

S. Tilkiliýew, S. Nuryýew, Ýe. I. Zawodçikowa

# LUKMANÇYLYK WE BIOLOGIK FIZIKA

Ýokary okuw mekdepleri  
üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi  
tarapyndan hödürlenildi*

Türkmen döwlet neşirýat gullugy  
Aşgabat – 2013

**S. Tilkiliýew we başg.**

**T 52      Lukmançylyk we biologik fizika.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby.– A: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2013.

Okuw kitabynda molekulýar derejeden başlap, bütin adam bedeninde bolup geçýän fiziki we fiziki-fiziologiki hadysalara, daşky gurşawyň bedene ýetirýän täsirlerine hem-de fotomedi-sina we onuň lukmançylykda ulanylýan usullaryna seredilip geçilýär. Şeýle hem bu okuw kitabynda gemodinamikanyň fi-ziki 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.



**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI  
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**





**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY**



**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY**

## TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

Janym gurban saňa, erkana ýurdum,  
Mert pederleň ruhy bardyr köňülde.  
Bitarap, garaşsyz topragyň nurdur,  
Baýdagyň belentdir dünýäň önünde.

*Gaýtalama:*

Halkyň guran Baky beýik binasy,  
Berkarar döwletim, jigerim-janym.  
Başlaryň täji sen, diller senasy,  
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

Gardaşdyr tireler, amandyr iller,  
Owal-ahyr birdir biziň ganymyz.  
Harasatlar almaz, syndyrmaz siller,  
Nesiller döş gerip gorar şanymyz.

*Gaýtalama:*

Halkyň guran Baky beýik binasy,  
Berkarar döwletim, jigerim-janym.  
Başlaryň täji sen, diller senasy,  
Dünýä dursun, sen dur, Türkmenistanym!

## GIRIŞ

### **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, hamyrmaýasydyr. Ylymsyz ýurduň durmuş-ykdysady taýdan durnukly ösüşini gazanmak asla mümkin däldir.*

«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, bilimli-terbiýeli, giň dünýägaraýyşly, ruhy-ahlak taýdan sagdyn, ynsanperwer adamlar edip ýetişdirmegiň ýoludyr» diýip, biziň Hormatly Prezidentimiz özüniň ýurt baştutanlygyna geçen ilkinji günlerinden başlap nygtaý 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.

Türkmenistanyň Döwlet lukmançylyk uniwersitetinde okaýan we bilim alýan talypalaryň ýokary derejeli lukman bolup ýetişmekleri üçin, olaryň özleşdirýän beýleki okuw dersleri bilen birlikde «Lukmançylyk we biologik fizika» dersiniň hem öz tutýan orny bardyr.

Hormatly Prezidentimiziň ýokary okuw mekdepleriniň professor-mugallymlaryna bildirýän talaplaryndan ugur alyp «Lukmançylyk we biologik fizika» kafedrasynyň mugallymlary tarapyndan täze okuw maksatnamasyna laýyklykda «Lukmançylyk we biologik fizika» dersi boýunça okuw kitaby taýýarlanyldy. Bu kitap kafedramyz boýunça talyplaryň geçýän umumy 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 durýandyr.

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 görnüşlerde-de bolup biler. Materiýanyň ol anyk görnüşleri biri-birine öwrülip bilerler we deňişlilik-de, öz häsiýetlerini üýtgedip bilerler. Ýöne materiýanyň umumy häsiýeti üýtgemän galýandyr, ýagny ol obýektiv hakykatdyr we biziň aňmyza görä baglanyşyksyz bardyr.

Materiýanyň dürli we köpgörnüşli hereketini şertleşýin dört sany esasy (*fiziki, himiki, biologiki we durmuşy*) bölege bölýärler. Munuň beýle edilmegi seredilip geçilýän dürli ylmlary hereketiň haýsy görnüşini öwrenýändigine baglylykda toparlara bölmäge mümkinçilik berýär. Fizika materiýanyň hereketiniň fiziki görnüşini öwrenýär. Eger has içgin seredilse, onda materiýanyň hereketiniň fiziki görnüşini, öz gezeginde mehaniki, molekulýar – ýylylyk, elektromagnit, atom we ýadronyň içinde bolup geçýän hadysalary görnüşlerine bölmek bolar. Elbetde, şeýle bölmeklik şertleşýin 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 kesgitlenilýär, olar soň dürli usullar boýunça barlanylýarlar we amalyýetde ulanylýarlar. Şeýlelik bilen, bizi gurşap alan dünýä bara-



da has doly we obyektiw düşünje almaklyk üçin öňe gidişlik bolýar we umuman alnanda, aň ýetirmeklikde öňki ýagdaýa garanda ýokary derejä galynýar.

Materiýanyň hereketiniň dürli görnüşleri özara biri-birine baglydyrlar we baglanyşyklydyrlar, bu bolsa öňki bar bolan ylymlaryň araçäginde 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.

Häzir gysgaça fizikanyň lukmançylyk bilen arabaglanyşygyna seredip geçeliň. Fiziki düşünjeleriň, usullaryň we fiziki hadysalaryň esasynda işleýän enjamlaryň lukmançylyga ornaşmagy has köptaraplaýyndyr. Şeýle arabaglanyşygyň diňe käbir esasy jähtleri şu aşakdakylardan ybaratdyr.

### **Adam bedeninde bolup geçýän fiziki hadysalar, biofizika.**

Adam bedeninde bolup geçýän dürli hadysalaryň çylşyrymlydygyna we özara baglanyşyklydygyna garamazdan, köplenç, olaryň içinden fiziki hadysalara ýakyn bolan hadysalary tapawutlandyrmak bolar. Mysal üçin, bedendäki gan aýlanyş ulgamyna seredip geçeliň. Gan aýlanyş çylşyrymly 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 döredilmegi 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 bedeninde fiziki makrohadysalardan başga-da, molekulýar hadysalar hem bolýandyr, olar umumylaýyn alnanda biologiki ulgamlaryň häsiýetlerini kesgitleýärler. Şeýle mikrohadysalaryň fizikasyna düşünmeklik bedeniň 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 arabaglanyşygynyň bardygyna göz ýetirmek bolýar. Şeýle arabaglanyşyk özbaşdak ylmyň – biofizikanyň kemala gelmegine getirýär. Biofizika janly bedende fiziki we fiziki-himiki hadysalary, şeýle hem biologiki ulgamlaryň submolekulýar we molekulýar derejelerinden başlap, tä öýjüge we bütewi bedene çenli bolan ultrastrukturasyny öwrenýär.

Biofizikanyň usulyýet ähmiýeti uludyr. Biologiki kanunlar fizikanyň we himiýanyň umumy kanunalaýyklyklaryna esaslanýandyr, bu bolsa biofizikanyň esasy düzgünleriniň biri bolup durýandyr. Ýaşayşyň dürli ýüze çykmalaryna fizikanyň we fiziki-himiýanyň nukdaýnazaryndan yzygiderli seredilmegi ýaşayş hadysalaryna we bedendäki näsazlyklara idealistik düşündiriliş berilmeklige hiç hili orun goýýan däldir.

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

Adam bedeniniň 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) çylşyrymly ulgamlar (mysal üçin, beden – gurşaw), aýry-aýry organlar, dokumalar, öýjükler, suböýjük gurluşlar (mysal üçin, biologiki membranalar ýa-da miofibrillalar) derejesinde; b) makromolekulalar derejesinde (mysal üçin, beloklaryň (proteinleriň) ýa-da nuklein kislotalarynyň molekulalary derejesinde); c) biologiki taýdan möhüm bolan molekulalaryň elektron gurluşlarynyň derejesinde.

Biofizika aýratynam soňky 10–15 ýyllykda uly üstünliklere ýetdi. Bu molekulýar biologiýanyň we öýjükleriň biologiýasynyň ös-

mekligi bilen, fizikada we himiýada gazanylan üstünlikler bilen, iň täze enjamlaryň we barlag usullarynyň täze görnüşleriniň döredilmegi bilen hem-de kompýuteriň ulanylmagyna esaslanýan matematiki modelirlenmegiň (nusgalaryň) biologiýada giňden ornaşdyrylmagy bilen düşündirilýändir.

Häzirki zaman biofizikasy – bu düýpli biologiki dersleriň biridir we ony bilmeklik lukmanyň umumybiologiki taýýarlygynyň zerur görkezijisi bolup durýandyr. Ähli biologiki dersleriň arasynda biofizika has takyk ylmylaryň 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 nusga döredilmek 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 ymtylyşyň diňe bir biofizika däl-de, umuman alnanda, ähli häzirki zaman ylmynda (şol sanda biologiýa we lukmançylyga) mahsus bolan häsiýetdigini (meýildigini) belläp geçmelidir. Biofizika bu umumy meýiliň has ýiti ýüze çykarylýan ugurlarynyň biridir.

**Keselleri anyklamaklygyň we biologiki ulgamlary barlamaklygyň fiziki usullary.** Keselleri anyklamaklygyň we barlag çärelerini geçirmekligiň köp usullary fiziki düşüňjeleriň we nazary garaýyşlaryň ulanylmagyna esaslanýandyr. Häzirki zaman lukmançylyk enjamlarynyň aglabasy gurluş taýdan fiziki enjamlar bolup durýandyr. Şu aýdylanlary suratlandyrmaklyk üçin käbir mysallara seretmeklik ýeterlidir.

Mehaniki ululyk bolan ganyň basyşy käbir kesellere baha bermeklik üçin ulanylýan görkeziji bolup durýandyr. Bedeniň içinde ýerleşýän ses çeşmeleriniň döredýän sesleriniň diňlenilmegi organlaryň kadaly ýa-da patologiki ýagdaýlary barada maglumat al-

maklyga mümkinçilik berýär. İşleýiş düzgüni boýunça simabyň ýylylykdan giňelmegine esaslanýan lukmançylyk termometri örän giň ýaýran anyklaýyş enjamydyr. Soňky ýyllarda, elektron gurluşlaryň kämilleşdirilmegi bilen baglylykda, janly bedende döreýän biopotensiallaryň ýazga geçirilmegi (ölçenilmegi) anyklaýyş usul hökmünde has giň ýaýran usul bolup durýandyr. Hususan-da, ýüregiň işleýiş ýagdaýyny suratlandyrýan biopotensiallaryň ýazgysy (elektrokardiografiýa) has giň ýaýran usuldyr. Mediki-biologiki barlaglar geçirilende ulanylýan mikroskobýň tutýan orny hemmämize giňden bellidir.

Süýüm optikasyna esaslanýan häzirki zaman lukmançylyk enjamlary bedeniň içki boşluklaryna gözegçilik etmeklige mümkinçilik berýär. Spektral derňew kazyýet lukmançylygynda, gigiýenada, farmakologiyada we biologiyada ulanylýar. Atom we ýadro fizikasynda gazanylan üstünlikler anyklaýyş has belli bolan usullarynda, ýagny rentgen şöhlesiniň ulanylmagy bilen anyklamakda we belgilenen atomlaryň usulynda ulanylýar.

**Bejeriş maksatlary üçin bedene fiziki faktorlar bilen täsir etmeklik.** Lukmançylykda bejeriş maksatlary üçin ulanylýan usullaryň umumy toplumynda fiziki faktorlar bilen täsir etmeklik hem belli bir orny tutýandyr. Olaryň käbirine mysal hökmünde seredip geçeliň. Süňk döwüginde ulanylýan gips daňysy şikeslenen organlaryň ýagdaýynyň mehaniki berkidijisi bolup durýandyr. Bejeriş maksatlary üçin ulanylýan sowatmaklyk (buz) we gyzdyrmaklyk (grelka) ýylylyk täsirine esaslanýandyr. Elektrik we elektromagnit täsiri fiziobejergide giňden ulanylýar.

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

**Lukmançylykda ulanylýan serişdeleriň fiziki häsiýetleri. Biologiki ulgamlaryň fiziki häsiýetleri.** Lukmançylykda ulanylýan 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 serişdeleriniň 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 çeýeligini, 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 bolýar.

**Daşky gurşawyň fiziki häsiýetleri we häsiýetlendirmeleri.** Janly beden elmydama daşky gurşawyň täsirine sezewar bolýar. Ol gurşawyň temperaturasynyň, çyglylygynyň, howanyň basyşynyň we beýleki ş.m. fiziki häsiýetlendirmeleriň üýtgemekligine güýçli derejede jogap berýär. Daşky gurşaw bedene diňe täsir ediji faktor bolmak bilen çäklenýän däldir. Ol bejeriş maksatlary üçin hem ulanylýandyr (howa we suw bilen bejeriş).

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

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

**Lukmançylyk we tehnika.** Häzirki zaman lukmançylygy, köplenç, gurluşy taýdan fiziki bolup durýan dürli görnüşli enjamlaryň giňden ulanylmagyna esaslanýandyr.

Şoňa görä-de, «Lukmançylyk we biologik fizika» dersinde esasy lukmançylyk enjamlarynyň gurluşyna we işleýiş düzgünine sere-dilýär.

**Lukmançylyk, kompýuter tehnikasy we matematika.** Kompýuter tehnikasy lukmançylyk barlaglarynyň netijelerini gaý-tadan 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 (nus-galary) döretmeklik we derňew bermeklik üçin ulanylýar. Matematiki statistika keselleriň görnüşlerini, epidemiýanyň ýaýramaklygyny ha-saba almaklyk we beýleki ş.m. maksatlar üçin ulanylýar.

Bulardan başga-da, fizika-matematika ylmy lukmanlara janly be-denlerde bolup geçýän hadysalara dogry düşünmeklik üçin möhüm derejede gerekdir.

# I bap.

## ULGAM BARADA DÜŞÜNJE. ADAMYŇ DAÝANÇ – HEREKET ULGAMY. ERGOMETRIYA

### 1.1. ULGAM BARADA DÜŞÜNJE

*Haýsydyr bir umumy funksiya bilen baglanyşykly bolan bölekleriň (elementleriň) toplumyna ulgam diýilýär.*

Ýa-da başgaça ulgama şeýle kesgitleme bermek bolar:

*Özara täsir edişyän 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 bölekler özara baglanyşykda bolmalydyrlar. Şeýle hem ulgamyň düzümine özüniň ölçegleri we ähmiýeti boýunça birmeňzeş bolmadyk dürli obýektler degişli bolup bilerler. Mysal üçin, adamyň nerw ulgamy onlarça milliard yönekey öýjüklerden (ýagny neýronlardan) ybaratdyrlar, olardan bolsa öz gezeginde aýratyn anatomiki döremeler emele gelýärler [ýagny beýni gabygy, orta beýni, beýniji (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 dowam etmeklik üçin bölünmek bilen köpeliýär. Hut şoňa görä-de, her bir ulgam özüne mahsus bolan wezipäni ýerine ýetirýär we degişlilikde, onuň düzümine girýän bölekleriň ýerleşşi tötänleýin häsiýete eýe däldir, ýagny olar tertipleşdirilen ýagdaýda ýerleşýändirler.

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

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

Janly bedeniň 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 ulgam bolup durýandyr. Mysal üçin, gözün 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 tapawutlandyrýarlar:

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

**Öýjük.** Öýjük iň ýönekeý janly ulgamdyr, ol ösümlikleriň we janly bedenleriň esasy gurluş birligi bolup durýar. 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 hadysalaryň we himiki reaksiýalaryň geçýän gurşawy bolup durýandyr.

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

EPT beloklaryň, ýaglaryň we beýleki öýjüge gerek bolan maddalaryň sintezine gatnaşýar. Şeýle hem EPT öýjükdən 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* bolan membrana köpürjikleri bolup durýarlar. Lizosomlarda sitoplazmadan izolirlenen iýmit siňdiriş fermentleri bar. Lizosomlar Goldžiniň toplumynda döreýär we ondan kiçijik köpürjikler görnüşinde bölünip aýrylýar. Ol fagositoya 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* bolan organelladyr, onda beloklaryň biosintezi amala aşyrylýar. Her öýjükdä 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 tapawutlandyrýarlar. Eger-de beloklar sitoplazma üçin niýetlenen bolsa, onda olar erkin ýagdaýda ýerleşýän ribosomlar tarapyndan sintezlenýärler (adatça 1 belogyň «ýygnaľmagyna» ortaça 5-den 70-e çenli ribosomlar gatnaşýar).

Öýjügiň daşyna çykýan ýa-da öýjügiň içinde galýan käbir beloklar (mysal üçin, iýmit siňdiriş mázleriň sekretleri, dargadyjy fermentler, beloklar-antitelalar, gemoglobini) däneli (granulýar) endoplazmatiki torda ýerleşýän ribosomlar tarapyndan sintezlenýärler.

**Goldžiniň toplumy** sisternalaryň dessesinden ybarat bolup, onuň gyralaryndan turbajyklar we ownuk köpürjikler şahalanyp gidýärler. Islendik öýjükde adaty 20-ä çenli şeýle organella bardyr. Olar aşakda getirilen yzygiderlik boýunça membranalar ulgamynyň düzümine girýärler (ýagny: ýadro gabygynyň daşky membranasyny → endoplazmatiki tor → Goldžiniň toplumy → daşky öýjük membranasyny). Bular da öýjükde 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 diýlip hasap edilýär. Şeýle hem nukleoplazmada, aýratynam ýadro membranasynyň 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 diýlip 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 öýjügara maddalaryň toplumyna dokumalar diýilýär.*

Adam bedeninde dokumalaryň, esasan, şu aşakdaky ýaly 4 toparyny tapawutlandyryýarlar, 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 gurluşy bolmak bilen birlikde gorag funksiyany hem ýerine ýetirýärler. Şeýle hem gan birleşdiriji dokumanyň bir görnüşidir. Gan bedende transport funksiyany 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 bedeniň dürli bölejikleriniň arasynda çalt arabaglanyşygyň bolmaklygyny üpjün edýär.

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

Başgaça aýdylanda, *organ diýlip, birnäçe kysymly dokumalaryň gurluş – funksional birleşmesine aýdylýar.* Mysal üçin, adamyň derisiniň düzümine epiteliýa we birleşdiriji dokumalar girýärler (ýagny dürli kysymly 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 beden boýunça geçirýärler.

Belläp geçişimiz ýaly, her bir organ birnäçe kysymly 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 çykyan dartyjy güýç boýunça herekete getirilýär.

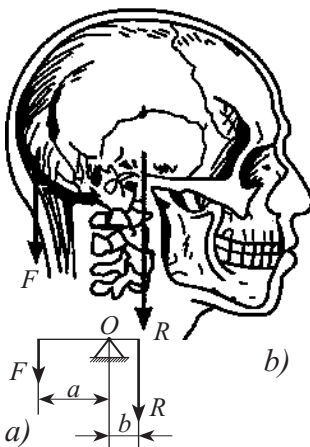
Adamyň daýanç – hereket ulgamy fiziki nukdaýnazardan deňagramlylykda saklanyan ryçaglaryň utgaşmasy bolup durýandyr.

*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 «a» surat).

Mysal üçin, sagittal tekizlikde seredilýän kelleçanaklygynyň süňki (1.1-nji «b» surat).

Ryçagyň aýlanmak « $O$ » oky kelle çanaklygynyň birinji boýun oňurga bilen sepleşýän nokadynyň üstünden geçýär. Daýanç nokadynyň önünde otnositel gysga egin aralygynda kelläniň « $R$ » agyrylyk güýji täsir edýär, ol kelleçanaklyk süňkünüň massa merkezine goýlandyr («türk eýeriniň» birazrak yzynda). Daýanç nokadynyň



1.1-nji surat.

$O$  – daýanç nokady;

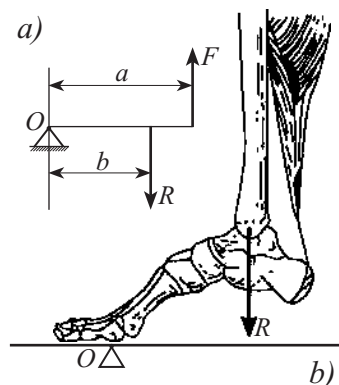
$R$  – agyrylyk güýji;

$F$  – agyrylyk güýjüne garşylykly täsir edýän güýç.

### 1.2-nji surat.

$a$  – daýanç nokadyndan  $F$  güýjüň goýlan nokadyna çenli aralyk;

$b$  – daýanç nokadyndan  $R$  güýjüň goýlan nokadyna çenli aralyk.



yznda bolsa ýeňse süňke birleşdirilen myşsalaryň we baglaýjylaryň dartyjy « $F$ » güýji täsir edýär.

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

2. « $F$ » we « $R$ » güýçleriň daýanç « $O$ » nokadynyň 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 « $a$ » surat).

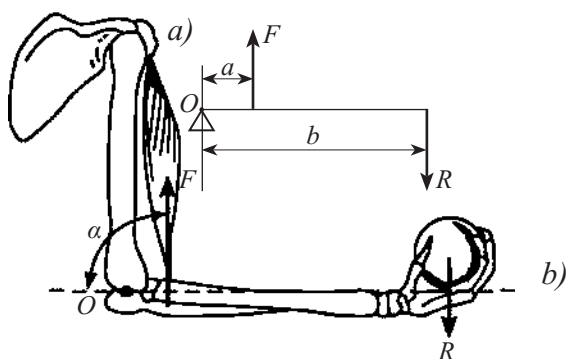
$Fa = Rb$  deňlik ryçagyň deňagramlylyk şertini aňladýandyr. Ýöne  $a > b$ ; diýmek,  $F < R$ , ýagny şeýle ryçag güýçde utuş berýär, orun üýtgetmekde bolsa utulýar we şoňa görä-de oňa **güýç ryçagy** diýilýär.

Mysal üçin, daban gümmeziniň (depesiniň) ýarymbarmaklyga galdyrylan ýagdaýy (1.2-nji « $b$ » surat).

Ryçagyň aýlanma oky geçýän « $O$ » daýanç nokady bolup daraklyk süňkleriniň başjagazlary (kellejikleri) hyzmat edýärler. Aýagyň üstüne düşýän bedeniň agyrylyk 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 « $a$ » surat).

$Fa = Rb$  deňlik ryçagyň deňagramlylyk şertini aňladyandyr. 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 « $b$ » surat).

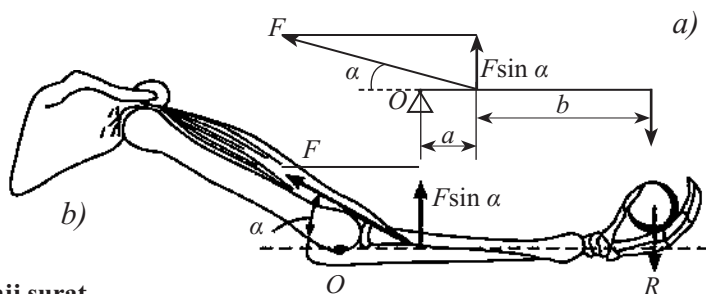


1.3-nji surat.

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

Eger-de skelete bir bedene birleşdirilen aýratyn bölümçeleriň utgaşmasy hökmünde seredilse, onda ol bölümçeleriň ählisi kadaly durýan görnüşinde (ýagny kadaly durguda) 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 bölümçeleriň hemmesi durnuksyz ýagdaýda ýerleşýärler.

Adam bedeniniň massa merkezi kadaly durguda (durulýan ýagdaýda) çanaklyk – but, dyz we aýagyň injik-daban sepleşmeleriniň merkezleri bilen bir wertikalda (dik çyzykda); türreden (aýryt som-



1.4-nji surat.

magyndan) 2,0–2,5 sm aşakda we ýanjyk (çanaklyk-but) okundan 4–5 sm, ýokarda ýerleşýär. Şeýlelik bilen adamyň bedeni skeletiň dürli bölümçeleriniň zwenolarynyň biri-birleri bilen birleşýän iň 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  $90^\circ$  ululyk bilen däl-de, käbir  $\alpha$  burçy boýunça goýlandyr (1.4-nji «a» surat).

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

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

görkeziji  $R$  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 «b» surat).

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

Daýanç – hereket ulgamyň süňkleri özara seplesiklerde ýa-da bogunlarda birleşýärler.

Bogunlary döredýän süňk uçlarynyň ählisi olaryň daşyny berk gurşayan 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 seplesýän süňkleriň özara aýlanyp biljek oklarynyň sanyny görkezýändir. *Erkinlik dereje sany* esasan bogunlardaky galtaşýan süňkleriň üstleriniň geometriki görnüşini bilen kesgitlenýändir. *Erkinlik dereje sanlary bire, ikä we üçe deň bolan bogunlary tapawutlandyrýarlar.*

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

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

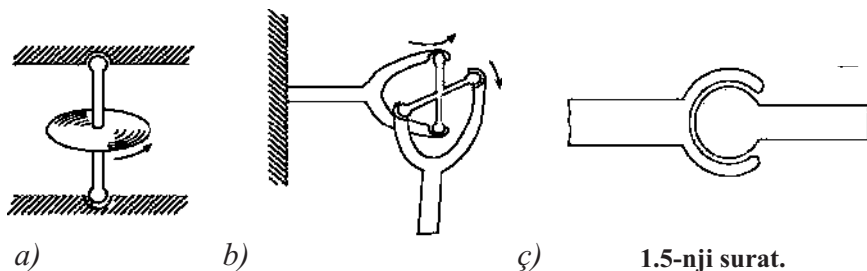
Bir nokada berkidilen gaty maddanyň diňe 3-aýlanma erkinlik dereje sany bardyr, gozganmaýan oka berkidilen maddanyň bolsa diňe 1 erkinlik dereje sany bardyr (ýagny onuň bu okuň daşynda aýlanmagy).

Bir atomly gazyň molekulasynda maddy nokat hökmünde seretmek bolar, onda şeýle erkin ýagdaýdaky 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 ыr-гылды 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 (tümmerçegi) gurşap alýar. Bogundaky hereketler, ýagny epilmek we yazylmak hereketi bognuň okuna perpendikulýar bolan tekizlikde bolup geçýär.

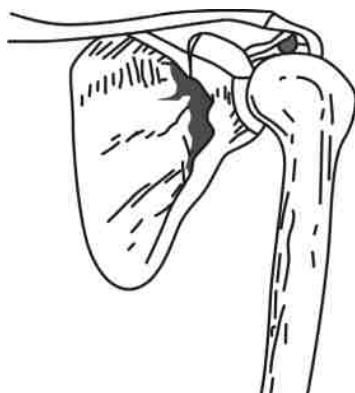
Goşar bogrunyň iki erkinlik dereje sany bardyr, onda epilme we ýazylma (göneltme) we az derejede bolsa-da, penjäniň çepe we saga bolan hereketi (ýagny penjäniň gapdallaýyn hereketi we öňki ýagdaýa getirilmegi) amala aşyrylýandyr.

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 oý-tumyna girýär.

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

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



1.6-njy surat.

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 güýjenmeli (ýygrylan) ýagdaýda bolýar we energiýany sarp edýär, ol energiýa myşsanyň özünde bölünip çykýan ýylylyga öwrülýär.

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

*Absolyt myşsa güýji diýlip, myşsany düzýän umumy myşsa süýümleriniň  $1 \text{ sm}^2$  kese-kesigine 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  $60 \frac{N}{\text{sm}^2}$ , iki kelleli çigin myşsasy üçin  $110 \frac{N}{\text{sm}^2}$  deňdir, üç kelleli çigin myşsasy üçin  $170 \frac{N}{\text{sm}^2}$  we ş.m.

Edil şol bir myşsalar tarapyndan döredilýän güýjüň we kuwatyň diňe myşsalaryň tebigy görkezijilerine bagly bolman, ondan başga-da birnäçe fiziologiki şertlere (ýaşa, iýilýän iýmite, türgenleşige

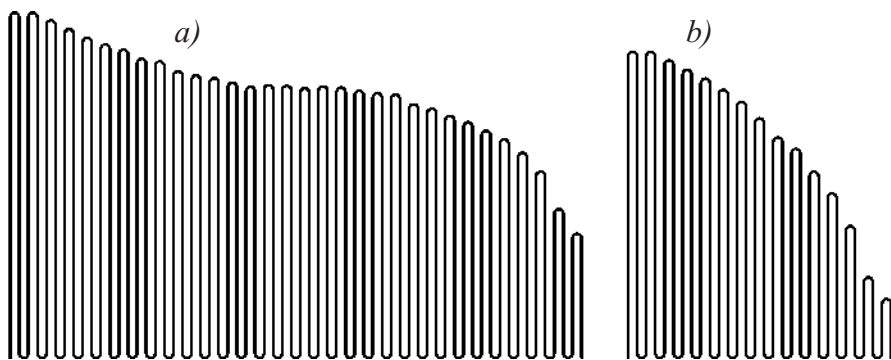
we s.m.) bagly bolmaklygy myşsa ulgamynyň aýratynlygy bolup durýandyr. Bulardan başga-da, myşsalar uly ýüklenmelere, aýratynam gysga wagtyň içinde bolup geçýänlere çydamlydyrlar.

Myşsalara mahsus bolan aýratynlyga ýadawlyk (argynlyk) degişlidir, ol myşsa güýjüniň ep-esli peselmekligi bilen baglanyşyklydyr. Ýadawlyk uzak dowamlaýyn ýerine ýetirilýän işde ýa-da aşa ýüklenmelerde (agramlarda) 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 bolmalydyr, ýagny dynç alynmalydyr.

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

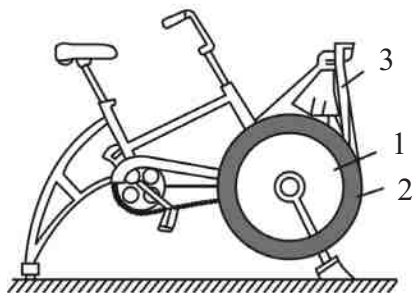
Ergometriň kömegi bilen myşsalaryň işe bolan ukyplylygy barlananda, barlanýan myşsa ýa-da myşsalar toparý tarapyndan ýerine ýetirilýän kesgitli hereketiň amplitudalary ýazga geçirilýär (has sada yagdaýda – kimografda). Muňa mysal hökmünde bilegiň ýa-da elniň penjesiniň epilmegini görkezmek bolar. Myşsalaryň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

1.7-nji suratda ýadamadyk (1.7 «a») we ýadan (1.7 «b») myşsalaryň ergogramalary getirilendir.



1.7-nji surat.

a)



b)



1.8-nji surat.

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

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

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

---

## II bap.

## SUWUKLYGYŇ GIDRODINAMIKASY. GEMODINAMIKANYŇ FIZIKI ESASLARY

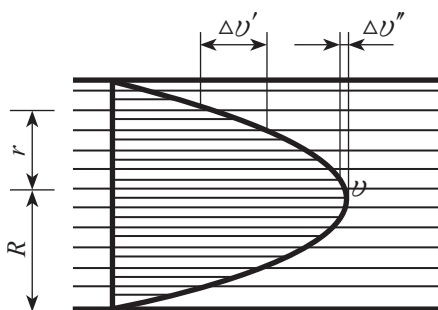
### 2.1. SUWUKLYGYŇ ŞEPBEŞIKLIGI

Hakyky suwukluklarda molekulalaryň arasynda özara dartys güýçleri bardyr, olar içki sürtülmäni 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 gorizontaý 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 (ýa-da örän haýal hereketlenýärler). Molekulalaryň soňky gatlagy basyş güýjüniň täsiri astynda we gatlaklaryň arasyndaky içki sürtülme güýjüniň garşylykly täsiri boýunça diwarýaka gatлага otnositellikde öňe süşýärler we uly bolmadyk tizlik bilen hereket edýärler. Molekulalaryň her bir soňky gatlagy öňki gatлага görä birazrak öňe süşýüp, 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*).



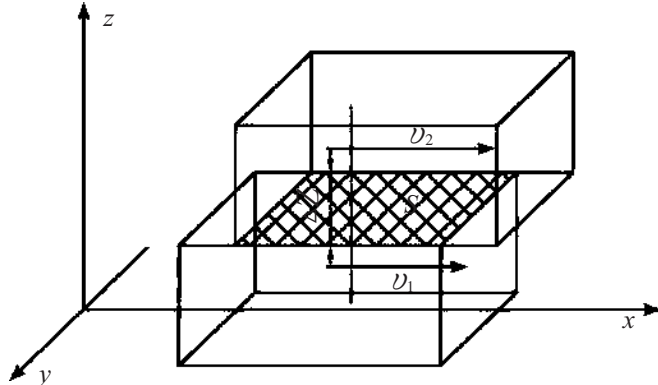
2.1-nji surat.

Nýuton (1643–1727ý.) suwuklygyň dürli tizlik bilen hereket edýän iki gatlagynyň arasynda ýüze çykýan içki sürtülme güýjüniň ( $F_s$ ) ululygyny kesgitleýdir. Ol içki sürtülme güýjüniň 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  $\eta$  – proporsionallyk koeffisiýenti, oňa şepbeşiklik koeffisiýenti ýa-da ýöne aýdylanda suwuklygyň şepbeşikligi diýilýär.  $\eta$  suwuklygyň tebigatyna baglydyr.

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



2.2-nji surat.

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 gatlakda maksimaldyr we soň kem-kemden kiçelip, turbajygyň merkezi boý okunda ol nola öwrülýär.

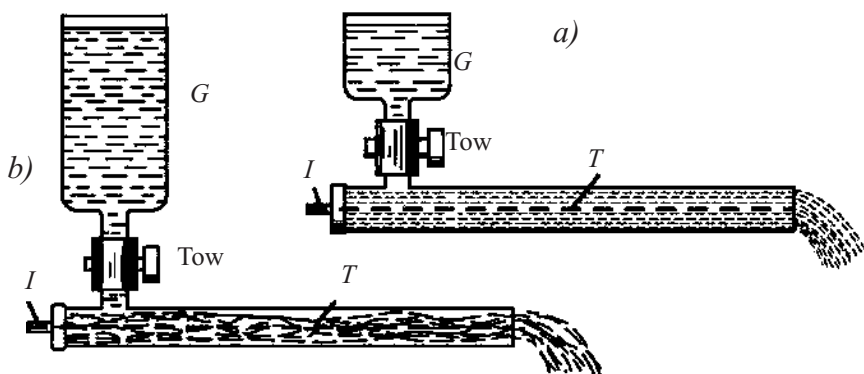
Laminar akym içki üsti ýylmanak diwarlyja turbalarda, turbalaryň kese-kesik meýdanynyň üzül-kesil üýtgemeýän we egrelmeýän ýerlerinde, şeýle hem olaryň birnäçe şahalara bölünmeýän ýerlerinde bolýandyr.

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 akyş 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 böleklere 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 hatiki üýtgeýär. Şeýlelik-de, durnukly ýagdaýda bolmadyk akym ýüze çykýar. Turbulent akymda suwuklygyň basyşynyň ýerli üýtgeşmeleri bolup geçýändir, olar bölejikleriň ses hadysalaryny ýüze çykarýan ыгылдылы hereketini döredýärler (ýagny üýtgeşik ses, jürrüldi we ş.m). Şeýle alamatlaryň bolmaklygy bilen *turbulent akymyň* bardygyny ýeňil aňlap bolýar.

Laminar akymyň turbulent akyma geçmek tizligini ( $v_{kr}$ ) tejribe üsti bilen tapylan kriteriýa boýunça – ýagny O. Reýnoldsyň (1842–1912 ý.) sany ( $Re$ ) boýunça kesgitlemek bolýar. Reýnoldsyň sanynyň ölçege birligi ýokdur. Ol akymyň kritiki tizligini ( $v_{kr}$ ) suwuklygyň dykyzlygy ( $\rho$ ) we şepbeşikligi ( $\eta$ ) 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 dykzlygyna baglydygyna görä, olaryň gatnaşygyny häsiýetlendirýän kinematiki şepbeşiklik diýlen ululygy girizmeklik amatlydyr.

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

Bu düşüňjani ulanyp, Reýnoldsyň sanyny şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$Re = \frac{v \cdot D}{\eta_{\text{kin}}}. \quad (5)$$

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 turbalar-da* 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 bolanda, 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 ke-

selleri anyklamak üçin ulanmak bolýandyр. *Bu galmagal çigin arteriýasynda ganyň basyşy ölçenilende diňlenilýär.*

Howanyň burun boşlugyndaky akymy *kadaly ýagdaýda laminar akymdyр.* 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 baglanyşyklydyр.

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

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

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

( $\eta_{\text{suw}} = 1 \cdot 10^{-3} Pa \cdot s$ ; haçanda  $t = 20^\circ C$  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 däl. Şeýle suwuklyklar Nýutonyň deňlemesi (1) bilen häsiýetlendirilýärler we olara nýuton suwuklyklary diýilýär.

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

Gan belokly erginlerde – plazmada saklanýan bölejikleriň suspenziýalary bolup durýandyr. Şonuň üçin hem ol nýuton däl suwuklyklaryň hataryna girýär diýlip hasap edilmelidir. Ondan hem başga, gan damarlar boýunça akyp geçende, onuň akymynyň merkezi böleginde bölejikleriň (eritrositleriň, leýkositleriň) konsentrasiýasy ýüze çykýar we şoňa deňişlilikde-de ol ýerde şepbeşiklik artýar. Emma oňa garamazdan, ganyň şepbeşikliginiň ol diýen uly baha eýe dældigine görä, bu görkezilen ýagdaýlar göz önünde tutulmaýar we onuň şepbeşiklik koeffisiýenti hemişelik ululyk diýlip hasap edilýär.

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

Ganyň syworotkasynyň otnositel şepbeşikligi kadaly ýagdaýda 1,64–1,69, 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, käbirleri bolsa, mysal üçin, garyn garahassalygy we inçe-kesel ony peseldýär.

Ganda dürli görnüşli bölejikler bardyr. Esasan olara eritrositler deňişlidirler, şoňa görä-de gan – nýuton däl suwuklykdyr. Ganyň reologiki (reologiýa – grek sözi bolup, ol akýaryň diýen manyny berýär) häsiýetlerine eritrositleriň häsiýetleri, olaryň hereketi, aýlanmasy we gan akymyndaky ugrukdyrmasy, 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 däl, bu bolsa ganyň gan aýlanyş damarlary boýunça aýlamakda ýürege düşýän ýüklenmäniň (agramyň) kiçelmegi üçin möhüm ähmiýete eýedir. Patologiki hadysalarda eritrositleriň membranalarynyň gatylygynyň artmaklygy ganyň şepbeşikliginiň ýokarlanmaklygyna we deňişlilikde gan aýlanyşynyň erbetleşmegine (peselmegine) getirýär.

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

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

bu ýerde  $R$  – turbanyň radiusy;  $l$  – turbanyň uzynlygy;  $P_1$  we  $P_2$  – degişlilikde turbanyň başlangyç we ahyrky meýdanyndaky basyş.

Soň Gagen bu deňligi nazary taýdan hasaplap çykarypdyr.

Suwuklyk akymynyň  $v_{or}$  ortaça tizligi wagť birliginde « $S$ » kese-kesikli turbadan akyp geçýän suwuklygyň « $Q$ » 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 adatça Gagen-Puazeýliň deňligi diýilýär. Oňa şeýle görnüşi bermek bolar:  $Q = \frac{P_1 - P_2}{\omega}$ ; bu ýerde  $\omega = \frac{8l\eta}{\pi \cdot R^4}$ ;

« $\omega$ » – *ululyga 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 kanunyňa filtrasiýa hadysasy boýun bolýar. *Filtrasiýa – bu gidrostatiki we osmos basyşlaryň täsiri astynda suwuklyklaryň öýjük membranalarynyň boşluklaryndan ýa-da gan geçiriji 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 gan geçiriji ýoldan limfa we birleşdiriji dokuma çykýar, wena damarlarda bolsa ol plazma girýär.

## 2.2. ÜST DARTYLYŞY

Suwuklygyň we onuň doýgun buglarynyň, iki sany biri-birine garyşmaýan suwuklyklaryň, suwuklygyň we gaty maddanyň bölünme üstlerinde (serhedinde) käbir güýç döreýär, ol çäkleşýän gurşawlaryň düzümine girýän dürli molekulalaryň özara täsirleri astynda ýüze çykýar.

Atomlaryň we molekulalaryň arasynda özara täsir güýçleri bardyr. 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  $d$ -molekulalaryň düzümine girýän 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 bolýandyrlar we olar kesgitli kinetik energiýa eýedirler.* Dartyjy güýçler atomlaryň we molekulalaryň ýeke-täk 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 ol gapdan dökülende onuň görnüşini saklaýan däl. Agramsyzlyk ýagdaýynda suwuklygyň şar görnüşli bolmaklygy şu aýdylanlara ters gelýän däl. Suwuklyk elmydama özüne tasir edýän güýçlere laýyklykda kesgitli görnüşe eýe bolýar. Agramsyzlyk ýagdaýynda oňa *üst dartyjy güýji* täsir edýär we onuň şar görnüşli bolmaklygy durnuklylygyň umumy şertine gabat gelýär. Molekulalar suwuklykda biri-birine galtaşyp ýakyn ýerleşýärler. Ýöne olaryň oňnositel ýag-

daýlary kesgitli bir ýere berkidilen görnüşde dälirler we olar biri-birlerine görä kem-kemden ýerlerini üýtgedýärler.

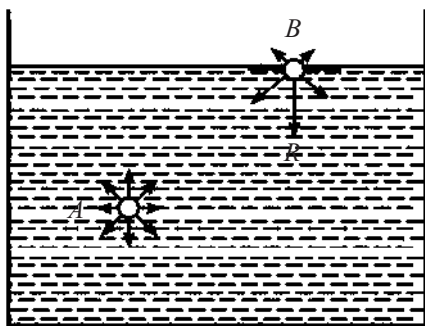
*Suwuklykda molekulalaryň özara dartyjy güýçleriniň potensial energiýasy absolýut bahasy boýunça olaryň kinetik energiýasyndan agdyklyk edýärler.* Şeýle ýagdaýda molekulalaryň özara dartyjy güýçleri uludyrlyr we olar islendik göwrüme guýulan suwuklygyň molekulalaryny saklamaklygy üpjün edýärler. Şeýlelik 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 göwrümde minimal üstki meýdana şar eýe bolýandyr.

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

Suwuklygyň ýuka üstki gatlagynda ýerleşýän «B» molekula onuň üstki gatlagyndan ýokarda ýerleşýän howanyň, şeýle hem dürli buglaryň, gazlaryň molekulalarynyň dartyjy güýjüne garanda suwuklygyň öz molekulalary tarapyndan güýçli derejede dartylýarlar. Şoňa görä-de «B» molekula täsir edýän ähli molekulýar güýçleriň deň täsiredijisi 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 gyslylyklyk häsiýete eýe bolmaklygy

onuň molekulalarynyň eýýäm öň 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 ( $\sigma$ ) hemişelik temperaturada su-



2.4-nji surat.

wuklygyň käbir üstüni döretmeklik üçin sarp edilýän işiň (A) bu üstüň meýdanyna (S) bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär, ýagny

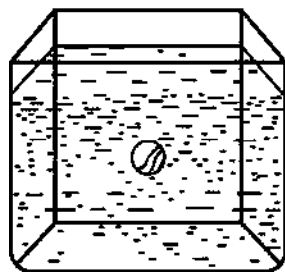
$$\sigma = \frac{A}{S}, \quad (9) \quad \text{ölçeg birligi} \left[ \frac{N \cdot m}{m^2} \right] = \left[ \frac{N}{m} \right].$$

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

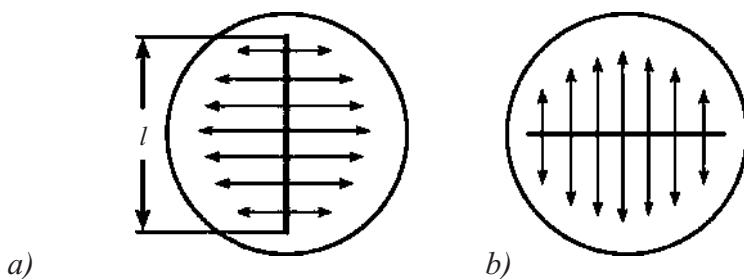
Şeýle bir mysala seredip geçeliň. Ösümlik ýagynyň otnositel uly ölçegli damjasyny dykzlygy edil ösümlik ýagyňky ýaly bolan öň içi suwuň we spirtiň garyndysy bilen doldurylan gapda ýerleşdireliň (2.5-nji surat). Ýag şar görnüşine eýe bolar we garyndyda eýeleýän ýerine garamazdan deňagramlylyk ýagdaýynda saklanar.

Üst dartylyşyna mehaniki nukdaýnazardan seredip geçeliň. Mehaniki ulgamlarda bolşy ýaly, seredilýän suwuklyk iň kiçi potensial energiýa eýe bolan ýagdaýynda durmaklyga ymtylýar we diňe şeýle ýagdaý onuň üçin has durnukly ýagdaý bolup durýandyr. Şoňa göre-de suwuklygyň üsti ýygrylmaklyga ymtylýar. Şuňa baglylykda suwuklygyň üsti boýunça üst dartyş güýji diýlip atlandyrylýan güýçler täsir edýärler. Şu babatda suwuklygyň üstki gatlagy onuň üstki tekizligi boýunça ähli taraplara *izotrop çekdirilen* ýuka rezin bardasyna meňzedilýär. Üstki dartyş güýji suwuklygyň üstüni bölýän göni çyzygyň islendik bölegine (ýerine) dik gönükdirilendir (suwuklygyň üstki meýdanyna galtaşma boýunça).

Eger-de suwuklygyň üstünde «/» uzynlykly käbir kesimi alsak (ýagny göz önüne getirsek), onda şertleýin bu güýçleri kesime dik bolan strelkalar görnüşinde görkezmek bolar (2.6-njy surat).



2.5-nji surat.



2.6-njy surat.

Üst dartylyşy ( $\sigma$ ) üst dartyjy güýjüň ( $F$ ) bu güýç tarapyndan täsir edilýän kesimiň uzynlygyna ( $l$ ) bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýär.

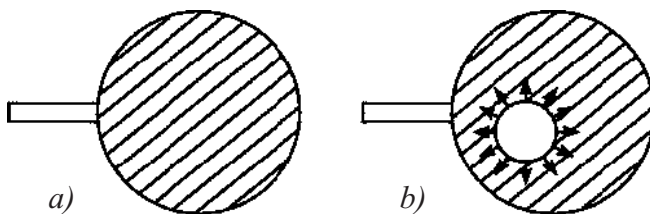
$$\sigma = \frac{F}{l} \quad (10)$$

ölçeg birligi  $\left[ \frac{N}{m} \right]$ .

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 «a» 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 ýerlerine birmeňzeş güýç bilen täsir edýän sabyn bardasy ony darter we oňa töwerek şekilini berer (2.7-nji «b» surat). Çyzyklaryň ugry bardanyň serhedinde täsir edýän *üst dartyş güýjüni* aňladýarlar (1-nji tablisa).

Üst dartylyşy temperatura baglydyr. *Kritiki temperatura* diýlip atlandyrylýan temperaturadan daşda onuň ululygy temperaturanyň ýokarlanmagy bilen çyzykly peselýändir. (Temperaturanyň ýokarlan-



2.7-nji surat.



magy bilen onuň kabir 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).

*1-nji tablisa*

**Käbir suwuklyklaryň 20°C temperaturada  
üst dartyş koeffisiýenti**

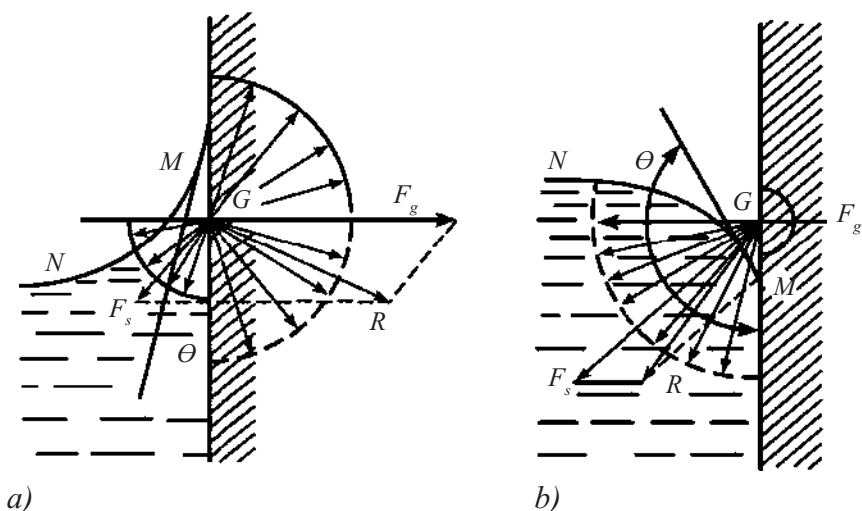
$\sigma, \frac{N}{m}$		$\sigma, \frac{N}{m}$	
suw	0,0725	simap	0,47
süýt	0,05	spirt	0,022
peşew	0,066	ganyň syworotkasy	0,06
öt	0,048	efir	0,017

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

## 2.3. KAPILÝAR HADYSALAR

*Diametri 1 mm we ondan hem kiçi bolan insizje kanally turbajyklara kapilýarlar 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 dartýjy güýçler suwuklygyň öz molekulalary arasyndaky dartýjy güýçlerden uly bolsa, ondan suwuklygyň gaty madda galtaşýan bölekleri oňa ýelmeşýärler. Bu hadysa *öllenmek* 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 «a» surat) diwarjygy düzýän maddanyň molekulalary we suwuklygyň öz molekulalary tarapyndan güýçler täsir edýärler. Diwarjygyň maddasynyň molekulalary tarapyndan täsir edýän güýçleriň deňtäsirediji güýji ( $F_q$ ) 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:  $R = F_q + F_s$ . 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 tekiz bolman, oýuk görnüşe eýe bolýar (MN çyzyk) oňa *oýuk menisk* (üstün 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 *öllemeýän suwuklyk* diýilýär.

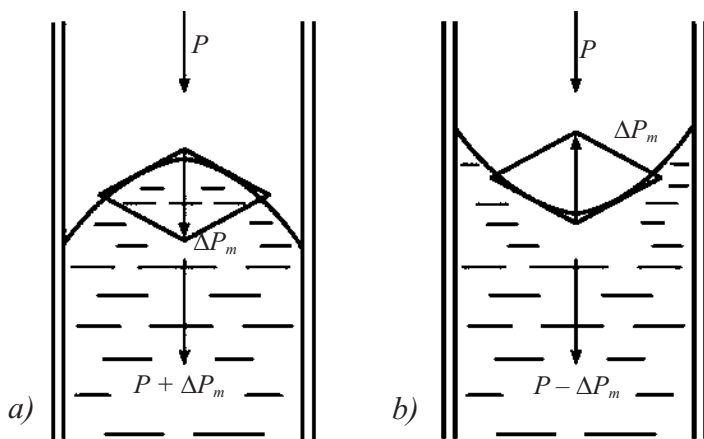
Bu ýagdaýda suwuklygyň molekulalary gaty maddanyň üstüne ýelmeşýän dälidirler. Şunlukda, gabyň diwarjygynyň ýaýynda ýerleşýän suwuklygyň molekulasyňa täsir edýän güýçleriň deňtäsirediji güýji ( $R$ ) gabyň içine gönükdirilendir (2.8-nji «b» surat). Şeýlelik bilen suwuklygyň üsti güberçek görnüşe eýe bolýar ( $MN$  çyzyk), oňa güberçek menisk diýilýär.

Eger  $\theta < \pi/2$  we suwuklyk gaty maddany ölleýän bolsa, on-da şeýle ýagdaýda gaty maddanyň üstüne *gidrofil üst* diýilýär.

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

$\theta$  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 dälidir. 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) – aşgaryň suwly erginleri tarapyndan öllenýärler.



2.9-njy surat.

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

Oýuk meniskde bu goşmaça döreýän basyş suwuklygyň daşyna gönükdirilendir (2.9-njy «b» surat) 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 ( $S = \pi \cdot r_m^2$ ) 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  $\sigma$ -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 diýlip kabul edilýär.

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

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

Kapilýarlyk hadysanyň ösümlikler üçin uly ähmiýeti bardyr, çünki ol suwuň we iýmitlendiriji erginleriň ösümlikleriň düýpleri boýunça ýokary galmaklygyna ýardam edýär.

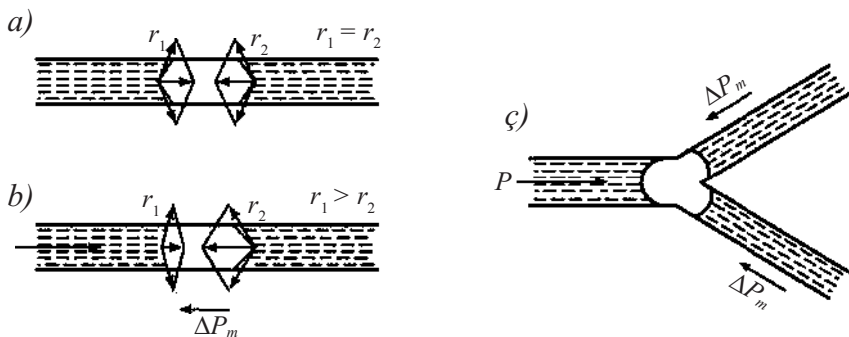
Insizje turba boýunça akýan ölleýji suwuklygyn içine düşen gazyň köpürjigi turbanyň iki tarapyndan menisk bilen çäklendirilýändir. Şeýlelik bilen, ol meniskiň aşagynda goşmaça basyş döreýär. Eger suwuklyk dynçlyk ýagdaýynda duran bolsa, onda meniskler birmeňzeş radiusa eýedirler ( $r_1 = r_2$ ) we şoňa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

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

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 «ç» surat).

Şeýle hadysalar adamyň gan aýlanyş ulgamynda hem bolup biler.

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



2.10-njy surat.

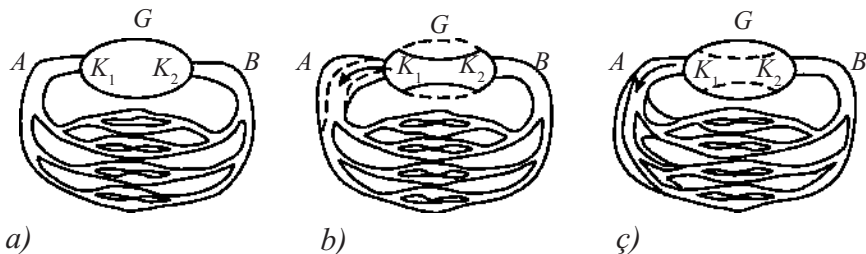
Gaz emboliýasy düýpli funksional bozulmalara we hatda ölüm bilen gutarmaklyga getirip biler. Mysal üçin, *howa emboliýasy* iri wenalar ýaralananda ýüze çykyp biler. Gan akymyna aralaşan howa ganyň akyşyna päsgel berýän howa köpürjigini döredýär. Howa köpürjikleri içki wena guýulmalarynda wenanyň icine düşmeli däl-dirler.

Gaz köpürjikleri ganda haçan-da suwa çümüjiler 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 beden bilen ony gurşaýan howanyň arasyndaky bolup geçýän gaz alyş-çalşygyna gatnaşýan däl-dir.

## 2.4. GEMODINAMIKA

***Damar ulgamy boýunça gan akymynyň hereketini öwrenýän biomehanikanyň bölümine gemodinamika diýilýär.*** Gidrodinamika gemodinamikanyň fiziki esasy bolup durýandyr. Gan akymy 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



2.11-nji surat.

we suwuklyk bilen doldurylan çeyé diwarly turbajyklar ulgamy görnüşinde görkezmek bolar (2.11-nji «a» surat). Ondaky suwuklyk akymy ritmiki işleýän iteriji nasosyň kömegi bilen bolup geçýär [ol 2.11-nji suratda rezin armytjygy (gruşasy – «G») görnüşinde görkezilendir].

Umuman alnanda, ulgamyň işini şeýle görnüşde göz önüne getirmek bolar.

Armytjyk  $G$  gysylanda onda saklanýan suwuklyk ( $K_1$ ) klapanyň üsti bilen ( $A$ ) tarapdaky turbajyklar ulgamyna çykarylýarlar we olarda suwuklyklaryň « $B$ » turbajyklar ulgamyna tarap hereketini döredýärler, soň ( $K_1$ ) klapaň ýapylýar, armytjyk giňelýär we ( $K_2$ ) klapanyň üsti bilen suwuklygyň degişli mukdary ulgamyň « $B$ » tarapyndan armytjygyň içine girizilýär.

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

Ýöne bu turbajyklaryň diwarýaka ýanyndaky içki sürtülme güýji örän ýokarydyр 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 beýleki bir aýratynlygy bolup durýandyр, şoňa baglylykda nasos ritmiki işleýän wagtynda suwuklyk akymy deňölçeqli üznüksiz häsiýete eýe bolýar.

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

Soň « $A$ » turbajygyň diwarlary öňki kadaly ýagdaýa gelmek üçin kem-kemden gysylýarlar we artykmaç suwuklygy özüniň yz

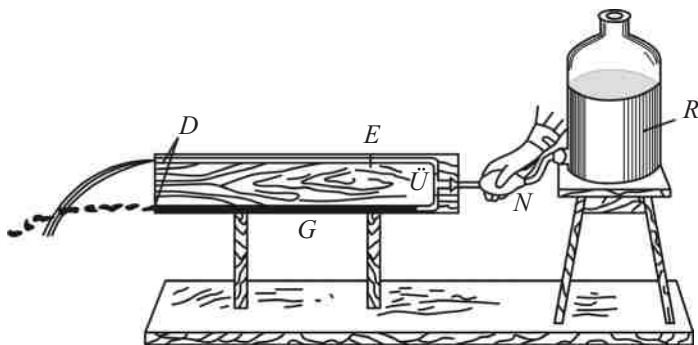
ýanynda ýerleşen ýerlere geçirýärler, olaryň diwarlary hem ilkibaşda giňelýärler, ondan soň bolsa gysylýarlar we şuňa meňzeş yzygiderlikde suwuklyk turbajyklar ulgamynyň soňky ýerlerine itilip geçirilýärler (2.11-nji «ç» surat). Netijede, suwuklygyň akymy kem-kemden deňölçegli häsiýete eýe bolýar.

Şeýle hadysanyň suratlandyrmasy bolup şu aşakdaky tejribe hyzmat edýär (2.12-nji surat). Iki sany turba (olaryň biri *G*-gaty we beýlekisi *E*-çeýe diwarly turbalardyr) üçe bölüji gurluşyň (*Ü*) kömegi bilen nasosa-armytjyga (*N*) birikdirilýärler. Öz gezeginde nasos-armytjyk suwly gap (rezerwuar «*R*») bilen birleşdirilendir. Turbalaryň uçlarynda uly bolmadyk deşikli dykyklar (*D*) bardyr, olar suwuň erkin akyp çykmaklygyna päsgelçilik berýärler.

Haçanda armytjyk gysylyp işe girizilende, «*G*» turbadan suwuň üznükli akymynyň, «*E*» turbadan bolsa – üznüksiz 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 geçýän hadysalara shematiki seredip geçeliň. Ýüregiň çep garynjygynyň her gezekdäki 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 klapanalary ýapylyrlar.



2.12-nji surat.



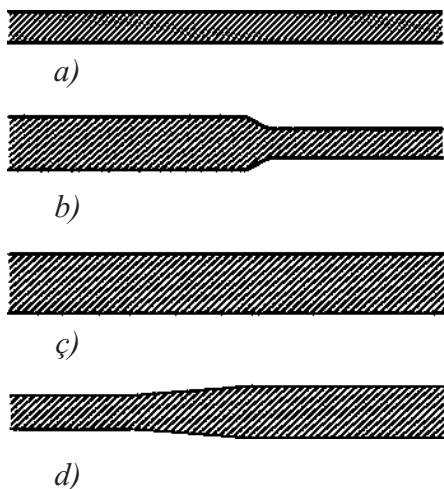
Aorta girizilen goşmaça gan mukdary ondaky basyşy ýokarlandyrýar we şoňa degişlilikde onuň diwarlaryny giňeldýär.

Damar diwarjyklarynyň çeyze 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  $16 \text{ kPa}$  deňdir.

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

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

Diýmek, *sistola wagtynda* (onuň dowamlylygy takmynan  $0,3 \text{ s}$ -a deňdir) puls tolkuny  $1,5\text{--}3 \text{ m}$  aralyga ýaýramalydyr, bu bolsa ýürek bilen gyraky uçlara çenli bolan aralykdan uludyr. Bu puls tolkun frontunyň entek aortada basyş peselmäge başlamanka gyraky uçlara ýetjekdigini aňladýar. Arteriýanyň şekili (görnüşi) shematiki 2.13-nji suratda görkezilendir.



**2.13-nji surat.**

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

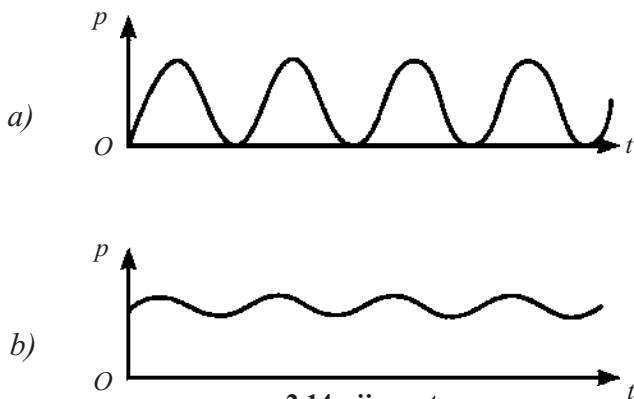
Puls tolkunyna iri arteriýalardaky gan akymynyň tizliginiň pulsirlenmegi deňşlidir, ýöne ganyň akýş tizligi (ol maksimal  $0,3\text{--}0,5\text{ m/s}$ -a deňdir) puls tolkunynyň ýaýramak tizliginden ep-esli kiçidir.

Soň ýürek myşsalarynyň gowşaýan 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 itekleyärler. Netijede, ganyň akymy üznüksiz häsiýete eýe bolýar, onuň tizligi iri damarlarda ( $0,3\text{--}0,5\text{ m/s}$ ) ululyga ýetýändir.

Ganyň akyp gitmekligine (geçilýän «*l*» 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 gönüden-göni aortadaky gan massasyna berilýändir we onuň kinetik energiýasyna öwrülýändir.

Energiýanyň galan bölegi uly damarlaryň (esasan aortanyň) çeyre diwarjyklarynyň giňelmegindäki deformasiýanyň potensial energiýasyna öwrülýärler we soň kem-kemden olaryň ilkibaşdaky ýagdaýyna gaýdyp gelmek derejesine görä, ýürek myşsasynyň gowşamak



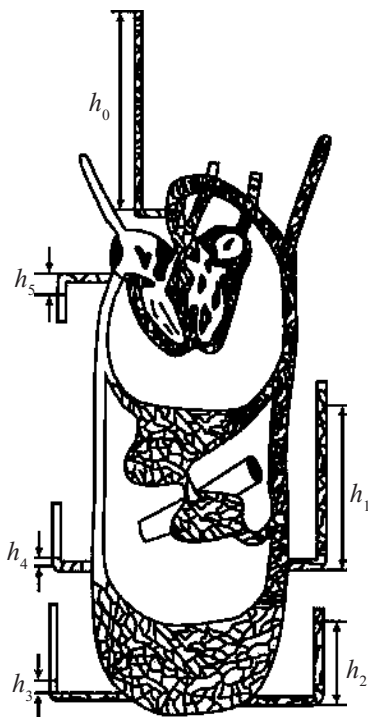
2.14-nji surat.

periodynda, ganyň massasyna geçirilýärler (ýagny gan akymynyň kinetik energiýasyna öwürilýärler).

Wagt birliginde damarlar ulgamyndaky bölek ýerleriň kese-kesiginden akyp geçýän gan akymynyň göwrüm tizligi diýlip 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 çäýe diwarjyklaryň deformasiýasynda bolan energiýanyň käbir ýitgileri bilen we damarlaryň bölünýän ýerlerinde gutulgysyz ýagdaýda 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-dürlüdür. Ol bölümlerdäki damarlaryň umumy açyklyk ysyna we sanyna baglydyr. Ganyň basyşynyň ilkibaşdaky basyşa garanda 50 göterim 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. Kapilýarlaryň umumy sany arteriollaryňkydan hem has köpdür. Ýöne olaryň gysga bolmaklygy basyşyň arteriollaryňka garanda, az pese düşmekligine getirýär.



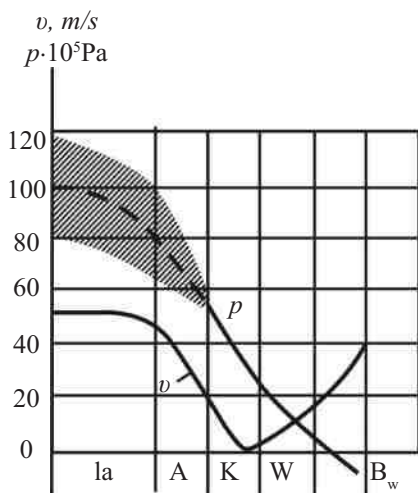
2.15-nji surat.

Kese-kesiginiň meýdany arteriýalaryňky bilen deňeşdirilende, takmynan iki esse uly bolan wena damarlarynda gan akymynyň tizligi ýokary däldir we gan basyşynyň pese düşmekligi ujypsyzdyr. Ýüregiň ýanyndaky uly wenalarda gan basyşy atmosfera basyşyndan birnäçe millimetr simap sütüni derejesinde pese düşýändir. Gan bu ýagdaýlarda dem alynýan 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 çyzyglary görkezilendir.

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 ýşyna-da baglydyr.

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



**2.16-njy surat.**

- Ia – iri arteriýalar;
- A – arteriollar;
- K – kapilýarlar;
- W – wenalar;
- B<sub>w</sub> – ýürege girýän içi boş wena.

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

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

Şeýle damarlar özara kapilýarlar 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 turbaýyklaryň ulgamyna seretmek bolar.

Damar diwarýyklary şikeslenen wagtynda damarlaryň atmosfera bilen baglanyşygynyň ýüze çykmagy mümkindir 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 diýlip atlandyrylýan sesleriň çykmagyny görkezme bolar.

## 2.5. ÝÜREGIŇ ÝERINE ÝETIRÝÄN IŞI WE KUWWATY

Ýürek tarapyndan ýerine ýetirilýän iş, garynjyklaryň ýygrylmasynda, esasan çep garynjygyň ýygrylmasynda bolýar. Sag garynjygyň işi çep garynjygyň ýerine ýetirýän işiniň 0,2–0,15 bölegine deň diýlip kabul edilýär.

Çep garynjygyň her gezekdäki ýygrylmasynda ýürek myş-sasynyň 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 gecmeklik 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:

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

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

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

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

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

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

$$V_{\text{urgy}} - \text{ganyň itilip çykarylýan urgy mukdary, dynçlyk ýagdaýynda } V_{(\text{urgy})} = 70 \text{ sm}^3 = 7 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3.$$

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

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

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

$$N_{(\text{ýürek})} = A_{(\text{ýürek})} / t_{(\text{garynj.})} = 1,14 \text{ J} / 0,3 \text{ s} = 3,8 \text{ Wt}.$$

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

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

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

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

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

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

Ortaça intensiwliki myşsa işinde ganyň 1 minutdaky mukdary takmynan 5 esse 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 şol usullaryň fiziki esaslaryna seredip geçeliň.

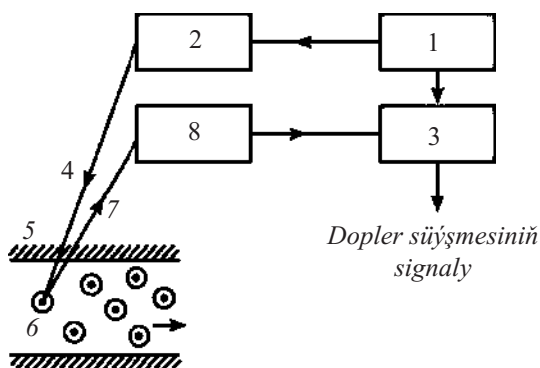
**Ultrases usuly.** Bu usul H. Dopleriň (1803–1853 ý.) efektine esaslanýar.

Ultrases ýygylykly elektrik yrgyldysyny döredýän generator-dan (1) signal ultrases şöhlenendirijä (2) hem-de ýygylyk deňşdiriji gurluşa (3) gelýär. Ultrases tolkun (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 tolkun elektrik yrgyldylaryna özgerdilýärler we güýçlendirilýärler. Güýçlendirilen elektrik yrgyldylary 3-nji gurluşa düşýär. Bu ýerde gan damaryna barýan hem-de ondan serpigen tolkunlaryň yrgyldylary deňşdirilýär (2.17-nji surat).

Şunlukda, elektrik yrgyldylary görnüşinde dopler süýşmesi ýüze çykarylyar.  $U = U_0 \cos 2\pi \nu_D t$ ; bu ýerde  $\nu_D$  – ýygylygyň dopler süýşmesi.

Dopler süýşmesini bilip eritrositleriň tizligini  $\nu_0$  kesgitläp bolýar.

$$\nu_0 = \frac{\nu}{2} \cdot \frac{\nu_D}{\nu_g},$$



2.17-nji surat.

bu ýerde:  $v$  – generator tarapyndan şöhlelendirilýän tolkunlaryň tizligi;  $v_g$  – generator tarapyndan şöhlelendirilýän tolkunlaryň ýygylgy.

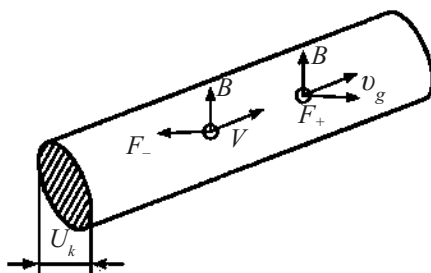
Iri damarlarda eritrositleriň tizligi olaryň damarlarda ýerleşýän yerlerine görä dürli-dürlüdür. Damarlaryň «boý oky» boýunça hereketlenýän eritrositleriň tizligi ýokarydyr, «diwarýakada» ýerleşýänleriňki bolsa pesdir. US – tolkunly damarlaryň dürli ýerinden hereketlenip barýan eritrositlerden serpigýändir, şoňa görä-de dopler süýşmesi bir ýygylgyk görnüşinde däl-de, ýygylgyklaryň toplumy görnüşinde alynýandyr. Şeýlelik bilen, *Dopleriň effekti* gan akymynyň 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 esaslanýar. Gan tebigaty boýunça neýtral ulgam bolsa-da, ol otrisatel hem-de položitel zarýadlanan ionlardan durýar. Şunlukda, ganyň tizligini zarýadlanan bölejikleriň akymy görnüşinde göz önünde getirip bolar. Hereketlenýän elektrik zarýadyna  $B$  induksiýaly magnit meýdanynda kabir güýç täsir edýär, onuň ululygy şeýle kesgitlenýär:

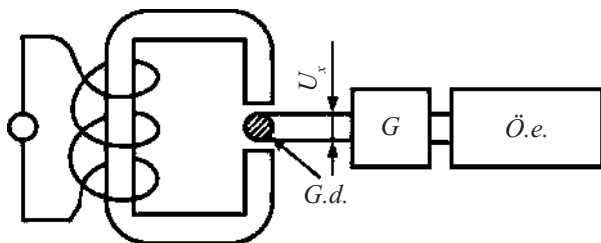
$$F = q \cdot v_g \cdot B$$

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





2.18-nji surat.



2.19-njy surat.

$G$  – güýçlendiriji;  
 $\ddot{O}.e.$  – ölçeg enjamy;  
 $G.d.$  – gan geçiriji damar.

Eger-de zarýad otrisatel bolsa, onda güýç wektor köpeltmek hasylynyň (ýagny  $v_g \cdot B$ ) tersine ugrukdyrylandyr.

2.18-nji suratda görkezilişi ýaly, magnit meýdany tarapyndan dürli atly zaryadlara täsir edilende döreyän güýçler dürli ugurlara gönükdirilendir. Damaryň bir gapdalyndaky diwarynda položitel zarýadlar, beýleki gapdalyndaky diwarynda bolsa otrisatel zarýadlar agdyklyk edýärler. Damaryň kese-kesigi boýunça zarýadlaryň bölünmegi elektrik meýdanynyň döremegine getirýär. Bu fiziki hadysa E. Hollyň effekti (1855–1938 ý.) ýa-da güýjenmesi diýip at berilýär.

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

## III bap.

## BIOLOGIKI ULGAMLARYŇ TERMODINAMIKASY

### 3.1. UMUMY ÝAGDAÝLAR

#### **Termodinamika energiýanyň öwrülişikleri baradaky ylymdyr.**

Janly bedeniň ýaşamaklygy we ondaky ýaşayşy üpjün edýän ähli hadysalar ulgamyň (has takygy «janly beden – daşky gurşaw» ulgamynyň) energetiki deňagramlylygynyň üýtgemekligi bilen jebis baglanyşyklydyr. Şuňa baglylykda barlaglaryň termodinamiki usullary biologiýada giňden ulanylýandyr.

Termodinamiki usullar özüniň düýp mazmuny boýunça statistiki usullar bolup durýandyrlar. 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 örän köp sanly molekulalaryň özara täsirlerini suratlandyryandyrlar.

Termodinamika ol ýa-da başga bir hadysanyň tebigaty ýa-da onuň geçiş mehanizmi baradaky soraga jogap berýän däldir. Termodinamika diňe berlen (ýagny seredilýän) hadysanyň geçip bilmek mümkinçiligini we onuň energetiki we entropiýa nukdaýnazardan 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 lukmançylykda giňden ulanylýandyr. Muňa, hususan-da, şu aşakdakylary mysal getirmek bolar:

**Birinjiden** – bütewi janly bedende 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 hadysalaryň netijeliliginiň we biohimiki birleşmeleriň baglanyşyk energiýasynyň kesgitlenmegi.

**Ikinjiden** – janly bedenleriň stasionar ýagdaýda termodinamiki deňagramlylygyň golaýynda ýerleşýän açyk termodinamiki ulgam hökmünde öwrenilmegi. Bu, mysal üçin, öýjük membranalarynyň üstünden geçýän maddalaryň işjeň we işjeň däl 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 *açyk*, *ýapyk* we *izolirlenen* ulgamlar degişlidirler. 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 *açyk 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 aşyрмаýan bolsa, onda oňa *izolirlenen ulgam* diýilýär.

Termodinamiki nukdaýnazardan janly beden açyk ulgama degişlidir.

**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).

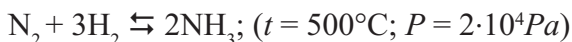
Şeýle hem deňagramly we deňagramsyz ulgamlary we olardaky bolup geçýän öwrülişikli we öwrülişiksiz hadysalary tapawutlandyryrlar.

Eger-de ulgamyň ähli nokatlarynda fiziki-himiki ululyklar (temperatura, basyş, konsentrasiýa) hemişelik bolsa we onuň dürli nokatlarynda şol seredilýän ululyklaryň bahasy birmeňzeş (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 bedeniň 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 bilmeyär.

**Energiýa we entropiýa.** *Islendik ulgamyň iş edip bilijilik ukypyny görkezýän ululyga energiýa diýilýär.*

Energiýanyň birnäçe görnüşlerini tapawutlandyrýarlar.

*Içki energiýa ( $U$ ) – ulgamy düzýän bölejikleriň kinetik we potensial energiýalarynyň jemine deňdir.*

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

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

Eger hadysa hemişelik göwürümde ( $V=const$ ) 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 ( $P = const$ ) bolup geçýän bolsa, onda energiýanyň peýdaly bölegine Gibbsiň energiýasy diýilýär.

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

bu ýerde:  $p$  – basyş,  $V$  – göwürüm.

### 3.2. TERMODINAMIKANYŇ KANUNLARY

**Termodinamikanyň 1-nji kanuny.** Ulgam tarapyndan daşky güýçleriň garşysyna amala aşyrylýan iş ulgama goýlan (ýagny oňa berilýän) ýylylyk mukdary bilen onuň içki energiýasynyň üýtgemekligi arasyndaky aratapawuda deňdir, ýagny

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

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 kanunyňy suratlandyryandy.*

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 bedeniň bütewiligine seredilmegine ýa-da onuň aýratyn organlaryna seredilmegine garamazdan, iş olarda saklanýan ýylylygyň hasabyna ýerine ýetirilip bilinýän däl, ýagny janly beden ýylylyk maşyny ýaly işläp bilýän däl.

**Termodinamikanyň 2-nji kanuny.** Taryhy taýdan termodinamikanyň 1-nji we 2-nji başlangyçlary (kanunlary) ilki bilen ýylylyk maşynlary üçin kesgitlenildi. Nemes fizigi R. Klauziusiň (1822–1888 ý.) garaýşyna laýyklykda, termodinamikanyň 2-nji kanuny şeýle ýagdaýy anyklaýdyr, 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 bedende aşakdaky şertler ýerine ýetirilmelidir:

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

Ýagny daşky gurşawyň täsiri astynda *bedeniň 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 hadysada (reaksiýada) bölünip çykýan energiýanyň (ýylylygyň) hasabyna başga bir energiýany (ýylylygy) talap edýän hadysa (reaksiýa) geçýän bolsa, onda şeýle hadysalara (reaksiýalara) çatyrym hadysalar (reaksiýalar) diýilýär.* Şeýle reaksiýalarda

$$dS/dt = (1/T)Av > 0, \quad (19)$$

bu ýerde  $A$  – maddalaryň biri-biri bilen birleşip bilijilik ukybyny görkezýän ululyk (himiki meňzeşlik),  $v$  – reaksiýanyň tizligi.

Çatyrym reaksiýalar üçin

$$A_1 v_1 + A_2 v_2 > 0, \quad (20)$$

diýmek,

$$v_1 = A_2 v_2 / A_1. \quad (21)$$

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

Biologiki ulgamlarda çatyrymlaýyn hadysalaryň bolmagy umumy ulgamyň energetiki netijeliligini ýokarlandyrýar. Ulgamda öwrülišiksiz hadysalaryň bolmagy, erkin energiýanyň dargamagyna we ýylylygyň bölünip çykmagyna getirýär.

Çatyrymlaýyn 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 nukdaýnazardan, çalt geçýän reaksiýalar beden üçin peýdaly däldirler*.

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

Azyk önümlerini iýmek we Günüň energiýasyny peýdalanmak janly bedenleriň entropiýasyny peseldýär, ol bolsa bedeniň içki energiýasynyň ulalmagyna getirýär. Daşardan otrisatel entropiýanyň gelmegi, bedeniň gurluşynyň tertipleşip, iýmit maddalarynyň tertipsizleşmegi bilen bagly bolman, eýsem ol iýmitiň bedende dargap, erkin energiýa öwrülýänligine baglydyr.

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

*Eger wagtyň geçmegi bilen ulgamyň ýagdaýy, onuň düzümi 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 düzgüni (prinsipi) diýilýär.*

Entropiýa düşüňjesine başga-da birnäçe kesgitleme bermek bolar:

1. *Entropiýa energiýanyň peýdasyz bölegidir.*

2. *Entropiýa islendik ulgamy düzýän bölejikleriň 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 çykarýan reaksiýalar özakymlaýyn 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 nukdaýnazardan häsiýetlendirýän, energiýa we ýylylyk bilen baglanyşykly ähli 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 bedenlerde edil jansyz tebigatdaky ýaly termodinamikanyň ähli kanunlary we düzgünleri doly ýerine ýetýärler. Ýöne janly bedenleriň jansyz tebigatdan aýratynlyklarynyň bardygyny bellemek hökmandyr. Mysal üçin, janly bedenler ösýärler, köpelýärler we ş.m. Janly bedenlerde berlen şertlerde haýsy hadysalaryň bolup biljekdi-

gini, olaryň haýsy çäge çenli mümkindigini bilmek zerurdyr. Şu so-  
raglara jogap bermek üçin iň amatly ululyklaryň biri ýene-de entro-  
piýadyr.

Biologiki ulgamlarda dürli energetiki hadysalar bolup geçýär-  
ler: 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 deňagram-  
lylyga has ýakyn bolmak bilen, ondaky şertleriň azajyk üýtgemegi bi-  
len hem yzyna gaýdyp gelyän hadysalara öwrülişikli biologiki hady-  
salar 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 öwrülip gelmegi bilen daşky gurşawda hiç hili  
üýtgeşmeler bolmaýarlar.

Bu hadysalardan tapawutlylykda, öwrülişiksiz hadysalarda ul-  
gam 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 öwrü-  
lip 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 ovrüp getir-  
mek üçin ýitgileriň öwezini dolmaly bolýar. Şeýlelikde, öwrülişiksiz  
hadysalaryň esasynda daşky gurşawda üýtgeşmeler bolup geçýär.  
*Entropiýa öwrülişiksiz hadysalardaky ýylylyga öwrülip, peýdasyz ýi-  
tip gidýän energiýany häsiýetlendirýär.* Şu ýerden öwrülişikli hadysa-  
larda entropiýanyň üýtgemeginiň nola deňdigi, öwrülişiksiz hadysa-  
larda bolsa, onuň ulalýandygy we položitel bahany alýandygy gelip  
çykýar.

*Biologiki ulgamlaryň esasy aýratynlyklarynyň biri olarda öw-  
rülüşikli hadysalaryň amaly taýdan ýoklugydyr, ähli hadysalaryň*

*öwrülišiksiz bolup, olarda entropiýanyň ulalýandygydyr. Diýmek, biologiki ulgamlarda ähli sarp edilýän energiýa durşy bilen peýdaly işe öwürlmeýär. Onuň bir bölegi ýylylyga öwürülýär.*

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%-e golaý, glikoliz hadysasynyňky 36%-e 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 duş 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 (öwrülišikli) ýa-da entropiýasy ulalýan (öwrülišiksiz) 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

ýagtylygyn gatnaşmagynda energiýa baý bolan birleşmeler (uglewodlar) sintezlenýärler.

Bu hadysalar üçin *termodinamikanyň ikinji kanuny ýerine ýetirmeyärmikä* diýlen sorag ýüze çykýar. Soraga jogap bermek üçin, janly ulgamlaryň daşky gurşawdan *izolirlenen, üzňe däl-de*, tersine, *onuň bilen doly aragatnaşygynyň bardygyny* bellemek gerek. Ýokarda bellenişi 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 bedenlerde 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 bedenler 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.*

Ýokarda aýdylanlardan 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 peýdalanylýar. Biologiki ulgamyň aýratyn böleklerinde entropiýa kiçelip hem biler (mysal üçin fotosintezde), ýöne ulgamyň beýleki bir böleginde entropiýa hökman ulalýandyr (mysal üçin, fotosintez üçin gerek bolan ýagtylygy şöhlelendirýän çeşmede). Netijede, ulgamyň umumy entropiýasy termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda azalanokda, ulalýar. Şeýlelikde, termodinamikanyň kanunyny janly bedenler üçin hem doly peýdalanylýar.

**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 bedenlere näme üçin gerekkä?

*Stasionarlyk ýagdaýynyň esasynda janly bedenler 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 (gomeostaz) mümkinçilik gazanýarlar. Stasionar ýagdaýda biologiki ulgamlar öz-özlerini sazlamak ukybyny 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 beden – durnugyşan stasionar ýagdaýlaryň ojagydyr*. Her ýagdaýyň derejesi tötänleýin däl-dir. Bu derejeler janly bedenleriň ewolýusion ösüşi döwründe emele gelip, olar berlen şertlerde bedenleriň 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-özünü 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 bedenleriň parasatlydygyny aňladýar. Ýaşaýyş – 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 hadysalardyr. Ýöne tebigatyň ähli hadysalary üçin umumy bolan termodinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda, entropiýanyň ulalmasyndan gaçyp gutulmak mümkin däl. Şonuň üçin bedenler iň kiçi kynçylygy saýlap alypdyrlar – olar entropiýanyň ulamak tizligi iň kiçi bolan stasionar ýagdaýy saýlap alypdyrlar».

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

- *Entropiýa öwrülişiksiz biologiki hadysalarda dargayan, bideräk sarp edilýän, işe öwürilmeyän energiýanyň ölçegidir.* Hadysada entropiýanyň ulalmagy näçe köp bolsa, energiýanyň dargamagy, ýylylygyň bölünip çykmagy hem şonça köp bolýar we hadysa şonçada öwrülişiksiz bolýar.

Janly bedenleriň özlerindäki energiýanyň çeşmelerini parasatly peýdalanýandygyny aşakdaky mysaldan görmek bolýar. Janly bedenlerde energetiki nukdaýnazardan mümkin bolan hadysalar bilen birlikde mümkin bolmadyk hadysalar hem geçýärler. Soňkulara entropiýasy kiçelýän, erkin energiýasy bolsa ulalýan dürli maddalaryň biosintezi, maddalaryň işjeň transportyny amala aşyrýan we beýleki hadysalar degişlidirler. Janly bedenlere bu hadysalary ýerine ýetirmek nähili başardýarka? Şeýle hadysalaryň esasynda *energetiki çatyrymlylyk* ýatyr. Bu hadysanyň manysy – entropiýanyň ulalmagy nukdaýnazardan mümkin bolan hadysada bölünip çykýan peýdasyz energiýa (ýylylyk), şu nukdaýnazardan 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.

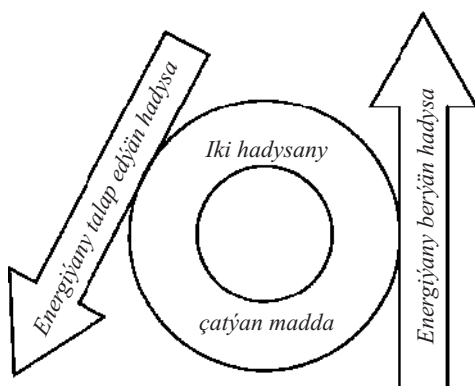
Energetiki çatyrym hadysalaryň bolmagy üçin iki şertiň ýerine ýetmegi hökmändyr:

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

2. Çatyrym hadysalaryň (reaksiýalaryň) ikisi üçin hem umumy bolan bir (ýa-da birnäçe) maddanyň bolmagy zerurdyr. Biologiki ulgamlar üçin umumy madda hökmünde fosfat, protonlaryň elektrohimiki gradiýenti we başgalar bolup bilerler (3.1-nji surat).

Biologiki ulgamlarda energetiki çatyrymlylygyň bolmagy tebigatyň iň uly tilsimleriniň, emelleriniň biridir. Bu aýdylanlara iň ýerlikli mysallaryň biri hökmünde okislenme fosforlaşma hadysalaryny görkezmek bolar. Şu hadysalaryň netijesinde dem alyş zynjyryndan geçýän elektronlaryň energiýasynyň hasabyna energiýa baý bolan ATF-ň molekulasynyň sintezi amala aşyrylýar.

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



**3.1-nji surat. Biologiki çatyrym hadysalarda energiýanyň çalşygy**



***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 daşky gurşawdan ýetirilýän täsiri (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-özünü gurnamak hadysalara we dissipatiw gurluşlara bir öýjükden köp we dürli öýjükleriň emele gelmekligi, yrgyldyly hadysalar we daşky gurşawyň täsirine görä, bir öýjükli bedenleriň birleşip, köpöýjükli bedeni emele getirmek hadysalary mysal bolup bilerler.

Janly bedenleriň gurluşlarynyň tertipsizlenmegi, şol gurluşda keseliň emele gelmegini aňladýar. Bejermek işleri şol tertipsizligi ýok etmekligi aňladýar. Ewolýusiýanyň dowamynda daşky gurşawyň yzygider täsirleriniň netijesinde bedenlerde tertiplilik artypdyr. Şol sebäpli ilki bir öýjükli bedenler, soňra bolsa köpöýjükli bedenler 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, bedendäki özüni gurnamak hadysalary daşky täsiri ýok etmek üçin bolup geçýärler. Bu düzgüne in az mejbur etmek ýa-da Le-Şatelýe-Braunyň düzgünü (prinsipi) diýilýär.

Prigožiniň we Le-Şatelýe-Braunyň düzgünleri bilelikde biologiäki hadysalaryň we ulgamlaryň amatlylyk düzgünine gabat gelýärler.



Islendik ulgam iň az energiýa we madda sarp etmek bilen iň köp işi ýerine ýetirmäge ymtylýar.

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

**r- we k-strategiýalar.** Daşky gurşawyň dürli täsirleri esasynda janly bedenlerde 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;

- bedendäki berlen gene bagly bolan biologiki funksiýanyň üýtgemegi;

- ýaşaýyş üçin göreşde mutasiýa geçen bedeniň mutasiýa geç-medik bedenden üstün çykmagy we mutasion üýtgeşmeleriň genlerde has berkemegi (has uýgunlaşan bedenleriň ýaşaýyş üçin göreşde üstün çykmagy).

1967-nji ýylda R. Makartur we E. Uilson populýasiýalaryň sanynyň wagta görä üýtgemek kanunlaryny öwrenip, olarda *r- we k-strategiýalaryň* bardygyny tekliptdiler. *r-strategiýa – bedenleriň ömürleriniň gysga bolup, çalt köpelmegi, k-strategiýa bolsa, bedenleriň ömürleriniň uzak bolup olaryň haýal köpelmegi.*

*r-strategiýa* daşky gurşawyň täsiriniň kynlaşyp, agyrlaşyp, bedenleriň şol şertlere uýgunlaşmak maksady bilen özlerinde täze gurluşlaryň, häsiýetleriň, alamatlaryň emele getirýän wagty amatly bolup durýandyr.

*k-strategiýa* bedenleriň täze şertlere uýgunlaşyp, durnukly, amatly ýagdaýa geçen döwri peýdalanylsa maksadalaýyk bolýandyr. Elbetde, bedenleriň nesil çalşygy näçe çalt bolsa, täze özgerilişikleri genlere geçirmek hem şonça-da az wagtyň dowamynda bolup geçmelidir. Janly bedenlere ýaşaýyş üçin göreşde üstün çykmak we köpeliş ukybyny ýokarlandyrmak aňsat (mugt) düşmeýär, bular üçin bedenler 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 stresiniň beloklarynyň mitohondrial görnüşini (iňlisçe: mitohondrial Heat shock protein 70, mHsp70) sintezirleýän, işjeň genli temmäki ösümliginiň transgen görnüşini alandygy barada habar beripdir. Superekspressiýanyň netijesinde mHsp70 mukdary 30 esse köpelişipdir.

Temmäkiniň genomyna 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 aşyrýarkalar? *Bu belok ýylylyk stresiniň beloklarynyň toparyna girmek bilen «timarlaýjy» ady bilen bellidir. Eger başga beloklar nädogry görnüşini alan bolsa-lar, 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 (aminokislotalardan) 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 stresiniň 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 stresiniň beloklary kömek edýärler. Köplenç, daşky gurşawyň uly temperaturasynyň gyzdyrmasyna jogap edip, beden olaryň mukdaryny artdyryýar.

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 açyk (düýrlen-medik) görnüşinde bolýarlar. Olaryň bir uýy 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 düýr-lenmegini (işjeň görnüşe geçmegini) amala aşyrýar.

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

Transgen temmäkisindäki mHsp70 belogynyň özboluşly aýratynlygyna onuň haýsy häsiýetleriniň täsir edýändigini entek belli däl. Ýöne aşakdaky ýagdaýlaryň bolmagy mümkindir:

- bu belogyň çalt köpelmegi sitozoldaky beloklaryň mitohondriýa girmek we olaryň «bişmek» tizligini, şeýle hem öýjügiň energetiki birliki bolan adenozintrifosfatyň (ATF) sintezine gatnaşýan, dem alyş we okislenme fosforlaşma hadysalaryny katalizirleýän fermentleriň mukdaryny artdyrýar;

- dem alyşyň 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 bedenleriň 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.

Tebigatda *Caenorhabditis elegans* diýen bary-ýogy 945 öýjükden ybarat bolan gurçuk bar. Alymlar tarapyndan bu gurçugyň her bir

öýjüginin döremegi, olaryň ykbaly doly öwrenilipdir. Kanadaly biolog S. Hekiminiň barlaglarynyň görkezişi ýaly, gurçugyň genomyndaky genleriň anyk käbirlerinde mutasiýa geçse, onuň ömri birnäçe esse uzalýar. Şu hadysada gurçugyň ýumurtgadan başlap, ulalan görnüşine gelyänçä ähli tapgyrlaryň dowamlylygy uzalýar, onuň köpelmegi, hereketlenmegi, ýymitlenmegi peselýär, ýöne onuň daşky gurşawyň ýokary temperaturasyna, wodorodyň aşa okisine we beýleki zyýan beriji şertlere bolan durnuklylygy ýokarlanýar. Bu *bedeniň r-strategiýadan k-strategiýa geçýändigini aňladýar*.

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

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

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

**Lukmançylyk, entropiýa we kesel.** Ýokarda bellenilip geçilişi ýaly, janly bedenleriň iň esasy aýratynlyklarynyň biri olardaky bolup geçýän köp hadysalaryň esasynda umumy entropiýanyň peselýänligidir. Bu hadysalaryň ýüze çykmagynyň sebäbi bedenleriň açyklygy we deňagramsyz stasionardygy bilen düşündirilýär. Elbetde, entropiýanyň kiçelmeginde ulgama gelyän informasiýanyň, maglumatyň ähmiýeti uludyr.

Informasiýa bedeniň ýagdaýynyň üýtgemeginiň esasy sebäbi bolmak bilen uýgunlaşma kanunyna laýyklykda, onuň dowam etmegi, ýaşamagy üçin entropiýanyň derejesini kesgitleýär. Elbetde, beden üçin entropiýanyň iň az derejesini saklamak amatlydyr. Sebäbi bu dereje berlen energiýa üpjünçiliginde bedeniň ýagdaýyny iň

ýokary durnuklylykda saklamaga mümkinçilik berýär. Informasiýa bilen entropiýanyň arasynda berk baglanyşygyň barlygy bedeniň deňagramsyz stasionar ýagdaýyny durnukly saklaýar. Şonuň üçin bedendäki informasion hadysalaryň bozulmagy keseliň döremeginiň esasyňy düzýär. Şu nukdaýnazardan kesel – bu informasiýadan üžňe durmuşdyr diýip aýtmak bolar. Dürli täsirleriň esasynda döreýän patologiki hadysalar durnuksyzdyrlar. Patologiki hadysalaryň durnuklaşmagy bedeniň hökmany suratda ölümine getirýär. Bu ýagdaý U. Eşbi tarapyndan kesgitleme berlen ulgam düşünjesi baradaky ylmy taglymatlardan gelip çykýar. U. Eşbiniň düzgünine laýyklykda, ulgamy düzýän ähli bölekleriň ýekejesiniň durnuksyz bolmagy bütin 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 bap.       BEDENİŇ ÝYLYLYK ÇALŞYGY. TERMOGENEZ**

### **4.1. BEDENDE ÝYLYLYGYŇ DÖREÝIŞ ÝOLLARY**

Bioenergetikada, biohimiýada we fiziologiýada «madda çalşygy», «esasy çalşyk», «umumy çalşyk» ýaly düşüňjeler duş gelýär.

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

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

*Umumy çalşyk* diýlip, bedeniň fiziologiki işjeň şertlerinde energiýanyň sarp ediliş derejesini görkezýän ululyga aýdylýar. Ol esasy çalşykdan we zähmet, fiziologiki, dynç we beýleki işler üçin gerek bolan energiýalardan durýar.

Beden 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-içege 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 bedeniň temperatura gomeostazyny saklamak üçin sarp edilýär.

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

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

**Esasy çalşyk.** Bu «ortaça» adamyň emosional dynçlykda, komfort temperaturada (18–20°C), ýimit 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 *kcal*/gije-gündiz, ýa-da 70,8 *kcal/sag*-a deň bolýar. Aýallarda androgenleriň mukdarynyň azlygy sebäpli olaryň esasy çalşygy erkekleriňkiden 10–15% pesdir. Bu energiýany bedeniň organlary aşakdaky 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 *kcal*/gije-gündize deňdir, fiziologiki işjeň ýagdaýynda bu ululyk 3400 *kcal*/gije-gündize, yagny 2 EÇU deňdir. Ol ilki bilen bedeniň ýagdaýyny kesgitlemek üçin gerek. Mysal üçin, galkan şekilli mäziň giperfunksiýasynda ( $T_3$  we  $T_4$  gormonlar aşa köp öndürilende) EÇU has ýokarlanýar, bu mäziň gipofunksiýasynda bolsa, tersine, EÇU peselýär. Şol sebäpli, eger bedendäki  $T_3$  we  $T_4$  gormonlary kesgitlemek kyn bolsa, onda endokrinologlar näsagyň ýagdaýyny EÇU üsti bilen kesgitleýärler.

**Umumy çalşyk.** Bu bedeniň hakyky gündelik durmuşdaky sarp edýän energiýasydyr.

Umumy çalşykdaky sarp edilýän energiýanyň gije-gündiziň dowamyndaky (*kcal*/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 işeňnirliginiň derejesini görkezýär. Eger bu ululyk kiçi bolsa (2400–3500 kkal/gije-gündiz), onda ol gipokineziýany (gipodinamiýany) görkezýär. Şeýle ýagdaý beden üçin howpludyr. Gipokineziýanyň esasynda ýaşlykdan ateroskleroz, ýüregiň işemiýa keseli, aşgazanyň we 12-barmak içegäniň ýara we beýleki kesellere getirmeginiň mümkinçiligi artýar.

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

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

Bioenergetikanyň esasy düzgünleriniň biri dürli işleri ýerine ýetirmekde beden üçin energiýanyň çeşmesi bolan ýokary energiýaly molekulalary (makroergleri) sintezlemekdir. 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 düzgünine belli amerikan biokimiği 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 nukdaýnazardan beden üçin aerob hadysalar has netijelidir. Barlaglaryň görkezişi ýaly, adam dynçlyk ýagdaýynda bolanynda onuň myşsalarynyň sarp edýän energiýasynyň 4%-i glikoliziň hasabyna alynýar. Orta agyrlykdaky iş edilende bu ululyk 26%-e çen-



li ulalyp biler. Ýöne muňa garamazdan, bedenler üçin energiýanyň esasy çeşmesi okislenme hadysalaryndaky bölünip çykyan erkin energiýadyr.

Bedene energiýa iş etmek üçin gerek. Şol işiň görnüşleri nähili? Birinjisi, ionlary konsentrasiýanyň we elektrik potensiallarynyň gradiýentleriniň garşysyna geçirip, işjeň transporty amala aşyrmak üçin sarp edilýän *elektrik işi*. Ikinji görnüş, organiki we käbir organiki däl maddalary sintezlemek üçin amala aşyrylýan *himiki iş*. Üçünjisi bolsa, myşsalary 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. Bedeniň dynçlyk ýagdaýynda (esasy çalşyk) myşsalaryň ýygrylmagy az hem bolsa, ýürek her sagatda 250–350 l gany itekleýär, hemişe dem alyş myşsalary, skelet myşsalary we gan damarlaryň hem-de bronhlaryň tekiz myşsalary işleýärler. Şeýle ýagdaýda umumy energiýanyň 12–15%-i ýüregi ýygrymak we dem alyş myşsalary işletmek üçin sarp edilýär, galanlary bolsa sintez üçin himiki işe we ionlary konsentrasiýa we elektrik gradiýentleriniň garşysyna hereketlendirmek üçin sarp edilýär. Dem almak we gan aýlanyş bolsa diňe şol energiýalary sarp etmeklige gulluk edýärler.

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

**Goňur ýag dokumasy.** Ýag dokumasy – bu bedeniň öýjükleriniň toplumydyr, onuň esasy funksiýasy energiýanyň ýag görnüşinde saklanmagyndan ybarat bolup durýandyр. Elbetde, ýag dokumasynyň başga-da birnäçe funksiýalary bardyr, olara mysal hökmünde ýylylyk izolýasiýany, 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.

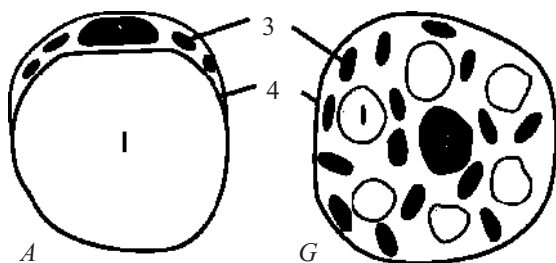
Hut ak ýag dokumasy ýokarda agzalan dört funksiýany ýerine ýetirýändir; goňur ýag dokumasynyň bolsa bulardan başga-da aýratyn funksiýasy bardyr.

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).

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 oýumlarda, oňurgalygyň ugry boýunça, böwrekleriň girelgesinde



**4.1-nji surat.**

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

1 – ýag «köpürjigi», 2 – öýjügiň ýadrosy; 3 – mitohondriýalar; 4 – öýjügiň gabygy (membranasy).

bolýar. 4.2-nji suratda täze doglan çagada goňur ýag dokumasynyň ýerleşýän ýerleri görkezilendir (has garamtyl görkezilen ýerler).

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

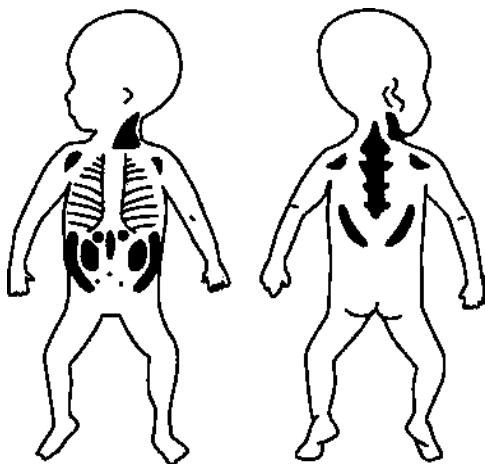
Uly adamda goňur ýag dokumasy ýok diýen ýalydyr, ýöne ol bütewi ýitip gidýän däldir.

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

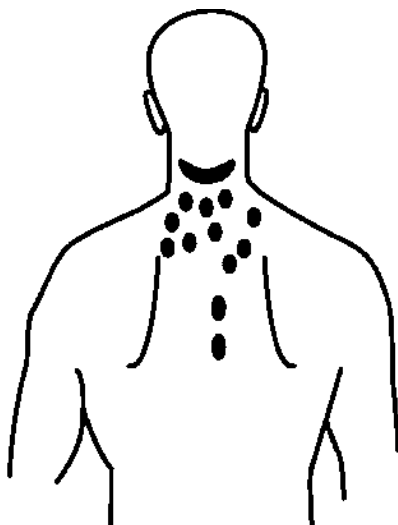
Goňur ýag dokumasy arassa görnüşde böwrekleriň we galcan görnüşli mäziň ýanynda bolýar. Mundan hem başga, pilçeleriň arasynda, döş kapasasynda we çiginlerde ak we goňur ýag dokumasyndan ybarat bolan garyşyk ýag dokumasy bardyr (4.3-nji surat).

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

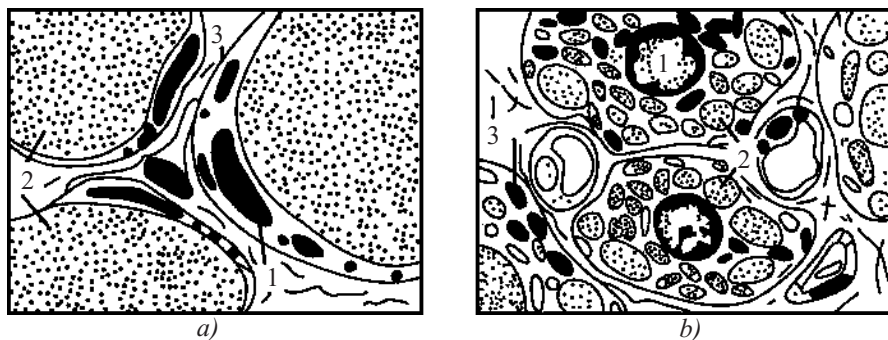
**Goňur ýag dokumasynyň öýjükleri-adipositler** kapilýarlaryň gür tory bilen gurşalandyrlar, olaryň sitoplazmasynda biri-biri bilen birleşmeýän köp sanly ýag bölejikleri bardyr (ak ýag dokumasynyň lipositlerinde adipositlerdäki ýaly köp bölejikler bolman, bütewi ýag «damjalary» bardyr) (4.4-nji surat).



4.2-nji surat.



4.3-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 okislendirişi fermentleriň – sitohromlaryň saklanýandygy bilen baglanyşyklydyr.

Goňur ýag dokumasynyň esasy funksiýasy – termogenezi mitohondriýalaryň gurluş we funksional aýratynlyklary bilen üpjün edilýär. Olarda termogenin diýlen belok bardyr, bu belok metaboliki hadysalary, ýagny okislenmek bilen fosforlaşmagy biri-birinden aýyrýar (ýagny, bu ýagdaýda ATF-ň sintezi amala aşyrylýan däldir). Goňur ýag dokumasyna termogenin belogynyň bardygyny 1984-nji ýylda Nikols we Riýal tarapyndan anyklanylýpdyr.

Goňur ýag dokumasyna bol gan üpjünçiligiň bolmagy ol tarapyndan öndürilýän ýylylygyň çalt äkidilmegini (ýaýramagyny) üpjün edýär.

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

Dürli keseller (pnevmoniýa, 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 süýdemdirijilerde bolýar, ol beýleki endoterm jandarlarda (guşlarda ýa-da ýylyganly balyklarda) ýokdur.

Süýdemdirijileriň hem hemmesi goňur ýag dokumasyna eýe däl-dirler.

Goňur ýag dokumasy:

1. gysky ukusyna gidýän haýwanlarda (olar oýanan ýagdaýynda güýçlendirilen görnüşde ýylylyk öndürilişi başlanýar);

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

3. sowuga uýgunlaşan süýdemdirijileriň käbirlerinde bolýar.

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

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

Mitohondriýanyň içki membranasynda döreýän elektrohimi proton gradiýentine baglylykda matrikse gaýdyp gelýän protonlar şol şuntuň 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,  $\text{CO}_2$  we ýylylyk goňur ýag dokumasynyň dargadylmagynda bölünip çykýan ýeke-täk önümler bolup durýarlar.

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

Hadysanyň geçişiniň sazlanýş nukdaýnazaryndan seredilende, goňur ýag dokumasy beden 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 sypdyrylsa, düzedilip bolunmajak netijelere getirip biler.

Goňur ýag dokumasynyň işjeňligi sazlanmasa, ol bedeniň aşagyzmaklygyna 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 şuntuň proton geçirijiligini üýtgetmekden ybarat bolup durýandyr. Belogyň GDF bilen baglanyşmagy şuntuň proton geçirijiliginiň üzül-kesil peselmegine getirýär. Dokumada bu sazlaýjy belogyň mukdary bedeniň 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 membranasyň 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 geýändigini 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-

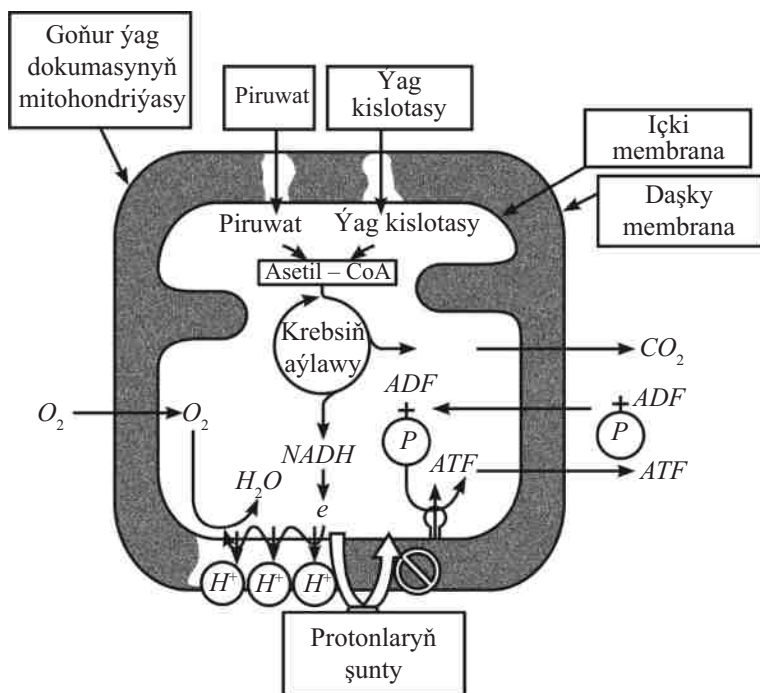
reseptorlar (olara  $\beta$ -adrenoreseptorlar diýilýär) bilen birleşýär. Bu beloklaryň bir uýy sitoplazmada ýerleşýändir.

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

5. Adenilatsiklaza ATF-den aýratyn maddanyň, ýagny siklik 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).



4.5-nji surat. Goňur ýag dokumasynyň mitohondriýasynyň işleýiş düzgüni





Indi şeýle sorag ýüze çykýar: ýagny goňur ýag dokumasyny dargatmak 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 ( $1 \rightarrow \text{birnäçe}$ );

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

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

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

**Titremek bilen baglanyşykly termogenez.** Köp bedenlere işe (herekete) başlamazdan öň ýa-da bedeniniň temperaturasy kadaly ýagdaýdan pese düşüp başlanda bedenini ýylatmak (gyzdymak) 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 tараpyndan ýylylygy öndürmekligiň adaty usuly bolup durýandyr (egerde bedeniň ýagdaýy şeýle zerurlyga mätäç bolsa).

Mysal üçin, adam üşände ilki bilen titräp başlaýar. Bu ýagdaýda nähili hadysa bolup geçýärkä? Beden titreyän wagty nerw impulslarynyň täsiri astynda ýygrylmak ulgamyndaky ATF-i dargadýan 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 öwrülýär we bedeni gyzdyrýar.

Titremek bilen ýylylygyň öndürilişi süýdemdirijilerde 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 işjeňleşmegidir. Mysal üçin, bir fermentler topary glikogeni ýa-da glýukozany dargadýarlar, başga bir fermentler topary bolsa şol wagtyň özünde olary sintezleýär. Diýmek, şol bir wagtyň özünde glikogeniň ýa-da glýukozanyň bedendäki mukdary hemişelik galýar, ýöne olary dargatmak we sintezlemek üçin bolsa ATF-ň molekulasy sarp edilýär. ATF-ň energiýasynyň köp bölegi ýylylyga öwürülip, temperaturany hemişelik saklamak üçin peýdalanylýar.

**Ýygrylmasyz termogenez.** Belli bolşy ýaly beýni we ýürekden beýleki içki organlar adam bedeniniň 8–9% massasyny düzýärler, ýöne şol bir wagtda olar umumy bedeniň 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 göwrümünü görkezýär. Termogeneziň bu görnüşü bedener üçin hemişelik ululyk bolup galýar, sebäbi bu energiýa bedeniň umumy ýaşaaýyş ukybyny, olaryň gurluşyny saklamak, dargamaz ýaly etmek üçin sarp edilýär.

**Ýygrylma termogenezi.** Myşsalaryň azajyk ýygrylmagy hem bedeniň sarp edýän energiýasynyň mukdarynyň köpelmegine getirýär. Ýatan adamynyň oturan yagdaýa geçeninde, onuň myşsalarynyň işi bedeniň 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, bedeniň umumy sarp edýän energiýasy bolsa 10–15 esse köpeliýär. Şeýle ýagdaýlarda bedeniň ýaşaaýyşyny 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 bedeniň energetiki talplaryny içki organlar we beýni kesgitleýär, dürli işleri ýerine ýetirip,

sarp edýän energiýasynyň köpelmegi bedeniň myşsa ulgamy bilen kesgitlenilýär. Şeýlelikde, myşsalaryň ýygrylmany bilen baglanyşykly ýylylygyň emele gelmegine ýygrylma termogenezi diýilýär.

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

#### 4.2. ÝYLYLYK. ÝYLYLYK ÇALŞYGY WE ONUŇ GÖRNÜŞLERI

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

a) *Ýylylyk sygymy* diýlip 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 deňdir, ganyňky 0,9–0,93; ýagyny 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 berlende hem öz temperaturalaryny dürli derejede 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* diýlip 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 maddanyň *ýylylyk izolýasiysy* diýilýär. Suwuň ýylylyk geçirijiligi 0,0014, howanyňky – 0,000091. Ýumşak dokumalaryň ýylylyk geçirijiligi 0,0011 we suwuňka ýakyn. Şonuň üçin bedendäki 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.

Beden bilen daşky gurşawyň arasynda ýylylyk çalşygyny amala aşyran 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, oňositel çyglylygy 40–60%) adam bedeninden şöhlelenme boýunça 54 *kcal/sag*, ýylylyk geçirijiligi boýunça 26 *kcal/sag* we bugarma bilen 23 *kcal/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 bedeniň arasyndaky ýylylyk çalşygy. Duran howanyň ýylylyk geçirijiligi suwuňkydan 3300 esse kiçidir. Şol sebäpli beden bilen howanyň arasyndaky ýylylyk çalşygy beden bilen suwuňka garanda has pesdir. Eger adamlar dürli sebäplere görä sowuk suwuň içinde galan bolsalar, onda olar mümkin boldugyça bedeniň suw bilen galtaşýan üstüniň meýdanyny kiçeltmäge çalyşmalydyrlar. Şeýle ýagdaýda bedeniň aşa sowaman, köp ýaşamaga mümkinçiligi artýar.

Käbir haýwanlar ýerden gelýän 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°C bolan 200 ml suwy içse, onuň bütün bedeniniň temperaturasy bary-ýogy takmynan 0,1°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 bedenler üçin wajyp bolan ýylylyk radiasiýasy gysga (0,3–3 *mkm*) we uzyn (5–100 *mkm*) tolkun uzynlykly şöhlelerden durýar. Gysga tolkun uzynlykly radiasiýa Günden we ýalyndan şöhlelenýär, uzyn tolkunly şöhlelenmeler bolsa pes temperaturaly jisimlerden hem-de bedenleriň özlери tarapyndan şöhlelendirilýärler. Gysga tolkunlary bedenler diňe siňdirýärler, uzyn tolkunlary bolsa hem siňdirýärler, hem şöhlelendirýärler. Bu tolkunlaryň bedenlere 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, akýagyz adamlaryň derisi bolsa onuň 40%-ni serpikdirýär. Negrleriň derisini gara edýän melanin pigmentleriniň ýaşyl reňkidir. Megerem, melanin pigmentleriniň benzol halkasindaky  $\pi$ -elektronlar gysga tolkunlary siňdirip, olary uzyn tolkunlar görnüşinde daşky gurşawa şöhlelendirýän bolsalar gerek.

Ähli uzyn tolkunly radiasiýalary dürli reňkli deriler deň derejede doly siňdirýärler. Şeýle yagdayda deri gyzyr 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 öwürüp, artykmaç ýylylygyny şol tarapa şöhlelendirýär. Bu bolsa yssy howada we gyzgyn toprakda towşanyň öz temperaturasyny hemişelik saklamagyna kömek edýär.

Adam bedeniniň şöhlendirýän ýylylygynyň tolkun uzynlygy 9 mkm-e 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 m/sec tizlik bilen ýokarlygyna hereket edip başlaýar, sebäbi gyzgyn howanyň agramy sowuk howanyň agramyndan ýeňil bolýar. Şeýle tizlik bilen hereket edýän howa bary-ýogy 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<sup>2</sup> 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 kkal/(m<sup>2</sup>·sag) (bütün beden üstünden takmynan 28 kkal) ýylylyk alnyp gidilýär. Bu bolsa bütün üstden alnyp gidilýän ýylylygyň 40%-ni düzýär.

Ýylylyk çalşygynda suwdaky konweksiýanyň ähmiýeti has uludyr. Mysal üçin, temperaturasy 15°C bolan ýata suwda adamynyň aşa sowap, özünden gitmegi 2–4 sagadyň dowamynda bolup geçýär. Eger güýçli akym ýa-da tolkunma bolan ýagdaýynda bu wagat has gysgalýar.

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

**Deriň bugarmagy.** Bedenden bölünip çykýan der bugarynynda 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 galtaşýan 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 bedeniň temperaturasyndan uly bolsa, onda ýylylyk çalşygynyň beýleki görnüşleriniň netijeliligi ýýtýar, ähli ýylylyk diňe bugarmak bilen çykarylýar.

40°C temperaturasy bolan deriden 1 g der bugarsa 575 *kcal* ýylylygy kompensirleýär (ýagny şonça mukdardaky ýylylygy aýyrdygy bolýar). Ýöne 1 g suwy 40°C-dan 100°C-a çenli gyzdymaly bolsa, bary-ýogy 60 *kcal* ýylylyk sarp edilýär. Diýmek az mukdardaky der bugardylanda köp mukdarda ýylylyk sarp edilýär. Esasy çalşykda bolyň bölünip çykýan 1500 *kcal* 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<sup>2</sup> üstüne 700–1100 *Wt/m<sup>2</sup>* Gün şöhlesiniň radiasiýasy düşýär. Bu kadaly ýagdaýda adam bedeninde emele gelýän ýylylykdan (60 *Wt/m<sup>2</sup>*) 11–18 esse köpdür. Şeýle köp mukdarda bedene düşýän ýylylygy aýyrmak üçin köp mukdarly der gerek. Ýöne şol deriň mukdaryny azaltmak üçin beden suw bilen birlikde deriň düzüminde dürli duzlary hem bölüp çykarýar. Deriň düzüminde duzlaryň bolmagy emele gelen ergini (deri) bugartmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryny köpeldýär. Sebäbi derden diňe suw bugarýar. Suwuň molekulalaryny duzuň molekulalaryndan goparyp almak üçin bolsa goşmaça ýylylyk sarp edilýär. Onuň üstesine-de, duzlaryň ýylylyk geçirijiligiň pesligi we duzuň kristallarynyň Günüň şöhlesini yzyna serpikdirip bilýänligi üçin, emele gelen duz gatlagy bedeni daşky gurşawyň uly temperaturasyndan we Günüň radiasiýasyndan hem gorayar.

Belläp geçmeli faktlaryň biri, yssy we has çygly howada deriň bugarmasynyň ýylylyk çalşygyndaky ähmiýetiniň peselýänligidir.



Şol sebäpli Türkmenistanyň şertlerinde tomus aýlary ýagys ýagsa, howanyň cyglylygy 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.** Bedene daşky yssy howadan gelyän ýylylygy ýa-da sowuk howa gidýän bedeniň öz ýylylygyny azaltmak üçin hökmän 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 çalyşygynda bedendäki egrilikleriň (barmaklaryň, gollaryň, aýaklaryň we ş.m.) radiusynyň uly ähmiýeti bardyr. Radiusyň kiçelmegi bilen ýylylyk izolýasiýasyny amala aşyrýan gatlagyň netijeliligi peselýär. Iň gyzykly faktlaryň biri bolsa egrilik radiusy 0,6 sm kiçi bolanynda, izolirlmek üçin niýetlenen gatlak şol organyň ýylylygy diňe bir ýitirmezligine 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 bedenler üçin wajypdyr. Mysal üçin, duşmanyndan gaçyp barýan haýwan gaty ylgamaly bolýar. Şol sebäpli onuň aýaklarynyň myşsalar köp iş etmeli bolýar we köp mukdarda ýylylyk bölüp çykarýar. Bedeniň aýaklarynyň inçe bolanlygy sebäpli, öndürilýän ýylylyk bedeniň daşyna çykarylýar we bütin bedeniň temperaturasyny sazlamaga mümkinçilik berýär.

Adam bedeninde iň kiçi radiusly egrilikler onuň elleriniň barmaklarydyr. Megerem, şonuň üçindir, elleriň barmaklary ýylylyk çalyşygyňy iň gowy amala aşyrýan organlardyr. Beden gyzan wagtynda barmaklardaky gan aýlanyş birnäçe ýüz esse ulalýar we sagatda 40 kkal ýylylygy daşaryk çykarmaga mümkinçilik berýär. Bu bolsa esasy çalyşygyň 50–60% bölegidir. Daşky gurşawyň temperaturasy pes



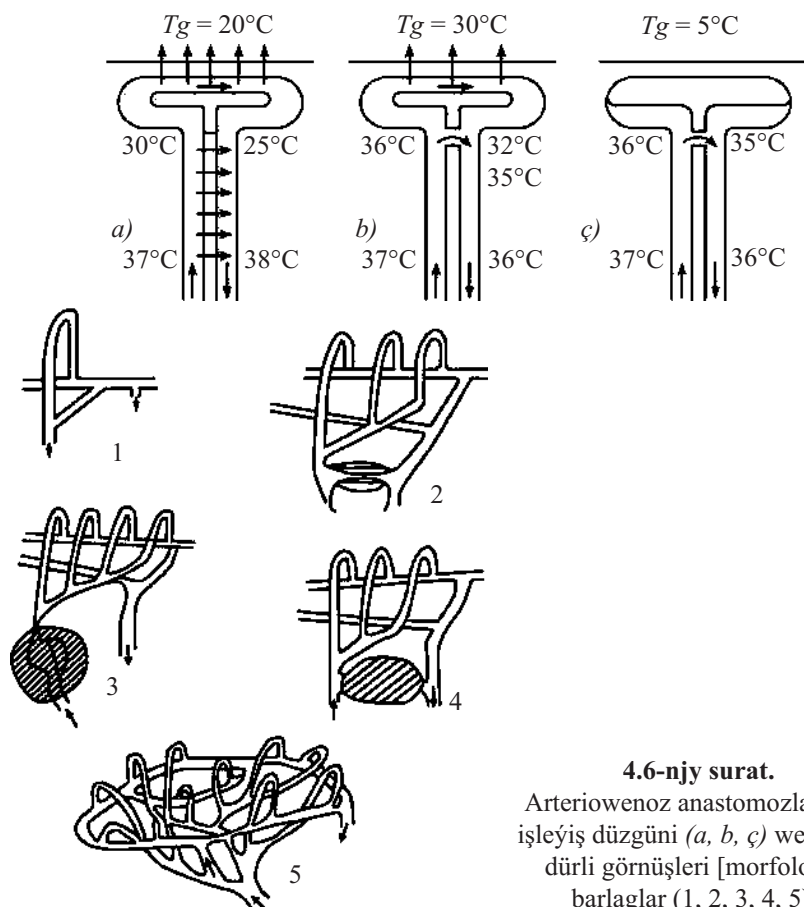
bolanynda ýa-da az mukdarda metaboliki ýylylyk öndürilende adam bedenindäki ýylylyk çalşygy diňe barmaklaryň üsti bilen inçe we dogry sazlanýýar. Munuň şeýle bolmagy, barmaklaryň radiusynyň kiçi bolyp, deridäki gan aýlanyşyň azajyk üýtgemegi bilen hem ýylylyk çalşygyny has netijeli amala aşyryp bolýandygy bilen düşündirilýär.

**Ýylylyk çalşygynda gan aýlanyşygyň ähmiýeti.** Deride gan aýlanyşygyň kömegi bilen ýylylygy sazlamakda kapilýarlar gatnaşmaýarlar. Bu funksiýany, esasan, deridäki arteriowenoz anastomozlary ýerine ýetirýärler. Olar elleriň we aýaklaryň barmaklarynda köp bolup, her 1  $sm^2$  meýdanda 100–500 sanysy bardyr. Aşakdaky suratda ganyň aram we yssy howada öz ýylylygyny daşky gurşawa berişiniň we sowuk howada ýylylygyny saklap galýşynyň 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).

Ähli şertlerde anastomozlaryň işleýiş düzgüni birmeňzeşdir: kadaly şertlerde metaboliki ýylylygy arterial gan içki organlardan 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 (4.6-njy surat; a, b, ç).

Ýylylyk çalşygyny gan aýlanyşygynyň kömegi bilen amala aşyrmagyň ýene-de bir mehanizmi arteriýa we wena gan damarlarynyň bilelikde «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 gyzgyn ganyň ýylylygy bilen ýeterlik temperatura çenli gyzdyrmakdyr.



#### 4.6-njy surat.

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

Tersine, eger wenadan has gyzgyn 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 ýaşayan uly wagşy balyk) žabralaryndan gelýän gany; týuleniň ýüzgüçleriniň periferiki böleklerinden ýa-da deňiz guşlarynyň penjelerinden gelýän gany görkezmek bolar. Şeýlelikde, bedeniň temperaturasyny hemişelik saklamakda, beden bilen daşky gurşawyň arasynda ýylylyk çalşygyny amala aşyrmakda we ony sazlamakda gan aýlanyşygynyň uly ähmiýeti bardyr.

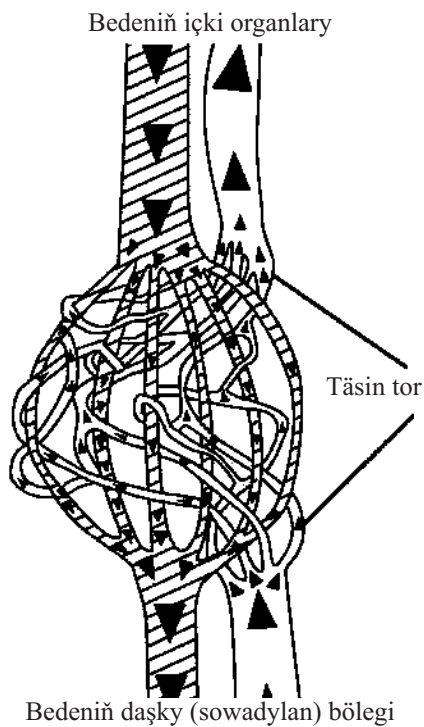
**Bedeniň energetiki we ýylylyk çalşygynyň ontogenezdäki aýratynlyklary.** Çagalaryň energetikasynyň esasy aýratynlyklarynyň biri onuň ösmegi we agramynyň köpelmegi üçin gerek bolan maddalaryň sintezine näçe mukdarda energiýanyň talap edilýänligünden ybarat bolup durýandyr (*birinji ýagdaý*).

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 eşiksiz ýagdaýda her sagatda 75 kkal ýylylygy öndürýär (75 kkal/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  $1 \text{ sm}^2$  üstünden geçýän ýylylyk akymynyň kuwwaty  $1,73 : 661 = 2,6 \cdot 10^{-3} \text{ Wt}/\text{sm}^2$ . 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 tabl.).



4.7-nji surat. Täsin tor

**Uly adamyň we täze doglan çaganyň energetiki  
we ýylylyk çalşygyndaky aýratynlyklary**

	Bedeniň meýdan üsti, [ $sm^2$ ]	Ýylylyk öndürilişi, [ $kcal/sag$ ]	1 $kg$ massa düşýän meýdan üsti, [ $sm^2/kg$ ]	1 $sm^2$ üstden 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

Tablisadan görnüşi ýaly, täze doglan çaga uly adama garanda se-redilýän 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  $sm^2$  üsti üçin öndürýän energiýasynyň we ýylylygynyň mukdary uly adamlaryňkydan 3,5–3,75 esse uly bolmalydyr. Çaganyň temperatura gomeostazyndaky ýüze çykýan meseleler onuň «birlige getirilen» agramynyň üstüniň uludygy, ýylylyk izolýasiýasynyň kiçidigi we esasy çalşygyň derejesiniň pesligi bilen baglydyr.

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

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

## V bap.

## SES. AKUSTIKA

### 5.1. SESIŇ TEBIGATY. SES TOLKUNLARYNYŇ FIZIKI HÄSIÝETLENDIRMELERI

Maýyşgak gurşawy düzýän bölejikleriň boý tolkunlary görnüşinde ortaça 16–20000 Gs (Gers) ýygylykly, adam gulagy tarypyndan 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 ýygylygy 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 ýygylyk degişlidir.

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

Sesiň tony ýygylyk (ýa-da period), amplituda we ýygylygyň görnüşü ýa-da onuň garmoniki spektri bilen, şeýle hem ses tolkun-

laryna degişli bolan intensiwlik (ýa-da sesiň güýji) we sesiň basyşy bilen häsiýetlendirilýär.

2. *Ses galmagaly*. Ses galmagaly diýlip çylşyrymly, wagta görä baglanyşykly gaýtalanmaýan sese aýdylýar. Maşynlaryň seslerini, el çarpyşmalary, çygşyldyny, gapyň jygyldysyny, adam gürländäki çekimsiz 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, gümplüdi, partlama, gök gürlände we ş.m ýaly gysga wagtlaýyn ýüze çykýan ses täsirlerine urgy sesleri diýilýär. (Urgy sesleri urgy tolkuny bilen garyşdyrylmaly däldir).

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

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

bu ýerde  $W$  – ses tolkunynyň energiýa akymy, ölçeg birligi  $[Wt]$ ;  $S$  – ses tolkunynyň geçýän üst meýdany, ölçeg birligi  $[m^2]$ ;  $W_{\text{ort}}$  – geçýän ses tolkunynyň ortaça energiýasy;  $t$  – ses tolkunynyň energiýa akymynyň geçýän wagt aralygy, ölçeg birligi  $[s]$ .

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

Ses tolkununda bölejikleriň toplanýan (dykyzlanýan, ýygjamlaşýan) ýerlerinde döreýän goşmaça (ýagny daşky gurşawyň ortaça basyşyndan artykmaç bolan) basyşyň netijeleýji (orta-kwadratiki) bahasyna sesiň basyşy ýa-da akustiki basyş « $P$ » diýilýär. Ol  $[Pa]$  – Paskal ýa-da  $\left[\frac{din}{sm^2}\right]$  ölçeg birliklerinde ölçelýär ( $\frac{din}{sm^2}$  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;  $\rho$  – gurşawyň dykzylygy;  $c$  – sesiň tizligi.

Udel akustiki garşylyk gurşawyň akustiki häsiýetleriniň esasy häsiýetlendirmesi bolup durýandyr.

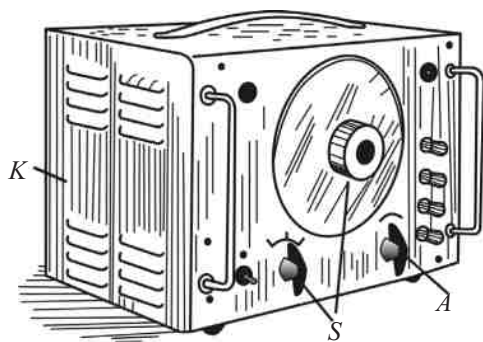
Gurşawda erkin ýaýraýan sese ylgaýan tolkun hökmünde seretmek bolar. Gurşawyň çäklendirilen ýerlerinde durujy ses tolkunlary döreýärler.

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.

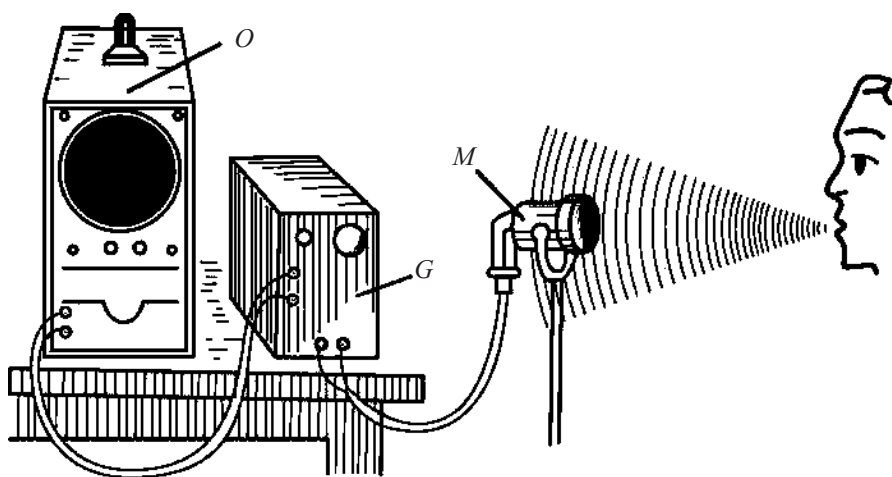
Adatça degişli ölçegli we görnüşli boşluklary doldurýan howa sütünleri (toplumlary) ses rezonatorlary bolup hyzmat edýärler. Egerde rezonatora çylşyrymly ses tolkuny düşýän bolsa, onda bu ýagdaýda diňe rezonatoryň öz hususy ýygylgyna gabat gelýän ýa-da oňa bitin (kratnyý) gatnaşykda bolan garmoniki tonlar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

Ses barlaglarynda we onuň amaly ulanylyşynda ses yrgyldylarynyň elektrik yrgyldylaryna ýa-da elektrik yrgyldylarynyň ses yrgyldylaryna bolan özara öwrülmeleri 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 öwrülýärler.

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



5.1-nji surat.



5.2-nji surat.

Mikrofonyň kömegi bilen ses yrgyldylaryny edil şuna meňzeş ýygyllykly 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 edilýär (5.2-nji suratda:  $M$  – mikrofon;  $G$  – güýçlendiriji;  $O$  – ossillograf).

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 özgerdilýärler we olar güýçlendirijide güýçlendirilenden soň ýazgy ýazýan  $G$  – golowkanyň (başjagazyň)  $T_1$  – tegegine berilýärler (5.3-nji «a» surat). Tegeginiň serdeçnigi güýçli hemişelik magnitden ( $M$ ) ybaratdyr, onuň polýuslarynyň aralygyndaky boşlugyň ýanynda lenta ( $L$ ) deňölçepli 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) görnüşü hökmünde

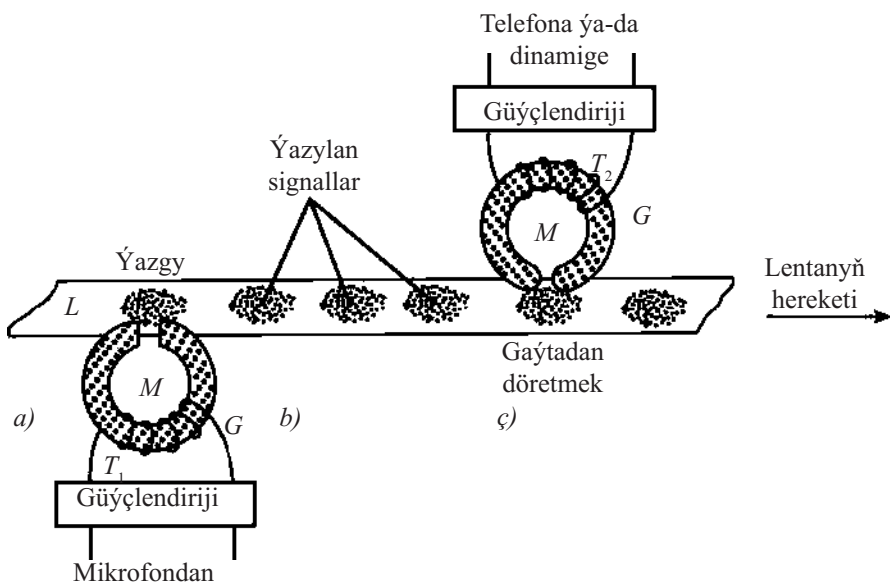


lenta ýazylýarlar. Ol ýazylýan ýerler (uçastoklar) ses signallarynyň häsiýetine baglylykda magnit meýdanynyň dürli konfigurasiýasyna (görnüşine) we güýjenmesine eýedirler (5.3-nji «b» surat).

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

Şuňa baglylykda « $T_2$ » tegekte elektrik yrgyldylary induktirlenýärler, olar güýçlendirilenden soň telefona ýa-da dinamige berilýärler, ol ýerde bolsa olar gaýtadan ses yrgyldylaryna öwrülýärler (5.3-nji «ç» surat).

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



5.3-nji surat.

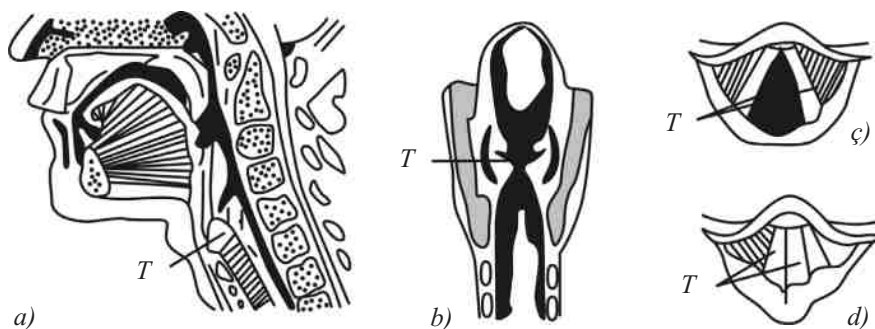
## 5.2. ADAMYŇ SES DÖREÝIŞ (GÜRLEÝIŞ) WE EŞIDIŞ ULGAMYNYŇ GURLUŞYNYŇ FIZIKI ESASLARY

Adam sesiniň ses tolkuny 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 «a», «b» surat).

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

Şunlukda, dem goýberilende yşdan geçýän howa akymynda gezekleşip gelýän dykyzlanýan (ýygjamlaşýan) we selçenleşýän uçastoklar döreýärler hem-de howa bölejikleriniň boý yrgyldylary ýüze çykýar. Şeýlelik bilen esasy ses tolkuny döreýär. Bu tolkunyň yrgyldyly ýygylgy we intensiwligi (sesiň güýji) ses tarjagazlarynyň güýjenme derejesine we dowamlylygyna, şeýle hem yşdan geçýän howanyň tizligine we basyşyna baglydyr.

Adam gürleýän wagtyndaky sesleriň gutarnykly görnüşde kemala gelmegi we oňa individual tembriň berilmegi bokurdak, agyz we burun boşluklarynda bolup geçýär. Olar esasy tolkunda bar bolan



5.4-nji surat.

kesgitli garmoniki tonlary güýçlendirýän rezonatorlar bolup hyzmat edýärler. Mysal üçin, gürlenýän wagtyndaky sesleriň kemala gelme-gi üçin agyz boşlugynyň göwrüminiň we görnüşiniň 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 galmagallaryna has ýakyndyr.

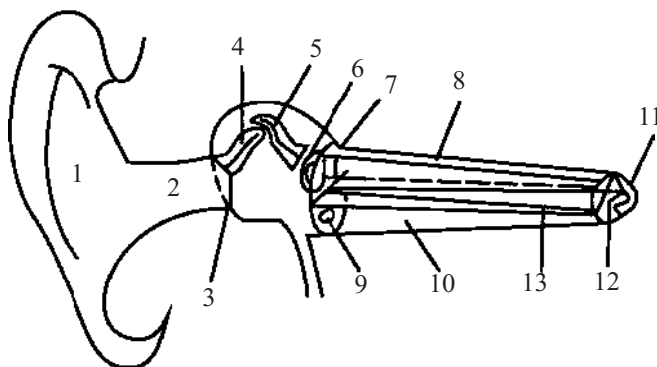
*Eşidiş ulgamy ses tolkunynyň kabul edilişini kelle beýnisi bilen birleşdirýär.*

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

Eşidiş ulgamy ses geçiriji we ses kabul ediji böleklerden durýandyr.

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

a) *Daşky gulak.* Daşky gulak gulak rakowinasyndan (ýelkeninden) (1) we daşky gulak (eşidiş) ýolundan (2) ybaratdyr (5.5-nji surat).



**5.5-nji surat.**

1 – gulak rakowinasy (ýelkeni); 2 – daşky gulak (eşidiş) ýoly; 3 – deprek (gulak) perdesi; 4 – çekiçjik; 5 – sandal; 6 – üzeňňijik; 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 (ýelkeni) eşi diş prosesinde möhüm orny eýeleýän däl dir. Ol ses çesmesi sagittal tekizlikde ýerleşýän ýagdaýynda onuň lokalizirlenen ýerini kesgitlemeklige mümkinçilik berýär.

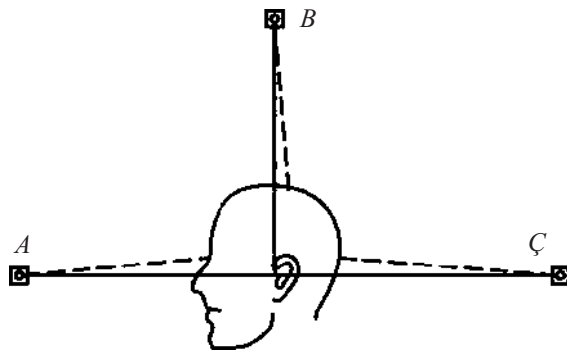
Muňa düşündiriş bereliň. Goý, ses çesmesinden ses gulak rakowinasyna (çukurjygyna) düşýär diýeliň. Ses çesmesiniň wertikal tekizlikde ýerleşýän ýagdaýyna görä ses tolkunlary gulak çukurjygyna dürli görnüşde difragirlenerler (5.6-njy surat). Bu daşky gulak (eşi diş) ýoluna düşýän ses tolkunlarynyň spektral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

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

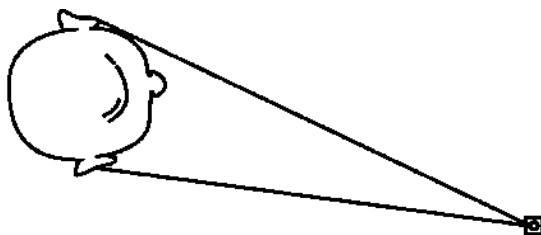
Ses tolkunlary tarapyndan geçilýän aralyklaryň tapawudy « $\delta$ » we tolkunlaryň faza tapawudy « $\Delta\varphi$ » şeýle deňlikler bilen kesgitlenýärler:

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

bu ýerde  $\lambda$  – sesiň tolkun uzynlygy.



5.6-njy surat.



5.7-nji surat.

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 « $\delta$ » takmynan iki gulagyň çukurjyklarynyň arasyndaky aralyga deňdir diýip hasap edeliň. 25-nji deňlik boýunça ses tolkunlarynyň ýygylgy  $1 \text{ kGs}$  (kiloGers) we  $\delta = 0,15 \text{ m}$  diýip hasap etmek bilen tolkunlaryň faza tapawudyny kesgitlemek bolar. Ol takmynan  $180^\circ\text{C}$ -a deňdir (ýagny  $\Delta\varphi = 180^\circ$ ).

Horizantal tekizlikde seredilýän sesiň çeşmesiniň dürli ýerleşiş ýagdaýyna (ugruna)  $0^\circ$  bilen  $180^\circ$  aralygyndaky ( $0^\circ\text{--}180^\circ$ ) fazalaryň tapawudy degişli bolup biler (ýokarda seredilip geçilen maglumatlara laýyklykda). Kadaly eşidýän adam sesiň çeşmesiniň ýerleşýän ugruny  $3^\circ$ -a çenli takyklyk bilen kesgitlep bilmeklige ukyplydyr diýlip hasap edilýär, bu  $6^\circ$  fazalaryň tapawudyna degişlidir. Şoňa görä-de adam gulaklaryna düşýän ses tolkunlarynyň fazalarynyň tapawudynyň üýtgemekligini  $6^\circ$ -a çenli takyklyk bilen tapawutlandyryp bilýär diýip aýtmak bolar.

Tolkunlaryň faza tapawudyndan başga-da, binaural effektiň ýüze çykmaklygyna sag we çep gulaga düşýän sesiň intensiwliginiň birmeneňes 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 tolkuný daşky eşiđiş 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 eşiđiş ýolunyň uzynlygyndan dört esse uly bolanda döräp biler. Adamyň gulagynyň daşky eşiđiş ýolunyň uzynlygy takmynan  $2,7\text{ sm}$ .

Onda biz akustiki rezonansyň tolkun uzynlygynyň nähili ýygylgynda döräp biljekdigini kesgittläliň:

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

Diýmek, akustiki rezonans takmynan  $3\text{ kGs}$  ýygylgynda döreýär.

b) *Orta gulak*. Orta gulagyň iň möhüm böleklerine deprek perdesi [Dp] (3) we eşiđiş süňkjagazlary bolan çekijjik (4), sandal (5) we üzeňňijik (6) degişlidirler. Olar özlerinde degişli myşsalarý, 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 tolkuný 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 suwuklygyň tolkun garşylyklaryny sazlaýjy (biri-birine gabat getiriji) gurluş hökmünde çykyş edýändir.

Süňkjagazlar ulgamynyň bir ujundaky çekijjik (4) deprek perdesi (3) bilen birleşýär, beýleki ujundaky üzeňňijik bolsa (6) içki gulagyň süýri «äpişgesi» (deşigi) (7) bilen birleşýär (*5.8-nji surata seret*). Deprek perdesiniň meýdany ( $S_1$ )  $64\text{ mm}^2$ -a deňdir (ýagny  $S_1 = 64\text{ mm}^2$ ); süýri «äpişgäniň» meýdany ( $S_2$ )  $3\text{ mm}^2$ -a deňdir (ýagny  $S_2 = 3\text{ mm}^2$ ).

Ses tolkuný 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:

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

Sünkjagazlar 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:

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

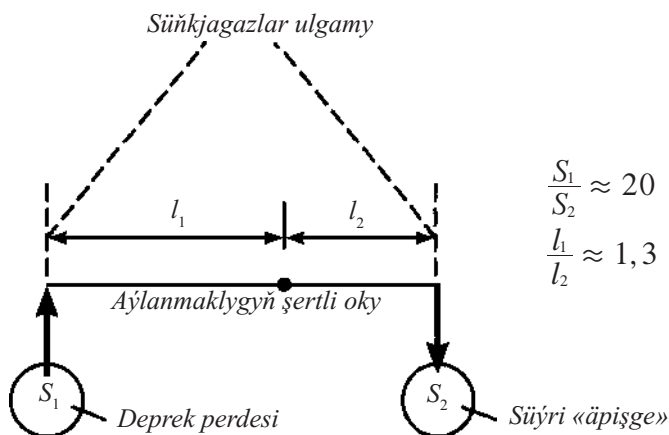
Bu ululygy logarifmiki birliklerde aňladyp, alarys:

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

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 döreyän aşa mehaniki ýüklenmelerden goramak bolup durýandyr. Bu ýagdaý sesiň intensiwligine (güýjüne) baglylykda üzeňňijigiň (6) yrgyldamak häsiýetiniň üýtgemekliginiň hasabyna gazanylýar. Sesiň basyşynyň bosaga (iň pes) we ondan ýokary ululyklarynda üzeňňijik porşen ýaly şüýşýär (yrgyldaýar). Onuň süýşmesiniň absolýut bahasy örän kiçidir we ol deprek perdesiniň hereketini gaýtalaýandyr.

Deprek perdesiniň süýşmek ululygyny kesgitläp bolýandyr. Deprek perdesiniň galyňlygy ses tolkunlarynyň uzynlygy bilen deňeşdirilende örän kiçidir we onuň orun üýtgetmesiniň tizligi howadaky tekiz tolkunyň bölejikleriniň tizligi bilen gabat gelýändir.



5.8-nji surat.

Tolkundaky bölejikleriň orun üýtgetmesiniň ortaça tizligi ( $v_{ort}$ ) sesiň basyşy ( $p$ ), tolkunynyň ýaýramak tizligi ( $C$ ) we howanyň dykzlygy ( $\rho$ ) 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 ( $\ell$ ) arasynda şeýle arabaglanyşyk bardyr:

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

bu ýerde  $\nu$  – ses tolkunynyň ýygylgy.

29-njy deňlige howanyň dykzlygynyň « $\rho$ », sesiň ýaýramak tizliginiň « $C$ » we sesiň bosaga basyşynyň « $p_0$ » ( $\rho = 1,3 \frac{kg}{m^3}$ ;  $C = 3,4 \cdot 10^2 \frac{m}{s}$ ;  $P_0 = 2 \cdot 10^{-5} Pa$ ) bahalaryny goýmak bilen, deprek perdesiniň süýşmek tizligini tapmak bolar ( $v_{ort} = 5 \cdot 10^{-8} \frac{m}{s}$ ).

Onda 30-njy deňlik boýunça perdäniň süýşmek aralygyny taparys, ol  $10^{-11} m$ -e 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.



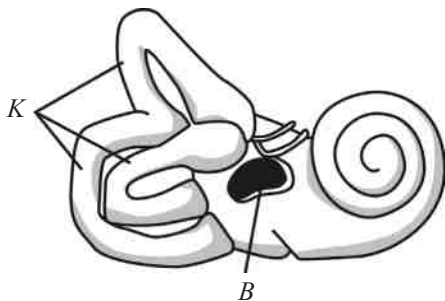
Eger sesiň basyşynyň pes ululyklarynda üzeňňijigiň süýşmesi amaly taýdan deprek perdesiniň hereketini gaýtalaýan bolsa, onda sesiň güýjüniň ýokarlanmaklygy bilen üzeňňijigiň yrgyldy häsiýeti hem üýtgeýär. Sesiň güýjüniň orta bahalarynda üzeňňijik süýri «äpişgäniň» bir ujunda wertikal okuň daşynda yrgyldyly hereketine başlar (edil açylyan we ýapylýan gapy ýaly). Sesiň has ýokary intensiwliginde üzeňňijik süýri «äpişgäniň» gorizonta okunyň daşynda aýlanma hereketine başlar, şunlukda onuň bir ujy süýri «äpişgä» basylyr, 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 ses geçiriji ulgama degişlidirler. İçki gulak ses kabul ediji ulgam bolup durýandyr.

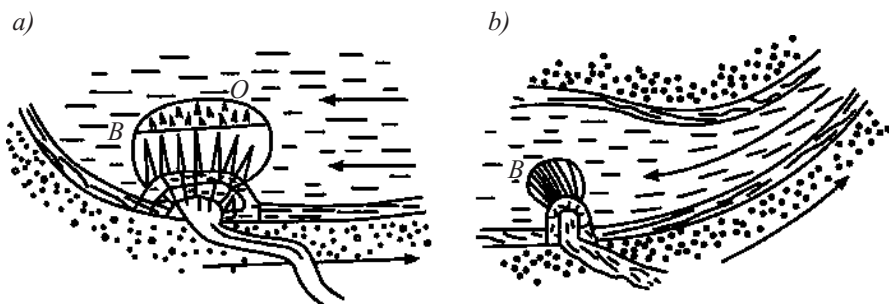
ç) *Içki gulak.* Ulitka (eşidiş perdesi) içki gulagyň esasy bölegi bolup durýandyr, ol mehaniki yrgyldylary elektrik signallaryna öwürýändir. Şeýle hem içki gulaga westibulýar (deňagramlylyk) ulgamy degişlidir, ýöne onuň eşidiş funksiýasyna hiç hili dahyly ýokdur (5.9-njy surat).

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 toparý ýerleşýändir, olaryň uçlary tüýler bilen örtülendirler (5.10-njy «a», «b» surat).

Girelgäniň (bosaganyň) we ýarymaýlawly kanallaryň içinde goýy massa (endolimfa) bardyr, ol özünde fosforturşy



5.9-njy surat.



5.10-njy surat.

we komürturşy kalsiýniň ownuk kristallaryny saklaýar, olara otolitler (*O*) diýilýär (5.10-njy «a» surat).

Adam hereketlenende kelläniň orun üýtgetmesine baglylykda endolimfanyň we otolitleriň hereketini ýüze çykarýar, bu bolsa nerw öýjükleriniň tüýleriniň epilmegine (egrelmegine) getirýär. Şunlukda, olarda impulsar döreýär, 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 bildirýändir.

Kelläniň gönüçyzykly 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 döreýän täsirden tapawutlandyryp bilýän däldir.

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

Eger adamyň westibulýar ulgamyna yzygider ýüze çykýan täsir bar bolsa, mysal üçin, gäminiň çaykanmasy, onda bu ýagdaý bedeni deňiz keseli diýlip 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 konus şekilli spirala meňzeşdir. Onuň düýbünüň (esasynyň) diametri takmynan 9 mm-e; beýikligi bolsa takmynan 5 mm-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) gelýär, 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. Üzeňňijigiň (6) yrgyldylary (ýagny basyşyň täsiri astynda döreýän 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 membrana-da kortiýew organ ýerleşýär, 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 giňeýär we galňaýar (ol 0,1 mm-den 0,5 mm-e çenli giňelýär). Üzeňňijigiň ýanynda ol dardyr, ýeňildir we depesine garanda maýyşgaklyk modulynyň ululygy takmynan 100-

esse ýokarydyr. Bazilýar membrananyň mehaniki häsiýetleriniň birmeňzeş däliligine görä dürli ýygylkly tolkunlar onuň böleklerini dürli görnüşde herekete getirýärler.

Esas (bazilýar) membrana fiziki nukdaýnazardan seredilende örän tasin gurluş bolup durýandyr, ol tolkunlary ýygylgy 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 ýygylgyna baglylykda dürli derejede togtayarlar. Tolkunlaryň ýygylgy 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 kesgitlenýändigi barada nazaryýet döredi.

Şeýlelik bilen, içki gulakda kesgitli funksional zynjyryň bardygyny görüňär. Ol zynjyr şeýle görnüşe eýedir:

süýri «äpişgäniň» membranasynyň yrgyldysy → perilimfanyň yrgyldysy → bazilýar membrananyň çylşyrymly yrgyldysy → duýgur (týýli) öýjükleriň gyjyndyrylyşy (kortiýew organynyň reseptorlary) → elektrik signalynyň generirlenmegi.

**Nerw impulsynyň döreýşi.** Eşidiş nerwinde nerw impulsy şeýle ýagdaýda doreýär. Bazilýar membrananyň hereketi (yrgyldysy) kortiýew organda ýerleşýän duýgur (týýli) öýjükleriň deformasiýasyny döredýär. Týýli öýjükleriň deformasiýasy olaryň sitoplazmatiki membranasyndaky potensiallaryň tapawudynyň bölekleyin depolýarlaşmagyna getirýär. Potensialyň şeýle üýtgeşmeleri afferent neýronlaryň miýelinizirlenmedik dendritlerine täsir edýär, olar týýli 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 (iň pes) ses basyşynda deprek perdesiniň yrgyldylary (süýşmesi)  $10^{-11}$  m-e 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 (týýli) öýjükleri herekete getirip eşidiş duýgusyny döretmeýändigini hut ýokarda agzalan yrgyldylaryň amplitudalarynyň örän kiçi ululykda bolmaklygy bilen düşündirilýändir.

Kerligiň käbir görnüşleri ulitkanyň reseptor ulgamynyň zeperlenmegi bilen baglanyşyklydyr. Şeýle ýagdaýda ulitka mehaniki yrgyldylaryň täsiri astynda elektrik signallaryny generirläp (döredip) bilýän däldir. Şular ýaly kerlere kömek berip bolýandyr, onuň üçin degişli elektrodlar ulitka (eşidiş perdesine) 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 obýektiw häsiýetlendirmeleri bilen baglanyşyklydyr. Bu arabaglanyşygy anyklamak we şeýlelik bilen dürli adamlaryň ses eşidiş derejesi barlananda olaryň subýektiw sesi duýujylygyny obýektiw 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 diýlip atlandyrylýan interwallara bölünýärler.

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

3-nji tablisa

### Oktawanyň interwallary

Oktawa	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ýygylgylaryň 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 deňşililikde, garmoniki spektrleri boýunça tapawutlanyp bilerler. Şeýle tapawutlylyk gulak tarapyndan sesiň temбри hökmünde kabul edilýär. Mysal üçin, dürli adamlar güründe ýüze çykarylýan esasy ýygylgylary boýunça birmeňzeş bolan çekimli sesler tembrleri boýunça tapawutlanýarlar.

Tembr, esasan, sesiň spektral duzumi 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 (çäk) duýulyşyndan\* ýokary bolan derejesini görkezýär.

---

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

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 gezinde, ses tolkunlarynyň fiziki häsiýetlendirmelerine, ýagny yrgyldylarynyň ýygylgyna we tolkunynyň intensiwligine (sesiň güýjüne) baglydyr. Bularyň *birinjisi* gulagyň ses kabul ediji 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 aýdylarlara baglylykda gulak tarapyndan intensiwligi örän giň diapazonda bolan sesler kabul edilýär. Ýöne oňa garamazdan yrgyldylaryň edil şol bir ýygylgynda-da sesiň gatylygy bilen intensiwligi arasynda göni arabaglanyşyk ýokdur.

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

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

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

bu ýerde:  $dL$  – sesiň gatylyk derejesiniň elementar artdyrmasy;  $I$  – başlangyç (ilkişadaky) intensiwlik;  $dI$  – intensiwligiň artdyrmasy, ol gatylyk derejesini « $dL$ » ululyga üýtgemeklige getirýär;  $k$  – proporsionallyk koeffisiýenti, ol ýygylgy we intensiwligine baglydyr.

Onda sesiň berlen intensiwliginde ( $I$ ) gatylygyň derejesi ( $dL$ ) bu aňlatmany intensiwligiň  $I_0$  derejesinden  $I$  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 bosagasy (çägi-ne) degişli bolan intensiwlik.

Bu ýerden şeýle netije gelip çykýar: berlen sesiň gatylyk derejesi (yrgyldynyň şol bir ýygylgynda) onuň logarifmiki ululyklarda alnan  $I$  intensiwliginiň eşidiş bosagasy häsiýetlendirýän  $I_0$  intensiwlige bolan gatnaşygyna göni proporsionaldyr. (Weberiň – Fehneriň psiho-fiziki kanuny).

#### 5.4. SES ÖLÇEGLERI

Gulagyň uýgunlaşma häsiýetini suratlandyran sesiň intensiwliginiň üýtgemekligine baglylykda gatylyk derejesiniň üýtgemekligi arasyndaky logarifmiki arabaglanyşyk ses ölçegleri ulgamynyň esasy düzýändir. Sesiň gatylygynyň ýygylgy bolan baglanyşygyny aradan aýyrmak üçin ses ölçegleri ulgamynda 1000  $Gs$  ýygylkly 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  $k = 1$  diýlip alynýar).

Onda (1000  $Gs$  ýygylkly ton üçin) sesiň  $I$ -intensiwliginde gatylygyň  $\Delta L$  derejesi otnositel ölçeg birliklerinde şeýle kesgitlener:

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

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

Nol dereje üçin sesiň degişlilikde şeýle intensiwligi ( $I_0$ ) ýa-da basyşy ( $\Delta p_0$ ) kabul edilendir:

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



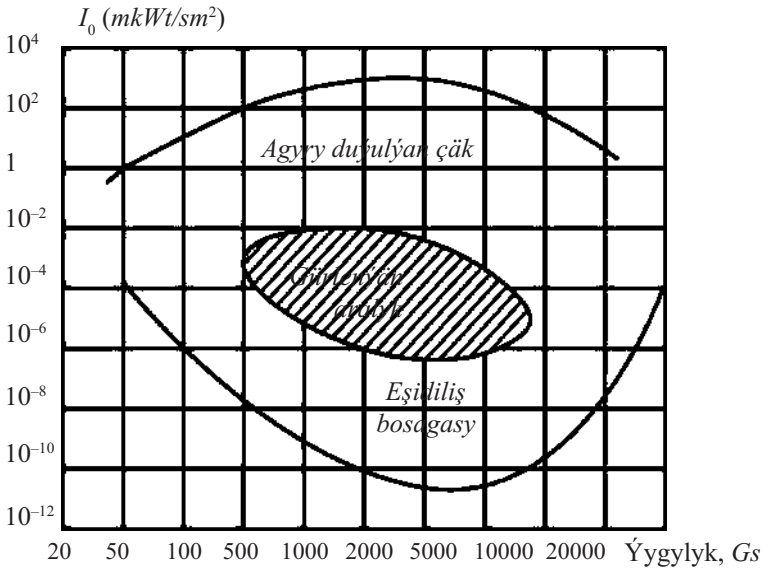
$$\Delta p_0 = 2 \cdot 10^{-15} \text{ Pa}.$$

Bu görkezilen ululyklar kadaly eşidýän adamlarda geçirilen tejribe boýunça alnan ortaça görkezijilere baglylykda (1000 Gs ýygyllykly tonda) eşidiş bosagasynda deňşlidir.

Şkalanyň ýokarky derejesi üçin sesiň  $I_{\text{maks}} = 10 \frac{Wt}{m^2} (10^2 \frac{mkWt}{sm^2})$  ululykly intensiwligi ýa-da  $\Delta P = 64 \text{ Pa}$  ululykly ses basyşy kabul edilendir, bu ululyklarda gulagyň eşidiş derejesi agyryny duýujy ýagdaýa geçýär [oňa agyry duýulýan çäk (bosaga) diýilýär] (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 deňşlidir. 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 deňşlidir.*



5.11-nji surat.

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 geçişň nähili amala aşyrylýandygyna seredip geçeliň.

Goý  $a = 60 \text{ dB} = 6B$  bolsun, bu derejeleriň gatnaşygy  $\frac{I_a}{I_0} = 10^a = 10^6$  diýmekligi aňladýandyr. Onda intensiwlik

$$I_a = I_0 \cdot 10^6 = 10^{-12} \cdot 10^6 = 10^{-6} \frac{Wt}{m^2} \text{ ululyga deň bolar.}$$

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

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

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

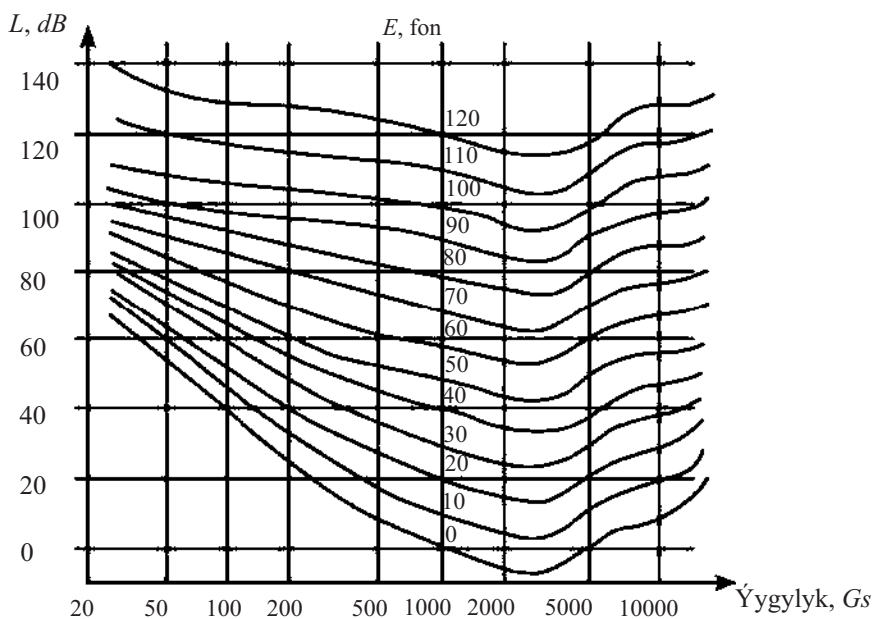
Şeýlelik bilen, 1000 Gs ýygylýkly tonda alnan gatylyk şkalasyndaky bel sesiň intensiwligindäki skala boýunça alnan bele gabat gelýändir. Şonuň üçin hem gatylygyň beline şeýle kesgitleme bermek bolar: sesiň intensiwligi 10 esse üýtgände 1000 Gs ýygylýkly tonuň gatylyk derejesiniň üýtgemekligine bel diýilýär.

Ses ölçegleri ulgamynda sesiň gatylygynyň yrgyldynyň ýygylýgyna bolan baglanyşygy kadaly eşidýän adamlarda geçirilen tejribeleriň netijeleri boýunça alnan ortaça görkezijiler esasynda kesgitlenýär. 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 ( $\Delta p$ ) yrgyldynyň ýygylgyna ( $v$ ) bolan baglanyşygyny, ýagny  $I = f(t)$  haçan-da  $E = \text{Const}$  bolanda görkezýärler (5.12-njy surat). Amatly bolar ýaly grafik onluk logarifmler masşabynda gurlandyr.

Gatylygyň nol derejesiniň ýa-da eşidiş bosagasynyň egri çyzygynyň möhüm ähmiýeti bardyr, ol bosaga intensiwliginiň ( $I_0$ ) ýygylgyna ( $v$ ) bolan baglanyşygyny görkezýär. Şeýle egri çyzygyň grafigi 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



5.12-nji surat.

duýujylygy aňrybaşa çenli peseldýär. Şeýle ýagdaýda sesiň eşidiş bosagasy kem-kemden ýokarlanyar 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 basyş ýa-da agyry duýulyşyna geçýär. Grafikdäki sesiň ýygyllyklary 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 ýygyllygy, 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* ýygyllykly 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 dälidir. Ony diňe 1000 *Gs* ýygyllykly 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* ýygyllykly tona degişlilikde) şeýle deňlikler ulanylýar:

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

bu ýerde  $I$  we  $\Delta p$  – degişlilikde sesiň intensiwliginiň we basyşyň berlen (seredilýän) ululyklary;  $I_0$  we  $\Delta p_0$  – degişlilikde olaryň bosaga (şkala boýunça nol) bahalary.

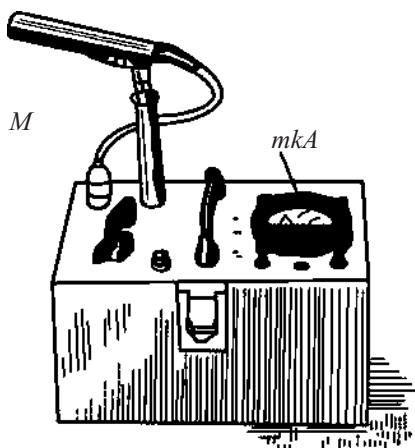
4-nji tablisada gelip çykyş tebigaty boýunça dürli häsiýetli sesleriň fiziki häsiýetlendirmeleri görkezilendir.

**Dürli tebigatly sesleriň fiziki  
häsiýetlendirmeleri**

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

*Gulagyň eşidiş derejesini (ýitiligini) barlamaklyga audiometriýa diýilýär.*

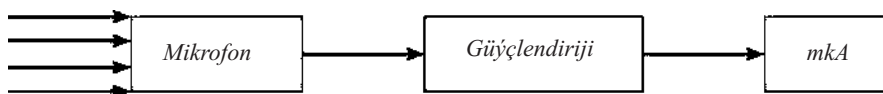
Audiometriýada ýörite enjam boýunça (audiometrde) dürli ýygylýklarda gulagyň eşidiş bosagasy kesgitlenýär, alnan egri çyzyga audiogramma diýilýär.



5.13-nji surat.

Näsag adamyň audiogram-masy bilen kadaly eşidýän adam-laryň bosaga duýuşlarynyň ortaça görkezijileri boýunça düzülen audiogrammanyň deňeşdirilmegi esasynda eşidiş organlaryň ýag-daýyny (keselini) anyklap bolýar.

Ses galmagalynyň gatylyk derejesini obýektiw ölçemeklik üçin şumomer diýlip atlandyryl-ýan enjam ulanylýar (5.13-nji su-rat).



5.14-nji surat.

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

Şumomeriň häsiýeti adam gulagynyň häsiýetine ýakynlaşýandyr (5.12-nji suratdaky deň gatylykly egri çyzyklara seret), munuň üçin gatylygyň dürli diapazondaky derejelerine baglylykda düzediş giriziji elektrik filtrleri ulanylýar.

## 5.5. TOLKUN GARŞYLYGY. SES TOLKUNLARYNYŇ SERPIKDIRILMEGI. REWERBERASIÝA

Sesiň basyşy «*P*» gurşawyň yrgyldaýan bölejikleriniň «*v*» tizli-gine baglydyr. Ol arabaglanyşyk şeýle görnüşe eýedir:

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

bu ýerde:  $\rho$  – gurşawyň dykzlygy;  $c$  – 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 tolkunyny iki gurşawyň bölünmek serhedine düşdi diýip göz önüne getireliň. Şunlukda, tolkunlaryň käbir bölegi serpikdirilýärler, käbir bölegi bolsa döwürleýärler.

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

Döwürlen tolkun ikinji gurşawda siňdirilip bilner ýa-da ondan geçip (çykyp) hem biler.

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  $\beta$  – ses tolkunynyň gurşawyň içine aralaşmak koeffisiýenti.

J. Releý (1842–1919 ý.) sesin 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 ( $\beta$ ) in 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 tolkunyny olaryň bölünme serhedinden serpikmän geçeri (5-nji tablisa).

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:

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

5-nji tablisa

**Käbir maddalaryň 20°C-temperaturadaky  
tolkun garşylyklary**

$\beta, \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$		$\beta, \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \text{s}^{-1}$	
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:

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

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

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

Islendik ýapyk jaýda diwarlardan, potolokdan, mebelden serpi-gen 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 wagyrdysyny (gopgunyny) döredýärler.

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

Ýa-da başgaça, rewerberasiýa şeýle düşündiriş bermek bolar. Fi-ziki häsiýetleri boýunça dürli bolan gurşawlaryň serhedinden ses yz-na serpişýär. 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 gowşayan wagt aralygyna rewerberasiýa wagty diýilýär.

Rewerberasiýa wagty sesleriň dürli ýygylýklary üçin dürli-dürlüdür we ol jaýyň (otagyň) göwrümine, görnüşine, içinde ýerleşýan 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. LUKMANÇYLYKDA SES WE ULTRASES ANYKLAÝYŞ USULLARYNYŇ 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 tараpyndan 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 ýygylýklarda) ýa-da ters pýezoelektrik efektiniň (ýokary ýygylýklarda) üsti bilen amala aşyrylýar.

Üýtgeýän magnit meýdanynyň täsiri astynda (meýdanyň alama-tynyň üýtgemek ýygylgyna baglylykda) ferromagnit serdeçniginiň göze görünmeýän yrgyldysyna (onuň ujypsyzja uzalmagyna we gys-galmagyna) magnitostriksiýa diýilýär.

Ýa-da, başgaça aýdylanda, üýtgeýän magnit meýdanyna yerleş-dirilen 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.

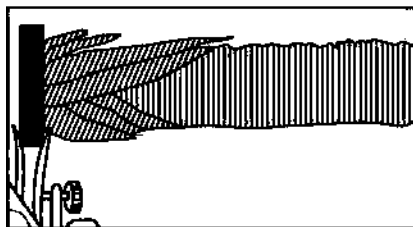
*Ters pýezoelektrik effekt* üýtgeýän elektrik meýdanynyň täsiri astynda pýezoelektrik tekizçäniň çyzykly ölçegleriniň üýtgemegin-den ybaratdyr.

Seredilip geçilen iki ýagdaýda-da ulanylýan (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 ýygylklarda ýüze çykyar:

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

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 ( $\lambda$ ) sesiňkä görä ep-esli kiçidir. Şuňa baglylykda US tolkunlary özleriniň tekiz çeşmesinden ugrukdyrylan insizje akym



5.15-nji surat.

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.

Ultrasesiň ýaýramak tizligini, ýygylgyny we tolkun uzynlygyny baglanyşdyrýan  $\lambda = \frac{v}{\nu}$  görnüşdäki deňligiň üsti bilen, onuň howada ýaýraýan maksimal tolkun uzynlygyny kesgitläp bolar.

US-ň howada ýaýramak tizliginiň  $v = 331 \frac{m}{s}$ , minimal ýygylgynyň  $20 \text{ kGs}$  bolýandygyny göz önünde tutmak bilen, onuň howada ýaýraýan maksimal tolkun uzynlygyny tapmak bolar, ýagny:

$$\lambda_{\text{maks}} = \frac{V}{\nu_{\text{min}}} = \frac{331 \text{ m/s}}{20 \text{ kGs}} = 16,55 \text{ mm}.$$

Diýmek, ultrasesiň howada ýaýraýan maksimal tolkun uzynlygy 16,55 mm-e deňdir.

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

US tolkunlary dürli akustiki garşylykly gurşawlaryň biri-birine çäkleşýän serhet üstünden serpiýändirler. Emma ol takmynan ýüzlerçe kilogers ( $kGs$ ) ýygylkda howa tarapyndan ep-esli derejede siňdirilýändir. Şoňa görä-de, soňky ýagdaýda US tolkunlarynyň çeşmesi bilen şöhlendirilýän maddanyň aralygynda adaty haýsy hem bolsa bir suwuk gurşaw ýa-da kontakt (galtaşdyryjy) maddalar ýerleşdirilýär.

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

Ultrasesiň serpikmek häsiýetini mukdar taýdan häsiýetlendirmek üçin serpikmek koeffisiýenti ( $R$ ) diýlen düşünje girizilýär:

$$R = \frac{I_{\text{serp}}}{I_0},$$

bu ýerde  $I_{\text{serp}}$  – serpigen US-tolkunynyň intensiwligi,  $I_0$  – US tolkunynyň maddanyň üstüne düşýän (başlangyç) intensiwligi.

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

$Z(\text{suw}) = 1,49 \cdot 10^5 \text{ g/sm}^2 \cdot \text{s}$ ;  $Z(\text{myşsa dokumalary}) = 1,66 \cdot 10^5 \frac{\text{g}}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$ ,  $Z(\text{ýag}) = 1,32 \cdot 10^5 \frac{\text{g}}{\text{sm}^2 \cdot \text{s}}$  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, kelleçanaklygynyň 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 süňküň 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) (6-njy tablisa).

6-njy tablisa

#### **Dürli gurşawlaryň bölünmek serhedinde US tolkunynyň serpikmek koeffisiýenti**

Gurşawlaryň bölünmek serhedi	Serpikmek koeffisiýenti
Gan-böwrek	0,0004
Bagyr-bagryň daşlary	0,03
Myşsa – süňk	0,33
Beýni-kelleçanaklygynyň 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-gezegine 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 arabaglanyşyklar 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 örän uly ýerli basyş astynda urgy tolkunynyň we mikroakymlaryň döremekligi bilen bolup geçýär.

US-ıň 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 koagulýasiýasyny, 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 stimulyasiýasy ýüze çykýar, madda alyş-çalşygy işjeňleşýär. Bu aýdylanlar, hususan-da, bagryň, böwrekleriň mitohondriýalarynda okislenme – fosforlaşma hadysalarynyň işjeňleşmeginde, dokuma dem alyş intensiwliginiň ýokarlanmagynda, glikoliz hadysalarynyň üýtgemekliginde, beloklaryň we nukleotidleriň alyş-çalşygynyň ýokarlanmaklygynda, biomembranalarda diffuziýa prosesleriniň güýçlenmeginde, gan we limfa aýlanyşygynyň ýokarlanmaklygynda ýüze çykýandyr.

US-*in* täsir etmekligi käbir himiki reaksiýalaryň we prosesleriň bolup geçmekligini çaltlandyrýar. Muňa okislenmek reaksiýalary hem-de polimerleşmek mysal bolup biler.

ç) *US-ň ýylylyk täsiri*. US-ň ýylylyk täsiri mehaniki energiýanyň ýylylyk energiýa öwrülmesi 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 gan üpjünçiligi ýetmeýän ýerlerde (çünki gan ýylylygy alyp gidýär) döreýär.

US-ň ýylylyk täsiri astynda dokumalarda temperaturanyň lokal ýokarlanmaklygy, gan geçiriji we limfatiki damarlaryň giňelmegi, ganyň mikrosirkulýasiýasynyň 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 ( $\lambda$ ) kiçi bolmaklygydyr. US-ň ýaýramak tizligi howada 331 *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.

Ýygylýgynyň ýokarlanmaklygy bilen US-ň ýaýramaklygy has hem ýagtylygyň ýaýramak häsiýetini ýada salýandyr. Ýokary ýygylýklarda 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 serpkidirijileri we ses linzalaryny ulanyp bolýandyr.

Ýönekeý fiziki pikir ýöretmeler esasynda US-ň janly bedene bolan mehaniki täsiriniň bölejikleriň yrgyldy amplitudasyna 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) ýygylýa ters proporsionaldyr.

Adatça US bejergisinde  $800\text{ kGs}$  ýygylýkly kuwwaty  $2\text{ Wt/sm}^2$ -a deň bolan enjamlar ulanylýar. Şeýle görkezijilerde bölejikleriň süýşmek amplitudasy takmynan  $0,03\text{ mkm}$  deň bolýandyr. Bu ululyk, eger-de janly öýjükleriň diametrini ortaça  $30\text{ mkm}$  deň diýip kabul etsek, onda amaly taýdan maddanyň süşüjiliginiz göz önünde tutmasak hem bolýandygyny aňladýandyr (sebäbi ol öýjügiň diametriniň müňden 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 dälidir, çünki häzirki wagtda bejeriş netijeliligi nukdaýnazardan seredilende öýjükleriň ujypsyzja süýşmekligini asla göz önünde tutmasak hem bolýandygyna şaýatlyk edýän maglumatlar bardyr.

### 5.6.2. Ultrasesiň (US) biologiki täsiri

Janly bedeniň üstüne düşüp, *US oňa biologiki täsir edýändir*. Ol täsir diňe bir şöhlelendirilen organlara ýa-da dokumalara edilýän täsir bilen çäklenýän dälidir. US-ň fiziki we himiki täsiri öz-özünden onuň bedene bolan kompleksleýin täsiriniň mehanizmini doly düşündirýän dälidir, 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  $1000\text{ Wt/sm}^2$  intensiwlikli şöhlelenmäniň fokusirlenmegi bilen keselän nerw dokumalaryny, çişleri weýran edýärler (dargadýarlar).

*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 täsirlerini ýüze çykar-mak bilen soňky çuň gatlaklara aralaşýar. Dürli çuňlukda ýerleşýän dokumalarda şöhlelenmäniň täsiri astynda temperaturanyň ýokarlan-maklygy dürli-dürlüdür. Dokumalar näçe çuň aralykda ýerleşýän bol-salar, onda şonça-da şeýle täsir astynda ýüze çykarylýan temperatura olarda pesdir.

Ýöne dokumalaryň siňdirijilik koeffisiýentiniň dürlüdigine 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 geç-melidiris.

US-ň biologiki täsiri onuň mehaniki, ýylylyk we fiziki-himiki faktorlarynyň kompleksleýin täsirine esaslanýandyr. Bular wiruslaryň, bakteriýalaryň, kömelejekleriň ölmekligine we ş.m. getirip biler. Ýokary kuwwata eýe bolan US tarapyndan döredilýän biologiki täsir hatda ownuk jandarlaryň-da ölmekligine getirip biler. Kuwwaty on-çakly 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, lukmançylykda giňden ulanylmagyna getirýär.

### **5.6.3. Ultrasesiň lukmançylykda ulanylyşy**

US içki organlaryň aralaşmasy kyn bolan ýerlerinde, şeýle hem bedeniň içinde patologiki ojaklaryň döremelerini (hususan-da, kelle beýnisiniň dokumalaryndaky çişleri) ýüze çykarmakda ulanylýar. Şunlukda, US-iň iki ulanyş usulyny tapawutlandyrýarlar:



1. US bilen şöhlelendiriliş.

2. US lokasiýasy.

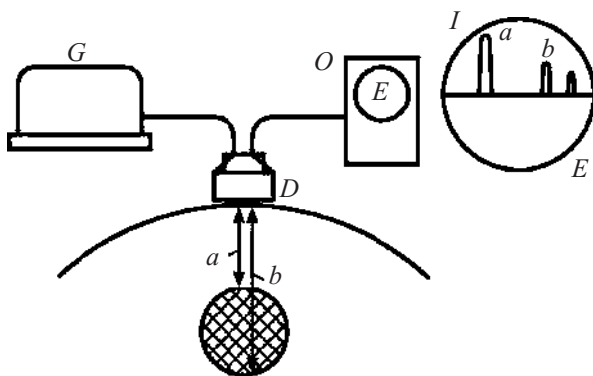
1. US bilen şöhlelendiriliş dürli akustiki häsiýetli dokumalaryň ultrasesi dürli derejede siňdirmekligine esaslanýandyr. Obýektde barlag geçirilende onuň dürli nokatlarynyň üstünden kesgitli intensiwlikli US şöhlesi geçirilýär. Ol şöhle obýektiň beýleki tarapynda ýerleşdirilen datçik bilen kabul edilýär. Şöhläniň intensiwliginiň üýtgemek derejesi boýunça obýektiň içki gurluşynyň şekili alynýar.

2. US lokasiýasynda gönükdirilen US-ň obýektiň içinden geçensoň onuň gabat gelyän dürli akustiki häsiýetli gurşawyň serhetlerinden serpiýän impulsary registrirlenýärler. US-lokasiýasy üçin ulanylýan gurluş generator (G), göni US impulsyny (I) döredýän we serpiýän impulsary («a» we «b») kabul edýän (D) datçikden (şu ýagdaýda göni pýezoelektrik effekti ulanylýar) we elektron şöhle ossillografyndan (O) ybaratdyr (5.16-njy surat).

Ossillografiýň ekranynda (E) impulslara gözegçilik edilýär. Impulsalaryň arasyndaky aralyk gözlenýän tazedöremäniň ýerleşmek çuňlugy barada (elbetde, eger-de ol ýüze çykan bolsa), haçanda datçik hereketlenende bolsa onuň görnüşi we ýerleşýän ýeri barada baha bermäge mümkinçilik berýär.

Bu usul anyklaýyşda has giňden ulanylýandyr.

*US-anyklaýyş usullary.* Ultrasesiň bedeniň ýagdaýyny anyklamakda ulanylyşy onuň dürli akustiki garşylykly iki gurşawyň (dokumanyň) serhedinden serpikmek häsiýetine esaslanýandyr.

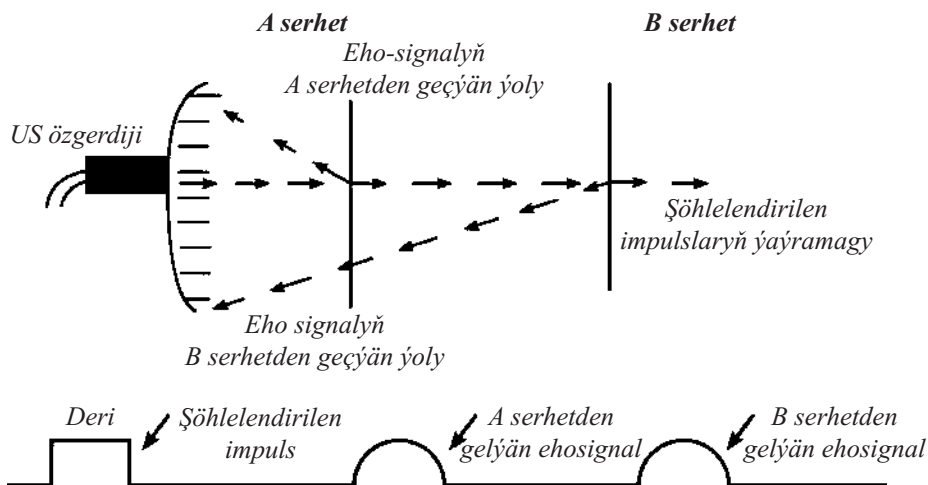


5.16-njy surat.

US tolkunlary, bedeniň üstüne düşüp, dokumalaryň, ganyň, süňkleriň üstlerinden geçip ýaýraýarlar we dürli dykzlykly maddalaryň arasyndaky serhede (mysal üçin, çep garynjygyň içindäki gan bilen endokardyň dokumasy arasyndaky serhede) baryp kem-käseleýin yzyna serpikýärler, bir bölegi bolsa ondan aňryk ýaýraýarlar. Anyklaýyş maksatlary üçin pes intensiwlikli ( $\sim 0,01 \text{ Wt/sm}^2$ ) we ýokary ýygyllykly ( $0,8\text{--}20 \text{ MGs}$ ) US ulanylýar. Ol barlag geçirilýäniň we oňa gatnaşýan lukmanlaryň organlarynda we dokumalarynda zeper ýetiriji hiç hili üýtgeşmeleri ýüze çykarýan däl.

US çeşmesi (US özgerdiji) deriniň üstünde ýerleşdirilýär we US tolkunlary yzygider derä, fassiýa myşsalarynyň derasty öjýjüklerine we organlara aralaşýar. Tolkunlaryň bir bölegi olaryň serhetlerinden we gurluş düzümi birmeňzeş bolmadyk ýerlerinden serpikýärler (5.17-nji surat).

Eger dokumalaryň dykzlyklary dürli-dürli bolsalar, mysal üçin, ýumşak dokuma we süňk, onda US tolkunynyň energiýasynyň tas hemmesi diýen ýaly yzyna serpikýärler. Eger US impulsly ulanylýan bolsa, onda her şöhlendirilýän impuls onuň beden boýunça ýaýraýan ýolunda ýerleşýän iki gurşawyň serhedinden serpigen impulsy (ehosignaly) berýär. Serpigen umpulslar enjama gelýär we



5.17-nji surat.

ekranda fiksirlenýär. Her dokuma ehogrammada onuň garşylykly üstlerinden serpigen iki dürli görnüşli impulsar bilen görkezilýärler. Impulsalaryň arasyndaky aralyk dokumanyň ölçeglerini kesgitleýär.

*Kelle beýnisiniň çişlerini anyklamak üçin ulanylýan enjama ehosenefalograf diýilýär.*

Ehosensofalograflar, ehokardiograflar we içki organlaryň barlaglary üçin çylşyrymly skanirlemek usulyny ulanmaklyk esasynda işleýän enjamlar US anyklaýyş gurluşlara degişlidirler.

**Ultras eskanerleri.** US skanerleri – bular hakyky wagt aralygynda amaly taýdan adam bedeniniň islendik içki organlarynyň şekilini almaklyk üçin niýetlenen enjamlardyr.

Islendik skaneriň blok – shemasy datçikden (US-signalyny şöhlendirijiden we ony kabul edijiden – priýomnikden); signallaryň güýçlendiriliş we dördiliş bloklaryndan; şekiliň gaýtadan işleniliş we ýatda saklanyş 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 iki ölçegli (2-ölçegli) şekiliniň alynmaklygy;

*M-skanirlemek* – organyň içki strukturalarynyň ýagty-kontrast görkezilmekligi bilen bir ölçegli 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 signaly gursawa 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 (bölekleriniň) şekilini we häsiyetlendirmelerini 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 wagt 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 (görnüşli) utgaşmalarda almaklyga mümkinçilik berýär. Muňa mysal hökmünde ýüregiň strukturalarynyň şekiliniň B, M skanirlenen režimde alynmagyny we şol bir wagtyň özünde ýüregiň garynjygynyň boşlugynda gan akymynyň doplerşekiliniň alynmagyny görkezmek bolar. Organlaryň we olaryň funksiýalarynyň şeýle çylşyrymly suratda görkezilmegi, adatça, reňkli şekilde berilýär. Mundan hem başga, US skanerleri organyň üç ölçegli şekiliniň (3D režim) rekonstruirlenmegine (alynmagyna) mümkinçilik berýär. Bu usul akuşerçilik amalynda düwünçeğiň 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) ýygylkly US 5–6 *sm* aralykly çuňluga ýaýraýar, 2500–3000 *kGs* ýygylklarda bolsa ol 1–1,5 *sm* aralykly çuňluga ýaýraýar. Ultrasesiň mehaniki energiýasynyň bir bölegi dokumalaryň yrgyldaýan bölejikleriniň 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 ýygylkly we 0,05-den 1,2 *Wt/sm<sup>2</sup>*-a çenli intensiwlikli US ulanylýar.

Suwuk biologiki gurşawlar pes derejede ultrasesi siňdirýärler, bedende 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 (çetki) nerw ulgamynyň kesellemeginde we şikeslenmeginde, myşsa-bogun ulgamynyň zeperlenmeginde, deriniň käbir kesellerinde we beýlekilerde ulanyp bolýar.

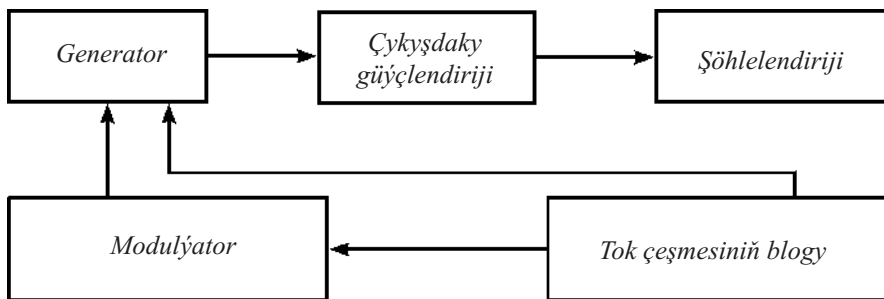
*Bejeriş amalynda derman maddalarynyň fonoforez usulyny ulanýarlar. Ultrafonoforez – bu ultrasesiň we derman maddalarynyň bedene bolan kompleksleyin täsiridir.* Munuň üçin kontakt gurşawlaryny (wazelin ýagy, gliserin, lanolin) ulanýarlar hem-de olara derman maddalaryny (gigrokartizon, anestezin, lidaza, geparin we beýlekiler) girizýärler.

Şunlukda, US dermanlaryň täsir ediş işjeňligini ýokarlandyrýar, olaryň içkiöýjük geçişlerine (aralaşmasyna) kömek berýär.

Lukmançylykda ulanylmaga niýetlenen US enjamlary US ýygylkly elektrik yrgyldylarynyň generatoryndan, pýezoelementli US başjagazdan (golowkadan), dolandyryş bloklaryndan we tok çeşmesiniň blogyndan ybaratdyr (5.18-nji surat).

US enjamlary UZT kysymly 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 kysymly üç görnüşde çykarylýarlar: galamşekilli, egredilen we gapdal üsti şöhlelendiriji görnüşlidir.



5.18-nji surat.

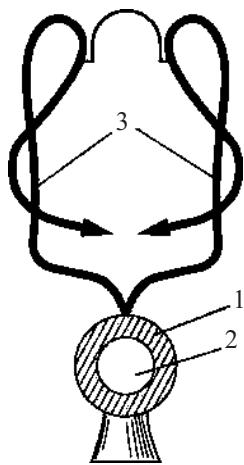
#### 5.6.4. Lukmançylykda anyklamagyň ses usullary. Auskultasiýa. Perkussiýa

Adamyň bedeninde bolup geýýän hadysalar (üýtgeşmeler), köplenç, sesiň ýüze çykarylmany 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 diýlip atlandyrylýar.

Munuň üçin ulanylýan ýönekeý enjama fonendoskop diýilýär. Fonendoskop (5.19-njy surat) sesi geçiriji membranalý (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 sütüniniň rezonansy döreýär, şoňa görä-de sesiň eşidilişi güýçlenýär we auskultasiýa gowulanýar.

Öýkenleriň auskultasiýasynda kesellere mahsus bolan dem alnanda ýüze çykýan ses galmagallary, dürli hyşşyldylar diňlenilýär. Şeýle hem ýüregiň tonlarynyň üýtgemekligi we ses galmagallarynyň ýüze çykmaklygy boýunça ýüregiň işleýiş ýagdaýyna baha bermek bolýar.



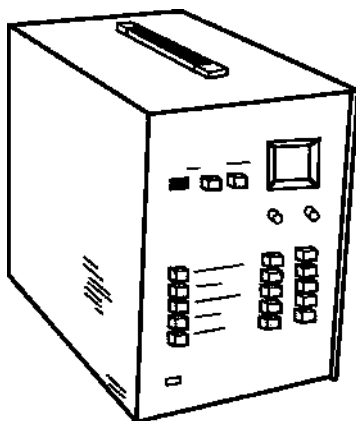
5.19-njy surat.

Auskultasiýany ulanmak bilen aşgazanyň we içegäniň peristaltikasy (tolkun şekilli myşsa ýygrylmasy), göwrelilik ýagdaýdaky düwünçeginiň ýürek urgusy diňlenilýär.

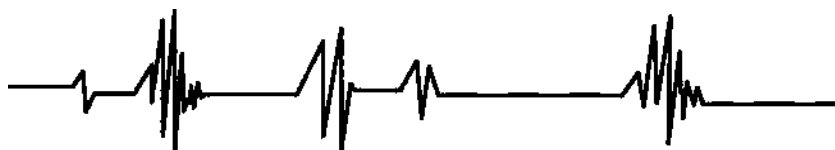
Näsagyň bir wagtyň özünde birnäçe lukmanlar tarapyndan okuw maksady bilen ýa-da konsiliumda diňlenilmegi üçin öz içine mikrofon, güýçlendiriji we radio ýa-da telefonlar girýän enjamlar ulgamy ulanylýar.

Ýüregiň işleýiş ýagdaýyna anyklama goýmak üçin fonokardiografiýa (FKG) usuly ulanylýar. Bu usul ýüregiň tonlarynyň we

ses galmagallarynyň grafiki ýazga geçirilmeginde we oňa anyklaýyş seljermäniň berilmeginde ybarat bolup durýar. Fonokardiogrammanyň ýazgysy fonokardiografyň kömegi bilen amala aşyrylýar, ol mikrofondan, güýçlendirijiden, ýygylýk filtrliriniň ulgamyndan we registrirleýji gurluşdan ybaratdyr (5.20-nji surat).



5.20-nji surat.



5.21-nji surat.

Ýene-de bir ses bilen baglanyşykly 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* diýlip atlandyrylýar. Ses adamyň endamynda gözegçilik edilip urulýan ýere bagly bolýar, şonuň üçin ol sesleriň tebigaty dürli-dürlüdür.

Adamyň endamyna kiçijik rezin çekiç bilen urýarlar, ol *plesimetr* diýlip atlandyrylýar. Köplenç ýagdaýda barmagyň ulanylmagy bilen hem urup barlaýarlar, munuň üçin barmagy epip, ony beýleki eliň barmaklary bilen urgy ediljek ýerinde goýup, soň onuň üstüne urup bedende döreýän sesi diňleýärler.

Rezin çekiç 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, öýken uçastoklary ýa-da onuň töweregi,

onda döreyän ses güýçli çykýar we ol haýal «öçýär». Şunlukda, rezonansa baglylykda ol ýerlerdäki ton güýçlenýär. Şeýlelik bilen, urgý esasynda endamyň dürli ýerlerinde döreyän sesiň ýüze çykyş derejesi (hili) boýunça barlanýan ýeriň aşagynda adamyň haýsy organynyň ýa-da dokumasynyň ýerleşýändigini bilip bolýar. Kükrekde urgudan soň döreyän ses boýunça ýüregiň töweregini (serhedini) kesgitlep bolýar. Perkutor ses ýüze çykyş güýçlüligi, belentligi we dowamlylygy (peseliş çaltlygy) bilen häsiýetlendirilýär. Amaly lukmançylykda olara ýörite at berilýär, mysal üçin ýuwaş sese, ýagny ses çalt peselip gidýän bolsa, oňa *kütek 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 kesgitlep bilýär.

### 5.6.5. Dopleriň effekti

*Tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birine göre otnositellikde hereketine baglylykda gözegçi (ýa-da tolkuný kabul ediji enjam) tarapyndan kabul edilýän tolkunlaryň ýygylýgynyň üýtgemekligine Dopleriň effekti diýilýär.*

Goý, gözegçi ( $v_g$ ) tizlik bilen gurşawa göre otnositellikde tolkunlaryň gozganman duran çeşmesine ýakynlaşýar diýeliň. Şunlukda, ol wagtyň şol bir aralygynda özüniň gozganman duran ýagdaýyndaka garanda köp tolkunlara gabat gelýär. Bu bolsa kabul edilýän tolkunlaryň ýygylýgynyň ( $v'$ ) çeşme tarapyndan goýberilýän tolkunlaryň ýygylýgyndan ( $v$ ) uludygyny aňladýandyr (ýagny  $v' > v$ ). Ýöne tolkun uzynlygy, ýygylýk we tolkunlaryň ýaýramak tizligi özara şeýle arabaglanyşykdadylar:

$$v = \frac{v}{\lambda}, \text{ onda } v' = \frac{(v + v_g)}{\lambda} \text{ ýa-da } \lambda = \frac{v}{v'}$$

bolýandygyny göz önünde tutup, alarys:

$$v' = \frac{v + v_g}{v} v. \quad (36)$$



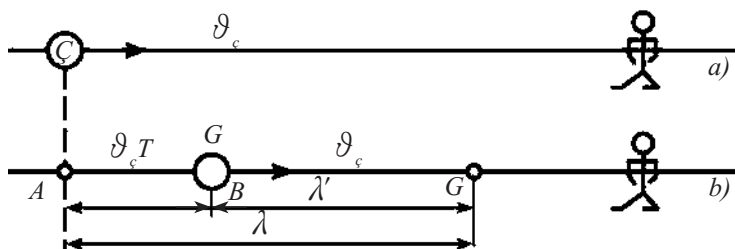
Indi başga bir ýagdaýa seredeliň. Goý, tolkunlaryň çeşmesi «Ç» käbir ( $v$ ) tizlik bilen gurşawa görä otnositellikde gozganman duran gözegçä ýakynlaşýar diýeliň (5.22-nji «a» surat). Çeşmäniň öz goýberýän tolkun uzynlygynyň yzyndan hereketlenýändigine görä onuň tolkun uzynlygy gozganman duran çeşmäniň goýberýän tolkun uzynlygyndan kiçi bolar. Dogrudan hem tolkun uzynlygy fazalarynyň tapawudy  $2\pi$  deň bolan iki nokatlaryň arasyndaky aratapawuda dendir. Bir perioda deň bolan wagt aralygynda tolkun « $\lambda$ » aralyga ýaýraýar (5.22-nji «b» surat), tolkunynyň çeşmesi bolsa  $AB$  aralyga ( $AB=v_c T$ ) ornuny üýtgeder. Şunlukda,  $B$  we  $G$  nokatlaryň fazalary  $2\pi$  ululyga tapawutlanar. Diýmek, olaryň arasyndaky aradaşlyk şöhlelenmäniň çeşmesi hereketlenende döreyän ( $\lambda'$ ) tolkun uzynlygyna deň bolar. 5.22-nji suraty ulanyp we ( $v = \frac{v}{\lambda}$ ) bolýandygyny göz önünde tutup, käbir hasaplamalary ýerine ýetireliň:

$$\lambda' = \lambda - v_c T = \frac{v}{v} - \frac{v_c}{v} = \frac{(v - v_c)}{v}. \quad (37)$$

Bu ýagdaýda gözegçi yrgyldylarynyň ýygylgygy şeýle kesgitlenilýän tolkunly kabul edýär:

$$\nu'' = \frac{v}{\lambda'} = \left[ \frac{v}{(v - v_c)} \right] v. \quad (38)$$

Gözegçiniň we çeşmäniň bir wagtyň özünde biri-birine tarap bolan hereketinde kabul edilýän tolkun ýygylgygynyň deňligi 38-nji deňlige ( $v$ ) ýygylgygyň deregine 36-njy deňlikden ( $v'$ ) ýygylgygyň goýulmagy bilen tapylýar, ýagny:



5.22-nji surat.

$$v''' = \frac{v}{v - v_c} \cdot \frac{v + v_g}{v} v = \frac{v + v_g}{v - v_c} v. \quad (39)$$

39-njy deňlikden görnüşi ýaly, tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birlerine ýakynlaşan wagtynda kabul edilýän ýygylyk çeşme tarapyndan goýberilýän ýygylykdan uludyr. 39-njy deňlikde ( $v_g$  u  $v_c$ ) tizlikleriň alamatlaryny üýtgedip, tolkunlaryň çeşmesiniň we gözegçiniň biri-birlerinden daşlaşan wagtynda kabul edilýän ýygylygyň edil ýokardaka meňzeş görnüşdäki deňligini almak bolar.

Şeýlelik bilen, şeýle görnüşdäki deňlikleri ýazmak bolar:

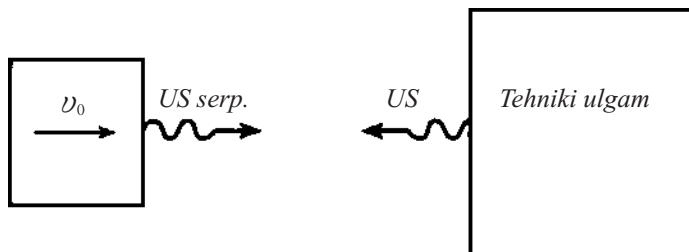
$$v''' = \frac{v + v_g}{v - v_c} v \quad (40, a) \quad v''' = \frac{v - v_c}{v + v_g} v \quad (40, b).$$

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 çykarylýpdyr diýeliň (5.23-nji surat). Tehniki ulgam gurşawa otnositellikde gozganman durandyr. Obýekt (madda) gurşawda « $v_0$ » tizlik bilen hereketlenýär diýeliň.

Generator « $v_g$ » ýygylyk bilen US-i şöhlelendirýändir. Hereketlenýän obýekt tarapyndan (edil gözegçi ýaly), « $v_1$ » ýygylyk kabul edilýändir. Ol ýygylyk şeýle deňlik bilen tapylýp bilner (36-njy deňlige seret):



5.23-nji surat.

$$v_1 = \frac{\nu + \nu_0}{\lambda} = \frac{\nu + \nu_0}{\nu} \nu_g; \quad (41)$$

bu ýerde « $\nu$ » – mehaniki tolkunynyň (ultrasesiň) ýaýramak tizligi.

US tolkunyny hereketlenýän obýektiden « $v_1$ » ýygylýk bilen tehnik ulgama tarap yzyna serpikýändir. Tehniki ulgam (ýagny kabul edişi enjam) indi başga ýygylýgy kabul edýändir (Dopleriň effekti), ol ýygylýgy 38-nji deňligi ulanmak bilen, şeýle görnüşde görkezme bolar:

$\nu_{enj} = \frac{\nu}{\nu - \nu_0} \nu_1$  ýa-da 41-nji deňligi göz önünde tutup, şeýle ýazmak bolar:

$$\nu_{enj} = \frac{\nu}{\nu - \nu_0} \cdot \frac{\nu + \nu_0}{\nu} \nu_g = \frac{\nu + \nu_0}{\nu - \nu_0} \nu_g. \quad (42)$$

Şeýlelik bilen, ýygylýyklaryň arasyndaky aratapawut şeýle görnüşde bolar:

$$\nu_{Dop} = \nu_{enj} - \nu_g = \frac{\nu + \nu_0}{\nu - \nu_0} \nu_g - \nu_g = \frac{\nu + \nu_0 - \nu + \nu_0}{\nu - \nu_0} \nu_g = \frac{2\nu_0}{\nu - \nu_0} \nu_g. \quad (43)$$

Bu ýygylýga ýygylýgyň dopler süýşmesi diýilýär. Lukmançylyk amalynda ulanylýan ýagdaýa seredilende ultrasesiň tizligi obýektiň hereketiniň tizligine garanda has uludyr, ýagny  $\nu \gg \nu_0$ . Şeýle ýagdaýlar üçin 43-nji deňlikden alarys:

$$\nu_{Dop} = \frac{2\nu_0}{\nu} \nu_g. \quad (44)$$

Dopleriň effektini gan akymynyň tizligini kesgitlemek üçin (2.17-nji surata seret), ýüregiň klapalarynyň we diwarjyklarynyň ýanyndaky hereketiň tizliklerini kesgitlemek üçin (dopler ehokardiografiýasy) ulanylýarlar.

### 5.6.6. Infrases

*Gurşawda kese tolkunlar görnüşinde 20 Gs-den (Gersden) pes ýygylýkda 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 (gowşaýar), 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 bedeniň ulgamlarynyň funksional ýagdaýyna oňajsyz täsir edýär, hususan-da ýadawlyk, kelle agyry, ukuçylyk, gyjynyjylyk we ş.m ýüze çykýar. Infrasesiň bedene ilkinji täsir ediş mehanizminiň esasynda rezonans hadysalar bar diýlip hasap edilýär.

Belli bolşy ýaly, rezonans daşky täsir ediji güýjüň (yrgyldynyň) ýygylgynyň obýektleriň öz hususy yrgyldylarynyň ýygylgyna 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 ýaşaýyş we önümçilik jaýlarynda we ulag serişdelerinde intensiwliginiň derejesiniň peseldilmegi gigiýenanyň meseleleriniň biri bolup durýandyr.

## VI bap.

## BIOLOGIKI MEMBRANALAR

### 6.1. BIOMEMBRANALARDAKY HADYSALARYŇ BIOFIZIKASY

**Umumy ýagdaýlar.** Janly materiýanyň esasyny beloklar, nuklein kislotalary, ýaglar, uglewodlar we beýleki organiki kislotalar düzýärler. Olara biopolimerler ýa-da başgaça «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 seredilende 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 (önüm görnüşinde) girýärler.*

*Islendik öýjügiň daşyny gurşaýan barda plazmatiki membrana diýilýär. Plazmatiki membranany\* öýjügi daşky gurşawdan bölüp aýyrýan ýukajyk gabyjak hökmünde göz önüne getirmek bolar. Ýöne biomembrana diňe ýönekeý gabyjak bolup durýan däldir, ol öýjüge molekulalaryň, ionlaryň we beýleki maddalaryň girmegini we olaryň ondan çykmagyny sazlaýandyr. Mundan hem başga onda dürli fermentler we reseptorlar bardyrlar, olaryň tebigaty berlen öýjügiň aýratynlyklaryna baglydyrlar. Biomembrana çéýelik (elastik) häsiýe-*

---

\* Mundan beýläk biz plazmatiki membranany biomembrana diýip atlandyryjakdyrys.

te eýedir, şoňa görä-de janly öýjükler käbir çäge çenli membranany üzmezden özlerniň 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 (käwagt 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 çykarylmaklygy 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 köpgatlykly struktura eýedir, bu bolsa nerw süýüminiň degişli ýerleriniň daşky gurşawyň täsirinden gormak ygtybarlygyny düýpli ýokarlandyrýar. Miýelin gabygy ýörite öýjükler tarapyndan döredilýär, olar özlerniň ösüş prosesinde nerw süýüminiň daşyny köp aýlawly gatlaklar görnüşinde gurşap alýarlar.

Ösümlik we bakterial öýjükleriň aglabasy, beýleki janly bedenleriňkä garanda, öz görnüşini üýtgetmäge ukyply dälendirler, çünki olar galyň, berk we çeýeligi pes bolan gabyk bilen 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. Bedende ýüze çykyan köp näsazlyklar (mysal üçin, ateroskleroz, zäherlenmek we beýlekiler) membrananyň strukturasynyň we funksiýasynyň bozulmagy bilen baglanyşyklydyr.

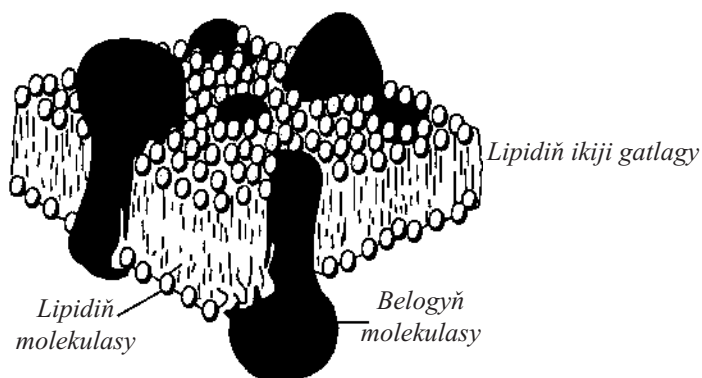
Diýmek, ähli öýjükleriň daşyny membranalar gurşap alýarlar. Eger membrana bolmadyk bolsady, onda öýjügiň içi ýöne «akyp giderdi», diffuziýa termodinamiki deňagramlylyga getirerdi, bu bolsa ýaşayşyň ýok bolýandygyny aňladýandyr. Umuman alnanda, ilkinji öýjük haçan-da olar biomembranalaryň kömegi bilen daşky gurşawdan bölünip aýrylanda ýüze çykypdyr diýip aýtmak bolar.

Öýjük – bu ähli jandarlaryň, ösümlikleriň we mikrobedenleriň esasy düzýän in 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 böleklerindaki 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 bedenleriň ýaşamagynyň esasy şertidir. Şonuň üçin hem öýjügiň ýaşamagynyň we diýmek, umuman alnanda, ýaşayşyň esasy şerti biologiki membranalaryň bolmagydyr.

Biomembranalaryň galyňlygy birnäçe *nm*-e (nanometre) deňdir ( $1\text{ nm} = 10^{-9}\text{ m}$ ), şonuň üçin hem ony optiki mikroskopda görüp bol-



6.1-nji surat.

ýan dälidir. Ony elektron mikroskopda görüp bolýar. Şu ýerde optiki mikroskopyň çözüjilik çäğine laýyklykda şekili 1500–2000 esse ulaldýandygyny, elektron mikroskopyň bolsa 600.000 esse ulaldýandygyny belläp geçeliň. Häzirki zaman elektron mikroskopyna mysal hökmünde EHM-100 LM kysymly mikroskopy görkezmek bolar. Onun çözüjilik çägi  $3 \cdot 10^{-10} m$  ululyga deňdir.

6.1-nji suratda öýjük membranasynyň takmynan  $10 nm^2$  meýdanly uly bolmadyk böleginiň giňişlikdäki shematiki görnüşi görkezilendir.

**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, işjeň däl we işjeň 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 işjeň däl geçiş, az ýerinden köp ýerine energiýanyň sarp edilmegi bilen geçirilmegine bolsa işjeň 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 aňladýandyr.

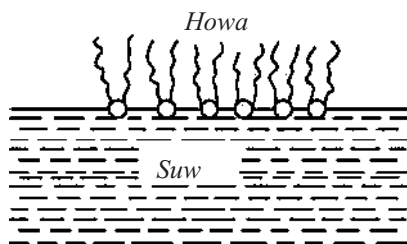
Bulardan başga-da biologiki membranalar elektrik wezipäni (ýagny biopotensiallaryň döremegine we geçirilmegine gatnaşmak, mitohondriýalaryň içki membranasynda ATF-i sintezlemek) we reseptor wezipäni (ýagny mehaniki, akustiki, ys almak, görmek, himiki, termoresepsiýa we beýlekileri) ýerine ýetirýärler.

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 teklipl 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 ybaratdyr 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 kömegi bilen lipidler tutuş monomole-



6.2-nji surat.

kulýar gatlak döredýänçäler kiçeldilipdir. Şunlukda, monogatlagyň meýdanynyň öýjügiň ilki başdaky meýdanyndan iki esse uludygy anyklanylypdyr. Eritrositleriň diňe ýeke-täk plazmatiki membranasyň bardygyna görä bu membrana lipidler üznüksiz bigatlak

görnüşinde gurnalandyrlar diýlen netijä gelipdirler. Bu netije dogry bolup çykypdyr, ýöne soň anyklanylyşyna görä olar öz 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 ( $10^7 \text{ Om}\cdot\text{m}$ ) we uly elektrik sygymy ( $0,5 \cdot 10^{-2} \text{ F/m}^2$ ) bardyr. ( $1 \text{ Om}\cdot\text{m} = 10^6 \text{ Om}\cdot\text{mm}^2/\text{m}$ ). Biologiki membranalar elektrik kondensatoryna meňzeşdir. Kondensatoryň geçiriji plastinalary bolup öýjügiň içindeki (sitoplazma) we daşyndaky elektrolitler hyzmat edýärler. Olar lipidleriň iki gatlagy bilen bölünýärler. Lipidler dielektrik syzyjylygy  $\varepsilon = 2$  bolan dielektrikdir. Tekiz kondensatoryň elektrik sygymy  $C = \varepsilon_0 \varepsilon S/\ell$  deňlik bilen kesgitlenýär (bu ýerde  $\varepsilon_0$  – elektrik hemişeligi;  $\varepsilon_0 = 8,85 \cdot 10^{-12} \frac{\text{F}}{\text{m}}$ ;  $\varepsilon$  – oňnositel dielektrik syzyjylyk;  $S$  – bir plastinanyň meýdany;  $\ell$  – kondensatoryň plastinalarynyň aralygy).

Bir birlik meýdanyň sygymy  $C = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{\ell}$  deňlik bilen kesgitlenýär.

Bu ýerden lipidleriň galyňlygyny kesgitläp bolýar:  $\ell = \frac{\varepsilon_0 \varepsilon}{C} = 3,5 \text{ nm}$ .

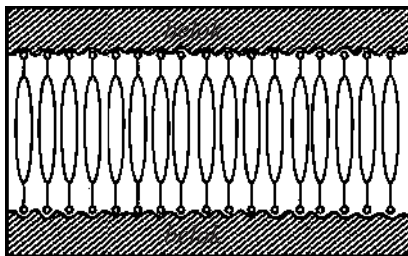
Alnan ululyk lipidleriň galyňlygyna gabat gelýär.

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 dartyлма koeffisiýentine ýakyn ( $10^{-4} \frac{N}{m}$ ) bolup, «suw-lipid» araçägindäki koeffisiýentden ( $10^{-2} \frac{N}{m}$ ) has kiçidir. Tejribeleriň görkezen bu gapma-garşylyklaryny

1935-nji ýylda Daniýelli bilen Dewsona çözmek başartdy. Olar biologiki membranalaryň «butterbrod» modelini tekliپ etdiler. Bu model takmynan 40 ýyla golaý üýtgeşsiz galdy. Oňa laýyklykda, membrana iki gyrasy beloklardan, ortasy bolsa iki gat lipidlerden ybarat bolan gurluşdyr, ýagny ol iki bölek belogyň içine lipid çalnan «butterbroda» meňzeşdir (6.3-nji surat). Ýöne soňraky geçirilen tejribeler bu modeliň hem nädogrydygyny görkezdiler.

Biologiki membranalaryň gurluşyny öwrenmekde fiziki usullaryň orny uludyr. Membrananyň gurluşy, ony düzýän molekulalaryň atomlarynyň özara ýerleşişini barada möhüm maglumatlary gysga tolkunly rentgen şöhleleriniň atomdaky difraksiýasyna esaslanýan 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 – degişlidirler. 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 dældigini görkezdi. Mysal



6.3-nji surat.

üçin, içege taýajyklarynyň membranasynyň 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 täze suwuk – mozaiki nusgasyny teklipl etdiler. Bu nusga laýyklykda, biologiki membranalaryň gurluşynyň esasyly beloklar bilen garylan fosfolipidleriň ikili gatlagy düzýär. Teklipl edilen nusga reňkli daşjagazlaryň we aýnajoklaryň garyşyp, owadan şekilleri – mozai-kany 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 deňzine meňzermäge mümkinçilik berýär. Suwuk-mozaiiki nusganyň dogrudygyny dürli öýjükleriň membranasyndaky beloklaryň we fosfolipidleriň biri-birine gatnaşygynyň dürlüdiği hem subut edýär. Mysal üçin, miýeliniň membranasyndaky beloklaryň mukdary lipidleriňkiden 2,5 esse azdyr, ýöne mitohondriýanyň membranasyn-da beloklaryň mukdary lipidleriňkiden 2,5 esse kopdúr. 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 eremeyärler, 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 molekulalarydyr, 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 otirisatel, daşyna

bakyp duranlarynyňky bolsa položitel zarýadlanandyrlar.\* Lipidleriň guýruklary elektrik taýdan neýtraladyrlar. 6.4-nji suratda fosfatidilholin diýlip 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, guýrukdaky her ikili baglanyşyk onuň egrelmegine getirýär. Guýruklaryň uzynlygynyň we olaryň doýgunlygynyň membrananyň akyjylygyna uly ähmiýeti bardyr.

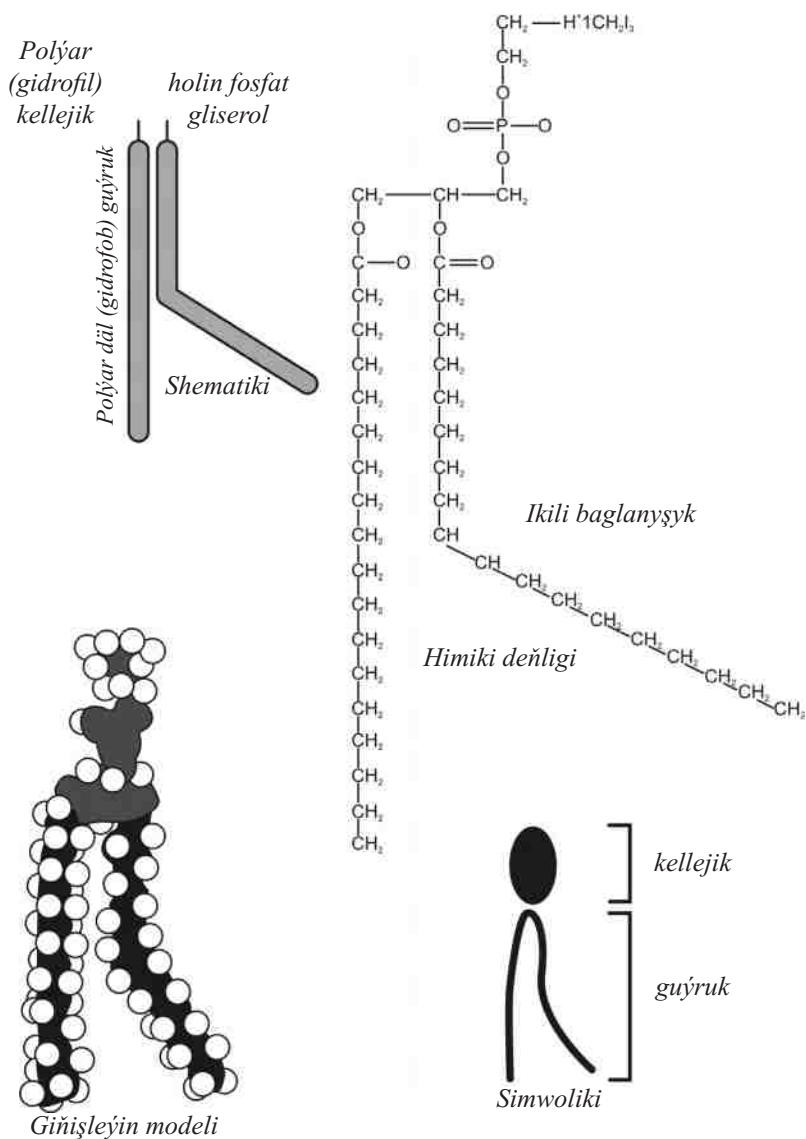
Suwda fosfolipidleriň we glikolipidleriň köpüsi özbaşdak kellejikleri daşyna bakyp duran, guýruklary bolsa, biri-birine içine bakyp duran iki gatlagy emele getirýärler. Diýmek, biologiki membranalaryň lipid esasyňyň bolmagy lipidleriň özlerini ýygnamak, öz-özlerini gurnamak hadysasynyň netijesidir. Şeýle gatlaklardaky lipidler ýapyk göwrümi emele getirýärler we emele gelen şikesleri özleri bejerýärler. Lipidleriň bu häsiýetlerinden başga-da, olaryň membrananyň ýerine ýetirýän işini kesgitleýän akyjylyk häsiýeti hem bardyr.

***Lipidleriň membranadaky hereketi we olaryň akyjylygy (şepbeşikligi).*** Membrananyň gidrofob häsiýetleri 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 çykman, 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 molekulasyňyň takmynan 2 *mkm* aralyga diffundirlenýändigini aňladýandyr.

---

\* Lipidleriň polýar kellejikleri položitel zarýadlanandyr diýlende olaryň umumy ýagdaýda neýtraladygy, ýöne iň daşky böleginiň položitel zarýadlanandygy göz önünde tutulýar. Diňe položitel zarýadlanan kellejikler gabat gelýän dälirler. Bu ýagdaý örän möhümdir, çünki membranalaryň netijeleýji zarýady öýjükleriň özlerini alyp baryşlarynyň köp taraplaryna ýokary derejede täsir edýändir.



6.4-nji surat.

Lipidleriň molekulalarynyň ýene-de bir hereketi olaryň bir lipid gatlagyndan beýlekisine geçmegidir (flip-flop geçiş). Bu geçiş orän seýrek amala aşyrylýar. Flip-flopy amala aşyran molekulalaryň bigatlagyň bir tarapynda saklanmak ýarymperiody 6 sagada deňdir

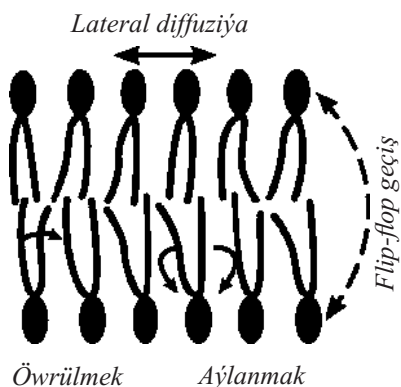
(käbir fosfolipidlerde, mysal üçin, sfingomiyelinde, bu görkeziji ep-esli uludyr). Bu lipidleriň molekularynyň lateral diffuziýany flip-flopa garanda 10 milliard esse we ondan hem çalt amala aşyýandygyny aňladýandyr.

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).

Membranalar daşky täsire görä gysylýp 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 guýruklarynyň özara täsiri peselýär, ikili baglanyşyklaryň esasynda guýruklarda emele gelen egrilikler bolsa, lipidiň rejeli toplanmagyna, ýygnaľmagyna 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 gatlaklarynyň 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.



**6.5-nji surat. Fosfolipidleriň membranadaky hereketleriniň dürli görnüşleri**

Holesterol diňe bir membrananyň akyjylygyny kesgitlemän, eýsem ol ikili gatlagyň mehaniki berkligini hem ýokarlandyrýar. Emeli usul bilen alnan membranalarda holesterol aýrylsa, onda olar derrew dargap, eräp gidýärler. Şeýle hem bu madda lipidiň guýruklarynyň ýelmeşmeginiň we ondaky uglewodorod zynjyrynyň kristallaşmagynyň önüni alýar. Temperaturanyň üýtgemegi bilen membranadaky faza geçişleri ingibirmekde 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 guýruklaryndaky uglerod atomlarynyň sany näçe köp bolsa, membrananyň eremek temperaturasy şonça-da ýokarydyr. Diýmek, yssy klimata uýgunlaşan bedenleriň membranalarynyň lipidleri doýgun (ikili baglanyşyklaryň sany az ýa-da ýok) hem-de olardaky uglerod atomlarynyň sany köp bolýar, tersine, sowuga uýgunlaşan bedenleriň lipidleri doýgun däl we guýruklary 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



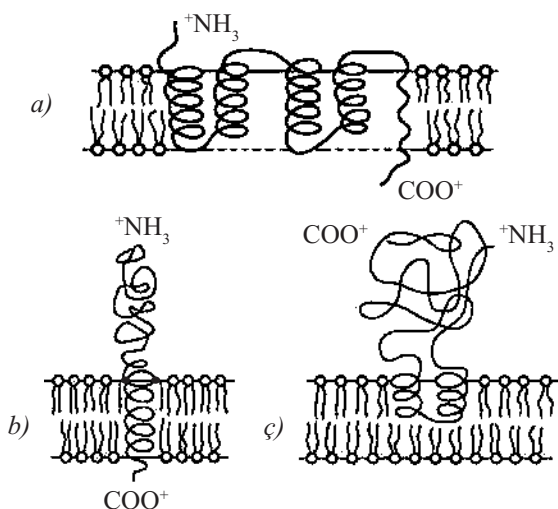
nerw süýümleriniň gabygy bolan miýeliniň membranasynyň umumy agramynyň takmynan 25% bölegini beloklar düzýärler. Öýjügiň goragy bilen birlikde köp fermentativ funksiýany amala aşyrýan haýwanlaryň öýjükleriniň plazmatiki membranasynda agramy boýunça takmynan 50% beloklar saklanýar; has ýokary fermentativ isjeňligi 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-áýry 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 däldir, ol bölekleyin spiral ýaly towlanan 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 çykyandygy bilen düşündirilýär. Mundan hem başga, zynjyryň ugry boýunça uly aralykda ýerleşýän aýry-áýry aminokislotalar özara kowalent baglanyşygy ( $S-S$  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  $\alpha$ -spiral diýlip atlandyrylýan spiraly döredýärler. Seýrek ýagdaýda  $\beta$ -spiral döredýär, ýöne onuň wajyp biologiki ähmiýeti bardyr.



6.6-njy surat.

Bu ýagdaýda  $\beta$ -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 görkezilendir.

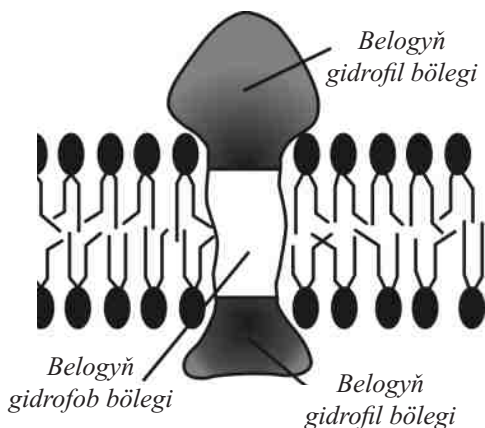
a) belok membrana doly çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär. Onuň polipeptid zynjyry membranany birnäçe gezek kesip geçýär we  $\alpha$ -spiral sütünleri döredýär (bakteriorodopsin şeýle görnüşde gurnalandyr).

b) belogyň uly bolmadyk gidrofob bölegi membrana çümdürilen görnüşde ýerleşýär, onuň uly (gidrofil) bölegi bolsa suwa eksponirlenendir (gönükdirilendir). Membrana bilen baglanyşygy durnuklaşdyrmak üçin käbir ýagdaýlarda ýag kislotalarynyň beloga kowalent birleşýän ýerleri bardyr (ýag kislotalarynyň birleşýän ýerleri gara nokat bilen görkezilendir).

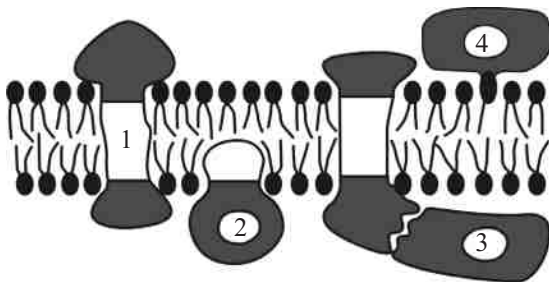
ç) belogyň gidrofob «labyry» («ýakory») fosfolipidiň monogatlagyna çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär (mysal üçin, sitohrom  $b_5$  membranada şeýle ýerleşýändir).

Belok membrananyň lipid bigatlagynda lipidleriň molekulalarynyň uglewodorod zynjyrlary bilen gidrofob täsire baglylykda saklanýar.

Özleriniň ýerine ýetirýän işleri boýunça membranadaky beloklar fermentativ, transport we sazlaýjy görnüşlere bölünýärler. Häzirki wagtda beloklaryň berkitme-gurluşyk wezipesini ýerine ýetirýän görnüşi hem bellidir. Olar membrana-



**6.7-nji surat. Membrananyň düzümine girýän amfipatiki belogyň shemasy**



**6.8-nji surat. Membrana beloklarynyň lipid bigatlagy bilen assosirlenmeginiň dört usuly:**

1 – belok lipid bigatlagyny kesip geçýär; 2 – belok monogatlaga çümdürilen ýagdaýda ýerleşýär; 3 – belok membrana belogy bilen kowalent däl baglanyşygyň hasabyna saklanýar; 4 – periferiki belogyň lipidiň ýag kislotasy bilen kowalent baglanyşykda saklanýan ýagdaýy.

daky hadysalary katalizirlemek, maddalary membranadan geçirmek, elektrik toguny döretmek, energiýanyň öwrülişigini amala aşyrmak ýaly ýaşayyş üçin wajyp bolan işleri ýerine ýetirýärler.

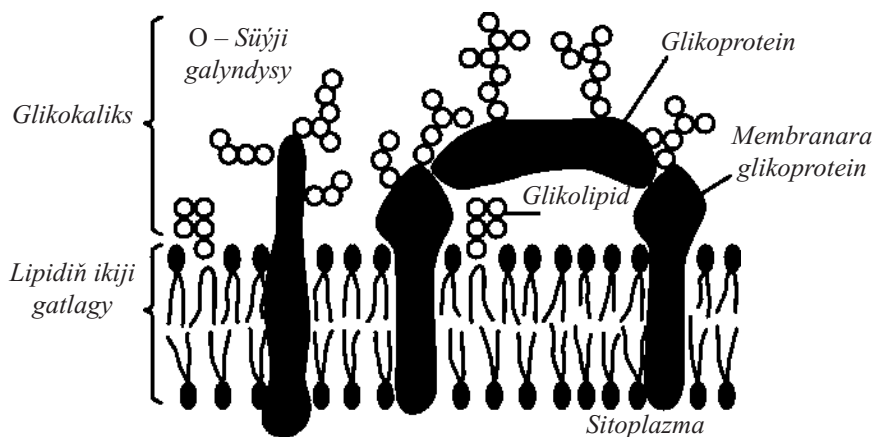
Käbir belok ulgamlarynyň membranadaky anyk işleri barada soň aýratynlykda seredip geçeris.

#### 6.1.4. Membranadaky uglewodlar

Öýjügiň membranasynyň agramynyň 2–10% bölegini uglewodlar düzýärler. Olar membranadaky beloklara (glikoproteinler) we lipidlere (glikolipidler) kowalent baglanyşandyrlar (6.9-njy surat).

Biologiki membranalarda maddalar asimmetriki (gyradeň däl) ýerleşendirler. Içki we daşky lipid gatlaklary lipid we belok düzümi boýunça biri-birinden tapawutlanýarlar. Uglewodlaryň membrana-da ýerleşşi 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).

Membranada uglewodlaryň ýerine ýetirýän işleri doly belli däl. Ýöne barlaglaryň görkezişi ýaly, olar beloklaryň membranany taşlap gitmez ýaly oňa gowy ýapysmagyna, dogry ýerleşmegine, bir lipid gatlakdan beýlekisine bökmezligine ýardam berýär. Uglewodlar şeýle hem glikoproteinleriň giňişlikdäki gurluşynyň durnukly bolmagynda uly orny tutýarlar.



6.9-njy surat. Uglewodlaryň membranada ýerleşişiniň shematiki görnüşi

### **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 bel-lenip 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: işjeň däl we işjeň transport.

Eger madda membranadan şol maddanyň konsentrasiýasynyň köp yerinden az yerine energiýa sarp etmezden özakymlaýyn geçýän bolsa, onda oňa işjeň däl transport diýilýär.

Eger madda membranadan onuň konsentrasiýasynyň az yerinden köp yerine energiýa sarp etmek bilen geçirilýän bolsa, onda oňa işjeň transport diýilýär.

Membranadan maddalary geçirmegiň üç sany mehanizmi bar: diffuziýa, ýörite geçirijileriň kömegi bilen we beloklar tarapyndan döredilýän kanalyklar arkaly geçiriliş.

Eger madda konsentrasiýasynyň köp yerinden az yerine öz-özünden başga maddalar bilen garyşyp geçýän bolsa, onda oňa dif-fuziýa diýilýär.

Maddalar membrananyň düzümine girýän belok tebigatly bo-lan ýörite geçirijileriň (ionoforlaryň) kömegi bilen ýa-da diwarlary beloklardan ýasalan kanalyklaryň üsti bilen hem geçirilip bilner.

Molekula näçe kiçi we ýagda gowy ereýän bolsa, ýagny näçe gi-drofob ýa-da polýar däl bolsa, ol şonça-da membranadan diffuziýa ar-kaly çalt geçýär. Kiçi polýar däl molekulalar lipidlerde gowy ereýär-ler we membranadan diffuziýa bilen geçýärler. Zaryadlanmadyk kiçi polýar molekulalar hem diffuziýa boýunça geçip bilýärler. Zaryadla-nan we gidrofil molekulalaryň ählisi diýen ýaly membranadan geçip bilmeýärler.

### 6.1.6. İşjeň däl 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 kesgitlep bolýar:

$$J = -D \frac{C_2 - C_1}{l}, \quad (45)$$

bu ýerde  $J$  – membranadan geçýän 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 koeffisiýenti;  $(\text{m}^2/\text{s})$ ;  $C_1$  we  $C_2$  – maddanyň öýjügiň içindäki we daşyndaky konsentrasiýalary  $\text{kg}/\text{m}^3$  ýa-da  $\text{mol}/\text{m}^3$  birlikde ölçelýär.

Deňlemedäki «aýyrmak» alamaty madda membranadan diffuziýa boýunça geçende onuň köp konsentrasiýaly ýerde mukdarynyň azalýandygyny aňladýar.

45-nji deňlemä Fikiň diffuziýa deňlemesi diýilýär. Eger maddanyň membrananyň iki tarapyndaky konsentrasiýasy hem belli bolsa, onda Fikiň deňlemesi boýunça membrananyň üstünden geçýän maddanyň mukdaryny kesgitlep bolýar.

Başda bellenilip geçilişi ýaly, lipidleriň kellejikleri elektrik taýdan zarýadlanandyr. Öýjük dynçlyk ýagdaýynda onuň membranasyndaky lipidleriň öýjügiň içine bakyp duranlary otrisatel, daşyna bakyp duranlary bolsa položitel zarýadlanandyr. 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  $\mu$  hyzmat edýär, ýagny

$$\mu = \mu_0 + RT \ln C + zF\varphi, \quad (46)$$

bu ýerde  $z$  – ionyň walentiligi;  $F$  – Faradeýiň sany ( $9,65 \cdot 10^4 \text{ Kl/mol}$ );  $R$  – uniwersal gaz hemişeligi ( $8,31 \text{ J/(mol}\cdot\text{K)}$ );  $\varphi$  – membrananyň üstüniň elektrik potensialy;  $C$  – molýar konsentrasiýa;  $T$  – absolýut temperatura;  $\mu_0$  – himiki potensial, ol komponentiň 1 (bir) molunyň bir ýagdaýdan başga bir ýagdaýa geçende himiki üýtgeşmelerini ýüze çykarmak üçin sarp edilýän işe deňdir.

*Elektrohimiiki potensial* diýlip berlen konsentrasiýaly we elektrik potensialy erginden 1 mol iony wakuumda uly aralyga geçirmek üçin sarp edilýän işe aýdylýar. Bu iş himiki özara täsir güýçlerini we ionlaryň elektrik meýdanyň täsirini ýeňip geçmek üçin sarp edýän işleriniň jeminden ybaratdyr. Elektrohimiiki potensial – bu 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 potensiallaryň tapawudyny hasaba almak bilen ondan geçýän zarýadlanan maddalaryň mukdaryny kesgitlemäge mümkinçilik berýär:

$$J = -D \left( \frac{dc}{dx} + \frac{zFc}{RT} \frac{d\varphi}{dx} \right). \quad (48)$$

Öýjük dynçlyk ýagdaýyndaka onuň içki we daşky üstlerinde döreyän potensiallaryň tapawudyna dynçlyk potensialy diýilýär. Ol potensial  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  we  $\text{Cl}^-$  ionlaryň deňagramlylygy bilen amala aşyrylýar we Goldmanyň-Hojkiniň-Katsyň deňlemesi bilen kesgitlenilýär:

$$\Delta\phi = \frac{RT}{F} \ln \frac{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_i + P_{\text{K}}[\text{K}^+]_i + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_0}{P_{\text{Na}}[\text{Na}^+]_0 + P_{\text{K}}[\text{K}^+]_0 + P_{\text{Cl}}[\text{Cl}^-]_i}, \quad (49)$$

bu ýerde  $P_{\text{Na}}$ ,  $P_{\text{K}}$ ,  $P_{\text{Cl}}$  – degişli ionlaryň membranadan syzyjylygy,  $[ ]_i$ ,  $[ ]_0$  – degişli ionlaryň öýjügiň içindäki we daşyndaky konsentrasiýalary. Dürli bedeniň dokuma suwuklygyndaky duzlar absolyüt konsentrasiýasy boýunça olaryň ýaşayan şertlerine baglylykda özara biri-birlerinden güýçli derejede tapawutlanýarlar (mysal üçin, apliziýa deňiz mollýuskasynda bu gurşaw 500 mmol natriýni saklaýar, süýji suwda ýaşayan bezzubka mollýuskasynda bolsa – diňe 13 mmol natriý saklanýar). Ýöne bedeniň öýjügiň gurşawda natriý we kaliý ionlarynyň gatnaşygy ( $\text{Na}^+/\text{K}^+$ ) ähli janly-jandarlar üçin\* (tä meduzadan başlap adama çenli) takmynan hemişelik ululyk bolup galýar eken (ýagny kaliniň konsentrasiýasy natriniňkiden takmynan 50 esse az bolýar). Şeýlelik bilen, ähli janly bedenler 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 çykarylýdyr). Bedenden bölünip aýrylýan we deňiz suwuna ýerleşdirilýän şeýle süýüm ölmän galýar. Şeýdip, içine aralaşyp we tejribe geçirilip bolunýan öýjük tapylýar (7-nji tablisa).

---

\* (Bakteriýalarda, ösümliklerde we kömeleklerde bu ýagdaý, ýagny daşky gurşawyň hemişelik derejede saklanmagy berjaý edilýän däldir. Şoňa görä-de olaryň öýjükleri gaty barda bilen örtülendirler, şeýle barda olary osmos basyşynyň täsiri astynda dargamakdan goraýar).



**Dynçlyk ýagdaýyndaky öýjügiň içindäki  
we daşyndaky kationlaryň we anionlaryň konsentrasiýasy  
(kalmalaryň ägirt uly aksonynda)**

Ionlar	1 kg H <sub>2</sub> O-da konsentrasiýa, <i>mmol</i>	
	öýjügiň içinde	öýjügiň daşynda
K <sup>+</sup>	340	10,4
Na <sup>+</sup>	49	463
Cl <sup>-</sup>	114	592

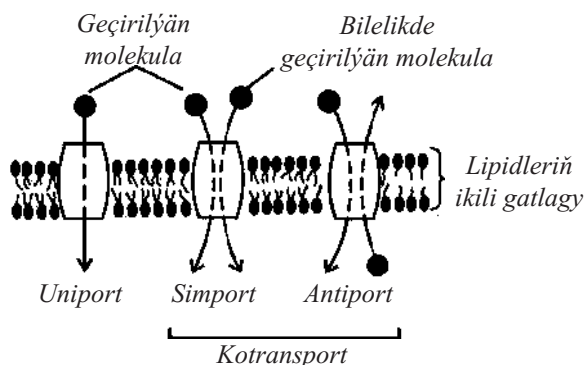
Görnüşi ýaly, sitoplazmada kaliniň ionlary, öýjügiň daşynda bolsa natriniň we hloryň ionlary agdyklyk edýärler. Şeýle ýagdaýda ionlar üçin membrananyň syzyjylygy

$$P_{K^+} : P_{Na^+} : P_{Cl^-} = 1 : 0,04 : 0,45$$

gatnaşyk boýunça amala aşyrylýar. Diýmek, dynçlyk potensialynyň döremegine K<sup>+</sup> we Cl<sup>-</sup> ionlary gatnaşýarlar. Şonuň üçin öýjükdäki potensiallaryň tapawudy  $\Delta\varphi = 59,7 \text{ mV}$  deňdir, bu bolsa tejribe boýunça kesgitlenen baha bilen gabat gelýär.

**Membranadaky transport beloklary.** Membranadaky transport beloklary lipidleriň bigatlagynda bir gatlakdan beýleki gatлага geçýän däldirler, olar özleriniň 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 ýokdur.



**6.10-njy surat. Membranadan maddalary geçirmegiň uniport, simport we antiport usullary**

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.

Mitochondriýanyň içki membranasyndan ATF-ň molekulasyňyň sitoplazma we şol bir wagtda ADF-ň molekulasyňyň sitoplazmadan matrikse geçirilmegini antiport geçirilişine mysal hökmünde görkezme bolar.

**Ýeňilleşdirilen diffuziýa.** Ýeňilleşdirilen diffuziýa ýörite geçiriji – molekulalaryň gatnaşmagynda amala aşyrylýar. Lipidleriň ikili gatlagynda garyşyp (eräp), olaryň ionlara bolan syzyjylygyny ýokarlandyran uly bolmadyk gidrofob molekulalara *ionoforlar* diýilýär. Ionoforlaryň iki görnüşi bolýar: ionlary bilen hereketlenýän geçirijiler we kanal emele getiriji ionoforlar. Mysal üçin, walinomisin antibiotigi (ionofory) kaliniň 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, ýeňilleşdirilen diffuziýany kynlaşdyrýarlar ýa-da asla geçmez ýaly edýärler.

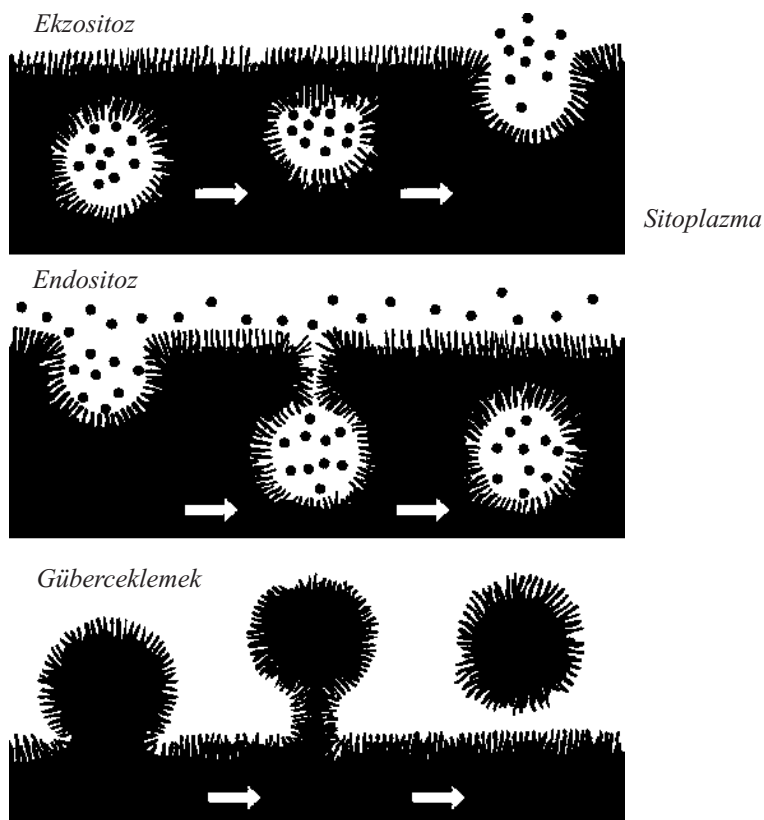
Ýeňilleşdirilen diffuziýanyň ýene-de bir görnüşi membrananyň galyňlygy boýunça gozganmaýan görnüşde ýerleşen geçirijileriň kömegi bilen amala aşyrylýar. Geçirilýän madda geçirijiniň birisinden beýlekisine berilmegi bilen estafeta usuly boýunça geçirilýär. Muňa mysal hökmünde gramisidin antibiotigini 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 aşyran 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. Muňa 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) zygider emele gelmesi we birleşmesi bolup geçýär (6.11-nji surat).

Mysal üçin, öýjük insulini sitoplazmadan daşyna çykarjak bolsa, ilki bilen onuň daşynda köpürjik emele getirip, ony bir ýere toplaýar. Soňra öýjügiň membranasy bilen birleşýär hem-de insulini daşaryk çykarýar. Bu hadysa *ekzositoz* diýilýär.



6.11-nji surat. Ekzositoz,  
endositoz we güberçekleme hadysalary

Öýjükler şeýle usul bilen makromolekulalary özlerine ýuwdup 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 ýuwtmak we *fagositoz* (grekçe phagos-iýýän, kytos-öýjük), uly göwrümlü bölejikleri we öýjügiň galyndylaryny ýuwtmak. Şeýle ýagdaýda uly göwrümlü köpürjikler (wakuolalar) emele gelýärler.

### 6.1.7. Biologiki membranalarda işjeň transport

Biologiki membranalarda maddanyň işjeň transportynyn ägirt uly ähmiýeti bardyr. İşjeň transportyň hasabyna bedeniň ýaşayş ukybyny saklaýan konsentراسیالарыň, elektrik potensiallaryň, basyşyň tapawutlary döredilýär. Termodinamiki nukdaýnazardan, işjeň transport bedende ýaşayşyň çeşmesi bolan deňagramsyzlygy döredýär, sebäbi deňagramlylyk – bedeniň olümidir. Biologiki membranalarda işjeň transportyň bardygy 1949-njy ýylda Using tarapyndan natriý ionlarynyň gurbaganyň derisinden geçişi bilen subut edildi.

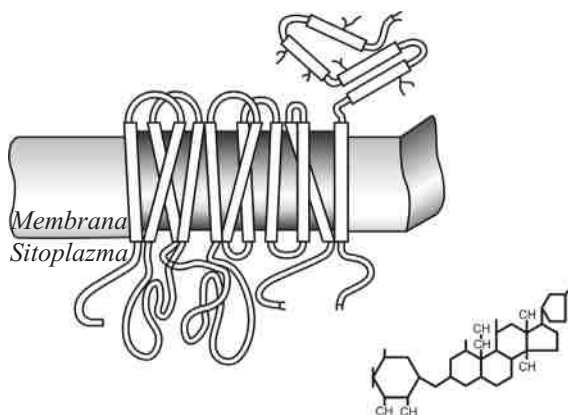
Indi bolsa biz ähli janly bedenler üçin iň wajyp hadysalaryň biri bolan ion nasoslarynyň işleýşine seredip geçeliň.

**a)  $Na^+/K^+$  – ATfaza. Häsiýetleri we biologiki ähmiýeti.** Janly bedenleriň öýjükleriniň ion düzümi daşarky gurşawyň ion düzüminden doly tapawutlanýar. Şu babatda, bir walentli natriý we kaliý ionlarynyň öýjügiň içinde we daşynda asimmetriki (gyradeň däl) ýerleşmegi has bellärliklidir: öýjükler köp mukdarda kaliniň ionlaryny sitoplazmada toplaýarlar, natriniň ionlarynyň köp mukdaryny bolsa, daşynda saklaýarlar. Şeýlelikde, öýjügiň membranasynda bir walentli ionlaryň konsentراسیاسыныň tapawudy döreýär. Megerem, şeýle häsiyet ýaşayşyň döremegi bilen ýüze çykandyr hem-de şu güne çenli janly bedenleriň esasy aýratynlyklarynyň biri bolup galandyr.

Ionlaryň asimmetriýasy nerw we myşsa öýjüklerini oýandyrmakda we elektrik toguny emele getirmekde peýdalanylýar. Ýöne käbir oýandyryjy potensialy emele getirmeyän öýjüklerde hem ionlaryň asimmetriýasy ulanylýar. Öýjügiň içinde metabolism 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 artdyrýan we olar üçin hereketlendiriji güýç bolup, natriniň membrananyň iki tarapyndaky konsentراسіаларыныň tapawudy hyzmat edýär. Şeýle ýagdaýda öýjüge gerek bolan maddalar geçirilişin simport görnüşі boýunça natriniň ionlary bilen bilelikde geçirilýärler.

Konsentrasion gradiýentiň garşysyna maddalary geçirmegiň işjeň transpört görnüşi öýjükdäki ATF-ň mukdaryna baglydyr. Beýniniň neýronlarynda işjeň transport üçin öýjükdäki ATF-ň ähli mukdarynyň 30%-i sarp edilýär, özem uklap ýatan bedeniň beýnisiniň bu işi ýerine ýetirmek üçin sarp edýän energiýasy oýa beýniniň sarp edýän energiýasyna deňdir. Käbir elektrik taýdan işjeň 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 asyrýan işjeň 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 işjeň 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



6.12-nji surat.  $Na^+/K^+$  – ATFazanyň  
öýjügiň membranasynda ýerleşşi

ýerleşýär. Şeýlelikde, alfa-birlik nasosyň işini beta-birliksiz hem ýerine ýetirip bilýär. Ýöne bu iki polipeptidler bileikde bütewi bir globulany emele getirýärler.

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 pikirçe, beta-birlik alfa-birligiň ginişlikde dogry ýerleşmegini sazlaýar.

Näme üçin tebigat natriý we kaliý ionlaryny janly tebigaty jansyzdan tapawutlandyrmak üçin saýlap alypdyr? Natriý öýjukdaşy 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 (40–60 *mmol/l*) ganyň plazmasyndakydan (4–5,6 *mmol/l*) has köpdür.

Uly adamynyň bedeninde 150 g-a golaý natriý bar, maddanyň kadaly çalşygyny amala aşyrmak üçin günde 10–15 g nahar duzuny iýmeli.

Bedende natriniň 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 spazmasy, 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 natriniň kationlarynyň artykmaçlygy hem howpludyr. Şeýle ýagdaýda natriniň köp toplanýan ýeri – öýjügara giňligine suw ýygnanýar, 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 kaliniň mukdary 133–140 g-a barabardyr, gündelik iýmit bilen talaby bolsa 2–3 g-a ýakyndyr. Kaliniň ionlary nerw impulslaryny geçirmäge, myşsanyň ýygrylmasyny amala aşyrmaga, ýüregiň işini sazlamaga (ritmleri azaldýar, ýürek myşsasynyň ýygrylma güýjüni peseldýär) gatnaşýarlar. Onuň bedende ýetmezçiligi (gipokaliýemiýa) köp wagtlyk iç geçmelerde, gaýtarmakda, aşa köp peşew çykarmakda (peşew çykaryjy serişdeler, kaliniň ionlaryny saklamayan erginler peýdalanylanda, böwreküsti mäziň 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 ýitmeginе, ysmazlygyň döremegine we gallýusinasiýalara getirýär. Kaliniň mukdarynyň aşa köplügi böwrek kesellerine, eritrositleriň (gemoliz) we dokuma öýjükleriniň dargamagyna, kislota-aşgar deňagramlylygyň bozulmagyna hem-de ýüregiň işiniň mahsus bolan bozulmalaryna getirýär. Diýmek, natriniň we kaliniň 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 bedenler 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, natriniň we kaliniň häsiýetleri ýa-da olaryň metabolism hadysalaryna täsiri dürli-dürlüdür?

Elbetde, bularyň hemmesi hem esasy sebäpdir. Hakykatdan hem öýjügiň membranasynyň бүтewiligi baradaky maglumaty elektrohimiiki potensialyň kömegi bilen almak üçin onuň içindäki suwuklygyň her bir litrine birnäçe mol natriniň mukdary bolmaly, ýöne öýjügiň içinde kaliniň ionlary köp bolsa, onda onuň bary-yogy 0,1–0,2 moly gerek. Şeýle ýagdaýda membrananyň arasynda 90–120 mV potensial döreýär.



Galyberse-de, natriý we kaliý ionlaşan ýagdaýlarynda biri-birinden zarýady we walentiligi bilen tapawutlanmaýarlar. Ýöne şeýle-de bolsa, olaryň gidratasiýa (suw bilen birleşmek) geçmek temperaturasynyň çägi (Tçäk) biri-biriniňkiden doly tapawutlanýarlar. Bu temperatura natriý üçin  $+20^{\circ}\text{C}$ , kaliý üçin bolsa  $+70^{\circ}\text{C}$ -a deňdir. Şeýlelikde, köp janly bedenleriň ýaşap bilýän temperaturasy bolan  $+20^{\circ}\text{C}$ -dan ýokary temperaturalarda natriý suw bilen aňsat birleşýär we gidrat gatlagyny emele getirýär, kaliý bolsa suwy itekleýär, şonuň üçin hem onuň gidrat gatlagy bolmaýar.

Natriniň gidratlaşan iony özüniň zarýady boýunça kaliniň 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  $+1,03 \text{ kJ/mol}$ , kaliý üçin bolsa  $-1,05 \text{ kJ/mol}$  deňdir. Şu ululygy biologiki molekulalar ionlary saýlamak we tanamak üçin peýdalanyň bilýärlermikä?

Lipidler  $\text{Na}^+$  we  $\text{K}^+$  ionlaryny olaryň gidrofob häsiýetleri boýunça tanaýarlar. Tebigy lipidlerden ýasalan membranadan kaliý ionlarynyň diffuziýasy natriniňkiden 3–7 esse uludyr. Belogyň sintezi baradaky maglumatlary özünde saklaýan hem-de öýjügiň belok düzümini kesgitleýän nuklein kislotalary hem özlerriniň ýerleşýän gursawynyň ion düzüminiň üýtgemesine diýseň duýgurdyrlar. Mysal üçin, natriniň ionlary ikili spiraldaky nukleotidleriň ýerleşişine we özara baglanyşygyna täsir edýärler, kaliniň 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 kaliniň ionlaryna baglydyr. Köp halatlarda kaliniň ionlary işjeňleşdiriji, natriýiň ionlary bolsa ingibitor bolup durýarlar. Diňe lipidleriň sintezini natriniň ionlary çaltlandyrýarlar. Diýmek, öýjügiň membranasynyň zeperlenmegi we  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  gatnaşyk ulanda, zeperi ýok etmek üçin gerek bolan lipidleriň emele gelmegi tizleşýär.

Kaliniň ionlarynyň, köplenç, işjeňleşdiriji bolmagynyň sebäbi, onuň daşky gatlagyndaky elektronlarynyň ýadrodan has daşda

ýerleşendigi bilen düşündirilýär. Şeýle ýagdaýda ýadro elektronlary özüne gowşak çekýär. Şonun üçin elektronlar islendik wagt kaliniň atomyny taşlap, başga atoma gidip bilýärler. Natriniň 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 tablica

**Natriýniň we kaliýniň  
sazlaýan metaboliki hadysalary**

Hadysa	Isjeňleşdiriji	Ingibitor
Asetilholiniň sintezi	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Ribosomlardaky belogyň sintezi	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Lipidleriň sintezi	Na <sup>+</sup>	—
Mitohondriýalaryň dem almagy	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
DNK-polimeraza reaksiýasy	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
RNK-polimeraza reaksiýasy	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>
Fosfofruktokinaza reaksiýasy	K <sup>+</sup>	Na <sup>+</sup>

**b) Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> – ATFazanyň işleýşi.** Na<sup>+</sup>/K<sup>+</sup> – ATFazanyň özüniň hem natriniň we kaliniň 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 membranasyň iki tarapynda hem degişli bir walentli ionlaryň konsentrasiýasynyň tapawudynyň azalýandygyny görkezdi. Awtoryň pikiriçe, glikozidler işjeň transporty basyp ýatyrýarlar, degişli kationlar bolsa işjeň däl transport boýunça konsentrasiýanyň köp ýerinden az ýerine geçýärler. Şu hadysalarda uabain iň netijeli glikozid bolup durýandyr.

Ý. Skou öýjügiň membranasyndan natriniň we kaliniň işjeň transportyny amala aşyran fermentler ulgamyny kesgitledi. Onuň göz önünde tutuşy ýaly, bu fermentler ATF-ň gidrolizini amala aşyryp,

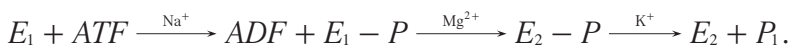
bölünip çykýan energiýanyň hasabyna bolsa, natriýniň we kaliýniň ionlaryny konsentrasiýanyň gradiýentiniň garşysyna geçirýärler. Şeýle hem bu fermentler özüniň geçirýän ionlarynyň hasabyna işjeňleşýärler we uabainiň täsiri astynda ingibirlenýärler. Öz barlaglarynda Skou leňnejiň aksonyny peýdalandy, sebäbi onuň nerw öýjüklerinde işjeň 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, tersine, ony basyp ýatyrýar. Şeýlelikde,  $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATF}$  natriýniň we kaliýniň ionlaryny bir (az) ýerden başga (köp) ýere «sorujy» enjam (ýagny nasos) ýaly işleýär, şonuň üçin oňa  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nasosy hem diýilýär.

Işjeň transporty energiýa bilen üpjün etmek üçin ATF-i gidrolizleýän  $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATF}$  fermenti köp tapgyrlardan durýan çylşyrymly hadysalary amala aşyrýar. Şol hadysalara natriýniň, kaliýniň, magniýniň ionlary we ATF gatnaşýarlar. Özüne haýsy ionyň birleşýänligine baglylykda,  $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATF}$  fermenti öz konformasiýasyny aňsatlyk bilen üýtgedýär.

**Konformasiýa diýlip belogyň aýratyn bölekleriniň giňişlikdäki özara ýerleşişine we toplanlyşyna aýdylýar.**

$\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATF}$  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 gysylyp 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.  $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATF}$  fermenti bilen katalizirlenýän ATF-ň gidrolizi aşakdaky ýaly amala aşyrylýar:



Bu hadysa aşakdaky tapgyrlardan durýar (6.13-nji surat):

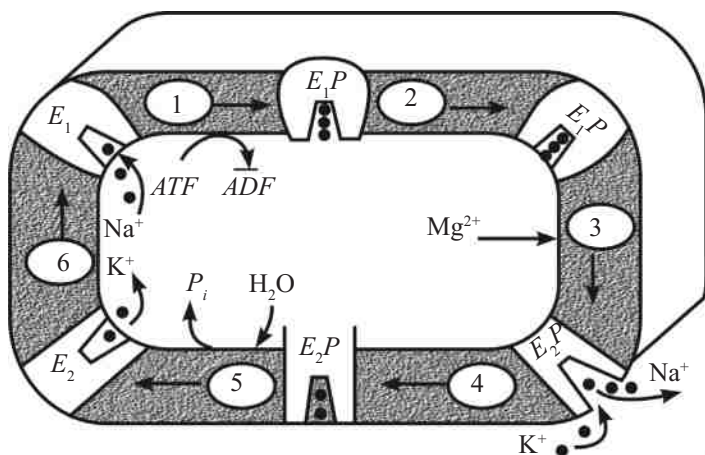
1.  $E_1$  ýagdaýda ferment natriýniň ionlary we öýjügiň içindäki ATF bilen täsir edişýär. Netijede, fosforlaşan molekula  $E_1-P$  emele gelýär, ADF (adenozindifosfat) bolsa, fermentiň işjeň merkezinden boşap, sitoplazma gaýdyp gelýär.

2. Fosforlaşan belok şeýle ýagdaýa geçýär, ýagny natriýniň ionlary membrananyň daşynada 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 ähmiyeti fosforlaşan fermenti  $E_1$  konformasiýadan  $E_2$  konformasiýa geçmegini çaltlaşdyrmakdyr. Şu tapgyrda fermentiň molekulasynyň aýratyn bölekleri öz ýerlerini üýtgedýärler we gidrofob häsiýete eýe bolýarlar, bu bolsa natriýniň ionlarynyň membranadan daşyna çykmagyna, fermentiň bolsa kaliý-nin ionlaryny özüne birleşdirmegine sebäp bolýar.

4. Kaliý ionlary, edil natriniň ionlary ýaly, okklýuziýa hadysasy-na sezewar bolýarlar we membranadan geçirilip bilinmeýärler.

5.  $E_2-P$  toplumyň  $E_1-P$  toplumdan esasy tapawudy onuň gidrofilidigidir. Şeýle ýagdaýda fosfat suwuň molekulasynyň täsirine sezewar bolýar we fosforlaşan fermentiň suwdaky gidrolizi (fermentiň



6.13-nji surat.  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  – ATPazanyň işleýiş aýlawy

defosforlaşmasy) amala aşyrylýar hem-de organiki däl fosfat öýjügiň içine boşadylýar.

6. Şundan soň kaliniň 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.

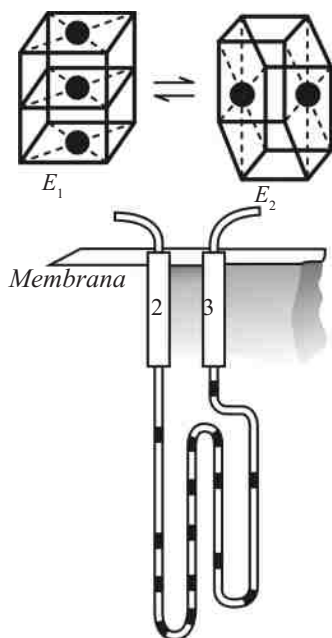
Bir aýlawyň dowamynda ATF-ň bir molekulasynyň gidrolizindäki bölünip çykarylýan energiýa natriýniň üç ionyny öýjügiň içinden daşyna, kaliýniň iki ionyny bolsa öýjügiň daşyndan içine geçirmäge ýetýär.

$Na^+/K^+ - \text{ATFaza fermentiniň işjeňliginiň sazlanlyşy}$ . Bu fermentiň işjeňligi birnäçe ululyklaryň üsti bilen sazlanýlar. Ilkinji ýerde  $Na^+/K^+$  gatnaşyk we ATF-ň ýeterlik derejede bolmagy durýar. Bu ululyklaryň fermenti gysga wagtlyk 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 ösümlük 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  $Na^+/K^+ - \text{ATFaza fermenti}$  böwrek dokumasyndaky bu fermentleriň görnüşinden uabainiň täsirine has duýgurdyrlar.

Ýürek myşsalaryndaky  $Na^+/K^+ - \text{ATFazanyň ingibirlenmegi}$  yüregiň ýygrylmasyny çaltlandyryp, položitel inotrop netijäni berýär. Galyberse-de, ýüregiň  $Na^+/K^+$  nasosynyň bölekleyin ingibirlenmegi miokardda maddalaryň emele gelmek hadysalaryny güýçlendirýärler we myşsanyň agramyny köpeldýärler. Bu bolsa ýüregiň myşsalarynyň işiniň netijeliligini ulaldýar.

Ýüregiň öýjükleriniň (kardiomiositler) membranasynda  $Na^+/K^+ - \text{nasoslardan başga-da ion gomeostazyny sazlaýan birnäçe belok-}$



**6.14-nji surat.**  
 **$\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATFaza}$**   
**fermentiniň natriýniň**  
**we kaliýniň ionlaryny**  
**birleşdirýän merkezi**

lar bar. Şolaryň arasynda esasyalarynyň biri bolup miositlerdäki natriýniň ionyny kalsiýniň iony bilen çalşyrmaga ukyply bolan ýörite belok-geçiriji ( $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+} - \text{çalşyjy}$ ) 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 konsentrasiasyny bolsa diňe  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nasosyny ingibirmek bilen ulaldyp bolýar. Ýüregiň ýygrylma işjeňligini sazlaýan kalsiýniň mukdarynyň üstüni ýürek glikozidleriniň kardiomiositlere bolan täsiri arkaly ýetirip bolýar.

Ganyň syworotkasynyň hem  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  nasosyny ingibirmek häsiýeti bardyr. Bu suw – duz çalşygy bozulan gipertoniki näsaglarda has hem gowy ýüze çykýar. Barlaglaryň görkezişi ýaly, steroid birleşmeler hem uabain ýaly adam bedenindäki  $\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATFazanyň}$  işjeňligini sazlaýarlar. Häzirki wagtda bu fermentiň işjeňligini sazlaýan başga-da birnäçe polipeptidleriň bardygy anyklanyldy.

$\text{Na}^+/\text{K}^+ - \text{ATFaza}$  fermentiniň natriýniň we kaliýniň ionlaryny birleşdirýän we olary membranadan geçirýän bölekleri 6.14-nji suratda görkezilendir.

## **6.2. Biologiki membranalarda energiýanyň öwrülişi**

Biologiki hadysalaryň aglabasy üçin energiýanyň çeşmesi Gündür. Fotosintezi amala aşyran ösümlikler ýagtylygyň energiýasyny organiki maddalary sintezlemek üçin ulanýarlar. Bu maddalar bolsa,

Günün energiýasyny özbaşdak peýdalanylýan bilmeyän dürli jandarlar we bedenler üçin gurluşyk maddalary we energiýanyň çeşmesi bolup durýar.

Bedenler iýýän iýmitleriniň düzümine girýän maddalaryň okislenmegi netijesinde bölünip çykyan energiýany ATF-ň molekulasyny sintezlemek üçin ulanýarlar.

Ähli bedenler üçin himiki energiýanyň uniwersal çeşmesi bolan in wajyp makroerg birleşmeleriň biri adenzotriňofosfor (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 öýjükdäki energiýa çalşygyny amala aşyran köp hadysalara gatnaşandygy anyklanyldy. 1931-nji ýylda akademik W. A. Engelgard ATF-ň sintezi bilen öýjügiň dem alşynyň (okislenme fosforlaşma hadysasy) arasynda baglanyşygyň bardygyny kesgitledi. Biraz gijräk ol ATF-ň myşsanyň ýygrylmasyna gatnaşandygyny hem anyklady. 1941-nji ýylda Lipman bioenergetikanyň esasy kanunyna kesgitleme berdi. Oňa laýyklykda daşky çeşmäniň energiýasy ilki bilen ATF-ň molekulasynyň himiki energiýasy görnüşinde toplanýar we diňe şondan soň peýdaly işi ýerine ýetirmek üçin peýdalanylýar. ATF-ň ähli janly bedenler üçin uniwersal «energetiki walýutadygy, gymmatlykdygy» köp sanly tejribeleriň üsti bilen subut edildi we ol bütewi bionenergetikanyň içinden eriş-argaş bolup geçýändir.

**Mitohondriýalar.** Öýjügiň içinde ýerleşýän içkiöýjük membranalar dürli wezipäni ýerine ýetirýän suböýjük bölejikleriň (organelalaryň) daşyny gurşap alýarlar. Olara, mysal üçin, iýmitiň düzümine girýän maddalarda saklanýan energiýany energiýanyň beýleki görnüşlerine öwürýän öýjügiň özboluşly «energetiki menzilleri» diýlip 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 öwürülip bilinýär.



Bu meselede öýjügiň içindäki köp sanly mitohondriýalaryň özara baglanyşygynyň bardygynyň hem ähmiýeti uludyr. Şonuň üçin öýjükdäki 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-dürlüdür, 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 diýlip hasap edilýär. Haýwanlaryň öýjüklerindäki mitohondriýa, köplenç, uzynlygy takmynan 3–5 mkm (mikrometr), diametri bolsa takmynan 0,5–1 mkm-e deň bolan uzaldylan silindriki görnüşe eýedir. Ýokary derejeli aerob (kisloroda baglanyşykly) metabolizmi bilen häsiýetlendirilýän öýjüklerde mitohondriýanyň sany adatça köp bolýar. Mysal üçin, bagryň her bir öýjüginde iki yüz töweregi mitohondriýa saklanýar diýlip hasap edilýär. Şol bir wagtda, ilkinji nobatda anaerob (kisloroda baglanyşyksyz) metabolizme gatnaşýan öýjüklerde (mysal üçin, skelet myşsalaryndaky 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 almalı bolardyrlar. Ýöne glikolizde (bu hadysada glýukoza piruwada çenli dargaýar) süýjüleriň doly okislenmeginde alynýan energiýanyň uly bolmadyk bölegi, ýagny 5,5%-i alynýar.

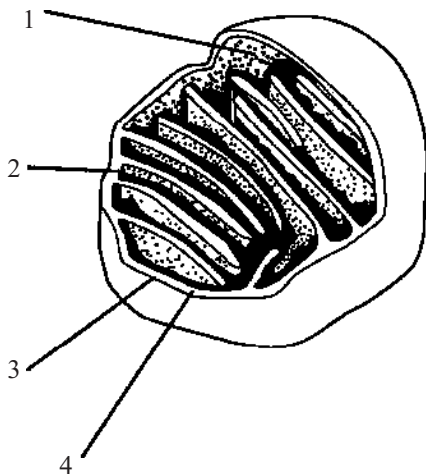


Mitochondriýalarda süýjüler we ýag kislotalary molekulýar kislorod tarapyndan kömürturşy gaza ( $\text{CO}_2$ ) we suwa ( $\text{H}_2\text{O}$ ) çenli doly okislendirilýärler. Şunlukda, boşaýan energiýa örän netijeli ulanylýar, ýagny glýukozanyň bir molekulasynyň hasabyna ATF-ň 36 sany molekulasy sintezlenýär; şol bir wagtda glikolizde glýukozanyň bir molekulasynyň hasabyna ATF-ň diňe 2 molekulasy alynýar.

Mitochondriýa iki sany ýöriteleşdirilen membrana bilen gurşalandyr, ýagny onuň daşky we içki membranasy bardyr. Daşky we içki membrananyň aralygyna membranaara giňişlik diýilýär. Mitochondriýanyň içki membrana bilen gurşalan içki bölegine matriks diýilýär. 6.15-nji suratda mitochondriýanyň umumy gurluşy görkezilendir.

**1. Matriks.** Matriks özüde ýokary derejede konsentrlenen ýüzlerçe dürli fermentleriň garyndysyny, şol sanda piruwady we ýag kislotalaryny okislendirmek üçin gerek bolan fermentleri saklaýar. Bulardan başga-da, matriksde mitochondrial DNK-nyň birnäçe meňzeş nusgalary, ýörite mitochondrial ribosomlar, tRNK we beýleki fermentler ýerleşýärler.

**2. İçki membrana (IM).** İçki membranada köp sanly ýygyrtlar (kristler) bardyr, olar IM-ň umumy üstki meýdanynyň ulalmagyna getirýär. IM özüde esasy üç dürli kysymly beloklary saklaýar: 1) dem alyş zynjyrynda okislenme reaksiýalaryny katalizirleýän beloklary; 2) matriksde ATF-i sintezleýän ATF-sintetaza diýlip atlandyrylýan fermentler kompleksini; 3) me-



**6.15-nji surat.**

Mitochondriýanyň umumy gurluşy. Bagryň mitochondriýasynda 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

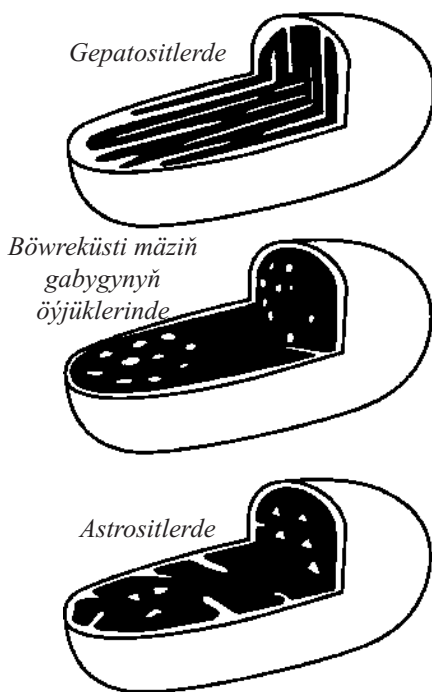
tabolitleriň matrikse geçirilişini we ondan çykarylyşyny sazlaýan ýörite transport beloklary.

**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 (ýygyrtlar) bardyr. Şuňa baglylykda onuň umumy meýdany bagryň mitohondriýalarynda daşky membrananyň umumy meýdanyndan 5 esse uludyr we öýjügiň ähli membranalarynyň umumy meýdanynyň 1/3 bölegine deňdir. Ýürek myşsalarynyň mitohondriýalarynda bagryň mitohondriýalary bilen deňeşdirilende kristleriň sany üç esse köpdür, bu tapawut ýürek dokumasynyň ATF-e bolan talabynyň ýokary bolmaklygy bilen düşündirilýär.



6.16-njy surat. Alakanyň dürli dokumalaryndan bölünip alnan mitohondriýalaryň kristleriniň gurluşyndaky käbir morfologiki aýratynlyklar

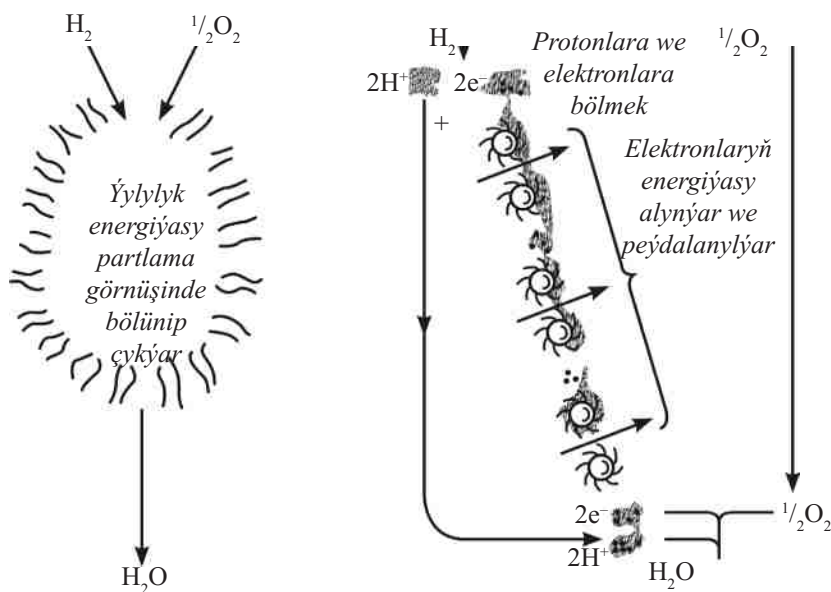
Dürli dokumalaryň öýjüklerindäki mitohondriyalaryň kristleriniň morfologiýasy biri-birlerinden tapawutlanýandyr, onuň näme sebäpden şeýle bolýandygy entek anyklanan däldir (6.16-njy surat).

Suratdan görnüşi ýaly, gepatositde kristler plastina şekilli tekiz bolýarlar; böwreküsti mäziň gabygynyň endokrin öýjüklerinde kristler töwerek şekilli, astrositde bolsa olar üçburçluk şekilli bolýarlar.

Sintez üçin gerek bolan energiýa nireden alynýarka? Belli bolşy ýaly, tebigy şertlerde wodorod ýananynda (okislenende) kop mukdarda energiýa ýylylyk görnüşinde bolünip çykýar, ýagny



Janly öýjüklerde şu reaksiýanyň dowamynda bölünip çykýan energiýa elektronlaryň geçirilýän zynjyrynyň kömegi bilen mitohondriýanyň içki membranasy arkaly peýdaly energiýa öwrülýär. Şu maksat bilen wodorodyň atomy iki bölege: protona we elektrona bölünýär.

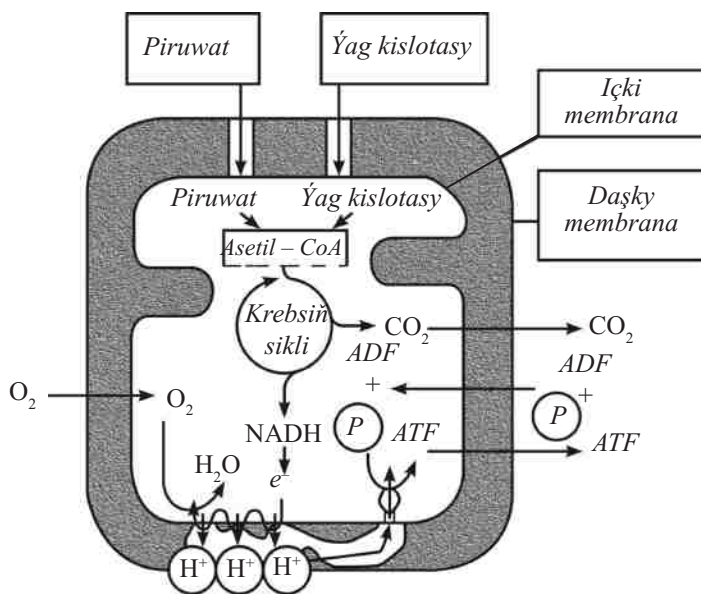


6.17-nji surat.

ATF-i sintezlemek üçin bedendäki energiýanyň çeşmesi

Bölünip aýrylan elektronlar dem alyş zynjyryna berilýär we birnäçe tapgyryň dowamynda ondaky energiýa peýdaly işe öwürülýär. Energiýasyny sarp eden elektronlar kislorodyň molekulasyna 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 nikotinamidadeninindinukleotid (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 ( $H^- + H^+ \rightarrow H_2$ ).

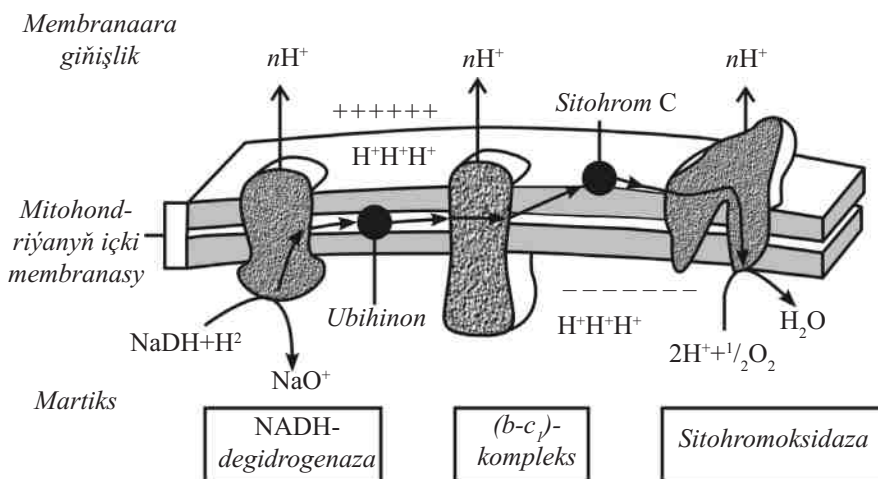


6.18-nji surat. Mitohondriýada energiýanyň öwürüşiňiň yzygiderligi

Dem alyş zynjyry boyunca elektronlary geçirmek NADH-dan gidrid-iony aýyrmakdan başlanýar, şu hadysanyň dowamynda  $\text{NAD}^+$  emele gelýär we gidrid-ion bir protona we iki elektrona dargaýar ( $\text{H}^- \rightarrow \text{H}^+ + 2\text{e}^-$ ).

Bu elektronlar mitohondriýanyň içki membranasyna berkidilen birnäçe geçirijilerin üstünden geçýärler. Özünde köp mukdarda energiýany saklaýan elektronlar 15-den hem gowrak geçirijilerden ybarat bolan dem alyş zynjyryndan geçenlerinden soň olaryň energiýasy azalýar (6.18-nji surat). Köplenç ýagdaýda elektronlar bir metalyň atomyndan beýleki metalyň atomyňa 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 geçirenlerinde matriksden bir wodorodyň položitel zaryadlanan 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

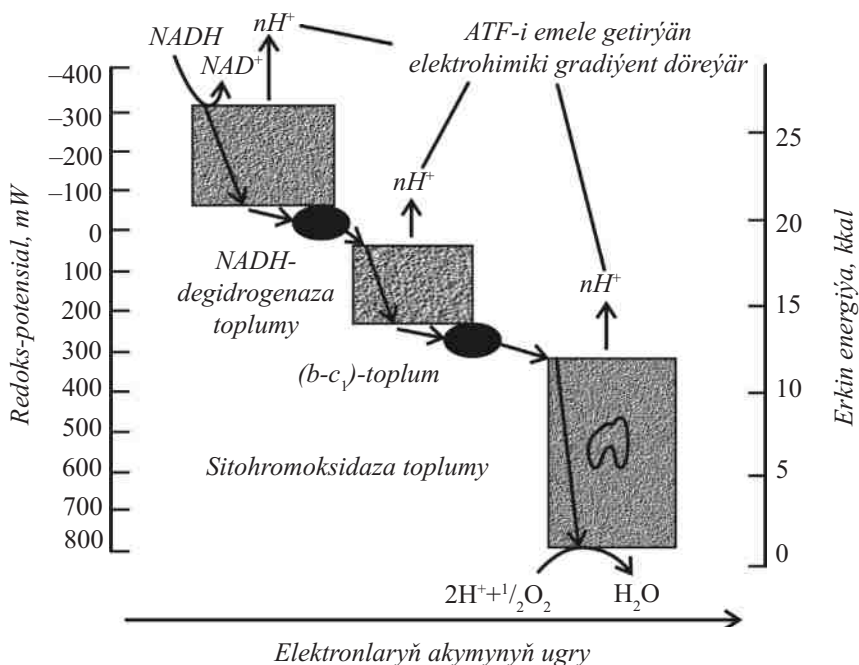
Elektronlaryň energiýasy nähili peýdalanylýarka? Elektronlar dem alyş zynjyryndan geçenlerinde olaryň köp mukdardaky energiýasy matriksdäki protonlary membranaara giňişlige, soň bolsa ol ýerden hem mitohondriýadan daşyna çykarmaga sarp bolýar. Matriksdäki we mitohondriýanyň daşyndaky protonlaryň konsentrasiýasynyň 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, membrana potentsiallaryň tapawudy döredýär. Şol potentsiallaryň tapawudy hem protonlary yzyna gelmäge mejbur edýär.

Diýmek, mitohondriýanyň membranasynda döreýän protonlaryň gradiýenti (tapawudy)  $\text{H}^+$  ionlary matrikse geçmäge, otrisatel zarýadlanan ionlar bolan  $\text{OH}^-$  matriksden çykarmaga ymtylýarlar. Membranadaky potentsiallaryň 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.

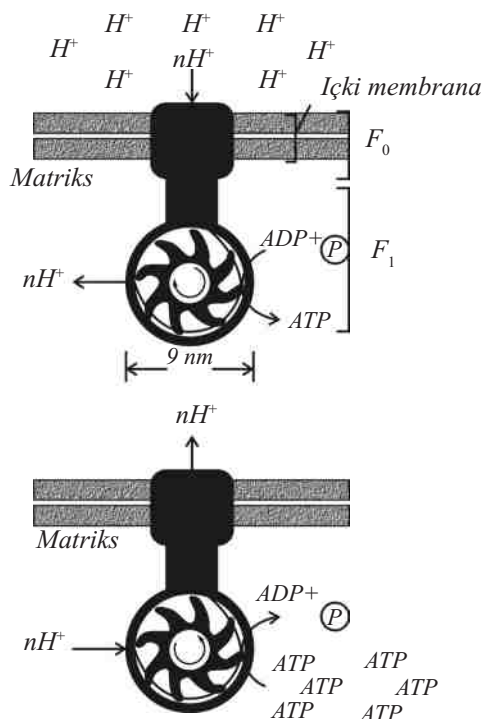
Mitohondriýanyň içki membranasy özünde köp mukdarda beloklary saklaýandygy bilen tapawutlanýar – agram gatnaşygy boýunça 70% belok we 30% lipid. Beloklaryň köpüsi elektronlary geçir-



**6.20-nji surat. Energiýanyň öwrülişiginde potentsiallaryň tapawudynyň üýtgeýşi**

mek zynjyryna degişli bolup, proton gradiýentini emele getirmäge gatnaşýarlar. Şol beloklaryň içinde elektrohimiiki gradiýentiň esasynda protonlaryň matrikse gaýdyp gelmegi boýunça ATF-i sintezleýan ATF sintetaza fermentiň has uly ähmiýeti bardyr. Ol matriksden çykarylýan 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  $F_0F_1$  – ATF-aza hem diýilýär. Bu ferment elektrohimiiki proton gradiýentiniň we fosfat baglanyşyklarynyň energiýalaryny biri-birine öwürüji 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, ýagny ATF-i sintezlemeli ya-da gidrolizlemeli (suwda dargamak) protonlaryň



6.21-nji surat.

membranadan geçenindäki berýan we ATF-i sintezlemek üçin gerek bolan erkin energiýalaryň deňagramlylygy 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  $\Delta G_{sint.ATF} = +15,2 kcal/mol$  boýunça ATF sintetaza fermenti ATF-i sintezleýär, ýagny ( $\Delta G_{sint.ATF} + \Delta G_{3H^+} = 0$ ) ATF-ň sintezi bilen gidrolizi deňagramlaşýar.

Eger öýjügiň içinde ATF-ň köp mukdarda gidrolizlenmegine getirýän reaksiýalar bolup geýýän bolsa, onda mitohondriýanyň matriksinde ATF/ADF peselýär. Şeýle ýagdaýda  $\Delta G_{sint.ATF}$  ululyk kiçelýär we ATF sintetaza tä ATF/ADF başlangyç ýagdaýa gelýänçä ATF-i sintez-



leýär. Eger bir sebäbi görä elektrohimiýa gradiýent 200 mW-a çenli peselip, şol ýagdaý hem köp wagtlap saklansa, onda  $\Delta G_{3H^+}$  ululyk – 13,8 kkal/mol çenli peselýär. Netijede, ATF-sintetaza ATF-i gidrolizlemäge başlaýar. Bu hadysa tä ATF/ADF täze baha eýe bolup, şol ýagdaýda  $\Delta G_{\text{sint.ATF}} = +13,8 \text{ kkal/mol}$  bolýança dowam edýär. Diýmek, ATF sintetazanyň haýsy tarapa işlemelidigini öýjügiň içindäki ATF-ň we ADF-ň konsentrasiýalarynyň gatnaşygy kesgitleýär.

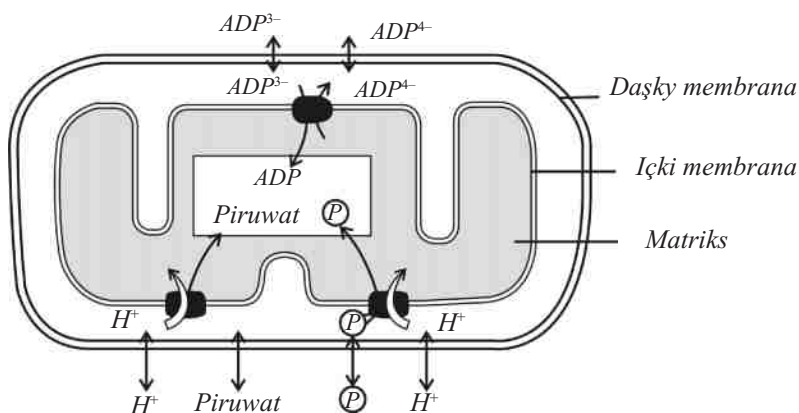
ATF-ň gidrolizindäki bölünip çykyan erkin energiýa aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$\Delta G = \Delta G_0 - RT \ln \frac{[ATP]}{[ADP][P_i]}, \quad (50)$$

bu ýerde  $\Delta G_0$  – standart şertlerde erkin energiýanyň üýtgemegi ( $-7,3 \text{ kkal/mol}$ );  $R = 2 \cdot 10^{-3} \text{ kkal/(mol.K)}$  – 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 elektrohimiýa gradiýentiniň energiýasynyň hasabyna mitohondriýanyň daşyna



**6.22-nji surat. Elektrohimiýa proton gradiýentiniň hasabyna geçýän käbir işjeň transport hadysalary**

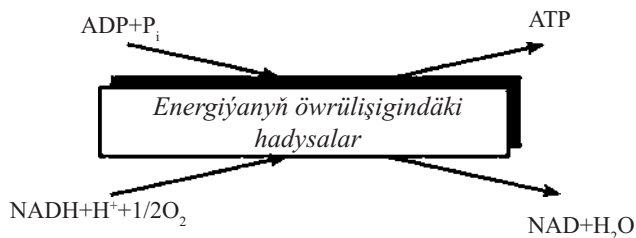
çykarmaly. Şol bir wagtyň özünde hem gradiýentleriň täsiri esasynda matrikse gaýdyp gelýän protonlar özleri bilen fosfatyň bir molekulasyňy hem simport transporty arkaly matrikse salýarlar. Şeýle usul bilen ýokary energiýaly elektronlary almagyň esasy çeşmesi bolan piruwat maddasy hem mitohondrianyň içine salynýar.

Şeýlelikde, ýokary molekulýar maddalar darganynda Krebsiň siklinde emele gelýän NADH maddasynyň okislenmeginde bölünip çykýan energiýanyň hasabyna çatyrymlaýyn 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).

Elektrohimiki proton gradiýentiniň emele gelmeginde energiýa baý bolan maddalaryň himiki raeksiyalara (hemi...) gatnaşmagynda we protonlaryň membranadan geçmegi (osmos...) bilen bolup geçýänligi sebäpli, energiýanyň öwrülişigini amala aşyryan 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<sup>4-</sup>). Gidroliz esasynda ol üç bölege bölünýär: ADP<sup>3-</sup>, HPO<sub>4</sub><sup>2-</sup> we H<sup>+</sup>, ýagny:*



6.23-nji surat.

Standart ýagdaýlarda  $\text{ATP}^{4-}$ ,  $\text{ADP}^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  konsentrasiýasy 1 M deňdir. Ýöne wodorodyň ionlarynyň  $\text{pH}=7$  bolanyndaky konsentrasiýasy  $10^{-7}$  M deňdir we reaksiýa gatnaşýan beýleki maddalardan has azdyr. Massalaryň täsir kanunyna laýyklykda ýokardaky reaksiýanyň deňagramlylygy sag tarapa süýşýändir.

*Ikinjiden*, ATF öz molekulasynda dört sany meňzeş atly zarýadlary saklaýanlygy sebäpli, ol zarýadlar itekleşýärler we molekulany dargatmaga 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*,  $\text{ADP}^{3-}$ ,  $\text{HPO}_4^{2-}$  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.



XVII asyryň ahyrynda ýagtylygyň tebigaty baradaky şol wagta çenli toplanan maglumatlar esasynda iki çaklama (garaýyş) döredi, olaryň biri korpuskulýar, beýlekisi bolsa tolkun çaklamasydyr.

Korpuskulýar çaklama baglylykda ýagtylyk şöhesi ýagtylygyň çeşmesinden bölünip çykyan 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.

196

H.Gýugensiň çaklamasyna baglylykda, efir бүтін Älemi dol-durýandyр 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 (1773–1829 ý.) we aýratynam O. Freneliň (1788–1827 ý.) 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 diýlip giňden ykrar edildi.

Päsgelçiligiň gyrasyndan geçende ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak ugrundan gyşarmasyna *difraksiýa* diýilýär.

Iki (ýa-da birnäçe) kogerent ýagtylyk tolkunlarynyň goşulşmagynda 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 (1831–1879 ý.) tarapyndan döredilen ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň üsti bilen ösdürildi.

Eger-de tolkun çaklamasy boýunça ýagtylyga «maýyşgak efir-de» 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  $7,6 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  (gyzyl şöhleler) bilen  $4 \cdot 10^{-7} \text{ m}$  (melewşe şöhleler) aralygynda ýerleşýän elektromagnit tolkunlary bolup durýandyrlar.

Şeýlelik bilen, ýagtylygyň tebigaty baradaky tolkun çaklamasy-nyň üsti ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň döredilmegi bilen dolduryldy.

Ýagtylygyň ýaýramak tizligini kesgitlemek boýunça I. Fizo (1819–1896 ý.) – 1849 ý., L. Fuko (1819–1868 ý.) – 1850 ý. we A. Maýkelson (1852–1931 ý.) – 1881 ýylda geçiren barlaglary ýagtylygyň elektromagnit nazaryýetiniň dogrudygynyň 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 uzynlyklar boýunça bölünmesi degişlidirler. Şular bilen baglanyşykly soraglary we gapma-garşylyklary düşündirmek üçin 1900-nji ýylda M.Plank (1858–1947 ý.) batyrçaý çaklamany öňe sürdi, oňa laýyklykda ýagtylygyň şöhlelendirilişi we siňdirilişi üznüksiz däl-de (elektromagnit nazaryýeti boýunça hut şeýle netije gelip çykýandyr), üznükli («diskret»), ýagny kesgitli por-siýlar (kwantlar) görnüşinde amala aşyrylýar. M. Plankyň garaýyşy boýunça, ýagtyk kwantynyň energiýasy şeýle kesgitlenýär:

$$E = h \nu,$$

bu ýerde  $h$  – Plankyň hemişeligi ( $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ );  $\nu$  – elektromagnit tolkunlarynyň yrgyldylarynyň ýygylgy.

M. Plankyň nazaryýetinde efir baradaky düşüňjäniň 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 ýaýraýşy hem ýagtylyk kwantlarynyň akymy (fotonlar) görnüşinde bolup geçýär.

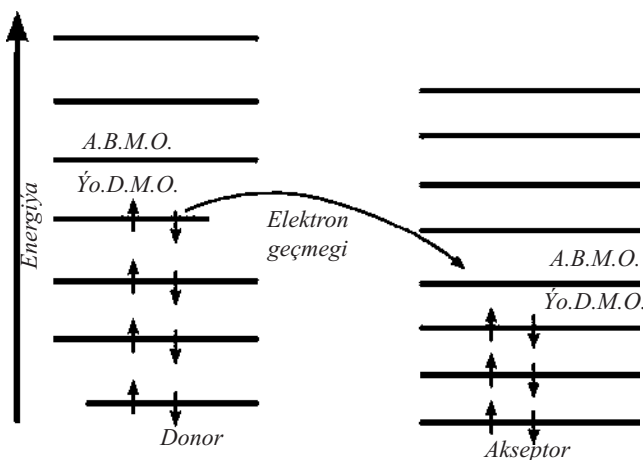
Eger-de ýagtylygyň korpuskulýar we tolkun çaklamalary biri-birini inkär edýän bolsalar, onuň elektromagnit we kwant nazaryýetleri biri-biriniň üstüni doldurýarlar, bu bolsa ýagtylygyň çylşyrymly tebigatynyň bardygyny görkezýär.

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 durýandyр, 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).

*Molekularyň ionlaşmak potensialy diýlip ondan elektrony goparmak üçin sarp edilýän (ýagny zerur bolan) energiýa aýdylýar.*

ÝoDMO-ň energetiki derejesi näçe ýokary boldugyça, onda molekularyň ionlaşmak potensialy sonça-da pesdir we şoňa görä-de ol elektronlaryň oňat donory bolup durýandyр.

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 sonça-da höwes bilen elektrony özüne birleşdirýär. Mukdar taýdan molekularyň akseptor häsiýetleri elektron meňzeşlik diýlip atlandyrylýan görkeziji bilen häsiýetlendirilýär. *Elektron meňzeşlik diýlip haçanda erkin elektron tükeniksizlikden doldurylmadyк 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.

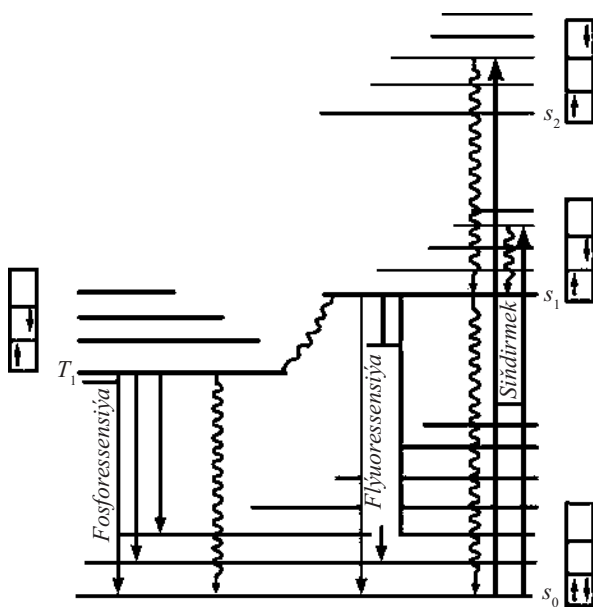
Her doldurylan energetiki derejede öz hususy magnit momentleri (spinleri) gapma-garşylykly bolan diňe iki elektron ýerleşip biler.



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 molekulasyňa 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 molekulasynyň gidrolizindäki alynýan energiýadan 10 esse köpdür. Ultramelewşe tolkun uzynlygyndaky kwantlaryň energiýasy has hem uludyr.

7.2-nji suratda biomolekulalardaky elektron geçişler görkezilendir. Göni strelkalar siňdirilýän we şöhlendirilýän geçişleri, tolkun görnüşlileri bolsa, şöhlendirilýän geçişleri aňladýar. Goýy gorizonttal çyzyklar-energiýanyň «arassa» elektron derejelerini, inçe çyzyklar bolsa, yrgyldyly ýagdaýa degişli bolan astky derejeleri aňladýar. Her



7.2-nji surat.

derejäniň ýanynda (öýjükleriň içinde) galan elektronynyň spinine görä oýandyrylan elektronynyň spininiň ugry görkezilendir.

$S_0$ ,  $S_1$ ,  $S_2$  derejelere *singlet derejeler* diýilýär, çünki olaryň arasyndaky geçişlerde elektronynyň spini üýtgeýän däldir. Elektronlaryň ýaşaaýyş dowamlylygy  $S_1$ -derejede  $10^{-8}$ – $10^{-9}$  sekunda deňdir. Hut  $S_1$ -derejede ähli oýandyrylan molekulalaryň soňky alyp biljek ýagdaýlary («ykballary») kesgitlenilýär.  $S_1$ -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  $S_1 \rightarrow$  önüm;
4. Oýandyrylmaklygyň energiýasynyň başga bir molekula geçirilmekçligi;
5. Elektronynyň spininiň öwrülmeçligi we molekulanyň triplet « $T_1$ » oýandyrylan ýagdaýa geçmekçligi  $S_1 \rightarrow T_1$

(Triplet ýagdaýdan esasy ýagdaýa geçmeklik gadagandyr, çünki elektronlaryň spinleri birmeňzeşdir). Molekula  $T_1$  ýagdaýda  $S_1$  ýagdaýa görä ep-esli köp, ýagny  $10^{-4}$ – $10^{-5}$  s. aralyklarynda saklanýar.

Molekulanyň  $T_1$  triplet ýagdaýdaky energiýasynyň sarp edilişiniň birnäçe ýollary bardyr, olara şu aşakdakylar degişlidir:

1. Spiniň öwrülmeçligi bilen  $S_0$  derejä şöhlenenmesiz geçiş:  $T_1 \rightarrow S_0$ ;
2. Fosforessensiýanyň kwantynyň şöhlenenmesi bilen bolup geçýän geçiş:  $T_1 \rightarrow S_0 + h\nu$ ;
3. Fotohimiki reaksiýa;
4. Oýandyrylmaklygyň energiýasynyň başga bir molekula geçirilmekçligi.

*Molekulanyň islendik şöhlenenmeli (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 seredilmegi esasynda öwrenilýär, şunlukda, ol çyzyklaryň ugry boýunça ýagtylyk tolkunynyň energiýasy ýaýraýar diýlip hasap edilýär.

Ýagtylyk şöhesi diýlip inçejik ýagtylyk dessesine düşünilmän, ýagtylyk energiýasynyň ýaýraýan ugruny görkezýän göni çyzyga düşünilýär. Ýagny, başgaça aýdylanda, göni çyzyklar bilen ýagtylyk şöheleleri şekillendirilýärler. Şeýlelikde, ýagtylyk şöheleleriniň serpikmesi we döwürmesi diýilende, ýagtylygyň ýaýraýan ugrunyň üýtgeýänligi göz önünde tutulýar.

Ýagtylyk şöhesi baradaky düşüňjäniň girizilmeginiň esasy aýratynlygy giňişlikde seredilýän ýagtylyk şöheleleriniň häsiýetleriniň ýönekeý kanunlar – ýagny geometriki optikanyň kanunlary bilen kesgitlenýändiginden ybaratdyr.

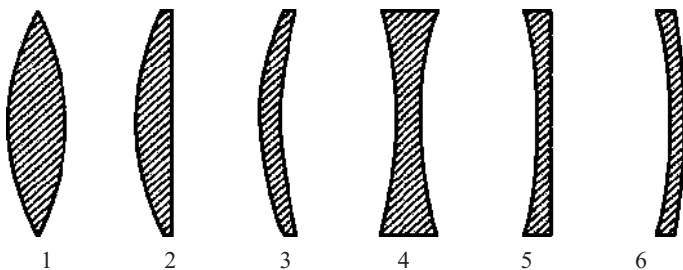
Geometriki optika diýlip, ýagtylyk şöhesi baradaky düşüňjäniň esasynda ýagtylyk energiýasynyň dury gurşawlarda ýaýramak kanunlaryny öwrenýän optikanyň bölümüne aýdylýar.

Geometriki optika tolkun optikasynyň çäk ýagdaýy bolup durýandyr (haçan-da tolkun uzynlygy nola ymtylan ýagdaýynda).

### 7.4.1. Linzalar

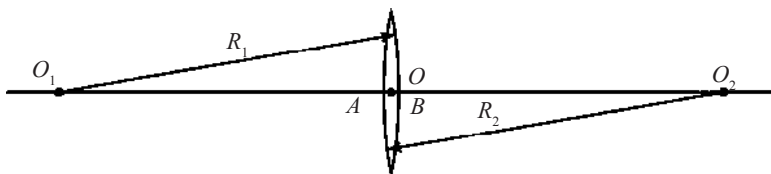
Iki sany sferiki (egriçyzykly) üstler (ýa-da birisi sferiki, beýlekisi tekizlik) bilen çäklendirilen we daşky gurşawdan döwürme görkezijisi bilen tapawutlanýan dury jisime *optiki linza* diýilýär.

Optiki enjamlarda sferiki üstleriniň görnüşleri aşakdaky ýaly bolan linzalar ulanylýarlar (7.3-nji surat).



7.3-nji surat.

1, 2, 3 – linzalara ýygnaýjy linzalar diýilýär,  
4, 5, 6 – linzalara ýaýradyjy linzalar diýilýär.



7.4-nji surat.

- 1) goşagüberçek linza;
- 2) tekizgüberçek linza;
- 3) güberçekoýuk linza (güberçek üstüň radiusy oýuk üstüň radiusyndan kiçi);
- 4) goşaoýuk linza;
- 5) tekizoýuk linza;
- 6) oýukgüberçek linza (oýuk üstüň radiusy güberçek üstüň radiusyndan kiçi);

Ýygnaýjy linzalary  $\uparrow$ , ýaýradyjy linzalary  $\downarrow$  görnüşli belgiler bilen belgileýärler.

Güberçekoýuk we oýukgüberçek linzalara *menisk* linzalary diýilýär (bular, mysal üçin, äýneklerde ulanylýar).

Biz häzir ýuka linza diýlip nähili linza düşünilýändigine seredip geçeliň (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 merkezi.\*

Haçan-da linzanyň sferiki üstleriniň radiuslary ( $R_1$  we  $R_2$ ) jisimiň linza çenli bolan aralygy bilen deňeşdirilende linzanyň galyňlygynyň ( $\ell$ ) kiçi ululykdygyna görä ol (ýagny galyňlyk) hasaba alynmaýan bolsa, onda şeýle linza ýuka linza\*\* diýilýär.

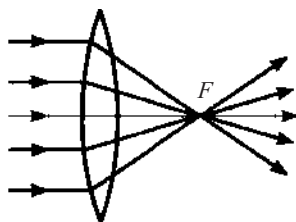
Linzanyň sferiki üstleriniň merkezlerinden ( $O_1$  we  $O_2$ ) we optiki merkezinden ( $O$ ) geçýän göni çyzyga linzanyň baş optiki oky diýilýär.

\* ( $A$  we  $B$  nokatlar biri-birlerine örän ýakyn ýerleşýändigine görä olary bir nokat diýip kabul etmek bolar. Ol nokada linzanyň optiki merkezi diýilýär we « $O$ » harpy bilen belleneýär).

\*\* (Mundan beýläk linzalar barada aýdylanda ýuka linza göz önünde tutuljakdyr).

Häzir biz goşagüberçek linzadan şöhleleriň geçişine seredip geçeliň (7.5-nji surat).

Linzanyň baş optiki okuna (BOO) parallel düşýän şöhleleriň ýygnaýjy linzadan geçende döwürlendenden soň BOO-ň üstünde kesişýän nokadyna linzanyň baş fokusy diýilýär. Bu nokat « $F$ » harpy bilen bellenýär (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.



7.5-nji surat.

*Linzanyň fokus aralygyna ters bolan ululyga linzanyň optiki güýji diýilýär.*

Linzanyň optiki güýji  $D$  harpy bilen belgilenýär, ýagny

$$D = \frac{1}{f}. \quad (51)$$

Linzanyň optiki güýjüniň ölçeg birligi deregine fokus aralygy 1 m-e deň bolan linzanyň optiki güýji kabul edilýär. Şeýle birlige 1 dioptriý diýilýär. 1 dioptriý gysgaça 1 dptr diýlip ýazylýar.

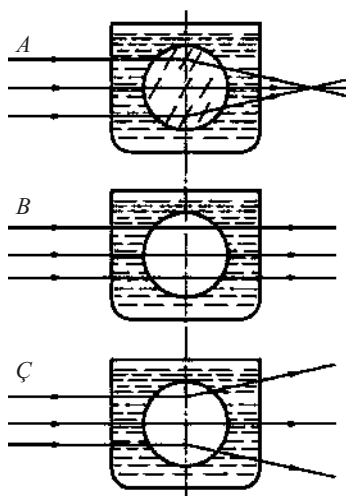
$$1 \text{ dptr} = \frac{1}{1 \text{ m}}.$$

Ýygnaýjy linzalaryň fokus aralyklary položitel ululyk, ýaýradyjy linzalaryň fokus aralyklary bolsa otrisatel ululyk diýlip 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 goýlup 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



7.6-njy surat.

howa köpürjigi, içi suwly togalak aýna kolbasy we ş.m. (9-njy tablisa).

Eger-de linza döwülme görkezijisi howanyňka garanda ep-esli tapawutlanýan gurşawda ýerleşýän bolsa (mysal üçin, suwa çümdürilen aýna linza), onda onuň optiki güýji kiçelýär.

Eger-de linza döwülme görkezijisi özüniňkä garanda uly bolan gurşawda ýerleşýän bolsa, onda onuň häsiýeti tersine üýtgeýär. Mysal üçin, güberçek diwar bilen çäklenen howa köpürjigi ýaýradyjy linzanyň häsiýetine eýe bolýar.

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 ulanylyrlar. Bu ýagdaýda A-kolba ýygnaýjy linza; Ç-kolba ýaýradyjy linza hökmünde çykyş edýärler; B-kolba şöhleleriň geçiş ýoluna hiç hili täsir edýän däldir.

9-njy tablisa

### Dürli ýagdaýlar üçin ýygnaýjy linzanyň üsti bilen alynýan şekiliň häsiýetleri

Linzadan		Şekiliň häsiýeti	Optiki ulgam
jisime çenli aralyk	şekile çenli aralyk		
$\alpha = \infty$	$b = f$	Fokusda nokatlanç	—
$\infty > \alpha > 2f$	$f < b < 2f$	Hakyky, ters, kiçeldilen	Göz, fotoapparat
$\alpha = 2f$	$b = 2f$	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 ön tarapdaky (önki) sferiki üstüniň egrilik radiusy;  $R_2$  – linzanyň yz tarapdaky (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 önünde 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 önünde tutulmagy bilen alnandyr:

1) şekil okuň ýanyndaky (paraksial) şöhleler bilen döredilýär;  
2) şöhleler ulgamyň baş optiki oky bilen uly bolmadyk burçy düzýärler;

3) ähli tolkun uzynlyklar üçin döwürleme görkezijileri birmeňzeşdir.

*Şu şertler ýerine ýetirilende nokatlanç şekil alynýar, ýagny jisi-miň her bir nokady şekiliň bir nokadyny berýär.*

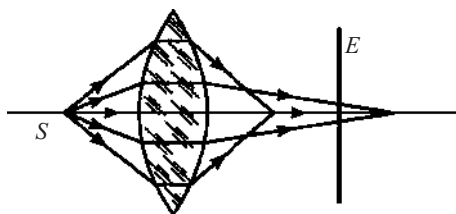
Ýöne amaly ýagdaýda bu şertler ýerine ýetirilýän däldirler. Belli bolşy ýaly, ýagtylyk şöhlesiniň döwürleme görkezijisi tolkun uzynlygyna baglydyr (dispersiýa). Dispersiýa latynça «dargadýaryn» diýen manyny berýär (diýmek 3-nji şert ýerine ýetirilenok). Jisimiň nokatlary optiki okuň gapdalynda ýerleşýärler (diýmek, 2-nji şert ýerine ýetirilenok). Şeýle hem paraksial şöhleleriň ulanylmaklygy ýagtylyk akymynyň möhüm derejede çäklendirilmegine getirýärler.

Yokarda görkezilen şertleriň ýerine ýetirilmeýänligi 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 aberrasiýalaryna 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.

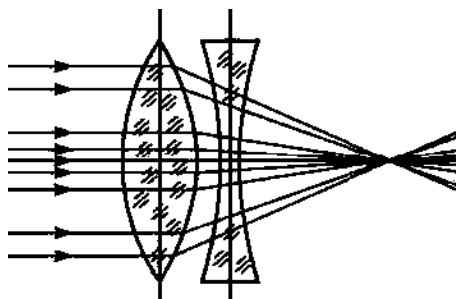


7.7-nji surat.

**a) Sferiki aberrasiýa.** Bu ýagdaýda linzanyň periferiki (çetki) bölekleri merkezi böleklerine garanda «S» nokatdan gelýän şöhleleri güýçli derejede döwürler (gyşardýarlar) (7.7-nji surat).

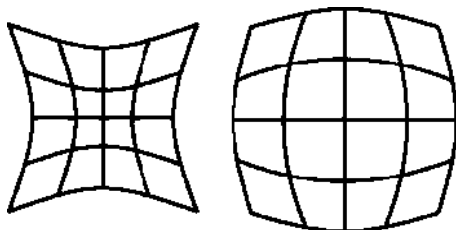


Ýagtylanýan nokadyň şekili «E» ekranda ýagty meňek görnüşinde bolýar. Sferiki aberrasiýany düzetmek üçin goşa güberçek we goşaoýuk (degişlilikde ýygnaýjy we yaýradyjy) linzalaryň ulgamy ulanylýar (7.8-nji surat).



7.8-nji surat.

**b) Distorsiýa.** Aberrasiýanyň bu görnüşü 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).



7.9-njy surat.

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.

Distorsiýasy garşylykly häsiýetli bolan birnäçe linzalaryň ulgamyňy saýlap almak bilen aberrasiýanyň bu görnüşini düzedip bolýar.

### 7.4.3. Astigmatizm

*Astigmatizm – nokatlanç däl diýen manyny berýär, ýagny alynýan şekilde jisimiň her bir nokadyna şol bir nokat degişli däldir.*

Astigmatizm optiki ulgamyň kemçiligidir, bu ýagdaýda sferiki ýagtylyk tolkunyny optiki ulgamdan geçende deformirlenýär we sferiki görnüşli bolmalygyny ýitirýär.

Iki görnüşli astigmatizmi tapawutlandyryrlar:

*a* – gytak düşýän desseleriň astigmatizmi;

*b* – optiki ulgamyň asimmetriýasy bilen baglanyşykly astigmatizm.

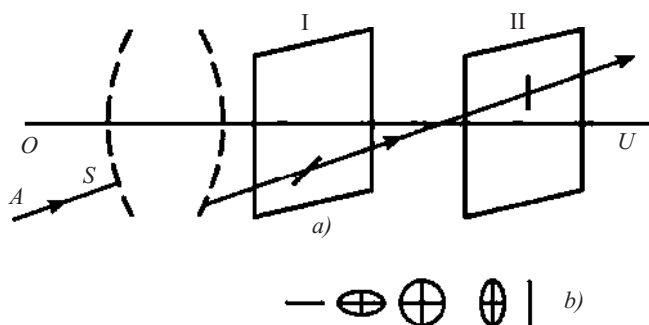
*a. Gytak düşýän desseleriň astigmatizmi.*

Bu görnüşli astigmatizm söhleleriň ulgamyň optiki okuna görä uly burç astynda düşýändigini bilen baglanyşyklydyr. Bu ýagdaýa se-redip geçeliň.

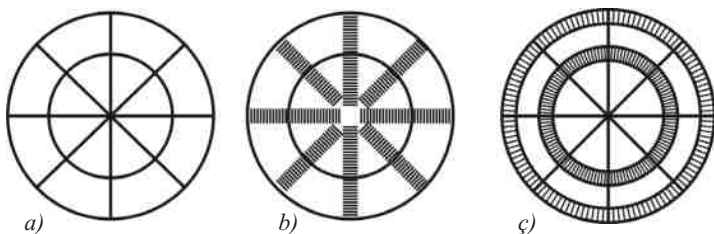
Goý, jisimiň «A» nokady ulgamyň baş optiki okunyň üstünde ýerleşmeýär diýeliň (7.10-njy «a» surat). Bu nokatdan gelýän ähli şöhleleriň içinden uly bolmadyk elementar dessäni saýlap alalyň (şunlukda, bu dessäniň «AS» merkezi şöhesi ulgamyn baş optiki «OO'» oky bilen bir tekizlikde bolar ýaly edilip saýlanyp alynmalydyr). Baş optiki okuň üstünden geçýän islendik tekizlige *meridional tekizlik* diýilýär.

Berlen ýagdaýda elementar dessäniň merkezi «AS» şöhesi bilen ulgamyň baş optiki okunyň ýerleşýän tekizligi hökmünde çyzgynyň (ýagny kagyzyň) tekizligini alalyň (7.10-njy «a» surat – çyzgynyň tekizligi). Elementar desse gytak düşen ýagdaýynda linza «A» nokadyň şekilini iki göni çyzygyň kesimleri görnüşinde döreder. Ol şekilleriň biri meridional tekizlikde ýerleşýändir we II ekranda aýdyň (dury) görünýändir, şekiliň beýlekisi perpendikulýar tekizlikde ýerleşýär (oňa sagittal tekizlik diýilýär), ol I ekranda aýdyň (dury) görünýändir (7.10-njy «a» surat). I we II tekizlikleriň arasynda ellips ýa-da töwerek görnüşli ýaýramaklygyň menegi görünýändir (7.10-njy «b» surat).

Eger-de jisim bolup çyzygyň kesimi hyzmat edýän bolsa, onda şekiliň hili kesimiň ýerleşýän tekizligine baglydyr. Meridional tekiz-



7.10-njy surat.



7.11-nji surat.

liklerde ýerleşýän kesimleriň aýdyň şekili II tekizlikde alynýar; sagittal tekizliklerde ýerleşýän kesimleriň aýdyň şekili bolsa I tekizlikde alynýar (Şu ýagdaýlarda jisim baş optiki oka perpendikulýar tekizlikde ýerleşýär diýlip hasap edilýär).

Gytak düşýän desselerde ýüze çykýan astigmatizmi görkezme (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.

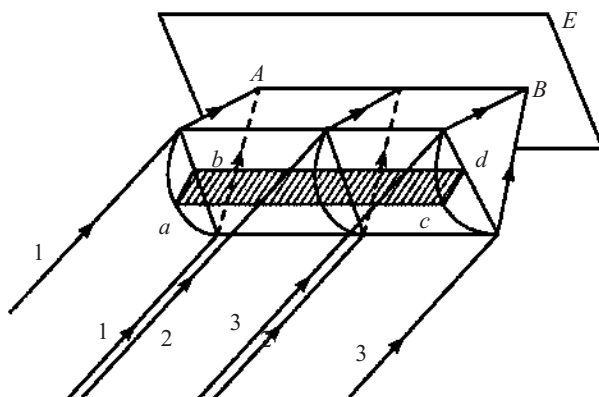
Astigmatizmi düzetmek üçin birnäçe linzalardan ybarat bolan çylşyrymly optiki ulgamlary döredýärler, şolara baglylykda 50–70° burç bilen düşýän şöhleleriň oňat şekillerini almak bolýar.

*b. Astigmatizmiň beýleki bir görnüşü optiki ulgamyň asimmetriýasy bilen baglanyşyklydyr. Şeýle aberrasiýaly linzalara astigmatiki linzalar diýilýär.*

Şeýle linzalar (gytak düşýän desseleriň astigmatizminde bolşy ýaly) jisimiň dürli ugurlar boýunça ugrukdyrylan sudurlarynyň (konturlarynyň) we çyzyklarynyň şekilini dürli aýdyňlykda (durulykda) döredýärler.

Şeýle görnüşli astigmatizmiň ýüze çykyşyna silindriki linzanyň mysalynda seredip geçeliň.

Baş optiki oka parallel bolan şöhleleriň dessesi, linzanyň fokal tekizliginde ýerleşýän ekranda (sferiki linzalarda bolşy ýaly, nokatlary däl-de) insizje göni çyzygyň şekilini döredýär. Mysal üçin, tekizgüberçek linzada (7.12-nji surat) diňe egriçyzykly üst bilen çäklenen

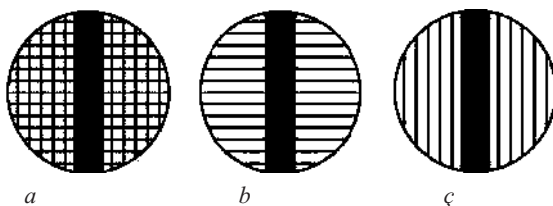


7.12-nji surat.

kesimlerden geçýän şöhleler döwürýärler we fokusirlenýärler (bular suratdaky wertikal tekizliklerdir, 1–1, 2–2, 3–3 şöhlelere seret). Bu şöhleler, fokusirlenip, E ekranda insizje «AB» çyzygy döredýärler.

Egriçyzykly üst bilen çäklendirilen kesimlere perpendikulýar bolan tekizliklerde (bular suratdaky gorizonta 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) şekiline seredilse, onda onuň has aýdyň şekili silindri döredijileriň ugry boýunça gönükdirilen parallel çyzyklaryň ulgamy görnüşinde alnar. Linzanyň özara perpendikulýar ýagdaýlaryna degişli bolan şekiller 7.13-nji b, ç suratlarda görkezilendir.



7.13-nji surat.

#### 7.4.4. Hromatiki aberrasiýa

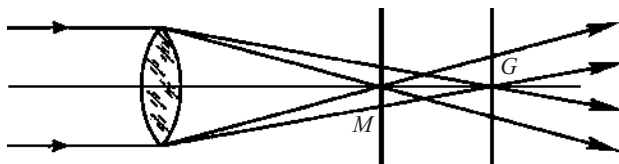
Belli bolşy ýaly (54-nji deňlik), linzanyň fokus aralygy onuň döwürleme görkezijisi bilen kesgitlenýär, ol bolsa öz gezeginde ýagtylygyň tolkun uzynlygyna baglydyr. Şoňa görä-de baş optiki oka parallel gelyän ýagtylygyň dessesi spektre dargamak bilen, dürli nokatlarda fokusirlenýär (7.14-nji surat; M – melewşe şöhleler; G – gyzyň şöhleler), ekranda dürli reňkler ýüze çykýar. Hromatiki aberrasiýanyň düýp manysy hem şundan ybaratdyr, ol, köplenç, linzalardaky şekillerde bolýar.

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 diýlip atlandyrylýan linzalar ulgamy ulanylýarlar, olarda diňe hromatiki aberrasiýa düzedilmän, ondan başga-da sferiki aberrasiýa we astigmatizm hem düzedilýärler.

Aberrasiýanyň birnäçe beýleki görnüşleri hem bardyr, olara bu ýerde seredilip geçilýän däl.

Aberrasiýanyň ähli görnüşleriniň bir wagtyň özünde düzedilmeği örän çylşyrymlydyr we hatda ol ýerine ýetirilip bolunmajak mesele bolup durýandyr we şoňa görä-de adatça optiki ulgamyň esasy wezipesine möhüm derejede täsir edýän ýoýulmalardan (ýalňyşlyklardan) dynmaklyga çalyşýarlar. Mysal üçin, mikroskoplaryň obýektiwleri üçin fokusyň golaýynda ýerleşýän we giň desseler bilen şekillenendirilýän jisimlere seredilende döreýän sferiki aberrasiýanyň düzedilmegi has wajyp bolup durýandyr.



7.14-nji surat.

## 7.5. MERKEZLENDİRİLEN OPTIKİ ULGAM. DIAFRAGMA. APERTUR BURÇY

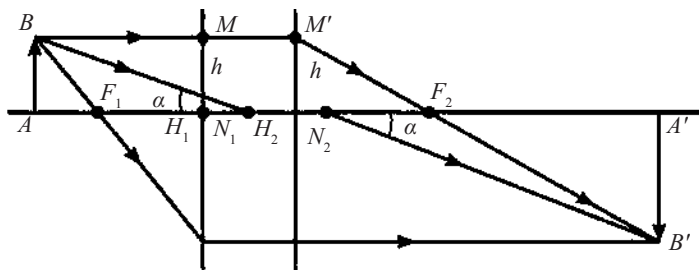
Aberrasiýalary kompensirlemegiň zerurlygyna baglylykda enjamlardaky optiki ulgamlar, adatyça, bütewilikde bir umumy baş oka eýe bolan birnäçe linzalardan ybaratdyrlar. Şeýle ulgama *merkezlendirilen optiki ulgam diýilýär*.

Şeýle hem merkezlendirilen optiki ulgam (MOU) dürli döwürme görkezijili gurşawlary bölýän birnäçe sferiki üstlerden ybarat bolup biler (mysal üçin, gözüň 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 ön ýandaky  $F_1$  we yz ýandaky  $F_2$ ) degişlidirler. Bular baş oka parallel bolan şöhleleriň ulgamdan geçende döwürlenden soň kesişýän nokatlary bolup durýandyrlar. Şu ýagdaýda ulgam ýeke-täk bir linza meňzeýändir.

Has umumy ýagdaýda alnanda MOU-yň her tarapynda dürli döwürme görkezijili gurşawlar bolup biler (mysal üçin, gözüň optiki ulgamy). Şeýle ýagdaýda MOU-yň ön 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



7.15-nji surat.

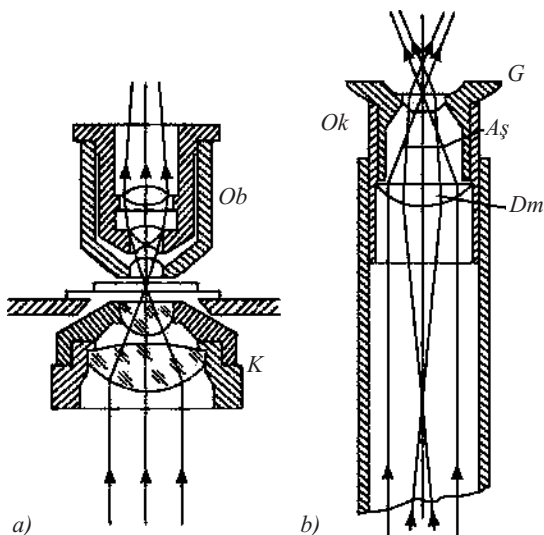
bolsa, onda ol 2-nji tekizlikde edil şeýle aralykda ýerleşýän  $M_1$  nokatdan çykýandyr (7.15-nji surat).

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 ( $N_2B^1$ ) şöhleler olaryň üstlerinden baş oka garanda şol bir « $\alpha$ » 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  $M_1$  nokatlardan we soň  $F_2$  baş fokusdan geçýär; b) merkezi  $N_1$



7.16-njy surat.

we  $N_2$  nokatlaryň üstünden geçýän şöhläniň ýoly (7.15-nji suratda  $AB$  jisimiň, (ýagny strelkanyň) şekiliniň gurluşyna seret).

MOU-nyň mysallary hökmünde 7.16-njy «a» we «b» suratlarda biologiki mikroskopyň optiki ulgamynyň bölekleri görkezilendir: üç linzadan ybarat bolan obýektiw ( $Ob$ ); hersi iki linzadan ybarat bolan kondensor ( $K$ ) we okulýar ( $Ok$ ). Okulýar daşky meýdan ( $Dm$ ) we göz ( $G$ ) linzalaryndan durýandyr, olaryň arasynda aralyk şekil ( $A\phi$ ) döredýändir.

Optiki diafragma jisimleriniň şekilini döredýän optiki ulgamlaryň zerur elementi bolup durýandyr. Ol ýagtylyk şöhleleriniň dessesiniň inini ýa-da başgaça aýdylyşy ýaly, onuň kese-kesiginiň meýdanyny çäklendirýän dury bolmadyk maddadyr (adatça deşikli ekran). Diafragmanyň goýulyşy şunuň ýalydyr, ýagny onuň deşiginiň merkezi optiki ulgamyň baş oky bilen gabat geler ýaly edilip, deşiň tekizligi bolsa optiki ulgamyň baş okuna perpendikulýar bolar ýaly edilip ýerleşdirilýändir. Linzanyň gyrasy ýa-da onuň daşky aýlawy (oprawasy) diafragma bolup hyzmat edip biler.

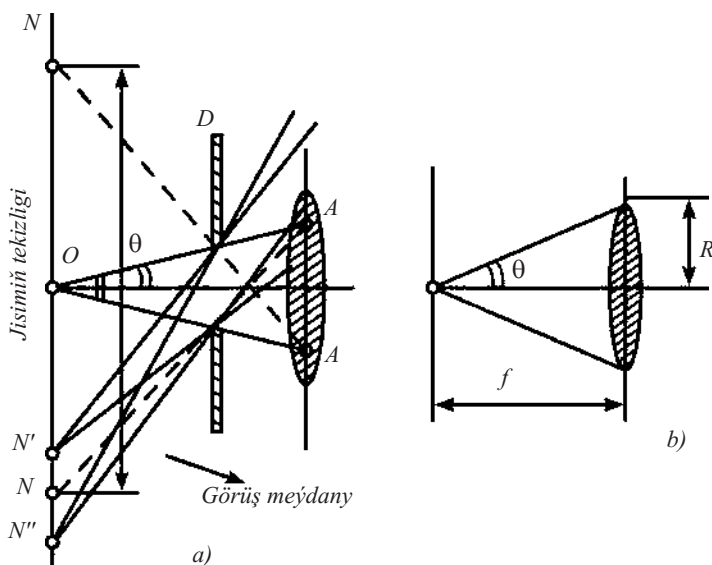
Adatça diafragma enjamyň giriş linzasynyň önünde goýulýar we şeýle ýagdaýda oňa apertura diafragmasy diýilýär (Aslynda optiki ulgamda ýerleşýän ýerine garamazdan ýagtylyk dessesini käbir derejede çäklendirýän diafragma apertura diafragmasy diýilýär).

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.

Sol 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 gýralaryna göni çyzyk geçirmeli. Diafragmanyň deşiginiň gýralarynda giriş burçuny ( $\theta$ ) 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*» burçuň ýarysyna deň bolan «*θ*» burça optiki ulgamyň apertura burçy diýilýär (7.17-nji «*a*» surat). (Ulgamyň apertura burçunyň 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), ýagny

$$\operatorname{tg} \theta = R/f = D/2f,$$

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\* 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 görnüşe 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 gorizontal ugur boýunça 23,6 mm-e deňdir). Göz almasy konsentriki ýerleşen daşky, aralyk we içki bardalardan ybarat bolup durýandyr.

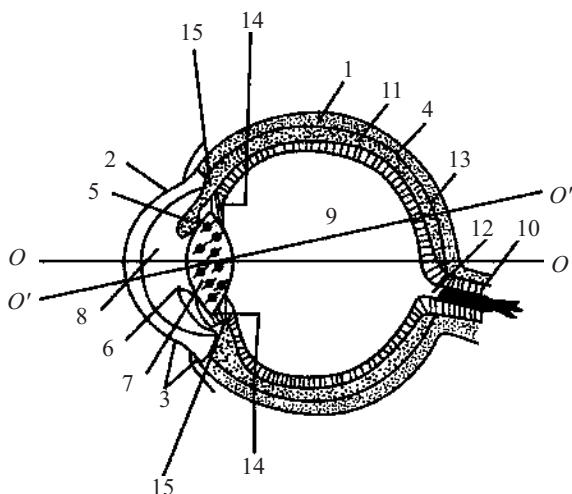
Göz almasynyň daşky üsti (buýnuzjyk göz önünde tutulmazdan) dykyz belokly barda (sklera 1) bilen örtülendir. Sklera gözüň ön ýa-

---

\* Janly tebigatdaky bedenleriň we ulgamlaryň funksionirlenmeginiň öwrenilmegi esasynda tehniki gurluşlaryň we ulgamlaryň döredilmegi bilen, şeýle hem dürli inžener meseleleriň çözülmekligi bilen baglanyşykly bolan kibernetikanyň\*\* bölümüne 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 esasy-na baglanyşyksyz) dolandyrylyşynyň umumy häsiýetlerini öwrenýär.



**7.18-nji surat.**

1 – sklera; 2 – buýnuz bardasy; 3 – konýunktiw; 4 – damarly barda; 5 – älemgoşar bardasy; 6 – tegelek deşik (göreç); 7 – hrustalik (göz merjenjigi); 8 – gözüň öňdäki kamerasy; 9 – aýna görnüşli madda; 10 – görüş nerwi; 11 – torjumak barda (retina); 12 – kör menek (tegmil); 13 – sary menek (tegmil); 14 – aýlawly tegelek baglaýjy (ATB); 15 – tegelek myşsa (TM).

nyndaky bölekde dury güberçek buýnuz bardasy (2 buýnuzjyk) öwrülýär (geçýär). Onuň galyňlygy merkezi böleginde 0,6 mm-e deňdir, gyralarynda bolsa ol 1 mm-e çenli galňaýandyr. Optiki häsiýeti boýunça buýnuz bardasy gözüň uly döwürme 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 döwürme 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 ysny 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 (intensiwlige) sazlanyp durulýar.

Görejiň gönüden-göni yz ýanynda hrustalik-göz merjenjigi (7) ýerleşýär. Ol görnüşi boýunça goşagüberçek (ýagny iki tarapy hem güberçek) linza meňzeş bolup dury çäýe maddadan ybaratdyr. Hrustalik ýuka dury torbajykda ýerleşýandyr. Torbajyk aýlawly 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 radisuy 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 aýna 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 in 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 däldir. Torjumak bardada ýagtylyk duýujy görüş öýjükleri ýerleşýärler, olaryň çetki (gyraky) uçlary dürli görnüşe eýedirler. Öýjükleriň süýri görnüşli uçlularyna 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 gözünüň 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 дәl 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 durý suwuklyk bilen doldurylandyr. Bu basyşa gözün içki basyşy diýilýär, ol göz almasynyň şar görnüşli saklanmagyna ýardam berýär.

Ilki bilen gözün *ýagtylykgeçiriji ulgamynyň aýratynlyklaryna* seredip geçeliň (7.18-*nji surat*).

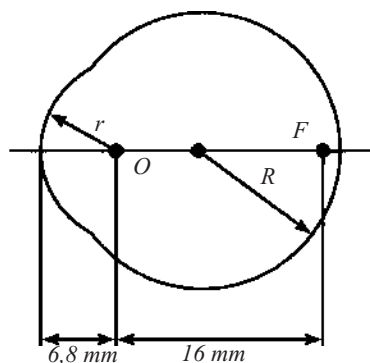
Gözün ýagtylyk döwüji gurşawlary, ýagny buýnuz bardasy (2), öňdäki kameranyň suwuklygy (8), hrustalik (7) we aýna görnüşli mad-da (9) merkezlendirilen optiki ulgam bolup durýandyrlar, olar üçin alty sany kardinal nokatlaryň bardygyny görkezmek bolar. Merkezlendirilen ulgamyň baş oky «OO» buýnuz bardasynyň (2), görejiň (6) we hrustaligiň (7) geometriki merkezleriniň üstünden geçýär. Şeýle hem gözün görüş okuny «O'O'» tapawutlandyrýarlar, ol hrustaligiň (7) we sary menegiň (13) merkezleriniň üstünden geçýär. Görüş oky gözün iň ýokary ýagtylykduýujylykly ugruny görkezýär. Baş optiki ok bilen (OO) görüş okunyň (O'O') arasyndaky burç takmynan 5°-a deňdir.

Gözün ýagtylyk döwüji gurşawlary, ön tarapda (ýagny buýnuz bardasy (2) tarapdan) howa bilen araçäkleşýärler, soň olar gözün içinde özara biri-birleri bilen (2, 8, 7, 9) araçäkleşýärler we ondan soň gönüden-göni torjumak barda (11) bilen galtaşýarlar. Torjumak barda ýagtylyk kabul ediji ulgam (özboluşly «ekran») bolup durýandyr.

Ýagtylygynyň esasy döwürmesi buýnuz bardasynyň (2) daşky üstünde howa bilen araçäkde bolup geçýär. Şoňa görä-de torjumak barda (11) gözün ähli ýagtylyk döwüji 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 diýlip 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 döwürleme görkezijisi 1,366-a deň bolan suwuklyk bilen gurşalýar diýlip hasap edilýär). «Getirme» gözün biri-birlerine meňzeş bolan birnäçe modelleri bardyr. Biz häzir olaryň birine seredip geçeliň (7.19-njy surat).

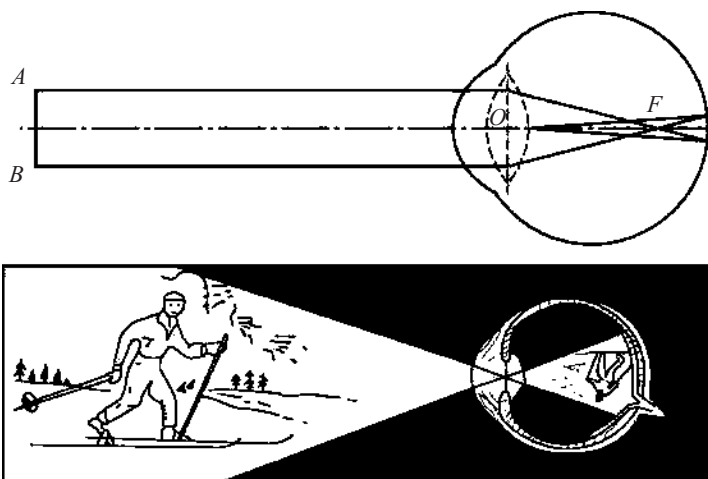
Seredilýän modelde gözün öňdäki ýagtylyk döwüji üstüniň radiusy  $r=6,8 \text{ mm}$ -e; sferanyň radiusy  $R=10,2 \text{ mm}$ -e; esasy optiki ok



7.19-njy surat.

boýunça uzynlygy 23,4 mm-e deňdir. Maddanyň döwürleme görkezijisi  $n=1,4$ -e deňdir. Linzanyň optiki merkezi «O» öňdäki döwürji üstüň 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 ýekeleýin (ýagny adaty) linzada gurluş düzgüni boýunça

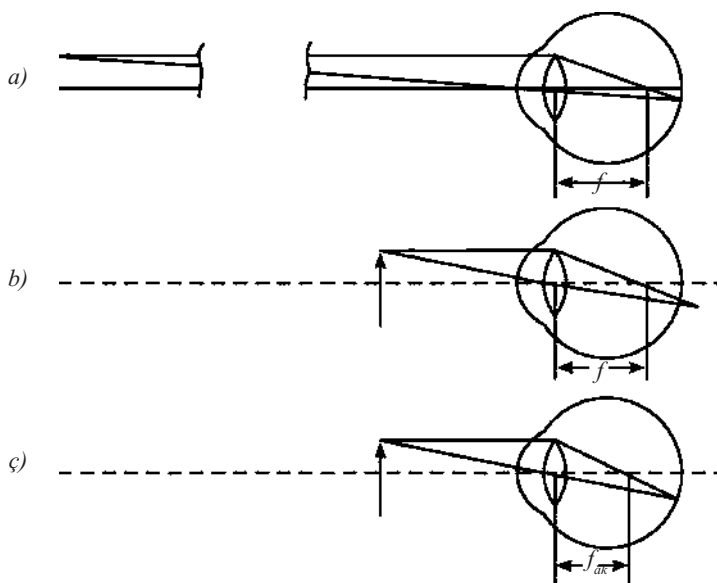


7.20-nji surat.

amala aşyrylýar. Jisim gözün önünde, iki fokus aralygyndan aňyrda ýerleşdirilýär. Şunlukda, şekil «getirme» gözün yzky üstünde hakyky, ters we kiçeldilen görnüşde alynýar (7.20-nji surat).

Linzanyň deňlemesinden gelip çykyşy ýaly, jisimden linza (ýagny onuň optiki merkezine) çenli aralyk üýtgände ýiti şekili almaklyk üçin degişlilikde 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 (8–10 m) ýerleşýän jisimleriň aýdyň (ýiti) şekili alynýar (7.21-nji «a» surat). Haçan-da bu aradaşlykdan ýakyn aralykda ýerleşen jisimlere seredilende şekiliň alynýan tekizligi torjumak bardanyň yz ýanynda bolýar (7.21-nji «b» surat) we şoňa görä-de torjumak bardada alynýan şekiliň aýdyňlygy (ýitiligi) ýitýär. Gözüň akkomodasiýasy diňlip atlandyrylýan ýagdaý bilen bu hadysanyň öňi alynýar. Gözüň akkomodasiýasy şundan ybaratdyr, ýagny jisimden göze çenli bolan aralyk üýtgände onuň optiki güýji (fokus aralygy) öz-özünden awtomatiki taýdan üytgeýändir we şeýlelik bilen, jisimiň



7.21-nji surat.

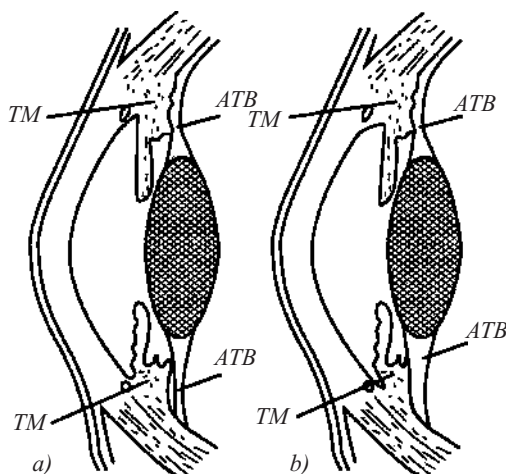
ýerleşýän aralygyna baglanyşyksyz, torjumak bardada alynýan şekil aýdyň (ýiti) görnüşde bolýar (7.21-nji ç surat). (Bu aýdylanlar aşakda seredilip geçiljek aýratyn ýagdaýlara degişli bolan akkomodasiýanyň çägindeň çykylyan ýagdaýlara degişli dälär).

*Akkomodasiýa – bu gözüň torjumak bardada dürli aralykda ýerleşýän jisimleriniň birmeňzeş aýdyň (ýiti) şekilini döredip bilijilik ukyplygydyr.*

Başgaça aýdylanda, dürli aralykda ýerleşýän jisimleriniň aýdyň görnüşde görülmegi üçin gözüň «ýiti görüşe dogrulanmagyna» – uýgunlaşmasyna akkomodasiýa diýilýär. Akkomodasiýa hrustaligiň döwüji üstüniň egriliginiň üýtgemekligi esasynda gözüň optiki güýjüniň üýtgemekligi bilen amala aşyrylýar.

Gözüň dynçlykly rahat ýagdaýynda («akkomodasiýanyň dynçlygy») torbajyk we aýlawly tegelek baglaýjy «ATB» (onuň kömegi bilen hrustalik sklera asylandyr) gözüň içki basyşynyň täsiri astynda dartylýandyrlar (çekdirilýändirler), şoňa baglylykda hrustalik birazrak «süýrelýär» (7.22-nji a surat).





7.22-nji surat.

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.

Akkomodasiýanyň güýjenmesinde kirpik myşsasy gysgalýar, «ATB-ATB» baglaýjynyň we torbajygyň dartylmasy gowşaýar we hrustalik özüniň tebigy çäyeligine baglylykda has güberçek bolýar (7.22-nji b surat). 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 diýlip atlandyrylýan nokatda ýerleşýän jisimleriň ýiti şekili alynýar. Dürli adamlarda bu nokada çenli bolan aralyk dürlüdür we ol ep-esli derejede adamlaryň ýaşyna baglydyr. Jisimiň ol nokatdan başlap göze tarap gysga aralyga ýakynlaşmasynda kirpik myşsasynyň ýygrylmagyna we aýlawly tegelek baglaýjynyň gowşamagyna garamazdan, hrustalik indi mundan beýläk özüniň görnüşini üýtgedip bilýän däldir – akkomodasiýa predeli (çägi) ýüze cykyar we has ýakyn ýerleşýän jisimleriň şekiliniň ýitiligi ýitýär (10-njy tablisa).

«Ortaça» göz diýlip atlandyrylýan gözün 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 diýlip hasap edilýär.

10-njy tablisa

**Gözün 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
Gözün optiki güýji	~ 60 dp	70–74 dp

Gözün akkomodasiýasy merkezi nerw ulgamyndan (MNU) kirpik myşsasyňa iberilýän impulsaryň täsiri astynda bolup geçýär. Akkomodasiýanyň dynçlygynda gözün 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 impulsar iberilýärler, olar kirpik myşsasyňyň gerek bolan derejede ýygrylmagyny ýüze çykarýarlar. Şoňa baglylykda göz torjumak bardada şekil aýdyň (ýiti) bolar ýaly edilip akkomodirlenýär.

Garramak bilen (takmynan 40 ýaşdan başlap) hrustaligiň tebigy çêýeliginiň 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 gözün uzakdan görüjilik ýagdaýy ýygnaýjy linzaly äýnekleriň

kömegi bilen kompensirlenýär, olaryň optiki güýji ýyllaryň geçmekligi bilen kem-kemden ýokarlandyrylmalydyr.

### 7.6.1. Görüş burçy

**Gözün 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 burçunyň\* içinde az-kem dargaýan desse bolup girýärler, şunlukda göreç jisim burçunyň esasy bolup durýandyr.

Ol şöhleler gözün gurşawlarynda döwürlemek 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 başga-da onuň gözden näçe aradaşlykda ýerleşýändigine-de, ýagny jisimiň nähili burç astynda görülyändigine-de baglydyr. Şuňa baglylykda görüş burçy diýilýän düşünjäni girizýärler.

---

\* (Ýagtylyk çeşmesiniň dürli taraplara goýberýän ýagtylyk akymynyň ýaýraýşyny görkezmek üçin jisim burçy diýlen düşünje girizilýär. Jisim burçy  $\Omega$  (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:

$$\Omega = \frac{S}{R^2},$$

bu ýerde  $R$  – sferanyň radiusy;  $S$  – sferanyň üstünde kesilip alynýan meýdan).

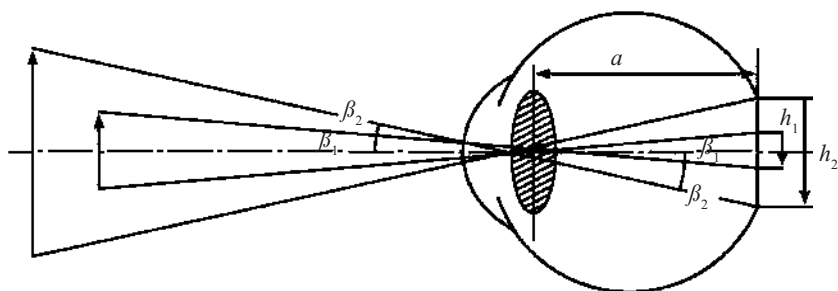
Eger optiki enjamyň kömegi bilen gözün görüş meýdanynda ýerleşmeýän jisimiň nokatlaryndan çykýan kem-käsleýin dargaýan şöhleleri göze gönükdirsek, onda adam görüs prosesinde torjumak bardada döreýän şekili göze girýän şöhleleriň dowamynyň kesişme nokatlary hökmünde kabul edýär. Bu ýagdaýda göz jisimiň 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  $\frac{s.j.u.}{h.ş.u.}$ ) görüş burçunyň üsti bilen aňladylýar.

Seredilýän jisimiň gyraky nokatlaryndan çykýan şöhleleriň gözün optiki merkezinden geçenden soň döredýän burçuna *görüň burçy diýilýär (7.23-nji surat)*.

Torjumak bardada alynýan şekiliň ululygy görüş burçuna göni proporsionaldyr. Munuň 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 ýarysyny we «β» harpy bilen degişli görüş burçunyň ýarysyny belgiläliň (7.23-nji surat). Onda şeýle gatnaşyk bilen kesgitlenýän tangens burçlaryň bahalaryny alarys:



7.23-nji surat.

$$\operatorname{tg}\beta_1 = \frac{h_1}{a} \text{ (56) we } \operatorname{tg}\beta_2 = \frac{h_2}{a}. \quad (57)$$

Ikinji aňlatmany birinjä bölüp we tangens burçlaryň kiçiligine görä olary göz önünde tutman burçlaryň özleri 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.

Gözüň áydyňlaşdyrma (çözüjilik) ukybyny häsiýetlendirmek üçin iň kiçi görüş burçy diýlen düşünjäni girizýärler.

Gözüň seredilýän jisimiň entek iki nokadyny áydyň görüp (saýgaryp) bilýän ýagdaýyna iň kiçi görüş burçy diýilýär.

Bu burç takmynan 1'-a deňdir, ol biri-birlerinden 70 mkm aradaşlykda bolan we iň 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 áydyň görünýän (saýgarylýan) däl, ýagny olar göz tarapyndan özbaşdak tapawutlandyrylýan däl.

Ýagtylygyň difraksiýasy tarapyndan döredilýän çäklendirmede hem iň kiçi görüş burçunyň edil şeýle ululykdaky bahasy alynýandyr. Seredilýän ýagdaýda tebigatyň amatlylyk düzgüni boýunça maksadalaýyk döredişi geň galdyryr – ýagny «hiç bir artykmaç zat bolmaly däl» diýlen nukdaýnazardan ugur alynýar: torjumak bardanyň bir meýdan birliginde saklanýan kolbajyklaryň sany geometriki optikanyň predel (çäk) mümkinçiliklerine dogry gabat gelýär.

Lukmançylykda gözüň áydyňlaşdyrma (çözüjilik) ukyplygyna onuň görüş ýitiligi bilen baha berilýär. Kadaly görüş ýitiliginiň birligi hökmünde iň kiçi görüş burçy 1'-a (minuda) deň bolan ýagdaý kabul edilýär.

Dürli gyşarmalarda gözüň görüş ýitiligi şeýle kesgitlenýär, ýagny iň kiçi görüş burçy 1 minutdan näçe esse ýokary bolsa, onda şoňa baglylykda görüş ýitiligi hem şonça 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 tapawutlandyryandyr. 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). Gözüň 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 dälidir. Gytaklaýyn düşýän desseler bilen baglanyşykly bolan astigmatizmiň bolmaýanlygy gözüň elmydama göni seredilýän jisime tarap gönükdirilýändigini bilen we oňa girýän şöhleleriň merkezi desse bolup durýanlygy bilen düşündirilýär.

Ýöne göz bedeniň ösüş prosesinde kemala gelýär we şoňa görä-de onuň käbir adamlarda dogabitdi kemçilikleri gabat gelýär. Bu kemçilikler gözüň görnüşiniň, ölçegleriniň ýa-da optiki güýjüniň kadaly ýagdaýdan gysarmasy bilen baglanyşyklydyr.

*Gözüň optiki ulgamyna käbir mahsus bolan kemçilikler degişlidir.*

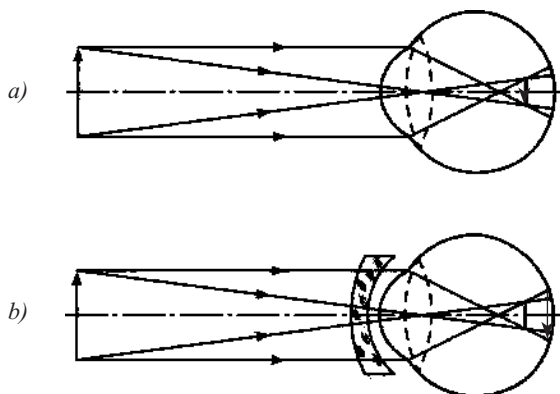
Kadaly ýagdaýdaky gözde akkomodasiýanyň ýok wagtynda yzky fokus torjumak barda bilen gabat gelýär – şeýle göze emmetro-piki göz diýilýär; eger-de şeýle şert ýerine ýetmeýän bolsa – onda oňa *ametropiki göz* diýilýär.

Ametropiýanyň has giň ýaýran görnüşlerine *şowakörlük (miopiýa)* we *uzakdan görüjilik (gipermetropiýa)* degişlidir.

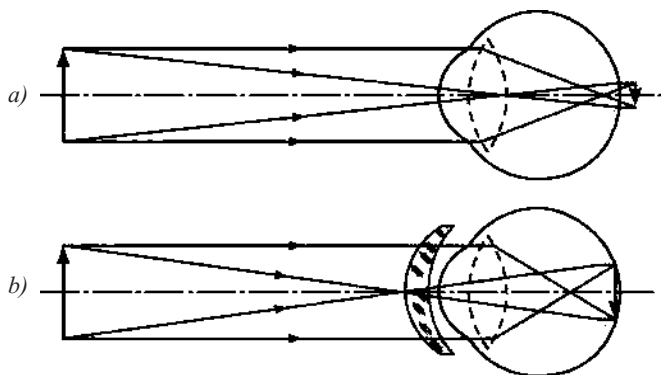
Şowakörlük (miopiýa) adamlarda has köp gabat gelýändir, ol göz almasynyň süýreldilen görnüşi bilen baglanyşyklydyr ýa-da (has seýrek ýagdaýda) gözün gurşawlarynyň ýagtylygy juda ýokary döwüjilik ukyplygy bilen baglanyşyklydyr (gözün kadaly görnüşinde). Şunlukda, gözden ýeterlik derejede daşda ýerleşýän jisimleriň aýdyň (ýiti) şekili (ýagny yzky fokus) torjumak bardadan birazrak öňde ýerleşýän tekizlikde döreyär (7.24-nji a surat). Suňa baglylykda torjumak bardada şekil ýiti (aýdyň) däl görnüşde bolýar we şoňa görä-de, göz uzakda ýerleşýän jisimleri ýeterlik derejede ýiti görüp bilenok.

Ýakyn aralykda ýerleşýän jisimleriň şekili torjumak bardada akkomodasiýasyz hem ýiti görnüşde alynýandyr.

Şowakorlügeni düzetmeklik üçin gözün optiki güýjünü 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 b surat).



7.24-nji surat.



7.25-nji surat.

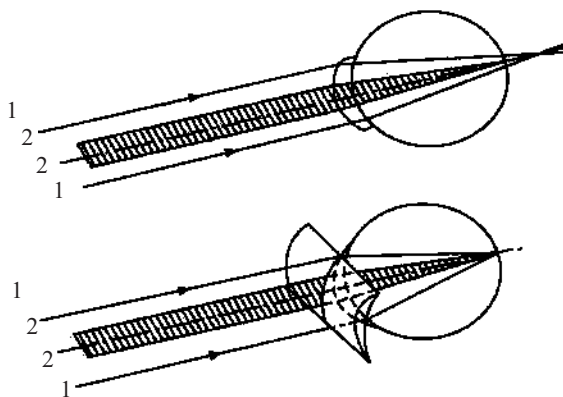
Gözün ýagtylygy döwüjilik ukyplygynyň pes bolmaklygy bilen ýa-da göz almasynyň öňki-yzky tarapdan «gysylan» (gysgaldylan) görnüşde bolmaklygy bilen baglanyşykly bolan uzakdan görüjilik (gipermetropiýa), umuman alnanda, seýrek gabat gelýändir. Şu görkezilen kemçiliklere baglylykda uzak aralykda ýerleşýän jisimleriň şekili torjumak bardanyň yzynda ýerleşýän tekizlikde alynýar (7.25-nji a surat).

Göz akkomodasiýanyň kömegi bilen bu kemçiligi düzedýär, yöne akkomodasiýanyň mümkinçiligi (predeli) çäklendirilendir we şeýle göz ýakyn aralykda ýerleşen jisimleri ýiti (aýdyň) görnüşde görmeyär. Uzakdan görüjiligi düzetmeklik üçin ýygnaýjy linzaly (oýuk-güberçek) äynekleri ulanýarlar, olar gözün döwüjilik ukyplygyny güýçlendirýärler we şoňa baglylykda torjumak bardada ýiti şekiliň alynmaklygyny üpjün edýärler (7.25-nji b surat).

Gözün görüjiligiň seýrek gabat gelýän 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 däldir. Uly astigmatizm torjumak bardada şekiliň ýitilginiň (aýdyňlygynyň) ýitmekligine we onuň konturlarynyň ýoýulan görnüşde bolmaklygyna getirýär.

Köplenç ýagdaýda, dogry astigmatizm gabat gelýär (7.4.3-nji bölüme seret). Eger şunlukda iki sany özara perpendikulýar tekizlik-





7.26-njy surat.

leriň haýsydyr bolsa birinde refraksiýa kadaly ýagdaýda bolsa, onda ýüze çykyan 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).

Ýönekeý dogry astigmatizm silindriki linzaly äýnekleriň kömegi bilen düzedilýär (7.26-njy b surat). Olaryň oklary degişli tekizlikde refraksiýany kompensirläp biler ýaly edilip ýerleşdirilýärler.

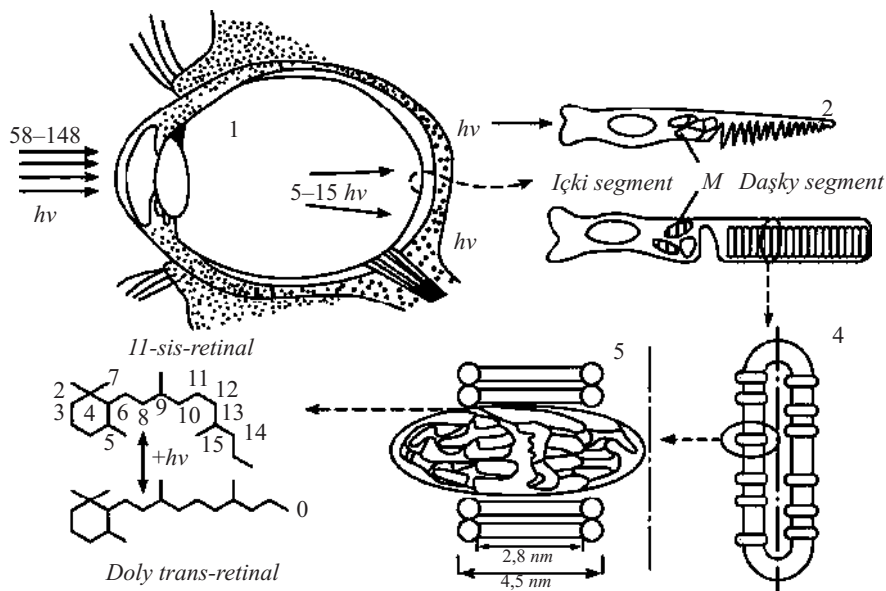
Astigmatizmiň has çylşyrymly ýagdaýlarynda ony kompensirmek üçin degişlilikde çylşyrymly görnüşli linzalar gerek bolýandyr.

## 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 gözünüň 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 özlari görüş pigmentini saklamaýan içki segmentleri bilen ýagtylyga tarap gönükdirilen görnüşde ýerleşýärler (7.27-nji surat). Ýöne, bu aýdylanlara garamazdan, gözün ýagtylyk duýujylygy gaty peselýän däl, çünki nerw öýjükleri we ýagtylykduýujy öýjükleriň içki segmentleri görünýän ýagtylyk üçin durudylar.

Adamyň gözünüň absolýut bosaga (çäk) 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. Bularan diňe 5–15 kwant torjumak bardanyň taýajyklaryndaky görüş pigmentiniň molekulalary tarapyndan siňdirilýär, galanlary bolsa aralykda «ýitýärler».



7.27-nji surat.

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 öýjüklere siňdirýär. Hut pigmentli epiteliýanyň bolmaklygyna görä ýagtylyk pes derejede gözün yzky diwaryndan serpikýär we dargaýar, bu bolsa öz gezeginde, gözün görüş ýitiligini gowulandyrýar.

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 ujunda nerw süýümi bilen galtaşýan sinaptiki kontakt ýerleşýär.

Öň bellenilip 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 siňdirenenden 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 sisretinal opsin bilen baglanyşmaga ukyplydyr.

### **7.7.1. Retinalyň sis-trans fotoizomerleşmegi**

Hromoforyň has wajyp bolan iki konformasiýasy (ýagny 11 sis-retinal we doly-transretinal) 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) molekulasyň iki bölegi ikileýin baglanyşygyň üzülmeçligine görä onuň daşynda aýlanýar. Aýlanmak  $180^\circ$ -a ýetende 11 sis-retinal doly trans-retinala öwrülýär. Soň ýagtylygyň täsiri astynda, doly trans-retinal baglanyşygyň daşynda  $180^\circ$  aýlanmak bilen, 11 sis-retinala öwrülýär.

Molekulanyň esasy ýagdaýdan oýandyrylan ýagdaýa we oýandyrylan ýagdaýdan esasy ýagdaýa geçende biri-birine deň (ýagny gabat gelyän) 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-tran-sizomerleşmek fotoreaksiýasy fotoöwrülişikli hadysa bolup durýandyr.

### 7.7.2. Rodopsiniň fotoöwrülişikleri

Öň belenilip geçilişi ýaly, retinal ýagtylygyň täsiri astynda birnäçe izomerlere eýe bolup biler, ýöne olaryň içinden diňe 11 sis-retinal opsiniň molekulasyň baglanyşmak merkezine doly gabat gelyär we şoňa görä-de onuň bilen baglanyşyp durnukly kompleksi emele getirýär.

Görüş pigmenti (ýagny rodopsin) ýagtylygy siňdirenden 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 +  $h\nu$  → 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 berlipdir).

### 7.7.3. Reseptor potensiallary

*Rodopsindäki bolup geçýän fotoöwrülişikler nähili ýol bilen reseptor öýjüklerinde siňdirilen energiýanyň elektrik signalyna öwürilmegine 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 giçki reseptor potensialy (GRP).

Taýajyk ýagtylandyrylandan soň yz ýany dowamlylygy takmynan 1 ms-a (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 (–) zaryadlanandyr.

IRP we GRP ýüze çykyş tebigaty boýunça biri-birlerinden düýpli tapawutlanýandyrlar.

a) *IRP-niň ýüze çykyş tebigaty.* Megerem, IRP ýagtylygyň täsiri astynda rodopsiniň molekulasynda bolup geçýän konformasiýa üýtgeşmeleri bilen baglanyşyklydyr. Rodopsiniň molekulasynda fiksirlenen zaryadlar 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 gelýär).

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 elektrohimiiki 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 kanaljagaz boýunça içki segmente işjeň däl görnüşde diffundirlenýärler. İçki segmentde, mitohondriýalarda sintezlenýän ATF-ň hasabyna ATF-aza fermenti natriýni daşky gurşawa çykarýar (işjeň transport).

Ýagtylygyň täsiri astynda rodopsin metarodopsin – II konformasiýa eýe bolanynda sitoplazmatiki membrananyň natriý ionlaryna bolan syzyjylygy üzül-kesil peselýär; beýleki ionlar üçin bolsa syzyjylyk öňkiligine 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. Fotoresptorlar

*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 müňlerçe fotoresptor diskleri diýlip atlandyrylýan diskleriň toplumyny saklaýarlar. Diskler taýajyklaryň daşky segmentleriniň düýbünde (esasynda) döreýärler.

Taýajyklar, şeýle hem kolbajyklar özlerinde ýagtylyk duýujy pigmentleri – ýagny ýagtylyk şöhlenenmesiniň reseptorlaryny saklaýarlar. Taýajyklarda bir görnüşli pigment bar, kolbajyklarda bolsa üç görnüşli pigment bardyr. Bu dört görnüşli pigmentler ýagtylyk şöhlenenmesiniň aýry-aýry tolkun uzynlyklaryna duýgurdyrlar. Taýajyklarda görüş pigmentiniň (rodopsiniň) köp bölegi fotoresptor diskleriň membranasynnda toplanandyr. Ýagtylyk täsir edende rodopsiniň molekulasy onuň kwantyny (fotonyny) siňdirýär, bu bolsa görüş reseptorynyň himiki üýtgeşmelerine (konformasiýasyna) getirýär.

Taýajyklaryň daşky segmentleriniň (TDS) plazmatiki membranasynnda sikliki guanozinmonofosfata (sGMF) bagly bolan ýörite kation kanallary ýerleşýärler (olar  $\text{Na}^+$  we  $\text{Ca}^{2+}$  kationlary üçin niýetlenendirler). Garaňkylykda bu kanallar açyk ýagdaýda bolýarlar we  $\text{Na}^+$  hem-de  $\text{Ca}^{2+}$  kationlary öýjügiň daşky giňişliginden sitozola erkin diffundirlenýärler. Ionlaryň garaňkylykdaky akymy (oňa başgaça garaňkylyk togy hem diýilýär) TDS-ň plazmatiki membranasynyň depolýarlaşmagyna (ýagny öýjügiň daşynda položitel (+) zarýadyň azalmagyna) getirýär. Garaňkylykda TDS-ň membranasynyň potensialy takmynan 50 mW-a (milliWolta) deňdir, şol bir wagtda oýandyrylmadyk ýagdaýdaky kadaly nerw öýjügiň potensialy adaty 70 mW-a deňdir. Şeýlelik bilen, garaňky ýagdaýdaky fotoresptorlar dynçlyk ýagdaýyndaky kadaly nerw öýjüklerine garanda has depolýarlaşandyrlar.

Depolýarlaşmagy üznüksiz ýagdaýda 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 biohimiiki reaksiýalara baglylykda kation ( $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ) kanallary ýapylýarlar, bu bolsa garaňkylyk togunyň azalmagyna we öýjügiň plazmatiki membranasynyň giperpolýarlaşmagyna (ýagny öýjügiň daşynda polozitel zaryadyň köpelmegine) getirýär. Netijede, ýagtylyk reseptor öýjügiň membranasynda potensialy ýokarlandyrmak (giperpolýarlaşdyrmak) bilen mediatorlaryň bölünip çykarylýşyny 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 öwrülişiklerine – fotolize getirýär. 11 sis-retinalyň



doly trans – görnüşe izomerlesmegi bu prosesiniň 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 izomerleşmegine 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 siňdiriş 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 – subbirliliklerden (degişlilikde  $T_\alpha$ ,  $T_\beta$  we  $T_\gamma$ ) ybaratdyr.  $T_\beta$  we  $T_\gamma$  – subbirlilikler biri-birleri bilen berk baglanyşyklydyrlar we olar bir bütewi  $T_{\beta\gamma}$  – subbirlilik hökmünde funksionirlenýärler.

Transdusin belogynyň esasy aýratynlygy onuň alfa-subbirliginde ( $T_\alpha$ ) GDF we GTF nukleotidleri birleşdirýän merkeziň bolmagydyr. Garaňkylykda alfa-subbirlilik ( $T_\alpha$ ) GDF-ň molekulasy bilen bir kompleksde bolýar (ýagny  $T_\alpha - \text{GDF}$ ) we transdusiniň dimeri bilen ( $T_{\beta\gamma}$ ) birleşýär. ( $T_\alpha - \text{GDF}$ ) –  $T_{\beta\gamma}$  kompleks diskleriň membranasynyň daşky üstünde lokalizirlenýär we onuň metarodopsin II-ä ýokary meňzeşligi (himiki meňzetmesi) bardyr.

Fotoişjeňleşen rodopsiniň ( $R^*$ ) soňky kompleks [ýagny ( $T_\alpha - \text{GDF}$ ) –  $T_{\beta\gamma}$ ] bilen baglanyşmagy netijesinde täze kompleks döreýär, ýagny  $R^* - (T_\alpha - \text{GDF}) - T_{\beta\gamma}$  we baglanyşykly ( $T_\alpha - \text{GDF}$ -ň) GTF-e çalşylmagy amala aşyrylýar. Şuňa baglylykda şeýle kompleks döreýär:  $R^* - (T_\alpha - \text{GTF}) - T_{\beta\gamma}$ . Bu kompleks derrew fotoişjeňleşen rodopsine ( $R^*$ ), işjeň komplekse ( $T_\alpha^* - \text{GTF}$ ) 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 molekulasynyň işjeňleşdirilmegi görüş signalynyň geçiriliş prosesindäki güýçlendirilişiniň birinji tapgyrydyr.*

Işjeň kompleks  $T_{\alpha}^*$  – 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:  $FDE_{\alpha}$ ;  $FDE_{\beta}$  we iki sany birmeňzeş  $FDE_{\gamma}$ .  $FDE_{\alpha}$  we  $FDE_{\beta}$  – subbirlikler sGMF-ň gidroliziniň katalitiki funksiýasyny amala aşyrýarlar;  $FDE_{\gamma}$  – 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 ( $Na^+/Ca^{2+}$ ) kanallarynyň köp bölegi TDS-ň plazmatiki membranasynda aýyk 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  $Na^+/K^+ - ATP$ -aza fermentleri tarapyndan öýjügiň daşyna çykarylýarlar. Öýjügiň içindeki  $Ca^{2+}$  kationlaryň konsentrasıýasy TDS-ň plazmatiki membranasynda ýerleşýän  $Na^+/Ca^{2+}$ ,  $K^+$  – kationçalşygy tarapyndan hemişelik derejede saklanýar.

Transdusiň belogynyň  $T_{\alpha}$  – subbirligi bilen guanozintrifosfat nukleotidiniň (GTF) kompleksi (ýagny  $T_{\alpha}^* - GTF$ ) fosfodiesteraza fermentine (ýagny FDE) täsir edip, ony işjeňleşdirýär [ $(T_{\alpha}^* - GTF) \rightarrow FDE \rightarrow FDE^*$ ]. İşjeňleşen  $FDE^*$  sikliki guanozinmonofosfatyň (sGMF) köp sanly molekulasyny gidrolizleýär (bir işjeň ferment sGMF-ň üç müňe çenli molekulasyny gidrolizläp bilýär). Bu proses görüş signalynyň güýçlendirilişiniň ikinji tapgyry bolup durýar (umumy güýçlendiriliş koeffisiýenti  $10^5 - 10^6$  ýetýär).

Öýjügiň içinde sGMF-ň konsentrasıýasynyň 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 ýagtylygyň 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.

**a) Görüş kaskadynyň öçürilişi.** Taýajyklaryň sitoplazmasynda sGMF baglanyşykly kanallar ýapylandan soň  $\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  – kationçalşygynyň işjeňleşmegi netijesinde  $\text{Ca}^{2+}$  kationlarynyň konsentrasiýasy peselýär. Görüş kaskadynyň öçürilişi yzygider geçýän reaksiýalaryň hasabyna amala aşyrylýar we ol gönüden-göni öýjügiň içinde  $\text{Ca}^{2+}$  kationlarynyň konsentrasiýasynyň peselmegi bilen baglanyşyklydyr.

Fotooýandyrylan rodopsiniň ( $\text{R}^*$ ) 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 ( $\text{R}^*$ ) fosforilirleýär we garaňkylykda rodopsin bilen (R) täsir edişmeýär. Rodopsinkinazanyň (RK) işjeňligi  $\text{Ca}^{2+}$  – baglanyşykly görnüşdäki  $\text{Ca}^{2+}$  – baglanyşdyryjy belogyň – rekoweriniň kömegi bilen sazlanýar.  $\text{Ca}^{2+}$  – kationlarynyň konsentrasiýasynyň peselmegine görä rekowerin belogy rodopsinkinazany işjeňleşdirýär ( $\text{RK}^*$ ), ýagny  $\text{RK} \rightarrow \text{RK}^*$ . İşjeňleşen  $\text{RK}^*$  fotooýandyrylan rodopsini ( $\text{R}^*$ ) fosforilirleýär, ýagny  $\text{RK}^* \rightarrow \text{R}^* \rightarrow (\text{R}^*-\text{F})$ .

Fosforilirlenen rodopsiniň ( $\text{R}^*-\text{F}$ ) 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) işjeňliginiň peselmegine getirýär.

Şol bir wagtda, ýagtylygyň täsiri astynda taýajyklaryň daşky segmentiniň (TDS) sitoplazmasynda kalsiý kationlarynyň derejesiniň peselmekligi guanilatsiklaza (GS) fermentiniň işjeňleşmegine getirýär, ýagny ( $GS \rightarrow GS^*$ ). Bu ferment sikliki guanozinmonofosfatyň (sGMF) garaňkylykdaky derejesiniň dikeldilmekligine jogapkärdir.

Kalsiý kationlarynyň ( $Ca^{2+}$ ) fotoreseptorlardaky guanilatsiklaza fermentine (GS) bolan täsiri konsentراسیýany 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 işjeň däl ýagdaýda).

b) GSIB kalsiý kationlarynyň konsentراسیýasy belli bir derejeden peselse, onda ol fermenti (ýagny GS-i) işjeňleşdirýär (GS-fermenti işjeň ýagdaýda).

Şeýle hem kalsiý kationlarynyň konsentراسیýasynyň peselmegi sGMF baglanyşykly kation kanallarynyň işjeňligine täsir edýär, bu täsir  $Ca^{2+}$  baglanyşdyryjy belok-kalmodulin bilen baglanyşyklydyr.

Şeýlelik bilen, görüş signalynyň öçüriliş prosesi üç sany  $Ca^{2+}$  baglanyşdyryjy beloklar (rekowerin, GSIB we kalmodulin) bilen amala aşyrylýandyr.

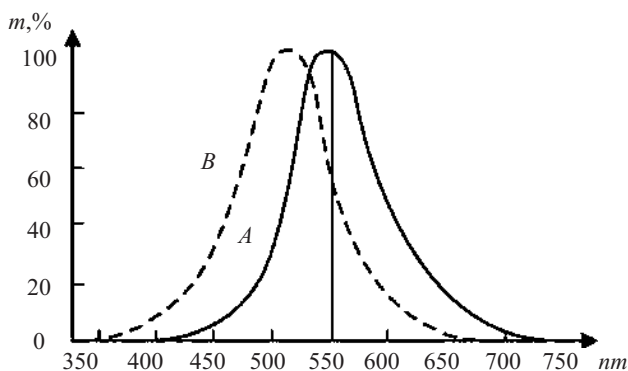
**b) Fotoreseptoryň garaňkylyk ýagdaýa gaýdyp gelmekligi.** Kalsiý kationlarynyň ( $Ca^{2+}$ ) konsentراسیýasynyň peselmekligi we ondan soňky sGMF-nukleotidleriniň konsentراسیýasynyň ýokarlanmaklygy netijesinde taýajyklaryň daşky segmentiniň sitoplazmasynda sGMF baglanyşykly kation kanallary açylýarlar we garaňkylyk togy dikeldilýär – bu bolsa fotoreseptoryň (plazmatiki membrananyň) depolýarlaşmagyna getirýär.

Şundan soň fosfataza 2A fermenti (F2A) fosforilirlenen rodopsini ( $R^*-F$ ) defosforilirleýär. 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 öýjük ilkibasdaky garaňkylyk ýagdaýyna gaýdyp gelýär.

### 7.8.3. Reňkli görüş

Gowşak ýagtylykda adamyň gözüniň duýujylygynyň maksimumy takmynan 500 nm (nanometr) tolkun uzynlykda ýerleşýär, bu bolsa taýajyklarda saklanýan rodopsiniň siňdirijilik ukyplygynyň maksimumyna gabat gelýändir. (7.28-nji suratdaky «B» baglanyşyk). Ýiti ýagtylykda gözüň duýujylygynyň maksimumy 550 nm 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 deňişlidirler, şoňa görä-de kolbajyklaryň pigmentine ýodopsinler diýilýär. Ýodopsinleriň maksimum siňdirijilik ukyplygy 445, 535 we 570 nm tolkun uzynlygyna deňişlidirler.



7.28-nji surat.

Käbir genetiki kesellerde beloklaryň-ýodopsinleriň sintezi bozulýar, netijede reňkli görüşiň üpjün edilmegine gatnaşýan ol ýa-da başga bir pigment döremeýär. Şuňa baglylykda adamlar 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.

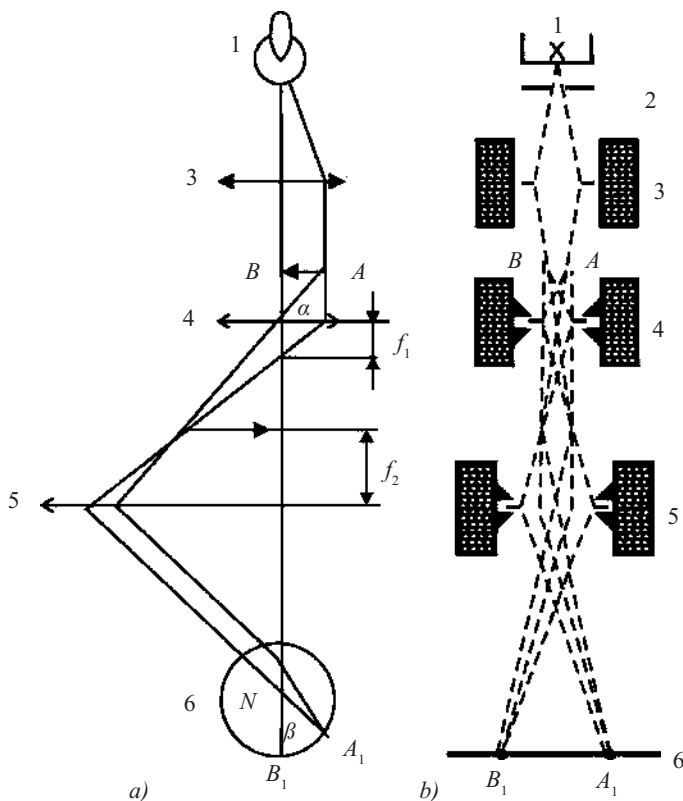
Optiki mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çägi, esasan, adamyň gözi tarapyndan kabul edilýän ýagtylygyň tolkun uzynlygynyň çäk bahasy bilen kesgitlenýändir. Elektron mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çägi şeýle deňlik bilen kesgitlenýär:

$$Z = 0,5h/[\sqrt{2emU \cdot n \sin \theta}], \quad (59)$$

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);  $m$  – elektronyň massasy ( $m = 9,11 \cdot 10^{-31}$  kg);  $U$  – elektrik meýdanynyň güýçlendiriji naprýaženiýesi;  $n$  – gurşawyň döwürleme 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 ukyplygynyň optiki mikroskopyň çözüjilik ukyplylygyna garanda has ýokary bolmaklygyny gazanmak bolýar.

Elektron mikroskop we onuň aýry-áýry elementleri özleriniň ýerine ýetirýän funksiýalary boýunça optiki mikroskopyňka meňzeşdirler. Şoňa görä-de elektron mikroskopyň gurluşyny we onuň işleýiş düzgünini düşündirmeklik üçin şeýle meňzetmeden peýdalanalyň. 7.29-njy suratda optiki we elektron mikroskoplaryň shemalary görkezilendirler.



7.29-njy surat.

Optiki mikroskopda  $AB$  jisim baradaky informasiýa ýagtylygyň (fotonyň) üsti bilen geçirilýändir. Ýagtylygyň çeşmesi bolup adatça 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 formirlenýärler.  $A_1B_1$  şekil göz (6) (ýa-da fotoplastinka, fotolýuminessirlenýän ekran we ş.m.) bilen registrirlenýär.

Elektron mikroskopda  $AB$  jisim baradaky informasiýa elektronlaryň üsti bilen geçirilýändir. Elektronlaryň çeşmesi bolup adatça gyzdyrylýan katod (1) hyzmat edýändir. Elektronlaryň güýçlendiril-

megi we elektron desseleriniň döredilmegi elektron puşkasy (2) diýlip 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 döredilmegi 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 (meňzetmesi) boýunça elektron linzalar diýilýär. Olar ýagtylyk akymyny döredýärler. (3-kondensor ulgamy; 4-elektron ulgamy, ol obýektiv bolup hyzmat edýär, 5-proýeksiýa ulgamy, ol okulýar bolup hyzmat edýär).  $A_1B_1$  şekil elektronlara duýgur bolan fotoplastinkada ýa-da lýuminessirlenýän ekranda (6) registrirlenýär.

Elektron mikroskopyň aýdyňlaşdyryjylyk (çözüjilik) çäğine 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  $z=0,1$  nm alarys. Amaly taýdan oňat elektron mikroskopyň çözüjilik çägi ortaça  $10^{-10}$  m-e 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 oňositel 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. Wakuum 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 sındirilýärler we dargadylýarlar. Şoňa görä-da käbir ýagdaýlarda barlanýan obýektiň üstki suduryny örän ýuka plastmassa gatlagynda almaklyk maksadalaýykdyr. 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  $3 \cdot 10^{-10} m$ -e deň bolan kepillendirilen çözüjilik ukyplygyny berýär (Köpçülikleýin habar beriş serişdeleriniň maglumatlaryna görä, Gollandiýanyň «FEI» kompaniýasy tarapyndan «Titan 80–300» diýlip atlandyrylýan elektron mikroskop örän ýokary takyklygy bilen tapawutlanýar we jisimleri 2 million esse ulaltmagy başarýar).

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. SÜÝÜM OPTIKASY WE ONUŇ LUKMANÇYLYK 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 goşuldylar. Süýüm-optiki detallar ýagtylyk geçirijiler diýlip atlandyrylýan kanallar boýunça ýagtylyk geçirmäge ukyplydyrlar.

*Süýüm optikasy diýlip ýagtylygyň we şekilleriň ýagtylyk geçirijiler boýunça geçirilişine seredilýän optikanyň bölümine aýdylýar. Kāwagtlar süýüm-optiki detallaryň we enjamlaryň özlerini hem edil şeýle adalga bilen atlandyrýarlar.*

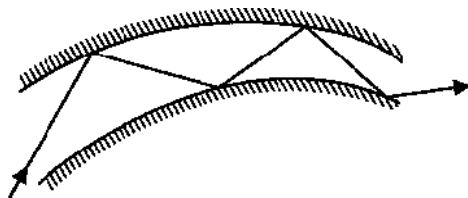
Süýüm optikasy ýagtylygyň doly içki serpikmek hadysasyna esaslanýandyr. Ýagtylyk, pes döwürme görkezijili madda bilen gurşalan durý süýümiň içine düşüp, ençeme gezek serpikýär we bu süýümiň ugry boýunça ýaýraýar (7.30-njy surat). Ýagtylygyň doly serpikmek hadysasynda serpikmek koeffisiýentiniň juda ýokary 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 çykarýarlar.

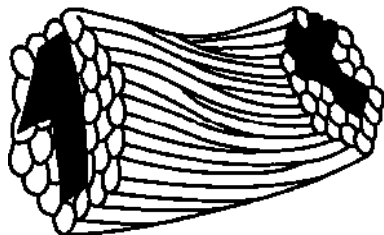
7.31-nji suratda shematiki görnüşde ýagtylykgeçiriji görkezilendir. Süýümleriň haotiki ýerleşmeklerine görä 1 sifriň şekili ýoýulan görnüşdedir.

Lukmançylykda ýagtylykgeçirijileri, esasan, iki meseläni çözmeklik üçin ulanýarlar:

a) ýagtylyk energiýasyny geçirmeklik üçin, esasan, içki boşluklary ýagtylyk bilen şöhlelendirmek üçin;



7.30-njy surat.



7.31-njy surat.

b) şekili geçirmeklik için.

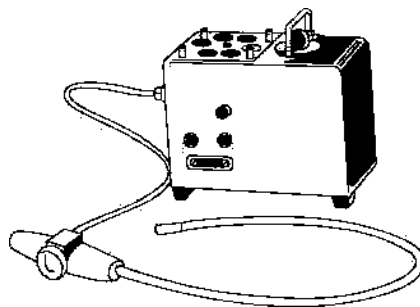
*Birinji ýagdaý* üçin ýagtylykgeçirijide aýry-aýry süýümleriň biri-birine görä ýerleşmekleriniň hiç hili ähmiýeti ýokdur. *Ikinji ýagdaýda* süýümleriň ýagtylykgeçirijiniň girişindäki we çykyşyndaky ýerleşmek ýagdaýlarynyň birmeňzeş bolmaklygynyň uly ähmiýeti bardyr.

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 çykarylan konstruksiýalary bilen deňeşdirilende ýagtylyk çeşmesiniň gönüden-göni organyň içine ýerleşdirilmek zerurlygynyň aýrylmagy. Bu bolsa, öz gezeginde, içki organy gymaklyga getirýän faktoryň öz-özünden aýrylýandygyny aňladýandyr. *Ikinjiden*, süýüm-optiki ulgamlaryň çeýeligi, öňki ulanylýan gaty endoskoplara garanda, içki organlaryň köp bölegine seretmek mümkinçiligini döredýär.

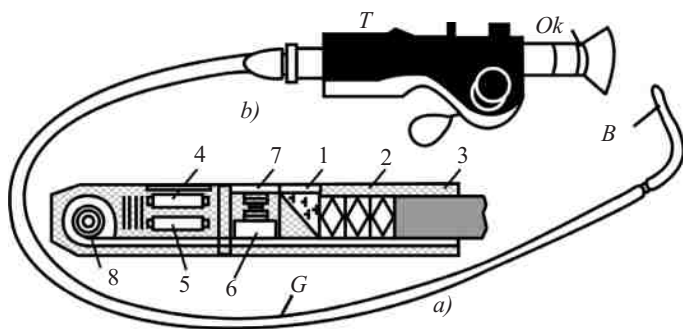
7.32-nji suratda süýüm gastroskopy görkezilendir. Onuň kömegi bilen diňe bir aşgazana wizual seretmek mümkinçiligi däl-de, eýsemde bolsa, anyklaýyş maksatlar üçin zerur bolan suratlary almak mümkinçiligi hem bardyr. Hut lukmançylykda ýüze çykan şeýle talaplar, umuman, süýüm optikasynyň ösmekligini stimülirlediler.

Süýüm optikaly gastroskop başjagazdan (B), çeýe ýagtylyk geçirijiden (G) we tutawaçdan (T) ybaratdyr (7.33-nji a surat).

Başjagazda giriş prizması (1), obýektiw (2) we seredilýän meýdany ýagtylandyrmak üçin ulanylýan çyra ýerleşendirler (7.33-nji b surat). Obýektiwe (2) çeýe ýagtylyk geçirijiniň



7.32-nji surat.



7.33-nji surat.

başlangyç bölegi (3) ýanaşýandyr. Bulardan başga-da, başjagazda çyra – ýagtylandyryjy (5), obýektiwli (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 ojaklarynyň bejerilişi amala aşyrylýar.

## VIII bap.

## LUKMANÇYLYKDAKY FOTOBIOLOGIKI HADYSALAR. FOTOLUKMANÇYLYK

### 8.1. FOTOBIOLOGIKI HADYSALAR

Ýer üçin Günün şöhleleri ýeke-täk energiýa çeşmesi bolup durýar. Tomus bulutsyz günde her  $10 \text{ km}^2$  meýdana düşýän Günün energiýasynyň mukdary 7–9 million  $kWt$  ýetýär. Bu käbir elektrik stansiýalaryň kuwwatlygyndan hem köpdür. Türkmenistanyň ekologi 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 ( $\lambda < 10^{-4} \text{ nm}$ );
2. Rentgen şöhleleri ( $10^{-4} \text{ nm} < \lambda < 10 \text{ nm}$ );
3. Ultramelewşe şöhleler ( $10 \text{ nm} < \lambda < 390 \text{ nm}$ );
4. Görünýän ýagtylyk ( $390 \text{ nm} < \lambda < 760 \text{ nm}$ );
5. Infragyzyň şöhleler ( $760 \text{ nm} < \lambda < 0,3 \text{ sm}$ );
6. Radiotolkun şöhleler ( $\lambda > 0,3 \text{ sm}$ ).

*Biologiki wajyp molekulalaryň ýagtylygy siňdirmeginden başlap, onuň bilen baglanyşykly beden derejesinde bolup geçýän kesgitli fiziologiki reaksiýalara fotobiologiki hadysalar diýilýär. Şeýle hadysalara mysallar:*

– *fotosintez* – Gün şöhleleriniň energiýasynyň hasabyna organiki molekulalaryň sintezlenmegi;

– *fototaksis* – bedenleriň ýagtylykdan gaçyp ýa-da ýagtylyga tarap hereketi;

– *fototropizm* – 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;

– *ultramelewşe* (UM) şöhleleriň täsiri – mikrobodenlere bakterisid ýa-da bakteriostatiki täsir, mutagen täsir, kanserogen täsir, pro-witaminlerden 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 keseliniň döremegine Günün ýagtylygynyň sebäp bolýandygy subut edilendir. Kataraktanyň emele gelmeginde fotohimiki reaksiýalaryň orny uludyr. Alpinizm bilen meşgullanýan adamlarda Günün ultramelewşe şöhleleriniň köp mukdarda siňdirilýändigini sebäpli deriniň we gözüň ýanmagy ýüze çykýar. Psoriaz bilen kesellän näsaglarda gýş aýlary kesel güýçlenýär, tomus aýlary bolsa, psoriaz düwmeleri azalýarlar ýa-da ýitip gidýärler. Ultramelewşe şöhleleriniň ýetmezçiligi D-awitaminoza getirýär. Görünýän ýagtylygyň hem fiziologiki hadysalara täsiri uludyr. Güýzüň düşmekligi bilen käbir adamlaryň bedeni oňa bütin durky bilen garşylyk görkezýär, olaryň bedenine tomus aýlaryndaky ýaly güneşli günleriň bolmaklygy ýaraýar. Şoňa görä-de güýz günleri köp adamlarda «güýz gaýgysy» diýlip atlandyrylýan alamatlar döreýär we psihiki depressiýalar ýüze çykýar. Tejribeleriň kömegi bilen şeýle depressiýalary adamlara görünýän ýagtylyk bilen täsir edip bejerip bolýandygy subut edildi. Gyzyly ýagtylygyň ýaralaryň bitmegini tizleşdirýändigini anyklanandyr.

### **8.1.1. Fotobiologiki hadysalaryň geçiş tapgyrlary**

Her bir fotobiologiki hadysa molekulanyň ýagtylygy siňdirmeginden başlap, bütin beden derejesinde bolup geçýän reaksiýalarda birnäçe tapgyrlardan durýar. Fotobiologiki hadysalaryň dürli-dürlüdi-

gine 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 öwrülişik hadysalary (elektronyň bir orbitaldan beýlekisine geçmegi, siňdirilen energiýanyň başga görnüşlere öwürilmegi, 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 gutarýan 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 bedeniň 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. Şonuň üçin oýandyrylan molekula giden elektrona derek başga elektrony alyp akseptorlyk ukybyny ulaldýar.

Bioobýektleriň ýagtylyga bolan duýujylygyny ulaldýan birleşmelere *fotosensibilizatorlar* diýilýär.

*Fotohimiki reaksiýalaryň ilkinji tapgyrlary.* Elektron-oýandyrylan molekulalar artykmaç energiýany almak bilen aňsatlyk bilen himi-

ki 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 çaknysyp onuň bilen reaksiýa girmek mümkinçiligi uludyr. Mysal üçin, aromatiki aminokislotalar bolan tirozin we triptofan ultramelewşe şöhleleriniň täsiri astynda özleriniň 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 alnan) 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 molekulasynda ( ${}^3O_2$ ) 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 özlerinde sensibilizatorlary köp mukdarda toplaýarlar we olar şöhlelendirilende şol öýjüklere hem dargaýarlar. Bu barada soň IX babyň 4-nji bölümünde aýratyn seredip geçeris.

Fotobiologiýanyň esasy taglymatlarynyň biri ýagtylygyň (fotonyň) täsir edýän molekulalary barada düşünejedir. Bu taglymata laýyk-



lykda, 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 durýandyry.

### 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 bedenleri 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.

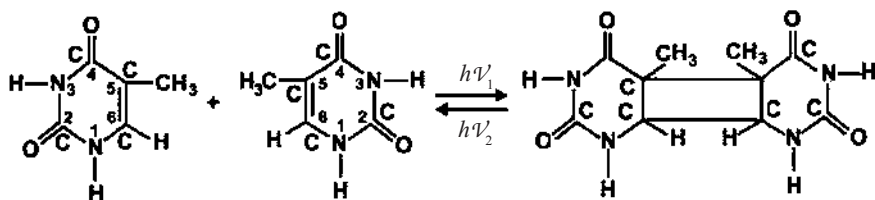
UM şöhleleri nuklein kislotalaryna täsir edeninde üç görnüşli fotoreaksiýalar (a, b, ç) bolup geçýär:

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 taýajyklarynyň UM şöhleleriniň täsiri astynda işjeňligini peseltmeginiň 50%-i olardaky DNK-nyň timinleriniň dimerleşmegi bilen düşündirilýär. Galan 50%-i bolsa, beýleky fotohimiki hadysalaryň paýyna düşýär. Ýöne bu hadysa hemme ýagdaýlarda bolmaýar. Köplenç, dimerler DNK-nyň molekulasyň şol



8.1-nji surat.

bir zynjyryndaky goňşy timinleriň birleşmegi bilen döreyärler. Käwagtlar bolsa dimerler komplementar spirallardaky biri-biriniň gabynda ýerleşen timinleriň molekulalarynyň birleşmegi esasynda emele gelýärler. Ýöne iki spirally DNK-nyň molekulasyň komplementarlygy sebäpli timiniň iki molekulasy hiç wagt biri-biriniň gabynda ýerleşmeýärler. Şonuň üçin timiniň dimerleşmegi üçin onuň iki molekulasyň spirallarda ýakyn bolmagy hökmandyr. Bu hadysa diňe ýerli denaturasiýada, ýagny iki spiralyň hem timin ýerleşýän ýerinden üzülip, timinleriň biri-biri bilen birleşýän ýagdaýynda bolup biler. Fotohimiki dimerleşme emele gelen denaturasiýany berkleşdirýär, ýagny DNK-nyň gurluşynda durnukly şikes döreyär.

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  $280\text{ nm}$  tolkun uzynlykly şöhleler bilen şöhlelendirilse, onda dimerleşmek hadysalary has köp ýüze çykýar, eger ol  $240\text{ nm}$  tolkunlar bilen şöhlelendirilse, onda monomerleşmek hadysalary köp bolup geçýär (8.1-nji surat).

b) *Fotogidratasiýa*. UM şöhleleriň täsiri astynda sitoziniň we urasiliň molekulalary suw bilen birleşip, 6-oksi-5-gidroönümleri emele getirýär. Bu önümleri täzeden şöhlelendirmek bilen başlangyç pirimidin esaslaryny alyp bolmaýar. Ýöne fotogidratlar ýylylyga durnuksyz bolýarlar we temperaturanyň ýokarlanmagy bilen degidratasiýa hadysalary başlaýarlar.

ç) *DNK – belok çatymalarynyň emele gelmegi*. Sitoziniň ýa-da urasiliň käbir aminokislotalar bilen garyndysyna ultramelewşe şöhleler bilen täsir etdirilende, şol aminokislotalar pirimidin esaslar bi-

len kowalent birleşýärler. Käbir şertlerde DNK – DNK çatymlarynyň emele gelmegi hem mümkindir.

Öýjüklerde nuklein kislotalarynyň fotoşikeslerinden başga-da fotodikeldiş hadysalary hem bolup geçýärler. Görünýän ýagtylygyň täsiri astynda UM-şöhleleriniň DNK-nyň molekulasynda emele getiren şikesleri bejerilýär. Bakteriýalaryň fotoredikeldiş spektri 380 *nm*-de maksimumy bolmak bilen 300–500 *nm* aralygynda ýerleşýär. Adamynyň limfositleriniň ýa-da fibroblastlarynyň fotodikeldiş spektri 400 *nm*-de maksimumy bolmak bilen 300–600 *nm* aralygynda ýerleşýär. Fotodikeldiş 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 molekulalarynyň siňdirmek ukyplylygy ýokary bolup, olaryň maksimumy, degişlilikde, 285 *nm*, 280 *nm* we 258 *nm* deňdir. Beloklaryň işjeňliginiň peselmek spektri olaryň siňdirmek spektrine gabat gelýär. Tolkun uzynlygy 285 *nm* bolan Günün ultra-melewşe 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. Ýone 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. Gününň 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 gelyär, ýagny



Emele gelen önümler täzedan gyzyly ýagtylyk bilen şöhlelendirilende öwrülişikli reaksiýa bolup geçýär we elektron bilen kation-radikal birleşip, öňki aminokislotany emele getirýärler.

Kislorodyň gatnaşmagynda aromatiki aminokislotalaryň fotookislenmesi bolup geçýär, şeýle hem olaryň peroksid önümleri emele gelyär.

#### **8.1.4. UM şöhleleriň biologiki membranalara bolan täsiri**

Biologiki membranalar UM şöhleleriň tolkunlary bilen şöhlelendirilende olaryň dürli maddalara, aýratyn hem ionlara syzyjylygy artýar. Şeýle ýagdaýda, öýjükden kaliniň ionlarynyň çykmagy, natriýniň ionlarynyň bolsa oňa girmegi sebäpli, öýjügiň osmos basyşynyň deňagramlygy bozulýar. Bu bolsa, mysal üçin, eritrositleriň çişmegine 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 1–4 sany durnuksyz, gowşak ikili baglanyşyk bolýar. Olaryň maksimum siňdirmek spektri 220 nm-e deňdir. Doýgun däl ýag kislotalarynyň aýratynlygy olaryň howadaky kislorod bilen aňsat okislenmegidir. Kislorodyň atomy ýag

kislotalarynyň molekulasyndaky ikili baglanyşygyň ýanyndaky ugle-rod 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 amino-kislotalaryň we kükürtsaklaýjy toparlaryň fotolizi netijesinde beloklaryň işjeňliginiň peselmegi, lipidleriň peroksid okislenmegi we ş.m.

## 8.2. FOTOMEDISINA

*Lukmançylygyň optiki şöhlelenmäniň patologiki täsirini ýa-da bejeriş maksatlary üçin ulanylyşyny öwrenýän bölümine fotomedisina diýilýär.* Optiki şöhlelenmäniň in 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 bedendäki ekzogen we endogen sensibilizatorlar optiki şöhleleri siňdirenden soň döreýärler.* Fotozäherleýji maddalara psoralenler, porfirinler, tetrasiklinler, fenotiazinler, sulfanilamidler, hlormpromazinler 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 (gi-peremiýa) netijesinde deriniň gyzarmagydyr. UM spektriniň dürli bölekleriniň emele getirýän eritemasynyň häsiýetleri biri-birinden tapawutlanýarlar. Şonuň üçin ähli UM spektri üç bölege bölýärler: UMA ( $\lambda = 320\text{--}400\text{ nm}$ ), UMB ( $\lambda = 280\text{--}320\text{ nm}$ ), UMÇ ( $\lambda < 280\text{ nm}$ ).

Bedendäki fotohimiki reaksiýalaryň yzysüre dermadaky gan damarlaryny giňeldip (wazodilatasiýa) eritemany emele getirýän garaňkydaky biohimiki reaksiýalar başlaýar.

Deride doýgun däl ýag kislotalaryny prostaglandinlere öwürýän fermentleriň ulgamy bar. UM şöhleler bilen 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 edýär.

UMÇ we UMA eritemalaryň garaňkylyk döwürleri UMB eritemadan tapawutlanýarlar. UMÇ eritemany antioksidantlar ingibirleýärler, UMA eritemany bolsa olar ingibirlemeýärler.

UMB we UMÇ eritemalary üçin fotodikeltmek hadysasy häsiýetlidir. Eger UMB we UMÇ şöhlelenmeden soň deri görünýän ýagtylyk bilen ýagtylandyrylsa, onda eritema döremek peselýär. Bu hadysa wagtynda DNK-daky timin dimerlerini fotodikeldiji 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 şöhlendirilende emele gelýän erkin radikallary tutup saklaýjydyr.

*Üçünjiden*, melanin lipidleriň peroksid okislenmek hadysasyny katalizirleýän demriň ionlaryny özüne birleşdirýär.

Şeýlelikde, melanin pigmentleri lipidleriň peroksid okislenmek zynjyr reaksiýalaryny we beýleki erkin radikal reaksiýalary ingibirleýär.

Pigmentleşmegiň iki usuly bar. Olaryň esasysy göni däl pigmentleşmektir. Bu usul beden şöhlendirilenden 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.

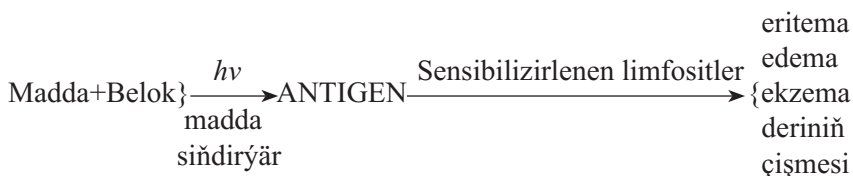
Ýaz aýlary suwa düşülende, gýş paslynda deriniň melanin pigmentleriniň azalandygyny hasaba almak zerurdyr. Şol sebäpli birnäçe gün Günüň şöhleleriniň az mukdary alynmalydyr. Ultramelewşe şöhleler, aýratyn hem UMB, diňe bir deriniň owadan pigmentleşmegini emele getirmän, eýsem ol käbir peýdasyz hadysalary hem ýüze çykarýandyr. Hemişe Günüň şöhleleriniň täsiri astynda bolýan adamlaryň derisi wagtyndan ön garraýar, aýratyn hem boýny, 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 açyk ýerlerinde, ýagny ýüzüň derisinde we elniň daş tarapynda emele gelýärler. Daşarda, açyk howada işleýän adamlarda rak keseli ýygý-ýygýdan düş gelýär. Negrlerde rak keseli akýagyzlara garanda seýrek düş gelýär. Megerem, negrlerde bir wagtyň özünde optiki perde we antioksidant bolup melanin gorag funksiyasyny ýerine ýetirýändir. Fotokanserogeneez – adaty köp wagty aralygynda täsir edýän şöhlelenmäniň netijesidir. Geçirilen barlaglara görä, deriniň ragy tolkun uzynlygy 320 nm kiçi bolan UM şöhleler bilen şöhlendirilende ýüze çykýar. Galyberse-de, bu keseliň düş gelmek ýygýlygy geografiki giňişligiň peselmegi bilen ulalýar. Ekwatora ýakynda Günüň UM serhedi kiçi tolkunlara tarap

süýşýär (285 nm). Täsir edýän şöhläniň tolkun uzynlygynyň üýtgemegi bilen keseliň häsiýeti hem üýtgeýär. Çişniň görnüşi şöhläniň geçýän çuňlugyna baglydyr. Monohromatiki 254 nm UM-şöhleler epidermal karsinomany, 280 nm UM-şöhleler bolsa sarkomany döredýär.

Rak keselinde deriniň öýjügindäki 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 çykaryrlar. Bu serişdeler antibakterial, kömelekler garsy, trankwilizatorlar hökmünde peýdalanylýar. Olar özlerinde aromati ki halkalary we galogenleri saklaýarlar we ýagtylygyň UMA bölegini siňdirýärler. Fotoallergenleriň beloklara fotohimiki birleşýändigini subut edilendir. Megerem, şol reaksiýa hem bedende ýagtylyga bolan 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, bedendäki fotoallergiýa reaksiýasyny aşakdaky shema bilen aňladyp bolýar:





### 8.3. FOTOHIMIÝATERAPIÝA

Ýagtylygyň bedenlere peýdaly täsir edýändigini hem bellidir. UM-şöhleler infuzoriýalaryň we amýobalaryň tebigy ölümüne azaldýar we bölünmek (köpelmek) hadysalaryny çaltlandyrýar. Eritemany döredýän suberitema ( $130 \text{ kJ/m}^2$ ) dozadaky UM şöhleler adamlarda käbir keselleriň önümini 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 fotodikeldiji fermentler çykyş edýärler.  $300\text{--}500 \text{ nm}$  tolkun uzynlykly ýagtylygyň täsiri astynda şol fermentler pirimidin dimerlerini fotomonomerleşdirýärler. UMB ( $\lambda=280\text{--}320 \text{ nm}$ ) şöhleler psoriaz deri keselini bejermekde ulanylýar. Psoriazy bejermekde belli bolan usullaryň iň netijelisi PUMA-terapiýadyr (psoralenler bilen UMA şöhleleri bilelikde peýdalanmak). PUMA-terapiýa witaligo deri keselini bejermekde hem iň netijeli usuldyr. Witaligo deriniň pigmentleşmeginiň gyradeň daldigi 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 (gerdejigi) içýär (ulgamlaýyn terapiýa). Serişdeler epidermise we derma siňeninden soň derini UMA-şöhleler bilen şöhlelendirýärler. Şöhlelenmäniň bir gezekki dozasy eritemany emele getirmeli dälidir. Bejeriş netijesini almak üçin bu amaly  $15\text{--}30$  gezek geçirmeli, bejergi  $1\text{--}2$  aýa çekýär, özem wagtyň geçmegi bilen deriniň pigmentleşmegi bolup geçýär. Emele gelen melanin pigmenti PUMA-nyň täsirini peseldýär, şonuň üçin bejerginiň soňunda UMA şöhlelendirmäniň güýjünü ulaltmaly.

Sensibilizatorlary peýdalanman fototerapiýa usuly täze doglan çagalarda sarygetirmäni bejermekde ulanylýar. Çagalarda sarygetirme – bedende bilirubiniň mukdarynyň birden köpelmegidir. Ol ähli adamlarda gemoglobinden emele gelip, bagryň üsti bilen gandan çykarylýar. Uly adamlarda bilirubiniň gandaky saklanýan kadaly mukdary  $1 \text{ mg}\%$ , täze doglan çagalarda bolsa bu görkeziji  $20 \text{ mg}\%$ -e ýetýär. (Täze doglan çagalaryň ilkinji günlerinde bagyrentek gandan bilirubini çykarmagy üpjün edip ýetişip bilene). Bi-

lirubin suwda erbet ereýär, ýöne ýagda gowy ereýär. Şol sebäpli ol beýniniň öýjüklerniň köp mukdarda ýygnanýar. Bu bolsa merkezi nerw ulgamynda öwrülişiksiz üýtgeşmeleriň bolmagyna getirýär. Bilirubin özüne görünýän 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 giňden 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 görünýän ýagtylyk bilen şöhlelendirilende çişleriň destruksiýasy bolup geçýär. Başda bu usul deridäki çişleri bejermekde ulanylýardy. Häzirki wagtda ýörite çäge ýagtylygy geçirijileriň kömegi bilen öýkendäki, garyndaky, gyzyldödekäki çişler hem bejerilýärler.

Bedene goýberilen porfirinleriň, köplenç, çişlerde ýygnanýanlygy sebäpli, olaryň goýy gyzyň reňkleri boýunça deridäki we beýleki organlardaky rak çişmeleriniň sanyny we ölçeglerini anyklamak bolýar. (Ragyň fotodinamiki terapiýasy barada aýratynlykda IX babuň 4-nji bölüminde seredip geçäris).

### 8.3.1. Puma-terapiýa

Gadymy döwürlerden bäri deri kesellerini bejermek üçin psoralenler – ýagny biologiki dokumalaryň uzyn tolkunly ultramelewşe şöhlelerine duýgurlygyny ýokarlandyrýan ösümliklerden alynýan fotosensibilizatorlar peýdalanylýar. Häzirki wagtda fotohimiýa-terapiýanyň iki görnüşü bellidir. Olaryň birinde porfirinler bilen bilelikde görünýän ýagtylyk howply çişleri ýok etmek üçin (fotodinamiki terapiýa) ulanylýar. Beýlekisinde bolsa, psoralenler bilen bilelikde uzyn tolkunly ultramelewşe şöhleler (PUMA terapiýa) deri kesellerini bejermekde peýdalanylýar.

Fotodinamiki terapiýa lukmançylygynyň täze ugurlarynyň biri bolup, ol XX asyryň ortalarynda döredi we häzirki wagtda amaly lukmançylykda giňden ulanylýar. PUMA terapiýa dünýäde öňden we giňden peýdalanylýar.

**Witiligo (leýkoderma)** – deri keselidir. Bu keselde deriniň käbir böleklerinde melanin pigmentlerini öndürýän öýjükler – melanositler ýitýärler we dargaýarlar. Deriniň bu bölekleri hiç wagt Günün 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. diýlip atlandyrylýan ösümlikleriň tohumlarynyň gaýnatmalary peýdalanylyp başlanylpydyr. Gaýnatmalar deriniň üstüne çalynpydyr ýa-da içilipdir we şondan soň bu kesele uçran adamlar bu ýurtlarda güneşli günleri köp bolan Günün ýagty şöhleleri bilen şöhlelendirilipdir. Bejergi geçirilenden soň käbir wagtyň geçmegi bilen deride pigmentleriň emele gelmegine getiripdir. Ýagtylyksyz gaýnatmalar täsir etmändir, sebäbi olar diňe sensibilizator bolmak bilen öz-özlerinden işjeňleşip bilmeýärler. Şol döwürlerde gaýnatmadaky 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, Günün 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 ýada deriniň ýanmagy ýaly zyýanly täsirlerden goramaga mümkinçilik berdi. Şol wagtdan PUMA terapiýanyň häzirki zaman ösüşi başlady. PUMA terapiýa bolan gyzyklanma onuň köp ýaşran keselleriň biri bolan psoriaz keselini bejermekde hem ulanylyp boljakdygy bilnenden soň has hem artdy. Psoriaz keseli bilen bütün planetanyň adamlarynyň 3–5%-i keselleýär. Psoriazda epidermisiň bazal öýjükleriniň köpelmegi tizleşýär we netijede deriniň galňamagy – psoriaz düwmeleriniň emele gelmegi başlanýar. Deriniň zeperlenen ýerleri gijeýär. Deride bu keseliň ýaýramagy näsagyň işe ukyplylygyny peseldýär.

Psoralenler iýmit üçin ulanylýan köp ösümlüklerde 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, köplenç, 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 öwrülišikli 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» şöhleleri bilen şöhlelendirilende ýagdaýyň doly üýtgeýändigini görkezdiler. Tolkun uzynlygy 320 nm-den uly bolan şöhleleri psoralenlerden tapawutlylykda DNK-nyň molekulalary siňdirmeyärler. Psoralenler, tersi-

ne, 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. Grosswayner 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 dargadýarlar, eritrositleriň we fagositleriň membranalarynyň geçirijiligini ulaldýarlar. Psoralenleriň fotookislenen önümleri eritrositlere goşulanynda olaryň gemolizi ýüze çykýar.



Has ýokary energetiki derejeden pes derejä geçende atom ýa-da molekula energiýasyny berýär, olar pes energetiki derejeden ýokary derejä geçende bolsa energiýany siňdirýär.

*Atom esasy ýagdaýda diňe energiýany siňdirmäge ukyplydyr.*

Iki görnüşli kwant geçişlerini tapawutlandyryňlar:

1) atom ýa-da molekula tarapyndan elektromagnit energiýasynyň şöhlelenmesiz ýa-da siňdirilmesiz geçişi. 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 şöhlelenendirilýän energiýa şöhlelenmek spektrini, olar tarapyndan siňdirilýän energiýa bolsa siňdirilmek spektrini döredýärler.

*Kwant geçişleri islendik energetiki derejeler arasynda amala aşyrylýan däldirler.*

Amala aşyryljak ýa-da amala aşyrylmajak (ýa-da pes ähtimallykly) geçişleriň bolmak mümkinçilikleriniň şertlerini kesgitleýän seçip alyş (ýa-da gadagan ediş) düzgüniň bardygy 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 sebäple-rede baglydyrlar. (Mysal üçin, atoma ýa-da molekula daşky elektrik we magnit meýdanlarynyň täsir etmegi olaryň energetiki derejeleriniň bölünmegine getirýärler).

5f	_____	14
7s	_____	2
6p	_____	6
5d	_____	10
4f	_____	14
6s	_____	2
5p	_____	6
4d	_____	10
5s	_____	2
4p	_____	6
3d	_____	10
4s	_____	2
3p	_____	6
3s	_____	2
2p	_____	6
2s	_____	2
1s	_____	2

**9.1-nji surat.**

*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 mikrogram 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, böljelekleriň 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 şöhlendirilişini we siňdirilişini öwrenmekligiň barlag usuly hökmünde ulanmakda uly ähmiýetiniň bardygyny görkezýär.

Maddanyň kysymy (spektriň çeşmesi) boýunça atom, molekulýar we kristallaryň spektrlerini tapawutlandyryrlar.

## 9.2. LÝUMINESSENSIÝA

Ýagtylygynyň şöhlelenmesi diňe bir maddalaryň gyzdyrylmagynda bolup geçmän, eýsem-de bolsa beýleki hadysalarda-da, mysal üçin, gazlardaky elektrik zaryadsyzlanmasynda, 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 çykyan



şöhlemenmeden başga ähli beýleki ýüze çykýan şöhlemenmäniň görnüşlerine lýuminessensiýa diýilýär.

Lýuminessensiýanyň şöhlemenmek dowamlylygy ( $\sim 10^{-10}$  s) ýagtylyk tolkunlarynyň şöhlemenmek periodyndan ( $\sim 10^{-15}$  s) has ýokarydyr. Lýuminessent şöhlemenme 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 şöhlemenmäniň 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 şöhlemenmesiniň täsiri astynda ýüze çykýar;

4) *elektrolýuminessensiýasy* – ol elektrik meýdanynyň täsiri astynda ýüze çykýar (mysal üçin, elektrik zarýadsyzlanmasynda gazlaryň şöhlemenmekligi);

5) *hemilýuminessensiýa* – ol himiki reaksiýalaryň käbir görnüşlerinde ýüze çykýar;

6) *fotolýuminessensiýa* – ol optiki şöhlemenmäniň täsiri astynda ýüze çykýar;

7) *biolýuminessensiýa* – ol janly bedenleriň (bakteriýalaryň, kömelejikleriň, mör-möjejekleriň) ýagtylanmaklygydyr.

*Lýuminessensiýa* – bu kwant prosesidir, onuň mehanizmi kwant mehanikasy nukdaýnazaryndan düşündirilýär. Ýöne ol Boruň nazaryýetiniň kömegi bilen hem seredilip bilner. 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 geçişe ters bolan geçişde (ýagny özünden aşakdaky derejä ýa-da esasy derejä bolan geçiş amala aşyrylsa) foton şöhlenenýär, onuň energiýasy derejeleriň arasyndaky energiýalaryň aratapawudyna deňdir.

Lýuminessensiýa prosesinde ýüze çykýan şöhlelenmäniň dowamlylygyna baglylykda flýuoressensiýany we fosforessensiýany tapawutlandyryrlar.

*Gysga wagtlaýyn 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

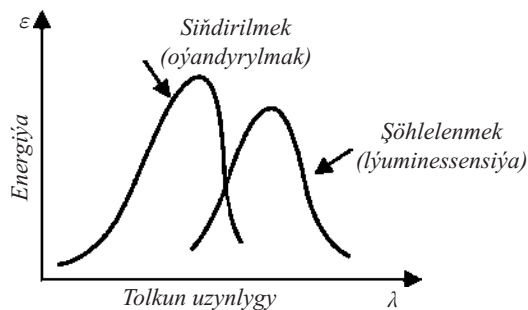
*Optiki diapazondaky şöhlelenmäniň täsiri astynda ýüze çykarylýan şöhlelenmä fotolýuminessensiýa diýilýär.* Ol görünýän şöhlelenme bolup durýandyr hem-de, köplenç, ultramelewşe (UM) şöhleler bilen oýandyrylýandyr. Maddanyň atomlary öz üstüne düşýän şöhlelenmäni siňdirmek bilen oýandyrylýarlar we has uzyn tolkunly lýuminessent şöhlelenmäni ýüze çykarýarlar. Fotolýuminessensiýanyň molekulýar şöhlelenmek spektri bardyr (zolak-zolaklaýyn ýa-da tutuşlaýyn) hem-de ol her madda üçin mahsus häsiýete eýedir.

Optiki şöhlelenme diýlip rentgen şöhlelelerine ( $\lambda \approx 1 \text{ nm}$ ) 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 ( $h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ );  $\nu$  – şöhlelenmäniň ýygylygy.



9.2-nji surat.

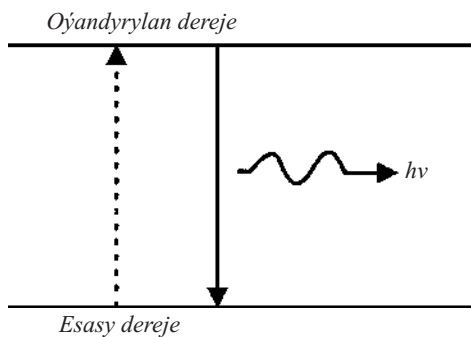
Fotolýuminessensiýanyň spektri we onuň maksimumy onuň ýüze çykmaklygyna sebäp bolan siňdirilen şöhlenenmäniň spektrine garanda has uzyn tolkuna tarap süýşýändir (9.2-nji surat):

$$hv' \leq hv \text{ ýa-da } \lambda' > \lambda,$$

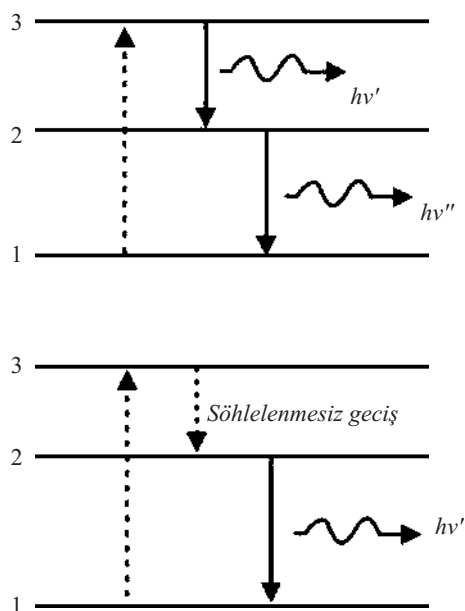
bu ýerde  $hv'$  we  $\lambda'$  – deňşililikde, şöhlelendirilýän fotonyň energiýasy we tolkun uzynlygy;  $hv$  we  $\lambda$  – deňşililikde, siňdirilýän fotonyň energiýasy we tolkun uzynlygy.

*Bu düzgüne Stoksyň düzgüni ýa-da kanuny diýilýär.*

Energiýasy « $hv$ » deň bolan foton ( $E = hv$ ) 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 ýygyllykly ( $\nu$ ) ýagtylygyň fotonyň şöhlemenmekligi mümkindir. Şeýle hadysa *rezonans flýuoressensiýa diýilýär* (9.3-nji surat).



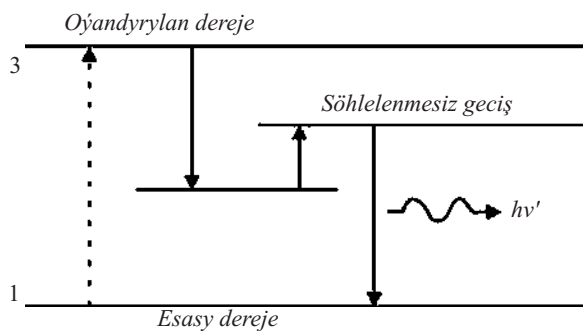
9.3-nji surat.



9.4-nji surat.

Bu fotolýuminessensiýanyň has sada ýagdaýy bolup durýandyr we ol adatça bir atomly buglarda we gazlarda bolup geçýändir.

Umuman alnanda, atom ýa-da molekulada öz oýnadyrylan derejesinden esasy ýagdaýa aralyk derejeleriniň üsti bilen gaýdyp gelýär. Şunlukda, şöhlelenmek bilen bolup geçýän geçişleriň şöhlelenmesiz geçişler bilen gezekleşip gelýän ýagdaýlarynyň hem bolmaklygy mümkinidir (9.4-nji surat).



9.5-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 ( $h\nu'$ ) şöhlelendirmek 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).

### 9.2.2. Fotolýuminessent derňewi

Lýuminessent derňewi – bu lýuminessensiýanyň kömegi bilen dürli obýektleriň we hadysalaryň ýüze çykarylmalýgydyr hem-de olaryň barlanmagydyr. Derňew obýektleriň ýagtylanmagyna gösgöni wizual ýa-da enjamlaryň ulanylmagy bilen gözegçilik edilmek boýunça geçirilýär.

Lýuminessent derňewi örän pes konsentrasiýaly, ýagny maddanyň 1 gramyna  $10^{-10}$  grama çenli lýuminofor 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 görnüşi oýandyryjy ýagtylygyň tolkun uzynlygyna bagly däldir. Molekulanyň üstüne düşýän ýagtylygyň ähli energiýasyndan diňe onuň käbir bölegi molekula tarapyndan siňdirilýär. Ýagny siňdirilen energiýanyň diňe kabir bölegi lýuminessensiýa görnüşinde şöhlelendirilýär, galan bölegi bolsa ýylylyga öwrülýär we şöhlelenmeklige gatnaşýan däldir. Diýmek, şuna baglylykda, lýuminessensiýanyň şöhleleniş ýitiligi (derejesi) oýandyryjy ýagtylygyň şöhleleniş ýitiliginden (derejesinden) pesdir.

Lýuminessensiýa hadysasynda goýberilýän kwantlaryň sanynyň ( $N_g$ ) siňdirilýän kwantlaryň sanyna ( $N_s$ ) bolan gatnaşygyna lýuminessensiýanyň kwant çykyşy ( $\varphi$ ) diýilýär, ýagny

$$\varphi = \frac{N_g}{N_s}.$$

Lýuminessent derňewiň kömegi bilen geçirilýän ähli lukmançylyk barlaglary 2 topara bölünýärler: 1) ilkişadaky ýagdaýynda lýuminessirlenýän obýektleriň öwrenilmegi; 2) ýörite lýuminoforlaryň (belgileriň) kömegi bilen reňklenýän obýektleriň öwrenilmegi.

Lýuminessent derňewi şu aşadaky ýagdaýlarda ulanylýar:

- 1) fiziologiki prosesler öwrenilende;
- 2) dermanlaryň girizilmekligi we olaryň öwrülişikleri (dargamaklygy) bilen baglanyşykly barlaglarda;
- 3) keselleriň anyklanylmagynda.

### **9.2.3. Lýuminessent belgiler we zondlar, olaryň lukmançylykda hem-de biologiýada ulanylmaklygy**

Barlaglaryň görkezişi ýaly, köplenç ýagdaýda organiki molekulalar lýuminessirlenýärler. Olarda uglerodyň atomlarynyň arasynda ýekeleşýin we ikileýin baglanyşyklar gezeleşip gelýärler. Himiki taýdan şeýle baglanyşyklara çatyrym baglanyşyklar diýilýär. Şeýle molekulalara bolsa lýuminessent zondlar (membrana bilen kowalent däl baglanyşyk) we lýuminessent belgiler (himiki baglanyşyk) diýilýär. Belgiler has ýiti şöhlenmelidirler; 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. Bedeniň dokumalarynyň we öýjükleriniň köpüsi ultramelewşe şöhlenmäniň täsiri astynda lýumi-

nessirlenýärler, çünki olarda lýuminessirlenýan birleşmeler bardyrlar we hemilýuminessent hadysalar bolup geçýändirler.

Himiki reaksiýa bilen bolup geçýän lýuminessensiýa hemilýuminessensiýa diýilýär. Ol ýa-da gönüden-göni reaksiýanyň önümleri tarapyndan şöhlelenýär, ýa-da reaksiýanyň önümleri tarapyndan energiýanyň geçirilmegi netijesinde oýandyrylýan beýleki komponentler tarapyndan şöhlelenýär.

Hemilýuminessensiýanyň ýagtylanyş 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 ýagtylanmaklygyň çeşmesi bolup durýandyrlar. Lýuminessensiýanyň häsiýeti käbir keselleriň täsiri astynda üýtgeýär. Köplenç, derňew maksatlary üçin, tebigy lýuminessensiýa gözegçilik edilmän, dokumalar lýuminoformalar bilen reňklenenden soň ýüze çykýan lýuminessensiýa gözegçilik edilýär. Lýumimoforyň ergininiň wenanyň içine ýa-da deriniň astyna goýberilmegi adam bedeniniň organlarynyň funksional ýagdaýyny öwrenmeklige mümkinçilik berýär. Şeýle usuly ganüpjünçiligi pes bolan ýerleri kesgitlemek üçin, damarlaryň syzyjylygyny we derman serişdeleriniň täsirini öwrenmek üçin ulanyp bolýandyr. Lýuminessent derňewi dermanlaryň bedene girizilmekligine we ondan çykarylmaklygyna gözegçilik etmeklikde lukmanlara ýakyndan 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 lukmançylykda lýuminessent anyklanylyş usuly ulanylýar – ýagny ýokanç kesellerini döredijileri (bakteriýalar, wiruslar, kömelejekler) ýüze çykarmakda lýuminessensiýanyň ulanylmagy. Mysal üçin, lýuminessensiýanyň mikrosporlary – saçlaryň kömelejekli kesellesmesini döredijileri (ýaşyl ýagtylanma) ýüze çykarmakda ulanylyşy. Difteriýanyň, heýwere keseliniň, gyzzyrma keseliniň, inçekeseliň

anyklanyş 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.

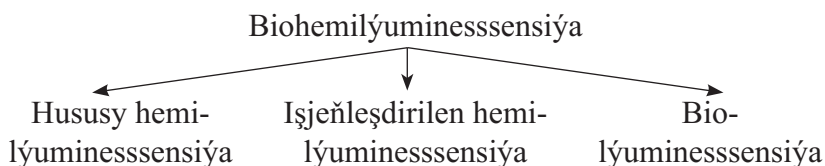
Lýuminessent usullaryň kömegi bilen membranalaryň molekulýar gurluşy we funksionirlenmegi öwrenilýar. Lýuminessent zondlaryň kömegi bilen biologiki işjeň birleşmeleriň öýjük we içkiöýjük membranalary bilen özara täsiri, şeýle hem patologiki hadysalarda membranalaryň strukturasynyň we funksiýalarynyň üýtgemekligi barlanýar.

Ulanylyş usuly boýunça ähli zondlar üç topara bölünýärler: 1) suw erginleriň zondy – olaryň membrana potensialyna, turşulygyň gradiýentine bolan ýokary duýujylygy 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 derňewi biziň daş – töweregimizi gurşap alan suw we howa gurşawlarynyň arassalygyny, hapalygyny kesgitlemek üçin hem ulanylýar.

### 9.3. BIOHIMIKI REAKSIÝALARYŇ GEÇMEKLIKINDE ÝÜZE ÇYKÝAN ŞÖHLELENME

#### Biologiki ulgamlardaky hemilýuminessensiýa





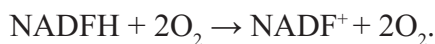
Himiki reaksiýalar geçýärkä ýüze çykýan şöhlelenmä hemilýuminessensiýa (HL) diýilýär. Bedeniň ýaşayyş derejesini üpjün edýän proseslerde gowşak şöhlelenme – ýagny öýjükleriň we dokumalaryň hususy şöhlelenmesi bolup geçýär. Göz tarapyndan görülyan ak ýagtylygy şöhlendirýän bedenler biolýuminessensiýa hadysasyny ýüze çykarýarlar. Hemilýuminessensiýany birnäçe mün esse güýçlendirýän maddalar (işjeňleşdirijiler) bardyrlar.

Öýjükleriň we dokumalaryň hususy şöhlelenmesi üç görnüşli reaksiýalar bilen baglanyşyklydyrlar:

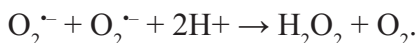
*a* – kislorodyň işjeň görnüşleriniň (KIG) gatnaşmagyndaky reaksiýalarda ýüze çykýan şöhlelenme; *b* – lipidleriň zynjyr (aşa) okislenme reaksiýalarynda ýüze çykýan şöhlelenme; *ç* – azodyň okisiniň gatnaşmagyndaky reaksiýalarda ýüze çykýan hemilýuminessensiýa.

**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  $O_2^{\cdot-}$  we gidroksiliň radikaly  $HO^{\cdot}$  degişlidirler. Öýjükler – fagositler, ýagny ganyň granulositleri hemde monositler we dokuma makrofaglary adam bedeninde KIG-ň esasy çeşmeleri bolup durýandyrlar.

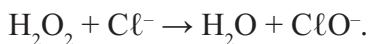
Fagositleriň membranalary özlerinde NADFH – oksidaza fermentatiw kompleksi saklaýarlar, ol kompleks kislorodyň iki molekulalasynyň superoksid radikala çenli dikeldilmeginiň hasabyna NADFH-y  $NADF^+$ -e çenli oksilendirýär:



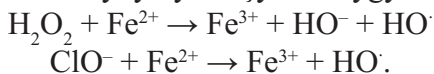
Iki sany superoksid radikallaryň biri-birleri bilen täsir edişmegi netijesinde wodorodyň aş a okisi we kislorod ýüze çykýar:



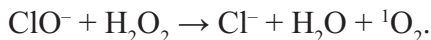
Fagosit daşky gurşawa KIG-i we başgada birnäçe fermentleri bölüp çykarýar, olaryň içinde iň esasysy – miýeloperoksidaza fermentidir. Bu ferment hloruň anionyndan we wodorodyň aş a okisinden gipohloridiň ýüze çykmak reaksiýasyny katalizirleýär:



Metallaryň ionlarynyň gatnaşmagynda, mysal üçin, demriň ionlarynyň gatnaşmagynda, wodorodyň aşa okisinden we gipohlorid-den gidroksiliň radikallarynyň ýüze çykmaklygy bolup geçýär:



Şeýlelik bilen, del (gaýry) 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 tarypyndan açyldy. Hususy şöhlelenmäniň ýüze çykmaklygyna kislorod radikallarynyň, wodorodyň aşa okisiniň we gipohloridiň aralarynda bolup geçýän reaksiýalarda singlet (oýandyrylan) kislorodyň döremekligi sebäp bolýar diýlip hasap edilýär, ýagny

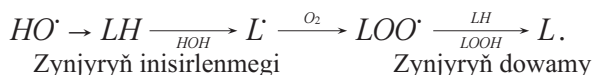


Singlet ýagdaýdaky kislorod spektriň infragyzy (IG) böleginde (tolkun uzynlygy 1270 nm) ýagtylygyň kwantyny şöhlelendirmek bilen (hemilýuminessensiýa) kislorodyň esasy (triplet) ýagdaýyna geçýär, ýagny



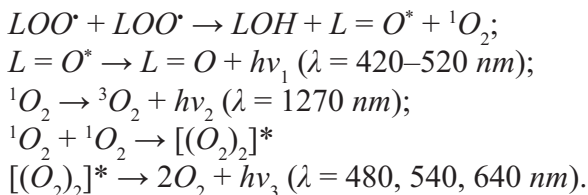
Mundan başga-da, singlet kislorodyň molekulalary, kislorodyň oýandyrylan dimerlerini ýüze çykaryp bilýärler, olar bolsa esasy ýagdaýa geçenlerinde görünýän diapazondaky ýagtylygy şöhlelendirýärler ( $\lambda = 635 \text{ nm}; 580 \text{ nm}; 535 \text{ nm}$ ).

**b) Lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýalarynda ýüze çykyan şöhlelenme.** Öýjükleriň membrana strukturalaryndaky we ganyň lipoproteinlerindäki lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýalary hususy hemilýuminessensiýanyň çeşmesi bolup durýarlar. Reaksiýa lipidleriň erkin radikallarynyň  $L^\cdot$  we lipoperoksidleriň  $\text{LOO}^\cdot$  gatnaşmaklygynda şeýle görnüşde bolup geçýär:



*Lipidleriň zynjyr okislenme reaksiýasynyň geçiş yzygiderligi.*

Zynjyrdaky radikallar özara biri-birleri bilen täsir edişip bilýärler. Lipoperoksidiň iki radikallarynyň özara täsir ediş reaksiýasynda ketonyň molekulalary we kislorodyň elektron-oýandyrylan ýagdaýdaky molekulalary ýüze çykýarlar, olar bolsa – esasy ýagdaýa geçmek bilen, ýagtylygyň kwantynyň şöhlendiriýärler.



Ulgamda  $LOO\cdot$  radikallar näçe köp bolsa, onda şonça-da hemilýuminessensiýa ýokary derejede bolup geýýändir. Erkin radikallar bilen täsir edişýän we lipidleriň zynjyr okislenmegini togtadyan maddalar (antioksidantlar, mysal üçin, tokoferol – witamin *E*) hemilýuminessensiýany peseldýärler. Bu maddalar adam bedenini erkin radikallaryň zyýanly täsirlerinden gorap bilýärler.

**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 funksiýasyna eýedir (wazodilatasiýa), bu bolsa organlaryň gan üpjünçiliginiň ýokarlanmaklygyna we umumy gan basyşynyň peselmekligine getirýär. Azodyň okisi öýjükler – fagositler tarapyndan bölünip çykarylýarlar we mikrobodenleriň garşysyna göreşmeklige gatnaşýarlar. Azodyň okisi bilen superoksidiň reaksiýasynda örän zäherli bolan birleşme – peroksinitrit döreýär:



Peroksinitritiň belok bilen reaksiýasy şöhlelenmäniň ýüze çyk-maklygyna getirýär, ol bolsa öz gezeginde bütewi organyň şöhlenmesine möhüm derejede goşant goşýar.

Şeýlelik bilen, dokumanyň hususy şöhlelenmesi üç görnüşli reaksiýalar bilen kesgitlenýär. Olara şular degişlidirler: 1) KIG-ň reak-

siýalary; 2) lipidleriň zynjyr okislenmegi; 3) azodyň okisiniň reaksiýalary.

**Hususy hemilýuminessensiýanyň ulanylmaklygy. Laboratoriýa derňewiniň 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 derňewleriň netijeleri keseli anyklamak üçin, bejerilişiň netijeliligine gözegçilik etmeklik üçin ulanylýar. Ýöne, köplenç ýagdaýda kliniki amalda hemilýuminessensiýany işjeňleşdirijileriň gatnaşmaklygynda ulanýarlar. Hususy hemilýuminessensiýa membranalardaky we ganyň plazmasynyň lipoproteinlerindäki lipidleriň zynjyr okislenme mehanizmi öwrenilende giňden ulanylýar. Şöhlelenme beden üçin zyýanly bolan hadysalary suratlandyrýar: onuň esasyňy öýjük strukturalaryny dargatmak (bozmak) ukyplygyna eýe bolan we şoňa baglylykda adamyň kesellemekligine getirýän radikallaryň reaksiýalary düzýändir.

#### 9.4. RAGYŇ FOTODINAMIKI TERAPIÝASY

Onkologiki kesellemeler dürli-dürlüdürler we olar öz hususy öýjükleriniň täzeden döremekligi bilen baglanyşyklydyrlar. Rak öýjükleri özleriniň köpeliş depginini kesgitli derejede saklamak ukyplygyna eýe dældirler we olar bölünenlerinde giňişlikdäki ähli mümkin bolan ýerleri doldurmaklyga ukyplydyrlar. Rak çişiniň ösüşi 1 – mutirlenen öýjükden başlanýar, onuň sany soň çalt köpeliýär.

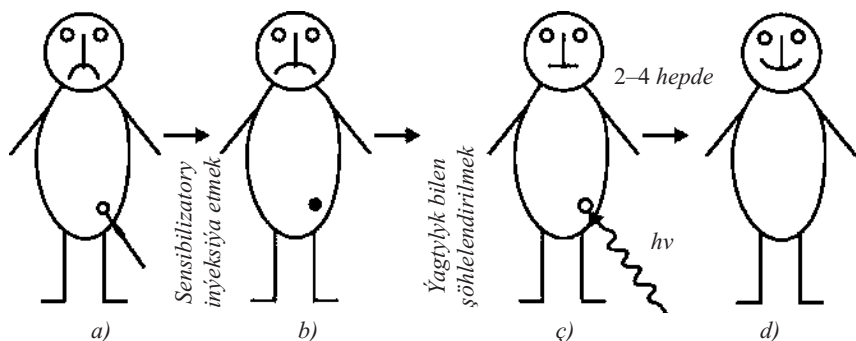
Çiş aýrylanda kadaly ýagdaýdaky öýjüklere degilmän, mümkin boldugyça şikeslenen öýjükleriň selektiw (saýlanyp alnyp) ýok ediliş usullary ulanylmalydyr. Fotodinamiki terapiýa şeýle täsir ediliş usullarynyň biri bolup durýandyr. Rak öýjügi reňklenen maddalary (porfirinleri) selektiw toplan we olary käbir wagt aralygynda saklap bilýändir.

Fotodinamiki terapiýanyň esasy manysy şundan ybaratdyr, ýagny porfirinleriň toplanan ýerine diňe olary oýandyrylan ýagdaýa getir-

ýän tolkun uzynlykly ýagtylyk bilen täsir edilýär. Şunlukda, sagdyn öýjüklere zeper ýetmez ýaly, ýagtylygyň umumy energiýasy belli bir kesgitli ululykdan ýokary bolmaly däl. Onkologiýada ulanylýan fotodinamiki terapiýa usulynda (FTU) täsir edilişin himiýaterapiýa we fiziki usullary utgaşdyrylýar (9.6-njy surat).

Şu usulyň 1-nji tapgyrynda näsaga, adatça onuň wenasynyň içine, sensibilizatoryň ergini goýberilýär. 2-nji tapgyrda çişde sensibilizatoryň toplanmagy bolup geçýär. Sensibilizatoryň flýuorensensiýasy boýunça çişin ölçegleri we ýerleşýän ýeri kesgitlenýär. 3-nji tapgyrda şikeslenen ýer 15–20 minudyň içinde kesgitli tolkun uzynlykly ýagtylyk bilen şöhlelendirilýär. Ýagtylyk çeşmesi bolup, adatça lazer we ýagtylykgeçiriji ulgam hyzmat edýär, ol ýagtylygy içki organlara ýetirmeklige mümkinçilik berýär. Özünde sensibilizatorlary saklaýan çişin ojagynda ýokary zäherlikli fotohimiki öwrülişikler 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).

Sensibilizatoryň öýjüge geçirilişi ganyň dürli komponentleriniň hasabyna amala aşyrylýar. Öýjügiň şöhlelendirilmegi netijesinde



#### 9.6-njy surat. Ragyň fotodinamiki terapiýasynyň esasy tapgyrlary

a) bedene sensibilizatoryň girizilmegi; b) çişde sensibilizatoryň toplanmagy; çişin anyklanylmagy; c) şikes ýeten ýeriň gyzyly ýagtylyk bilen şöhlelendirilmegi; d) çişin nekrozy.

onda fotohimiki hadysalar bolup geçýär, onuň esasynda 2 mehanizm bardyr.

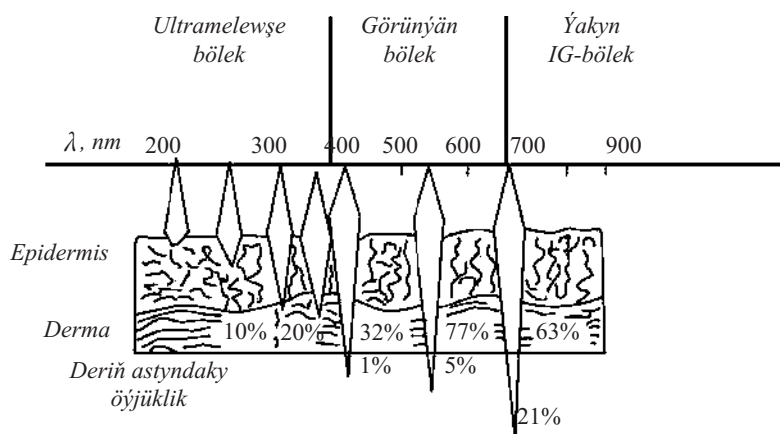
1-nji kysymly (mehanizmde) reaksiýalarda sensibilizatoryň işjeň görnüşi döreýär, olar substratyň molekulalary bilen özara täsir edişýärler. Sensibilizatoryň molekulasy (C) ýagtylygyň täsiri astynda oýandyrylan (C\*) ýagdaýa geçýär (a-deňlik). Soň bu molekula substratyň molekulasy bilen reagirleşýär we iki radikaly berýär (b-deňlik). Sensibilizatoryň gidrirlenen görnüşi howanyň kislorody bilen okislenýär we ilkişadaky strukturasyna geçýär (ç-deňlik). Substratyň radikaly R• beýleki substratlary hem okislendirip bilýär ýa-da kislorody birleşdirmek bilen radikalyň aşa okisini RO<sub>2</sub>\* emele getirýär (d-deňlik).



Fotohimiki hadysanyň 2-nji mehanizminde sensibilizatoryň oýandyrylan molekulasy kislorod bilen täsir edişýär we şunlukda kislorodyň işjeň görnüşi <sup>1</sup>O<sub>2</sub> emele gelýär. Ol ýokary täsire we öýjügiň içindäki elementleri has işjeň okislendirmek ukyplygyna eýedir. Täsir edişiniň 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 zäherlilikge eýe bolmalydyrlar we bedenden aňsatlyk bilen çykarylmaladyrlar; 3) olar deride az toplanmalydyrlar; 4) olar saklananda we bedene goýberilende durnukly bolmalydyrlar; 5) olar çişini ygtybarly anyklanmagy üçin oňat lýuminessensiýa eýe bolmalydyrlar; 6) olar energiýasy 94 kJ/mol-dan az bolmadyk ýokary kwant çykyşyna eýe bol-



9.7-nji surat.

malydyrlar; 7) şöhlelenmäniň 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.

Häzirki wagtda fotodinamiki terapiýa usuly üçin şular ýaly preparatlar ulanylýarlar: fotofrin, porfisenler (ABŞ); fotogem, fotosens (Russiýa); gemoporfirin (Angliýa); benzoporfirinler (Kanada).

Fotofrin preparaty öýkenleriň, aşgazanyň, gyzyldödegiň, ýatgynyň, peşew haltasynyň ragyny bejermek üçin rugsat berilýär.

XX

## **X bap. RENTGEN ŞÖHLELERİ, ONUŇ MADDA BOLAN TÄSİRİ. RENTGEN ŞÖHLELERİNİŇ LUKMANÇYLYKDA ULANYLYŞY**

### **10.1. RENTGEN ŞÖHLELERİNİŇ FIZIKI TEBIGATY WE HÄSIÝETLERİ**

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 eliniň hemme barmaklarynyň oňat görnüp duran ýagty fonunda süňkleriň garamtyl kölegesi görnүpdir.

Zarýadsyzlanma turbajygy işlände şol wagta çenli belli bolmadyk haýsy hem bolsa bir üýtgeşik häsiýetli, maddanyň içinden ýokary geçijilik ukybyna eýe bolan şöhläniň döreyändigine Rentgen düşünişdir. Ol ony «x-şöhleleri» diýip atlandyrypdyr. Soňra ol şöhleleri onuň hatyrasyna «rentgen şöhleleri» diýip atlandyrmak kabul edilipdir.

1904-nji ýylda alym J. Stoks rentgen şöhleleriniň tolkun uzynlygynyň ululygy boýunça örän gysga bolan elektromagnit tolkun-



laryndan durýandygy baradaky çaklamany öňe sürýär. Ondan biraz-rak soň inlis alymy Ç.Barkla şeýle çaklamanyň dogrudygyny tejribe üsti bilen tassyklaýar. Ol rentgen şöhleleriniň gelip çykyş tebigaty boýunça gyzga tolkun uzynlykly 80-den 0,0001 *nm* çenli bolan elektromagnit tolkunlaryndan ybaratdygyny anyklaýar.

Tolkun uzynlygy ( $\lambda$ ), 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. Lukmançylykda tolkun uzynlygy 1,0-den 0,006 *nm* çenli bolan RŞ-ulanylýar.

Rentgen şöhleleri adamyň gözüne görünýän däldir, 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, döwürlýärler, polýarizasiýa we difraksiýa hadysalaryny ýüze çykarýarlar. Bu hadysalara gözegçilik etmeklik rentgen şöhlesiniň tolkun uzynlygynyň gysgadygyna görä örän kyndyr.

Rentgen şöhleleriniň döwürlýändigini ilkinji bolup şwed alymy W.Stenser 1919-njy ýylda kristallarda difraksiýa hadysasyny öwrenende açdy.

Ýagtylyk şöhleleriniň göniçyzykly ýaýramak ugrundan gyşaryp kiçi ölçegli päsgelçilikleriň daşyna öwrülip geçmegine *difraksiýa diýilýär*. Difraksiýa hadysasy ýagtylygyň tolkun tebigatyndan gelip çykýandyr.

Ýagtylygyň ýaýramak tizligi berlen gurşawda onuň tolkun uzynlygyna (ýa-da ýygylygyna) baglydyr. Şeýle hadysa *ýagtylygyň dispersiýasy diýilýär*.

W. Stenseriň geçiren ölçegleri we beýleki şol ugurdan işleýän alymlaryň işleriniň netijeleri rentgen şöhleleriniň döwürl-

me 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 çykýandyр, oňa laýyklykda RŞ-niň döwülme görkezijisi şeýle deňlik bilen kesgitlenýär.

$$n = 1 - \frac{N \cdot e^2}{2 \cdot Z \cdot m \cdot v^2}, \quad (60)$$

bu ýerde  $n$  – döwülme görkeziji;  $N$  – maddanyň göwrüm birligindäki optiki elektronlaryň sany; « $m$ » we « $e$ » – deňşililikde elektronlaryň massasy we zaryady;  $v$  – şöhlemenäniň ýygylygy.

Bu deňlige G.Mozliniň (1887–1915) deňligi diýilýär.

Şeýle hem G.Mozliniň deňliginden haçan-da RŞ-ri howadan has dykyz gurşawa geçende doly içki serpikmäniň bolup bilmek mümkinçiliginiň bardygы gelip çykýandyр.

RŞ-niň maddalaryň içinden güýçli geçijilik ukybyna eýe bolmaklygy we olaryň beýleki aýratynlyklary tolkun uzynlygynyň ( $\lambda$ ) gysgalygy bilen baglanyşyklydyр. Tolkun uzynlygynyň gysga bolmaklygyna görä, RŞ-niň tolkun häsiýetlerini ýüze çykarmak ilkibaşda 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 M. Laue (1879–1960 ý.) ýüze çykarypdyр.

1913-nji ýylda rus alymy G.W.Wulfyň (1863–1925 ý.) we iňlis alymlary G. we L. Breggleriň [(1862–1942 ý.) we (1890–1971ý.) deňşililikde] 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;  $\theta$  – RŞ-niň atom tekizligine bolan düşme burçы we edil şol burça deň bolan serpikme burçы;  $k$  – bitin san, ( $k = 1, 2, 3, \dots$ ; olar difraksiýa maksimumynyň tertibini görkezýärler);  $\lambda$  – tolkun uzynlygy.

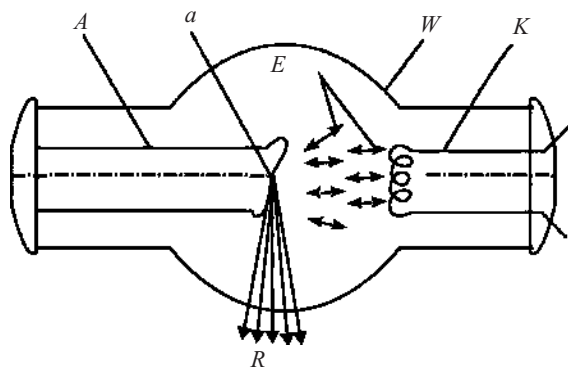
Bu kanuna Wulfyň-Breggleriň kanuny diýilýär. Wulfyň-Breggleriň kanuny rentgenstruktura analiziň esasy bolup hyzmat edýär.

## 10.2. RENTGEN ŞÖHLELENMESINI ÝÜZE ÇYKARÝAN ÇEŞME (RENTGEN TURBAJYGY)

Rentgen şöhlesini döredýän çeşme hökmünde rentgen (ýagny elektron – wakuum) turbajygy has giň ýaýrandyr (10.1-nji surat).

Rentgen turbajygy aýnadan ýasalan, içinde iki sany elektrody (A – anod we K – katod) bar bolan *W* – wakuum kolbadan ybaratdyr. Kolbanyň içindäki basyş  $\sim 10^{-6} - 10^{-7}$  mm sim.süt. ( $1,33 \cdot 10^{-4} - 10^{-5}$  Pa) deňdir. Elektrodlara ýokary naprýaženiýe berilýär.

Spiral görnüşli, ýokary temperatura çenli (2700–3300 K) gyzdyrylýan simden ybarat bolan katod (K) elektronlaryň çeşmesi bolup hyzmat edýändir. Adatça K katod hökmünde termoelektron emissiýanyň hasabyna elektronlary goýberýän wolfram spiraly ulanylýar. Anod (A) – metal steržendir, onuň käbir burç astynda gysyk kesilen ujundaky kese-kesiginde ýokary tertipli atom belgili metal-dan 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,



10.1-nji surat.

A – anod; K – katod; a – anodyň maddasy; W – wakuum kolbasy; E – elektronlar; R – rentgen şöhlesi

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) gysyk görnüşdedigine görä, rentgen şöhleleriniň «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 gyzyýar. 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 salnyp sowadylmagy has amatly usul bolup durýandyr. Uzakdowamlaýyn häsiýetli işde (rentgenterapiýa we rentgendefektoskopiýa) anoddan ýylylygy aýyrmak üçin onuň boşlugyndan nasosyň kömegi bilen izolýasiýa ýagy goýberilýär. Şeýle hem gyzmaklygyň önüni almaklyk üçin aýlanýan görnüşli anod ulanylýandyr.

Lukmançylykda 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.

**a) Häsiýetli rentgen şöhlelenmesi.** Häsiýetli şöhlelenme ýokary tertip belgili atomlaryň içki gatlaklaryndaky (K, L, M, N

gatlaklar) energetiki derejeleriň arasynda elektronlaryň ýokarky gatlakdan aşaky gatlaga 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 geçär (10.2-nji «a» surat). Şunlukda, foton şöhlelenýär, onuň energiýasy geçiş derejeleriniň energiýalarynyň aratapawudyna deňdir, ýagny

$$h \cdot \nu = E_2 - E_1, \quad (62)$$

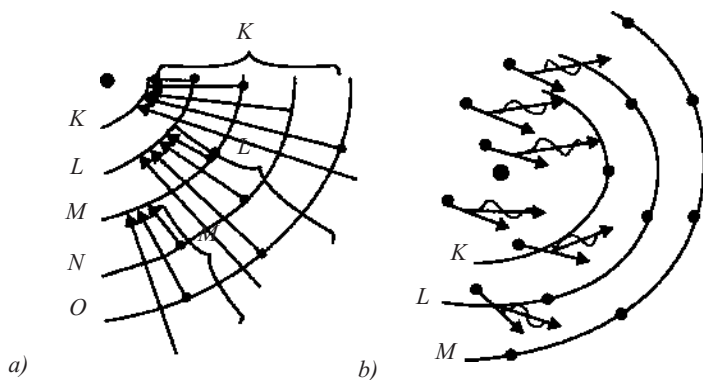
bu ýerde  $E_2$  we  $E_1$  – degişlilikde, geçiş derejeleriniň energiýasy;  $h$  – Plankyň hemişeligi ( $h = 6,6261 \cdot 10^{-34} \text{ J}\cdot\text{s}$ );  $\nu$  – şöhlelenmäniň ýygylgy.

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:

$$E = h \cdot \nu.$$



10.2-nji surat.

Elektronlaryň öz orbitasyndan çykarylmany 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 «a» surat).

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 ýygylklara tarap süýşýär:

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

bu ýerde  $\nu$  – 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.

**b) Elektronlaryň togtadylmagy bilen ýüze çykýan rentgen şöhlelenmesi.** Rentgen şöhleleriniň döremeginiň başga bir mehanizmi şu aşakdakylardan ybaratdyr.

Eger maddanyň içinden elektronlar toplумы (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 elektronyň 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 degişlilikde, magnit meýdanynyň güýjenmesiniň üýtgemekligine getirýär. Bu bolsa, belli bolşy ýaly, K. Makswelliň (1831–1879 ý.) nazaryýetine baglylykda, elektromagnit tolkunlaryny döredýär.

Şöhlenenme ýygylgy elektronyň başlangyç kinetik energiýasy-na we onuň togtamak intensiwligine (derejesine) baglydyr. Eger hatda elektronlaryň başlangyç kinetik energiýasy birmeňzeş bolanda hem olaryň togtadylmak şertleri dürli ýagdaýda bolup geçýändir, şonuň üçin hem şöhlenenýän fotonlar dürli energiýa eýe bolýarlar. Şoňa degişlilikde, fotonlaryň ýygylgy (ýa-da tolkun uzynlygy) hem dürli-dürlüdür. Şeýle şöhlenenmä elektronlaryň togtadylmagynda ýüze çykýan şöhlenenme diýilýär we onuň üznüksiz (tutuş) spektri bardyr.

#### **10.4. RENTGEN ŞÖHLELERINIŇ TURBAJYGA BERILÝÄN NAPRÝAŽENIÝÄ BAGLYLYKDAKY SPEKTRI. «GATY» WE «ÝUMŞAK» RENTGEN ŞÖHLELERI**

Elektronlaryň togtadylmagy bilen ýüze çykarylýan rentgen şöhlenenmesiniň rentgen turbajygyna berilýän dürli  $U$  naprýaženiýa baglylykda spektri (ýagny şöhlenenme energiýasynyň tolkun uzynlygyna bolan baglylygy) 10.3-nji suratda görkezilendir.

Spektr tolkun uzynlygy otnositel uzyn bolan  $\lambda_u$  tolkunlar bilen gysga tolkunlary çäklendirýän käbir  $\lambda_g$  tolkunlary (ýagny  $\lambda_u - \lambda_g$  çäkleri) öz içinde saklaýar. Tolkun uzynlygy  $\lambda_g$  ululyga deň bolan gysga tolkunly şöhleler energiýasy maksimal bolan fotonlara degişlidir, ýagny

$$E_{mf} = h \cdot \nu_g = \frac{h \cdot c}{\lambda_g}. \quad (64)$$

Fotonlar şeýle energiýany diňe bir ýagdaýda, ýagny özlery hem maksimal  $E_{me} = e \cdot U$  energiýa eýe bolan elektronlaryň doly suratda togtadylýan wagtlarynda alyp bilerler (bu ýerde  $e$  – elektronyň zarýady).

Eger-de elektronlar özleriniň şeýle energiýasyny fotona doly suratda geçirseler, onda olaryň energiýalary özara deň bolýarlar, ýagny

$$E_{mf} = E_{me} \text{ ýa-da } \frac{h \cdot c}{\lambda_g} = e \cdot U, \quad (65)$$

bu deňlikden gysga tolkun uzynlygynyň san bahasyny tapmak bolýar:

$$\lambda_g = \frac{h \cdot c}{e \cdot U}. \quad (66)$$

Eger  $U$  «kiloWoltda»,  $\lambda_g$  bolsa «angstremde» aňladylsa we galan ululyklaryň arasyndaky özara baglanyşyk göz önünde tutulsa, onda ýokarda getirilen deňlik şeýle görnüşe eýe bolar:

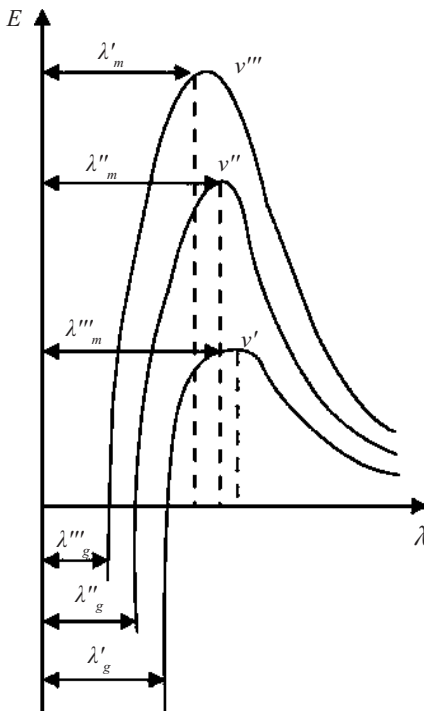
$$\lambda_g = \frac{12,4}{U} [1 \text{ Å (angstrem)} = 10^{-8} \text{ sm} = 10^{-10} \text{ m} = 0,1 \text{ nm}].$$

Her şöhlenmä onuň öz hususy  $\lambda_{Em}$  tolkun uzynlygy mahsusdyr, oňa şöhlenmäniň  $E_m$  maksimal energiýasy degişlidir. Arabaglanyşyk çyzygyndan (10.3-nji surata seret) görnüşi ýaly,  $\lambda_{Em}$  (ýagny maksimal energiýa degişli 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 şöhesiniň madda bolan täsirinde onuň içinden geçip bilijilik ukyplygyny kesgitleýär.

Şonuň üçin hem şöhleriň 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



10.3-nji surat.



pes bolan uzyn tolkunly şöhlelere bolsa «ýumşak» rentgen şöhleleri diýilýär.

Olaryň tolkun uzynlyklary şertleýin şeýle aralykda diýlip hasap edilýär, ýagny  $\lambda = 10^{-4} - 0,2 \text{ nm}$  aralygynda bolan rentgen şöhlelerine «gaty»,  $\lambda = 0,2 - 80 \text{ nm}$  aralygynda bolan rentgen şöhlelerine bolsa «ýumşak» rentgen şöhleleri diýilýär.

Ýokarda getirilen deňliklerden görnüşi ýaly, spektrdäki çäk gysga tolkun uzynlygy ( $\lambda_g$ ) we şöhlelenmäniň maksimum energiýasyna gabat gelýän tolkun uzynlygy ( $\lambda_{Em}$ ) rentgen turbajygynyň anod «A» bilen katod «K» aralygyna goýulýan naprýaženiýa ters baglanyşyklydyr. Şoňa baglylykda, şu naprýaženiýäni üýtgedip, şöhlelenmäniň «gatylygyny» (ýa-da «ýumşaklygyny») sazlap bolýar. Mysal üçin, anod bilen katodyň aralygyndaky naprýaženiýe ýokary bolsa, onda spektrdäki energiýanyň maksimumy has gysga tolkun uzynlygyna ( $\lambda$ ) tarap süýşýär. Rentgen turbajygynyndaky naprýaženiýäniň üýtgemekligi bilen şöhlelenmäniň umumy kuwwaty hem üýtgeýär, ol bu naprýaženiýäniň 2-nji derejesine göni baglanyşyklydyr, ýagny

$$\Phi \sim U^2.$$

Turbajygynyň katodynyň gyzdyrylyş derejesi üýtgände, ol tarapyndan wagt birliginde goýberilýän elektronlaryň sany hem üýtgeýär ýa-da şoňa degişlilikde, turbajygynyň anod zynjyryndaky tok güýjüniň ululygy hem üýtgeýär. Şunlukda, şöhlelenmäniň kuwwaty takmynan tok güýjüne göni baglanyşyklykda üýtgeýär, ýagny  $\Phi \sim I$ .

Şeýle hem şöhlelenmäniň kuwwaty elektronlaryň anod tarapyndan togtadylmak intensiwligine baglydyr, bu bolsa anodyň haýsy maddadan ybaratdygy (ýagny maddanyň tebigaty) bilen kesgitlenýär. Tejribeleriň görkezişi ýaly, anod maddasynyň çalşyrylmagy bilen elektronlaryň togtadylmagynda döreýän şöhlelenmäniň kuwwaty maddany düzýän elementiň atom tertip belgisine baglylykda göni baglanyşykly artýar, ýagny  $\Phi \sim Z$ .

Şeýlelik bilen, elektronlaryň togtadylmagynda döreýän şöhlelenmäniň energiýasynyň « $\Phi$ » 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 ( $k = 10^{-9} \text{ W}^{-1}$ ).

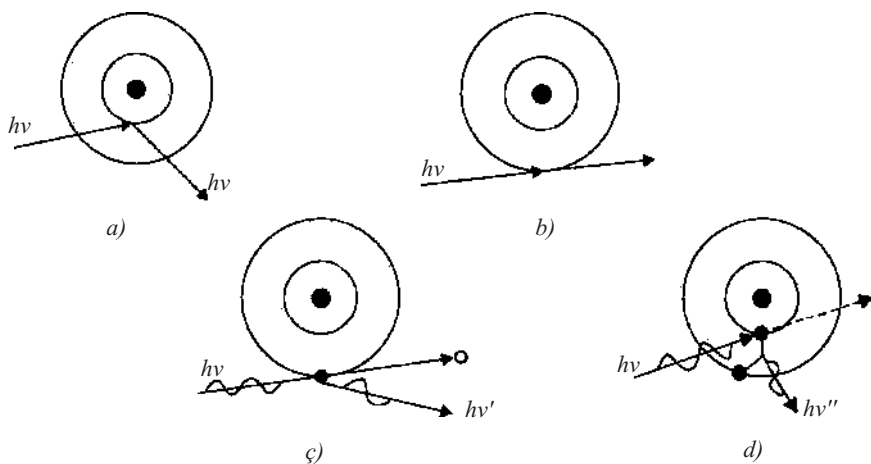
## 10.5. RENTGEN ŞÖHLELERİNİŇ MADDALAR BILEN ÖZARA TÄSIRI

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)



10.4-nji surat.

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).

Şeýle ýagdaýda olaryň energiýasy we soňa degişlilikde, 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 «b» surat). Şu ýagdaýda maddanyň ionlaşmagy bolup geçýär, atomdan goparylan elektron bolsa kinetik energiýa eýe bolýar, ýagny  $\frac{mv^2}{2} = h\nu - A_i$ , 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 oýandyrylmany bolup geçýär, munuň özi käbir maddalarda spektriň görünýän diapazonlarynda soňky şöhlelenmäniň ýüze çykmaklygyna getirýär (rentgenolýuminessensiýa); bedeniň 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, adatça «elektronwoltlarda» (eW) aňladylýar. 1 eW – bu elektrik meýdanynyň elektrony (e) naprýaženiýesi (U) 1 Wolta deň bolan nokatlaryň arasynda 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) has köp bolsa, ýagny  $E \gg A_i$ , onda Kompton – effekt (ýa-da başgaça kogerent däl dargama diýlip 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 «ç» surat). Şunlukda, ýüze çykyan uly tolkun uzynlykly şöhlelenmä ikilenji şöhlelenme 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 ýadrosy bilen has gowşak arabağlanyşykda bolan (daşky gatlakda ýerleşýän) elektronlara fotonlaryň täsir etmekligi netijesinde döreýär.

Adam bedeniniň düzümine girýän dürli dokumalaryň we gurşawlaryň dykzlyklary dürli-dürlüdür. Aşakda olaryň dykzlyklary 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 şöhlelenmesiniň siňdirilişi hem dürli derejede bolup geçýändir. Olaryň düzümine girýän maddalaryň rentgen şöhlelenmesini siňdirijilik koeffisiýenti şeýle ululyklara deňdir:

suw	_____	1
howa	_____	0,01
ýag dokumasy	_____	0,5
kömürturşyly kalsiý	_____	15
fosforturşyly kalsiý	_____	22.

Rentgen şöhlemenmesiniň täsiri astynda bedende dürli hadysalar ýüze çykyar. Ol hadysalar, esasan, rentgen şöhlemenmesiniň «gatylygyna» we «ýumşaklygyna», intensiwligine we täsir ediş dowamlylygyna baglydyrlar.

Rentgen şöhlemenmesiniň biologiki täsiri şu aşakdaky hadysalaryň ýüze çykmaklygyna getirýär:

1. Gysga wagtlaýyn artykmaç şöhlemenmeden soň ganyň düzüminde wagtlaýyn üýtgeşmeler bolup geçýär.

2. Uzak dowamlaýyn artykmaç şöhlemenmeden soň ganyň düzüminde öwrülišiksiz üýtgeşmeler bolup geçýär (mysal üçin, gemolitiki anemiýa ýüze çykyar).

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 P. Bugeriň (1698–1758 ý.) kanuny bilen beýan edilýär, oňa laýyklykda:

birdeň düzümlü maddanyň üst tarapyndan « $d$ » çuňlukdaky gatlagaga ýetýän monohromatik rentgen şöhlesiniň parallel dessesiniň  $I_d$  intensiwligi bilen şu maddanyň üstüne düşýän şöhläniň  $I_0$  intensiwligi arasynda şeýle arabaglanysyk bolýandyr:

$$I_d = I_0 \cdot e^{-\mu d},$$

bu ýerde  $I_0$  – rentgen şöhleleriniň maddanyň üst ýüzündäki intensiwligi;  $I_d$  – rentgen şöhleleriniň maddanyň « $d$ » çuňlugyndaky intensiwligi;  $\mu$  – şöhlemenmäniň gowşamaklyk koeffisiýenti.

Şöhlemenmäniň gowşamaklyk derejesini görkezýän  $\mu$  ululyk maddanyň tebigatyna (esasan, onuň « $\rho$ » gykzlygyna we « $Z$ » atom tertip belgisine) we şöhlemenmäniň « $\lambda$ » 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, bedeniň dokumalaryna bolan täsiriniň, onuň siňdirilýän mukdary bilen baglanyşyklydygyna görä, gowşamaklygyň koeffisiýentini ( $\mu$ ) iki koeffisiýentiň jemi hökmünde, ýagny şöhlenenmäniň hakyky siňdirilişini ( $\mu_s$ ) we dargamaklygyny ( $\mu_d$ ) häsiýetlendirýän koeffisiýentleriň jemi hökmünde görkezmek amatlydyr. Onda:

$\mu = \mu_s + \mu_d$  Şuny göz önünde tutup, Bugeriň kanunyny şeýle ýazmak bolar:

$$I_d = I_0 e^{-(\mu_s + \mu_d) \cdot Z}; \quad (68)$$

Birdeň düzümlü madda we monohromatik şöhlenenme üçin, siňdirilmek koeffisiýentiniň ( $\mu_s$ ) maddanyň tebigatyna ( $Z$ ) we şöhlenenmäniň tolkun uzynlygyna ( $\lambda$ ) bolan baglylygyny şeýle görnüşde aňlatmak bolar:

$$\mu_s = k \cdot \lambda^3 \cdot Z^4,$$

bu ýerde  $k$  – 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 effektiw 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 süňkün  $\mu_{s.süňk}$  [ol özünde  $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$  – saklaýar] we ýumşak dokumanyň  $\mu_{s.suw}$  (ol özünde  $\text{H}_2\text{O}$  saklaýar) şöhlenenmäni siňdiriş koeffisiýentini deňeşdirmek bolar. Ca, P, O, H – atom tertip belgisi degişlilikde 20, 15, 8, 1 deňdir. Hemişelik « $\lambda$ » ululykda bu sanlary şol deňlige goýup, alarys:

$$\frac{\mu_{s.süňk}}{\mu_{s.suw}} = \frac{3 \cdot 20^3 + 2 \cdot 15^3 + 8 \cdot 8^3}{2 \cdot 1^3 + 8^3} = 67,8,$$

ýagny bedeniň süňk dokumasy rentgen şöhlelenmesini ýumşak dokuma garanda 67,8 esse köp siňdirýär.

Elektronlaryň togtadylmagy bilen rentgen turbajygynda ýüze çykarylýan rentgen şöhlelenmesi üçin, adatça, hemişelik « $\lambda$ » hökmünde şöhlelenmäniň maksimum energiýasyna ( $E_m$ ) gabat gelýän  $\lambda_{Em}$  tolkun uzynlygy göz önünde tutulýar.

Lukmançylykda fotonlarynyň energiýasy ortaça 60-dan 200 keW-a (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 (süňküş 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 şöhlelenmäniň ýüze çykmaklygy bilen bolup geçýär (*10.4-nji «d» surat*). 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 täsire 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, alyuminiý) öz üstlerinden aňsatlyk bilen rentgen şöhlelerini (aýratynam, gysga tolkunly rentgen şöhle-

lerini) 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 päsgelçilik döredýän madda hökmünde ulanylýar; gurşun bolsa, olardan doly goranmak üçin ulanylýar.

## 10.7. RENTGEN ŞÖHLELERINIŇ LUKMANÇYLYKDA 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 esasyalaryna RŞ-niň tolkun uzynlygy («gatylygy» ýa-da «ýumşaklygy»), şeýle hem maddanyň ýukalygy-galyňlygy we elementiň tertip belgisi degişlidirler. Netijede, rentgen şöhledenmeleri 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 flýuoessirlenýän ekranda gyradeň däl kontrast kölege şekiliň alynmaklygyna esaslanýan wizual anyklaýyş usulydyr. Bedeniň barlanýan ýeri rentgen şöhledenmesiniň çeşmesi (rentgen turbajygy) bilen flýuoessirlenýän ekranyň arasynda ýerleşdirilýär. Ekranda barlanýan ýeriň kölegeli şekiliniň suratlandyrylmasy alynýar. Ol pozitiw şekili berýär. Mysal üçin, döş kapasasy şöhlelendirilende dürli intensiwlikli 3 görnüşli – kölegeli şekil alynýar: özünde süňki saklaýan bölekleriň has dykyz (gara) kölegeli şekiller (gapyrgalar, ýajyklar, oňurgalyklar); pes intensiwlikli (deri, ýag öýjükligi, myşsalar, damarlar, nerwler) kölegeli şekiller we howany saklaýan



öýkenleriň dury «kölegeli şekilleri». Öýkenler kesellände patologiki suratlandyрма görülyär.

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 (dyz 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 durýandyр. Rentgen suraty – rentgenogramma adam bedeni kesellände, onda bolup geçýän üýtgeşmelere obýektiw baha bermek we soň ony gaýtadan deňeşdirmek üçin zerur bolan ýazgy bolup durýandyр.

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 şöhlelenmesiniň ulanylmagydyр. Rentgen şöhlelenmesiniň biologiki täsiri yzygiderleýin ýüze çykýan üç tapgyrda bolup geçýän hadysalardan ybaratdyр. Birinji – fiziki hadysa suwuň molekulalarynyň we ýönekeý molekulalaryň ionlaşmagy. Ikinji – ionlaşmak netijesinde bolup geçýän himiki täsir, ol erkin radikallaryň ( $\text{OH}\cdot$ ,  $\text{H}_2\text{O}_2$ ,  $\text{O}^{2-}$ ) döremekligine getirýär. Belli bolşy ýaly, erkin radikallar ýokary okislendiriş ukyplygyna, dargadyjy we şikeslendiriş täsirine eýedirler. Üçünji – hususan-da, biologiki täsir, ol öýjüklerde we dokumalarda dürli derejeli funksional we morfologiki üýtgeşmeleri ýüze çykarýar we hatda olaryň ölümüne hem getirin bilýär. Şöhlelenmäniň öýjüklere

we dokumalara täsir ediş häsiýeti we intensiwligi olaryň individual duýgurlygyna, ýaşayyş ukyplygyna, gurşawyň ýagdaýyna, şeýle hem bedeniň umumy ýagdaýyna we alan dozasyňa baglydyr. Dürli öýjükleriň we dokumalaryň rentgen şöhlenenmesine bolan duýgurlygy birmeňzeş däldir, 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 şöhlenenmesiniň ulanylmagy bilen patologiki öýjükleriň we dokumalaryň bejeriliş esasyňy düzýändir, ýagny olar özlerini gurşap alan sagdyn öýjükler we dokumalara garanda has çalt ölýärler. Umumy şöhlenenmede bir gezekde alynýan doza 14 greý (*Gr*) bolsa, ol adamyň ölümüne getirýär. Şöhlenenmede bir gezekki alynýan doza 0,3–0,4 greýden ýokary bolmaly däldir, netijeleýji doza bolsa 3–6 *Gr* bolmalydyr.

Şöhlenenmäniň siňdiriliş dozasyňyň birligi bolup greý (Greý) hyzmat edýär. Greý – bu şöhlelendirilýän 1 kg massaly madda tarapyndan ionlaşdyryjy şöhlenenmäniň 1 *J* (Joul) energiýasynyň siňdirilişini görkezýän ululykdyr.

Bölekleýin şöhlenenmäniň ulanylmaklygy deriniň has döz gelýän we her bir meýdana netijeleýji dozany ýokarlandyrmaklyga mümkinçilik berýän şöhlenenme hökmünde bejeriş maksatlar üçin giň ýaýran usul bolup durýandyr.

Rentgenoterapiýa dürli täze döremeleriň bejerilişinde ulanylýar. Çiş keselleriniň bejerilişinde bir gezekki alynýan doza 0,3–1,0 *Gr* we netijeleýji 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 şöhlenenmesi özbaşdak bejeriş usuly hökmünde, şeýle hem beýleki usullar bilen bilelikde (mysal üçin, ultrases bilen) ulanylyp bilinýändir.

## 10.8. RENTGEN ŞÖHLESİ BİLEN ANYKLAMAKLYGYŇ HÄZIRKI ZAMAN USULLARY

**Elektrorentgenografiýa** adaty rentgenografiýadan şekiliň alnys usuly boýunça tapawutlanýar. Bu ýagdaýda rentgen şöhleleriniň dessesi adam bedeniniň üstünden geçip plýonkaly kasseta täsir etmän, duýujylygy ýokary bolan selen tekizçesine täsir edýär. Surat alynmazdan öň selen tekizçesini kesgitli ululykly potensiallaryň tapawudyna çenli statiki elektrik meýdany bilen zarýadlandyrýarlar. Şöhlelenme tekizçäniň potensialyny onuň dürli ýerlerine rentgen şöhlelenmesiniň fotonlarynyň akymynyň dürli derejede düşýändigine baglylykda üýtgedýär. Netijede, tekizçäniň üstünde elektrostatiki zarýadlar tarapyndan obýektiň görünmeýän şekili döredilýär. Şekli wizuallaşdyrmak üçin tekizçäniň üstüne ýörite garamtyl polisterol poroşogy çäýlýär. Çäýylan şekil tekizçeden kagyza geçirilýär we asetonyň buglary bilen fiksirlenýär. Gysga wagtyň içinde (30–60 s) gaýtadan surat çykarmazdan tekizçede obýektiň görünýän rentgen şekili alynýar. Elektrorentgenografiýada ýörite gurluş bar, ol 2-3 minudyň içinde şekili tekizçeden kagyza geçirmeklige mümkinçilik berýär. Tekizçäni 1000 surata çenli ulanyp bolýar.

Elektrorentgenografiýanyň artyk tarapy gymmatbahaly rentgen plýonkasyny ulanmazdan köp sanly suratlaryň çalt çykarylyp bolunýanlygyndan ybaratdyr.

**Flýuorografiýa** – bu ekrandaky rentgen şekiliň suratynyň alynmagydyr. Bu usulyň işleýiş düzgüni 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.

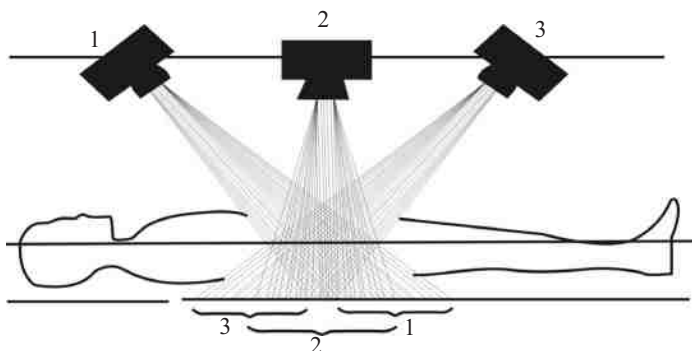
**Tomografiýa** – bu gatlaklaýyn rentgen barlagyň geçirilmegidir. «Tomografiýa» sözi grek dilinde «tomo» – gatlak we «graf» – ýazýaryn, düşürýärin diýen manyny aňladýandyr. Adaty rentgenogramma garyşyk şekili berýär, ýagny şöhleleriň geçýän ýolunda ýerleşýän

şekilleriniň biri-biriniň üstüne goşulyşmagy bolup geçýär. Şunlukda, bedeniň barlanýan bölekleri (dokumalary) dürli çuňlukda (gatlakda) ýerleşýändirler we olar plýonkanyň tekizliginde goşulyşyp, jemleýji çylşyrymly kölegäni (şekili) emele getirýärler. Patologiki döremäniň şekiline ýanaşyk organlaryň we dokumalaryň kölegeleri gatlaklaýyn seplesýärler. Barlagyň ähmiýeti kesgitli organyň ýagdaýynyň anyk kesgitlenmeginden, onuň dokumalarynyň umumy alnan şekiliň kölegelerinden aýyl-saýyl edilmeginden ybaratdyr. Şeýle netijäni gazanmak üçin şekiliň gatlaklaýyn alynmak usuly ulanylýar.

Tomografiýada surata alnanda rentgen turbajygy we plýonkaly kasseta pasiyente görä tersine sinhron süýşürilýär (10.5-nji surat).

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 (päsgeçilik döredýän) dokumalaryň «aýrylmaklygy» rentgen turbajygy bilen kassetanyň göni çyzyk boýunça, duga boýunça, töwerek boýunça ýa-da has çylşyrymly traýektoriya boýunça süýşürilmegi bilen gazanylýar.

Gönüçyzykly 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



**10.5-nji surat.**

Tomografiýanyň düzgüni. 1, 2, 3 – sanlar bilen rentgen turbajygynyň we plýonkanyň yzygider ýerleşiş ýagdaýlary görkezilendir

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 deňşlilikde, olarda onuň dürli gatlaklary suratlandyrylýarlar. Şeýlelikde, bir wagtyň özünde birnäçe gatlaklaryň şekili alynýar, bu bolsa barlag wagtyny 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 näsagyň bedeniniň daşynda edil tomografiýadaky ýaly hereketlendirilýärler, ýöne obýektiň üstünden geçýän rentgen şöhlelenmesiniň dessesi köp sanly datçikler (detektorlar) tarapyndan registrirlenýärler. Detektorlar bedeniň 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 özgerdirilýärler.

Kompýuter rentgen tomogrammalary kelle beýnisiniň anatomiki strukturalaryny, öýkenleri we gursagara 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 gönüden-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;

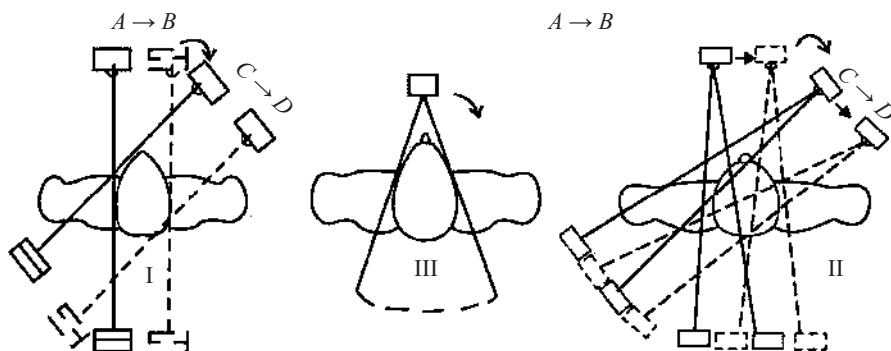
4) ýazgylar ulgamy.

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*).

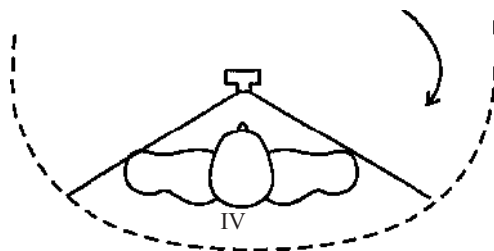
Kompýuter tomografiýasynda anyklanmak gönüden-göni we göni däl (goşmaça) alamatlaryň ýüze çykarylmalygyna esaslanýandyr. Gönüden-göni çykýan alamatlara dokumalaryň lokal ojak üýtgeşmeleri degişlidir, olar dykzlyklary boýunça organyň sagdyn, simmetriki ýerleşen ýerlerinden tapawutlanýarlar.

### I-III nesil kompýuter rentgen tomograflaryň işleýiş düzgünleriniň shemasy



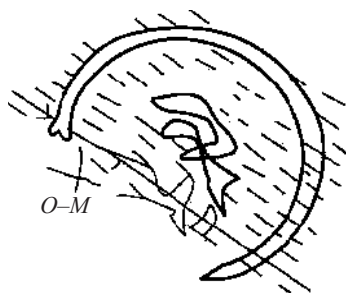
10.6-njy surat.

### IV nesil kompýuter rentgen tomograflaryň işleýiş düzgünleriniň shemasy



Orbitomeatal çyzyklara parallel bolan tekizliklerde kelle beýniniň «kesimleriniň» shemasy.

### O-M – orbitomeatal çyzyklar



10.7-nji surat.

Göni ýüze çykmaýan (goşmaça) 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 – görüm şekiliniň anyklanylmagynda, howply täze döremeleriň bilinmekliginde we olaryň ýanaşyk struktura dargamagynda berýän maglumaty ýokarydyr. Kompýuter tomografiýasynyň kömegi bilen bagyrdaky, böwreklerdäki, aşgazanasty mäsäki 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 (dykzylyklary boýunça 0,5% tapawutlanýan dokumalar saýgarylýarlar; adaty rentgenogrammada bolsa, dykzylyklary boýunça diňe 10-20% tapawutlanýan dokumalar saýgarylýarlar);

2 – gurşawyň 3–5 mm galyňlykly ýuka tekizliginde organlaryň strukturasynyň aýdyň şekiliniň alynmaklygy;

3 – barlanýan dokumalaryň dykzylyklaryna 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 hasaba almaklygyň ýörite rentgenologiki usullary bardyr – olara elektrokimografiýa we rentgenokimografiýa degişlidirler.



Rentgenokimografiya usulynda rentgen şöhlelenmesiniň insizje dessesi bilen plýonkada ýa-da kagyzda ýazgy geçirilýär.

Elektrokimografiýada flýuoroskopiki ekranyň aňyrsynda fotoelement ýerleşdirilýär, ol barlanýan organyň ornunyň üýtgedilmegine baglylykda ekranyň şöhleleniş ýagtylygynyň şekilini hasaba alýar.

Fotoelektriki gurluşda ekranyň ýagtylygynyň üýtgemekligi elektrik togunyň yrgyldylaryna özgerdilýär, olar bolsa ossillografyň kömegi bilen kagyz lentasyna ýazylýar. Alnan elektrokimogrammalar ýüregiň we damarlaryň, öýkenleriň bölümleriniň funksiýalaryna baha bermekde ulanylýar.

**Urokinematografiya usuly.** Urokinematografiya 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 bap.

## ATOMYŇ ÝADROSY. RADIOIŞJEŇLIK

### 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 öwrülip 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.

$$1 \text{ m.a.b} = 1,66043 \cdot 10^{-27} \text{ kg.}$$

Protonyň massasy  $m_p = 1,00728 \text{ m.a.b.}$

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 zaryady ýokdur.*

Elektronyň massasy  $m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$ .

Protonyň massasy  $m_p = 1,67 \cdot 10^{-27} \text{ kg}$ , diýmek,  $m_p \approx 1836 m_e$ .

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:

$$E = h\nu = 2\pi \hbar \nu = \hbar\omega$$

$$\omega = 2\pi\nu \text{ (aýlaw ýygylygy)}$$

$$h = 6,62 \cdot 10^{-34} \text{ J.s.}$$

Protonyň magnit momenti  $p_p = 2,79 \mu_{ya}$

Neýtronyň magnit momenti  $p_n = 1,91 \mu_{ya}$

bu ýerde  $\mu_{ya}$  – ýadro magnetony.

$\mu_{ya} = \frac{1}{1836\mu_B}$ ; bu ýerde  $\mu_B$  – Boruň magnetony.

$$\mu_B = \frac{e\hbar}{2m} = 0,93 \cdot 10^{-23} \text{ J/T (T-Тесла)}.$$

$\mu_B$  elektronlaryň magnit momentini görkezýär.

Ýadroday protonlaryň sany elementiň  $Z$  atom nomerine deňdir. Degişlilikde, ýadronyň zaryady  $q_{ya} = eZ$ . Ýadroday 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 (м.а.б) aňladylan atom massasyna ýakyn bolan bitin sandyr.

Ýadroday 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.

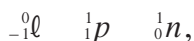
Diýmek, berlen elementiň izotoplary biri-birlerinden diňe neýtronlarynyň sany bilen tapawutlanýarlar. Şeýlelikde, izotoplar birmeňzeş atom nomerine  $Z$  (birmeňzeş protonlaryň sanyna) hem-de dürli massa sanyna « $A$ » (ýagny dürli nuklonlaryň sanyna) eýedirler (*11-nji tablisa*).

11-nji tablisa

### Uranyň izotoplary

Atom	Protonlaryň sany	Neýtronlaryň sany	Elektronlaryň sany	Tebig. gabat gelşi
$^{234}_{92}\text{U}$	92	142	92	0,0057%
$^{235}_{92}\text{U}$	92	143	92	0,72%
$^{238}_{92}\text{U}$	92	146	92	99,27%

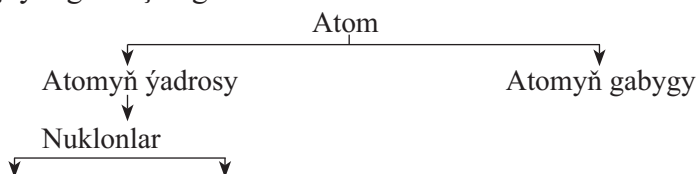
Ýadro elementiniň himiki simwoly « $X$ » bilen belgilenýär. Ol simwolyň aşagynda « $Z$ » indeksi goýulýar, ýokarsynda bolsa « $A$ » indeksi goýulýar, ýagny  $^A_ZX$ . Elektron « $e$ », proton « $p$ » we neýtron « $n$ » harplar bilen belgilenýär we şuna baglylykda, olar şeýle görkezilýärler:



bu ýerde  $Z$  – elementiň atom nomeri, ol ýadrodaky protonlaryň sanyna, ýadro gabyklaryndaky elektronlaryň sanyna we ýadronyň elektrik zaryadyna deňdir.

$A = Z + N$  – massa sany, ol ýadrodaky nuklonlaryň (protonlaryň we neýtronlaryň) sanyna deňdir.

Ýokarda aýdylanlary göz önünde tutup, atomyň gurluşyny she-matiki şeýle görnüşde görkezmek bolar:



Elementar bölejikler	Protonlar (P)	Neýtronlar (n)	Elektronlar (e)
Zarýad $q$	$+1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$	O	$-1,6 \cdot 10^{-19} \text{ Kl}$
Dynçlyk massasy	$1836 m_e$	$1839 m_e$	$m_e = 9,11 \cdot 10^{-31} \text{ kg}$

Ýadronyň radiusy ýakynlaşdyrylan deňlik boýunça şeýle kesgitlenýär:

$$r_{ya} \approx 1,4 \cdot 10^{-15} \sqrt[3]{A} m = 1,4 \sqrt[3]{A} fm.$$

Bu ýerde  $10^{-15} = 1 \text{ fm}$  (femtometr). Bu birlik ölçeg ulgamyndan daşgary kabul edilen birlikdir. Şu alnan ululyk ýadronyň radiusynyň atomyň radiusyndan  $10^5$  esse kiçidigini görkezýär.

Ýadroaky nuklonlar aýratyn güýçler bolan **ýadro güýçleriniň** özara täsiri bilen baglanyşyklydyrlar. Olar protonlaryň arasynda özara elektrostatiiki 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) Ýardo güýçleri gysgawagtlaýyn täsir edýändirler. Olar diňe ýadronyň öz ölçeglerine deň bolan aralykda, ýagny  $10^{-13} \text{ sm}$  aralykda täsir edýärler. Nuklonlaryň arasyndaky aralyk ulaldygyça olaryň täsiri gowşaýarlar we  $10^{-12} \text{ sm}$  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 zarýadyna 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 zarýad garaşsyzlygy diýilýär.

4) Ýadro güýçleriniň doýgunlyk häsiýeti bardyr, ýagny her bir nuklon diňe ony gurşap alan kesgitli nuklonlara täsir edýär. Şeýle bolansoň ýadroaky nuklonlaryň sanynyň köpelmegi bilen ýadro güýçleri artýan däldir (edil şuna meňzeş ýagdaýda güýçleriň artmak-

lygy protonlaryň arasyndaky elektrostatiki itişme güýçlerinde ýüze çykýandyр).

Atom ýadrolarynyň durnuklylygy ýadroдакы nuklonlaryň umumy sanyна (A) baglydyр, şeýle hem neýtron – proton gatnaşygyna ( $\frac{N}{Z} = 1$ ) baglydyр. Nuklonlarynyň sany köp bolmadyк we deň sanly protonlary we neýtronlary bolan ýeňil ýadrolar has berk bolýarlar. Bu аýdylanlar аýratynam neýtronlarynyň we protonlarynyň sany jübüt bolan ýadrolara degişlidir («jübüt – jübüt» ýadrolar). Ýadroдакы nuklonlaryň umumy sanynyň köpelmegi bilen, аýratynam neýtronlaryň protonlara görä san artykmaçlygy боýунча ( $\frac{N}{Z} > 1,6$ ), ýadronyň durnuklylygy gowşаýar. Şu sebäbe görä soňky hatardaky elementleriň öz-özünden dargamagy bolup geçýär, bu hadysa radioişjeňlik diýilýär.

Protonlarynyň ýa-da neýtronlarynyň sany 2, 8, 20, 50 we 82 deň bolan jübüt-jübüt ýadrolaryň аýratynam durnukly (berk) болýандыгы anyklanylandыр.

## 11.2. RADIOİŞJEŇLIK. DARGAMAKLYGYŇ GÖRNÜŞLERI

*Radioişjeňlik diýlip kesgitli elementleriň ýadrolarynyň özbaşдак (hiç hili daşкы täsir bolmazдан) beýleki bir elementleriň ýadrolaryна öwrülip bilmek häsiýetine аýдылýар. Şunlukда, аýratын görnüşli şöhlelenme, ýagны radioişjeň şöhlelenme diýlip atlandырýлýан şöhlelenme ýüze чыкýар.*

Şu hadysanyň özüне radioişjeň dargamak diýilýär. Radioişjeň dargama uly bolmadyк ýylylyгыň bölünip чыкмагы bilen bile bolup geçýär.

Tebigatда даş gelýän uzotoplarda болup geçýän radioişjeň hadysasyna tebigy radioişjeňlik diýilýär, emeli ýol bilen алнан izotoplardaky radioişjeňlige bolsa – emeli radioişjeňlik diýilýär. Radioişjeňligiň iki görnüşi hem edil şol bir kanunlara боýун болýар.

Radioişjeň şöhlelenme göze görünýän дәлдір, ony maddalara болan täsirindäki ýüze чыкýан hadysalar боýунча саýгарып бол-

ýar. Mysal üçin, ony lýuminoforlaryň ýa-da flýuoressirlenýän ekranlaryň şöhlelenmegi (ýagtylanmagy), maddalaryň ionizirlenmegi, fotoemulsiýanyň garalmagy we ş.m. hadysalar bilen ýüze çykmak bolýar.

Radioişjeň şöhlelenme diýlip umumy at bilen atlandyrylýan şöhlelenmäniň üç görnüşi bardyr:

- alfa şöhlelenmeler ( $\alpha$  – şöhlelenmeler);
- beta şöhlelenmeler ( $\beta$  – şöhlelenmeler);
- gamma şöhlelenmeler ( $\gamma$  – şöhlelenmeler).

$\alpha$ -,  $\beta$ - we  $\gamma$ - şöhlelenmeleriň tebigaty dürli-dürlüdür, ýöne olaryň käbir umumy häsiýetleri hem bardyr.

*Alfa-şöhleler* – bu geliý ýadrosyndan ybarat bolan ýokary kinetik energiýaly bölejikleriň ( $\alpha$ -bölejikleriň) akymydyr. Alfa-bölejik iki protondan we iki neýtrondan ybarat bolup durýandyr. Ol şeýle belgilenýär:

$${}^4_2\alpha \text{ (ýa-da } {}^4_2\text{He}). \quad (69)$$

*Beta-şöhleler* – bu elektronlardan (köp radioişjeň elementlerde ýüze çykýar) ýa-da pozitronlardan (käbir emeli usul bilen alnan izotoplarda ýüze çykýar) ybarat bolan ýokary kinetik energiýaly bölejikleriň ( $\beta$ -bölejikleriň) akymydyr.

Pozitron, elektron ýaly elementar bölejikdir, ýöne onuň položitel zarýady bardyr. Pozitron durnukly bölejikdir, ýöne ol tebigy ýagdaýda duşmaýar diýen ýalydyr.

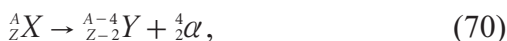
Beta-bölejikler  $\beta^-$  ýa-da  ${}_{-1}^0e$  (elektron) we  $\beta^+$  ýa-da  ${}_{+1}^0e$  (pozitron) görnüşde belgilenýärler.

*Gamma – şöhleleriň elektromagnit tebigaty bardyr* hem-de olar ýokary energiýaly [1-den 2-3 MeW-a (megaelektronWolta) çenli] we degişlilikde gysga tolkun uzynlykly ( $\lambda < 0,1 \text{ nm}$ ) fotonlaryň akymyndan durýandyrlar. Olar fotonyň energiýasyny görkezýän indeksli  $\gamma$  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 radioişjeň şöhlelenmäniň spektri diýlip atlandyrylýan bölejikleriň energiýa boýunça bölünmegi radioişjeň şöhlelenmäniň häsiýetlendirmeleri bolup durýandyrlar.

Berlen maddanyň ýadrosynyň dargamaklygynyň bir aktynda diňe bir görnüşli bölejikler aýrylýarlar: alfa- ýa-da beta- bölejikler. Şoňa degişlilikde radioişjeň ýadrolaryň dargamaklygynyň esasy üç görnüşini tapawutlandyrýarlar:  $\alpha$  – dargama,  $\beta$  – elektronly we  $\beta$  – pozitronly dargama. Şu dargamalaryň islendik her biri  $\gamma$  – fotonlaryň şöhlelenmesi bilen birlikde bolup geçýär.

Agyr elementleriň ýadrolary üçin ( $A > 200$ )  $\alpha$  – 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 çykyan element;  $A$  – elementiň massa sany ( $A$  massa sany bilen ýadrodaky nuklonlaryň umumy sany kesgitlenilýär);  $Z$  – ýadrodaky protonlaryň sany ( $Z$  elementiň atom nomerine deňdir).

$\alpha$  – 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 döreýär:



Şunlukda, 0,188 MeW energiýaly gamma-foton şöhlelenýär.

$\alpha$ -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  $\alpha$ -bölejikler, takmynan birmeňzeş energiýaly birnäçe toparý düzýärler, şonuň üçin hem  $\alpha$ -bölejikleriň spektri birnäçe biri-birine ýakyn ýerleşen çyzyklardan ybaratdyr.

$\alpha$ -dargamanyň mehanizmini shematiki şu aşakdaky ýaly göz öňüne getirmek bolar: iki proton we iki neýtron, içki ýadro hereketindäki prosesde biri-birine täsir edip,  $\alpha$ -bölejigi döredýärler, ol takmynan  $10^{-21}$  s. wagt aralygynda ýaşaýar, soň bolsa täzeden aýry-áýry nuklonlara bölünýär.

Şeýle ýol bilen döreýän  $\alpha$ -bölejikleriň käbiri, belli bir şertlerde, ýadro güýçleriniň täsirinden sypyp, ýadrodan aýrylmaklygy müm-



kindir. Bu hadysanyň kwant-mehaniki tebigaty bardyr we oňa tonnel effekti diýilýär.  $\alpha$ -bölejigiň energiýasy näçe ýokary boldugyça, bu effektiň ýüze çykmak mümkinçiligi şonça hem ýokarydyr. Şonuň üçin hem has ýokary energiýaly  $\alpha$ -bölejikleri goýberýän elementler, pes energiýaly  $\alpha$ -bölejikleri goýberýän elementlere garanda çalt dargamalydyrlar, munuň özi hakykat ýüzünde şeýle hem bolýandyr.

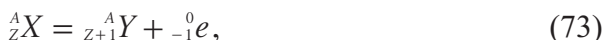
Neýtron we proton sanlarynyň özara amatsyz (oňasysz) gatnaşygynda bolan durnuksyz ýadrolarda beta-dargama bolup geçýär.

Eger ýadroda neýtronlaryň sany artykmaç bolsa, onda elektronly  $\beta$ -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  $\beta$ -dargama şeýle deňleme bilen görkezilýär:



şunlukda, ýadronyň zarýady we degişlilikde elementiň atom nomeri bir birlik köpeliýär, onuň massa sany bolsa ( $A$ ) üýtgemän galýar.

Elektronly  $\beta$ -dargama tebigy we emeli usul bilen alnan köp radioişjeň izotoplara mahsusdyr. Mysal üçin, kaliý izotopynyň kalsiý elementine öwrülmeكلي boýunça dargamasy:



Pozitronly  $\beta$ -dargamada protonlaryň biri neýtrona öwrülýär, şunlukda, ýadroda pozitron ýüze çykýar:



Ýüze çykýan pozitron bölünip aýrylýar, ýadroda bolsa nuklonlaryň has durnukly kompleksi galýar. Pozitronly  $\beta$ -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 öwrülmeكلي boýunça bolup geçýän dargamasy şeýle ýazylýar:



$\beta$ -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. RADIOIŞJEŇ DARGAMANYŇ ESASY KANUNY. IŞJEŇLIK

Şol bir elementiň ýadrosynyň radioişjeň dargamasy kem-kemden bolup geçýar we dürli elementler üçin olaryň dargamak tizligi biri-birinden tapawutlanýandyrlar.

Radioişjeň dargama – bu statistiki hadysadyr, ol ähtimallyk nazaryýetiniň kanunyna boýun bolýandyr. Her bir atomyň ýadrosynyň ilkibaşdaky dargamak pursadyny önünden aýdyp bolmaýar, ýöne haýsydyr bir ýadronyň kesgitli wagt aralygynda (birliginde) dargamak ähtimallygyny görkezmek mümkinçiligi bardyr. Şeýle ähtimallyk dargamak koeffisiýenti  $\lambda$  bilen häsiýetlendirilýär, oňa *dargamak hemişeligi* diýilýär we ol diňe elementiň tebigatyna baglydyr.

Radioişjeň dargamanyň esasy kanuny şeýle kesgitlenýär: şol bir wagt aralyklarynda berlen elementiň bütewi ýadrolarynyň birmeňzeş mukdardaky ülüşleri dargaýarlar (ýagny bu ýerde bütewi ýadrolar diýlip seredilýän wagt aralygynyň başlangyjynda entek dargamadyk ýadrolar goz önünde tutulýar).

Şeýle üleş dargamaklygyň hemişeligi diýlip atlandyrylýan ululyk bilen häsiýetlendirilýär.

Dargamak kanunyndan 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 « $dt$ » – dargamaklygyň seredilýän wagt aralygy; « $dN$ » – dargaýan ýadrolaryň sany;  $N$  – ilkibaşdaky dargamadyk ýadrolaryň sany;  $\lambda$  – dargamak hemişeligi.

(Bu aňlatmadaky minus alamaty ilki başda 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.

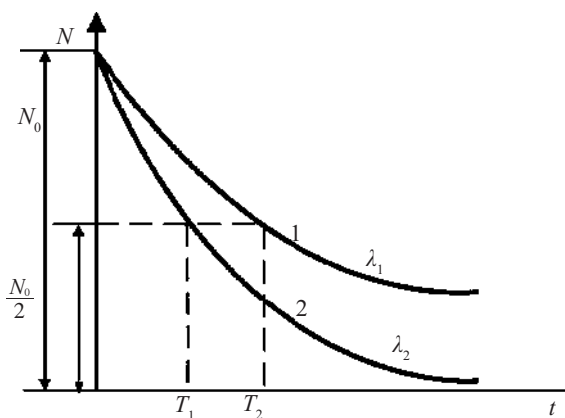
11.1-nji suratda 78-nji deňlik bilen aňladylýan baglanyşygyň dürli dargamak hemişelikli ýadrolaryň ( $\lambda_1$  we  $\lambda_2$ ) dargamagyny häsiýetlendirýän grafiği görkezilendir.  $\lambda_1$  we  $\lambda_2$  dürli maddalara degişlidir (şunlukda  $\lambda_2 > \lambda_1$ ), olarda ilki başda seredilýän ýadrolaryň  $N_0$  sany özara deňdirler.

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 grafiği boýunça kesgitläp bolýandyr.

Dargan ýadrolaryň « $\Delta N$ » 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 peridy  $T_{1/2}$  bilen häsiýetlendirilýändir. Bu ululyk radioişjeň ýadrolaryň ilki başdaky sanyna görä olaryň ýarysynyň dar-



11.1-nji surat.

gaýan wagtyňy aňladýandyr (*1-nji egri çyzyk*). Elementleriň ýarymdargamak periody  $T_{1/2}$  şeýle netijä esaslanyp kesgitlenýär, ýagny  $t = T_{1/2}$  bolanda dargamadyk ýadrolaryň sany şu aşakdaky deňlik bilen aňladylýar:

$$N_1 = \frac{N_0}{2} = N_0 e^{-\lambda T_{1/2}},$$

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 (*12-nji tablisa*).

*12-nji tablisa*

#### Dürli elementleriň ýarymdargamak periody

1. $^{283}_{92}\text{U} - 4,51 \cdot 10^9$ ýyl	5. $^{24}_{11}\text{Na} - 15,06$ sag
2. $^{226}_{88}\text{Ra} - 1590$ ýyl	6. $^{11}_6\text{C} - 20,4$ min
3. $^{60}_{27}\text{Co} - 5,3$ ýyl	7. $^8_3\text{Li} - 0,89$ s
4. $^{222}_{86}\text{Rn} - 3,825$ gün	

Amaly taýdan radioişjeň şöhlelenmäniň çeşmeleri ulanylanda wagt birliginde çeşmede bolup geçýän dargamanyň umumy dargamak sany möhüm ähmiýete eýedir. Bu ululyga berlen çeşmäniň «*A*» işjeňligi diýilýär we ol dargamanyň otnositel tizligine we dargamaklyga ukyply bolan ýadrolaryň sanyna (ýagny çeşmedäki izotopyň massasyna) baglydyr.

Işjeňlik berlen çeşmede izotopyň dargamasynyň absolýut tizligini häsiýetlendirýär.

$$A = \frac{dN}{dt}. \quad (82)$$

Radioişjeň 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 elementin işjeňligi ýadrolaryň sanyna (izotopyň massasyna) göni proporsionaldyr hem-de onuň ýarymdargamak periodyna ters proporsionaldyr.

Berlen izotop üçin ( $T_{1/2} = \text{const}$ ) işjeňlik onuň massasyna göni proporsionaldyr.

Wagtyň geçmekligi bilen berlen elementin işjeňligi dargamaklygyň esasy deňligine laýyklykda peselýändir. Şoňa görä-de wagtyň islendik « $t$ » pursadynda işjeňlik  $A_t$  şeýle baglanyşyk boýunça kesgitlenýär:

$$A_t = A_0 e^{-\lambda t} = A_0 e^{-0,693t/T},$$

bu ýerde  $A_0$  – başlangyç « $t = 0$ » pursatdaky işjeňlik.

Amaly taýdan şu deňlik boýunça düzülen tablisa ýa-da grafik boýunça radioişjeň elementin öndürilen wagtyndan bäri ýa-da bejeriş edarasynyň alan wagtyndan bäri geçen wagt aralygynyň soňunda (ýagny kesgitli seredilýän wagtda) onuň eýe bolýan işjeňligi kesgitlenýär.

#### **11.4. RADIOIŞJEŇ ŞÖHLELERIN 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 şöhlelenmeklige getirýän atomlaryň oýandyrylmagy, şeýle hem fotohimiki reaksiýa getirýän molekulalaryň işjeňleşmegi bolup geçýär.

Radioişjeň şöhlelenmedäki 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 ener-

giýasy ýylylyk hereketiniň energiýasyna deň bolanda, bölejikleriň ionizirleýji täsiri aýrylýar. Alfa-bölejik iki elektrony birleşdirýär we gelý atomyna öwrülýär. Otrisatel  $\beta$ -bölejik (elektron) erkin ýagdaýda galýar. Položitel  $\beta$ -bölejik (pozitron) erkin elektron bilen birleşýär we iki gamma – fotona öwrülýär:

$${}^0_{+1}e + {}^0_{-1}e \rightarrow 2h\nu'.$$

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.

Radioişjeň şöhlemenmedäki 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.

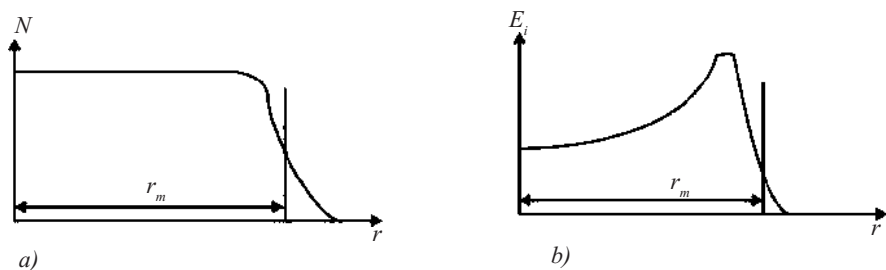
Ionizirleýji ukyplyga bölejigiň howada 1 sm aralygy geçende ylgaw ýolunda döredýän jübüt ionlarynyň ortaça sany bilen baha berilýär. Howada bir jübüt ionlaryň döredilmegi üçin ortaça 34 eW-a deň bolan energiýanyň sarp edilýändigini göz önünde tutup we bölejigiň başlangyç energiýasyny bilip, doly aralyk geçilendäki ylgaw ýolunda döredilýän jübüt ionlaryň sanyny hasaplamak bolýar, soň bolsa ylgaw ýolunyň (geçilýän aralygyň) uzynlygyny bilip, ionizirleýji ukyplygy kesgitläp bolýar. Ionizirleýji ukyplyk şöhlemenmäniň täsir edýän maddasynyň tebigatyna baglydyr. Maddanyň atom nomeri näçe ýokary boldugyça we dykzyzlygy näçe uly boldugyça, onda sonça hem bölejik öz ylgawynyň ýolunda köp sanly elektronlar bilen çaknyşar we şoňa degişlilikde-de, ionizasiýanyň intensiwligi has ýokary bolar we diýmek, bölejigiň maddanyň içinden geçmek ukyplygy peseler (ýagny has çuň aralyga aralaşyp bilmez).

Ikileýin elementar zaryady we ýokary energiýasy bolan alfa-bölejikler intensiw ionizasiýany geçirýärler we soňa görä-de olar maddanyň içine otnositel pes (gysga) aralyga aralaşýarlar. Bölejikleriň kadaly şertler berjaý edilen wagtynda howadaky geçýän ylgaw ýoly, olaryň energiýasyna baglylykda, 2–8,5 sm aralykda bolýar. Olar bedeniň dokumalarynyň içine 0,1 mm aralyga çenli aralaşýarlar.

Berlen radioişjeň 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.

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 mün jübüt ionlary döredýärler).

$\alpha$ -bölejikleriň doly ylgaw ýolunda döredýän ionizasiýa intensiwligi birdeň däl, çünki maddanyň içine aralaşdygyça  $\alpha$ -bölejikleriň tizligi peselýär, soňa baglylykda olaryň maddanyň atomlarynyň elektronlary bilen bolýan täsir ediş wagty ulalýar we degişlilikde ionizasiýa intensiwligi  $E_i$  ýokarlanýar (11.2-nji b surat), ýöne ylgaw ýolunyň ahyrynda  $\alpha$ -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,



11.2-nji surat.

$N$  –  $\alpha$ -bölejikleriň sany;  $r$  – geçilýän aralyk;

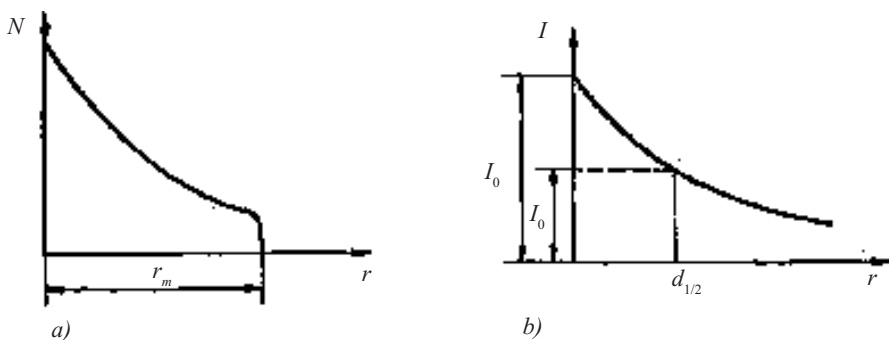
$E_i$  – ionizasiýa intensiwligi

dykyz kagyz, sellofan we ş.m.) ýuka gatlagy hyzmat edip biler. Alfa-bölejikler dem alyş ýa-da ýýmit siňdiriş ýollarynyň nem bardalaryna düşende esasy howpy döredýändirler.

$\beta$ -bölejikler (elektronlar we pozitronlar)  $\alpha$ -bölejiklere garanda ionizasiýanyň pes intensiwligini döredýärler we şonuň üçin hem olar maddanyň içine has çuň aralyga aralaşýarlar. Energiýasyna baglylykda  $\beta$ -bölejigiň howadaky ylgaw ýoly, takmynan onlarça santimetrden onlarça metre (10 sm – 10 m) çenli ýetip biler. Bedendäki dokumalar-da  $\beta$ -bölejikler, takmynan 10–15 mm çuňluga çenli aralaşyp bilýärler diýlip hasap edilýär.

Şol bir maddanyň şöhlelenmesindäki  $\beta$ -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  $\beta$ -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 a surat).

Howada bolýan ionizasiýada  $\beta$ -bölejik 1 sm aralykda ionlaryň onlarça we ýüzlerçe jübüt sanlaryny döredip biler.  $\beta$ -şöhlelenmeden 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  $\beta$ -şöhleleri iki esse azaldýar.



11.3-nji surat.

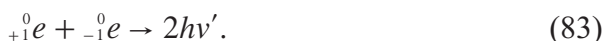


Gamma-fotonlar maddanyň içinden ýokary geçijilik ukyplygyna eýe bolmaklygy bilen tapawutlanýarlar. Olaryň howadaky geçýän ylgaw ýoly onlarça we yüzlerçe metre ýetýär. Bedeniň dokumalarynda gamma-şöhlelenmeler çuň aralyga aralaşýarlar we hatda adam bedeniniň içinden göni geçip hem bilýärler. Gamma-fotonlaryň ilkinji ionizirleýji ukyplygy onçakly ýokary däl, olaryň howadaky geçýän 1 sm ylgaw ýolunda baryýogly birnäçe jübüt ionlar döreýär. Şeýle ýagdaý gamma-fotonlarda elektrik zaryadynyň ýoklugy bilen düşündirilýär. Ýöne soň ýüze çykýan ikilenji ionizasiýa effekti we «bergi ýadrolary» göz önünde tutulsa, onda gamma-şöhlelenmeler tarypyndan döredilýän doly ionizasiýa effekti juda ýokary bolup biler.

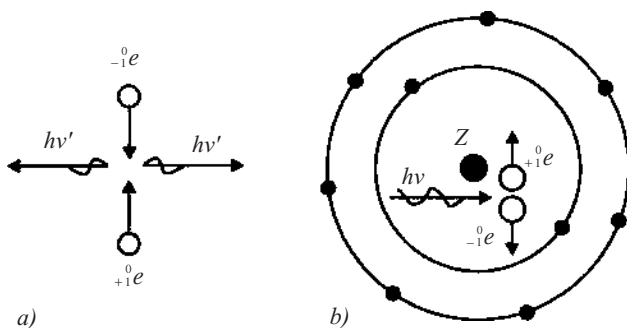
Birhilli gurşawda gamma-şöhleleriniň gowşamak intensiwligi, edil rentgen şöhleleriniňki ýaly, eksponensial kanun boýunça bolup geçýär. Gamma-şöhleleriň dürli maddalaryň içinden geçip bilijiligi gowşamaklygynyň ýarym galyňlygy  $\frac{d}{2}$  diýlip atlandyrylýan ululyk bilen häsiýetlendirilýär (11.3-nji b surat). 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 bilner.

## 11.5. JÜBÜT BÖLEJIKLERIŇ DÖREMEK WE ANNIGILÝASIÝA REAKSIÝALARY

Pozitron we elektron özara iki anti-bölejik bolýandyklary üçin, olar çaknyşanlarynda biri-birlerine täsir edýärler we iki (ýa-da üç) gamma-fotona öwrülýärler (11.4-nji a surat):



Bu reaksiýa jübüt bölejikleriň *annigilýasiýa* (ýok edilmek) *reaksiýasy* diýilýär. Materiýanyň bütewi bir tebigatyna dogry düşünmeklik üçin uly ähmiýeti bolan şeýle atlandyrylyş (annigilýasiýa) hadysanyň düýp manysyny dogry suratlandyrýan däl. Annigilýasiýa hadysasy netijesinde materiýa ýok bolýar diýmeklik düýbünden nädogry garaýyşdyr. Şu seredilýän ýagdaýda materiýanyň bir görnüşiniň,



11.4-nji surat.

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 ýa-nyndaky güýçli elektrik meýdanynyň täsiri astynda bölejikleriň elektron – pozitron jübütine öwrülýär:

$$hv'' = {}_{-1}^0e + {}_{+1}^0e. \quad (84)$$

Şeýle reaksiýanyň shemasy 11.4-nji «b» suratda görkezilendir.

Reaksiýalaryň ikisinde-de (83-nji we 84-nji deňlik) Eýnşteýniň baglanyşygy ýerine ýetirilmelidir. Elektronýň (ýa-da pozitronýň) dynçlyk  $m_e$  massasyna  $E_e = m_e c^2 = 0,51 \text{ MeV}$  ululykly energiýa degişlidir. Birinji ýagdaýda (83-nji deňlik) bu energiýa iki fotonyň her birine aýratynlykda geçirilýar, şoňa degişlilikde olaryň ýygylgygy şeýle bolmalydyr:

$$\nu' = \frac{E_e}{h} = 1,24 \cdot 10^{20} \text{ Gs}.$$

Bu alnan ululyk tejribe üsti bilen alnan netijeler boýunça tassyklanylýar.

Ikinji ýagdaýda (84-nji deňlik) fotonyň energiýasy elektronýň we pozitronýň dynçlyk massasyna degişli bolan energiýalaryň jemin-den 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 däldir, 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

Radioişjeň (alfa-, beta-, gamma) şöhlemenme we «gaty» rentgen şöhleleri, şeýle hem protonlaryň we neýtronlaryň akymy ionizirleýji şöhlemenme diýlip umumy at bilen atlandyrylýarlar.

Eger bölejikler has ýokary energiýa eýe bolsalar, onda seredilip geçilen rentgen we radioişjeň şöhlemenmeleriň madda bolan täsirinde bolup geçýän hadysalar bilen birlikde goşmaça şu aşakdaky ýagdaýlaryň ýüze çykyandygyny belläp geçmelidiris.

Ýokary energiýa eýe bolan alfa- we beta-bölejikler atomlardan diňe bir walent elektronlaryny goparman, olardan başga-da has içki gatlaklardaky elektronlary hem goparmaga ukyplydyrlar, bu bolsa maddanyň öz içinde siňdirilýän, häsiýetli rentgen şöhlemenmesiniň ýüze çykmaklygyna getirýär. Goparylan elektronlar ýokary energiýa eýe bolan ikilenji elektronlardyrlar, olar maddalaryň atomlaryny we molekulalaryny oýandyryrlar we intensiw ionizirleýärler.

Ýeterlik derejede ýokary energiýa eýe bolan  $\beta$ -bölejikler we ikilenji elektronlar ýokary tertip nomerli maddanyň atomlarynyň ýadrolarynyň meýdany tarapyndan togtadylanda, maddanyň öz içinde siňdirilýän rentgen şöhlemenmesiniň 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 şöhleleriň madda bolan täsiri bilen birmeňzeşdir. Şunlukda,

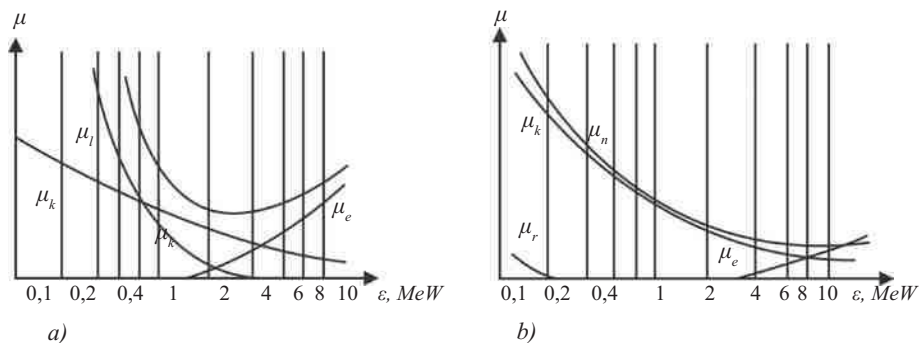
esasam *fotoeffekt* we *kompton-effekt* döreyärler. Fotonlaryň energiýasy  $1\text{ MeV}$ -dan ýokary bolanda bu hadysalar bilen birlikde elektron–pozitron jübüt böljejiniň döredilmekligi hem mümkindir. Bu hadysalaryň ýüze çykmak intensiwligi maddanyň tebigatyna we fotonlaryň energiýasyna baglydyr.

Gamma-şöhleleriň akymynyň intensiwliginiň maddalara bolan täsirindäki gowşamaklygy Bugerin kanuny bilen beýan edilýär. Şunlukda, köplenç, siňdirilişiň görkezijisi bolan  $\mu_s$  göz önünde tutulýar, ol fotoeffektdäki  $\mu_p$ , kompton-effektdäki  $\mu_k$  we jübüt böljejiler dörandäki  $\mu_e$  siňdirilişi häsiýetlendirýän üç koeffisiýentiň jemine deňdir, ýagny

$$\mu_s = \mu_f + \mu_k + \mu_e.$$

Ýokary atom nomeri maddalarda, mysal üçin, gursunda, fotonyň energiýasy  $1\text{ MeV}$ -dan az bolsa, onda, esasam, fotoeffekt bolup geçýär, aralyk energiýada ( $2\text{--}5\text{ MeV}$ ) – kompton-effekt we has ýokary energiýalarda jübüt böljejiler ýüze çykýarlar. Netijede, siňdiriliş koeffisiýentiniň ululygy  $\mu_s$ , fotonlaryň  $E$  energiýasy ýokarlandygyça, fotoeffektiň bolup geçiş intensiwliginiň peselmegine görä, ilki bilen kiçelýär, soňra bolsa, jübüt böljejileriň döremeginiň hasabyna ulalýar (*11.5-nji a surat*).

Atom nomeri  $Z$  ýokary bolmadyk maddalarda, mysal üçin, suwda fotonyň energiýasy  $0,1\text{ MeV}$ -dan kiçi bolan ýagdaýynda diňe fotoeffekt hadysasy bolup geçýär.



11.5-nji surat.

Fotonyň energiýasy 1–2 MeW ululyga çenli ýetýän bolsa, onda (11.5-nji b surat) esasy ähmiýete kompton–effekt eýe bolýar, onuň hasabyna siňdiriliş koeffisiýenti  $\mu$ s kem-kemden peselýär (fotonyň  $E$  energiýasy ulaldygyça). Fotonyň energiýasy ýokary bolanda (takmy-nan 10–20 MeW) jübüt bölejikleriň döremegi esasy rol oýnaýandyr (11.5-nji b surat).

Fotonlaryň energiýasy 0,01–0,02 MeW çäklerde bolsa, onda ho-wada diňe fotoeffekt ýüze çykýar, ondan ýokary bolan energiýalar-da kompton–effekt hadysasy bolýar, fotonlaryň energiýasy, takmy-nan 30–40 MeW ululyga barsa, onda ol ýüze çykýan effektlere jübüt bölejikleriň döremekligi goşulýşyp biler.

Şeýle hem ionizirleýji şöhlemenmä protonlaryň we neýtron-laryň akymlyry degişlidir. Ýadro reaksiýalarynda bölünip çykýan protonlaryň tizligi we energiýasy hem-de olaryň maddanyň içinden geçijilik we ionizirleýji ukyplygy edil  $\alpha$ -bölejikleriňki ýalydyr. Ýad-ro reaksiýalarynda bölünip çykýan neýtronlaryň başlangyç tizligi takmynan  $3 \cdot 10^9 \frac{sm}{s}$  ululyga we energiýasy 4–5 MeW ululyga deň bolýandyr. Neýtron<sup>s</sup>da zarýadyň bolmazlygyna görä, onuň ilkinji ioni-zirleýji ukyplygy örän pesdir, maddalaryň içinden geçijilik ukyplygy bolsa, şoňa degişlilikde – örän ýokarydyr. Neýtronlaryň ionizirleýji ef-fekti, esasan, olaryň ikilenji hadysasynyň netijesinde bolup geçýändir.

Neýtronlaryň atamlaryň ýadrolary bilen çaknyşmalary netije-sinde maýyşgak dargamak, maýyşgak däl dargamak we ýadro tara-pyndan neýtronyň tutulmasy (radiasion tutulmak) bolup biler.

Maýyşgak çaknyşmakda (olar esasan ýeňil elementleriň ýadro-lary bilen bolup geçýär), neýtron öz kinetik energiýasynyň bir bölegi-ni ýadro berýär. Şu ýagdaýda elementiň ýadrosyna «berilýän ýadro» diýilýär. «Berilýän ýadro», alan energiýasynyň hasabyna ikilenji io-nizasiýany geçirýär, onuň geçişi ýadroda zarýadyň bolmagyna görä, örän intensiw ýagdaýda bolup biler. Bedeniň dokumalary öz düzü-minde köp wodorodyň atamlaryny 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 neýtron) 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 radioişjeň izotopa öwrülmesi bolup geçýär, ol soňra  $\beta$ -dargama we gamma-fotonlaryň şöhlenmegine getirýär. Şunlukda, köplenç, bedeniň dokumalarynda  $^1\text{H}$  ( $n, \gamma$ )  $\text{H}^2$  reaksiýa boýunça deýteriý;  $^{23}\text{Na}$  ( $n, \gamma$ )  $^{24}\text{Na}$  natriý we  $^{31}\text{P}$  ( $n, \gamma$ )  $^{32}\text{P}$  fosfor radioişjeň izotoplary, şeýle hem  $^{14}\text{N}$  ( $n, \gamma$ )  $^{14}\text{C}$  reaksiýa boýunça  $^{14}\text{N}$  azodyň izotopyndan  $^{14}\text{C}$  uglerod we beýlekiler döreýärler.

Ionizirleýji şöhlenmäniň täsiri bulardan başga-da, maddanyň molekulalarynyň strukturasynyň bozulmagyna getirip biler. Muňa mysal hökmünde suwuň radiolizini 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 ýokdur, emma olar doýgun däl walentlidirler we şonuň üçin hem olar juda ýokary himiki işjeňlige eýedirler we netijede güýçli okislendirişler bolan  $\text{H}_2\text{O}_2$  ýa-da  $\text{HO}_2$  (gidroperoksid) görnüşli birleşmeler hem döreýärler.

Ionizirleýji şöhleleriň täsirindäki ilkinji ionizasiýa hadysalary bedeniň dokumalarynyň uly derejede şikeslenmegine getirenok. Ýöne ionizirleýji şöhleleriň zeper ýetiriji täsiri ýüze çykýan ikilenji reaksiýalar bilen baglanyşyklydyr, çünki bu ýagdaýda çylşyrymly organiki molekulalaryň özlerindäki baglanyşyklaryň üzülmegi 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, bedeni *şöhle keseli* diýlip atlandyrylýan ýagdaýa getirýärler. Bu ýagdaýda döreýän ýokary işjeň birleşmeler biologiki ulgamyň galan beýleki molekulalary bilen täsir edişýärler, bu bolsa membranalaryň, öýjükleriň we bütewi bedeniň funksiýalarynyň bozulmagyna getirýär.

## 11.7. IONIZIRLEÝJI ŞÖHLELERIŇ DETEKTORLARY

Ionizirleýji şöhleleriň detektorlary diýlip  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  we rentgen şöhleleri, neýtronlary, protonlary we ş.m. registrirleýän enjamlara aýdylýar. Şeýle hem detektorlary bölejikleriň energiýalaryny ölçemek üçin, özara täsir proseslerini, dargamany we başga-da ş.m. öwrenmek üçin ulanylýarlar.

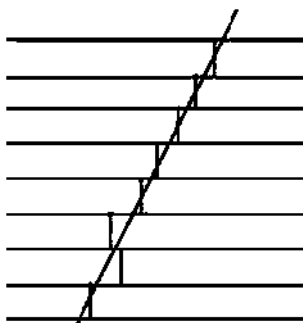
Detektorlaryň işleýiş düzgüni registrirlenýän bölejikleriň maddalarda ýüze çykarýan täsirlerine esaslanýandyr.

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 toparlara bölünmeginiň şertleýindigini ýene bir gezek belläp geçeliň. Mysal üçin, yz detektorlaryny geçip barýan bölejikleri sanamak üçin ulanmak bolar, sçýotçik bilen bölejikleriň sanyny hasaba almaklyk bilen birlikde ionizirleýji şöhlelenmäniň jemleýji akymyna baha bermek bolar we ş.m.

Yz detektorlaryna Wilsonyň kamerasy, diffuziýa, köpürjik, uçgun kameralary we galyňgatlakly fotoplastinkalar degişlidirler. Bu gurluşlaryň ählisiniň işleýiş düzgüniniň umumylygy gözegçilik edilýän bölejigiň öz ýolunyň ugrunda maddanyň molekulalaryny ýa-da atomlaryny ionizirlemeginden ybaratdyr. Döreyän ionlar ikinji effektlar boýunca ýüze çykarylýarlar: aşadoýgun buguň kondensasiýasy (Wilsonyň we diffuziýa kamerasy); aşagyzydrylan suwuklykdan buguň döremekligi (köpürjik kamerasy); gazda zaryadsyzlanmaklygyň döremekligi (uçgun kamerasy); fotohimiki täsir (galyňgatlakly fotoplastinkalar).

Şu aýdylanlara mysal hökmünde uçgun kamerasynyň 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 detek-



11.6-njy surat.

torlardan gowuşýar. Gazyň atomlarynyň ionizasiýasynda bölejigiň traektoriasynyň ugry boýunça döreyän elektronlar elektrik meýdany tarapyndan çaltlandyrylýarlar we indi olaryň özlери ugrы ionizasiýasyny ýüze çykarýarlar. Netijede, uly bolmadyk böleklerde göze görünýän uçgun zarýadsyzlanmasy döreyär.

11.6-njy suratda dar (insiz) yşly uçgun kamerasynyň shemasy görkezilendir.

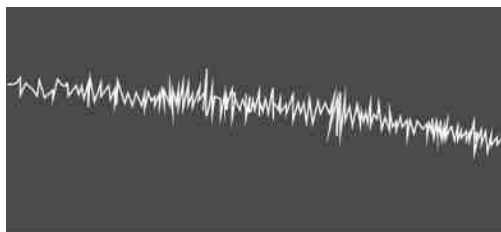
Kamerada ýerleşdirilen elektrodларыň arasyndaky aralyk takmynan 1 sm-e deňdir. Uçgun zarýadsyzlanmasy elektrodlara perpendikulýar ýagdaýda döreyärler, olaryň utgaşmasy bölekleriniň traektoriasyny görkezýärler.

Strimerli uçgun kamerasynda elektrodларыň arasyndaky aralyk 5–20 sm-e deňdir (*Strimerler* diýlip gazlardaky elektrik zarýadsyzlanmasynda 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 gönüden – göni ilkinji ionizasiýa geçýän ýerde ýüze çykýar. Strimerli uçgun kamerasyndaky bölejikleriň yzlary 11.7-nji suratda görkezilendir.

Integral detektorlar hökmünde fotoplýonkalary (plýonka çykarylandan soň onuň garalmak derejesi fiksirlenýär), yzygider täsirli ionizasiýa kamerasyny we beýlekileri görkezmek bolar.

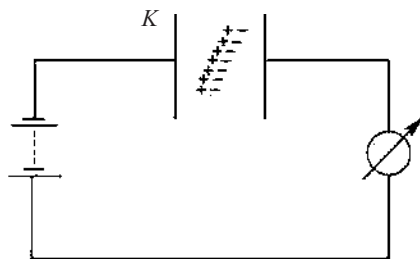
Yzygider täsirli ionizasiýa kamerasynyň işine we gurluşyna sere-dip geçeliň. Ol içine gaz ýerleşdirilen «K» kondensatordan ybaratdyr



11.7-nji surat.



(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.

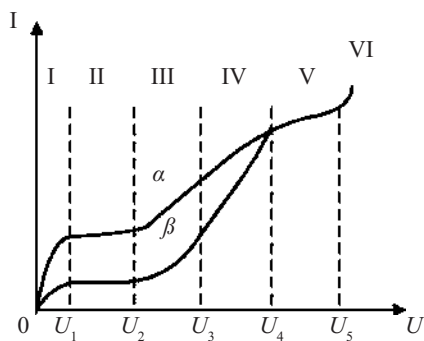
Käbir enjamlarda radioişjeň bölejikleriň täsiri astynda bolýan kondensatoryň zarýadsyzlanmagy elektrometr bilen fiksirlenýär.

Şçýotçiklere gaz zarýadsyzlanma gurluşlaryň (impulsly ionizasiýa kamerasy, proporsional şçýotçikler, Geýgeriň-Mýulleriň şçýotçigi) uly topary degişlidir. Şeýle hem lýuminessentli, ýarymgeçirijili we beýleki şçýotçikler bardyr.

Bölejikleriň boşlukdaky içi gazly aralyga düşende döredýän impuls togunyň ( $I$ ) elektrodlara berilýän naprýaženiýä ( $U$ ) bolan baglylygyna seljerme bereliň (11.9-njy surat, egri çyzyklar  $\alpha$  we  $\beta$  bölejiklere degişlidirler). Impuls togy bir impulsa gatnaşýan ionlaryň sany bilen kesgitlenýändir.

Egri çyzyklaryň ikisi-de şertleýin alty bölek (uçastok) bilen görkezilip bilner. Olaryň her birine dürli prosesler mahsusdyr.

Rekombinasiýanyň I böleginde (meýdanynda) ionlaryň käbir bölegi rekombinirlenýärler. Naprýaženiýäniň ýokarlanmagy bilen rekombinirlenýän ionlaryň sany azalýar, şol bir wagtda elektrodlara baryp ýetýän ionlaryň sany köpeliýär.  $\alpha$ -bölejigiň  $\beta$ -bölejige görä ionizirleýji ukyplygynyň ýokary bolmagyna görä, olara degişli bolan egri çyzyklar hem dürli görnüşe eýe-dirlir.



11.9-njy surat.

II bölek doýgun ýagdaýa degişlidir. Ähli ilkinji ionlar elektrod-lara ýetýärler, ýöne ikilenji ionizasiýa entek ýüze çykýan däldir. Bu bölekde ionizasiýa kamerasy işleýär.

III bölekde ikilenji ionizasiýa ýüze çykyp başlaýar, ýöne şunlukda, toguň impulsy başlangyç ionizasiýa proporsional bolup galýar.

Güýçlendirilenden soň gatnaşýan jübüt ionlaryň  $N$  sany ionizir-leýji bölejigiň döredýän ilkinji jübüt ionlarynyň  $N_0$  sanyna proporsi-onaldyr:

$$N = kN_0,$$

bu ýerde  $k$  – gazyň güýçlendiriş koeffisiýenti ( $k = 10^3$ – $10^6$ ).

Gazyň güýçlendiriş koeffisiýenti « $k$ » sçýotçigiň konstruksiyasy-na we onda ulanylýan gazyň tebigatyna baglydyr. Hut şu bölekde pro-porsional sçýotçikler işleýändirler.

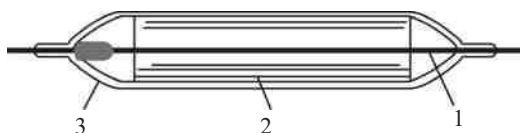
Jübüt ionlaryň  $N_0$  sany we, diýmek, olaryň  $N$  sany, diňe bölejigiň görnüşine bagly däl-de, eýsem-de bolsa onuň energiýasyna hem baglydyr. Onda şeýle bolmaklygyna görä, proporsional sçýotçikler bölejekleriň energiýasyny hem ölçäp bilýändirler.

IV bölege proporsionallygyň çäklendirilen ýeri diýilýär. Bu ýerde entek ilkinji ionizasiýa bolan baglylyk duýulýar, ýöne naprýaženiýäniň  $U_4$  bahasy sçýotçigiň gurluşyna, 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 bölejekleriň energiýalaryny tapawutlandyryp bolýan däldir.

VI bölekde yzygider gaz zarýadsyzlanmasy ýüze çykýar, ol sçýot-çigiň tiz hatardan çykmagyna getirýär. V we VI bölekler özbaşdak gaz zarýadsyzlanmasyna degişlidirler, ol bölejigiň ionizirleýji täsiri aýry-landan soň hem saklanýandyr.

Gaz gurluşlarynyň mysaly hökmünde Geýgeriň-Mýulleriň sçýot-çigine seredip geçeliň, ol koaksial ýerleşen silindriki elektrodlardan ybaratdyr (*11.10-njy surat*). Bu suratda 1-nji anod (okuň ugry boýun-ça çekdirilip goýulan inçejik sim sapagy); 2-nji aýna turbanyň (3) üs-tüne metal çaýylan görnüşdäki katod.



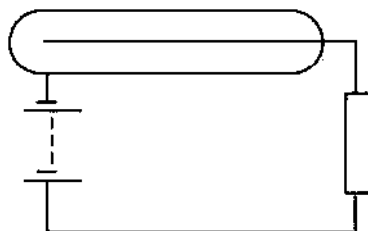
11.10-njy surat.

Sčyotčigiň içinde gazyň basyşy 100–200 mm. sim.süt.-e deňdir. Elektrodlara takmynan birnäçe ýüz wolt naprýaženiýe berilýär. Sčyotčige ionizirleýji bölejik düşende gazda erkin elektronlar ýüze çykýarlar. Ol elektronlar anoda tarap hereketlenýärler. Sim sapagynyň örän inçe bolmaklygyna görä (onuň diametri takmynan 0,05 mm 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 zynjyrdaky tok akýar (11.11-nji surat).

Geýgeriň-Mýulleriň sčyotčiginde döreyän özbaşdak zaryadsyzlanma öçürilmelidir, eger şeýle edilmese ol soňky radioişjeň bölejige reagirlemeýär. Zaryadsyzlanmany öçürmeklik üçin radiotehniki usul we turbanyň içine köpatomly gazlaryň goşulmaklygyna esaslanýan usul ulanylýar (öz-özünden öçürilýän sčyotčikler).

Sčyotčige ýokaryomly rezistoryň birleşdirilmegi radiotehniki usulyň iň sadaja görnüşi bolup durýandyr. Bu rezistoryň üstünden tok akyp geçende naprýaženiýäniň ep-esli peselmesi bolup geçýär, sčyotčikdäki naprýaženiýe azalýar we zaryadsyzlanma kesilýär. Öz-özünden öçýän sčyotčikler has giň ýaýrandyrlar. Olar ýörite gaz bilen doldurylýarlar we şoňa baglylykda zynjyryň hatda örän kiçi garşylygynda-da zaryadsyzlanma öz-özünden kesilýär.

Daşky zynjyrdaky rezistorda ýüze çykýan elektrik impulsalary güçlendirilýärler we soň ýörite gurluş bilen registrirlenýärler. 11.12-nji suratda Б4 kysymly enjamyň daşky görnüşi görkezilendir, ol Geýgeriň-Mýulleriň sčyotčigi bilen birlikde işleýändir.



11.11-nji surat.



11.12-nji surat.

Ssintillýasiýa (lýuminessent) şçýotçiginiň işleýiş düzgüni ionizirleýji şöhlenenmäniň täsiri astynda käbir maddalarda ýagtylygyň gysgawagtlaýyn şöhlenenmesiniň – ssintillýasiýanyň bolup geçmekligine esaslanýandyr. Ýadro fizikasynyň ösüşiniň birinji tapgyrynda ssintillýasiýalar wizual gözegçilikler esasynda registrirlenýärdiler. Lýuminessent şçýotçiklerde olar fotoelektron köpeldijileriň ulanylmagy bilen awtomatiki taýdan registrirlenýärler.

Görşümüz ýaly, ähli sanalyp geçilen detektorlar, diňe haçan-da zarýadlanan bölejikler kesgitli göwürümde ionizasiýany ýüze çykaranda işleýändirler. Şuňa baglylykda,  $\alpha$  we  $\beta$ -bölejikleri registrasiýa etmeklik üçin şçýotçikleriniň ýa-da kameralaryň diwarlary bu bölejikleri öz üstlerinden geçirmelidirler. Käbir ýagdaýlarda  $\alpha$ -şöhlenenmäni registrasiýa etmeklik üçin, şöhlenenmäniň degişli çeşmesi kameranyň içine ýerleşdirilýär, çünki kameranyň diwarlaryny bu bölejikler üçin dury etmeklik kyn bolýandyr.

Röntgen we gamma-şöhleler olaryň fotoeffektde, Kompton efektde we beýleki hadysalarda döredýän zarýadlanan bölejikleriniň ýüze çykarýan ionizasiýasyna baglylykda registrirlenýärler.

Şçýotçikler netijelilik, çözüliş wagty we ş.m. ýaly käbir umumy talaplary kanagatlandyrmalydyrlar.

Netijelilik diýlip registrirlenen bölejikleriň şçýotçiginiň üstünden geçýän ähli bölejiklere bolan gatnaşygyna aýdylýar.

Şçýotçiginiň çözüliş wagty diýlip biri-biriniň yzyndan gelýän bölejikleriň bir bölejik ýaly hasaplanman aýratynlykda özbaşdak tapawutlandyrylyp saýgarylýan iň minimal wagt aralygyna aýdylýar.

## PEÝDALANYLAN EDEBIÝATLAR

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanda saglygy goraýşy ösdürmegiň ylmy esaslary. Aşgabat, 2007.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Garaşsyzlyga guwanmak, watany, halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, 2007.
3. *А. Н. Ремизов, А. Г. Максина, А. Я. Потапенко*. Медицинская и биологическая физика. Москва, 2010.
4. *А. Б. Рубин*. Биофизика. Москва: Высшая школа. Том 1, 1997.
5. *А. Б. Рубин*. Биофизика. Москва: Высшая школа. Том 2, 1997.
6. *Ю. А. Владимиров, Д. И. Рошупкин, А. Я. Потапенко, А. И. Деев*. Биофизика. Москва, 1983.
7. *В. Ф. Антонов, А. М. Черныш, Е. К. Козлова, А. В. Коржуев*. Физика и биофизика. Москва, 2009.
8. *В. Н. Федорова, Е. В. Фаустов*. Медицинская и биологическая физика. Москва, 2009.
9. *Ю. А. Владимиров, А. Я. Потапенко*. Физико-химические основы фотобиологических процессов. Москва: Высшая школа, 1989.
10. *К. П. Иванов*. Основы энергетики организма: Теоретические и практические аспекты. Том 1. Общая энергетика, теплообмен и терморегуляция. Ленинград: Наука, 1990.
11. *G. A. Mezilow*. Bioenergetikanyň esaslary. Aşgabat: 2001.
12. *В. П. Скулачев*. Энергетика биологических мембран. М.: Наука, 1989.
13. *А. Ленинджер*. Основы биохимии. В 3-х томах. М.: Мир, 1985.
14. *Р. Бохински*. Современные воззрения в биохимии. М.: Мир, 1987.
15. *А. Албертс, Д. Брей, Р. Льюис и др.* Молекулярная биология клетки. В 5 томах. М.: Мир, 1994.
16. *В. Ф. Антонов, А. В. Коржуев*. Физика и биофизика. Москва, 2006.
17. Internet maglumatlary.

## MAZMUNY

Giriş .....	7
-------------	---

### I BAP. ULGAM BARADA DÜŞÜNJE.

#### ADAMYŇ DAÝANÇ – HEREKET ULGAMY. ERGOMETRIÝA

1.1. Ulgam barada düşünje .....	15
1.2. Adamyň daýanç – hereket ulgamy. Ergometriýa .....	20

### II BAP. SUWUKLYGYŇ GIDRODINAMIKASY.

#### GEMODINAMIKANYŇ FIZIKI ESASLARY

2.1. Suwuklygyň şepbeşikligi .....	29
2.2. Üst dartlyşy .....	37
2.3. Kapilýar hadysalar .....	41
2.4. Gemodinamika .....	46
2.5. Ýüregiň ýerine ýetirýän işi we kuwwaty .....	53
2.6. Ganyň akýş tizligini kesgitleýän usullar .....	55

### III BAP. BIOLOGIKI ULGAMLARYŇ TERMODINAMIKASY

3.1. Umumy ýagdaýlar .....	58
3.2. Termodinamikanyň kanunlary .....	61

### IV BAP. BEDENIŇ ÝYLYLYK ÇALŞYGY. TERMOGENEZ

4.1. Bedende ýylylygyň döreýiş ýollary .....	78
4.2. Ýylylyk. Ýylylyk çalşygy we onuň görnüşleri .....	91

### V BAP. SES. AKUSTIKA

5.1. Sesiň tebigaty. Ses tolkunlarynyň fiziki häsiýetlendirmeleri .....	101
5.2. Adamyň ses döreýiş (gürleýiş) we eşidiş ulgamynyň gurluşynyň fiziki esaslary .....	106
5.3. Sesiň duyulýş häsiýetlendirmeleri .....	117
5.4. Ses ölçegleri. ....	120
5.5. Tolkun garşylygy. Ses tolkunlarynyň serpidirilmegi. Rewerberasiýa .....	126
5.6. Lukmançylykda ses we ultrases anyklaýyş usullarynyň ulanylyşy	129
5.6.1. Ultrases (US), onuň aýratynlyklary .....	129
5.6.2. Ultrasesiň (US) biologiki täsiri. ....	135
5.6.3. Ultrasesiň lukmançylykda ulanylyşy .....	136
5.6.4. Lukmançylykda anyklamagyň ses usullary. Auskultasiýa. Perkussiýa .....	142

5.6.5. Dopleriň effekti. ....	144
5.6.6. Infrases . ....	147

## VI BAP. BIOLOGIKI MEMBRANALAR

6.1. Biomembranalaryň hadysalaryň biofizikasy . ....	149
6.1.1. Biomembranalaryň gurluşyna bolan garaýyşlar we onuň modelleri. ....	153
6.1.2. Membranadaky lipidler. ....	156
6.1.3. Membranadaky beloklar . ....	160
6.1.4. Membranadaky uglewodlar . ....	164
6.1.5. Biologiki membranalaryň transport hadysalary (maddalary membranadan geçirmek) . ....	165
6.1.6. İşjeň däl transportyň görnüşleri . ....	166
6.1.7. Biologiki membranalaryň işjeň transport . ....	173
6.2. Biologiki membranalaryň energiýanyň öwürilişi. ....	182

## VII BAP. ÝAGTYLYK. GEOMETRIKI OPTIKA.

### GÖZÜŇ OPTIKI ULGAMY

7.1. Ýagtylygyň tebigaty baradaky garaýyşlaryň ösmegi. ....	196
7.2. Ýagtylygyň elektromagnit we kwant nazaryýeti . ....	197
7.3. Biologiki işjeň molekulalaryň elektron geçişler . ....	199
7.4. Geometrik optika . ....	202
7.4.1. Linzalar . ....	203
7.4.2. Linzalaryň aberrasiýasy . ....	207
7.4.3. Astigmatizm . ....	209
7.4.4. Hromatiki aberrasiýa. ....	213
7.5. Merkezlendirilen optiki ulgam. Diafragma. Apertur burçy . ....	214
7.6. Gözüň optiki ulgamy we onuň käbir aýratynlyklary. Akkomodasiýa . ....	218
7.6.1. Görüş burçy. ....	227
7.6.2. Gözüň optiki ulgamynyň kemçilikleri we olaryň düzedilişi. . . .	230
7.7. Görüşüň biofiziki esaslary . ....	233
7.7.1. Retinalyň sis-trans fotoizomerleşmegi . ....	235
7.7.2. Rodopsiniň fotoöwürilişikleri . ....	236
7.7.3. Reseptor potensiallary. ....	237
7.8. Görüş ulgamy. Gözüň torjumak bardasynda görüş signalynyň geçiriliş we güýçlendiriliş mehanizmi. ....	239
7.8.1. Fotoreseptorlar . ....	239
7.8.2. Fototransduksiýa. Görüş kaskady. ....	240
7.8.3. Reňkli görüş . ....	245
7.9. Elektron mikroskopy. Elektron optikasy barada düşünje . ....	246
7.10. Süýüm optikasy we onuň lukmançylyk enjamlarynda ulanylyşy . .	249

## VIII BAP. LUKMANÇYLYKDAKY FOTOBIOLOGIKI

### HADYSALAR. FOTOLUKMANÇYLYK

8.1. Fotobiologiki hadysalar . ....	253
-------------------------------------	-----

8.1.1. Fotobiologiki hadysalaryň geçiş tapgyrlary . . . . .	254
8.1.2. UM şöhleleriniň nuklein kislotalaryna bolan täsiri. . . . .	257
8.1.3. UM şöhleleriniň beloklara we aminokislotalara bolan täsiri . . . . .	259
8.1.4. UM şöhleleriň biologiki membranalara bolan täsiri . . . . .	260
8.2. Fotomedisina . . . . .	261
8.3. Fotohimiyaterapiýa . . . . .	265
8.3.1. PUMA-terapiýa. . . . .	266

## IX BAP. ATOMLAR WE MOLEKULALAR TARAPYNDAN ENERGIÝANYŇ ŞÖHLELENDIRILIŞI WE SIŇDIRILIŞI. LÝUMINESSENSIÝA

9.1. Atomlar we molekulalar tarapyndan energiýanyň şöhlelendirilişiniň we siňdirilişiniň aýratynlyklary . . . . .	270
9.2. Lýuminessensiýa . . . . .	272
9.2.1. Fotolýuminessensiýa. Stoksyň düzgüni . . . . .	274
9.2.2. Fotolýuminessent derňewi . . . . .	277
9.2.3. Lýuminessent belgiler we zondlar, olaryň lukmançylykda hem-de biologiýada ulanylmaklygy . . . . .	278
9.3. Biohimiki reaksiýalaryň geçmekliginde ýüze çykýan şöhlelenme . . . . .	280
9.4. Ragyň fotodinamiki terapiýasy . . . . .	284

## X BAP. RENTGEN ŞÖHLELERI, ONUŇ MADDA BOLAN TÄSIRI. RENTGEN ŞÖHLELERINIŇ LUKMANÇYLYKDA ULANYLYŞY

10.1. Rentgen şöhleleriniň fiziki tebigaty we häsiýetleri . . . . .	288
10.2. Rentgen şöhlelerini ýüze çykarýan çeşme (rentgen turbajygy) . . . . .	291
10.3. Rentgen şöhleleriniň ýüze çykarylyş usullary . . . . .	292
10.4. Rentgen şöhleleriniň turbajyga berilýän naprýaženiýä baglylykdaky spektri. «Gaty» we «ýumşak» rentgen şöhleleri . . . . .	295
10.5. Rentgen şöhleleriniň maddalar bilen özara täsiri. . . . .	298
10.6. Maddanyň üstünden geçýän rentgen şöhleleriň gowşamak kanuny. . . . .	301
10.7. Rentgen şöhleleriniň lukmançylykda ulanylyşy . . . . .	304
10.8. Rentgen şöhlesi bilen anyklamaklygyň häzirki zaman usullary . . . . .	307

## XI BAP. ATOMYŇ ÝADROSY. RADIOIŞJEŇLIK

11.1. Atomyň ýadrosynyň gurluşy . . . . .	314
11.2. Radioişjeňlik. Dargamaklygyň görnüşleri . . . . .	318
11.3. Radioişjeň dargamanyň esasy kanuny. Işjeňlik . . . . .	322
11.4. Radioişjeň şöhleleriň maddanyň içinden geçip bilijilik we ionizirleýji ukyplygy . . . . .	325
11.5. Jübüt bölekleriň döremek we annigilýasiýa reaksiýalary . . . . .	329
11.6. Ionizirleýji şöhlelenmäniň madda bolan täsiri. . . . .	331
11.7. Ionizirleýji şöhleleriň detektorlary. . . . .	335
Peýdalanylan edebiýatlar . . . . .	341