

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRRLIGI**

**A.A.KIÇIÝEW**

# **BIOFIZIKA**

Ýokary okuw mekdepleriň biologiýa hünäri üçin  
okuw gollanmasy

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi  
tarapyndan hödürlenildi*

**A Ş G A B A T**  
**2010**

**Kiçiyew A.A.**

**Biofizika.** Türkmenistanyň ýokary okuw mekdepleriniň biologiya hünäri üçin okuw gollanmasy.– A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2010. 106 sah.

Bu okuw gollanmasynda adam organizminiň açyk ulgam hökmündäki dürli parametrli ölçeglerine laýyklykda dürli biofiziki we fiziologiki aýratynlyklary barada zerur hasaplanýan gymmatly maglumatlar beýan edilýär.

Okuw gollanmasy Türkmenistanyň ýokary okuw mekdepleriniň biologiya hünäri talyplary, aspirantlary, şeýle hem orta okuw mekdepleriniň mugallymlary we beýleki gyzyklanýan okyjylar köpçüligi üçin niýetlenýär.

## “BIOFIZIKA” DERSINE GİRİŞ

Fizika ylym hökmünde kesgitli bir materiýanyň gurluşyny we häsiýetini – meselem, maddany we meýdany, şeýle hem materiýanyň bar bolmaklyk formalaryny – giňişligi we wagty öwrenýär.

Bu kesgitlemede janly we jansyz tebigatyň arasynda hiç hili çäk goýulmaýar. Bu kesgitleme arkaly tebigy bilimleriň islendik sebitiniň nazaryýetiniň esasynda häsiýetiň ýatandygyna göz ýetirmek bolýar. Şol esaslar bolsa, eýýäm himiýadan belli bolşy ýaly, molekulalaryň we atomlaryň gurluşy hem-de biri-birleri bilen täsir edenlerinde olaryň gatlaklaryndaky elektronlaryň üýtgeýişi dogrusyndaky amala aşyrylan açyşlardyr.

**Biofizika dersi, onuň meseleleri, bölümleri we ylmy-barlag usullary.** Biologiýa – janly tebigat hakyndaky ylym bolup, onuň öwrenýän obýektleri has-da çylşyrymlydyr. Şonuň üçin hem biziň önümizde biologik hadysalaryň we kanunalaýyklyklaryň fiziki esaslaryny çuňňur öwrenmeklik meselesi durýar.

Ýokarda aýdylanlary nazarda tutmak arkaly biz **Biofizika ýaşayş hadysalarynyň fizikasy** hökmünde kesgitleme bereris. Ony öwrenmeklik molekula we öýjük derejesinden başlap, bitewi biosfera derejesinde hem tamamlanýar.

Biologiýada eksperiment geçirmekde fiziki gurallardan peýdalanmaklyk biofizika bilen meşgullanmagy aňlatmaýar. Meselem, medisina termometri, elektrokardiograf, mikroskop – bular fiziki gurallar bolup, biologlar, lukmanlar olardan hälişindi peýdalanýarlar. Ýöne olar biofizika bilen asla meşgullanmaýarlar.

Biofiziki barlaglar janly tebigata degişli fiziki meseläniň goýulmagyndan başlanýar. Munuň özi bolsa, şeýle meseläniň

fizikanyň umumy kanunlaryndan we maddanyň atom-molekulýar gurluşyndan gelip çykýandygyny aňladýar.

Biofizikanyň ahyrky maksady nazaryýet biologiýany esaslandyrmakdan ybarat. Şol bir wagtda biofizika nazaryýet we amaly meseleleriň toplumyny çözüär. Janly tebigat örän çylşyrymly bolup, biologik bilimler köplenç halatlarda bolup geçýän hadysalary düşündürmekde ejiz gelýär. Şol sebäpli-de, biofizikanyň usullaryndan islesek-islemesek hem peýdalanmaly bolýarys. Biologiýa ösýär, onuň häzirki zaman ösüşi bolsa biofizikanyň ösüşi bilen aýrylmaz baglanyşyklydyr.

Biofizika – XX asyryň ylmy. Beýle diýilmeği ozallar biofiziki meseleleriň öwrenilmändigini, çözülmändigini aňlatmaýar. Meselem, Makswell reňkli görüşiň nazaryýetini gurdy, Gelmgols bolsa nerw impulsynyň ýaýraýyş tizligini ölçedi. Şeýle mysallaryň sany örän köp. Emme biziň döwrümizde biofizika bedeniň fiziki häsiýetlerini we olara edýän fiziki (ýagtylyk, ses, elektrik) täsirleri öwrenmekden esasy, düýpli (fundamental) meseleleri – nesle geçijiligi we üýtgeýjiligi, ontogenezi we filogenezi, metabolizmi we bioenergetikany öwrenmeklige geçdi. Munuň özi bolsa biologiýanyň we biohimiýanyň güýçli ösmegi arkaly mümkin boldy.

***Biofizikanyň meseleri.*** Biofizikanyň meseleri hem edil biologiýanyňky ýaly. Olar ýaşayyş hadysalaryna akyl ýetirmekden ybarat. Biziň öwrenmekçi bolýan fizikamyzyň bu bölümi – biofizika biologiýa bilen aýrylmaz baglanyşyklydyr. Biofizik üçin hem fiziki, hem biologiki bilimleri bilmek hökmanydyr. Biofizikada amala aşyrylýan işleriň üstünlikli bolmagy üçin onuň bilen meşgullanýan her bir adamda zoologiýanyň we botanikanyň, fiziologiýanyň we ekologiýanyň esaslaryny kesgitleýän janly tebigat hakyndaky umumy düşüňjeler bolmalydyr.

Köpsanly kynçylyklaryň bardygyna garamazdan, häzirki zaman biofizikasy biologiki hadysalaryň ençemesini

düşündürmekde uly üstünlikleri gazandy. Molekulanyň gurluşy we onuň biologiki wezipeleýin häsiýetleri, öýjük gurluşynyň häsiýetleri we täsir ediş ýollary, bioenergetiki jandarlar, mehanohimiki ulgamlar hakynda köp zatlary bilmeklik biofizika başartdy. Hat-da ontogeneze we filogeneze çenli, şeýle hem beýleki biologiki hadysalaryň fiziki-matematiki modelleri üstünlikli işlenilip düzülýär. Termodinamika, habarlar nazaryýetine, öz-özünden sazlaýyş nazaryýetine esaslanan ýaşayyş hadysalaryny düşündirýän umumy nazaryýet usullary iş ýüzünde amala aşyrylýar.

Biofizik mydama biologiki hadysalaryň çylşyrymly ýokary polimer toplumlarynda bolup geçýändigini göz önünde tutmalydyr. Eger-de onuň käbir böleklerini aýry-aýrylykda öwrenmekçi bolsak, onda janly organizme mahsus bolan häsiýetler ýitýär. Biopolimerleriň diňe janly ulgamlarda özüniň funksiýasyny doly ýerine ýetirip bilýär. Şol sebäpli hem öýjügiň fiziki-himiki gurluşy, onuň biopolimerleri durmuşda nähili bolsa, edil şonuň ýaly habary almak meselesi biofizikanyň hemişe önünde durýar. Alynan şol maglumatlara bolsa, barlanylýan ulgamda hiç hili üýtgeşmeler girizmeli däldir.

Biologiki hadysalaryň bozulmagyny ilkinji nobatda janly öýjüklere mahsus bolan fiziki ululyklar (parametrler) boýunça kesgitläp bolar. Organizmdäki bozulan biologiki ulgamlar bozulmadyk öýjüklerde olara mahsus bolmadyk strukturalaryň we birleşmeleriň ýüze çykmagyna getirip biler.

**Biofizikanyň bölümleri we usullary.** Janly tebigat, janly-jandarlar köpderejeli çylşyrymly ulgamlar hökmünde ýüze çykýarlar. Uly we kiçi molekulalar, öýjük organoidleri, öýjükler, dokumalar, organlar, organlaryň ulgamy, organizmler, populýasiýalar, biosfera – bular biologiyada we biofizikada ulanyljak derejelerdir.

Biofizika şertleýin üç bölege bölünýär: 1) molekulýar biofizika; 2) öýjügiň biofizikasy; 3) çylşyrymly ulgamlaryň

biofizikasy. Biofizikany şeýle bölmeklik hökmany däl, ýöne ol dersi öwrenmek üçin amatlydyr. Şol sebäpli, biz biofizikanyň bu üç bölümüniň mazmunyna we usullaryna häsiýetnama bereris.

Molekulýar biofizika – biologiki funksional molekulalaryň gurluşyny we fiziki-himiki häsiýetlerini öwrenýär. Ol esasan-da biopolimerleri, ýagny beloklary we nuklein kislotalaryny öwrenýär. Molekulýar biofizikanyň önünde durýan wezipeler: molekulanyň biologiki funksionallygyna jogap beriji fiziki mehanizmleri, meselem, belok-fermentleriň katalitiki işjeňligini açyp görkezmek ýaly meseleler. Molekulýar biofizika biofizikanyň has ösen bölümi hasaplanýar. Ol molekulýar biologiýa we himiýa bilen aýrylmaz baglanyşykly. Bu ugurda köpsanly uly üstünlikleriň gazanylmagy öz-özünden düşnüklidir, çünki ylymda belli bolan belok molekulalaryna garanyňda, her näçe çylşyrymly bolsa-da, öýjükleri ýa-da organizmleri öwreneniňden molekulalary öwrenmeklik ýeňildir.

Molekulýar biofizika bir tarapdan biologiki-himiki derslere (biohimiýa, molekulýar biologiýa, bioorganiki we bioorganiki däl himiýa), beýleki tarapdan bolsa, kiçi we uly molekulalaryň fizikasyna daýanýar. Molekulýar biofizikanyň nazaryýet apparaty bolup, deňagramly termodinamika, statistiki mehanika, şeýle hem elbetde, kwant mehanikasy hyzmat edýär. Biologiki funksional molekulalaryň eksperimental barlaglary üçin fiziki usullaryň giň görümi ulanylýar. Bu birinjiden, fizikada ulanylýan makromolekulalaryň molekulýar massasyny, ölçeglerini we formalaryny kesgitlemek üçin usullar – ultrasentrifugadaky sedimentasiýa, ýagtylygyň ýaýramagy we barlag edilyän maddanyň erginlerinde rentgen şöhleleriň ýaýramagy we ş.m. Ikinjiden, maddalaryň ýagtylyk bilen özara täsir edişmegine esaslanan roentgen şöhlelerinden başlap, radiobölekleyin şöhlelerde tamamlanýan molekulalaryň strukturalarynyň barlag usullarydyr. Optikanyň we

spektroskopiýanyň usullary, giň manyda bulara rentgenostruktur seljerijisi,  $\gamma$ -rezonans spektroskopiýasy (Mýossbaueriň effekti), elektron we yrgyldyly spektrler, ýagny siňji spektrler we ultramelewşe reňklerdeki lýuminessensiýalar, infragyzyly spektrler we toplumlaýyn (kombinasion) ýaýraýyş spektrleri degişlidir. Bulardan başgada, muňa spektropolýarimetriýa, ýagny ýagtylygyň we aýlaw dihroizminiň polýarlaşan üstüniň tebigy hem-de magnit aýlanmasynyň barlaglary degişli. Ýadro magnit rezonanslarynyň (ÝMR) we elektron paramagnit rezonanslarynyň (EPR) spektrleri örän gymmatly habarlary berýärler. Üçünjiden, kalorimetriýa usullary, bular biologiki makromolekulalaryň öwrülişigini öwrenmek üçin ulanylýar. Beloklaryň we nuklein kislotalarynyň strukturalaryny (şeyle hem ýokary molekulýar strukturalary, öýjük organoidlerini we öýjükleri) elektron mikroskopynyň kömegi arkaly gös-göni öwrenýärler.

Bu usullaryň uly toparynyň biologiyada ulanylmagy öz-özünden düşnüklidir.

Molekulýar biofizikanyň öýjükleriň biofizikasyna geçmegi tebigydyr. Ol öýjükleriň, öýjük we dokuma ulgamlarynyň gurluşyny hem-de wezipesini öwrenýär. Ol biofizikanyň gadymy we döp bolan bölegidir. Onuň esasy wezipesi şu günki günlerde biologiki membrananyň we bioenergetiki hadysalaryň fizikasyny öwrenmek bilen baglanyşykly. Öýjükleriň biofizikasy bolsa, generasiýany we nerw impulsynyň ýaýraýyşyny, mehanohimiki hadysalary (myşsanyň ýygrylmagyny), fotobiologiki hadysalary (fotosintezi, ýagtylyk resepsiýasyny, görüşi, biolýuminessensiýany) öwrenýär. Munuň üçin ýokarda sanalan eksperimental usullaryň ählisi ulanylýar. Öýjükleriň biofizikasy has çylşyrymly meseleler bilen iş salyşýar we molekulýar biofizika bilen deňeşdireniňde uly kynçylyklara degip geçýär.

Biofizikanyň bölümleriniň ählisi häzirkî wagtda durmuşda, esasan-da medizina, derman senagaty, şeýle hem oba hojalygy ýaly pudaklarda özüniň mynasyp ornuny tapýar.

**Biofizikanyň beýleki ylmlaryň arasynda tutýan orný.** Ýokarda bellenilip geçilişi ýaly, biofizikanyň gazananlary biologiyanyň dürli pudaklarynda giňden peýdalanylýar. Janly-jandarlaryň bedeninde bolup geçýän dürli fiziologik hadysalaryň nähili amala aşyrylýandygyna düşünmek biologiyanyň jümmüşine fizika aralaşmazdan asla mümkin bolmady. Bu ýagdaýlary, hadysalary diňe bir uguryň, diňe bir ylmyň düşündirip geçmekden ejiz gelýändigini bellemelidiris. Şonuň üçin hem ylmlar biri-birleri bilen aýrylmaz baglanyşykda bolup, olary mümkin boldugyça ählitaraplaýyn düşündirmäge çalyşýarlar. Biofizika bilen biologiyadan başganda, himiýa, matematika, taryh hem gyzyklanýar. Olaryň özara gatnaşyklaryna durmuşda häli-şindi göz ýetirmek bolýar.

**Biofizikanyň gysgaça ösüş taryhy.** Biofizika ylym hökmünde XIX asyrdan kemala gelip başlady. Şol döwürde köpsanly fiziologlar biofiziki barlaglaryň obýektleri bolup hyzmat edýän meseleleriň üstünde işläpdiler. Meselem, meşhur fiziolog I.M.Seçenow şu ugur boýunça täze işläp ugrapdy. Ol fiziki himiýanyň we matematikanyň usullaryndan peýdalanylýp, dem alyş hadysasynyň geçişini öwrendi, biologik suwuklyklarda gazlaryň ereýişiniň mukdar kanunlaryny düzdi. Onuň döwürdeşi görnükli fizik Gelmgols (H.Helmholt) hem termodinamikanyň meseleler toplumynyň üstünde işleýärkä, janly ulgamlaryň energetikasyna düşünişip ugraýar. Ol özüniň eksperimental işinde görejiň wezipesini düýpli öwrendi, şeýle hem nerw boýunça gyjynmanyň geçiriliş tizligini ölçedi.

Emma fizika himiýa garanynda biologiyanyň jümmüşine örän kynlyk bilen ornaşdy. Çünki şol döwürlerde janly-jandarlarda bolup geçýän biologik hadysalar öwrenilende olara fiziki hadysalar hökmünde garalmagy edilen



synanyşyklaryň amala aşyrylmagy üçin ýaramaz täsir etdi we oňaýsyz netijelere alyp bardy.

Fiziki we kolloid himiýanyň ösmegi biofizikada öňegidişliklere getirdi. Şonuň esasynda janly organizmleriň daşky täsirlere reaksiýasynyň mehanizmlerini düşündirmäge synanyşyldy. Biofizikanyň ösmeginde Lýobyň (J.Leob) hyzmaty uludyr. Onuň işlerinde partenogenez we tohumlanma hadysalarynyň fiziki-himiki esaslary ýüze çykarylady. Bu alymyň «Janly jisimiň dinamikasy» atly kitaby dürli dillerde çap edildi. Bu işde ionlaryň antogonizm hadysasy takyk fiziki-himiki nukdaý nazardan dolý düşündirilýär. Ion we kolloid hadysalarynyň roly hakynda ýörgünli barlaglary geçirmek arkaly Şade (N.Schade) «Iç-goş medisinasyndaky fiziki himiýa» atly ähmiýeti uly bolan işi ýazýar.

Birinji Jahan urşy beýleki ylymlar bilen bir hatarda biofizikanyň ösüşini hem togtatdy. 1922 ýylda Orsýetde «Biofizika instituty» döredilip, oňa P.P.Lazerow ýolbaşçylyk edýär. Bu institutda köpsanly alymlar dürli meseleler boýunça zähmet çekýärler. S.P.Wawilow adamyň gözüniň çäkli duýujylyk meselesi, P.A.Rebinder we W.W.Ýefimow syzyjylygyň fiziki-himiki mehanizmini hem-de syzyjylyk bilen üstki dartgynlylygyň arabaglanyşygyny, S.W.Krawkow reňkli görüşüň fiziki-himiki esaslaryny öwrendiler we ş.m. Biofizikanyň ösmeginde P.K.Kolsowyň hem bitiren hyzmatlary uludyr. Onuň okuwçylary daşky gurşawyň fiziki-himiki faktorlarynyň öýjüklere we öýjük strukturalaryna edýän täsirini öwrendiler.

XX asyryň 30-njy ýyllarynda P.Lazerow, G.M.Frank, D.L.Rubinşteýn dagylar biofizika boýunça okuw gollanmalary we monografiýalary ýazdylar. Soňky wagtlarda ozalky Soýuzyň dürli ýerlerindäki uniwersitetlerde biofizika kafedrasý döredildi.

**TERMODINAMIKA – ENERGIYA ÇALŞYGYNYŇ  
WE ÖWRÜLIŞIGINIŇ UMUMY KANUNALAYYKLYKLARINY  
HÄSIÝETLENDIRIJI YLYM HÖKMÜNDE**

Janly ulgamlar (sistemalar) açyk ulgamlardyr we deňagramsyzlyk ýagdaýynda bolýarlar. Muny ilkinji bolup biolog Bauer şeýle beýan edipdi: “janly materiýanyň deňagramsyzlyk ýagdaýy, şonuň netijesinde işe ukyplylygynyň hemişelik saklanmagy janly materiýanyň molekulýar strukturasyňa şertlenýär, janly sistema tarapyndan amala aşýan işiň çeşmesi bolup hem molekulanyň ýagdaýyna baglylykda şol molekulýar struktura häsiýetli bolan azat energiýa hyzmat edýär». Açyk sistemalaryň termodinamikasyndaky soňraky açyşlar Bertalanffýň, esasan-da Prigožiniň we onuň okuwçylarynyň işleri bilen baglanyşyklydyr.

**Termodinamikadaky ulgamlar (sistemalar) hakynda umumy düşünje.** Organizmde bolup geçýän himiki reaksiýalar termodinamiki açyk ulgamy (sistemany) emele getirýärler. Termodinamika – energiýanyň çalşygy we öwrülişigi hakyndaky ylymdyr.

Termodinamiki usullar hem öz gezeginde statistik usullara esaslanýar. Meselem, haýsy-da bolsa bir molekulanyň temperaturasyny ýa-da basyşyny göz önüne getirmeklik mümkin däl. Sebäbi, bu termodinamiki parametrler ägirt uly makrosistemany düzýän örän köp molekulalaryň özara hereketini aňladýar. Termodinamika ol ýada beýleki hadysanyň tebigatynyň ýa-da mehanizminiň nähilidigine jogap berenok. Ol diňe şeýle hadysanyň bolup biljekdiginiň mümkindigine, onuň energetikanyň nukdaý nazaryndan hakykatdygyna güwä geçip bilýär. Bu bolsa, biologiya üçin örän wajyp bolup, janly sistemalar öwrenilende informasiya (habarlar) nazaryýetinden hem ugur alýar we ony giň gerim bilen ulanýar.

Ulgam ýa-da sistema näme? Ulgam – bu köpsanly bölejiklerden ybarat bolan material obýekt. Onuň jemi ölçegi

ony emele getirýän bölejleriňkiden ep-esli uly bolup bilýär. Şeýlelikde, her bir janly beden termodinamiki sistema diýlip atlandyrylýar.

**Termodinamiki sistemalaryň klassifikasiýasy.** Termodinamika daşky gurşaw bilen özara täsiriniň aýratynlyklaryna baglylykda ulgamlaryň 3 görnüşine, ýagny üzňeleşdirilen (izolirlenen), ýapyk we açyk ulgamlara garap geçýär.

Izolirlenen ulgam – munda daşky gurşaw bilen hiç hili aragatnaşyk bolmaýar.

Ýapyk ulgam – munda daşky gurşaw bilen diňe energiýa çalşygy amala aşyrylýar.

Izolirlenen we ýapyk ulgamlar bagly ulgamlara degişli edilýär.

Açyk ulgam – munda daşky gurşaw bilen hem energiýa, hem madda çalşygy amala aşyrylýar. Şu ýerden görnüşi ýaly, janly organizm Termodinamikanyň nukdaý nazaryndan açyk ulgama doly laýyk gelýär.

Organizmde bolup geçýän biohimiki reaksiýalar hemişe katalitik bolup durýarlar, katalizatorlar bolup hem beloklar-fermentler hyzmat edýärler. Şeýle ulgamlarda entropiýanyň üýtgemegi  $dS$  sistemanyň içinde emele gelýän entropiýanyň  $diS$  we daşky gurşawdan gelýän ýa-da daşky gurşawa gidýän entropiýanyň  $deS$  summasy arkaly aňladylýar:

$$dS = diS + deS \quad (1.1)$$

Eger organizmi izolirlenen ulgamda ýerleşdirsek, onda ulgamyň içinde emele gelýän entropiýa  $diS$  hemişe položitel häsiýetli.  $DeS = 0$  bolanda entropiýa diňe ulalar.  $DiS$  - içki himiki reaksiýalaryň netijesinde emele gelýän entropiýa.  $DeS$  bolsa, takyk ýagdaýa baglydyr. (1.1) deňlemenden stasionar, ýöne açyk ulgamyň deňagramсызлык ýagdaýyndaky deňlemäni alarys. Ulgamy häsiýetlendiriji termodinamiki ululyklar stasionar ýagdaýda hemişelikdir, ýöne olar deňagramlylyk ähmiýetli däldir. Ulgamlaryň entropiýasy onçakly uly

bolmaýar. Stasionar ýagdaýda şeýle deňlemäni alarys:  $dS = 0$ , ýagny  $deS = - diS < 0$  (1.2)

Başgaça aýdylanda emele gelýän entropiýa tutuşlygyna daşky gurşawa gidýär.

Janly bedenden we daşky gurşawdan ybarat bolan üzňeleşdirilen ulgama garap geçeliň. Organizm daşky gurşawdan ýmit, kislorod, suw kabul edýär we şol gurşawa öz gezeginde dürli maddalary bölüp çykarýar. Organizm bilen şol gurşawyň arasynda ýylylyk çalşygy bolup geçýär. Iş ýüzünde kosmonawt kosmos gämisinde hut şeýle şertlerde bolýar. Kosmonawtyň bedeni gämä garanyňda gurşap alan kosmos giňliginden oňat üzňeleşdirilen açyk ulgamdyr. Bu ulgamlaryň entropiýasynyň umumy üýtgemesi položitelidir:

$$dS = dS_1 + dS_2 > 0 \quad (1.3)$$

$dS_1$  - kosmonawtyň entropiýasynyň üýtgemesi;

$dS_2$  - gurşawyň entropiýasynyň üýtgemesi.

Onda:  $dS_1 = diS_1 + deS_1$  (1.4)

$dS_2$  entropiýanyň üýtgemesi diňe kosmonawt bilen onuň ýerleşen gurşawynyň arasyndaky madda we energiýa çalşygy netijesinde bolup geçýär. Kosmonawtyň ýerleşen gurşawynda entropiýanyň önümi ýok diýen ýaly. Şeýlelikde:

$$dS_2 = - deS_1 \quad \text{we} \quad dS_2 = diS_1 > 0 \quad (1.5)$$

Eger-de kosmonawtyň ýagdaýy stasionar bolsa, onda:

$$dS_1 = 0, \quad deS_1 = diS_1 < 0,$$

$$dS_2 = dS = diS_1 > 0 \quad (1.6)$$

Şeýlelik bilen, kosmonawtyň bedenindäki stasionar ýagdaý gurşawyň entropiýasynyň ösmegini esaslandyrýar. Ol organizmdäki entropiýanyň daşky gurşawa bölünip çykmagy netijesinde bolýar. Kosmonawtyň bedeniniň stasionar ýagdaýy dowamly bolup biler, ýöne ol hemişelik bolup bilmez.

Ýer togalagynyň üstünde biosferanyň özüne stasionar hadysa hökmünde garamak bolar. Ýöne ol deňagramlylyk ýagdaýyna golaý ýa-da daş, durnukly ýa-da durnuksyz bolup

biler. Öz gezeginde stasionar däl ýagdaýlar hem şeýle bolmaklary mümkin.

Ulgamyň fiziki we himiki alamatlarynyň jemini beýan etmek üçin termodinamiki funksiýalar ulanylýar. Meselem, temperatura, basyş, göwrüm, entropiýa düşünjeleri. Sistemanyň massasyndan garaşly bolan termodinamiki funksiýalara (göwrüm, energiýa, entropiýa) ekstensiw parametrler ýa-da göwrüm faktorlary diýilýär. Sistemanyň massasyndan garaşsyz termodinamiki parametrlere (basyş, temperatura, entropiýanyň üýtgeýiş tizligi) intensiw parametrler ýa-da potensial faktorlar diýilýär.

**Termodinamikanyň I kanuny, onuň bioulgamlara ulanylyşy. Gessiň kanuny.** Ulgamyň işe bolan ukyby nula (0) deň bolan halatynda şol ulgamda termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýy ýüze çykýar. Ol bu ýagdaýdan diňe daşky gurşawdan gelýän energiýanyň hasabyna çykyp biler. Şeýlelikde, termodinamikanyň birinji kanuny ýüze çykýar, ýagny ol *sistemanyň bitirýän işi şol sistema goýberilýän ýylylyk bilen onuň içki energiýasynyň üýtgemesiniň tapawudyna deňdir.*

$$\Delta A = \Delta Q - \Delta U \qquad \Delta Q = \Delta A + \Delta U \qquad (1.7)$$

bu ýerde:  $\Delta A$  - edilen işiň mukdary;  
 $\Delta Q$  - goýberilen ýylylygyň mukdary;  
 $\Delta U$  - içki energiýanyň üýtgemesi.

Termodinamikanyň birinji kanuny energiýanyň mukdar taýdan saklanmak kanunyňy görkezýär. Netijede, ol «içki energiýa» diýen düşünjäni girizýär. Munuň özi ulgama girýän bölejikleriň hereketiniň ähli görnüşleriniň we olaryň özara hereketiniň jemidir. Bu kanunyň esasynda ulgamdaky iş onuň içki energiýasynyň hasabyna ýa-da ulgama käbir mukdarda ýylylyk berilmeginiň hasabyna amala aşyrylýar.

**Gessiň kanuny.** Bu kanunyň çäginde himiki reaksiýanyň ýylylyk effekti birnäçe zygider döwürleriň (stadiýalaryň) geçiş ýoluna bagly däldir. Başgaça aýdylanda, ýylylyk effekti myşsanyň ahyrky we başlangyç önüminiň

ýylylygynyň tapawudyna bagly bolýar. Onda Gessiň kanuny – bu *himiki reaksiýanyň ýylylyk effekti yzygiderli geçýän birnäçe döwürleriň (stadiýalaryň) geçiş ýoluna bagly däl-de, eýsem mysşanyň ahyrky we başlangyç önüminiň ýylylygynyň tapawudyna baglydyr*. Bu kanun tejribe şertlerinde geçirlmesi we kesgittenilmesi kyn bolan reaksiýalaryň ýylylyk effektini hasaplamağa mümkinçilik berýär.

Gessiň kanuny häzirki wagtlarda-da aýry-aýry azyk önümleriniň ýokumlylygyny (kaloriýalylygyny) hasaplamak üçin peýdalanylýar. Ýmitlik maddalary bedene kabul edilende olaryň metabolizminiň iň ahyrky önümlerine çenli öwrülýänçä ençeme çylşyrymly öwrülişiklere (reaksiýalara), üýtgemelere sezewar bolýarlar. Emma olaryň hemmesiniň jemi energetiki netijeliligi (effekti) kabul edilen maddalaryň gönümel ýakylandaky ýylylyk efektine bagly bolýar.

1-nji tablisa

**Adamyň bedenindäki gije-gündiziň dowamyndaky  
ýylylyk deňeçerligi (kkal.)**

<b>Kabul edilýäni</b>		<b>Sarp edilýäni</b>	
Ýmitlik maddalary		Bölünip çykýan ýylylyk	1374
56,8 g belok	237	Bölünip çykýan gazlar	43
140,0 g ýag	1307	Ekskrement we peşew	23
79,9 g uglewod	335	Dem alyş arkaly bugaryş	181
		Deri arkaly bugaryş	227
		Beýleki dürli zatlara	11
J E M I	1879	J E M I	1859

Tablisadan görnüşi ýaly, bu alnan maglumatlar termodinamikanyň I kanunynyň janly-jandarlar üçin adalatlydygyny subut edýär. Janly-jandarlar üçin energetiki deňeçerligi tejribe arkaly tassyklamak bilen olaryň özleriniň haýsydyr bir täze energiýanyň çeşmesi bolmaýandyklaryny, emma termodinamikanyň I kanunyna doly boýun egýändiglerini görkezýär.

## TERMODINAMIKANYŇ II KANUNY

Üzňeleşdirilen (izolirlenen) ulgamyň energiýasy onuň çäginde bolup geçýän deňagramly ýa-da deňagramсыz hadysalaryň häsiýetine garamazdan, hemişelik bolup galýandygyny termodinamikanyň I kanuny tassyklaýar. Ýöne bu kanunyň esasynda hadysalaryň özlerniň ugurlaryny kesgitlemek we ulgamlaryň üýtgame häsiýeti hakynda haýsydyr bir netijä gelmek mümkin däldir.

Dogrudan-da, termodinamiki deňagramlylykda ýerleşýän ulgamlara daşky täsirlер tükeniksiz az bolanda yzyna öwrülýän hadysalar bolup geçýär. Şeýle deňagramly hadysalar tizliginiň örän haýallygy bilen häsiýetlendirilýär we olar dürli daşky täsirlерden çäklendirilen üzňeleşdirilen ulgamlarda mümkin hem дәl. Şundan tapawutlylykda bolsa, deňagramlylyk ýagdaýyndan ulgama çykýan ahyrky daşky täsirlер netijesinde öz-özünden geçýän deňagramсыzlyk hadysalar döreyär. Olar hem ahyrky pursatda deňagramlylyk ýagdaýyny gazanmaklyga gönükdirilendir.

A → ← B

Öz-özünden geçýän deňagramсыzlyk hadysa gyzgyn bedenden sowuga tarap hereket edýän ýylylyk mysal bolup biler, ýagny ol üzňeleşdirilen ulgamlarda ýylylyk deňagramсыzlygyna getirýär.

Karnonyň postulaty ýylylygyň has gyzgyn bedenden pes temperaturaly ýa-da sowuk bedene öz-özünden geçýändigini görkezýär. Ýöne ters ugur boýunça ýylylyk geçmeýär, munuň üçin hökmany ýagdaýda goşmaça energiýanyň zerurlygy ýüze çykýar. Tebigatdaky bolýan hadysalaryň ählisi hakyky öwrülişikler bolup, olar deňagramсыzlyk ýa-da yzyna gaýtmaýan hadysalara degişlidir. Kesgitli tebigatyna bagly bolmazdan, yzyna gaýdýan hadysalaryň birtaraplaýyn ugruny

şöhlelendirýän çelgiler (kriteriýalar) termodinamikanyň II kanunynyň esasynda emele gelýärler. Onuň çäginde döreyän düşünjelere bolsa, gradiýent, azat energiýa, entropiýa degişlidir.

**Gradiýent, azat energiýa we entropiýa hakynda düşünje.** *Gradiýent* – bu bir ugurda ýerleşen iki sany dürli giňişlikleriň arasyndaky tapawutdyr. Haýsy hem bolsa, bir parametriň gradiýenti şol parametriň iki nokatdaky aratapawudynyň olaryň arasyndaky uzaklygy köpeldilmegi arkaly kesgitlenýär.

$T_1 \rightarrow T_2 \rightarrow T_3$   
 ýylylyk çeşmesi      işçi syna      sowadyjy

Gradiýentiň dürli görnüşleri bolýar:

- $dt/dx$  – temperatura gradiýenti;
- $P/dx$  – basyş (osmos) gradiýenti;
- $dc/dx$  – konsentراسiýa gradiýenti.

Gradiýent diňe bir ululygy bilen däl, eýsem ugry bilen hem alamatlandyrylýan funksiýa bolup, ol wektor ululykdyr.

Janly ulgam jansyz ulgam bilen deňeşdirilende, ol ilkinji nobatda birnäçe gradiýentiniň bolmagy bilen tapawutlanýar. Mysal üçin, osmos gradiýenti, ol ähli janly ulgamlara mahsus bolup, esasan-da ösümlük öýjüklerinde uly rol oýnaýar (turgor hadysasy). Konsentراسiýa gradiýenti bolsa, öýjügiň we daşky gurşawyň arasynda maddalaryň tertipsiz paýlanylmagy netijesinde ýüze çykýar. Mysal üçin: mälum bolşy ýaly, öýjükleriň köpüsiniň düzümünde kaliniň mukdary onuň daşynyň gurşawyndaky bilen deňeşdireniňde ep-esli köp, emma natriniňki bolsa, tersine. Ionlaryň tertipsiz paýlanylmagy öýjügiň gabygynda elektrik gradiýentiniň ýüze çykmagyna getirýär. Umuman, janly öýjükde gradiýentiň bolmalygy iş etmeklige mümkinçilik döredýär. Mysal üçin: nerw impulsynyň generasiýasy. Öýjüklerde çişniň emele gelmegi osmos gradiýentiniň paýlanylmagy bilen baglanyşykly we ş.m. Ölen



öýjüklerde bolsa, bu beýan eden gradiýentlerimiziň hiç biri-de bolmaýar.

**Entropiýa.** Termodinamikanyň II kanunynda öňe sürülýän düşüňjeleriň biri hem entropiýa bolup, ol energiýanyň dargamagyny, ýagny degradasiýasyny görkezýär.

Biologiki obýektlere termodinamiki kanunlary ulanmak termodinamiki ähtimallygyň ol ýa-da beýleki biohimiki öwrülişiň geçişini we degişlilikde energetiki netijäni (effekti) hem-de peýdaly işi hasaplamaga mümkinçilik berýär. Şu maksatlar üçin şol ýagdaýyň termodinamiki funksiýalary hyzmat edýär we olaryň arasynda biohimiýa pudagynda has-da ähmiýetlisi termodinamiki potensial hem-de azat energiýadyr. Entropiýa matematiki funksiýa bolup, ol ulgamdaky ähli üýtgemeleri biri-birleri bilen baglanyşdyrýar.

Entropiýa düşüňjesi, dogrudan hem, deňagramlylyk ýagdaýyndaky ulgamlar üçin kesgitlenendir. Başgaça aýdylanda, ulgamyň entropiýasy diňe deňagramlylyk ýagdaýynda kesgitli ähmiýete eýedir. Açyk ulgamlarda bolsa, ilkinji nobatda hem biologik ulgamlarda ýagdaý deňagramlylyk häsiýetine eýe bolanda onuň funksionirlenişi tamam bolýar.

Açyk ulgamlarda termodinamik deňagramlylyk bilen bilelikde, ulgamyň parametrleriniň deňagramlylyk ulgamlarda bolşy ýaly, hemişelik ähmiýetini saklaýan stasionar ýagdaýlar hem bolup bilýär. Emma bu deňagramlylyk ýagdaýyndan tapawutlylykda, maddalaryň we energiýanyň şol ulgamda gelmegi hem-de gitmegi netijesinde amala aşýar.

Açyk ulgamlardaky hadysalarda bolýan üýtgemeler deňagramsyzlyk ýagdaýlaryň birnäçesi arkaly geçýär. Olaryň hemmesi hem diňe güýç we maddalaryň konsentrasiýa gradiýentleriniň saklanmagynyň hasabyna bolýar.

$$A = Q \frac{T_1 - T_2}{T_1} \quad \square \quad \rightarrow \quad \square \quad \rightarrow \quad \square$$

$$T_1 Q_1 \quad \quad \quad T_2 Q_2$$

$$Q_1/T_1 = Q_2/T_2 \text{ -- bu entropiýa,} \\ \text{ýagny } S_1 = Q_1/T_1; \quad S_2 = Q_2/T_2.$$

Diýmek, öwrülişikli iş hadysasynda energiýanyň böleginiň peýdasyz dargamagy mukdar taýdan entropiýa barabardyr, ýagny öwrülişikli hadysada:

$$Q_1/T_1 = Q_2/T_2 \text{ ýa-da} \quad S_1 - S_2 = 0$$

Öwrülişiksiz hadysalaryň islendigi (sürtülme, ýylylyk geçirilmegi) ýylylyk energiýasynyň köp mukdarda ýitmegi bilen bolup geçýär, ýagny munda entropiýa  $S_1 - S_2 > 0$  bolýar.

Bu umumy düzgünler energiýanyň beýleki görnüşlerine hem degişlidir. Janly-jandarlarda işiň çeşmesi bolup, biohimiki reaksiýalarda bölünip çykyan energiýa hyzmat edýär. Ol hem işe we ýylylyga geçirilýär.

Janly-jandarlaryň boý alyş we ösüşi olaryň bedenleriniň gurnalşynyň çylşyrymlaşmagy bilen ugurdaş amala aşýar. Bu nusgawy (klassyky) termodinamikanyň nukdaý nazaryndan janly ulgamlaryň entropiýasynyň öz-özünden azalýandygyny görkezýär we ol termodinamikanyň II kanunyna gapma-garşy gelýär. İş ýüzünde organizmleriň ösüşi hakykatdan-da olaryň entropiýasynyň umumy ululygynyň azalmagy bilen ugurdaş bolup geçýär:

$$deS / dt > 0; \quad IdeS/dtI > diS/dt$$

Şonuň hasabyna bolsa, daşky gurşawyň beýleki ýerlerinde položitel entropiýany emele getirmek bilen bir-birine bagly hadysalar bolýar. Janly-jandarlaryň umumy energiýa çalşygyny fotosintezde emele gelýän çylşyrymly uglewod molekulalarynyň dem alyşda ahyrky önümler bolan  $CO_2$  we  $H_2O$ -dan öndürilýändigini göz önüne getirmek bolar.

Umuman, energiýanyň şeýle çalşygy häzirkî zaman şertlerinde-de organizmleriň ýaşawyşyny we ösüşini üpjün edýär. Şu nukdaý nazardan janly ulgamlarda entropiýanyň azalmagy olaryň ýaşawyş işjeňligi hadysalarynda fotosintezi amala aşyryan jandarlar tarapyndan kwant ýagtylygyny siňdirmegine we položitel entropiýanyň toplanmagyna şertlenendir. Bu bolsa, Günden gelyän energiýanyň ýadro reaksiýasynda bolýar. Şeýle ýörelge (prinsip) daşky gurşawdan iýmit maddalaryny kabul edýän, otrisatel entropiýasy bolan aýry-aýry organizmlere degişli bolup, hemişe daşky gurşawyň beýleki ýerlerinde položitel entropiýa biri-birine baglylykda öndürilýär. Şeýleleikde, organizm bilen daşky gurşawyň arasyndaky entropiýanyň summar üýtgemesi mydama položitel bolýar. Edil şonuň ýaly hem, öýjügiň bir böleginde entropiýanyň azalmagy organizmiň ýa-da şol gurşawyň beýleki bir ýerinde entropiýanyň armagynyň hasabyna amala aşýar.

Janly ulgamda iýmit önümleriniň we gün energiýasynyň kabul edilýän halatynda energiýanyň azalmagy şol bir wagtda olaryň azat energiýasynyň hem artmagyna getirýär. Daşky gurşawdan hut iýmitlik maddalarynyň kabul edilmegi organizm üçin zerur bolan azat energiýanyň toplanmagyny üpjün edýär. Netijede bolsa, otrisatel entropiýa položitel entropiýanyň döremegi we metabolizmiň öz-özünden geçýän reaksiýalarynda azat energiýanyň sarp bolmagy üçin zerurdyr.

Umuman, açyk ulgamlaryň entropiýasynyň üýtgemeginiň 2 bölege bölünmegi ( $dS = deS + diS$ ) biologik ulgamlaryň umumy häsiýetlerine düşünmeklige mümkinçilik berýär.

**Azat energiýa.** Ozaldan belleýşimiz ýaly, termodinamikanyň II kanuny ýylylyk energiýasynyň işe geçmegini görkezýär. Ol mehaniki, elektriki, himiki energiýalaryň üýtgemeleriniň gaýtaryp bolýan çäGINE ýaýraýar. Ýylylyk energiýasy bilen deňeşdirilende energiýanyň bu görnüşleri ýokary topara degişli edilýär, çünki nazaryýet taýdan

olar işe doly 100% geçip bilýärler we p.h.k.=100%. Ýylylyk energiýasynyň işe geçmegini bolsa, ozaldan mälim bolşy ýaly, Karnonyň prinsipi çäklendirýär: p.h.k.=  $T_1 - T_2 / T_1$

Çünki ýylylyk energiýasy tertipsiz haotik hereket edýär we ol energiýanyň has güýçli derejede dargayan görnüşidir. Emma mundan tapawutlylykda, mehaniki, elektriki, himiki energiýalar ulgamy düzýän mikrobölejikleriň tertipli hereketine eýerýär, şoňa baglylykda olar özbaşdak we doly ýylylyga öwrülip bilýärler. Bellenmeli zat bolsa, janly-jandarlarada mehaniki, elektriki, himiki energiýalaryň p.h.k.= 100% bolýar. Bu bolsa, biologik hadysalaryň öwrülişiksiz hadysalardygyny aňladýar.

Käbir biologik hadysalaryň p.h.k. (% hasabynda) bilen tanyşalyň: glikoliz – 36, oksisli fosforlanma –55, bakteriýalaryň ýagtylanmasy 90-a çenli, myşsalaryň ýygrylmasy – 30, fotosintez – 15.

Termodinamikanyň I kanuny:  $\partial A = \partial Q - \partial U$

$\partial Q = \partial A + \partial U$

$Q = TS$ ; onda  $TdS = dU + \delta A$  bu ýerden  $dU$

$= TdS - \delta A$  mundan

$-\delta A = dU - TdS$  ýa-da  $-\delta A = d(U - TS)$

Ýaýyň içindäki parametrleri F diýip bellesek, onda:

$F = U - TS$ , onda  $dF = dU - TdS$

bu ýerde:  $dF$  - azat energiýa;

$dU$  - içki energiýa;

$TdS$  -ulgamdan goýberilýän ýylylyk

(ýa-da entropiýa).

Işe öwrülip bilýän **azat energiýa** içki energiýa bilen ulgama goýberilýän ýylylygyň tapawudyna deň bolýar. Ulgam deňagramlylyga ymtylanda  $TdS$  ulalar, ulgamyň azat energiýasynyň ululygy bolsa kiçeler we deňleme nula deňeçer bolar. Bu ýerden bolsa, termodinamiki deňagramlylyk diýen düşünje emele gelýär we ol entropiýanyň maksimumy hem-de azat energiýanyň minimumy bilen häsiýetlendirilýär.

Termodinamiki deňagramlylyk entropiýanyň ýokarlanmagy we azat energiýanyň azalmagy arkaly ýüze çykýar.

Nusgawy termodinamika esaslanyp, esasy termodinamiki ululyklaryň, ýagny entropiýanyň, azat energiýanyň, içki energiýanyň, entalpiýanyň we ş.m. mukdar alamatlaryny diňe öwrülişikli hadysalarda alyp bolýar.

Termodinamikanyň II kanunyndan bolsa, ýylylyk energiýasynyň doly işe geçmekligi talaba laýyk däldir. Bu bolsa, ýa-ha ulgamyň ýagdaýynyň ýa-da daşky gurşawyň üýtgemegine baglylygy bilen düşündirilýär.

Eger ulgamda bolup geçýän öwrülişik öwezi dolunmadyk energiýanyň işe öwürilmegi bilen baglanyşykly bolmasa, onda ulgamyň bir ýagdaýdan beýleki bir ýagdaýa geçmek hadysasyny **öwrülişikli hadysa** diýip atlandyrmak bolar. Eger-de bolup geçýän hadysa daşky gurşawdan gelýän energiýanyň hasabyna artykmaç harçlanmagy bilen baglanyşykly bolsa, onda ulgamyň bir ýagdaýdan beýleki bir ýagdaýa geçmegini **öwrülişiksiz hadysa** diýip atlandyrmak bolýar. Bu termodinamikada öwrülişikliligiň esasy kriteriýasydyr. Emma bu kriteriýa öwrülişikli biohimiki reaksiýalar düşüňjesi bilen gabat gelmeýär.

Metabolizmiň aýry-aýry tapgyrlarynda öwrülişikli diýlip hasaplanýan biohimiki reaksiýalar geçýär. Şeýle reaksiýalar üçin termodinamiki parametrleri, ýagny azat energiýany, ýylylyk saklaýjylygy, entropiýany hasaplamak bolýar. Bu ululyklary hasaplap bilmeklik termodinamikanyň II kanuny esasynda ol ýa-da beýleki reaksiýanyň ugruny kesgitlemäge ýardam berýär. Eger reaksiýa öwrülişiksiz bolsa, energiýanyň belli bir bölegi ýylylyk görnüşinde dargaýar we bitirilen iş az bolýar. Eger reaksiýa öwrülişikli bolsa, onda ulgamyň azat energiýasy maksimal işe barabar bolýar. Adatça biohimiki reaksiýalar basyşyň (P) we temperaturanyň hemişelik şertlerinde geçýärler.

Şonuň üçin  $df = dU - TdS$  deňligi  
 $dt = dH - TdS$  görnüşinde ýazyp bolýar;

bu ýerde:  $dt$  - azat energiýanyň hemişelik basyşda we temperaturada üýtgemekligi ýa-da termodinamiki potensial;  
 $dH$  - toplanan ýylylyk ýa-da entalpiýa;  
 $TdS$  - entropiýa.

Eger ulgamyň ähli parametrleri wagtyň dowamynda hemişelik bolanda we haýsy hem bolsa daşarky çeşmeleriň täsiri esasynda stasionar akym ýok bolsa, onda bu ulgamyň ýagdaýy deňagramlydyr we muňa termodinamiki deňagramlylyk diýilýär.

Stasionar deňagramlylyk termodinamiki deňagramlylyk bilen özara meňzeşräk bolup, olaryň meňzeşligi we tapawudy entropiýa, azat energiýa, wagt parametrleri boýunça kesgitlenýär.

Termodinamiki deňagramlylyk wagta bagly däl, onuň entropiýasy maksimal derejede, azat energiýasy bolsa 0-a deň, ýagny şeýle ulgam doly dargan we iş etmäge ukypsyz bolýar.

Stasionar deňagramlylyk bilen termodinamiki deňagramlylygyň arasyndaky meňzeşlik olaryň wagta bagly däldigidir, ýagny stasionar ulgam wagtyň dowamynda öz parametrlerini üýtgetmän saklaýar. Stasionar ulgamyň entropiýasynyň ululygy käbir hemişelik bolup, ol maksimal däldir:  $dS = \text{const}$ . Stasionar ulgamyň azat energiýasy (termodinamiki potensialy) hemişelik nula deň däl, ol käbir hemişelik ululykdyr:  $dt = \text{const}$ . Bu bolsa, stasionar ulgamyň degradasiýa (dargama) ýagdaýynda durmaýandygyny aňladýar, ýagny deňagramlylykdan çykarylanda ol termodinamiki deňagramlylyga çenli iş bitirip bilýär.

Termodinamiki deňagramlylygyň stasionar deňagramlylykdan prinsipial tapawudy kinetiki parametriň ýüze çykmagy bilen baglanyşyklydyr.

Janly bedenlerdäki bolup geçýän hadysalaryň hemmesi belli bir wagtyň dowamynda amala aşýar. Şol sebäpli hem termodinamiki deňliklere wagt parametri girizilse, biologik hadysalary diňe bir hil taýdan däl, eýsem mukdar taýdan hem kesgitlemäge mümkinçilik berer. Emma bu meseläni çözmek aňsat däldir. Çünki janly organizmlerdäki bolup geçýän hadysalaryň tizligi biri-birleriniňkiden ep-esli tapawutlanýarlar. Meselem, diffuziýa hadysasy awtoliz hadysasyna ýa-da nerw we myşsa gyjynyjylygyna garanda örän haýal geçýär. Öwrülišsiz hadysalardaky termodinamiki apparaty ähli biologik hadysalary ýazyp beýan etmekde ulanyp bolmaýar.

Öwrülišsiz hadysalaryň termodinamikasy öwrenilende janly we jansyz ulgamlardaky dürli hadysalary beýan etmekde fenomenologik deňlemeler diýilýänler ulanylýar, ýagny şol hadysalara termodinamiki deňlige golaý hadysalar hökmünde garaýar. Başgaça, ol ýa-da beýleki hadysany emele getirýän güýçler (umumylaşdyrylan güýçler) şol hadysanyň tizligi (umumylaşdyrylan akym) bilen göni proporsionaldyr.

$$I_i = \text{Lik } x_k$$

bu ýerde:

$I_i$  - umumylaşdyrylan tizlik;

Lik - proporsionallyk koeffisienti;

$x_k$  - umumylaşdyrylan güýç.

Biofizikada ulanylýan gönüçyzykly deňlikler biologiyada düýpli ähmiýeti bolan hadysalary ýüze çykarýar. Mysal üçin: diffuziýa hadysasy ýa-da biologik membranalar arkaly maddalaryň syzyp geçijilik hadysasy. Bular Fikiň deňlemesi diýen deňleme arkaly beýan edilýär. Ol wagt birliginde geçirilýän maddalaryň mukdarynyň, ýagny geçirişiniň tizliginiň konsentrasiýa gradiýente proporsionaldygyny (deňdigini) aňladýar we aşakdaky deňlemede beýan edilýär:

$$dm/dt = DS \, dc/dx$$

bu ýerde:  $dm/dt$  - maddanyň diffuziýasynyň täsiri;

D - diffuziýa koeffisiýenti;

S - meýdan;

$dc/dt$  - konsentrasiýa gradiýenti.

Deňlemelerin şu toparyna Omuň kanuny hem degişli, ýagny ol elektrik togunyň geçişini aňladýan deňleme bolup, toguň güýjiniň elektroherketlendiriji güýçlere deňdigi görkezýär:

$I = U/R$  bu ýerde: I - toguň güýji;

U - naprýaženiýe;

R - garşylyk.

Öwrülišiksiz hadysalaryň termodinamiki apparaty häzirkî döwürde biologik membranalardan suwyň, elektrolitleriň we elektrolit dälleriň geçişini beýan etmekde ulanylýar. Janly organizmde haýsydyr bir hadysa özbaşdak geçip bilmeýär. Şu hadysalar jansyz tebigata hem mälüm we olar köp wagtlardan bäri öwrenilip gelinýär, ýagny ol jansyz tebigatdaky hadysalaryň hem biri-birine täsir edýändigini görkezýär. Mysal üçin: gönüburçly okda (steržende) temperatura gradiýentiniň ýüze çykmagy we ýylylygyň has gyzdyrylan diwardan az gyzdyrylan diwara tarap diffuziýasy termodiffuziýany emele getirýär. Şonuň esasynda konsentrasiýa gradiýenti ýüze çykýar. Muňa Soreniň effekti diýilýär. Konsentrasiýalaryň arasyndaky tapawudyň stasionar gollanylmagy bolsa, ulanylýan esbabyň ahyryndaky temperaturanyň tapawudynyň ýüze çykmagy netijesinde bolýar, muňa bolsa, Dýufuranyň effekti diýilýär. Dürli temperaturaly iki geçirijiniň birikdirilen ýerinde elektroherketlendiriji güýçler ýüze çykýar we tersine şol ýerden elektrik togy geçende bolsa, ondan ýylylyk bölünip çykýar ýa-da oňa ýylylyk sindirilýär. Ol Peltýeniň ýylylygy diýen ada eýedir.

Açyk ulgamlarda iki akymyň özara täsirini aşakdaky deňleme arkaly beýan etmek bolar (Onzageriň deňlemesi):

$$I_1 = L_{11}X_1 + L_{12}X_2$$

$$I_2 = L_{21}X_1 + L_{22}X_2$$

$$L_{12} = L_{21}$$



Deňlemedäki  $L$  – koeffisiýent görkezijisi bolup,  $L_{11}$ ;  $L_{12}$  haýsydyr bir «arassa» hadysany häsiýetlendirýär, ýagny ol ýylylyk geçirijilik, diffuziýa koeffisiýenti bolup bilýär.  $L_{21}$ ;  $L_{22}$  koeffisiýentler bolsa, öwrülişiksiz hadysalaryň özara täsirini görkezýär, olara termodiffuziýa, elektroosmos, termoelektrik we ş.m. koeffisiýentler degişli bolup biler.

Prigožiniň deňlemesi:

$$T \, diS/dt = (I_1 X_1 + I_2 X_2) > 0$$

$$\beta = T \, diS/dt \quad \text{onda:} \quad \beta = (I_1 X_1 + I_2 X_2) > 0$$

Onzager 1937-nji ýylda gönüçyzykly fenomenologik deňlemeleriň bolan ýerinde hadysalaryň özara täsiri görkezýän koeffisiýentleriň hem özaralarynda deňdigini ýüze çykardy. Ol Onzageriň deňlemesi diýen ada eýe bolup, koeffisiýentleriň özaralyk gatnaşygyny görkezýär. Onzageriň deňlemesi: eger öwrülişiksiz hadysalara laýyk bolan akym öwrülişiksiz hadysanyň güýjiniň täsirine şol bir koeffisiýentiň üsti arkaly sezewar bolýar. Bu deňleme termodinamikanyň hemme öwrülişiksiz hadysalary üçin uly ähmiýete eýedir.

Şol ýörelgäniň esasynda I.Prigožin stasionar ýagdaýyň esasy häsiýetlerini takyklady we olary subut etdi. Ol hususan-da, stasionar ýagdaýda öwrülişiksiz hadysalaryň amala aşmagynda emele gelýän  $diS/dt$  - entropiýanyň artmagynyň tizligi näçe az hem bolsa, položitel ähmiýete eýedir, ýagny  $> 0$  diýip görkezdi.

Deňagramsyz stasionar ulgamlarda entropiýanyň ýüze çykmagynyň ýa-da azat energiýanyň dargamaklygynyň tizligi şol bir şertlerde ujypsyz (minimal) bolup biljek položitel ähmiýete eýedir. Eger-de ulgam bir sebäp bilen stasionar ýagdaýdan çykaýsa, onda ulgamy stasionar ýagdaýa golaýlatmaga ymtylýan içki güýçler ýüze çykýar. Bu güýçler stasionar ýagdaýyň autostablizasiýasy, ýagny öz-özünden durnuklylygy üçin wajyp ähmiýete eýedir.

Autostablizasiya häsiýeti – bu hem Le-Şatelýeniň ýörelgesidir (prinsipidir). Ol has giň göwrümlü häsiýet bolup, diňe bir deňagramlyk reaksiýalaryny däl-de, eýsem stasionar ýagdaýdaky öwrülişiksiz reaksiýalary hem öz içine alýar.

Termodinamiki deňagramlyk ýagdaýlary üçin döredilen bu ýörelgäni şeýle beýan etmek bolar: eger ulgam deňagramlyk ýagdaýynda bolsa, oňa deňagramlygy bozýan güýçler täsir edende, ol ulgam daşky täsiriň effektini gowşadyjy ýagdaýa geçýär. Mysal üçin: temperatura ýokarlananda himiki stasionar deňagramlyk ýylylygyň kabul edilmegi bilen geçýän reaksiýalara tarap süýşýär. Basyş ýokarlananda bolsa, göwrümiň kiçilmegi bilen geçýän reaksiýalara tarap süýşýär. Şolaryň ikisinde-de temperaturanyň ýa-da basyşyň ahyrky ösüşi garaşylyşyndan pes bolýar.

Wagtyň geçmegi bilen ulgamy düzýän parametrler üýtgeýän bolsalar, onda bu halat stasionar ýagdaý diýlip kesgitlenilýär. Açyk ulgam daşky gurşaw bilen hemişe maddasyny we energiýasyny çalşyp durýar. Şu nukdaý nazardan açyk ulgamyň entropiýasy hem üýtgeýär we onuň üýtgemekligi iki bölege bölünýär.

$$dS = diS + deS$$

Termodinamikanyň II kanunyna laýyklykda  $diS$  hemişe položitelidir. Emma ulgamda hadysalar öwrülişikli bolanda  $diS = 0$  bolar we netijede  $deS > 0$  bolar.

Termodinamikada ulgamyň ýagdaýynyň durnuklylygyny kesgitlemeklik kriteriýalary iň bir wajyp meseleleriň biri bolup durýar. Le-Şatelýe-Braunyň ýörelgesi şeýle ýagdaýlar üçin niýetlenendir, ýagny himiki deňagramlyk ýagdaýynda duran islendik ulgam haýsydyr bir täsir arkaly bozulsa, onda şol ulgam özüniň parametrlere munuň garşysyna gönükdirip, ozalky ýagdaýyna barmaga çalyşýar. Şu ýerde hem soňky ýagdaýa görä, ulgamyň ozalky ýagdaýynyň durnukly deňagramly ýagdaýdygyny görmek bolýar.

Deňagramly ýagdaýlaryň durnukly şertlerinde ulgamyň termodinamiki parametrleriniň arasynda nusgawy termodinamikada wagt (t) parametri ünsden düşürilipdir. Şonuň üçin Le-Şatélyeniň ýörelgesinde termodinamiki ululyklaryňaçyk ulgamlardaky öwrülišsiz hadysalaryň geçişinde wagt häsiýetiniň üýtgeýşine düşündiriş berilmeýär.

Ýapyk ulgamlarda deňagramlylyk ýagdaýyna (P) golaý bolan (P') ýagdaýyň geçişini kesgitlemekde wagt parametri zerur bolup durýar. Netijede, öz-özünden geçýän öwrülišsiz hadysaly ulgam P' ýagdaýdan çykýar. Himiki düzümi babatda ol ahyrky netijede deňagramly ýagdaýa (P) geçýär, çünki ulgam ýapyk bolanlygy üçin madda çalşygy bolmaýar we ulgamyň himiki düzümi öňküligine galýar.

Eger-de açyk ulgamlar hem stasionar ýagdaýda ýerleşýän bolsa, onda içki öwrülišsiz üýtgemeleriň hasabyna bu ýagdaýdan öz-özünden çykyp bilmeýarler. Eger-de bardygeldi haýsydyr bir güýjiň täsiri netijesinde çykaýsalar-da, derrew ozalky ýagdaýa dolanyp gelýärler. Bu bolsa, stasionar ýagdaýlaryň durnuklylygyny aňladýar.

## BIOLOGIKI HADYSALARYŇ KINETIKASY

**Biologiki hadysalaryň kinetikasy** – bu organizmdäki hadysalaryň wagt birliginde geçişiniň kanunalaýyklygyny we mehanizmini öwrenýär. Islendik organizmdäki öýjükleriň we dokumalaryň düzümindäki maddalaryň öwrülişiginiň tizligi hem-de yzygiderliligi ýaşawyş prosesiniň kadaly geçmegini regulirlenmekde (sazlamakda) esasy rol oýnaýar. Ozaldan belleýşimiz ýaly, organizm daşky sreda bilen energiýasyny we maddasyny çalyşýan açyk sistema, şol sebäpli hem organizmdäki madda çalyşyk prosesleri utgaşykly reaksiýalary çylşyrymly sistemasyny emele getirýär. Olar yzygiderli, parallel, aýlawa gabalan bolup biler.

Biologiki sistemada azat energiýa has-da tygşytly harçlanylýar. Ol ýa-da beýleki reaksiýalaryň arasynda haýsysynyň üstünlikli amala aşyryljakdygy azat energiýa arkaly kesgitlenilýär. Munuň üçin bolsa, reaksiýalaryň geçişiniň kinetiki şertleri wajyp ähmiýete eýedirler. Janly organizmlerde reaksiýanyň geçişiniň tizligi esasan şu aşakdaky şertlere daýanýar; 1) katalizatorlaryň (fermentleriň) bolmagyna; 2) ingibitorlara we reaksiýanyň ösüşiniň strukturasy; 3) bihimiki prosesleriň dürli ýollar arkaly geçmekligine.

Metabolizmde öwrülişiklere gatnaşýan dürli komponentleri (n)-himiki birleşmeleri sistema salalyň. Her bir birleşme özüniň konsentrasıyasynyň ähmiýeti bilen häsiýetlendirilýär we ol wagtyň dowamynda üýtgäp biler.

$$dC_1/dt = f_1(C_1, C_2, \dots, C_n, t)$$

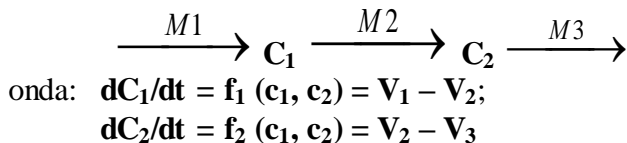
$$dC_2/dt = f_2(C_1, C_2, \dots, C_n, t)$$

$$dC_n/dt = f_n(C_1, C_2, \dots, C_n, t)$$

bu ýerde:  $C_1(t), \dots, C_n(t)$  - wagtyň dowamyndaky näbelli funksiýa.

$dC_i/dt$  ( $i=1, \dots, n$ ) -maddanyň konsentrasıyasynyň üýtgeýiş tizligi.

Maddanyň öwrüliş reaksiýasyny shema boýunça şeýle görkezmek bolar:



bu ýerde  $V_1, V_3$  - ulgama gelyän we ondan gidýän maddanyň konsentrasiýasynyň tizligi;

$V_2$  – maddanyň öwrülişiniň tizligi.

Iş ýüzünde bütewilikde ulgamda bolup geçýän reaksiýalar örän çylşyrymly. Janly öýjükde bolup geçýän metabolismm hadysalary münlerçe maddalaryň gatnaşmagynda amala aşyrylýar. Açyk biologik ulgamlaryň wajyp häsiýetleriniň biri-de üzňeleşdirilen gurşawa mahsus bolan termodinamiki deňagramlylykdan tapawutlanýan stasionar ýagdaýyň bolmagydyr. Biologik hadysalaryň ýokary derejede gurnalmagy, olaryň ýöriteleşmekligi – bu hadysalaryň diňe bir wagt birliginde däl, eýsem giňişlikde hem ýaýramagynyň hasabyna bolýar.

Şeýle ýagdaýy göz önüne getireliň: haçan-da şol bir wagtda ulgamyň haýsydyr bir böleginde himiki reaksiýa geçýärkä, reagentler beýleki bir bölege diffuziýa ýoly bilen geçýärler. Şeýlelikde, ulgamyň elementar görümünde konsentrasiýanyň üýtgeýiş tizligi ulgamda maddalaryň ýüze çykmagy ýa-da ýitip gitmegi arkaly däl-de, eýsem diffuziýa netijesinde maddalaryöwrümiň cäklerinden çykmagy bilen hem kesgitlener. Diýmek, maddalaryň konsentrasiýasynyň üýtgeýiş tizligi diňe bir himiki hadysalara däl, eýsem geçiş hadysalaryna-da baglydyr.

Ulgamyň giňişlikdäki aýry-aýry bölümleriniň arasyndaky diffuziýa baglanyşygyny nazarda tutup, kinetiki deňlemäni şeýle görnüşde ýazyp bileris:

$$dC_i/dt = f_i(C_1, C_2, \dots, C_n) + D_{ci} \delta^2 C_i / \delta r^2 \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

bu ýerde:  $D_i$  – maddanyň diffuziýa koeffisienti;

$C_i$  – maddanyň konsentrasiýasy;

$r$  – giňşlik koordinasiýasy.

Şu pursatda reaksiýanyň geçýän giňşligi birmeňzeş, emma diffuziýa bolsa, giňşlik koordinasiýasynyň oklarynyň ugrunda amala aşýar. Maddanyň konsentrasiýasynyň üýtgeýiş tizligi wagtyň dowamynda himiki reaksiýalar netijesinde tizligiň üýtgemegine we diffuziýanyň hasabyna konsentrasiýanyň tizliginiň üýtgemegine bagly bolýar.

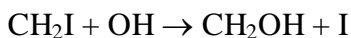
Mälim bolşuna görä, gönüçyzykly fiziki ulgamlarda geçiş hadysalary – diffuziýa – maddanyň konsentrasiýasynyň deňleşmegine getirýär. Emma biologik ulgamlar deňagramsyzdyr, ondaky bolup geçýän hadysalar hem öwrülišsizdir. Ine, şunuň özü-dejanly ulgamlara energiýa we madda akymalaryny özüniň ýaşaýyşynda peýdalanmaga hemaýat edýär.

Islendik ýönekeý reaksiýa ilkibaşky bölekleriň – himiki üýtgeşmeleriň şol bir gaýtalanyp durmagyndan ybaratdyr. Elementar aktlaryň bölekleriniň sanyna baglylykda, olaryň degişli atlary bolýar. Meselem, bir, iki, üç bölekler gatnaşýan reaksiýalar degişlilikde monomolekulýar, bimolekulýar we trimolekulýar diýlip atlandyrylýar.

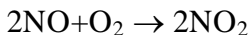
Monomolekulýar reaksiýalara içki molekulýartoparlaryň üýtgeşe reaksiýalary degişli. Mysal üçin, sis-izomeriň trans-izomere öwrülmeği we dargamaklygyň käbir reaksiýalary, ýagny hlorturşy etil etilene we duz kislotasyna dargaýar:



Bimolekulýar reaksiýalara ýodturşy metiliň gidrolizi mysal bolup biler:



Trimolekulýar reaksiýalara azotyň ikileýin okise çenli geçmegi mysal bolup bolup biler:



Reaksiya gatnaşyan bölekler üçden köp bolsa, olaryň birbada, ýagny şol bir wagtda çaknyşmagynyň (reaksiya girmeginiň) ähtimallygy juda az. Şol sebäpli hem olar adatça bir aktda däl-de, birnäçe elementar stadiýalaryň we trimolekulýar reaksiýalaryň üsti arkaly geçýär. Himiki özgerişlik hadysasynyň wajyp mukdar häsiyatnamasy hadysanyň tizligidigini ýene bir ýola duýdurýar. Ol bolsa, reaksiya giryan maddanyň wagtyň dowamynda üýtgemegi bilen kesgitlenýär.

Himiki kinetikanyň düşünelerine baglylykda reaksiya haçan-da molekulalar çaknyşanda amala aşýar. Muňa bolsa, daşky şertler (temperatura, basyş, pH) bilen bir hatarda reagirlenýän maddalaryň konsentrasiasy hem täsir edýär.

Önümiň emele geliş tizligi: monomolekulýar reaksiýalarda

$$dP_1/dt = R_1[A]$$

$$dP_1/dt = R_1[A_0] e^{-R_1 t}$$

bu ýerde:  $dP_1/dt$  – reaksiýanyň tizligi;

$[A_0]$  – ilki başky maddanyň başlangyç konsentrasiasy;

$R_1$  – konstanta.

Eger reaksiýanyň tizligi bir ilki başky maddanyň konsentrasiasyna bagly bolsa, onda oňa birinji derejeli reaksiya diýilýär.

Bimolekulýar reaksiýalar üçin:

$$A + B = R_2; \quad dP_2/dt = R_2 [A] [B]$$

bu ýerde:  $[A]$  we  $[B]$  reagirlenýän maddalaryň konsentrasiasy.

Reaksiýanyň tizligi iki maddanyň konsentrasiasynyň köpeldilmegi bilen kesgitlenýär we ol ikinji derejelidir.

Deňlemelerdäki  $R_1$  we  $R_2$  tizlik konstantasynyň ululygydyr. Ol birnäçe faktorlar bilen kesgitlenýär, ýagny maddalaryň şowly çaknyşyklarynyň ähtimallygyndan,

molekulalaryň hereket uzynlygyndan, olaryň ýerleşýän gurşawyndan (mysal üçin, şirelilikinden) we ş.m.-den baglydyr.

Reaksiýanyň tizliginiň reagirlenýän maddalardan garaşlylygyny öwrenip, reaksiýanyň tertibi, onuň geçişi hakynda netije çykarmak mümkin. Muny özbaşdak reaksiýalara, şeýle hem reaksiýalaryň ulgamyna ulanyp bolýar.

Reaksiýalaryň tertibi we molekulýarlylygy diýen düşüňjeler hemişe gabat gelmeýärler. Reagirlenýän maddalaryň biriniň agdyklyk edýän şertlerinde diňe arassa bimolekulýar birinji derejeli reaksiýalaryň kinetikasyna boýun egýärler. Şeýle ýagdaýlarda reaksiýanyň tizligi az sanly molekulalaryň görnüşine bagly. Sebäbi, ikinji derejeli molekulalaryň azalmagy olaryň konsentrasiýasyny, şeýle hem reaksiýalaryň tizligini o diýen düýpgöter ýütgetmeýär. Muňa suwly gurşawdaky gidroliz reaksiýalary (saharozanyň turşylyk gidrolizi) mysal bolup biler.

Çylşyrymly reaksiýalaryň kinetikasy: janly bedenlerde reaksiýalaryň birnäçe stadiýalarda geçýänligi mälimdir. Mysal üçin, süýt kislotasynyň biologik degidririlenmegi aşakdaky ýaly stadiýalarda geçýär:

- 1)  $\text{CH}_3 - \text{CHOH} - \text{COOH} - \text{koferment I} \rightarrow \text{CH}_3\text{CO} - \text{COOH}$   
dikeldilen koferment I
- 2) dikeldilen koferment I + ferrositohrom C  $\rightarrow$   
 $\rightarrow$ ferrositohrom C + koferment I
- 3) ferrositohrom C + kislorod  $\rightarrow$  ferrositohrom C + suw

Reaksiýanyň summar ýagdaýy şeýle aňladylýar:

süýt kislotasy + kislorod  $\rightarrow$  piroüzüm kislotasy + suw

Reaksiýanyň ýönekeý zynjyry:  $A \xrightarrow{n1} B \xrightarrow{n2} C$

$da/dt = k_1a$

$ab/dt = k_1a - k_2b$

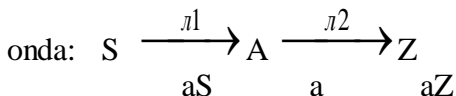
$dc/dt = k_2b$



bu ýerde: a; b; c – wagtyň dowamynda konsentrasiýanyň üýtgemegi.

Organizmdäki reaksiýalaryň köpüsiniň tizligi reaksiýa gatnaşýan maddalaryň konsentrasiýasyna bagly dälir we ol hemişelikdir.

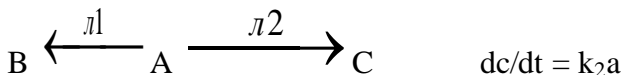
$dc/dt = k_0$  Şeýle reaksiýalara “nul derejeli” reaksiýalar diýilýär. Şunuň ýaly reaksiýalaryň tizligi ferment-substrat bilen baglansykly bolup, şolaryň kompleksi arkaly kesgitlenilýär. Olaryň konsentrasiýasy hemişelik bolmagynda galyar. Aýyk sistemalarda himiki reaksiýalaryň tizliginden başga-da sistema reagentleriň düşmegi we sistemadan önümleriň çykmagy, ýagny diffyziýa prosesleri möhüm häsiýete eýedir. Mysal üçin, A madda S çeşmeden suwuň ýygnaýan ýerine Z çenli sistemada özgermelere duçar bolmaýar diýeliň:



bu ýerde: a-çeşmedäki maddalaryň konsentrasiýasy;  
 a-maddalaryň aýyk sistemadaky konsentrasiýasy;  
 az-maddalaryň ýygnaýan ýerdäki konsentrasiýasy;  
 $k_1; k_2$ -geçiriş konstantasy.

Organizmda maddalaryň kábiri parallel geçýän reaksiýalara girýärler. Mysal üçin, glýukoza glikoliz ýoly bilen oksidenip, Krebsiň ýa-da geksozomonofosfat aýlawyna girip biler. Parallel geçýän reaksiýalaryň ýönekeý sistemasyny şeýle görkezme bolar:

$$da/dt = k_1 a$$



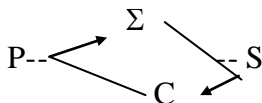
A madda doly harçlananda:

$$da/dt = k_1 a + k_2 a = (k_1 + k_2) a$$

$$b/c = k_1/k_2$$

ýagny bir wagtda iki sany birinji derejeli reaksiýalar geçseler, olaryň hersi gelýän maddalaryň mukdarynyň özaralarynda tizligiň konstantasy ýaly gatnaşýarlar.

Krebsiň aýlawynda madda çalşygy prosesinde wajyp rol oýnaýan dürli reaksiýalaryň geçişine oňat göz ýetirmek bolýar:



bu ýerde:  $\Sigma$  -ferment; S-substrat; C-ferment-substrat;  
P-reaksiýalaryň önümi.

Şeýle aýlawda fermentiň bir molekulasy substratyň köp sanly molekulalarynyň öwrülişigini üpjün edýär. Aýlawlaýyn reaksiýalar organizm üçin az mukdardaky metabolitleri mümkin boldugyça netijeli ulanmaga ýardam berýär. Şonuň hasabyna organizmdäki limon, alma we beýleki organiki kislotalaryň az sanly mukdary uksus kislotasynyň ýüzlerçe gramynyň okislenmegini katalizläp bilýärler.

Aýlawlaýyn reaksiýalaryň aýlanyşygynyň tizligi aýlawyň aýry-aýry stadiýalaryny düzýän maddalaryň konsentrasiasyna bagly, şol aragatnaşyklar deňagramlylyk ýagdaýyndan näçe daş bolsalar, şonça-da köp bolýar. Aýlawyň düzümine girýän aralyk maddalar diňe aýlawlaýyn reaksiýalarda emele gelmän, eýsem onuň daşyndan hem gatnaşyp biler. Şonuň üçin organizm aýlawlaýyn maddalaryň konsentrasiasyny öz-özünden sazlap bilýär. Mysal üçin, Krebsiň aýlawynyň aýlanyş tizligi onuň düzüminde öwrülişiksiz okislenýän uksus kislotasynyň artykmaç mukdarynyň hasabyna ýokarlanyp biler. Şeýle ýagdaý aýlawlaýyn aralyk madda bolan fumar kislotasynyň goşmaça düşmegi bilen hem ýüze çykýar.

## ÇYLŞYRYMLY BIOLOGIKI HADYSALARYŇ KINETIKASY

Organizmde bolup geçýän himiki reaksiýalaryň geçiş tizlikleri kinetiki nazaryýet boýunça reaksiýa gatnaşýan maddalaryň konsentrasiýasy bilen bir wagtda temperaturasyna hem baglydyr. Temperatura garaşly bolan reaksiýalar Arreniusyň deňligi bilen beýan edilýär:

$$K = \rho Z e^{-E_{i\text{şj}}/R}$$

Bu ýerde:  $\rho$  – steriki faktor;  
 $Ze$  – elektronlaryň çaknysyklarynyň sany;  
 $E_{i\text{şj}}$  – işjeňleşme energiýasy;  
 $R$  – uniwersal gaz hemişleigi.

Biologiki hadysalaryň dürli tebigatly reaksiýalarynyň häsiýetnamalaryny öwrenmeklik reaksiýalaryň mehanizmi hakynda ençeme maglumatlary toplamaga ýardam berýär. Temperatura häsiýetnamasy hökmünde has köp ulanylýany işjeňleşme energiýasydyr. Onuň bilen bir wagtda Want-Goffyň koeffisiýentini hem mysal getirmek bolar. Bu koeffisiýent temperatura ýokarlanan wagtynda reaksiýanyň tizliginiň tizlenmegini häsiýetlendirýär.

Dürli işjeňleşme energiýalaryň dürli tebigatly reaksiýalarda temperatura baglylygy hem dürlüçe bolýar. Himiki reaksiýalaryň işjeňleşme energiýasynyň birnäçe onluk kilokaloriýasynyň mola laýyk bolmagy 2-3 mola deňdir. Fermentatiw reaksiýalaryň işjeňleşme energiýalary ep-esli pes bolýar. Fotohimiki reaksiýalar we fiziki hadysalar (mysal üçin, diffuziýa) üçin işjeňleşme energiýasy örän ujypsyz bolýar we Want-Goffyň koeffisiýenti 1-e deňdir.

Köpsanly biologiki hadysalaryň işjeňleşme energiýasy himiki reaksiýalaryňky ýaly. Öýjükleriň haraplanmak hadysasynda işjeňleşme energiýasy örän ýokarlanýar, ýagny

150 kkal/mol. Şeýle uly işjeňleşme energiýasy proteinleriň denaturasiýasy reaksiýalary üçin hem mahsusdyr. Mysal üçin: gemoglobiniň lagtalanmagynda 60 kkal/mol, gyzgyn suwuň täsiri arkaly gemoliz üçin 64 kkal/mol işjeňleşme energiýasy gerek.

Mälim bolşy ýaly, fermentativ reaksiýalarda işjeňleşme energiýasy örän az mukdarda bolýar. Bu ýagdaý häzirkizaman düşüňjelerine görä, reaksiýanyň tizlenmegi fermentiň substrat bilen kompleks emele getirmegine baglydyr. Reaksiýa girýän (reagirlenýän) maddalaryň molekularynyň electron gatlaklary reaksiýa girende üýtgeýärler we netijede reaksiýanyň işjeňleşme energiýasy kiçelýär. Mysal üçin: saharozanyň işjeňleşme energiýasy amilazanyň täsiri arkaly 25,6 kkal/mola barabar bolýar.

Köpsanly biologiki hadysalar öwrenilende, hadysanyň tizliginiň temperatura optimumynyň çäginde üýtgemegi Arrheniusyň kanuny bilen laýyk gelyär.

Organizmde bolup geçýän hadysalaryň örän çylşyrymlydyklaryna garamazdan, olaryň içinde haýsy hem bolsa bir reaksiýa aýgıtlaýjy orun (rol) degişlidir. Dürli işjeňleşme energiýaly hadysalaryň dürli himiki tebigaty bolmaly, şol sebäpli hem olaryň temperatura häsiýetnamasyny öwrenmeklik janly ulgamda öňdebaryjy reaksiýalary beýan edýän usul bolup hyzmat edýär.

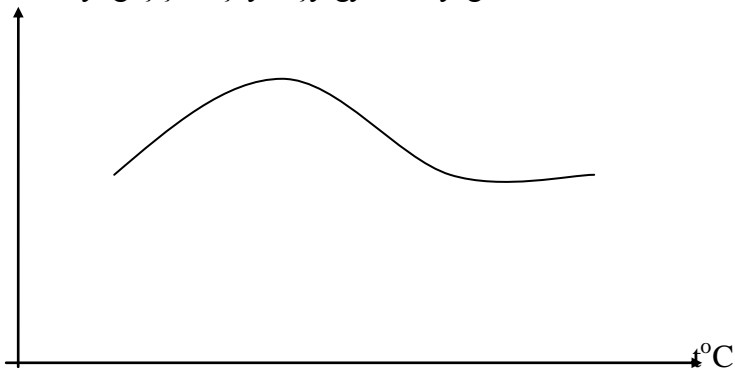
Temperatura ýokarlananda reaksiýanyň tizligiň artmagy we reaksiýanyň işjeňleşme energiýasy näçe köp boldugyça, şonça hem çalt geçýär. Pes temperaturada has haýal geçýän reaksiýa uly işjeňleşme energiýaly, ýokary temperaturada geçýän reaksiýa bolsa, kiçi işjeňleşme energiýaly bolup biler.

Şeýle reaksiýalaryň temperatura üýtgände deňagramlylyk tizliginiň temperatura bagly bolmagy Krozýeniň biologiki hadysalar üçin beren düşündirişine esaslanandyr. Mysal üçin: galpyldyly (мерцательный) epiteliýniň

kirpikjagazlarynyň hereketinde  $+15^{\circ}$   $+30^{\circ}$  temperatura aralygynda işjeňleşme energiýasy 1180 kkal/mola,  $+15^{\circ}$ -dan pes temperaturada bolsa 16700 kkal/mola barabar bolýar.

Biologiki hadysalaryň tizliginiň temperatura baglylygy hakynda alymlaryň käbiri şeýle pikiri orta atýarlar, ýagny hadysa struktura elementleriniň himiki çalşyk we dargama reaksiýalary arkaly amala aşýar. Ilkinji reaksiýada işjeňleşme energiýasy uly we has ýokary temperaturada ol agdyklyk edip başlaýar hem-de fermentleriň dargamagyna we çalşyk reaksiýalarynyň haýallamagyna getirýär.

Biologiki hadysalaryň tizliginiň temperatura baglylykda umumy geçişini şeýle çyzgy arkaly görkezme bolar:



### Suspenziýanyň ýylpyldamagynyň temperatura baglylygy

- çyzygyň ýa-da gyzyklandyryýan hadysanyň başlangyç ýagdaýy;
- çyzygyň ýa-da gyzyklandyryýan hadysanyň gerşi ýa-da ýokary derejesi;
- çyzygyň ýa-da gyzyklandyryýan hadysanyň ahyry.

Çyzygyň başy, gerşi we ahyry biologiki hadysanyň amala aşýan temperaturasynyň iň az, kadaly we iň ýokary derejesine gabat gelýär. Alymlaryň käbirleriniň pikirlerine görä, temperatura bagly bolmagyň şunuň ýaly ýoly iki

hadysanyň goşulmagynyň netijesidir, olar temperaturanyň ýokarlanmagy bilen tizlenýärler. Muňa himiki çalşyk we dargama reaksiýalary mysal bolup bilerler. Dargama reaksiýasynyň işjeňleşme energiýasynyň çalşyk reaksiýasynyňky bilen deňeşdirilende uly we ol has ýokary temperaturada agdyklyk edip başlaýar. Munuň özi bolsa, fermentleriň dargamagyna we çalşyk reaksiýalarynyň haýallamagyna alyp barýar. Ony şeýle görkezmek bolar:

$$W = A_{1e}^{-E_1/RT} - A_{2e}^{-E_2/RT}$$

bu ýerde: W – biologiki reaksiýalaryň tizligi.

Bu reaksiýa käbir fermentleriň hereketiniň temperaturanyň optimумы üçin has adalatlydyr. Şeýle ýagdaýda fermentiň işjeňliginiň peselmegi we netijede reaksiýanyň peselmegi, dogrudan-da proteiniň denaturasiýasy bilen bagly. Denaturasiýa reaksiýasy durmuşda-da ýaşayş üçin bolup biljek temperaturanyň ýokary çäginu kesgitleýär. Bu reaksiýanyň işjeňleşme energiýasy 60000 – 70000 kkal/mol we ondan-da ýokary. Bu reaksiýalar üçin ýokary temperaturalardan başlap, temperaturanyň az üýtgemeginde tizlik çalt üýtgeýär. Emma köplenç ýagdaýlarda öýjükdä zygiderli we ugurdaş (parallel) reaksiýalar amala aşýar. Maddalaryň konsentrasiýasy we reaksiýanyň tizligi reaksiýanyň tizlik konsentrasiýasy bilen kesgitenýär, olar temperaturadan dürli garaşly bolýarlar.

## BIOLOGIK HADYSALARYŇ KINETIKI MODELLEŞDIRILIŞI

Üzňeleşdirilen ulgamyň entropiýasy hemişe iň ýokary derejä ymtylýar. Şeýle ulgamda öz-özünden gurnalma ýa-da döwürleýin geçiş ýagdaýlarynyň ýüze çykmagy asla mümkin däl.

Ýapyk ulgam daşky gurşaw bilen energiýasyny çalyşýandygy, ýöne madda çalyşygynyň bolmaýandygy sebäpli, statistic, deňagramlylyk, tertiplilik ýagdaýlarynda döwürleýin geçişlere ukyply bolýar. Şeýle ulgamyň azat energiýasy  $G = H - TS$  iň pes derejä ymtylýar. Örän pes temperaturada entropiýanyň azat energiýa goýumy azalýar we statistik tertip ýüze çykýar.

Açyk ulgamlarda ulgamyň özüni alyp barşynyň iki ýagdaýyny tapawutlandyrýarlar. Deňagramlylyk ýagdaýyna golaý ulgamlar çyzykly termodinamikanyň çäginde ýazylyp beýan edilýär. Emma açyk ulgamlar deňagramсыз ýagdaýda bolýarlar, şeýle ulgamlara başgaça **dissipatiw ulgamlar** diýilýär. Dissipatiw ulgamlaryň wagt birliginde we giňişlikde öz-özünü gurnama hadysalaryny öwrenýän biofizikanyň ugruna **sinergetika** diýilýär.

Biologiki hadysalar köpsanlydyr we olar çyzykly termodinamika mahsus häsiýetleri ýüze çykarýarlar:

- 1) ulgam bir ýagdaýdan beýleki ýagdaýa geçýär, meselem, nerw impulsynyň generasiýasy ýa-da myşsalaryň ýygrylmagy;
- 2) ähli derejelerdäki gurnamalarda öýjükleriň we jandarlaryň özlerini alyp baryşlary sazlanmaga hem-de gözegçilige mätäç, bu yzyna gaýtma hadysa bolup, ol çyzykly ulgamlara mahsus däldir;
- 3) bu döwürleýin, yrgyldyly (üýtgeýän) hadysadyr. Ähli derejelerdäki gurnamalarda – makromolekuladan populýasiýa çenli – fermentatiw işjeňlik, metabolitleriň

konsentrasiýasy, populýasiýanyň sany ýaly häsiýetli ululyklaryň irginsiz üýtgemegi (yrgyldysy) amala aşýar.

- 4) öýjükdən başlap, umumy biosferada tamamlanýan biologik ulgam öwrülişiksiz ösýär, kämilleşýär.

Ösüş hemişe täze-täze informasiýalaryň (habarlardyr maglumatlaryň), ýagny çyzyksyz hadysalara mahsus häsiýetleriň döremegine alyp barýar.

Açyk ulgamda öz-özünden gurnamanyň termodinamiki esasy daşky gurşawa entropiýanyň akymynyň bolýanlygyndan ybarat. Ontogenez, ewolýusiýa hem hut şunuň bilen kesgitlenýär. Sinergetika älem giňligindäki – meselem, galaktikanyň, ýyldyzlaryň we saýýarlaryň (planetalaryň) emele gelişini; fizikadaky – meselem, atmosferada bulutlaryň, tüweleýleriň emele gelişini we ş.m.; umuman, ähli babatda biologik hadysalaryň dürlüligini hem öwrenmek bilen gyzyklanýar.

Sinergetikada edilen işleriň ilkinjileriniň biri hökmünde Ç.Darwiniň ewolýusion taglymatyny görkezmek bolar. “Görnüşleriň emele gelişini” diýen işinde tertipsiz tötänleýin üýtgeýjiligiň netijesinde biosferanyň tertipli ösüşini, ýagny öz-özünden gurnamanyň amala aşýandygyny görmek bolýar.

Dissipatiw ulgamlaryň durnukly we durnuksyz hadysalaryň stasionar ýagdaýlary hem-de olaryň biri-birine geçişi öwrenilende durnuklylygyň çelgilerini (kriteriýalaryny) düzmäge termodinamika ýakýndan ýardam berýär. Olary mundane aňry öwrenmek üçin fiziki-matematiki modelleri gurmak zerurlygy ýüze çykýar.

Häzirki zaman tebigy bilimleri biologiýanyň dürli ugurlaryna matematiki usullaryň çuňňur aralaşmagy bilen häsiýetlendirilýär. Häzirki zaman ylmy bütewi biologik ulgamlaryň funksionirleniş meselesine olary düzýän bölekleriň (elementleriň) özara täsiriniň netijesi hökmünde garaýar. Şol meseläniň dogry çözülmegi üçin bolsa, seçilip alynýan matematiki modeller diňe ýerlikli ulanylmalydyr. Çylşyrymly



biologik hadysalaryň mehanizmlerini, olaryň hereketlendiriji güýçlerini, konsentrasiýanyň ähmiýetini we olaryň özara täsirleriniň tizlik konstantalaryny açyp görkezmekde matematiki modelleriň ähmiýeti örän uludyr.

Biologik ulgamlaryň özlerini alyp baryşlaryny ýazyp beýan etmekde peýdalanylýan usullar çyzyksyz differensial deňlemeleri öwrenmekde-de ulanylýar. Munda esasy üns modelleşdirilýän obýektiň umumy häsiýetlerini seljermekde zerur bolup durýan differensial deňlemeleriň çözüşiniň hil başlangyçlaryna berilýär. Geliň onda, ilki bilen birinji tertipli differensial deňlemelere garap geçeliň:

$$dx/dt = f(x)$$

bu ýerde:  $x$  – üýtgeýän ululyk;  
 $t$  – berlen wagt pursaty;  
 $f(x)$  – seljeriji funksiýa.

Bu deňlemäni deňagramlylyk ýagdaýynyň durnuklylygyny kesgitlemek üçin Lýapunow ulanypdyr. Lýapunowyň usuly boýunça bir deňlemäniň esasynda ulgamyň deňagramlylyk ýagdaýynyň durnuklydygyna ýa-da durnukly däldigine jogap bermek kyn däl.

$$x = \bar{x} \text{ bolanda, } f(\bar{x}) = dx/dt /_{x=\bar{x}} \Rightarrow 0$$

a)  $x$  ösende  $f(x)$  plýusdan minusa üýtgeýär:  $dx/dt = f(x) < 0$  ýagny  $x > \bar{x}$ . Deňlemeden görnüşi ýaly, edil şu ýagdaýda deňagramlylyk ýagdaýy Lýapunow boýunça durnuklydyr.

b) haçan-da  $x$  ösende  $x = \bar{x}$  deňagramlylyk yynyň golaý belligi minusdan plýusa üýtgeýän bolsa, onda şu ýagdaýda deňagramlylyk ýagdaýy ýapunow boýunça durnuksyzdyr.

c) haçan-da  $x$  ösende deňagramlylyk ýagdaýyna golaý  $f(x)$  belgi üýtgemeyär. Bu elbetde, görkezilýän nokadyň bir tarapdan deňagramlylyk ýagdaýyna ýeterlik derejede golaýdygyny aňladýar, beýleki tarapdan bolsa, ondan daşlaşandygyny görkezýär. Sol sebäpli hem bu

deňagramlylyk ýagdaýy Lýapunowyň usuly boýunça durnuksyzdyr.

Ýene-de bir mysala, ýagny bakteriýa öýjükleriniň köpelişän we şol bir wagtda öýjükleriň ölýän halatyndaky kultiwator modeline seredeliň. Mundanam başga, ulgama daşardan hemişelik tizlik bilen öýjükler hem gelip durar ýaly ýer bar. Goý, öýjükleriň ölýän tizligi olaryň konsentrasiýasyna, köpelişiniň tizligi bolsa, konsentrasiýanyň kwadratyna proporsional bolsun (iki jynsly ösdürmede bolsa, az konsentrasiýada öýjükleriň köpeliş tizligi iki dürli jynsnyň öýjükleriniň duşuşmak ähtimallygyna proporsionaldyr). Onda şeýle ulgamda janly öýjükleriň konsentrasiýasynyň üýtgeýişini ýazyp beýan edýän differensial deňleme aşakdaky görnüşe eýe bolar:

$$dc/dt = \alpha - bc + \gamma c^2 = f(c, \alpha)$$

bu ýerde:

$\alpha$  - akymyň tizligi;

$\gamma$ ,  $b$  – degişlilikde öýjükleriniň köpelişiniň we ölüminiň koeffisientleri.

Ulgamy yönekeýleşdirmek üçin  $\gamma = 1$ . Şeýle ulgamyň akymyň tizligine bagly bolan stasionar ýagdaýyna garap geçeliň. Öýjük konsentrasiýalarynyň stasionar ähmiýetini  $f(c, \alpha) = 0$  deňlikden tapmak bolar. Olary şeýle aňlatmak mümkin:

$$\bar{c}_1 = b/2 = \sqrt{b^2/4 - \alpha}; \quad \bar{c}_2 = b/2 = \sqrt{b^2/4 - \alpha};$$

Haçan-da  $\alpha > b^2/4$  bolanda, ulgam stasionar ýagdaýa eýe bolup bilmeýär;  $\alpha = b^2/4$  bolanda, ulgam diňe bir stasionar ýagdaýa ýetýär, onda  $\bar{c}_1 = \bar{c}_2 = b/2$ . Haçan-da  $\alpha < b^2/4$  bolanda, ulgamdaky konsentrasiýalaryň iki stasionar ýagdaýy ýüze çykyp bilýär: onda  $\bar{c}_{1;2}(\alpha) = b/2 \pm \sqrt{b^2/4 - \alpha}$ .

Öýjükleriň konsentrasiýalarynyň  $\bar{c}$   $\alpha$  parametrine baglylygy.

Bu grafikde görkezilen  $\bar{c}_1(\alpha)$  we  $\bar{c}_2(\alpha)$  stasionar ýagdaýlary biri-birlerinden diňe durnuklylyk häsiýetleri boýunça tapawutlanýarlar.

$$\bar{c}_1(\alpha) \text{ üçin önümi (proizwodnisi): } f_c'(\bar{c}_1, \alpha) = 2\sqrt{b^2/4 - \alpha} > 0$$

$$\bar{c}_2(\alpha) \text{ üçin önümi (proizwodnisi): } f_c'(\bar{c}_2, \alpha) = -2\sqrt{b^2/4 - \alpha} < 0$$

bu ýerden bolsa,  $\bar{c}_1(\alpha)$  – durnuksyz,  $\bar{c}_2(\alpha)$  bolsa, durnukly konsentrasiýadygy ýüze çykýar.

Şeýlelikde,  $\alpha > b^2/4$  bolanda, ulgamda stasionar ýagdaý bolmaýar,  $\alpha = b^2/4$  bolanda ulgamda diňe bir stasionar ýagdaý bolýar,  $\bar{c} = b/2$  araçäkde durnuklylyk hadysasy ýüze çykýar,  $\alpha < b^2/4$  bolanda ulgamda iki stasionar ýagdaý bolýar, olaryň biri durnukly, beýlekisi bolsa durnuksyzdyr.

Birinji tertipli bir differensial deňlemeler has çylşyrymly biologik hadysalary ýazyp beýan etmekde asgyn gelýär. Şonuň üçin modelleri ýazyp beýan edýän ikinji tertipli differensial deňlemeler ulanylýar. Ikinji tertipli ulgamy düzýän häsiýetleriň ýeterlik derejede köpdügi ulgamda barlag geçirmekligi has-da çylşyrymlaşdyrýar. Şeýle barlaglary geçirmekde ýörite EHM-lerden peýdalanylýar.

Iki differensial deňlemelerden ybarat bolan modelleriň häsiýetlerini barlamak üçin mukdar nazaryýetiniň usullaryny ulanylýarlar. Ikinji tertipli ulgamyň käbir umumy häsiýetlerini ýazyp beýan edýän deňlemäni şeýle umumy görnüşde aňlatmak bolar:

$$dx/dt = P(x, y); \quad dy/dt = Q(x, y)$$

bu ýerde:  $P(x, y)$  we  $Q(x, y)$  -- käbir kesgitli G arealdaky üznüksiz funksiýalar.

G areal çäkli we çäksiz bolup biler. Şu pursatda  $x, y$  üýtgeýän ululyklar takyk biologik mana (maddalaryň konsentrasiýasy, görmüşleriň sany) eýedir. Diýmek, olara käbir

çäklandirmeler bar, mundanam başga, biologik üýtgeýän ululyklar otnositel (görälik) bolup bilmezler. Iki görnüşiň: ýyrtyjy bien pidanyň özara täsirini ýazyp beýan edýän Wolterriň modelinde  $x \geq 0$  – pidanyň mukdaryny häsiýetlendiriji üýtgeýän ululyk,  $y \geq 0$  bolsa, ýyrtyjynyňky.

G arealy ýarymtekizlik görnüşinde şeýle görkezme bolar:  $0 \leq x < \infty$ ;  $0 \leq y < \infty$ .

Köplenç halatlarda ol ýa-da beýleki görnüşiň osoblarynyň mukdary ulgamyň şertlerine, mysal üçin, ýaşayan ýeriniň meýdanyna baglylykda aňrybaş ýagdaýda çäklendirilýär.  $0 \leq x < x_0$ ;  $0 \leq y < y_0$ .

## FERMENTATIV REAKSIÝALARYŇ KINETIKASY

**Fermentativ reaksiýalaryň kinetikasy hakynda düşünje.** Häzirki zaman biofizikasynda kinetiki ölçeglere ýüz tutman, eýsem reagirlenýän molekulalaryň, olaryň atom we molekulýar parametrleriniň häsiýetlerinden ugur alyp, reaksiýalaryň absolýut ugurlaryny hasaplamak, ýagny reaksiýalaryň tizliklerini öňünden bilmek mümkinçiligi uly zyzyklanma döredýär. Aktiwirlenen kompleks usuly bolsa, ýönekeý biohimiki reaksiýalaryň tizligini hasaplamakda käbir öňegidişlikleri gazanmaklyga mümkinçilik berýär. Adatça bolup geçýän prosese reaksiýanyň dowamynda oňa gatnaşýan atomlaryň toparlanmalarynyň üýtgemegine getirýän aktiwirlenen molekulalaryň özaralaryndaky çaknaşygy hökmünde häsiýetnama berýärler. Şeýle atom toparlanmalarýň üýtgemegi ( $H$ ) potensial energiýanyň harçlanmagyny talap edýär we şondan soňra entropiýanyň ( $S$ ) üýtgemegi bilen geçýär.

Termodinamiki apparat deňagramlylyk şertlerinde aktiwirlenen kompleksniň emele gelmegi bilen geçýän reaksiýalary beýan etmäge mümkinçilik berýär. Häzirki döwürde ähli fermentleriň täsir etmekleriniň aralyk birleşmäniň substratyň molekulasy bilen birleşmek stadiýasynyň üsti arkaly amala aşýandygy belli edildi. Bu bolsa, dürli güýçleriň kowalent, koordinasion, elektrostatiği, wodorod we beýleki baglanyşyklaryň üsti arkaly amala aşyrylýar. Bu aralyk birleşmeler aralyk ýagdaýlaryň teoriýasynda aktiwirlenen komplekse gapma-garşydyr.

Aktiwirlenen kompleks metody diňe birmeňzeş, ýagny gomogen reaksiýalar üçin däl-de, eýsem geterogen katalitiki prosesleriň tizlenmegini hasaplamak üçin hem ulanylyp bilner.

Çyzyklaýyn, şahalaýyn we aýlawly reaksiýalaryň jemi organizmde berk kesgitlenen reaksiýalaryň çylşyrymly sistemasyny emele getirýärler we olar maddalaryň çalşygynyň

esasynda ýatýarlar. Bu bolsa, ähli çalşyk hadysalarynyň özara arabaglanyşygyny we organizmleriň içki hem-de daşky gurşawyň şertlerine inçelik bilen uýgunlaşmagyny üpjün edýär. Mysal üçin, glikoliziň soňky stadiýalarynyň birinde emele gelýän piroüzüm kislotasy alaniniň we onuň bilen kowumdaş aminokislotalaryň üsti bilen aminokislotalaryň çalşygyna girip biler. Asetilkoenzimiň üsti bilen Krebsiň aýlawyna girip biler, mundan başga-da, ol ýag kislotalarynyň biosintezine gatnaşyp biler.

Biologiki okislenmekde, mysal üçin, organizmiň ýaşayşy üçin zerur bolan energiýa uly möçberde çykýar, bu bolsa organizmiň diňe bir ýylylyk energiýasyna bolan zerurlygy kanagatlandyрман, eýsem işiň (mehaniki, osmos, elektriki) ýerine ýetirilmegini hem amala aşyrýar. Biologiki okislenmekde energiýanyň azat bolmagy bilen bir hatarda organizmde onuň mikroergiki baglanyşyk formasynyda lokalizasiýalaşmagy-da geçýär. Şonuň kömegi bilen hem organizm ähli peýdaly işi ýerine ýetirýär. Şol sebäpli-de okislenmegiň ähli stadiýasy bilen anaerob we esasan-da aerob-makroergiki baglanyşygyň emele gelmek prosesi ýüze çykýar. Olary regulirleýjiler bolsa, ADF-iň konsentrasiyasynyň we organiki däl fosfatyň ATF-e bolan gatnaşygydyr.

Himiki üýtgemeleriň dürli stadiýalarynyň arasynda reaksiýalaryň birnäçe dürli ýollary bolup biler. Mysal üçin, glýukoza-6-fosfatdan 3-fosfogliserin aldegidine çenli glikoliziň üsti bilen hem, pentozofosfat aýlawynyň üsti bilen hem geçip bilýär. Bu reaksiýanyň dürli ýollarynyň dürli netijeliligi bar. Reaksiýalaryň her bir ugry boýunça emele gelýän maddalaryň mukdary şol reaksiýalaryň tizlik konstantalary ýaly gatnaşýarlar. Berlen şertlerde has uly tizlik bilen geçip biljek ugur uly ähmiýete eýedir. Muňa bolsa, Hinşelwud reaksiýasynyň has uly tizlik prinsipi diýilýär. Bu reaksiýalaryň çylşyrymly baglanyşykly sistemalarynda himiki üýtgeşmeleriň ugruny takykklamakda düýpli ähmiýete eýedir. Maddalaryň

esasy akymy öz strukturasy boýunça has kämil we effektiv katalizatorlaryň barlygy sebäpli, himiki reaksiýalaryň has uly tizligini üpjün edip bilýän sistemanyň üsti bilen gidýär.

Bu düzgünnamanyň ewolýusion ähmiýeti bar.

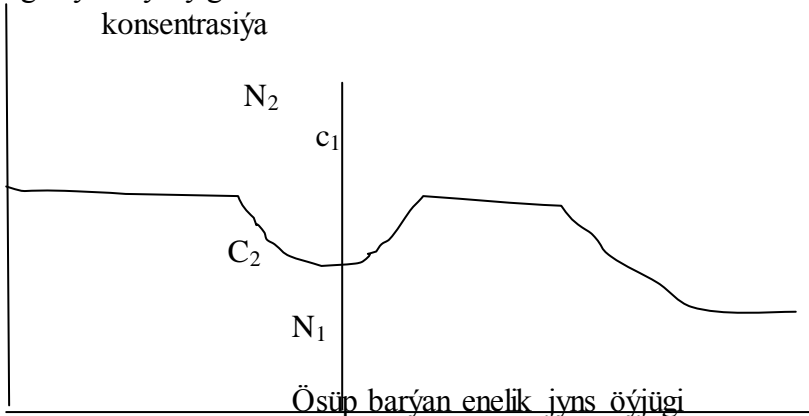
Açyk sistemadaky reaksiýalaryň kinetiki kanunalaýyklygyny käbir alymlar differensiasiya we ösüş proseslerini düşündirmek üçin peýdalanýarlar. Meselem, ösüşüň düwünçek stadiýasynda dürli öýjük formalarynyň emele gelmegini şeýle düşündirmek bolar:

Daşky sredadan gelýän maddalar sistemada iki sany dürli aýlawlara düşüp bilýärler. Olar özaralarynda bimolekulýar reaksiýalar bilen ters baglanyşyklydyr.  $C_1 >$

$$0 : N_1 = 0 \quad C_2 = 0 : N_2 = 0$$

$C_1$  we  $N_1$ ;  $C_2$  we  $N_2$ ;  $C$  we  $N$  maddalaryň konsentrasiýasy.

Adaty ýagdaýda reaksiýa haýsy hem bolsa, bir ýol bilen geçýär. Bu ýerde ikinji sikkiden metabolitiň ujypsyz mukdarda goşulmagy diňe 1-nji sikla az wagtyk ujypsyz teklipe edip biler. Ýöne bu goşundy uly bolsa, onda reaksiýa 2-nji sikla tarap ugruny doly üýtgeder.

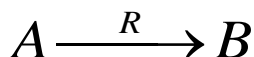


Ösüp barýan jyns öýjügiň düzüminde maddalaryň paýlanyşy hemme ýerde deň däl. Munda konsentrasiýa

gradiyenti bolmaly we eger-de haýsydyr bir M komponentiň konsentrasiýa gradiyenti ýüze çykça, onda kritiki konsentrasiýa zonasy 2 oblastyň araçägini kesgitläär. Olaryň birinde C madda, beýlekisinde bolsa N madda sintezlenýär.

Reaksiýa ýapyk sistemada göniçyzykly zynjyr görnüşinde  $A \xrightarrow{K_1} B \xrightarrow{K_2} C$  has haýal reaksiýa bolup, ol öz tizlik konstantalydy we kesgitleýji bolup hyzmat edipdi. Organizmdäki tor görnüşindäki reaksiýalar prosesiniň umumy tizligini çäklendirmek ýokarda aýdylan stadiýalardan däl-de, eýsem birnäçe tizlik konstantalaryň arabaglanyşygyna bagly.

**Awtokataliz we zynjyrlý reaksiýalar.** Janly-jandarlaryň bedeninde käbir kadaly ýagdaýlarda we şikes ýetmelerde möhüm ähmiýete eýe bolan reaksiýalar amala aşýar hem-de olaryň çäginde reaksiýalary katalizleýän önümler emele gelýärler. Eger-de reaksiýalaryň ahyrky önümleri katalizator bolup hyzmat edýän bolsalar, onda bu hili reaksiýalara awtokatalitiki reaksiýalar diýilýär. Reaksiýanyň ahyrky önümleriniň reaksiýany tizleşdirmegine bolsa **awtokataliz** diýilýär.



Reaksiýanyň tizligi ilki başky we ahyrky maddalaryň konsentrasiýasyna baglydyr:

$$db / dt = Rab$$

Reaksiýanyň netijesinde emele gelýän önümiň molekularynyň sanyň artmagy bilen reaksiýanyň tizligi ýokarlanýar.

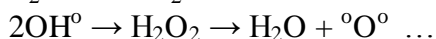
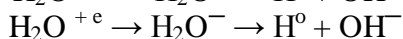
Awtokatalitiki reaksiýalara pepsinogeniň pepsine öwürilmegi mysal bolup biler. Munda pepsin katalizator bolup hyzmat edýär. Profermentleriň öwürilme reaksiýalarynyň hem köpüsi muňa degişlidir.

Eger-de reaksiýanyň ahyrky önümi däl-de, eýsem aralyk önümi hadysany tizleşdirýän bolsa, onda bu hili reaksiýalara **zynjyrlý reaksiýalar** diýilýär. Zynjyrlý



reaksiýalaryň ýüze çykmagyna jübütleşmedik elektronly işjeň birleşmeleriň bolmagy sebäp bolýarlar. Olara birnäçe elementleriň erkin atomlary, ýagny H, N, O, galoidleriň, aşgar metallaryň atomlary degişli. Olaryň jübütleşmedik bir ýa-da S-ýa-da ρ-elektrony; birnäçe ρ-elektronlary bolýar. Bular erkin radikallary emele getirýärler.

Erkin radikallaryň mahsus aýratynlygy olaryň bitarap molekulalar bilen reaksiýa girmegi netijesinde diňe bir ahyrky önümi däl, eýsem aralyk işjeň önümi hem emele getirmegidir. Şeýle ýagdaýlarda reaksiýa adatkakylardan çalt geçýär. Erkin radikallar haçan-da substrata elektrik razýadynyň ionlaşma şöhlelenmesiniň substraty täsir edende emele gelýär. Meselem, suw şöhlelenirilende şeýle reaksiýa geçýär:



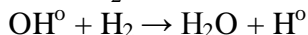
Zynjyrlý reaksiýalaryň häsiýetli kinetiki aýratynlyklary şu aşakdakylardan ybarat:

- 1) Şahalanmadyk zynjyrlý reaksiýalaryň tizligi erkin radikal emele getirmäge ukyply maddalaryň az-kem goşundylarynyň täsiri netijesinde ýokarlanyp bilýär.
- 2) Şahalanmadyk zynjyrlý reaksiýalaryň tizligi erkin radikal emele getirýän fiziki faktorlaryň (ýagtylygyň, ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň) täsiri astynda hem ep-esli artyp biler.
- 3) Zynjyrlý reaksiýalaryň tizligi reaksiýa garynda käbir ýörite maddalaryň (ingibitorlaryň) az-kem goşulmagy bilen peselip biler (sebäbi, ingibitor zynjyryň üzülmeğini amala aşyrýar).

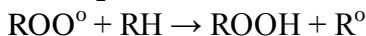
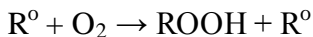
**Şahalanýan zynjyrlý reaksiýalar.** Käbir zynjyrlý reaksiýalarda reaksiýalaryň her böleginde bir reagirlenen we ýok bolan radikala iki köp radikallar ýüze çykýarlar. Bu reaksiýalara *şahalanýan zynjyrlý reaksiýalar* diýilýär.

Meselem, wodorodyň okislenmegi. Reaksiýasyny şeýle beýan etmek bolar:  $\text{H}^\circ + \text{O}_2 \rightarrow {}^\circ\text{OH} + {}^\circ\text{O}^\circ$

Bu ýerde biur zynjyr üçe şahalanýar. Şeýlelikde, wodorodyň okislenme reaksiýasy aşakdaky ýaly tapgyrlardan durýar:



Kähalatlarda täze zynjyryň döremegine azar radikallar däl-de, zynjyrlý reaksiýanyň önümleri sebäp bolýarlar. Şonda olar ilkişadaky maddalara garanda, ýeňil radikallary emele getirýärler:



Reaksiýanyň ahyrynda O – O gatnaşygyň dargamagy ýa-da goşmaça radikallaryň emele gelmegi bolup geçýär. Zynjyryň şonuň ýaly şahalanmagyna ownamaklyk, **ownan şahalanan zynjyrlý reaksiýalar** diýilýär.

## ÖÝJÜK HADYSALARYNYŇ KINETIKASY

Janly ulgamlarda bolup geçýän reaksiýalara fermentleriň neneňsi täsir edýändiglerine we olaryň ähmiýetine göz ýetirmek bolýar. Şol reaksiýalaryň amala aşyrylmagynda öýjügiň wezipesi uludyr. Öýjügiň derejesinde bolup geçýän hadysalar dürli-dürlidir. Emma şol hadysalaryň ählisi-de öýjügi biri-birinden çäklendirýän membranalar bilen hemişe täsirde bolýar. Onda geliň membrananyň gurluşyna, wezipesine we häsiýetlerine biofizikanyň nukdaý nazaryndan garap geçeliň.

**Membrana – biologiki ulgamyň uniwersal bölegi hökmünde.** Ýer togalagynda ýaşayyşyň öýjüksiz formalary ýokdur. Öýjüksiz gurluşlary bolan wiruslara we bakterioflaglara özbaşdak janly ulgamlar hökmünde seretmek mümkin däl, sebäbi, olar janly öýjükleriň wezipeleriniň arasynda diňe genetic programmany geçirmäge ukyplylygy bilen tapawutlanýar. Aýry-aýry öýjükleriň gurluşy we özlerini alyp baryşy örän çylşyrymly bolup, olar öýjük derejesinde özüni alyp barşyň meselelerini döredip biler we bu meseleler bilen gyzyklanýan ylma sitoetalogiýa diýilýär.

Öýjükleriň möhüm fiziki we fiziki-himiki wezipeleri himiki metabolizmde, biosintezde hem-de bioenergetiki hadysalarda energiýany toplamakda we ony elektro- hem-de mehanohimiki hadysalaryň gatnaşmagynda özgerdip, molekulalary ionlaryň aragatnaşygyny (transportyny) sazlamagy amala aşyrmakdan ybaratdyr.

Energiýanyň toplanmagy esasan ATF görnüşinde amala aşyrylýar. ATF-ň himiki energiýasy himiki, elektriki, osmos we mehaniki işlere gönükdirilýär. Biosintetik we bioenergetik wezipeler biri-biri bilen aýrylmaz baglanyşyklydyr. Çünki olar dine açyk deňagramсыz ulgamda amala aşyrylýar. Şol wezipeler maddanyň maddanyň daşky gurşawdan öýjüge we tersine, öýjükden daşky gurşawa geçirmek bilen hem baglanyşyklydyr.

Öýjükleriň her biri plazmatik membranalar bilen gurşalandyr. Öýjük membranasynyň ýüze çykmagy ýaşayyşyň döremegindäki möhüm basgançak hasap edilýär. Çünki öýjügiň içindäki giňişlik daşky dünýäden bölünip aýrylýar. Başgaça, muňa öýjükleriň organoidleriniň giňişlik bölünüşikleri esasynda bolmagy hökmünde hem seredilýär.

Biologik membranalar – bu ýokary molekulýar ulgamlar bolup, olaryň galyňlygy 10 nm ýetýär. Membranalaryň biologik wezipeleri amala aşyrmaga ukyplylygy (funksionallygy) esasynda bolup geçýär, möhüm hadysalar hem hut şol galyňlykda çäklenendir. Membranalar ýaramaz ýarymgeçiriji örtük däldir, olar öýjükleriň göni we ähli möhüm wezipelerine işjeň gatnaşýarlar. Membranalar himiki himiki ýa-da elektrohimiki potensialyň gradiýentine garşylykly ugra gönükdirilen maddanyň işjeň hereketini üpjün edýärler. Membranalarda esasy bioenergetiki hadysalar – turşama fosforlanmalarynyň we fotosintez hadysalarynyň bolup geçýänligi ýüze çykaryldy. ATF ýaşyl ösümlükleriň hloroplastlarynyň we mitohondriýalarynyň membranalarynda emele gelýärler. Mundan başga-da, öýjügiň çäginde bolup geçýän ençeme hadysalara membranalaryň ähmiýeti juda uludyr. Nerw ulgamynyň ýaýramagy hem membrane hadysasydyr.

Membranalaryň fizikasyny öwrenmek biofizikanyň esasy wezipeleriniň biridir. Membrane fizikasy we biologiya bilen bilelikde dürli ähmiýete eýe bolup, nazaryýet ylymlary üçin hyzmat edýär.

Membrana fizikasynyň esasy meseleleri şu aşakdakylardan ybarat:

1. Membranalaryň gurluşy we olaryň funksiýalary;
2. Membranalardaky haýal işjeňleşen hereket;
3. Öýandyrylan membranalaryň häsiýeti;
4. Membranalaryň bioenergetikasy;
5. Resepsiýa hadysalarynyň fizikasy.

**Membrananyň struktura gurnalýşy.** Membranalar esasan lipidlerden we beloklardan durýar. Süýdemdirijileriň öýjüklerindäki membranalarda az mukdarda beloklar (glikoproteidler) ýa-da lipidler bilen baglanyşykly uglewodlar hem saklanýar. Içki membranalarda esasan fosfolipidler, plazmatik membranalarda bolsa, mundan başga-da, aram (neýtral) lipidler hem bolýar. Eritrositleriň membranalarynyň lipidleriniň 30%-ni holesteriniň düzýänligi subut edildi. Lipidler üç topara bölünýär: 1) gliserofosfatidler (fosfolipidler); 2) sfingolipidler; 3) glikolipidler we steroidler.

Membranalar köplenç halatlarda örän geterogendirler. Fosfolipidleri we lipidleri tutuşlygyna maşgala görnüşinde görkezme bolýar. Mysal üçin, adamyň ganynyň eritrositleriniň membranalarynda lesitiniň 20-den gowrak görnüşi bar.

Membranalardaky beloklar hem dürli-dürlidir. Eritrositiň membranasyndaky beloklaryň 1/3-ne golaýyny spektrin belogy emele getirýär we ol iki bölekden ybarat. Has sada beloklar hem bar. Mysal üçin, gözüň torjagazyň (setçatkasynyň) taýajyklarynyň içki membranasyň diňe bir belok, ýagny rodopsin belogy düzýär.

1935-nji ýylda Danielli we Dawson biologiki membranalaryň unitary modelini teklip etdiler. Ol lipidiň iki gatlagyndan ybarat bolup, membranalaryň içine tarap gönükdirilen lipidlere “guýrukjagazlar”, daş tarapa çykyp duran bölegine bolsa “kellejikler” diýip at beripdir. Lipidleriň soňkulary, ýagny “kellejikleri” daşky monomolekulýar belok gatlagy bilen özara täsir edýär. Munuň dogrudygyny rentgenografiýa maglumatlary hem subut edýär.

Öýjükleriň we öýjük membranalarynyň gurluşy hakyndaky habarlaryň esasy çeşmesi bolup, electron mikroskopiyasy hyzmat edýär. Membrananyň beloklaryny iki topara bölmek bolýar. Olaryň bir topary diňe globulýar beloklara meňzeş bolup, diňe membrananyň üst ýüzünü eýeleýärler. Beloklaryň ikinji topary bolsa, membrananyň içine

aralaşyp, lipidleriň gidrofob “guýrukjagazlary” bilen özara täsirde bolýar. Bu beloklar suwda eremeýärler. Infragyzyly spektroskopıya, spektropolyarimetriya, ÝMR we başgalar unitary modeled hasaba alynmadyk belok köpdürlüligini görkezýärler. Membranalarda beloklar asimmetrik ýaýrandyrlar (Bergelson, 1970).

Häzirki wagtda has ygtybarly model hökmünde mozaika modeli ulanylýar. Ikigatladan ybarat emeli lipid membranalar köplenç halatlarda biologiki membranalara meňzeş. Haçan-da organiki eredijilerde eredilen fosfolipidleriň we neýtral-aralyk lipidleriň garyndysy suw bilen galtaşanlarynda emeli membranalar emele gelýär. Emeli ikigatlakly lipidleriň we biologiki membranalaryň häsiýetleri aşakdaky 2-nji tablisada görkezilýär.

2-nji tablisa

Ikigatlakly lipidleriň we biologiki membranalaryň häsiýetleriniň deňeşdirilişi

<b>Häsiýeti</b>	<b>Biologiki membranalar 25°C</b>	<b>Ikigatlakly membranalar 36°C</b>
Galyňlygy, nm	6-10	6,7-7,5
Göwrümi, pF/mm <sup>2</sup>	0,5-1,3	0,38-1,0
Garşylyk, Om/sm <sup>2</sup>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>5</sup>	10 <sup>6</sup> -10 <sup>9</sup>
Synag napryażeniýasy, mW	100	150-200
Üst ýüzüň dartylmasy, H/sm <sup>2</sup>	(0,03:1,0)*10 <sup>-5</sup>	(0,5:2,0)*10 <sup>-5</sup>
Suwy syzyjylygy, mkm/s	0,37-40,0	31,7
Suwuň hereketi üçin işjeňleşme energiýasy, kj/mol	40,3	53,3

Emeli membranalarda biologiki membranalardaky ýaly metabolik işjeňlik bolmaýar.

### **Membrananyň konformasion häsiýetleri.**

Membranadaky lipidler özlerini \*suwuk kristallar ýaly alyp barýarlar. Hut şol suwuk kristallarda ýokary tertiplilik we labillilik ýokla goýulýar. Bu bolsa membranalaryň möhüm wezipeleri ýerine ýetirmeklerini üpjün edýär.

Membranalaryň suwuk kristall häsiýetini olaryň lipidleriniň fiziologiki temperaturada ergin ýagdaýda bolmaklary arkaly kesgitleýärler. Uglewodorodyň eremek temperaturasy onuň üçleýin baglanyşyklary näçe köp boldugyça şonça-da pesdir. Haýwan we ösümlik ýaglarynyň arasyndaky tapawudy hut şonuň esasynda kesgitleýärler.

Uglewodorod zynjyrlarynda ikileýin baglanyşyklary bolan lipidler fiziologiki temperaturadan hem pes temperaturada ereýärler. Süýdemdirijileriň plazmatik membranalarynda şeýle lipidler köpdür.

Membranalaryň suwuk häsiýetini birnäçe usullar arkaly subut edýärler. Olara paramagnet we fluoessent bellikleri etmek, şeýle hem ÝMR usullary degişlidir.

Rodopsin belogyny özünde saklaýan fotoreseptor membranasyň suwuk kristallik häsiýeti has jikme-jik öwrenilen. Rodopsin belogynyň bir molekulasy membranada lipidleriň 60-90 molekulasyňa gabat gelýär. Şol lipidleriň hem 80% doýgun däl ýag kislotasyny saklaýar. Wspyşkaly fotometriýa usulyň esasynda rodopsin belogynyň molekulasy membrana tekizligine dik gapma-garşy (perpendikulýar) bolan okunyň daşyna çalt aýlanýar. Diffuziýanyň şeýle aýlaw wagty 20 gradus temperaturada 20 mks (mikrosekund). Membranalaryň şepbeşikligi möhüm ähmiýete eýe bolup, suwuňky bilen deňeşdirilende 2-3 esse ýokarydyr we ösümlik ýagynyň şepbeşikligine laýyk gelýär. Ýöne has şepbeşik membranalar hem bardyr.

Membrananyň tutuş üsti boýunça geçýän beloklar bar. Membrananyň diňe käbir ýerleri beloksyzdyr. Meselem:

**\*suwuk kristallar – gyzdyrylyp eredilen**

eritrositleriň membranasyň üst ýüzüniň 70%-ni, mikrosomlaryň membranasyň üst ýüzüniň 80%-ni beloklar tutýar.

Kiçijik ionlar we molekulalar membranadaky akarjyklar (kanaljyklar) boýunça hereket edýärler. Akarjyklaryň gurnalyşy we işi amala aşyryşlary esasan beloklara baglydyr. Akarjyklaryň tebigatyny öwrenmek membranalaryň fizikasynyň möhüm meselesi bolup durýar.

Membranadaky lipidleriň hereketi we fazalaýyn geçişler olaryň konformasion häsiýetleri boýunça kesgitlenilýär. Konformasion üýtgemeler membranalaryň özara täsiri üçin wajyp rol oýnaýar. Muny bilmek fiziologiýa we derman senagatynyň işgärleri üçin has gyzyklydyr. Köplenç halatlarda şol bir görnüşiň dürli şammlarynyň arasyndaky ýaşayyş ugrundaky göreşi synlamak bolýar. Meselem, içege taýajygynyň (*Escherichia coli*) kolisiogen ştammy mikromolekulýar antibiotigi işläp çykarýar we oňa kolisin diýilýär. Bu antibiotik şol görnüşiň “duýgur” ştammyny öldürýär. “Duýgur” ştammyň öýjük membranasy güýçlendiriji häsiýeti ýüze çykarýar. Biofizikanyň nukdaý nazaryndan şeýle hadysa trigger hadysasy diýilýär.



## BIOMEMBRANA – DINAMIKI ULGAM HÖKMÜNDE

**Biomembrananyň dinamiki ulgam hökmündäki häsiýetleri.** Membranalaryň emele gelmeği we olaryň durnuklylygy köp babatda üst ýüzdäki hadysalara we molekulýarara özara täsirlere baglydyr hem-de hut şolaryň gatnaşmaklarynda kesgitlenilýär. Ýokary gurluşly biologik membranalaryň häsiýetlerini nazaryýet taýdan öwrenmek suwdaky lipidleriň emele getirýän uglewodorod perdesiniň we strukturasyň mysalynda amala aşyrylýar.

Membranalardaky gidrofob özara täsiri ýüze çykarýan molekulalar suw ergininde biri-birine has ýakyn bolmaga ymtlyýarlar. Gidrofob özara täsiriň energiýasyny adaty suwda organiki faza geçýän birleşmeleriň (uglewodorod, lipid) energiýasy bilen kesgitleýärler. Azat energiýanyň, entalpiýanyň we entropiýanyň şahalanmadyk uglewodorodlaryň suwdan polýar däl organiki eredijilere geçende bahasynyň üýtgeýändigini görkezýär, ýagny uglewodorod zynjyrynyň uzynlygynyň artmagy bilen bu üýtgeşmeler hem ösýärler.

Umuman, polýar we lipidleriň zarýadly bölejikleri lipidleriň suwdaky erejiliginde ýokarlandyryp, gidrofob özara täsiriň energetikasyna düýpli täsir edýär. Emma lipidleriň tebigy strukturasy emele getiriji molekulalarynda uglewodorod zynjyrynyň uzyn bolmagy olaryň suwda erejiliginin ön pes bolmagyna alyp barýar.

Membrana ulgamlaryndaky elektrostatik özara täsir lipidleriň anionlarynyň, beloklaryň aminokislota galyndylarynyň amin- we SH- toparlarynyň (+ zarýadly);  $\alpha$ -karboksil toparlaryň (- zarýadly) we ş.m. arasynda ýüze çykýar. Membrana ulgamlaryndaky elektrostatik özara täsiri şertli üç topara bölýärler: 1) lateral ýa-da tangensial özara täsir – muňa ýarymgatlak membranada şen molekulalaryň zarýadly toparlarynyň özara täsiri degişli. 2) transmembrana özara täsir – muňa membrananyň dürli taraplarynda ýerleşen zarýadly

toparlaryň özara täsiri degişli. 3) membranaara özara täsir – muňa iki goňşy membranalaryň üstünde ýerleşen zaryadly toparlaryň arasyndaky özara täsir degişli.

Häzirki wagtda membranalaryň elektorstatik özara täsirleriniň bu üç görnüşiniň içinde membranaara özara täsir has çuňňur öwrenilen. Ýöne olaryň kanunalaýyklyklaryny ýzayp beýan etmek has çylşyrymly. Aralyk 10 nm-den uly bolanda elektrositleriň itekleşme energiýasy 0-a öwrüler. Emma aralyk takmynan 2 nm bolanda ol ýylylyk hereketiniň energiýasyndan üç esse ýokary bolýar.

Onçakly uly bolmadyk üst ýuzdäki potensialy bolan birmeňzeş öýjükleriň ergindäki özara täsiri elektostatik özara täsire garanyňda uzak aralykda hem ýüze çykýarlar. Munuň özi güýçleriň jeminiň 3-8 nm aralyklarda hem öýjükleriň özara täsiriniň energiýasynyň minimumyny ýüze çykaryp bilýändigini görkezýär. Ýagny kesgitli şertlerde ýerleşen öýjükler özara dartylýarlar. Olary biri-birlerinden diňe käbir häsiýetleri, şol sanda hereketjeňligi boýunça tapawutlandyryp bolar. Şeýle öýjükleriň bardygyny eritrositleri çökdürmek ýada elektrik meýdanynyň täsiri astynda öýjükleri hereketlendirmek ýaly tejribeler subut etdi.

Membrana ulgamyny termodinamikada ýazyp beýan etmekde Gibbsiň usulyndan peýdalanýarlar. Ýagny membranany iki tarapyndan çäklensirilen üst hökmünde görkezme bolar. Membrananyň galyňlygyny iki sany bölünen üstleriň arasyndaky uzaklyk hökmünde kesgitlemek mümkin. Eger membrananyň içinde göwrüm fazasynyň häsiýetlerini saklaýan gatlak bar bolsa, onda oňa *galyň membrana* diýilýär. Eger-de gatlak göwrüm fazasynyň häsiýetlerini saklamaýan bolsa, onda ol *ýuka membranadyr*. Ýuka perdelerde gatlagyň üstleriniň arasynda özara täsir has mese-mälim duýulýar. Tebigatda membranalar köplenç halatlarda şol ýuka perdäniň häsiýetlerine termodinamiki çelgileriň nukdaý nazaryndan dolý laýyk gelýärler. Ýuka perdeleriň esasy möhüm aýratynlygy

perdäniň öz içindäki we daşky gurşawyň basyşlarynyň özara deň dälligidir. Olaryň arasyndaky tapawudy şeýle görkezmek bolar:  $\rho^\beta - \rho^\alpha = P$ .

Gatlagyň üstleri biri-birlerini itekleseler basyş +; dartyşsalar – häsiýetli bolýar.

Membranalaryň mehaniki häsiýetleri. Muňa esasan membranalaryndaky molekulýar birleşmeleriň hereketjeňligi, membranalaryň çeyeligi, ikigatly lipidleriň dargamagy ýaly häsiýetler degişlidir.

Membranalarda molekulýar birleşmeler biri-birleri bilen birleşip, suwly gurşawda öýjük üçin zerur maddalaryň membrananyň çäginde daşary çykmaga päsgelçilik döredýärler. Şol bir wagtda molekulýarara özara täsir güýçleri membranada molekulalaryň biri-birleri bilen orunlaryny çalyşmalaryna adatyça päsgel bermeyärler. Sebäbi, suw bilen molekulalaryň gidrofob bölekleriniň arasyndaky galtaşma (kontakt) meýdany üýtgemeyär. Şeýlelikde, membrana ulgamlarynda molekulýar birleşmeler özüne mahsus hereketjeňligi saklaýarlar we membrananyň çäginde diffuziýa ýoly arkaly hereket edýärler.

Membrananyň uzaboýuna ýerleşen lipidleriň molekulalarynyň diffuziýa ýoly arkaly orunlaryny çalyşmalaryna adatyça lateral diffuziýa diýilýär. Şeýle diffuziýanyň çalt amala aşýanlygy hasaba alyndy, ýagny 1 sekuntda membrananyň ugry boýunça 5000 nm aralyga çenli lipid molekulalary plazmatik membrananyň tutuş ähli ýerine baryp bilerler. Barlaglar esasan eritrositlerde, Escherihio coli-niň öýjüklerinde geçirildi. Lateral diffuziýa membrananyň lipid düzümine, temperatura gös-göni baglydyr. Haçan-da ýumurtga lesitinine 30-50 mol% mukdarda holesterin goşulanda lateral diffuziýanyň tizligi 2 esseden hem gowrak peselipdir. Ýumurtga lesitiniň liposomlarynda we sarkoplazmatik retikulumyň membranalarynda lateral diffuziýanyň

işjeňleşme energiýasy otag temperaturasynda 29-46 kJ/mol barabar bolýar.

Membrana ulgamlaryndaky lipid molekulalarynyň hereketiniň ýene bir görnüşi – bu transgatlaklaýyn hereketdir. Ol örän haýal hereket bolup, lipid molekulalarynyň polýar kellejikleriniň döredýän uly päsgeçlilikleri bilen baglanyşyklydyr. Şeýle hereket emeli membranalarda molekulanyň bir gatladan beýläkä geçmegi üçin ortaça 10-20 sag barabardyr. Emma tebigy membranalarda ol birneme tiz amala aşýar. Meselem, eritrositleriň membranasynda 20-30 min.

Belok molekulalary hem membranalarda diffuziýa ýoly arkaly hereket edýärler. Ýöne molekulýar massanyň ýokarylygy sebäpli, olaryň hereketi örän haýaldyr. Beloklaryň lateral hereketi hem lipidleriňki bilen deňeşdirilende örän pes. Meselem, lipid molekulalary üçin lateral diffuziýa koeffisiýenti  $10^{-7}$ – $10^{-8}$  sm<sup>2</sup>/sek; belok molekulalary üçin ol  $10^{-10}$ – $10^{-12}$  sm<sup>2</sup>/sek aralykda bolýar.

Lipid we belok molekulalarynyň hereket etmeginde membrananyň şepbeşiklik häsiýeti hem uly ähmiýete eýedir. Munuň özi hereketiň kadaly amala aşmagyny üpjün edýär.

Membrananyň çeyelik häsiýeti. Membranadaky reaksiýalara daşky gurşaw hemişe täsir edip durýar. Bu ýagdaý çylşyrymlydyr we ony öwrülişikli termodinamiki hadysa hökmünde kabul edýärler.

Deňagramly şertlerde hemişelik temperaturada membrananyň çeyelik energiýa potensialy azat energiýa (Gelmgols) bilen laýyk gelýär:  $F = U - TS$

Çeyelik potensialy hemişelik temperaturada ulganda edilen işe (W) deňdir:  $(dF)_T = dU - TdS = dW$

Membrananyň çeyeligi beloklaryň gurnalşyna (strukturasyna) hem baglydyr. Ýagny spektrin belogyndaky molekulalaryň has çeye ýerleşmegi arkaly eritrositleriň membranasynyň çeyeligi-de ýokary bolýar. Emma 50°C çenli

gyzdyrylanda spektrin tory dargaýar we eritrositleriň membranasyň çeyeligi 2-3 esse peselýär.

Tebigy membranalaryň mehaniki häsiýetlerini ölçemek tejribede has çylşyrymly mesele bolmagynda galýar. Ol bu ugurda örän seresaplylygy, inçe tärleri bilmeği talap edýär.

(Membrana täsir edýän güýçler: p – gysyjy; f – çekiji; h – membrananyň galyňlygy)

Ikigatlakly lipidleriň dargamagy. Ýokarda beýan edilen membrananyň çeyelik häsiýeti ikigatlakly lipid membranasyň gaty struktura emele gelmesdigini (jisimdigini) görkezýär. Munuň özi dürli görnüşdäki öýjükleriň kesgitli kespde bolmagyny üpjün edýär. Tebigy membranalarda mehaniki kadadan çykmalar – möhüm biologik hadysalar: öýjükleriň goşulyşmagy, sekresiýa, gemoliz we ş.m. amala aşýar. Ikigatlakly lipid membranasynda dürli elektrik potenciallarynyň täsirinde dargama hadysasy ýüze çykyar we ol membrananyň kadaly işini bozýar. Ony lipidleriň we beloklaryň gyzdyrylmagy bilen deňeşdirmek ýerliklidir.

**Biomembrananyň janly ýaşaýyş üçin ähmiýeti.** Biomembrananyň janly ýaşaýyş üçin örän uly ähmiýete eýedigini öz-özünden düşnükli. Janly öýjükde ýaşaýyş hadysalarynyň amala aşmagyny üpjün etmek biomembranalaryň wezipesi. Şol wezipe hem membranadaky molekulýar birleşmeleriň deň derejede ýaýramanlygy – geterogenliligi, ýagny dürlüliligi arkaly amala aşýarlar. Olar bu birleşmeleriň arasyndaky özara täsirlere bilen jebis baglanyşyklydyrlar. Şolaryň birnäçesi bilen tanyşalyň.

Lipid-lipid özara täsir. Iki dürli A we B lipid birleşmelerinden ybarat ulgamyň özara täsir energiýasy az tapawutlanýan bolsa, onda olaryň ýaýraýyşy deňeçerdir. Lipid molekularynyň düzýän uglewodorod zynjyrynyň uzynlygy arkaly olaryň olaryň özara täsirini kesgitlemek bolýar. Doýgun däl lipidler adaty doýgun lipidler bilen ýaramaz garyşýarlar.

Tebigy membranalar dürli birleşmeleri saklaýandygy sebäpli, olaryň lipidleriniň hem deň derejede ýaýramanlygy tebigydyr.

Lipid-belok özara täsir. Munuň esasynda molekulýarara elektrostatik güýçler, wodorod baglanyşygy we baglanyşygyň beýleki görnüşleri ýatyr. Lipid-belok özara täsirleri we onuň çäginde döreyän hadysalary şertli aşakdaky ýaly toparlara bölýärler:

- 1) beloklaryň birgatlakly lipidler bilen özara täsiri;
- 2) beloklaryň ikirgatlakly lipidler bilen özara täsiri;
- 3) membranadaky lipidlere bagly fermentleri saklaýan lipid-belok özara täsir.

Bu toparlaryň arasynda soňkusy beýlekilere garanynda birneme gowrak öwrenilen. Bu täsir membrananyň içindäki belok molekulalarynyň töwereginde lipid gurşawynyň emele gelmegi bilen başlanýar. Şonuň ýaly lipidlere bagly ýa-da annulyar (iňlisçe – annular – halkaşekilli) lipidler diýilýär. Sebäbi, hut şu lipidleriň bolmagy membranadaky fermentleriň birnäçe onlarçasynyň işjeňligine oňyn täsir edýär.

Şeýle hadysalara mysal hökmünde aşakda olaryň wezipesini we zerur lipidleri görkezýäris:

<b>Fermentatiw işjeňlik (wezipesi)</b>	<b>Zerur lipidler</b>
Mitohondriýadaky elektron transport	Mitohondriýanyň umumy lipidleri
Na <sup>+</sup> , K <sup>+</sup> -ATF-aza	Fosfatidilserin, fosfatidilgliserin
Gliko-6-fosfataza	Fosfatidiletanolamin,
Ca <sup>2+</sup> -ATF-aza	Lizofosfatidilholin, fosfatidilholin
NAD-sitohrom-c-reduktazanyň geçirijileriniň toplumy	Fosfatidilholin : lizofosfatidilholin
	1 : 1
B-Gidroksibutiratdehidrogenaza	Fosfatidilholin

Mitochondriýadaky elektron-transport beloklarynyň lipidleriniň düzüminiň üýtgemegine bolan duýgurlygy gowşakdyr. Ýöne beýleki fermentleriň ýokary işjeňligini gazanmak üçin lipidleriň kesgitli düzüminiň bolmagy berk talap edilýär. Meselem, membrana fosfatidilinozitol goşulanda bazal işjeňlik dikeldilýär. Şonuň ýaly-da, fosfatidilserin goşulanda gormon-stimulirleýji işjeňlik hem doly diýen ýaly dikeldilýär.

Beloklaryň belok bilen özara täsiri. Bu ýagdaý köplenç ulgamyň funksional we fermentativ işjeňliginiň üýtgemegi arkaly amala aşýar. Eritrositleriň membranasynda membrananyň içindäki belok bölejikleri deňeçer ýaýran, olar pH 5,5-den pes bolanda öwrülişikli agregirleýji häsiýetde bolýarlar. Agregasiýa suwuň düzümine duýgurdyr. Elektrolitleriň konsentrasiýasynyň ýokarlanmagy we pH-nyň derejesiniň peselmegi agregasiýany togtadýar. Bu hadysalar öýjügiň pinositozynda, membranalaryň özara täsirinde, goşulýşmagynda we ş.m. hem ýüze çykyarlar.

**Biomembrana arkaly maddalaryň hereket etmekleriniň zerurlygy we ähmiýeti.** Membranadan zarýadsyz maddalaryň köpüsiniň geçmegi diffuziýa kanunyna boýun egýärler. Maddalaryň biomembranadan geçmekleriniň başga-da birnäçe görnüşleri bar. Olara ionlaryň elektrohimiýa hereketi, ionlaryň elektrodifuziýa hereketi, işjeň hereket, haýal hereket ýaly görnüşler degişli. Eýsem, maddalaryň biomembranalar arkaly hereket etmekleriniň zerurlygy nämeden ybarat? Bu sowal göräýmäge ýönekeý ýaly, ýöne ol çylşyrymlydyr, şol bir wagtda hem ewolýusion ähmiýetlidir.

Maddalardan membranadan geçmekleri ilki bilen termodinamikanyň esasynda, soňra membrananyň struktura gurnalyş derejesine we hereketiň amala aşyş ýagdaýyna baglydyklary tebigydyr.

Ilkinji öýjükler deňiz suwunda döräpdirler. Öýjükkara gurşawyň (suwuklygynyň) düzümi-de deňiz suwunyň

düzümine golaý. Meselem, ganyň plazmasy. Maddalaryň köpüsi plazmada erkin hereket edýärler. Maddalaryň biomembranadan geçmek üçin hereket etmeleri ýaşaýyş hadysalarynyň esasyny düzýärler. Bu janly ulgamlara mahsus bolan madda çalşygydyr.

Görüş, eşdiş, ys alyş, tagam biliş, syzyş – daşky gurşawyň täsirlerini duýuş synalarynyň ýöriteleşen öýjükleriniň nerw impulslaryny bermekleri netijesinde amala aşýar. Geçirijiligiň bu hili görnüşleriniň tebigaty heniz köp babatda äşgär öwrenilmedik. Şeýle-de bolsa, olar barada bar bolan maglumatlar duýuş synalarynyň öýjükleriniň fiziki esaslaryna düşünmäge ýardam edýärler. Olaryň käbir ýönekeý görnüşlerine garap geçeliň.

Kirpikjagazlar, žgutikler we olaryň önümleri kesgitli wezipäni ýerine ýetiriji beloklary saklaýan plazmatik membranaly ösüntgiler – antennalar. Bularyň düzümine fibrilýar beloklar girýärler we hereketi amala aşyrýarlar. Meselem, ýaşyl ewglena, infuzoriýa.

Ys alyş oňurgaly we oňurgasyz jandarlaryň köpüsi üçin mahsus bolup, ol wajyp ähmiýete eýedir. Mör-möjekler zýy diliniň kömegi arkaly duýýarlar, ýagny olar ýörite maddany – feromonlary bölüp çykarýarlar. Feromonlar howsalany duýdurýjy we iýmit ätiýaçlygyna ýol görkeziji hökmünde hyzmat edýärler, meselem, maşgala bolup ýaşayan garynjalarda. Kebelekleriň feromonlary jynsy jübütleşmede ulanýarlar. Göreşiň biologiki usullarynda zyýankeş kebelekleri tutmakda bu feromonlary peýdalanmagyň uly ähmiýeti bar.

Janly-jandarlaryň köpüsi (süýdemdirijiler, balyklar we ş.m.) üçin ys alyş ugry kesgitlemäge hyzmat edýär.

Ys mlekulalaryň ýaýramagy, olaryň ýeterlik derejede uçmagy (bugarmagy), suwda we lipidde eremegi hem-de öýjügiň membranasyndan gös-göni geçmegi netijesinde barmaly nokadyna eltýär.



Gatnaşýan maddalaryň mysalynda ilkinji yslyryň ýedisini şeýle bölýärler (Eýmur, 1962):

- 1) Kamfor ysy (kamfor maddasy)
- 2) Muskus ysy (pentadekanolaktin)
- 3) Güliň ysy (fenilmetiletilkarbinol)
- 4) Narpyz ysy (mantol)
- 5) Efir ysy (dihloretilen)
- 6) Ýiti ys (garynja kislotasy)
- 7) Çüýrüntgi ys (butilmerkaptan)

Maddalaryň ysy himiki düzümi boýunça däl-de, eýsem molekulalarynyň keşbi we ölçegleri boýunça kesgitlenýärler. Emma ys alyş mehanizmi heniz takyk we doly öwrenilmedik.

Tagam biliş molekulalaryň derejesi bilen kesgitlenýär. Meselem, turşy tagam – wodorod ionlarynyň bolmagy, duzly tagam – Cl bolmagy bilen kesgitlenýär. Ajy we süýji tagamlar dürli maddalaryň gurluşynyň esasynda döreýärler. Meselem, ajy tagam – hininiň we natriý sulfatynyň gatnaşmagynda, süýji tagam – gandyň we sahariniň gatnaşmagynda ýüze çykýarlar.

Umuman, şulardan görnüşi ýaly, janly öýjügiň membranasy arkaly maddalaryň alyş-çalşygy hemişe bolup durýar. Munuň özi maddalaryň hereket etmekleriniň hökmany zerur şertlerini döredýär. Şeýlelikde, ol biologik taýdan hem wajyp ähmiýetlidir.

## **BIOLOGIK MEMBRANALARYŇ OÝANYJYLYGY WE MADDALARYŇ HEREKET EDIŞI**

**Biomembranalaryň oýanyjylygy we geçirijiligi hakynda düşünje.** Membrananyň lipidleriniň erkin radikallary perekis okislenme hadysalary diňe bir emeli membranalara däl, eýsem tebigy membranalara-da mahsus häsiýetdir. Ol patologik hadysalaryň we ýagdaýlaryň köpüsinde, şeýle hem käbir kadaly ýaşaýyş hadysalarynda ýüze çykýar.

Reaksiýanyň inisirlenmegi ýa-da katalizi perekis okislenme hadysasynyň başlangyç döwri hasaplanýar we şonuň netijesinde erkin radikallar emele gelyärler. Tebigy membranalarda lipidleriň perekis okislenme reaksiýalaryny inisirlenmäge ukyply ferment we ferment däl ulgamlaryň bardygy anyklanyldy. Membrananyň lipidleriniň perekis okislenmesini öwrenmekde Bah-Engleriň (1897) perekis okislenme mazaryýeti, Semýonowyň (1934) zynjyrlý şahalanan reaksiýalarynyň nazaryýeti, uglewodorodlaryň we ýaglaryň suwuk fazadaky okislenmesi (N.M.Emanuel, 1950-1980), şeýle hem öýjüge zeper ýetiriji faktorlar (ionizirleýji radiasiýa) täsir edende lipidleriň zynjyrlý okislenmesiniň aýgtylaýjy ähmiýeti hakyndaky B.N.Tarusowyň (1954-1957) ylmy çaklamasy uly ähmiýete eýe boıldı.

Erkin radikallaryň emele gelmegi dürli membranalarda kislorodyň dürli işjeň görnüşleriniň bolmagy bilen amala aşýarlar. Olara kislorodyň protonlaşan superoksid radikaly, gidroksil radikal, singlet kislorod degişli. Olar perekis okislenme reaksiýalaryny garaňkylyk (meselem, fagositozda) we ýyrtyjylyk (meselem, ultramelewşe şöhlenenme, göz torjagazyna ýagtylyk zeper ýetmesi) ýagdaýlarynyň şertlerinde amala aşyrmaga işjeň gatnaşýarlar.

Antioksidant täsir. Häzirki wagtda ösen lukmançylygyň çäginde mälim bolan maglumatlara görä, janly bedende döreýän agyr keseller emele gelen oksidantlar bilen

baglansykyly. Antioksidant täsiri şol zyýanly birleşmeleri zyýansyz birleşmelere öwürmegiň esasynda düşündürmek bolar. Munuň özi gorag wezipesini ýerine ýetirýär. (Tokoferol – E vitamini barada aýtmaly).

**Diffuziýa we onuň häsiýetnamasy.** Köp sanly zarýadsyz maddalaryň membranadan geçmekleri diffuziýa kanunyna boýun egýärler. Diffuziýa hadysasy Fik tarapyndan ilkinji bolup mukdar taýdan ýazylyp beýan edildi.

$$I = -D \, dc/dx$$

*Bu ýerde:* **D**- diffuziýa koeffisiýenti;  
**dc/dx**- konsentrasiýa gradiýenti.  
**I**-maddanyň akymy.

Has umumy elektrodifuziýa deňlemesini Nerust-Plank düzdi

$$D = Rtu$$

*Bu ýerde* **D** -elektrodifuziýa;  
**R** -gaz hemişeligi;  
**t** -absolýut  $t^{\circ}$ ;  
**u** -barlanylýan gurşawdaky madda hereketjeňligi.

Diffuziýa koeffisiýenti molekullaryň ölçegleri we formalary arkaly kesgitlenýär.

Biologik membranalar arkaly maddalaryň diffuziýasyny öwrenmekligiň köp sanly barlaglary maddalaryň geçijilik ukyby bilen olaryň lipidlerdäki korrelyasiýasyny (özara baglansygyny) ýüze çykardy.Şunuň bilen baglansykylykda molekulýar lipidlerde eremekleriniň hasabyna membrananyň lipid böleginden geçýär diýip hasap etdiler.Emma käbir kiçijik gidrofil molekulýar membrananyň deşikleri arkaly hem geçýär eken.

Elektrolit dälleriň suwdan membrananyň deşikleri arkaly geçmekleri üçin bölekleyin ýa-da doly degidrlenmegi hökmandyr. Munuň üçin bolsa energiýa sarp edilýär.

Ýönekeý diffuziýanyň hasabyna aminokislotalaryň we monosaharidleriň uly molekulary membranadan geçip bilmeýär.

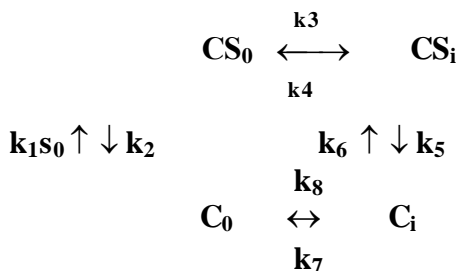
**Maddalaryň haýal hereketi.** Maddalaryň haýal hereketi ýönekeý diffuziýadan tapawutlylykda geçirijileriň gatnaşmagynda häsiýetlendirilýär.

1. Strukturasy boýunça biri-birine golaý birleşmeleri tapawutlandyrmaga ukyply geçirijiler bilen baglanyşykly ýokary ýöriteleşme

2. Substratyň konsentrasiýasynyň ösmegi bilen hereketiň tizligi diňe belli bir çäge çenli ýokarlanýar;

3. Geçirijiler bilen özara täsir edişýän inhibitorlaryň pes konsentrasiýalara duýgurlygy göze ilýär.

Geçirijileriň gatnaşmagyndaky hereketiň mehanizmini aşakdaky ýaly görkezme bolar.



Bu ýerde:  $C_0$  we  $S_i$ -membrananyň daş we iç tarapyndaky erkin ýagdaýda ýerleşýän geçirijiler;

$CS_0$  we  $CS_i$ -substrat bilen baglanyşykly geçirijiler.

$S_0$  we  $S_i$ -degişlilikde daşky we içki erginlerdäki substrat konsentrasiýalary.

$K_1$ - $K_8$ -aýry-aýry stadiýalaryň hemişelik tizligi.

Geçirijiň gatnaşmagyndaky transportyň hereketlendiriji güýji bolup maddanyň himiki ýa-da elektrohimi

potensialynyň gradiýenti hyzmat edýär. Maddanyň gradiýentleri kähallatlarda uzak wagtlap saklanýarlar. Munuň özi membrananyň haýsy hem bolsa bir tarapynda geçýän biohimiki reaksiýalarda emele gelyän molekulalaryň hasabyna amala aşýar.

## BIOLOGIK MEMBRANALARYŇ GEÇIRJILIGI

**Işjeň hereket we onuň görnüşleri.** Organizm üçin aýgytlaýjy ähmiýeti bolan käbir transport hadysalary diňe bir geçirijileriň gatnaşmagynda geçmän, eýsem energiýanyň sarp edilmegi arkaly hem amala aşýar. Bu konsentrasiýa we elektrohimiki potensial gradiýentleriniň garşysyna maddalaryň hereket etmeklerine ýardam berýär. Şeýle hadysalara bolsa, işjeň transport diýilýär. Onuň ýenilleşdirilen diffuziýadan esasy tapawudy işjeň transportyň haýsy hem bolsa bir stadiýasy energiýa baglybolup durýar. Işjeň transport hem 2 bölege bölünýär:

1. ilkinji işjeň transport;
2. ikilenji işjeň transport.

Ilkiji işjeň transportda maddalaryň geçirilmegi üçin ATF-iň ýada turşama-gaýtarylma reaksiýalarynyň energiýasy peýdalanylýar. Ikilenji işjeň transportda energiýa çeşmesi bolup, ionlaryň konsentrasiýa gradiýenti hyzmat edýär.

Ionlaryň membrana arkaly geçişleriniň mümkin bolan birnäçe mehanizmleri bar:

1. Membrananyň lipid fazasynda ionyň eremeği, munda diffuziýa membranada ergine tarap bolýar.
2. Hereket membrananyň struktur bölekleri bolan ion kanalyklary boýunça amala aşyrylýar.
3. Geçirijileriň gatnaşmagyndaky transport.

Bularyň ählisi biologik we iki gatlakly lipid membranalar üçin hem birmeňzeşdir.

Ionlaryň membrana arkaly geçişleriniň tizligi membrananyň galyňlygy, gielektrik geçirijiligiň ähmiýeti, fiksirlenen elektrik zaryadly bölejikleriň bolmagy, olaryň membranadaky belgisi we ýerleşşi, membrananyň deşiklerinde fiksirlenen zaryadlaryň bolmagy we beýleki ş. m häsiýetler bilen kesgitlenýär.

Diffuziýanyň hereketli güýji bolup, diffuziýa geçýän maddalaryň himiki potensiallarynyň dürlüligi hyzmat edýär. Ionlaryň haýal hereketli elektrohimiiki potensialyň ýokary bolan ýerinden has pes ýerine tarap hereket edýär. Elektrohimiiki potensialyň gradiýenti  $dm/dx$  ionlaryň geçirilmeginiň hereketlendirijisi bolup durýar.

**Işjeň transport. Natriý-kaliý sorujysy. Na, K, Ca.** Öýjükleriň içindäki we öýjükleriň daşyndaky gurşawlaryň arasyndaky **Na, K** we **Ca** konsentrasiýa gradiýentleriniň bolmagy – rahatlyk potensialy goldamagyň esasy şertidir. Ionlar membranadan geçmäge, öýjükde toplanmaga ýa-da ondan membrananyň elektrohimiiki potensialynyň gradiýentiniň täsiri arkaly çykмага ukyplydyr. Konsentrasiýa gradiýenti we potensial gradiýenti gapma-garşylykly tarapa gönükdirilendir. Öýjük bilen daşky gurşawyň arasyndaky  $K^+$ -ň konsentrasiýa gradiýentiniň bardygyna garamazdan, bu ionlar deňagramlylyk ýagdaýyna eýedir. Öýjükde  $Na^+$  konsentrasiýasynyň pes deňagramsyz derejesini saklamak üçin gurşawa işjeň bölüp çykaryş mehanizmi zerur.

Işjeň transportyň şuna meňzeş ulgamyny **ATF**-iň energiýasynyň hasabyna geçýän elektrohimiiki potensialyň gradiýentiniň garşysyna gönükdirilen ionlar üpjün edýär. Şu ýagdaýda  $Na^+$ -plazmatik membrananyň sorujysy (nasosy),  $Ca^{2+}$ -sarkoplazmatik retikulумыň membranasyň sorujysy, turşama-gaýtarylma reaksiýalaryň energiýasyny bolsa,  $H^+$ -mitohondriýalaryň, hloroplastlaryň sorujysy üpjün edýär.

Sorujynyň işleýiş mehanizmleri dürli alymlar tarapyndan öwrenildi. Geçirilen barlaglaryň netijesinde gazanylan ilkinji üstünlikler **S.Skou (1957)** diýen alyma degişli. Ol krabyň nerwisinden taýýarlanan membrana priparatynda **ATF**-iň bir molekulasy gidrolizinde öýjügiň içine 2-ionyň geçýändigini we öýjükden **Na**-ň üç (kähalatda iki) ionynyň çykarylýandygyny görkezdi.

**Biologiki membranalaryň ionlary geçirijiligi.** Aýry-  
aýry süýümlerde döreyän nerw impulslarynyň hemişelik  
amplitudasy we formasy bolýar. Ýekeleýin nerw impulsy-täsir  
potensialy takmynan 1 m/s dowam edýär we 1-den 100 m/s  
çenli tizlik bilen ýaýraýar. Nerw impulsynyň generasiýasy  
hadysasy hakyndaky häzirki zaman garaýyşlaryň esasynda  
A.Hojkin, A.Haksli we B.Katçe tarapyndan kalmaryň uly nerw  
süýümlerinde geçirilen barlaglar ýatýar. Aksonyň içindäki täsir  
potensialyny ölçemek üçin onuň içine 0,5 mkm diametrli KCL-  
ň konsentrlenen ergini bilen doldurylan inçejik aýna  
turbajygyny peýdalanýarlar.

Aksoplazma beýleki öýjükleriň köpüsiniň  
protoplazmasy ýaly  $K^+$ -ň ýokary konsentrasiýasyny we  $Na^+$ ,  
 $Cl^-$ -ň pes konsentrasiýasyny özünde saklaýar. Süýümiň içinde  
K ionlary erkin bolýar we beloklar ýa-da beýleki uly  
molekulalar bilen baglanyşmaýar.

Membrana rahat ýagdaýda  $K^+$  üçin  $Na^+$  garanynda oňat  
geçirijidir.  $Cl^-$  bolsa rahatlyk ýagdaýynda deňagramlylyk  
potensialyna örän golaý bolýar.

Oýandyrylma ýa-da gowsunma hadysasy ionlar üçin  
membrananyň geçirijiliginiň membrana potensialyna garaşly  
(bagly) bolmagynyň esasynda ösýär. Haçanda  $Na^+$  üçin  
membrananyň geçirijiligi ýokarlananda bu ionlar içe tarap  
ymtylýarlar. Şeýle hadysa tä natriý potensialynyň  
deňagramlylyk ýagdaýyna çenli dowam edýär. Şondan soňra  
 $Na^+$  akymy membranadan daşarda we içerde deňleşýär. Soňra  
membrananyň geçirijiligi  $K^+$  üçin ýokarlanyp başlaýar.  
Netijede, K ionlary öýjükdän onuň elektrohimiki potensialynyň  
gradiyenti boýunça çykyp ugraýar.  $K^+$  çykmagy haçanda  
membrananyň potensialy kaliý potensialynyň  
deňagramlylygyna golaýlaşanda togtayar. Öýjügiň içindäki  $Na^+$   
we  $K^+$  konsentrasiýalarynyň hemişelik derejesini saklamak üçin  
öýjük membranasynda  $Na^+$ ,  $K^+$  sorgujy (nasosy) bolýar we ol  
 $Na^+$  işjeň ýagdaýda çykmagyny hem-de onuň ornuna Oýjüge



$K^+$  gelmegini üpjün edýär. Bu hadysa ATF-ň energiýasynyň hasabyna amala aşýar.

Oýandyrylma mehanizmlerini öwrenmekde has wajyp üstünlükler membrana toguny potensialy fiksasiýa usuly arkaly ölçemegiň hasabyna gazanyldy (K. Kouř, 1949). Adaty ölçeglerde  $Na^+$  we  $K^+$  üçin geçirijiligiň täsir potensialy üýtgeýän iki funksiýany ýüze çykaýar: 1.membrana potensialynyň ähmiýeti;

2.wagt.

Rahat ýagdaýda membrana arkaly tok akmaýar. Eger membrananyň potensialyny rahat ýagdaýdan üýtgetsek, onda  $Na^+$  we  $K^+$  akaryyklarynyň geçirijiligi bir stasionar ýagdaýdan beýleki bir stasionar halata geçer. Şeýle bolanda tok akýar. Membrana arkaly akýan umumy togyň aýry-aýry ýollar boýunça hereket edýän ionlara şertlenen görüm togunyň we ion togunyň jemine deňdir.

$$I_{um} = C_m \frac{d\varphi}{dt} + I$$

Bu ýerde:  $I_{um}$ -umumy tok.

$C_m$ -membrananyň göwrümi

$\frac{d\varphi}{dt}$ -membrana potensialynyň üýtgeýiş tizligi

$I$ -transmembrana ion togy ( $I = \sum I_i$ )

Dürli myşsa süýümlerinde geçirilen barlaglar täsir potensialynyň generasiýasyna Ca ionlarynyň gatnaşandygyny görkezdi. Süýdemdirijileriň ýylanak myşsalarynyň öýjüklerindäki täsir potensiallary we degişlilikde ion toklary  $Ca^{+2}$  daşky konsentrasiýasyna güýçli derejede bagly bolýar we Mn, Co, La ionlary onuň üstüni basýar.

Kalsiý kanalyň funksional işjeň ýagdaýyny saklamagy üpjün edýän fermentleriň ençemesiniň işjeňligini saklaýar. Öýjük içindäki derejede  $Ca^{+2}$  sazlaýjy täsiriniň mehanizmi entek doly aýdyňlaşdyrylmadyk.

**Impulsyň ýaýraýşy.** Nerw impulsynyň süýümiň uzaboýuna hemişleik tizlik bilen ýaýramagy onuň möhüm häsiýetidir. Oýanmanyň ýaýraýşy bolsa rahat we işjeňleşýan bölekleriň lokal akymalarynyň geçmegi arkaly baglanyşykly. Aksonyň daşky üst ýüzi ekwipotensial, ýagny daşky gurşaw elektrik toguny oňat geçirýän bolsun. Täsir potensialynyň döreýän oblastynda süýümiň içindäki bölek položitel zarýadlanan, emma goňşy oýandyrylmadyk ýerlerde bolsa otrisatel zarýadlanan. Netijede, nerwiň rahat we oýandyrylan bölekleriniň arasynda lokal tok döreýär. Munuň özi gös-göni membranany depolýarlaşdyrýar. Bu ýerde depolýarlaşma ýokary derejä ýetende oýanma hadysasy ýüze çykýar we ol indiki böleklerge geçirilýär. Nerw süýümi boýunça impulsyň bir taraplaýyn geçirilmegi täsir potensialy tamamlanan böleklerde oýanma hadysasyna bolan ukyplylygyň birnäçe wagtlyk ýitirilmegi bilen baglanyşyklydyr.

Oňurgaly haýwanlaryň nerw süýümleriniň üst ýüzi mielin bilen örtülen, ol üzňeleşdiriji täsir edýär. Bularda myelin bilen örtülmedik süýümlere garanynda oýanma ýokary tizlik bilen we energiýanyň az harçlanylmagy arkaly geçirilýär. Energiýanyň az harçlanylmagy myelin örtükli süýümlerde elektrik sygymyň oňurgasyz jandarlardaky bilen deňeşdirilende pes bolýandygy arkaly düşündirilýär. Munuň özi energiýanyň az sarp edilmegine getirýär.

Adatça nerw impulsynyň ýaýraýan süýümi elektrik häsiýetlerini (aksoplazmanyň pes elektrogeçirijiligi, membranalaryyeterlik bolmadyk üzňeleşdiriji häsiýetini, membranalaryň ýokary sygymyny) özünde saklaýan kabel bilen deňeşdirýärler.

Impulsyň ýaýraýş tizliginiň nerw süýüminiň diametrine bagly bolmagy öwrenilende mielinsiz süýümlerde geçirilen tejribeler onuň tizliginiň takmynan süýümiň diametriniň kwadrat köküne proporsionaldygyny görkezdi.

Mysal üçin, kalmaryň äpet süýümünde şeýle tizlik 21 m/sek töweregi bolýar.

Ion togunyň membrana generatorynyň modeliniň esasynda birmeňzeş bolmadyk we şahalanýan süýümler boýunça impulsalaryň ýaýraýyşyny, şeýle hem ugurdaş süýümlerdäki impulsalaryň özara täsirlerini öwrenmek bolýar.

## BIOLOGIK MEMBRANALARDA ENERGIÝANYŇ TRANSFORMASIÝASY

**Biomembranalarda energiýanyň emele gelmeginiň umumy häsiýetnamasy.** Biologiki membranalarda elektron transportynyň netijesinde energiýanyň öwürüşiğiniň bolýandygyny XX asyryň ikinji ýarymynda käbir bakteriýalaryň, mitohondriýalaryň, hloroplastlaryň we hromatoforlaryň mysalynda äşgär edilipdi. Janly ulgamlaryň ählisinde ATF molekulasy sintezlemek üçin elektron akymynyň energiýasynyň peýdalanylmagy zerurdyr. Mitçeliň hemiosmotik gipotezasyna laýyklykda, elektronlaryň elektron-transport zynjyry boýunça geçmekleri protonlaryň membrananyň gidrofob barýeri arkaly geçmegine alyp barýar. Onuň esasy bolsa, wodorod ionlarynyň elektrohimiiki potentsiallarynyň membrana arasyndaky tapawudyň emele gelmegindäki sintezlenýän ATF üpjün edýär.

$$\overline{\Delta\mu H^+} = F\Delta\varphi + 2,3RT\Delta pH$$

Bu ýerde:  $\overline{\Delta\mu H^+}$  - wodorod ionlarynyň elektrohimiiki potentsiallarynyň membranaarasyndaky tapawudy;

$\Delta\varphi$  - elektrik potentsiallarynyň tapawudy;

$\Delta pH$  – membrananyň iki tarapyndaky wodorod ionlarynyň konsentrasiýasynyň tapawudy;

F – Faradeýiň sany;

R – gaz hemişeligi;

T – temperatura.

**Elektron-transport zynjyry.** Elektron-transport zynjyry arkaly elektronlardyr protonlaryň geçmekleri üpjün edilýär. Mitohondriýalarda elektron donorlarynyň emele gelmekleri onuň membranasyň iç ýüzündäki elektronlaryň geçmeklerine alyp barýar. Mitohondriýanyň elektron-transport zynjyrynyň düzüminde 20 töweregi elektron geçirijiler mälim

edildi. Olaryň arasynda ikielektronly we birelektronly birleşmeler bar. Mitohondriýanyň beloklarynyň takmynan 25% hem muňa degişlidir. Geçirijileriň belokly bölümleri düzüminde metal saklaýan geçirijileriň okislenme-gaýtarylma öwrülişigine we elektronlar geçirilende olaryň daşynda dielektrik hem-de himiki gurşawyň emele gelmegine täsir edýär.

Elektron-transport zynjyrynda elektron geçirijiler belli bir zygiderlilikde ýerleşýärler, has takygy olar ýerleşşi boýunça asimmetrikdir.

Öküziň ýüregindäki mitohondriýanyň içki membranasynda elektron-transport zynjyryna gatnaşygy boýunça 4 sany belok-lipid toplumyny tapawutlandyrmak başartyr:

- I. NADH: ubihinon – oksidoreduktaza.
- II. Suksinat: ubihinon – oksidoreduktaza.
- III. Ubihinol: ferrisitohrom c-oksireduktaza.
- IV. Sitohrom c: kislorod – oksireduktaza.

Bu toplumlaryň her biri düzgün boýunça 5-subbirlikden az bolmaly däldir we şol subbirlikleriň belli-belli bölekleri elektronlaryň geçmeklerine mümkinçilik döredýärler. Toplumlar elektron-transport zynjyryna dürli derejelerde gatnaşýarlar. Toplumlaryň arasynda III derejelisi mitohondriýanyň elektron-transport zynjyryndaky energiýa çalşygynda däl, eýsem hloroplastlarda, hromatoforlarda, şeýle hem käbir bakteriýalarda-da merkezi ornuny eýeleýär. Emma käbir elektronlaryň çalşygynda ol öz ornuny I derejeli toplum bilen hem çalşyp durýar.

Elektron-transport zynjyrynyň üç toplumu dem alyş zynjyrynda I, III we IV derejeli toplumlar generatorlaryň ornuny tutýar. Olar elektronlaryň geçirijiligini transmembranadan protonlaryň geçmekleri bilen bilelikde alyp barýarlar. Bular elektronlary geçirmekligiň struktura birligi däl-de, eýsem ATF emele getirýän elektronlary geçirmekligiň funksional birligi bolup hem durýarlar.

### **Fotosintez hadysasynda protonlaryň geçişi.**

Fotosintez hadysasynda protonlaryň geçişini ýokary gurluşly ösümlüklerniň I we II derejeli fotoulgamlarynyň özara täsirleriniň netijesinde emele gelen fotosintetik zynjyrynyň mysalynda has oňat görmek bolýar. Fotoulgamlaryň her biri tilakoidiň içki membranasyndan daşky membrana elektronlaryň birini geçirýär. Olaryň hersiniň geçişi örän gysga wagtyň (20 nanosekund) dowamynda amala aşýar. Tilakoidiň membranasyň polýarlylygyny membrananyň iç ýüzünde položitel, daş ýüzünde bolsa otrisatel diýip häsiýetlendirilýär. Fotoulgamlaryň arasyndaky özara baglanyşyk hereketjeň plastohinon diýilýän geçirijiler arkaly amala aşyrylýar. Olar elektronlary we protonlary membrananyň daş tarapyndan iç ýüzüne 20 ms (millisekundyň) dowamynda geçirýärler. Suwuň okislenmesindäki ýaly, plastogidrohinyň okislenmesinde hem geçirijiler tilakoidiň içki giňişligine bir protony erkin ýagdaýda goýberýärler. Çünki olar okislenmede protonlary özlere baglamaýarlar. Plastohinon we NADF okislenende bolsa, gerekli proton membrananyň daşky fazasyndaky protonlardan Kabul edilýär. Şeýlelikde elektronlaryň I we II derejeli fotoulgamlar arkaly geçişleri ekwiwalentdirler. Suw okislenende boşayan proton üçin 300 mks (mikrosekund) gerek bolýar, emma plastohinyň we NADF-iň okislenmesinde daşky giňişlikden protonyň gelmegi örän haýal, ýagny 60 ms (millisekunda) geçýär. Olaryň haýal geçmegine bolsa, membrananyň daş ýüzüniň päsgeçililiklerinden (barýerlerinden) geçýän diffuziýa sebäp bolýar.

Häzirki wagtda mitohondriýalaryň, hloroplastlaryň, hromatoforlaryň membranalarynyň ählisinde diýen ýaly proton ATF-azalary ýüze çykaryldy. ATF-aza toplumy ýa-da  $H^+$ -ATF-aza – yzyna gaýtaryjy fermentdir. Onuň sintezi  $\Delta\mu H^+$ -iň, ýagny wodorod ionlarynyň elektrohimi potensiallarynyň membranaarasyndaky tapawudynyň hasabyna amala aşýar. ATF-iň gidrolizi elektrohimi potensialyň transmembrana tapawudyny ýüze çykarýar.

## FOTOBIOLOGIKI HADYSALARYŇ BIOFIZIKASY

### Fotobiologiki hadysalar we olaryň ilkinji tapgyrlary.

Fotobiologiki hadysalara biologiki möhüm birleşmelerden ýagtylygyň siňdirilmeginden başlanýan we bedeniň kesgitli fiziologiki reaksiýalarynda tamamlanýan hadysalar degişli. Negativ (zyýanly) we pozitiw (peýdaly) fotobiologiki hadysalary tapawutlandyryrlar.

Zyýanly fotobiologiki effektli hadysalaryň hem adam we haýwan bedenlerinde iki görnüşini tapawutlandyryrlar:

- 1) fototoksin hadysalar
- 2) fotoallergiýa hadysalary

Fototoksin effektli hadysalar diýip, allergiýa reaksiýalaryny ýüze çykarmaýan gözüň ýa-da deriniň ýagtylyk zeper ýetmelerine aýdyýar. Kliniki şertlerde olar eritema, edema, pigmentasiýa, göz hrustaljygynyň bulaşyklygy we ş.m. görnüşlerde ýüze çykýarlar.

Fotoallergiýa effektli hadysalar ozone allergiýa alamatlaryny ýüze çykarýan ilkinji immun mehanizmlerini birleşdirýärler.

Peýdaly (pozitiw) fotobiologik effektli hadysalary haýwanlarda aşakdaky ýaly tapawutlandyryrlar:

— görüş;

— fotoperiodizm – haýwanlaryň ýaşawyşynda ýagtylygyň gije-gündizleýin we ýyllyk täsiriniň sazlaşygy (ýagtylyk:garaňkylyk). Bu hadysa görünýän ýagtylygyň täsirinde amala aşýar. Adamda we süýdemdiriji haýwanlarda göz, kábir guşlarda gipotalamus, balyklarda – epifiz, mör-möjeklerde – beýni fotoperiodik reseptor bolup hyzmat edýär.

— prowitaminlerden ultramelewşe şöhleleriniň täsirinde D witamininiň emele gelmegi amala aşýar.

Ösümlüklerde möhüm fotobiologik hadysalara – fotosintez, fototaksis, fototropizm, fotoperiodizm hadysalary

değişli. Meselem, fotosintez – yaşayış üçin möhüm fotobiologik hadysadyr.

Fotosinteziň summar deňlemesi:



Bu ýerde:  $h\lambda$  – ýagtylyk kwanty

$(\text{CH}_2\text{O})$  – uglewod molekulasynyň bir bölegi

Fotoreaksiýa netijesinde 470 kJ/mol energiýa bölünip çykýar. Azat energiýanyň üýtgemegi 504 kJ/mol deň, entropiýa 113 J/(mol.k). Kislorodyň bir molekulasynyň emele gelmegi üçin umumy energiýasy 1470 kJ/mol töweregi bolan 8 ýagtylyk kwanty harçlanylýar. Şonuň çäginde gün energiýasynyň peýdalanyş koeffisienti  $500/1470 = 0,34$ .

**Fotobiologiki täsirleriň spektrleri.** Täsir edýän ýagtylygyň tolkun uzynlygyna fotobiologiki effektiň bagly bolmagyna fotobiologiki täsiriň spektri diýilýär. Täsir spektrleri diňe bir berlen fotobiologiki hadysanyň haýsy ýerinde has effektiv bolýandygyny däl, eýsem berlen biologiki hadysada haýsy maddanyň ýagtylyk kwantynyň akseptory bolup durýandygyny hem düşündirmäge ýardam edýär.

Fotohimiki reaksiýany keseligine kesip geçýän ýagtylygyň ukukygy ( $\sigma$ ) täsir edýän ýagtylygyň netijeliliginiň mukdar häsiýetnamasy bolup hyzmat edýär. Bu ululygyň gelip çykyşyna düşünmek üçin has ýönekeý fotohimiki hadysanyň – fermentiň ultra-melewşe inaktiwasiýasynyň kinetikasyna garamaly bolýar.

Goý, gapjagazda (kýuwetde)  $n$  molekulary  $\ast \text{sm}^{-3}$  konsentriýaly fermentiň gowşadylan ergini ýerleşýär diýeliň.  $l$  – gapjagazyň galyňlygy,  $\text{sm}$ ;  $s$  [ $\text{sm}^2$ ] – siňýän fermenti keseligine kesip geçýän şöhle;  $I_0$  we  $I$  (kwantlar  $\ast \text{sm}^{-1} \ast \text{s}^{-1}$ ) ergine düşýän we ondan geçýän ýagtylygyň intensiwligi. Her sekundda ergin ( $I_0 - I$ ) kwantlary  $\ast \text{sm}^{-2}$  siňdirer, netijede  $l_{sm}$



galyňlykdaky we  $1 \text{ sm}^2$  meýdandaky ergin gatlagy  $l$  \*  $dn/dt = \varphi_x \cdot (I_0 - I)$  molekula dargaýar.

$\varphi_x$  – fotohimiki reaksiýalaryň çykymy.

$$\frac{I}{I_0} = e^{-s \cdot n \cdot l}$$

$$-l \cdot \frac{dn}{dt} = \varphi_x \cdot I_0 \cdot (1 - e^{-s \cdot n \cdot l})$$

$$-\frac{dn}{dt} = \varphi_x \cdot I_0 \cdot s \cdot n$$

Integrirläp alyarys:

$$\ln \frac{n_0}{n_t} = I_0 \cdot t \cdot s \cdot \varphi_x = D \cdot \delta$$

Bu ýerde:  $I_0 \cdot t$  – D – şöhlenme dozasy;

$s \cdot \varphi_x = \delta$  – fermentiň inaktivasiýasynyň

keseleýin şöhlenmesi.

Şöhlenenme dozasyňy ölçäp, çylşyrymly biologik ulgamda hiç hili spektrofotometriki ölçeme geçirmezden, fotolizirlenýän maddanyň siňme spektrini kesgitläp bolýar. Hut şunuň özi hem fotobiologiyada täsir spektrlerini hasaba almaga uly gyzyklanma döredýär. Netijede, biz çylşyrymly ulgamyň haýsy böleginiň fotolizi ahyrky fotobiologiki effekte jogap berýändigini bilip bileris.

Fotobiologiki hadysalaryň dürli-dürlidigine garamazdan, olaryň islendigini birnäçe tapgyrlara bölmek bolýar:

- 1) ýagtylyk kwantynyň siňdirilmegi;
- 2) molekulýar hadysalaryň içindäki energiýa çalşygy;

- 3) oýandyrylan ýagdaýyndaky energiýanyň molekulýara geçirilişi (energiýanyň migrasiýasy);
- 4) ilkinji fotohimiki akt;
- 5) ilkinji fotohimiki önümleriň garaňkyda öwrülişigi (durnukly önümleriň emele gelmege bilen tamamlanýar).
- 6) Fotoönümleriň gatnaşmagyndaky biohimiki reaksiýalar;
- 7) Ýagtylygyň täsirine umumy fiziologiki jogap.

Biofizikler ýokarda beýan edilen tapgyrlaryň diňe ilkinji dördüsini öwrenýärler. Soňkulary bolsa, ýagny fotoönümleriň metabolizmi we olaryň fiziologiki täsiri – bular biohimikleriň, fiziologlaryň we lukmanlaryň öwrenmeli meseleleri bolup durýar.

Dürli şöhleleriň spektrleri öwrenilen. Adam we haýwan bedenine biologiki täsiriniň häsiýeti boýunça ähli spectral diapazon birnäçe bölümlere bölünýär, olaryň hersi induksiýanyň kesgitli netijesine (effektine) jogap berýär:

- Infragyzyl bölegi (tolkun uzynlygy  $> 750$  nm): ýylylyk effekti;
- Görünýän ýagtylyk bölegi (400 – 750 nm): görüş, fotoperiodizm;
- Ultramelewşe bölegi (200 – 400 nm) – bu öz gezeginde 3 bölege bölünýär:

1) U/M – A (315 – 400 nm): güne ýanma, prowitaminlerden D vitaminiň sintezlenmegine, fotoallergiýa we fototoksin effektlil hadysalara jogap berýär;

2) U/M – B (280 – 315 nm): eritema, edema, güne ýanma, gözüň ýanmagyna, kanserogeneze, D vitaminiň sintezine jogap berýär;

3) U/M – Ç (200 – 280 nm): eritema, güne ýanma, kanserogeneze, mutasiýalara, bakterisid effektlil hadysalara jogap berýär.

Fotobiologiki täsirleriň spektrlerini ölçemeklik fotobiologik hadysalaryň ilkinji tapgyrlaryny öwrenmekligiň möhüm usullarynyň biridir.

## GÖRÜŞ – FOTOBIOLOGIKI HADYSA HÖKMÜNDE

**Görüş – fotobiologiki hadysa hökmünde.** Möhüm fotobiologiki hadysalaryň biri-de fotoresepsiýa hadysasydyr. Ol daşky gurşawdan ýagtylyk şöhleleriniň faktorlary hakyndaky informasiýanyň alynmagyndan ybarat bolan hadysadyr. Fotoresepsiýanyň has kämil görnüşi oňurgaly haýwanlaryň görüşi bilen baglanyşyklydyr.

Göz – öz-özünü sazlaýjy ulgam. Onuň optiki yetmezçiligi belli bir derejede gözüň işiniň sazlaýjylyk mehanizmi arkaly kompensirlenýär. Göz torjagazyna düşýän ýagtylygyň sazlanmagy we onda şekiliň emele gelmeği möhüm hadysa hasaplanýar.

Göz torjagazynda şekiliň emele gelmeği hrustaljygyň radiusynyň öz-özünden üýtgemegi arkaly amala aşýar. Akkomodasiýa hadysasy gös-göni şunuň bilen baglydyr. Hrustaljygy dolandyryjy myssa gelip düşýän ýagtylyk şöhelelerine baglylykda hereketlenýär, ýagny ýygrylýar ýa-da gowşaýar. Netijede, daşlaşýan ýa-da ýakynlaşýan zadyň şekili aýdyňlaşdyrylýar.

Gözüň işiniň optimum häsiýete eýe bolmagy üçin görejiň üsti arkaly gelip düşýän ýagtylygyň sazlanmagy zerurdyr. Optiki ýarçygyň – görejiň ululygy sazlanýar. Mälim bolşy ýaly, ýokary intensiwlikli ýagtylyk düşende göreç daralýar, ýagtylyk pes bolanda – ol giňelýär. Bu ýagdaýy älemgoşar örtük emele getirýän biri-birine gapma-garşylykly bolan iki dürli myssalar amala aşyrýar.

Göz torjagazyň gurluşyna seredeliň. Ol köpgatlykly gurluşa eýe. Şekil pigmentli epitelide döreýär. Aýratyn bir gatlakda fotoreseptor öýjükleri bilen kese ýerleşen nerw öýjükleriniň arasynda simpatik baglanyşyk emele gelýär. Beýleki nerw öýjükleri, ýagny bipolar we amakrin nerw öýjükleri ganglioz nerw öýjükleri bilen bilelikde aýratyn gatlakda sinaptiki baglanyşýarlar hem-de olar görüş nerwisiniň

aksonlaryna barýan impulsalaryň gös-göni çeşmesi bolup hyzmat edýärler. Giriş signaly – pigmentli epitelidäki optiki şekildir, çykyş signaly – görüş nerwisindäki impulsalaryň emele getiren neýral şekilidir. Fotoreseptorlara çenli ýetmek üçin ýagtylyk nerw öýjükleriniň gatlaklaryndan parran geçmelidir, fotoreseptor öýjükleri bolsa zyýanly täsirlerden belli bir derejede goralandyr.

Taýajyklar ýaly, kolbajyklar hem güberçek gurluşly bolýarlar. Olar ugurdaş diskleriň jeminden emele gelip ýöriteleşendirler. Şol disklerde fotoreseptor molekulýar gurnawlar gurnalyp, žgutikler arkaly zerur maddalar öýjükleriň esasy bedeninden disklere barýarlar. Ýagtylyk disklere siňýär.

Kolbajyklar reňkli görüşe jogapkärdirler, taýajyklar bolsa, gowşak ýagtylygy kabul edýärler. M.Lomonosow üç reňkiň – gyzyl, sary we mawy reňkleriň görüş arkaly kabul edilişi barasynda 1756-njy ýylda “Ýagtylygyň gelip çykyşy hakynda söz” diýen işinde ýazypdy. 1802-nji ýylda Ýung göz torjagazyndaky ýagtylygy duýujy maddalaryň üç görnüşiniň esasynda reňkli görüşiň nazaryýetini teklipl edipdi. Soňra bu üç reňkli görüşiň nazaryýetini alymlar Makswell we Gelmgols has-da ösdürdiler. Aýry-aýry kolbajyklara ýagtylygyň siňişini göni ölçemek arkaly bu nazaryýet tassyklanyldy.

Oňurgasыз haýwanlaryň reseptorlary oňurgaly haýwanlaryňky bilen deňeşdirilende başgaça gurnalandygyna göz ýetirmek bolýar. Munuň özi köp halatlarda giň spektral oblata duýgurlygy bilen deňeşdirilýär.

Göz torjagazyndaky optiki şekiliň beýnä berilýän neýral şekile öwürülme mehanizmi örän çylşyrymly.

Göz torjagazynda dürli intensiwlikdäki we spektral düzümdäki ýagtylyga adaptasiýa geçýär; görüňän zadyň göwrüm şekili we hereketi kabul edilýär. Krab leňnejinde we oňurgalylarda optiki nerwlerde döreyän impuls barlag edildi. Krabyň gözünde köpsanly reseptorlar bar, olara ommatidiýalar diýilýär. Olar taýajyklara meňzeşdirler. Aýry-aýry aksonlaryň

aýry-aýry ommatidiýalarynyň döredýän impulsary öwrenildi. Garaňkyda seýrek döwürleýin impulslar ýaýraýarlar. Ýagtylandyrylanda goşmaça impulslar döreyärler.

Oňurgaly haýwanlarda aksonlar üznüksiz ýagtylyga garanyňda, üýtgeýän ýagtylyga güýçli reagirlenýärler. Güýçli ýagtylykda impulsaryň peselýändigini görmek bolýar.

Kese ýerleşen we amakrin nerw öýjükleri goňşy fotoreseptorlary birleşdirýärler hem-de informasiýany geçirmegi üpjün edýärler, bipolar öýjükler informasiýany içki sinaptiki gatлага geçirýärler.

Gözüň duýgurlygy örän ýokary adamyň gözi uzak wagtlap garaňkylyga uýgunlaşmasy netijesinde aýry-aýry kwantlary kabul etmäge ukyply bolýar. Örän gowşak ýagtylyk çeşmesinde göz şöhlelenmäniň kwant fluktuasiýasy ýagdaýynda bolýar. Bu hadysany Barnes we Çerni ilkinji bolup 1932-nji ýylda düşündirip geçdiler.

1933-nji ýylda Wawilow öz işgärleri bilen bilelikde bu hadysany düýpli öwrendi. Netijede, gözüň taýajyklarynyň duýgurlygynyň takyk häsiýetnamasy we ýagtylygyň tebigaty barada möhüm maglumatlar alyndy.

Fotoresepsiýa hadysasynyň yönekeý görnüşi fototaksis hadysasy hasap edilýär. Bir öýjükli ewglenanyň gyrmyzy-gyzyl fotoreseptor tegmili bar, oňa stigma diýilýär. Bu fotoreseptor döreyşi boýunça ewolýusion ähmiýetli bolup, ol assosirleýji pigmentli žgutikden ýa-da kirpikjagazlarda döräpdir diýip pikir etmek mümkin. Ýagtylygyň täsirinde stigma žgutikde özboluşly nerw impulsyny döredýär we ewglena ýagtylyga tarap hereketlenýär.

Fotoreseptoryň meýdanyny, ýagtylygyň tolkun uzynlygyny we intensiwligini bilip, fototaktiki jogap jogap bermek üçin gerek bolan energiýany hasaplamak mümkin. Ewglena üçin bu örän ujypsyz ululykdyr, ýagny  $1,7 * 10^{-11}$  erg.

Görüş şekilini almaklyk has inçe gurnawy talap edýär. Holdeýn gözüň diňe 4 tipiniň bolup biljekdigini aýdýar. Eger

gözi syna hökmünde kabul etmeli bolsa, onda ol bir ugurda ýaýraýan ýagtylygy stimullirleýji nerw süýümidir. Munuň özi dürli ugurlar boýunça gurnalan turbajyklaryň dessesinden we hemmämize mälim bolan abzallara meňzeş gurnawlaryň 3 görnüşinden: temençäniň gözi ýaly kameradan, linzaly adaty kameradan we teleskopreflektordan ybaratdyr. Temençäniň gözi ýasy gurçuklaryň – planariýalaryň fotorepsiyasyna hyzmat edýär. Ýagyş gurçuklarynda ýagtylygy duýujy öýjükler bedeniň üst ýüzünde ýerleşip, linzalary saklaýarlar. Bu öýjükler neýrofibrilýar tor bilen gurşalandyr. Sülükleriň köpüsinde şeýle öýjükler umumy linzaly gurnawa birleşýärler. Şeýle gurnawa osellus ýa-da yönekey (sada) göz diýilýär.

Bognaýaklylarda şekil dörediji çylşyrymly gözler hem bolýar. Olara başgaça fasetka gözler diýilýär. Şeýle gözler ommatidilerden gurnalandyr. Ommatidileriň sany garynjalaryň käbir görnüşlerinde birnäçe sany bolup, teneçirlerde 2000-den hem gowrakdyr. Ommatidileriň her biri buýnuzjymak linzany, kristallik kolbajygy we 3-den 11-e çenli duýgur öýjükleri saklaýar. Bu öýjüklerde fotoreseptor strukturalar ýerleşip, olara rabdomerler diýilýär. Rabdomerleriň wezipesi oňurgaly haýwanlaryň gözlerindäki taýajyklaryň daşky segmentiniň wezipesine meňzeşdir. Rabdomerleriň jemi rabdomy emele getirýär, ol her ommatidiýanyň içinde fotoreseptor oblast bolup hyzmat edýär.

Kellesi aýakly mollýuskalaryň – osminogyň, kalmaryň, karakatisanyň gözünüň gurluşy oňurgaly haýwanlaryň gözünüň gurluşy bilen meňzeşiräk. Gözde buýnuzjymak madda, linza (hrustaljik), göz torjagazy bolýar. Tebigat köp bolmadyk mümkinçilikleriň arasynda seçgi geçiripdir. Şonuň üçin haýwanlaryň gözleriniň gurluşynyň meňzeşligine geňirgenmek yerliksizdir.

**Fotorepsiyanyň molekulýar mehanizmi.** Adam we ýokary gurluşly haýwanlar takmynan 400-den 760 nm çenli aralykda adaty intensiwlikdäki ýagtylygy kabul edýärler.

Ultramelewşe şöhleler gözüň dury dokumasyna siňýär. Infragyzył şöhleleri göz torjagazy kabul etmeýär. Eger olar kabul edilseler, onda ýylyganly jandarlarda informasiýa signallarynyň resepsiýasyna päsgel beriji infragyzył radiasiýanyň güýçli fony döräp bilerdi. Şeýlelikde, fotoreseptor öýjükleriň pigmenti ýa-da pigmentleri spektriň görünýän oblastynda ýagtylygy sındirýärler, ýagny reňklenerler. Bu ýerde gürrüň organiki maddalaryň molekulalary hakynda barýar, özüde şol molekulalar ýeterlik derejede dartyşma döredýän  $\pi$ -baglanyşyklydyrlar.

1933-nji ýylda Uold göz torjagazynda A witamininiň bardygyny açdy. A witamininiň strukturasy birneme önäk gurnalandyr.

Retinol<sub>1</sub>-iň brutto-formulasy:  $C_{19}H_{27}CH_2OH$ . Bu molekula özüni karotin molekulasyň ütgemedik ýarpysy görmüşinde görkezýär. Karotinoidler bolsa A witamininiň çeşmesidir, onuň bolmazlygy körlüğe alyp barýar. Oňurgalyaryň göz torjagazynda A<sub>2</sub> ýa-da retinol<sub>2</sub> witamini-de bolýar. Onuň struktura gurnalyşy 2-nji we 3-nji uglerodlaryň arasynda ikileýin baglanyşygyň bolmagy bilen A<sub>1</sub>-den tapawutlanýar. Retinol<sub>2</sub>-iň brutto-formulasy:  $C_{19}H_{25}CH_2OH$ . Görmüşi ýaly retinollar – spirtidirler. Fotoreseptorlarda retinollar aldegidlere – retinal<sub>1</sub> we retinal<sub>2</sub> öwrülýärler hem-de fosfolipidler we beloklar bilen baglanyşykly bolýarlar. Retinallarda molekulanyň soňky topary = CH—CH<sub>2</sub>OH däl-de, = CH—CH=O bolýar. Retinal<sub>1</sub>-iň we retinal<sub>2</sub>-iň brutto-formulasy:  $C_{19}H_{27}CHO$  we  $C_{19}H_{25}CHO$ . Retinollara garanynda retinallarda  $\pi$ -baglanyşyklaryň biri artykdyr.

Retinallar lipoproteinleri saklaýan görüş pigmentleriniň hromofor toparlary bolup hyzmat edýärler. Olara opsinler diýýärler.

Görüş pigmentleriniň dürli görmüşleri dürli spektrleri sındirijiligi bilen häsiýetlendirilýär.

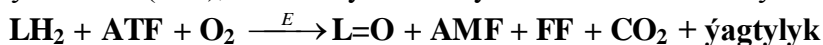
**Bakteriorodopsin we bioluminessensiýa düşüňjeleri hakynda.** Rodopsin diňe bir göz torjagazynda bolmaýar. Belli bir derejede gyzyl galobakteriýalaryň (*Halobacterium halobium*) membranasynyň üst ýüzi bakteriorodopsin belogyny saklaýar. Onuň molekulýar massasy 26000, ol belogyň bir molekulasyndan ybarat. Bakteriorodopsin belogynyň ýagtylygy siňdirme zolagynyň maksimumy 570 nm. Galobakteriýalar duzly köllerde ýaşaýarlar. Olar görünýän ýagtylga položitel, ultramelewşe şöhlelerine otrisatel fototaksis hasaplanýarlar. Bakteriorodopsin lipidler bilen bilelikde pH gradiýentiniň garşysyna membrana arkaly protonlaryň geçmegini üpjün edýän ulgamy düzýär. Bakteriorodopsin özüni fotoindusirleýji proton nasosy hökmünde alyp barýar.

Bakteriorodopsiniň häsiýeti bioelektronika üçin örän düýpli gyzyklanma döredýär, çünki biologik esasda emeli ýatda saklaýjy gurnawlary döretmek mümkinçiligi bar. Bakteriorodopsin belogyny saklaýan polimer plýonkalar ýagtylyk düşende öz reňklerini üýtgedýärler, olarda fotografik şekillere meňzeş şekiller alyp bolýar. Bromly kümüş saklaýan fotoemulsiýalardan tapawutlylykda bakteriorodopsinli plýonkalaryň üýtgemesi öwrülišliklidir. Şonuň üçin olary kompýuterlerde peýdalanmak göz önünde tutulýan meseledir.

Bioluminessensiýa – bakteriýalardan başlap balyklarda tamamlanýan janly-jandarlaryň (oňurgalylaryň beýleki klaslarynyň yşyk çykaryjy wekilleri belli däl) yşyklandyryjylyk hadysasy bolup, ol fotobiologiki hadysalara degişlidir. bu hadysa has-da deňiz haýwanlary üçin mahsus bolsa-da, yşykçy tomzaklar (*Lampyrus noctiluca*) hemmelere mälimdir.

Bioluminessensiýa hemiluminessensiýa – ýagny görünýän ýagtylygyň goýberilmegi bilen amala aşýan himiki reaksiýadyr.

Reaksiýa lüsisferaza (E) fermenti gatnaşyp, substrat lüsisferini (LH<sub>2</sub>), howadaky kislorody we ATF-i okislendirýär:





bu ýerde: FF – pirofosfat.

Lýusiferaza – molekulýar massasy 50000 töweregi bolan belok.

Yşyklanma (ýagtylanma) üçin energiýa çeşmesi bolup, ATF hyzmat edýär. ol erkin radikallaryň emele gelmegi arkaly amala aşýan okislenme reaksiýalaryny geçirýär. Rekombinasiýa netijesinde energiýa ýagtylyk görnüşinde bölünip çykýar. Meduzalardaky (*Aequorea aequorea*) gök biolýuminessensiýa  $O_2$  gatnaşmazdan amala aşýar. Bu meduzalar ekworin fotobelogyny saklaýarlar we kalsiý ionlarynyň gatnaşmalarynda ýagtylyk bölüp çykarýarlar.

Bakteriýalarda biolýuminessensiýa dikeldilen flawinmononukleotidň gatnaşmagynda bolup geçýär.

Umuman, biolýuminessensiýa hadysalarynyň geçiş mehanizmleri az öwrenilen, ýöne ol uly gyzyklanma bildirilýän hadysadyr.

Şunlukda, fotobiologik hadysalaryň fizikasy şindi çözülmelik meseleleriň giden toplumynyň öz önünde keserip durandygyna we bu meseleleriň biofizika hem-de nazary biologiýa üçin uly ähmiýetiniň bardygyna göz ýetirýär.

## BELOKLARDAKY WE NUKLEIN KISLOTALARYNDAKY FOTOHIMIKI REAKSIÝALAR

Beloklar, nuklein kislotalary we lipidler ähli janly-jandarlaryň esasy komponentleri bolup durýarlar, şonuň üçin olaryň fotohimiki öwürülişikleri örän cuňňur öwrenilen. DNK-nyň esasy hromoforlary bolup, nukleotidleriň azotly esaslary hyzmat edýärler. Ultramelewşe ýagtylygyň kwantlarynyň azotly esaslara siňmegi (260 nm siňme maksimumy) olaryň elektron-oýandyrylan ýagdaýyna barmagyna getirýär. Primidin esaslaryň elektron-oýandyrylan ýagdaýy birnäçe fotohimiki reaksiýalaryň netijesinde amala aşýar. Şolardan 3-si has-da biologiki ähmiýetli reaksiýalar hasaplanýar. olar dimerizasiýa, gidratasiýa we belokly baglanmalaryň emele gelme reaksiýalarydyr.

Fotodimerizasiýa reaksiýalarynyň bimolekulýar häsiýetini derňäp, onuň kwanr çykymynyň monomerleriň haýsy hem bolsa biriniň oýandyrylan ýagdaýdaky özara ýerleşiş derejesine örän baglydygy ýüze çykaryldy. Meselem, suw ergininde otag temperaturasynda timiniň dimerizasiýasynyň kwant çykymy takmynan  $4,7 * 10^{-4}$ , doňdurylan erginde bolsa takmynan 1-e barabar. DNK-daky timiniň dimerizasiýasynyň kwant çykymy  $\approx 2 * 10^{-2}$ .

Akridin tipli käbir reňkleýjiler DNK-da ultramelewşe indusirlenen dimerleriň çykymyny örän azaldyp bilýär. Bu ýagdaý olaryň gorag häsiýeti bilen baglanyşyklydyr. Alymlar akridin reňkleýjileriň gorag täsiriniň mümkin bolan iki mehanizmi bar diýip belleýärler. Alymlaryň bir topary akridinleriň gatnaşmagynda primidin dimerleriň çykymynyň azalmagy DNK-nyň esaslarynyň elektron-oýandyrylan ýagdaýlarynyň dezaktiwasiýasynyň netijesinde amala aşýar diýip hasaplaýar. Alymlaryň beýleki topary bolsa dimerleriň emele gelmeginiň togtamagy reňkleýji goşulanda DNK

molekulasynyň strukturasyň üýtgemeginiň hasabyna kwant çykymynyň azalmagy bilen baglanyşykly diýip belleýärler.

DNK-nyň primidin esaslarynyň ikinji möhüm fotohimiki reaksiýasy fotogidratasiýa reaksiýasydyr. Ol primidin halkasyna suwuň birleşdirilmegi bilen amala aşýar. Netijede, 5-nji we 6-njy uglerodyň arasyndaky ikilýin baglanyşyk üzülýär we 6-oksi 5-esas gidroönüm emele gelýär.

Bu reaksiýanyň aýratynlygy diňe bir zynjyrlý DNK-da geçýänliginden ybarat. Şonuň üçin primidin gidratlary letal ýada mutagen efektini replikasiýa we transkripsisiýa hadysalarynda haçanda gysga bir zynjyrlý DNK uçastoklary ýüze çykanda berip bilýärler.

Belok bilen baglaşma reaksiýalary molekulýarara özara täsirler mysal bolup biler. Bu hadysanyň geçişi beloklaryň aminokislota galyndylarynyň SH- ýada OH- toparlar arkaly DNK-nyň sitozininiň ýada timininiň C<sub>5</sub> ýada C<sub>6</sub> uglerodlaryna berkleşmegidir.

#### **Ultramelewşe ýagtylygyň beloklara täsiri.**

Ultramelewşe ýagtylygy dürli beloklar üçin 10<sup>-2</sup>-den 10<sup>-3</sup> çenli kwant çykymly birkwantly ýada bir urgyly mehanizmler boýunça beloklary inaktiwirleýär. Beloklaryň inaktiwasiýasyna getirýän ýagdaýlaryň özara täsirlerine spektrolaryň täsir ediş hadysalary öwrenildi. Ultramelewşe şöhleleriň dürli uzynlykly tolkunlary we dozalary dürli aminokislotalara edýän fotozeperlenme derejesi ölçeldi. Şeýle çemeleşme kesgitti aminokislota galyndylaryny ýüze çykarmaga ýardam berýär.

Triptofanyň we sistiniň fotolizi beloklaryň fotoinaktiwasiýasynda ilkinji derejeli ähmiýete eýedir. Häzirki wagtda belokdaky triptofanyň esasy ilkinji fotoreaksiýalary kation radikalyň we solwatirlenen elektronyň emele gelmegi bilen geçýän fotoionizasiýa hadysasy arkaly subut edilýär:



Bu ýerde: AH – triptofanyň fotoreaksiýasy  
hν – ýagtylyk

Otag temperaturasynda bu reaksiya 5-20 mks dowamynda geçýär.

Eger fermentiň işjeň merkeziniň düzümine girýän triptofan fotolize duçar bolýan bolsa, onda ýeterlik derejede fermentativ işjeňligi ýitirilip bilner. Şeýle ýagdaýda fotodargama triptofanyň işjeň merkezinden beýleki ýerlerinde geçýär we wodorod, gidrofob, belok makromolekulalaryndaky beýleki gowşak baglanyşyklary üýtgeder.

**Ultramelewşe ýagtylygyň biologiki membranalara täsiri.** Ultramelewşe şöhlenenme membrananyň dürli maddalar, ilkinji nobatda hem ionlar üçin geçirijiligini ýokarlandyrýar. Öýjük membranasynyň ion geçirijiliginiň üýtgemegi örän dürli biologik obýektlerde – mikroorganizmlerden başlap, ösümlük we haýwan organizminiň öýjüklerine çenli ýüze çykaryldy. Ionlar üçin ultramelewşe şöhlenenmede öýjük membranasynyň geçirijiliginiň ýokarlanýandygy ýadrosyz öýjüklerde, meselem, eritrositlerde hem ýüze çykaryldy. Şeýle üýtgeşmeler basyş deňeçerliginiň üýtgemegine alyp barýar. Öýjügiň içindäki organoidleriň, meselem, mitohondriýalaryň ýa-da lizosomlaryň membranalarynda-da ultramelewşe şöhlenenmede ion geçirijiliginiň ýokarlanýandygyna gözegçilik edildi.

Barlaglaryň netijeleri ultramelewşe ýagtylygyň täsirinde ýüze çykýan ion geçirijiliginiň üýtgemegi basyş deňeçerliginiň bozulmagy esasan lipidleriň fotolizi bilen baglanyşykly bolýandygyna şaýatlyk edýär. Gidroperekisleriň we olaryň soňraky öwrülişikleriniň önümleriniň emele gelmeği fotookislenme hadysasynyň netijesidir. Şunlukda iki dürli fotohimiki reaksiýalara amala aşýar:

- 1) perekis okislenmesiniň kisloroda garaşly zynjyrlý reaksiýasy – ol gidroperekisiň emele gelmeği bilen tamamlanýar.
- 2) Gidroperekisiň dargama reeaksiýasy – munda dürli önümler – aldegidler we ketonlar toplanýlar.

## BIOLOGIKI ÖSÜŞE FIZIKI GARAYÝŞLAR

Biologik ösüşiň meseleleri biologýanyň we biofizikanyň umumy meseleleriniň çäginde eriş – argaç bolup ýatýar. Bu ylmlaryň jümmüşinde ozaldan bellenişi ýaly, janly – jandarlaryň esasy aýratynlyklary olatyň taryhylygy bilen kesgitlenilýär. Çünki her bir jandar ösýär we özünde filogenetik alamatlary saklaýar, munuň özi bolsa, ewolusion ösüşden nyşandyr. Ontogenez we filogenez çylşyrymlyklaryň ösýän ugry boýunça barýar hem – de olar döreýiş we täze informasiýalary ýatladyjy hadysalar görnüşinde bolýar. Biologik molekulalaryň emele gelmegine alyp barýan ewolýusiýa we biologik ewolýusiýa, ýer togalagynyň ewolýusiasynyň bir bölegi hökümünde seredilmelidir.

**Ýaşayşyň gelip çykyşy.** Bu mesele jedelli mesele bolup, ähmiýeti boýunça örän wajypdyr. Ewolýusion taglymaty dünýä indiriji Çarlz Darwin ýaşayşyň gelip çykyşy barada düşündirişler beripdi.

Ýaşayşyň gelip çykyşy babatdaky häzirkizaman garaýyşlar geologik ewolýusýanyň öwrenişiniň netijeleri bilen berk baglansyklydyr. A. Oparin (1924) ilkinji bolup, ýaşayşyň gelip çykyşynyň awtogen nazaryetini ösdüripdi. Ol ýaşayşyň gelip çykmagynda himiki ewolýusýany teklipe etdipdi. Şoňa meňzeş garaýşy soňra Holdeýn (1928) hem aýtdy. Şol garaýyşlar häzirkizaman wagtda umumy kabul edilendir.

Ýer togalagynyň özboluşly atmosferasy dikelme häsýetine eýe. Wodorod günün esasy bölegidir. Günde H-87%, He- 12,9%, O- 0,025%, N- 0,02%, C- 0,01%;

Ýupiterde: H- 60%, He – 36%, CH<sub>2</sub> = 1%, NH<sub>3</sub> = 0,05%;

Gadymy meteoritleriň düzümindäki metallar dikelme ( gaýtarylma ) häsýete eýe bolupdyr. Milleriň we Ýuriniň berýän bahalaryna görä, ýer togalagynyň ir döwürdäki atmosferadaky H<sub>2</sub> –y parsial basyşy  $1,5 \cdot 10^{-3}$  atm. CH<sub>4</sub> – ňki bolsa  $4 \cdot 10^{-3}$  atm.

barabar bolupdyr. Bulardan başgada, atmosferanyň düzümünde ammiak we suw bolupdyr. Bu maddalar we formaldegid  $H_2CO_2$  (kosmos) giňişliginde hem tapylypdyr.

Ýer togologynyň häzirki zaman atmosferasynda kislorod köpligi bilen tapawutlanýar. Onuň şeýle mukdary gün ulgamyndaky planetalaryň hiç birinde ýok. Kislorod günüň gysga tolkunly ultra melewşe şöhleleriniň täsirinde suwuň fitodissosiasiasynyň, şeýle hem fotosinteziň netijesinde emele gelýär. Býutner (1961) fitodissosiasiasy kislorodyň mukdarynyň göz- görteli artmagyna getirmeli diýip düşündirýär. Ýöne ilkinji atmosfera kislorody metallaryň okislenmesine harçlanypdyr. Häzirki wagtda atmosferanyň kislorody esasan biogen, ýagny fotosintetik gelip çykyşly diýip hasap edilýär.

Şeýlelik bilen, fotosintezi amala aşyryjy organizimler awtotroflar ýer togalagynda haçanda atmosfera dikeldilýän döwründe ýäze çykydyrlar. Mundanam başga, eger öýjükler ýokary gurluşa we gorag ýagdaýyna eýe bolmadyk bolsadylar, onda atmosferanyň kislorody olarda emele gelýän himiki birleşmeleri okislendirip, biologik funksional molekulalaryň emele gelmeklerine, öýjükleriň ösmeklerine, ýaşamaklaryna mümkinçilik bermezdiler. Häzirki wagtda anaerob bakteriýalaryň, anaerob glikoliziň bolmagy hem dikeldilýän atmosferada ýaşaýşyň döremegine şaýatlyk edýärler. Şeýlelikde, ýaşaýşyň özi hem ýer togalagyndaky atmosferanyň biogen gelip çykyşlydygyny görkezýär. Hut şu nukdaý nazardan-da geologiya we biologiya aýrylmaz baglanyşyklydyr.

Organiki birleşmeler energiýa çeşmeleriniň bolan halatyndaky dikeldilme şertlerinde hem dörap bilýärler. Şeýle energiýa çeşmeleri bolup, günüň ultramelewşe şöhleleri, ýeriň radioaktiv şöhlelenmesi, atmosferanyň elektrik zarşadlary we wulkanlaryň (ýanardaglaryň) ýylylygy hyzmat edýärler.

Ýer togalagyndaky dikeldilme atmosferanyň şertlerini modelleşdirýän şertlerde monamer organiki birleşmeleriň

emele gelmek mümkinçiligi dürli tejribeler arkaly subut edildi. Miller (1955) metanyň, ammiagyň, wodorodyň we suwuň buaglarynyň garyndysy arkaly pes elektrik zarýadlaryny goýberipdir. Şonda aminokislotalaryň we korbaksil kislotalarynyň, aldegitleriň we sianistli wodorodyň HCN garyndylary emele gelipdir. Terenin (1958)  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2$ ,  $\text{H}_2\text{O}$ , gysga tolkunly ultramelewşe ýagtylygy bilen şöhlelendirip, organiki maddalary aldy. Aminokislotalar gyzygnykdaky hem emele gelýärler. Ýokarky garyndyny  $1000^\circ\text{C}$  gyzygnykdaky turba arkaly geçirilende aminokisloto emele gelipdir.  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NH}_3$ ,  $\text{H}_2\text{O}$  garyndysy 5Mew energiýaly gaty halyndaky elektronlar arkaly partladylanda-da aminokislotalaryň emele gelýändigini subut edildi. Şeýle şertlerde adenine hem emele gelýär. Adenine we guanine sianistli wodorotdan (HCN) ultramelewşe şöhlelenme netijesinde emele gelýär. Formaldegidden gant, şol sanda riboza we dezoksiriboza emele gelýär. Adeniniň, ribozanyň we fosfor kislotasynyň gowşak ergini ultramelewşe şöhlelenmesine sezewar edilende nukleozittrifosfat sintezlenipdir. Umuman, şulardan görnüşi ýaly, ýer togalagynyň ikinji dikeldilme atmosferasynda beloklaryň we nuklein kislotalarynyň makromolekulalarynyň monomerleri sintezlenipdir. Emele gelýän organiki maddalaryň wajyp çeşmesi hökümünde sianistli wodorod HCN çykyş edýär. Aminokislotalar we beýleki organiki maddalar gadymy gaty we çökündi jynslarda, hatda meteoritlerde hem tapylypdyr. Emma aýda şeýle maddalar ýok.

Muhiniň teklibine görä, monomer organiki maddalarynyň emele gelmegi üçin zerur bolan energiýanyň çeşmesi suwasty wulkanlardyr. Tablisadan görnüşi ýaly ýer togalagynyň bütin üstüniň ilkinji organiki maddalaryň emele gelmegi üçin diňe wulkanlaryň ýylyk energiýasy ujypsyz. Emma organiki dünýäniň emele gelmegine çäkli waka hökümünde garalsa, onda wulkanlaryň ähmiýeti örän uly bolup

biler. Şeyle hem suwasty wulkanlaryň ýer üstündäkilere garanynda örän köp bolýandygyny hasaba almalydyr. Wulkanyň täsiri astynda sianistli wodorodyň HCN we organiki maddalaryň ýüze çykýandygyny Muhin öz geçiren tejribelerinde görkezdi(1974).

Biologik ewolusiýa çenli döwürde monomer organiki birleşmeler deňagramlylyk ýagdaýyndan entek örän daşda bolupdyr. Ösüşiň indiki tapgyry monomerleriň polimerleşmegi we polikondensasiýasy bolmaly, çünki monomerlerden polipeptid we polinukleotid zynjyrlar emele gelmelidir. Şu ýerde hem birnäçe meseleler ýüze çykýar.

Birinjiden, ewolýusiýa ukyply bolan himiki ulgam awtokolitik, öz – özünden köpelmäge ukuply bolmalydyr.

Ikinjiden, islendik makromolekulalar janly ulgamlara başlangyç berip bilmezler, onuň üçin informasion häsýetleriniň artykmaçlygy hökmanydyr. Biologik ösüşe çenli döwriň hut şu taraplarynda seçginiň mehanizimleri ýüze çykmalýdyr. Darwiniň ewolusion taglymaty biologik ösüşe çenli döwriň tapgyrlaryna düşünmek üçin hem ulanylmalydyr. Esasy mesele bolsa, informasiýanyň döremeginden, tertipsizlikden tertipliligiň emele gelmeginden ybarat.

Fokusyň işlerinde (1966- 1968) 18 sany aminokislotanyň, fosfor kislotasynyň, duzlaryň gatnaşmagyndaky ekwimolýar garyndysynyň termiki polikondensasiýa sezewar edilende emele gelýän polipeptid zynjyrlarynyň öz – özünden gurnalşynyň eksperimental barlaglary geçirildi. Netijede, birmeňzeş düzümi bolmadyk sintetik polipeptid zynjyrlary emele gelipdir we olary Fokus proteinoidler diýip atlandyrypdyr. Bu birleşmeler kotolitikligi bilen tapawutlanyp fermentlere örän meňzeşdir. Şolaryň kömegi bilen gidroliz, dekarboksirleme, aminirleme we dezaminirleme reaksiýalary geçirildi. Emma polimerleşme işjeňligi proteinoidlerde ýüze çykarylmany.



Proteinoidler gurşowyň çäginde mikrosfera emele getirmäge ukuplydyr. Membrana meňzeş örtük arkaly proteinoidler erginden bölünip aýrylýar, muňa kompartmentasiýa hadysasy diýilýär. Şeýle mikrosferanyň döremegine berlogik ösüşe çenli döwründäki öýjükleriň modeli hökümünde garamak bolar. Mekdep döwründen bäri eger ýadyňyzda bolsa, Oparin koaserwat damjalary baradaky düşüňjani öňe süripdi koaserwatdamjalarynyň döremek hadysasy kolloid himiýadan belli bolup, onuň manysy erginiň we erän maddanyň gatlaklara bölünmegindan ybaratdyr. Şu nukdaý nazardan Fokusuň mikrosferalary Opariniň koaserwat damjalary bilen meňzeşdir. Bular biologik ewolusiýa çenli döwriň ol ýa-da beýleki irki tapgyrlarynda kompartmentasiýanyň bolandygyna şaýatlyk edýär.

Monomerleriň we polimerleriň emele gelen, kompermentasiýa döwründen soňra polinukleotid we polipeptid ulgamlaryň özara kotalitik täsirleri ýüze çykydyr. Biologik ewolusiýa şu ýerden başlaýar we ol genetiki kodyň ýäze çykmagy bilen baglansyklydyr.

**Biologik ewolýusiýa.** Biologik ewolusiýa Ýer togalagynyň ewolusiýasynyň bir bölegi hökmünde garaýar. Biologik ewolusiýa dünýä giňişliginiň kiçiräk bölegi – ýer togalagy bilen çäklenendir. Ýer togalagyndan başga ýerlerde ýaşayyşyň bardygyny inkär etmeýän hem bolsak, ýaşayyşyň bardygy barada anyk maglumatly ýok. Ýer togalagynda ýaşayyş -  $3,9 \cdot 10^9$  ýyl mundan ozal döräpdir. Biologik ewolusiýasynyň dowamlylygy  $1,5 - 2 \cdot 10^{10}$  ýyl diýip hasaplanýar. Ýer togalagynyň öz ýaşı bolsa,  $4,5 \cdot 10^9$  ýyl diýip hasap edilýär.

”Ewolýusion nazaryet“ dersi boýunça biologik ewolusiýasynyň meseleleri bilen ýüzbe-ýüz bolansyňyz. Şol meseleleriň çäginde Darwiniň ewolusiýa babatdaky nazatyeti eriş-argaç bolup geçýär we olar häzirki zaman ewolusiýasynyň esasyny düzýär. Muny şu ýerde hem ýatlamak ýeterlik bolsa

gerek. Darwiniň ewolusiýa barada belläp geçen ylmy pikirleri şu aşakdakylardan ybarat :

- 1) Gurşap alan dünýä hemişe üýtgeýär. Görnüşler ölýärler, ýitip ýok bolýarlar we täze görnüşler döreýärler. Ewolusiýasynyň amala aşyrylmagy hem hut şolar bilen baglanyşyklydyr;
- 2) Ewolusiýa hadysasy üznüksizdir we zygiderlidir, onda böküş bolmaýar;
- 3) Kowumdaş görnüşler umumy bir arkadan gözbaş alyp gaýdýarlar, munuň özi ýokary taksonlar, şeýle hem tipler üçin-de mahsusdyr. Ahyrky netijede ähli köp öýjükli organizimler bir öýjüklilerden, eukarotlar prokariotlardan gelip çykypdyr ;
- 4) Ewolusiýa tebigy seçgi ýoly arkaly geçýär. Nesle geçýän üýtgeýjilik bar munuň özi her bir nesil üçin ähmiýerlidir. Ýaşayyş ugrundaky göreş netijesinde tebigatda gurşawyň şertlerine has uýgunlaşan organizimler galýarlar. Ewolusiýasynyň amala aşyrylmagy hem hut şundan ybaratdyr.

Häzirki wagtda ewolýusion nazaryeti fizika kibarnetika, informasiýa nazaryet bilen bilelikde öwrenilýär. Ewolýusiýa sinergetikanyň nukdaý nazarynda daşky gurşawyň entropiýasynyň akymynyň hasabyna açyk ulgamyň öz-özünü guramagyň hökmünde garamak bolar. Şeýle hem ewolýusiýa fenomenologik özara täsir edýän hadysalaryň jemi hökmünde seretmek bolýar. Matrise görnüşinde aňlatsak, zynjyrdaky täze emele gelýän alamatlary – j, özünden öňki nesliň alamatlary – i bilen bellesek, onda olaryň ähtimallygy  $P_{ij}$  bolar. Matrisanyň üýtgemegi ewolýusiýasynyň dowamynda wagta baglylykda geçýär.

Açyk ulgamdaky öz-özünden gurnalyş deň agramsyz häsiýete eýedir. Munuň özi bolsa, täze görnüşleriň emele gelmegi we ýokary taksonlaryň döremegi üçin adalatlydyr.

Täze görnüşüň emele gelmegi iki ýa-da öňkiden reproduktiv üzňeleşdirilen populýanyň ýüze çykamagyny aňladýar. Aýdalyň ýabany görnüşdäkini A allel, mutanty B allel bilen häsiýetlendirsek, nesliň mümkin bolan genotipleri AA; AB; BB; bolar. Olaryň hersine uýgunlaşmanyň dürli koeffisiýentleri mahsus, biz olary deňişlikde  $W_1$ ,  $W_2$ ,  $W_3$ , diýip belläliň. A geniň ýygylk (P) dinamikasyny (B geniň ýygylgy  $1-p$  deň) populosion genitikanyň düzgünlerine laýyklykda, deňleme görnüşinde ýazýarlar.

Osoblaryň migrasiýasyny diffuziýa hadysasy bilen deňeşdirmek bolýar. Tebigatda janly – jandarlar migrasiýa halatynda özlere amatly şertleriň ählitaraplaýyn dörän yerlerinde saklanýarlar. Bu ýagdaý durnukly ýagdaýdyr. Emma populýasiýanyň osoblarynyň dürli ýerlerdäki amatly şertlere däşmekleri mümkin, şonda olaryň durnuklylygy iki ýagdaý emele getirýär. Bu bolsa görnüşüň allotropik emele gelişiniň ýönekeýje modelidir. Şu ýerden görnüşü ýaly, emele gelýän täze görnüş fazalaýyn geçiş häsiýetine eýedir.

Darwin görnüşüň emele gelmegini zygiderli hadysa diýip hasap edýär. Paleontologik gazuw–agtaryş işleriniň netijesinde toplanan maglumatlarda aralyk formalar şol döwürde häzirki wagta çenli olar has baýlaşdyryldy.

## EDEBIÝAT

1. Saparmyrat Türkmenbaşy. Ruhnama. I we II kitaplar, Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy. 2001, 2004.
2. Gurbanguly Berdimuhammedow. Türkmenistanda saglygy goragyşy ösdürmegiň ylmy esaslary. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 96 sah.
3. Gurbanguly Berdimuhammedow. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, Halky söýmek bagtdyr. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 44 sah.
4. Gurbanguly Berdimuhammedow. Eserler ýygyndysy. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 416 sah.
5. Turkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Mälikgulyýewiç Berdimuhammedowyň Umumy milli “Galkynyş” Hereketiniň we Türkmenistanyň Demokratik partiýasynyň nobatdan daşary V gurultaýlarynyň bilelikdäki mejlisinde sözlän sözi. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 48 sah.
6. Gurbanguly Berdimuhammedow. Türkmenistan – Saglygyň we ruhubelentligiň ýurdy. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 175 sah.
7. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Mälikgulyýewiç Berdimuhammedowyň daşary syýasaty. Wakalaryň hronikasy. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 64 sah.
8. Parahatçylyk, Döredilen, Progres syýasatynyň dabaralanmagy. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 118 sah.
9. Türkmenistanyň Prezidenti Gurbanguly Mälikgulyýewiç Berdimuhammedowyň Ýurdy täzedan galkyndyrmak baradaky syýasaty. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 133 sah.
10. Täze galkynyş eýýamy Wakalaryň senenamasy – 2007-nji ýyl. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007. 374 sah.

11. Mugallym, esger, ilhalar ynsan. Berdimuhammet Annaýewiň gahrymançylykly ömür ýoly. Ylmy – resminamalaýyn neşir. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008. 56 sah.
12. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap”, Tom 1. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008.
13. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap”, Tom 2. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2009.
14. Gurbanguly Berdimuhamedow. Türkmenistanyň dermanlyk ösümlikleri. Tom 1. Aşgabat, Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2010.
15. Batyrow B.B. Biofizika predmeti boýunça leksiýalaryň konspektleri we materiallary. Aşgabat, Ylham, 1996.
16. Биологический энциклопедический словарь. М., Советская энциклопедия, 1989.
17. Бурдукова Е.В., Владимиров Ю.А., Колс О.Р. Малый практикум по биофизике. М., 1964.
18. Большой практикум по физиологии. М., 1961
19. Кудряшов Ю.В., Веренфед Б.С. Основы радиационной биофизики. М., МГУ, 1982.
20. Рубин А.Б. Биофизика. М., Высшая школа, 1987. в 2-х книгах.
21. Рубин А.Б., Питьева Н.Ф., Разниченко Г.Ю. Кинетика биологических процессов. М., 1977.
22. Тарусов Б.Н. Биофизика. М., 1988.
23. Владимиров Ю.В., Рошупкин Д.И., Потапенко А.Я., Деев А.И. Биофизика. М., Наука, 1983.
24. Волькенштейн М.В. Биофизика. М., Наука, 1981.
25. Волькенштейн М.В. Общая биофизика. М., Наука, 1983.
26. Волькенштейн М.В. Биофизика. М., Наука, 1988.

## MAZMUNY

“Biofizika” dersine giriş .....	7
Termodinamika – energiýa çalşygynyň we öwrülişiginiň umumy kanunalaýyklyklaryny häsiýetlendiriji ylym hökmünde .....	14
Termodinamikanyň II kanuny .....	19
Biologiki hadysalaryň kinetikasy .....	32
Çylşyrymly biologiki hadysalaryň kinetikasy .....	39
Biologik hadysalaryň kinetiki modelleşdirilişi .....	44
Fermentativ reaksiýalaryň kinetikasy .....	49
Öýjük hadysalarynyň kinetikasy .....	55
Biomembrana – dinamiki ulgam hökmünde.....	61
Biologik membranalaryň oýanyjylygy we maddalaryň hereket edişi .....	70
Biologik membranalaryň geçirijiligi .....	74
Biologik membranalarda energiýanyň transformasiýasy .....	80
Fotobiologiki hadysalaryň biofizikasy .....	87
Bioelektriki hadysalar we olary öwrenmekligiň ähmiýeti .....	94
Biologiki ösüşe fiziki garaýyşlar .....	97
Edebiýatlar .....	104

**Annasapar Amandurdyýe wiç Kiçiýew**

**BIOFIZIKA**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Ylmy redaktor: M.Gurbanýazow

Redaktor	O.Bäşimowa
Surat redaktory	K.Çaryýew
Teh. redaktory	H.Kakaýew
Suratçy	M.Hudaýgulyýew

Neşir üçin jogapkär	M.Jemilow
---------------------	-----------