirler.

Döwürlen tolkun ikinji gurşawda siňdirilip biliner ýa-da ondan geçip (çykyp) hem bolar.

Goý, tekiz tolkun iki gurşawyň bölünme serhedine kadaly ýagdaýda düşýär diýeliň, onuň birinji gurşawdaky intensiwligini I_1 , döwürlen (geçen) tolkunynyň ikinji gurşawdaky intensiwligini bolsa I_2 bilen belgiläliň.

Onda şeýle deňligi ýazmak bolar:

$$\beta = \frac{I_2}{I_1} \quad (33)$$

bu ýerde β – ses tolkunynyň gurşawyň içine aralaşmak koeffisiýenti.

J.Reley (1842-1919ý.) sesiň gurşawa aralaşmak koeffisiýentiniň şeýle deňlik bilen kesgitlenýändigini anyklapdyr:

$$\beta = 4 \frac{C_1 \rho_1 / (C_2 \rho_2)}{[C_1 \rho_1 / (C_2 \rho_2) + 1]^2} \quad (34)$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly, ses tolkunynyň gurşawyň içine aralaşmak koeffisiýentiniň (β) iň uly bolup biljek bahasy 1-e deňdir (ýagny $\beta = 1$, haçan-da $C_1 \rho_1 = C_2 \rho_2$ bolsa).

Şeýlelik bilen, iki gurşawyň tolkun garşylyklary özara deň bolsalar, onda kadaly ýagdaýda düşýän ses tolkuny olaryň bölünme serhedinden serpikmän geçer.

Eger ikinji gurşawyň tolkun garşylygy ($C_2 \rho_2$) birinji gurşawyň tolkun garşylygyna ($C_1 \rho_1$) garanda ep-esli uly bolsa (ýagny $C_2 \rho_2 \gg C_1 \rho_1$), onda 34-nji deňlikden alarys:

$$\beta = 4 \frac{C_1 \rho_1}{(C_2 \rho_2)} \quad (35) \quad \text{çünki } \frac{C_1 \rho_1}{(C_2 \rho_2)} \ll 1$$

Käbir maddalaryň 20°C-temperaturadaky tolkun garşylyklary aşakdaky tablisada getirilendir.

	$\beta, \text{kg.m}^{-2}\text{s}^{-1}$		$\beta, \text{kg.m}^{-2}\text{s}^{-1}$
1 Demir	40000 000	4 Ýag	1350 000
2 Beton	4800 000	5 Rezin	60 000
3 Suw	1440 000	6 Howa	440

35-nji deňligi ulanmak bilen, ses tolkunynyň howadan betona we howadan suwa aralaşmak (geçmek) koeffisiýentini kesgitläliň:

$$\beta = \frac{4 \cdot 440}{4800000} \cdot 100\% = 0,037\% \quad (\text{howa-beton})$$

$$\beta = \frac{4 \cdot 440}{1440000} \cdot 100\% = 0,122\% \quad (\text{howa-suwa})$$

Bu alnan maglumatlar ses tolkunynyň energiýasynyň örän az böleginiň howadan suwa ýa-da betona geçýändigini görkezýär.

Islendik ýapyk jaýda diwarlardan, potolokdan, mebelliden serpigen ses beýleki diwarlaryň, poluň üstüne düşýärler we olardan soň ýene-de yzyna serpikdirilýärler we siňdirilýärler. Bu hadysa ençeme gezek gaýtalanandan soň ses kem-kemden gowşaýar we “öçýär”. Şoňa görä-de hat-da ses çeşmesi “öçürilenden” soň hem entek jaýda belli bir derejede ses tolkunlary bardyrlar, olar sesleriň wagtyrdysyny (gopgunyny) döredýärler.

Ýapyk jaýlarda ses çeşmesi öçürilenden soň olaryň kem-kemden gowşamaklyk (togtamaklyk) prosesine rewerberasiýa diýilýär.

Ýa-da başgaça, rewerberasiýa şeýle düşündiriş bermek bolar. Fiziki häsiýetleri boýunça dürli bolan gurşawlaryň serhedinden ses yzyna serpikýar. Şoňa görä-de sesiň çeşmesi öçürilenden soň hem ýapyk jaýlaryň içinde tolkunlaryň ençeme gezek serpikmegi we ýaýramagy netijesinde sesiň eşidilmegi (ýaňlanmagy) dowam edýar. Bu hadysa **sesiň rewerberasiýasy** diýilýär.

Sesleriň doly (netijeli) kabul edilmegi üçin (sözlenýän sözler, çalynýan sazlar we ş.m) olaryň kem-kemden kesgitli yzygiderlikde togtamaklygy bolup geçmelidir. Ses has çalt togtanda ol peselen görnüşde kabul edilýär. Has haýal togtamaklykda sesiň ýaňlanmagy döreýär. Şonuň üçin hem **rewerberasiýanyň** wagty jaýlaryň möhüm akustiki häsiýetlendirmeleriniň biri bolup durýar.

Jaydaky sesiň intensiwliginiň ses çeşmesi öçürilenden soň 10^6 esse gowşaýan wagt aralygyna **rewerberasiýa wagty** diýilýär.

Rewerberasiýa wagty sesleriň dürli ýygylýklary üçin dürli-dürlidir we ol jaýyň (otagyň) göwrümüne, görnüşine, içinde ýerleşýän mebellere, halylara we ş.m. baglydyr. Orta ýygylýkly sesler üçin (500-600 Gs) amatly rewerberasiýa wagty göwrümi uly bolmadyk jaýlarda 1-2 sekunda deň bolmalydyr.

5.6. SES WE ULTRASES ANYKLAÝYŞ USULLARYNYŇ MEDISINADA ULANYLYŞY.

5.6.1. ULTRASES (US), ONUŇ AÝRATYNLYKLARY

Ýygylýgy 20 kGs-den ýokary bolan maýyşgak yrgyldylara we tolkunlara ultrases diýilýär. Ultrasesiň ýokarky çägi kesgitli ýygylýk bilen çäklendirilen däldir, sebäbi 200 megagersden-de (MGs) ýokary bolan ýygylýkly yrgyldylary hem almak bolýandyr. Pes ýygylýkly ultrases (60-70 kGs aralykda) käbir haýwanlaryň organlary tarapyndan döredilýär (delfinler, ýarganatlar). Şeýle hem olar önümçilik we tebigy ses galmagallaryň düzümine girýärler.

Has ýokary ýygylýkly ultrases (US) emeli çeşmeleriň kömegi bilen alynýar. Esasan bulara ýygylýklaryň kesgitli interwalynda işleýän elektrik yrgyldylaryň generatorlary degişlidir. Şeýle

yrgyldylaryň ultrasese özgerdilmegi **magnitostriksiýanyň** (has pes ýygylyklarda) ýa-da **ters pýezoelektrik efektiniň** (ýokary ýygylyklarda) üsti bilen amala aşyrylýar.

Üýtgeýän magnit meýdanynyň täsiri astynda (meýdanyň alamatynyň üýtgemek ýygylygyna baglylykda) ferromagnit serdeçniginiň göze görünmeýän yrgyldysyna (onuň ujypsyzja uzalmagyna we gysgalmagyna) **magnitostriksiýa** diýilýär.

Ýa-da, başgaça aýdylanda, üýtgeýän magnit meýdanyna yerleşdirilen ferromagnit materiallar (serdeçnikler) özleriniň ölçeglerini üýtgedýärler – bu hadysa **magnitostriksiýa** diýilýär.

Mehaniki tolkunynyň (mysal üçin, US-ň) täsiri astynda tekizçede deformasiýanyň ýüze çykmaklygyna baglylykda üýtgeýän elektrik meýdanynyň generirlenmegine **göni pýezoelektrik effekti** diýilýär.

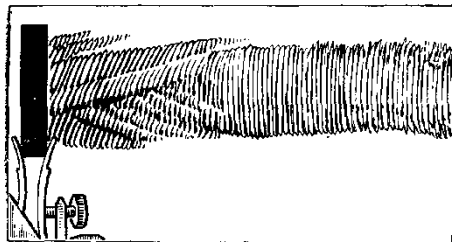
Ters pýezoelektrik effekt üýtgeýän elektrik meýdanynyň täsiri astynda pýezoelektrik tekizçäniň çyzykly ölçegleriniň üýtgemeginden ybaratdyr.

Seredilip geçilen iki ýagdaýda-da, işçi maddanyň döredýän yrgyldylary rezonans hadysasy boýunça güýçlendirilýär we madda bilen çäklenýän gaty ýa-da suwuk gurşawda ultrasesiň (US) boý tolkunlaryny döredýär.

1 mm galyňlykly tekizçede rezonans hadysasy şeýle ýygylyklarda ýüze çykýar:

- kwarsda 2,87 MGs (Megagers) ýygylykda;
- segnet duzunda 1,5 MGs ýygylykda;
- bariý titanatynda 2,75 MGs ýygylykda.

US-tolkuny, ses tolkunyna meňzeş, gurşawyň bölejikleriniň ýygjamlaşyp we seýreklenip gelýän ýerlerinden ybaratdyr. US-yrgyldylarynyň madda bolan täsiri hem hut şu ýagdaýa esaslanýandyr. US-ň we sesiň ýaýramak tizligi takmynan birmeňzeşdir, ýöne **US-ň tolkun uzynlygy (λ) sesiňkä görä ep-esli kiçidir**. Şuňa baglylykda US tolkunlary özleriniň tekiz çeşmesinden ugrykdyrylan **insizje akym bilen ýaýraýarlar, oňa US şöhlesi** diýilýär. Şeýle bolansoň US-tolkunlary aňsatlyk bilen fokusirlenýärler. 5.15-nji suratda kwars şöhlelendirijisinden ýaýraýan US-tolkunlarynyň akymynyň pursatlaýyn suraty görkezilendir.



5.15-nji surat.

Ultrasesiň ýaýramak tizligini, ýygylygyny we tolkun uzynlygyny baglanyşdyrýan $\lambda = \frac{V}{\lambda}$ görnüşdä-

ki deňligiň üsti bilen, onuň howada ýaýraýan maksimal tolkun uzynlygyny kesgitlep bolar.

US-ň howada ýaýramak tizliginiň $\lambda = 341 \frac{m}{s}$; minimal ýygylygynyň 20 kGs bolýandygyny göz önünde tutmak bilen, onuň howada ýaýraýan maksimal tolkun yzynlygyny tapmak bolar, ýagny:

$$\lambda_{maks} = \frac{V}{\nu_{min}} = \frac{341m/s}{20kGs} = 17mm$$

Diýmek, ultrasesiň howada ýaýraýan maksimal tolkun uzynlygy 17 mm-e deňdir.

US – tolkunlary ses tolkunlaryna görä has ýokary intensiwlige (I) eýedir, ýagny olaryň intensiwligi birnäçe onlarça (Bt/sm^2) ululyga ýetýändir. Haçanda US – tolkunlary gurşawyň mikroskopiki kiçi bölegine fokusirlense, onda olaryň intensiwligi **birnäçe ýüzlerçe we müňlerçe (Bt/sm^2) ululyga ýetýär**.

US – tolkunlary dürli akustiki garşylykly gurşawlaryň biri-birine çäkleşýän serhet üstünden serpikýändirler. Emma ol takmynan ýüzlerçe kilogers (kGs) ýygylykda howa tarapyndan ep-esli siňdirilýändir. Şoňa görä-de soňky ýagdaýda US-tolkunlarynyň çeşmesi bilen şöhlelendirilýän maddanyň aralygynda adaty haýsy hem bolsa bir suwuk gurşaw ýa-da kontakt maddalar yerleşdirilýär.

Gurşawyň akustiki garşylygy şeýle kesgitlenýär: $Z = \rho \cdot V$; onuň ölçeg birligi $\left[\frac{kg}{m^2 \cdot s} \right]$, bu ýerde ρ - gurşawyň dykyzlygy; V - seredilýän gurşawda US-ň ýaýramak tizligi.

Ultrasesiň serpikmek häsietini mukdar taýdan häsiyetlendirme üçin serpikmek koeffisiýenti (R) diýlen düşünje girizilýär:

$$R = \frac{I_{serp}}{I_0};$$

bu ýerde I_{serp} – serpigen US- tolkunynyň intensiwligi;

I_0 – US- tolkunynyň maddanyň üstüne düşýän (başlangyç) intensiwligi.

Suwuň we ýumşak dokumalaryň akustiki garşylyklary biri- birlerinden onçakly uly tapawutlanýan dälirler. Mysal üçin,

Z (suw) = $1,49 \cdot 10^5 \text{ g/sm}^2 \cdot \text{s}$; Z (myşsa dokumalary) = $1,66 \cdot 10^5 \frac{\text{g}}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$; Z (ýag) = $1,32 \cdot 10^5 \frac{\text{g}}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$; ululyklara deňdir. Degişlilikde, US-ň serpikmek koeffisiýentleri bu gurşawlaryň serhetlerinde 0,05-0,08 aralykda bolýandyrlar.

Bulara garanda gaty maddalar üçin akustiki garşylyk birnäçe esse uludyr; mysal üçin, kelle çanaklygynyň süňkleri üçin ol $6,22 \cdot 10^5 \frac{\text{g}}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$ ululyga deňdir.

Getirilen mysallardan görnüşi ýaly, ýumşak dokumalar bilen süňkün serhedinde US-ň serpikmek koeffisiýenti ulalýandyr we onuň ululygy 0,6-a ýetýändir. Eger-de US-tolkunynyň önünde (ýolunda) howa gatlagy bar bolsa, onda amaly taýdan tolkunynyň doly serpikmesi bolup geçýändir (ýagny $R \approx 1$ diýip hasap etmek bolar).

Aşadaky tablisada dürli gurşawlaryň bölünmek serhedinde US-tolkunynyň serpikmek koeffisiýenti getirilendir.

6-njy tablisa

Gurşawlaryň bölünmek serhedi	Serpikmek koeffisiýenti
Gan-böwrek	0,0004
Bagyr-bagryň daşlary	0,03
Myşsa – süňk	0,33
Beýni-kelle çanaklygynyň süňki	0,35
Ýumşak dokumalar - süňk	0,6

US-ň madda mehaniki, fiziki-himiki we ýylylyk görnüşindäki çylşyrymly täsiri bardyr.

a) US-ň mehaniki täsiri.

US-ň mehaniki täsiri maddanyň mikrostrukturasynyň deformasiýasy bilen baglydyr. Bu deformasiýa US-tolkunlarynyň täsiri netijesinde maddanyň bölejikleriniň gezekli – gezeğine ýygjamlaşmagy (dykyzlanmagy) we seýreklenmegi esasynda bolup geçýändir. Munuň özi US-ň ýeterlik derejedäki intensiwliginde maddanyň dargamagyna getirip biler. Suwuklykda bu, mysal üçin, ***kawitasiýa*** hadysasyna getirýär.

Suwuklykda ýaýraýan US-tolkunlary yzygider gaýtalanýan ýokary we pes basyşly zolaklary döredýär, bu bolsa öz gezeginde, degişlilikde, gysylan (dykyzlanan) we seýreklenen zolaklaryň ýüze çykmaklygyna getirýär.

Seýreklenen zolakda gidrostatiki basyş has kiçelýär we şu ýagdaýda suwuklygyň molekulalaryna täsir edýän güýçler molekulýarara dartyjy güýçlerden uly bolýar. Gidrostatiki deňagramlylygyň üzül-kesil üýtgemegine baglylykda suwuklygyň molekulalarynyň arasyndaky arabaglanşyklar üzülýärler (ýagny ol dargaýar), netijede suwuklygyň buglarynyň ýa-da erginiň

gazlarynyň köpsanly ownuk “köpürjikleri” emele gelýär. Ondan soňky pursatda, haçan-da suwuklykda ýokary basyş tapgyry dörende, öňki ýüze çykan “köpürjikler” biri-birleri bilen birleşýärler we şunlukda gürpüldi ýüze çykýar – **bu hadysa kawitasiýa diýilýär**. Kawitasiýa gysgapursatlaýyn önän uly ýerli basyş astynda urgy tolkunynyň we mikroakymlaryň döremekligi bilen bolup geçýär.

US-ň kömegi bilen dürli gurşawlary owardyp we dispergirläp bolýar. Bu bolsa waksinalary, ýokary dispersiýaly derman emulsiýasyny, aerezollary we ş.m. taýýarlamakda ulanylýar. Täsir ediş şertlerine we gurşawyň häsiýetlerine baglylykda US ýokarda agzalan mysallara ters bolan hadysalara hem getirip biler. Muňa mysal hökmünde suspenziýalaryň çökmekligini, aerezollaryň koagulyýasiýasyny, gazlaryň özlerindäki garyndylardan arassalanmagyny we ş.m. görkezmek bolar.

b) US-ň fiziki – himiki täsiri.

Mehaniki energiýanyň ulanylmaklygy dokumalarda mehaniki rezonansyň ýüze çykmaklygyna getirýär, onuň täsiri astynda molekulalaryň hereketi çaltlaşýar we olaryň ionlara dargamaklygy güýçlenýär, öýjüklerde elektrik taýdan üýtgeşmeler bolup geçýär.

Dokumalarda fiziki-himiki we biohimiki prosesleriň ýerli stimulyýasiýasy ýüze çykýar, madda alyş-çalyşygy işjeňleşýär. Bu aýdylanlar, hususan-da, bagryň, böwrekleriň mitohondriýalarynda okislenme – fosforlaşma hadysalarynyň işjeňleşmeginde; dokuma dem alyş intensiwliginiň ýokarlanmagynda; glikoliz hadysalarynyň üýtgemekliginde; beloklaryň we nukleotidleriň alyş-çalyşygynyň ýokarlanmaklygynda; biomembranalarda diffuziýa prosesleriniň güýçlenmeginde; gan we limfa aýlanyşygynyň ýokarlanmaklygynda ýüze çykýandyr.

US-ň täsir etmekligi käbir himiki reaksiýalaryň we prosesleriň bolup geçmekligini çaltlandyryýar. Muňa okislenmek reaksiýalary hem-de polimerizasiýa mysal bolup biler.

c) US-ň ýylylyk täsiri.

US-ň ýylylyk täsiri mehaniki energiýanyň ýylylyk energiýa öwürülmesi netijesinde ýüze çykýar.

Ýylylyk esasan akustiki garşylygyň tapawudyna baglylykda dürli gurşawlaryň serhedinde ýüze çykýar. Şeýle hem ol US-ň energiýasyny oňat siňdirýän dokumalarda (mysal üçin, nerw we süňk dokumalarynda) we ganüpjünçiligi ýetmeýän ýerlerde (çünki gan ýylylygy alyp gidýär) döreýär.

US-ň ýylylyk täsiri astynda dokumalarda temperaturanyň lokal ýokarlanmaklygy; gängeçiriji we limfatiki damarlaryň giňelmegi; ganyň mikrosirkulyýasiýasynyň üýtgemegi bolup geçýär. Netijede, dokuma alyş – çalyş prosesi işjeňleşýär, US-ň sowuklama garşy we sorujy täsiri ýüze çykýar.

Şu seredilip geçilen üç faktorlaryň täsirleri biri – birleri bilen baglanyşyklydyrlar we **olar köplenç özara bilelikde garyşyp ýüze çykýandyrlar**.

US-ň eşidilýän seslerden aýratynlygy onuň adam gulagy tarapyndan duýulmaýanlygydyr, galan zatlarda ol ähli mehaniki yrgyldylaryň kanunalaýyklyklaryna boýun bolýandyr. **US-ň beýleki bir aýratynlygy onuň tolkun uzynlygynyň (λ) kiçi bolmaklygydyr**. US-ň ýaýramak tizligi howada 341 m/s; suwda 1496 m/s; myşsalarda 1568 m/s; süňkde 3360 m/s. deňdir.

Sesiň ýaýramak tizligini bilip, $\lambda = \frac{V}{\nu}$ deňlik boýunça eşidilýän sesleriň tolkun uzynlygynyň

metrlerde ölçelýändigini görmek bolar, ýagny sesiň tolkun uzynlygy onuň çeşmesiniň ölçeglerinden has uludyr. Şuňa baglylykda ses tolkunlary sesiň çeşmesinden sferiki tolkunlar görnüşinde çykýarlar we giňişlikde ähli ugurlar boýunça ýaýraýarlar.

Ýygylgynyň ýokarlanmaklygy bilen US-ň ýaýramaklygy has hem ýagtylygyň ýaýramak häsiýetini ýada salýandyr. **Ýokary ýygylklarda US-tolkunlarynyň ýaýramaklygy edil göni çyzyk boýunça diýen ýaly bolup geçýändir**. Şeýle ýagdaýlarda ýagtylygyň serpikmek, fokusirlenmek, dargamak ýaly kanunalaýyklyklaryny oňa hem ulanyp bolýandyr. Bu ýerde serpikdirijileri we ses linzalaryny ulanyp bolýandyr.

Ýönekeý fiziki pikir ýöretmeler esasynda US-ň janly organizme bolan mehaniki täsiriniň bölejikleriň yrgyldy amplitudasyňa baglydygy baradaky netijäni çykarmak bolar. Gurşawa täsir edýän sesiň intensiwligi näçe ýokary bolsa, onda şonça hem şeýle amplitudanyň ýokary bolýandygyny subut etmek bolar. Şunlukda bölejikleriň süýşmekligi (orun üýtgetmekligi) ýygylýga ters proporsionaldyr.

Adatça US-bejergisinde 800 kGs ýygylýkly kuwwaty 2 Wt/sm^2 deň bolan enjamlar ulanylýar. Şeýle görkezijilerde bölejikleriň süýşmek amplitudasy takmynan 0,03 mkm deň bolýandyr. Bu ululyk, eger-de janly öýjükleriň diametrini ortaça 30 mkm deň diýip kabul etsek, onda amaly taýdan maddanyň süýşüjiligi göz önünde tutmasak hem bolýandygyny aňladýandyr (sebäbi ol öýjügiň diametriniň münden bir böleginden köp dälidir).

Käbir hünärmenler bejergide ulanylýan ýokary intensiwlikli US-ň öýjügi onuň gurşawyndan bölüp aýyrmak (goparmak) mümkinçiligi bar diýip hasap edýärler. Ýöne bu hakykata laýyk gelýän däl, çünki häzirki wagtda bejeriş netijeliligi nukdaý nazardan seredilende öýjükleriň ujypsyzja süýşmekligini asla göz önünde tutmasak hem bolýandygyna şaýatlyk edýän maglumatlar bardyr.

5.6.2. ULTRASESIŇ (US) BIOLOGIKI TÄSIRI

Janly organizmiň üstüne düşüp, **US oňa biologiki täsir edýändir.** Ol täsir diňe bir şöhlelendirilen organlara ýa-da dokumalara edilýän täsir bilen çäklenýän däl. US-ň fiziki we himiki täsiri öz-özünden onuň bedene bolan kompleksleýin täsiriniň mehanizmini doly düşündirýän däl, ýöne oňa garamazdan bu täsirler hem göz önünde tutulmalydyr.

US-ň intensiwliginiň ýokarlanmaklygy bilen onuň mehaniki täsiri hatda dokumalaryň zeperlenmegine hem getirip biler. Hut şu hadysa hem US-neýrohirurgiýasynda ulanylýandyr. Bu ýagdaýda takmynan 1000 Wt/sm^2 intensiwlikli şöhlelenmäniň fokusirlenmegi bilen kesellän nerw dokumalaryny, çişleri weýran edýärler (dargydýarlar).

US-ň ýylylyk täsiri mehaniki täsire görä has wajypdyr. Adam dokumalarynda US-ň siňdirilmek koeffisiýenti takmynan 0,33-e deňdir (ýagny 1 sm aralykda 33% siňdirilýär). Bu görkeziji 1 sm gatlakdan geçýän US-ň energiýasynyň $\frac{1}{3}$ -böleginiň ýylylyga öwrülýändigini aňladýandyr.

Onuň galan $\frac{2}{3}$ -bölegi mehaniki we ýylylyk efektlerini ýüze çykarmak üçin soňky çuň gatlaklara aralaşýar. Dürli çuňlukda ýerleşýän dokumalarda şöhlelenmäniň täsiri astynda temperaturanyň ýokarlanmaklygy dürli-dürlidir. Dokumalar näçe çuň aralykda ýerleşýän bolsalar, onda şonça-da şeýle täsir astynda ýüze çykarylýan temperatura olarda pesdir.

Ýöne dokumalaryň siňdirijilik koeffisiýentiniň dürlidigine görä olaryň gyzmak derejesi hem dürlüdür. Diýmek, şuna baglylykda, uly siňdirijilik ukyplygyna eýe bolan dokumalarda, olaryň çuň aralykda ýerleşýändigine garamazdan, US-energiýasynyň köp bölegi ýylylyga öwrülýär. Edil şol bir wagtda, olardan ýokarda (ýagny derä ýakyn) ýerleşen dokumalarda, eger-de olaryň siňdirijilik ukyplygy pes bolsa, US-energiýasynyň az böleginiň ýylylyga öwrülýändigini belläp geçmelidiris.

US-ň biologiki täsiri onuň mehaniki, ýylylyk we fiziki-himiki faktorlarynyň kompleksleýin täsirine esaslanýandyr. Bular wiruslaryň, bakteriýalaryň, kömelejikleriň ölmekligine we ş.m. getirip biler. Ýokary kuwwata eýe bolan US-tarapyndan döredilýän biologiki täsir hatda ownuk jandarlaryň-da ölmekligine getirip biler. Kuwwaty onçakly uly bolmadyk US öýjük membranalarynyň syzyjylygyny ýokarlandyrýar, dokuma alyş-çalyş proseslerini işjeňleşdirýär we ş.m.

Bularyň hemmesi ultrasesiň örän dürli ugurlar boýunça we şol sanda, medisina giňden ulanylmagyna getirýär.

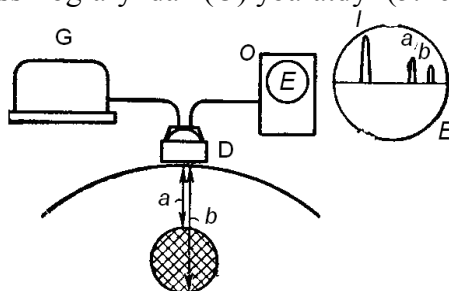
5.6.3. ULTRASESIŇ MEDISINADA ULANYLYŞY

US içki organlaryň aralaşmasy kyn bolan ýerlerinde, şeýle hem bedeniň içinde patologiki ojaklaryň döremelerini (hususan-da, kelle beýnisiniň dokumalaryndaky çişleri) ýüze çykarmakda ulanylýar. Şunlykda US-ň iki ulanyş usulyny tapawutlandyryrlar:

1. US bilen şöhlendiriliş.
2. US lokasiýasy.

1. US bilen şöhlendiriliş dürli akustiki häsiýetli dokumalaryň ultrasesi dürli derejede siňdirmekligine esaslanýandyr. Obýektde barlag geçirilende onuň dürli nokatlarynyň üstünden kesgitli intensiwlikli US şöhlesi geçirilýär. Ol şöhle obýektiň beýleki tarapynda ýerleşdirilen datçik bilen kabul edilýär. Şöhläniň intensiwliginiň üýtgemek derejesi boýunça obýektiň içki gurluşynyň şekili alynýar.

2. US lokasiýasynda gönükdirilen US-ň obýektiň içinden geçensoň onuň gabat gelýän dürli akustiki häsiýetli gurşawyň serhetlerinden serpikýän impulsary registrirlenýärler. US-lokasiýasy üçin ulanylýan gurluş generator (G), göni US impulsyny (I) döredýän we serpikýän impulsary (“a” we “b”) kabul edýän (D) datçikden (şu ýagdaýda göni pýezoelektrik effekti ulanylýar) we elektron şöhle ossillografyndan (O) ybaratdyr (5.16-njy surat).



5.16-njy surat.

Ossillografiýň ekranynda (E) impulsara gözegçilik edilýär. Impulsalaryň arasyndaky aralyk gözlenýän täzedöremäniň ýerleşmek çuňlygy barada (elbetde, eger-de ol ýüze çykan bolsa), haçan-da datçik hereketlenende bolsa onuň formasy we ýerleşýän ýeri barada baha bermäge mümkinçilik berýär.

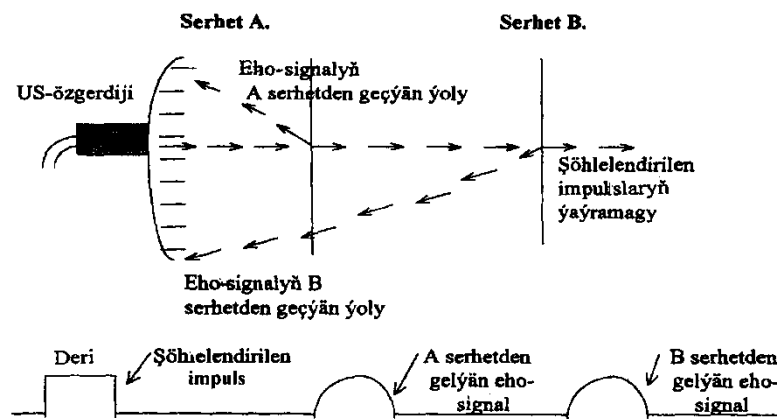
Bu usul anyklaýyşda has giňden ulanylýandyr.

US-anyklaýyş usullary.

Ultrasesiň diagnostikada ulanylyşy onuň dürli akustiki garşylykly iki gurşawyň (dokumanyň) serhedinden serpikmek häsiýetine esaslanýandyr.

US-tolkunlary, bedeniň üstüne düşüp, dokumalaryň, ganyň, süňkleriň üstlerinden geçip ýaýraýrlar we dürli dykzlykly maddalaryň arasyndaky serhede (mysal üçin, çep garynjygyň içindäki gan bilen endokardyň dokumasy arasyndaky serhede) baryp kem-käsleýin yzyna serpikýärler, bir bölegi bolsa ondan aňryk ýaýraýrlar. Anyklaýyş maksatlary üçin pes intensiwlikli ($\sim 0,01 \text{ Wt/sm}^2$) we ýokary ýygylýkly (0,8-20 MGs) US-ulanylýar. Ol pasiýentiň we medpersonalyň organlarynda we dokumalarynda zeper ýetiriji hiç hili üýtgeşmeleri ýüze çykarýan däldir.

US-çeşmesi (US-özgerdiji) deriniň üstünde ýerleşdirilýär we US tolkunlary yzygider derä, fassiýa myşsalarynyň derasty öýjüklerine we organlara aralaşýar. Tolkunlaryň bir bölegi olaryň serhetlerinden we strukturanyň düzümi birmeňzeş bolmadyk ýerlerinden serpikýärler (5.17-nji surat).



5.17-nji surat.

Eger dokumalaryň dyklyklary dürli-dürli bolsalar, mysal üçin, ýumşak dokuma we süňk, onda US-tolkunynyň energiýasynyň tas hemmesi diýen ýaly yzyna serpikýärler. Eger US-impulsary ulanylýan bolsa, onda her şöhlelendirilýän impuls onuň beden boýunça ýaýraýan ýolunda ýerleşýän iki gurşawyň serhedinden serpigen impulsy (eho-signal) berýär. Serpigen impulsar enjama gelyär we ekranda fiksirlenýär. Her dokuma ehogrammada onuň garşylykly üstlerinden serpigen iki dürli görnüşli impulsar bilen görkezilýärler. Impulsaryň arasyndaky aralyk dokumanyň ölçeglerini kesgitleýär.

Kelle beýnisiniň çişlerini anyklamak üçin ulanylýan enjama ehosenfalograf diýilýär.

Ehosenfalograflar, ehokardiograflar we içki organlaryň barlaglary üçin çylşyrymly skanirlemek usulyny ulanmaklyk esasynda işleýän enjamlar US-anyklaýyş gurluşlara degişlidir.

Ultrases skanerleri

US- skanerleri – bular hakyky wagt aralygynda amaly taýdan adam organizminiň islendik içki organlarynyň şekilini almaklyk üçin niýetlenen enjamlardyr.

Islendik skaneriň blok – shemasy datçikden (US-signalyny şöhlelendirijiden we ony kabul edijiden – priýomnikden); signallaryň güýçlendiriliş we formirlenmek bloklaryndan; şekiliň gaýtadan işleniliş we ýatda saklanýş kompýuter blogyndan we monitordan ybaratdyr.

Lukmançylyk barlaglarynyň maksatlaryna laýyklykda US-skanerleri şekiliň gurluşynyň we görkezilişiniň dürli režimlerinde işläp bilýärler. Skanerleriň işleýiş režimlerine, esasan, şular degişlidir:

B-skanirlemek – organyň ikiölçegli (2-ölçegli) şekiliniň alynmaklygy;

M-skanirlemek – organyň içki strukturalarynyň ýagty-kontrast görkezilmekligi bilen birölçegli şekiliniň alynmaklygy.

Häzirki wagtda **sektorly B-skanirlemek** şekiliň alnyşynyň has giň ýaýran usuly bolup durýandyr. Bu usulda datçik şeýle gurlandyr, ýagny her kadr üçin US-signalý gurşawa şekiliň gurluş tekizligi boýunça ýarym aýlaw görnüşli iberilýär. Şeýle bolansoň organyň içki strukturalarynyň şekili monitoryň ekranynda sektorlar görnüşinde görkezilýär.

Eger-de klinikada US-barlaglary (USB) geçirilende hereketlenýän organlaryň ýa-da olaryň fragmentleriniň şekilini we häsiýetlendirmelerini almak talap edilýän bolsa, onda **M-skanirlemek** usuly ulanylýar. Bu ýagdaýda organyň kesimi ekrana bir tekizlikde çykarylýar (mysal üçin, ýüregiň baş oky boýunça), ol soň wagtda boýunça açylyp görkezilýär. Bu usul häzirki wagtda kardiologiýada has giňden ulanylýar. Şeýle usul bilen ýüregiň dürli bölekleriniň şekili onuň ýygrylmasyň hakyky režiminde görkezilýär.

Häzirki zaman US-skanerleri monitoryň ekranynda bir wagtyň özünde ýüregiň birnäçe şekillerini skanirlemegiň dürli režimlerinde almaklyga mümkinçilik berýär. Bu usul lukmana

organyň anatomiki we funksional yagdaýy barada doly informasiýany almaklyga mümkinçilik berýär.

Şeýle hem häzirki zaman US-skanerleri lukman üçin has amatly bolan yagdaýlarda şekili dürli konfigurasiýaly utgaşmalarda almaklyga mümkinçilik berýär. Muňa mysal hökmünde ýüregiň strukturalarynyň şekiliniň B-, M- skanirlenen režimde alynmagyny we şol bir wagtyň özünde ýüregiň garynjagazynyň boşlugynda ganakymynyň dopler-şekiliniň alynmagyny görkez-mek bolar. Organlaryň we olaryň funksiýalarynyň şeýle çylşyrymly suratda gorkezilmegi, adatça, reňkli şekilde berilýär. Mundan hem başga, US-skanerleri organyň **üçölçegli şekiliniň (3D-režim)** rekonstruirlemegine mümkinçilik berýär. Bu usul akuşerçilik amalynda düwünçegiň ýerleşişiniň hem-de onuň hereketiniň we özüni alyp baryşynyň ýokary hilli suratlaryny (şekillerini) almakda netijeli ulanylýar.

Us-bejergisi.

Us-bejergisi fiziobejergi usullarynyň biridir. US-iň energiýasynyň siňdirilmegi US-yrgyldylarynyň ýygylgyna baglydyr. 800-1000 kGs (kiloGers) ýygyllykly US 5-6 sm aralykly çuňluga ýaýraýar, 2500-3000 kGs ýygyllyklarda bolsa ol 1-1,5 sm aralykly çuňluga ýaýraýar. Ultrasesiň mehaniki energiýasynyň bir bölegi dokumalaryň yrgyldaýan bölekleriniň içki togtamaklygy we sürtülmegi netijesinde ýylylyk energiýasyna geçýär. Siňdirilen energiýanyň beýleki bir bölegi suwuklyklardaky we dokumalardaky relaksasiýa hadysalary bilen we belok molekulalarynyň içki molekulýar üýtgeşmeleri bilen baglanyşyklydyr. Fiziobejergi amalynda 800-den 3000 kGs çenli ýygyllykly we 0,05-den 1,2 Wt/sm² çenli intensiwlikli US-ulanylýar.

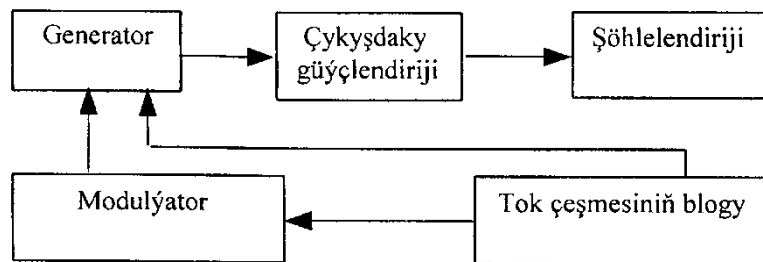
Suwuk biologiki gurşawlar pes derejede ultrasesi siňdirýärler, organizmde daýanç funksiýasyny ýerine ýetirýän dokumalar bolsa ýokary derejede siňdirýärler. **Dürli strukturaly organlar (böwrek) meňzeş strukturaly (ýag dokumasy) organlara garanda has ýokary siňdirijilik ukyplygyna eýedirler.** Bu bolsa ultrasesiň bejeriş täsiri üçin energiýanyň ýeterlik derejede myşsalara aralaşmagyny üpjün edýär.

US okisleniş-dikeldiş hadysalaryny işjeňleşdirýär, gan geçiriji damarlary giňeldýär we gan akymyny güýçlendirýär, regenerasiýa hadysalary höweslendirýär, onuň çişe garşy, sorujy, spazma garşy we agyryny ýatyryjy täsiri bar. US-i bogunlaryň käbir degeneratiw-distrofiki we çiş görnüşini bejermekde, periferiki nerw ulgamynyň kesellemeginde we şikeslenmeginde, myşsa – bogun ulgamynyň zeperlenmeginde, deriniň käbir kesellerinde we beýlekilerde ulanyp bolýar.

Bejeriş amalynda derman maddalarynyň fonoforez usulyny ulanýarlar. Ultrafonoforez – bu ultrasesiň we derman maddalarynyň organizme bolan kompleksleýin täsiridir. Munuň üçin kontakt gurşawlaryny (wazelin ýagy, gliserin, lanolin) ulanýarlar hem-de olara derman maddalaryny (gigrokartizon, anestezin, lidaza, geparin we beýlekiler) girizýärler.

Şunlukda US dermanlaryň işjeňligini ýokarlandyrýar, olaryň içkiöýjük geçişlerine (aralaşmasyna) kömek berýär.

Lukmançylykda ulanylmaga niýetlenen US-enjamlary US-ýygyllykly elektrik yrgyldylarynyň generatoryndan, pýezoelementli US-başjagazdan (golowkadan), dolandyryş bloklaryndan we tok çeşmesiniň blogyndan ybaratdyr (5.18-nji surat).



5.18-nji surat.

US-enjamlary UZT markaly çykarylýarlar: UZT – 31-ginekologiki keselleri bejermek üçin; UZT – 101-nerw we içki keselleri bejermek üçin; UZT – 102-stomatologiýada ulanmak üçin;

UZT – 103-urologiýada we proktologiýada ulanmak üçin; UZT – 104-ofthalmologiýada ulanmak üçin niýetlenendir.

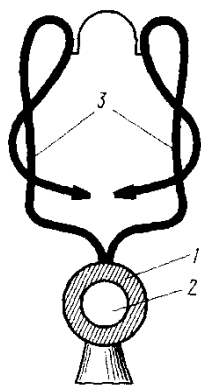
Şöhlelendirijiler IUT markaly üç formada çykarylýarlar: galamşekilli, egredilen we gapdal üsti şöhlelendiriji görnüşlidir.

5.6.4. LUKMANÇYLYKDA ANYKLAMAGYŇ SES USULLARY. AUSKULTASIÝA. PERKUSSIÝA

Adamyň bedeninde bolup geçýän hadysalar (üýtgeşmeler) köplenç sesiň ýüze çykarylmagy ýa-da diňläp bolýan sesleriň döredilmegi arkaly amala aşyrylýarlar. Muňa mysal edip, adamyň dem alandaky sesini hem-de ýüregi işlände onuň gürsüldisini diňläp bolýandygyny görkezmek bolar.

Lukmançylykda adamyň içki organlarynda döreýän sesleri diňlemek ýoly bilen, adamlaryň saglyk ýagdaýyna gözegçilik edilmeklik esasy usullaryň biri hasaplanýar hem-de **ol auskultasiýa** diýilip atlandyrylýar.

Munuň üçin ulanylýan ýönekeý enjama **fonendoskop** diýilýär. Fonendoskop (5.19-njy surat) sesi geçiriji membranaly (2) içi boş kapsuladan (1) ybaratdyr. Membrana barlanýan adamyň bedeniniň üstüne goýulýar, içi boş kapsuladan bolsa lukmanyň sesi diňlemekligi üçin niýetlenen rezin turbajyklar (3) gidýär. Barlag geçirilýän wagty kapsulada howa sütüniň rezonansy döreyär, şoňa görä-de sesiň eşidilişi güýçlenýär we **auskultasiýa** gowulanýar.



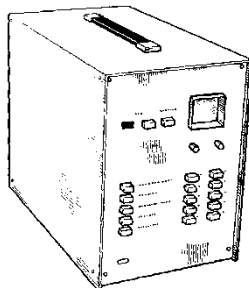
Öýkenleriň auskultasiýasynda kesellere mahsus bolan dem alnanda ýüze çykýan ses galmagallary, dürli hyşsyldylar diňlenilýär. Şeýle hem ýüregiň tonlarynyň üýtgemekligi we ses galmagallarynyň ýüze çykmaklygy boýunça ýüregiň işleýiş ýagdaýyna baha bermek bolýar.

5.19-njy surat.

Auskultasiýany ulanmak bilen aşgazanyň we içegäniň peristaltikasy (tolkun şekilli myşsa ýygrylmasy), göwrelilik ýagdaýdaky düwünçeginiň ýürek urgysy diňlenilýär.

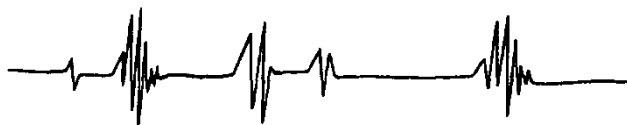
Näsagyň bir wagtyň özünde birnäçe lukmanlar tarapyndan okuw maksady bilen ýa-da konsiliumda diňlenilmegi üçin öz içine mikrofon, güýçlendiriji we radio ýa-da telefonlar girýän enjamlar ulgamy ulanylýar.

Ýüregiň işleýiş ýagdaýyna anyklama goýmak üçin **fonokardiografiýa (FKG)** usuly ulanylýar. Bu usul ýüregiň tonlarynyň we ses galmagallarynyň grafiki registrirlenmeginden we oňa anyklaýyş interpretasiýa berilmeginden ybarat bolup durýar. Fonokardiogrammanyň ýazgysy **fonokardiografiý** kömegi bilen amala aşyrylýar, ol mikrofondan, güýçlendirijiden, ýygylyk filtrliriniň ulgamyndan we registrirleýji gurluşdan ybaratdyr (5.20-nji surat).



5.20-nji surat.

Kadaly fonokardiogramma 5.21-nji suratda görkezilendir.



5.21-nji surat.

Ýene-de bir ses bilen baglanşykly lukmançylykda ulanylýan barlag usuly, ol adamyň barlanylýan ýerine mehaniki täsir etmek (urmak) we onda döreýän sesi diňläp, şol sese görä adamyň ýagdaýyna gözegçilik edilmekdir. Bu usul **perkussiýa** diýilip atlandyrylýar. Ses adamyň endamymda gözegçilik edilip urulýan ýere bagly bolýar, şonuň üçin ol sesleriň tebigaty dürli-dürlidir.

Adamyň endamyna kiçijik rezin çekiçjik bilen urýarlar, ol **plessimetr** diýilip atlandyrylýar. Köplenç ýagdaýda ýönekeý barmak bilen hem urup barlaýarlar, munuň üçin barmagy epläp, ony beýleki elniň barmaklary bilen urgy ediljek ýerinde goýyp, soň onuň üstüne urup bedende döreýän sesi diňleýärler.

Rezin çekiçjik bilen urgy edilende döreýän sese **perkutor ses** diýilýär. Eger-de urulýan ýer ýumşak dokumadan durýan bolsa (mysal üçin deri, ýag, myşsalar), onda döreýän ses pes bolýar we çalt “öçýär”. Eger-de urulýan ýeriň aşagynda haýsydyr bir maýyşgak döremeler bar bolsa, mysal üçin, süňk, ýa-da öýken uçastoklary ýa-da onuň töweregi, onda döreýän ses güýçli çykýar we ol haýal “öçýär”. Şunlukda, rezonansa baglylykda ol ýerlerdäki ton güýçlenýär. Şeýlelik bilen, urgy esasynda endamyň dürli ýerlerinde döreýän sesiň hili boýunça barlanylýan ýeriň aşagynda adamyň haýsy organynyň ýa-da dokumasynyň ýerleşýändigini bilip bolýar. Kükrekde urgudan döreýän ses boýunça ýüregiň töwregini (serhedini) kesgitläp bolýar. Perkutor ses ýüze çykyş güýçlüligi, belentligi we dowamlylygy (peseliş çaltlygy) bilen häsiýetlendirilýär. Lukmanlaryň tejribesinde olara ýörite at berilýär, mysal üçin ýuwaş sese, ýagny ses çalt peselip gidýän bolsa – oňa kütäk ses diýilýär. Eger-de ses, arassa (sap) tona ýakynlaşýan bolsa, onda oňa **timpaniki ses** diýilýär.

Tejribeli lukman perkutor sesleriň tony boýunça içki organlaryň ýagdaýyny we topografiýasyny kesgitläp bilýär.

5.6.5. DOPLERIŇ EFFEKTI

Tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birine görä otnositellikde hereketine baglylykda gözegçi (ýa-da tolkunly kabul ediji enjam) tarapyndan kabul edilýän tolkunlaryň ýygylgynyň üýtgemekligine Dopleriň effekti diýilýär.

Goý, gözegçi (v_g) tizlik bilen gurşawa görä otnositellikde gozganman duran tolkunlaryň çeşmesine ýakynlaşýar diýeliň. Şunlukda ol wagtyň şol bir aralygynda özüniň gozganman duran ýagdayyndaka garanda köp tolkunlara gabat gelýär. Bu bolsa kabul edilýän tolkunlaryň ýygylgynyň (v') çeşme tarapyndan goýberilýän tolkunlaryň ýygylgynyndan (v) ulydygyny aňladýandyr (ýagny $v' > v$). Ýöne tolkun uzynlygy, ýygylk we tolkunlaryň ýaýramak tizligi özara şeýle arabaglanşykdadylar:

$$v = \frac{v}{\lambda} \text{ onda } v' = \frac{(v + v_g)}{\lambda} \text{ ýa-da } \lambda = \frac{v}{v'}$$

bolýandygyny göz önünde tutup, alarys:

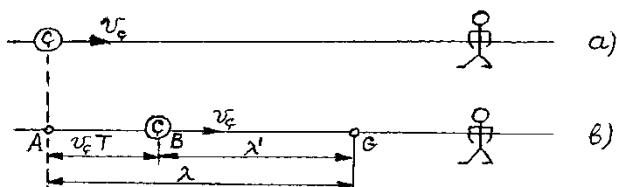
$$v' = \frac{v + v_g}{v} v \quad (36)$$

Indi başga bir ýagdaýa seredeliň. Goý, tolkunlaryň çeşmesi “Ç” käbir (v) tizlik bilen gurşawa görä otnositellikde gozganman duran gözegçi ýakynlaşýar diýeliň (5.22-nji “a” surat). Çeşmäniň öz goýberýän tolkun uzynlygynyň yzyndan hereketlenýändigine görä onuň tolkun uzynlygy gozganman duran çeşmäniň goýberýän tolkun uzynlygynyň kiçi bolar. Dogrudan hem, tolkun uzynlygy fazalarynyň tapawudy 2π deň bolan iki nokatlaryň arasyndaky

aratapawuda dendir. Bir perioda deň bolan wagt aralygynda tolkun “ λ ” aralyga ýaýraýar (5.22-nji “b” surat), tolkunynyň çeşmesi bolsa AB aralyga ($AB = v_{\varphi} T$) ornuny üýtgeder. Şunlukda B we G nokatlaryň fazalary 2π ululyga tapawutlanar. Diýmek, olaryň arasyndaky aradaşlyk şöhlelenmäniň çeşmesi hereketlenende döreýän (λ') tolkun uzynlygyna deň bolar. 5.22-nji suraty ulanyp we $\left(v = \frac{v}{\lambda}\right)$ bolýandygyny göz önünde tutup, käbir hasaplamalary ýerine ýetireliň:

$$\lambda' = \lambda - v_{\varphi} T = \frac{v}{v} - \frac{v_{\varphi}}{v} = \frac{(v - v_{\varphi})}{v}; \quad (37)$$

Bu ýagdaýda gözegçi yrgyldylarynyň ýygylgy şeýle kesgitlenilýän tolkunly kabul edýär:



5.22-nji surat.

$$v'' = \frac{v}{\lambda'} = \left[\frac{v}{(v - v_{\varphi})} \right] v \quad (38)$$

Gözegçiniň we çeşmäniň bir wagtyň özünde biri-birine tarap bolan hereketinde kabul edilýän tolkun ýygylgynyň deňligi 38-nji deňlige (v) ýygylgynyň derejine 36-njy deňlikden (v') ýygylgynyň goýulmagy bilen tapylýar:

$$v''' = \frac{v}{v - v_{\varphi}} \cdot \frac{v + v_g}{v} v = \frac{v + v_g}{v - v_{\varphi}} v \quad (39)$$

39-njy deňlikden görnüşi ýaly, tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birlerine ýakynlaşan wagtynda kabul edilýän ýygylgyk çeşme tarapyndan goýberilýän ýygylgykdan uludyr. 39-njy deňlikde (v_g u v_{φ}) tizlikleriň alamatlaryny üýtgedip, tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birlerinden daşlaşan wagtynda kabul edilýän ýygylgynyň edil ýokardaka meňzeş görnüşdäki deňligini almak bolar.

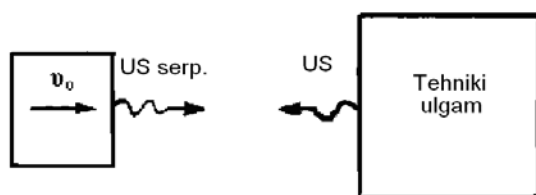
Şeýlelik bilen, şeýle görnüşdäki deňlikleri ýazmak bolar:

$$v''' = \frac{v + v_g}{v - v_{\varphi}} v \quad (40, a) \quad v''' = \frac{v - v_{\varphi}}{v + v_g} v \quad (40, b)$$

Bu deňlikler tolkunlaryň çeşmesiniň we olary kabul edijiniň biri-birlerine ýakynlaşýan ýagdaýyna (40,a) we olaryň biri-birinden daşlaşýan ýagdaýyna (40,b) degişlidir.

Dopleriň effektini gurşawyň içinde maddanyň hereketiniň tizligini kesgitlemek üçin ulanmak bolýandyr. Lukmançylykda ulanylyşy boýunça munuň aýratyn ähmiýeti bardyr. Bu ýagdaýa giňişleýin seredip geçeliň.

Goý, ultrasesiň (US) generatory bilen US-i kabul ediji enjam (priýomnik) käbir tehniki ulgam görnüşinde birleşdirilip çykarylypdyr diýeliň (5.23-nji surat). Tehniki ulgam gurşawa otnositellikde gozganman durandyr. Obýekt (madda) gurşawda “ v_o ” tizlik bilen hereketlenýär diýeliň.



5.23-nji surat.

Generator “ v_g ” ýygylık bilen US-i şöhlendirýändir. Hereketlenýän obýekt tarapyndan (edil gözegçi ýaly), “ v_1 ” ýygylık kabul edilýändir. Ol ýygylık şeýle deňlik bilen tapylyp biliner (36-njy deňlige seret):

$$v_1 = \frac{v + v_o}{\lambda} = \frac{v + v_o}{v} v_g \quad (41)$$

bu ýerde “ v ” – mehaniki tolkunynyň (ultrasesiň) ýaýramak tizligi.

US-tolkuny hereketlenýän obýektiden “ v_1 ” ýygylık bilen tehniki ulgama tarap yzyna serpikýändir. Tehniki ulgam (ýagny kabul ediji enjam) indi başga ýygylıgy kabul edýändir (Dopleriň effekti), ol ýygylıgy 38-nji deňligi ulanmak bilen, şeýle görnüşde görkezmek bolar:

$$v_{enj} = \frac{v}{v - v_o} v_1 \quad \text{ýa-da} \quad 41\text{-nji deňligi göz önünde tutup, şeýle ýazmak bolar:}$$

$$v_{enj} = \frac{v}{v - v_o} \cdot \frac{v + v_o}{v} v_g = \frac{v + v_o}{v - v_o} v_g \quad (42)$$

Şeýlelik bilen, ýygylıklaryň arasyndaky aratapawut şeýle görnüşde bolar:

$$v_{Dop} = v_{enj} - v_g = \frac{v + v_o}{v - v_o} v_g - v_g = \frac{v + v_o - v + v_o}{v - v_o} v_g = \frac{2v_o}{v - v_o} v_g \quad (43)$$

Bu ýygylıga **ýygylıgyň dopler süýşmesi** diýilýär. Lukmançylyk amalynda ulanylýan ýagdaýa seredilende ultrasesiň tizligi obýektiň hereketiniň tizligine garanda has ulydyr, ýagny $v \gg v_o$. Şeýle ýagdaýlar üçin 43-nji deňlikden alarys:

$$v_{Dop} = \frac{2v_o}{v} v_g \quad (44)$$

Dopleriň effektini ganakymynyň tizligini kesgitlemek üçin (2.17-nji surata seret), ýüregiň klapanlarynyň we diwarjyklarynyň ýanyndaky hereketiň tizliklerini kesgitlemek üçin (dopler ehokardiografiýasy) ulanýarlar.

5.6.6. INFRASES

Gurşawda kese tolkunlar görnüşinde 20 Gs-den (Gersden) pes ýygylıkda ýaýraýan maýyşgak yrgyldylara infrases diýilýär.

Infrases tebigy (deňiz, ýer titremesi, tupanly ýyldyrym çakmasy we ş.m) we emeli (partlamalar, awtomaşynlar, stanoklar we ş.m) çeşmelerden ýüze çykyp biler.

Infrases dürli gurşawlar tarapyndan gowşak siňdirilýär, şoňa görä-de ol ep-esli aralyga ýaýraýar. Ol howada çalt togtaýar (gowşayar), ýöne maýyşgak gurşawlar boýunça, hususan-da suw boýunça oňat geçirilýär. Infrasesiň ýaýramagy boýunça ýer gabygynda onun ýüze çykan çeşmesinden uzak aralykda partlamanyň bolandygyny kesgitlemek bolýar, ölçenen infrases tolkunlary boýunça deňizde sunami tupanynyň ýüze çykmagy barada çaklamany bermek bolýar we ş.m.

Eşidilýän seslere garanda infrasesiň tolkun uzynlygynyň uludygyna görä ol oňat difragirlenýär we dürli päsgelçiliklerden geçip otaglara aralaşýar.

Infrases organizmiň ulgamlarynyň funksional ýagdaýyna oňaýsyz täsir edýär, hususan-da ýadawlyk, kelle agyry, ukuçylyk, gjjynyjylyk we ş.m ýüze çykýar. Infrasesiň organizme ilkinji täsir ediş mehanizminiň esasynda **rezonans** hadysalar bar diýilip hasap edilýär.

Belli bolşy ýaly, rezonans daşky täsir ediji güýjüň (yrgyldynyň) ýygylıgynyň obýektleriň öz hususy yrgyldylarynyň ýygylıgyna gabat gelende ýa-da oňa ýakyn bolanda ýüze çykýar.

Adam bedeniniň hususy yrgyldylarynyň ýygylgy ýatan ýagdaýynda 3-4 Gs-e, durka 5-12 Gs-e deňdir; döş kapasasynyň yrgyldylarynyň hususy ýygylgy 5-8 Gs-e, garyn boşlugyňky 3-4 Gs-e deňdir we bular, görnüşi ýaly, infrasesiň ýygylgyna gabat gelýärler.

Infrasesiň ýaşayyş we önümçilik jaýlarynda we ulag serişdelerinde intensiwliginiň derejesiniň peseldilmegi gigiýenanyň meseleleriniň biri bolup durýandyr.

VI. BIOLOGIKI MEMBRANALAR

6.1. BIOMEMBRANALARDAKY HADYSALARYŇ BIOFIZIKASY

Umumy ýagdaýlar.

Janly materiýanyň esasy beloklar, nuklein kislotalary, ýaglar, uglewodlar we beýleki organiki kislotalar düzýärler. Olara biopolimerler ýa-da başga-ça “janly” molekulalar diýilýär. Ýöne olar şeýle atlandyrylanda käbir nätakyklyk goýberilýär, çünki beloklaryň ýa-da nuklein kislotalaryň molekulalary edil suwuň ýa-da uglewodlaryň molekulalary ýaly özbaşdak se-redilende jansyzdyrlar. Biopolimerler diňe haçan-da olar giňişlikde kesgitli tertipde ýerleşenlerinde, biri-birleri bilen kesgitli görnüşde täsir edişenlerinde “janlanýarlar”. Şeýle özara täsiri üpjün edýän esasy biologiki strukturalara **biomembranalar** diýilýär.

Biologiki membranalar galyňlygy 5-8 nm (nanometr) bolan tebigy bardalar bolup durýarlar, olaryň düzümine lipidler, beloklar we uglewodlar girýärler.

Islendik öýjügiň daşyny gurşaýan barda plazmatiki membrana diýilýär. Plazmatiki membranany² öýjügi daşky gurşawdan bölüp aýyrýan ýukajyk gabyjak hökmünde göz önüne getirmek bolar. Ýöne biomembrana diňe ýönekeý gabyjak bolup durýan däl, ol öýjüge molekulalaryň, ionlaryň we beýleki maddalaryň girmegini we olaryň ondan çykmagyny saz-laýandyr. Mundan hem başga onda **dürli fermentler we reseptorlar** bardyrlar, olaryň tebigaty berlen öýjügiň aýratynlyklaryna baglydyrlar. Biomembrana **çeýelik (çeýe) häsiýete** eýedir, şoňa görä-de janly öýjükler käbir çäge çenli membranany üzmezden özleriniň görnüşlerini güýçli derejede üýtgedip bilýärler.

Her öýjügiň biomembranasyna düzümi birhilli bolan gurluş (döreme) hökmünde garamak bolmaz, çünki ol biri-birinden daşky görnüşi boýunça, şeýle hem molekulýar strukturasy we himiki düzümi boýunça tapawutlanýan dürli böleklerden (uçastoklardan) ybarat bolup durýandyr. Biomembrananyň käbir ýerlerde “tekiz” üsti bardyr, onuň başga käbir ýerlerinde bolsa “çukurjyklar” we pökgermeler döreýändir. Biomembranalaryň şeýle “lokal” strukturasy wagtlaýynça (kä wagt ýüze çykýarlar, soň bolsa aýrylýarlar) ýa-da hemişelik bolup bilerler. Wagtlaýyn strukturalaryň döremegi köplenç daşky gurşawdan dürli maddalaryň öýjüge ýuwdulmagy bilen ýa-da käbir öýjük komponentleriniň sitoplazmadan daşky gurşawa bölünip çykarylmalgyny bilen baglanyşyklydyr.

Ýöriteleşdirilen öýjükleriň biomembranalarynyň özlerine mahsus bolan strukturalary bardyrlar. Mysal üçin, içege epiteliýasynyň we böwrek kanaljyklarynyň öýjükleriniň biomembranalary köp sanly mikroösüntgiler (üpürjikler) bilen üpjün edilendirler, şoňa baglylykda öýjügiň umumy üstki meýdany ep-esli artýandyr. Şeýle bolansoň sitoplazma bilen daşky gurşawyň arasyndaky alyş-çalyş prosesiniň netijeliligi has ýokarlanýar. **Nerw öýjükleriniň käbir uçastoklaryny gurşap alýan miýelin gabygy ýöriteleşdirilen biomembrananyň** başga bir mysaly bolup biler. Ol spiral görnüşli köpgatlakly struktura eýedir, bu bolsa nerw süýüminiň degişli ýerleriniň daşky gurşawyň täsirinden goralmak ygtybarlygyny düýpli ýokarlandyrýar. Miýelin gabygy ýörite öýjükler tarapyndan döredilýär, olar özleriniň ösüş prosesinde nerw süýüminiň daşyny köp aýlawly gatlaklar görnüşinde gurşap alýarlar.

Ösümlik we bakterial öýjükleriň aglabasy, beýleki janly organizmleriňkä garanda, öz formasyny üýtgetmäge ukyply däl, çünki olar galyň, berk we çeýeligi pes bolan gabyk bilen

² Mundan beýläk biz plazmatiki membranany biomembrana diýip atlandyrjakdyrys.

örtülendirler. Ol gabyga öýjük diwarjygy diýilýär, emma ol hakykat ýüzünde köplenç birnäçe diwarjyklardan ybarat bolup durýandyr.

Biomembranalar öýjügiň möhüm bölegidirler. Olar öýjügi daşky gurşawdan çäklendirýärler, ony daşky zyýanly täsirlerden goraýarlar, öýjük bilen daşky gurşaw arasyndaky madda alyş-çalşygyny dolandyrýarlar, elektrik potensiallarynyň generasiýalaryna ýardam berýärler, mitohondriýalarda (içki mitohondrial membrana) energiýanyň uniwersal çeşmesi bolan ATF-ň sintezine gatnaşýarlar we ş.m. Umuman alnanda, membranalar öýjügiň strukturasyny kemala getirýärler we onuň funksiýalarynyň amala aşyrylmagyna gatnaşýarlar. Organizmde ýüze çykýan köp näsazlyklar (mysal üçin, ateroskleroz, zäherlenmek we beýlekiler) membrananyň strukturasynyň we funksiýasynyň bozulmagy bilen baglanyşyklydyr.

Diýmek, ähli öýjükleriň daşyny membranalar gurşap alyarlar. Eger membrana bolmadyk bolsady, onda öýjügiň içi ýöne “akyp giderdi”, diffuziýa termodinamiki deňagramlylyga getirdi – bu bolsa ýaşayşyň ýok bolýandygyny aňladýandyr. Umuman alnanda, ilkinji öýjük haçan-da olar biomembranalaryň kömegi bilen daşky gurşawdan bölünip aýrylanda ýüze çykypdyr diýip aýtmak bolar.

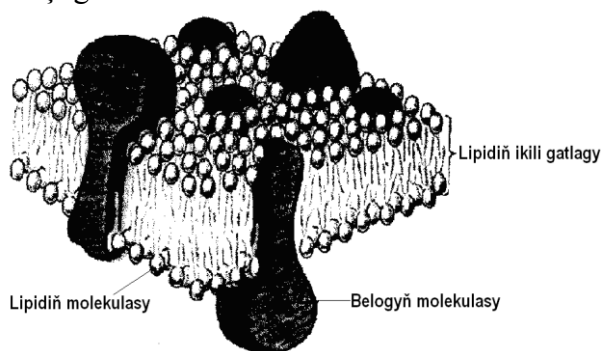
Öýjük – bu ähli jandarlaryň, ösümlikleriň we mikroorganizmleriň esasy düzýän iň ýönekeý ýaşamaga, ösmäge we köpelmäge ukyply bolan janly ulgamdyr. Öýjükleriň ýaşamagynyň wajyp şertlerine, **bir tarapdan**, olaryň daşky gurşawa görä **özbaşdak** bolmaklygy; **başga bir tarapdan bolsa**, olaryň daşky gurşaw bilen **aragatnaşykda** bolmaklygy degişlidir.

Öýjügiň özbaşdak bolmagy ondaky maddalaryň daşky gurşawdaky maddalar bilen garyşmaly däldigini; öýjükdäki we onuň aýratyn böleklerindäki himiki reaksiýalaryň özbaşdak geçmelidigini aňladýar. **Öýjügiň aragatnaşykda bolmagy** ondaky maddalaryň we energiýanyň daşky gurşaw bilen çalşygynyň yzygiderli, üznüksiz we sazlanyp durulmalydygyny aňladýar. Başgaça aýdylanda **öýjük termodinamiki açyk ulgam** bolup durýandyr.

Öýjügiň daşky gurşawa görä özbaşdak we şol bir wagtyň özünde hem onuň bilen berk baglanyşykda bolmagy, ähli derejedäki janly organizmleriň ýaşamagynyň esasy şertidir. Şonuň üçin hem öýjügiň ýaşamagynyň we diýmek, umuman alnanda ýaşayşyň esasy şerti biologiki membranalaryň bolmagydyr.

Biomembranalaryň galyňlygy birnäçe nm (nanometre) deňdir ($1 \text{ nm} = 10^{-9} \text{ m}$), şonuň üçin hem ony optiki mikroskopda görüp bolýan däldir. Ony elektron mikroskopda görüp bolýar. Şu ýerde optiki mikroskopyň çözüjilik çäğine laýyklykda şekili 1500-2000 esse ulaltýandygyny, elektron mikroskopyň bolsa 600.000 esse ulaltýandygyny belläp geçeliň. Häzirki zaman elektron mikroskopyna mysal hökmünde EHM-100 LM kysymly mikroskopy görkezmek bolar. Onun çözüjilik çägi $3 \cdot 10^{-10} \text{ m}$ ululyga deňdir.

6.1-nji suratda öýjük membranasyň takmynan 10 nm^2 meýdanly uly bolmadyk böleginiň giňişlikdäki shematiki görnüşi görkezilendir.



6.1-nji surat.

BIOMEMBRANALARYŇ ÝERINE ÝETIRÝÄN IŞLERI

Biomembranalar esasan üç sany işi, ýagny gorag, matrisa (esas) we mehaniki wezipäni ýerine ýetirýärler.

Membrananyň **gorag wezipesi** öýjük bilen daşky gurşawyň arasynda saýlawly, sazlanýan, passiw we aktiw madda çalşygyny amala aşyrmakdyr. **Saýlawly diýmek** – käbir maddalar membranadan aňsatlyk bilen geçýärler; käbirleri bolsa pes derejede geçýärler ýa-da asla geçmeýärler. **Sazlanýan diýmek** – membrananyň käbir maddalara bolan syzyjylygynyň öýjügiň dynçlyk ýa-da oýandyrylan ýagdaýyna görä üýtgäp durmagyny aňladyandyr. Maddanyň konsentrasiýasynyň köp ýerinden az ýerine özakymlaýyn geçmegine **passiw geçiş**, az ýerinden köp ýerine energiýanyň sarp edilmegi bilen geçirilmegine bolsa **aktiw geçiş** diýilýär.

Membrananyň **matrisa (esas) wezipesi** dürli funksiýany ýerine ýetirýän beloklaryň özara ýerleşişini, ugurlaryny we amatly özara täsirlerini üpjün etmekden ybarat bolup durýandyr.

Membrananyň **mehaniki wezipesi** öýjügiň we onuň içindäki gurluşlaryň berkligini we özbaşdaklygyny saklamaklygy aňladyandyr.

Bulardan başga-da biologiki membranalar **elektrik wezipäni** (ýagny biopotensiallaryň döremegine we geçirilmegine gatnaşmak, mitohondriýalaryň içki membranasynda ATF-i sintezlemek) we **reseptor wezipäni** (ýagny mehaniki, akustiki, ys almak, görmek, himiki, termoresepsiýa we beýlekileri) ýerine ýetirýärler.

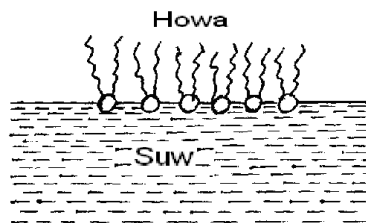
Membranalaryň meýdanynyň uly bolmaklygy olaryň ýaşaýyş hadysalarynda möhüm ähmiýete eýe bolýandygy bilen düşündirilýär. Adam bedenindäki ähli membranalaryň umumy meýdany onlarça inedördül metre ýetýär.

6.1.1. BIOMEMBRANALARYŇ GURLUŞYNA BOLAN GARAÝYŞLAR WE ONUŇ MODELLERI

Biomembrananyň gurluşynyň ilkinji nusgasy 1902-nji ýylda teklipe edildi. Owerton lipidlerde gowy ereýän maddalaryň membranadan aňsatlyk bilen syzyp geçýändigini kesgitledi hem-de şonuň esasynda biologiki membranalar fosfolipidleriň ýukajyk 1 (bir) gatlagyndan durýandyr diýip çaklady. Hakykatdan hem, polýar we polýar däl gurşawlaryň serhedinde (mysal üçin, “suw-howa” ýa-da “suw – ýag”) fosfolipidleriň molekulalary monomolekulýar (bir molekulýar) gatlagy emele getirýärler (6.2-nji surat). Fosfolipidleriň gidrofil “kellejikleri” suwda, gidrofob “guýrujyklary” bolsa howada (ýa-da ýagda) ýerleşýärler. Şonuň üçin hem biologiki membranalar lipidleriň bir gatlagyndan düzülendir diýip çaklap bolýar.

Biologiki membranalarda lipidleriň molekulalarynyň iki gatlagynyň bardygy baradaky ilkinji maglumat 1925-nji ýylda

Gorter we Grendel tarapyndan berildi. Olar eritrositleriň membranalaryndan aseton tarapyndan bölünip aýrylýan lipidleriň suwuň üstki meýdanyna çykyp ýukajyk barda döredýändigini anyklapdyrlar. Bardanyň meýdany hereketlenýän gurluşyň kö-



6.2-nji surat.

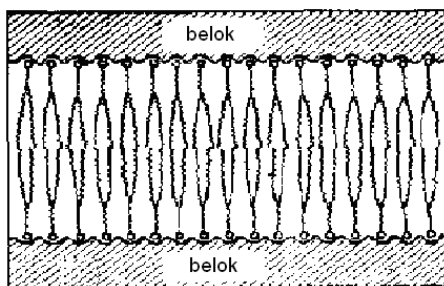
megi bilen lipidler tutuş monomolekulýar gatlak döretýänçäler kiçeldilipdir. Şunlukda monogatlagyň meýdanynyň öýjügiň ilkişadaky meýdanyndan iki esse uludygy anyklanylypdyr. Eritrositleriň diňe ýeke-täk plazmatiki membranasyň bardygyna görä bu membranada lipidler üznüksiz bigatlak görnüşinde gurnalandyrlar diýlen netijä gelipdirler. Bu netije dogry bolup çykypdyr, ýöne soň anyklanylyşyna görä olar oz çaklamalarynda iki ýalňyşlyk goýberipdirler hem-de ol ýalňyşlyklar tötänleýin suratda özara biri-birlerini kompensirläpdirler. **Bir tarapdan**, asetonyň üsti bilen membranadan hemme lipidler bölünip aýrylmandyr; **başga bir tarapdan**

bolsa, eritrositleriň meýdan üstüniň alnan bahasy ep-esli kiçeldilen ululykda bolupdyr, çünki ony çygly preparatda däl-de, gury preparatda ölçäpdirler. Şeýle bolansoň olaryň gelen bu netijesi dogry bolup çykypdyr hem-de ol öýjük biologiýasyna özüniň çuň täsirini ýetiripdir.

Olaryň bu çaklamasy membrananyň elektrik häsiýetleri tarapyndan hem tassyklanylýar, ýagny onuň uly udel garşylygy (10^7 Om.m) we uly elektrik sygymy ($0,5 \cdot 10^{-2} \text{ F/m}^2$) bardyr. ($1 \text{ Om.m} = 10^6 \text{ Om.mm}^2/\text{m}$). Biologiki membranalar elektrik kondensatoryna meňzeşdir. Kondensatoryň geçiriji plastinalary bolup öýjügiň içindäki (sitoplazma) we daşyndaky elektrolitler hyzmat edýärler. Olar lipidleriň iki gatlagy bilen bölünýärler. Lipidler dielektrik syzyjylygy $\epsilon = 2$ bolan dielektrikdir. Tekiz kondensatoryň elektrik sygymy $C = \epsilon_0 \epsilon S/\ell$ deňlik bilen kesgitlenýär (bu ýerde ϵ_0 – elektrik hemişeligi; $\epsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$; ϵ – otnositel dielektrik syzyjylyk; S – bir plastinanyň meýdany; ℓ – kondensatoryň plastinalarynyň aralygy).

Bir birlik meýdanyň sygymy $C = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{\ell}$ deňlik bilen kesgitlenýär. Bu ýerden lipidleriň galyňlygyny kesgitlep bolýar: $\ell = \frac{\epsilon_0 \epsilon}{C} = 3,5 \text{ nm}$. Alnan ululyk lipidleriň galyňlygyna gabat gelýär.

Soňraky geçirilen köp tejribeler membrananyň düzüminde beloklaryň molekulalarynyň hem bardygyny subut etdiler. Mysal üçin, membrananyň üst dartylmasy kesgitlenilende, ölçenilen koeffisiýentiň ululygy “suw-belok” araçägindäki üst dartylma koeffisiýentine ýakyn $\left(10^{-4} \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$ bolup, “suw-lipid” araçägindäki koeffisiýentden $\left(10^{-2} \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)$ has kiçidir. Tejribeleriň görkezzen bu gapma-garşylyklaryny 1935-nji ýylda Daniýelli bilen Dewsona çözmek başartdy. Olar biologiki membranalaryň “buterbrod” modelini teklipe etdiler. Bu model takmynan 40-ýyla golaý üýt-gewsiz galdy. Oňa laýyklykda, membrana iki gyrasy beloklardan, ortasy bolsa iki gat lipidlerden ybarat bolan gurluşdyr, ýagny ol iki bölek belogyň içine lipid çalnan “buterbroda” meňzeşdir (6.3-nji surat). Ýöne soňraky geçirilen tejribeler bu modelin hem nädogrydygyny görkezdi.



6.3-nji surat.

Biologiki membranalaryň gurluşyny öwrenmekde fiziki usullaryň orny uludyr. Membrananyň gurluşy, ony düzýän molekulalaryň atomlarynyň özara ýerleşşi barada möhüm maglumatlary gysga tolkunly rentgen şöhleleriniň atomdaky difraksiýasyna esaslanan rentgenogurluş barlaglary berýär. Rentgenogurluş usuly atomlaryň ýerleşişiniň tertipliligini we şol tertipliligiň ululyklaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Membrananyň gurluşyny bozman, ondaky hadysalary öwrenmäge mümkinçilik berýän usullara flýuorescent usul we radiospektroskopiýanyň usullary – elektron paramagnit rezonansy we ýadrodaky magnit rezonansy – degişlidir. Bu usullar membrananyň molekulalarynyň we onuň aýratyn bölekleriniň hereketi hem-de özara täsirleri baradaky maglumatlary berýärler. Şu usullaryň kömegi bilen fiziologiki şertlerde membrananyň molekulalarynyň suwuk agregat ýagdaýda bolyandygy subut edildi. Elektron paramagnit usuly membrananyň ähli üstüniň diňe bir beloklar bilen örtülen daldigini görkezdi. Mysal üçin, *içege taýajyklarynyň membranalarynyň* üstüniň ýarysyndanam köpüsi lipidleriň polýar kellejikleri bilen emele gelendir.

1972-nji ýylda Sindžer bilen Nikolson membrana boýunça fiziki we himiki usullar bilen alnan netijeleri jemläp, onuň **tüze suwuk – mozaiki nusgasyny teklipe etdiler**. Bu nusga laýyklykda, biologiki membranalaryň gurluşynyň esasy beloklar bilen garylan fosfolipidleriň ikili gatlagy düzýär. Teklipe edilen nusga reňkli daşjagazlaryň we aýnajoklaryň garyşyp, owadan şekilleri – mozaikany emele getirişine meňzeşdir. Şeýle ýagdaýda membranada **üstki we integral** beloklar bardyr.

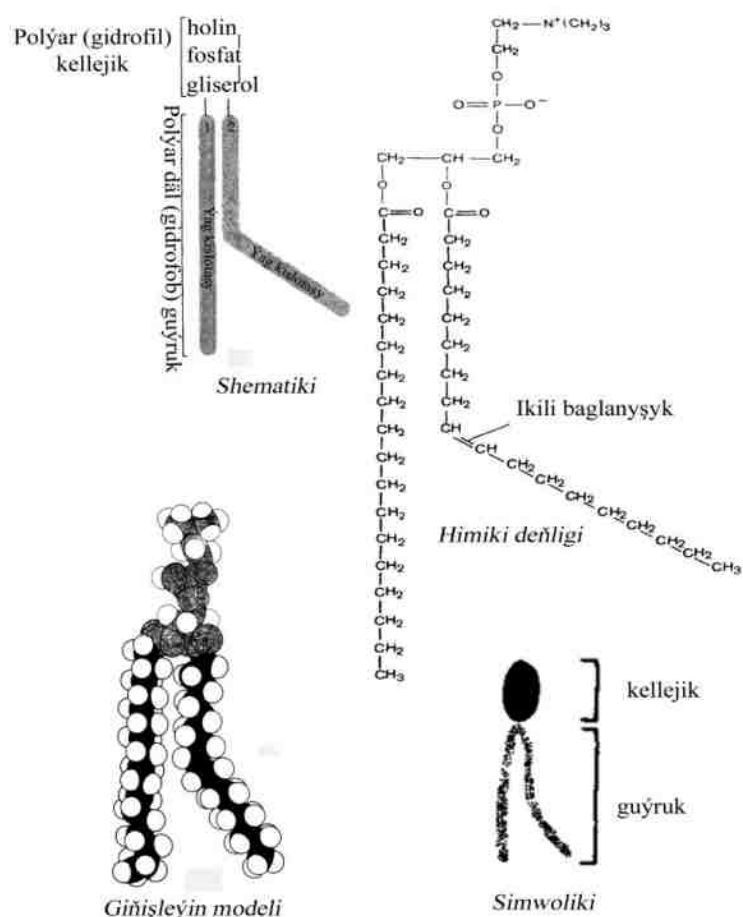
Fiziologiki şertlerde lipidler suwuk ýagdaýda bolýarlar. Bu bolsa membranany belok “aýsbergleri” ýüzüp ýören fosfolipid denzine meňzetmäge mümkinçilik berýär. Suwuk-mozaiki nusganyň dogrudygyny dürli öýjükleriň membranasyndaky beloklaryň we fosfolipidleriň bir-birine gatnaşygynyň dürlüdiği hem subut edýär. **Mysal üçin, miýeliniň membranasyndaky beloklaryň mukdary lipidleriňkiden 2,5 esse azdyr, ýöne mitohondriýanyň membranasynda beloklaryň mukdary lipidleriňkiden 2,5 esse köpdür**. Ýokarda bellenilişi ýaly, “buterbrod” nusga görä, membranadaky beloklaryň we lipidleriň mukdary deň bolmaly. Membranada fosfolipidlerden we beloklardan başga-da, glikolipidler, glikoproteidler, holesterin hem bardyr.

6.1.2. MEMBRANADAKY LIPIDLER

Lipidler suwda eremeýärler, ýöne olar organiki eredijilerde gowy ereýärler. Haýwanlaryň aglaba öýjüklerinde lipidler membrananyň massasynyň 50% bölegini tutýarlar. Lipid gatlagynyň 1x1 mkm meýdan böleginde takmynan $5 \cdot 10^6$ sany lipidiň molekulalary bolýar. Bu bolsa uly bolmadyk öýjügiň membranasynyň 10^9 lipid molekulalaryny saklaýandygyny aňladýar. Membranada lipidleriň üç görnüşi bardyr: **fosfolipidler** (has giň ýaýrany), **holesterol** we **glikolipidler**. Olaryň hemmesi **amfipatiki molekulalardyr**, ýagny olaryň **gidrofil** (“suwy gowy görýän” ýa-da polýar) kellejikleri we iki sany **gidrofob** (“suwy gowy görmeýän” ýa-da polýar däl) guýrujyklary bolýar. **Öýjügiň içine bakyp duran lipidleriň kellejikleri otrisatel, daşyna bakyp duranlarynyňky bolsa položitel zarýadlanandyrlar**.³ Lipidleriň guýruklary elektrik taýdan neýtraldyrlar. 6.4-nji suratda fosfatidilholin diýilip atlandyrylýan fosfolipidiň molekulasy görkezilendir.

Guýruklarynyň uzynlygy (ýagny ýag kislotasy) adatça uglerodyň 12-den 20-ä çenli atomyndan durýar. Guýruklarynyň birinde, düzgün bolşy ýaly, 1-den 4-e çenli ikili baglanyşyk bolýar (**doýgun däl uglewodorod**); ikinjisinde bolsa, ikili baglanyşyk bolmaýar (**doýgun uglewodorod**). 6.4-nji suratdan görnüşi ýaly, guýrukda her ikili baglanyşyk onuň egrelmegine getirýär. Guýruklaryň uzynlygynyň we olaryň doýgunlygynyň membrananyň akyjylygyna uly ähmiýeti bardyr.

³ Lipidleriň polýar kellejikleri položitel zarýadlanandyr diýlende olaryň umumy ýagdaýda neýtraldygy, ýöne iň daşky böleginiň položitel zarýadlanandygy göz önünde tutulýar. Diňe položitel zarýadlanan kellejikler gabat gelýän dälidirler. Bu ýagdaý örän möhümdir, çünki membranalaryň netijeleşiji zarýady öýjükleriň özlerini alyp baryşlarynyň köp taraplaryna ýokary derejede täsir edýändir.



6.4-nji surat.

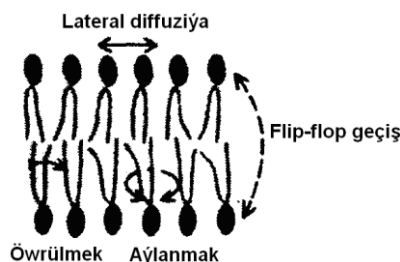
Suwda fosfolipidleriň we glikolipidleriň köpüsi özbaşdak kellejikleri daşyna bakyp duran, guýruklary bolsa, biri-birine içine bakyp duran iki gatlagy emele getirýärler. Diýmek, biologiki membranalaryň lipid esasynyň bolmagy lipidleriň **özlerini ýygnamak, öz-özlerini gurnamak hadysasynyň** netijesidir. Şeýle gatlaklardaky lipidler ýapyk göwrümi emele getirýärler we emele gelen **şikesleri özlere bejeryärler**. Lipidleriň bu häsiýetlerinden başga-da, olaryň membrananyň ýerine ýetirýän işini kesgitleýän akyjylyk häsiýeti hem bardyr.

Lipidleriň membranadaky hereketi we olaryň akyjylygy (şepbeşikligi).

Membrananyň gidrofob hasiýetleri ony düzýän bölejikleriň öz ýerini taşlaman, suw bilen garyşmazlygyna ýardam berýär. Şeýle-de bolsa, molekulalaryň özara täsir güýçleri membrananyň bölekleriniň biri-birleri bilen ýerlerini çalyşmagyna mümkinçilik berýär. Şonuň üçin hem lipidleriň molekulalary membrananyň düzüminden çykmak, şol bir lipid gatlagy boýunça hereket edip bilýärler (**lateral diffuziýa**). Olar 1 sekuntda takmynan 10^7 gezek orunlaryny çalyşýarlar, şunlukda olaryň diffuziýa koeffisiýenti D ortaça $10^{-8} \text{ sm}^2 \text{ s}^{-1}$ ululyga deňdir. Bu görkeziji ortaça ölçegli lipid molekulasyň takmynan 2 mkm aralyga diffundirlenýändigini aňladýandyr.

Lipidleriň molekulalarynyň ýene-de bir hereketi olaryň bir lipid gatlagyndan beýlekisine geçmegidir (**flip-flop geçiş**). Bu geçiş oran seýrek amala aşyrylýar. Flip-flopy amala aşyryan molekulalaryň bigatlagyň bir tarapynda saklanmak ýarymperiody 6 sagada deňdir (käbir fosfolipidlerde, mysal üçin, sfingomiyelinde, bu görkeziji ep-esli uludyr). Bu lipidleriň molekulalarynyň lateral diffuziýany flip-flopa garanda 10 milliard esse we ondan hem çalt amala aşyryandygyny aňladýandyr.

Üçünji görnüşli hereket **lipidleriň öz uzyn oklarynyň daşyndan aýlanmagydyr** (6.5-nji surat). Çalt aýlanmak lipidiň guýrujygyna, has haýal aýlanmak bolsa onuň kellejigine mahsusdyr (Şu aýdylanlaryň hemmesi emeli membranada geçirilen tejribeleriň esasynda alnan netijelerdir).



6.5-nji surat. Fosfolipidleriň membranadaky hereketleriniň dürli görnüşleri.

Membranalar daşky täsire görä gysylyp ýa-da süýnmek bilen berklik we maýyşgaklyk häsiýetlerine hem eýedirler.

Bir görnüşli fosfolipidlerden ybarat bolan lipidleriň ikili gatlagy temperaturanyň belli bir kesgitli bahasynda (doňmak temperaturasy, faza geçiş temperaturasy) suwuk halyndan kristalliki doňan ýagdaýa geçýär. Membrananyň bir haldan başga hala geçmegine **faza geçişi diýilýär**. **Eger lipidlerdäki uglewodorod zynjyry gysga ýa-da onda ikili baglanyşyklar bar bolsa, onda faza geçiş temperaturasy pes bolýar**, ýagny membrana kynlyk bilen doňýar. Uglewodorod zynjyry gysga boldugyça, lipidleriň guýrukларыnyň özara täsiri peselýär, ikili baglanyşyklaryň esasynda guýruklarda emele gelen egrilikler bolsa, lipidiň rejeli toplanmagyna, ýygnalmagyna päsgel berýärler. Eger membrananyň ikili gatlagyndaky lipidleriň düzümi biri-birlerinden tapawutlanýan bolsalar, onda daşky gurşawyň temperaturasynyň üýtgemegi bilen her gatlagyň ýagdaýy (suwuk ýa-da gaty haly) biri-birinden tapawutlanýar. Şol sebäpli iki dürli halyndaky lipid gatlakларыnyň arasynda **faza serhedi** emele gelýär.

Membrananyň akyjylygyny kesgitleýän ýene-de bir madda **holesteroldyr**. Membranada bu maddanyň köp mukdary bolýar, ýagny her fosfolipidiň bir molekulasynda holesterolyň bir molekulasy düşýär. Holesterol diňe bir membrananyň akyjylygyny kesgitlemän, eýsem ol ikili gatlagyň mehaniki berkligini hem ýokarlandyrýar. Emeli usul bilen holesteroly alnan membranalar derrew dargap, eräp gidýärler. Şeýle hem bu madda lipidiň guýrukларыnyň ýelmeşmeginiň we ondaky uglewodorod zynjyrynyň kristallaşmagynyň önüni alýar. Temperaturanyň üýtgemegi bilen membranadaky faza geçişleri ingibirlemekde hem holesterolyň ähmiýeti uludyr. Şeýlelik bilen pes temperaturalarda membrananyň akyjylygynyň birden kiçelmeginiň öňi alynýar.

Akyjylygyň, şepbeşikligiň gomeostazynyň saklanmagy öýjügiň membranasy üçin wajyp meseleleriň biridir. Şonuň üçin membrananyň şepbeşikligini hemişelik saklaýan ýörite ferment ulgamy bar. Bu ulgamyň esasy işi daşky gurşawyň temperaturasynyň üýtgemegi bilen lipidiň düzümini hem üýtgetmekdir. Belli bolşy ýaly, **lipidiň guýrugyndaky ikili baglanyşyklaryň sanynyň köpelmegi we uglewodorod zynjyrynyň gysgalmagy bilen faza geçiş temperaturasy peselýär**. Başgaça aýdylanda, lipiddäki ýag kislotalary **näçe doýgun we** guýrukларыndaky uglerod atomларыnyň sany **näçe köp bolsa**, membrananyň eremek temperaturasy şonça-da ýokarydyr. Diýmek, yssy klimata uýgunlaşan organizmleriň membranalarynyň lipidleri doýgun (ikili baglanyşyklaryň sany az ýa-da ýok) hem-de olardaky uglerod atomларыnyň sany köp bolýar, tersine, sowuga uýgunlaşan organizmleriň lipidleri doýgun däl we gysga bolýarlar.

6.1.3. MEMBRANADAKY BELOKLAR

Membranalaryň gurluş aýratynlyklary lipidleriň häsiýetleri bilen kesgitlenilýän hem bolsa, olaryň käbir ýörite wezipelerini, ýerine ýetirýän işlerini beloklar amala aşyrýarlar.

Membrananyň düzümine girýän beloklaryň köpüsiniň fermentler bolup durýandygyna görä olaryň fermentatiw işjeňligi näçe dürli boldugyça, onda şoňa görä-de membranada saklanýan beloklaryň mukdary hem köp bolmalydyr.

Hakykatdan hem, esasan diňe mehaniki (izolýator) funksiýany ýerine ýetirýän we az sanly fermentatiw işjeňligini ýüze çykarýan nerw süýümleriniň gabygy bolan miýeliniň membranasynyň umumy agramynyň takmynan 25%-bölegini beloklar düzýärler. Öýjügiň goragy bilen birlikde köp fermentatiw funksiýany amala aşyrýan haýwanlaryň öýjükleriniň plazmatiki membranasynda agramy boýunça takmynan 50% beloklar saklanýar; has ýokary fermentatiw işjeňligi bilen tapawutlanýan mitohondriýanyň içki membranasynda bolsa beloklar agramy boýunça 75%-bölegini düzýärler.

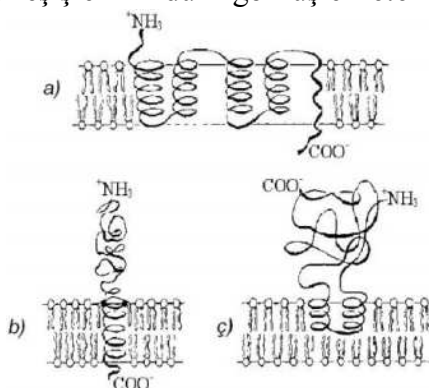
Beloklaryň düzümine 20-dürli aminokislotalar girýärler. Beloklaryň düzümine girýän aminokislotalaryň $RCH(NH_2)COOH$ görnüşli umumy deňligi bardyr we olar biri-birleri bilen diňe R-radikalyň tebigaty bilen tapawutlanýarlar. Käbir aminokislotalarda **R-polýar däl** uglewodorodyň galyndysy bolup durýar; käbir aminokislotalarda bolsa R-ň düzümine OH, NH_2 , COOH we ş.m. ýaly **polýar toparlar** girýärler.

Dürli beloklaryň polipeptid zynjyrlary özleriniň uzynlygy boýunça güýçli derejede tapawutlanýarlar. Aýry-aýry beloklar özara biri-birleri bilen diňe aminokislota galyndylarynyň sany boýunça tapawutlanmak bilen çäklenmän, ondan başga-da olaryň biri-biriniň yzyndan geliş (ýerleşiş) tertibi boýunça hem tapawutlanýarlar. Beloklaryň fiziki-himiki we biologiki häsiýetleri hut aminokislota galyndylarynyň zynjyrdaky yzygiderligi bilen kesgitlenýändir.

Erginde belok zynjyry göni dartylan sapak görnüşine eýe bolýan däl, ol bölekleyin spiral ýaly tovlanan görnüşde bolýandyr. Belok zynjyrlarynyň özlerini şeýle alyp barmaklary haçan-da $C=O$ we $N-H$ toparlar biri-birlerine ýeterlik derejede ýakyn ýerleşenlerinde olaryň arasynda **wodorod baglanyşygynyň** ýüze çykýandygy bilen düşündirilýär. Mundan hem başga, zynjyryň ugry boýunça uly aralykda ýerleşýän aýry-aýry aminokislotalar özara **kowalent baglanyşgy (S-S baglanyşyk)** bilen birleşip bilýärler. Netijede belok molekulasy göwrümleýin strukturany-globulany döredýär.

Islendik spiral görnüşdäki gurluş, umuman alnanda, birnäçe geometriki görnüşe eýe bolup biler. Membrananyň düzümine girýän belogyň lipidler bilen gurşalan ýerleri (uçastoklary) köplenç ýagdaýda **α -spiral** diýilip atlandyrylýan spiraly döredýärler. Seýrek ýagdaýda **β -spiral** döreýär, ýöne onuň wajyp biologiki ähmiýeti bardyr. Bu ýagdaýda β -spiraly içi boş silindr hökmünde göz önüne getirmek bolar, onuň daşky diwarynda polýar däl (gidrofob) aminokislota galyndylary, içki diwarynda bolsa gidrofil aminokislota galyndylary toplanýandyrlar. Şeýle silindrler membranada öz üstünden ionlary we suwda ereýän maddalary aňsatlyk bilen geçirýän özboluşly kanaly döredýärler.

Beloklaryň membranada ýerleşişleriniň dürli görnüşleri 6.6-njy suratda görkezlendir.



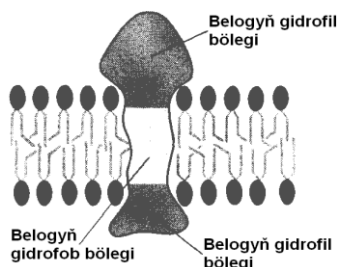
6.6-njy surat.

a) belok membrana doly çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär.

Onuň polipeptid zynjyry membranany birnäçe gezek kesip geçýär we α -spiral sütünleri döredýär (bakteriorodopsin şeýle görnüşde gurnalandyr).

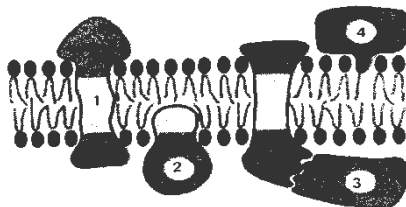
b) belogyň uly bolmadyk gidrofob bölegi membrana çümdürilen görnüşde ýerleşýär, onuň uly (gidrofil) bölegi bolsa suwa eksponirlenendir. Membrana bilen baglanyşygy durnuklaşdyrmak üçin käbir ýagdaýlarda ýag kislotalarynyň beloga kowalent birleşýän ýerleri bardyr (ýag kislotalarynyň birleşýän ýerleri gara nokat bilen görkezilendir).

ç) belogyň gidrofob “labyry” (“ýakory”) fosfolipidiň mono-gatlagyna çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär (mysal üçin, sitohrom b_5 membranada şeýle ýerleşýändir).



6.7-nji surat. Membrananyň düzümine girýän amfipatiki belogyň shemasy.

Belok membrananyň lipid bigatlagynda lipidleriň molekularynyň uglewodorod zynjyrlary bilen gidrofob täsire baglylykda saklanýar.



6.8-nji surat. Membrana beloklarynyň lipid bigatlagy bilen assosirlenmegiň dört usuly:

1 – belok lipid bigatlagyny kesip geçýär; 2 – belok monogatlagy çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär; 3 – belok membrana belogy bilen kowalent däl baglanyşygyň hasabyna saklanýar; 4 – periferiki belogyň lipidiň ýag kislotalary bilen kowalent baglanyşykda saklanýan ýagdaýy.

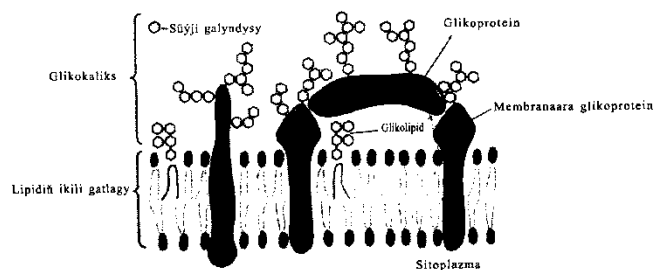
Özleriniň ýerine ýetirýän işleri boýunça membranadaky beloklar fermentatiw, transport we sazlaýjy görnüşlere bölünýärler. Häzirki wagtda beloklaryň berkitme-gurluşyk wezipesini ýerine ýetirýän görnüşi hem bellidir. Olar membranadaky hadysalary katalizirmek, maddalary membranadan geçirmek, elektrik toguny döretmek, energiýanyň öwrülişigini amala aşyrmak ýaly ýaşaýyş üçin wajyp bolan işleri ýerine ýetirýärler.

Käbir belok ulgamlarynyň membranadaky anyk işleri barada soň aýratynlykda seredip geçeriş.

6.1.4. MEMBRANADAKY UGLEWODLAR

Öýjügiň membranasynyň agramynyň 2-10% bölegini uglewodlar düzýärler. Olar membranadaky beloklara (**glikoproteinler**) we ilpidlere (**glikolipidler**) kowalent baglanyşandyrlar (6.9-njy surat).

Biologiki membranalarda maddalar asimmetriki (gyradeň däl) ýerleşendirler. Içki we daşky lipid gatlaglary lipid we belok düzümi boýunça biri-birinden tapawutlanýarlar. Uglewodlaryň membranada ýerleşişini has hem asimmetrikdir. Olaryň mukdary membrananyň daşky tarapynda köpdür. Şonuň üçin **öýjükleriň uglewodlara baý bolan daşky gabygyna glikokaliks** diýilýär (6.9-njy surat). (Ähli uglewodlaryň membrananyň daşky tarapynda ýerleşýändigine üns beriň).



6.9-njy surat. Uglewodlaryň membranada ýerleşişiniň shematiki görnüşi.

Membranada uglewodlaryň ýerine ýetirýän işleri doly belli däl. Ýöne barlaglaryň görkezişi ýaly, olar beloklaryň membranany taşlap gitmez ýaly oňa gowy ýapyşmagyna, dogry ýerleşmegine, bir lipid gatlakdan beýlekisine bökmezligine ýardam berýär. Uglewodlar şeýle hem glikoproteinleriň giňişlikdäki gurluşynyň durnukly bolmagynda uly orny tutýarlar.

6.1.5. BIOLOGIKI MEMBRANALARDA TRANSPORT HADYSALARY (MADDALARY MEMBRANADAN GEÇIRMEK)

Membrananyň içki böleginiň (lipidleriň guýruklarynyň ýerleşýän ýeri) gidrofobdygy sebäpli, ol ähli polýar molekulalar üçin geçip bolmaýan böwetdir. Şeýle böwediň barlygy üçin hem öýjügiň içindäki suwda ereýän maddalar daşyna çykmaýarlar. Ýöne ön bellenip geçilişi ýaly, öýjük daşky gurşaw bilen madda we energiýa çalşygyny amala aşyrmalydyr. Şonuň üçin membranadan maddalary geçirmegiň ýörite ýollary bolmalydyr.

Maddalary membranadan geçirmegiň iki sany görnüşi bar: passiw we aktiw transport.

Eger madda membranadan şol maddanyň konsentrasiýasynyň köp ýerinden az ýerine energiýa sarp etmezden özakymlaýyn geçýän bolsa, onda oňa *passiw transport diýilýär*.

Eger madda membranadan onuň konsentrasiýasynyň az ýerinden köp ýerine energiýa sarp etmek bilen geçirilýän bolsa, onda oňa *aktiw transport diýilýär*.

Membranadan maddalary geçirmegiň üç sany mehanizmi bar: *diffuziýa*, ýörite *geçirijileriň* kömegi bilen we beloklar tarapyndan döredilýän *kanaljyklar* arkaly geçiriliş.

Eger madda konsentrasiýasynyň köp ýerinden az ýerine öz-özünden başga maddalar bilen garyşyp geçýän bolsa, onda oňa *diffuziýa diýilýär*.

Maddalar membrananyň düzümine girýän belok tebigatly bolan ýörite geçirijileriň (ionoforlaryň) kömegi bilen ýa-da diwarlary beloklardan ýasalan kanaljyklaryň üsti bilen hem geçirilip bilner.

Molekula näçe kiçi we ýagda gowy ereýän bolsa, ýagny näçe gidrofob ýa-da polýar däl bolsa, ol şonça-da membranadan diffuziýa arkaly çalt geçýär. Kiçi polýar däl molekulalar *lipidlerde gowy ereýärler we membranadan giffuziýa bilen geçýärler*. Zarýadlanmadyk kiçi polýar molekulalar hem diffuziýa boýunça geçip bilýärler. Zarýadlanan we gidrofil molekulalaryň ählisi diýen ýaly membranadan geçip bilmeýärler.

6.1.6. PASSIW TRANSPORTYŇ GÖRNÜŞLERI

Ýagda gowy ereýän maddalar membrananyň lipid böleginden aňsatlyk bilen geçýärler; gidrofil maddalar membranadaky beloklardan emele gelen ýörite boşluklaryň üsti bilen geçýärler; maddalaryň ählisi ýörite geçiriji – molekulalaryň kömegi bilen ýa-da ion kanallarynyň ionlary saýlap geçirmegi bilen diffuziýa arkaly geçýärler.

Ýönekeý diffuziýa maddalaryň membranadaky döredýän konsentrasiýalarynyň gradiýenti esasynda emele gelýär. *Elektrik taýdan zarýadlanmadyk maddalaryň membranadan geçýän mukdaryny* aşakdaky deňleme bilen kesgitläp bolýar:

$$J = -D \frac{C_2 - C_1}{l}, \quad (45)$$

bu ýerde: J – membranadan geýýän maddanyň akymy. Maddanyň akymynyň dykzlygy 1 $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ birlikde ýa-da 1 $\text{mol}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$ birlikde ölçelýär.

l – membrananyň galyňlygy;

D – her madda üçin hemişelik ululyk bolan diffuziýa koef-fisiýenti; (m^2/s) ;

C_1 we C_2 – maddanyň öýjügiň içindäki we daşyndaky konsentrasiýalary, (kg/m^3) ýa-da (mol/m^3) birlikde ölçelýär.

Deňlemedäki “minus” alamaty madda membranadan diffuziýa boýunça geçende onuň köp konsentrasiýaly ýerde mukdarynyň azalyandygyny aňladýar.

45-nji deňlemä Fikiň diffuziýa deňlemesi diýilýär. Eger maddanyň membrananyň iki tarapyndaky konsentrasiýasy hem belli bolsa, onda Fikiň deňlemesi boýunça membrananyň üstünden geýýän maddanyň mukdaryny kesgitläp bolýar.

Başda bellenilip geçilişi ýaly, lipidleriň kellejikleri elektrik taýdan zarýadlanandyrlar. Öýjük dynçlyk ýagdaýynda onuň membranasyndaky lipidleriň **öýjügiň içine bakyp duranlary otrisatel, daşyna bakyp duranlary bolsa položitel zarýadlanandyrlar**. Şol sebäpli, membrananyň iki üstüniň arasynda potensiallaryň tapawudy döreýär. Ol potensial bolsa membranadan zarýadlanan bölejikleriň geçmegine täsir edýär. Şonuň üçin Fikiň deňlemesi zarýadlanan bölejikleriň membranadan geçişini kesgitlemäge mümkinçilik bermeýär, deňlemä täze goşulyjylary girizmeli bolýar.

Membranadan ionlaryň geçişine onuň galyňlygy, dielektrik syzyjylygy, membrananyň üstündäki zarýadlaryň sany, alamaty, dykzlygy, membranadaky kanaljyklaryň ölçegleri, sany we beýleki ululyklar täsir edýärler. Diýmek, ionlaryň membranadan geçmegine diňe bir olaryň konsentrasiýasy däl-de, eýsem membrananyň elektrik potensialy hem uly täsir edýär. Şonuň üçin ionlaryň diffuziýasyny **hereketlendiriji güýç bolup elektrohimiiki potensial μ** hyzmat edýär:

$$\mu = \mu_0 + RT \ln C + zF\varphi \quad (46)$$

bu ýerde: z – ionyň walentligi,

F – Faradeýiň sany ($9,65 \cdot 10^4 \text{ Kl/mol}$);

R – uniwersal gaz hemişeligi ($8,31 \text{ J}/(\text{mol} \cdot \text{K})$);

φ – membrananyň üstüniň elektrik potensialy;

C – molýar konsentrasiýa;

T – absolýut temperatura;

μ_0 – himiki potensial, ol komponentiň 1 (bir) molynyň bir ýagdaýdan başga bir ýagdaýa geçende himiki üýtgeşmelerini ýüze çykarmak üçin sarp edilýän işe deňdir.

Elektrohimiiki potensial – berlen konsentrasiýaly we elektrik potensially erginden 1 mol iony wakuumda uly aralyga geçirmek üçin sarp edilýän işdir. Bu iş himiki özara täsir güýçlerini we ionlaryň elektrik meýdanyň täsirini ýeňip geçmek üçin sarp edýän işleriniň jeminden ybaratdyr. Elektrohimiiki potensial – elektrik meýdanynda ýerleşdirilen 1 mol maddanyň erkin (Gibbsiň) energiýasydyr.

Öýjügiň içindäki we daşyndaky erginleriň ionlarynyň deňagramlylygyny saklamak üçin aşakdaky şert ýerine ýetmelidir:

$$RT \ln C_1 + zF\varphi_1 = RT \ln C_2 + zF\varphi_2$$

ýa-da

$$\Delta\varphi = \varphi_2 - \varphi_1 = \frac{RT}{zF} \ln \frac{C_1}{C_2} \quad (47)$$

47-nji deňlemä **Nernstiň deňlemesi** diýilýär. Ol elektrohimiiki deňagramlylykda membranadaky potensiallaryň tapawudynyň öýjügiň içindäki we daşyndaky erginleriň konsentrasiýalary bilen kesgitlenýändigini görkezýär.

Aşakda görkezilen **Nernstiň-Plankyň deňlemesi** membranadaky potentsiallaryň tapawudyny hasaba almak bilen ondan geçýän **zaryadlanan maddalaryň** mukdaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär:

$$J = -D \left(\frac{dc}{dx} + \frac{zFc}{RT} \frac{d\phi}{dx} \right) \quad (48)$$

Öýjük dynçlyk ýagdaýyndaka onuň içki we daşky üstlerinde döreyän potentsiallaryň tapawudyna dynçlyk potentsialy diýilýär. Ol potensial Na^+ , K^+ we Cl^- ionlaryň deňagramlylygy bilen amala aşyrylýar we Goldmanyň-Hojkiniň-Katsyň deňlemesi bilen kesgitlenilýär:

$$\Delta\phi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{\text{Na}} [\text{Na}^+]_i + P_{\text{K}} [\text{K}^+]_i + P_{\text{Cl}} [\text{Cl}^-]_o}{P_{\text{Na}} [\text{Na}^+]_o + P_{\text{K}} [\text{K}^+]_o + P_{\text{Cl}} [\text{Cl}^-]_i} \quad (49)$$

bu ýerde, P_{Na} , P_{K} , P_{Cl} – degişli ionlaryň membranadan syzyjylygy, $[]_i$, $[]_o$ – degişli ionlaryň öýjügiň içindäki we daşyndaky konsentrasiýalary.

Dürli organizmleriň dokuma suwuklygyndaky duzlaryň absolýut konsentrasiýasy olaryň ýaşaýan şertlerine baglylykda özara biri-birlerinden güýçli derejede tapawutlanýarlar (mysal üçin, apliziýa deňiz mollýuskasynda bu gurşaw 500 mmol natriýni saklaýar, süýji suwda ýaşaýan bezzubka mollýuskasynda bolsa – diňe 13 mmol natriý saklanýar). Ýöne organizmiň öýjüginde gurşawda natriý we kaliý ionlarynyň gatnaşygy (Na^+/K^+) ähli janly-jandarlar üçin* (tä meduzadan başlap adama çenli) takmynan hemişelik ululyk bolup galýar eken (ýagny kaliýniň konsentrasiýasy natriýniňkiden takmynan 50 esse az bolýar). Şeýlelik bilen, ähli janly organizmler üçin bu gurşawa azda-kände garylan deňiz suwy hökmünde seretmek bolar.

Öýjügiň içinde saklanýan ion düzümini kesgitlemek kyn mesele bolupdyr. Ýöne 1936-njy ýylda mollýuskalar boýunça iş geçirýän inlis hünärmeni J.Ýung kalmarlarda diametri millimetr ululyga ýetýän nerw süýüminiň bardygyny anyklapdyr (ýagny mollýuskanyň özi uly bolmasada, onuň öýjük ölçegleri bilen deňeşdirilende ägirt uly nerw süýüminiň bardygy ýüze çykarylypdyr). Organizmden bölünip aýrylýan we deňiz suwuna ýerleşdirilýän şeýle süýüm ölmän galýar. Şeýdip, içine aralaşyp we tejribe geçirilip bolunýan öýjük tapylýar.

Aşakdaky tablisada dynçlyk ýagdaýyndaky öýjügiň içindäki we daşyndaky kationlaryň we anionlaryň konsentrasiýasy görkezilendir (kalmaryň ägirt uly aksonynda)

7-nji tablisa

Ionlar	1 kg H ₂ O-da konsentrasiýa, mmol	
	öýjügiň içinde	öýjügiň daşynda
K^+	340	10,4
Na^+	49	463
Cl^-	114	592

Görnüşi ýaly, sitoplazmada kaliýniň ionlary, öýjügiň daşynda bolsa natriýniň we hloryň ionlary agdyklyk edýärler. Şeýle ýagdaýda ionlar üçin membrananyň syzyjylygy

$$P_{\text{K}^+} : P_{\text{Na}^+} : P_{\text{Cl}^-} = 1 : 0,04 : 0,45$$

gatnaşyk boýunça amala aşyrylýar. Diýmek, **dynçlyk potentsialynyň** döremegine K^+ we Cl^- ionlary gatnaşýarlar. Şonuň üçin öýjükdäki potentsiallaryň tapawudy $\Delta\phi = 59,7$ mW deňdir, bu bolsa tejribe boýunça kesgitlenen baha bilen gabat gelýär.

Membranadaky transport beloklary

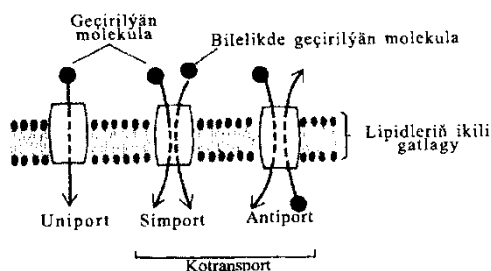
* (Bakteriýalarda, ösümlüklerde we kömeleklerde bu ýagdaý, ýagny daşky gurşawyň hemişelik derejede saklanmagy berjaý edilýän däl. Şoňa görä-de olaryň öýjükleri gaty barda bilen örtülendirler, şeýle barda olary osmos basyşynyň täsiri astynda dargamakdan gorýar).

Membranadaky transport beloklary lipidleriň bigatlagynda aýlanýan dälirler, olar özlerniň konformasiýasyny üýtgetmek bilen maddalaryň geçirilişini amala aşyrýarlar. Transport beloklary konformasiýasyny üýtgedende membranada “derwezeler” ýa-da kanallar açylýarlar we şoňa baglylykda maddalar geçirilýärler. Transport beloklarynyň uglewodlar we aminokislotalar ýaly gidrofil maddalaryň, şeýle hem natriý, kaliý we kalsiý ionlarynyň geçirilişine gatnaşýandygy anyklanandyr.

Käbir beloklar maddany membranadan ýönekeý geçirmegi amala aşyrýarlar. Şeýle ýönekeý geçirmeklige **uniport** diýilýär. Uniport geçirilişine gatnaşýan beloklar maddalary saýlap-seçip almaklyk häsiýetine eýe bolmaklygy bilen tapawutlanýarlar. Mysal üçin, glýukozanyň membranadan geçirilmegine gatnaşýan belogyň laktozanyň transporty üçin hiç hili dahyly ýokdyr.

Beýleki käbir beloklar **kotransport** ulgamlarynyň funksiýasyny ýerine ýetirýärler, ýagny bir maddanyň membranadan geçirilmegi bir wagtyň özünde başga bir maddanyň hem şol tarapa (**simport**) ýa-da garşylykly tarapa (**antiport**) geçirilmegi bilen bilelikde amala aşyrylýar (6.10-njy surat).

Böwrekleriň we içegäniň epitelial öýjüklerinde süýjüleriň we aminokislotalaryň membranadan geçirilmegi edil şol ugur boýunça natriniň geçirilmegi bilen bilelikde **simport** usuly boýunça amala aşyrylýar.



6.10-njy surat. Membranadan maddalary geçirmegiň uniport, simport we antiport usullary.

Mitochondriýanyň içki membranasyndan ATF-ň molekulasyň sitoplazma we şol bir wagtda ADF-ň molekulasyň sitoplazmadan matrikse geçirilmegini **antiport** geçirilişine mysal hökmünde görkezmek bolar.

Ýeňilleşdirilen diffuziýa.

Ýeňilleşdirilen diffuziýa ýörite geçiriji – molekulalaryň gatnaşmagynda amala aşyrylýar. **Lipidleriň ikili gatlagynda eräp, olaryň ionlara bolan syzyjylygyny ýokarlandyrýan uly bolmadyk gidrofob molekulalara ionoforlar diýilýär. Ionoforlaryň iki görnüşi bolýar: ionlary bilen hereketlenýän geçirijiler we kanal emele getiriji ionoforlar.** Mysal üçin, walinomisin antibiotigi (ionofory) kaliýniň ionlaryny geçirijidir. Ýeňilleşdirilen diffuziýanyň ýönekeý diffuziýadan aýratynlyklary şulardan ybaratdyr:

1. Ýönekeý diffuziýa garanda ýörite geçiriji-molekulalar ionlary has çalt geçirýärler;
2. Ýeňilleşdirilen diffuziýanyň doýgunlylyk häsiýeti bardyr. Geçirijiler öz sanlaryndan artyk maddany geçirip bilmeýärler;
3. Eger şol bir geçiriji birnäçe maddany geçirýän bolsa, onda geçirilýän maddalaryň arasynda bäsleşik başlaýar. Şeýle ýagdaýda bir maddalar gowy geçirilýärler, beýlekiler bolsa – erbet. Bir maddalaryň goşulmagy beýleki maddalaryň geçmegini kynlaşdyrýar;

4. Käbir maddalar geçiriji-molekulalar bilen birleşip, ýenil-ýeňilleşdirilen diffuziýany kynlaşdyrýarlar ýa-da asla geçmez ýaly edýärler.

Ýeňilleşdirilen diffuziýanyň ýene-de bir görnüşi membrananyň galyňlygy boýunça gozganmaýan görnüşde ýerleşen geçirijileriň kömegi bilen amala aşyrylýar. Geçirilýän madda

geçirijiniñ birisinden beýlekisine berilmegi bilen estafeta usuly boýunça geçirilýär. Muña mysal hökmünde gramisidin antibiotigini görkezmek bolar.

Osmos – suwuň molekulalarynyň erän maddalaryň molekulalarynyň konsentrasiýasynyň az ýerinden köp ýerine ýarymgeçiriji membranadan özakymlaýyn geçmegidir. **Manysy boýunça, osmos suwuň molekulalarynyň köp ýerinden az ýerine diffuziýa arkaly geçmegidir.** Osmos hadysasy biologiki hadysalarda uly orny tutýar. Gipotoniki erginlerde eritrositleriň gemolizi osmos hadysasynyň netijesidir.

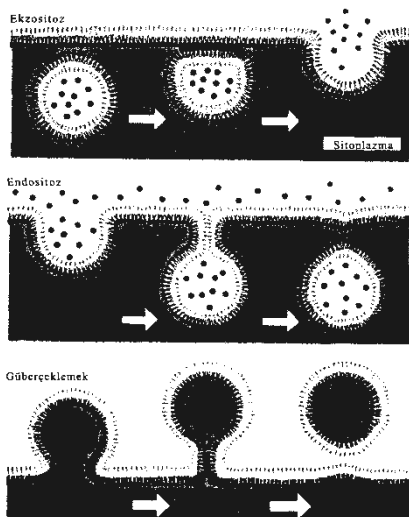
Membranalardan maddalaryň geçişini amala aşyrýan ýörite geçiriji-molekulalaryň belok tebigatynyň bardygyny belläp geçmek zerurdyr.

Makromolekulalaryň we bölejikleriň membranadan geçişi: ekzositoz we endositoz.

Membranadaky transport beloklary diňe kiçi ölçegli molekulalary geçirip bilýärler. Muña garamazdan, beloklaryň, nukleotidleriň, süýjüleriň uly molekulalary we käbir uly göwrümlü bölejikler membranadan geçip bilýärler. Makromolekulalaryň membranadan geçiş ýollary beýlekilerden tapawutlydyr. Makromolekulalar geçirilende membrana bilen örtülen köpürjikleriň (wezikulalaryň) yzygider emele gelmesi we birleşmesi bolup geçýär

(6.11-nji surat).

6.11-nji surat. Ekzositoz, endositoz we güberçekleme hadysalary.



Mysal üçin, öýjük insulini sitoplazmadan daşyna çykarjak bolsa, ilki bilen onuň daşynda köpürjik emele getirip, ony bir ýere toplaýar. Soňra öýjügiň membranasy bilen birleşýär hemde insulini daşaryk çykarýar. Bu hadysa **ekzositoz** diýilýär.

Öýjükler şeýle usul bilen makromolekulalary özlerine ýuwudyp hem bilýärler. Ýuwdulýan madda öýjügiň membranasy bilen örtülýär, soňra kem-kemden ol öýjügiň içine geçirilýär. Bu hadysa **endositoz** diýilýär. Ýuwdulýan bölejigiň ölçeglerine görä endositozyň iki görnüşi bolýar: **pinositoz** (grekçe pino-içýärin, kytos-öýjük), uly bolmadyk köpürjikleriň kömegi bilen maddalary ýuwutmak we **fagositoz** (grekçe phagos-iýýän, kytos-öýjük), uly göwrümlü bölejikleri we öýjügiň galyndylaryny ýuwutmak. Şeýle ýagdaýda uly göwrümlü köpürjikler (wakuolalar) emele gelýärler.

6.1.7. BIOLOGIKI MEMBRANALARDA AKTIW TRANSPORT

Biologiki membranalarda maddanyň aktiw transportynyň ägirt uly ähmiýeti bardyr. Aktiw transportyň hasabyna bedeniň ýaşayş ukybyny saklaýan konsentrasiýalaryň, elektrik potensialyň, basyşyň tapawutlary döredilýär. Termodinamiki nukdaý nazardan, aktiw transport bedende ýaşayşyň çeşmesi bolan deňagramsyzlygy döredýar, sebäbi deňagramlylyk – organizmiň olümidir. Biologiki membranalarda aktiw transportyň bardygy 1949-njy ýylda Using tarapyndan natriý ionlarynyň gurbaganyň derisinden geçişi bilen subut edildi.

Indi bolsa biz ähli janly organizmler üçin iň wajyp hadysalaryň biri bolan ion nasoslarynyň işleýişine seredip geçeliň.

6.1.7. a) Na^+/K^+ -ATFaza: häsiýetleri we biologiki ähmiýeti

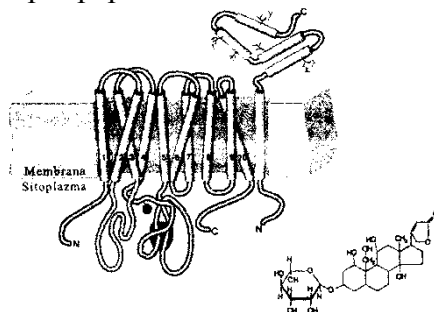
Janly organizmleriň öýjükleriniň ion düzümi daşarky gurşawyň ion düzüminden doly tapawutlanýar. Şu babatda, bir walentli natriý we kaliý ionlarynyň öýjügiň içinde we daşynda asimmetriki (meňzeş däl) bölünmegi has bellärliklidir: öýjükler kaliýniň ionlaryny sitoplazmada toplaýarlar, natriýniň ionlaryny bolsa, daşyna çykarýarlar. Şeýlelikde, öýjügiň membranasynda

bir walentli ionlaryň konsentrasiýasynyň tapawudy döreýär. Megerem, şeýle häsiyet ýaşayşyň döremegi bilen ýüze çykandyr hem-de şu güne çenli janly organizmleriň esasy aýratynlyklarynyň biri bolup galandyr.

Ionlaryň asimmetriýasy nerw we myşsa öýjüklerini oýandyrmakda we elektrik toguny emele getirmekde peýdalanýlar. Ýöne käbir oýandyryjy potensialy emele getirmeyän öýjüklerde hem ionlaryň asimmetriýasy ulanylýar. Öýjügiň içinde **metabolizm hadysalaryny** amala aşyrmak üçin hemişe aminokislotalaryň we süýjüleriň sitoplazma girmegi zerurdyr. Bu maddalaryň molekulalary ýönekeý diffuziýanyň kömegi bilen öýjügiň içine girmeyärler, sebäbi membrananyň bu maddalar üçin syzyjylygy pesdir. Öýjüklerde şeýle maddalary geçirmek üçin ýörite geçiriji beloklar bolýar. Bu beloklaryň işjeňligini artdyran we olar üçin hereketlendiriji güýç bolup, natriýniň membrananyň iki tarapyndaky konsentrasiýalarynyň tapawudy hyzmat edýär. Şeýle ýagdaýda öýjüge gerek bolan maddalar geçirilişiň **simport** görnüşi boýunça natriýniň ionlary bilen bilelikde geçirilýärler.

Konsentrasion gradiýentiň garşysyna maddalary geçirmegiň **aktiw transpört** görnüşi öýjükdäki ATF-ň mukdaryna baglydyr. Beýniniň neýronlarynda aktiw transport üçin öýjükdäki ATF-ň ähli mukdarynyň 30%-i sarp edilýär, özem uklap ýatan beýniniň bu işi ýerine ýetirmek üçin sarp edýän energiýasy oýa beýniniň sarp edýän energiýasyna deňdir. Käbir elektrik taýdan aktiw nerw öýjükleri umumy energiýanyň 70%-ni sarp edýärler. Şunça energiýany bir walentli ionlary öýjügiň membranasyndan geçirmek üçin ýörite ferment – **Na⁺/K⁺-ATFaza** ulanýar. **Ol örän çylşyrymly belok bolmak bilen, öýjügiň plazmatiki membranasynda ýerleşýär hem-de natriý we kaliý ionlaryny birleşdirmek üçin merkezden we ATF-i birleşdirýän we onuň gidrolizini amala asyran aktiw merkezden ybaratdyr.**

Bu ferment iki sany polipeptid zynjyryndan durýar (6.12-nji surat): **uly** (alfa-birlik) we **kiçi** (beta-birlik) bölekleri 1:1 gatnaşygynda fermentiň düzümine girýärler. Kiçi bölegi membranany **bir gezek**, ulusy bolsa **köp gezek** kesip geçýär. Şonuň üçin uly bölek membranada özboluşly birnäçe halkany emele getirýär, ýöne zynjyryň iki uýy hem sitoplazma bakyp durýar. Fermentiň aktiw merkezi hem sitoplazmanyň içinde bolmak bilen, ol sitoplazmadaky ATF-i peýdalanýar. Fermentiň geçirilýän ionlary birleşdirýän merkezi membranany kesip geçýän halkanyň ikinji we üçünji spirallarynyň arasynda ýerleşýär. Şeýlelikde, alfa-birlik nasosyň işini beta-birliksiz hem ýerine ýetirip bilýär. Ýöne bu iki polipeptidler bilelikde bütewi bir globulany emele getirýärler.



6.12-nji surat. Na⁺/K⁺-ATFazanyň öýjügiň membranasynda ýerleşşi.

Beta-birligiň öýjügiň daşyna bakyp duran bölegi özünde kowalent birleşdirilen uglewod böleklerini saklaýar. Massasy we uglewodlaryň mukdary boýunça bu polipeptid lektinlere – membrananyň glikoproteinlerine meňzeýär. Olaryň esasy maksady öýjügara maddalary tanamak we adgeziýadyr. Belogyň sintezi döwründe iki bölek hem membrana bir wagtda tirkelýärler. Alymlaryň pikiriçe, beta-birlik alfa-birligiň ginişlikde dogry ýerleşmegini sazlaýar.

Näme üçin tebigat natriý we kaliý ionlaryny janly tebigaty jansyzdan tapawutlandyrmak üçin saýlap alypdyr? Natriý öýjükdäki kationdyr: onuň ganyň plazmasyndaky mukdary (130-155 mmol/l) doly düzümlü (eritrositleri, leýkositleri we beýleki öýjükleri bar bolan) gandakydan (79-91 mmol/l) köpdür. Kaliý, tersine, öýjükiçi kationdyr: onuň

doly düzümlü gandaky mukdary (40-60mmol/l) ganyň plazmasyndakydan (4-5,6 mmol/l) has köpdür.

Uly adamynyň bedeninde 150 g golaý natriý bar, maddanyň kadaly çalşygyny amala aşyrmak üçin günde 10-15 g nahar duzyny iýmeli.

Bedende natriýniň ýetmezçiligi käbir bozulmalara getirýär: öýjükdaşy suwuklykda **osmos basyşy** peselýär we şunuň bilen baglanyşykly eritrositleriň, beýniniň öýjükleriniň içine suw girýär. Bular bolsa **gemolize** we **sitoliziň** beýleki görnüşlerine, **ganyň goýalmagyna** getirýär. Netijede, ganyň şepbeşikligi ulalýar, arterial basyş peselýär (gipotoniýa), ýüregiň kadaly işi bozulýar (**tahikardiýa**), tekiz muskulaturanyň spazmy, beýniniň çişmegi, merkezi nerw ulgamynyň hatardan çykmagy bolup geçýär. Bedeniň aşgar häsiýetleriniň peselip, natriý duzlarynyň artykmaçlygy bilen baglanyşykly kislotalaryň mukdarynyň ýokarlanmagy (asidoz), ýaş bedeniň ösmeginiň we ulalmagynyň togtamagyna getirýär.

Bedende natriýniň kationlarynyň artykmaçlygy hem howpludyr. Şeýle ýagdaýda natriýniň köp toplanýan ýeri – öýjügara giňişligine **suw ýygnaýar, çiş başlaýar**, suwy ýitiren öýjükleriň işi bozulýar we olar kem-kemden ölýärler. Bulardan başga-da, nerw impulslarynyň geçirilişi togtaýar, arterial basyş ýokarlanýar (**gipertoniýa**).

Uly adamynyň bedenindäki umumy kaliýniň mukdary 133-140 g barabardyr, gündelik iýmit bilen talaby bolsa 2-3 g ýakyndyr. Kaliýniň ionlary nerw impulslaryny geçirmäge, myşsanyň ýygrylmasyny amala aşyrmaga, ýüregiň işini sazlamaga (ritmleri azaldýar, ýürek myşsasyň ýygrylma güýjüni peseldýär) gatnaşýarlar. **Onuň bedende ýetmezçiligi** (gipokaliýemiýa) köp wagtlyk iç geçmelerde, gaýtarmakda, aşa köp peşew çykarmakda (peşew çykaryjy serişdeler, kaliýniň ionlaryny saklamaýan erginler peýdalanylanda, böwreküsti maziň gabygynyň işi bozulanda) ýüze çykýar. Şeýle ýagdaýda nerwleriň we myşsalaryň oýanyjylyk ukyby peselýär, belogyň sintezi togtaýar, onuň dargamagy bolsa çaltlaşýar. Bularyň hemmesi myşsalaryň gowşaklygyna, ýadawlygyna, dem gysma, ýürek bulanma, ýüregiň kadaly işiniň bozulmagyna, wenadaky ganyň basyşynyň ýokarlanmagyna, refleksleriň ýitmegine, ysmazlygyň döremegine we gallýusinasialara getirýär. **Kaliýniň mukdarynyň aşa köplügi** böwrek kesellerine, eritrositleriň (gemoliz) we dokuma öýjükleriniň dargamagyna, kislota-aşgar deňagramlylygyň bozulmagyna hem-de ýüregiň işiniň mahsus bolan bozulmalaryna getirýär. Diýmek, natriýniň we kaliýniň ionlary bedeniň kadaly işini üpjün etmekde wajyp orunlary eýeleýärler.

Janly öýjügiň esasy aýratynlyklarynyň biri - onuň dürli näsazlyklara, hatardan çykmalara, şikeslere jogap berip bilmek ukybynyň barlygydyr. Öýjükde ionlaryň asimmetriýasynyň bolmagy şu jogaby bermegiň esasy şertidir. Megerem, janly organizmler kaliýni we natriýni näsazlyklara jogap bermegiň özboluşly bir görkezijisi hökmünde saýlap alandyrlar. Ýöne näme üçin, öýjük kaliýni içine ýygnaýar, natriýni bolsa daşyna çykarýar, näme üçin tersine däl? Mümkün, natriýniň we kaliýniň häsiýetleri ýa-da olaryň metabolism hadysalaryna täsiri dürli-dürlüdürler?

Elbetde, bularyň hemmesi hem esasy sebäpdür. Hakykatdan hem, öýjügiň membranasynyň bütewiligi baradaky maglumaty elektrohimiýa potensialyň kömegi bilen almak üçin onuň içindäki suwuklygyň her 1 (bir) l (litrine) birnäçe mol natriýniň mukdary bolmaly, ýöne öýjügiň içinde kaliýniň ionlary köp bolsa, onda onuň bary-ýogy 0,1-0,2 moly gerek. Şeýle ýagdaýda membrananyň arasynda 90-120 mW potensial döreýär.

Galyberse-de, natriý we kaliý ionlaşan ýagdaýlarynda biri-birinden zarýady we walentligi bilen tapawutlanmaýarlar. Ýöne şeýlede bolsa, olaryň gidratasiýa (suw bilen birleşmek) geçmek temperaturasynyň çägi ($T_{\text{çäk}}$) biri-biriniňkiden doly tapawutlanýarlar. Bu temperatura natriý üçin +20°C, kaliý üçin bolsa +70°C-a deňdir. Şeýlelikde, köp janly organizmleriň ýaşap bilýän temperaturasy bolan +20°C-dan ýokary temperaturalarda natriý suw bilen aňsat birleşýär we gidrat gatlagyny emele getirýär, kaliý bolsa suwy itekleýär, şonuň üçin hem onuň gidrat gatlagy bolmaýar.

Natriýniň gidratlaşan iony özüniň zarýady boýunça kaliýniň ionyndan tapawutlanmaýar, ýöne ol ölçegi boýunça ulalýar. Olaryň arasyndaky esasy aýratynlygy häsiýetlendirýän ululyk – olaryň gidrofoblylygydyr. San tarapdan bu ululygy gidratasiýa energiýasynyň üsti bilen aňladyp

bolýar. Otag temperaturasynda natriý üçin bu ululyk +1,03 kJ/mol, kaliý üçin bolsa – 1,05 kJ/mol deňdir. Şu ululygy biologiki molekulalar ionlary saýlamak we tanamak üçin peýdalanyň bilýärlermikä?

Lipidler Na^+ we K^+ ionlaryny olaryň gidrofob häsiýetleri boýunça tanaýarlar. Tebigy lipidlerden ýasalan membranadan kaliý ionlarynyň diffuziýasy natriýniňkiden 3-7 esse uludyr. Belogyň sintezi baradaky maglumatlary özünde saklaýan hem-de öýjügiň belok düzümini kesgitleýän nuklein kislotalary hem özlerniň ýerleşýän gurşawynyň ion düzüminiň üýtgemesine diýseň duýgurdyrlar. Mysal üçin, **natriýniň ionlary** ikili spiraldaky nukleotidleriň ýerleşişine we özara baglanyşygyna täsir edýärler, **kaliýniň ionlary** bolsa polipeptid zynjyrynyň sintezine gatnaşýan ribosomlar bilen RNK-nyň baglanyşygynyň berkligini sazlaýarlar. Belogyň molekulalary hem bu ionlary saýgarýarlar. Öýjükdäki birnäçe fermentatiw hadysalaryň tizligi natriý bilen kaliýniň ionlaryna baglydyr. Köp halatlarda **kaliýniň ionlary aktiwator, natriýiň ionlary bolsa ingibitor** bolup durýarlar. Diňe lipidleriň sintezini natriýniň ionlary çaltlandyrýarlar. Diýmek, öýjügiň membranasynyň zeperlenmegi we Na^+/K^+ gatnaşyk ulalanda, zeperi ýok etmek üçin gerek bolan lipidleriň emele gelmegi tizleşýär.

Kaliýniň ionlarynyň köplenç aktiwator bolmagynyň sebäbi, onuň daşky gatlagyndaky elektronlarynyň ýadrodan has daşda ýerleşendigi bilen düşündirilýär. Şeýle ýagdaýda ýadro elektronlary özüne gowşak çekýär. Şonun üçin elektronlar islendik wagt kaliýniň atomyny taşlap, başga atoma gidip bilýärler. Natriýniň atomynyň ölçegleri kiçi bolany üçin, onuň elektronlary ýadro tarapyndan has güýçli dartylýarlar we olar atomy taşlap gidip bilmeýärler. 8-nji tablisada natriýniň we kaliýniň sazlaýan hadysalary görkezilendir.

8-nji tablisa

Natriýniň we kaliýniň sazlaýan metaboliki hadysalary

Hadysa	Aktiwator	Ingibitor
Asetilholiniň sintezi	K^+	Na^+
Ribosomlardaky belogyň sintezi	K^+	Na^+
Lipidleriň sintezi	Na^+	-
Mitohondriyalaryň dem almagy	K^+	Na^+
DNK-polimeraza reaksiýasy	K^+	Na^+
RNK-polimeraza reaksiýasy	K^+	Na^+
Fosfofruktokinaza reaksiýasy	K^+	Na^+

6.1.7. b) Na^+/K^+ - ATFazanyň işleýşi

Na^+/K^+ - ATFazanyň özuniň hem natriýniň we kaliýniň ionlaryny tanaýan ýörite mehanizmi bolýar. Ilkinji bolup bu fermenti 1957-nji ýylda Ýens Hristian Skou tapdy. 1953-nji ýylda G.Şatsman **ýürek glikozidleri** diýilýän birleşmeleriň eritrositleriň membranasyndan natriýniň we kaliýniň ATF-e bagly bolan geçirilişini peseldýändigini anyklady. Awtor ýürek glikozidlerini saklaýan gurşawda öýjügiň membranasynyň ikitarapynda hem degişli bir walentli ionlaryň konsentراسiýasynyň tapawudynyň azalýandygyny görkezdi. Awtoryň pikiriçe, **glikozidler aktiw transporty basyp ýatyryýarlar**, degişli kationlar bolsa passiw transport boýunça konsentراسiýanyň köp ýerinden az ýerine geçýärler. Şu hadysalarda **uabain** iň netijeli glikozid bolup durýandyr.

Ý.Skou öýjügiň membranasyndan natriýniň we kaliýniň aktiw transportyny amala aşyryan fermentler ulgamyny kesgitledi. Onuň göz önünde tutuşy ýaly, bu fermentler ATF-ň gidrolizini amala aşyryp, bölünip çykýan energiýanyň hasabyna bolsa, natriýniň we kaliýniň ionlaryny konsentراسiýanyň gradiýentiniň garşysyna geçirýärler. Şeýle hem bu fermentler özuniň geçirýän ionlarynyň hasabyna aktiwleşýärler we uabainiň täsiri astynda ingibirlenýärler. Öz barlaglarynda Skou leňnejiň aksonyny peýdalandy, sebäbi onuň nerw öýjüklerinde aktiw transport has aýdyň ýüze çykýar. Hakykatdan hem, çak edilişi ýaly, nerw öýjükleriniň maddalary ATF-i gidrolizleýärler hem-de natriý we kaliý ionlary bu hadysany çaltlaşdyrýarlar, uabain bolsa, ter-

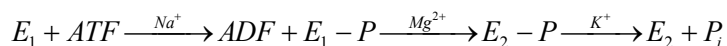
sine, ony basyp ýatyrýar. Şeýlelikde, Na^+/K^+ -ATFaza natriýniň we kaliýniň ionlaryny bir (az) ýerden başga (köp) ýere “sorujy” enjam (ýagny nasos) ýaly işleýär, şonuň üçin oňa Na^+/K^+ -nasosy hem diýilýär.

Aktiw transporty energiýa bilen üpjün etmek üçin ATF-i gidrolizleýän Na^+/K^+ -ATFaza fermenti köp tapgyrlardan durýan çylşyrymly reaksiýalary amala aşyrýar. Şol raeksiýalara natriýniň, kaliýniň, magniýniň ionlary we ATF gatnaşýarlar. Özüne haýsy ionyň birleşýänligine baglylykda, Na^+/K^+ -ATFaza fermenti öz konformasiýasyny aňsatlyk bilen üýtgedýär.

Konformasiýa diýilip belogyň aýratyn bölekleriniň giňişlikdäki özara ýerleşişine we toplanlyşyna aýdylýar.

Na^+/K^+ -ATFaza fermentiniň işi onuň natriýniň ionlary bilen özara täsirinden başlanýar. Fermentiň “natriý” konformasiýasy (Na-konformer) E_1 , “kaliý” konformasiýasy (K-konformer) bolsa E_2 bilen belgilenýär. K-konformerden Na-konformere geçmek ($E_2 \rightarrow E_1$) kaliýniň gysylýp çykarylyp, natriýniň birleşdirilmegi bilen başlanýar we ATF bilen tizleşdirilýär.

Ilkinji tejribelerde natriýniň gatnaşmagynda fermentiň ATF bilen aňsat täsir edişýandigi anyklanyldy. Netijede ATF-ň fosfat galyndysy belok zynjyrynyň karboksil asparagin kislotasyna birleşip, fosforlaşan fermenti ($E - P$, bu ýerde: E - fermentiň molekulasy, P - fosfor kislotasynyň galyndysy) emele getirýär. Fosforlaşan fermentiň gidrolozi (fermentiň defosforlaşmasy) kaliýniň ionlary tarapyndan işjeňleşdirilýär. Na^+/K^+ -ATFaza fermenti bilen katalizirlenýän ATF-ň gidrolizi aşakdaky ýaly amala aşyrylýar:



Bu hadysa aşakdaky tapgyrlardan durýar (6.13-nji surat):

1. E_1 ýagdaýda ferment natriýniň ionlary we öýjügiň içindäki ATF bilen täsir edişýär. Netijede fosforlaşan molekula E_1-P emele gelýär, ADF (adenozindifosfat) bolsa fermentiň aktiw merkezinden boşap, sitoplazma gaýdyp gelýär.

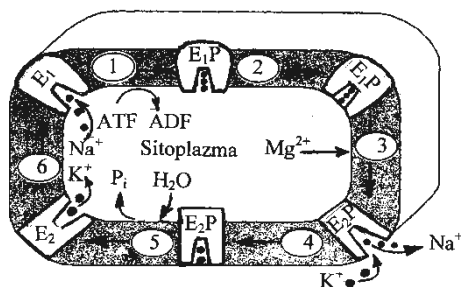
2. Fosforlaşan belok şeýle ýagdaýa geçýär, ýagny natriýniň ionlary membrananyň daşyna-da çykyp bilmeýärler, içine-de girip bilmeýärler. Ferment olary başga ionlar bilen çalşyp hem bilmeýär (**okklýuziýa hadysasy**).

3. Fermentiň indiki tapgyra geçmegi magniýniň ionlaryna baglydyr. Bu ýagdaýda magniýniň esasy ähmiýeti fosforlaşan fermenti E_1 konformasiýadan E_2 konformasiýa geçmegini çaltlaşdyrmakdyr. Şu tapgyrda fermentiň molekulasyň aýratyn bölekleri öz ýerlerini üýtgedýärler we **gidrofob häsiýete** eýe bolýarlar, bu bolsa natriýniň ionlarynyň membranadan daşyna çykmagyna, fermentiň bolsa kaliýniň ionlaryny özüne birleşdirmegine sebäp bolýar.

4. Kaliý ionlary, edil natriýniň ionlary ýaly, **okklýuziýa** hadysasyna sezewar bolýarlar we membranadan geçirilip bilinmeýärler.

5. E_2-P toplumyň E_1-P toplumdan esasy tapawudy onuň **gidrofildigidir**. Şeýle ýagdaýda fosfat suwuň molekulasyň täsirine sezewar bolýar we fosforlaşan fermentiň suwdaky gidrolizi (fermentiň defosforlaşmasy) amala aşyrylýar hem-de organiki däl fosfat öýjügiň içine boşadylýar.

6. Şundan soň kaliýniň ionlary hem sitoplazmanyň içine bosadylýarlar. Olaryň ýerini bolsa natriýniň ionlary tutýarlar. Şu tapgyrda ferment täze aýlaw üçin taýýarlanylýar, ýagny ol E_2 görnüşden E_1 görnüşe geçýär. Bu hadysany ATF tizleşdirýär we fermentiň natriýni birleşdirip bilijilik ukyby ulalýar, kaliýni birleşdirip bilijilik ukyby bolsa peselýär.



6.13-nji surat. Na^+/K^+ -ATFazanyň işleýiş aýlawy.

Bir aýlawyň dowamynda ATF-ň bir molekulasyň gidrolizindäki bölünip çykarylýan energiýa natriýniň üç ionyny öýjügiň içinden daşyna, kaliýniň iki ionyny bolsa öýjügiň daşyndan içine geçirmäge ýetýär.

Na^+/K^+ -ATFaza fermentiniň işjeňliginiň sazlanlyşy. Bu fermentiň işjeňligi birnäçe ululyklaryň üsti bilen sazlanýlar. Ilkinji ýerde Na^+/K^+ gatnaşyk we ATF-ň ýeterlik derejede bolmagy durýar. Bu ululyklaryň fermenti gysga wagtlýk sazlamakda ähmiýeti uludyr. Kadaly ýagdaýlarda öýjükde ATF-ň mukdary hemişelik bolup, patologiki ýagdaýlarda bolsa ol azalýar. Soňky ýagdaý Na^+/K^+ -nasosynyň işini kynlaşdyrýar.

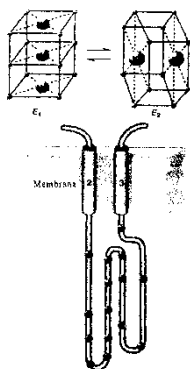
Ýüregiň öýjüklerindäki ATF-azany uabainiň we beýleki ýürek glikozidleriniň ingibirlenmegi gyzykly meseleleriň biridir. Uabainiň we beýleki ösümlik tebigaty bolan alkaloidleriň adam bedenine täsiri doly belli bolmasa-da, olaryň lukmançylykda kardiotoniki serişdeler hökmünde peýdalanylmaklygy ýürek glikozidleri diýlip berlen ady doly ödediler. Ýüregiň öýjüklerindäki Na^+/K^+ -ATFaza fermenti böwrek dokumasyndaky bu fermentleriň görnüşinden uabainiň täsirine has duýgurdyrlar.

Ýürek myşsalaryndaky Na^+/K^+ -ATFazanyň ingibirlenmegi ýüregiň ýygrylmasyny çaltlandyryp, položitel inotrop netijäni berýär. Galyberse-de, ýüregiň Na^+/K^+ -nasosynyň bölekleyin ingibirlenmegi miokarda maddalaryň emele gelmek hadysalaryny güýçlendirýärler we myşsanyň agramyny köpeldýärler. Bu bolsa ýüregiň myşsalarynyň işini netijeliligini ulaldýar.

Ýüregiň öýjükleriniň (kardiomiositler) membranasynda Na^+/K^+ -nasoslardan başga-da ion gomeostazyny sazlaýan birnäçe beloklar bar. Şolaryň arasynda esasyalarynyň biri bolup miositlerdäki natriýniň ionyny kalsiýniň iony bilen çalşyrmaga ukyply bolan ýörite belok-geçiriji ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ -çalşyry) hyzmat edýändir. Ol myşsalaryň ýygrylmagynda möhüm bolan kalsiýniň ionlary bilen öýjügi üpjün edip bilýär. Bu hadysa diňe öýjügiň içinde natriýniň ionlarynyň köp bolan halatynda mümkindir. Natriýniň konsentrasiýasyny bolsa diňe Na^+/K^+ -nasosyny ingibirmek bilen ulaldyp bolýar. Ýüregiň ýygrylma işjeňligini sazlaýan kalsiýniň mukdarynyň üstüni ýürek glikozidleriniň kardiomiositlere bolan täsiri arkaly ýetirip bolýar.

Ganyň syworotkasynyň hem Na^+/K^+ -nasosyny ingibirmek häsiýeti bardyr. Bu suw-duz çalşygy bozulan gipertoniki näsaglarda has hem gowy ýüze çykýar. Barlaglaryň görkeziji ýaly, steroid birleşmeler hem uabain ýaly adam bedenindäki Na^+/K^+ -ATFazanyň işjeňligini sazlaýarlar. Häzirki wagtda bu fermentiň işjeňligini sazlaýan başga-da birnäçe polipeptidleriň bardygyny anyklanyldy.

Na^+/K^+ -ATFaza fermentiniň natriýniň we kaliýniň ionlaryny birleşdirýän we olary membranadan geçirýän bölekleri 6.14-nji suratda görkezilendir.



6.14-nji surat.
Na⁺/K⁺-ATFaza fermentiniň natriýniň we kaliýniň
ionlaryny birleşdirýän merkezi.

6.2. BIOLOGIKI MEMBRANALARDA ENERGIÝANYŇ ÖWRÜLIŞIGI

Biologiki hadysalaryň aglabasy üçin energiýanyň çeşmesi Gündür. Fotosintezi amala aşyran ösümlikler ýagtylygyň energiýasyny organiki maddalary sintezlemek üçin ulanýarlar. Bu maddalar bolsa, Günüň energiýasyny özbaşdak peýdalanylýan bilmeýän dürli jandarlar we organizmler üçin gurluşyk maddalary we energiýanyň çeşmesi bolup durýar.

Organizmler iýýän iýmitleriniň düzümine girýän maddalaryň okislenmegi netijesinde bölünip çykýan energiýany ATF-ň molekulasy sintezlemek üçin ulanýarlar.

Ähli organizmler üçin himiki energiýanyň uniwersal çeşmesi bolan iň wajyp makroerg birleşmeleriň biri adenzotrifosfor (ATF) kislotasydyr. ATF-ň molekulasy ilkinji gezek 1929-njy ýylda Fiske we Subbarou tarapyndan myşsalaryň turşy galyndylaryndan alyndy. Şondan soň köp wagt geçmänkä, ATF-ň janly öýjükdeki energiýa çalşygyny amala aşyran köp hadysalara gatnaşyandygy anyklanyldy. 1931-nji ýylda akademik W.A.Engelgard ATF-ň sintezi bilen öýjügiň dem alyşynyň (okislenme fosforlaşma hadysasy) arasynda baglanyşygyň bardygyny kesgitledi. Biraz gijiräk ol ATF-ň myşsanyň ýygrylmasynda gatnaşyandygyny hem anyklady. 1941-nji ýylda Lipman bioenergetikanyň esasy kanunyna kesgitleme berdi. Oňa laýyklykda daşky çeşmäniň energiýasy ilki bilen ATF-ň molekulasyň himiki energiýasy görnüşinde toplanýar we diňe şondan soň peýdaly işi ýerine ýetirmek üçin peýdalanylýar. ATF-ň ähli janly organizmler üçin uniwersal “energetiki walýutadygy, gymmatlykdygy” köp sanly tejribeleriň üsti bilen subut edildi we ol bütewi bionenergetikanyň içinden eriş-argas bolup geçýändir.

MITOHONDRIÝALAR

Öýjügiň içinde içkiöýjük membranalar dürli wezipäni ýerine ýetirýän suböýjük bölejikleriň (organellalaryň) daşyny gurşap alýarlar. Olara, mysal üçin, iýmitiň düzümine girýän maddalarda saklanýan energiýany energiýanyň beýleki görnüşlerine öwürýän öýjügiň özboluşly “energetiki menzilleri” diýilip atlandyrylýan *mitohondriýalar* degişlidir.

Öýjükde energiýa nähili ýol bilen geçirilýärkä – ATF-ň diffuziýasy boýunçamy, ýa-da öýjügiň ähli böleklerini energetiki birleşdirýän ýörite gurluşlar barmyka? Bu soragyň jogaby entek doly belli däl. Ýöne geçirilýän barlaglaryň netijelerine görä, mitohondriýanyň membranasynyň belli bir böleginde emele gelen potensiallaryň tapawudy onuň başga bölegine geçirilip peýdaly işe öwrülip bilýär. Bu meselede öýjügiň içindäki köp sanly mitohondriýalaryň özara baglanyşygynyň bardygynyň hem ähmiýeti uludyr. Şonuň üçin *öýjükdeki ähli mitohondriýalaryň toplumyna hondriom diýilýär.*

Mitohondriýalar ýa-da hondriosomlar (grekçe *mitos* – sapak, ýüp; *hondrion* – dänejik; *soma* – bedenjik diýen manyny aňladýar) granula ýa-da sapak şekilli organoidlerdir.

DNK diňe eukariot öýjükleriň ýadrosynda saklanýan däldir. Ähli eukariot öýjüklerde mitohondriýalaryň bardygy anyklanandyr, olaryň bolsa **öz mitohondrial DNK-sy bardyr**. Bu mitohondriýanyň beýleki organoidlerden iň esasy aýratynlygy bolup durýandyr.

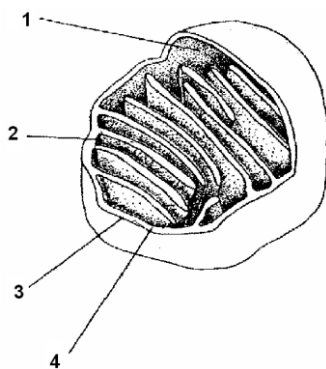
Mitohondriýanyň ölçegi, görnüşi we sany dürli dokumalarda dürli-dürlidir, ýagny bu görkezijiler bir dokumadaky öýjükden başga bir dokumadaky öýjüğe üýtgäp durýandyrlar. Bu görkezijileriň üýtgemekligi, megerem metabolizmdäki üýtgeşmelere jogap hökmünde we öýjügiň garramaklygy netijesinde bolup geçýändir diýilip hasap edilýär. Haýwanlaryň öýjüklerindäki mitohondriýa köplenç uzynlygy takmynan 3-5 mkm (mikrometr), diametri bolsa takmynan 0,5-1 mkm deň bolan uzaldylan silindriki görnüşe eýedir. Ýokary derejeli aerob (kislorda baglanyşykly) metabolizmi bilen häsiýetlendirilýän öýjüklerde mitohondriýanyň sany adaty köp bolýar. Mysal üçin, bagryň her bir öýjüginde iki ýüz töweregi mitohondriýa saklanýar diýilip hasap edilýär. Şol bir wagtda, ilkinji nobatda anaerob (kislorda baglanyşyksyz) metabolizme gatnaşýan öýjüklerde (mysal üçin, skelet myşsalarýndaky öýjüklerde) onuň bary-ýogy birnäçe sanysy bardyr.

Mitohondriýanyň ölçegi ýadrodan ep-esli kiçidir (takmynan onuň $\frac{1}{20}$ - bölegine deňdir), ýöne olaryň hemmesi bilelikde sitoplazmanyň uly göwrümini tutýandyr (mysal üçin, bagryň öýjüginde olar sitoplazmanyň $\frac{1}{5}$ bölege deň bolan göwrümini tutýarlar). Mitohondriýa substratlaryn okislenmeginde boşaýan energiýany biologiki peýdaly görnüşe öwürýär, hususan-da ATF-ň sintezi üçin sarp edýär.

Mitohondriýany ulanmazdan öýjükler özleriniň ähli ATF-ni anaerob glikoliziň hasabyna almaly bolardyrlar. Ýöne glikolizde (bu hadysada glýukoza piruwada çenli dargaýar) süýjileriň doly okislenmeginde alynýan energiýanyň uly bolmadyk bölegi, ýagny 5,5%-i alynýar.

Mitohondriýalarda süýjiler we ýag kislotalary molekulýar kislorod tarapyndan kömürturşy gaza (CO_2) we suwa (H_2O) çenli doly okislendirilýärler. Şunlukda boşaýan energiýa örän netijeli ulanylýar, ýagny glýukozanyň bir molekulasyň hasabyna ATF-ň 36-sany molekulasy sintezlenýär; şol bir wagtda glikolizde glýukozanyň bir molekulasyň hasabyna ATF-ň diňe 2-molekulasy alynýar.

Mitohondriýa iki sany ýöriteleşdirilen membrana bilen gurşalandyр, ýagny onuň **daşky** we **içki** membranasy bardyr. Daşky we içki membrananyň aralygyna **membranaara** giňişlik diýilýär. Mitohondriýanyň içki membrana bilen gurşalan içki bölegine **matriks** diýilýär. 6.15-nji suratda mitohondriýanyň umumy gurluşy görkezilendir.



6.15-nji surat. Mitohondriýanyň umumy gurluşy. Bagryň mitohondriýasynda ähli beloklaryň 67%-i matriksde, 21%-i daşky membranada, 6%-i içki membranada we 6%-i membranaara giňişlikde ýerleşýär. Şu dört bölegiň her birinde öz funksiýasyna laýyklykda fermentleriň kesgitli toplumy saklanýandyr.

1. **Matriks**. Matriks özünde ýokary derejede konsentrlenen ýüzlerçe dürli fermentleriň garyndysyny, şol sanda piruwady we ýag kislotalaryny okislendirmek üçin gerek bolan fermentleri saklaýar. Bulardan başga-da, matriksde mitohondrial DNK-nyň birnäçe meňzeş nusgalary, ýörite mitohondrial ribosomlar, tRNK we beýleki fermentler ýerleşýärler.

2. **Içki membrana (IM)**. Içki membranada köp sanly ýygirtlar (kristler) bardyr, olar IM-ň umumy üstki meýdanynyň ulalmagyna getirýär. IM özünde esasy üç dürli kysymly beloklary saklaýar: 1) dem alyş zynjyrynda okislenme reaksiýalaryny katalizirleýän beloklary; 2) matriksde ATF-i sintezleýän ATF-sintetaza diýilip atlandyrylýan fermentler kompleksini; 3) metabolitleriň matrikse geçirilişini we ondan çykarylyşyny sazlaýan ýörite transport beloklary.

3. **Daşky membrana (DM).** Daşky membrana özünde giň kanallary döredýän beloklary saklaýandygyna görä ondan uly molekulalar hem geçýändir. Şeýle hem DM-ň düzümine lipidleri reaksiýa ukyply önümlere öwürýän fermentler girýärler, olar soň matriksde geçýän metaboliki proseslere gatnaşýarlar.

4. **Membranaara giňişlik.** Membranaara giňişlikde nukleotidleri matriksden çykýan ATF bilen fosforlaşdyrmak üçin niýetlenen birnäçe fermentler bar.

Daşky membrana özünde köp gaýtalanýan transport beloklaryň molekulalaryny saklaýar. Ol beloklar lipid bigatlagynda giň gidrofil kanallary döredýärler we şoňa görä-de onuň üstünden membranaara giňişlige ähli molekulalar we uly bolmadyk beloklar geçip bilýärler.

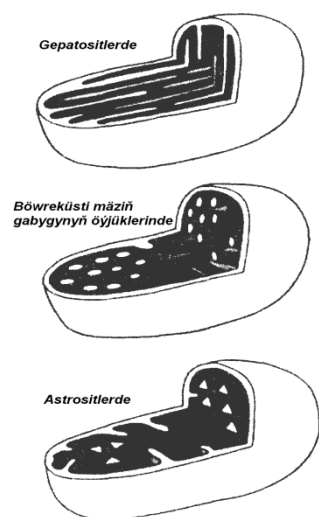
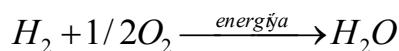
Içki membranada matrikse tarap bakyp duran köp sanly kristler (ýygirtlar) bardyr. Şuňa baglylykda onuň umumy meýdany bagryň mitohondriýalarynda daşky membrananyň umumy meýdanyndan 5-esse uludyr we öýjügiň ähli membranalarynyň umumy meýdanynyň $\frac{1}{3}$ -bölegine

deňdir. Ýürek myşsalaranyň mitohondriýalarynda bagryň mitohondriýalary bilen deňeşdirilende kristleriň sany üç esse köpdür, bu tapawut ýürek dokumasynyň ATF-e bolan talabynyň ýokary bolmaklygy bilen düşündirilýär.

Dürli dokumalaryň öýjüklerindäki mitohondriýalaryň kristleriniň morfologiýasy bir-birlerinden tapawutlanýandyr, onuň näme sebäpden şeýle bolýandygy entek anyklyan däl (6.16-njy surat).

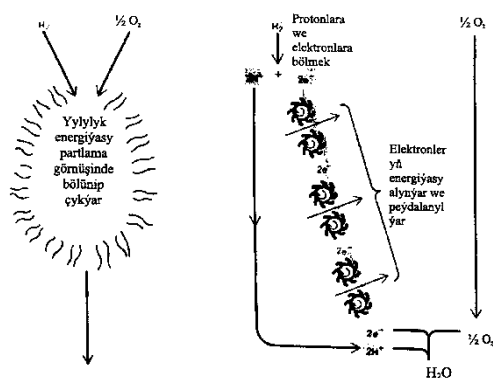
Suratdan görnüşi ýaly, gepatositde kristler plastina şekilli tekiz bolýarlar; böwreküsti mäziň gabygynyň endokrin öýjüklerinde kristler töwerek şekilli, astrositde bolsa olar üçburçlyk şekilli bolýarlar.

Sintez üçin gerek bolan energiýa nireden alynýarka? Belli bolşy ýaly, tebigy şertlerde wodorod ýananynda (okislenende) kop mukdarda energiýa ýylylyk görnüşinde bölünip çykýar:



6.16-njy surat. Alakanyň dürli dokumalaryndan bölünip alnan mitohondriýalaryň kristleriniň gurluşyndaky käbir morfologiki aýratynlyklar.

Janly öýjüklerde şu reaksiýanyň dowamynda bölünip çykýan energiýa elektronlary geçirmek zynjyrynyň kömegi bilen mitohondriýanyň içki membranasy arkaly peýdaly energiýa öwrülýär. Şu maksat bilen wodorodyň atomy iki bölege: protona we elektrona bölünýär.



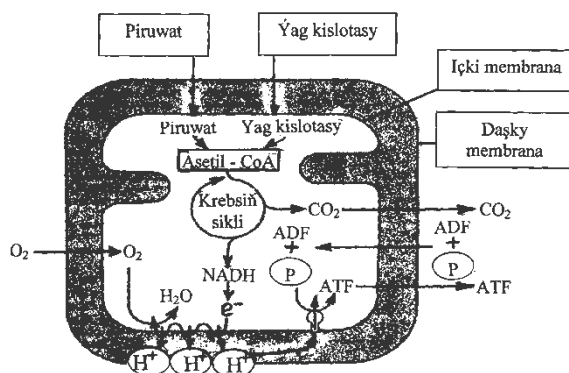
6.17-nji surat. ATF-i sintezlemek üçin bedendäki energiýanyň çeşmesi.

Bölünip ayrılan elektronlar **dem alyş zynjyryna berilýär** we birnäçe tapgyryň dowamynda ondaky energiýa peýdaly işe öwrülýär. Energiýasyny sarp eden elektronlar kislorodyň molekulasyňa birleşýärler. Emele gelen kislorodyň otrisatel zarýadyny neýtrallaşdyrmak üçin onuň bilen başdaky wodorodyň protonlary birleşýärler (6.17-nji surat).

Bedende wodorodyň atomyny protona we elektrona bölmek nähili amala aşyrylýarka?

Bedende glýukoza, ýag kislotalary, aminokislotalar kislorodyň gatnaşmagynda suwa (H_2O) we CO_2 -ä çenli Krebsiň sikli arkaly aerob darganynda nikotinamidadenindinukleotid (NADH) maddasy emele gelýär. Bu madda **dem alyş zynjyryndan** (mitohondriýada elektronlary geçirmek zynjyryna şeýle at berilýär) geçirilýän elektronlaryň esasy elektron çeşmesi bolup durýar. NADH özünde wodorodyň gidrid-ionyny (H^-) saklaýar, ýagny wodorodyň atomynda bir artykmaç elektron bolýar. Matriksde ýeterlik derejede wodorodyň protonlarynyň barlygy sebäpli ($pH=7$), NADH gerek ýerlerine wodorodyň iki sany atomyny molekula görnüşinde geçirýändigini aňladýar ($H^- + H^+ \rightarrow H_2$).

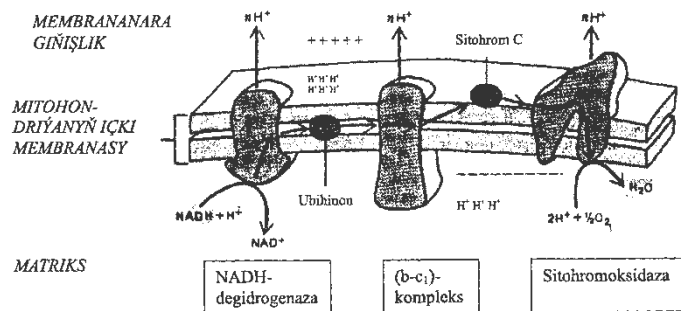
Dem alyş zynjyry boyunca elektronlary geçirmek NADH-dan gidrid-iony aýyrmakdan başlanýar, şu hadysanyň dowamynda NAD^+ emele gelýär we gidrid-ion bir protona we iki elektrona dargaýar ($H^- \rightarrow H^+ + 2e^-$).



6.18-nji surat. Mitohondriýada energiýanyň öwrülişiginiň yzygiderligi.

Bu elektronlar mitohondriýanyň içki membranasyna berkidilen birnäçe geçirijilerin üstünden geçýärler. Özünde köp mukdarda energiýany saklaýan elektronlar 15-den hem gowurak geçirijilerden ybarat bolan dem alyş zynjyryndan geçenlerinden soň olaryň energiýasy azalýar (6.18-nji surat). Köplenç ýagdaýda elektronlar bir metalyň atomyndan beýleki metalyň atomyna geçýärler. Ol metallaryň atomlary bolsa öz gezeginde ýörite beloklaryň molekulasyňa berkidilendirler.

6.19-njy suratda elektronlaryň üç sany belogyň üstünden geçişi aýratynlykda görkezilendir. Şol beloklaryň aýratyn häsiýetleri bardyr, ýagny olar her gezek öz üstlerinden elektrony geçirilenlerinde matriksden bir wodorodyň položitel zarýadlanan ionyny (protonyny) membranaara giňişlige çykarýarlar.



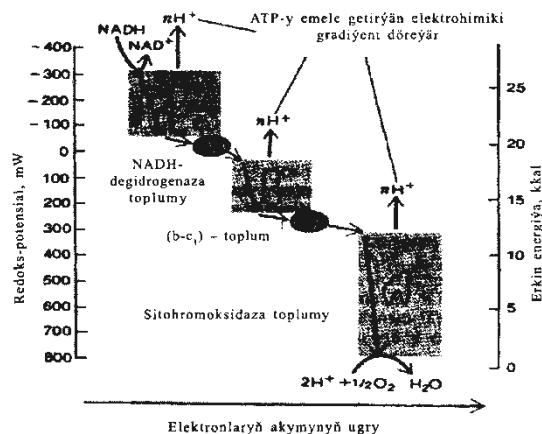
6.19-njy surat. Iki sany elektronyň dem alyş zynjyrynda ýerleşýän üç sany fermentler kompleksiniň üsti bilen NADH-dan kisloroda geçirilişiniň ýoly.

Elektronlaryň energiýasy nähili peýdalanylýarka? Elektronlar dem alyş zynjyryndan geçenlerinde olaryň köp mukdardaky energiýasy matriksdäki protonlary membranaara giňişlige, soň bolsa ol ýerden hem mitohondriýadan daşyna çykarmaga sarp bolýar. Matriksdäki we mitohondriýanyň daşyndaky protonlaryň konsentrasiýasynyň tapawudynyň emele gelmegi, şol protonlaryň erkin energiýasynyň köpelmegine iki sebäp döredýär:

1. Wodorod ionlarynyň matriksden daşyna çykarylmagy bilen ol ionlaryň mitohondriýanyň içindäki konsentrasiýasynyň azalmagyna görä we daşyndaky konsentrasiýasynyň bolsa köpelmegine görä konsentrasiýalaryň tapawudy döredilýär. Kiçi ölçegli atomlaryň daşky membranadan erkin ýagdaýda geçýänligi üçin membranaara giňişlikdäki we sitozoldaky $\text{pH}=7$. Elbetde, matriksde bu san ep-esli azalýar. Konsentrasiýalaryň tapawudy diffuziýa arkaly protonlary yzyna getirmäge güýç döredýär.

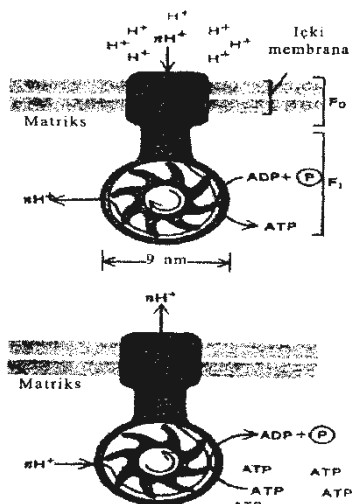
2. Dynçlyk ýagdaýynda membrananyň içki tarapy otrisatel, daşky tarapy bolsa položitel zarýadlanýarlar. Protonlaryň matriksden daşyna çykarylmagy bilen mitohondriýanyň içki tarapy has otrisatel, daşky tarapy bolsa has položitel zarýadlanýar. Şeýlelikde, membranada potensiallaryň tapawudy döreýär. Şol potensiallaryň tapawudy hem protonlary yzyna gelmäge mejbur edýär.

Diýmek, mitohondriýanyň membranasynda döreýän protonlaryň gradiýenti (tapawudy) H^+ ionlary matrikse geçmäge, otrisatel zarýadlanan ionlar bolan OH^- matriksden çykarmaga ymtylýarlar. Membranadaky potensiallaryň tapawudy položitel zarýadlary matrikse geçirmäge, otrisatel zarýadlary bolsa çykarmaga çalyşýarlar. Bu güýçleriň ikisi bilelikde **elektrohimiki proton gradiýentini** döredýärler. Şeýlelikde, NADH-dan alnan iki sany elektronyň energiýasy 6 sany wodorodyň protonyny matriksden çykarýar. 6.20-nji suratda elektronlar beloklaryň üstünden geçende olaryň energiýasynyň peselýändigini we şol energiýanyň hasabyna bolsa ATF-i sintezlemek üçin elektrohimiki gradiýentiň emele gelýändigini görkezilendir.



6.20-nji surat. Energiýanyň öwrülişiginde potentsiallaryň tapawudynyň üýtgeýşi.

Mitochondriýanyň içki membranasy özünde köp mukdarda beloklary saklaýandygy bilen tapawutlanýar – agram gatnaşygy boýunça 70% belok we 30% lipid. Beloklaryň köpüsi elektronlary geçirmek zynjyryna degişli bolup, proton gradiýentini emele getirmäge gatnaşýarlar. Şol beloklaryň içinde elektrohimiýa gradiýentiň esasynda protonlaryň matrikse gaýdyp gelmegi boýunça ATF-i sintezleýän **ATF-sintetaza** fermenti has uly roly oýnaýar. Ol matriksden çykarylan protonlaryň erkin energiýasynyň hasabyna ADF-i we fosfaty goşup, ATF-i sintezlemek arkaly energiýany bir görnüşden beýleki görnüşe öwürýär. 6.21-nji suratda şol hadysa görkezilendir.



ATF-sintetaza dokuz sany dürli polipeptid zynjyryndan ybarat bolan fermentdir. Oňa başgaça $F_0 F_1$ – ATF-aza hem diýilýär. Bu ferment elektrohimiýa proton gradiýentiniň we fosfat baglanyşyklarynyň energiýalaryny biri-birine öwüriji çatyrym gural bolup hyzmat edýär we bir wagtyň özünde ATF-i sintezleýji ýa-da ATF-ň gidrolizi esasynda bölünip çykýan energiýanyň hasabyna proton nasosy hem bolup bilýär. Bu guralyň haýsy tarapa işlemelidigini, ýag

6.21-nji surat.

ny ATF-i sintezlemelimi ýa-da gidrolizlemeli (suwda dargamak)

protonlaryň membranadan geçenindäki berýan we ATF-i sintezlemek üçin gerek bolan erkin energiýalaryň balansy bilen kesgitlenilýär.

220 milliwolt (mW) elektrohimiýa gradiýent boýunça bir proton matrikse gireninde her 1 mol üçin 5,06 kilokaloriýa (kcal/mol) energiýa bölünip çykýar. Onda üç proton gireninde erkin energiýa $\Delta G_{3H^+} = -15,2$ kcal/mol bolar. Şeýle şertlerde ATF-iň ADF-e we fosfata bolan gatnaşygy ATF-i sintezlemek üçin gerek bolan energiýa $\Delta G_{\text{sint.ATF}} = +15,2$ kcal/mol boýunça ATF-sintetaza fermenti ATF-i sintezleýär, ýagny ($\Delta G_{\text{sint.ATF}} + \Delta G_{3H^+} = 0$) ATF-ň sintezi bilen gidrolizi deňagramlaşýar.

Eger öýjügiň içinde ATF-ň köp mukdarda gidrolizlenmegine getirýän reaksiýalar bolup geçýän bolsa, onda mitochondriýanyň matriksinde ATF/ADF peselýär. Şeýle ýagdaýda $\Delta G_{\text{sint.ATF}}$ ululyk kiçelýär we ATF-sintetaza tä ATF/ADF başlangyç ýagdaýa gelyänçä ATF-i sintezleýär. Eger bir sebäbi görä elektrohimiýa gradiýent 200 mW-a çenli peselip, şol ýagdaý hem köp wagtlap saklansa, onda ΔG_{3H^+} ululyk – 13,8 kcal/mol çenli peselýär. Netijede, ATF-sintetaza ATF-i gidrolizlemäge başlaýar. Bu hadysa tä ATF/ADF täze baha eýe bolup, şol ýagdaýda $\Delta G_{\text{sint.ATF}} = +13,8$ kcal/mol bolýança dowam edýär. Diýmek, ATF-sintetazanyň haýsy tarapa işlemelidigini öýjügiň içindäki ATF-ň we ADF-ň konsentrasiýalarynyň gatnaşygy kesgitleýär.

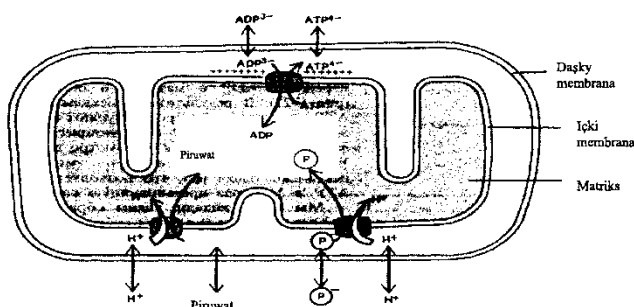
ATF-ň gidrolizindäki bölünip çykýan erkin energiýa aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$\Delta G = \Delta G_0 - RT \ln \frac{[ATP]}{[ADP][P_i]} \quad (50)$$

bu ýerde ΔG_0 – standart şertlerde erkin energiýanyň üýtgemegi (-7,3 kkal/mol); $R=2 \cdot 10^{-3}$ kkal/(mol.K) – gaz hemişeligi, T-absolýut temperatura, K, [] – degişli maddalaryň konsentrasiýasy.

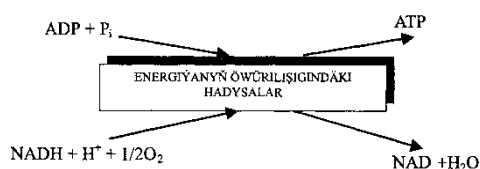
Belläp geçmeli faktlaryň biri, protonlaryň gradiýentiniň energiýasy diňe ATF-i sintezlemäge sarp bolmaýar. Aşakdaky suratda şol energiýanyň başga-da nähili hadysalar üçin ulanylýandygy görkezilendir (6.22-nji surat).

Suratdan görnüşi ýaly, ADF-ň bir molekulasyň matrikse getirmek üçin ýörite **antiport** boýunça ATF-ň bir molekulasyň elektrohimiiki gradiýentiň energiýasynyň hasabyna mitohondriýanyň daşyna çykarmaly. Şol bir wagtyň özünde hem gradiýentleriň täsiri esasynda matrikse gaýdyp gelýän protonlar özlери bilen fosfatyň bir molekulasyň hem **simport** transporty arkaly matrikse salýarlar. Şeýle usul bilen ýokary energiýaly elektronlary almagyň esasy çeşmesi bolan piruwat maddasy hem mitohondriýanyň içine salýnar.



6.22-nji surat. Elektrohimiiki proton gradiýentiniň hasabyna geçýän käbir aktiw transport hadysalary.

Şeýlelikde, ýokary molekulýar maddalar darganynda Krebsiň siklinde emele gelýän NADH maddasynyň okislenmeginde bölünip çykýan energiýanyň hasabyna çatrymlaýyn hadysa – ADP fosforlaşyp, ATF-ň sintezlenmegi bolup geçýär. Şu hadysa **okislenme fosforlaşma** hadysasy diýilýär we ol umumy görnüşde aşakdaky ýaly aňladylýar (6.23-nji surat).



6.23-nji surat.

Elektrohimiiki proton gradiýentiniň emele gelmeginde energiýa baý bolan maddalaryň himiki raeksiyalara (hemi...) gatnaşmagynda we protonlaryň membranadan geçmegi (osmos...) bilen bolup geçýänligi sebäpli, **energiýanyň öwürilişigini amala aşyrýan hadysalara hemiosmos çaklamasy** hem diýilýär. Bu çaklamany ilkinji bolup **Mitçeliň** açanlygy sebäpli, oňa **Mitçeliň nazaryýeti** hem diýilýär. Şu hadysalaryň geçmegine kislorodyň gatnaşýanlygy üçin olara **dem alma zynjyryndaky** hadysalar hem diýilýär.

Nämäniň hasabyna ATF-ň gidrolizinde bölünip çykýan erkin energiýanyň mukdary köp bolýarka?

Birinjiden, pH=7 bolanda ATF anion görnüşinde duş gelýär (ATP^{4-}). Gidroliz esasynda ol üç bölege bölünýär: ADP^{3-} , HPO_4^{2-} we H^+ , ýagny:



Standart ýagdaýlarda ATP^{4-} , ADP^{3-} , HPO_4^{2-} konsentrasiýasy 1 M deňdir. Ýöne wodorodyň ionlarynyň $\text{pH}=7$ bolanyndaky konsentrasiýasy 10^{-7} M deňdir we reaksiýa gatnaşýan beýleki maddalardan has azdyr. Täsir massalaryň kanunyna laýyklykda ýokardaky reaksiýanyň deňagramlylygy sag tarapa süýşýändir.

İkinjiden, ATF öz molekulasynda dört sany meňzeş atly zarýadlary saklaýanlygy sebäpli, ol zarýadlar itekleşýärler we molekulany dargytmaga ymtylýarlar. Gidroliz esasynda emele gelýän önümleriň ikisi hem meňzeş atly bolany üçin olar hem itekleşýärler we hiç wagt öz-özleri bilen birleşip, ATF-i emele getirmeýärler.

Üçünjiden, ADP^{3-} , HPO_4^{2-} önümler **rezonans gibridlerini** emele getirýärler, ýagny olaryň gurluşy durnukly bolýar. Sebäbi olardaky elektronlaryň energiýasy ATF-däki elektronlaryň energiýasyndan has azdyr. Şol sebäpli ATF gidrolizlenende ondaky elektronlar has pes energiýaly elektron gatlaklaryna geçip bilýärler.

Diýmek, özüne energiýa gerek bolan madda ATF-ň gidrolizi esasynda bölünip aýrylýan fosfat bilen birleşip fosforlaşýar we ondaky ýokary energiýaly elektronlaryň energiýasyny alýar. Energiýasyny ýitiren elektronlar ýadro tarap süýşýärler, bu bolsa fosfatyň molekulasyň durnukly bolmagyna alyp barýar.

Uglewodlar we ýaglar darganynda bölünip çykýan energiýanyň hasabyna ATF-ň sintezlenmegi örän netijeli hadysadyr we onuň netijeliligi 50%-den hem geçýändir. Şu hadysada energiýany bir görnüşden başga görnüşe geçirmek birnäçe tapgyrlardan durýar. Şeýle tapgyrlaryň bolmagy, **birinjiden**, umumy reaksiýanyň dowamynda partlamanyň bolmazlygyna alyp barýar; **ikinjiden**, çatyrym reaksiýalaryň has netijeli bolmagyna getirýär.

VII. ÝAGTYLYK. GEOMETRIKI OPTIKA. GÖZÜŇ OPTIKI ULGAMY

7.1. ÝAGTYLYGYŇ TEBIGATY BARADAKY GARAÝYŞLARYŇ ÖSMEGI

XVII-asyryň ahyrynda ýagtylygyň tebigaty baradaky şol wagta çenli toplanan maglumatlar esasynda iki çaklama (garaýyş) döredi, olaryň biri **korpuskulýar**, beýlekisi bolsa **tolkun** çaklamasydyr.

I.Nýuton (1643-1727ý.) özüniň “Optika” diýen kitabynda ýagtylygyň tebigaty baradaky korpuskulýar çaklamasyny, H.Gýugens (1629-1695) bolsa “Ýagtylyk baradaky traktat” diýen işinde ýagtylygyň tolkun baradaky çaklamasyny öňe sürdi.

Korpuskulýar çaklama baglylykda ýagtylyk şöhlesi ýagtylygyň çeşmesinden bölünip çykýan aýratyn owunjak bölejikleriň (“korpuskulalaryň”) akymy bolup durýandyr. Korpuskulalar adamyň gözünüň torjumak bardasyna täsir etmek bilen, onuň gyjyndyrylyşyny ýüze çykarýarlar, ol bolsa öz gezeginde adam tarapyndan ýagtylygyň duýulyşy hökmünde kabul edilýändir.

H.Gýugens tarapyndan öňe sürülen tolkun çaklamasyna laýyklykda, ýagtylyk özüniň çeşmesinden uly tizlik bilen ýaýraýan tolkundan ybarat bolup durýandyr. Tolkun çaklamasynyň döremekligi ýagtylyk we ses hadysalarynyň biri-birine meňzeş bolmaklygy bilen baglanyşyklydyr. Sesiň wakuumda ýaýraman, beýleki gurşawlarda ýaýrap bilmek ukyplygynyň bardygyna görä, ýagtylygyň kosmiki giňişlikde (mysal üçin, Günden Ýere çenli) ýaýraýşyny düşündirmek üçin bütün Älemi doldurýan haýsydyr-bir aýratyn maddanyň (“maýyşgak efiriň”) bardygy baradaky çaklama öňe sürülipdir.

H.Gýugensiň çaklamasyna baglylykda, efir bütün Älemi doldurýandyr we ol uly maýyşgaklyk hem-de örän az dykzlyk häsiýetine eýedir.

Korpuskulýar çaklamanyň ýönekeýligi we onuň üsti bilen köp ýagtylyk hadysalarynyň düşündirilip bolmak mümkinçiligi XVII-asyryň ahyrynda ýagtylygyň tebigaty baradaky I.Nýutonyň nukdaý nazarynyň kabul edilmekligine getirdi.

Bütün XVIII-asyryň dowamynda optiki hadysalaryň düşündirilişinde, esasan, korpuskulýar çaklama ulanyldy.

XIX-asyryň başlarynda, T.Ýungyň (1773-1829ý.) we aýratynam O.Freneliň (1788-1827ý.) ýagtylygyň interferensiýasyny we difraksiýasyny öwrenmek boýunça geçiren işlerine baglylykda ýagtylygyň tebigaty baradaky korpuskulýar çaklama ret edildi we onuň tolkun çaklamasy dogry diýlip hasap edildi.

Ýagtylygyň tolkun çaklamasy boýunça onuň interferensiýasyny, difraksiýasyny we polýarlaşmagyny üstünlikli düşündirmek bolýar we şoňa görä-de ol şol wagtlar alymlar tarapyndan ýagtylygyň tebigaty barada dogry çaklama bolup durýar diýilip giňden ykrar edildi.

Päsgelçiligiň gyrasyndan geçende ýagtylygyň göniçyzykly ýaýramak ugrundan gysarmasyna **difraksiýa** diýilýär.

Iki (ýa-da birnäçe) kogerent ýagtylyk tolkunlarynyň goşulyşmagynda ýagtylyk akymynyň giňişleýin bölünmesi bolup geçýär; netijede bir ýerde intensiwligiň maksimumy, başga bir ýerde bolsa intensiwligiň minimumy döreýär. Bu hadysa ýagtylygyň **interferensiýasy** diýilýär.

Eger-de elektromagnit tolkunlarynyň yrgyldylary diňe bir ugurda, ýagny onuň ýaýramak ugruna perpendikulýar bolan ugurda bolup geçýän bolsa, onda oňa **polýarlaşan** ýagtylyk diýilýär.

7.2. ÝAGTYLYGYŇ ELEKTROMAGNIT WE KWANT NAZARYÝETI

Ýagtylygyň tebigaty baradaky tolkun çaklamasy XIX-asyryň ikinji ýarymynda J.Makswell (1831-1879ý.) tarapyndan döredilen **ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň** üsti bilen ösdürildi.

Eger-de tolkun çaklamasy boýunça ýagtylyga “maýyşgak efirde” ýaýraýan mehaniki yrgyldylar hökmünde seredilýän bolsa, onda J.Makswell ol çaklamadaky yrgyldylary öz nazaryýetinde ýagtylygyň elektromagnit tebigaty baradaky garaýyş bilen çalşyrdy.

Görünýän ýagtylyk – bu tolkun uzynlygy $7,6 \cdot 10^{-7}$ m (gyzyl şöhleler) bilen $4 \cdot 10^{-7}$ m (melewşe şöhleler) aralygynda ýerleşýän elektromagnit tolkunlary bolup durýandyr.

Şeýlelik bilen, ýagtylygyň tebigaty baradaky tolkun çaklamasynyň üsti ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň döredilmegi bilen dolduryldy.

Ýagtylygyň ýaýramak tizligini kesgitlemek boýunça I.Fizo (1819-1896ý.) – 1849ý., L.Fuko (1819-1868ý.) – 1850ý. we A.Maýkelson (1852-1931ý.) – 1881ý. tarapyndan geçirilen barlaglar ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň dogrydygynyň subutnamasy bolup hyzmat etdiler.

Ýöne takmynan şol wagtlar birnäçe täze fiziki hadysalar açyldylar, olary ýagtylygyň tolkun tebigaty baradaky garaýyşlar bilen düşündirip bolmady. Ol hadysalara fotoelektrik effekti, himiki elementleriň şöhleleniş spektri, absolýut gara jisimiň ýylylyk şöhlelenmesindäki energiýasynyň tolkun uzynlyklary boýunça bölünmesi degişlidirler. Şular bilen baglanyşykly soraglary we gapma-garşylyklary düşündirmek üçin 1900-nji ýylda M.Plank (1858-1947ý.) batyrgaý çaklamany öňe sürdi, oňa laýyklykda ýagtylygyň şöhlendirilişi we siňdirilişi üznüksiz däl-de (elektromagnit nazaryýeti boýunça hut şeýle netije gelip çykýandyr), üznükli (“diskret”), ýagny kesgitli porsiyalar (kwantlar) görnüşinde amala aşyrylýar. M.Plankyň garaýyşy boýunça, ýagtyk kwantynyň energiýasy şeýle kesgitlenýär:

$$E = h \nu$$

bu ýerde h - Plankyň hemişeligi ($h=6,62 \cdot 10^{-34}$ J·s);

ν - elektromagnit tolkunlarynyň yrgyldylarynyň ýygylygy;

M.Plankyň nazaryýetinde efir baradaky düşüňjaniň ulanylmak zerurlygy aradan aýrylýar. Bu nazaryýet boýunça absolýut gara jisimiň ýylylyk şöhlelenmesi özüniň oňat düşündirilişini alýar.

1905-nji ýylda A.Eýnşteýn (1879-1955 ý.) **ýagtylygyň**

kwant nazaryýetini döretdi, oňa laýyklykda ýagtylygyň diňe bir şöhlelenmesi däl-de, ondan başga-da onuň ýaýraýyşy hem ýagtylyk kwantlarynyň akymy (fotonlar) görnüşinde bolup geçýär.

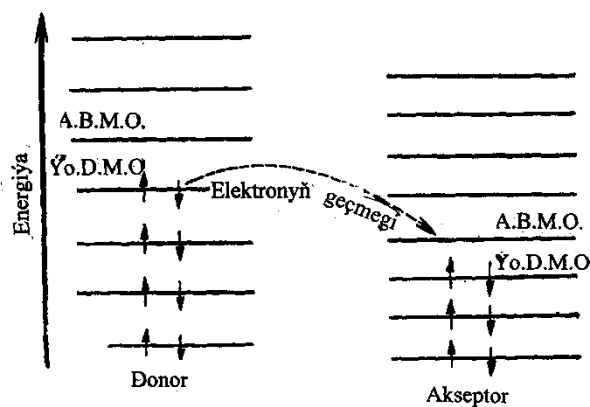
Eger-de ýagtylygyň korpuskulýar we tolkun çaklamalary biri-birini inkär edýän bolsalar, **onuň elektromagnit we kwant nazaryýetleri** biri-biriniň üstüni doldurýarlar; bu bolsa ýagtylygyň çylşyrymly tebigatynyň bardygyny görkezýär.

Diýmek, ýagtylyk öz tebigaty boýunça tolkun, şeýle hem bölejik häsiýetlerine eýedir, ýagny onuň ikileýin korpuskulýar-tolkun tebigaty bardyr.

Bir hadysalarda (mysal üçin, ýagtylygyň interferensiýasy we difraksiýasy) onuň tolkun häsiýeti ýüze çykýar; başga bir hadysalarda bolsa (mysal üçin, ýagtylygyň şöhlelenmesi we siňdirilmesi) onuň bölejik häsiýeti ýüze çykýar.

7.3. BIOLOGIKI IŞJEŇ MOLEKULALARDA ELEKTRON GEÇIŞLER

Molekuladaky her bir elektron kesgitli orbitalda ýerleşýär we kesgitli energiýa eýe bolýar. Şeýlelik bilen, molekulada elektronlaryň energetiki derejeleriniň kesgitli ulgamy bardyr (7.1-nji surat).



7.1-nji surat

7.1-nji suratda molekularyň elektron energetiki derejeleriniň shemasy we iki molekularyň arasynda elektronyň geçirilişi görkezilendir. (Strelkalar bilen elektronlaryň spinleri belgilenendir).

Molekularyň himiki we optiki häsiýetleri babatda seredilende elektron geçişleriň içinde iki dereje has möhümleri bolup durýandyr, ol derejelere şu aşakdakylar degişlidir:

- 1 – energiýasy boýunça ýokarky doldurylan molekulýar orbital (ÝoDMO);
- 2 – aşaky boş molekulýar orbital (ABMO);

Ýo.D.M.O-ň energetiki derejesi molekularyň ionlaşmak potensialyny kesgitleýär we diýmek, şoňa baglylykda, elektrony berip bilijilik ukyplygyny görkezýär (onuň donor häsiýetleri).

Molekulanyň ionlaşmak potensialy diýilip ondan elektrony goparmak üçin sarp edilýän (ýagny zerur bolan) energiýa aýdylýar.

ÝoDMO-ň energetiki derejesi näçe ýokary boldugyça, onda molekularyň ionlaşmak potensialy şonça-da pesdir we şoňa görä-de ol elektronlaryň oňat donory bolup durýandyr.

Mysal üçin E-witamin ÝoDMO-ň ýokary energetiki derejesine eýedir, şoňa görä-de ol erkin radikallar bilen reaksiýalarda aňsatlyk bilen elektronyny berýär, bu bolsa onuň antioksidant häsiýete eýe bolmaklygyna getirýär.

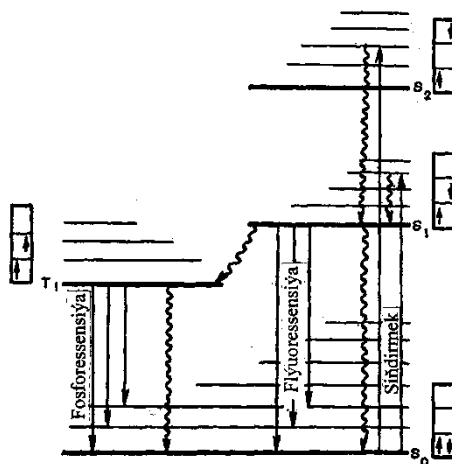
ABMO-ň energetiki derejesi molekularyň akseptor häsiýetlerini kesgitleýär. ABMO-näçe pes boldugyça, onda berlen molekula şonça-da hōwes bilen elektrony özüne birleşdirýär. Mukdar taýdan molekularyň akseptor häsiýetleri **elektron meňzeşlik** diýilip atlandyrylýan görkeziji bilen häsiýetlendirilýär. **Elektron meňzeşlik diýilip haçan-da erkin elektron tükeniksizlikden doldurylmadyk elektron orbitala geçirilende boşadylýan energiýanyň mukdaryna aýdylýar.**

Eger-de donoryň ÝoDMO-energiýasy akseptoryň ABMO-energiýasyndan ýokary bolsa, onda donor bilen akseptoryň arasynda okislendiriş-dikeldiş reaksiýasy bolup geçýär (7.1-nji surata seret).

Bir we has hem iki elektronyň energetiki derejelerden geçirilmekligi molekulada üýtgeşmeleriň ýüze çykmaklygy bilen bolup geçýär.

Her doldurylan energetiki derejede **öz hususy magnit momentleri (spinleri)** gapmargarşylykly bolan **diňe iki elektron** ýerleşip biler. Eger-de molekula energiýa berilse, mysal üçin, ýagtylygyň kwanty görnüşinde, onda elektronyň doldurylan derejeden (mysal üçin, S_0 -derejeden; 7.2-nji surat) haýsydyr – bir ýokarky doldurylmadyk derejä geçişi amala aşyrylar. Şunlukda molekula oýandyrylan ýagdaýa geçer.

Foton molekula bilen täsir edeninden soň öz energiýasyny maddanyň molekulasyna berip, ýitýär. Molekulýar ölçeglerde fotonyň energiýasy örän uludyr. Mysal üçin, tolkun uzynlygy 500 nm bolan görünýän ýagtylygyň kwantynyň energiýasy 2,48 eW (elektronWolt) deňdir, bu bolsa, ATF-ň molekulasyň gidrolizindäki alynýan energiýadan 10-esse köpdür. Ultramelewşe tolkun uzynlygyndaky kwantlaryň energiýasy has hem uludyr.



7.2-nji surat

7.2-nji suratda biomolekulardaky elektron geçişler görkezilendir. Göni strelkalar siňdirilýän we şöhlendirilýän geçişleri, tolkun görnüşlileri bolsa-şöhlendirilýän geçişleri aňladýar. Goýy gorizontaý çyzyklar-energiýanyň “arassa” elektron derejelerini; inçe çyzyklar bolsa-yrgyldyly ýagdaýa degişli bolan astky derejeleri aňladýar. Her derejäniň ýanynda (öýjükleriň içinde) galan elektronyň spinine görä oýandyrylan elektronyň spininiň ugry görkezilendir.

S₀, S₁, S₂ derejelere **singlet derejeler** diilýär, çünki olaryň arasyndaky geçişlerde elektronyň spini üýtgeýän däl. Elektronlaryň ýaşayyş dowamlylygy S₁-derejede 10⁻⁸-10⁻⁹ sekunda deňdir. Hut S₁-derejede ähli oýandyrylan molekulalaryň soňky alyp biljek ýagdaýlary (“ykballyary”) kesgitlenilýär. S₁-ýagdaýdaky energiýanyň öwrülişiginiň aşakdaky ýaly ýollarynyň amala aşyrylmak ähtimallyklary bardyr:

1. Ýylylyga öwrülmeçligi: $S_1 \rightarrow S_0$;
2. Flýuoressensiýanyň kwantynyň goýberilmekçligi
 $S_1 \rightarrow S_0 + h\nu$;
3. Fotohimiki reaksiýanyň geçmekçligi: $S_1 \rightarrow \text{önüm}$;
4. Oýandyrylmaklygyň energiýasynyň başga bir molekula geçirilmekçligi;
5. Elektronyň spininiň öwrülmeçligi we molekulanyň **triplet** “T₁” oýandyrylan ýagdaýa geçmekçligi $S_1 \rightarrow T_1$

(Triplet ýagdaýdan esasy ýagdaýa geçmeklik gadagandyr, çünki elektronlaryň spinleri birmeňzeşdir). Molekula T₁-ýagdaýda S₁-ýagdaýa görä ep-esli köp saklanýar, ýagny 10⁻⁴-10⁻⁵ s. aralyklarynda.

Molekulanyň T₁ – triplet ýagdaýdaky energiýasynyň sarp edilişiniň birnäçe ýollary bardyr, olara şu aşakdakylar degişlidir:

- 1 – spiniň öwrülmeçligi bilen S₀ -derejä şöhlelenmesiz geçiş: $T_1 \rightarrow S_0$;
- 2 – fosforessensiýanyň kwantynyň şöhlelenmesi bilen bolup geçýän geçiş: $T_1 \rightarrow S_0 + h\nu$;
- 3 – fotohimiki reaksiýa;
- 4 – oýandyrylmaklygyň energiýasynyň başga bir molekula geçirilmekçligi.

Molekulanyň islendik şöhlelenmeli (flýuoressensiýa, fosforessensiýa) geçişleriniň umumy adyna **lýuminessensiýa** diýilýär.

7.4. GEOMETRIKI OPTIKA

Geometriki optika tolkun optikasynyň çäk ýagdaýy hökmünde

Geometriki (şöhle) optikasynda ýagtylygyň ýaýramak kanunalaýyklyklary ýagtylyk şöhlesine çyzyklar hökmünde seredilmeği esasynda öwrenilýär, şunlukda ol çyzyklaryň ugry boýunça ýagtylyk tolkunynyň energiýasy ýaýraýar diýilip hasap edilýär.

Ýagtylyk şöhlesi diýilip inçejik ýagtylyk dessesine düşünilmän, ýagtylyk energiýasynyň ýaýraýan ugruny görkezýän göni çyzyga düşünilýär. Ýagny, başgaça aýdylanda, göni çyzyklar bilen ýagtylyk şöhleleri şekillendirilýärler. Şeýlelikde, ýagtylyk şöhleleriniň serpikmesi we döwürmesi diýilende ýagtylygyň ýaýraýan ugrunyň üýtgeýänligi göz önünde tutulýar.

Ýagtylyk şöhlesi baradaky düşüňjäniň girizilmeginiň esasy aýratynlygy giňişlikde seredilýän ýagtylyk şöhleleriniň häsiýetleriniň ýönekeý kanunlar – ýagny **geometriki optikanyň** kanunlary bilen kesgitlenýändiginden ybaratdyr.

Geometriki optika diýilip, ýagtylyk şöhlesi baradaky düşüňjäniň esasynda ýagtylyk energiýasynyň dury gurşawlarda ýaýramak kanunlaryny öwrenýän optikanyň bölümine aýdylýar.

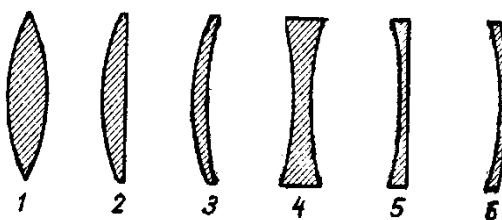
Geometriki optika tolkun optikasynyň çäk ýagdaýy bolup durýandyr (haçan-da tolkun uzynlygy nola ymtylan ýagdaýynda).

7.4.1. LINZALAR

Iki sany sferiki (egriçyzykly) üstler (ýa-da birisi sferiki, beýlekisi tekizlik) bilen çäklendirilen we daşky gurşawdan döwürme görkezijisi bilen tapawutlanýan dury jisime **optiki linza** diýilýär.

Optiki enjamlarda sferiki üstleriniň görnüşleri aşakdaky ýaly bolan linzalar ulanylýarlar (7.3-nji surat).

- 1) goşagüberçek linza;
- 2) tekizgüberçek linza;
- 3) güberçekoýuk linza (güberçek üstüň radiusy oýuk üstüň radiusyndan kiçi);
- 4) goşaoýuk linza;
- 5) tekizaoýuk linza;
- 6) oýukgüberçek linza (oýuk üstüň radiusy güberçek üstüň radiusyndan kiçi);



7.3-nji surat.

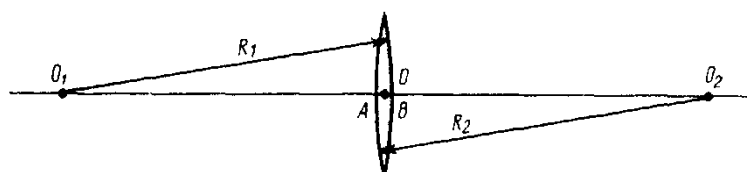
1, 2, 3 – linzalara **ýygnaýjy linzalar** diýilýär,

4, 5, 6 – linzalara **ýaýradyjy linzalar** diýilýär.

Ýygnaýjy linzalary \uparrow , ýaýradyjy linzalary bolsa \downarrow görnüşli belgiler bilen belgileýärler.

Güberçekoýuk we oýukgüberçek linzalara **menisk linzalary** diýilýär (bular, mysal üçin, äýneklerde ulanylýar).

Biz häzir **ýuka linza** diýilip nähili linza düşünilýändigine seredip geçeliň (7.4-nji surat).



7.4-nji surat.

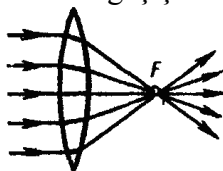
R_1 we R_2 – linzanyň birinji we ikinji sferiki üstleriniň radiuslary;

O_1 we O_2 nokatlar – linzanyň sferiki üstleriniň merkezleri;
 A we B nokatlar – linzanyň (sferiki segmentleriň) depeleri;
 $\ell = AB$ – linzanyň galyňlygy;
 O nokat – linzanyň optiki merkezi⁴.

Haçan-da linzanyň sferiki üstleriniň radiuslary (R_1 we R_2) we jisimiň linza çenli bolan aralygy bilen deňeşdirilende linzanyň galyňlygynyň (ℓ) kiçi ululykdygyna görä ol (ýagny galyňlyk) hasaba alynmaýan bolsa, onda şeýle linza **ýuka linza*** diýilýär.

Linzanyň sferiki üstleriniň merkezlerinden (O_1 we O_2) we optiki merkezinden (O) geçýän göni çyzyga linzanyň **baş optiki oky diýilýär**.

Häzir biz goşagüberçek linzadan şöhleleriň geçişine seredip geçeliň (7.5-nji surat).



7.5-nji surat.

Linzanyň baş optiki okuna (BOO) parallel düşýän şöhleleriň ýygnaýjy linzadan geçende döwüründen soň BOO-ň üstünde kesişýän nokadyna **linzanyň baş fokusy** diýilýär. Bu nokat “F” harpy bilen belleneýär (baş fokus). Baş fokusdan (F) linzanyň optiki merkezine (O) çenli bolan aralyga linzanyň **baş fokus aralygy** diýilýär. Linzanyň baş fokus aralygy “f” harpy bilen belgilenýär.

Linzanyň fokus aralygyna ters bolan ululyga linzanyň optiki güýji diýilýär.

Linzanyň optiki güýji D harpy bilen belgilenýär:

$$D = \frac{1}{f} \quad (51)$$

Linzanyň optiki güýjüniň ölçeg birligi deregine fokus aralygy 1m deň bolan linzanyň optiki güýji kabul edilýär. Şeýle birlige **1 dioptriý** diýilýär. 1 dioptriý gysgaça 1 dptr diýilip ýazylýar.

$$1 \text{ dptr} = \frac{1}{1m}$$

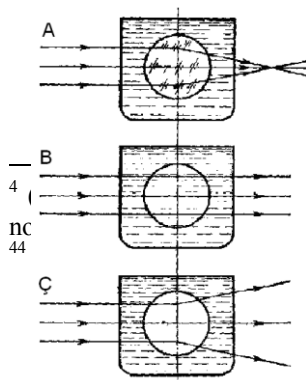
Ýygnaýjy linzalaryň fokus aralyklary položitel ululyk, ýaýradyjy linzalaryň fokus aralyklary bolsa otrisatel ululyk diýilip hasap edilýär. (Çünki onuň fokus aralygy yzynda ýerleşýär). Şoňa görä-de äýnekler üçin ýazylýan reseptlerde linzalaryň optiki güýji “+” we “-” alamatlar bilen görkezilýärler.

Biri-birlerine ýakyn aralykda goýulyp birnäçe linzalardan ybarat bolan linzalar ulgamynyň optiki güýji olaryň her biriniň optiki güýjüniň algebraiki jemine deňdir, ýagny:

$$D = \pm D_1 \pm D_2 \pm \dots$$

Görünýän ýagtylyk üçin linzalar aýnadan; ultramelewşe şöhleler üçin – kwarsdan; infragyzyň şöhleler üçin silwinden ýasalýarlar. Umuman alnanda, islendik maddalar linzanyň optiki häsiýetlerine eýe bolup bilerler; mysal üçin, howadaky bug damjajygy; suwdaky howa köpürjigi, içi suwly togalak aýna kolbasy we ş.m.

Eger-de linza döwürleme görkezijisi howanyňka garanda ep-esli tapawutlanýan gurşawda ýerleşýän bolsa (mysal üçin, suwa çümdürilen aýna linza), onda onuň optiki güýji kiçelýär.



Eger-de linza döwürleme görkezijisi özüniňkä garanda uly bolan gurşawda ýerleşýän bolsa, onda onuň häsiýeti tersine üýtgeýär. Mysal

birlerine örän ýakyn ýerleşýändigine görä olary bir nokat diýip kabul etmek bolar. Ol **tezi** diýilýär we “O” harpy bilen belleneýär. Parada aýdylanda ýuka linza göz önünde tutuljakdyr).

üçin, güberçek diwar bilen çaklenen howa köpürjigi ýaýradyjy linzanyň häsiýetine eýe bolýar.

7.6-njy surat.

Şu aýdylanlara aşakdaky seredilip geçiljek tejribe oňat mysal bolup biler. Üç sany birmeňzeş ýuka diwarly togalak kolbanyň biriniň içi gliserinli ($n \approx 1,5$; A-kolba); ikinjisiniň içi suwly ($n \approx 1,3$; B-kolba); üçünjisiniň içi bolsa howaly ($n \approx 1,0$; Ç-kolba) bolsun we olar içi suwly gaba çümdürilipdir diýeliň (7.6-njy surat). Bular ýagtylyk dessesiniň ýolunda linzalar hökmünde ulanylýarlar. Bu ýagdaýda A-kolba ýygnaýjy linza; Ç-kolba ýaýradyjy linza hökmünde çykyş edýärler; B-kolba şöhleleriň geçiş ýoluna hiç hili täsir edýän dälendir.

Aşakda getirilen tablisada ýygnaýjy linza üçin mahsus bolan ýagdaýlar görkezilendir.

9-njy tablisa

Linzadan		Şekiliň häsiýeti	Optiki ulgam
jisime çenli aralyk	şekile çenli aralyk		
$\alpha = \infty$	$b = f$	Fokusda nokatlanç	-
$\infty > a > 2f$	$f < b < 2f$	Hakyky, ters, kiçeldilen	Göz, fotoapparat
$a = 2f$	$b = 2f$	Hakyky, ters, jisime deň	Elde görterilýän ýa-da aýlanýan linza
$2f > a > f$	$2b < b < \infty$	Hakyky, ters, ulaldylan	Mikroskopyň obýektiwi
$a = f$	$b = \infty$	Parallel şöhleler	-
$a < f$	-	Hyýaly, göni, ulaldylan	Okulýar (lupa)

Linzada alynýan hakyky şekiliň ölçegleriniň ($A'B'$) jisimiň ölçeglerine (AB) bolan gatnaşygyna **linzanyň ulaldyşy** (LU) diýilýär. Şol bir wagtda LU linzadan şekile çenli aralygyň (b) linzadan jisime çenli aralyga (a) bolan gatnaşygy bilen hem kesgitlenýär, ýagny:

$$LU = \frac{A'B'}{AB} = \frac{b}{a} \quad (52)$$

7.4.2. LINZALARYŇ ABERRASIÝASY

Ýuka linzanyň deňlemesine seredip geçeliň:

$$\frac{1}{a} + \frac{1}{b} = (n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right); \quad (53)$$

bu ýerde: a – jisimden linza çenli bolan aralyk;

b – şekilden linza çenli bolan aralyk;

R_1 – linzanyň öňki sferiki üstüniň egrilik radiusy;

R_2 – linzanyň yzky sferiki üstüniň egrilik radiusy;

n – linzanyň (ýagny onuň ýasalan maddasynyň) döwürleme görkezijisi (daşky gurşaw – howa)

Şeýle linza üçin fokus aralygynyň kesgitleniş deňligi aşakdaky görnüşe eýedir:

$$f = \frac{1}{(n-1) \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)}; \quad (54)$$

54-nji deňlik göz öňünde tutulyp, linzanyň deňlemesini (53) şeýle görnüşde görkezmek bolar:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{a} + \frac{1}{b} \quad (55)$$

Ýuka linza üçin getirilen deňleme (53) şu aşakdaky ýagdaýlaryň göz öňünde tutulmagy bilen alnandyr:

- 1) şekil okuň ýanyndaky (**paraksial**) şöhleler bilen formirlenýär;
- 2) şöhleler ulgamyň baş optiki oky bilen uly bolmadyk burçy düzýärler;
- 3) ähli tolkun uzynlyklar üçin döwülme görkezijileri birmeňzeşdir.

Şu şertler ýerine ýetirilende nokatlanç şekil alynýar, ýagny jisimiň her bir nokady şekiliň bir nokadyny berýär.

Ýöne amaly ýagdaýda bu şertler ýerine ýetirilýän dälirler. Belli bolşy ýaly, ýagtylyk şöhlesiniň döwülme görkezijisi tolkun uzynlygyna baglydyr (dispersiýa). **Dispersiýa** latynça “dargadýaryn” diýen manyny berýär (diýmek 3-nji şert ýerine ýetirilenok). Jisimiň nokatlary optiki okuň gapdalynda ýerleşýärler (diýmek, 2-nji şert ýerine ýetirilenok). Şeýle hem paraksial şöhleleriň ulanylmaklygy ýagtylyk akymynyň möhüm derejede çäklendirilmegine getirýärler.

Ýokarda görkezilen şertleriň ýerine ýetirilmeyänligi linzanyň döredýän şekilinde kesgitli ýoýulmalaryň ýa-da kemçilikleriň ýüze cykmaklygyna getirýär – olara **aberrasiýalar** diýilýär. **Aberratio** latynça “gyşarma” diýen manyny berýär.

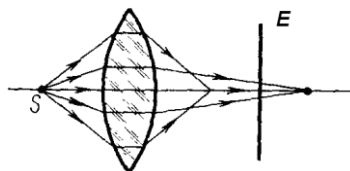
Linzalaryň (ýa-da optiki ulgamlaryň) esasy aberrasiýalar-yna şular degislidir:

- 1) ýagtylygyň giň desselerinde – **sferiki aberrasiýa we distorsiýa**;
- 2) ýagtylygyň gyýtak düşýan desselerinde – **astigmatizm**;
- 3) ýagtylygyň dispersiýasy bilen baglanyşykly **hromatiki aberrasiýa**.

Bu hadysalara aýratynlykda goşagüberçek linzalaryň mysalynda seredip geçeliň.

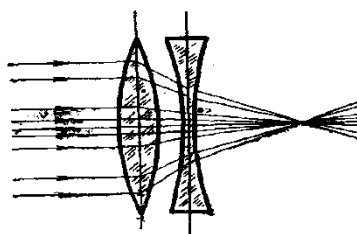
7.4.2. a) Sferiki aberrasiýa

Bu ýagdaýda linzanyň periferiki (çetki) bölekleri merkezi böleklerine garanda “S” nokatdan gelýän şöhleleri güýçli derejede döwýärler (gyşardýarlar) (7.7-nji surat).



7.7-nji surat.

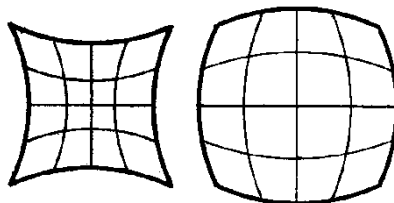
Ýagtylanýan nokadyň şekili “E” – ekranda ýagty menek görnüşinde bolýar. Sferiki aberrasiýany düzetmek üçin goşagüberçek we goşaoýuk (degişlilikde ýygnaýjy we yaýradyjy) linzalaryň ulgamy ulanylýar (7.8-nji surat).



7.8-nji surat.

7.4.2. b) Distorsiýa

Aberrasiýanyň bu görnüşi jisimden ulgama gelýän şöhleleriň optiki ok bilen uly burç düzýänliginden ybaratdyr. Şunlukda çyzykly ulaldyşyň ýagtylyk dessesiniň düşýän burçuna baglydygyna görä alynýan şekiliň jisime meňzeşligi bozulýar (ýitýär). Distorsiýanyň tipiki ýüze çykmalary 7.9-njy suratda görkezilendir (a – ýassyk görnüşli distorsiýa; b – çelek görnüşli distorsiýa). Bu ýagdaýda jisim bolup inedördül öýjükli tor gözenekleri hyzmat edýär.



7.9-njy surat.

Distorsiýasy garşylykly häsiýetli bolan birnäçe linzalaryň ulgamyny saýlap almak bilen aberrasiýanyň bu görnüşini düzetmek bolar.

7.4.3. ASTIGMATIZM

Astigmatizm – nokatlanç däl diýen manyny berýär, ýagny alynýan şekilde jisimiň her bir nokadyna şol bir nokat degişli däl.

Astigmatizm optiki ulgamyň kemçiligidir, bu ýagdaýda sferiki ýagtylyk tolkunyny optiki ulgamdan geçende deformirlenýär we sferiki görnüşli bolmaklygyny ýitirýär.

Iki görnüşli astigmatizmi tapawutlandyrýarlar:

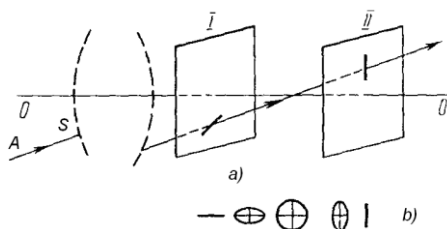
a – **gyýtak düşýän desseleriň astigmatizmi;**

b – **optiki ulgamyň asimetriýasy bilen baglanyşykly astigmatizm.**

a. Gyýtak düşýän desseleriň astigmatizmi.

Bu görnüşli astigmatizm şöhleleriň ulgamyň optiki okuna görä uly burç astynda düşýändigine bilen baglanyşyklydyr. Bu ýagdaýa seredip geçeliň.

Goý, jisimiň “A” nokady ulgamyň baş optiki okunyň üstünde ýerleşmeýär diýeliň (7.10-njy “a” surat). Bu nokatdan gelýän ähli şöhleleriň içinden uly bolmadyk elementar dessäni saýlap alalyň (şunlukda bu dessäniň “AS” merkezi şöhlesi ulgamynyň baş optiki “OO” oky bilen bir tekizlikde bolar ýaly edilip saýlanyp alynmalydyr). Baş optiki okuň üstünden geçýän islendik tekizlige **meridional** tekizlik diýilýär.

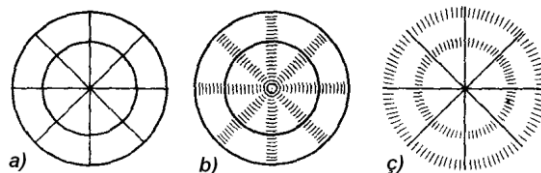


7.10-njy surat.

Berlen ýagdaýda elementar dessäniň merkezi “AS” şöhlesi bilen ulgamyň baş optiki okunyň ýerleşýän tekizligi hökmünde çyzygynyň (ýagny kagyzyň) tekizligini alalyň (7.10-njy “a” surat – çyzygynyň tekizligi). Elementar desse gyýtak düşen ýagdaýynda linza “A” nokadyň şekilini iki göni çyzygyň kesimleri görnüşinde döreder. Ol şekilleriň biri **meridional** tekizlikde ýerleşýändir we II-nji ekranda aýdyň (dury) görünýändir; şekiliň beýlekisi **perpendikulýar** tekizlikde ýerleşýär (**oňa sagittal tekizlik diýilýär**), ol I-nji ekranda aýdyň (dury) görünýändir (7.10-njy “a” – surat). I-nji we II-nji tekizlikleriň arasynda ellips ýa-da töwerek görnüşli ýaýramaklygyny menegi görünýändir (7.10-njy “b” – surat).

Eger-de jisim bolup çyzygyň kesimi hyzmat edýän bolsa, onda şekiliň hili kesimiň ýerleşýän tekizligine baglydyr. **Meridional** tekizliklerde ýerleşýän kesimleriň aýdyň şekili II-nji tekizlikde alynýar; sagittal tekizliklerde ýerleşýän kesimleriň aýdyň şekili bolsa I-nji tekizlikde alynýar (Şu ýagdaýlarda jisim baş optiki oka perpendikulýar tekizlikde ýerleşýär diýilip hasap edilýär).

Gyýtak düşýän desselerde ýüze çykýan astigmatizmi görkezmek (demonstrirlemek) üçin 7.11-nji “a”-suratda görkezilen tor amatly bolup durýandyr. Ony optiki oka perpendikulýar bolan jisim hökmünde ýerleşdirmek bilen, oňa meridional tekizliklerde (radiuslar görnüşinde) we sagittal tekizliklerde (töwerekler görnüşinde) ýatýan kesimleriň ulgamy görnüşinde seredeliň. 7.11-nji “b”, “ç” – suratlarda bu kesimleriň degişli tekizliklerde alnan şekilleri görkezilendir.



7.11-nji surat.

Astigmatizmi düzetmek üçin birnäçe linzalardan ybarat bolan çylşyrymly optiki ulgamlary döredýärler, şolara baglylykda 50-70° burç bilen düşýän şöhleleriň oňat şekillerini almak bolýar.

b. Astigmatizmiň beýleki bir görnüşü **optiki ulgamyň asimetriýasy** bilen baglanyşyklydyr. Şeýle aberrasiýaly linzalara **astigmatiki linzalar** diýilýär.

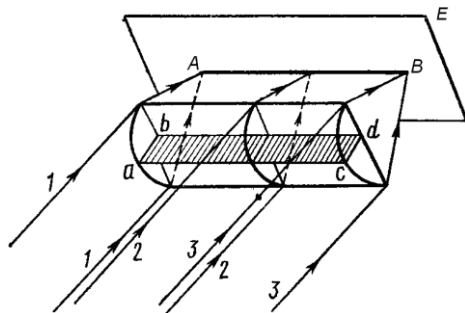
Şeýle linzalar (gyýtak düşýän desseleriň astigmatizminde bolşy ýaly) jisimiň dürli ugurlar boýunça ugrukdyrylan sudurlarynyň (konturlarynyň) we çyzyklarynyň şeklini dürli aýdyňlykda (durulykda) döredýärler.

Şeýle görnüşli astigmatizmiň ýüze çykyşyna **silindriki linzanyň** mysalynda seredip geçeliň.

Baş optiki oka parallel bolan söhleleriň dessesi, linzanyň fokal tekizliginde ýerleşýän ekranda (sferiki linzalarda bolşy ýaly, nokatlary däl-de) insizje göni çyzygyň şeklini döredýär. Mysal üçin, tekizgüberçek linzada (7.12-nji surat) diňe egriçyzykly üst bilen çäklenen kesimlerden geçýän şöhleler döwürlärler we fokusirlenýärler (bular suratdaky wertikal tekizliklerdir, 1-1, 2-2, 3-3 şöhlelere seret). Bu şöhleler, fokusirlenip, E

ekranda insizje “AB” çyzygy döredýärler.

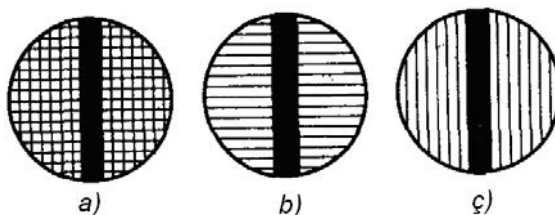
7.12-nji surat.



Egriçyzykly üst bilen çäklendirilen kesimlere perpendikulýar bolan tekizliklerde (bular suratdaky gorizontalk tekizliklerdir) şöhleleriň döwürmesi bolup geçmeýär, çünki şeýle tekizliklerdäki linzanyň kesimleri (mysal üçin, “abcd” kesim) tekizparallel tekizçäniň görnüşine eýedir. Bu şöhleler ekranda diňe gyradeň

ýagtylandyrylan fony döredýärler.

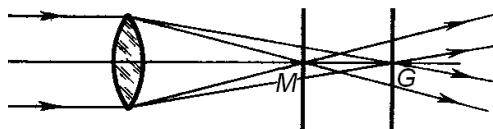
Eger-de silindriki linzanyň kömegi bilen ekranda inçejik simden ýasalan inedördül toruň (7.13-nji “a” surat) şekilene seredilse, onda onuň has aýdyň şekili silindri döredijileriň ugry boýunça gönükdirilen parallel çyzyklaryň ulgamy görnüşinde alynar. Linzanyň özara perpendikulýar ýagdaýlaryna degişli bolan şekiller 7.13-nji “b”, “ç” suratlarda görkezilendir.



7.13-nji surat.

7.4.4. HROMATIKI ABERRASIÝA

Belli bolşy ýaly (54-nji deňlik), linzanyň fokus aralygy onuň döwürleme görkezijisi bilen kesgitlenýär, ol bolsa öz gezeginde ýagtylygyň tolkun uzynlygyna baglydyr. Şoňa görä-de baş optiki oka parallel gelýän ýagtylygyň dessesi spektre dargamak bilen, dürli nokatlarda fokusirlenýär (7.14-nji surat; M – melewşe şöhleler; G – gyzyň şöhleler), ekranda dürli reňkler ýüze çykýar. Hromatiki aberrasiýanyň düýp manysy hem şundan ybaratdyr, ol köplenç linzalardaky şekillerde bolýar.



7.14-nji surat.

Aberrasiýanyň şeýle görnüşini düzetmeklik üçin linzalardan ybarat bolan ahromat optiki ulgamlary döredýärler, şunlukda linzalar **dispersiýasy** dürli bolan aýnalardan ýasalýarlar (ýagny **ahromatlar** we **apohromatlar**).

Optiki gurluşlarda **anastigmatlar** diýilip atlandyrylýan linzalar ulgamy ulanylýarlar; olarda diňe hromatiki aberrasiýa düzedilmän, ondan başgada sferiki aberrasiýa we astigmatizm hem düzedilýärler.

Aberrasiýanyň birnäçe beýleki görnüşleri hem bardyr, olara bu ýerde seredilip geçilýän däl.

Aberrasiýanyň ähli görnüşleriniň bir wagtyň özünde düzedilmegi örän çylşyrymlydyr we hatda ol ýerine ýetirilip bolunmajak mesele bolup durýandyr we şoňa görä-de adaty optiki ulgamyň esasy wezipesine möhüm derejede täsir edýän ýoýulmalardan (ýalňyşlyklardan) dynmaklyga çalyşýarlar. Mysal üçin, mikroskoplaryň obýektiwleri üçin fokusyň golaýynda ýerleşýän we giň desseler bilen şekillendirilýän jisimlere seredilende döreýän sferiki aberrasiýanyň düzedilmegi has wajyp bolup durýandyr.

7.5. MERKEZLENDIRILEN OPTIKI ULGAM. DIAFRAGMA. APERTUR BURÇY

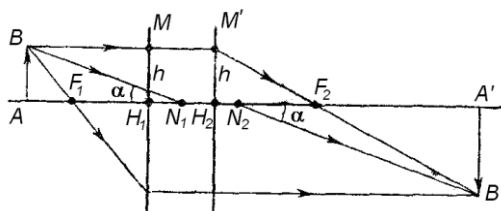
Aberrasiýalary kompensirlemegiň zerurlygyna baglylykda enjamlardaky optiki ulgamlar, adaty, bütewilikde bir umumy baş oka eýe bolan birnäçe linzalardan ybaratdyrlar. **Şeýle ulgama merkezlendirilen optiki ulgam** diýilýär.

Şeýle hem merkezlendirilen optiki ulgam (MOU) dürli döwürleme görkezijili gurşawlary bölýän birnäçe sferiki üstlerden ybarat bolup biler (mysal üçin, gözün optiki ulgamy şeýledir). Jisimleriň şekili gurlanda MOU-a bir bütewi obýekt hökmünde seredilýär, ondaky şöhleleriň geçýän ýoly bolsa olaryň her birine mahsus bolan birnäçe nokatlaryň we tekizlikleriň kömegi bilen kesgitlenýär.

Ilki bilen bulara iki sany baş fokuslar F_1 we F_2 (ýagny öň ýandaky F_1 we yz ýandaky F_2) degişlidirler. Bular baş oka parallel bolan şöhleleriň ulgamdan geçende döwürlendenden soň kesişýän nokatlary bolup durýandyrlar. Şu ýagdaýda ulgam ýeke-täk bir linza meňzeýändir.

Has umumy ýagdaýda alnanda MOU-yň her tarapynda dürli döwürleme görkezijili gurşawlar bolup biler (mysal üçin, gözün optiki ulgamy). Şeýle ýagdaýda MOU-yň öň ýanyndaky we yz ýanyndaky fokus aralyklar özara tapawutlanýandyrlar.

Baş okda **iki sany H_1 we H_2 nokatlar** bardyrlar, olara **baş nokatlar** diýilýär. Bu nokatlaryň üstünden baş oka perpendikulýar geçýän tekizliklere **baş tekizlikler** diýilýär. Bu tekizlikler käbir aýratynlyga eýedirler. Ol aýratynlyk şundan ybaratdyr, ýagny eger şöhle 1-nji tekizligiň üstüne baş okdan h aralykda ýerleşýän M nokatda düşýän bolsa, onda ol 2-nji tekizlikde edil şeýle aralykda ýerleşýän M^1 nokatdan çykýandyr (7.15-nji surat).



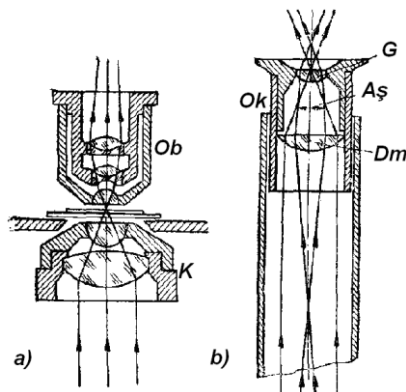
7.15-nji surat.

Fokus aralyklary baş nokatlardan hasaplanyp başlanýarlar. Ýuka linzada bu tekizlikler linzanyň optiki merkezinden geçýän bir baş tekizlige goşulýşýarlar.

Baş okda **iki sany merkezi N_1 we N_2 nokatlar bardyrlar**, düşýän (BN_1) we döwülýän (N_2B') şöhleler olaryň üstlerinden baş oka garanda şol bir “ α ” burç boýunça geçýärler. Bu ýagdaý olaryň beýleki nokatlardan esasy aýratynlygy bolup durýandyr.

Eger optiki ulgamyň iki tarapynda-da birmeňzeş gurşaw (mysal üçin, howa) bar bolsa, onda merkezi nokatlar baş nokatlar bilen gabat gelýärler. Ýuka linzada şu nokatlaryň hemmesi optiki merkez bilen gabat gelýärler.

Iki baş fokusa (F_1 we F_2), iki baş nokatlara (H_1 we H_2) we iki merkezi nokatlara (N_1 we N_2) MOU-yň **kardinal nokatlary** diýilýär. Jisimiň şekilini gurmaklyk üçin edil ýekeleýin ýuka linzada ulanylýan usula meňzeş usul ulanylýar. Ýagny iki şöhläniň geçýän belli bolan ýoly ulanylýar: a) ulgamyň baş okuna parallel bolan şöhläniň ýoly, ol M we M' nokatlardan we soň F_2 baş fokusdan geçýär; b) merkezi N_1 we N_2 nokatlaryň üstünden geçýän şöhläniň ýoly (7.15-nji suratda AB jisimiň, (ýagny strelkanyň) şekiliniň gurluşyna seret).



7.16-njy surat.

MOU-ň mysallary hökmünde 7.16-njy “a” we “b” suratlarda biologiki mikroskopyň optiki ulgamynyň bölekleri görkezilendir: üç linzadan ybarat bolan obýektiv (Ob); hersi iki linzadan ybarat bolan kondensor (K) we okulýar (Ok). Okulýar daşky meýdan (Dm) we göz (G) linzalaryndan durýandyr, olaryň arasynda aralyk şekil (Aş) döreýändir.

Optiki diafragma jisimleriň şekilini döredýän optiki ulgamlaryň zerur elementi bolup durýandyr. Ol ýagtylyk şöhleleriniň dessesiniň inini, ýa-da başgaça aýdylyşy ýaly, onuň kesekesiginiň meýdanyny çäklendirýän dury bolmadyk maddadyr (adatça deşikli ekran). Diafragmanyň goýulyşy şunyň ýalydyr, ýagny onuň deşiginiň merkezi optiki ulgamyň baş oky bilen gabat geler ýaly edilip, deşigiň tekizligi bolsa optiki ulgamyň baş okuna perpendikulýar bolar ýaly edilip ýerleşdirilýändir. Linzanyň gyrasy ýa-da onuň daşky aýlawy (oprawasy) diafragma bolup hyzmat edip biler.

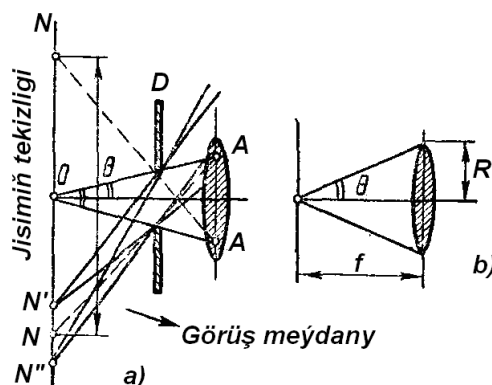
Adatça diafragma enjamyň giriş linzasynyň önünde goýulýar we şeýle ýagdaýda oňa **apertura diafragmasy** diýilýär (Aslynda optiki ulgamda ýerleşýän ýerine garamazdan ýagtylyk dessesini käbir derejede çäklendirýän diafragma **apertura diafragmasy** diýilýär).

Apertura diafragmasy (D) jisimiň aýry-aýry nokatlaryndan ulgama gelýän ýagtylyk desseleriniň inini çäklendirýär (7.17-nji “a” surat). Şeýle hem ol jisimiň baş okuna garanda has daşda ýerleşýän nokatlaryndan (mysal üçin, N^{11} nokat) gelýän we şoňa görä-de linza uly burç

bilen düşýän şöhleleri ulgama goýberenok. Bularyň hemmesi aberrasiýany aýyrýar we alynýan şekiliň ýitiligini ýokarlandyrýar.

Şol bir wagtyň özünde diafragma optiki ulgama düşýän ýagtylyk şöhleleriniň mukdaryny çäklendirýär, bu bolsa alynýan şekiliň ýitiliginiň peselmegine getirýär. Şeýle hem diafragma görüş meýdanyny, ýagny seredilýän jisimiň optiki ulgamda şekili bermeklige gatnaşýan bölegini çäklendirýär.

Görüş meýdanynyň serhetlerini kesgitlemek üçin A nokatlardan diafragmanyň deşiginiň gyralaryna göni çyzyk geçirmeli. Diafragmanyň deşiginiň gyralarynda giriş burçyny (θ) döredýän şöhleler linzanyň diametri bilen kesişýärler (AN punktir çyzyklar).



7.17-nji surat.

Ulgamyň baş oky jisimiň tekizligi bilen “O” nokatda kesişýändir. Şol kesişme nokadyndan seredilende apertura diafragmasynyň deşigi käbir “ α ” burçy astynda görünýär. Şu “ α ” burçyň ýarsyna deň bolan “ θ ” burça optiki ulgamyň **apertura burçy** diýilýär (7.17-nji “a” surat). (Ulgamyň apertura burçynyň mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) ukyplylygy üçin uly ähmiýeti bardyr).

Mikroskopda seredilýän jisim obýektiwiň ön ýanyndaky fokusynyň edil ýanynda diýen ýaly ýerleşdirilýändir. Şol bir wagtda **apertura burçy** linzanyň öz diametri bilen çäklendirilýändir. Şoňa görä-de aperturanyň tangens burçy “ θ ” obýektiwiň “R” radiusynyň onuň “f” fokus aralygyna bolan gatnaşygyna deňdir (7.17-nji “b” surat):

$$\operatorname{tg} \theta = R/f = D/2f$$

bu ýerde D- linzanyň diametri.

7.6. GÖZÜŇ OPTIKI ULGAMY WE ONUŇ KÄBIR AÝRATYNLYKLARY. AKKOMODASIÝA

Adamyň gözi özboluşly optiki ulgam bolup durýandyr, ol optikada aýratyn orny eýeleýär. Munuň beýle bolmaklygy iki sebäp bilen düşündirilýär. **Birinjiden**, köp optiki gurallar adamyň gözi bilen görüp ulanylmaklygy üçin niýetlenendir; **ikinjiden**, adamlaryň (we haýwanlaryň) gözi ewolýusiýa döwründe ýokary kämillik derejesine ýetirilen optiki ulgam hökmünde **bionikanyň**⁵

⁵ Janly tebigatdaky organizmleriň we ulgamlaryň funksionirlenmeginiň öwrenilmegi esasynda tehniki gurluşlaryň we ulgamlaryň döredilmegi bilen, şeýle hem dürli inžener meseleleriň çözülmekligi bilen baglanyşykly bolan **kibernetikanyň** bölümine bionika** diýilýär.

Ýa-da, başgaça aýdylanda, janly ulgamlaryň özboluşly häsiýetlendirmelerini özlerinde saklaýan we olaryň funksiýalarynyň nusgalanmagy esasynda döredilýän ulgamlar baradaky ylma **bionika** diýilýär.

** Dolandyrylyş, aragatnaşyk we informasiýanyň işlenilmegi baradaky ylma **kibernetika** diýilýär. **Kibernetika** dürli ulgamlaryň (olaryň gelip çykyş maddy esasynda baglanyşyksyz) dolandyrylyşynyň umumy häsiýetlerini öwrenýär.

çäklerinde optiki ulgamlaryň konstruirilenmegi we kämilleşdirilmegi boýunça nusga bolup durýandyr.

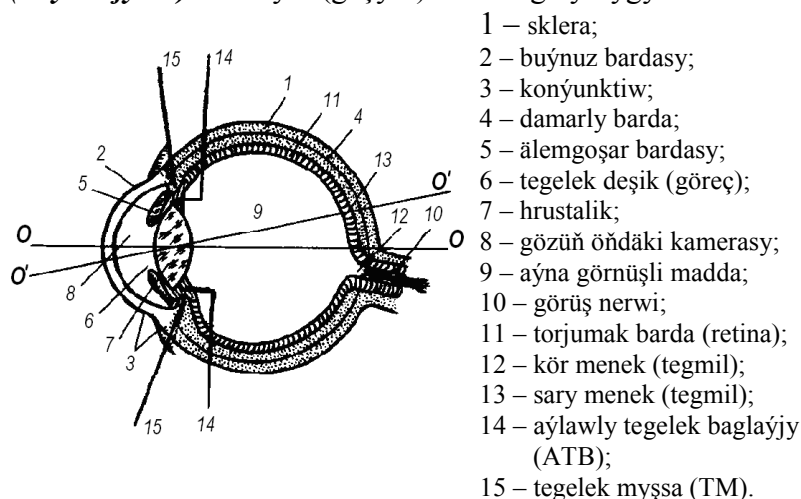
Lukmanlar üçin göz diňe bir öz funksiýasyny ýerine ýetirýän we funksional bozulmalara we kesellere sezewar bolýan organ bolmak bilen çäklenmän, ondan başga-da ol kabir göze degişli däl keseller baradaky maglumat berýän çeşme bolup hem hyzmat edýär.

Gysgaça adamyň gözünüň gurluşyna seredip geçeliň. 7.18-nji suratda sag gözüň dikana kesilen kesimi görkezilendir.

Hususan-da, göze göz almasy degişli bolup durýandyr, ol dogry däl şar görnüşli forma eýedir.

Onuň ölçegi esasy geometriki okuň ugry boýunça ortaça 23-25 mm-e deňdir we ol özünde *ýagtylykdöwüji* we *ýagtylykkabulediji* ulgamlary saklaýandyr (Uly adamda göz almasynyň önki-yzky ölçegi ortaça 24,3 mm-e; dikligine 23,4 mm-e we gorizonta ugur boýunça 23,6mm-e deňdir). Göz almasy konsentriki ýerleşen *daşky, aralyk we içki* bardalardan ybarat bolup durýandyr.

Göz almasynyň daşky üsti (buýnuzjyk göz önünde tutulmazdan) dykyz belokly barda (*sklera 1*) bilen örtülendir. Sklera gözüň ön ýanyndaky bölekde dury güberçek buýnuz bardasyna (*buýnuzjyk 2*) öwrülýär (geçýär). Onuň galyňlygy merkezi bö-



7.18-nji surat.

leginde 0,6mm-e deňdir, gyralarynda bolsa ol 1-mm-e çenli galňaýandyr. Optiki häsiýeti boýunça buýnuz bardasy gözüň uly döwülme görkezijili bölegi bolup durýandyr. Oňa ýagtylygyň şöhleleri geçýän “äpişge” hökmünde seretmek bolar.

Skleranyň ön ýanyndaky üsti (buýnuz bardasyz) ýuka nemli bardajyk – *konýunktiw (3)* bilen örtülendir, ol gabagyň içki üstüne geçýändir (berkidilendir).

Skleradan (1) bölünip aýrylan *buýnuz bardasy (2)* diametri takmynan 12 mm-e deň bolan we galyňlygy takmynan 1-mm-e deň bolan sferiki okara görnüşine eýedir. Onuň egrilik radiusy ortaça 7-8 mm-e deňdir. Ony düzýän maddanyň döwülme görkezijisi 1,38-e deňdir (ýagny $n=1,38$).

Skleradan (1) aşaky gatlakda *damarly barda (4)* ýerleşýär, ol göz almasynyň ön böleginde skleradan bölünip aýrylýar, onuň içki üsti garamtyl pigmentli öýjükleriň gatlagy bilen örtülendir (munuň beýle bolmaklygy ýagtylygyň içki diffuzlaýyn ýaýramagyna päsgelçilik döredýär).

Damarly barda (4) gözüň ön ýanyndaky böleginde *älemgoşar bardasyny (5)* döredýär (ol dürli adamlarda dürli reňklidir). Älemgoşar bardasynyň merkezinde *tegelek deşik, ýagny göreç (6)* bardyr.

Älemgoşar bardasy (5) – bu gözüň apertur diafragmasydyr, onda merkezi nerw ulgamy (MNU) tarapyndan dolandyrylýan myşsa süýümleri bardyr. Myşsa süýümleri ýygrylmak bilen

görejiň ýşyny üýtgedip bilýärler (ýiti ýagtylykda ol 2-3 mm bolmak bilen gowşak ýagtylykda ol 6-8 mm-e çenli ulalýar). Şeýlelik bilen, gözüň içine düşýan ýagtylyk akymy (intensiwligi) sazlanyp durulýar.

Görejiň göniden-göni yz ýanynda **hrustalik-göz merjenjigi (7)** ýerleşýär. Ol formasy boýunça goşagüberçek (ýagny iki tarapy hem güberçek) linza meňzeş bolup dury çeýe maddadan ybaratdyr. Hrustalik ýuka dury torbajykda ýerleşýandir. Torbajyk **aylawly tegelek baglaýjynyň (14)** üsti bilen **sklera (1)** asylgydyr (onuň buýnuz barda geçýän ýerinde).

Hrustaligiň diametri ortaça 8-10 mm-e deňdir. Onun öňdäki üstüniň egrilik radisy ortaça 10 mm-e deňdir; yzky üstüniňki bolsa 6 mm-e deňdir. Hrustaligiň döwülme görkezijisi ortaça 1,44-e deňdir (ýagny $n=1,44$).

Älemgoşar we buýnuz bardalarynyň aralygyndaky **boşluga (8)** gözüň öňdäki kamerasy diýilýär, ol dury suwuklyk bilen doldurylandyr (bu suwuklygyň optiki häsiýetleri suwuňka ýakyndyr).

Gözüň **hrustalikden (7)** başlap yzky diwara çenli ähli içki bölegi (boşlugy) goýy dury madda bilen doldurylandyr, oňa **ayna görnüşli madda (9)** diýilýär (onun döwülme görkezijisi gözüň öňdäki kamerasynda ýerleşýän dury suwuklygyňky ýalydyr).

Gözüň ýokarda seredilip geçilen elementleri esasan onuň **ýagtylykgeçiriji** ulgamy bolup durýandyr.

Görüş nerwi (10) göz almasyna onuň yzky diwarynyň üsti bilen girýär; soň ol bölünip gözüň iň içki gatlagyna – **torjumak barda (11)** geçýär (oňa başgaça **retina** hem diýilýär). Torjumak barda gözüň **ýagtylykkabulediji (reseptor)** ulgamy bolup durýandyr.

Torjumak barda birnäçe gatlaklardan ybaratdyr we ol özüniň galyňlygy we ýagtylygy duýujylygy boýunça birmeňzeş däl. Torjumak bardada ýagtylyk duýujy görüş öýjükleri ýerleşýärler, olaryň çetki (gyraky) uçlary dürli forma eýedirler. Öýjükleriň süýri görnüşli uçlylaryna **taýajyklar**; konus görnüşlilerine bolsa **kolbajyklar** diýilýär. Taýajyklaryň uzynlygy 63-81 mkm-e, diametri ortaça 1,8 mkm-e deňdir. Kolbajyklaryň uzynlygy 35 mkm-e, diametri 5-6 mkm-e deňdir. Adamyň gözüniň torjumak bardasynda **125 million taýajyklar** we **6,5 million kolbajyklar** bardyrlar.

Görüş nerwiniň göz almasyna girýän ýerinde ýagtylyga duýgurlygy bolmadyk **kör menek (12)** ýerleşýär. Torjumak bardanyň ortasynda, ýagtylyk duýujylygy ýokary bolan **sary menek (13)** ýerleşýär, onuň merkezi böleginiň diametri takmynan 0,4 mm-e deňdir.

Torjumak bardada kolbajyklar we taýajyklar gyradeň däl ýerleşendirler. Kolbajyklar torjumak bardanyň esasan merkezi böleginde, sary menekde ýerleşendirler (ýagny sary menegiň merkezinde diňe kolbajyklar ýerleşýärler); torjumak bardanyň gyrasynda bolsa – diňe taýajyklar ýerleşýärler.

Göz almasynyň seredilip geçilen bölekleriniň arasyndaky ähli boşluk kadaly atmosfera basyşyndan birazrak yokary basyş astynda [ortaça 23-25 mm.sim.süt. (3059-3325 Pa) ýokary] saklanýan dury suwuklyk bilen doldurylandyr. **Bu basyşa gözüň içki basyşy diýilýär**, ol göz almasynyň şar görnüşli formada saklanmagyna ýardam berýär.

Ilki bilen gözüň **ýagtylykgeçiriji ulgamynyň** aýratynlyklaryna seredip geçeliň (7.18-nji surat).

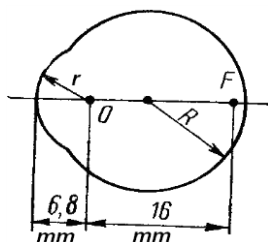
Gözüň ýagtylyk döwüji gurşawlary, ýagny buýnuz bardasy (2), öňdäki kameranyň suwuklygy (8), hrustalik (7) we aýna görnüşli madda (9) merkezlendirilen optiki ulgam bolup durýandyrlar, olar üçin alty sany **kardinal nokatlaryň** bardygyny görkezmek bolar. Merkezlendirilen ulgamyň **baş oky "OO"** buýnuz bardasynyň (2), görejiň (6) we hrustaligiň (7) geometriki merkezleriniň üstünden geçýär. Şeýle hem gözüň **görüş okyny "O'O"** tapawutlandyrýarlar, ol hrustaligiň (7) we sary menegiň (13) merkezleriniň üstünden geçýär. **Görüş oky gözüň iň yokary ýagtylykduýujylykly ugruny görkezýär**. Baş optiki ok bilen (OO) görüş okunyň (O'O) arasyndaky burç takmynan 5°-a deňdir.

Gözüň **ýagtylyk döwüji** gurşawlary, öň tarapda (ýagny buýnuz bardasy (2) tarapdan) howa bilen araçäkleşýärler, soň olar gözüň içinde özara biri-birleri bilen (2, 8, 7, 9) araçäkleşýärler we

ondan soň göniden-göni **torjumak barda (11)** bilen galtaşýarlar. Torjumak barda ýagtylyk kabul ediji ulgam (özboluşly “ekran”) bolup durýandyr.

Ýagtylygyň esasy döwürmesi **buýnuz bardasynyň (2)** daşky üstünde howa bilen araçäkke bolup geçýär. Şoňa görä-de **torjumak barda (11)** gözün ähli ýagtylyk döwürji gurşawlarynyň içinde iň uly optiki güýje eýedir, ol ortaça 43 dp deňdir. Hrustaligiň optiki güýji 18-20 dp deňdir; öňdäki kameranyň suwuklygy bilen aýna görnüşli maddanyň optiki güýji (bilelikde alnanda) 3-5 dp deňdir. Göz almasynyň umumy optiki güýji (akkomodasiýanyň dynçlygynda) ortaça 63-65 dp deňdir.

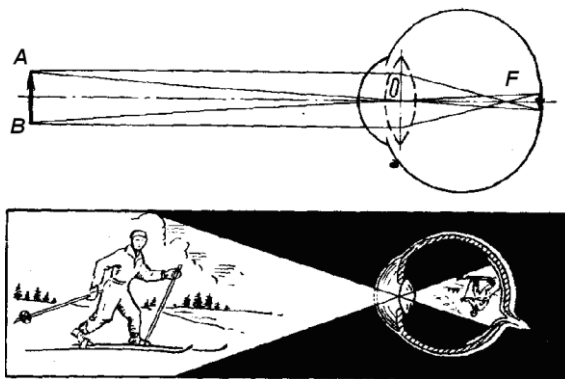
Gözün torjumak bardasynda jisimleriň şekilini gurmak üçin we görüş bilen baglanyşykly bolan hadysalara seljerme bermek üçin **redusirlenen** ýa-da **“getirme”** göz diýilip atlandyrylýan gözden peýdalanýarlar. Bu ýagdaýda **“getirme”** göze düzümi birhilli (birmeňzeş) bolan sferiki linza hökmünde seredilýär. (Şeýle linzada seredilýän jisimleriň ýerleşýän giňişligi howa bilen gurşalýar we alynýan şekilleriň giňişligi döwürme görkezijisi 1,366-a deň bolan suwuklyk bilen gurşalýar diýilip hasap edilýär). “Getirme” gözün biri-birlerine meňzeş bolan birnäçe modelleri bardyrlar. Biz häzir olaryň birine seredip geçeliň (7.19-njy surat).



7.19-njy surat.

Seredilýän modelde gözün öňdäki ýagtylygy döwürji üstüniň radiusy $r=6,8$ mm-e; sferanyň radiusy $R=10,2$ mm-e; esasy optiki ok boýunça uzynlygy 23,4 mm-e deňdir. Maddanyň döwürme görkezijisi $n=1,4$ -e deňdir. Linzanyň optiki merkezi “O” öňdäki döwürji üstün depesinde 6,8 mm aralykda ýerleşýär, baş fokusy “F” onuň optiki merkezinden 16 mm aralykda ýerleşýär. Linzanyň optiki güýji ortaça 63 dp deňdir.

“Getirme” gözde jisimleriň şekiliniň gurulmagy ýekeleşýin (ýagny adaty) linzada gurulyş düzgüni boýunça amala aşyrylýar. Jisim gözün önünde, iki fokus aralygyndan aňyrdaky ýerleşdirilýär; şunlukda şekil “getirme” gözün yzky üstünde hakyky, ters we kiçeldilen görnüşde alynýar (7.20-nji surat).

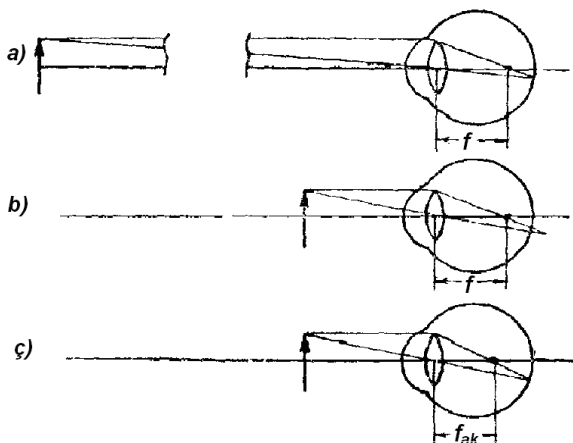


7.20-nji surat.

Linzanyň deňlemesinden gelip çykyşy ýaly, jisimden linza (ýagny onuň optiki merkezine) çenli aralyk üýtgände ýiti şekili almaklyk üçin deňişlilikde linzadan ekrana çenli bolan aralyk hem üýtgedilmelidir. Göz almasynda optiki merkezden jisimiň şekili alynýan torjumak barda çenli bolan **aralyk hemişelik ululykdyr** (ýagny ol üýtgemän galýandyr).

Gözün dynçlykly rahat ýagdaýynda torjumak bardada ýeterlik derjede uzak aralykda (8-10m) ýerleşýän jisimleriň aýdyň (ýiti) şekili alynýar (7.21-nji surat “a”). Haçan-da bu aradaşlykdan ýakyn aralykda ýerleşen jisimlere seredilende şekiliň alynýan tekizligi torjumak bardanyň yz ýanynda bolýar (7.21-nji surat “b”) we şoňa görä-de torjumak bardada alynýan şekiliň aýdyňlygy (ýitiligi) ýitýär. Gözün **akkomodasiýasy** diýilip atlandyrylýan ýagdaý bilen bu hadysanyň öňi alynýar. **Gözün akkomodasiýasy şundan ybaratdyr, ýagny jisimden göze çenli bolan aralyk üýtgände onuň optiki güýji (fokus aralygy) öz-özünden awtomatiki taýdan üýtgeýandir we şeýlelik bilen, jisimiň ýerleşýän aralygyna baglanyşyksyz, torjumak bardada**

alynýan şekil aýdyň (ýiti) görnüşde bolýar (7.21-nji surat “ç”). (Bu aýdylanlar aşakda seredilip geçiljek aýratyn ýagdaýlara degişli bolan akkomodasiýanyň çäginde çykylýan ýagdaýlara degişli dälär).



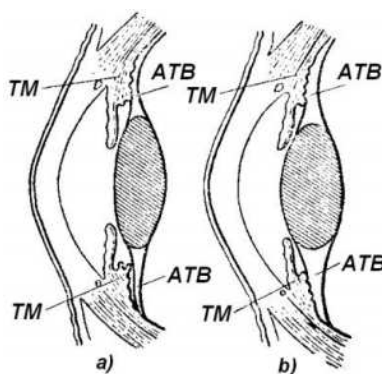
7.21-nji surat.

Akkomodasiýa – bu gözün torjumak bardada dürli aralykda ýerleşýän jisimleriň birmeňzeş aýdyň (ýiti) şeklini döredip bilijilik ukyplygydyr.

Başgaça aýdylanda, dürli aralykda ýerleşýän jisimleriň aýdyň görnüşde görülmegi üçin gözün “ýiti görüşe dogrulanmagyna” – uýgunlaşmasy ***akkomodasiýa*** diýilýär. Akkomodasiýa hrustaligiň döwüji üstüniň egriliginiň üýtgemekligi esasynda gözün optiki güýjüniň üýtgemekligi bilen amala aşyrylýar.

Gözün dynçlykly rahat ýagdaýynda (“akkomodasiýanyň dynçlygy”) torbajyk we aýlawly tegelek baglaýjy “ATB” (onuň kömegi bilen hrustalik sklera asylandyr) gözün içki basyşynyň täsiri astynda dartylýandyrlar (çekdirilýändirler), şoňa baglylykda hrustalik birazrak “süýrelýär” (7.22-nji surat “a”).

Aýlawly tegelek baglaýjynyň (ATB-ATB) esasynda tegelek (aýlawly) myşsa TM-TM ýerleşýär (7.18-nji we 7.22-nji suratlarda onuň kese-kesigi görkezilendir), oňa ***kirpik myşsasy*** diýilýär, ol baglaýjyny halkalaýyn gurşaýandyr.



7.22-nji surat.

Akkomodasiýanyň güýjenmesinde kirpik myşsasy gysgalýar, “ATB-ATB” baglaýjynyň we torbajygyň dartylmasy gowşaýar we hrustalik özüniň tebigy çeyeligine baglylykda has güberçek bolýar (7.22-nji surat “b”). Maksimal akkomodasiýada hrustaligiň öňdäki üstüniň radiusy 10 mm-den 5 mm-e çenli kiçelýär; yzky üstüniňki bolsa 6 mm-den 5,5 mm-e çenli kiçelýär. Şunlukda gözün optiki güýji 70-74 dp çenli ulalýar, oňa “getirme” gözün ortaça 13-14 mm fokus aralygy degişlidir. Bu ýagdaýda torjumak bardada ***gowy görmekligiň ýakyn nokady*** diýilip atlandyrylýan nokatda ýerleşýän jisimleriň ýiti şekili alynýar. Dürli adamlarda bu nokada çenli bolan aralyk dürlidir we ol ep-esli derejede adamlaryň ýaşyna baglydyr. Jisimiň ol nokatdan başlap göze tarap gysga aralyga ýakynlaşmasynda kirpik myşsasyň ýygrylmagyna we aýlawly

tegelek baglaýjynyň gowşamagyna garamazdan, hrustalik indi mundan beýläk özüniň formasyny üýtgedip bilýän däldir – **akkomodasiýa predeli (çägi)** ýuze cykyar we has ýakyn ýerleşýän jisimleriň şekiliniň ýitiligi ýitýär.

“Ortaça” göz diýilip atlandyrylýan gözüň akkomodasiýada özüne uly güýjenme (agram) bermezden jisimleriň aýdyň (ýiti) şekilini alýan aralygyna **iň gowy görüş aralygy** diýilýär we ol aralyk 25 sm-e ($S=25\text{ sm}$) deň diýilip hasap edilýär.

Gözüň akkomodasiýa ulgamynyň çäk ýagdaýlardaky häsiýetlendirmeleri

Akkomodasiýa	Jisim uzak aralykda ýerleşýär (Akkomodasiýanyň dynçlygy)	Jisim ýakyn aralykda ýerleşýär (Akkomodasiýanyň güýjenmeli çägi)
Kirpik myşsasy	Gowşadylan	Ýygrylan
Aýlawly tegelek baglaýjy	Dartdyrylan	Gowşadylan
Hrustaligiň görnüşi	Süýrümtil	Güberçek
Gözüň optiki güýji	~ 60 dp.	70-74 dp.

Gözüň akkomodasiýasy merkezi nerw ulgamyndan (MNU) kirpik myşsasyňa iberilýän impulslaryň täsiri astynda bolup geçýär. Akkomodasiýanyň dynçlygynda gözüň torjumak bardasynda uzak aralykda ýerleşýän jisimleriň aýdyň (ýiti) şekili alynýar (göz “tükeniksizlige” gönükdirilendir).

Haçan-da göz ýakyn aralykda ýerleşýän jisime gönükdirilen bolsa we şonda torjumak bardada aýdyň (ýiti) şekil alynmaýan bosla, onda merkezi nerw ulgamyndan kirpik myşsasyňa impulslar iberilýärler, olar kirpik myşsasyňyň gerek bolan derejede ýygrylmagyny ýüze çykarýarlar – soňa baglylykda göz torjumak bardada şekil aýdyň (ýiti) bolar ýaly edilip **akkomodirlenýär**.

Ýaşyň geçmekligi bilen (takmynan 40-ýaşdan başlap) hrustaligiň tebigy çeýeliginiň üýtgemekligine baglylykda akkomodasiýanyň netijeliliginiň peselmegi bolup geçýär we **iň gowy görüş aralygy ulalýar** – ýaşyň ýokarlanmagy boýunça (orta ýaşdan başlap) **uzakdan görüjilik başlanýar**. Ol esasan okalýan wagtynda, hat ýazylanda we ownuk jisimlere seredilende ýüze çykýar. Ýaşyň ýokarlanmagy boýunça **gözüň uzakdan görüjilik ýagdaýy ýygnaýjy linzaly äýnekleriň** kömegi bilen kompensirlenýär, olaryň optiki güýji ýyllaryň geçmekligi bilen kemden ýokarlandyrylmalydyr.

7.6.1. GÖRÜŞ BURÇY

Gözüň refraksiýasynyň kemçilikleri

Göz, umuman alnanda, ýörite haýsydyr-bir görüş enjamy bilen üpjün edilmedik ýagdaýynda-da, güýçli ýygnaýjy linza meňzeşdir. Tükeneksizlige “dogrulan” göz torjumak bardada parallel şöhleleri fokusirleýär, ýagny ol görüş turbasynyň obýektiwi hökmünde çykyş edýär. Şoňa görä-de, hiç bir goşmaça enjam ulanylman, göz bilen seredilende difraksion gözenek ýa-da prizma tarapyndan döredilýän spektre gözegçilik etmek bolýar.

Jisimiň nokatlaryndan çykýan şöhleler göze jisim burçunyň⁶ içinde az-kem dargaýan desse bolup girýärler, şunlukda göreç jisim burçunyň esasy bolup durýandyr.

⁶ (Ýagtylyk çeşmesiniň dürli taraplara goýberýän ýagtylyk akymynyň ýaýraýşyny görkezmek üçin **jisim burçy** diýlen düşünje girizilýär. Jisim burçy Ω (omega) harpy bilen belgilenýär. Jisim burçunyň birligine **steradian** (sr) diýilýär. Bir steradian (sr) jisim burçy sferanyň üstünde sferanyň radiusynyň (R) kwadratyna deň bolan meýdany (S) kesip alýar. Ol şeýle kesgitlenýär:

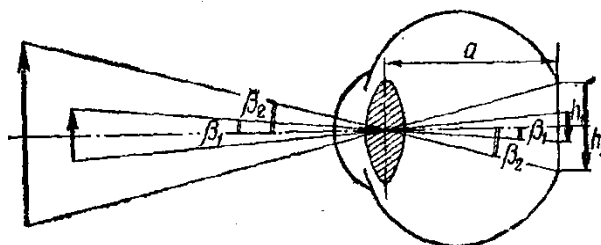
Ol şöhleler gözün gurşawlarynda döwürmek bilen torjumak bardada bu nokatlaryň hakyky şekilini döredýärler, ýagny duýulyş prosesinde torjumak bardada alynýan bu şekil göz tarapyndan giňişlikde ýerleşýän nokatlar hökmünde kabul edilýär. Göze girýän şöhleleriň dargamak burçy seredilýän jisimleriň gözden näçe aradaşlykda ýerleşýändigini kesgitlemeklige mümkinçilik berýär.

Torjumak bardada alynýan şekiliň ölçegi diňe bir seredilýän jisimiň ölçegine bagly bolman, ondan başgada onuň gözden näçe aradaşlykda ýerleşýändigine, ýagny jisimiň nähili burç astynda görüýändigine baglydyr. Şuňa baglylykda **görüş burçy** diýilýän düşünjani girizýärler.

Eger optiki enjamyň kömegi bilen gözün görüş meýdanynda ýerleşmeýän jisimiň nokatlaryndan çykýan kem-käsleýin dargaýan şöhleleri göze gönükdirsek, onda adam görüş prosesinde torjumak bardada döreýän şekili göze girýän şöhleleriň dowamynyň kesişme nokatlary hökmünde kabul edýär. Bu ýagdaýda göz jisimiň hyýaly şekilini görýär. Bu görüşe mahsus bolan häsiýetli aýratynlykdyr.

Torjumak bardada alynýan **hakyky şekiliň ululygy** bilen (h.ş.u) **seredilýän jisimiň** nähili aradaşlykda ýerleşýändigine bagly bolmadyk **ululygyň** (s.j.u) arasyndaky arabaglanyşyk (ýagny $\frac{s.j.u}{h.s.u}$) **görüş burçunyň** üsti bilen aňladylýar.

Seredilýän jisimiň gyraky nokatlaryndan çykýan şöhleleriň gözün optiki merkezinden geçenden soň döredýän burçuna **görüş burçy** diýilýär (7.23-nji surat).



7.23-nji surat.

Torjumak bardada alynýan şekiliň ululygy **görüş burçyna** göni proporsionaldyr. Munyň şeýledigini görkezeliň (amatly bolar ýaly düşündirilişe bu burçuň ýarym ululygy boýunça seredip geçeliň).

Gözün optiki merkezinden torjumak barda çenli bolan aralygy “a” harpy bilen belgiläliň (şu ýagdaýda torjumak barda takmynan tekizlik görnüşinde diýip hasap edýäris). “h” harpy bilen şekiliň beýikliginiň ýarsyny we “β” harpy bilen degişli görüş burçunyň ýarsyny belgiläliň (7.23-nji surat). Onda şeýle gatnaşyk bilen kesgitlenýän tangens burçlaryň bahalaryny alarys:

$$\operatorname{tg} \beta_1 = \frac{h_1}{a} \quad (56) \quad \text{we} \quad \operatorname{tg} \beta_2 = \frac{h_2}{a} \quad (57)$$

Ikinji aňlatmany birinjä bölüp we tangens burçlaryň kiçiligine görä olary göz önünde tutman burçlaryň özlari bilen çalşyryp alarys:

$$\frac{h_2}{h_1} = \frac{\operatorname{tg} \beta_2}{\operatorname{tg} \beta_1} \approx \frac{\beta_2}{\beta_1} \quad (58)$$

ýagny, torjumak bardada alynýan şekiliň ululygy **görüş burçuna göni proporsionaldyr**.

Gözün aýdyňlaşdyрма (çözüjilik) ukybyny häsiýetlendirmek üçin **in kiçi görüş burçy** diýlen düşünjani girizýärler.

$$\Omega = \frac{S}{R^2};$$

bu ýerde: R – sferanyň radiusy;

S – sferanyň üstünde kesilip alynýan meýdan).

Gözün seredilýän jisimiň entek iki nokadyny aýdyň görüp (saýgaryp) bilýän ýagdaýyna **in kiçi görüş burçy** diýilýär.

Bu burç takmynan 1'-a deňdir, ol biri-birlerinden 70 mkm aradaşlykda bolan we **in gowy görüş aralygynda** ýerleşýän nokatlaryň aralygyna degişlidir. Bu ýagdaýda torjumak bardadaky şekiliň ölçegi 5 mkm deňdir, bu bolsa torjumak bardada ýerleşýän 2-sany kolbajyklaryň arasyndaky aradaşlyga deňdir. Şoňa görä-de, egerde torjumak bardada alynýan 2-nokadyň şekiliniň aralygy 5 mkm-den gysga (kiçi) bolsa, onda olar biri-birlerinden aýratynlykda aýdyň görülyän (saýgarylyan) däl, ýagny olar göz tarapyndan özbaşdak tapawutlandyrylyan däl.

Ýagtylygyň difraksiýasy tarapyndan döredilýän çäklendir-medede hem in kiçi görüş burçunyň edil şeýle ululykdaky bahasy alynýandyr. Seredilýän ýagdaýda **tebigatyň amatlylyk düzgüni boýunça** maksada laýyk döredişi geň galdyrýar – ýagny “hiç bir artykmaç zat bolmaly däl” diýlen nukdaý nazardan ugur alynýar: **torjumak bardanyň bir meýdan birliğinde saklanýan kolbajyklaryň sany geometriki optikanyň predel (çäk) mümkinçiliklerine dogry gabat gelýär.**

Lukmançylykda gözün aýdyňlaşdyrma (çözüjilik) ukyplygyna onuň **görüş ýitiligi** bilen baha berilýär. **Kadaly görüş ýitiliginiň birliги** hökmünde in kiçi görüş burçy 1'-a (minuda) deň bolan ýagdaý kabul edilýär.

Dürli gyşarmalarda gözün görüş ýitiligi şeýle kesgitlenýär, ýagny in kiçi görüş burçy 1-minutdan **näçe esse ýokary bolsa**, onda şoňa baglylykda görüş ýitiligi hem **sonça esse pesdir**. Mysal üçin, eger haýsydyr bir adam üçin in kiçi görüş burçy 4'-a deň bolsa, onda onuň görüş ýitiligi 0,25-e deňdir ($1:4=0,25$).

Kabir ýagdaýlarda adamyň gözi in kiçi görüş burçuna (ýagny 1-minuda) degişli bolan ululyklardan has ownuk (kiçi) bolan ululyklary hem tapawutlandyryýandyr. Mysal üçin, hereketlenýän jisimleriň orun üýtgetmesi duga boýunça 20''-a (sekunda) ýetende eýýäm ol bildirýändir; iki sany inçejik çyzyklaryň biri-birine gabat gelmezligi eýýäm olaryň arasyndaky burç 12''-bolanda ýüze çykarylýandyr we ş.m.

Fiziki ölçeglerde köplenç görkeziji diljagazy şkalanyň “O” (nol) bölünmesinden gozganmaýan enjamlar ulanylýarlar (potensiometrler, garşylyk “köprüleri” we ş.m.). Gözün seredilýän çyzyklaryň azajyk süýşmelerini saýgaryp (tapawutlandyryp) bilijilik ukyplygyna baglylykda şeýle enjamlar görkeziji diljagazy bilen bölünme çyzyklaryň arasyndaky aralygyň ölçelmegine esaslanyp işleýän enjamlara garanda has takyk bahalary berip bilerler. (Bu sorag diňe bir fiziki mesele däl-de, fiziologiki mesele hem bolup durýandyr).

7.6.2. GÖZÜŇ OPTIKI ULGAMYNYŇ KEMÇILIKLERI WE OLARYŇ DÜZEDILIŞI

Linzalara mahsus bolan aberrasiýalar gözde ýüze çykmaýar diýen ýalydyr. Göreç tarapyndan göze **şöhleleriň diňe insizje kiçi (çaklendirilen) merkezi dessesi goýberilýär** we şoňa baglylykda sferiki aberrasiýanyň öňi alynýar. Göz spektriň otnositel **insiz sary – ýaşyl bölegine has duýgurdyr** we şoňa görä-de hromatiki aberrasiýa ýüze çykýan däl. Gytaklaýyn düşýän desseler bilen baglanyşykly bolan astigmatizmiň bolmaýanlygy gözün elmydama göni seredilýän jisime tarap gönükdirilýändigini bilen we oňa girýän şöhleleriň merkezi desse bolup durýanlygy bilen düşündirilýär.

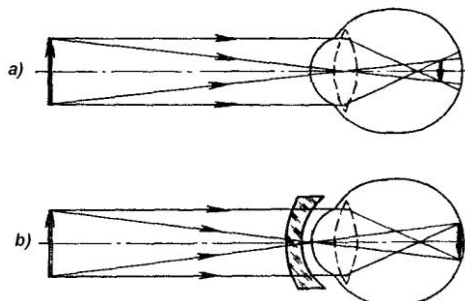
Ýöne göz organizmiň ösüş prosesinde kemala gelýär we şoňa görä-de onuň käbir adamlarda dogabitdi kemçilikleri gabat gelýär. Bu kemçilikler gözün formasynyň, ölçegleriniň ýa-da optiki güýjüniň kadaly ýagdaýdan gyşarmasy bilen baglanyşyklydyr.

Gözün optiki ulgamyna käbir mahsus bolan kemçilikler degişlidir.

Kadaly ýagdaýdaky gözde akkomodasiýanyň ýok wagtynda yzky fokus torjumak barda bilen gabat gelýär – şeýle göze **emmetropiki** göz diýilýär; eger-de şeýle şert ýerine ýetmeýän bolsa – onda oňa **ametropiki** göz diýilýär.

Ametropiýanyň has giň ýaýran görnüşlerine **şowakörlük (miopiýa)** we **uzakdan görüjilik (gipermetropiýa)** degişlidir.

Şowakörlük (miopiýa) adamlarda has köp gabat gelyändir, ol göz almasynyň süýreldilen formasy bilen baglanyşyklydyr ýa-da (has seýrek ýagdaýda) gözün gurşawlarynyň ýagtylygy juda ýokary döwüjilik ukyplygy bilen baglanyşyklydyr (gözün kadaly formasynda). Şunlukda gözden ýeterlik derejede daşda ýerleşýän jisimleriň aýdyň (ýiti) şekili (ýagny yzky fokus) torjumak bardadan birazrak öňde ýerleşýän tekizlikde döreýär (7.24-nji surat “a”). Suňa baglylykda torjumak bardada şekil ýiti (aýdyň) däl görnüşde bolýar we şoňa görä-de göz uzakda ýerleşýän jisimleri ýeterlik derejede ýiti görüp bilenok.

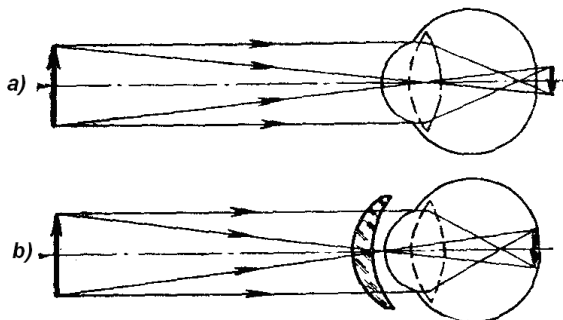


7.24-nji surat.

Ýakyn aralykda ýerleşýän jisimleriň şekili torjumak bardada akkomodasiýasyz hem ýiti görnüşde alynýandyr.

Şowa korrügi düzetmeklik üçin gözün optiki güýjüni kiçeltmek zerurdyr, ol bolsa dargadyjy linzaly (güberçek – oýuk) äýnekleriň ulanylmagy bilen amala aşyrylýar. Şunlukda gözün fokus aralygy ulalýar we uzakda ýerleşýän jisimleriň şekili torjumak bardada kadaly görnüşde alynýar (7.24-nji surat “b”).

Gözün ýagtylygy döwüjilik ukyplygynyň pes bolmaklygy bilen ýa-da göz almasynyň öňki-yzky tarapdan “gysylan” (gysgaldylan) görnüşde bolmaklygy bilen baglanyşykly bolan **uzakdan görüjilik (gipermetropiýa)**, umuman alnanda, seýrek gabat gelyändir. Şu görkezilen kemçiliklere baglylykda uzak aralykda ýerleşýän jisimleriň şekili torjumak bardanyň yzynda ýerleşýän tekizlikde alynýar (7.25-nji surat “a”).

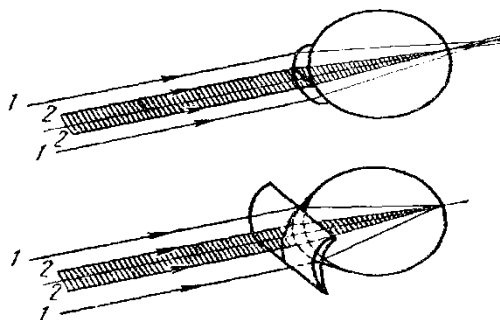


7.25-nji surat.

Göz akkomodasiýanyň kömegi bilen bu kemçiligi düzedýär, yöne akkomodasiýanyň mümkinçiligi (predeli) çaklandirilendir we şeýle göz ýakyn aralykda ýerleşen jisimleri ýiti (aýdyň) görnüşde görmeýär. Uzakdan görüjiligi düzetmeklik üçin ýygnaýjy linzaly (oýuk-güberçek) äýnekleri ulanýarlar, olar gözün döwüjilik ukyplygyny güýçlendirýärler we şoňa baglylykda torjumak bardada ýiti şekiliň alynmaklygyny üpjün edýärler (7.25-nji surat “b”).

Gözün görüjiligiň seýrek gabat gelyän kemçiliginiň ýene-de birine **astigmatizm** degişlidir. Ol optiki ulgamyň asimetriýasy (ýagny buýnuz bardasynyň ýa-da hrustaligiň daşky üstüniň sferiki däl görnüşde bolmaklygy) bilen baglanyşyklydyr. Uly bolmadyk astigmatizm amaly taýdan duýulýan däl. Uly astigmatizm torjumak bardada şekiliň ýitiligiň (aýdyňlygynyň) ýitmekligine we onuň konturlarynyň ýoýulan görnüşde bolmaklygyna getirýär.

Köplenç ýagdaýda dogry astigmatizm gabat gelýär (7.4.3-bölüme seret). Eger şunlukda iki sany özara perpendikulýar tekizlikleriň haýsydyr bolsa birinde refraksiýa kadaly ýagdaýda bolsa, onda ýüze çykýan astigmatizme **ýönekeý astigmatizm** diýilýär (mysal üçin 7.26-njy “a” suratda gorizont 2-2 şöhleler torjumak bardada fokusirlenýärler, gorizont 1-1 şöhleler bolsa refraksiýanyň kemçiligine baglylykda ondan birazrak yzda fokusirlenýärler).



7.26-njy surat.

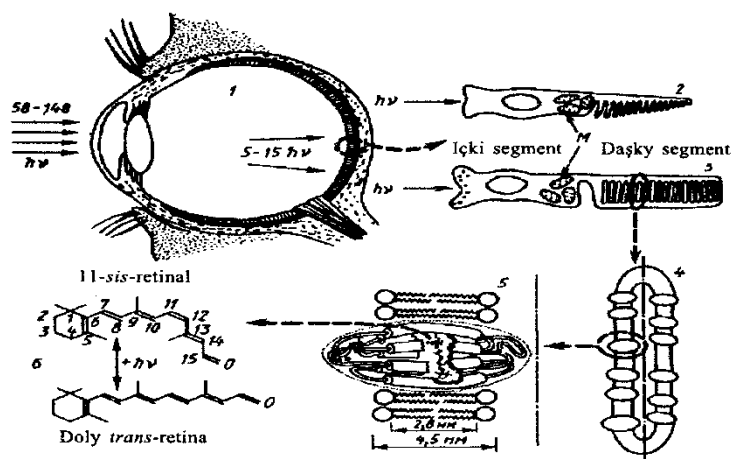
Ýönekeý dogry astigmatizm silindriki linzaly äýnekleriň kömegi bilen düzedilýär (7.26-njy surat “b”). Olaryň oklary degişli tekizlikde refraksiýany kompensirläp biler ýaly edilip ýerleşdirilýärler.

Astigmatizmiň has çylşyrymly ýagdaýlarynda ony kompensirmek üçin degişlilikde çylşyrymly görnüşli linzalar gerek bolýandyr.

7.7. GÖRÜŞIŇ BIOFIZIKI ESASLARY

Gözüň üstüne düşýän ýagtylyk hrustaligiň kömegi bilen torjumak bardanyň **ýagtylykduýujy öýjükleriniň gatlagyna**, ýagny taýajyklara we kolbajyklara fokusirlenýär. Taýajyklar torjumak bardanyň ýarymsferiki üstünde ýerleşýärler we ak-gara görüşi üpjün edýärler, olaryň sany takmynan 125 milliona deňdir. Kolbajyklaryň sany olara garanda ep-esli azdyr (takmynan 6,5 million), olar esasan torjumak bardanyň merkezi böleginde toplanandyrlar we reňkli görüşi üpjün edýärler. Taýajyklaryň we kolbajyklaryň hersi iki segmentden (daşky we içki) ybaratdyrlar.

Adamyň gözüniň torjumak bardasynyň gurluşy, göräýmäge, geň galarlyklydyr, çünki ýagtylykduýujy öýjükler torjumak bardanyň yzky gatlagynda ýerleşýärler. Ýagtylyk olaryň üstüne düşmezden öň nerw öýjükleriniň birnäçe gatlaklaryndan geçmeli bolýar. Ondan hem başga, taýajyklaryň we kolbajyklaryň özlери görüş pigmentini saklamayan içki segmentleri bilen ýagtylyga tarap gönükdirilen görnüşde ýerleşýärler (7.27-nji surat). Ýöne, bu aýdylanlara garamazdan, gözüň ýagtylyk duýujylygy gaty peselýän däl, çünki nerw öýjükleri we ýagtylykduýujy öýjükleriň içki segmentleri görünýän ýagtylyk üçin durydyrlar.



7.27-nji surat.

Adamyň gözünüň **absolýut bosaga duýujylygy** (ýagny haçan-da ýagtylyk fony ýok wagtynda we gözün doly garaňkylyga uýgunlaşan şertlerinde ýagtylyk meneginiň ýagtylanyşynyň entek minimal derejede saýgarylyp bilinýän ululygy) buýnuz bardasynyň üstünde $2,1-5,7 \cdot 10^{-17}$ J (Joula) deňdir, bu ululyk ýagtylygyň gök-ýaşyl spektrindäki 58-148 kwantyna degişlidir. Bulardan diňe 5-15 kwant torjumak bardanyň taýajyklaryndaky görüş pigmentiniň molekulalary tarapyndan siňdirilýär; galanlary bolsa aralykda “ýitýärler”.

Göze düşýän ýagtylygyň takmynan 4%-i buýnuz bardasy tarapyndan yzyna serpikdirilýär; onuň takmynan 50%-i gözün optiki ulgamlary tarapyndan siňdirilýär. Torjumak barda ýeten ýagtylygyň 80-85%-ni ony örtýän pigmentli epiteliýanyň öýjükleri siňdirýär. Hut pigmentli epiteliýanyň bolmaklygyna görä ýagtylyk pes derejede gözün yzky diwaryndan serpikýär we dargaýar, bu bolsa öz gezeginde, gözün görüş ýitiligini gowulandyryr.

Indi biz taýajyklaryň gurluşyna we funksiýasyna seredip geçeliň (7.27-nji surat).

Taýajyklaryň görüş pigmenti bolan rodopsin olaryň daşky segmentinde toplanandyr we ol diskiň membranasynyň düzümine girýändir. Diskler ýapyk bimolekulýar lipid membranalaryndan ybaratdyrlar, olar köp sanly “çişirilen şarlaryň” gysylandan soň alýan ellips görnüşindäki toplumyny ýada salýar. Daşky segment içki segment bilen inçejik kanalgaz arkaly birleşýändir. İçki segmentde, kanalygyň golaýynda köp sanly mitohondriýalar toplanandyr; şeýle hem ol ýerde öýjügiň ýadrosy ýerleşýändir. İçki segmentiň ýagtylyga bakyp duran uýunda **nerw süýümi bilen galtaşýan sinaptiki kontakt ýerleşýär**.

Öň belenilip geçilişi ýaly, rodopsiniň molekulasy görüş diskiniň membranasynyň lipid gatlagynda ýerleşýändir. Lipid bigatlagynyň şepbeşikliginiň örän pesdigine görä (takmynan 100 mPa·s) pigmentiň molekulalary çalt geçýän **lateral diffuziýany** amala aşyryp bilýärler, ýagtylygyň kwantyny siňdirenden soň bolsa olarda düýpli konformasiýa üýtgeşmeleri bolup geçýär.

Görüş pigmenti rodopsin çylşyrymly belok bolup durýandyr. Ol belokdan (opsin) we hromofor topardan (retinaldan) ybaratdyr. Retinal birnäçe giňişleýin izomerlere eýe bolup bilýär, ýöne olaryň içinden diňe 11-sis-retinal opsin bilen baglanyşmaga ukyplydyr.

7.7.1. RETINALYŇ SIS-TRANS FOTOIZOMERLEŞMEGI

Hromoforyň has wajyp bolan iki konformasiýasy (ýagny 11-sis-retinal we doly-trans-retinal) 7.27-nji suratda görkezilendir.

Retinalyň molekulasyň 6-sany ikileýin baglanyşygy bardyr, bu bolsa onuň aýlanmak mümkinçiligine päsgelçilik döredýär. Ýöne, şol bir wagtda, **hromoforyň tekiz molekulasy** bardyr.

Retinal tarapyndan ýagtylygyň siňdirilmekligi onuň oýandyrylan ýagdaýa geçmekligine sebäp bolýar. **Esasy stasionar ýagdaýda retinalyň molekulasy tekizdir**. Fotonyň siňdirilmekligi

bilen retinalyň (has takygy, 11-sis-retinalyň) molekulasyňyň iki bölegi ikileýin baglanyşygyň üzülmekligine görä onuň daşynda aýlanýar. *Aýlanmak 180°-sa ýetende 11-sis-retinal doly trans-retinala öwrülýär.* Soň, ýagtylygyň täsiri astynda, *doly trans-retinal* baglanyşygyň daşynda 180°-sa aýlanmak bilen, *11-sis-retinala öwrülýär.*

Molekulanyň esasy ýagdaýdan oýandyrylan ýagdaýa we oýandyrylan ýagdaýdan esasy ýagdaýa geçende biri-birine *deň* (ýagny gabat gelýän) *käbir energetiki derejesi* (DKED) bardyr. Elbetde, şeýle ýagdaýdan (ýagny DKED-den) oýandyrylan molekulanyň *sis-*, şeýle hem *trans* – *görnüşe* geçmek mümkinçiligi bardyr. *Başgaça aýdylanda, retinalyň sis-trans-izomerleşmek fotoreaksiýasy fotoöwrülişikli hadysa bolup durýandyr.*

7.7.2. RODOPSINIŇ FOTOÖWRÜLIŞIKLERI

Öň bellenişli geçilişi ýaly, retinal ýagtylygyň täsiri astynda birnäçe izomerlere eýe bolup biler, ýöne olaryň içinden diňe 11-sis-retinal opsiniň molekulasyňyň baglanyşmak merkezine doly gabat gelýär we soňa görä-de onuň bilen baglanyşyp durnukly kompleksi emele getirýär.

Görüş pigmenti (ýagny rodopsin) ýagtylygy siňdirenenden soň retinal dürli izomerlere eýe bolýar, bu bolsa öz gezeginde belogyň (opsiniň) molekulasynda dürli konformasiýa üýtgeşmeleriniň ýüze çykmaklygyna getirýär. Bu üýtgeşmeleri shematiki şeýle görnüşde görkezmek bolar:

Rodopsin + hv → Batorodopsin → Lýumirodopsin → Metarodopsin I → Metarodopsin II → Metarodopsin III → Opsin + retinal (doly trans-retinal).

Şeýle üýtgeşmeler, degişlilikde, görüş pigmentiniň ýagtylygy siňdiriş spektrine öz täsirini ýetirýär (Rodopsiniň molekulasyndaky bolup geçýän üýtgeşmeleri ilkinji bolup Uold anyklapdyr we oňa düşündiriş beripdir. Oňa şu işi üçin 1966-njy ýylda *Nobel baýragy* berilipdir).

7.7.3. RESEPTOR POTENSIALLARY

Rodopsindäki bolup geçýän fotoöwrülişikler nähili ýol bilen reseptor öýjüklerinde siňdirilen energiýanyň elektrik signalyna öwürülmegine getirýärkä? Bu soraga rodopsiniň konformasiýa öwrülişikleri boýunça alnan maglumatlardan jogap tapsa bolýar.

Ýagtylygyň täsiri astynda döreýän reseptor potensiallaryny ýüze çykyş tebigaty boýunça iki tapgyra bölýärler, ýagny *irki reseptor potensialy (IRP)* we *gijiki reseptor potensialy (GRP)*.

Taýajyk ýagtylandyrylandan soň yz ýany dowamlylygy takmynan 1 ms (millisekunt) deň bolan IRP ýüze çykýar.

Dynçlyk ýagdaýynda taýajyklaryň daşky segmentleriniň sitoplazmatiki membranasynda beýleki ähli belli bolan öýjükleriň membranasyndan tapawutlylykda, içki üsti položitel (+), daşky üsti bolsa otrisatel (-) zarýadlanandyr.

IRP we GRP ýüze çykyş tebigaty boýunça biri-birlerinden düýpli tapawutlanýandyr.

a) IRP-niň ýüze çykyş tebigaty.

Megerem, IRP ýagtylygyň täsiri astynda rodopsiniň molekulasynda bolup geçýän *konformasiýa üýtgeşmeleri bilen baglanyşyklydyr.* Rodopsiniň molekulasynda fiksirlenen zarýadlar bardyr, olar ýagtylygyň kwanty siňdirilenden soň öz ýerleşiş ýagdaýlaryny lipid bigatlagyna görä üýtgedýärler, bu bolsa IRP-niň ýüze çykmaklygyna sebäp bolýar. Rodopsiniň konformasiýa öwrülişikleri bilen baglanyşykly IRP metarodopsin – II tapgyra çenli dowam edýändir (çünki şu tapgyra çenli geçýän wagt aralygy IRP-niň dowamlylygy bilen gabat gelýändir).

b) GRP-niň ýüze çykyş tebigaty.

Metarodopsin – II konformasiýanyň döremekligi bilen tebigaty boýunça düýbünden üýtgeşik prosesler başlaýarlar. *Bu prosesler ionlaryň hereketi bilen baglanyşyklydyrlar.*

Torjumak bardanyň taýajyklarynyň daşky segmentleriniň sitoplazmatiki membranasynda döreýän dynçlyk (garaňkylykdaky) potensiallarynyň **natriý tebigatly** bolmaklygy onuň esasy aýratynlygy bolup durýandyr. (**Belli bolşy ýaly, nerw we beýleki öýjüklerde dynçlyk potensialynyň döremekligine kaliý ionlary gatnaşýarlar**). Bu taýajyklaryň membranalarynyň dynçlyk ýagdaýda natriý ionlaryna bolan syzyjylygynyň beýleki ionlara garanda has ýokary bolmaklygy bilen düşündirilýär.

Daşky segmentiň içindäki we daşyndaky ionlaryň özara gatnaşygy edil beýleki öýjüklerde bolşy ýalydyr, ýagny onuň içinde kaliý ionlary köpdür, daşynda bolsa natriý ionlary köpdür.

Şu aýdylanlara baglylykda **elektrohimiki gradiýent boýunça** hemişe taýajygyň daşky segmentiniň içine akýan natriý ionlarynyň akymy döreýär. Şeýlelikde, natriý ionlary daşky segmentiň sitoplazmasynda toplanýarlar, soň bolsa, daşky we içki segmenti birleşdirýän inçejik kanalgaz boýunça içki segmente **passiw görnüşde** diffundirlenýärler. İçki segmentde, mitohondriýalarda sintezlenýän ATF-ň hasabyna ATF-aza fermenti natriýni daşky gurşawa çykarýar (**aktiw transport**).

Ýagtylygyň täsiri astynda rodopsin metarodopsin II – konformasiýa eýe bolanynda sitoplazmatiki membrananyň natriý ionlaryna bolan syzyjylygy üzül-kesel peselýär; beýleki ionlar üçin bolsa syzyjylyk öňküligine galýar. Şeýle ýagdaýlarda membrananyň kaliý ionlaryna bolan syzyjylygynyň ähmiýeti ulalýar, **membranadaky döreýän potensial kaliý tebigatly bolýar we ol depolýarlaşýar** (ýagny öýjügiň içi otrisatel (-), daşy bolsa položitel (+) zarýadlanan **GRP döreýär**).

7.8. GÖRÜŞ ULGAMY. GÖZÜŇ TORJUMAK BARDASYNDA GÖRÜŞ SIGNALYNYŇ GEÇIRILIŞ WE GÜÝÇLENDIRILIŞ MECHANIZMI

7.8.1. FOTORESEPTORLAR

Taýajyklar – bular ýokary derejede ýöriteleşdirilen nerw öýjükleridirler, olaryň ýöriteleşdirilen ösüntgileri (daşky segmentleri) bardyrlar, daşky segmentleriň uçlary (ahyrlary) torjumak bardanyň daşky üstüne gönükdirilendirler. Taýajyklaryň daşky segmentleri (TDS) özlerinde ýüzlerçe we hatda münlerçe **fotoreseptor diskleri** diýilip atlandyrylýan diskleriň toplumyny saklaýarlar. Diskler taýajyklaryň daşky segmentleriniň düýbünde (esasynda) döreýärler.

Taýajyklar, şeýle hem kolbajyklar özlerinde ýagtylyk duýujy pigmentleri – ýagny ýagtylyk şöhlelenmesiniň reseptorlaryny saklaýarlar. Taýajyklarda bir görnüşli pigment bar, kolbajyklarda bolsa üç görnüşli pigment bardyr. Bu dört görnüşli pigmentler ýagtylyk şöhlelenmesiniň aýry – aýry tolkun uzynlyklaryna duýgurdyrlar. Taýajyklarda görüş pigmentiniň (rodopsiniň) köp bölegi fotoreseptor diskleriň membranasynda toplanandyr. Ýagtylyk täsir edende rodopsiniň molekulasy onuň kwantyny (fotonyny) siňdirýär, bu bolsa görüş reseptorynyň himiki üýtgeşmelerine (konformasiýasyna) getirýär.

Taýajyklaryň daşky segmentleriniň (TDS) plazmatiki membranasynda sikliki guanozinmonofosfata (sGMF) bagly bolan ýörite kation kanallary ýerleşýärler (olar Na^+ we Ca^{2+} kationlary üçin niýetlenendirler). Garaňkylykda bu kanallar açyk ýagdaýda bolýarlar we Na^+ hem-de Ca^{2+} kationlary öýjügiň daşky giňişliginden sitozola erkin diffundirlenýärler. Ionlaryň garaňkylykdaky akymy (*oňa başgaça garaňkylyk togy hem diýilýär*) TDS-ň plazmatiki membranasyň depolýarlaşmagyna (ýagny öýjügiň daşynda položitel (+) zarýadyň azalmagyna) getirýär. Garaňkylykda TDS-ň membranasyň potensialy takmynan 50 mW (milliWolta) deňdir, şol bir wagtda oýandyrylmadyk ýagdaýdaky kadaly nerw öýjügiň potensialy adaty 70 mW deňdir. Şeýlelik bilen, garaňky ýagdaýdaky fotoreseptorlar dynçlyk ýagdaýyndaky kadaly nerw öýjüklerine garanda has depolýarlaşandyr.

Depolýarlaşmagy üznüksiz bölünip çykarylýan mediatorlar ýüze çykarýarlar (bu edil adaty reseptorlaryň stimulyasiýasynda bolşy ýaly bolup geçýär).

Rodopsiniň molekulasy tarapyndan ýagtylygyň kwantynyň siňdirilmegi netijesinde we ondan soňky bolup geçýän biohimiki reaksiýalara baglylykda kation ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$) kanallary ýapylýarlar, bu bolsa garaňkylyk togunyň azalmagyna we öýjügiň plazmatiki membranasyň **giperpolýarlaşmagyna** (ýagny öýjügiň daşynda položitel zarýadyň köpelmegine) getirýär. Netijede, ýagtylyk reseptor öýjügiň membranasynda potensialy ýokarlandyrmak (giperpolýarlaşdyrmak) bilen mediatorlaryň bölünip çykarylyşyny azaldýar.

7.8.2. FOTOTRANSDUKSIÝA. GÖRÜŞ KASKADY

Görüş signalynyň kabul ediliş, geçiriliş we güýçlendiriliş proseslerine **fototransduksiýa** diýilýär.

Fotoreseptor pigmenti (rodopsin) tarapyndan ýagtylyk kwantynyň siňdirilmekligi we rodopsiniň fotoişjenleşen ýagdaýa ($\text{R} \rightarrow \text{R}^*$) geçmekligi **fototransduksiýanyň birinji tapgyry** bolup durýandyr. Rodopsin – molekulýar massasy takmynan 40 kDa bolan glikoproteiddir, ol **opsin** belogyndan we onuň bilen kowalent baglaşan hromofordan ybaratdyr. (Rodopsiniň $\lambda_{\text{maks}} = 498 \text{ nm}$). Torjumak bardanyň taýajyklaryndaky we kolbajyklaryndaky **uniwersal hromofor bolup** 11-sis-retinal çykyş edýär. Opsin – integral membrana belogydyr, ol taýajyklaryň daşky segmentleriniň (TDS) ähli beloklarynyň 70%-ni düzýändir. Ol diskleriň membranalarynda we TDS-niň plazmatiki membranasynda lokalizirlenendir. Rodopsin G – beloklar bilen baglanyşykly (çatyrymlaýyn) bolan reseptorlaryň toplumyna degişlidir. (**Guanozindifosfat (GDF) we guanozintrifosfat (GTF) nykleotidlerini baglanyşdyrmaga we dürli görnüşli signallaryň transmembrana geçirilişine gatnaşmaga ukyply bolan beloklara G-beloklar diýilýär**).

Rodopsin tarapyndan ýagtylygyň kwantynyň siňdirilmekligi onuň fotohimiki öwrülmelerine – fotolize getirýär. **11-sis-retinalyň doly trans – görnüşe izomerlesmegi bu prosesin birinji tapgyry bolup durýar.** Retinalyň izomerleşmegi rodopsiniň ýagtylygyň täsiri astyndaky işjeňleşmek hadysasynda ýeke-täk ýagtylyga baglanyşykly proses bolup durýar, fotoliziň ähli beýleki tapgyrlary ýagtylyga baglanyşyksyz bolan hadysalardyr, olar opsiniň molekulasyndaky konformasiýa üýtgeşmeleri bilen baglanyşyklydyr.

Fotonyň siňdirilmekliginden soň retinalyň izomerlesmegine çenli takmynan 200 fs (femtosekunt) geçýär. ($1 \text{ fs} = 10^{-15} \text{ sekunt}$). Şu hadysadan soň 1 millisekunt wagt aralygynda rodopsiniň birnäçe aralyk görnüşleriniň döremekligi bolup geçýär, olaryň her biri özleriniň ýagtylygy siňdirmiş spektri bilen tapawutlanýarlar. Fotoreseptor jogabyň döremekligine getirýän biohimiki reaksiýalar üçin metarodopsin II ($\lambda_{\text{maks}} = 380 \text{ nm}$) olaryň içinden iň möhümi bolup durýandyr.

Metarodopsin – II görüş kaskadynyň beýleki bir belogynyň, ýagny transdusiniň (T) işjeňleşmegine getirýär. Transdusin G – beloklar toplumyna degişlidir, ol alfa, beta we gamma – subbirliklerden (degişlilikde T_α , T_β we T_γ) ybaratdyr. T_β we T_γ – subbirlikler biri-birleri bilen berk baglanyşyklydyrlar we olar bir bütewi $T_{\beta\gamma}$ – subbirlik hökmünde funksionirlenýärler.

Transdusin belogynyň esasy aýratynlygy onuň alfa-subbirliginde (T_α) GDF we GTF nukleotidleri birleşdirýän merkeziň bolmaklygydyr. Garaňkylykda alfa-subbirlik (T_α) GDF-ň molekulasy bilen bir kompleksde bolýar (ýagny T_α - GDF) we transdusiniň dimeri bilen ($T_{\beta\gamma}$) birleşýär. (T_α - GDF) - $T_{\beta\gamma}$ kompleks diskleriň membranasynyň daşky üstünde lokalizirlenýär we onuň metarodopsin II-ä ýokary meňzeşligi (himiki meňzetmesi) bardyr.

Fotoişjeňleşen rodopsiniň (R^*) soňky kompleks [ýagny (T_α - GDF)- $T_{\beta\gamma}$] bilen baglanyşmagy netijesinde täze kompleks döreýär, ýagny R^* -(T_α - GDF)- $T_{\beta\gamma}$ we baglanyşykly (T_α - GDF-ň) GTF-e çalşylmagy amala aşyrylýar. Şuňa baglylykda şeýle kompleks döreýär: R^* -(T_α - GTF)- $T_{\beta\gamma}$. Bu kompleks derrew fotoişjeňleşen rodopsine (R^*); işjeň komplekse (T_α^* - GTF) we transdusin belogynyň dimerine ($T_{\beta\gamma}$) dissosirlenýär.

Kompleksden aýrylan R^* beýleki transdusin molekulalaryny işjeňleşdirmäge ukyplydyr.

Fotooýandyrylan rodopsiniň ýeke-täk bir molekulasy tarapyndan transdusiniň ýüzlerçe we münlerçe molekulasyň işjeňleşdirilmegi görüş signalynyň geçiriliş prosesindäki güýçlendirilişiniň birinji tapgyry bolup durýandyr.

Işjeň kompleks T_α^* - GTF, öz gezeginde, görüş kaskadynyň beýleki bir belogyny, ýagny sikliki guanozinmonofosfatyň (sGMF-ň) fosfodiesteraza (FDE) belogyny işjeňleşdirýär. Taýajyklaryň daşky segmentindäki (TDS) fosfodiesteraza (FDE) periferiki membrana belogy bolup durýandyr, ol diskleriň üstünde lokalizirlenendir. FDE dört subbirliklerden ybaratdyr: FDE_α , FDE_β we iki sany birmeňzeş FDE_γ . FDE_α we FDE_β – subbirlikler sGMF-ň gidroliziniň katalitiki funksiýasyny amala aşyrýarlar; FDE_γ - subbirlikler bolsa fermentiň içki inhibitory bolup durýarlar.

Garaňkylykda FDE işjeň däl ýagdaýda bolýandyr; taýajyklaryň sitoplazmasynda guanilatsiklaza fermentiň işjeňliginiň hasabyna sGMF-ň ýokary derejesi saklanýar. Şuňa baglylykda sGMF-baglanyşykly kation ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$) kanallarynyň köp bölegi TDS-ň plazmatiki membranasynda açyk ýagdaýda bolýarlar we Na^+ hem-de Ca^{2+} kationlary öýjügiň daşyndan sitozola erkin diffundirlenýärler, bu bolsa plazmatiki membrananyň depolýarlaşmagyna getirýär. Sitoplazma girýän Na^+ kationlary içki segmentde ýerleşýän Na^+/K^+ - ATF-aza fermentleri tarapyndan öýjügiň daşyna çykarylýarlar. Öýjügiň içindäki Ca^{2+} kationlaryň konsentrasiýasy TDS-ň plazmatiki membranasynda ýerleşýän $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, K^+ -kationçalşygy tarapyndan hemişelik derejede saklanýar.

Transdusiň belogynyň T_α – subbirligi bilen guanozintrifosfat nukleotidiniň (GTF) kompleksi (ýagny T_α^* - GTF) fosfodiesteraza fermentine (ýagny FDE) täsir edip, ony işjeňleşdirýär [$(T_\alpha^* - \text{GTF}) \rightarrow \text{FDE} \rightarrow \text{FDE}^*$]. İşjeňleşen FDE^* sikliki guanozinmonofosfatyň (sGMF) köp sanly molekulasyň gidrolizleýär (bir işjeň ferment sGMF-ň üç münä çenli molekulasyň gidrolizläp bilýär). **Bu proses görüş signalynyň güýçlendirilişiniň ikinji tapgyry bolup durýar (umumy güýçlendiriliş koeffisiýenti 10^5 - 10^6 -ýetýär).**

Öýjügiň içinde sGMF-ň konsentrasiýasynyň peselmegi sGMF-baglanyşykly kation kanallarynyň ýapylmagyna we plazmatiki membrananyň giperpolýarlaşmagyna getirýär.

Şeýle mehanizm bilen, TDS-de görüş signalynyň kabul edilmegine fotoreseptor pigmenti rodopsin gatnaşýar.

Signalyny plazmatiki membrana geçiriliş prosesine dört belok gatnaşýar, ýagny **rodopsin, transdusin, fosfodiesteraza sGMF we sGMF-baglanyşykly kation kanaly.**

Fotoreseptor öýjügiň ýagtylygynyň täsirine bolan elektrofiziologiki jogaby ýüzlerçe millisekunt aralygynda dowam edýär, ondan soň bolsa ol fosfodiesteraza kaskadynyň öçürilmegine we garaňkylyk ýagdaýynyň dikeldilmegine jogapkär bolan TDS-däki mehanizmleriň bardygyna görä kesilýär.

Häzir biz görüş kaskadynyň öçüriliş mehanizmine seredip geçeliň.

7.8.2. a) Görüş kaskadynyň öçürilişi

Taýajyklaryň sitoplazmasynda sGMF-baglanyşykly kanallar ýapylandan soň $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$, K^+ -kationçalşygynyň işjeňleşmegi netijesinde Ca^{2+} kationlarynyň konsentrasiýasy peselýär. Görüş kaskadynyň öçürilişi yzygider geçýän reaksiýalaryň hasabyna amala aşyrylýar we ol göniden-göni öýjügiň içinde Ca^{2+} kationlarynyň konsentrasiýasynyň peselmegi bilen baglanyşyklydyr.

Fotooýandyrylan rodopsiniň (R^*) fosforilirlenmegi [$\text{R}^* \rightarrow (\text{R}^*-\text{F})$] bu hadysada bolup geçýän ilkinji reaksiýa bolup durýandyr, bu ýagdaý pigmentiň transdusin belogyny (T) işjeňleşdirmek ukyplygyny ep-esli peseldýär. Taýajyklaryň daşky segmentinde (TDS-de) rodopsiniň fosforilirlenmegine rodopsinkinaza belogy (RK) jogap berýär. RK belogy diňe işjeňleşen rodopsini (R^*) fosforilirleýär we garaňkylykda rodopsin bilen (R) täsir edişmeýär. Rodopsinkinazanyň (RK) işjeňligi Ca^{2+} - baglanyşykly görnüşdäki **Ca^{2+} - baglanyşdyryjy belogyň – rekoweriniň** kömegi bilen sazlanýar. Ca^{2+} - kationlarynyň konsentrasiýasynyň peselmegine görä rekowerin belogy rodopsinkinazany işjeňleşdirýär (RK^*), ýagny $\text{RK} \rightarrow \text{RK}^*$. İşjeňleşen RK^* fotooýandyrylan rodopsini (R^*) fosforilirleýär, ýagny $\text{RK}^* \rightarrow \text{R}^* \rightarrow (\text{R}^*-\text{F})$.

Fosforilirlenen rodopsiniň (R^*-F) beýleki bir beloga – **arrestine (AR)** ýokary meňzeşligi (himiki meňzetmesi) bardyr. Fosforilirlenen rodopsiniň (R^*-F) arrestin (AR) bilen baglanyşmagy (R^*-F)-ň transdusin (T) belogyny işjeňledirmek ukyplygynyň doly ýitmegine getirýär.

Şeýlelik bilen, rodopsiniň (R^*) fosforilirlenmegi (R^*-F) we arrestin belogy bilen täsir edişmegi onuň (ýagny rodopsiniň) inaktiwirlenmegine getirýär.

Şol bir wagtda, ýagtylygynyň täsiri astynda taýajyklaryň daşky segmentiniň (TDS) sitoplazmasynda kalsiý kationlarynyň derejesiniň peselmekligi guanilatsiklaza (GS) fermentiniň işjeňleşmegine getirýär, ýagny $\text{GS} \rightarrow (\text{GS}^*)$. Bu ferment sikliki guanozinmonofosfatyň (sGMF) garaňkylykdaky derejesiniň dikeldilmekligine jogapkärdir.

Kalsiý kationlarynyň (Ca^{2+}) fotoreseptorlardaky guanilatsiklaza fermentine (GS) bolan täsiri konsentrasiýany sazlamaklygy amala aşyran GS-i işjeňleşdiriji belok (GSIB) bilen baglanyşyklydyr. Bu ýerde iki ýagdaýyň bolmaklygy mümkindir, (ýagny “a” we “b” ýagdaýlar).

a) GSIB kalsiý kationlary (Ca^{2+}) barka fermentiň (ýagny GS-ň) işjeňligine täsir edenok (**GS-fermenti passiw ýagdaýda**).

b) GSIB kalsiý kationlarynyň konsentrasiýasy belli bir derejeden peselse, onda ol fermenti (ýagny GS-i) işjeňleşdirýär (**GS-fermenti işjeň ýagdaýda**).

Şeýle hem kalsiý kationlarynyň konsentrasiýasynyň peselmegi sGMF-baglanyşykly kation kanallarynyň işjeňligine täsir edýär, bu täsir Ca^{2+} - baglanyşdyryjy belok-**kalmmodulin** bilen baglanyşyklydyr.

Şeýlelik bilen, görüş signalynyň öçüriliş prosesi üç sany Ca^{2+} -baglanyşdyryjy beloklar (**rekowerin, GSIB we kalmmodulin**) bilen amala aşyrylýandyr.

7.8.2. b) Fotoreseptoryň garaňkylyk ýagdaýa gaýdyp gelmekligi

Kalsiý kationlarynyň (Ca^{2+}) konsentrasiýasynyň peselmekligi we ondan soňky sGMF-nukleotidleriniň konsentrasiýasynyň ýokarlanmaklygy netijesinde taýajyklaryň daşky segmentiniň sitoplazmasynda sGMF-baglanyşykly kation kanallary açylýarlar we garaňkylyk togy dikeldilýär – bu bolsa fotoreseptoryň (plazmatiki membrananyň) depolýarlaşmagyna getirýär.

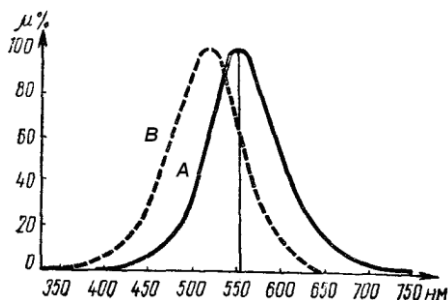
Şundan soň fosfataza 2A fermenti (F2A) fosforilirlenen rodopsini ($\text{R}^*\text{-F}$) defosforilirlýär. Defosforilirlenen rodopsin doly trans-retinala we opsine dargaýar. Iň soňunda, opsin özüne 11-sis-retinaly kowalent baglanyşyk bilen birleşdirýär, **netijede rodopsiniň regenerasiýasy amala aşyrylýar**. Şunluk bilen fotoreseptor öýjüň ilkibasdaýy garaňkylyk ýagdaýyna gaýdyp gelýär.

7.8.3. REŇKLI GÖRÜŞ

Gowşak ýagtylykda adamyň gözüniň duýujylygynyň maksimumy takmynan 500nm (nanometr) tolkun uzynlykda ýerleşýär, bu bolsa taýajyklarda saklanýan **rodopsiniň siňdirijilik ukyplygynyň maksimumyna** gabat gelýändir. (7.28-nji suratdaky “B”-baglanyşyk). Ýiti ýagtylykda gozuň duýujylygynyň maksimumy 550nm tolkun uzynlygyna süýşýändir, **ol kolbajyklardaky pigmentiň maksimum siňdirijilik spektrine** gabat gelýändir (7.28-nji suratdaky “A”-baglanyşyk).

Üç dürli kysymly kolbajyklar bardyr, olaryň hersine öz aýratyn görüş pigmentleri degişlidirler, şoňa görä-de kolbajyklaryň pigmentine **ýodopsinler** diýilýär. Ýodopsinleriň maksimum siňdirijilik ukyplygy 445, 535 we 570 nm tolkun uzynlygyna degişlidirler.

Käbir genetiki kesellerde beloklaryň-ýodopsinleriň sintezi bozulýar, netijede reňkli görüşiň üpjün edilmegine gatnaşýan ol ýa-da başga bir pigmenti döremeyär. Şuňa baglylykda adamlar



7.28-nji surat.

reňkleri saýgaryp bilijilik ukyplygyny ýitirýärler. Şeýle kesele **daltonizm** diýilýär.

7.9. ELEKTRON MIKROSKOPY. ELEKTRON OPTIKASY BARADA DÜŞÜNJE

Bölejikleriň tolkun häsiýetlerini diňe bir difraksion struktura derňewi üçin ulanman, eýsem-de bolsa jisimleriň ulaldylan şekilini almak üçin hem ulanmak bolýandyr.

Optiki mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çägi esasan adamyň gözi tarapyndan kabul edilýän ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň çäk bahasy bilen kesgitlenýändir. Elektron mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çägi şeýle deňlik bilen kesgitlenýär:

$$Z = 0,5h / [\sqrt{2emU \cdot n \sin \theta}] \quad (59)$$

bu ýerde: h – Plankyň hemişeligi (kwantyň täsiri);

$h = 6,6261 \cdot 10^{-34}$ J.s.

e – elektronyň zarýady ($e = 1,6 \cdot 10^{-19}$ K ℓ);

m – elektronyň massasy ($m = 9,11 \cdot 10^{-31}$ kg);

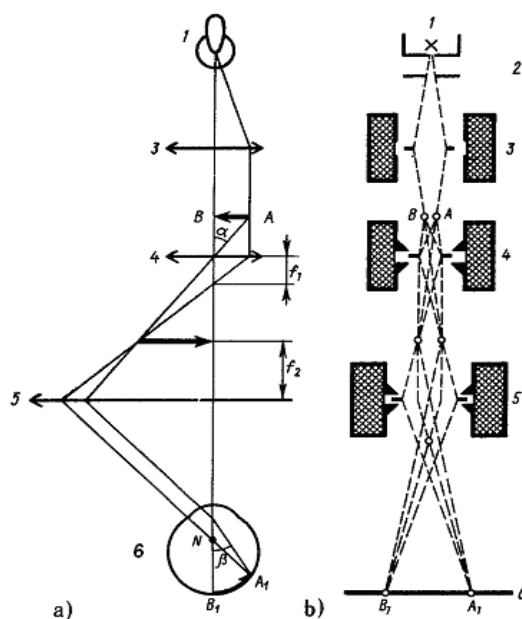
U – elektrik meýdanynyň güýçlendiriji naprýaženiýesi;

n – gurşawyň döwürme görkezijisi;

$\sin \theta$ – obýektiwiň san aperturasy.

Elektron mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çäginin (Z) güýçlendiriji naprýaženiýä baglydygy bu deňlikden gelip çykýandyr. Şuňa baglylykda, güýçlendiriji naprýaženiýäni pes ululykda alyp, elektron mikroskopyň çözüjilik ukyplylygynyň optiki mikroskopyň çözüjilik ukyplylygyna garanda has ýokary bolmaklygyny gazanmak bolýar.

Elektron mikroskop we onuň aýry-aýry elementleri özleriniň ýerine ýetirýän funksiýalary boýunça optiki mikroskopyňka meňzeşdirler. Şoňa görä-de elektron mikroskopyň gurluşyny we onuň işleýiş prinsipini düşündirmeklik üçin şeýle meňzetmeden peýdalanalyň. 7.29-njy suratda optiki (sur. “a”) we elektron (sur. “b”) mikroskoplaryň shemalary görkezilendirler.



7.29-njy surat.

Optiki mikroskopda AB jisim baradaky informasiýa ýagtylygyň (fotonyň) üsti bilen geçirilýändir. Ýagtylygyň çeşmesi bolup adaty gyzdyrylýan lampa (1) hyzmat edýändir. Jisim bilen özara täsirden soň (siňdirilmek, dargamak, difraksiýa) fotonlaryň akymy özgerdilýär we olar özünde jisim baradaky informasiýany saklaýarlar. Fotonlaryň akymy optiki gurluşlaryň, esasan linzalaryň, ýagny kondensoryň (3), obýektiwiň (4) we okulýaryň (5) kömegi bilen formirlenýärlär. A_1B_1 şekil göz (6) (ýa-da fotoplastinka, fotolýuminessirlenýän ekran we ş.m.) bilen registrirlenýär.

Elektron mikroskopda AB jisim baradaky informasiýa elektronyň üsti bilen geçirilýändir. Elektronlaryň çeşmesi bolup adaty gyzdyrylýan katod (1) hyzmat edýändir. Elektronlaryň güýçlendirilmegi we elektron desseleriniň döredilmegi elektron puşkasy (2) diýilip atlandyrylýan fokusirleýji elektrod we anod ulgamy tarapyndan amala aşyrylýar. Jisim bilen özara täsirden (esasan dargamakdan) soň elektronlaryň akymy özgerdilýär we olar özlerinde jisim baradaky informasiýany saklaýarlar. Elektronlaryň akymynyň formirlenmegi elektrik we magnit meýdanlarynyň täsiri astynda bolup geçýär. Elektrik meýdany elektrodalaryň we kondensatorlaryň ulgamy tarapyndan, magnit meýdany bolsa tokly tegekler ulgamy tarapyndan döredilýär. **Bu ulgamlara optiki linzalaryň analogiýasy boýunça elektron linzalar diýilýär.** Olar ýagtylyk akymyny formirleýärler. (3-kondensor ulgamy; 4-elektron ulgamy, ol obýektiv bolup hyzmat edýär, 5-proeksiýa ulgamy, ol okulýar bolup hyzmat edýär). A_1B_1 şekil elektronlara duýgur bolan fotoplastinkada ýa-da lýuminessirlenýän ekranda (6) registrirlenýär.

Elektron mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çäginе baha bermek üçin 59-njy deňlige 100 kW bolan güýçlendiriji naprýaženiýäniň bahasyny we ortaça 10^{-2} rad.deň bolan apertur burçunyň bahasyny goýalyň. (Elektron mikroskopiýada takmynan şeýle ululyga deň

bolan apertur burçuny ulanýarlar). Onda alarys $z=0,1\text{nm}$. Amaly taýdan oňat elektron mikroskopyň çözüjilik çägi ortaça 10^{-10} m ýetýändir. Bu optiki mikroskoplaryň çözüjilik çäğine garanda ýüzlerçe esse ýokarydyr. 100 kW-dan uly bolan güýçlendiriji naprýaženiýäniň ulanylmagy elektron mikroskopyň çözüjilik ukyplygyny ýokarlandyrýar. Ýöne bu birnäçe çylşyrymlylyklar bilen baglanyşyklydyr, hususan-da uly tizlige eýe bolan elektronlar barlanýan obýektiň zeperlenmegine (bozulmagyna) getirýär.

Elektron mikroskopyň artykmaç taraplary hökmünde şu aşakdakylary görkezmek bolar:

a – aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) ukyplygynyň uly bolmaklygy, şeýle bolansoň iri molekulalara gözegçilik etmek mümkinçiligi döreýär.

b – gerek bolan ýagdaýda güýçlendiriji naprýaženiýäniň we diýmek aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çäginin üýtgedilmek mümkinçiliginiň bolmaklygy;

ç – magnit we elektrik meýdanlarynyň kömegi bilen elektronlaryň akymynyň oňnositel amatly dolandyrylmagy.

Elektron mikroskopyň ulanylyşynyň käbir aýratynlyklaryny görkezeliň. Onuň elektronlar akymynyň geçýän böleklerinde wakuum döredilmelidir, eger şeýle edilmese elektronlaryň howanyň (gazyň) molekulalary bilen çaknyşmaklygy alynýan şekiliň ýoýulmagyna getirýär.

Elektron mikroskopa edilýän şeýle talap barlag geçiriliş ýagdaýyny çylşyrymlaşdyrýar, enjamyň ölçeginiň uly we bahasynyň gymmat bolmaklygyna getirýär. Bakuum biologiki obýektleriň natiw häsiýetlerini ýoýýar, käbir ýagdaýlarda bolsa olary deformirleýär ýa-da dargadýar.

Elektron mikroskopda seretmeklik üçin örän ýuka galyňlykly madda bölekleri amatlydyr, çünki elektronlar madda tarapyndan güýçli derejede siňdirilýärler we dargadylýarlar. Şoňa görä-da käbir ýagdaýlarda barlanýan obýektiň üstki suduryňy örän ýuka plastmassa gatlagynda almaklyk maksada laýykdyr. Şeýle prosedura *replikasiýa* diýilýär, üstüň plastmassaly nusgasyna bolsa *replika* diýilýär.

Häzirki zaman elektron mikroskopyň mysaly hökmünde EHM-180 LM kysymly mikroskopy görkezmek bolar. Ol maksimal 600000 esse ulaldyşy we $3 \cdot 10^{-10}$ m deň bolan kepillendirilen çözüjilik ukyplygyny berýär (Köpçülikleýin habar beriş serişdeleriniň maglumatlaryna görä, Gollandiýanyň “FEI” kompaniýasy tarapyndan “Titan 80-300” diýilip atlandyrylýan elektron mikroskop örän ýokary takyklygy bilen tapawutlanýar we jisimleri 2-million esse ulaltmagy başaryar).

Fotonlarda we şeýle hem elektronlarda (we beýleki bölejiklerde) tolkun we korpuskulýar häsiýetleriň bolmaklygy optikanyň käbir kanunlaryny zarýadlanan bölejikleriň elektrik we magnit meýdanlaryndaky hereketini ýazyp beýan etmeklige geçirmäge mümkinçilik berýär.

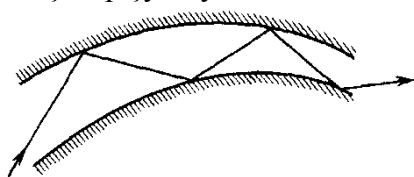
7.10. SÜYÜM OPTIKASY WE ONUŇ MEDISINA ENJAMLARYNDA ULANYLYŞY

Linzalar, aýnalar, prizmalar, tekizparallel tekizçeler we ş.m. ýagtylyk desselerini döredýän optiki ulgamlaryň adaty elementleri bolup durýandyrlar. XX-asyryň 50-nji ýyllaryndan başlap bu elementlere süýüm-optiki detallar goşuldyrlar. Süýüm-optiki detallar ýagtylyk geçirijiler diýilip atlandyrylýan kanallar boýunça ýagtylyk geçirmäge ukyplydyrlar.

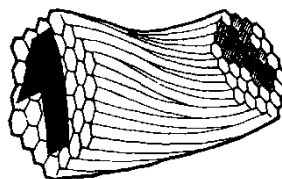
Süýüm optikasy diýilip ýagtylygyň we şekilleriň ýagtylykgeçirijiler boýunça geçirilişine seredilýän optikanyň bölümüne aýdylýar. Käwagtlar süýüm-optiki detallaryň we enjamlaryň özlelerini hem edil şeýle adalga bilen atlandyryrlar.

Süýüm optikasy ýagtylygyň doly içki serpikmek hadysasyna esaslanýandyr. Ýagtylyk, pes döwürme görkezijili madda bilen gurşalan dury süýümiň içine düşüp, ençeme gezek serpikýär we bu süýümiň ugry boýunça ýaýraýar (7.30-njy surat). Ýagtylygyň doly serpikmek hadysasynda serpikmek koeffisiýentiniň juda ýokary bolýandygyna görä (ortaça ol 0,9999 ululyga deňdir), energiýanyň ýitgisi esasan süýümiň içinde ýagtylygyň madda tarapyndan siňdirilmegi bilen baglanyşyklydyr. Mysal üçin, spektriň görünýän böleginde 1 m uzynlykly süýümde energiýanyň 30-70%-i ýitýär.

Uly ýagtylyk akymalaryny geçirmeklik üçin we ýagtylykgeçiriji ulgamyň çeyeligini saklamaklyk üçin aýry-aýry süýümleri desseler (kenepler – ýagtylykgeçirijiler) görnüşinde birleşdirip çykaryrlar.



7.30-njy surat.



7.31-nji surat.

7.31-nji suratda shematiki görnüşde ýagtylykgeçiriji görkezilendir. Süýümleriň haotiki ýerleşmeklerine görä 1 sifriň şekili ýoýulan görnüşdedir.

Lukmançylykda ýagtylykgeçirijileri esasan iki meseläni çözmeklik üçin ulanýarlar:

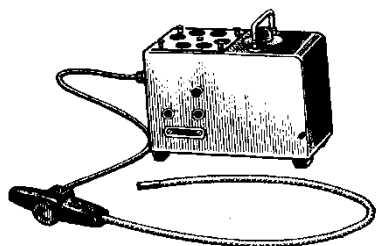
- a) ýagtylyk energiýasyny geçirmeklik üçin, esasan, içki boşluklary ýagtylyk bilen şöhlelendirmek üçin;
- b) şekili geçirmeklik üçin.

Birinji ýagdaý üçin ýagtylykgeçirijide aýry-aýry süýümleriň biri-birine görä ýerleşmekleriniň hiç hili ähmiýeti ýokdyr. **Ikinji ýagdaýda** süýümleriň ýagtylykgeçirijiniň girişindäki we çykyşyndaky ýerleşmek ýagdaýlarynyň birmeňzeş bolmaklygynyň uly ähmiýeti bardyr.

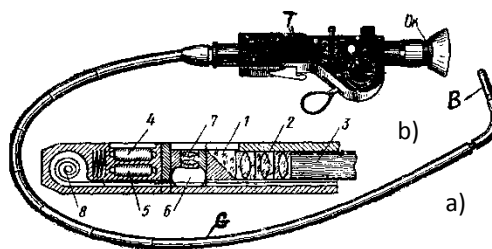
Süýüm optikasynyň lukmançylyk enjamlarynyň kämilleşdirilmegine bolan täsiri hökmünde endoskopy mysal getirmek bolar. **Endoskop- bu içki boşluklara (ýogyn içege, aşgazan we ş.m.) seretmeklik üçin ulanylýan ýörite enjamdyr.** Ol iki esasy bölekden durýar. Olara ýagtylyk çeşmesi we seredilýän bölek degişlidir. Süýüm optikasyny ulanmak bilen şu aşakdaky çäreleri amala aşyrmak bolýar. **Birinjiden**, ýagtylyk geçiriji boýunça ýagtylygy organyň içine geçirmeklik. Şunlukda endoskopyň öňki çykarylýan konstruksiýalary bilen deňeşdirilende ýagtylyk çeşmesiniň göniden-göni organyň içine ýerleşdirilmek zerurlygynyň aýrylmagy. Bu bolsa, öz gezeginde, içki organy gyzmaklyga getirýän faktoryň öz-özünden aýrylýandygyny aňladýandyr. **Ikinjiden**, süýüm-optiki ulgamlaryň çeyeligi, öňki ulanylýan gaty endoskoplara garanda, içki organlaryň köp bölegine seretmek mümkinçiligini döredýär.

7.32-nji suratda süýüm gastroskopy görkezilendir. Onuň kömegi bilen diňe bir aşgazana wizual seretmek mümkinçiligi däl-de, eýsemde bolsa, anyklaýyş maksatlar üçin zerur bolan suratlary almak mümkinçiligi hem bardyr. Hut lukmançylykda ýüze çykan şeýle talaplar umuman süýüm optikasynyň ösmekligini stimullirlediler.

7.32-nji surat.



Süýüm optikaly gastroskop başjagazdan (B), çeýe ýagtylyk geçirijiden (G) we tutawaçdan (T) ybaratdyr (7.33-nji surat “a”).



7.33-nji surat.

Başjagazda giriş prizması (1), obýektiw (2) we seredilýän meýdany ýagtylandyrmak üçin ulanylýan lampočka ýerleşendirler (7.33-nji surat “b”). Obýektiwe (2) çeýe ýagtylyk geçirijiniň başlangyç bölegi (3) ýanaşýandyr. Bulardan başga-da, başjagazda lampa – ýagtylandyryjy (5),

obýektivli (7) fotokamera (6) we mikroplýonka surat almaklyk üçin ulanylýan kasseta (8) bardyr. Çeýe ýagtylyk geçiriji (G) umumy gorag gabygy bar bolan birnäçe onlarça müň örän inçe aýna sapajyklaryndan ybaratdyr.

Tutawaçda (T) okulýar başjagaz (Ok) ýerleşýändir, oňa ýagtylyk geçiriji (3) we enjamyň işi bilen baglanyşykly bolan beýleki mehaniki detallar birleşýärler.

Ýagtylyk geçirijileriň kömegi bilen lazer şöhlesiniň içki organlara geçirilmegi we şeýlelikde onuň bilen täsir edilip çiş prosesleriniň bejerilişi amala aşyrylýar.

VIII. MEDISINADAKY FOTOBIOLOGIKI HADYSALAR. FOTOMEDISINA

8.1. FOTOBIOLOGIKI HADYSALAR

Ýer üçin Günün şöhleleri ýeke-täk energiýa çeşmesi bolup durýar. Tomus bulutsyz günde her 10 km² meýdana düşýän Günün energiýasynyň mukdary 7-9 million kWt ýetýär. Bu käbir elektrik stansiýalaryň kuwwatlygynyň hem köpdür. Türkmenistanyň ekologiki we klimat şertleri üçin bu san has hem uludyr.

Günün şöhleleriniň adam bedenine täsiri hem dürlüdür. Sebäbi Günün şöhleleri tolkun uzynlyklary we energiýalary boýunça birnäçe bölege bölünýärler:

1. Gamma-şöhleler ($\lambda < 10^{-2}$ nm);
2. Rentgen şöhleleri (10^{-2} nm $< \lambda < 10$ nm);
3. Ultramelewşe şöhleler (10 nm $< \lambda < 390$ nm);
4. Görünýän ýagtylyk (390 nm $< \lambda < 760$ nm);
5. Infragyzyň şöhleler (760 nm $< \lambda < 0,3$ sm);
6. Radiotolkun şöhleler ($\lambda > 0,3$ sm).

Biologiki wajyp molekulalaryň ýagtylygy siňdirmeginden başlap, onuň bilen baglanyşykly organizm derejesinde bolup geçýän kesgitli fiziologiki reaksiýalara fotobiologiki hadysalar diýilýär. Şeýle hadysalara mysallar:

- **fotosintez** – Gün şöhleleriniň energiýasynyň hasabyna organiki molekulalaryň sintezlenmegi;

- **phototaksis** – organizmleriň ýagtylykdan gaçyp ýa-da ýagtylyga tarap hereketi;

- **phototropizm** – ýagtylykdan gaçyp ýa-da ýagtylyga tarap ösümlikleriň ýapraklarynyň ýa-da baldaklarynyň öwürilmegi;

- **görmek** – gözüň torjumak bardasynda ýa-da şoňa meňzeş fotoreseptorlarda ýagtylygyň energiýasynyň nerw impulsynyň energiýasyna öwürilmegi;

- **ultra melewşe (UM) şöhleleriň täsiri** – mikroorganizmlere bakterisid ýa-da bakteriostatiki täsir, mutagen täsir, kanserogen täsir, prowitaminlerden D witaminiň emele gelmegi, derä eritem täsir, deriniň ýanmagy, bejeriş täsirler.

Fotohimiýanyň we fotobiologiýanyň esasy kanunyna laýyklykda, diňe siňdirilýän ýagtylyk täsir edýändir. Häzirki wagtda **deriniň rak keseli**niň döremegine Günün ýagtylygynyň sebäp bolýandygy subut edilendir. **Katarakt**anyň emele gelmeginde fotohimiki reaksiýalaryň orny uludyr. **Alpinizm** bilen meşgullanýan adamlarda Günün ultramelewşe şöhleleriniň köp mukdarda siňdirilýändigini sebäpli deriniň we gözüň ýanmagy ýüze çykýar. **Psoriasis** bilen kesellän näsaglarda gýş aýlary kesel güýçlenýär, tomus aýlary bolsa, psoriasis düwmeleri azalýarlar ýa-da ýitip gidýärler. Ultramelewşe şöhleleriniň ýetmezçiligi **D-awitaminoza** getirýär. Görünýän ýagtylygyň hem fiziologiki hadysalara täsiri uludyr. Güýziň düşmekligi bilen käbir adamlaryň organizmi oňa bütin durky bilen garşylyk görkezýär, olaryň bedenine tomus aýlaryndaky ýaly güneşli günleriň bolmaklygy ýarayar. Şoňa görä-de güýz günleri köp adamlarda **“güýz gaýgysy”** diýilip atlandyrylýan alamatlar döreýär we **psihiki depressiýalar** ýüze çykýar. Tejribeleriň kömegi bilen şeýle depressiýalary adamlara görünýän ýagtylyk bilen täsir edip bejerip bolýandygy subut edildi. Gyzyl ýagtylygyň ýaralaryň bitmegini tizleşdirýändigini anyklanandyr.

8.1.1. FOTOBIOLOGIKI HADYSALARYŇ GEÇIŞ TAPGYRLARY

Her bir fotobiologiki hadysa molekulanyň ýagtylygy siňdirmeginden başlap, bütin organizm derejesinde bolup geçýän reaksiýalarda birnäçe tapgyrlardan durýar. Fotobiologiki hadysalaryň dürli-dürlidigine garamazdan, olaryň geçişini şertleýin ýedi tapgyra bölmek bolar. Ol tapgyrlara şu aşakdakylar degişlidir:

1. Biologiki molekulanyň ýagtylygyň kwantyny (energiýasyny) siňdirmegi.

2. Molekulanyň içinde siňdirilen energiýanyň öwrülišik hadysalary (elektronyň bir orbitaldan beýlekisine geçmegi, siňdirilen energiýanyň başga görnüşlere öwürlmegi, onuň molekuladan şöhlelenmegi we ş.m.).

3. Molekulanyň siňdiren energiýasyny goňşy molekulalara geçirmegi (energiýanyň migrasiýasy).

4. Ilkinji fotohimiki reaksiýalar (oýandyrylan molekulanyň beýleki molekulalar bilen birleşmegi).

5. Durnukly fotohimiki önümleriň emele gelmegi bilen gutaryan garaňkylykda bolup geçýän reaksiýalar (fotohimiki reaksiýalarda emele gelen biologiki işjeň molekulalaryň ýagtylyk bolmanynda (garaňkyda) hem başga reaksiýalara gatnaşmagy).

6. Fotoönümleriň gatnaşmagyndaky biohimiki reaksiýalar.

7. Ýagtylygyň täsirine organizmiň umumy fiziologiki jogaby.

Öň belläp geçişimiz ýaly, eger molekula ýagtylygyň kwantyny (energiýasyny) siňdirýän bolsa, onda ol oýandyrylan ýagdaýa geçýär. Oýandyrylan we oýandyrylmadyk molekulalar birnäçe häsiýetleri boýunça özara tapawutlanýarlar:

1. Ikili baglanyşykly organiki molekulalar oýandyrylanda olaryň giňişlikdäki gurluşy üýtgeýär.

2. Oýandyrylanda molekulalaryň kislota-esas häsiýetleri üýtgeýär.

3. Oýandyrylan molekulanyň donor – akseptor (elektrony berip ýa-da alyp bilijilik) häsiýetleri üýtgeýär. Ýagtylygyň kwantyny siňdiren elektron molekulany taşlap gidýär. Sonuň üçin oýandyrylan molekula giden elektrona derek başga elektrony alyp akseptorlyk ukybyny ulaldýar.

Bioobjektleriň ýagtylyga bolan duýujylygyny ulaldýan birleşmelere *fotosensibilizatorlar* diýilýär.

Fotohimiki reaksiýalaryň ilkinji tapgyrlary. Elektron-oýandyrylan molekulalar artykmaç energiýany almak bilen aňsatlyk bilen himiki reaksiýalara gatnaşýarlar. Şeýle ýagdaýda **singlet** we **triplet** derejelerdäki elektronlaryň reaksiýa gatnaşyp bilijilik ukyby tapawutlydyr. **Birinjiden**, singlet ýagdaýda molekulanyň energiýasy köpdür. **Ikinjiden** singlet ýagdaýda molekula 10^{-8} – 10^{-9} s, triplet ýagdaýda bolsa, 10^{-5} – 10^{-4} s ýaşap bilýär, ýagny mün esse köp ýaşayar. Şeýlelikde, triplet ýagdaýda energiýa az, ýöne goňşy molekula bilen çaknyşyp onuň bilen reaksiýa girmek mümkinçiligi uludyr. Mysal üçin, aromatik aminokislotalar bolan tirozin we triptofan ultramelewşe şöhleleriniň täsiri astynda özläriniň bir elektronyny goňşy molekulalara berip bilýärler. Ol elektron bolsa, birnäçe wagtlap suwuň molekulalarynyň gurşawynda bolup bilýär:



bu ýerde, AH- esasy derejedäki aminokilotanyň molekulasy, 1AH – singlet oýandyrylan ýagdaýdaky molekula, $\cdot AH^+$ - radikal-kation, $(e^-)_s$ – solwatirlenen (daşy gurşalyp alynan) elektron. Bu reaksiýa aminokislotanyň singlet oýandyrylan ýagdaýyndan amala aşyrylýar. Beýleki ýol boýunça reaksiýalar fotosensibilizatorlaryň gatnaşmagynda amala aşyrylýarlar. Rak keselleriniň fotodinamiki terapiýasynda sensibilizatorlar hökmünde gematoporfirinleriň önümleri ulanylýar:



Sensibilizatoryň molekulasy (A) fotony siňdirýär, ilki bilen singlet oýandyrylan ýagdaýa (1A) geçýär, soňra bolsa, triplet ýagdaýa (3A) geçýär, ol soňra kislorodyň molekulasy (3O_2) täsir edip, ony kislorodyň adaty triplet ýagdaýyndan oýandyrylan singlet ýagdaýyna (1O_2) geçirýär. Singlet kislorod (1O_2) örän işjeň himiki birleşmedir. Ol beloklar, lipidler we nuklein kislotalar bilen reaksiýa girip, öýjügiň gurluşyny bozýar. Käbir halatlarda bu ýagdaýyň peýdaly taraplary hem bardyr. Mysal üçin, rak öýjükleri adaty öýjüklere garanda özlärinde sensibilizatorlary köp mukdarda toplaýarlar we olar şöhlelendirilende şol öýjükler hem dargaýarlar. Bu barada soň IX-babyň 4-nji bölümünde aýratyn seredip geçeris.

Fotobiologiýanyň esasy taglymatlarynyň biri ýagtylygyň (fotonyň) täsir edýän molekulalary barada düşüňjedir. Bu taglymata laýyklykda, fotobiologiki hadysalaryň netijeliligi biologiki gurluşlaryň nähili ýagtylyk bilen şöhlendirilýändigini, näçe we nähili kwantlar siňdirilýändigini bilen kesgitlenilmän, eýsem ýagtylyk bilen täsir edişýän molekulalaryň näçe kwanty siňdirýänliginden ybarat bolup durýandyr.

8.1.2. UM-ŞÖHLELERINIŇ NUKLEIN KISLOTALARYNA BOLAN TÄSIRI

UM-şöhle bakteriýalaryň işjeňligini peseldýär. Bakteriýalaryň ölmek spektri nuklein kislotalarynyň UM-şöhläni siňdirmek spektrine gabat gelýär. Şeýle hem ýagtylygyň esasynda mutasiýa geçmek spektri hem nuklein kislotalarynyň siňdirmek spektrine gabat gelýär. Diýmek, UM-şöhleleriniň organizmleri öldürmek we mutagen täsiri nuklein kislotalarynyň üsti bilen amala aşyrylýar.

200-315 nm aralykdaky şöhleleri nuklein kislotalaryň nukleotidleriniň purin (adenin we guanin) hem-de pirimidin (sitozin, timin, urasil) azot esaslary siňdirýärler.

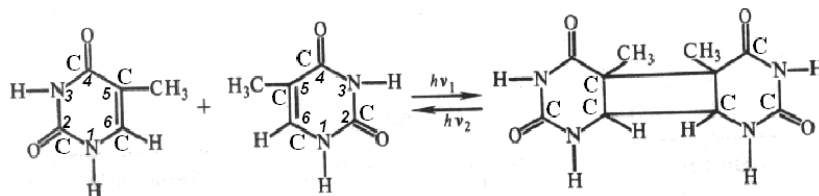
UM-şöhleleri nuklein kislotalaryna täsir edeninde üç görnüşli fotoreaksiýalar (a, b, ç) bolup geçýär:

a) **DNK-da timiniň fotohimiki dimerizasiýasy.** Bu hadysanyň bakteriýalaryň we wiruslaryň işjeňligini peseltmekde uly ähmiýeti bardyr.

b) **Fotogidratasiýa.**

ç) **DNK – belok çatymalarynyň emele gelmegi.**

a) **DNK-da timiniň fotohimiki dimerizasiýasy.** Bu reaksiýada timindäki 5-nji we 6-njy uglerod atomlarynyň ikili baglanyşyklarynyň gatnaşmagynda iki molekulanyň kowalent fotobirleşmesi bolup geçýär (8.1-nji surat). Şöhlelenmegiň esasynda DNK-nyň molekulasyň zeperlenmeginde timiniň dimerleşmeginiň ähmiýeti örän uludyr. Mysal üçin, içege täýajyklarynyň UM-şöhleleriniň täsiri astynda işjeňligini peseltmeginiň 50%-i olardaky DNK-nyň timinleriniň dimerleşmegi bilen düşündirilýär. Galan 50% bolsa, beýleky fotohimiki hadysalaryň paýyna düşýär. Ýöne bu hadysa hemme ýagdaýlarda bolmaýar. Köplenç dimerler DNK-nyň molekulasyň şol bir zynjyryndaky goňşy timinleriň birleşmegi bilen döreýärler. Käwagtlar bolsa dimerler komplementar spirallardaky biri-biriniň gabadyndaky ýerleşen timinleriň molekulalarynyň birleşmegi esasynda emele gelýärler. Ýöne iki spirally DNK-nyň molekulasyň komplementarlygy sebäpli timiniň iki molekulasy hiç wagt biri-biriniň gabadynda ýerleşmeýärler. Şonuň üçin timiniň dimerleşmegi üçin onuň iki molekulasyň spirallarda ýakyn bolmagy hökmandyr. Bu hadysa diňe **ýerli denaturasiýada** bolup biler, ýagny iki spiralyň hem timin ýerleşýän yerinden üzülip, timinleriň biri-biri bilen birleşýän ýagdaýynda. Fotohimiki dimerleşme emele gelen denaturasiýany berkleşdirýär, ýagny DNK-nyň gurluşynda durnukly şikes döreýär.



8.1-nji surat.

Emele gelen dimerleri ýönekeý gyzdymak ýa-da himiki serişdeleriň kömegi bilen üzüp, monomerleşdirip bolmaýar. Ýöne dimerleri monomerleşdirýän ýörite fotohimiki reaksiýalar bar. Mysal üçin, eger DNK-nyň molekulasy 280 nm tolkun uzynlykly şöhleler bilen şöhlendirilse, onda dimerleşmek hadysalary has köp ýüze çykýar, eger ol 240 nm tolkunlar bilen şöhlendirilse, onda monomerleşmek hadysalary köp bolup geçýär (8.1-nji surat).

b) Fotogidratasiya. UM-şöhleleriň täsiri astynda sitozeniň we urasiliň molekulary suw bilen birleşip, 6-oksi-5-gidroönümleri emele getirýär. Bu önümleri täzedan şöhlelendirmek bilen başlangyç pirimidin esaslaryny alyp bolmaýar. Ýöne fotogidratlar ýylylyga durnuksyz bolýarlar we temperaturanyň ýokarlanmagy bilen degidratasiya hadysalary başlaýarlar.

c) DNK – belok çatymalarynyň emele gelmegi. Sitozeniň ýa-da urasiliň käbir aminokislotalar bilen garyndysyna ultramelewşe şöhleler bilen täsir etdirilende şol aminokislotalar pirimidin esaslary bilen kowalent birleşýärler. Käbir şertlerde DNK – DNK çatymalarynyň emele gelmegi hem mümkindir.

Öýjüklerde nuklein kislotalarynyň fotoşikeslerinden başga-da fotoreaktiwasiya hadysalary hem bolup geçýärler. Görünýän ýagtylygyň täsiri astynda UM-şöhleleriniň DNK-nyň molekulasynda emele getiren şikesleri bejerilýär. **Bakteriýalaryň fotoreaktiwleşmek spektri** 380 nm-de maksimumy bolmak bilen 300-500 nm aralygynda ýerleşýär. **Adamynyň limfositleriniň ýa-da fibroblastlarynyň fotoreaktiwleşmek spektri** 400 nm-de maksimumy bolmak bilen 300-600 nm aralygynda ýerleşýär. Fotoreaktiwleşmek UM-şöhlelenmäniň täsiri astynda nuklein kislotalarynda emele gelen şikesleri bejermäge jogap berýär: bu reaksiýada pirimidin dimerleriniň monomerleşmesi bolup geçýär.

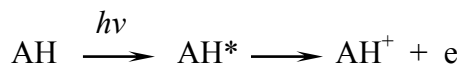
8.1.3. UM-ŞÖHLELERINIŇ BELOKLARA WE AMINOKISLOTALARA BOLAN TÄSIRI

Peptid baglanyşyklarynyň siňdirmek spektri 180-190 nm aralykda bolup, tolkun uzynlygy 240 nm-den uly bolan şöhleleri olar asla siňdirmeyärler. Aromatiki aminokislotalar bolan **triptofanyň, tiroziniň we fenilalaniniň molekularynyň** siňdirmek ukyplylygy ýokary bolup, olaryň maksimumy, deňşilikde, 285 nm, 280 nm we 258 nm deňdir. Beloklaryň işjeňliginiň peselmek spektri olaryň siňdirmek spektrine gabat gelýär. Tolkun uzynlygy 285 nm bolan Günüň ultramelwşe şöhleleriniň täsiri astynda beloklaryň fotoşikeslenmegine iň köp goşant goşýan aminokislotalar triptofan we tirozindir.

Käbir aminokislotalaryň galyndylarynyň fermentiň ýa-da belogyň işjeň merkezinden has daşda ýerleşýänligi üçin, olaryň fotodargamagy umumy fermentiň ýa-da belogyň konformasiýasynyň üýtgemegine we işjeňliginiň peselmegine getirmeyärler. Ýöne haýsy hem bolsa bir aminokislota galyndysy tarapyndan siňdirilýän ýagtylygyň energiýasy beýleki aminokislota galyndylaryna geçirilip, umumy fermentiň ýa-da belogyň häsiýetleriniň üýtgemegi mümkindir. Käwagtlar fermentde bar bolan **birnäçe meňzeş aminokislota galyndylarynyň diňe biriniň dargamagy bütün fermentiň işjeňligini peseldýär.** Mysal üçin, pepsinde bar bolan 4 sany triptofan galyndysynyň biriniň dargamagy ýa-da şol fermentde bar bolan 6 sany disulfid baglanyşygyň ýekejesiniň üzülmegi bu fermenti hatardan çykarýar.

Şeýlelikde, beloklaryň UM-şöhleleriň täsiri astynda işjeňligini peseltmekde kükürtsaklaýjy we aromatiki (esasan, triptofan we tirozin) aminokislota galyndylarynyň ähmiýeti uludyr. Günüň UM-şöhlelerini esasan triptofan we tirozin siňdirýärler. Has gysga tolkunlaryň siňdirilmeginde sisteiniň hem ähmiýeti örän uludyr.

UM-şöhleleriň täsiri astynda triptofan, tirozin we fenilalanin aminokislotalarynyň fotoionlaşmagy bolup geçýär we elektron bilen kation-radikal emele gelýär:



Emele gelen önümler täzedan gyzyly ýagtylyk bilen şöhlelendirilende öwrülişikli reaksiya bolup geçýär we elektron bilen kation-radikal birleşip, öňki aminokislota emele getirýärler.

Kislorodyň gatnaşmagynda aromatiki aminokislotalaryň fotookislenmesi bolup geçýär, şeýle hem olaryň peroksid önümleri emele gelýär.

8.1.4. UM-ŞÖHLELERINIŇ BIOLOGIKI MEMBRANALARA BOLAN TÄSIRI

Biologiki membranalar UM-şöhleleriň tolkunlary bilen şöhlelendirilende olaryň dürli maddalara, aýratyn hem ionlara syzyjylygy artýar. Şeýle ýagdaýda, öýjükden kaliýniň ionlarynyň çykmagy, natriýniň ionlarynyň bolsa oňa girmegi sebäpli, **öýjügiň osmos basyşynyň denagramlygy bozulýar**. Bu bolsa, mysal üçin, **eritrositleriň çışmegine we olaryň lizisine** (dargamagyna) getirýär.

Membranada UM-şöhlelerine iň duýgur maddalar doýgun däl ýag kislotalary we olaryň galyndylaryndan emele gelen fosfolipidlerdir. Bu ýag kislotalaryň molekulasynda 1-6 sany durnuksyz, gowşak ikili baglanyşyk bolýar. Olaryň maksimum siňdirmek spektri 220 nm deňdir. Doýgun däl ýag kislotalarynyň aýratynlygy olaryň howadaky kislorod bilen aňsat okislenmegidir. Kislorodyň atomy ýag kislotasynyň molekulasyndaky ikili baglanyşygyň ýanyndaky uglerod atomyna birleşýär. Bu hadysa zynjyr reaksiýasy bolmak bilen onuň netijesinde peroksid önümleri we erkin radikallar emele gelýär. Zynjyr reaksiýasynyň dowamynda erkin radikallar başga molekulalar bilen birleşip, ýitip gitmeýärler, olar täze radikallara öwrülýärler.

Biologiki membranalar UM-şöhleler bilen şöhlelendirilende bir wagtyň özünde birnäçe hadysa bolup geçýär: aromatiki aminokislotalaryň we kükürtsaklaýjy toparlaryň fotolizi netijesinde beloklaryň işjeňliginiň peselmegi, lipidleriň peroksid okislenmegi we ş.m.

8.2. FOTOMEDISINA

Medisinanyň optiki şöhlelenmäniň patologiki täsirini ýa-da bejeriş maksatlary üçin ulanylyşyny öwrenýän bölümine fotomedisina diýilýär. Optiki şöhlelenmäniň iň netijeli diapazony UM-şöhlelerdir. Bu şöhleleriň esasy täsir edýän ýerleri adamynyň derisidir, sebäbi olar deriden aşadaky organlara geçip bilmeýär.

Fotomedisinadaky fotobiologiki hadysalar iki bölege bölünýärler: ***fotozäherlenme we fotoallergiýa.***

Fotozäherlenme hadysalar organizmdäki ekzogen we endogen sensibilizatorlar optiki şöhleleri siňdirenden soň döreýärler. Fotozäherleýji maddalara psoralenler, porfirinler, tetrasiklinler, fenotiazinler, sulfanilamidler, hlorpromazinler we başgalar degişlidirler. Fotozäherlenme hadysalarynyň klinikasy eritema, edema, deriniň pigmentleşmegi görnüşlerinde duş gelýär. Fotozäherleýji birleşmeleriň köpüsi (psoralenler, porfirinler) ýagtylyk bilen bilelikde psoriazy we beýleki deri kesellerini bejermekde giňden ulanylýar.

Fotoallergiýa hadysalarynyň fotozäherlenmeden iki sany tapawudy bar:

1. Fotozäherlenme bedene ýagtylyk bir gezek täsir edeninde döreýär, fotoallergiýa bolsa birnäçe gezek şöhlelenmeden soň ýüze çykýar.

2. Fotozäherlenme hadysalary ähli adamlarda bolýar, fotoallergenlere duýujylyk bolsa diňe käbir adamlarda bolýar.

Fotozäherlenme we fotoallergiýa hadysalary diňe deride bolup geçýärler. Adamynyň derisi epidermisden (0,07–0,12 mm) we dermadan (1–2 mm) durýar. Epidermisde UM-şöhleleriň köp bölegi siňdirilýärler.

Eritema.

Eritema - deriniň gan damarlarynyň giňemegi (giperemiýa) netijesinde deriniň gyzarmagydyr.

UM-spektriniň dürli bölekleriniň emele getirýän eritemasynyň häsiýetleri biri-birinden tapawutlanýarlar. Şonuň üçin ähli UM-spektri üç bölege bölýärler: UMA ($\lambda=320-400$ nm), UMB ($\lambda=280-320$ nm), UMÇ ($\lambda < 280$ nm).

Organizmdäki fotohimiki reaksiýalaryň yzysüre dermadaky gan damarlaryny giňeldip (wazodilýatasiýa) eritemany emele getirýän garaňkydaky biohimiki reaksiýalar başlaýar.

Deride ***doýgun däl ýag kislotalaryny prostaglandinlere*** öwürýän fermentleriň ulgamy bar. UM-şöhlelendirilenden köp wagt geçmänkä epidermisde prostaglandinleriň köp mukdary emele gelýär. Olaryň bolsa dermadaky gan damarlaryny ginetmekde gönüden-göni täsiri bar.

Şöhlelenmäniň ilkinji sagatlarynda lipidleriň peroksidleşmek hadysalary başlaýarlar, soňra bolsa lipidleriň okislenmeginden emele gelen önümler prostaglandinleriň sintezini işjeňleşdirýärler. Soňraky tapgyrlara (24 sagatdan soň) prostaglandinler gatnaşmaýarlar, muny şol döwürde derä goýberilen antiprostaglandin serişdeleriniň netijesiniň ýoklugy subut edýar.

UMÇ we UMA eritemalaryň garaňkylyk döwürleri UMB eritemadan tapawutlanýarlar. **UMÇ eritemany antioksidantlar ingibirleýärler, UMA eritemany bolsa olar ingibirlemeýärler.**

UMB we UMÇ eritemalary üçin **fotoreaktivleşmek hadysasy häsiýetlidir.** Eger UMB we UMÇ şöhlelenmeden soň deri görünýän ýagtylyk bilen ýagtylandyrylsa, onda eritema döremek peselýär. Bu hadysa wagtynda DNK-daky timin dimerlerini fotoreaktivleşdirýän fermentleriň görünýän ýagtylygyň täsiri astynda işjeňleşmegi bolup geçýär.

Deriniň pigmentleşmegi – gorag fotobiologiki hadysa bolup, ol derini birnäçe fotozeperlerden goraýan melanin pigmentiniň emele gelmegidir.

Birinjiden, bu pigment fotonlary siňdirmek bilen täsir edýän şöhlelenmäniň güýjüni peseldýär.

Ikinjiden, melanin deri şöhlelendirilende emele gelýän erkin radikallary tutup saklaýjydyr.

Üçünjiden, melanin lipidleriň peroksid okislenmek hadysasyny katalizirleýän demiriň ionlaryny özüne birleşdirýär.

Şeýlelikde, melanin pigmentleri lipidleriň peroksid okislenmek zynjyr reaksiýalaryny we beýleki erkin radikal reaksiýalary ingibirleýär.

Pigmentleşmegiň iki usuly bar. Olaryň esasasy **göni däl pigmentleşmekdir.** Bu usul beden şöhlelendirilenden 2–3 gije-gündizden soň eritemanyň yzyndan başlaýar. Ikinji usuly – **göni pigmentleşmek.** Bu usul şöhle täsir edip durka ýüze çykýar we 1-2 sagatdan soň maksimuma ýetip, şöhlelenmekden 3-24 sagat geçensoň peselýär.

Ýaz aýlary suwa düşüleninde gýş paslynda deriniň melanin pigmentleriniň azalandygyny hasaba almak zerurdyr. Şol sebäpli birnäçe gün Günüň şöhleleriniň az mukdary alynmalydyr. Ultramelewşe şöhleler, aýratyn hem UMB, diňe bir deriniň owadan pigmentleşmegini emele getirmän, eýsem ol käbir peýdasyz hadysalary hem ýüze çykarýandyr. Hemişe Günüň şöhleleriniň täsiri astynda bolýan adamlaryň derisi wagtyndan ön garraýar, aýratyn hem boýuny, elleri we döşi. Köp wagtylyk şöhlelenmäniň netijesinde deriniň rak keseli ýüze çykýar. Has kanserogen şöhle UMB-şöhlelerdir.

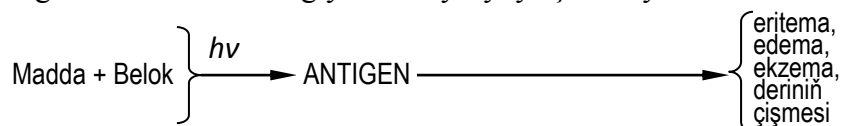
Fotokanserogeneez.

UM-şöhleleri adamlarda deriniň rak keselini emele getirmäge ukyplydyr. Çişler köplenç bedeniň açık yerlerinde, ýagny ýüzüň derisinde we elniň daş tarapynda emele gelýärler. Daşarda, açık howada işleýän adamlarda rak keseli ýygy-ýygýdan düş gelýär. Negrlerde rak keseli akýagyzlara garanda seýrek düş gelýär. Megerem, ***negrlerde bir wagtyň özünde optiki perde we antioksidant bolup melanin gorag funksiyasyny yerine ýetirýändir.*** Fotokanserogeneez – adatça köp wagt aralygynda täsir edýän şöhlelenmäniň netijesidir. Geçirilen barlaglara görä, ***deriniň ra-gy tolkun uzynlygy 320 nm kiçi bolan UM-şöhleler bilen şöhlelendirilende*** ýüze çykýar. Galybersede, bu keseliň düş gelmek ýygylgy geografiki giňişligiň peselmegi bilen ulalýar. Ekwatora ýakýnda Günüň UM serhedi kiçi tolkunlara tarap süýşýär (285nm). Täsir edýän şöhleliň tolkun uzynlygynyň üýtgemegi bilen keseliň häsiýeti hem üýtgeýär. Çişniň görnüşi şöhleliň geçýän çuňlugyna baglydyr. Monohromatiki 254 nm UM-şöhleler epidermal karsinomany, 280 nm UM-şöhleler bolsa sarkomany döredýär.

Rak keselinde deriniň öýjügindeki DNK-nyň şikeslenmegi uly rol oýnaýar. Başga hadysalardan lipidleriň fotookislenmegi ünsi özüne çekýär. Köp wagtlap UM-şöhleler bilen şöhlelendirilende holesteriniň okislenme önümi bolan kanserogen madda - 5α, 6α-epoksidiň deridäki mukdary artýar.

Fotoallergiýa.

Bu hadysa deridäki himiki birleşmeler ýagtylygy ikinji gezek siňdireninden soň döreýär. **Fotoallergiýany köplenç hlorpromazin, sulfanilamidler, prometazin we beýleki derman serişdeleri ýüze çykarýarlar.** Bu serişdeler antibakterial, kömelekler garsy, trankwilizatorlar hökmünde peýdalanylýar. **Olar özlerinde aromatik halkalary we galogenleri saklaýarlar we ýagtylygyň UMA bölegini siňdirýärler.** Fotoallergenleriň beloklara fotohimiki birleşýändigini subut edilendir. Megerem, şol reaksiýa hem organizmde ýagtylyga immunitetiň emele gelmegine getirýändir. Fotohimiki emele gelen allergen makrofaglar we T-limfositler bilen täsir edişýärler. Ýagtylyk derman maddalara ilkinji gezek täsir edeninde deride T-limfositleriň allergiki sensibilizirlenmegi bolup geçýär. Gaýtadan iň bärkisi gowşak ýagtylyk bilen täsir etdirilende hem T-limfositler allergenleri tanaýarlar, şol sebäbe görä deride jogap reaksiýasy bolup geçýär (urtikariýa ýa-da ekzema), köplenç ýagdaýda anafilaktiki şok ýa-da astma ýüze çykýar. Şeýlelikde, organizmdäki fotoallergiýa reaksiýasyny aşakdaky shema bilen aňladyp bolýar:



8.3. FOTOHIMIÝATERAPIÝA

Ýagtylygyň organizmlere peýdaly täsir edýändigini hem bellidir. UM-şöhleler infuzoriýalaryň we amýobalaryň tebigy ölümüne azaldýar we bölünmek (köpelmek) hadysalaryny çaltlandyrýar. Eritemany döredýän suberitema (130 kJ/m^2) dozadaky UM-şöhleler adamlarda käbir keselleriň önüni almakda we olary bejermekde peýdalanylýar, şeýle hem onuň ýürek-gan damar, endokrin, neýrogumoral, dem alyş ulgamlaryna peýdaly täsiri bardyr. Käbir öýjüklerde fotonyň energiýasyny peýdaly ulanmak üçin ýörite fotoreseptorlar bar. Şeýle reseptorlar bolup fotoreaktiwleşdirýän fermentler çykyş edýärler. 300-500 nm tolkun uzynlykly ýagtylygyň täsiri astynda şol fermentler pirimidin dimerlerini fotomonomerleşdirýärler. UMB ($\lambda=280-320 \text{ nm}$) şöhleler *psoriaz deri keselini* bejermekde ulanylýar. Psoriazy bejermekde belli bolan usullaryň iň netijelisi PUMA-terapiýadyr (*psoralenler bilen UMA-şöhleleri bilelikde peýdalanmak*). PUMA-terapiýa witiigo deri keselini bejermekde hem iň netijeli usuldur. *Witiigo deriniň pigmentleşmeginiň gyrađeň dälđigi* bilen baglanyşykly kosmetiki ýetmezçilikdir. PUMA-terapiýa şeýle hem saç düşme kesellerini bejermekde-de ulanylýar. PUMA-terapiýa bejergisi aşakdaky ýaly amala aşyrylýar. Näsagyň derisine furokumariniň ergini çalynýar (ýerli terapiýa) ýa-da näsag furokumariniň tabletkasyny içýär (ulgamlaýyn terapiýa). Serişdeler epidermise we derma siňeninden soň derini UMA-şöhleler bilen şöhlelendirýärler. Şöhlelenmäniň bir gezekki dozasy eritemany emele getirmeli dälđir. Bejeriş netijesini almak üçin bu amaly 15-30 gezek geçirmeli, bejergi 1-2 aýa çekýär, özem wagtyň geçmegi bilen deriniň pigmentleşmegi bolup geçýär. Emele gelen melanin pigmenti PUMA-nyň täsirini peseldýär, şonuň üçin bejerginiň soňunda UMA şöhlelendirmäniň güýjüni ulaltmaly.

Sensibilizatorlary peýdalanman fototerapiýa usuly täze doglan çagalarda sarygetirmäni bejermekde ulanylýar. Çagalarda sarygetirme – organizmde bilirubiniň mukdarynyň birden köpelmegidir. Ol ähli adamlarda gemoglobinden emele gelip, bagryň üsti bilen gandan çykarylýar. Uly adamlarda bilirubiniň gandaky saklanýan kadaly mukdary 1 mg\% , täze doglan çagalarda bolsa bu görkeziji 20 mg\%-e ýetýär. (Täze doglan çagalaryň ilkinji günlerinde bagyr entek gandan bilirubini çykarmagy üpjün edip ýetişip bileneok). Bilirubin suwda erbet ereýär, ýöne ýagda gowy ereýär. Şol sebäpli ol beýniniň öýjüklerinde köp mukdarda ýygnanýar. Bu bolsa merkezi nerw ulgamynda öwrülişiksiz üýtgeşmeleriň bolmagyna getirýär. Bilirubin özüne görüňýän ýagtylygyň gök bölegini köp siňdirýär. Ol örän ýeňil *fotoizomerleşýär*, onuň izomerleşen önümlerinde fotozäherlenme häsiýetleri ýitýär. ***Eger täze doglan çagalar gök ýagtylyk bilen şöhlelendirilse, onda bilirubin gan damarlarynda fotoizomerleşýär we suwda ereýän zyýansyz önümleri emele getirýär.*** Şeýle usul bilen giperbilirubinemiýäniň patologiki täsiri fotohimiki bejerilýär.

Porfirinleriň fotozäherlenme häsiýetleri rak kesellerini bejermekde ginden ulanylýar. Öwrenilen birleşmeleriň biri gematoporfirindir. Bu birleşmeler diňe rak çişlerine ýygnanyp, sagdyn dokumalarda olar düýpden bolmaýarlar. Şol sebäpli gematoporfirini özünde ýygnan çişleriň ýagtylygy duýujylygy ulalýar. Şeýle çişler görüňýän ýagtylyk bilen şöhlelendirilende çişleriň destruksiýasy bolup geçýär. Başda bu usul deridäki çişleri bejermekde ulanylýardy. Häzirki wagtda ýörite çeýe ýagtylygy geçirijileriň kömegi bilen öýkendäki, garyndaky, gyzyldökdäki çişler hem bejerilýärler.

Organizme goýberilen porfirinleriň köplenç çişlerde ýygnanýanlygy sebäpli, olaryň goýy gyzyldökdäki reňkleri boýunça deridäki we beýleki organlardaky rak çişmeleriniň sanyny we ölçeglerini anyklamak bolýar. (Ragyň fotodinamiki terapiýasy barada aýratynlykda IX-babyň 4-nji bölümünde seredip geçäris).

8.3.1. PUMA-TERAPIYA

Gadymy döwürlerden bäri deri keselerini bejermek üçin psoralenler – ýagny biologiki dokumalaryň uzyn tolkunly ultramelewşe şöhlelerine duýgurlygyny ýokarlandyran ösümliklerden alynýan fotosensibilizatorlar peýdalanylýar. Häzirki wagtda fotohimiýaterapiýanyň iki görnüşi bellidir. Olaryň birinde porfirinler bilen bilelikde görünýän ýagtylyk howply çişleri ýok etmek üçin (fotodinamiki terapiý) ulanylýar. Beýlekisinde bolsa, psoralenler bilen bilelikde uzyn tolkunly ultramelewşe şöhleler (PUMA-terapiýa) deri keselerini bejermekde peýdalanylýar.

Fotodinamiki terapiýa medisinyň täze ugurlarynyň biri bolup, XX asyryň başlarynda döredi we häzirki wagtda amaly medisina da giňden ulanylýar. PUMA-terapiýa dünýäde öňden we giňden peýdalanylýar.

Witiligo (leýkodermiýa) diýen deri keseli bar. Bu keselde deriniň käbir böleklerinde melanin pigmentlerini öndürýän öýjükler – melanositler ýitýärler we dargaýarlar. Deriniň bu bölekleri hiç wagt Günüň şöhleleriniň täsiri astynda pigmentleşmeýärler we ol ak reňkde bolup, garaýagyzlarda has hem aýyl-saýyl bolýar. Bu kesel beýlekiler üçin howply däl, ýöne onuň şeýledigi bilinmänsoň Günorta ýurtlaryň köpüsünde bu kesel ýokanç kesel hökmünde kabul edilip, onuň bilen kesellän adamlar ýaşayan ýerlerinden kowulypdyrlar.

Takmynan 4 müň ýyl mundan ozal, Müsürde we Hindistanda witiligony bejermek üçin **Ammi majus L.** we **Psoralea corylifolia L.** diýilip atlandyrylýan ösümlikleriň tohumlarynyň gaýnatgylary peýdalanylýp başlanylýdyr. Gaýnatgylar deriniň üstüne çalynypdyr ýa-da içilipdir we şondan soň bu kesele uçran adamlar bu ýurtlarda güneşli günleri köp bolan Günüň ýagty şöhleleri bilen şöhlelendirilipdir. Bejergi geçirilenden soň käbir wagtyň geçmegi bilen deride pigmentleriň emele gelmegine getiripdir. Ýagtylyksyz gaýnatgylar täsir etmändir, sebäbi olar diňe sensibilizator bolmak bilen öz-özlerinden işjeňleşip bilmeýärler. Şol döwürlerde gaýnatgydaky fotosensibilizatoryň we ýagtylygyň mukdaryny ölçäp bolmandygy sebäpli olaryň az bolan ýagdaýlarynda bejerginiň netijesi pes bolupdyr, tersine, köp bolan ýagdaýlarynda bolsa, deriniň ýanmasy ýüze çykypdyr. Şeýlelikde, gadymy müsürliler we hindiler fotohimiýaterapiýany ulanypdyrlar.

Bu meselede uly üstünlikler müsürli dermatolog El Moftiniň barlaglarynyň netijesinde gazanyldy. 1947-nji ýylda ol derman ösümlikleriň täsiri olardaky 8-metoksipsoraleniň barlygy bilen düşündirilýär diýen netijä geldi. Bu birleşme ultramelewşe şöhleleriniň “A” bölegini siňdirýär we fotosensibilizator bolup durýar. Arassalanan 8-metoksipsoralen derman serişdelerini döretmäge mümkinçilik berdi, şöhlelendirmek üçin bolsa, Günüň şöhleleri ulanylýar.

1974-nji ýylda “Sylvania” (ABŞ) firmasynyň inženerleri bilen Garward uniwersitetiniň dermatologlarynyň bilelikdäki barlaglarynyň netijesi bu meselede öňe gitmäge uly itergi berdi. Olaryň tagallasy bilen 8-metoksipsoraleni ultramelewşe şöhleleriniň “A” bölegi bilen şöhlelendirýän ýagtylyk çeşmesi döredildi. Bu bolsa, näsagy gerek mukdardaky şöhleler bilen şöhlelendirip, olary eritema ýa-da deriniň ýanmagy ýaly zaýanly täsirlerden goramaga mümkinçilik berdi. Şol wagtdan PUMA-terapiýanyň häzirki zaman ösüşi başlady. PUMA-terapiýa bolan gyzyklanma onuň köp ýaşan keselleriň biri bolan **psoriaz** keselini bejermekde hem ulanylýp boljakdygy bilinenden soň has hem artdy. Psoriaz keseli bilen bütin planetanyň 3-5% adamlary keselleýär. Psoriazda epidermisiň bazal öýjükleriniň köpelmegi tizleşýär we netijede deriniň galňamagy – psoriaz düwmeleriň emele gelmegi başlanýar. Deriniň zeperlenen ýerleri gijeýär. Deride bu keseliň ýaýramagy näsagyň işe ukyplylygyny peseldýär.

Psoralenler iýmit üçin ulanylýan köp ösümliklerde bardyr. Olara mysal edip petruşkany, pasternagy, seldereýi, apelsini, greýpfruty, injiri we beýlekileri getirip bolar.

PUMA-terapiýanyň netijeliliginiň ýokarydygy onuň molekulýar derejede psoralenleriň fotohimiki reaksiýalaryny öwrenmäge gyzyklanma dörettdi. Ýagtylygyň täsiri astynda psoralenleriň biologiki molekulalary iki usul bilen üýtgedýändigini anyklanyldy: doýgun däl organiki molekulalara kisloroda bagly däl fotobirleşme hadysalarynyň (1) we okislenme fotoreaksiýalarynyň netijesinde (2) üýtgedilmegi.

Psoralenleriň nuklein kislotalaryna birleşmegi. Psoralenler suwda erbet ereýärler. Şol sebäpli olar öýjükde köpülenç gidrofob gurluşlar bilen birleşýärler. Psoralenleriň tekiz molekulalary üç sany halkany saklaýar we gurluşy boýunça DNK-nyň komplementar esaslaryny ýada salýar. Psoralenleriň giňişlikdäki şeýle guralmagy olaryň DNK-nyň iki spiraly bilen birleşmegine mümkinçilik döredýär. Psoralenleriň molekulalary DNK-nyň iki jübüt esaslarynyň arasynda ýerleşýärler. Emele gelen birleşme DNK we öýjük üçin howply däl. Bu hadysa öwrülişikli bolup, psoralenleriň konsentrasiýasynyň peselmegi bilen olar DNK-nyň düzüminden çykýarlar. 1965-nji ýylda italiýaly alymlar L.Mýusaýo, J.Rodigýero we F.Dallakua dagylar DNK-psoralen birleşmesi ultramelewşe “A” şöhleler bilen şöhlelendirilende ýagdaýyň doly üýtgeýändigini görkezdiler. Tolkun uzynlygy 320 nm-den uly bolan şöhleleri psoralenlerden tapawutlylykda DNK-nyň molekulalary siňdirmeyärler. Psoralenler, tersine, ýagtylygyň kwantyny siňdirip, oýandyrylan ýagdaýa geçýärler. Psoraleniň oýandyrylan molekulasy DNK-nyň timinine birleşýär. Şeýle birleşmeler bolsa, öýjük üçin esasy mutagen hadysalary dörediji birleşmelerdir.

Psoralenleriň fotookislenme reaksiýalary. Psoralenleriň biologiki molekulalary okislemekde fotosensibilizator ukybynyň bardygyny 60-njy ýyllaryň başynda amerikaly D. Ýudis we hindistanly R.Ali we S.Agarwala dagylar tarapyndan kateholaminleriň biri bolan dioksifenilalaniniň mysalynda tapyldy. Bu kateholamin örän durnuksyz bolup, köp täsirleriň esasynda ol aňsatlyk bilen okislenýär. 1975-nji ýylda W.Poppe we L.Grosswaýner psoralenleriň fotosensibilizirleýän fotookislenmesini we lizosim fermentiniň işjeňliginiň peselmegini görkezdiler. Bu reaksiýany amala aşyrmak üçin köp mukdarda şöhleler gerek bolýar. 1980-nji ýylda A.Potapenko antioksidant bolan E witamini we ionol PUMA-eritemany togtadyp, psoralenleriň DNK-nyň molekulasynda fotobirleşmegine täsir etmeýändigini anyklady. Bu hadysalar psoralenleriň fotookislenmek reaksiýalarynyň adamynyň derisinde wajyp orunlaryň birini eýeleýändigini görkezdi. Edilen çaklamalara görä, psoralenleriň DNK-nyň molekulasynda fotobirleşmegi bejerginiň esasy, fotookislenme reaksiýalary bolsa, zyýanly täsirleri – eritemany döredýärler.

60-njy ýyllaryň başynda hindi alymlary R.Ali we S.Agarwala psoralenleriň köp ýaşayan fotoönümlerini tapdylar. Olar gowy netijeleri almaga mümkinçilik beren sada we owadan tejribeleri geçirdiler. Alymlar kartofel şiresini ýasadylar. Bu şire özünde melanin pigmentlerini sintezleýän **tirozinaza fermentini** saklaýandygy üçin çalt garalýar. Şire şöhlelendirilmedik psoralen goşulanynda hem garaldy. Eger psoralenli ergin Günüň şöhleleriniň aşagynda saklanylsa, ol fotookislenýär. Şondan soň ol kartofel şiresine goşulsa, şire garalmaýar. Awtorlar ilki bilen fotookislendirilen psoralen tirozinazany ingibirleýär diýen netijä geldiler. Psoralenler fotookislenenlerinde olardan biologiki işjeň önümler emele gelýärler. Bu önümler dürli himiki reaksiýalary we biologiki hadysalary amala aşyrmaga ukyplydyrlar. Olar köp biologiki wajyp molekulalary dargydýarlar, eritrositleriň we fagositleriň membranalarynyň geçirijiligini ulaldýarlar. Psoralenleriň fotookislenen önümleri eritrositlere goşulanynda olaryň gemolizi ýüze çykýar.

IX. ATOMLAR WE MOLEKULALAR TARAPYNDAN ENERGIÝANYŇ ŞÖHLELENDIRILIŞI WE SIŇDIRILIŞI. LYUMINESSENSIÝA

9.1. ATOMLAR WE MOLEKULALAR TARAPYNDAN ENERGIÝANYŇ ŞÖHLELENDIRILIŞINIŇ WE SIŇDIRILIŞINIŇ AÝRATYNLYKLARY

Atomlar we molekulalar stasionar energetiki ýagdaýlarda saklanyp bilýärler. *Şeýle ýagdaýda olar energiýany şöhlendirýän we siňdirýän dälidirler.* Olaryň energetiki ýagdaýlary shematiki taýdan derejeler görnüşinde görkezilýärler.

Elmydama bir umumy düzgün ýerine ýetirilýär, ýagny oýandyrylmadyk atomyň elektronlary iň pes energetiki derejeli ýagdaýda ýerleşýärler. 9.1-nji suratda belli bir masştab saklanylman çylşyrymly atomyň energetiki derejeleriniň ýagdaýlary görkezilendir. Iň pes energetiki dereje esasy ýagdaýa degişlidir.

5f	14	Atomlar we molekulalar kwant geçişlerde bir stasionar ýagdaýdan başga bir ýagdaýa, bir energetiki derejeden başga bir energetiki derejä geçýärler.
7s	2	
6p	6	
5d	10	
4f	14	
6s	2	Atomlaryň ýagdaýlarynyň üýtgemekligi elektronlaryň energetiki geçişleri bilen baglanyşyklydyr.
5p	6	Molekulalarda energiýanyň üýtgemekligi elektronlaryň geçiş bilen bilelikde atomlaryň yrgyldyly here-
4d	10	9.1-nji surat. ketiniň üýtgemekligi netijesinde hem bolup
5s	2	bilýär.
4p	6	Has ýokary energetiki derejeden pes derejä geçende atom ýa-da
3d	10	molekula energiýasyny berýär ; olar pes energetiki derejeden ýokary
4s	2	derejä geçende bolsa energiýany siňdirýär .
3p	6	<i>Atom esasy ýagdaýda diňe energiýany siňdirmäge ukyplydyr.</i>
3s	2	Iki görnüşli kwant geçişlerini tapawutlandyryrlar:
2p	6	
2s	2	
1s	2	

- 1) atom ýa-da molekula tarapyndan elektromagnit energiýasynyň şöhlelenmesiz ýa-da siňdirilmesiz geçiş. Şeýle şöhlelenmesiz geçiş atomyň ýa-da molekulanyň beýleki bölejikler bilen özara täsirinde bolup geçýär;
- 2) fotonyň şöhlelenmesi ýa-da siňdirilmesi bilen bolup geçýän geçiş. Bu ýagdaýda fotonyň energiýasy atomyň ýa-da molekulanyň başlangyç we ahyrky stasionar ýagdaýlarynyň energiýalarynyň aratapawudyna deňdir.

Atomlar ýa-da molekulalar tarapyndan şöhlendirilýän energiýa şöhlelenmek spektrini; olar tarapyndan siňdirilýän energiýa bolsa siňdirilmek spektrini döredýärler.

Kwant geçişleri islendik energetiki derejeler arasynda amala aşyrylýan dälidirler.

Amala aşyryljak ýa-da amala aşyrylmajak (ýa-da pes ähtimallykly) geçişleriň bolmak mümkinçilikleriniň şertlerini kesgitleýän *seçip alyş (ýa-da gadagan ediş) düzgüniň* bardygyny anyklanandyr.

Köp atomlaryň we molekulalaryň energetiki derejeleri ýeterlik derejede çylşyrymlydyrlar. Derejeleriň strukturalary we diýmek, olaryň spektrleri diňe bir aýratynlykda alnan atomyň ýa-da molekulanyň gurluşyna bagly bolman, ondan başga-da daşky sebäplerde baglydyrlar. (Mysal üçin, atoma ýa-da molekula daşky elektrik we magnit meýdanlarynyň täsir etmegi olaryň energetiki derejeleriň bölünmegine getirýärler).

Spektrler dürli informasiýanyň çeşmeleri bolup durýarlar.

Ilkinji nobatda spektriň görnüşi boýunça atomy ýa-da molekulany idendifisirläp bolýar, bu bolsa ***hil spektral derňewiň*** meselesi bolup durýandyr. Spektral çyzyklaryň intensiwligi boýunça energiýany şöhlendirýän (siňdirýän) atomlaryň mukdary kesgitlenýär – bu usul ***mukdar spektral derňewine*** degişlidir. Şunlukda maddadaky 10^{-5} - 10^{-6} % konsentrasiýaly garyndylary aňsatlyk bilen tapawutlandyrmak bolýar, bu bolsa birnäçe milligram massaly nusgalaryň düzümini kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

Spektrler boýunça atomyň ýa-da molekulanyň gurluşyna; olaryň energetiki derejeleriniň strukturasyna; uly molekulalaryň aýratyn bölekleriniň hereketine we ş.m. baha bermek bolýar.

Atoma ýa-da molekula täsir edýän meýdanlara baglylykda spektrleriň nähili üýtgeýändigini bilmek bilen, bölejikleriň özara ýerleşişleri barada informasiýany almak bolýar, çünki ýanaşyk atomlaryň (molekulalaryň) täsirleri elektromagnit meýdanynyň üsti bilen amala aşyrylýandyr.

Maddanyň spektri boýunça onuň ýagdaýy, temperaturasy, basyşy we ş.m. barada netije çykarmak bolýar; bu bolsa atomlar we molekulalar tarapyndan energiýanyň şöhlelendirilişini we siňdirilişini öwrenmekligiň barlag usuly hökmünde ulanmakda uly ähmiýetiniň bardygyny görkezýär.

Maddanyň kysymy (spektriň çeşmesi) boýunça atom, molekulýar we kristallaryň spektrlerini tapawutlandyrýarlar.

9.2. LÝUMINESSENSIÝA

Ýagtylygyň şöhlelenmesi diňe bir maddalaryň gyzdyrylmagynda bolup geçmän, eýsem-de bolsa beýleki hadysalarda-da, mysal üçin, gazlardaky elektrik zarýadsyzlanmasynda, birnäçe himiki proseslerde (organiki maddalaryň çüýremeginde, fosforyň okislenmeginde) we başga-da ş.m. bolup geçýär.

Berlen (seredilýän) temperaturada maddalaryň ýylylyk şöhlelenmesinden artykmaç bolan şöhlelenmä lýuminessensiýa diýilýär. Ýa-da, başgaça aýdylanda, ***maddalaryň gyzdyrylmagynda ýüze çykýan şöhlelenmeden başga ähli beýleki ýüze çykýan şöhlelenmäniň görnüşlerine lýuminessensiýa diýilýär.***

Lýuminessensiýanyň şöhlelenmek dowamlylygy ($\sim 10^{-10}$ s) ýagtylyk tolkunlarynyň şöhlelenmek periodyndan ($\sim 10^{-15}$ s) has ýokarydyr. Lýuminessent şöhlelenme haçan-da ony döreden hadysanyň özünde energiýasy bar bolan ýagdaýda bolup geçýändir. Eger täsir edýän hadysanyň öz energiýasy gutarsa (ýagny gutarnykly sarp edilse), onda lýuminessent şöhlelenmäniň hem ýüze çykmaklygy kesilýändir.

Oýandyrylyş täsirine baglylykda lýuminessensiýanyň birnäçe görnüşlerini tapawutlandyrýarlar:

- 1) ***ionlýuminessensiýasy*** – ol zarýadlanan bölejikler – ionlar tarapyndan ýüze çykarylýar;
- 2) ***katodlýuminessensiýasy*** – ol katoddan bölünip çykýan elektronlar tarapyndan ýüze çykarylýar;
- 3) ***rentgenlýuminessensiýasy*** – ol rentgen şöhlelenmesiniň täsiri astynda ýüze çykýar;
- 4) ***elektrolýuminessensiýasy*** – ol elektrik meýdanynyň täsiri astynda ýüze çykýar (mysal üçin, elektrik zarýadsyzlanmasynda gazlaryň şöhlelenmekligi);
- 5) ***hemilýuminessensiýa*** – ol himiki reaksiýalaryň käbir görnüşlerinde ýüze çykýar;
- 6) ***fotolýuminessensiýa*** – ol optiki şöhlelenmäniň täsiri astynda ýüze çykýar;
- 7) ***biolýuminessensiýa*** – ol janly organizmleriň (bakteriýalaryň, kömelejekleriň, mör-möjekleriň) ýagtylanmaklygydyr.

Lýuminessensiýa – ***bu kwant prosesidir***, onuň mehanizmi kwant mehanikasy nukdaý nazaryndan düşündirilýär. Ýöne ol ***Boruň nazaryýetiniň*** kömegi bilen hem seredilip biliner. Eger elektrona ýokarda getirilen prosesleriň islendik biri boýunça (ýylylyk hereketindäki urgy çaknyşmalardan başga) goşmaça energiýa berilse, onda atom oýandyrylyp has ýokary energetiki derejä geçýär. Bu geçiş ters bolan geçişde (ýagny özünden aşakdaky derejä ýa-da esasy derejä bolan geçiş amala aşyrylsa) foton şöhlelenýär, onuň energiýasy derejeleriň arasyndaky energiýalaryň aratapawudyna deňdir.

Lýuminessensiýa prosesinde ýüze çykýan şöhlelenmäniň dowamlylygyna baglylykda ***flýuoressensiýany*** we ***fosforessensiýany*** tapawutlandyrýarlar.

Gysgawagtlaýyn şöhlelenmä ***flýuoressensiýa*** diýilýär; uzakdowamlaýyn şöhlelenmä bolsa – ***fosforessensiýa*** diýilýär. (***Flýuoressensiýa*** ady şu hadysanyň ilkinji ýüze çykarylan flýuorit

mineralynyň adyndan gelip çykýandyr; **fosforessensiýa** bolsa – adaty fosforyň ýagtylanmaklygyny ýada salýandygy üçin şeýle atlandyrylýandyr). Bularyň arasyndaky düýpli aratapawut oýandyrylan molekulalaryň dürli energetiki derejeleriň arasyndaky geçişlerinde ýagtylyk kwantlarynyň goýberilişine esaslanýandyr.

Lýuminessensiýany ýüze çykaryan energiýa çeşmesine baglylykda ähli lýuminessirlenýän maddalar **hemilýuminoforlara, elektrolýuminoforlara we fotolýuminoforlara** bölünýärler.

9.2.1. FOTOLÝUMINESSENSIÝA. STOKSYŇ DÜZGÜNI

Optiki diapazondaky şöhlelenmäniň täsiri astynda ýüze çykarylýan şöhlelenmä **fotolýuminessensiýa** diýilýär. Ol görünýän şöhlelenme bolup durýandyr hem-de köplenç ultramelewşe (UM) şöhleler bilen oýandyrylýandyr. Maddanyň atomlary öz üstüne düşýän şöhlelenmäni siňdirmek bilen oýandyrylýarlar we has uzynolkunly lýuminessent şöhlelenmäni ýüze çykaryrlar. Fotolýuminessensiýanyň molekulýar şöhlelenmek spektri bardyr (zolak-zolaklaýyn ýa-da tutuşlaýyn) hem-de ol her madda üçin mahsus häsiýete eýedir.

Optiki şöhlelenme diýilip rentgen şöhlelerine ($\lambda \approx 1 \text{ nm}$) geçilýän aralyk bilen radiotolkunlara ($\lambda \approx 1 \text{ mm}$) geçilýän aralygyň arasynda ýerleşen elektromagnit şöhlelenmä (fotonlara) aýdylýar. Diýmek, **optiki diapazona ultramelewşe (UM), görünýän ýagtylyk we infragyzy (IG)** şöhlelenmeler girýärler.

Şöhlelenmäniň (fotonyň) energiýasy şeýle kesgitlenýär:

$$E = h\nu$$

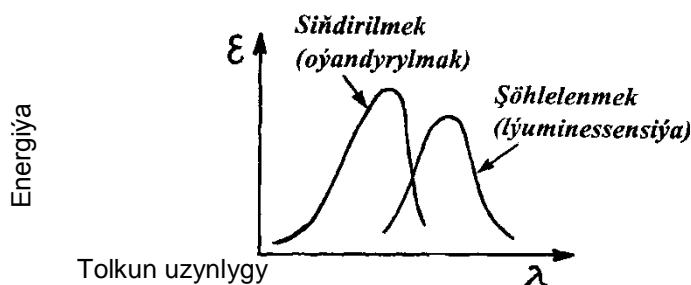
bu ýerde: h – Plankyň hemişeligi ($h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$)

ν – şöhlelenmäniň ýygylgy.

Fotolýuminessensiýanyň spektri we onuň maksimumy onuň ýüze çykmaklygyna sebäp bolan siňdirilen şöhlelenmäniň spektrine garanda has uzyn tolkuna tarap süýşýändir (9.2-nji surat):

$$h\nu' \leq h\nu \quad \text{ýa-da} \quad \lambda' \gg \lambda$$

bu ýerde $h\nu'$ we λ' - degişlilikde, şöhlendirilýän fotonyň energiýasy we tolkun uzynlygy;
 $h\nu$ we λ - degişlilikde, siňdirilýän fotonyň energiýasy we tolkun uzynlygy.



9.2-nji surat.

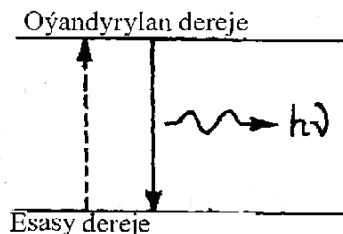
Bu düzgüne **Stoksyň düzgüni** ýa-da **kanuny** diýilýär.

Energiýasy “ $h\nu$ ” deň bolan foton ($E=h\nu$) tarapyndan atomyň ýa-da molekulanyň oýandyrylmagy fotolýuminessensiýanyň birinji akty bolup durýandyr. Oýandyrylandan soň atom gös-göni esasy ýagdaýyna gaýdyp gelmäge ukyplydyr we şunlukda edil şol bir ýygylkly (ν) ýagtylygyň fotonynyň şöhlelenmekligi mümkindir. Şeýle hadysa **rezonans flýuoressensiýa** diýilýär (9.3-nji surat).

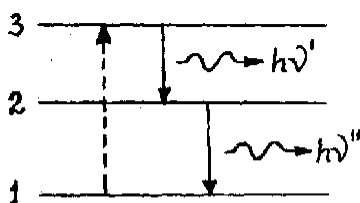
Bu fotolýuminessensiýanyň has sada ýagdaýy bolup durýandyr we ol adaty bir atomly buglarda we gazlarda bolup geçýändir.

Umuman alnanda atom ýa-da molekula öz oýnadyrylan derejesinden esasy ýagdaýa aralyk derejeleriň üsti bilen gaýdyp gelýär. Şunlukda şöhlelenmek bilen bolup geçýän geçişleriň şöhlelenmesiz geçişler bilen gezekleşip gelýän ýagdaýlarynyň hem bolmaklygy mümkinidr (9.4-nji surat).

Şeýle ýagdaýda oýandyrylan atomyň energiýasynyň käbir bölegi goňşy atomlara berilýärler we olaryň yrgyldyly hereketiniň ýylylyk energiýasyna geçýärler. Şöhlelenmesiz bolup geçýän geçişden soň molekula ýa-da atom energiýanyň kwantyny



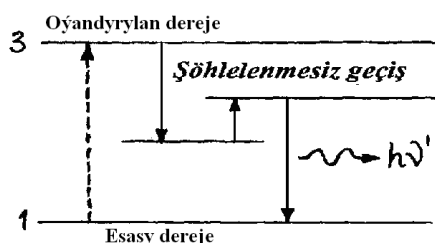
9.3-nji surat.



9.4-nji surat.

($h\nu'$) şöhlelenmek bilen spontan ýagdaýda, (ýagny öz-özünden) esasy derejä geçýär.

Çylşyrymly organiki molekulalarda oýandyrylan ýagdaýdan aralyk – metastabil derejä geçiriliş amala aşyrylýar. Olaryň metastabil derejeden esasy derejä geçmeklik ähtimallygy pesdir. Energiýanyň täze kwantynyň ýa-da gurşawdaky bölejikleriň molekulýar-kinetik energiýasynyň hasabyna ilki bilen oýandyrylan derejä, ondan soň bolsa – esasy derejä geçiriliş amala aşyrylýar (9.5-nji surat).



9.5-nji surat.

9.2.2. FOTOLÝUMINESSENT ANALIZI

Lýuminessent analizi – bu lýuminessensiýanyň kömegi bilen dürli obýektleriň we hadysalaryň ýüze çykarylmalýgydyr hem-de olaryň barlanmagydyr. Analiz obýektleriň ýagtylanmagyna gös-göni wizual ýa-da enjamlaryň ulanylmagy bilen gözegçilik edilmek boýunça geçirilýär.

Lýuminessent analizi örän pes konsentrasiýaly, ýagny maddanyň 1 gramyna 10^{-10} grama çenli lýuminoфор saklanýan konsentrasiýalar bilen iş salyşmaga mümkinçilik berýär. Mukdar barlaglar geçirilende S.I.Wawilow tarapyndan anyklanan kanun ulanylýar, ol şeýle kesgitlenýär: **lýuminessensiýanyň kwant çykyşy we berlen maddanyň spektriniň görnüşü oýandyryjy**

ýagtylygýň tolkun uzynlygyna bagly dälidirler. Molekulanyň üstüne düşýän ýagtylygýň ähli energiýasyndan diňe onuň käbir bölegi molekula tarapyndan siňdirilýär. Ýagny siňdirilen energiýanyň diňe käbir bölegi lýuminessensiýa görnüşinde şöhlelendirilýär, galan bölegi bolsa ýylylyga öwrülýär we şöhlelenmeklige gatnaşýan dälidir. Diýmek, şuna baglylykda, lýuminessensiýanyň şöhleleniş ýitiligi (derejesi) oýandyryjy ýagtylygýň şöhleleniş ýitiligidin (derejesinden) pesdir.

Lýuminessensiýa hadysasynda goýberilýän kwantlaryň sanynyň (N_g) siňdirilýän kwantlaryň sanyna (N_s) bolan gatnaşygyna lýuminessensiýanyň kwant çykyşy (φ) diýilýär:

$$\varphi = \frac{N_g}{N_s};$$

Lýuminessent analiziniň kömegi bilen geçirilýän ähli medisina barlaglary 2-topara bölünýärler: 1) ilkişadaky ýagdaýynda lýuminessirlenýän obýektleriň öwrenilmegi; 2) ýörite lýuminoforlaryň (belgileriň) kömegi bilen reňklenýän obýektleriň öwrenilmegi.

Lýuminessent analizi şu aşadaky ýagdaýlarda ulanylýar:

- 1 – fiziologiki prosesler öwrenilende;
- 2 – dermanlaryň girizilmeklige we olaryň öwrülişikleri (dargamaklygy) bilen baglanyşykly barlaglarda;
- 3 – keselleriň anyklanylmagynda.

9.2.3. LÝUMINESSENT BELGILER WE ZONDLAR WE OLARYŇ LUKMANÇYLYKDA HEM-DE BIOLOGIÝADA ULANYLMAKLYGY

Barlaglaryň görkezişi ýaly, köplenç ýagdaýda organiki molekulalar lýuminessirlenýärler. Olarda uglerodyň atomlarynyň arasynda ýekeleýin we ikileýin baglanyşyklar gezeleşip gelýärler. Himiki taýdan şeýle baglanyşyklara **çatýrym baglanyşyklar** diýilýär. Şeýle molekulalara bolsa lýuminessent zondlar (membrana bilen kowalent däl baglanyşyk) we lýuminessent belgiler (himiki baglanyşyk) diýilýär. Belgiler has ýiti şöhlelenmelidirler; olaryň lýuminessensiýasynyň aýdyň (aýyl-saýyl) we özlerine mahsus spektri bolmalydyrlar – şeýle bolansoň olaryň kömegi bilen belgini bütewi obýektiň öz hususy lýuminessensiýasyndan tapawutlandyrmak bolýar; olaryň obýekt bilen berk baglanyşygy bolmalydyrlar.

Lýuminessent belgilere flýuoressein we flýuoreskamin degişlidirler. Belgileriň reaksiýa – ukyply toparlary belok molekulasynda aminotoparyň üsti bilen fiksirlenýär. Beloklaryň lýuminessent belgiler bilen himiki baglanyşygynyň ýagdaýlary belogyň kysymyna we belgileriň himiki tebigatyna baglydyrlar. Organizmiň dokumalarynyň we öýjükleriniň köpüsi ultramelewşe şöhlelenmäniň täsiri astynda lýuminessirlenýärler, çünki olarda lýuminessirlenýän birleşmeler bardyrlar we hemilýuminessent hadysalar bolup geçýändirler.

Himiki reaksiýa bilen bolup geçýän lýuminessensiýa **hemilýuminessensiýa** diýilýär. Ol ýa-da göniden-göni reaksiýanyň önümleri tarapyndan şöhlelenýär, ýa-da reaksiýanyň önümleri tarapyndan energiýanyň geçirilmegi netijesinde oýandyrylýan beýleki komponentler tarapyndan şöhlelenýär.

Hemilýuminessensiýanyň ýagtylanýş derejesi reaksiýanyň tizliginiň we hemilýuminessensiýanyň netijeliliginiň ulalmagy bilen güýçlenýär.

Hemilýuminessensiýanyň öwrenilmegi **öýjükleriň fiziologiki ýagdaýlary** barada maglumat berýärler. Mysal üçin, öýjükleriň lipid strukturalarynyň okislenmek reaksiýalary gowşak ýagtylanmaklygýň çeşmesi bolup durýandyrlar. Lýuminessensiýanyň häsiýeti käbir keselleriň täsiri astynda üýtgeýär. Köplenç, analiz maksatlary üçin, tebigy lýuminessensiýa gözegçilik edilmän, dokumalar lýuminoforlar bilen reňklenenden soň ýüze çykýan lýuminessensiýa gözegçilik edilýär. Lýuminoforýň ergininiň wenanyň içine ýa-da deriniň astyna goýberilmegi adam bedeniniň organlarynyň funksional ýagdaýyny öwrenilmeklige mümkinçilik berýär. **Şeýle usuly ganüpjünçiligi pes bolan ýerleri kesgitlemek üçin, damarlaryň syzyjylygyny we derman serişdeleriniň täsirini öwrenmek üçin ulanyp bolýandyr.** Lýuminessent analizi

dermanlaryň organizme girizilmekligine we ondan çykarylmalýgyna gözegçilik etmeklikde lukmanlara ýakýndan kömek berýär. Maddalaryň lýuminessensiýasyna wizual gözegçilik etmeklik üçin **fluorimetr enjamy** ýa-da **fotoelektriki fluorimetr** ulanylýar. Olaryň işleýiş prinsipi barlanýan – lýuminessirlenýän nusgalaryň kabul edilen ölçegler (ýagny standartlar) bilen deňeşdirilmegine esaslanýandyr.

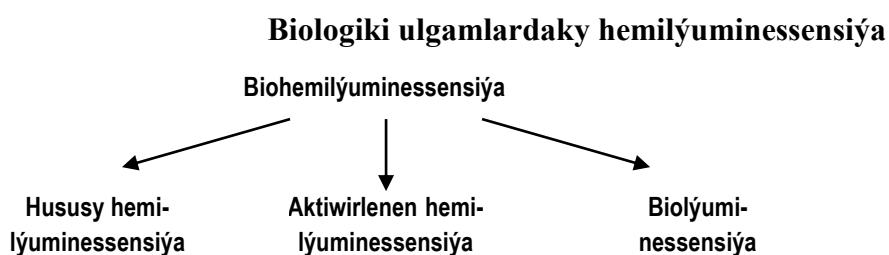
Amaly medisina **lýuminessent anyklanylýş usuly** ulanylýar – ýagny ýokanç kesellerini döredijileri (bakteriýalar, wiruslar, kömelejikler) ýüze çykarmakda lýuminessensiýanyň ulanylmagy. Mysal üçin, lýuminessensiýanyň mikrosporlary – saçlaryň kömelejikli kesellemesini döredijileri (ýaşyl ýagtylanma) ýüze çykarmakda ulanylyşy. **Difteriýanyň, heýwere keseliniň, gyzzyrma keseliniň, inçekeseliň anyklanylýş usullary bakteriýalaryň lýuminoforlara bolan dürli baglanyşyk ýagdaýyna esaslanýandyr.** Şeýle hem çiş öýjükleri kadaly ýagdaýdaky öýjüklere garanda has ýagty (ýiti) şöhlelenýändirler, bu aýratynam aýal jyns organlarynyň ragyna we gözün howply çişlerine degişlidir.

Lýuminessent usullaryň kömegi bilen membranalaryň molekulýar gurluşy we funksionirlenmegi öwrenilýar. Lýuminessent zondlaryň kömegi bilen biologiki işjeň birleşmeleriň öýjük we içkiöýjük membranalar bilen özara täsiri, şeýle hem patologiki proseslerde membranalaryň strukturasyňyň we funksionalarynyň üýtgemekligi barlanýar.

Ulanlyş usuly boýunça ähli zondlar üç topara bölünýärler: 1) **suw erginleriň zondy** – olaryň membrana potensialyna, turşulygyň gradiýentine bolan ýokary duýujlygy bardyr; 2) **gidrofob zondlar** – olar membranalaryň fiziki häsiýetlerine duýgurdyrlar; 3) **suw – membrana fazasynyň zondlary** – olar ionlaryň transportyna duýgurdyrlar.

Lýuminessent usuly sanitariýada iýmit önümleriniň hilini kesgitlemek üçin, düzümindäki garyndylary ýüze çykarmak üçin, ulanylyş möhletiniň geçmekligi bilen baglanyşykly ýa-da beýleki sebäplere görä standarta gabat gelmeýän zaýаланan (hilini ýitiren) maddalary anyklamak üçin ulanylýar. Bu usul biolýuminessensiýa esaslanýar – ondaky şöhlelenme okislenmek reaksiýalary bilen baglanyşyklydyr. Lýuminessent analizi biziň daş – töweregimizi gurşap alan suw we howa gurşawlarynyň arassalygyny – hapalygyny kesgitlemek üçin hem ulanylýar.

9.3. BIOHIMIKI REAKSIÝALARYŇ GEÇMEKLIĞINDE ÝÜZE ÇYKÝAN ŞÖHLELENME



Himiki reaksiýalar geçýärkä ýüze çykýan şöhlelenmä **hemilýuminessensiýa (HL)** diýilýär. Organizmiň ýaşayş derejesini üpjün edýän proseslerde gowşak şöhlelenme – ýagny öýjükleriň we dokumalaryň **hususy şöhlelenmesi** bolup geçýär. Göz tarapyndan görülýän ak ýagtylygy şöhlelendirýän organizmler **biolýuminessensiýa** hadysasyny ýüze çykarýarlar. Hemilýuminessensiýany birnäçe mün esse güýçlendirýän **maddalar (aktiwatorlar)** bardyrlar.

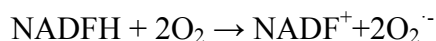
Öýjükleriň we dokumalaryň hususy şöhlelenmesi üç görnüşli reaksiýalar bilen baglanyşyklydyrlar:

- a – kislorodyň işjeň görnüşleriniň (KIG) gatnaşmagyndaky reaksiýalarda ýüze çykýan şöhlelenme;
- b – lipidleriň zynjyr (aşa) okislenme reaksiýalarynda ýüze çykýan şöhlelenme;
- ç – azodyň okisiniň gatnaşmagyndaky reaksiýalarda ýüze çykýan hemilýuminessensiýa.

9.3. a) Kislorodyň işjeň görnüşleriniň (KIG) gatnaşmagy bilen geçýän reaksiýalarda ýüze çykýan şöhlelenme

Kislorodyň işjeň görnüşlerine (KIG) wodorodyň aş a okisi H_2O_2 , gipohlorid ClO^- we kislorod radikallary: superoksid $\text{O}_2^{\cdot -}$ we gidroksiliň radikaly HO^{\cdot} degişlidirler. Öýjükler – fagositler, ýagny ganyň granulositleri hem-de monositler we dokuma makrofaglary adam organizminde KIG-ň esasy çeşmeleri bolup durýandyrlar.

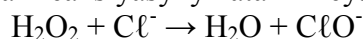
Fagositleriň membranalary özlerinde NADFH – oksidaza fermentatiw kompleksi saklaýarlar, ol kompleks kislorodyň iki molekulalasynyň superoksid radikala çenli dikeldilmeginiň hasabyna NADFH-y NADF^{+} -e çenli oksidendirýär:



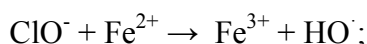
Iki sany superoksid radikallaryň biri – birleri bilen täsir edişmegi netijesinde wodorodyň aş a okisi we kislorod ýüze çykýar:



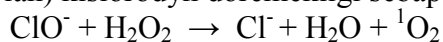
Fagosit daşky gurşawa KIG-i we başgada birnäçe fermentleri bölüp çykarýar, olaryň içinde iň esasy – miýeloperoksidaza fermentidir. Bu ferment hloruň anionyndan we wodorodyň aş a okisinden gipohloridiň ýüze çykmak reaksiýasyny katalizirleýär:



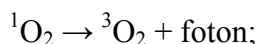
Metallaryň ionlarynyň gatnaşmagynda, mysal üçin, demriň ionlarynyň gatnaşmagynda, wodorodyň aş a okisinden we gipohloridden gidroksiliň radikallarynyň ýüze çykmaklygy bolup geçýär:



Şeýlelik bilen, del öýjüklere garşy göreşýän işjeňleşdirilen fagositler kislorodyň işjeň görnüşlerini ýüze çykarýarlar, olar öz-özleri bilen we beýleki molekulalar bilen täsir edişýärler – şunlukda hemilýuminessensiýanyň kwantlary şöhlelenýär. İşjeňleşdirilen fagositleriň hususy hemilýuminessensiýasy R.Ellan tarapyndan açyldy. Hususy şöhlelenmäniň ýüze çykmaklygyna kislorod radikallarynyň, wodorodyň aş a okisiniň we gipohloridiň aralarynda bolup geçýän reaksiýalarda singlet (oýandyrylan) kislorodyň döremekligi sebäp bolýar diýilip hasap edilýär:



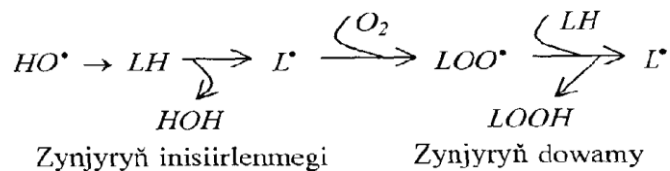
Singlet ýagdaýdaky kislorod spektriň infragyzy (IG) böleginde (tolkun uzynlygy 1270 nm) ýagtylygyň kwantyny şöhlelendirmek bilen (**hemilýuminessensiýa**) kislorodyň esasy (triplet) ýagdaýyna geçýär:



Mundan başga-da, singlet kislorodyň molekulalary, kislorodyň oýandyrylan dimerlerini ýüze çykaryp bilýärler, olar bolsa esasy ýagdaýa geçenlerinde görünýän diapazondaky ýagtylygy şöhlelendirýärler ($\lambda = 635 \text{ nm}; 580 \text{ nm}; 535 \text{ nm}$).

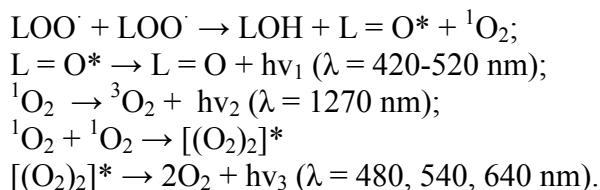
9.3. b) Lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýalarynda ýüze çykýan şöhlelenme

Öýjükleriň membrana strukturalaryndaky we ganyň lipoproteinlerindäki lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýalary hususy hemilýuminessensiýanyň çeşmesi bolup durýarlar. Reaksiýa lipidleriň erkin radikallarynyň L^{\cdot} we lipoperoksidleriň LOO^{\cdot} gatnaşmaklygynda şeýle görnüşde bolup geçýär:



Lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýasynyň geçiş yzygiderligi.

Zynjyrdaky radikallar öz biri-birleri bilen täsir edişip bilýärler. Lipoperoksidiň iki radikallarynyň özara täsir ediş reaksiýasynda ketonyň molekulary we kislorodyň elektron-oýandyrylan ýagdaýdaky molekulary ýüze çykýarlar, olar bolsa – esasy ýagdaýa geçmek bilen, ýagtylygyň kwantyny şöhlelendirýärler.



Ulgamda LOO^\bullet radikallar näçe köp bolsa, onda şonça-da hemilýuminessensiýa ýokary derejede bolup geçýändir. Erkin radikallar bilen täsir edişýän we lipidleriň zynjyr okislenmegini togtadyan maddalar (antioksidantlar, mysal üçin, tokoferol – witamin E) hemilýuminessensiýany peseldýärler. Bu maddalar adam organizmini erkin radikallaryň zyýanly täsirlerinden gorap bilýärler.

9.3. ç) Azodyň okisiniň gatnaşmagyndaky reaksiýalarda ýüze çykýan hemilýuminessensiýa

Azodyň okisi NO – bu suwda oňat ereýän we ýokary derejede reaksiýa gatnaşyp bilijilik ukyplygyna eýe bolan gazdyr. Azodyň okisi gan damarlarynyň diwarlaryny gowşatmak funksiyasyna eýedir (wazodilatasiýa), bu bolsa organlaryň gan üpjünçiliginiň ýokarlanmaklygyna we umumy gan basyşynyň peselmekligine getirýär. Azodyň okisi öýjükler – fagositler tarapyndan bölünip çykarylýarlar we mikroorganizmleriň garşysyna göreşmeklige gatnaşýarlar. Azodyň okisi bilen superoksidiň reaksiýasynda örän zäherli bolan birleşme – peroksinitrit döreýär:



Peroksinitritiň belok bilen reaksiýasy şöhlelenmäniň ýüze çykmaklygyna getirýär, ol bolsa öz gezeginde bütewi organyň şöhlelenmesine möhüm derejede goşant goşýar.

Şeýlelik bilen, dokumanyň hususy şöhlelenmesi üç görnüşli reaksiýalar bilen kesgitlenýär. Olara şular degişlidirler: 1) KIG-ň reaksiýalary; 2) lipidleriň zynjyr okislenmegi; 3) azodyň okisiniň reaksiýalary.

Hususy hemilýuminessensiýanyň ulanylmaklygy Laboratoriýa analiziniň mümkinçilikleri

Hususy şöhlelenme örän gowşak derejede bolup geçýändir we şoňa görä-de onuň ölçegini geçirmeklik belli bir kynçylyk bilen baglanyşyklydyr. Şeýle bolansoň ony güýçlendirmek boýunça birnäçe synaglar amala aşyrylýar. Mysal üçin, ganyň plazmasyna reňkleýjiler, wodorodyň aşa okisi, ikiwalentli demriň ionlary goşulýarlar. Şeýle analizleriň netijeleri keseli anyklamak üçin, bejerilişiň netijeliligine gözegçilik etmeklik üçin ulanylýar. Ýöne köplenç ýagdaýda kliniki amalda hemilýuminessensiýany aktiwatorlaryň gatnaşmaklygynda ulanylýarlar. Hususy hemilýuminessensiýa membranalardaky we ganyň plazmasynyň lipoproteinlerindäki lipidleriň zynjyr okislenme mehanizmi öwrenilende giňden ulanylýar. Şöhlelenme organizm üçin zyýanly bolan prosesleri suratlandyrýar: onuň esasyň öýjük strukturalaryny dargatmak (bozmak) ukyplygyna eýe bolan we şoňa baglylykda adamyň kesellemekligine getirýän radikallaryň reaksiýalary düzýändir.

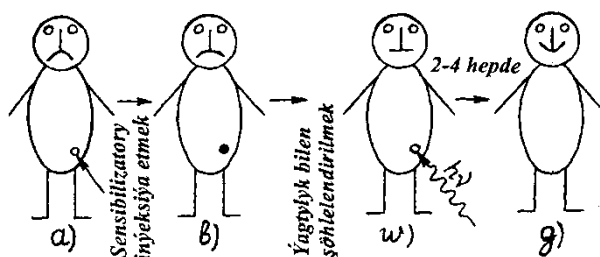
9.4. RAGYŇ FOTODINAMIKI TERAPIÝASY

Onkologiki kesellemeler dürli-dürlidirler we olar öz hususy öýjükleriniň täzedan döremekligi bilen baglanyşyklydyrlar. Rak öýjükleri özleriniň köpeliş depginini kesgitli derejede saklamak ukyplygyna eýe däldirler we olar bölünenlerinde giňişlikdäki ähli mümkin bolan ýerleri doldurmaklyga ukyplydyrlar. Rak çişiniň ösüşi 1 – mutirlenen öýjükden başlanýar, onuň sany soň çalt köpeliýär.

Çiş aýrylanda kadaly ýagdaýdaky öýjüklere degilmän, mümkin boldugyça şikeslenen öýjükleriň selektiw (saýlanyp alynyp) ýok ediliş usullary ulanylmalydyr. **Fotodinamiki terapiýa** şeýle täsir ediliş usullarynyň biri bolup durýandyr. Rak öýjügi reňklenen maddalary (porfirinleri) selektiw toplan we olary käbir wagt aralygynda saklap bilýändir.

Fotodinamiki terapiýanyň esasy manysy şundan ybaratdyr, ýagny porfirinleriň toplanan ýerine diňe olary oýandyrylan ýagdaýa getirýän tolkun uzynlykly ýagtylyk bilen täsir edilýär. Şunlukda sagdyn öýjüklere zeper ýetmez ýaly, ýagtylygyň umumy energiýasy belli bir kesgitli ululykdan ýokary bolmaly däldir. Onkologiyada ulanylýan **fotodinamiki terapiýa usulynda (FTU)** täsir edilişini himiýaterapiýa we fiziki usullary utgaşdyrylýar (9.6-njy surat).

Şu usulyň **1-nji tapgyrynda** pasiýente, adatyça onuň wenasynyň içine, sensibilizatoryň ergini goýberilýär. **2-nji tapgyrda** çişde sensibilizatoryň toplanmagy bolup geçýär. Sensibilizatoryň fluoressensiýasy boýunça çişni ölçegleri we ýerleşýän ýeri kesgitlenýär. **3-nji tapgyrda** şikeslenen ýer 15-20 minudyň içinde kesgitli tolkun uzynlykly ýagtylyk bilen şöhlelendirilýär. Ýagtylyk çeşmesi bolup, adatyça lazer we ýagtylykgeçiriji ulgam hyzmat edýär, ol ýagtylygy içki organlara ýetirmeklige mümkinçilik berýär. Özünde sensibilizatorlary saklaýan çişni ojagynda ýokary zäherlikli fotohimiki öwürülmeler bolup geçýärler, olar bolsa öz gezeginde rak öýjükleriniň ölmekligine getirýärler. Şunlukda kadaly ýagdaýdaky ýanaşyk öýjükler öňki halyny saklaýarlar. **4-nji tapgyr** howply çişleriň dargamaklygyna we şikes ýeten ýerleriň doly ýa-da bölekleyin dikeldilmegine getirýär (9.6-njy surat).

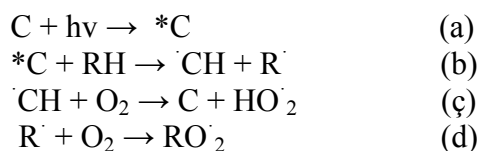


9.6-njy surat. Ragyň fotodinamiki terapiýasynyň esasy tapgyrlary.

- a) organizme sensibilizatoryň girizilmegi;
- b) çişde sensibilizatoryň toplanmagy; çişni diagnostikasy;
- w) şikes ýeten ýeriň gyzyl ýagtylyk bilen şöhlelendirilmegi;
- g) çişni nekrozy.

Sensibilizatoryň öýjüge geçirilişi ganyň dürli komponentleriniň hasabyna amala aşyrylýar. Öýjügiň şöhlelendirilmegi netijesinde onda fotohimiki hadysalar bolup geçýär, onuň esasynda 2-mehanizm bardyr.

1-nji kysymly reaksiýalarda sensibilizatoryň işjeň görnüşi döreýär, olar substratyň molekulalary bilen özara täsir edişýärler. Sensibilizatoryň molekulasy (C) ýagtylygyň täsiri astynda oýandyrylan (C^*) ýagdaýa geçýär (**a-deňlik**). Soň bu molekula substratyň molekulasy bilen reagirlleşýär we iki radikaly berýär (**b-deňlik**). Sensibilizatoryň gidirlenen görnüşi howanyň kislorody bilen okislenýär we ilkişadaky strukturasynda geçýär (**ç-deňlik**). Substratyň radikaly R beýleki substratlary hem okislendirip bilýär ýa-da kislorody birleşdirmek bilen radikalyň aşu okisini RO^*_2 emele getirýär (**d-deňlik**).

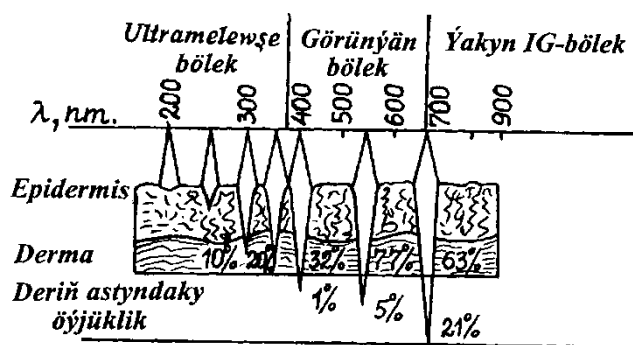


Fotohimiki hadysanyň 2-nji mehanizminde sensibilizatoryň oýandyrylan molekulasy kislorod bilen täsir edişýär we şunlukda kislorodyň işjeň görnüşi $^1\text{O}_2$ emele gelýär. Ol ýokary täsire we öýjügiň içindäki elementleri has işjeň oksidlendirmek ukyplygyna eýedir. Täsir edişiň bu mehanizmi **fotodinamiki terapiýada** agdyklyk edýändir.

Sensibilizatorlar porfirinleriň esasynda düzülendirler. Porfirinler şular ýaly beloklaryň, ýagny gemoglobiniň; mioglobiniň; katalaza, peroksidaza fermentleriniň we sitohromlaryň düzümine girýärler. Bu gemoproteidler kislorodyň geçirilişine we organlaryň energiýa bilen üpjün edilişine gatnaşýarlar.

Sensibilizatorlara edilýän esasy talaplar şulardan ybaratdyr: 1) olaryň rak öýjüklerine ýokary selektiwligi bolmalydyrlar we kadaly dokumalarda az wagt saklanmalydyrlar; 2) olar pes zäherlilik eýe bolmalydyrlar we organizmden aňsatlyk bilen çykarylmaladyrlar; 3) olar deride az toplanmalydyrlar; 4) olar saklananda we organizme goýberilende durnukly bolmalydyrlar; 5) olar çişň ygtybarly anyklanmagy üçin oňat lýuminessensiýa eýe bolmalydyrlar; 6) olar energiýasy 94 kJ/mol-dan az bolmadyk ýokary kwant çykyşyna eýe bolmalydyrlar; 7) şöhlenmäniň 660-900 nm tolkun uzynlygynda olar intensiw maksimum siňdirijilige eýe bolmalydyrlar.

9.7-nji suratda dürli tolkun uzynlykly ýagtylygyň (onuň energiýasynyň bölünişiniň görkezilmekligi bilen) deriniň we öýjükligiň üstünden geçişi görkezilendir.



9.7-nji surat.

Häzirki wagtda fotodinamiki terapiýa usuly üçin şular ýaly preparatlar ulanylýarlar: fotofrin, porfisenler (ABŞ); fotogem, fotosens (Orsýet); gemoporfirin (Angliýa); benzoporfirinler (Kanada).

Fotofrin preparaty öýkenleriň, aşgazanyň, gyzyldödegiň, ýatgynyň, peşew haltasynyň ragyny bejermek üçin rugsat berilýär.

X. RENTGEN ŞÖHLELENMESİ, ONUŇ MADDA BOLAN TÄSİRİ. RENTGEN ŞÖHLELENMESİNİŇ LUKMANÇYLYKDA ULANYLYŞY

10.1. RENTGEN ŞÖHLELENMESİNİŇ FIZIKI TEBIGATY WE HÄSİYETLERİ

Rentgen şöhleleri – bu elektromagnit tolkunlarydyr. Bu şöhleleri ilkinji bolup nemes fizigi Wilgelm Rentgen 1895-nji ýylda açdy. Rentgen katod şöhlelerini (örän ýokary tizlikli elektronlaryň akymyny) öwrenmek bilen meşgullanýarka, zarýadsyzlanýan turbajygyň golaýyndaky *fotoplastinkanyň, hatda gara kagyza dolanan ýagdaýynda hem, ýagtylanýandygyny ýüze çykarypdyr*. Soňra oňa ýene-de bir örän geň hadysa gözegçilik etmek başardypdyr. Platinosinerodly bariý erginine batyrylyp, zarýadsyzlanýan turbajygyň daşyna dolanan kagyздan ýasalan ekran ýagtylanyp başlapdyr. Özem şol wagt Rentgen turbajyk bilen ekranyň arasynda elini ýerleşdirende, ekranda eliň hemme barmaklarynyň oňat görnüş duran ýagty fonunda sünkleriň garamtyl kölegesi görnüşdir.

Zarýadsyzlanma turbajygy işlände şol wagta çenli belli bolmadyk haýsy hem bolsa bir üýtgeşik häsiýetli, maddanyň içinden ýokary geçijilik ukybyna eýe bolan şöhleleriň döreýändigine Rentgen düşünişdir. Ol ony “x-şöhleleri” diýip atlandyrypdyr. Soňra ol şöhlelenmeleri onuň hatyrasyna “rentgen şöhleleri” diýip atlandyrmak kabul edilipdir.

1904-nji ýylda alym J.Stoks rentgen şöhleleriniň tolkun uzynlygynyň ululygy boýunça örän gysga bolan elektromagnit tolkunlaryndan durýandygy baradaky çaklamany öňe sürýär. Ondan birazrak soň inlis *alymy Ç.Barkla* şeýle çaklamanyň dogrudygyny tejribe üsti bilen tassyklaýar. Ol rentgen şöhlelenmesiniň gelip çykyş tebigaty boýunça gyzga tolkun uzynlykly 80-den 0,0001 nm çenli bolan elektromagnit tolkunlaryndan ybaratdygyny anyklaýar.

Tolkun uzynlygy (λ) takmynan $80\text{-}10^{-4}$ nm. aralykda bolan elektromagnit tolkunlaryna rentgen şöhleleri diýilýär.

Uzyn tolkunly rentgen şöhleleri gysga tolkunly ultramelewşe şöhleler bilen çäklenýärler, gysga tolkunly rentgen şöhleleri bolsa uzyn tolkunly gamma şöhleler bilen çäklenýär. *Medisina-da tolkun uzynlygy 1,0-den 0,006 nm. çenli bolan RŞ-ulanylýar.*

Rentgen şöhleleri adamyň gözüne görünýän däl, şonuň üçin hem onuň bilen baglanyşykly ähli gözegçilikler üç usul bilen, ýagny flýuoressirlenýän (gysga wagtlaýyn ýagtylanýan), fotografiki täsir we ionlaşmak hadysalary bilen geçirilýärler.

Rentgen şöhleleriniň köp maddalaryň içinden geçip bilijilik ukyplygy onuň optiki diapazondaky şöhlelerden esasy aýratynlygy bolup durýandyr.

Rentgen şöhleleri ýagtylyk şöhlelerine mahsus bolan häsiýetlere eýedirler, ýagny olar serpikýärler, döwürler, polýarizasiýa we difraksiýa hadysalaryny ýüze çykarýarlar. Bu hadysalara gözegçilik etmeklik rentgen şöhlesiniň tolkun uzynlygynyň gysgadygyna görä örän kyndyr.

Rentgen şöhleleriniň *döwürändigini* ilkinji bolup şwed alymy *W.Stenser 1919-njy ýylda* kristallarda difraksiýa hadysasyny öwrenende açdy.

Ýagtylyk şöhleleriniň göniçyzykly ýaýramak ugrundan gyşaryp kiçi ölçegli päsgelçilikleriň daşyna öwürlip geçmegine **difraksiýa** diýilýär. Difraksiýa hadysasy ýagtylygyň tolkun tebigatyndan gelip çykýandyr.

Ýagtylygyň ýaýramak tizligi berlen gurşawda onuň tolkun uzynlygyna (ýa-da ýygylýgyna) baglydyr. Şeýle hadysa ýagtylygyň **dispersiýasy** diýilýär.

W.Stenseriň geçiren ölçegleri we beýleki şol ugurdan işleýän alymlaryň işleriniň netijeleri rentgen şöhleleriniň döwürleme görkezijisiniň ululygynyň haçan-da RŞ-si howadan has dykyz gurşawa geçende 1-den (birden) kiçi baha eýe bolýandygyny görkezdi. Munuň şeýledigi dispersiýanyň elektron nazaryýetinden hem gelip çykýandyr, oňa laýyklykda RŞ-niň döwürleme görkezijisi şeýle deňlik bilen kesgitlenýär.

$$n = 1 - \frac{N \cdot e^2}{2 \cdot Z \cdot m \cdot v^2} \quad (60)$$

bu ýerde: n – döwürme görkeziji;

N – maddanyň göwrüm birligindäki optiki elektronlaryň sany;

“ m ” we “ e ” – deňşililikde elektronlaryň massasy we zarýady;

v – şöhlenenmäniň ýygylgy.

Bu deňlige G.Mozliniň deňligi diýilýär.

Şeýle hem G.Mozliniň deňliginden haçan-da RŞ-ri howadan has dykyz gurşawa geçende doly içki serpikmäniň bolup bilmek mümkinçiliginiň bardygy gelip çykýandyр.

RŞ-niň maddalaryň içinden güýçli geçijilik ukybyna eýe bolmaklygy we olaryň beýleki aýratynlyklary tolkun uzynlygynyň (λ) gysgalygy bilen baglanyşyklydyр. Tolkun uzynlygynyň gysga bolmaklygyna görä, RŞ-niň tolkun häsiýetlerini ýüze çykarmak ilki başda başartmandыр. Onuň şeýle häsiýeti birnäçe ýyldan soň ýüze çykarylypdyр. ***Kristallarda RŞ-niň difraksiýasyny öwrenmek boýunça geçiren tejribeleriniň esasynda***, onuň tolkun ***häsiýetini ilkinji*** bolup 1912-nji ýylda nemes alymy Laue ýüze çykarypdyр.

1913-nji ýylda rus alymy G.W.Wulfyň we iňlis alymlary G. we L.Breggleriň kristallaryň giňişleýin gözeneginde RŞ-niň difraksiýasy boýunça geçiren düýpli işleri olara selektiw (ýagny kesgitli ugurda bolup geçýän) serpikmäniň kanunyny açmaklyga mümkinçilik berdi:

$$2 \cdot d \cdot \sin \theta = k \cdot \lambda \quad (61)$$

bu ýerde: d – kristalyň atom tekizlikleri arasyndaky aralyk;

θ – RŞ-niň atom tekizligine bolan düşme burçy we edil şol burça deň bolan serpihme burçy;

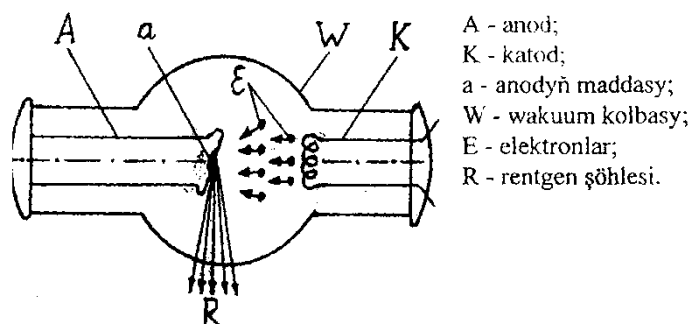
k – bitin san, ($k=1,2,3,\dots$; olar difraksiýa maksimumynyň tertibini görkezýärler);

λ – tolkun uzynlygy.

Bu kanuna Wulfyň-Breggleriň kanuny diýilýär. Wulfyň-Breggleriň kanuny rentgen-struktura analiziň esasy bolup hyzmat edýär.

10.2. RENTGEN ŞÖHLELENMESINI ÝÜZE ÇYKARÝAN ÇEŞME (RENTGEN TURBAJYGY)

Rentgen şöhlesini döredýän çeşme hökmünde rentgen (ýagny elektron – wakuum) turbajygy has giň ýaýrandыр (10.1-nji surat).



10.1-nji surat.

Rentgen turbajygy aýnadan ýasalan, içinde iki sany elektrody (A – anod we K – katod) bar bolan W – wakuum kolbadan ybaratdyр. Kolbanyň içindeki basyş $\sim 10^{-6} - 10^{-7}$ mm sim.süt. deňdir. Elektrodlaýa ýokary naprýaženiýe berilýär.

Spiral görnüşli, ýokary temperatura çenli (2700-3300 K) gyzdyrylýan simden ybarat bolan katod (K) elektronlaryň çeşmesi bolup hyzmat edýändыр. Adatça K katod hökmünde termoelektron emissiýanyň hasabyna elektronlary goýberýän wolfram spiraly ulanylýär. Anod (A) – metal

steržendir, onuň käbir burç astynda gyşyk kesilen ujundaky kese-kesiginde ýokary tertipli atom belgili metaldan bolan anodyň maddasynyň “a” tekizçesi bardyr. Anod rentgen şöhlelenmesiniň generirlenýän ýeri bolup durýandyr. Anod bilen katodyň arasyndaky naprýaženiýe birnäçe **onlarça kilowolta (kW) çenli ýetýändir**. “A” bilen “K”-nyň arasyndaky elektrik meýdanynyň hasabyna uly tizlenmä eýe bolýan “E” elektronlar anodyň maddasynyň üstüne baryp urulýarlar, onuň birazrak içine aralaşýarlar ($\sim 10^{-4}$ - 10^{-5} mm) we maddanyň atomlary bilen özara täsir edişip, olaryň meýdany tarapyndan togtadylýarlar. **Şunlukda elektronlaryň togtadylmagy esasynda rentgen şöhleleri ýüze çykýar**. (Şol bir wagtyň özünde az mukdarda häsiýetli rentgen şöhleleri hem ýüze çykýar). “A”-nyň ujunyň (kese-kesiginiň) gyşyk görnüşdedigine görä, rentgen şöhleriniň “R” dessesi turbajygyň okuna dikana ugrukdyrylandyr.

Anodyň üstüne düşýän (we degişlilikde turbajykdaky togy emele getirýän) ähli elektronlaryň içinden diňe olaryň uly bolmadyk bölegi (2-3%) togtadylanda rentgen şöhlelenmesi ýüze çykýar. Elektronlaryň galan bölegi, anod bolup hyzmat edýän metalyň ionlary bilen özara täsir edişip, olara ýylylyk görnüşinde öz energiýalaryny berýärler we şoňa görä-de rentgen turbajygynyň anody güýçli derejede gyžýar. Anodyň gyzmazlygy üçin birnäçe çäreler görülyär. Turbajygyň kadaly işini üpjün etmeklik üçin anodyň sowadylmagynyň dürli görnüşleri, ýagny olaryň howa, suw, ýag bilen sowadylmak usuly ulanylýarlar. Howa bilen sowadylmak anodyň ujunda ýerleşdirilen radiator bilen amala aşyrylýar, ol uly bolmadyk wentilýator tarapyndan döredilýän howa akymynyň täsiri astynda bolýar. Bütewilikde turbanyň ýag gurşawyna salynyp sowadylmagy has amatly usul bolup durýandyr. Uzakdowamlaýyn häsiýetli işde (rentgen-terapiýa we rentgendefektoskopiýa) anoddan ýylylygy aýyrmak üçin onuň boşlugyndan nasosyň kömegi bilen izolýasiýa ýagy goýberilýär. Şeýle hem gyzmaklygyň önüni almaklyk üçin aýlanýan görnüşli anod ulanylýandyr.

Medisinada bejeriş maksatlary üçin anody bütewilikde ýere birleşdirilen rentgen turbajyklarynyň aýratyn kysymy ulanylýar. Sowadylmak üçin anodyň ujuna metal gabyjagy geýdirilýär we anod bilen onuň arasyndaky kanal boýunça suw akymy goýberilýär.

10.3. RENTGEN ŞÖHLELERINIŇ ÝÜZE ÇYKARYLYŞ USULLARY

Rentgen şöhleleri özleriniň ýüze çykarylyş usullary boýunça **häsiýetli** we **elektronlaryň togtadylmaklygy bilen** döreýän görnüşlere bölünýärler.

10.3. a) Häsiýetli rentgen şöhlelenmesi

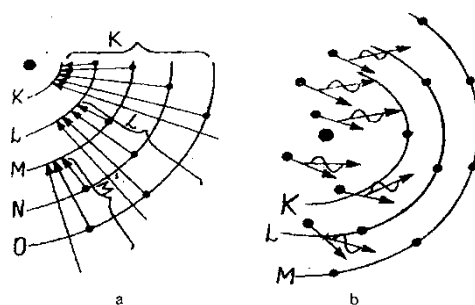
Häsiýetli şöhlelenme ýokary tertip belgili atomlaryň içki gatlaklaryndaky (K, L, M, N gatlaklar) energetiki derejeleriniň arasynda elektronlaryň ýokarky gatlakdan aşaky gatлага geçmekligi esasynda ýüze çykýar. Eger ýeterlik derejede güýçli daşky täsir bar bolsa, mysal üçin, maddanyň atomlary ýokary energiýa eýe bolan elektronlar ýa-da alfa – bölejikler bilen bombardirlenende (urga sezewar edilende) ýa-da gamma-şöhlelenmeler bilen şöhlelendirilende, onda elektron olardan alan energiýasynyň hasabyna haýsy hem bolsa bir içki gatlakdan atomyň daşyna çykarylýar. Eger şeýle ýagdaý ýüze çyksa, onda boşadylan E_1 derejä, ondan ýokarda ýerleşen islendik E_2 derejeden elektron geçer (10.2-nji surat “a”). Şunlukda, foton şöhlelenýär, onuň energiýasy geçiş derejeleriniň energiýalarynyň aratapawudyna deňdir, ýagny:

$$h \cdot \nu = E_2 - E_1 \quad (62)$$

bu ýerde: E_2 we E_1 - degişlilikde, geçiş derejeleriniň energiýasy;

h – Plankyň hemişeligi ($h=6,6261 \cdot 10^{-34}$ J·s);

ν – şöhlelenmäniň ýygylygy.



10.2-nji surat.

Ýokarky deňlige laýyklykda, şöhlelenmäniň ýygylgy şeýle kesgitlenýär:

$$\nu = \frac{(E_2 - E_1)}{h} \quad (63)$$

Kwant nazaryýetine baglylykda ýagtylyk – bu aýratyn bölejikleriň, ýagny fotonlaryň akymydyr. Her bir fotonyň energiýasy şeýle deňlik bilen kesgitlenýär:

$$E = h \cdot \nu$$

Elektronlaryň öz orbitasyndan çykarylmagy bilen ýüze çykýan boş ýer içki gatlaklaryň islendik birinde bolup biler, ol boşan ýere bolsa ýokarda ýereleşen gatlaklaryň haýsy hem bolsa birisinden elektronlaryň başga biri geçip biler. Netijede, maddalaryň atomlarynyň energetiki derejelerinde, oýandyrylyşa mahsus bolan **çyzykly spektr** görnüşli şöhlelenme ýüze çykýar. Häsiýetli şöhlelenmäniň spektrindäki çyzyklar elektronlaryň islendik ýokary energetiki derejelerden pes energetiki derejelere (K, L, M, ...) geçmekligine baglylykda birnäçe seriýalara bölünýärler, ýagny K-seriýa, L-seriýa, M-seriýa we ş.m. (10.2-nji surat “a”).

Şu seriýalardaky spektral çyzyklaryň ýygylgy şöhlelenmäni ýüze çykarýan maddanyň Z atom tertip belgisine baglydyr. Häsiýetli şöhlelenme diýilmeginiň sebäbi şeýle şöhlelenme her bir madda üçin aýratyn mahsus häsiýete eýedir. Maddanyň tertip belgisiniň ýokarlanmagy bilen, ýagny ýadronyň zarýadynyň ulalmagy bilen häsiýetli spektr Mozliniň kanunyna laýyklykda uly ýygylyklara tarap süýşýär:

$$\sqrt{\nu} = A \cdot (Z - B)$$

bu ýerde: ν – spektral çyzyklaryň ýygylgy;

Z – elementiň atom tertip belgisi;

A we B – hemişelik ululyklar.

Rentgen şöhlelenmesiniň häsiýetli spektriniň optiki spektrden tapawutlylygy onuň dürli atomlar üçin birkysymly bolup durmaklygyndan ybaratdyr. Bu dürli atomlaryň içki gatlaklarynyň birmeňzeş bolmaklygy bilen baglanyşyklydyr we olar diňe energiýasy bilen tapawutlanýarlar (elementiň tertip belgisiniň ýokarlanmagy bilen ýadronyň täsiriniň ulalmagyna baglylykda).

Atomyň häsiýetli spektri onuň nähili himiki birleşmede bolýandygyna bagly däldir. Bu onuň ikinji aýratynlygyna degişlidir.

10.3. b) Elektronlaryň togtadylmagy bilen ýüze çykýan rentgen şöhlelenmesi

Rentgen şöhlelenmesiniň döremeginiň başga bir mehanizmi şu aşakdakylardan ybaratdyr.

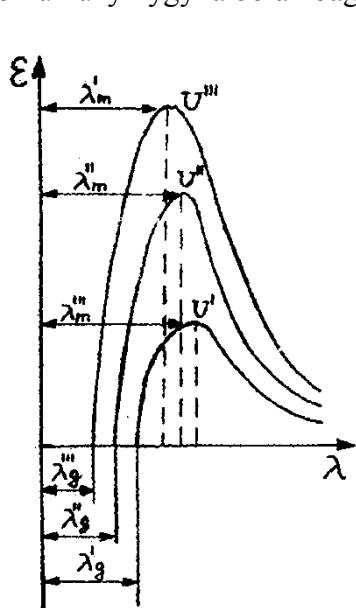
Eger maddanyň içinden elektronlar toplumu (akymy) çalt geçip barýan bolsalar, onda olar maddanyň atomlarynyň elektrik meýdany tarapyndan togtadylýarlar, bu bolsa rentgen şöhlelenmesiniň döremegine getirýär (10.2-nji “b” surat). Hereketlenýän elektrony öz hususy magnit meýdanyny döredýän käbir ululykly elementar tok hökmünde göz önüne getirmek bolar. Eger şeýle bolsa, onda elektronyň hereket tizliginiň peselmekligi tok güýjüniň peselmegine we şoňa

değişlilikde, magnit meýdanynyň güýjenmesiniň üýtgemekligine getirýär. Bu bolsa, belli bolşy ýaly, Maxwelliň nazaryýetine baglylykda, elektromagnit tolkunlaryny döredýär.

Şöhlelenme ýygylgy elektronyň başlangyç kinetik energiýasyna we onuň togtamak intensiwligine (derejesine) baglydyr. Eger hatda elektronlaryň başlangyç kinetik energiýasy bir-meñzeş bolanda hem, olaryň togtadylmak şertleri dürli ýagdaýda bolup geçýändir, şonuň üçin hem şöhlelenýän fotonlar dürli energiýa eýe bolýarlar. Şoňa deňişlilikde, fotonlaryň ýygylgy (ýa-da tolkun uzynlygy) hem dürli-dürlidir. Şeýle şöhlelenmä elektronlaryň togtadylmagynda ýüze çykýan şöhlelenme diýilýär we onuň *üzňüksiz (tutus) spektri* bardyr.

10.4. RENTGEN ŞÖHLELENMESINIŇ TURBAJYGA BERILÝÄN NAPRÝAŽENIÝÄ BAGLYLYKDA SPEKTRI. “GATY” WE “ÝUMŞAK” RENTGEN ŞÖHLELENMESI

Elektronlaryň togtadylmagy bilen ýüze çykarylýan rentgen şöhlelenmesiniň rentgen turbajygyna berilýän dürli U naprýaženiýa baglylykda spektri (ýagny şöhlelenme energiýasynyň tolkun uzynlygyna bolan baglylygy) 10.3-nji suratda görkezilendir.



10.3-nji surat.

Spektr tolkun uzynlygy ot-nositel uzyn bolan λ_u tolkunlar bilen gysga tolkunlary çäklendir-ýän käbir λ_g tolkunlary (ýagny $\lambda_u - \lambda_g$ çäkleri) öz içinde saklaýar. Tolkun uzynlygy λ_g ululyga deň bolan gysga tolkunly şöhleler energiýasy maksimal bolan fotonlary deňişlidir:

$$E_{mf} = h \cdot \nu_g = \frac{h \cdot c}{\lambda_g} \quad (64)$$

Fotonlar şeýle energiýany diňe bir ýagdaýda, ýagny özlery hem maksimal $E_{me} = e \cdot U$ energiýa eýe bolan elektronlaryň doly su-ratda togtadylýan wagtlarynda alyp bilerler (bu ýerde e – elekt-ronyň zarýady).

Eger-de elektronlar özleryniň şeýle energiýasyny fotona doly suratda geçirseler, onda olaryň energiýalary özara deň bolýarlar, ýagny:

$$E_{mf} = E_{me} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{h \cdot c}{\lambda_g} = e \cdot U; \quad (65)$$

bu deňlikden gysga tolkun uzynlygynyň san bahasyny tapmak bolýar:

$$\lambda_g = \frac{h \cdot c}{e \cdot U} \quad (66)$$

Eger U “kiloWoltda”, λ_g bolsa “angstremde” aňladylsa we galan ululyklaryň arasyndaky özara baglanyşyk göz önünde tutulsa, onda ýokarda getirilen deňlik şeýle görnüşe eýe bolar:

$$\lambda_g = \frac{12,4}{U} \quad [1 \text{ Å (angstrem)} = 10^{-8} \text{ sm} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}].$$

Her şöhlelenmä onuň öz hususy λ_{Em} tolkun uzynlygy mahsusdyr, oňa şöhlelenmäniň E_m maksimal energiýasy deňşlidir. Arabaglanyşyk çyzygyndan (10.3-nji surata seret) görnüşi ýaly, λ_{Em} (ýagny maksimal energiýa deňşli bolan) tolkun uzynlygy iň gysga çäk tolkun uzynlygynyň takmynan 3/2 bölegine deňdir, ýagny:

$$\lambda_{Em} = \left(\frac{3}{2}\right) \cdot \lambda_g = \frac{18,6}{U} \quad (67)$$

Tolkun uzynlygy fotonyň energiýasyna baglydyr, fotonyň energiýasy bolsa öz gezeginde rentgen şöhlesiniň madda bolan täsirinde onuň içinden geçip bilijilik ukyplygyny kesgitläýär.

Şonuň üçin hem şöhleleriň maddanyň içinden geçip bilijilik ukyplygyny onuň tolkun uzynlygy bilen baglanyşdyrmak bolar. Maddanyň içinden geçip bilijilik ukyplygy ýokary bolan has gysga tolkunly şöhlelere “**gaty**” rentgen şöhleleri, geçijiligi pes bolan uzyn tolkunly şöhlelere bolsa “**ýumşak**” rentgen şöhleleri diýilýär.

Olaryň tolkun uzynlyklary şertleýin şeýle aralykda diýilip hasap edilýär, ýagny $\lambda=10^{-4}-0,2$ nm aralygynda bolan rentgen şöhlelerine “**gaty**”; $\lambda=0,2-80$ nm aralygynda bolan rentgen şöhlelerine bolsa “**ýumşak**” rentgen şöhleleri diýilýär.

Ýokarda getirilen deňliklerden görnüşi ýaly, spektrdäki çäk gysga tolkun uzynlygy (λ_g) we şöhlenenmäniň maksimum energiýasyna gabat gelýän tolkun uzynlygy (λ_{Em}) rentgen turbajygynyň anod “A” bilen katod “K” aralygyna goýulýan naprýaženiýa ters baglanyşyklydyr. Şoňa baglylykda, şu naprýaženiýäni üýtgedip, şöhlenenmäniň “gatylygyny” (ýa-da “ýumşaklygyny”) sazlap bolýar. Mysal üçin, anod bilen katodyň aralygyndaky naprýaženiýe ýokary bolsa, onda spektrdäki energiýanyň maksimumy has gysga tolkun uzynlygyna (λ) tarap süýşýär. Rentgen turbajygynyndaky naprýaženiýäniň üýtgemekligi bilen şöhlenenmäniň umumy kuwwaty hem üýtgeýär, ol bu naprýaženiýäniň 2-nji derejesine göni baglanyşyklydyr, ýagny:

$$\Phi \sim U^2.$$

Turbajygynyň katodynyň gyzdýrylyş derejesi üýtgände, ol tarapyndan wagt birliginde goýberilýän elektronlaryň sany hem üýtgeýär, ýa-da şoňa degişlilikde, turbajygynyň anod zynjyryndaky tok güýjüniň ululygy hem üýtgeýär. Şunlukda şöhlenenmäniň kuwwaty takmynan tok güýjüne göni baglanyşyklykda üýtgeýär, ýagny $\Phi \sim I$.

Şeýle hem şöhlenenmäniň kuwwaty elektronlaryň anod tarapyndan togtadylmak intensiwligine baglydyr, bu bolsa anodyň haýsy maddadan ybaratdygy (ýagny maddanyň tebigaty) bilen kesgitlenýär. Tejribeleriň görkeziji ýaly, anod maddasynyň çalşyrylmagy bilen elektronlaryň togtadylmagynda döreýän şöhlenenmäniň kuwwaty maddany düzýän elementiň atom tertip belgisine baglylykda göni baglanyşykly artýar, ýagny $\Phi \sim Z$.

Şeýlelik bilen, elektronlaryň togtadylmagynda döreýän şöhlenenmäniň energiýasynyň “ Φ ” akymy umuman alnanda “A” bilen “K”-nyň aralygynda goýulýan naprýaženiýäniň 2-nji derejesine (U^2), turbajygynyň zynjyryndaky tok güýjüne (I) we anody düzýän maddanyň atom tertip belgisine (Z) göni baglanyşyklydyr, ýagny:

$$\Phi = k \cdot U^2 \cdot I \cdot Z,$$

bu ýerde k – baglanyşyk koeffisiýenti ($k=10^{-9} \text{ W}^{-1}$).

10.5. RENTGEN ŞÖHLELERINIŇ MADDALAR BILEN ÖZARA TÄSIRI

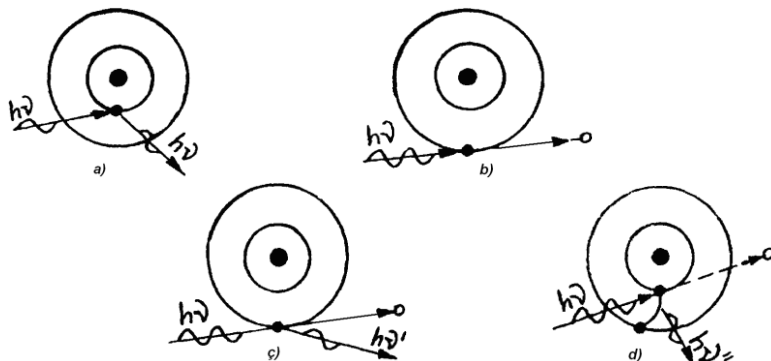
Rentgen şöhleleri maddanyň üstüne düşende onuň az bölegi maddanyň üstünden yzyna serpikýär, ýöne olaryň köpüsi esasan maddanyň içine çuňňur aralaşýarlar we onuň atomlarynyň elektronlary bilen özara täsir edişip, olar siňdirilýärler we dargaýarlar. Şunlukda olaryň has ýokary energiýa eýe bolan käbir bölegi atomlar bilen hiç hili täsire girişmän, maddanyň içinden göni geçip hem bilýärler.

Rentgen şöhleleri maddalara täsir edende şu aşakdaky hadysalaryň bolup geçmekligi mümkindir:

- a) kogerent dargama;
- b) fotoeffekt;
- ç) Kompton – effekt.

a) Kogerent dargama.

Belli bolşy ýaly, atomyň ýadrosyna ýakyn ýerleşýän içki gatlakdaky elektronlar ýadro bilen has güýçli (berk) baglanyşykda bolýandyrlar. Şeýle bolansoň fotonlar, haçan-da içki gatlakda ýerleşýän elektronlar bilen özara täsir edişende, diňe öz hereket ugurlaryny üýtgedýärler (10.4-nji “a” surat).



10.4-nji surat.

Şeýle ýagdaýda olaryň energiýasy we şoňa deňşlilikde, tolkun uzynlygy üýtgemän galýar. Bu hadysa **kogerent dargama** diýilýär. Kogerent dargama haçan-da fotonyň energiýasy ($E=h\cdot\nu$) ionizasiýa energiýasyndan (A_i) az bolan ýagdaýda ýüze çykýandyr, ýagny $h\cdot\nu < A_i$

b) Fotoeffekt.

Eger fotonyň energiýasy ($E = h\cdot\nu$) elektrony onuň orbitasyndan çykarmak (goparmak) üçin ýeterlik bolsa, ýagny $h\cdot\nu > A_i$, onda bolup geçýän özara täsir netijesinde foton siňdirilýär, elektron bolsa atomdan bölünip aýrylýar (10.4-nji surat “b”). Şu ýagdaýda maddanyň ionlaşmagy bolup geçýär, atomdan goparylan elektron bolsa kinetik energiýa eýe bolýar, ýagny $\frac{m\cdot V_e^2}{2} = h\cdot\nu - A_i$. Eger-de elektronyň eýe bolýan bu energiýasy uly bolsa, onda ol goňşy atomlary çaknyşmaklyk ýoly bilen ionlaşdyrýar (ikilenji ionlaşma).

Bu hadysa **fotoeffekt** diýilýär.

Eger fotonyň energiýasy elektrony goparmak üçin ýeterlik bolmasa (ýagny kiçi bolsa), onda atomyň ýa-da molekulanyň oýandyrylmagy bolup geçýär, munyň özi käbir maddalarda spektriň görünýän diapazonlarynda soňky şöhlemenäniň ýüze çykmanylygyna getirýär (rentgenolýuminessensiýa); organizmiň dokumalarynda bolsa, mysal üçin, molekulalaryň işjeňleşmegine we fotohimiki reaksiýalaryň bolup geçmekligine getirýär.

Fotoeffekt esasan energiýasy gaty uly bolmadyk

$$(E = 0,1 - 1 \text{ MeW})$$

fotonlara mahsusdyr we ol köplenç atomlaryň içki gatlaklarynda ýerleşýän elektronlarda bolup geçýändir.

Elektronlaryň atomlardaky we molekulalardaky baglanyşyk energiýasy adatyça “elektronWoltlarda” (eW) aňladylýar. **1 eW – bu elektrik meýdanynyň elektrony (e) naprýaženiýesi (U) 1 Wolta deň bolan nokatlaryň arasyna süýşürmek üçin sarp edýän işine (A) deňdir**, ýagny: $A = e\cdot U$;

$$1 \text{ eW} = 1,6\cdot 10^{-19} \text{ Kl}\cdot 1 \text{ W} = 1,6\cdot 10^{-19} \text{ J}.$$

Mysal üçin, wodorodyň atomynyň ionlaşmak energiýasy 13,6 eW deňdir.

ç) Kompton – effekt.

Eger fotonyň energiýasy ($E = h\cdot\nu$) elektrony atomdan goparmak üçin ýerine ýetirilýän işden (has takygy, işe sarp edilýän energiýadan) ep-esli köp bolsa, ýagny $E \gg A_i$, onda **Kompton** –

effekt (ýa-da başgaça **kogerent däl** dargama diýilip atlandyrylýan hadysa) bolup geçýär. Bu ýagdaýda elektron atomdan goparylýar (**şeýle elektronlara berilýän elektronlar diýilýär**), degişlilikde fotonyň energiýasy azalýar we şoňa baglylykda, onuň tolkun uzynlygy ulalýar, şeýle hem fotonyň hereket ugry üýtgeýär (10.4-nji surat “ç”). Şunlukda ýüze çykýan uly tolkun uzynlykly şöhlenenmä **ikilenji şöhlenenme** diýilýär, ol dürli ugurlar boýunça ýaýraýar. Eger **berilýän elektronlar** ýeterlik derejede ýokary kinetik energiýa eýe bolsalar, onda olar hem öz gezeginde goňşy atomlary çaknyşmaklyk ýoly bilen ionlaşdyrýarlar.

Kompton – effekt esasan atomyň ýadrogy bilen has gowşak arabaglanyşykda bolan (daşky gatlakda ýerleşýän) elektronlara fotonlaryň täsir etmekligi netijesinde döreýär.

Adam bedeniniň düzümine girýän dürli dokumalaryň we gurşawlaryň dykyzlyklary dürli-dürlidir. Aşakda olaryň dykyzlyklary görkezilendir (g/sm^3 ölçeg birliginde):

howa	0,0013
ýag	0,94
suw	1,0
myşsalar	1,04
kekirdewük	1,09
süňkler	1,9

Şu görkezijilere baglylykda adam bedeniniň dokumalary we organlary tarapyndan rentgen şöhlenenmesiniň siňdirilişi hem dürli derejede bolup geçýändir. Olaryň düzümine girýän maddalaryň rentgen şöhlenenmesini siňdirijilik koeffisiýenti şeýle ululyklara deňdir:

suw	1
howa	0,01
ýag dokumasy	0,5
kömürturşyly kalsiý	15
fosforturşyly kalsiý	22

Rentgen şöhlenenmesiniň täsiri astynda bedende dürli hadysalar ýüze çykýar. Ol hadysalar, esasan, rentgen şöhlenenmesiniň “gatylygyna” we “ýumşaklygyna”, intensiwligine we täsir ediş dowamlylygyna baglydyrlar.

Rentgen şöhlenenmesiniň biologiki täsiri şu aşakdaky hadysalaryň ýüze çykmaklygyna getirýär.

1. Gysgawagtlaýyn artykmaç şöhlenenmeden soň ganyň düzüminde wagtlaýyn üýtgeşmeler bolup geçýär.
2. Uzakdowamlaýyn artykmaç şöhlenenmeden soň ganyň düzüminde öwrülişiksiz üýtgeşmeler bolup geçýär (mysal üçin, gemolitiki anemiýa ýüze çykýar).
3. Rak keseli bilen kesellemeklik ähtimallygy ýokarlanýar (muňa leýkemiýa hem girýär).
4. Kataraktanyň ýüze çykmaklygyna sebäp bolýar.
5. Has çalt garramaklyga we irki ölüme getirýär.

10.6. MADDANYŇ ÜSTÜNDEN GEÇÝÄN RENTGEN ŞÖHLELERIŇ GOWŞAMAK KANUNY

Rentgen şöhleleriniň ilkinji akymy (dessesi) madda bilen özara täsir netijesinde gowşaýar. Bu hadysa **Bugerň kanuny** bilen beýan edilýär, oňa laýyklykda:

birdeň düzümlü maddanyň üst tarapyndan “d” çuňlukdaky gatlag a ýetýän monohromatik rentgen şöhlesiniň parallel dessesiniň I_d intensiwligi bilen şu maddanyň üstüne düşýän şöhläniň I_0 intensiwligi arasynda şeýle arabaglanyşyk bolýandyr:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu d};$$

bu yerde I_0 – rentgen şöhleleriniň maddanyň üst ýüzündäki intensiwligi;

I_d – rentgen şöhleleriniň maddanyň “d” çuňlugyndaky intensiwligi;

μ – şöhlenenmäniň gowşamaklyk koeffisiýenti.

Şöhlenenmäniň gowşamaklyk derejesini görkezýän μ ululyk maddanyň tebigatyna (esasan, onuň “p” gykzlygyna we “Z” atom tertip belgisine) we şöhlenenmäniň “ λ ” tolkun uzynlygyna (fotonyň energiýasyna) baglydyr, çünki bu ululyklar şöhle bilen maddanyň arasynda bolup geçýän özara täsir hadysasynda uly ähmiýete eýedirler.

Şöhleleriň madda bolan täsiriniň, hususan-da, organizmiň dokumalaryna bolan täsiriniň, onuň siňdirilýän mukdary bilen baglanyşyklydygyna görä, gowşamaklygyň koeffisiýentini (μ) iki koeffisiýentiň jemi hökmünde, ýagny şöhlenenmäniň hakyky siňdirilişini (μ_s) we dargamaklygyny (μ_d) häsiýetlendirýän koeffisiýentleriň jemi hökmünde görkezmek amatlydyr. Onda:

$\mu = \mu_s + \mu_d$. Şuny göz önünde tutup, Bugeriň kanunyny şeýle ýazmak bolar:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-(\mu_s + \mu_d)d}; \quad (68)$$

Birdeň düzümlü madda we monohromatik şöhlenenme üçin, siňdirilmek koeffisiýentiniň (μ_s) maddanyň tebigatyna (Z) we şöhlenenmäniň tolkun uzynlygyna (λ) bolan baglylygyny şeýle görnüşde aňlatmak bolar:

$$\mu_s = k \cdot \lambda^3 \cdot Z^4;$$

bu yerde k – baglanyşyk koeffisiýenti.

Eger maddanyň düzümine birnäçe elementler girýän bolsa (ýagny çylşyrymly düzümlü madda), onda olaryň her biriniň aýratynlykda ýönekeý atom tertip belgisinden we maddanyň näçe ululykly ülüşini düzýändiginden ugur alyp, onuň effektiv atom tertip belgisini (Z_{ef}) kesgitleýärler. Mysal üçin, $Z_{ef}=7,64$ (howa üçin); $Z_{ef}=7,4$ (suw üçin); $Z_{ef} \approx 6,0$ (bedeniň ýumşak dokumalary üçin); $Z_{ef}=13,8$ (adamyň süňki üçin) we ş.m.

Şeýle hem bedeniň dürli dokumalary tarapyndan şöhlenenmäniň siňdiriliş koeffisiýentini deňeşdirmek mümkinçiligi bardyr. Mysal üçin, ýokarda getirilen deňlik boýunça süňküň $\mu_{s.suw}$ [ol özünde $(Ca_3PO_4)_2$ – saklaýar] we ýumşak dokumanyň $\mu_{s.suw}$ (ol özünde H_2O saklaýar) şöhlenenmäni siňdiriş koeffisiýentini deňeşdirmek bolar. Ca, P, O, H – atom tertip belgisi degişlilikde 20, 15, 8, 1 – deňdir. Hemişelik “ λ ” ululykda bu sanlary şol deňlige goýup, alarys:

$$\frac{\mu_{s.sünk}}{\mu_{s.suw}} = \frac{3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3}{2 \cdot 1^3 + 8^3} = 68$$

ýagny bedeniň süňk dokumasy rentgen şöhlenenmesini ýumşak dokuma garanda takmynan 68 esse köp siňdirýär.

Elektronlaryň togtadylmagy bilen rentgen turbajygynda ýüze çykarylýan rentgen şöhlenenmesi üçin, adaty, hemişelik “ λ ” hökmünde şöhlenenmäniň maksimum energiýasyna (E_m) gabat gelýän λ_{Em} tolkun uzynlygy göz önünde tutulýar.

Lukmançylykda fotonlarynyň energiýasy ortaça 60-dan 200keW (kiloelektron Wolt) çenli bolan rentgen şöhleleri ulanylýarlar. Ol atom tertip belgisi $Z = 1-8$ -den (ýumşak dokumalar: H, C, N, O) $Z = 15-20$ -ä çenli (süňküň mineral maddalary) bolan elementlerden durýan maddalar bilen özara täsir edişýär. Fotonlaryň energiýasy takmynan 80-keW-dan kiçi bolsa, **onda fotoeffekt**, eger 80-keW-dan uly bolsa – **onda Kompton-effekt** hadysasynyň bolmaklygy agdyklyk edýär.

Görkezilen ilkinji hadysalar (kogerent dargama, fotoeffekt we Kompton-effekt) birnäçe ikilenji hadysalaryň döremegine getirip biler. Mysal üçin, eger fotoeffektde içki gatlakda ýerleşýän elektronlar atomlardan goparylan bolsa, onda olaryň ýerine has ýokary gatlakda ýerleşýän elektronlar geçip bilerler, bu geçiş berlen maddada ikilenji häsiýetli şöhlenenmäniň ýüze çyk-maklygy bilen bolup geçýär (10.4-nji surat “d”). Bu seredilen iki hadysanyň şol bir wagtyň özünde bolup geçmekligine şertleýin “çylşyrymly” hadysa diýilýär.

Kompton-effektinde dargaýan şöhlelenmäniň fotonlary, goňşy atomlaryň elektronlary bilen özara täsir edişip, olarda ikilenji hadysalaryň ýüze çykmaklygyna getirip bilerler. Bu hadysalaryň hemmesiniň netijesinde esasan ionlaşmak bolup geçýär, şeýle hem maddanyň atomlary we molekulalary oýandyrylýarlar we uzyn tolkunly ikilenji rentgen şöhleleri döreýär.

Has “gaty” (gysga tolkunly) rentgen şöhleleriniň, maddalaryň galyň bolmagyna garamazdan olaryň üstünden atomlar bilen hiç hili täsirle girişmän geçip biljekdigi göz önünde tutulmalydyr. Bu şöhleler, edil ikilenji – ýaýraýan şöhleler ýaly, daşky maddalaryň üstüne düşüp bilerler we şoňa görä-de howpsuzlygy üpjün etmeklik üçin olardan degişli görnüşde goranmak çäreleri amala aşyrylmalydyr.

Ýeňil metallar (mysal üçin, alýuminiý) öz üstlerinden aňsatlyk bilen rentgen şöhlelerini (aýratynam, gysga tolkunly rentgen şöhlelerini) geçirýärler; agyr metallar bolsa (mysal üçin, mis) olary ep-esli derejede saklaýarlar. Metallaryň şeýle häsiýetleri olary rentgenologiyada dürli maksatlar üçin ulanmaklyga mümkinçilik berýär: alýuminiý “ýumşak” şöhleleri saklaýan süzgüç hökmünde ulanylýar; mis has “gaty” şöhleleri geçirmezlik üçin päsgeçlik döredýän madda hökmünde ulanylýar; gürşun bolsa – olardan doly goranmak üçin ulanylýar.

10.7. RENTGEN ŞÖHLELENMESINIŇ MEDISINADA ULANYLYŞY

Rentgenodiagnostika – bu rentgen şöhleleriniň kömegi bilen keselleriň anyklanylmak usulydyr. Bu usulyň fiziki esasy bolup bedeniň ak ýagtylyk üçin dury bolmadyk ýerlerinden rentgen şöhleleriniň geçip bilijilik ukyplygy durýandyr.

Rentgen şöhleleriniň (RŞ) maddanyň içinden geçip bilijilik ukyplygy birnäçe ýagdaýlara baglydyr. Olaryň iň esaslaryna RŞ-niň tolkun uzynlygy (“gatylygy” ýa-da “ýumşaklygy”), şeýle hem maddanyň ýukalygy-galyňlygy we elementiň tertip belgisi degişlidirler. Netijede rentgen şöhlelenmeleri adam bedeniniň dürli organlary we dokumalary tarapyndan birdeň derejede siňdirilmeýärler we gowşadylmaýarlar.

Rentgenodiagnostikanyň **rentgenoskopiýa** we **rentgenografiýa** usullary ulanylýarlar.

Rentgenoskopiýa – bu adam bedeniniň organlary we dokumalary şöhlelendirilende flýuoressirlenýän ekranda gyraýan däl kontrast kölege şekiliň alynmaklygyna esaslanýan wizual diagnostika usulydyr. Bedeniň barlanýan ýeri rentgen şöhlelenmesiniň çeşmesi (rentgen turbajygy) bilen flýuoressirlenýän ekranyň arasynda ýerleşdirilýär. Ekranda barlanýan ýeriň kölekeli şekiliniň suratlandyrylmasy alynýar. **Ol pozitiw şekili berýär.** Mysal üçin, döş kapasasy şöhlelendirilende dürli intensiwlikli 3 görnüşli – kölekeli şekil alynýar: özünde süňki saklaýan bölekleriň has dykyz (gara) kölekeli şekiller (gapyrgalar, ýajyklar, oňurgalyklar); pes intensiwlikli (deri, ýag öýjükligi, myşsalar, damarlar, nerwler) kölekeli şekiller we howany saklaýan öýkenleriň dury “kölekeli şekilleri”. Öýkenler kesellände patologiki suratlandyрма görülýär.

Rentgenoskopiýa içki organlaryň barlaglarynda, dürli organlaryň fiziologiki hereket hadysalarynda (ýüregiň pulsator ýygrylmalarynda), şeýle hem çiş döremeleriniň ýerleşýän ýerleriniň anyklanmagynda (bu örän wajypdyr) möhüm ähmiýete eýedir.

Rentgenografiýa – bu kassetada ýerleşdirilen ýörite rentgen plýonkasynda adam bedeniniň organynyň ýa-da onuň käbir böleginiň rentgen turbajygynyň döredýän şöhlelenmesiniň kömegi bilen surata düşürilmek usulydyr. Mysal üçin, barlanýan obýekt (diz bogny) surata düşürilende ol özünde rentgen plýonkasy bar bolan kassetanyň üstünde ýerleşdirilýär. Has ýiti şekili almaklyk üçin kýuwetada flýuoressirlenýän ekran ýerleşdirilýär. Rentgen turbajygy obýektiň ýokarsynda ýerleşýär. Alnan **surat negatiw** şekili berýär. Rentgenografiýanyň kömegi bilen barlanýan obýektiň has ownuk struktura böleklerini ýüze çykarmak bolýar, bu bolsa onuň rentgenoskopiýa bilen deňeşdirilende artykmaçlygy bolup durýandyr. Rentgen suraty – **rent-**

genogramma adam organizmi kesellände onda bolup geçýän üýtgeşmelere obýektiw baha bermek we soň ony gaýtadan deňeşdirmek üçin zerur bolan ýazgy bolup durýandyr.

Rentgenografiýada berlen (seredilýän) pursatda fotoplýonkada organyň ýagdaýy baradaky maglumat fiksirlenýär. Rentgenografiýanyň käbir wagt geçenden soň gaýtadan geçirilmekligi organyň soňky üýtgeşmeleri barada baha bermeklige mümkinçilik döredýär.

Rentgenoterapiýa – bu bejeriş maksatlary üçin rentgen şöhlemenmesiniň ulanylmagydyr. Rentgen şöhlemenmesiniň biologiki täsiri yzygiderleýin ýüze çykýan üç tapgyrda bolup geçýän hadysalardan ybaratdyr. **1. Birinji** – fiziki hadysa – suwuň molekulalarynyň we ýönekeý molekulalaryň ionlaşmagy. **2. Ikinji** – ionlaşmak netijesinde bolup geçýän himiki täsir, ol erkin radikallaryň (OH^\cdot , H_2O_2 , O^{2-}) döremekligine getirýär. Belli bolşy ýaly, erkin radikallar ýokary okislendiriş ukyplygyna, dargadyjy we şikeslendiriş täsirine eýedirler. **3. Üçünji** – hususan-da biologiki täsir, ol öýjüklerde we dokumalarda dürli derejeli funksional we morfologiki üýtgeşmeleri ýüze çykarýar we hatda olaryň ölümüne hem getirin bilýär. Şöhlemenmäniň öýjüklere we dokumalara täsir ediş häsiýeti we intensiwligi olaryň individual duýgurlygyna, ýaşayş ukyplygyna; gurşawyň ýagdaýyna, şeýle hem organizmiň umumy ýagdaýyna we alan dozasyňa baglydyr. Dürli öýjükleriň we dokumalaryň rentgen şöhlemenmesine bolan duýgurlygy birmeňzeş däl, bu bolsa rentgenoterapiýada möhüm ähmiýete eýedir.

Rentgen şöhleleriniň sagdyn öýjüklere we dokumalara garanda patologiki öýjüklere we dokumalara has ýokary derejede biologiki täsiriniň bardygy anyklanandyr. Hut şu ýagdaý hem rentgen şöhlemenmesiniň ulanylmagy bilen patologiki öýjükleriň we dokumalaryň bejeriliş esasyny düzýändir, ýagny olar özlerini gurşap alan sagdyn öýjükler we dokumalara garanda has calt olýärler. Umumy şöhlemenmede bir gezekde alynýan doza 14 Greý (Gr) bolsa ol adamyň ölümüne getirýär. Şöhlemenmede bir gezekki alynýan doza 0,3-0,4 Greýden ýokary bolmaly däl, netijeýji doza bolsa 3-6 Gr bolmalydyr.

Şöhlemenmäniň siňdiriliş dozasyňyň birligi bolup **greý** (Greý) hyzmat edýär. **Greý** - bu şöhlelendirilýän 1 kg massaly madda tarapyndan ionlaşdyryjy şöhlemenmäniň 1 J (Joul) energiýasynyň siňdirilişini görkezýän ululykdyr.

Bölekleyin şöhlemenmäniň ulanylmaklygy deriniň has döz gelýän we her bir meýdana netijeýji dozany ýokarlandyrmaklyga mümkinçilik berýän şöhlemenme hökmünde bejeriş maksatlar üçin giň ýaýran usul bolup durýandyr.

Rentgenoterapiýa dürli täzedöremeleriň bejerilişinde ulanylýar. Çiş keselleriniň bejerilişinde bir gezekki alynýan doza 0,3-1,0 Gr we netijeýji doza 2,0-5,0 Gr deňdir, olaryň wagt aralygy 3-günden 5-güne çenli we ondan hem ýokary bolup biler. Şeýle hem ol nerw ulgamynyň funksional bozulmalary tarapyndan döredilýän keselleriň bejerilmeginde goşmaça usul hökmünde ulanylýar.

Rentgen şöhlemenmesi özbaşdak bejeriş usuly hökmünde, şeýle hem beýleki usullar bilen bilelikde (mysal üçin, ultrases bilen) ulanylyp bilinýändir.

10.8. RENTGEN ŞÖHLESI BILEN ANYKLAMAKLYGYŇ HÄZIRKI ZAMAN USULLARY

Elektrorentgenografiýa adaty rentgenografiýadan şekiliň alynýş usuly boýunça tapawutlanýar. Bu ýagdaýda rentgen şöhlelemesiniň dessesi adam bedeniniň üstünden geçip plýonkaly kasseta täsir etmän, duýujylygy ýokary bolan selen tekizçesine täsir edýär. Surat alynmazdan oň selen tekizçesini kesgitli ululykly potensiallaryň tapawudyna çenli statiki elektrik meýdany bilen zarýadlandyrýarlar. Şöhlemenme tekizçäniň potensialyny onuň dürli ýerlerine rentgen şöhlemenmesiniň fotonlarynyň akymynyň dürli derejede düşýändigine baglylykda üýtgedýär. Netijede tekizçäniň üstünde elektrostatiki zarýadlar tarapyndan obýektiň görünmeýän

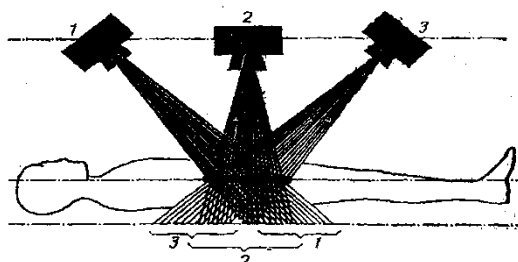
şekli döredilýär. Şekli wizuallaşdyrmak üçin tekizçäniň üstüne ýörite garamtyl polisterol poroşogy çäýylýär. Çäýylan şekil tekizçeden kagyza geçirilýär we asetonyň buglary bilen fiksirlenýär. Gysga wagtyň içinde (30-60 s) gaýtadan surat çykarmazdan tekizçege obýektiň görünýän rentgen şekili alynýar. Elektrentgenografiýada ýörite gurluş bar, ol 2-3 minudyň içinde şekili tekizçeden kagyza geçirmeklige mümkinçilik berýär. Tekizçäni 1000 surata çenli ulanyp bolýar.

Elektrorengonografiýanyň artyk tarapy gymmat bahaly rentgen plýonkasyny ulanmazdan köp sanly suratlaryň çalt çykarylyp bolunýanlygyndan ybaratdyr.

Flýuorografiýa – bu ekrandaky rentgen şekiliň suratynyň alynmagydyr. Bu usulyň işleýiş prinsipi örän ýönekeýdir – ol ýagtylanýan ekrandan rentgen şekiliň fotoplýonka suratynyň alynmagyndan ybaratdyr. Flýuorografiki plýonkanyň tygşytlanmagy, şeýle hem surat almaklyk üçin rentgenogramma garanda az wagtyň sarp edilmekligi bu usulyň artykmaçlygy bolup durýandyr. Şoňa görä-de bu usuly amaly taýdan ilatyň köp bölegini köpçülikleýin lukmançylyk gözegçiliginden geçirmek üçin ulanýarlar.

Tomografiýa – bu gatlaklaýyn rentgen barlagyň geçirilmegidir. "Tomografiýa" sözi grek dilinde "tomo" – gatlak we "graf" – ýazýaryn, düşürýärin diýen manyny aňladýandyr. Adaty **rentgenogramma garyşyk** şekili berýär – ýagny şöhleleriň geçýän ýolunda ýerleşýän şekilleriniň biri-biriniň üstüne goşulyşmagy bolup geçýär. Şunlukda, bedeniň barlanýan bölekleri (dokumalary) dürli çuňlukda (gatlakda) ýerleşýändirler we olar plýonkanyň tekizliginde goşulyşyp, jemleýji çylşyrymly kölegäni (şekli) emele getirýärler. Patologiki döremäniň şekiline ýanaşyk organlaryň we dokumalaryň kölekeleri gatlaklaýyn seplesýärler. Barlagyň ähmiýeti kesgitli organyň ýagdaýynyň anyk kesgitlenmeginden, onuň dokumalarynyň umumy alnan şekiliň kölekelerinden aýyl-saýyl edilmeginden ybaratdyr. Şeýle netijäni gazanmak üçin şekiliň gatlaklaýyn alynmak usuly ulanylýar.

Tomografiýada surata alnanda rentgen turbajygy we plýonkaly kasseta pasiýente görä tersine sinhron süýşürilýär (10.5-nji surat).



10.5-nji surat. Tomografiýanyň prinsipi. 1, 2, 3- sanlar bilen rentgen turbajygynyň we plýonkanyň yzygider ýerleşiş ýagdaýlary görkezilendir.

Şunlukda plýonkada berlen (belli bir) çuňlukda ýerleşýän dokumanyň bölekleriniň ýiti şekili alynýar, ol çuňlukdan ýokarda ýa-da aşakda alynýan şekil ýiti däl-de, garyşyk, “bulaşyk” bolýar. Ýiti şekiliň alynmaklygyna zyýan berýän (päsgelçilik döredýän) dokumalaryň “aýrylmaklygy” rentgen turbajygy bilen kassetanyň göni çyzyk boýunça, duga boýunça, töwerek boýunça ýa-da has çylşyrymly traýektoriya boýunça süýşürilmegi bilen gazanylýar.

Göniçyzykly görnüşde hereketlenýän tomografiýada kasseta saklanýan gurluş bilen turbajyk bütewi bir ulgama birleşdirilýär. Olar surata alynýan wagty garşylykly tarapa hereketlenýärler. Şunlukda hereket merkeziniň üýtgedilmegi bilen barlanýan obýektiň islendik gatlagynyň ýiti şekilini almak bolýar. Şonuň üçin şeýle usula gatlaklaýyn rentgen şekiliň alynmaklygy ýa-da tomografiýa diýilýär.

Käbir kassetalarda bir wagtyň özünde dürli çuňlukda birnäçe plýonkalar ýerleşdirilýärler. Plýonkalar obýektden dürli aralykda ýerleşýärler we degişlilikde, olarda onuň dürli gatlaklary suratlandyrylýarlar. Şeýlelikde, bir wagtyň özünde birnäçe gatlaklaryň şekili alynýar, bu bolsa

barlag wagtyňy we näsaga düşýän şöhle ýüklenmesini azaldýar. Şeýle modifikasiýa köp-gatlaklaýyn tomografiýa diýilýär.

Kompýuter rentgen tomografiýasy

Kompýuter rentgen tomografiýasynda rentgen turbajygy we şöhlelenmäni kabul ediji enjam pasiýentiň bedeniniň daşynda edil tomografiýadaky ýaly hereketlendirilýärler, ýöne obýektiň üstünden geçýän rentgen şöhlelenmesiniň dessesi köp sanly datçikler (detektorlar) tarapyndan registrirlenýärler. Detektorlar organizmiň dürli dokumalary tarapyndan şöhlelenmäniň dürli derejede siňdirilişine baglylykda olaryň arasynda ýüze çykýan örän az ululykly aratapawudy duýýarlar. Şeýlelikde, datçikler tarapyndan alnan maglumatlar güýçlendirilýärler we san ýazgysynda kompýuter bilen registrirlenýärler. Olar soňra telewizoryň ekranynda özgerdilýärler.

Kompýuter rentgen tomogramalary kelle beýnisiniň anatomiki strukturalaryny, öýkenleri we gursakara organlaryny, bagry, aşgazanasty mäzi, böwrekleri, çanaklyk organlaryny we beýlekileriň şekilini berýärler.

Kompýuter rentgen tomografiýasy usuly bedeniň dürli dykzylykly dokumalary tarapyndan rentgen şöhlelenmesiniň siňdiriliş görkezijisiniň ölçelmegine esaslanýandyr. Bu görkezijileriň işlenmegi netijesinde EHM-de organyň 3-5 mm galyňlygynyň kese we boý kesimleriniň gatlaklaýyn şekili döredilýär, olar gara-ak reňkli şekilleri görkezýän telewizoryň ekranyna berilýärler. Beýniniň we içki organlaryň dürli bölekleri tarapyndan şöhlelenmäniň siňdiriş derejesiniň mukdar häsiýetlendirmesi şertleýin birliklerde aňladylýan san görnüşinde alynýar. Ölçeg ulgamy dykzylyklarynyň aratapawudy örän kiçi bolan, biri-birlerinden bary-ýogy 0,5% tapawutlanýan dokumalary saýgarmaklyga mümkinçilik berýär.

Kompýuter tomografiýasy barlaglaryň beýleki usullaryndan tapawutlylykda organlaryň esasy strukturalaryny we olardaky üýtgeşmeleriň göniden-göni şekilini olara goşmaça radionuklidleriň we kontrast maddalaryň girizilmezliginden almaklyga mümkinçilik berýär. Şonuň üçin kompýuter tomografiýasy angiografiýany ulanmak zerurlygyndan boşadýar.

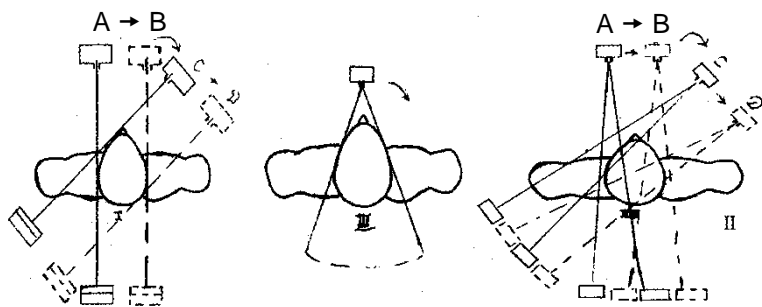
Islendik kompýuter tomografynyň düzümine şular girýärler:

- 1) skaner, ol rentgen şöhlelenmesiniň çeşmesinden, detektorlardan we olaryň degişli görnüşde orunlarynyň üýtgedilmegini üpjün edýän ulgamdan ybaratdyr;
- 2) detektorlaryň hereketlenýändigini hasaba almak bilen olaryň registrirleýän maglumatlaryny özgerdiji ulgam;
- 3) şekiliň dikeldilmegi üçin zerur bolan hasaplamalary ýerine ýetirýän ýöriteleşdirilen EHM;
- 4) ýazgylar ulgamy.

Kompýuter tomograflarynyň tehnologiýa taýdan yzygider kämilleşdirilmegi netijesinde olaryň birnäçe esasy kysymlary – “nesilleri” döredildi.

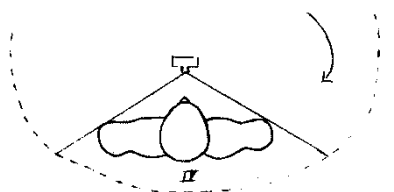
Olar biri-birlerinden rentgen şöhlelenmesiniň çeşmesiniň häsiýetlendirmeleri, mukdary, ýerleşmek ýagdaýlary we skaner bilen barlanýan obýektiň özara orun üýtgediliş usuly hem-de anyklanylyşyň goýulyş wagty bilen tapawutlanýarlar. Anyklanylyşyň goýulyş wagty I-nesil tomograflarynda 20 minut; II- nesilde – 5 minut; III- nesilde 1-2 minut, IV- nesilde 5 sekunt; III we IV- nesil tomograflarda rentgen şöhlelenmesiniň örän giň ýelpewaç görnüşli desseleri we köp sanly (degişlilikde: 300 we 1000 sany) detektorlar ulanylyp başlandy. Şeýle tomograflarda bedeniň ähli organlarynyň gatlaklaýyn barlaglaryny geçirip bolýar (10.6-njy we 10.7-nji suratlar).

I-III –nesil kompýuter rentgen tomograflaryň işleýiş prinsipiniň shemasy



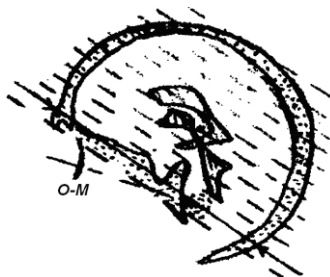
10.6-njy surat.

IV-nesil kompýuter rentgen tomograflaryň işleýiş prinsipiniň shemasy



Orbitomeatal çyzyklara parallel bolan tekizliklerde kelle beýnisiniň “kesimleriniň” shemasy.

O-M- orbitometal çyzyklar



10.7-nji surat.

Kompýuter tomografiýasynda anyklanmak göniden-göni we göni däl alamatlaryň ýüze çykarylmalýgyna esaslanýandyr.

Göniden-göni çykýan alamatlara dokumalaryň lokal ojak üýtgeşmeleri degişlidir, olar dykzlyklary boýunça organyň sagdyn, simmetriki ýerleşen ýerlerinden tapawutlanýarlar.

Göni ýüze çykmaýan alamatlara organlaryň süýşmekligi we olaryň görnüşleriniň hem-de ýagdaýlarynyň üýtgemekligi (gan öýme, çişler, pökgermeler we beýlekiler) girýärler.

Amaly taýdan kompýuter tomografiýasy häzirki wagtda kelle beýni keseliniň barlaglarynda ultrases (US) enjamlarynyň ulanylyşyny gysyp çykarýar we beýleki patologiýalarda ulanylyşy boýunça birinji ýere saýlanmagyny dowam edýär. Ýöne kompýuter tomografiýasynyň ýürek we aşgazan-ichege ýolunyň kesellerinde ulanylyşynyň käbir çäklendirmeleri bardyr.

Aýratynam bu usulyň neýrohirurgiýada, ginekologiýada – göwrüm şekiliniň anyklanylmagynda, howply täze döremeleriň bilinmekliginde we olaryň ýanaşyk struktura dar-gamagynda berýän maglumaty ýokarydyr. Kompýuter tomografiýasynyň kömegi bilen bagyrdaky, böwreklerdäki, aşgazanasty mäsädäki we iç boşlugynyň beýleki organlaryndaky patologiki üýtgeşmeleriň şekili alynýar. Anyklanyşda kompýuter tomografiýasy bilen bilelikde US-usullarynyň ulanylmaklygy has ýokary netijäni berýär. Soňky döwürde alynýan maglumatlar rentgenostruktura we US-barlaglarynyň arasynda ýokary derejeli korrelýasiýanyň bardygyny görkezýär.

Kompýuter rentgen tomografiýasynyň aýratynlyklaryna şular degişlidirler:

1 – olaryň ýokary çözüjilik (aýdyňlaşdyryjylyk) ukyplylygy (dykzlyklary boýunça 0,5% tapawutlanýan dokumalar saýgarylýarlar; adaty rentgenogrammada bolsa, dykzlyklary boýunça diňe 10-20% tapawutlanýan dokumalar saýgarylýarlar);

2 – gurşawyň 3-5 mm galyňlykly ýuka tekizliginde organlaryň strukturasynyň aýdyň şekiliniň alynmaklygy;

3 – barlanýan dokumalaryň dykzlyklaryna mukdar taýdan baha berilmekligi.

1979-njy ýylda kompýuter rentgen tomografiýasynyň döredilmegi bilen baglanyşykly işler üçin G.Haunsfilde we Mak-Kormaka (ABŞ) Nobel baýragy berildi.

Elektrokimografiýa

Organlaryň funksiýalaryny registrasiýa etmekligiň ýörite rentgenologiki usullary bardyr – olara elektrokimografiýa we rentgenokimografiýa degişlidirler.

Rentgenokimografiýa usulynda rentgen şöhlemenmesiniň insizje dessesi bilen plýonkada ýa-da kagyzda ýazgy geçirilýär.

Elektrokimografiýada flýuoroskopiki ekranyň aňyrsynda fotoelement ýerleşdirilýär, ol barlanýan organyň ornunyň üýtgedilmegine baglylykda ekranyň şöhleniş ýagtylygynyň şekilini registrirleýär.

Fotoelektriki gurluşda ekranyň ýagtylygynyň üýtgemekligi elektrik togunyň yrgyldylaryna özgerdilýär, olar bolsa ossillografyň kömegi bilen kagyz lentasyna ýazylýar. Alynan elektrokimogrammalar ýüregiň we damarlaryň, öýkenleriň bölümleriniň funksiýalaryna baha bermekde ulanylýar.

Urokinematografiýa usuly

Urokinematografiýa usuly urologiki keselleriň anyklanylmagynda giňden ulanylýar. Bu usul rentgen şöhleleriniň we kinosuratlaryň kömegi bilen kontrast peşew ýollarynyň hereket funksiýasyny öwrenmeklige mümkinçilik berýär. Filmiň görülmegi peşew ýollarynyň motor funksiýasyny öwrenmeklige mümkinçilik berýär.

XI. ATOMYŇ ÝADROSY. RADIOAKTIWLIK

11.1. ATOMYŇ ÝADROSYNYŇ GURLUŞY

Islendik elementiň atomynyň merkezinde položitel zarýadlanan ýadro bardyr, onuň töwereginde bolsa kesgitli orbitalar boýunça elektronlar aýlanýandyrlar. Atomyň massasynyň esasy bölegi onuň merkezinde, ýagny ýadroda toplanandyr.

Atomyň ýadrolary elementar bölejiklerden, ýagny protonlardan we neýtronlardan durýandyrlar, olara **nuklonlar** diýilýär.

Erkin ýagdaýda protonlar we neýtronlar – özbaşdak bölejiklerdirler, emma ýadroda olar belli bir täsir esasynda biri-birine öwrülüp bilýärler we şonda olar şol bir bölejigiň dürli ýagdaýlary hökmünde seredilýär. Erkin nuklonyň dynçlyk massasy 1 m.a.b (massanyň atom birligine) ýakyndyr.

1 m.a.b deregine 12 massa sanly uglerodyň izotopynyň massasynyň $\frac{1}{12}$ bölegi kabul edilendir.

$$1 \text{ m.a.b} = 1,66043 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

$$\text{Protonyň massasy } m_p = 1,00728 \text{ m.a.b.}$$

$$\text{Neýtronyň massasy } m_n = 1,00867 \text{ m.a.b.}$$

Elektronyň zarýady elementar “e” zarýada deňdir. Elementar zarýad zarýadyň birligi deregine kabul edilýär.

$$e = 1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$$

Protonyň zarýady elektronyň zarýadyna deňdir, ýöne onuň položitel zarýady bardyr.

Neýtronyň zarýady ýokdur.

$$\text{Elektronyň massasy } m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg.}$$

$$\text{Protonyň massasy } m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg, diýmek, } m_p \approx 1836 m_e.$$

$$\text{Nuklonyň spini } S = \frac{1}{2} \hbar,$$

bu ýerde \hbar – Plankyň hemişeligi (bölejikleriň impulslarynyň momentini görkezýär).

$$\hbar = \frac{h}{2\pi}.$$

Öň belläp geçişimiz ýaly (VII-BAP), ýagtylygyň şöhlelendirilişi we siňdirilişi bilen baglanyşykly käbir fiziki hadysalarda ýagtylyk özüni bölejikleriň akymy hökmünde alyp barýar. Bu bölejiklere **fotonlar** diýilýär. Fotonyň energiýasy şeýle kesgitlenýär:

$$E = h\nu = 2\pi \hbar \nu = \hbar\omega$$

$$\omega = 2\pi\nu \text{ (aýlaw ýygylgy)}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s.}$$

$$\text{Protonyň magnit momenti } p_p = 2,79 \mu_{ya}$$

$$\text{Neýtronyň magnit momenti } p_n = 1,91 \mu_{ya}$$

bu ýerde μ_{ya} – ýadro magnetony.

$$\mu_{ya} = \frac{1}{1836 \mu_B}; \text{ bu ýerde } \mu_B - \text{Boryň magnetony.}$$

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,93 \cdot 10^{-23} \text{ J/T (Т-Тесла).}$$

μ_B elektronlaryň magnit momentini görkezýär.

Ýadrodaky protonlaryň sany elementiň Z atom nomerine deňdir. Degişlilikde, ýadronyň zarýady $q_{ya} = e Z$. Ýadrodaky nuklonlaryň umumy sany onuň massa sany “A” bilen kesgitlenýär. Ýagny ýadronyň düzümine girýän protonlaryň we neýtronlaryň sanyna massa sany “A” diýilýär.

Massa sany – bu elementiň (izotopyň) massanyň atom birliginde (m.a.b) aňladylan atom massasyna ýakyn bolan bitin sandyr.

Ýadroaky neýtronlaryň N sany elementiň (izotopyň) atom nomeri Z bilen massa sany A arasyndaky tapawuda deňdir, ýagny: $N = A - Z$.

Izotoplar.

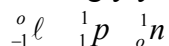
Şol bir elementiň atomlarynyň ýadrolary birmeňzeş zaryadly (deňsanly protonly), ýöne dürli sanly neýtronlary bilen biri-birinden tapawutlanyp bilerler. **Şeýle ýadrolara izotoplar diýilýär.**

Diýmek, berlen elementiň izotoplary biri-birlerinden diňe neýtronlarynyň sany bilen tapawutlanýarlar. Şeýlelikde izotoplar birmeňzeş atom nomerine Z (birmeňzeş protonlaryň sanyna) hem-de dürli massa sanyna “A” (ýagny dürli nuklonlaryň sanyna) eýedirler.

Uranyň izotoplary

Atom	Protonlaryň sany	Neýtronlaryň sany	Elektronlaryň sany	Tebig. gabat gelişi
$^{234}_{92}\text{U}$	92	142	92	0,0057%
$^{235}_{92}\text{U}$	92	143	92	0,72%
$^{238}_{92}\text{U}$	92	146	92	99,27%

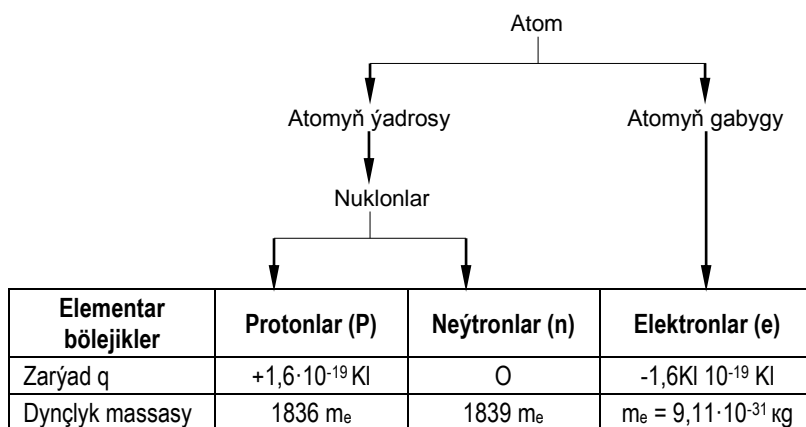
Ýadro elementiň himiki simwoly “X” bilen belgilenýär. Ol simwolyň aşagynda “Z” indeksi goýulýar, ýokarsynda bolsa “A” indeksi goýulýar, ýagny ^A_ZX . Elektron “e”, proton “p” we neýtron “n” harplar bilen belgilenýär we şuna baglylykda, olar şeýle görkezilýärler:



bu ýerde: Z – elementiň atom nomeri; ol ýadroaky protonlaryň sanyna, ýadro gabyklaryndaky elektronlaryň sanyna we ýadronyň elektrik zaryadyna deňdir.

$A = Z + N$ – massa sany, ol ýadroaky nuklonlaryň (protonlaryň we neýtronlaryň) sanyna deňdir.

Ýokarda aýdylanlary göz önünde tutup, atomyň gurluşyny shematiki şeýle görnüşde görkezmek bolar:



Ýadronyň radiusy ýakynlaşdyrylan deňlik boýunça şeýle kesgitlenýär:

$$r_{ya} \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{A} \text{ m} = 1,4 \sqrt[3]{A} \text{ fm.}$$

Bu ýerde $10^{-15} = 1 \text{ fm}$ (femrtometr). Bu birlik ölçeg ulgamyndan daşgary kabul edilen birlikdir. Şu alnan ululyk ýadronyň radiusynyň atomyň radiusyndan 10^5 esse kiçidigini görkezýär.

Ýadrodaky nuklonlar aýratyn güýçler bolan **ýadro güýçleriniň** özara dartylmasy bilen baglanyşyklydyrlar. Olar protonlaryň arasynda özara elektrostatiği itişme güýçleriniň bolmaklygyna garamazdan, nuklonlary saklaýarlar we edil özbaşdak döreme hökmünde ýadronyň ýeterlik derejede durnuklylygyny we berk bolmaklygyny üpjün edýärler.

Ýadro güýçleriniň şular ýaly häsiýetlendirmeleri bardyr.

1) Ýadro güýçleri gysgawagtlayyn täsir edýändirler. Olar diňe ýadronyň öz ölçeglerine deň bolan aralykda, ýagny 10^{-13} sm aralykda täsir edýärler. Nuklonlaryň arasyndaky aralyk ulaldygyça olaryň täsiri gowşaýarlar we $10\text{-}12 \text{ sm}$ aralykda olar amaly taýdan nola deň bolýarlar.

2) Ýadro güýçleri güýçli täsire eýedirler. Olar tebigatda belli bolan islendik beýleki özara täsir ediji güýçlerden birnäçe esse ýokarydyr.

3) Ýadro güýçleri nuklonlaryň arasynda olaryň elektrik zaryadyna baglanyşyksyzlykda täsir edýärler. Beýle diýildigi olaryň iki neýtronyň arasynda, neýtron bilen protonyň arasynda, şeýle hem iki protonyň arasynda täsir edýändigini aňladýar. Bu häsiýete **ýadro güýçleriniň zaryad garaşsyzlygy** diýilýär.

4) Ýadro güýçleriniň doýgunlyk häsiýeti bardyr, ýagny her bir nuklon diňe ony gurşap alan kesgitli nuklonlara täsir edýär. Şeýle bolansoň ýadrodaky nuklonlaryň sanynyň köpelmegi bilen ýadro güýçleri artýan däl (edil şuna meňzeş ýagdaýda güýçleriň artmaklygy protonlaryň arasyndaky elektrostatiği itişme güýçlerinde ýüze çykýandyr).

Atom ýadrolarynyň durnuklylygy ýadrodaky nuklonlaryň umumy sanyna (A) baglydyr, şeýle hem neýtron – proton gatnaşygyna ($\frac{N}{Z}$) baglydyr. Nuklonlarynyň sany köp bolmadyk we deň sanly protonlary we neýtronlary bolan ($\frac{N}{Z}=1$) ýeňil ýadrolar has berk bolýarlar. Bu aýdylanlar aýratynam neýtronlarynyň we protonlarynyň sany jübt bolan ýadrolara degişlidir (“jübüt – jübüt” ýadrolar). Ýadrodaky nuklonlaryň umumy sanynyň köpelmegi bilen, aýratynam neýtronlaryň protonlara görä san artykmaçlygy boýunça ($\frac{N}{Z}>1,6$), ýadronyň durnuklylygy gowşaýar. Şu sebäbe görä soňky hatardaky elementleriň öz-özünden dargamagy bolup geçýär, bu hadysa **radioaktiwlik** diýilýär.

Protonlarynyň ýa-da neýtronlarynyň sany 2, 8, 20, 50 we 82 deň bolan jübüt-jübüt ýadrolaryň aýratynam durnukly (berk) bolýandygy anyklanandyr.

11.2. RADIOAKTIWLIK. DARGAMAKLYGYŇ GÖRNÜŞLERI

Radioaktiwlik diýilip kesgitli elementleriň ýadrolarynyň özbaşdak (hiç hili daşky täsir bolmazdan) beýleki bir elementleriň ýadrolaryna öwrülip bilmek häsiýetine aýdylýar. Şunlukda aýratynam görnüşli şöhlelenme, ýagny **radioaktiw şöhlelenme diýilip atlandyrylýan şöhlelenme** ýüze çykýar.

Şu hadysanyň özüne radioaktiw dargamak diýilýär. Radioaktiw dargama uly bolmadyk ýylylygynyň bölünip çykmagy bilen bile bolup geçýär.

Tebigatda duş gelýän uzotoplarda bolup geçýän radioaktiw hadysasyna **tebigy radioaktivlik** diýilýär, emeli ýol bilen alynan izotoplardaky radioaktiwlige bolsa – **emeli radioaktivlik** diýilýär. Radioaktiwligiň iki görnüşi hem edil şol bir kanunlara boýun bolýar.

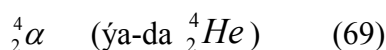
Radioaktiw şöhlemenme göze görünýän däl, ony maddalara bolan täsirindäki ýüze çykýan hadysalar boýunça saýgarsa bolýar. Mysal üçin, ony lýuminoforlaryň ýa-da flýuressirlenýän ekranlaryň şöhlemenmegi (ýagtylanmagy) bilen, maddalaryň ionizirlenmegi bilen, fotoemulsiýanyň garalmagy bilen we ş.m. hadysalar bilen ýüze çykarmak bolýar.

Radioaktiw şöhlemenme diýilip umumy at bilen atlandyrylýan şöhlemenmäniň üç görnüşi bardyr:

- alfa şöhlemenmeler (α - şöhlemenmeler);
- beta şöhlemenmeler (β - şöhlemenmeler);
- gamma şöhlemenmeler (γ - şöhlemenmeler).

α -, β -, we γ - şöhlemenmeleriň tebigaty dürli-dürlidir, ýöne olaryň käbir umumy häsiýetleri bardyr.

Alfa-şöhleler – bu geliý ýadrosyndan ybarat bolan ýokary kinetik energiýaly bölejikleriň (α -bölejikleriň) akymydyr. Alfa-bölejik iki protondan we iki neýtrondan ybarat bolup durýandyr. Ol şeýle belgilenýär:



Beta-şöhleler – bu elektronlardan (köp radioaktiw elementlerde ýüze çykýar) ýa-da pozitronlardan (käbir emeli usul bilen alynan izotoplarda ýüze çykýar) ybarat bolan ýokary kinetik energiýaly bölejikleriň (β -bölejikleriň) akymydyr.

Pozitron, elektron ýaly, elementar bölejikdir, ýöne onuň položitel zarýady bardyr. Pozitron durnukly bölejikdir, ýöne ol tebigy ýagdaýda tas duşmaýar diýen ýalydyr.

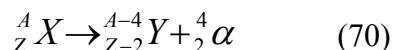
Beta-bölejikler β^- ýa-da ${}^0_{-1}e$ (elektron) we β^+ ýa-da ${}^0_{+1}e$ (pozitron) görnüşde belgilenýärler.

Gamma – şöhleleriň elektromagnit tebigaty bardyr hem-de olar ýokary energiýaly [1-den 2-3 MeW-a (megaelektronWolta) çenli] we degişlilik-de gysga tolkun uzynlykly ($\lambda < 0,1$ nm) fotonlaryň akymyndan durýandyrlar. Olar fotonyň energiýasyny görkezýän indeksli γ harpy bilen belgilenýärler, mysal üçin $\gamma_{0,5}$ ýa-da $\gamma_{2,0}$.

Massa we bölejigiň zarýady, olaryň ýadrodan aýrylmak tizligi we oňa baglylykdaky kinetik energiýa, şöhle hem radioaktiw şöhlemenmäniň spektri diýilip atlandyrylýan bölejikleriň energiýa boýunça bölünmegi **radioaktiw şöhlemenmäniň häsiýetlendirmeleri** bolup durýandyrlar.

Berlen maddanyň ýadrosynyň dargamaklygynyň bir aktynda diňe bir görnüşli bölejikler aýrylýarlar: alfa- ýa-da beta- bölejikler. Şoňa degişlilikde radioaktiw ýadrolaryň dargamaklygynyň esasy üç görnüşini tapawutlandyryrlar: **α - dargama, β - elektronly we β - pozitronly dargama.** Şu dargamalaryň islendik her biri γ -fotonlaryň şöhlemenmesi bilen birlikde bolup geçýär.

Agyr elementleriň ýadrolary üçin ($A > 200$) α - dargama mahsusdyr, şunlukda ýadrodaky nuklonlaryň umumy sany azalýar we ol has durnukly ýagdaýda bolýar. Alfa-dargama şeýle deňleme bilen görkezilýär:



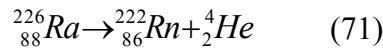
bu ýerde X – ilki başdaky element;

Y – dargamadan soň ýüze çykýan element;

A – elementiň massa sany (A massa sany bilen ýadrodaky nuklonlaryň umumy sany kesgitlenilýär);

Z – ýadrodaky protonlaryň sany (Z elementiň atom nomerine deňdir).

α – bölejikleriň aýrylmaklygyna görä ýadronyň zarýady we degişlilikde elementiň atom nomeri iki birlik azalýar, massa sany bolsa dört birlik azalýar. Mysal üçin, radiniň dargamaklygy netijesinde radon doreýär:



şunlukda 0,188 MeW energiýaly gamma- foton şöhlelenýär.

α -bölejikleriň ýadrodan aýrylmak tizligi takmynan

$(1,4-2) \cdot 10^9 \frac{\text{sm}}{\text{s}}$ ululyga deňdir, bu olaryň başlangyç kinetik energiýasynyň 4-8,8 MeW ululygyna

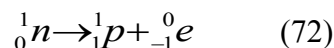
degişlidir. Element tarapyndan goýberilýän α - bölejikler, takmynan birmeňzeş energiýaly birnäçe topary düzyärlar, şonuň üçin hem α - bölejikleriň spektri birnäçe biri-birine ýakyn ýerleşen çyzyklardan ybaratdyr.

α - dargamanyň mehanizmini shematiki şu aşakdaky ýaly göz önüne getirmek bolar: iki proton we iki neýtron, içki ýadro hereketindäki prosesde biri-birine täsir edip, α - bölejigi döredýärlar, ol takmynan 10^{-21} s. wagt aralygynda ýaşayar, soň bolsa täzeden aýry-aýry nuklonlara bölünýär.

Şeýle ýol bilen döreyän α -bölejikleriň käbiri, belli bir şertlerde, ýadro güýçleriniň täsirinden sypyp, ýadrodan aýrylmaklygy mümkindir. Bu hadysanyň kwant-mehaniki tebigaty bardyr we oňa **tonnel effekti** diýilýär. α -bölejigiň energiýasy näçe ýokary boldugyça, bu effektiň ýüze çykmak mümkinçiligi şonça hem ýokarydyr. Şonuň üçin hem, has ýokary energiýaly α -bölejikleri goýberýän elementler, pes energiýaly α -bölejikleri goýberýän elementlere garanda çalt dargamalydyrlar, munuň özi hakykat ýüzünde şeýle hem bolýandyr.

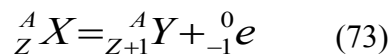
Neýtron we proton sanlarynyň özara amatsyz (oňasyz) gatnaşygynda bolan durnuksyz ýadrolarda **beta-dargama** bolup geçýär.

Eger ýadroda neýtronlaryň sany artykmaç bolsa, onda **elektronly β -dargama** bolup geçýär, bu ýagdaýda neýtronlaryň biri protona öwrülýär, şunlukda ýadroda elektron ýüze çykýar:



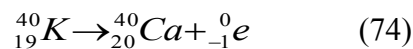
Bu ýüze çykan elektron ýadrodan aýrylýar we şuna baglylykda onda (ýagny ýadroda) nuklonlaryň durnukly kompleksi galýar.

Elektronly β -dargama şeýle deňleme bilen görkezilýär:

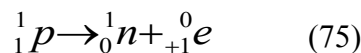


şunlukda ýadronyň zarýady we degişlilikde elementiň atom nomeri bir birlik köpeliýär, onuň massa sany bolsa (A) üýtgemän galýar.

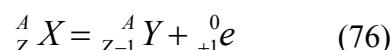
Elektronly β -dargama tebigy we emeli usul bilen alynan köp radioaktiw izotoplara mahsusdyr. Mysal üçin, kaliý izotopynyň kalsiý elementine öwürlmekligi boýunça dargamasy:



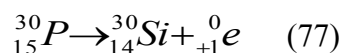
Pozitronly β -dargamada protonlaryň biri neýtrona öwrülýär, şunlukda ýadroda pozitron ýüze çykýar:



Ýüze çykýan pozitron bölünip aýrylýar, ýadroda bolsa nuklonlaryň has durnukly kompleksi galýar. **Pozitronly β -dargama** şeýle deňleme bilen görkezilýär:



şunlukda ýadronyň zarýady we degişlilikde elementiň atom nomeri bir birlik azalýar, onuň massa sany “A” bolsa üýtgemän galýar. Mysal üçin, fosfor izotopynyň kremniý elementine öwürlmekligi boýunça bolup geçýän dargamasy:



β -bölejikleriň başlangyç tizligi we şoňa degişlilikde olaryň kinetik energiýasy ep-esli tapawutlanýandyrlar. Olaryň eýe bolýan has ýokary başlangyç tizligi takmynan $1,6 \cdot 10^{10} \frac{sm}{s}$ ululyga ýetýändir.

11.3. RADIOAKTIW DARGAMANYŇ ESASY KANUNY. AKTIWLIK

Şol bir elementiň ýadrosynyň radioaktiw dargamasy kem-kemden bolup geçýär we dürli elementler üçin olaryň dargamak tizligi biri-birinden tapawutlanýandyrlar.

Radioaktiw dargama-bu statistiki hadysadyr, ol ähtimallyk nazaryýetiniň kanunyna boýun bolýandyr. Her bir atomyň ýadrosynyň ilkibaşdaky dargamak pursadyny öňünden aýdyp bolmaýar, ýöne haýsydyr bir ýadronyň kesgitli wagt aralygynda (birliginde) dargamak ähtimallygyny görkezmek mümkinçiligi bardyr. Şeýle ähtimallyk dargamak koeffisiýenti λ bilen häsiýetlendirilýär, oňa **dargamak hemişeligi** diýilýär we ol diňe elementiň tebigatyna baglydyr.

Radioaktiw dargamanyň esasy kanuny şeýle kesgitlenýär: **şol bir wagt aralyklarynda berlen elementiň bütewi ýadrolarynyň birmeňzeş mukdardaky ülüşleri dargaýarlar** (ýagny bu ýerde bütewi ýadrolar diýilip seredilýän wagt aralygynyň başlangyjynda entek dargamadyk ýadrolar goz öňünde tutulýar).

Şeýle üleş dargamaklygynyň hemişeligi diýilip atlandyrylýan ululyk bilen häsiýetlendirilýär.

Dargamak kanunundan şeýle netije gelip çykýar, ýagny “dt” wagt aralygynda dargaýan “dN” ýadrolaryň sany seredilýän wagt aralygynyň başlangyjynda entek dargamadyk ýadrolaryň “N” sanyna we “dt” wagt aralygyna proporsionaldyr, ýagny:

$$-dN = \lambda N dt \quad (78)$$

bu ýerde “dt” – dargamaklygynyň seredilýän wagt aralygy;

“dN” – dargaýan ýadrolaryň sany;

N – ilkibaşdaky dargamadyk ýadrolaryň sany;

λ – dargamak hemişeligi.

(Bu aňlatmadaky minus alamaty ilkibaşda seredilýän “N” ýadrolaryň sanynyň wagtyň geçmekligi bilen azalýandygyny görkezýär).

Bu deňlemäniň çözülişi bolup eksponensial funksiýa hyzmat edýär, ýagny:

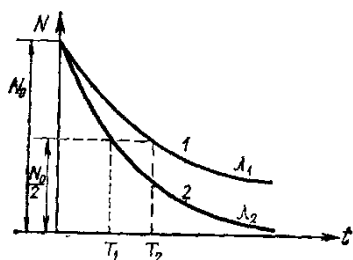
$$N = N_0 e^{-\lambda t} \quad (79)$$

bu ýerde N_0 – seredilýän wagtyň başlangyjyndaky ($t=0$) ýadrolaryň sany;

N – “t” wagtyň geçmekligi bilen dargaman galýan ýadrolaryň sany;

$e = 2,71828$ – natural logarifmleriň esasy.

11.1-nji suratda 78-nji deňlik bilen aňladylýan baglanyşygyň dürli dargamak hemişelikli ýadrolaryň (λ_1 we λ_2) dargamagyny häsiýetlendirýän grafigi görkezilendir. λ_1 we λ_2 dürli maddalara degişlidir (şunlukda $\lambda_2 > \lambda_1$), olarda ilkibaşda seredilýän ýadrolaryň N_0 sany özara deňdirler (11.1-nji surat).



11.1-nji surat.

Şeýlelikde, dargamadyk (ýagny işjeň) ýadrolaryň “N” sany wagtyň geçmekligi bilen 79-njy baglanyşyk boýunça azalýar we ony “t” wagtyň islendik pursady üçin 79-njy deňleme ýa-da grafik boýunça kesgitläp bolýandyr.

Dargan ýadrolaryň “ ΔN ” sany wagtyň geçmekligi bilen şeýle baglanyşyk boýunça üýtgeýär:

$$\Delta N = N_0 - N = N_0 (1 - e^{-\lambda t}) \quad (80)$$

Amaly taýdan dürli elementleriň dargamak tizligi olaryň ýarymdargamak periody $T_{1/2}$ bilen häsiýetlendirilýändir. Bu ululyk radioaktiw ýadrolaryň ilkibaşdaky sanyna görä olaryň

ýarysynyň dargaýan wagtyňy aňladýandyr (1-nji egri çyzyk). Elementlerin ýarymdargamak periody $T_{1/2}$ şeýle netijä esaslanyp kesgitlenýär, ýagny $t = T_{1/2}$ bolanda dargamadyk ýadrolaryň sany şu aşakdaky deňlik bilen aňladylýar:

$$N_t = \frac{N_o}{2} = N_o e^{-\lambda T_{1/2}}$$

bu ýerden $e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}$ ýa-da $e^{\lambda T} = 2$, deňşililikde:

$$T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda} \quad (81)$$

Elementleriň (izotoplaryň) ýarymdargamak periody $T_{1/2}$ özara biri-birlerinden örän dürli çäklerde, ýagny million ýyldan sekundyň ülüşlerine çenli aralykda tapawutlanýandyrlar. Mysal üçin:

1. $^{283}_{92}U$ – 4,51·10 ⁹ ýyl	5. $^{24}_{11}Na$ – 15,06 sag
2. $^{226}_{88}Ra$ – 1590 ýyl	6. $^{11}_6C$ – 20,4 min
3. $^{60}_{27}Co$ – 5,3 ýyl	7. 8_3Li – 0,89 sek
4. $^{222}_{86}Rn$ – 3,825 gün	

Amaly taýdan radioaktiw şöhlemenmäniň çeşmeleri ulanylanda wagt birliginde çeşmede bolup geçýän dargamanyň umumy dargamak sany möhüm ähmiýete eýedir. Bu ululyga berlen çeşmäniň **"A" aktiwligi diýilýär** we ol dargamanyň otnositel tizligine we dargamaklyga ukyply bolan ýadrolaryň sanyna (ýagny çeşmedäki izotopyň massasyna) baglydyr.

Aktiwlik berlen çeşmede izotopyň dargamasynyň absolýut tizligini häsiýetlendirýär.

$$A = \frac{dN}{dt} \quad (82)$$

Radioaktiw dargamanyň esasy kanuny bilen onuň ýarymdargamak periodynyň özara deňeşdirilmeginden şeýle baglanyşyk gelip çykýar:

$$A = \left| \frac{dN}{dt} \right| = \lambda N = \frac{0,693N}{T_{1/2}}$$

ýagny elementiň aktiwligi ýadrolaryň sanyna (izotopyň massasyna) göni proporsionaldyr hem-de onuň ýarymdargamak periodyna ters proporsionaldyr.

Berlen izotop üçin ($T_{1/2} = \text{const}$) aktiwlik onuň massasyna göni proporsionaldyr.

Wagtyň geçmekligi bilen berlen elementin aktiwligi dargamaklygyň esasy deňligine laýyklykda peselýändir. Şoňa görä-de wagtyň islendik "t" pursatynda aktiwlik A_t şeýle baglanyşyk boýunça kesgitlenýär:

$$A_t = A_o e^{-\lambda t} = A_o e^{-0,693 t / T}$$

bu ýerde A_o – başlangyç "t = 0" pursatdaky aktiwlik

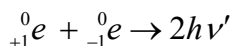
Amaly taýdan şu deňlik boýunça düzülen tablisa ýa-da grafik boýunça radioaktiw elementin öndürilen wagtyndan bäri ýa-da bejeriş edarasynyň alan wagtyndan bäri geçen wagt aralygynyň soňunda (ýagny kesgitli seredilýän wagtda) onuň eýe bolýan aktiwligi kesgitlenýär.

11.4. RADIOAKTIW ŞÖHLELERIŇ MADDANYŇ IÇINDEN GEÇIP BILIJILIK WE IONIZIRLEÝJI UKYPLYGY

Ýokary kinetik energiýa eýe bolan alfa we beta-bölejikler ýa-da gamma-fotonlar, maddanyň içine aralaşyp, olaryň atomlarynyň elektronlary bilen özara täsir edişýärler we şuna baglylykda olary öz orbitalaryndan çykarýarlar we şeýlelik bilen maddalary ionizirleýärler. **Ionizasiýa bilen**

birlikde, soňra optiki diapazonda şöhlenenmeklige getirýän **atomlaryň oýandyrylmagy**, şeýle hem fotohimiki reaksiýa getirýän **molekulalaryň aktiwasiýasy** bolup geçýär.

Radioaktiw şöhlenenmedäki bölejikleriň maddanyň içine has çuňňur aralaşmak derejesine görä we soňra atomlaryň hem-de molekulalaryň elektronlary bilen çakyşmaklary netijesinde olaryň energiýalary kem-kemden azalýar, we ahyrsoňy, haçan-da olaryň energiýasy ýylylyk hereketiniň energiýasyna deň bolanda, bölejikleriň ionizirleýji täsiri aýrylýar. **Alfa-bölejik** iki elektrony birleşdirýär we geliý atomyna öwürülýär. **Otrisetel β -bölejik (elektron)** erkin ýagdaýda galýar. **Položitel β -bölejik (pozitron)** erkin elektron bilen birleşýär we iki gamma - fotona öwürülýär:



Iň soňky çaknyşmakda gamma - foton elektron tarapyndan siňdirilýär.

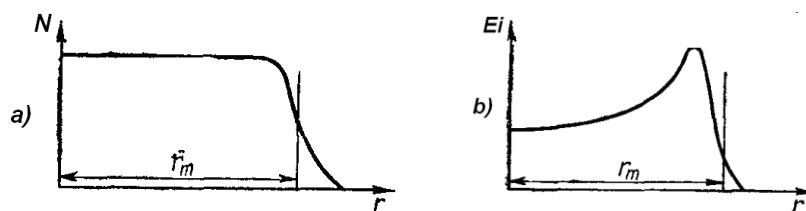
Bölejikleriň maddanyň içine has çuň aralyga aralaşmagyna onuň geçýän ylgaw ýoly diýilýär. Dürli bölejikleriň maddanyň içinden geçijilik ukyplygyny olaryň howadaky geçýän ylgaw ýoly bilen deneşdirmek esasynda häsiýetlendirýärler.

Radioaktiw şöhlenenmedäki bölejikleriň **ionizirleýji ukyplygy** olaryň kinetik energiýasyna we zarýadyň ikinji derejesine proporsionaldyr. Ionizirleýji ukyplygyň zarýadyň ikinji derejesine proporsional bolmaklygy şeýle ýagdaý bilen düşündirilýär: haçan-da zarýadlanan bölejikler maddanyň atomynyň elektronlaryna has ýakyn aralyga golaýlaşan wagtynda olaryň arasyndaky özara täsir esasan elektrik meýdanynyň üsti bilen amala aşyrylýar, şonuň üçin hem şeýle proporsionallyk ýüze çykýar.

Ionizirleýji ukyplyga bölejigiň howada 1 sm aralygy geçende ylgaw ýolunda döredýän jübüt ionlarynyň ortaça sany bilen baha berilýär. Howada bir jübüt ionlaryň döredilmegi üçin ortaça 34 eW-a deň bolan energiýanyň sarp edilýändigini göz önünde tutup we bölejigiň başlangyç energiýasyny bilip, doly aralyk geçilendäki ylgaw ýolunda döredilýän jübüt ionlaryň sanyny hasaplamak bolýar, soň bolsa ylgaw ýolunyň (geçilýän aralygyň) uzynlygyny bilip, ionizirleýji ukyplygy kesgitlep bolýar. **Ionizirleýji ukyplyk şöhlemenmäniň täsir edýän maddasynyň tebigatyna baglydyr.** Maddanyň atom nomeri näçe ýokary boldugyça we dykzlygy näçe uly boldugyça, onda şonça hem bölejik öz ylgawynyň ýolunda köp sanly elektronlar bilen çaknyşar we soňa degişlilikde-de, ionizasiýanyň intensiwligi has ýokary bolar we diýmek, bölejigiň maddanyň içinden geçmek ukyplygy peseler (ýagny has çuň aralyga aralaşyp bilmez).

Ikileýin elementar zarýady we ýokary energiýasy bolan alfa-bölejikler intensiw ionizasiýany geçirýärler we soňa görä-de olar maddanyň içine oňnositel pes (gysga) aralyga aralaşýarlar. Bölejikleriň kadaly şertler berjaý edilen wagtynda howadaky geçýän ylgaw ýoly, olaryň energiýasyna baglylykda, 2-8,5 sm aralykda bolýar. Olar organizmiň dokumalarynyň içine 0,1 mm aralyga çenli aralaşýarlar.

Berlen radioaktiw maddanyň ähli alfa-bölejikleriniň birmeňzeş energiýa eýe bolmaklygyna görä, olaryň hemmesi birhilli (birdüzümlü) gurşawda takmynan " r_m " deň bolan aralyga çenli aralaşýarlar, şeýle bölejikleriň N sanynyň maddanyň içinden geçýän " r " aralygyna bolan baglanyşygy 11.2-nji "a" suratda görkezilendir.



11.2-nji surat.

N – α -bölejikleriň sany; r – geçilýän aralyk;

E_i – ionizasiýa intensiwligi

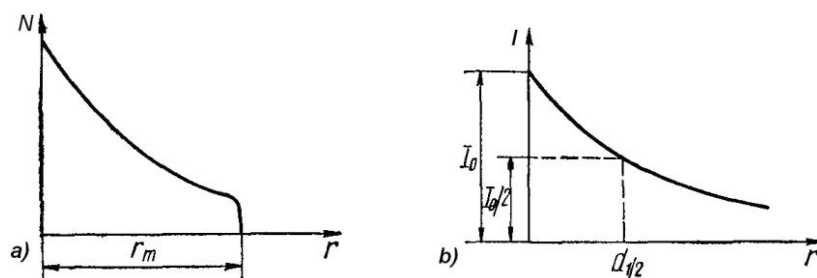
Alfa-bölejikler özleriniň howadaky otnositel uly bolmadyk ylgaw ýolunda ikilenji elektronlar bilen bilelikde ionizasiýanyň juda ýokary intensiwligini döredýärler (olar 1 sm-e deň bolan aralykdaky ylgaw ýolunda takmynan birnäçe onlarça müň jübüt ionlary döredýärler).

α -bölejikleriň doly ylgaw ýolunda döredýän ionizasiýa intensiwligi birdeň däl, çünki maddanyň içine aralaşdygyça α -bölejikleriň tizligi peselýär, şoňa baglylykda olaryň maddanyň atomlarynyň elektronlary bilen bolýan täsir ediş wagty ulalýar we degişlilikde ionizasiýa intensiwligi E_i ýokarlanýar (11.2-nji surat “b”), ýöne ylgaw ýolunyň ahyrynda α -bölejikleriň energiýasynyň köp sarp edilmegine görä, ionizasiýa intensiwligi çalt peselýär. Alfa-bölejikleriň maddanyň içine pes (gysga aralyga) aralaşýandygyna görä, ondan goranyş serişdesi hökmünde islendik jisimiň (mysal üçin egin-eşik, dykyz kagyz, sellofan we ş.m.) ýuka gatlagy hyzmat edip biler. Alfa -bölejikler dem alyş ýa-da iýmit siňdiriş ýollarynyň nem bardalaryna düşende esasy howpy döredýändirler.

β -bölejikler (elektronlar we pozitronlar) α -bölejiklere garanda ionizasiýanyň pes intensiwligini döredýärler we şonuň üçin hem olar maddanyň içine has çuň aralyga aralaşýarlar. Energiýasyna baglylykda β -bölejigiň howadaky ylgaw ýoly takmynan onlarça santimetrden onlarça metre (10 sm - 10 m) çenli ýetip biler. Organizmdäki dokumalarda β -bölejikler takmynan 10-15 mm çuňluga çenli aralaşyp bilýärler diýilip hasap edilýär.

Şol bir maddanyň şöhlelenmesindäki β -bölejikleriň dürli energiýa eýe bolýandyklaryna görä, olar ionizasiýanyň dürli intensiwligini döredýärler we birhilli gurşawda dürli çuňluga aralaşýarlar. Birhilli gurşawda deň energiýa eýe bolan “N” sanly β -bölejikleriň maddanyň içine aralaşmagy ilki bilen eksponenta ýakyn bolan kanun boýunça bolup geçýär, ýöne soň maddanyň kesgitli r_m çuňlugynda (*oňa maksimal ylgaw ýoly diýilýär*) bölejikler örän çalt öz energiýasyny ýitirýärler we doly siňdirilýärler (11.3-nji surat “a”).

Howada bolýan ionizasiýada β -bölejik 1 sm aralykda ionlaryň onlarça we ýüzlerçe jübüt sanlaryny döredip biler. β -şöhlenenmeden goranmak üçin amaly taýdan galyňlygy 1-2 sm deň bolan islendik jisim (mysal üçin: agaç, pleksiglas, aýna, ýeňil metallar we ş.m) hyzmat edip biler. 0,4 mm galyňlykly alýuminiý listi ýa-da 1,1 mm galyňlykly suw gatlagy fosfordan $^{32}_{15}P$ ýüze çykýan β -şöhleleri iki esse azaldýar.



11.3-nji surat.

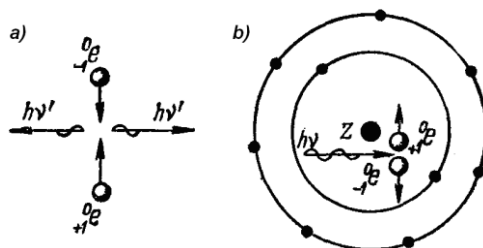
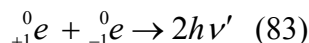
Gamma-fotonlar maddanyň içinden ýokary geçijilik ukyplygyna eýe bolmaklygy bilen tapawutlanýarlar. Olaryň howadaky geçýän ylgaw ýoly onlarça we ýüzlerçe metre ýetýär. Organizmiň dokumalarynda gamma-şöhlenenmeler çuň aralyga aralaşýarlar we hatda adam bedeniniň içinden göni geçip hem bilýärler. Gamma-fotonlaryň ilkinji ionizirleýji ukyplygy onçakly ýokary däl, olaryň howadaky geçýän 1 sm ylgaw ýolunda bary-ýogy birnäçe jübüt ionlar döredýär. Şeýle ýagdaý gamma-fotonlarda elektrik zaryadynyň ýoklugy bilen düşündirilýär. Ýöne soň ýüze çykýan **ikilenji ionizasiýa effekti** we “**bergi ýadrolary**” göz önünde tutulsa, onda gamma-şöhlenenmeler tarapyndan döredilýän doly ionizasiýa effekt juda ýokary bolup biler.

Birhilli gurşawda gamma-şöhleleriniň gowşamak intensiwligi, edil rentgen şöhleleriniňki ýaly, eksponensial kanun boýunça bolup geçýär. Gamma-şöhleleriň dürli maddalaryň içinden geçip bilijiligi **gowşamaklygyň ýarym galyňlygy $\frac{d}{2}$ diýilip atlandyrylýan** ululyk bilen

häsiýetlendirilýär (11.3-nji surat “b”). Gamma-şöhlelerden goranmak üçin suwuň, gumuň (topragyň) ýa-da betonyň, kerpiçden örülen diwaryň we ş.m. has galyň gatlagy, şeýle hem agyr metallar, mysal üçin, birnäçe santimetr galyňlykdaky gurşun ulanylyp biliner.

11.5. JÜBÜT BÖLEJIKLERIŇ DÖREMEK WE ANNIGILÝASIÝA REAKSIÝALARY

Pozitron we elektron özara iki anti-bölejik bolýandyklary üçin, olar çaknyşanlarynda bir-birlerine täsir edýärler we iki (ýa-da üç) gamma-fotona öwrülýärler (11.4-nji surat “a”):



11.4-nji surat.

Bu reaksiýa jübüt bölejikleriň annigilýasiýa (ýok edilmek) reaksiýasy diýilýär. Materiýanyň bütewi bir tebigatyna dogry düşünmeklik üçin uly ähmiýeti bolan şeýle atlandyrylyş (**annigilýasiýa**) hadysanyň düyp manysyny dogry suratlandyryan dälidir. **Annigilýasiýa hadysasy netijesinde materiýa ýok bolýar diýmeklik düýbünden nädogry garaýýşdyr.** Şu seredilýän ýagdaýda materiýanyň bir görnüşiniň – ýagny maddanyň bölejikleriniň materiýanyň başga bir görnüşine – ýagny meýdanyň bölejiklerine (fotonlara) öwrülmesi bolup geçýär.

Bu aýdylanlar annigilýasiýa ters bolan reaksiýanyň, **ýagny jübüt bölejikleriň döredilmek reaksiýasynyň** bolmaklygy bilen hem tassyklanylýar. Şeýle reaksiýada ýeterlik derejede uly energiýa eýe bolan gamma-foton maddanyň içinden geçende, atomyň ýadrosynyň ýanyndaky güýçli elektrik meýdanynyň täsiri astynda bölejikleriň elektron – pozitron jübtüne öwrülýär:

$$h\nu'' = {}^0_{-1}e + {}^0_{+1}e \quad (84)$$

Şeýle reaksiýanyň shemasy 11.4-nji “b” suratda görkezilendir.

Reaksiýalaryň ikisinde-de (83-nji we 84-nji deňlik) **Eýnşteýniň baglanyşygy ýerine ýetirilmelidir.** Elektronyň (ýa-da pozitronyň) dynçlyk m_e massasyna $E_e = m_e c^2 = 0,51 \text{ MeV}$ ululykly energiýa degislidir. Birinji ýagdaýda (83-nji deňlik) bu energiýa iki fotonyň her birine aýratynlykda geçirilýär, şoňa degişlilikde olaryň ýygylgy şeýle bolmalydyr:

$$\nu = \frac{E_e}{h} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Gs}$$

Bu alynan ululyk tejribe üsti bilen alnan netijeler boýunça tassyklanylýar.

Ikinji ýagdaýda (84-nji deňlik) fotonyň energiýasy elektronyň we pozitronyň dynçlyk massasyna degişli bolan energiýalaryň jeminden uly bolmalydyr, ýa-da iň bolmanda, oňa deň bolmalydyr, ýagny:

$$h\nu \geq 2 \cdot 0,51 \text{ MeV} = 1,02 \text{ MeV}$$

Eger şeýle bolmasa, onda reaksiýa geçýän dälidir, bu aýdylanlar hem tejribe üsti bilen tassyklanylýar. Maddanyň içinden geçýän gamma-fotonyň has ýokary energiýasynda, şol reaksiýa gatnaşýan maddanyň atom nomeri näçe ýokary boldugyça, onda şonça hem jübüt bölejikleriň döremek intensiwligi has ýokarydyr.

11.6. IONIZIRLEÝJI ŞÖHLELENMÄNIŇ MADDA BOLAN TÄSIRI

Radioaktiw (alfa-, beta-, gamma) şöhlenme we "gaty" rentgen şöhleri, şeýle hem protonlaryň we neýtronlaryň akymy ionizirleýji şöhlenme diýilip umumy at bilen atlandyrylýarlar.

Eger bölejikler has ýokary energiýa eýe bolsalar, onda seredilip geçilen rentgen we radioaktiw şöhlenmeleriň madda bolan täsirinde bolup geçýän hadysalar bilen birlikde goşmaça şu aşakdaky ýagdaýlaryň ýüze çykýandygyny belläp geçmelidiris.

Ýokary energiýa eýe bolan alfa-we beta-bölejikler atamlardan diňe bir walent elektronlaryny goparman, olardan başga-da has içki gatlaklardaky elektronlary hem goparmaga ukyplydyrlar, bu bolsa maddanyň öz içinde siňdirilýän, *häsiýetli rentgen şöhlenmesiniň* ýüze çykmaklygyna getirýär. *Goparylan elektronlar ýokary energiýa eýe bolan ikilenji elektronlardyrlar*, olar maddalaryň atomlaryny we molekulalaryny oýandyryýarlar we intensiw ionizirleýärler.

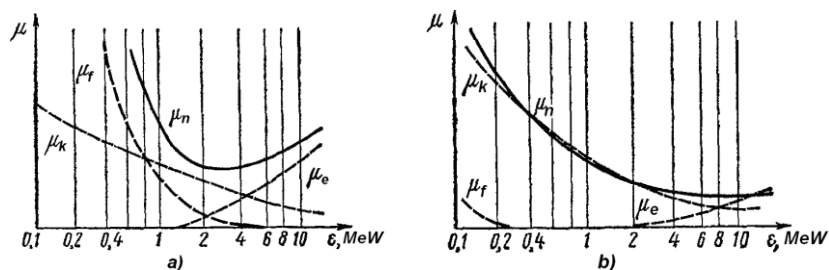
Ýeterlik derejede ýokary energiýa eýe bolan β -bölejikler we ikilenji elektronlar ýokary tertip nomerli maddanyň atomlarynyň ýadrolarynyň meýdany tarapyndan togtadylanda, maddanyň öz içinde siňdirilýän rentgen şöhlenmesiniň döremegine getirip bilerler. Käbir bölejikler atomlaryň ýadrolary bilen çaknyşyp bilerler we şeýlelikde ýadronyň oýandyrylmagyny, ýadro fotoeffektini (ýadrodan protonyň ýa-da neýtronyň bölünmegini) ýa-da ýadro reaksiýasyny döredip bilerler.

Ýokary energiýaly gamma-şöhleleriň madda bolan täsiri "gaty" rentgen şöhleriň madda bolan täsiri bilen birmeňzeşdir. Şunlukda esasan fotoeffekt we kompton-effekt döreyärler. Fotonlaryň energiýasy 1 MeW-dan ýokary bolanda bu hadysalar bilen birlikde **elektron-pozitron jübüt böljiginiň** döredilmekligi hem mümkindir. Bu hadysalaryň ýüze çykmak intensiwligi maddanyň tebigatyna we fotonlaryň energiýasyna baglydyr.

Gamma-şöhleleriň akymynyň intensiwliginiň maddalara bolan täsirindäki gowşamaklygy Bugeriniň kanuny bilen beýan edilýär. Şunlukda köplenç siňdirilişiň görkezijisi bolan μ_s göz önünde tutulýar, ol fotoeffektdäki μ_f , kompton-effektdäki μ_k we jübüt böljikler dörandäki μ_e siňdirilişi häsiýetlendirýän üç koeffisiýentiň jemine deňdir, ýagny:

$$M_s = \mu_f + \mu_k + \mu_e$$

Ýokary atom nomeri maddalarda, mysal üçin, gürşunda, fotonyň energiýasy 1 MeW-dan az bolsa, onda esasan fotoeffekt bolup geçýär; aralyk energiýada (2–5 MeW) – kompton-effekt we has ýokary energiýalarda jübüt böljikler ýüze çykýarlar. Netijede, siňdiriliş koeffisiýentiniň ululygy μ_s , fotonlaryň E energiýasy ýokarlandygyça, fotoeffektiň bolup geçiş intensiwliginiň peselmegine görä, ilki bilen kiçelýär; soňra bolsa, jübüt böljikleriň döremeginiň hasabyna – ulalýar (11.5-nji surat “a”).



11.5-nji surat.

Atom nomeri Z ýokary bolmadyk maddalarda, mysal üçin, suwda fotonyň energiýasy 0,1 MeW-dan kiçi bolan ýagdaýynda **diňe fotoeffekt hadysasy** bolup geçýär.

Fotonyň energiýasy 1-2 MeW ululyga çenli ýetýän bolsa, onda (11.5-nji surat “b”) esasy ähmiýete kompton-effekt eýe bolýar, onuň hasabyna siňdiriliş koeffisiýenti μ_s kem-kemden

peselýär (fotonyň E energiýasy ulaldygyça). Fotonyň energiýasy ýokary bolanda (takmynan 10-20 MeW) jübüt bölejikleriň döremegi esasy rol oýnaýandyr (11.5-nji surat “b”).

Fotonlaryň energiýasy 0,01-0,02 MeW çäklerde bolsa, onda howada **diňe fotoeffekt** ýüze çykýar, ondan ýokary bolan energiýalarda **kompton-effekt** hadysasy bolýar, fotonlaryň energiýasy takmynan 30-40 MeW ululyga barsa, onda ol ýüze çykýan effektlere jübüt bölejikleriň döremekligi goşulyşyp biler.

Şeýle hem ionizirleýji şöhlelenmä protonlaryň we neýtronlaryň akymlyry degişlidir. Ýadro reaksiýalarynda bölünip çykýan protonlaryň tizligi we energiýasy, hem-de olaryň maddanyň içinden geçijilik we ionizirleýji ukyplygy edil α -bölejikleriňki ýalydyr. Ýadro reaksiýalarynda bölünip çykýan neýtronlaryň başlangyç tizligi takmynan $3 \cdot 10^9 \frac{sm}{s}$ ululyga we energiýasy 4-5

MeW ululyga deň bolýandyr. Neýtronda zarýadyň bolmazlygyna görä, onuň ilkinji ionizirleýji ukyplygy örän pesdir, maddalaryň içinden geçijilik ukyplygy bolsa, şoňa degişlilikde – örän ýokarydyr. Neýtronlaryň ionizirleýji effekti esasan olaryň ikilenji hadysasynyň netijesinde bolup geçýändir.

Neýtronlaryň atomlaryň ýadrolary bilen çaknyşmaklary netijesinde **maýyşgak dargamak**, **maýyşgak däl dargamak** we **ýadro tarapyndan neýtronyň tutulmasy (radiasion tutulmak)** bolup biler.

Maýyşgak çaknyşmakda (olar esasan ýeňil elementleriň ýadrolary bilen bolup geçýär), neýtron öz kinetik energiýasynyň bir bölegini ýadro berýär. Şu ýagdaýda elementiň ýadrosyna **“berilýän ýadro”** diýilýär. **“Berilýän ýadro”**, alan energiýasynyň hasabyna **ikilenji ionizasiýany geçirýär**, onuň geçişi ýadroda zarýadyň bolmagyna görä, örän intensiw ýagdaýda bolup biler. Organizmiň dokumalary öz düzüminde köp wodorodyň atomlaryny saklaýandygyna görä, neýtronlar olar bilen özara täsir edişende özleriniň energiýasyny çalt ýitirýärler we “berilýän ýadrony” döredip (ýagny protonlary) ýokary derejede ionizasiýany ýüze çykarýarlar.

Neýtron bilen maýyşgak däl çaknyşmakda ýadro ondan (ýagny neýtrondan) alan energiýasynyň hasabyna oýandyrylýar we bir ýa-da birnäçe gamma-fotonlary şöhlendirýär.

Eger neýtron ýadro tarapyndan siňdirilýän bolsa, onda ýadro reaksiýasy bolup geçýär, esasan ýadronyň radioaktiw izotopa öwürülmesi bolup geçýär, ol soňra β -dargama we gamma-fotonlaryň şöhlelenmegine getirýär. Şunlukda köplenç organizmiň dokumalarynda ^1H (n, γ) H^2 reaksiýa boýunça deýteriý; ^{23}Na (n, γ) ^{24}Na natriý we ^{31}P (n, γ) ^{32}P fosfor radioaktiw izotoplary, şeýle hem ^{14}N (n, γ) ^{14}C reaksiýa boýunça ^{14}N azodyň izotopyndan ^{14}C uglerod we beýlekiler döreýärler.

Ionizirleýji şöhlelenmäniň täsiri bulardan başga-da maddanyň molekulalarynyň strukturasynyň bozulmagyna getirip biler. Muňa mysal hökmünde **suwuň radiolizi** görkezmek bolar. **Suwuň radiolizi** – bu suwuň molekulalarynyň ionizasiýalanmagyndan we soňra doýgun däl H we OH radikallaryň döremekligi bilen, olaryň dargamaklygyndan ybarat bolan hadysadyr. Bu radikallaryň elektrik zarýady ýokdyr, emma olar doýgun däl walentlidirler we sonuň üçin hem olar juda ýokary himiki işjeňlige eýedirler we netijede güýçli okislendirijiler bolan H_2O_2 ýa-da HO_2 (gidroperoksid) tipli birleşmeler hem döreýärler.

Ionizirleýji şöhlelenmäniň täsirindäki ilkinji ionizasiýa hadysalary organizmiň dokumalarynyň uly derejede şikeslenmegine getirenok. Ýöne ionizirleýji şöhleleniň zeper ýetiriji täsiri ýüze çykýan ikilenji reaksiýalar bilen baglanyşyklydyr, çünki bu ýagdaýda çylşyrymly organiki molekulalaryň özlerindäki baglanyşyklaryň üzulmegi bolup geçýär. Şeýle-de işjeň biohimiki önümleriň döremegi hem mümkindir, olar eýýäm biologiki derejede ikilenji reaksiýalar üçin katalizatorlar bolup durýandyrlar hem-de zynjyr reaksiýasy görnüsünde üznüksiz ýagdaýda geçip, organizmi **şöhle keseli** diýilip atlandyrylýan ýagdaýa getirýärler. Bu ýagdaýda döreýän ýokaryişjeň birleşmeler biologiki ulgamyň galan beýleki molekulalary bilen täsir edişýärler, bu bolsa membranalaryň, öýjükleriň we bütewi organizmiň funksiýalarynyň bozulmagyna getirýär.

11.7. IONIZIRLEÝJI ŞÖHLELERIŇ DETEKTORLARY

Ionizirleýji şöhleleriň detektorlary diýilip α , β , γ we rentgen şöhleleri, neýtronlary, protonlary we β -m registrirleýän enjamlara aýdylýar. Şeýle hem detektorlary bölejikleriň energiýalaryny ölçemek üçin, özara täsir proseslerini, dargamany we başga-da β -m öwrenmek üçin ulanylýarlar.

Detektorlaryň işleýiş prinsipi registrirlenýän bölejikleriň maddalarda ýüze çykarýan täsirlerine esaslanýandyr.

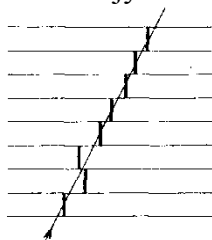
Şertleýin görnüşde detektorlary üç topara bölmek bolar: yz (trek) detektorlary, sçýotçikler we integral enjamlar.

Yz detektorlary bölejikleriň traektoriýasyna gözegçilik etmäge mümkinçilik berýärler, **sçýotçikler** bilen giňişlikde bölejikleriň peýda bolmaklygyny registrirleýärler, **integral enjamlar** ionizirleýji şöhleleriň akymy barada informasiýa berýärler. Detektorlaryň şeýle klassifikasiýasynyň şertleýindigini ýene bir gezek belläp geçeliň. Mysal üçin, yz detektorlaryny geçip baryan bölejikleri sanamak üçin ulanmak bolar, sçýotçik bilen bölejikleriň sanyny registrasiýa etmeklik bilen birlikde ionizirleýji şöhlelenmäniň jemleýji akymyna baha bermek bolar we β -m.

Yz detektorlaryna Wilsonyň kamerasy, diffuziýa, köpürjik, uçgun kameralary we galyňgatlakly fotoplastinkalar degişlidirler. Bu gurluşlaryň ählisiniň işleýiş prinsipiniň umulylygy gözegçilik edilýän bölejigiň öz ýolunyň ugrunda maddanyň molekulalaryny ýa-da atomlaryny ionizirlemeginden ybaratdyr. Döreyän ionlar ikinji efektler boýunca ýüze çykarylýarlar: **aşadoýgun buguň kondensasiýasy** (Wilsonyň we diffuziýa kamerasy); **aşagyzyrylan suwuklykdan buguň döremekligi** (köpürjik kamerasy); **gazda zaryadsyzlanmaklygyň döremekligi** (uçgun kamerasy); **fotohimiki täsir** (galyňgatlakly fotoplastinkalar).

Şu aýdylanlara mysal hökmünde uçgun kamerasyň işleýiş düzgünine seredip geçeliň. Ol elektrodlardan ybaratdyr, olaryň arasyndaky boşluk gaz bilen doldurylandyr. Bölejik kameranyň boşlugyndan geçen wagtynda elektrodlara ýokary wolt naprýaženiýe berilýär. Naprýaženiýäniň berilmegi üçin gerek bolan signal beýleki detektorlardan gowuşýar. Gazyň atomlarynyň ionizasiýasynda bölejigiň traektoriýasynyň ugry boýunça döreyän elektronlar elektrik meýdany tarapyndan çaltlandyrylýarlar we indi olaryň özleri urgy ionizasiýasyny ýüze çykarýarlar. Netijede uly bolmadyk böleklerde göze görünýän uçgun zaryadsyzlanmasy döreyär.

11.6-njy suratda dar (insiz) ysly uçgun kamerasyň shemasy görkezilendir.



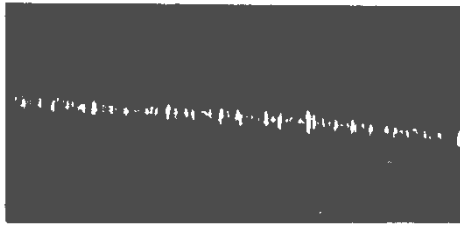
11.6-njy surat.

Kamerada ýerleşdirilen elektrod-
laryň arasyndaky aralyk takmynan 1
sm deňdir. Uçgun zaryadsyzlanmasy
elektrodlara perpendikulýar ýagdaýda
döreyärler, olaryň utgaşmasy bölejik-
leriň traektoriýasyny görkezýärler.

Strimerli uçgun kamerasynda elek-
trodlaryň arasyndaky aralyk 5-20 sm

deňdir (**Strimerler** diýilip gazlardaky elektrik zaryadsyzlanmasynda döreyän ýagtylanýan şahalara bölünen kanallara aýdylýar).

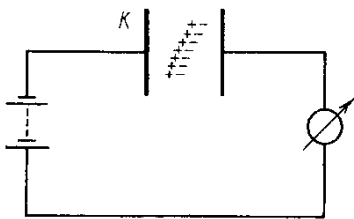
Bölejikler geçenden soň takmynan 10^{-5} s aralygynda ýokarywoltly naprýaženiýe alynýar. Şeýle wagt aralygynda registrirlenýän bölejik tarapyndan döreyän uçgun diňe göniden – göni ilkinji ionizasiýa geçýän ýerde ýüze çykýar. Strimerli uçgun kamerasyndaky bölejikleriň yzlary 11.7-njy suratda görkezilendir.



11.7-nji surat.

Integral detektorlar hökmünde fotoplýonkalary (plýonka çykarylandan soň onuň garalmak derejesi fiksirlenýär), yzygider täsirli ionizasiýa kamerasyny we beýlekileri görkezmek bolar.

Yzygider täsirli ionizasiýa kamerasynyň işine we gurluşyna seredip geçeliň. Ol içine gaz ýerleşdirilen “K” kondensatordan ybaratdyr (11.8-nji surat). Gaza şöhlelenme düşende ionizasiýa bolup geçýär we zynjyr boýunça elektrik togy akýar. Ol adatça güýçlendirilýär we ondan soň ölçelýär. Tok güýji kamerada 1 s içinde döredýän ionlaryň sanyna proporsionaldyr, we diýmek, geçýän ionizirleýji şöhleleriň energiýasynyň akymyna proporsionaldyr.

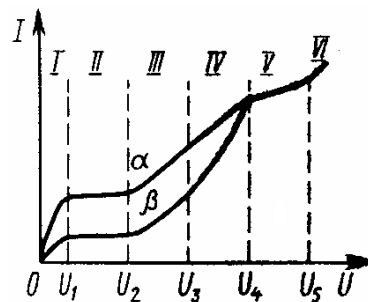


11.8-nji surat.

Käbir enjamlarda radioaktiw bölejikleriň täsiri astynda bolýan kondensatoryň zarýadsyzlanmagy elektrometr bilen fiksirlenýär.

Sçýotçiklere gazzarýadsyzlanma gurluşlaryň (impulsly ionizasiýa kamerasy, proporsional sçýotçikler, Geýgeriň-Mýulleriň sçýotçigi) uly topary degişlidir. Şeýle hem lýuminessentli, ýarymgeçirijili we beýleki sçýotçikler bardyr.

Bölejikleriň boşlukdaky içi gazly aralyga düşende döredýän impuls togunyň (I) elektrodlara berilýän naprýaženiýä (U) bolan baglylygyna seljerme beriliň (11.9-njy surat, egri çyzyklar α we β bölejiklere degişlidirler). Impuls togy bir impulsa gatnaşýan ionlaryň sany bilen kesgitlenýändir.



11.9-njy surat.

Egri çyzyklaryň ikisi-de şertleýin alty bölek (uçastok) bilen görkezilip biliner. Olaryň her birine dürli prosesler mahsusdyr.

Rekombinasiýanyň I-böleginde (uçastogynda) ionlaryň käbir bölegi rekombinirlenýärler. Naprýaženiýäniň ýokarlanmagy bilen rekombinirlenýän ionlaryň sany azalýar, şol bir wagtda elektrodlara baryp ýetýän ionlaryň sany köpeliýär. α -bölejigiň β -bölejige görä ionizirleýji ukyplygynyň ýokary bolmagyna görä, olara degişli bolan egri çyzyklar hem dürli görnüşe eýedirler.

II bölek doýgun ýagdaýa degişlidir. Ähli ilkinji ionlar elektrodlara ýetýärler, yöne ikilenji ionizasiýa entek ýüze çykýan däl. Bu bölekde ionizasiýa kamerasy işleýär.

III bölekde ikilenji ionizasiýa ýüze çykyp başlaýar, yöne şunlukda toguň impulsy başlangyç ionizasiýa proporsional bolup galýar.

Güýçlendirilenden soň gatnaşýan jübüt ionlaryň N sany ionizirleýji bölejigiň döredýän ilkinji jübüt ionlarynyň N_0 sanyna proporsionaldyr:

$$N = kN_0$$

bu ýerde “ k ” – gazyň güýçlendiriş koeffisiýenti ($k = 10^3 - 10^6$).

Gazyň güýçlendiriş koeffisiýenti “ k ” sçýotçigiň konstruksiýasyna we onda ulanylýan gazyň tebigatyna baglydyr. Hut şu bölekde proporsional sçýotçikler işlenýändirler.

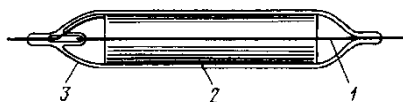
Jübüt ionlaryň N_0 sany, we diýmek, olaryň N sany, diňe bölejigiň görnüşine bagly däl-de, eýsem-de bolsa onuň energiýasyna hem baglydyr. Onda, şeýle bolmaklygyna görä, proporsional sçýotçikler bölejikleriň energiýasyny hem ölçäp bilýändirler.

IV bölege proporsionallygyň çäklendirilen ýeri diýilýär. Bu ýerde entek ilkinji ionizasiýa bolan baglylyk duýulýar, ýöne naprýaženiýäniň U_4 bahasy sçýotçigiň konstruksiýasyna, şeýle hem basyşa we onda ulanylýan gazyň görnüşine baglydyr. Bu bölekde toguň impulsy başlangyç pes ionizasiýada-da ýeterlik derejede uly bolup biler.

V bölekde Geýgeriň-Mýulleriň sçýotçikleri işläp başlaýarlar. Bu ýerde gazyň uly güýçlendiriliş koeffisiýenti bardyr, ýöne bölejikleriň energiýalaryny tapawutlandyryp bolýan däl-dir.

VI bölekde yzygider gaz zaryadsyzlanmasy ýüze çykýar, ol sçýotçigiň tiz hatardan çykmagyna getirýär. V we VI-bölekler özbaşdak gaz zaryadsyzlanmasyna degişlidirler, ol bölejigiň ionizirleýji täsiri aýrylandan soň hem saklanýandyr.

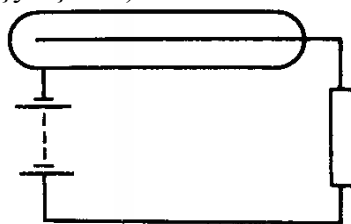
Gaz gurluşlarynyň mysaly hökmünde Geýgeriň-Mýulleriň sçýotçigine seredip geçeliň, ol koaksial ýerleşen silindriki elektrodlerden ybaratdyr (11.10-njy surat). Bu suratda 1-anod (okuň ugry boýunça çekdirilip goýulan inçejik sim sapagy); 2-aýna turbanyň (3) üstüne metal çäýylan görnüşdäki katod.



11.10-njy surat.

Sçýotçigiň içinde gazyň basyşy 100-200 mm. sim.sut. deňdir. Elektrodlara takmynan birnäçe ýüz wolt naprýaženiýe berilýär. Sçýotçige ionizirleýji bölejik düşende gazda erkin elektronlar ýüze çykýarlar. Ol elektronlar anoda tarap hereketlenýärler. Sim sapagynyň örän inçe bolmaklygyna görä (onuň diametri takmynan 0,05mm deňdir) onuň ýanyndaky elektrik meýdany güýçli derejede tapawutlanýandyr, meýdanyň güýjenmesi bolsa ýokarydyr. Sapagyň golaýyndaky elektronlaryň tizligi ýokarlanýar we şoňa baglylykda olar gazy ionizirläp bolýarlar. Netijede zaryadsyzlanma ýüze çykýar we zynjyrdak tok akýar (11.11-nji surat).

Geýgeriň-Mýulleriň sçýotçiginde döredýän özbaşdak zaryadsyzlanma öçürilmelidir, eger şeýle edilmese ol soňky radioaktiw bölejige reagirlemeýär. Zaryadsyzlanmany öçürmeklik üçin radiotekniki usul we turbanyň içine köpatomly gazlaryň goşulmaklygyna esaslanýan usul ulanylýar (öz-özünden öçürilýän sçýotçikler).

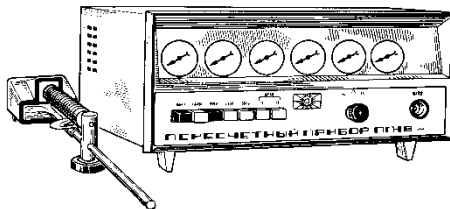


11.11-nji surat.

Sçýotçige ýokaryomly rezistoryň birleşdirilmegi radiotekniki usulyň iň sadaja warianty bolup durýandyr. Bu rezistoryň üstünden tok akyp geçende naprýaženiýäniň ep-esli peselmegi

bolup geçýär, sçýotçikdäki naprýaženiýe azalýar we zarýadsyzlanma kesilýär. Öz-özünden öçýän sçýotçikler has giň ýaýrandyrlar. Olar ýörüte gaz bilen doldurylýarlar we şoňa baglylykda zynjyryň hatda örän kiçi garşylygynda-da zarýadsyzlanma öz-özünden kesilýär.

Daşky zynjyrdaky rezistorda ýüze çykýan elektrik impulslary güýçlendirilýärler we soň ýörüte gurluş bilen registrirlenýärler. 11.12-nji suratda B4 kysymly enjamyň daşky görnüşi görkezilendir, ol Geygeriň-Mýulleriň sçýotçigi bilen birlikde işleýändir.



11.12-nji surat.

Ssintillýasiýa (lýuminessent) sçýotçigiň işleýiş prinsipi ionizirleýji şöhlelenmäniň täsiri astynda käbir maddalarda ýagtylygyň gysgawagtlaýyn şöhlelenmesiniň – ssintillýasiýanyň bolup geçmekligine esaslanýandyr. Ýadro fizikasynyň ösüşiniň birinji tapgyrynda ssintillýasiýalar wizual gözegçilikler esasynda registrirlenýärdiler. Lýuminessient sçýotçiklerde olar fotoelektron köpeldijileriň ulanylmagy bilen awtomatiki taýdan registrirlenýärler.

Görşümüz ýaly, ähli sanalyp geçilen detektorlar, diňe haçan-da zarýadlanan bölejikler kesgitli göwrümde ionizasiýany ýüze çykaranda işleýändirler. Şuňa baglylykda, α we β -bölejikleri registrasiýa etmeklik üçin sçýotçikleriň ýa-da kameralaryň diwarlary bu bölejikleri öz üstlerinden geçirmelidirler. Käbir ýagdaýlarda α -şöhlelenmäni registrasiýa etmeklik üçin, şöhlelenmäniň degişli çeşmesi kameranyň içine ýerleşdirilýär, çünki kameranyň diwarlaryny bu bölejikler üçin dury etmeklik kyn bolýandyr.

Rentgen we gamma-şöhleler olaryň fotoeffektde, Kompton effektde we beýleki hadysalarda döredýän zarýadlanan bölejikleriniň ýüze çykarýan ionizasiýasyna baglylykda registrirlenýärler.

Sçýotçikler **netijelilik**, **çözüliš wagty** we ş.m. ýaly käbir umumy talaplary kanagatlandyrmalydyrlar.

Netijelilik diýilip registrirlenen bölejikleriň sçýotçigiň üstünden geçýän ähli bölejiklere bolan gatnaşygyna aýdylýar.

Sçýotçigiň **çözüliš wagty** diýilip biri-biriniň yzyndan gelýän bölejikleriň bir bölejik ýaly hasaplanman aýratynlykda özbaşdak tapawutlandyrylyp saýgarylýan iň minimal wagt aralygyna aýdylýar.

EDEBIÝATLAR

1. G.M.Berdimuhamedow. Türkmenistanda saglygy goraýşy ösdürmegiň ylmy esaslary. Aşgabat, 2007. 95 sah.
2. G.M.Berdimuhamedow. Garaşsyzlyga guwanmak, watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007. 142 sah.
3. А.Н.Ремизов. Медицинская и биологическая физика. Москва: Высшая школа, 1987. 638 стр.
4. А.Б.Рубин. Биофизика. Москва: Высшая школа. Том 1, 1987, 319 стр.
5. А.Б.Рубин. Биофизика. Москва: Высшая школа. Том 2, 1987, 303 стр.
6. Ю.А.Владимиров, Д.И.Рощупкин, А.Я.Потапенко, А.И.Деев. Биофизика. Москва, 1983. 271 стр.
7. В.Ф.Антонов, А.М.Черныш, Е.К.Козлова, А.В.Коржуев. Физика и биофизика. Москва, 2009. 472 стр.
8. П.Хочачка, Дж.Сомеро. Биохимическая адаптация. Москва: Мир, 1988. 568 стр.
9. Ю.А.Владимиров, А.Я.Потапенко. Физико-химические основы фотобиологических процессов. Москва: Высшая школа, 1989. 199 стр.
10. К.П.Иванов. Основы энергетики организма: Теоретические и практические аспекты. Том 1. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. Ленинград: Наука, 1990. 307 стр.
11. G.A.Mezilow. Bioenergetikanyň esaslary. Aşgabat: 2001, 212 sah.
12. В.П.Скулачев. Энергетика биологических мембран. М.: Наука, 1989. 564 стр.
13. А.Ленинджер. Основы биохимии. В 3-х томах. М.: Мир, 1985.
14. Р.Бохински. Современные воззрения в биохимии. М.: Мир, 1987. 544 стр.
15. А.Албертс, Д.Брей, Р.Льюис и др. Молекулярная биология клетки. В 5 томах. М.: Мир, 1994.
16. Ю.Одум. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 стр.
17. Internet maglumatlary.

MAZMUNY

SÖZBAŞY	7
I. ULGAM BARADA DÜŞÜNJE. ADAMYŇ DAÝANÇ - HEREKET ULGAMY. ERGOMETRIÝA	
1.1. Ulgam barada düşünje.	15
1.2. Adamyň daýanç – hereket ulgamy. Ergometriýa.	20
II. SUWUKLYGYŇ GIDRODINAMIKASY. GEMODINAMIKANYŇ FIZIKI ESASLARY	
2.1. Suwuklygyň şepbeşikligi.	31
2.2. Üst dartlyşy.	39
2.3. Kapillýar hadysalar.	44
2.4. Gemodinamika.	49
2.5. Ýüregiň ýerine ýetirýän işi we kuwwaty.	56
2.6. Ganyň akyş tizligini kesgitleýän usullar.	58
III. BIOLOGIKI ULGAMLARYŇ TERMODINAMIKASY	
3.1. Umumy ýagdaýlar.	61
3.2. Termodinamikanyň kanunlary.	65
IV. BEDENIŇ ÝYLYLYK ÇALŞYGY. TERMOGENEZ	
4.1. Organizmde ýylylygyň döreýiş ýollary.	82
4.2. Ýylylyk. Ýylylyk çalşygy we onuň görnüşleri.	95
V. SES. AKUSTIKA	
5.1. Sesiň tebigaty. Ses tolkunlarynyň fiziki häsiýetlendirmeleri.	106
5.2. Adamyň ses döreýiş (gürleýiş) we eşidiş ulgamyň gurluşynyň fiziki esaslary.	111
5.3. Sesiň duýulyş häsiýetlendirmeleri.	
5.4. Ses ölçegleri.	126
5.5. Tolkun garşylygy. Ses tolkunlarynyň serpikdirilmegi. Rewerberasiýa.	132
5.6. Ses we ultrases anyklaýyş usullarynyň medisinada ulanylyşy.	135
5.6.1. Ultrases (us), onuň aýratynlyklary.	135
5.6.2. Ultrasesiň (us) biologiki täsiri.	142
5.6.3. Ultrasesiň medisinada ulanylyşy.	143
5.6.4. Medisinada anyklamagyň ses usullary. Auskultasiýa. Perkussiýa.	148
5.6.5. Dopleriň effekti.	151
5.6.6. Infrases.	155
VI. BIOLOGIKI MEMBRANALAR	
6.1. Biomembranalardaky hadysalaryň biofizikasy.	156
6.1.1. Biomembranalaryň gurluşyna bolan garaýyşlar we onuň modelleri.	160
6.1.2. Membranadaky lipidler.	164
6.1.3. Membranadaky beloklar (proteinler).	168

6.1.4. Membranadaky uglewodlar.	171
6.1.5. Biologiki membranalarda transport hadysalary (maddalary membranadan geçirmek)	172
6.1.6. Passiw transportyň görnüşleri.	173
6.1.7. Biologiki membranalarda aktiw transport.	180
6.2. Biologiki membranalarda energiýanyň öwrülişigi.	190
VII. ÝAGTYLYK. GEOMETRIKI OPTIKA.	
GÖZÜŇ OPTIKI ULGAMY	
7.1. Ýagtylygyň tebigaty baradaky garaýyşlaryň ösmegi.	203
7.2. Ýagtylygyň elektromagnit we kwant nazaryýeti. . .	204
7.3. Biologiki işjeň molekulalarda elektron geçişler. . .	206
7.4. Geometriki optika.	210
7.4.1. Linzalar.	210
7.4.2. Linzalaryň aberrasiýasy.	214
7.4.3. Astigmatizm.	217
7.4.4. Hromatiki aberrasiýa.	221
7.5. Merkezlendirilen optiki ulgam. Diafragma. Apertur burçy.	222
7.6. Gözüň optiki ulgamy we onuň käbir aýratynlyklary. Akkomodasiýa.	225
7.6.1. Görüş burçy.	235
7.6.2. Gözüň optiki ulgamynyň kemçilikleri we olaryň düzedilişi.	238
7.7. Görüşüň biofiziki esaslary.	241
7.7.1. Retinalyň sis-trans fotoizomerleşmegi.	243
7.7.2. Rodopsiniň fotoöwrülişikleri.	244
7.7.3. Reseptor potensiallary.	245
7.8. Görüş ulgamy. Gözüň torjumak bardasynda görüş signalynyň geçiriliş we güýçlendiriliş mekanizmi.	247
7.8.1. Fotoreseptorlar.	247
7.8.2. Fototransduksiýa. Görüş kaskady.	248
7.8.3. Reňkli görüş.	253
7.9. Elektron mikroskopy. Elektron optikasy barada düşünje.	254
7.10. Süýüm optikasy we onuň medisina enjamlarynda ulanylyşy.	258
VIII. MEDISINADAKY FOTOBIOLOGIKI	
HADYSALAR. FOTOMEDISINA	
8.1. Fotobiologiki hadysalar.	261
8.1.1. Fotobiologiki hadysalaryň geçiş tapgyrlary.	262
8.1.2. UM-şöhleleriniň nuklein kislotalaryna bolan täsi.	265
8.1.3. UM-şöhleleriniň beloklara we aminokislotalara bolan täsi.	267
8.1.4. UM-şöhleleriň biologiki membranalara bolan täsi.	268

8.2. Fotomedicina.	269
8.3. Fotohimiýaterapiýa.	273
8.3.1. PUMA-terapiýa.	275
IX. ATOMLAR WE MOLEKULALAR TARAPYNDAN ENERGIÝANYŇ ŞÖHLELENDIRILIŞI WE SINDIRILIŞI. LÝUMINESSENSIÝA	
9.1. Atomlar we molekulalar tarapyndan energiýanyň şöhlelendirilişiniň we sindirilişiniň aýratynlyklary.	279
9.2. Lýuminessensiýa.	281
9.2.1. Fotolýuminessensiýa. Stoksyň düzgüni.	283
9.2.2. Fotolýuminessent analizi.	286
9.2.3. Lýuminessent belgiler we zondlar we olaryň medisinada hem-de biologiýada ulanylmaklygy. .	287
9.3. Biohimiki reaksiýalaryň geçmekliginde ýüze çykýan şöhlenenme.	289
9.4. Ragyň fotodinamiki terapiýasy.	293
X. RENTGEN ŞÖHLELENMESI, ONUŇ MADDA BOLAN TÄSIRI. RENTGEN ŞÖHLELENMESINIŇ MEDISINADA ULANYLYŞY	
10.1. Rentgen şöhlelenmesiniň fiziki tebigaty we häsiýetleri.	297
10.2. Rentgen şöhlelenmesini ýüze çykarýan çeşme (rentgen turbajygy)	300
10.3. Rentgen şöhleleriniň ýüze çykarylyş usullary. . . .	301
10.4. Rentgen şöhlelenmesiniň turbajyga berilýän naprýaženiýa baglylykda spektri. “Gaty” we “ýumşak” rentgen şöhlelenmesi.	304
10.5. Rentgen şöhleleriniň maddalar bilen özara täsiri. .	307
10.6. Maddanyň üstünden geçýän rentgen şöhleleriň gowşamak kanuny.	311
10.7. Rentgen şöhlelenmesiniň medisinada ulanylyşy . .	314
10.8. Rentgenodiagnostikanyň häzirki zaman usullary. .	317
XI. ATOMYŇ ÝADROSY. RADIOAKTIWLIK	
11.1. Atomyň ýadrosynyň gurluşy.	324
11.2. Radioaktiwlik. Dargamaklygyň görnüşleri.	328
11.3. Radioaktiw dargamanyň esasy kanuny. Aktiwlik. .	332
11.4. Radioaktiw şöhleleriň maddanyň içinden geçip bilijilik we ionizirleýji ukyplygy	335
11.5. Jübüt bölejikleriň döremek we annigilýasiýa reaksiýalary.	340
11.6. Ionizirleýji şöhlelenmäniň madda bolan täsiri. . .	341
11.7. Ionizirleýji şöhleleriň detektorlary.	345
EDEBIÝATLAR.	352
MAZMUNY.	353