

**G. Orazgulyýewa, R. Nurberdiýew, M. Goşaýew**

# **KOLLOID HIMIÝA**

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

*Türkmenistanyň Bilim ministrligi  
tarapyndan hödürilenildi*

Aşgabat  
Türkmen döwlet neşirýat gullugy  
2019

UOK 378 : 541. 1

O 62

**Orazgulyýewa G. we başg.**

**O 62        Kolloid himiýa.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby.  
– A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2019.

Kolloid himiýa okuw kitabynda dispers sistemalaryň üst hadysalarynyň fiziki-himiki esaslary berildi. Kolloid himiýanyň esasyny üst hadysalarynyň düzýändiginden ugur alyp, olarda geçiş kanunlary we kanunalaýyklyklary beýan edilip, onuň esasynda dispers sistemalaryň häsiýetlerine baha berildi. Bu okuw kitaby ýokary okuw mekdepleriniň talyplaryna niýetlenip, ondan kolloid himiýa ylmy bilen gyzyklanýan hünärmenler hem peýdalanyp bilerler.

TDKP № 178, 2019

KBK 24.6 ýa 73

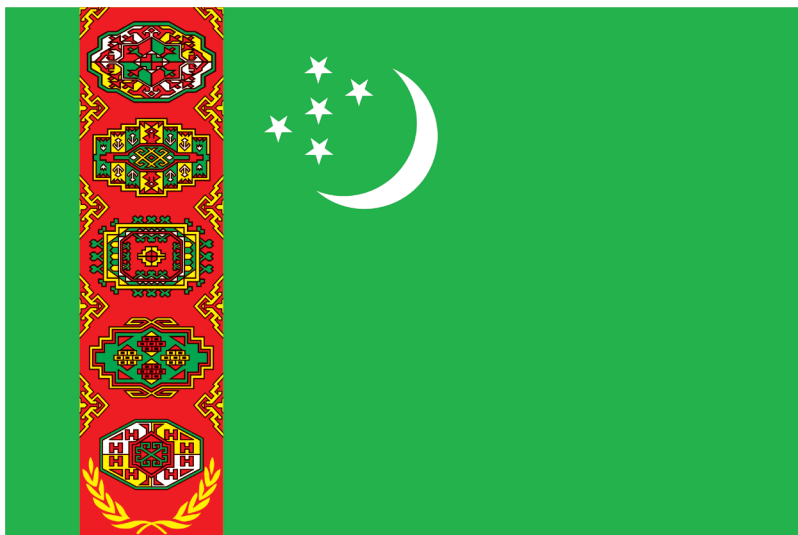
© G. Orazgulyýewa we başg., 2019.

**TÜRKMENISTANYŇ PREZIDENTI  
GURBANGULY BERDIMUHAMEDOW**





**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET TUGRASY**



**TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET BAÝDAGY**

## TÜRKMENISTANYŇ DÖWLET SENASY

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

*Gaytalama:*

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

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

*Gaytalama:*

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

## GİRİŞ

Himiýa ylmy tebigy ylymlara degişlidir. Biziň daş-töweregimizi gurşap alýan ähli zatlar: suw, toprak, howa we beýlekiler dürli maddalardan ybarat bolup, himiýa şol maddalaryň düzümini we häsiýetlerini öwrenýär.

Himiýa ylmynyň bir ugry bolan kolloid himiýa üst hadysalary we dispers sistemalar baradaky ylymdyr. Üst hadysalaryna fazalaryň araçäginde, fazalaryň arasyndaky üstde we fazalaryň özara täsirleşmegi netijesinde bolup geçýän hadysalar degişli. Üst hadysalary fazalaryň araçägindäki üstki gatlakda düzümi we gurluşy dürli bolan fazalaryň galtaşmagy hem-de şoňa laýyklykda üstdäki atamlaryň we molekulalaryň dürli baglanyşyklarynyň ýüze çykarmagy bilen şertlendirilýär. Şonuň üçin hem üstki gatlakdaky atomlar we molekulalar aýratyn gurluşly bolup, olardan ybarat bolan madda hem aýratyn ýagdaýa eýedir. Üst gatlakdaky maddalaryň aýratyn diýilýän ýagdaýy, umuman, kolloid ýagdaýda diýlip häsiýetlendirilýär. Maddalaryň kolloid ýagdaýy baradaky düşünje özüniň giň many-synda kolloid himiýany kesgitleýär.

Maddalaryň kolloid ýagdaýda bolmagy, olaryň galtaşma üstüniň artmagy bilen häsiýetlendirilýär. Galtaşma üstüniň artmagy bolsa, şol üst ýitip gitmez ýaly derejede maýdalananda ýüze çykýar. Şol bölejikler gurşap alan gurşawynda ýaýrap, dispers sistemany emele getirýärler. Dispers sistemalarda üst hadysalarynyň ähli köpdürlüligi bolup geçýär. Şeýlelikde, kolloid himiýa tebigatda iň giň ýaýran, maddalaryň dispers ýagdaýy we onuň öwrülişiklerini öwrenýän ylym. Ýagny kolloid himiýa dispersiligi ýokary bolan sistemalary we ýokary molekulýar gurluşly maddalaryň erginlerini hem-de olarda geçýän hadysalary öwrenýär.

Kolloid himiýanyň ýüze çykmagy iňlis alymy T. Gremiň işleri (1861) bilen baglanyşykly. T. Gremden öň italýan alymy F. Selmi birnäçe erginleriň anomal häsiýetlerine üns berýär. Ol erginlere F. Selmi hakyky däl erginler diýip at berýär. F. Selmi kolloid erginleriň ýagtylygy güýçli pytradýandygyna, olaryň içine elektrolit goşulanda, himiki hadysa geçmese-de, çökündiniň emele gelýändigine gözegçilik edýär. T. Grem F. Selminiň işleri bilen gyzyklanýar. Onuň hakyky däl erginler diýip atlandyran erginleriniň köp häsiýetleriniň ýelimiň häsiýetlerine meňzeş bolanlygy üçin, T. Grem olary kolloid erginleri diýip atlandyrýar (latynça «colla – *ýelim*» diýmekdir). T. Grem ähli maddalary, haýwan böweniniň üstünden geçip bilýändigine ýa-da geçip bilmeýändigine garap, kolloidlere we kristalloidlere bölýär. Ol haýwan böweninden (ýarym syzyp geçiriji membranadan) geçýän we aňsat kristallaşýan maddalara kristalloidler (mysal üçin, elektrolitler), haýwan böweninden geçmeýän we kristallaşmaýan maddalara bolsa, kolloidler (mysal üçin, želatin, krahmal, belok we ş.m.) diýip at berýär. Rus alymy I.G. Borşşow öz işlerinde maddalary kristalloidlere we kolloidlere bölmegiň ýerliksizdigini hem-de şol bir maddanyň kristalloid hem kolloid halda bolup bilýändigini subut etdi. Meselem, nahar duzy suwda kristalloid, benzolda kolloid halynda bolup bilýär.

I. Berselius, M. Faradeý dispers sistemalaryň tebigaty bilen gyzyklanypdyrlar.

T. E. Lowis XIII asyrda erginden kömrüň kömegi bilen adsorbsiýa etmekligi hödürleýär. F.F. Reýs XIX asyryň başlarynda elektrokinetik ýagdaýlary – elektroosmosy we elektroforezi açýar. Şol döwürler P. Laplas we T.Ýung kapillýar hadysasyny mukdar taýdan düşündirýär. 1827-nji ýylda R. Broun kolloid bölejikleriň ýylylyk hereketini açýar. XIX asyryň 70-nji ýyllarynda Gibbs özüniň geterogen sistemanyň termodinamikasy boýunça işlerinde üst hadysalaryny düýpli öwrenmek üçin enjam taýýarlaýar. Şu ugra U. Tomsanyň (Kelwiniň), L. Bolsmanyň, W. Nernstiň, Ý. Want-Goffyň işlerini hem goşmak bolar. I. Nýutonyň, Ž. Pauzeyliň, J. Stoksyň suwuklygyň şepbeşik akyjylygy boýunça düýpli barlaglaryndan soňra J. Makswel we F. Şwedow çyzykly we çyzyksyz gurluşly sistemalaryň reologik häsiýetlerini açyp görkezdi-



ler. 1903-nji ýylda R. Zigmondi optiki ultramikroskopy oýlap tapýar. Kolloid himiýanyň ösmeginde M. Swetiň adsorbsiýa hromatografiýa usulynyň, A. B. Dumanskiniň sedimentasiýa barlag usullarynyň ähmiýeti uludyr. G. Freýndlih liofil we liofob dispers sistemalar hakynda düşünje girizen bolsa, P.A. Rebindere kolloid himiýanyň esasy ugurlarynyň biri bolan üst işjeň maddalaryň emele geliş mehanizmini döretmek başardýar. Geçen asyryň 20-30-njy ýyllarynda kolloid himiýanyň usullary peýdalanylyp, dürli önümçilikler döredilip başlandy. 1904-nji ýylda A. B. Dumanskiý tarapyndan ilkinji kolloid himiýa barlaghanasy işläp başlaýar. Onuň ýolbaşçylygynda 1935-nji ýylda «Kolloid himiýa» žurnaly döredilýär. Häzirki zaman kolloid himiýanyň döremegi üçin H. P. Peşkowanyň bitiren işleriniň ähmiýeti uludyr. Ol dispersliligi üýtgetmek bilen, hiliň we mukdaryň üýtgemeginiň mazmunyny işläp düzýär. H.P. Peşkow bu häsiýeti getrogenlilik bilen häsiýetlendirýär. Ol dispers sistemalaryň durnuklylygynyň 2 görnüşini (agregatiw we kinetiki durnuklylyk) hem kesgitleýär.

Kolloid himiýanyň ösmeginde T. Gremiň, M.W. Lomonosowyň, M. Faradeýiň, A. Eýnşteýniň, M. Smoluhowskiniň, T. Swedbergiň, Ž. Perreniň, P. A. Rebinderiň, B.W. Derýaginiň, L. D. Landaunyň, F. F. Reýssiň, I. G. Borşşowyň, F. N. Şwedowyň, P.P. Weýmarnyň, A. W. Dumanskiniň, N. P. Peskowanyň, W. A. Karginiň we beýleki birnäçe alymlaryň eden işleriniň ähmiýeti uludyr. Olaryň işleri bilen biz kolloid himiýanyň degişli bölümlerinde tanyş bolarys.

Maddalaryň giň ýaýran kolloid–himiki häsiýetleri dürli görnüşdäki nazary we amaly meseleler bilen şertlendirilip, olaryň çözgüdi kolloid himiýa ylmy tarapyndan kesgitlenilýär. Şonuň üçin hem kolloid himiýa ylmynyň gazananlary ylmyň dürli görnüşlerinde, ýagny astronomiýada, meteorologiýada, biologiýada, topragy öwrenişde, agrohimiýada we beýlekilerde giňden ulanylýar. Şonuň bilen birlikde kolloid himiýa birnäçe ylymlary araçäkleşdirýän ylym hökmünde ýüze çykýar. Ol fizika, matematika, biologiýa, topragy öwreniş, geologiýa, meteorologiýa we beýleki ylymlar bilen berk baglanyşyklydyr. Garyşyk ylymlar bilen baglanyşykly bolmagy kolloid himiýanyň amaly tarapdan has hem baýlaşmagyna alyp barýar. Kolloid himiýada üst dartylmasyny we ýagtylygyň pytradylmagyny

kesgitlemek, şeýle hem ultramikroskop, dializ ýaly usullar bilen birlikde, *ÝMR*, *EPR*, ultramelewşe spektroskopiýa, infragyzyl spektroskopiýa, rentgen gurluş barlagy ýaly döwrebap spektral usullary hem giňden ulanylýar.

Dispers sistemalar tebigatda giň ýaýrandyrlar. Ösümlikleriň we haýwanlaryň öýjük şiresi, gan, limfa, toprak, bulut, ümür, tüsse we beýlekiler tebigy dispers sistemalarydyr.

Kolloid himiýanyň usullary senagatyň dürli pudaklarynda giňden peýdalanylýar. Esasan hem azyk, gön, dokma, rezin, derman, boýag senagatlarynda, nebiti gazyp almakda we gaýtadan işlemekde, metallurgiýada, koksohimiýada, emeli süýüm, plastiki maddalar, partlaýjy maddalaryň, gurluşyk materiallary hem-de üst işjeň maddalar önümçiliginde köp ulanylýar.

Kolloid hadysalar himiki tehnologiýada has giň ýaýrandyr. Ýagny üst hadysasyz we dispers sistemasyz himiki önümçilik amaly nukdaýnazardan ýok diýip aýtmak bolar. Şonuň üçin hem tehnologik prosesleriň we önümçiligiň gidişinde kolloid himiki hadysalaryň orny uly bolup, olar kolloid himiýa ylmyňyň gazananlaryna daýanýandyr.

Bellenilip geçilişi ýaly, islendik zawoddaky önümçilik hadysasy ol ýa-da beýleki tarapdan dispers sistemalar bilen baglanyşyklydyr. Şonuň üçin hem dispers sistemalaryň häsiýetlerini öwrenmek uly ähmiýete eýedir.

Kolloid himiýa dispers sistemalary öwrenýän ylym bolmak bilen, ol birnäçe bölümlerden ybarat:

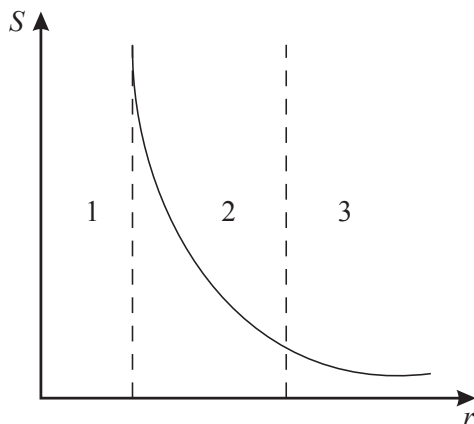
1. Dispers sistemalar;
2. Fazalaryň araçäkleşýän üstüniň häsiýetleri;
3. Adsorbsiýa we onuň dispers sistemalaryň häsiýetlerine edýän täsiri;
4. Dispers sistemalaryň alnyşy we arassalanylyşy;
5. Dispers sistemalaryň molekulýar-kinetiki häsiýetleri;
6. Dispers sistemalaryň optiki häsiýetleri;
7. Dispers sistemalaryň elektrik häsiýetleri;
8. Dispers sistemalaryň durnuklylygy we koagulýasyýasy;
9. Dispers sistemalaryň fiziki-himiki mehanikasy;
10. Daş- töweregi goramagyň kolloid himiýa esaslary.

## DISPERS SISTEMALAR

### 1.1. Maddalaryň kolloid ýagdaýy

Maddalaryň kolloid ýagdaýy galtaşma üstüniň artmagy bilen häsiýetlendirilip, onuň üsti ýitip gitmez ýaly ölçegde dispergirlenmegidir (maýdalanmagydyr). Kolloid erginler dispers sistemalara degişli bolup, olarda bir madda beýleki maddanyň içinde kesgitli ölçegdäki bölejikler görnüşinde dispergirlenendirler. Şeýlelikde, dispers sistema iň sada ýagdaýda iki fazadan ybarat. Olaryň biri maýdalanýan bölejikleri gurşaýar, oňa *dispers gurşaw* diýilýär. Dispers gurşawda maýdalanýan madda bolsa, *dispers faza* diýilýär. Dispers fazanyň bölejikleriniň ölçegine görä dispers sistemalary birnäçe toparlara bölýärler:

1. Molekulýar we ion-molekulýar sistemalar ( $< 10^{-8} sm$ );
2. Kolloid dispers sistemalar ( $10^{-8} - 10^{-5} sm$ );
3. Iri dispers sistemalary ( $> 10^{-5} sm$ ).



1-nji surat. Sistemanyň udel üst ýüz meýdanynyň dispers fazanyň bölejikleriniň ölçegine baglylygy

Dispers sistemalaryň soňky iki topary, ýagny kolloid dispers sistemalar we iri dispers sistemalar kolloid himiýa ylmy tarapyndan öwrenilýär. Bölejikleriň udel üst meýdany we degişlilikde,

udel üst ýüz energiýasy olaryň ölçegine baglydyr. Molekulýar we ion-molekulýar sistemalar üçin üst meýdany we üst ýüz energiýasy diýen düşüňjeleriň manysy ýokdur. Sebäbi bölejikleriniň we üst ýüz energiýasynyň ululygy boýunça kolloid dispers sistemalary *molekulýar*; *ion-molekulýar* hem-de *iri dispers sistemalarynyň* aralyk ýagdaýynda ýerleşýärler (*1-nji surat*). 1-nji suratda 1,2,3 degişlilikde molekulýar, kolloid hem-de iri dispers sistemalary. *S* – sistemanyň udel üst ýüz meýdany, *r*- dispers fazanyň bölejiginiň ölçeği. Aralyk ýagdaýda ýerleşýän kolloid dispers sistemalaryň örän uly üst ýüz meýdany bolup, şonuň bilen baglanyşykly birnäçe aýratynlyklary hem bardyr.

## 1.2. Dispers sistemalaryň häsiýetleri

Kolloid erginler - ultramikroheterogen sistema bolup, olar üçin aşakdaky umumy häsiýetler mahsus:

1. Kolloid erginlerinde ýagtylygyň pytramagy (*opalessirmek*);
2. Kolloid bölejikleriň Broun hereketi, diffuziýa hadysasy haýal we osmos basyşy kiçi;
3. Kolloid erginleri ýarym geçiriji membranaly gaba guýup, iki bölege: ýagny membranadan geçen molekulýar we ion – molekulýar düzümlü (dispers gurşawda we onda erän elektrolitler) hem-de membranadan geçmeýän kolloid bölejiklere bölüp bolýar. Bu hadysa *dializ* diýilýär;
4. Kolloid erginleri agregativ we kinetik durnuksyzdyrlar. Olaryň agregativ durnuklylygynyň bozulmagyna *koagulyasiýa*, kinetik durnuklylygynyň bozulmagyna *sedimentasiýa* diýilýär;
5. Kolloid bölejikleriniň položitel ýa-da otrisatel zarýady bardyr. Şeýlelikde, olar birmeňzeş zarýadly bölejiklerden ybarat bolany üçin, bellibir derejede durnuklydyrlar;
6. Kolloid erginlerine elektrik meýdany täsir etdirilende, dispers fazanyň bölejikleri ol ýa-da beýleki tarapa hereketlenýärler. Bu hadysa *elektroforez* diýilýär;
7. Kolloid erginleri gaz, suwuk we gaty halda bolup bilýärler.

Sanalan häsiýetleriň ýüze çykmagyna sebäp bolýan esasy zat, ol hem kolloid bölejikleriň ölçegi molekulalara garanyňda has iri bolup, olaryň udel üst ýüz meýdanynyň uly bolmagydyr. Kolloid bölejikleriniň zaryadynyň bolmagy kolloid erginleriň durnuklylyk we elektrik häsiýetleriniň ýüze çykmagyna sebäp bolýar.

Kolloid erginlere mahsus bolan häsiýetleriň köpüsi polimerleriň erginlerine hem mahsusdyr. Ýöne polimerleriň ergininde dispers fazanyň bölejikleri makro molekulalardyr, şonuň ýaly-da ol erginler termodinamik durnukly bolýarlar.

Kolloid halyndaky maddalara iki sany alamat häsiýetli bolup, olar:

1. Geterogenlilik;
2. Disperslilik.

Kolloid himiýa ylmyna mahsus bolan aýratyn häsiýetleriň ählisi heterogenliligiň we dispersliligiň esasyndadyr. Bu alamatlar kolloid himiýany esaslandyryjylaryň biri bolan N.P. Peşkow tarapyndan hödürlenildi. Geterogenlilik ýa-da köpfazalylyk – bu kolloid himiýada fazalaryň arasyndaky üstüň, ýagny üstki gatlagyň bolmagyny görkezýän alamatlaryň biridir. Geterogenlilik – kolloid himiýa ylmynyň obýektleriniň möhüm alamaty bolup, ol araçäkdäki üstüň barlygyny kesgitleýär, şolaryň mahsus häsiýetlerini şertlendirýär.

Disperslilik - bu kolloid himiýa ylmynyň ikinji obýekti bolup, ol bölejikleriň ölçegini we geometriýasyny kesgitleýär. Başgaça, disperslilik maýdalanmak ýagdaýy bolup, ol köplenç, bölejikleriň ölçegine ters bolan ululyk bilen häsiýetlendirilýär:

$$D = 1/a, \quad (1)$$

bu ýerde  $D$  – disperslilik,  $a$  - bölejigiň ölçegi.

Maýdalanmagy häsiýetlendirýän ýene-de bir ululyk belli bolup, ol fazalaryň arasyndaky üstüň meýdanynyň ( $S$ ) maddanyň göwrümine ( $V$ ) gatnaşygy bilen kesgitlenilýär:

$$S_{ud} = S/V. \quad (2)$$

Bu häsiýetler biri-biri bilen arabaglanyşykdadyr. Ýagny ölçegiň ( $a$ ) kiçelmegi bilen disperslilik ( $D$ ) we udel üst ( $S_{ud}$ ) ýokarlanýandyr.

Disperslilik kolloid himiýanyň obýektleriniň möhüm alamatlarynyň biri bolup, ol dispers sistemanyň aýratyn element-

lerine däl-de, eýsem, tutuş ähli ýerine täze häsiýetleri berýär. Dispersliligiň artmagy bilen sistemada üst hadysalary hem ýokarlanýandyr. Ýöne geterogenlilik uniwersal alamat bolmak bilen, dispersliligiň bir özi kolloid himiýanyň obýektini anyk kesgitläp bilmeýär.

Kolloid himiýanyň obýektleriniň iki sany esasy alamatlaryny deňeşdirip, dispersliligiň fazalarda üstün ölçegini, maýdalanmagyň derejesini häsiýetlendirýän mukdar ululykdygyny, geterogenliligiň bolsa, ilki bilen obýektleriň hil tarapyny görkezýändigini bellemek zerurdyr. Dispersliligiň, ýagny mukdaryň üýtgemegi, beýleki hil häsiýetleriniň köpüsiniň üýtgemegine getirer.

Kolloid himiýanyň obýektleri beýleki ylmyň obýektlerinden geterogenliligi, ýagny fazalarda üstün barlygy bilen tapawutlanýar. Disperslilik bolsa şol üstleriň mukdaryny kesgitleýär. Eger-de geterogenlilik emele gelýän bolsa, onda disperslilik hem ýüze çykýandyr. Diýmek, ol obýekt kolloid himiýa degişlidir.

Kolloid himiýanyň obýektleri energiýanyň kesgitli görnüşleri bilen häsiýetlendirilip, olar, şol esasy alamatlardan gelip çykýandyr. Geterogenlilik mukdar taýdan üstün energiýa birligini häsiýetlendirýän üst dartylmasy bilen kesgitlenilýär. Üst dartylmasy geterogenliligiň derejesini kesgitleýär. Ýagny geterogenlilik näçe uly boldugyça, şonça hem üst dartylmasy uludyr. Geterogenliligiň ýitmegi üst dartylmasynyň ýoklugy bilen barabardyr. Ikinji alamat - disperslilik bolup, ol üstün meýdany bilen kesgitlenilýär. Üst dartylmasynyň üstün meýdanyna köpeldilmegi bolsa, üst energiýasyny aňladýar:

$$E_{\text{üst}} = \sigma S, \quad (3)$$

bu ýerde  $E_{\text{üst}}$  – üst energiýasy,  $\sigma$  - üst dartylmasy,  $S$  - üstün meýdany. Şeýlelikde, kolloid himiýanyň obýektleri üst energiýasyna eýedir.

Kolloid himiýa ylmyň ähmiýetiniň ýokarylygy, aýratynda, onuň obýektleriniň we öwrenýän hadysalarynyň çäginin örän giňligi bilen kesgitlenilýär. Sebäbi gündelik durmuşda gabat gelýän ähli maddalar we materiallar kolloid himiýa ylmyň obýektleri bolup durýarlar.

### 1.3. Dispers sistemalaryň klassifikasiýasy

Dispers sistemalar owradylan bölejikleriň ölçegi, dispers fazanyň we dispers gurşawyň agregat ýagdaýy, dispers fazanyň häsiýetli ölçeginiň sany, dispers fazanyň we dispers gurşawyň maddalarynyň arasyndaky baglanyşygyň häsiýeti boýunça klassifikasiýalara bölünýärler.

#### a. Bölejikleriniň ölçegine görä dispers sistemalaryň klassifikasiýasy

Disperslilik - dispers sistemadaky bölejikleriň ölçegini aňladýar. Bölejikleriň ölçegi näçe kiçi bolsa, şonça – da olaryň dispersliligi ýokary bolýar.

Mikrogeterogen we ultramikrogeterogen dispers sistemalar bölejikleriň ölçegleri boýunça tapawutlanýarlar. Mikrogeterogen dispers sistemanyň bölejikleriniň ölçegi  $10^{-5}$ – $10^{-3}$  sm. Ultrageterogen dispers sistemalaryň bölejikleriniň ölçegi  $10^{-7}$ – $10^{-5}$  sm. Ultramikrogeterogen sistemalara kolloid *erginler*, *zollar* ýa-da ýokary *dispers sistemalar* diýilýär. Dispers sistemalara diňe bir owradylan dispers fazasy bolan maddalar degişli bolman, öýjükli maddalar hem degişlidir (*1-nji tablisa*).

*1-nji tablisa*

#### Içi öýjükli we owradylan maddalaryň udel üsti

Owradylan maddalar	Udel üsti ( $m^2/g$ )	Öýjükli maddalar	Udel üsti ( $m^2/g$ )
Kristallar	1	Alýuminosilikatlar	10-100
Owradylan kristallar	10	Işjeňleşdirilen kömür	1000
Tüsse, gurum	10-500		

Dispers sistemalar bölejikleriniň ölçegi boýunça gödek, orta, ýokary we nano ölçegli sistemalara bölünýärler. Gödek dispers sistemalar (tebigy suwlarda çökyän dispers sistemalar, suspenziýalar, emulsiýalar) ýokary dispers sistemalardan dispers fazalarynyň çökyändigini

bilen, kagyz süzgüçlerden geçmeýänligi we adaty mikroskopda görünýändigini bilen tapawutlanýarlar (2-nji tablisa).

2-nji tablisa

**Dispers sistemalaryň bölejikleriniň ölçegine görä klassifikasiýasy**

Sistema- nyň topary	Bölejikleriň ölçegi, $d$		Dispers- liligi, $m^{-1}$	Bir böle- jiktäki atomlaryň sany	Görnüşleri
	$mkm$	$m$			
Gödek dispers sistema	$\geq 10$	$\geq 10^{-5}$	$\leq 10^5$	$\geq 10^{18}$	Şeker, köpür- jik, ýagyş dam- jasy, derman dänesi we ş.m.
Orta dispers sistema	0,1- 10	$10^{-7} - 10^{-5}$	$10^5 - 10^7$	$\geq 10^9$	Ereýän kofe, eritrositler, şeker küli, gurum
Ýokary dispers sistema	0,0001- – 0,1	$10^{-9} - 10^{-7}$	$10^7 - 10^9$	$10^9 - 10^{23}$	Ösümlik şiresi, rubin aýna, zollar, metallaryň nanobölejik- leri, sapak görnüşli kristallar
Nano ölçegli sistema	1 - 10	$10^{-9} - 10^{-8}$	$10^8 - 10^9$	onlarça	Nanotur- bajyklar, metallaryň we polimerleriň nanobölejikleri

Ýokary dispers sistemalar adaty süzgüçlerden geçýärler, ýöne ultrasüzgüçlerden (sellofan, pergament) geçmeýärler, çökmeýärler we optiki mikroskoplarda görünmeýärler. Ýokary dispers sistemalara *ultradispers sistemalar* hem diýilýär. Sistemalaryň bu toparynyň



içinde nanodispers sistemalary tapawutlandyryrlar, olaryň ölçegi onlarça nanometre ýetýär. Bu dispersliligiň çägi bolup, kolloid sistema şu ýagdaýda-da öz esasy häsiýetini – geterogenliligini saklaýar. P.A. Rebinderiň kesgitlemesine görä faza diýip atlandyryp boljak bölejigiň in pes ölçegi  $1\text{ nm}$  (birnäçe molekulýar diametr). Umuman, dispers sistemanyň häsiýetini, köplenç ýagdaýlarda, bölejikleriň ölçegi kesgitleýär. Nanobölejikleriň fiziki-himiki häsiýetlerindäki üýtgeşmeleri birnäçe mysallaryň üsti bilen düşündirip bolýar:

- köp metallaryň we ýarymgeçirijileriň (Ag, Au, Pb, Sn, In, Bi, Ga) nanobölejikleriniň eremek temperaturasynyň güýçli peselýändigine gözegçilik edilýär;
- özlerniň gatnaşmagy bilen geçýän himiki reaksiýalaryň tizligini artdyryp, nanobölejikler ýokary himiki işjeňligi ýüze çykarýarlar. Bu häsiýet katalizatorlary taýýarlamakda ulanylýar.

## **b. Dispers fazanyň we dispers gurşawyň agregat ýagdaýy boýunça dispers sistemalaryň klassifikasiýasy**

Kolloid bölejikler çylşyrymly agregatlar bolup, olaryň görnüşlerini, ölçeglerini elektron mikroskoplaryň kömegi bilen öwrenýärler. Mysal üçin, metallaryň kolloid bölejikleri ýüzlerçe atomlary saklaýar. Sabynyň kolloid bölejigi 20-den 50-ä çenli molekulany özünde jemleýär. Demriň gidroksidiniň kolloid bölejigi 300-400 molekulany saklaýar. Ýöne, käbir maddalaryň, mysal üçin, belogyň molekulalary kolloid bölejikler ýaly uly bolýarlar. Şonuň üçin hem ýarym geçiriji membranadan geçmeýärler (gemoglobiniň molekulasyň massasy 68100 uglerod birligine deň). Şular ýaly molekulalar özlerni aýratyn kolloid bölejikler ýaly alyp barýarlar.

Kolloid erginler – geterogen sistemalarydyr. Olar agregat ýagdaýlary boýunça tapawutlanýarlar. Eger-de gaty faza suwuk gurşawda ýaýran bolsa, oňa *suspenziýa* diýilýär. Eger-de dispers faza we dispers gurşaw suwuk madda bolsa, onda olar ýaly sistema *emulsiýa* diýilýär. Eger-de dispers gurşawy gaz bolsa, dispers fazasy gaty ýa-da suwuk bolsa, onda oňa aerezollar diýilýär. Dispers sistemalary, dispers gurşawyň we dispers fazanyň agregat halyna görä birnäçe toparlara bölýärler (*3-nji tablisa*)

**Fazalaryň agregat ýagdaýy boýunça dispers sistemalaryň  
klassifikasiýasy**

Dispers gurşaw	Dispers faza	Belligi	Sistemanyň atlandyrylyşy we käbir mysallar
Gaty	Gaty	$G/G$	Gaty geterogen sistemalar: minerallar, gaty erginler, beton, metallaryň splawlary, rubin aýnalar, emallar, gymmat bahaly daşlar;
	Suwuk	$G/S$	Kapillýar sistemalar: inçejik öýjüklerdäki, adsorbentlerdäki, toprakdaky suwuklyklar;
	Gaz	$G/G_{\text{gaz}}$	Gaty köpürjikler: adsorbentlerdäki we katalizatorlardaky gazlar
Suwuk	Gaty	$S/G$	Suspenziýalar we zollar: boýag erginleri, kömrüň suspenziýasy;
	Suwuk	$S/S$	Emulsiýalar: tebigy nebit, süýt.
	Gaz	$S/G_{\text{gaz}}$	Köpürjikler: ýangyna garşy ulanylýan we sabyn köpürjigi
Gaz	Gaty	$G_{\text{gaz}}/G$	Aerozollar: tozan, tüsse;
	Suwuk	$G_{\text{gaz}}/S$	Aerozollar: ümür, bulut;
	Gaz	$G_{\text{gaz}}/G_{\text{gaz}}$	Kolloid sistema emele gelmeýär

**ç. Dispers fazanyň we dispers gurşawyň maddalarynyň  
arasyndaky baglanyşygyň häsiýetine görä klassifikasiýasy**

Dispers fazanyň we dispers gurşawyň maddalarynyň arasyndaky baglanyşygyň häsiýetine görä klassifikasiýasy suwuk dispers gurşawly sistemalarda ulanylýar.

Olara solwatasiýa (gidratasiýa) hadysalary degişli. Dispers fazanyň we dispers gurşawyň maddalarynyň arasyndaky molekulýar baglanyşygyň derejesine görä dispers sistemalar – liofil we liofob dispers sistemalaryna bölünýärler.

**Dispers fazanyň we dispers gurşawyň maddalarynyň arasyndaky baglanyşygyň häsiýetine görä dispers sistemalaryň klassifikasiýasy**

Sistemanyň görnüşi	Alnyşy	Koagulyýa-siýa görä termodinamik durnuklylygy	Fazanyň arasyndaky baglanyşyk	Görnüşleri
Liofoblar	Dispergirmek we kondensasiýa esasynda	Termodinamik agregatiw durnukly däl	Gowşak	Kül, suspenziýalar, emulsiýalar
Liofiller	Özakymlaýyn dispersgirleme	Termodinamik agregatiw durnukly	Güýçli	ÜIM-iň miselli erginleri, käbir ÝMB-niň erginleri

Dispers gurşaw bilen dispers fazanyň bölejikleriniň tebigatyna laýyklykda olary liofil we liofob dispers sistemalara bölýärler (Zigmondi, Freýndlih). Bu klassifikasiýa diňe suwuk gurşawly kolloid dispers sistemalar üçin ulanylýar. Liofob kolloid dispers sistemalar hakyky kolloid erginlerdir. Şeýle sistemalar özakymlaýyn emele gelip bilmeýärler. Liofil kolloid dispers sistemalara bolsa, polimerleriň erginleri degişli bolup, olar özakymlaýyn emele gelýärler hem-de hakyky kolloid erginlerden tapawutlylykda termodinamik durnukly. Liofil kolloid sistemalaryna başgaça, *molekulýar kolloid erginler* hem diýilýär.

Eger-de kolloid bölejigi özüni gurşaýan gurşaw bilen baglanyşýan bolsa, oňa *liofil kolloid erginler* diýilýär. Mysal üçin, želatin, krahmalyň suwly erginleri, olara başgaça, *zollar* hem diýilýär. Gatap galan zola *gel* diýilýär.

Liofil kolloid erginler öwrülişikli bolýarlar. Eger-de ol gatan bolsa, onda eredijini täzeden guýmak bilen, kolloid ýagdaýyna getirip bolýar. Liofob kolloid erginler bolsa, öwrülişikli däl. Olary eredijini

guýanynda hem öňki ýagdaýyna getirip bolmaýar. Liofil we liofob kolloid erginleriniň eredijisi suw bolanynda, onda degişlilikde, *gid-rofil we gidrofob sistemalar diýilýär (4-nji tablica)*.

#### **d. Dispers fazanyň bölejikleriniň dispersligini kesgitleýän ölçegleriniň sany boýunça klassifikasiýasy**

Dispers fazanyň bölejikleriniň dispersligini kesgitleýän ölçegleriniň sany boýunça klassifikasiýasy 5-nji tablisada getirilen. Bu tablisada ölçegleriň sany üç bolanynda görnüşiniň gaty bölejikler, damjalar, köpürjikler ýaly bolýandygy, sistemanyň adynyň bolsa, korpuskulýar diýlip atlandyrylýandygyny bellemek bilen, şolara degişli bolan birnäçe mysallar ýazylýar. Ölçegleriniň sanynyň iki bolan ýagdaýynda kolloid maddanyň sapaklar, süýmler, öýjükler görnüşinde bolup, adynyň *fibrillýar* diýlip atlandyrylýandygy bellenilip, birnäçe mysallar görkezilendir. Ölçegleriň sany bir bolanda bolsa, sistema perdeler we membranalar görnüşinde bolup, laminarlar diýlip atlandyrylýar, 5-nji tablisada şolara degişli mysallar hem berlen (5-nji tablica).

*5-nji tablica*

#### **Dispers fazanyň bölejikleriniň dispersligini kesgitleýän ölçegleriniň sany boýunça klassifikasiýasy**

<b>Ölçeglerin sany</b>	<b>Emele gelşi</b>	<b>Sistemanyn ady</b>	<b>Wekilleri</b>
üç	Gaty bölejikler, damja, köpürjikler	Korpuskulýar sistema (bölejik)	Toprak, sementiň külkesi, un, süýt, kofe
iki	Sapaklar, kapilýarlar, süýümler	Fibrillýar sistema (sapak)	Agaç, mata, çörek, deri, saç, kelep
bir	Perdeler, membrana	Laminar sistema (plenka)	Membrana, plenka

## e. Dispers fazanyň bölejikleriniň özara täsir ediş derejesine görä klassifikasiýa

Dispers fazanyň bölejikleriniň özara täsir ediş derejesine görä, olary erkin we baglanyşykly dispers sistemalara bölýärler. Erkin dispers sistemalarda dispers fazanyň bölejikleri biri – biri bilen gurşawda baglanyşykly däl, olar erkin ýagdaýda hereket edip bilýärler. Olara mysal edip, gowşadylan suspenziýalary we emulsiýalary getirmek bolar.

Ikinji ýagdaýda dispers fazanyň bölejikleri biri-birleri bilen molekulýar güýçler bilen baglanyşykly bolup, dispers gurşawda giňişleýin gurluşy emele getirýärler. Şonuň üçin hem olar erkin hereket edip bilmeýärler. Bölejikler diňe maýyşgak hereketleri edip bilýärler. Olara mysal edip, konsentirlenen emulsiýalary görkezmek bolar.

Eger-de dispers fazanyň hemme bölejikleri birmeňzeş ölçeglerde bolsalar, onda oňa *monodispers sistema* diýilýär. Eger-de dispers fazanyň bölejikleriniň ölçegi dürli bolsa, onda oňa *polidispers sistema* diýilýär.

### 1.4. Polimerleriň kolloid himiýasy

Polimerleriň erginleri ýokary molekulýar birleşmeler hökmünde kolloid himiýada aýratyn orna degişlidir. Polimerleriň tebigatyna bolan garaýyşlar XIX asyryň 60-njy ýyllarynda ýüze çykyldy. XIX asyryň 60-njy ýyllary polimerleriň erginlerini liofil kolloidler görnüşinde aňladypdyrlar. Olara mysal hökmünde ýelim häsiýetini ýüze çykarýan želatini, krahmaly görkezipdirler. XX asyryň 30-njy ýyllary kolloid erginlerini hakyky erginler görnüşinde kesgitläpdirler. Polimerleriň himiýasy aýratyn himiýanyň pudagy hökmünde kabul edilipdir. XX asyryň 80-nji ýyllary bolsa kolloid maddalaryň eredijisine baglylykda kolloid ýa-da hakyky ergin görnüşinde bolup biljekdigi anyklanylypdyr. Şol esasyda hem polimerleriň erginleriniň birnäçe häsiýetleri kesgitlenilipdir:

– Kolloid ergin hökmünde – eredijisi çalşyrylanda hakyky ergin görnüşinden, kolloid görnüşine geçip bilmeklik, gel emele getirijilik, Broun hereketi, diffuziýa, ýagtylygy pytratmak;

– hakyky erginler ýaly – liofillilik, öz-özünden emele gelme, şertine laýyklykda gomogenlilik, termodinamik durnuklylyk;

– ýörite degişli häsiýetler – gowşak erginlerde hem ýokary derejede şepbeşiklik, eremezinden öň çişmeklik, süýüm, gat emele getirmäge ukyplylyk.

Ýokary molekulýar birleşmeleri üç sany usul bilen alyp bolýar. Olar: 1) ýaşaýyş üçin zerur bolan önümlerden bölüp almak; 2) tebigy ýokary molekulýar birleşmeleri bölekleyin täzeden işlemek; 3) pes molekulýar birleşmeleri sintez etmek. Beloklar ýokary molekulýar massaly tebigy polipeptidlerdir. Beloklaryň gurluşy çylşyrymlydyr. Olar janly bedeniň düzümine girýär. Belogyň makromolekulasy biri-biri bilen peptid baglanyşygy bilen baglanyşýan aminokislotalardan düzülendir. Onuň düzüminde 20-ä golaý aminokislota girýändigini sebäpli, olaryň arasyndaky baglanyşygyň sany köpdür.

Ýokary molekulýar birleşmeleriň ýene-de bir görnüşini - nuklein kislotalarydyr. Olar janly materiýada gabat gelýär. Nuklein kislotalary janly bedende nesle geçirijilik maglumatlary saklamakda we geçirmekde uly ähmiýete eýedir (*RNK* we *DNK*).

Tebigy ýokary molekulýar birleşmeleriň hataryna polisaharidleri hem goşmak bolar. Olara mysal edip, krahmaly we sellýulozany görkezmek bolar. Krahmal sowuk suwda eremeýän ak poroşokdyr. Ol gyzgyn suwda eräp, kolloid ergini emele getirýär.

Tebigy ýokary molekulýar birleşmeleriň hataryna kauçugy hem goşmak bolar. Emeli ýol bilen ýokary molekulýar birleşmeleri iki usul bilen alyp bolýar:

1. Polimerleşme;
2. Polikondensirlenme.

Polimerleşme diýlip, elementar düzümi üýtgetmeýän, goşmaça önümleriň bölünip çykamazlygy bilen pes molekulýar birleşmelerden ýokary molekulýar birleşmeleriň emele gelmegi netijesinde geçýän täsirleşmä düşünilýär.

Polikondensirlenme diýlip, goşmaça pes molekulýar birleşmeleriň bölünip çykmagy, şeýle-de ýokary molekulýar birleşmeleriň emele gelmegi bilen geçýän birmeňzeş ýa-da dürli molekulalaryň biri – biri bilen birleşmegi netijesinde geçýän täsirleşmä düşünilýär. Polimerleriň molekulalary zynjyrlý gurluşlydyrlar. Eger-de zynjyr birmeňzeş atomlardan düzülen bolsa, oňa *gomozynjyr* diýilýär. Gomozynjyrlara mysal hökmünde: polistiroly, polietileni, poliwinil spirtini, poliakril kislotany görkezmek bolar. Bu polimerler polimerizasiýa täsirleşmesiniň kömegi bilen alynýar. Eger-de zynjyr dürli atomlardan düzülen bolsa, oňa geterozynjyrlar diýilýär. Olara mysal edip: poliefiri, poliamidi, kremniorganiki polimerleri görkezmek bolar. Bu polimerler polikondensasiýa usuly bilen alynýar.

Ýokary molekulýar birleşmeleriň eremek hadysasy pes molekulýar birleşmelerden tapawutlylykda çişmek hadysasynyň bolmagy bilen geçýär. Eger-da çişmek ýagdaýyndan soňra polimer ergine doly geçýän bolsa, onda oňa *çäksiz çişmek* diýilýär. Eger-de ýokary molekulýar birleşmeler erediginiň bellibir mukdaryny özüne siňdirenligi üçin, ergine doly geçmeýän bolsa, onda oňa *çäkli çişmeklik* diýilýär. Kähalatlarda temperaturanyň ýokarlanmagy bilen çäkli çişmek hadysasy çäksiz çişmek ýagdaýyna geçýär. Eger-de polimeriň we erediginiň molekulalarynyň arasynda özara täsir bar bolsa, onda çişmek iki basgançakda geçýär:

– ýokary molekulýar birleşmeleriň erediginiň diffuziýasy netijesinde makromolekulalaryň ionlaşan bölejiklerindäki solwatlaşma. Onda ýylylygyň bölünip çykmagy hem-de erediginiň molekulalarynyň makromolekulalaryň töweregine tertipli ýerleşmegi bilen häsiýetlendirilýär. Bu ýagdaýda polimeriň zynjyry erkin we has hereketli bolýar;

– erediginiň köp mukdarynyň siňdirilmegi bilen hem-de polimeriň göwrüminiň örän ulalmagy bilen häsiýetlendirilýär.

### FAZALARYŇ ARAÇÄKLEŞÝÄN ÜSTÜNIŇ HÄSIÝETLERI

#### 2.1. Fazalaryň araçägi we molekulýar özara täsir

Dispers sistemalardaky üst hadysalary fazalaryň araçäginde bolup geçýär. Üst hadysalary – bu galtaşýan fazalaryň üstki gatlagynyň fiziki aýratynlygy bilen baglanyşykly hadysalaryň toplumy. Üst hadysalary maddanyň tebigatyna we üstüň ululygyna bagly. Üst hadysalary galtaşma üsti emele getirýän gatlakda Gibbsiň energiýasynyň artykmaç mukdarynyň bolmagy bilen häsiýetlendirilýär. Üstüň häsiýeti fazanyň göwrüminiň häsiýetinden tapawutlanýar. Bu ýagdaý fazalaryň araçäginde iki tarapyň hem bölejikleriniň arasyndaky baglanyşdyryjy güýç bolup, ol fazalaryň tebigatyna baglylykda birmeňzeş dälidigi bilen kesgitlenilýär. Araçäge golaý güýç meýdanynyň simmetrik bolmazlygy, birnäçe üst hadysalarynyň emele gelmegine alyp barýar. Şonuň üçin hem himiki täsirleşmeleriň geçişi we fazalaryň arasyndaky üstäki fiziki hadysalar aýratyn häsiýetlendirilýär. Üst hadysalaryna tebigatda we tehnikada geçýän hadysalar uly täsir edýärler. Dürli reagentler bilen üst hadysalaryna täsir edip bolýar. Şonuň bilen baglanyşykly dürli önümçilik hadysalaryny hem ugrukdyryp bolýar.

Kondensirlenen maddalaryň üst ýüzünde erkin üst energiýasy diýlip atlandyrylýan artykmaç energiýanyň bardygy bilen baglanyşyklylykda, dürli fazalaryň galtaşma araçäginde şol energiýanyň azalmagy bilen, özakymlaýyn hadysalar bolup geçýärler. Şol hadysalara üst hadysalary diýlip, olar iki topara bölünýärler:

1) kondensirlenen maddalaryň üst ýüzüniň görnüşiniň üýtgemegi bilen bolup geçýän hadysalar. Olara *kapillýar*, *öllenmek*, *adgeziýa* hadysalar we ş.m. degişlidirler;

2) kondensirlenen maddalaryň üst ýüzüniň düzüminiň üýtgemegi bilen bolup geçýän hadysalara *sorbsiýa*, *adsorbsiýa*, *kapillýar kondensasiýa* we *hemosorbsiýa* hadysalary degişlidir.



Kondensirlenen maddalaryň içinde (göwrümünde) ýerleşen molekulanyň ýagdaýy, onuň üst ýüzünde ýerleşen molekulanyň ýagdaýyndan düýpli tapawutlanýar. Içde ýerleşen molekulanyň töweregindäki molekulalaryň islendigi bilen täsirleşme (çekişme) güýji birmeňzeşdir. Şonuň üçin, suwuklyklaryň göwrümindäki molekulalaryň islendik ugur boýunça hereketi, energiýanyň bölünip çykmagy ýa-da siňdirilmegi bilen bagly däldir. Üst ýüzünde ýerleşen molekulanyň gapdalyndaky we içdäki molekulalar bilen çekişme güýji, beýleki fazanyň molekulalary bilen bolan çekişme güýjünden uludyr. Şeýlelikde, suwuklyklaryň üst ýüzündäki molekulalar onuň içine tarap dartylýarlar we şol sebäpli suwuklygyň ownuk damjalarynyň togalak görnüşi bar.

Göwrümi hemişelik bolan kondensirlenen maddanyň üst ýüzüni artdyrmak üçin belli mukdarda energiýa sarp edilip, molekulýar güýçlere garşy iş ( $dw$ ) edilýär. Izotermiki şertlerde şol iş erkin üst ýüz energiýasynyň artmagyna deň:

$$dw = \sigma ds, \quad (4)$$

bu ýerde  $\sigma$  - proporsionallyk koeffisiýenti bolup, ol hemişelik temperaturada, göwrümde we düzümde üst ýüz meýdanyny artdyrmak üçin edilen işiň degişli artdyrylan üst meýdanyna ( $ds$ ) bolan gatnaşygyna deňdir:

$$\sigma = \frac{dw}{ds}. \quad (5)$$

Ol san taýdan Gelmgolsyň udel üst energiýasyna deň bolup, oňa suwuklyk-gaz araçägi üçin üst dartylmasy, kondensirlenen fazalaryň araçägi üçin bolsa, *fazara dartylmasy* diýilýär.

Üst dartylmasynyň ölçeg birligi - energiýa/meýdan ( $\frac{eng}{sm^2}$ ) ýa-da güýç/uzynlyk ( $N/m$ ). Üst dartylmasy jisimiň üstüniň peselmegini üpjün edýär. Şonuň üçin hem täze üstüň emele gelmegi üçin bellibir iş ýerine ýetirilmeli bolýar. Ol iş molekulalaryň arasyndaky dartylma güýjüniň garşysyna gönükdirilýär. Üst dartylmasy gaty we suwuk maddalaryň esasy häsiýetnamasydyr. Üst dartylmasy – maddanyň tebigatyna, düzümindäki erän maddalaryň garyndysyna, temperatura bagly bolýar.

Erkin üst energiýasy kondensirlenen maddalaryň bölejikleriniň möçberine baglydyr, sebäbi udel üst meýdany bölejikleriň möçberine (diametrine) ters ýa-da sistemanyň dispersliligine göni proporsional:

$$S_{ud.} = k \frac{1}{a} = kD, \quad (6)$$

bu ýerde  $a$  – bölejikleriň diametri,  $D$  – sistemanyň dispersliligi,  $k$  – hemişelik ululyk.

Suwuklyklaryň üst dartylmasyny dürli usullar bilen kesgitläp bolýar. Gaty halyndaky maddalaryň erkin üst energiýasyny göni usul bilen kesgitläp bolmaýar. Göni däl usullar bilen kesgitlenen gaty maddalaryň udel üst ýüz energiýasy suwuklyklaryňka garanyňda has uludyr. Suwuklyklaryň üst dartylmasy, adaty, olaryň molekulalarynyň arasyndaky baglanyşygyň tebigatyna baglydyr.

Iki dürli suwuklygyň galtaşma araçäginde ýüze çykýan fazara dartylmasy üçin, Antonowyň düzgüni dogrudyr. Bu düzgüne görä, eger-de bir suwuklyk beýleki suwuklyk bilen çakli mukdarda garyşyp biri-birinde doýan ergini emele getiren bolsalar, onda ol doýan erginleriň galtaşma araçäginde ýüze çykan fazara dartylmasy şol iki doýan erginleriň howa (gaz) bilen galtaşma araçäginde ýüze çykýan üst dartylmalarynyň tapawudyna deň:

$$\sigma_{s,s} = \sigma_{s,g}^{(1)} - \sigma_{s,g}^{(2)}. \quad (7)$$

Suwuklyklaryň biri-birinde ereýjiliginin artmagy bilen fazara dartylmasy kiçelýär.

## 2.2. Üst hadysalarynyň termodinamik esaslary

Kondensirlenen maddalaryň üst ýüzüniň umumy energiýasy iki sany düzüm bölekden, ýagny erkin üst we ýylylyk energiýasyndan ybaratdyr. Degişlilikde, erkin üst energiýasy ( $E$ ) üst dartylmasynyň umumy ( $\sigma$ ) üst ýüz meýdanyna köpeldilmegine deňdir. Energiýanyň ýylylyk bölegi bolsa, giňeldilýän üst meýdanynyň temperaturasyny hemişelik saklamak üçin berilýän ýylylyga deňdir. Üst meýdanynyň birliginiň doly energiýasy Gibbsiň-Gelmgolsyň deňlemesi bilen kesgitlenýär:

$$E = \sigma - T \left( \frac{d\sigma}{dT} \right), \quad (8)$$

bu ýerde  $\left( \frac{d\sigma}{dT} \right)$  – temperaturanyň üýtgemesi bilen üst dartylmasy-nyň üýtgeýiş tizligi. Ol ululygyň hemişe otrisatel bahasy bolup, ol erkin üst energiýasynyň üstüne goşulýar.

Temperatura artdyrylanda hereketlenýän molekulalaryň kinetik energiýasy artýar, suwuklyklaryň üst dartylmasy bolsa, kemelýär. Haçanda temperatura kritiki temperatura (jisimiň suwuk halyndan gaz halyna geçiş temperaturasyna) golaýlasa, onda galtaşma üst araçäginin ýityändigini sebäpli, üst dartylmasy hem nola deň bolýar. Köpsanly polýar däl maddalar üçin temperaturanyň giň aralygynda, onuň artmagy bilen aşakdaky formula boýunça üst dartylmasyň kemelýändigini eksperimental subut edilendir:

$$\sigma_T = \sigma_0 - \alpha \Delta T \text{ ýa-da } \alpha = - \left( \frac{d\sigma}{dT} \right), \quad (9)$$

bu ýerde  $\sigma_T$  -  $T$  temperaturadaky üst dartylma,  $\sigma_0$  - saýlanyp alnan suwuklygyň başdaky temperaturadaky üst dartylmasy,  $\alpha$  - hemişelik san bolup, onuň bahasy  $0,002-0,004 \text{ K}^{-1}$  çemesidir.

### 2.3. Kapillýar hadysalar

Suwuklygyň üsti tekiz ýaly bolsa-da, onuň kapillýaryň diwaryny ölleýändigine ýa-da öllemeýändigine baglylykda oýuk ýa-da güberçek bolmagy mümkin. Güberçek üst ýüzdäki molekulalar tekiz üst ýüzdäki molekulalara garanynda suwuklygyň içine tarap gowşak dartylýarlar, oýuk üst ýüzdäki molekulalar bolsa, tersine, güýçli dartylýarlar. Tekiz däl üst ýüzde molekulalaryň özara täsiriniň şeýle üýtgemegi, biri-birine galtaşýan iki dürli fazalaryň arasyndaky deňagramlylygyň şertleriniň üýtgemegine getirýär. Tekiz däl üst ýüzi bilen galtaşýan iki dürli fazanyň haýsysyna tarap güberçek üst ýüzi bakyp duran bolsa, şol faza edilýän basyş artykmaçdyr. Tekiz däl üst ýüzüň iki tarapyna edilýän basyşyň tapawudyna *kapillýar* (ýa-da Laplasyň) *basyş* diýilýär. Kapillýar basyşyň ululygy üst ýüzüň egri- ligine we suwuklygyň üst ýüz dartylmasyna bagly bolup, ol ululyklaryň arasyndaky baglanyşyk Laplasyň deňlemesi bilen aňladylýar:

$$\Delta P = \sigma \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right). \quad (10)$$

Eger-de tekiz däl üst ýüzi sferik (togalak şekilli) bolsa, onda  $r_1 = r_2$  bolup, Laplasyň deňlemesi aşakdaky görnüşi alýar:

$$\Delta P = 2 \frac{\sigma}{r}. \quad (11)$$

Diýmek, Laplasyň basyşynyň barlygy sebäpli, berlen temperaturada suwuklygyň doýan bugunyň basyşy onuň üst ýüzüniň görnüşine bagly.

Togalak şekilli üst ýüzüň (ýa-da damjanyň) radiusyny ( $r$ ), tekiz üst ýüzüň ýokarsyndaky doýan buguň basyşyny ( $P_0$ ), güberçek üst ýüzüň ýokarsyndaky doýan buguň basyşyny ( $P$ ) bilen belläliň. Tekiz üst ýüzden maddanyň bugarmagy netijesinde onuň ( $dm$ ) mukdary, ( $P_0$ ) basyşda öwrülişikli izotermiki bugarmagy we emele gelen buguň öwrülişikli gysylmagy hem-de ( $P$ ) basyşda öwrülişikli izotermik kondensirlenmegi netijesinde ( $r$ ) radiusly damja geçýän bolsa, şonda ýerine ýetirilýän umumy iş ( $dw$ ) buguň gysylmak işidir:

$$dw_1 = \frac{dm}{M} RT \ln \frac{P_0}{P}, \quad (12)$$

bu ýerde  $M$ —molekulýar massa.

Ondan başga-da, maddanyň ( $d_m$ ) mukdaryny suwuklygyň üst ýüzünden damja geçirilende, damjanyň radiusy ( $r$ ) we üst ýüz meýdany ( $ds$ ) artýar we şonda suwuklygyň üst dartylmasyna garşy iş edilýär. Ýagny buguň gysylmak işi we üst dartylmasyna garşy ýerine ýetirilen iş. Buguň gysylmak işi ( $dw_1$ ) we üst dartylmasy-na garşy ýerine ýetirilen iş ( $dw_2$ ) biri-birine san taýdan deňdir we alamaty boýunça tersdir:

$$dw_2 = \sigma ds;$$

$$dw_1 = -dw_2,$$

$$\frac{dm}{M} RT \ln \frac{P_0}{P} = -\sigma ds, \quad (13)$$

bu ýerde  $r$ —radiusly damjanyň massasy ( $m$ ) aşakdaky formula boýunça kesgitlenilýär:

$$m = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho,$$

bu ýerde

$$dm = 4\pi r^2 dr. \quad (14)$$

Damjanyň üst meýdany aşakdaky formula boýunça hasaplanýar:

$$s = 4\pi r^2,$$

bu ýerde

$$ds = 8\pi r dr. \quad (15)$$

(14) we (15) deňlemelerden ( $dm$ ) we ( $dS$ ) bahalaryny (13) deňlemede ýerinde goýup alarys:

$$\frac{4\pi r^2 \rho dr}{M} RT \ln \frac{P_0}{P} = -\sigma 8\pi r dr;$$

$$RT \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{8\sigma \pi r dr M}{4\pi r^2 dr \rho};$$

$$RT \ln \frac{P_0}{P} = -\frac{2\sigma V}{r}. \quad (16)$$

Soňky alnan (16) deňlemä Tomsonyň (Kelwiniň) deňlemesi diýilýär. Oýuk üst üçin Tomsonyň deňlemesi şeýle ýazylýar:

$$RT \ln \frac{P}{P_0} = -\frac{2\sigma V}{r}. \quad (17)$$

Bu deňlemäni analiz etmek netijesinde birnäçe möhüm netijeleri alyp bolýar:

1) suwuklygyň tekiz üst ýüzüniň ýokarsyndaky doýan bugunyň basyşy, onuň güberçek üst ýüzüniň ýokarsyndaky doýan buguň basyşyndan kiçidir, oýuk üst ýüzüniň ýokarsyndaky doýan buguň basyşyndan bolsa, uludyr;

2) damjanyň möçberi näçe kiçi bolsa, onuň deňagramlylyk ýagdaýyndaky doýan buguň basyşy şonça ýokarydyr we şeýlelikde, suwuklygyň himiki potensialy şonça uludyr. Şeýle ýagdaýdaky sistemanyň durnuklylygy örän pesdir. Eger-de ulgamda şol bir wagtda dürli ölçegli damjalar bar bolsa ýa-da başgaça, ulgama

polidispers bolsa, ol termodinamik deňagramlylyk ýagdaýynda bolup bilmeýär we durnuksyzdyr. Şonda maýda damjalar çaltlyk bilen bugarýarlar we kondensirlenende bolsa, diňe uly damjalaryň üstünde ýa-da suwuklygyň tekiz üst ýüzünde kondensirlenýärler. Kiçi damjalaryň hasabyna uly damjalaryň ulalmak hadysasyna perekondensasiýa (gaýtadan kondensirlenmek) diýilýär;

3) gaty madda bilen suwuklygyň arasyndaky deňagramlylygy Tomsonyň deňlemesine meňzeş bolan Ostwaldyň–Freýndlihiň deňlemesi bilen aňladyp bolýar:

$$RT \ln \frac{C}{C_0} = \frac{2\sigma v}{r}, \quad (18)$$

bu ýerde  $C_0$ –doýan erginiň konsentrasiýasy (ýa-da maddanyň ereýjiligi),  $C$  – ölçegi  $r$ -e deň bolan kristallar bilen deňagramlylyk ýagdaýyndaky erginiň konsentrasiýasy.

Maýdaja kristallaryň üst ýüzüniň görnüşi damjalaryňkydan tapawutlansa-da, artykmaç erkin üst energiýasyny saklaýandygy bilen olara meňzeşdir. Şonuň üçin ýokary dispersliligi bolan gaty maddany eredijilerde eredilende we onuň adatdaky ereýjiligi bilen deňeşdirilende, has ýokary konsentrasiýaly erginini alyp bolýar. Şol alnan ýokary konsentrasiýaly ergin termodinamik durnuksyzdyr. Şeýle aşa doýan durnuksyz erginde gaýtadan kristallaşmak hadysasy bolup geçýär. Bu maýdaja kristallaryň eremeginiň hasabyna has iri kristallaryň emele gelmek hadysasy bolup, görnüşi boýunça maýdaja damjalaryň iri damjalara birleşmegi bilen geçýän perekondensasiýa hadysasyna meňzeşdir;

4) iri bölejiklere garanyňda, maýdaja bölejikleriň üstündäki doýan bugunyň basyşynyň uludygy sebäpli, olaryň dispersliliginiň artmagy bilen eremek temperaturasy (suwuklyga geçmek temperaturasy) peselýär.

Kapillýar hadysalaryň ähmiýeti tebigatda we tehnikada uludyr. Onuň bilen topragyň, ösümlikleriň inçe ýollary bilen suwuklygyň akmagy, kagyzyň, matanyň öllenmegi, ýerzeminlerde çyglylygyň döremegi baglanyşyklydyr.

## 2.4. Dispers fazalaryň arasyndaky adgeziýa we kogeziýa hadysalary

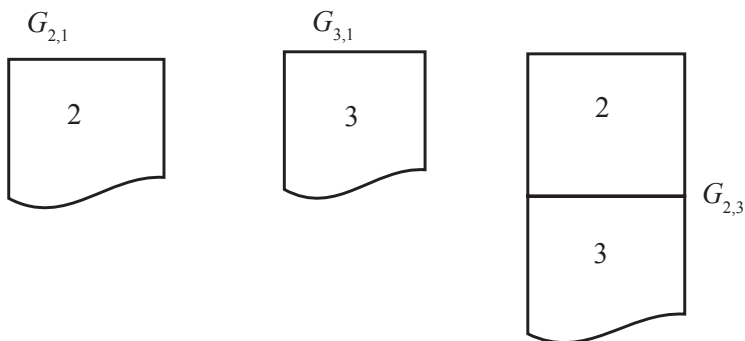
Dürli fazalar biri-birleri bilen galtaşanlarynda olaryň molekulalarynyň özara täsirleşmesi netijesinde, ol fazalaryň arasynda baglanyşyk (ýelmeşmek) ýüze çykýar (2-nji surat). Ol hadysa *adgeziýa* diýilýär. Şol bir fazanyň arasyndaky ýelmeşme hadysasyna bolsa, *kogeziýa* diýilýär. Ýelmeşen dürli fazalary ýa-da şol bir fazanyň böleklerini, biri-birinden aýyrmak üçin, bellibir mukdarda energiýa harçlanyp, iş edilýär. Degişlilikde, olara *adgeziýanyň* we *kogeziýanyň* işi diýilýär. Adgeziýanyň işi Dýupreniň formulasy bilen kesgitlenilýär:

$$W_a = \sigma_{s-gaz} + \sigma_{g-gaz} - \sigma_{g-s}, \quad (19)$$

bu ýerde  $\sigma_{s-gaz}$ ,  $\sigma_{g-gaz}$  we  $\sigma_{g-s}$  – degişli fazalaryň arasyndaky üst dartylmasy.

Diýmek, ol suwuklyk–gaz we gaty–gaz üst araçäginde Gelmgolsyň udel üst energiýalarynyň jeminden gaty madda-suwuklyk üst araçägindäki udel üst energiýasynyň aýrylmagyna deňdir. Kogeziýanyň işi ( $W_k$ ), bu iki sany täze suwuklyk-gaz üst araçäginiň emele gelmegine sarp edilýän işdir:

$$W_k = 2\sigma_{s-gaz}. \quad (20)$$



**2-nji surat. Adgeziýanyň geçişi:**

1 – gaz, 2 – suwuklyk, 3 – gaty madda

Iki dürli gaty maddanyň arasyndaky adgeziýa, adatça, örän azdyr. Şonuň üçin (19) deňlemäni iki dürli gaty maddanyň galtaşma araçäginde ýüze çykýan baglanyşygy häsiýetlendirmek üçin ulanyp bolmaýar. Sebäbi, gaty maddalaryň üsti tekiz däl bolany üçin, olaryň galtaşma üst meýdanyna garanyňda, galtaşýan molekulalaryň üst meýdanynyň has kiçidigi bilen düşündirilýär.

Şol bir wagtda üç dürli faza özara galtaşýan bolsalar, olaryň arasyndaky deňagramlylyk hemme üç fazanyň özara adgeziýasynyň ululygy bilen kesgitlenilýär. Gaty maddanyň üstündäki suwuklyk damjasynyň özüni alyp barşynyň iki görnüşini öwreneliň:

1. Suwuklygyň gaty maddany öllemegi:  $\sigma_{g-gaz} > \sigma_{g-s}$ ;
2. Suwuklygyň gaty maddany öllemezligi:  $\sigma_{g-gaz} < \sigma_{g-s}$ .

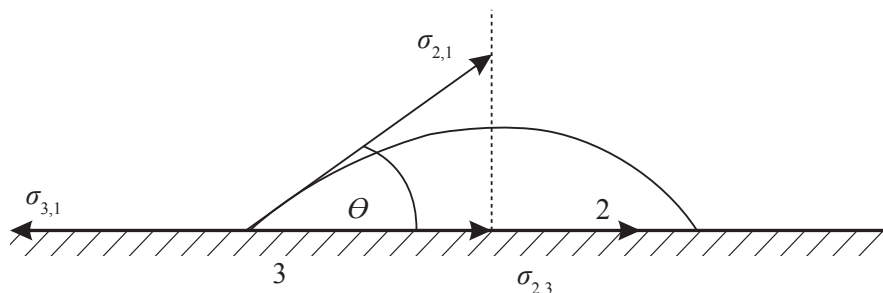
Birinji ýagdaýda gaty madda-gaz üst ýüz araçägindäki erkin üst energiýasy gaty madda-suwuklyk üst ýüz araçägindäki erkin üst energiýasyndan uly bolany üçin, sistemanyň energiýasyny azaltmaga we netijede, suwuklyk gaty maddanyň üst ýüzüni örtmäge ymtylýar ýa-da başgaça, ölleýär. Eger-de  $\sigma_{g-gaz} - \sigma_{g-s} = \sigma_{s-gaz}$  şert berjaý edilse, onda bellibir wagtdan soň damjanyň gaty maddanyň üst ýüzi boýunça akmagy togtaýar. Eger-de  $\sigma_{g-gaz} - \sigma_{g-s} > \sigma_{s-gaz}$  bolsa, onda suwuklygyň gaty maddanyň üst ýüzüne ýaýylmagy, tä monomolekulýar gatlak emele gelýänçä, tükeniksiz dowam edýär. Ikinji ýagdaýda  $\sigma_{g-gaz} < \sigma_{g-s}$  bolup, sistemanyň erkin üst energiýasynyň azalmagy gaty madda bilen suwuklygyň galtaşma meýdanynyň kiçelmegine getirýär. Ol damjanyň bir ýere çekilmegine, ýygnanmagyna getirýär. Bu ýagdaýda suwuklyk gaty jisimi öllemeýär, özi bolsa, mümkin bol-dugyça togalak görnüşi almaga ymtylýar.

## 2.5. Öllenmekligiň termodinamik şertleri

Öllenmek—bu şol bir wagtda üç sany garyşmaýan fazalar garyşyp, olaryň biri gaz halýnda (howa) bolanda, suwuklyk bilen gaty maddanyň ýa-da beýleki suwuklyklaryň arasyndaky özara täsiriň de-rejesini görkezýän üst hadysadyr. Suwuklygyň gaty maddanyň ýa-da beýleki suwuklyklaryň üstüni ölleýşini mukdar taýdan, üç fazanyň birleşýän nokady boýunça geçirilen galtaşma çyzygynyň gaty mad-da görä emele getiren burçunyň kosinusy bilen kesgitlenýär. Şonda



burçuň ululygy hasaplananda, galtaşma çyzygynyň suwuklyk damjasy tarapyndaky burçy alynmalydyr (3-nji surat).



**3-nji surat.** Gaty üstdäki suwuklyk damjasynyň deňagramlylyk ýagdaýy

Şol burça başgaça *öllenmek burçy* hem diýilýär. Deňagramlylyk ýagdaýynda ol burçuň kosinusy aşakdaky deňleme bilen aňladylýar:

$$\cos \theta = \frac{\sigma_{g.-gaz} - \sigma_{g.-s}}{\sigma_{s.-gaz}}. \quad (21)$$

(21) deňlemä Ýungyň deňlemesi diýilýär. Bu deňleme öllenmegiň şertini görkezýär. Gaty madda-suwuklyk we gaty madda-gaz üst araçäklerinde erkin üst energiýasyny hasaplamagyň kyndygy sebäpli, öllenmegiň şertini adgeziýanyň we kogeziýanyň işiniň üsti bilen aňlatmak has amatlydyr.

Şonuň üçin (19) we (21) deňlemelerden aşakdaky deňlemäni alarys:

$$W_a = \sigma_{s.-gaz} (1 + \cos \theta). \quad (22)$$

(22) deňlemeden peýdalanyň, eksperimental ýol bilen tapylan  $\sigma_{s.-gaz}$  we  $\cos \theta$  esasynda adgeziýanyň işini hasaplap bolýar.

Eger-de:  $\sigma_{g.-gaz} > \sigma_{g.-s}$ ;  $\theta < 90^\circ$  bolsa, onda suwuklyk ölleýär:

$\sigma_{g.-gaz} < \sigma_{g.-s}$ ;  $\theta > 90^\circ$  bolsa, öllemeýär;

$\sigma_{g.-gaz} = \sigma_{g.-s}$ ;  $\theta = 90^\circ$  bolsa, aralyk ýagdaý.

Şeýlelikde, gaty maddalaryň suwuklyklar bilen öllenmeginiň şertleri aşakdakylardan ybarat:

Suwuklygyň molekulalarynyň arasyndaky täsirleşme güýji gowşak(ýa-da kogeziýa kiçi) bolmaly;

Suwuklygyň üst dartylmasy kiçi bolmaly;

Gaty maddanyň üst ýüzüniň tebigaty ölleýän suwuklygyň tebigatyna golaý bolsa, onda ol degişli suwuklyk bilen oňat öllenýär.

Suwuklyklar bilen oňat öllenýän gaty maddalaryň üst ýüzüne *liofil üst ýüzi* diýilýär, öllenmeýänlerine bolsa, *liofob üst ýüzi* diýilýär.

Eger-de gaty madda suwuklygyň içine goýberilse, ol öllenýär. Şonda gaty-gaz üst ýüzi araçägi ýitýär we gaty-suwuklyk üst ýüz araçägi ýüze çykýar. Gaty-gaz üst ýüz araçäginin doly üst energiýasynyň, soňky emele gelen üst energiýasyna garanynda uludygy sebäpli, öllenmek netijesinde, öllenmek ýylylygy diýlip at berilýän energiýa bölünip çykýar. Gaty maddalaryň suwuklyklar bilen öllenmegini, öllenmek ýylylygy boýunça hem häsiýetlendirip bolýar. Bu usul haçanda külke maddalar ýaly, öllenmek burçuny ölçemesi kyn bolan maddalaryň öllenmegini hasaplamak gerek bolanda ulanylýar. Suwuklygyň akmak hadysasy, onuň polýar molekulasy bilen beýleki meňzeş gurluşly suwuklygyň baglanyşmagyna esaslanandyr. Bu ýagdaý gaty maddanyň üst dartylmasynyň peselmegi netijesinde bolýar. Suwuň üst ýüzünde organiki kislotalar we olaryň duzlary, ýokary spirtler gowy akyp bilýärler. Suwda wazelin we beýleki maşyn ýaglar akyp bilmeýärler. Adgeziýanyň işi kogeziýanyň işinden uly bolanda suwuklyk akýar.

Biziň öwrenen öllenmek hadysamyz ähli suwuklyklara we ideal gaty maddalara degişlidir. Hakyky gaty maddalaryň üsti bolsa tekiz däl, bu bolsa öllenmek burçuna täsir edýändir we ony kesgitlemegi kynlaşdyrýar. Öllenmek burçunyň deňagramlylyk ýagdaýyndan gysarmagy, barlagyň kömegi bilen onuň sebäbini kesgitleýän öllenmegiň gisterezisi häsiýetlendirýär. Gaty maddanyň üstüniň hapalanmagy, bugarmagy, eremegi, adsorbsiýasy, onuň sebäpleri bolup biler. Öllenmegiň gisterezisi bar wagtynda öllenmek burçunyň iki görnüşi bolup biler: 1. Damjanyň ýaýran wagtyndaky öllenmek burçy. 2. Damjanyň ýygnanan wagtyndaky öllenmek burçy.

### ADSORBSIÝA WE ONUŇ DISPERS SISTEMALARYŇ HÄSIÝETLERINE EDÝÄN TÄSIRI

#### 3.1. Adsorbsiýa barada umumy düşünje

Kondensirlenen maddalaryň beýleki fazalar bilen galtaşma üst araçäginde maddalaryň toplanmak hadysasyna adsorbsiýa diýilýär. Adsorbsiýa hadysasy gaty-suwuk, gaty - gaz, suwuk - suwuk, suwuk-gaz galtaşma üst araçäklerinde bolup geçýär. Şonda maddalar haýsy fazanyň üst ýüzünde toplanýan bolsa, şol faza adsorbent, toplanýan (ýa-da konsentirlenýän) maddanyň özüne bolsa, *adsorbat* diýilýär (ýa-da *adsorbtiv* diýilýär).

Gaz şekilli, suwuk haldaky ýa-da erginde erän maddalaryň kondensirlenen maddalaryň бүтін göwrümüne toplanmak hadysasyna *absorbsiýa* diýilýär.

Gaty maddalaryň öýjüklerinde we kapillýarlarynda gaz şekilli ýa-da bug halyndaky maddalaryň kondensirlenmegine kapillýar *kondensasiýa* diýilýär.

Kondensirlenen maddalaryň üst ýüzünde himiki birleşmelerin emele gelmegi bilen geçýän adsorbsiýa *hemisorbsiýa* diýilýär.

Üst ýüzüniň düzüminiň üýtgemegi bilen bolup geçýän üst hadysalarynyň içinde adsorbsiýa hadysasy has ähmiýetlidir. Adsorbent bilen adsorbatyň bölejikleriniň arasynda ýüze çykýan baglanyşygyň tebigatyna görä adsorbsiýa hadysasy öwrülišikli ýa-da öwrülišiksiz bolup biler. Ýagny ýüze çykýan baglanyşyklar Wan der Waals güýçleri bolsa (fiziki *adsorbsiýa*), öwrülišiklidir, himiki baglanyşyk bolsa (himiki *adsorbsiýa* ýa-da *hemisorbsiýa*), öwrülišiksizdir. Adsorbsiýanyň tersine bolan hadysa *desorbsiýa* diýilýär.

Fiziki we himiki adsorbsiýa diňe bir emele gelýän baglanyşygyň tebigaty boýunça däl-de, eýsem, baglanyşygyň energiýasy boýunça hem tapawutlanýarlar. Adsorbsiýa hadysasy ilkinji gezek XVIII asyryň ikinji ýarymynda, ýagny 1773-nji ýylda şwed alymy Şeýele, 1777-nji ýylda fransuz alymy Fontana, 1785-nji ýylda rus

alymy T.Ý. Lowis tarapyndan açylýar. XX asyryň başlaryna çenli amerikan alymy Gibbs adsorbsiýanyň termodinamik nazaryýetini işläp düzýär. Adsorbentiň üstüne adsorbirlenen maddanyň bellibir mukdary goşulanda, adsorbsiýanyň ululygy adsorbentiň we adsorbatyň tebigatyna, adsorbentiň üst meýdanyna, adsorbatyň konsentrasiýasyna (ýa-da basyşyna) we temperatura baglydyr. Adatça, temperaturanyň artmagy bilen adsorbsiýa peselýär, ýagny onuň tersine bolan proses – desorbsiýa güýçlenýär. Temperatura hemişelik bolanda adsorbsiýanyň basyşa ýa-da adsorbirlenýän maddanyň konsentrasiýasyna baglylygyny görkezýän grafige adsorbsiýanyň *izotermi* diýilýär. Adsorbsiýanyň ululygy adsorbatyň mol mukdarynyň adsorbentiň üst meýdanyna ýa-da massasyna bolan gatnaşygy boýunça kesgitlenýär. Şonuň üçin adsorbsiýanyň ölçeg birligi  $\frac{\text{mol}}{\text{sm}^2}$  ýa-da  $\frac{\text{mol}}{\text{g}}$  bolup biler.

<sup>g</sup> Adsorbsiýa hadysasy, adatça, ýylylygyň bölünip çykmagy bilen bolup geçýär, ýagny ol ekzotermik hadysadyr. Şonuň üçin adsorbsiýa netijesinde bölünip çykýan ýylylyk mukdary (adsorbsiýanyň integral ýa-da differensial ýylylygy) adsorbsiýa hadysasynyň möhüm häsiýetleriniň biridir. Ol adsorbatyň molekulalary bilen adsorbentiň üst ýüzüniň täsirleşme güýjüniň ýa-da adsorbsiýa güýçleriniň intensiwliginiň ölçegi.

Seolit, işjeňleşdirilen kömür, organiki smolalar ýaly, mineral, organiki we polimer maddalar hem möhüm adsorbentler görnüşinde önümçilikde giňden peýdalanylýar. Seolit – natriniň we kalsiniň tebigy alýumosilikatlarynyň umumy ady.

### 3.2. Gibbsiň adsorbsiýa deňlemesi

Suwuklyk – gaz üst ýüz araçägindäki adsorbsiýa suwuklyklaryň üst ýüzünde işjeň merkezleriň ýoklugy we adsorbatyň molekulalarynyň suwuklygyň üst ýüzünde bellibir nokada gönükdirilmeýändigini bilen, adsorbsiýanyň beýleki görnüşlerinden tapawutlanýar. Adsorbsiýanyň bu görnüşi hem erkin üst energiýasynyň azalmagy bilen bolup geçýär. Şonuň üçin ony udel üst energiýasynyň hem-de suwuklyklaryň üst dartylmasynyň üýtgemesi boýunça häsiýetlendirip bolýar. Şeýle baglanyşyk Gibbsiň we Şişkowskiniň deňlemelerinde

aýdyň görünýär. Gibbsiň deňlemesi adsorbsiýa ( $G$ ) bilen üst dartylmasy ( $\sigma$ ) ýaly möhüm ululyklaryň arasyndaky baglanyşygy görkezýär. Gibbsiň deňlemesini getirip çykarmak üçin, ilki bilen, suwuklyklaryň doly üst energiýasy ( $U$ ) üçin aşakdaky deňlemäni ýazalyň:

$$U = TS + \sigma S + \sum_i \mu_i \cdot n_i, \quad (23)$$

bu ýerde  $S$  – üst meýdany,  $T$  – temperatura,  $\mu$  – himiki potensial,  $n$  – dispers fazanyň bölejikleriniň mukdary.

Doly üst energiýasynyň üst meýdanynyň ( $S$ ) üýtgemesine görä üýtgeýşini aşakdaky deňleme bilen aňladyp bolýar:

$$dU = TdS + \sigma dS + \sum_i \mu_i \cdot dn_i. \quad (24)$$

(23) deňlemäni doly differensirläp, alnan deňlemeden (24) deňlemäni aýryp, aşakdaky deňlemäni alarys:

$$dU = TdS + \sigma dS + Sd\sigma + \sum_i \mu_i \cdot dn_i + \sum_i n_i \cdot d\mu_i.$$

(24) deňleme boýunça alarys:

$$SdT + Sd\sigma + \sum_i n_i \cdot d\mu_i = 0. \quad (25)$$

Eger-de temperatura hemişelik bolsa, onda (25) deňleme şeýle görnüşi alar (bu deňleme Gibbsiň-Dýugemiň deňlemesine meňzeşdir).

$$Sd\sigma + \sum_i n_i \cdot d\mu_i = 0. \quad (26)$$

(26) deňlemäniň ähli agzalaryny üst meýdanyna ( $S$ -e) paýlasak, aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\frac{Sd\sigma}{S} + \sum \frac{n_i \cdot d\mu_i}{S} = 0,$$

$$d\sigma + \sum_i G_i d\mu_i = 0$$

ýa-da

$$d\sigma = - \sum_i G_i d\mu_i. \quad (26 \text{ a})$$

Eredijiden (1) we eredilýän maddadan (2) ybarat bolan binar ulgam üçin, (26 a) deňlemäni şeýle ýazyp bolar:

$$d\sigma = - G_1 d\mu_1 - G_2 d\mu_2. \quad (27)$$

Eger-de eredilýän madda eredijide eremeýän hem-de erediji özüniň iki komponentli doýan bugy bilen deňagramlylyk ýagdaýynda bolsa, onda eredijiniň (suwuň) göwrümdäki we erginiň üst ýüzündäki himiki potensialy üýtgemeýär, ýagny  $d\mu_1 = 0$ . Onda (27) deňleme aşakdaky görnüşli alar:

$$d\sigma = - G_2 d\mu_2. \quad (28)$$

(28) deňlemä Gibbsiň adsorbsiýa üçin deňlemesi diýilýär.

Erginiň bir komponenti üçin himiki potensial aşakdaky deňleme bilen aňladylýar:

$$\mu = \mu_0(T) + RT \ln a. \quad (29)$$

Himiki potensialyň üýtgemesini aşakdaky ýaly ýazyp bileris:

$$d\mu = RT d \ln a. \quad (30)$$

(30) deňlemedäki himiki potensialyň üýtgemesini (28) deňlemede ýerine goýsak, Gibbsiň deňlemesini alarys:

$$d\sigma = - GRT d \ln a$$

ýa-da

$$G = - \frac{a}{RT} \frac{d\sigma}{da}, \quad (31)$$

bu ýerde  $a$  – işjeňlik.

Gowşadylan erginlerde  $a = c$  bolany üçin, (31) deňlemäni özgerdip, şeýle hem ýazyp bileris:

$$G = - \frac{c}{RT} \frac{d\sigma}{dc}, \quad (32)$$

bu ýerde  $c$  - deňagramlylyk ýagdaýynda eredilen maddanyň erginiň göwrümindäki konsentrasiýasy,  $\frac{d\sigma}{dc}$  - üst dartylmasynyň konsentrasiýa görä üýtgemesi ýa-da eredilen maddanyň üst işjeňligi,  $R$ -uniwersal gaz hemişeligi,  $G$  -adsorbsiýa.

### 3.3. Üst işjeň we üst işjeň däl maddalarda adsorbsiýa

(32) deňlemeden görnüşli ýaly, adsorbsiýa netijesinde üst dartylmasy konsentrasiýa görä peselýän bolsa, ýagny  $\frac{d\sigma}{dc} < 0$  bolsa, onda

adsorbsiýanyň položitel bahasy bar. Bu ýagdaý üst işjeň maddalaryň adsorbsiýasyna gabat gelýär. Tersine, adsorbsiýa netijesinde üst dartylmasy konsentrasiýa görä artýan bolsa, onda adsorbsiýanyň otrisatel bahasy bar. Bu ýagdaý, ýagny  $\frac{d\sigma}{dc} > 0$  üst işjeň däl maddalaryň özüni alyp barşyna gabat gelýär.

Eger-de üst dartylmasynyň konsentrasiýa görä üýtgeýşiniň izotermi belli bolsa, onda konsentrasiýanyň her bir bahasy üçin üst işjeňligini tapyp, adsorbsiýany hasaplap bolýar.

Üst işjeň maddalaryň konsentrasiýasy kiçi bolsa, şol şertlerde üst dartylmasynyň peselmesi konsentrasiýa göni proporsionaldyr.

Üst işjeň maddalaryň has ulurak konsentrasiýalary üçin, 1908-nji ýylda G. Şişkowskiý şeýle eksperimental deňlemäni hödürledi:

$$\sigma = \sigma_0 - a \ln(bc + 1), \quad (33)$$

bu ýerde  $\sigma$  – üst dartylmasynyň peselmesi,  $\sigma_0$  – eredijiniň (suwuň) üst dartylmasy,  $a$  – hemişelik san,  $b$  – hemişelik san (ýa-da udel üst işjeňligi),  $c$  – konsentrasiýa.

Şişkowskiniň deňlemesi (33) nazaryýet bilen hem oňat ylalaşýar, ýagny üst işjeň maddalaryň birmeňzeş (gomologik) hatary üçin « $a$ » hemişelik san üýtgemeyär, « $b$ » hemişelik san bolsa, her indiki birmeňzeş hatara geçilende ýa-da uglewodorod zynjyry her  $-\text{CH}_2-$  halka uzalanda, 3-3,5 esse artýar.

Eredilende eredijiniň üst dartylmasyny peseldýän maddalara üst işjeň maddalar diýilýär. Üst işjeň däl maddalar bolsa, eredilende eredijiniň üst dartylmasyny artdyrýan maddalar. Şeýlelikde, eredilende üst ýüz araçäginde položitel ýa-da otrisatel adsorbirlenýändigine, görä maddalary iki sany uly topara: üst işjeň we üst işjeň däl maddalara bölüp bolýar.

Eger-de erediji suw bolsa, suw-howa üst ýüz araçäginde polýarlylygy suwuňkydan kiçi bolan birnäçe organiki maddalar üst işjeň madda hökmünde çykyş edýärler. Ol maddalar suwda gowy eremeyärler. Bir gapdalynda polýar funksional topary, beýleki gapdalynda bolsa, uzyn uglewodorod zynjyry bolan organiki kislotalar we olaryň duzlary (sabyňlar), aldegidler, spirtler, aminler we beýleki difil gurluşly organiki maddalar suw-howa üst ýüz araçägi üçin hakyky üst işjeň maddalar. Üst işjeň maddalaryň möhüm aýratynlyklarynyň

biri olaryň gurluşynyň difilligi, ýagny olaryň funksional toparynyň saklanýan ýeriniň gidrofil, uzyn uglewodorod radikalyny saklaýan ýeriniň bolsa, gidrofob häsiýeti bar.

Üst işjeň däl maddalaryň molekulalary (adatça, elektrolitler) suwda gowy ereýärler. Şonuň üçin hem olaryň molekulalary suwuň üst ýüzünden göwrümüne tarap gitmäge ymtylýarlar.

Üst işjeň maddalary, molekulasyň haýsy bölegi, suwuklygyň üst ýüzi bilen täsirleşýändigine garap, kationişjeň, anionişjeň we ionogen däl üst işjeň maddalaryna bölünýär. Üst işjeň maddalaryň uglewodorod radikalynyň uzynlygy olaryň üst ýüz işjeňligine güýçli täsir edýär. XIX asyryň ahyrlarynda eksperimental maglumatlar esasynda Dýuklo we Traube üst işjeň maddalaryň uglewodorod radikalynyň uzynlygynyň her bir –  $\text{CH}_2$  – topar uzalmagy bilen olaryň üst işjeňliginiň 3-3,5 esse artýandygyny ýüze çykardylar (Traube-Dýukleniň düzgüni). Şeýle düzgüniň ýüze çykmagynyň sebäbi, uglewodorod radikalynyň uzalmagy bilen organiki maddalaryň suwda ereýjiligi peselýär hem-de olaryň ereýjiligi näçe pes bolsa, sonça erginiň üst ýüzüne çykmaga ymtylýarlar.

Eger-de molekulalaryň özara çekişme güýji ujypsyz bolsa, onda üst işjeň maddanyň molekulalary mümkin bolan ähli üst meýdany eýeleýärler we şeýlelikde, olar biri-birinden mümkin bolan uzak aralyga daşlaşýarlar. Şol molekulalar biri-birinden garaşsyz ýagdaýda suwuň üst ýüzünde iki ölçeg boýunça erkin hereketlenýärler. Üst işjeň maddanyň molekulalarynyň şeýle ýagdaýyny özüne mahsus bolan basyşly iki ölçegli gaz hökmünde göz önüne getirmek gerek. Difil gurluşly üst işjeň maddanyň molekulasyň gidrofil tarapy suw bilen täsirleşip, gidratirlenýär we şeýlelikde, suwa çümen ýagdaýyndadyr, gidrofob häsiýetli uglewodorod radikaly bolsa, suwuň üst ýüzünde ýatan ýagdaýyndadyr. Sebäbi gidrofob häsiýetli bolsa-da, uglewodorod radikaly bilen suwuň molekulalarynyň arasynda täsirleşme (çekişme) güýji bar.

Gaz halyndaky perdäni, köplenç, uglewodorod radikalyndaky uglerod atomlarynyň sany 12-den 20-ä çenli bolan üst işjeň maddalary emele getirýärler. Iki we üç ölçegli gazlaryň esasy meňzeşlikleriniň biri olaryň ikisi-de hakyky gaz halynyň deňlemesine boýun egýändiginde.

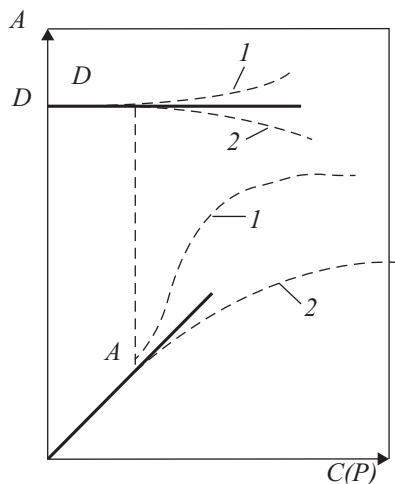


Suwuň üst ýüzünde üst işjeň maddanyň konsentrasiýasy artdyrylsa, molekulalaryň sanynyň artmagy bilen baglanyşyklylykda olar biri-birleri bilen ýelmeşip, iri kondensirlenen adajyklary emele getirýärler. Şonda molekulalar konsentrasiýa näçe artsa, şonça biri-birine dikleýin ugur boýunça ýakynlaşyp başlaýarlar. Käbir molekulalar adajyklardan üzülip aýrylyp, olaryň arasyndaky boşlukda suwuň üst ýüzüne görä meňzeş ýagdaýy eýelemegi ýa-da gaz halyna geçmekligi mümkin. Şu ýagdaý suwuk halyndaky maddalaryň bugarmagyna ýa-da gaty halyndaky maddalaryň buga öwürilmegine meňzeş. Adatça, otag temperaturasynda, uglewodorod radikalndaky uglerod atomlarynyň sany 20-den 24-e çenli bolan üst işjeň maddalary kondensirlenen perdäni emele getirýärler. Konsentrasiýanyň mundan beýläk artdyrylmagy netijesinde doýan adsorbsiýa gatlak ýa-da dykyz monomolekulýar gatlakly perde emele gelýär. Şol şertde molekulalaryň hemmesi suwuň üst ýüzüne dikleýin ýagdaýda ýerleşip, iň ýokary adsorbsiýa, üst işjeň maddanyň molekulasyndaky uglewodorod radikalynyň uzynlygyna bagly däl.

### **3.4. Gaty madda-gaz we gaty madda-suwuklyk üst ýüz araçägindäki adsorbsiýa**

Gaty maddalaryň üst ýüzünde bolup geçýän adsorbsiýa hadysalary haýsy gurşawdan geçýändigine garamazdan, birnäçe taraplary boýunça birmeňzeşdirler. Suwuklyklarda geçýän adsorbsiýa, gazlarda geçýän adsorbsiýadan, eredijiniň molekulalarynyň hem adsorbsiýa gatnaşyandygy bilen birneme tapawutlanýar. Deňagramlylyk ýagdaýynda, (adsorbsiýa bilen desorbsiýanyň tizlikleri deňleşen ýagdaýynda) adsorbsiýanyň adsorbatyň basyşyna ýa-da konsentrasiýasyna baglylygyny görkezýän izotermleri ýazyp beýan edýän birnäçe deňlemeler bar.

Gazyň pes basyşynda ýa-da erginiň pes konsentrasiýasynda adsorbsiýanyň ( $A$ ) adsorbatyň basyşyna ( $P$ ) ýa-da konsentrasiýasyna ( $C$ ) baglylygy Genriniň kanuny bilen ýazylyp beýan edilýär (*4-nji surat*).



**4 – nji surat. Genriniň adsorbsiýasynyň izotermi:**

1 we 2 – Genriniň kanunyndan položitel we otrisatel gyşarmalar

4-nji suratda adsorbsiýa we desorbsiýa hadysalarynyň adsorbatyň basyşyna ( $P$ ) ýa-da konsentrasiýasyna ( $c$ ), ( $D$ ) desorbsiýa baglylygy we Genriniň kanunyndan položitel we otrisatel gyşarmalar görkezilýär.

Ýagny Genriniň kanuny boýunça ol ululyklaryň arasynda göni proporsional baglanyşyk bar:

$$G = kp, \quad (34a)$$

$$G = kc, \quad (34b)$$

bu ýerde  $G$  – adsorbsiýa, ýagny adsorbatyň mukdarynyň adsorbentiň massasyna bolan gatnaşygy,  $p$  – basyş,  $c$  – konsentrasiýa,  $k$  – Genriniň koeffisiýenti.

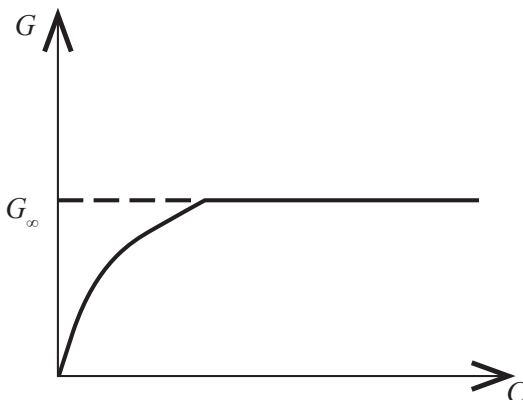
Basyşyň we konsentrasiýanyň has uly bahalarynda adsorbsiýanyň gazyň basyşyna ýa-da erginiň konsentrasiýasyna baglylygyny, köplenç, Freýndlihiň eksperimental deňlemesi bilen düşündirip bolýar:

$$G = ap \frac{1}{n}; \quad (35 a)$$

$$G = ac \frac{1}{n}, \quad (35 b)$$

bu ýerde  $a$  we  $\frac{1}{n}$  – her bir madda üçin mahsus bolan hususy hemişelik ululyklar.

Adsorbsiýanyň izoterminiň ilkinji deňlemesi 1914-nji ýylda amerikan alymy I. Lengmýur tarapyndan işlenilip düzüldi (5-nji surat). Bu suratda Lengmýuryň adsorbsiýasynyň izotermi görkezilip, onda adsorbsiýanyň konsentrasiýa baglylygy şekillendirilen.



5 - nji surat. Lengmýuryň adsorbsiýasynyň izotermi

Ol üç sany düzgünden ugur alýar:

1) gaty adsorbentleriň üst ýüzünde bellibir mukdarda işjeň merkezler bar. Şol işjeň merkezler adsorbatyň molekulalary bilen doly eýelenende, onuň monomolekulýar gatlagy emele gelýär;

2) işjeň merkezleriň her haýsy adsorbatyň islendik molekulasy üçin elýeterlidir. Her işjeň merkez adsorbatyň diňe bir sany molekulasyny adsorbirläp bilýär;

3) adsorbirlenen molekulalaryň arasynda özara täsirleşme güýji ýokdur hem-de adsorbatyň her bir molekulasy adsorbirlenende, hamala özünden başga molekula ýok ýaly adsorbirlenýär.

Lengmýuryň nazary deňlemesini getirip çykarmak üçin, adsorbsiýa hadysasyny aşakdaky deňagramlylyk ýagdaýynda göz önüne getirmeli:

Gaz fazadaky molekula + boş işjeň merkez = adsorbsiýa kompleksi.

Şu deňagramlylykdan ugur alyp, adsorbentiň üst ýüzüne degýän molekulalaryň sany gazyň basyşyna (ýa-da erginiň konsentrasiýasyna) göni proporsional diýip hasap etmek bolar:

$$G = kp G_0 \quad (36)$$

bu ýerde  $G$  – adsorbatyň üst ýüz konsentrasiýasy ýa-da adsorbsiýa,  $P$  – basyş,  $G_0$  – adsorbentiň üst ýüzünde bar bolan boş işjeň merkezler,  $K$  – temperatura hemişelik bolanda konsentrasiýa bagly bolmadyk hemişelik ululyk.

Birnäçe öwrülişiklerden soňra alarys:

$$G = \frac{G_{\max} kc}{1 + kp} \quad (37)$$

Bu deňlemä Lengmýuryň deňlemesi diýilýär. Bu deňlemäni erginlerden adsorbsiýa üçin hem getirip, çykaryp bolýar we onuň aşakdaky ýaly görnüşi bolýar:

$$G = \frac{G_{\max} kc}{1 + kc} \quad (38)$$

Lengmýuryň deňlemesi diňe gaty madda-gaz, gaty madda-suwuklyk däl-de, suwuklyk- gaz üst ýüz araçäginde geçýän adsorbsiýa hadysasy üçin hem ulanyp bolýandyr. Lengmýuryň monomolekulýar adsorbsiýa nazaryýeti polimolekulýar adsorbsiýany düşündirip bilmeýär. Ony wenger alymy M. Polýani öz postulatларында düşündirýär.

Polýaniniň polimolekulýar adsorbsiýa nazaryýeti aşakdaky postulatlara esaslanýar:

1. Gaty adsorbentleriň üst ýüzünde işjeň merkezler ýokdur. Gaz fazadan gaty maddanyň üst ýüzüne adsorbsiýa adsorbentiň potensial meýdanynyň täsirinde bolup geçýär. Şonuň üçin bu nazaryýete, adsorbsiýanyň *potensial nazaryýeti* diýilýär.

2. Gaty adsorbentleriň üst ýüzündäki potensial meýdan fiziki güýçleriň täsirinde ýüze çykýar we onuň täsiri monomolekulýar gatlagyň çäginde çykýar hem-de polimolekulýar adsorbsiýanyň geçmegine mümkinçilik döredýär.

3. Adsorbirlenen molekularyň gatlaklarynyň arasynda özara täsirleşme güýji ýokdur.

Lengmýuryň we Polýaniniň nazaryýetleriniň esasynda 1937-nji ýylda nemes alymlary Brunauer, Emmet we Teller adsorbsiýanyň izotermalarynyň dürli görnüşlerini düşündirip bilýän nazaryýeti işläp düzdüler. Bu nazaryýete başgaça, *BET-niň* nazaryýeti diýlip atlandyrylyp, ol aşakdaky başlangyçlardan ugur alýar:

1. Gaty adsorbentiň üst ýüzünde işjeň merkezleriň bellibir mukdary bardyr.

2. Adsorbirlenen molekularyň birinji gatlagy ikinji gatlak üçin, ikinji gatlagy üçünji gatlak üçin we ş.m. işjeň merkez bolup hyzmat edýärler.

3. Birinji gatlagyň adsorbsiýasynda bölünip çykýan energiýa ikinji gatlagyňkydan, ikinji gatlagyňky üçünji gatlagyňkydan we ş.m. uludyr.

4. Şol bir gatlagyň çägendäki molekularyň arasynda özara täsirleşme güýçleri ýok.

Bu nazaryýet bug halyndaky maddalaryň adsorbsiýasyny gowy düşündirýär.

### 3.5. Gaz garyndylaryndan we erginlerden adsorbsiýa

Gabat gelyän adsorbsiýa hadysalarynyň köpüsi garyndylarda geçýän adsorbsiýa. Adsorbsiýanyň Lengmýur tarapyndan hödürlenen modeli garyndylarda geçýän adsorbsiýanyň izotermiňi almaga mümkinçilik berýär. Eger-de gaz garyndysy iki komponentden ybarat bolsa, onda adsorbsiýanyň işjeň merkezleriň bir bölegi birinji komponentiň, ikinji bölegi bolsa, ikinji komponentiň molekulary tarapyndan eýelenen. Birinji we ikinji komponentleriň adsorbsiýasy üçin, Lengmýuryň deňlemesini aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$G_1 = G_{\max} \frac{k_1 p_1}{1 + k_1 p_1 + k_2 p_2}, \quad G_2 = G_{\max} \frac{k_2 p_2}{1 + k_1 p_1 + k_2 p_2}.$$

Şu deňlemeleriň getirilip çykarylyşy, Lengmýuryň esasy deňlemesiniň (38) getirilip çykarylyşyna meňzeş.

Erginlerdäki adsorbsiýa hem suwuk halyndaky maddalaryň garyndysynyň adsorbsiýasy ýaly. Ýöne erginiň göwrümünde

maddalaryň (eredijiniň we erän maddanyň) konsentrasiýasynyň ýokarydygy sebäpli, ergin bilen gaty adsorbentiň galtaşma üst ýüz araçäginde boş (eýelenmedik) ýer ýok. Şonuň üçin hem erginlerdäki haýsydyr bir komponentiň adsorbsiýasy, erginden beýleki komponentiň gysylyp çykarylmagyna getirýär. Erginlerde geçýän adsorbsiýany iki topara, ýagny elektrolit dälleriň we elektrolitleriň adsorbsiýasyna bölýärler.

Elektrolit dälleriň adsorbsiýasy (molekulýar adsorbsiýa) geçende, bu hadysa üç sany komponent gatnaşýar. Onda adsorbent we ergini emele getirýän erediji, eredilen maddalaryň özara täsiriniň intensiwligine baglylykda erginiň ol ýa-da beýleki komponentiniň güýçli adsorbirlenmegine gözegçilik edilýär. Erginlerdäki adsorbsiýa Rebinderiň düzgünine boýun egýär. Ol düzgüne görä, ergindäki komponentleriň haýsysynyň polýarlygy adsorbent bilen erginiň beýleki komponentiniň polýarlygynyň aralyk ýagdaýynda ýerleşýän bolsa, şol komponentiň adsorbsiýasy agdyklyk edýär. Ýagny adsorbsiýa fazalaryň polýarlygynyň deňleşýän tarapyna, onda-da polýarlygyň başlangyç tapawudy näçe uly bolsa, şonça güýçli geçýär. Şonuň üçin bu düzgüne polýarlygyň deňleşmek düzgüni hem diýilýär. Maddalaryň dielektrik geçirijiligi boýunça, adsorbent bilen eredijiniň polýarlygynyň tapawudy näçe uly bolsa, eredijiniň molekullary şonça-da bäsleşige ýa-da başgaça, adsorbsiýa ukypsyzdyr. Erginiň konsentrasiýasynyň giň çäginde «erediji» we «eredilen madda» diýen düşüňjeler öz manysyny ýitirýär. Şonuň ýaly ýagdaýlarda «erginlerden adsorbsiýa» düşüňje, «*A* we *B* maddalaryň garyndysyndan adsorbsiýa» diýen düşüňje bilen çalşyrylýar.

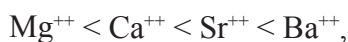
Adsorbirlenýän komponentleriň biriniň beýlekisini gysyp çykarýandygy bilen baglanyşyklylykda komponentleriň biri položitel, beýlekisi bolsa otrisatel adsorbirlenýär. Şonuň üçin, komponentleriň konsentrasiýasynyň artmagy bilen bir ýagdaýda adsorbsiýanyň artmagy, beýleki ýagdaýda bolsa, kemelmegi mümkin.

Erginlerden adsorbsiýanyň giň duş gelýän görnüşleriniň biri ionlaryň (elektrolitleriň) adsorbsiýasydyr. Ionlaryň adsorbsiýasy iki hili, ýagny adsorbsiýa we elektrostatik güýçleriň täsirinde bolup geçýän adsorbsiýa hem-de ion çalyşma adsorbsiýasy.

Adsorbsiýa we elektrostatik güýçleriň täsirinde bolup geýýän adsorbsiýa seýrek ýagdaýda molekulýar häsiýetli, ýagny kationlaryň we anionlaryň adsorbsiýasy ekwiwalent mukdarda bolup geýýär. Köp ýagdaýlarda bolsa, şeýle adsorbsiýanyň saýlaýjylyk häsiýeti bar, ýagny gaty adsorbentiň üst ýüzüne ionlaryň bir görnüşi adsorbirlenýär. Ionlaryň saýlanyp adsorbirlenmegi netijesinde gaty adsorbentiň üst ýüzünde ikileýin elektrik gatlagy emele gelýär. Saýlanyp adsorbirlenen ionlar gaty adsorbentiň üst ýüzüni zarýadlandyrýar hem-de şol zarýadlanan üst ýüze, elektrostatik güýçleriň täsirinde, ikinji gatlagy emele getirýän ionlar dartylýarlar. Şeýlelikde, adsorbsiýa gatlagyň gurluşy zarýadlanan iki gatlakly kondensatoryň gurluşyna meňzeş bolýar. Ikileýin elektrik gatlagyň birinjisi gaty maddanyň kristal gözeneklerini gurup bilýän ýa-da izomorf ionlar. Ikileýin elektrik gatlagyň ikinjisiniň, ýagny garşylykly ionlaryň, adsorbsiýasynyň saýlaýjylyk häsiýeti ýok. Ikinji gatlagyň, ýagny garşydaş zarýadly ionlaryň emele getiren gatlagynyň galyňlygy birinji gatlagyňkydan has galyň.

Ionlaryň adsorbsiýasy olaryň zarýadyna, ölçegine, solwatlaşma derejesine, adsorbentiň we adsorbirlenýän ionlaryň tebigatyna bagly. Walentiligi uly bolan ionlar has güýçli adsorbirlenýärler. Birmeňzeş zarýadly ionlaryň radiusynyň artmagy bilen olaryň gidratasiýa ukyby peselýär we şol sebäpli ionlaryň adsorbsiýa ukyplylygy artýar.

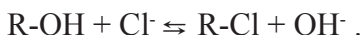
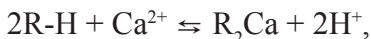
Ionlaryň adsorbsiýa ukyplylygy boýunça düzülen hatarlaryna liotron hatarlary (ýa-da Gofmeýsteriň hatarlary) diýilýär. Olara mysal edip, aşakdaky hatarlary getirmek bolar:



Üst ýüzünde öň adsorbirlenen ionlary bolan adsorbent bilen beýleki bir elektrolit galtaşdyrylsa, onda adsorbirlenen we erginde bar bolan birmeňzeş zarýadly ionlaryň ekwiwalent mukdardaky çalşygy bolup geýýär. Käbir halatlarda adsorbentiň üst ýüzündäki molekulalaryň ionlaşmagy netijesinde emele gelen ionlar hem ergindäki ionlar bilen çalşyrylýandygyna gözegçilik edilýär.

Ekwiwalent mukdarda ionlaryny çalşyp bilýän adsorbentlere ion çalşyjylar ýa-da ionitler diýilýär. Kationlaryny çalşyp bilýän ionitlere

kationitler, anionlaryny çalşyp bilýän ionitlere bolsa, anionitler diýilýär. Ionitler tebigy we sintetiki bolup bilerler. Tebigy ionitlere toýun, seolitler, apatitler, gidroksiapatitler we gumin kislotalary degişlidirler. Sintetiki ionitlere sintetiki seolitler we ion çalşyjy smolalar degişli. Ionitleriň ion çalyşma adsorbsiýasyna gatnaşmaýan bölegini  $R$  bilen bellesek, onda  $H^+$  we  $OH^-$  görnüşli sintetiki ionitleriň gatnaşmagynda geçýän ion çalyşma adsorbsiýasyny aşakdaky ýaly göz önüne getirmek bolar:



Shemadan görnüşi ýaly, ion çalyşma adsorbsiýasy ion çalyşma reaksiýasyna meňzeş ekwiwalent mukdarda bolup geçýär, ýöne ondan tapawutlylykda ion çalyşma adsorbsiýasy öwrülišikli. Ion çalyşma adsorbsiýasynyň saýlaýjylyk häsiýeti bar. Meňzeş zaryadly ionlaryň ion çalyşma adsorbsiýasyna ukyplylygynyň artyşy boýunça yzygiderli ýerleşdirilse, onda Gofmeýsteriň liotrop hatarlaryna laýyk gelýän hatarlar alynýar.

Ionitleriň möhüm häsiýetleriniň biri olaryň ion çalyşma sygymydyr. Sintetiki ionitleriň ion çalyşma sygymy uly bolup, ol 2-4 *mg-ekw/g*-dan (sintetiki seolitlerde) 3-10 *mg-ekw/g-a* çenli (ion çalşyjy smolalarda) bolýar.

Gumin kislotalary, organiki gelip çykyşly, tebigy ion çalşyjy adsorbentlere degişli. Topragyň ion çalyşma sygymy hem-de onuň düzüminde bar bolan ionlaryň hil düzümi onuň agrohimiiki gymmatyny kesgitleýär. Toprak özboluşly adsorbent bolup, ösümlükleriň iýmiti üçin zerur bolan  $K^+$ ,  $Ca^{++}$ ,  $NH_4^+$  ýaly ionlary adsorbirlemäge we saklamaga ukyply.

Ionitler suwy duzsuzlandyrmakda we onuň talhlylygyny aýyrmakda giňden peýdalanylýar.

### 3.6. Adsorbsiýa güýçleriniň tebigaty we kinetikasy

Adsorbsiýanyň ululygy adsorbent bilen adsorbatyň tebigatynyň funksiýasy bolup, olaryň özara täsirine bagly. Adsorbent bilen adsorbatyň molekularynyň arasynda täsirleşme güýçleriniň tebigaty



boýunça adsorbsiýany iki topara, ýagny: fiziki we himiki adsorbsiýa bölýärler. Olaryň arasynda araçäk ýokdur, ýöne fiziki we himiki adsorbsiýany tapawutlandyryp bolýar. Fiziki adsorbsiýa molekulara Wan der Waals güýçleriniň täsirinde bolup geçýär. Şonda adsorbent bilen adsorbatyň molekularynyň arasynda himiki täsirleşme bolup geçmeýär we adsorbirlenen molekularyň himiki aýratynlygy ýitmeýär.

Adsorbent bilen adsorbatyň molekularynyň polýar ýa-da polýar däl häsiýetleri bilen baglanyşyklylykda, olaryň arasynda dispers, dipol–induksiýa–dipol, dipol–dipol, wodorod baglanyşygy ýaly güýçler täsir edýärler. Fiziki adsorbsiýany ýüze çykarýan güýçleriň aýratynlygy ýok. Fiziki adsorbsiýada deňagramlylyk çalt ýüze çykýar we ol öwrülişikli. Fiziki adsorbsiýanyň energiýasy, adatça,  $20 \text{ kJ/mol}$ -dan uly däl.

Adsorbatyň molekulary adsorbentiň üst ýüzi bilen täze faza emele getirmän himiki täsirleşip, üst ýüz himiki birleşmelerini emele getirmek bilen özara täsirleşýän bolsa, şeýle adsorbsiýa himiki adsorbsiýa ýa-da hemosorbsiýa diýilýär. Hemosorbsiýada adsorbent bilen adsorbatyň arasynda täsir edýän güýçler himiki baglanyşykdyr. Himiki adsorbsiýanyň saýlaýjylyk häsiýeti bardyr, ýagny ol adsorbentiň tebigatyna bagly. Hemosorbsiýa fiziki adsorbsiýa garanynda haýal geçýär we öwrülişiksiz. Himiki adsorbsiýanyň energiýasy  $100\text{--}200 \text{ kJ/mol}$  ululyga çenli ýetýär.

Köplenç halatlarda, adsorbent bilen adsorbatyň molekularynyň arasynda şol bir wagtda himiki hem-de fiziki güýçler täsir edýärler.

Adsorbsiýanyň tizligi baradaky ilkinji garaýyşlar Lengmýuryň we Buruň işlerinde berilýär. Olaryň garaýyşlary boýunça adsorbirlenen maddanyň mukdary  $\nu$  (molekularyň  $\text{sany/sm}^2$ ) adsorbsiýanyň wagtyna  $\tau$  we wagt birliginde adsorbentiň üst ýüz birligine urulýan molekularyň sanyna  $n$ -e göni proporsional:

$$\nu = n \tau. \quad (39)$$

Gazlaryň molekulýar-kinetik nazaryýetine görä,  $n$  san aşakdaky formula bilen kesgitlenýär:

$$n = \frac{N_a P}{\sqrt{2\pi MRT}}, \quad (40)$$

bu ýerde  $P$ -gazyň ýa-da bug halyndaky maddanyň basyşy (mm.sim.süt.).

Adsorbatyň molekulalarynyň adsorbentiň üstünde saklanýan wagty ýa-da adsorbsiýanyň wagty Frenkeliň deňlemesi bilen kesgitlenýär:

$$\tau = \tau_0 e^{Q/RT}, \quad (41)$$

bu ýerde  $\tau_0$ —molekulanyň bir sany yrgyldysynyň döwri,  $Q$ —adsorbsiýanyň molýar ýylylygy.

Adsorbsiýanyň üstünde bir sany monomolekulýar gatlagyň emele gelmegi üçin zerur bolan adsorbatyň bellibir mukdary  $10^{-6}$  sek- yň dowamynda kesgitlenilýär. Şeýlelikde, adsorbsiýa hadysasy, adatça, örän çalt bolup geçýär.

### DISPERS SISTEMALARYŇ ALNYŞY WE ARASSALANYŞY

#### 4.1. Dispers sistemalaryň alnyş usullary

Dispers sistemalary almak üçin, hökmany iki sany şerti ýerine yetirmeli bolýar. Olar:

1. Kolloid disperslilik derejesinde biri-birinden kesgitli üst bilen araçäkleşýän bölejikler bolmalydyr.

2. Bu bölejikleriň biri-birleri bilen ýelmeşmezlikleri üçin sistemanyň durnuklylygy saklanylmalydyr.

Dispers sistemalaryň durnuklylygyny saklamak üçin, kolloid bölejikleriň üstünde adsorbirlenýän we sistemanyň bölejiklerine zaryad berýän durnuklandyryjylar goşulýar.

Dispers sistemalaryň aralyk ýagdaýda ýerleşýändigini sebäpli, olaryň alnyşynyň tapawutlanýan iki sany usuly bar:

1) dispergirmek, ýagny iri bölejikleri kolloid möçberli bölejiklere çenli maýdalamak usuly;

2) kondensasiýa, ýagny maýda bölejikleri (molekulalary we ionlary) kolloid möçberli bölejiklere çenli irileşdirmek usuly.

Dispergirmek özakymlaýyn we özakymlaýyn däl görnüşinde bolup bilýär. Özakymlaýyn dispergirme liofil sistemalarda geçip bilýär. Özakymlaýyn däl dispergirme liofob sistemalara degişli. Dünýäde öndürilýän energiýanyň 5%-i dispergirme hadysasyna sarp edilýär. Özakymlaýyn däl dispergirmek usuly öz gezeginde fiziki we himiki dispergirmek görnüşlerine bölünýär. Fiziki dispergirmek usulynyň aşakdaky görnüşleri tejribede giň peýdalanylýar:

a) dispergirmegiň mehaniki usuly, ýagny sokuda, şarly we kolloid harazlarda dispergirmek;

b) dispergirmegiň elektrik usuly;

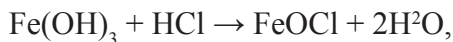
g) ultrasesiň kömegi bilen dispergirmek.

Himiki dispergirmek usulyna başgaça, peptizasiýa diýilýär. Peptizasiýanyň öz gezeginde iki hili görnüşiniň bardygyny bellemek gerek: göni peptizasiýa we göni däl peptizasiýa (peptiza-

siýa pepsin sözünden bolup, peptizasiýanyň daşky görnüşiniň pepsin fermentiniň täsirinde belogyň molekulasyň aminokislotalara dargaýşyna meňzeşdigi üçin şeýle at berlen). Çökündileriň köpüsi käbir maddalaryň täsirinde kolloid möçberdäki bölejikler görnüşinde ergine geçýärler. Şol hadysa *peptizasiýa* diýilýär. Eger-de peptizatoryň molekulalary (ýa-da onuň ionlary) göni çökündiniň üstüne adsorbirlenip, ony kolloid halyndaky ergine geçirýän bolsa, şeýle peptizasiýa *göni peptizasiýa* diýilýär. Mysal üçin:



Eger-de çökündiniň üstüne peptizatoryň özi däl-de, onuň dispers faza bilen täsirleşip emele getiren maddasy (ýa-da onuň ionlary) adsorbirlenip, ony kolloid bölejiklere geçirýän bolsa, oňa *göni däl peptizasiýa* diýilýär. Mysal üçin:



Kondensasiýa usuly hem öz gezeginde fiziki we himiki kondensasiýa usulyna bölünýär. Fiziki kondensasiýanyň maddalaryň bugundan kondensirmek we eredijini çalşyrmak ýaly görnüşleri belli. Himiki kondensasiýa okislenme-gaýtarylma, gidroliz, ion çalyşma we beýleki täsirleriň üsti bilen amala aşyrylýar. Mysal üçin, ion çalyşma täsirleşmesiniň üsti bilen kümşüň ýodidiniň zollarynyň alnyşyny aşakdaky ýaly göz önüne getirmek bolar:



Täsirleşmeleriň deňlemelerinden görnüşi ýaly, haýsy maddanyň artykmaç alnýandygy bilen baglanyşyklylykda, položitel ýa-da otrisatel zarýadlanan kolloid bölejikleri emele gelýär. Himiki usullar bilen kolloid erginler alnanda, erginde garyndy görnüşinde elektrolitler bolýar. Kolloid erginleri elektrolitleriň garyndysyndan arassalamak üçin dializ, elektrodializ we ultrasüzülme ýaly usullardan peýdalanylýar.

## 4.2. Dispers sistemalaryň dispergirleme usuly bilen alnyşy

Dispers sistemalaryny almak üçin esasy şu aşakdaky şertler ýerine ýetirilmeli:

1) dispers gurşawdaky dispers fazanyň bölejikleriniň ereýjiliginiň pes bolmagy;

2) sistema üçünji komponentiň, ýagny üst dartylmasyny peseldýän maddanyň, başgaça, durnuklaşdyryjynyň gatnaşmagy.

Dispergirmek daşardan sarp edilýän energiýany kabul edýän üst energiýasynyň ulalmagy bilen bolup geçýär.

Şonuň üçin hem dispergirmek mehaniki, ultrases bilen owratmak we himiki usullary ulanmak ýoly bilen amala aşyrylýar.

Mehaniki dispergirmek – bu urgynyň, sarsgynyň täsiri bilen owratmak. Dispersliligi ýokary derejede bolan sistemany almak we mehaniki dispergirmek hadysasynda energiýanyň ýitgisini peseltmek üçin üst işjeň maddalary (*ÜIM*) peýdalanylýar ýa-da Rebinderiň täsiri diýilýän gaty maddalaryň durnuklylygyny hem-de maýyşgaklylygyny peseldýän elektrolitler peýdalanylýar. Mehaniki dispergirleme usuly sementleri almakda, buraw erginlerini we ýaglaýjy materiallary taýýarlamakda ulanylýar. Mehaniki dispergirmek usuly tebigatda hem üznüksiz geçip durýar. Ultrases yrgyldylaryň täsir etmegi bilen emulsiýalary almak we durnuklylygy uly bolmadyk gaty maddalary dispergirmek bolýar.

Himiki dispergirmek – bu peptizatorlar diýlip atlandyrylýan maddalaryň täsir etmegi bilen kolloid bölejikleri emele getirmäge ukyply çökündileri dispergirmek. Başgaça, bu usula *peptizasiýa* diýilýär. Öz-özünden dispergirmek diýilýän usul hem himiki dispergirmek usulyna degişli. Ýagny suw nebitde ýa-da tersine degişli stabilizatoryň bolmagynda öz-özünden dispergilenýär. Bu hadysa *ÝMB* degişli eredijilerde eränlerinde hem geçýär.

Umuman dispergirmekde gaty ýa-da suwuk maddalaryň ýagdaýy bozulýar we täze üst emele gelýär. Onuň üçin şol gaty maddanyň ýa-da suwuklygyň kesgitli göwrüminiň ululygyny üpjün edýän güýji ýeňip geçmeli. Daşky güýjüň täsiri bilen kondensirlenen maddalar dispergilenende ilki bilen göwrüm deformasiýasy, soňra bolsa kesgitli mehaniki güýjüň täsiri bilen onuň bozulmagy bolup geçýär.

Şonuň üçin hem dispergirmek üçin zerur bolan işi iki sany esasy bölege bölmek bolar:

$$1) \text{ maddanyň göwrüm deformasiýasyna sarp bolýan iş: } A_{\text{def}} = k_1 v; \quad (42)$$

$$2) \text{ täze üstüň emele gelmegine sarp bolýan iş: } A_{ii} = k\sigma \Delta S. \quad (43)$$

Dispergirmäge sarp bolýan umumy iş bolsa Rebinderiň deňlemesi bilen aňladylýar:

$$A = A_{\text{defor}} + A_{ii} = k_1 v + k_2 \sigma \Delta S. \quad (44)$$

Deňlemelerden görnüşi ýaly, göwrüm deformirlenmeginiň işi maddanyň göwrümüne  $v = d^3$ , üstüň üýtgemeginiň işi bolsa, onuň başky üstüne  $S = d^2$  proporsional. Onda:

$$A = k_1 d^3 + k_2 \sigma d^2 = d^2 (k_1 d + k_2 \sigma), \quad (45)$$

bu ýerde  $k_1$  – göwrümiň deformirlenmek işiniň proporsionallyk hemişeligi,  $k_2$  – üstüň üýtgemeginiň proporsionallyk hemişeligi.

Eger-de maddanyň ölçegi uly bolsa ( $d$ -uly bolsa), onda täze üstüň emele gelmeginiň işini hasaba almasak hem bolar. Ýagny:

$$A = k_1 d^3. \quad (46)$$

Umumy işi deformirmek işi şeýle kesgitlenýär.

Maddanyň ölçegi kiçi bolsa ( $d$ -kiçi bolsa), onda göwrüm deformasiýanyň işini hasaba alman, umumy işi şeýle kesgitlemek bolar:

$$A = k_1 \sigma d^2. \quad (47)$$

Dispergirlenýän material näçe kiçi boldugyça, şonça hem bu deňleme hasaba alarlykly. Şonuň üçin hem bu deňlemäni dispergirmegiň ikinji tapgyry bolan owratmagyň (maýdalamak) işini kesgitlemek üçin ulanmak bolar.

### 4.3. Dispers sistemalaryň kondensasiýa usuly bilen alnyşy

Kondensasiýa usulyna erän maddalary eremeýän ýagdaýyna geçirmek üçin, erginlerde gaty fazanyň emele gelmegine iterýän himiki we fiziki hadysalar degişli. Şol bir wagtyň özünde hem gaty fazanyň emele gelýän ýagdaýynda, olaryň çökmejek şertini döretmek zerur.

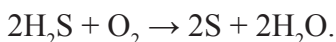
Şonuň üçin hem dispers fazadaky emele gelyän bölejikleriň ölçegini mikro we ultramikroheterogen sistemanyň ölçeginde saklamaly. Bu bolsa täsirleşmä gatnaşýan maddalaryň kesgitli konsentrasiýasy alnanda, fiziki parametrlar üýtgedilende we käbir himiki reagentler ulgama girizilende amala aşyrylýar.

Geçýän hadysalara baglylykda kondensasiýa usulyny himiki we fiziki kondensasiýa usullara bölýärler. Himiki kondensasiýa dürli himiki täsirleşmä esaslanýan usullar degişli. Mysal üçin:

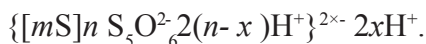
**1. Orun çalyşma täsirleşmesine esaslanýan usul.** Bu usul bilen galogenleriň, sulfidleriň, oksidleriň, gidrooksidleriň kolloid maddalaryny alyp bolýar. Kislotalary täsir etdirip aşgar silikatларыndan kremniý kislotasynyň, natriý molibdatyndan molibden kislotasynyň, natriý wolframatyndan wolfram kislotasynyň we bariniň sulfatynyň zolunyň alnyş usullary oňa degişli. Orun çalyşma täsirleşmelerinde alynýan miselliň düzümi (misell - ikileýin elektrik gatlak bilen örtülen dispers fazanyň bölejigi), nähili tertipde erginleriň garylýandygyna bagly bolýar. Bariniň sulfatynyň zolunyň alnyşy:



**2. Okislenme usuly** (kükürdiň zolunyň alnyşy):



Şonuň bilen bir wagtyň özünde pentatin kislotasynyň ( $H_2S_5O_6$ ) emele gelmegine alyp barýan çylşyrymly hadysalar geçýär, ol hem kükürt zolunyň durnuklandyryjysy bolup hyzmat edýär. Emele gelen zoluň miselliniň gurluşy bolsa, aşadaky görnüşi alýar:

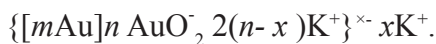


**3. Gaýtarylma usuly.** Bu usula katodda metallaryň položitel ionlarynyň zaryadsyzlandyrylmagy, zollaryň metal ionlar bilen gaýtarylmagy, metallaryň ionyny pes metal bilen gaýtarylmagy degişli.

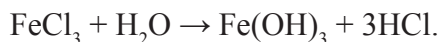
Mysal üçin, altynyň we kümüşüň zollarynyň olaryň duzlaryndan gaýtarylma täsirleşmesi bilen alnyşy:



Altynyň zolunyň miselliniň gurluşy:



**4. Gidrolizleme usuly.** Gyzył-goňur reňkli demriň(III) gidroksidiniň zoly, gaýnap duran suwuň üstüne demriň hloridiniň az mukdaryny goşmak bilen alynýar:

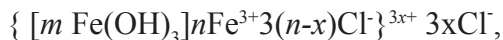


Demriň zolunyň potensial kesgitleýji ionlary:  $Fe^{3+}$ ,  $FeO^{+}$ ,  $H^{+}$ .

Demriň gidroksidiniň zolunyň  $Fe(OH)_3$  miselliniň gurluşy ulanylýan durnuklandyryja baglylykda aşakdaky görnüşlerde bolup bilýärler:



ýa-da



ýa-da



Dispers sistema kristallaşma usuly bilen alnyşyna mysal hökmünde, şeker önümçiliginde saharozanyň öndürilişini bellemek bolar. Desublimasiýa hadysasy bulutlaryň emele gelme hadysasyna gabat gelýär, ýagny onda suw bugy öte sowama ýagdaýynda damja däl-de, kristallara öwürülýär.

Fiziki kondensasiýa usullarynda dispers sistemalar erginiň öte doýrulmagy we dispers gurşawyň fiziki şertlerini (temperatura, basyş, eredijini çalyşmak we ş.m.) üýtgetmek bilen dispers fazanyň bölejikleriniň emele gelmegi netijesinde gazanylýar. Ýagny basyşyň we temperaturanyň peselmegi bilen köp duzlaryň ereýjiligi peselýär. Şonuň üçin hem duzlar bu ýagdaýda, ilki bilen, dispers bölejiklerini, durnuklandyryjy maddalar goşulmasa bolsa, çökündini emele getirýärler.

Kondensasiýa bar bolan üstde ýa-da ulgamdaky maddanyň berlen dykzlygynda we konsentrasıasynda öz-özünden täze üstün emele gelmegi we şol emele gelen üste bölejikleriň öz-özünden toplanmagy bilen geçip biler. Şular ýaly ýagdaýda birinjisine geterogen, ikinjisine bolsa gomogen kondensasiýa diýlip atlandyrylýar. Kondensasiýa hadysasynyň geçmegi üçin sistemanyň öte doýgun, öte gyzdyrylan



we öte sowadylan ýagdaýlarda bolmagy mümkin. Bulara sistemanyň *metastabil* ýagdaýy diýilýär.

Gomogen sistemadan geterogen dispers sistemanyň emele gelmegi üçin zerur bolan öte doýgunlylyk, kondensasiýa wagtynda emele gelýän artykmaç üst energiýasynyň, sistemadaky Gibbsiň energiýasyna deň bolmagyndan gelip çykýar. Ýagny bu öte doýgunlylygy üpjün edýär. Bug ýa-da ergin üçin öte doýgunlylygyň derejesi şeýle aňladylýar:

$$\gamma = \frac{P}{P_s} \text{ ýa-da } \gamma = \frac{C}{C_s}, \quad (48)$$

bu ýerde  $P$  – öte doýgun buguň basyşy,  $P_s$  - suwuklygyň tekiz üstündäki doýgun buguň basyşy,  $C$  – öte doýgun erginiň konsentrasiýasy,  $C_s$  - makrokristallara otnositellikdäki deňagramlylykdaky ereýjilik.

Gomogen kondensasiýada täze üst öz-özünden emele gelýär. Üst energiýasy bolsa kondensasiýanyň potensial garşylygy hökmünde çykyş edýär. Täze üstüň emele gelmegindäki Gibbsiň energiýasy dört görnüş bilen aňladylýar. Ýagny entropiýa, mehaniki, üst we himiki energiýalar. Durnuklandyryjynyň ýok wagtynda entropiýanyň goşandy uly däl. Mehaniki, ýagny deformasiýa maýyşgaklygyň energiýasy kondensasiýa hadysasynda, gurluşynyň üýtgemegi bilen geçýän gaty maddalar üçin häsiýetli. Suwuk hem gaz görnüşli maddalar birinji we ikinji bilen çäklenýär.

Energiýanyň himiki, ýagny göwrüm energiýasy maddanyň bugunyň we kondensirlenen fazasynyň himiki potensiallarynyň tapawudy bilen kesgitlenilýär:

$$\Delta G^v = n(\mu_s - \mu_b) = \frac{V}{V_m} (\mu_s - \mu_b), \quad (49)$$

bu ýerde  $n$  - täze üstäki maddanyň molunyň sany,  $V$  - täze fazanyň göwrümi,  $V_m$  - suwuk ýagdaýyndaky maddanyň molýar göwrümi.

Täze üstüň emele gelmegi netijesinde üst energiýasynyň ulalmagy bolsa, şeýle kesgitlenilýär:

$$\Delta G^s = \sigma S. \quad (50)$$

Kondensasiýa wagtynda, täze fazanyň emele gelmegi bilen, Gibbsiň energiýasynyň üýtgeýşiniň aňladylyşy:

$$\Delta G = \Delta G^v + \Delta G^s = \frac{V}{V_m}(\mu_s - \mu_b) + \sigma S. \quad (51)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly, buguň basyşy  $P$  doýgun buguň basyşyndan  $P_s$  kiçi bolsa,  $P < P_s$ , onda  $\mu_s > \mu_b$  we  $\Delta G > 0$ . Ýagny täze faza öz-özünden emele gelip bilmeýär. Öte doýgunlyk şertinde bolsa, ýagny  $P > P_s$  bolsa, onda  $\mu_s < \mu_b$  täze fazanyň emele gelmegi üst we görüm energiýalaryny düzýän gatnaşyklara bagly. Suwuklygyň we onuň bugunyň himiki potensialyny, buguň degişli basyşlary bilen aňladyp alarys:

$$\ln \gamma_{kr} = \ln \frac{P_{kr}}{P_s} = \frac{2GV_m}{r_{kr}RT}. \quad (52)$$

Bu bolsa Kelwiniň deňlemesi bilen gabat gelýär. Geterogen kondensasiýa üçin hem şular ýaly alynýar. Täze fazanyň emele gelmeginiň kinetikasynyň barlaglary bu prosesiň iki sany yzygider tapgyrdan ybaratdygyny görkezýär. I – täze fazanyň merkezleriniň emele gelip başlamagy, II – täze fazanyň merkezleriniň ösmegi.

Iki tapgyryň tizligi hem ulgamyň komponentleriniň tebigatyna, onuň doýgunlygynyň derejesine, aşa sowadylmagyna we ş.m. bagly. Iki tapgyra hem öz gezeginde kondensasiýanyň merkezleriniň döremegini görkezmek bilen, onuň tizligi bu merkeziň emele gelmeginiň fluktasiýasynyň ähtimallyk nazaryýeti boýunça kesgitlenilýär. Şeýle hem onuň tizligi durnukly fazanyň emele gelmegine getirýän maddanyň, kondensasiýanyň merkezine barmagy bilen kesgitlenilýär.

Kondensasiýanyň merkezleriniň emele gelmeginiň nazaryýeti boýunça, kondensasiýanyň merkezleriniň döremeginiň tizligi onuň döremeginiň ähtimallygyna göni proporsional:

$$I = A_1 e^{-\frac{\Delta G}{RT}}. \quad (53)$$

Maddanyň kondensasiýanyň merkezine barmagynyň tizligi bolsa, kondensasiýanyň merkezleriniň «ýaşap bilijilik» ähtimallygyna göni proporsional:

$$\nu = A_2 e^{-\frac{E_\eta}{RT}}, \quad (54)$$

bu ýerde  $A_1$  - kondensasiýanyň merkezleriniň döremeginiň ähtimallyk proporsionallyk koeffisiýenti,  $A_2$  – kondensasiýanyň merkezleriniň «ýaşap bilijilik» ähtimallygynyň proporsionallyk koeffisiýenti,  $\Delta G_1$  - täze fazanyň emele gelmegindäki Gibbsiň energiýasy,  $E_\eta$  - şepbeşik akymyň işjeňleşme energiýasy, ýagny maddanyň başdaky fazadan täze fazanyň üstüne geçmeginiň energiýasy.

Umuman ulgamyň şepbeşikligi şeýle kesgitlenilýär:

$$\eta = \eta_0 e^{-\frac{E_\eta}{RT}}, \quad (55)$$

bu ýerde  $\eta_0$  – hemişelik ölçegi bolan şepbeşiklik.

Onda maddanyň, kondensasiýanyň merkezine barmagynyň tizligi ulgamyň şepbeşikligine ters proporsional.

Kondensasiýanyň merkezleriniň emele gelmeginiň umumy tizligi ýokarda agzalan ähtimallygyň önümine proporsional, ýagny iki sany yzygider hadysany häsiýetlendirýär. Onuň bahasy ony düzýän tizliklerden kiçi:

$$\nu_1 = I\nu = A_3 e^{-\frac{\Delta G_1}{RT}} e^{-\frac{E_\eta}{RT}} = A_3 e^{-\frac{\Delta G_1 + E_\eta}{RT}}, \quad (56)$$

bu ýerde  $A_3 = A_1 A_2$  – proporsionallyk koeffisiýenti.

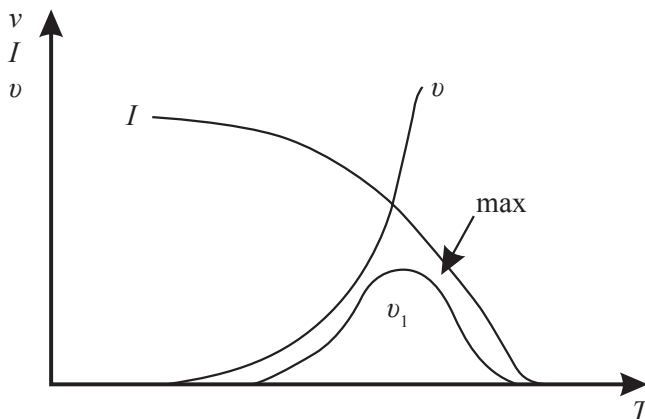
Bu deňleme suwuklyklaryň aşa sowadylmagy netijesinde kristallaşmaklyk üçin ulanarlyklydyr hem-de aşa sowadylmagyň derejesi ýokarlandygyça, kristallaşma merkezleriniň döremeginiň tizliginiň artýandygyny we maddanyň merkeze barmak tizliginiň peselýändigini (şepbeşiklik kiçelýär) görkezýär (6-njy surat).

Kristallaşmagyň merkezleri emele gelenden soňra, olaryň ösüşi başlanýar. Merkeziň birinji başgançakdaky ýaly kondensasiýanyň iki ölçegli merkezleriniň emele gelmegini özünde jemleýär. Onda, merkeziň ösmeginiň tizligi:

$$\nu_2 = B e^{-\frac{\Delta G_2}{RT}} e^{-\frac{E_\eta}{RT}} = B e^{-\frac{\Delta G_2 + E_\eta}{RT}}, \quad (57)$$

bu ýerde  $B$  – proporsionallyk hemişeligi,  $G_2$  – kondensasiýanyň iki ölçegli merkezleriniň emele gelmegi üçin Gibbsiň energiýasy  $E_\eta$  – şepbeşik akymyň işjeňleşme energiýasy.

Merkeziň emele gelmeginiň tizligi bilen onuň ösüşiniň tizliginiň üýtgeýşiniň mümkinçiligini bilip, ulgamdaky dispersililigiň derejesini ugrukdyryp bolýar. Ýagny merkeziň emele gelmeginiň tizligi pes we olaryň ösüşiniň ýokary tizliginde köp bolmadyk iri bölejikler emele gelýär. Tersine, örän köpsanly maýdajyk bölejikler emele gelýär.



**6-njy surat.** Kristallaşmagyň merkezleriniň döremeginiň we oňa maddalaryň barmagynyň tizlikleriniň hem-de öte sowadylan suwuklykdaky kondensasiýanyň merkeziniň emele gelmeginiň umumy tizliginiň temperatura baglylygyny görkezýär

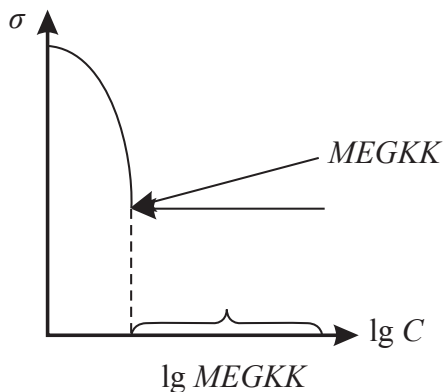
#### 4.4. Üst işjeň maddalar

Üst işjeň maddalaryň (*ÜIM*) aýratynlyklarynyň esasy, termodinamik durnukly dispers sistemany emele getirmäge ukyplylygy. Bu maddalaryň esasy häsiýetleriniň biri üstüniň ýokary işjeňligi, miselli, ýagny *ÜIM* -iň miselli emele gelmäniň kritiki konsentrasiýasy diýlip atlandyrylýan kesgitli bahadan (*MEGKK*) uly konsentrasiýada liofil kolloid erginleri emele getirmegi, solýubilizasiýa ýa-da *ÜIM* -iň täsiri bilen kolloid erginlerde maddalaryň ereýjiligiň birden ulalmagy we dürli dispers sistemalary durnuklaşdyrmak ukypdyr.

Ionogen *ÜIM* ereýjiligiň entropiýasynyň ululygy sebäpli suw ergininde gowy dissosirlenýär. Ionogen däl *ÜIM* bolsa dissosirlenmeýär we suw bilen gowşak täsirleşýärler. Şonuň üçin hem onuň ereýjiligi pes. Köplenç ýagdaýda bolsa, olaryň ereýjiligi ýylylygy kabul edilmegi bilen geçýär. Şeýlelikde, olaryň ereýjiligi temperaturanyň

ýokarlanmagy bilen ulalýar. Bu maddalaryň ereýjiliginiň pes bolmagy, üstün položitel işjeňligini ýüze çykarýar. Konsentrasiýanyň ýokarlanmagy bilen bolsa, *ÜIM*-iň molekulalarynyň assosiasiýasynyň artmagyna, ýagny miselliň emele gelmegine getirýär.

Kolloid erginleri emele getirýän *ÜIM*-iň üst dartylmasynyň izotermi hakyky ergini emele getirýän *ÜIM*-iň izoterminden düýpli tapawutlanýar. Ýagny bu ýagdaýda konsentrasiýanyň ýokarlanmagy bilen üst dartylmasy birden pese düşýär (7-nji surat).



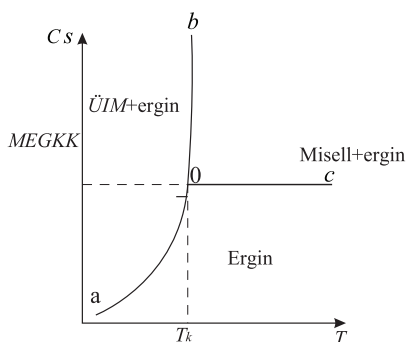
7-nji surat. *ÜIM*-iň üst dartylmasynyň izotermi

Pes konsentrasiýada bolsa ( $\approx 10^{-3} - 10^{-6} \text{ mol/l}$ ) hakyky ergine gabat gelip, izotermi düýpli üýtgeýär. Ondan ýokary konsentrasiýada bolsa, üst dartylmasy üýtgemeyär, *MEGKK* alynýar, uly bolsa misell emele gelýär we hakyky ergin ultramikroheterogen ulgama geçýär.

*ÜIM*-iň miselli diýlip, difil molekulalaryň assosiasiýasyna düşünilýär. Ýagny liofob toparlar miselliň ýadrosyny emele getirmek bilen biri-biri bilen birleşýärler. Miselli düzýän molekulalaryň sanyna assosiasiýanyň sany diýlip atlandyrylýar. Miselldäki molekulalaryň umumy molekulýar massasyna bolsa *miselliň massasy* diýilýär.

Uglewodorod radikaly uly bolan *ÜIM*-iň köpüsi gowy eremeýänligi sebäpli miselli erginleri emele getirmeyärler. Ýöne temperaturanyň üýtgemegi bilen *ÜIM*-iň ereýjiliginiň ulalmagy we misell emele gelmegi mümkindir. *ÜIM*-iň misell emele getirmäge çenli ereýjiliginiň ulalmagy üçin zerur bolan temperatura Kraftyň nokady diýlip atlandyrylýar.

Aşakdaky 8-nji suratda «a0» aralygynda hakyky erginiň «Tk» çenli haýal artmagy, «0b» miselli erginiň temperatura baglylygy, «0c» MEGKK-nyň temperatura boýunça üýtgeýşi görkezilýär.



8-nji surat. ÜIM-iň erginleriniň faza deňagramlylygy

Misell emele gelmek ýagdaýyny maddalaryň täsirleşme kanunyna laýyklykda ionogen we ionogen däl ÜIM – ler üçin aşakdaky deňleme bilen aňlatmak bolýar:



bu ýerde  $k^+$  – kation,  $R^-$  – üst işjeň anion,  $M$  – misell,  $n, m$  – san.

Bu täsirleşmeler üçin deňlemäniň hemişeligi:

$$K_{\text{ion.d}} = \frac{a_M}{a^m}, K_{\text{ion}} = \frac{C_M}{C_{k^+}^n + C_{R^-}^m}. \quad (58)$$

1 mol monomera gabat gelýän, misell emele gelmek üçin, Gibbsiň energiýasy şeýle ýazylýar:

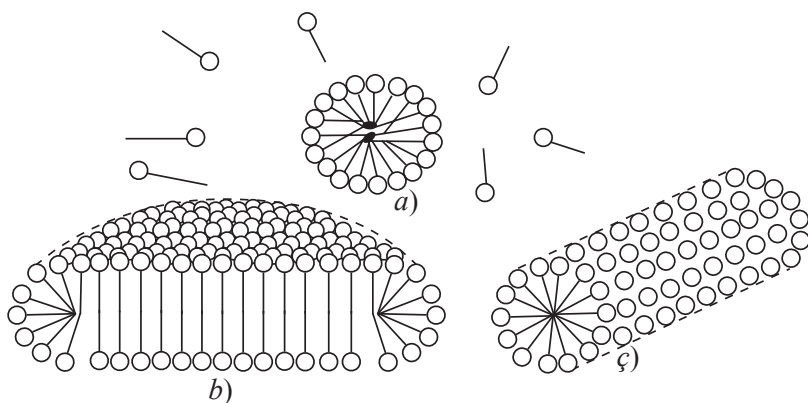
$$\Delta G_M = - \frac{RT}{m} \ln k C = MEGKK, \text{ onda } \Delta G_M = - \frac{RT}{m} \ln \frac{a_M}{(MEGKK)^m}. \quad (59)$$

Misell emele gelmek hadysasy termodinamik nukdaýnazardan öwrenilip, käbir netijelere gelindi:

1. ÜIM-iň molekularynyň eredijä liofilliliginiň artmagy bilen miselliň durnuklylygy peselýär we degişlilikde, MEGKK ulalýar, ýagny ÜIM-iň molekulary miselle kynlyk bilen ýygnaýarlar. Şeýle hem ÜIM-iň molekularynyň dissosiasiýa derejesi ulalanda

we miselliň zaryady artanda, miselli emele getirýän biratly zaryadlanan liofob ionlaryň itekleşmek energiýasy ulalýar we ýokarky ýagdaý gaýtalanýar.

2. *ÜIM* – iň suw erginindäki konsentrasiýasy *MEGKK*-dan biraz artsa, Gartliniň düşüňjesi boýunça togalak şekilli misell emele gelýär. Şonuň üçin hem bu miselle, Gartliniň miselli diýlip atlandyrylýar (9-njy surat).



**9-njy surat.** Miselleriň görnüşleri: a) – togalak şekilli; b) – disk şekilli; c) – silindr şekilli

Bu miselliň içki bölegi uglewodorod radikallaryndan düzülendir. *ÜIM*-iň molekulalarynyň polýar toparlary bolsa, suwa ugrukdyrylan. Bular ýaly miselliň diametri *ÜIM*-iň molekulalarynyň uzynlygynyň iki essesine deňdir. Togalak şekildäki miseller 20-den 100-e çenli we ondan hem köp molekulalary saklap biler.

3. *ÜIM*-iň konsentrasiýasynyň ulalmagy bilen, ol miselliň asosiasiýa sany, ölçegi we görnüşi bilen tapawutlanýan ulgama geçýär. Käbir kesgitli konsentrasiýa ýetende bolsa, togalak şekilli miseller öz aralarynda täsirleşip başlaýarlar. Bu bolsa olaryň deformasiýasyny ukyplandyryr. Şeýlelikde, miseller silindr, disk, taýak şekilli, tekiz görnüşleri almaga ymtylýar. *MEGKK ÜIM*-iň ergininiň möhüm häsiýetleriniň biridir. Ol, esasan, *ÜIM*-iň molekulasyndaky uglewodorod radikalynyň gurluşyna, polýar toparyna, ergindäki bar bolan elektrolitlere we elektrolit dällere, temperatura we beýleki şertlere bagly.

Uglewodorod radikalynyň uzynlygy suw erginlerinde misell emele gelmek hadysasyna düýpli täsir edýär. Ýagny organiki maddalar suwda eränlerinde, onuň eremeginiň energiýasy uglewodorod radikalynyň ulalmagy bilen peselýär. Ony şeýle deňleme bilen kesgitläp bolýar:

$$RT\ln MEGKK = a - bn, \quad (60)$$

bu ýerde  $a$  - polýar toparyň eremeginiň energiýasyny häsiýetlendirýän hemişelik ululyk,  $b$  –  $\text{CH}_2$  – toparyň birine gabat gelýän eremeginiň energiýasyny häsiýetlendirýän hemişelik ululyk,  $n$  –  $\text{CH}_2$  – toparyň sany.

Organiki eredijiler üçin:

$$RT\ln MEGKK = a + bn. \quad (61)$$

Ýagny uglewodorod radikalynyň artmagy bilen  $\ddot{U}IM$ -iň ereýjiligi artýar we  $MEGKK$  hem ulalýar. Uglewodorod radikallarynyň şahalanmagy, predel dældigi misell emele gelmäni peseldýär we  $MEGKK$  ulalýar. Polýar toparynyň häsiýetiniň  $MEGKK$  täsirini deňlemelerde  $a$  parametr kesgitleýär.  $\ddot{U}IM$ -de ion toparynyň bolmagy onuň suwda oňat eremegine getirýär. Şonuň üçin hem ionogen molekulalaryň miselle geçmegi üçin ionogen dällerden köp energiýa gerek bolýar. Diýmek, ionogen  $\ddot{U}IM$  üçin  $MEGKK$  ionogen dällerden molekulanyň gidrofoblygy deň bolanda uly.

Ionogen däl  $\ddot{U}IM$ -iň suwdaky erginine elektrolitler goşulanda,  $MEGKK$  we miselliň ölçegine täsir edýär. Ionogen  $\ddot{U}IM$  üçin bolsa, onuň täsiri örän uludyr. Bu täsir şeýle umumy deňleme bilen aňladylýar:

$$\ln MEGKK = a - b'n - k \ln c, \quad (62)$$

bu ýerde  $c$  – elektrolitiň konsentrasiýasy.

Elektrolit dälleriň  $\ddot{U}IM$ -iň suwly ergini goşulanda hem  $MEGKK$  täsir edýär. Eger-de organiki eredijiniň molekulasy miselliň içine girmeyän bolsa, onda olar, düzgün bolşy ýaly,  $MEGKK$ -ny gurşawyň ereýjiligiň ulalmagynyň ýa-da onuň ionogen  $\ddot{U}IM$  bilen organiki ionlaryň arasynda itekleşme güýjüniň ulalmagynyň hasabyna ýokarlanýar.



$\ddot{U}IM$ -iň misellerindäki beýleki maddalaryň eremek hadysyna *solýubilizasiýa* diýilýär. Suwly miselli sistemada suwda eremeyän maddalar solýubilirlenýärler, mysal üçin, benzin, organiki boýaglar, ýaglar we ş.m. Bu miselliň ýadrosynyň polýar däl suwuklygyň häsiýetini ýüze çykarýanlygy bilen şertlenendir. Miselliň içki bölegi polýar toparlardan bolan organiki miselli erginlerde suwuň polýar molekulalary solýubilizirlenýärler.  $\ddot{U}IM$ -iň ergini bilen solýubilizirlenen maddalara solýubilizatlar diýilýär.  $\ddot{U}IM$ -iň özüne bolsa solýubilizatorlar diýilýär. Solýubilizasiýa mukdar taýdan solýubilizasiýasynyň mol bahasy  $S_m$  bilen häsiýetlendirilýär. Ýagny  $S_m = \frac{M_s}{M_{\ddot{U}IM}}$  stabilizatyň mol mukdarynyň  $\ddot{U}IM$ -iň miselliniň 1 *moluna* gatnaşygydyr. Solýubilizatyň molekullarynyň suw erginindäki misellere goşulmagy maddanyň tebigatyna baglydyr. Polýar däl uglewodorodlar miselldäki uglewodorod ýadrolarynda ýerleşmek bilen miselle goşulýarlar. Polýar maddalar bolsa  $\ddot{U}IM$ -iň molekulalarynyň arasy bilen misellä goşulýarlar. Ýagny olaryň polýar topary suwa, polýar däl bölegi bolsa uglewodorod radikalyna ugrukdyrylandyr. Solýubilizatyň misellä goşulmagynyň ionogen däl  $\ddot{U}IM$  üçin häsiýetli bolan üçünji usuly hem mümkindir. Ýagny solýubilizatyň, mysal üçin, fenolyň molekulasy miselliň ýokarsynda berkidilýär. Polýar däl uglewodorodlar miselliň ýadrosynda solýubilizasiýa geçende uglewodorod zynjyry uzalýar, netijede miselliň ölçegi ulalýar. Kolloid  $\ddot{U}IM$ -iň uglewodorodlary solýubilirmek ukyby  $\ddot{U}IM$ -iň konsentrasiýasynyň artmagy bilen ulalýar.  $\ddot{U}IM$ -iň suw erginlerindäki solýubilizasiýa, adatça,  $\ddot{U}IM$ -iň gidrofoblylygynyň we solýubilizatyň gidrifiilliginiň ulalmagy bilen artýar.

Solýubilizasiýa öz-özünden geçýän öwrülişikli hadysa.  $\ddot{U}IM$ -iň berlen konsentrasiýasynda we berlen temperaturada solýubilizat bilen ergini kesgitli ululyga çenli doýurmak bolar (doýgun ergin almak bolar). Ýagny solýubilizasiýanyň netijesinde, öz-özünden emele gelýän ultramikroheterogen emulsiýalara meňzeş durnukly dispers sistemalary almak bolar.

## 4.5. Dispers sistemalary arassalamak usullary

Ýokary molekulýar birleşmeleriň gidrofob zollary we beýleki dispers maddalar alnanda, dürli garyndylar bilen goşulýşmagy zerarly hapalanýarlar. Köplenç ýagdaýda, sistemada başlangyç elektrolit saklanýar. Şeýle-de, durnuklaýjylaryň artykmaç mukdary bilen hapalanýarlar. Kolloid erginleri kristalloidleriň garyndysyndan arassalamagyň iň giň ýaýran usullary: 1. Dializ; 2. Elektrodializ; 3. Ultrasüzülme.

**1. Dializ usuly.** Kolloid erginleri kristalloidlerden arassalamagyň dializ usuly erginiň osmos hadysasyna esaslanýar. Dializ – kolloid erginleri ýarym syzyp geçiriji membranadan geçip bilýän garyndylardan arassalamak hadysasy. Bu usul Grem tarapyndan hödürlenip, kolloid maddalary arassalamagyň ýönekeý usuly. Dializ usuly maýda ölçegli, garyndyly ionlaryň ýarym syzyp geçiriji membranadan geçip, iri kolloid bölejikleriniň we ýokary molekulýar birleşmeleriň molekulalarynyň bolsa saklanyp galmaklygyna esaslanan.

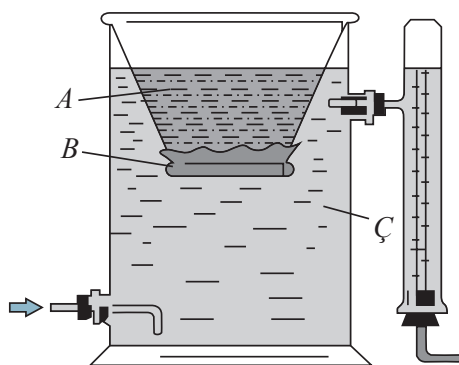
Membrana – bu bölüji fazadyr, ol iki sany beýleki fazalaryň arasynda ýerleşip, işjeň (eger geçiriji bolsa) we işjeň däl (eger-de geçýän iona görä bitarap ýagdaýy saklaýan bolsa) geçiriji bolup hyzmat edýär. Membrana bilen süzgüç biri – birinden tapawutlanýar. Membrana üstäki maddalary saklaýar, süzgüç bolsa maddany бүтін göwrümi boýunça saklaýar. Membrana süzgüje görä çalt hapalanýar. Membrana taýýarlanylýan madda hökmünde keramika, aýna, polimerler ulanylyp bilner. Membrana taýýarlanylýan polimerlere: polietilen, ftorly polimerler, akril polimerler, sellýuloza we onuň efirleri, poliorgansiloksanlar, poliwinilhlorid we ş.m.degişlidir. Taryha ýüzlenimizde, ýarym syzyp geçiriji membrana hökmünde gadymy döwürler mallaryň böwenjiklerini, dürli haýwanlaryň içegelerini ulanypdyrlar. Wagtyň geçmegi bilen membrana görnüşinde kolloid maddalary sellýulozanyň nitratyny, etil spirtiniň efir bilen garyndysyny, häzirki wagtda sellofany (gidratsellýuloza membranalaryny) ulanýarlar.

Agregar ýagdaýy boýunça membranalar suwuk we gaty halda bolup bilýärler.

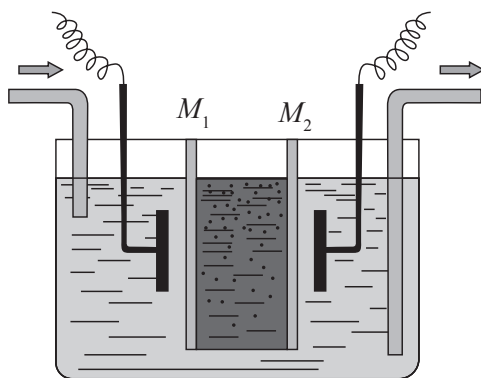
Dializ kolloid maddalary arassalamagyň gadymy usuly bolup, ol ýarym syzyp geçiriji membranany ulanmak bilen kolloid maddalary ion we molekulýar garyndylardan arassalamakda ulanylýar. Esasy hereketlendiriji güýç konsentrasiýanyň gradiýentidir. Membranadan geçmeklik, bölejikleriň dürli molekulýar ölçegine görä membranadan geçiş tizligine esasanan. Membranadan erän pes molekulýar maddalar we ionlar geçip bilýärler.

Zollary ion we molekulýar garyndylardan arassalamak üçin, ony ýarym syzyp geçiriji membranaly gaba ýerleşdirýärler we uly arassa eredijili gabyň içine goýberýärler (*10-njy surat*). Bu abzala dializator diýilýär. Daşky gabyň suwuny arassalap kolloid maddany garyndylardan arassalap bolýar. Dializ usulynda molekula we ion ölçegindeki bölejikler ýarym syzyp geçiriji membranadan geçip, eredijiniň akymyna düşýärler. Netijede, kolloid erginler kristalloidlerden arassalanýarlar. Adaty dializatorlarda dializ geçirmek üçin köp wagt sarp edilýär (hepdeläp we aýlap geçirmeli bolýar).

**2. Elektrodializ usuly.** Dializiň wagtny gysgaltmak üçin dürli usullary peýdalanmak bolar. Bu usulyň esasy kemçiligi tizliginiň pesligi hem-de başlangyç sistemanyň eredijiniň osmos akymy bilen gowşadylmagy. Häzirki wagtda has çalt we önümçilikde kolloidleri elektrolitlerden doly arassalamak işlerini geçirmek üçin, elektrodializ diýlip atlandyrylýan usul ulanylýar. Elektrodializatorlarda ionlaryň diffuziýasy, olaryň elektrik meýdanyndaky hereketi bilen çalşyrylýar.



**10-njy surat.** Dializator: *A* – kolloid ergin; *B* – ýarym syzyp geçiriji membrana; *Ç* – erediji



**11-nji surat.** Elektrodializator:  $M_1$  we  $M_2$  membranalar

Elektrodializatorlar üç sany kameradan ybarat bolup, olaryň arasy ýarym syzyp geçiriji membrana ýerleşdirilen diwarlar bilen bölünen. Ortaky kamerada kolloid ergin ýerleşdirilýär. Daşky kameralarda toga birikdirilen elektrodlar ýerleşýär. Tok berlenden soňra elektrodlara tarap ionlaryň hereketi başlanýar. Sistema toga birikdirilende, elektrolitler - kristalloidler päsgelçiliksiz ýarym syzyp geçirijiden geçip, deňişli elektroda toplanýarlar. Kolloidler bolsa, erginde galýarlar (11-nji surat). Elektrodializiň dowamlylygy sagat, minut hasabynda ölçenilýär.

Dializ usuly beloklaryň we beýleki ýokary molekulýar birleşmeleriň erginlerini erän duzlardan arassalamak, suwy duzsuzlandyrmak üçin ulanylýar.

**3. Ultrasüzülme usuly.** Ultrasüzülme usuly membranaly hadysalara deňişli bolup, ol basyş esasynda geçirilýär. Ol gaty öýjükli berkidijilere berkidilen ultra süzgüçlerde geçirilýär. Ultrasüzgüçleri taýýarlamak üçin sellofan ýa-da kolloid madda siňdirilen süzgüç kagyzlar ulanylýar. Ultrasüzülmede kolloid bölejikler süzgüçde galyp, elektrolitler eredijä geçýärler. Ultrasüzülme usuly diňe bir kolloid maddalary arassalamak üçin ulanylman, olary bölmek we konsentrimek üçin hem ulanylýar. Ultrasüzülme usulynyň kömegi bilen ýokary molekulýar birleşmeleri fraksiýalara bölüp bolýar.

Ultrasüzülme usulyny çaltlandyrmak üçin, ony basyşyň täsirinde geçirýärler. Basyşlaryň tapawudy ýa süzgüjiň aşagynda basyşy pesel-

dip, wakuumdaky ultrasüzülme ýa-da süzgüjiň ýokarsynda basyşy ýokarlandyrylyp, ýokary basyşly ultrasüzülme alynýar. Onuň üçin hem esasy hereketlendiriji güýç basyş. Biohimiýada ultrasüzülme usuly bilen beloklaryň, fermentleriň bölejikleriniň ölçegini kesgitleýärler. Mikrobiologiýada bolsa bu usul bilen wiruslaryň we bakteriýalaryň ölçeglerini giň gerimde öwrenýärler. Onuň üçin wiruslaryň suspensziýalaryny birnäçe gezek ultrasüzgüçlerden süzýärler we süzmekligiň soňky nokadyny kesgitleýärler hem-de öýjükleriň diametrine görä bölejigiň ölçegini kesgitleýärler. Dializ we ultrasüzülme membranalaryndan tapawutlylykda has ýuka, inçe öýjükli asetatsellýuloza öýjükleriniň ( $r = 10^{-9} m$ ) kömegi bilen hem ionlary saklap bolýar. Bu hadysa gipersüzülme diýilýär. Ony häzirki döwürde tebigy we tehniki suwlary arassalamakda ulanýarlar.

### DISPERS SISTEMALARYŇ MOLEKULÝAR-KINETIK HÄSIÝETLERI

#### 5.1. Dispers sistemalarda Broun hereketi

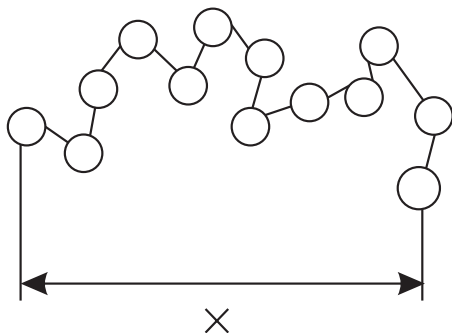
Dispers sistemalaryň molekulýar-kinetik häsiýetlerine bölejikleriň Broun hereketi, diffuziýa we osmos hadysasy degişli.

Molekulýar dispers sistemalarynda dispers fazanyň we dispers gurşawyň bölejikleri üznüksiz we tertipsiz ýylylyk hereketini amala aşyrýarlar. Şeýlelikde, ol sistemalarda molekulalaryň bir ýerden beýleki ýere göçmegi ýa-da öz-özünden diffuziýa sezewar bolmagyna gözegçilik edilýär.

Kolloid we mikroheterogen dispers sistemalarda dispers fazanyň bölejikleriniň ýylylyk hereketine Broun hereketi diýilýär. Bu herekete ilkinji gezek iňlis botanigi R.Broun tarapyndan gözegçilik edilipdir (1828). Ol gülüň suwuň üstündäki tozanjyklaryna mikroskopda gözegçilik edip, olaryň bitertip hereket edýändiglerini öwrenipdir. 1903-nji ýylda Zigmondi we Zidentorf ultramikroskopy oýlap tapyp, owunjak bölejikleriň irilerden has depginli hereket edýändiglerine gözegçilik edipdirler. Broun hereketiniň molekulýar-kinetik tebigatynyň bardygy, ýagny onuň, gurşawyň molekulalarynyň ýylylyk hereketi netijesinde, dispers fazanyň bölejiklerine urlup, olary herekete getirýändigini sebäpli bolup geçýändigini Eýnşteýniň (1905) we Smoluhowski-niň (1906) nazaryýet, Perreniň we Şwedbergiň iş tejribesinde subut edildi. Dispers fazanyň bölejikleriniň möçberiniň ulalmagy bilen olaryň inersiýasy artýar we netijede, olaryň Broun hereketine bolan ukyby peselýär. Dispers fazanyň bölejikleriniň diametri 5 *mkm*-den uly bolsa, onda olaryň Broun hereketine bolan ukyby ýitýär. Broun hereketi boýunça hereketlenýän bölejikleriň hereketiniň ugry we tizligi örän çalt üýtgeýär. Şonuň üçin olaryň wagt birliginde geçen ýolunyň hakyky bahasyny däl-de, eýsem, olaryň hereketiniň proyeksiýasyny kesgitlemek aňsat (12-nji surat). Hasaplama işlerinde kolloid bölejikleriň süýşme proyeksiýasynyň hakyky bahasy däl-de, onuň orta kwadrat bahasy ulanylýar  $\bar{x}$ :

$$\frac{\times_1^2 + \times_2^2 + \times_3^2 \dots \times_n^2}{n}, \quad (63)$$

bu ýerde  $\times_1 + \times_2 + \times_3, \dots, \times_n$  – gözegçilik edilen aýry-aýry süýşme proyeksiýalary,  $n$ –hasaplamak üçin alnan proyeksiýalaryň sany.



**12-nji surat.** Kolloid bölejigiň Broun hereketi

Dispers sistemalaryň Broun hereketi:

- atomyň we molekulanyň hakyky ýagdaýda bardygyny tas-syklady;
- termodinamikanyň II kanunyna statistiki taýdan subutnama boldy;
- $N_A$  – Awogadro sanyny ( $6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ ) hasaplamaga müm-kinçilik döretdi.

## 5.2. Dispers sistemalarda diffuziýa hadysasy

Bölejikleriň, tertipsiz, ýylylyk hereketi netijesinde, ulgamyň bütin göwrümi boýunça gyra deň ýaýramak hadysasyna diffuziýa diýilýär. Diffuziýa hadysasy özakymlaýyn geçýän, yzyna gaýtmaýan hadysa. Ol sistema boýunça bölejikleriň gyra deň ýaýramagyna çen-li geçýär. Bölejikleriň şeýle tertipsiz ýaýramagy sistemanyň ýokary entropiýasyna laýyk gelýär.

Diffuziýa netijesinde maddanyň bellibir massasynyň bir ýerden beýleki ýere göçürilmegi görnüşi boýunça ýylylygyň ýa-da elek-trik togunyň geçirilişine meňzeş. Şu meňzeşlik esasynda 1855-nji ýylda şweýsar alymy Fuk diffuziýanyň birinji kanunyny kesgitledi.

Bu kanuna görä, diffuziýa sezewar bolan maddanyň göçürilen mukdary ( $dm$ ) diffuziýa koeffisiýentine ( $D$ ), diffuziýanyň geçýän kese kesiginiň meýdanyna ( $S$ ), konsentrasiýanyň gradiýentine ( $dc/dx$ ) we diffuziýanyň geçýän wagtyna ( $dt$ ) göni proporsionaldyr:

$$dm = - DS \, dc/dx \, dt. \quad (64)$$

Deňlemäniň sag tarapyndaky minus alamaty konsentrasiýanyň gradiýentiniň minus alamaty alyandygy sebäpli goýlan.

Ýokarky deňleme boýunça diffuziýa koeffisiýentiniň fiziki manysyny çykaryp bolýar, ýagny  $S = 1$ ,  $dc/dx = 1$ ,  $dt = 1$  bolanda,  $dm = D$

1908-nji ýylda Eýnşteýn tarapyndan diffuziýa koeffisiýentini absolýut temperatura, dispers gurşawyň şepbeşikligi we dispers fazanyň bölejikleriniň radiusy bilen baglanyşdyrýan deňleme hödürledi. Stasionar şertlerdäki diffuziýanyň tizligi hemişelik. Diffuziýanyň tizliginiň hemişeligi kolloid bölejigi hereketlendirýän güýjüň ( $f$ ) oňa garşy gönükdirilen sürtülme güýjüne ( $f^1$ ) deňleşýändigini bilen düşündirilýär:

$$f = f^1.$$

Bir kolloid bölejigiň paýyna düşýän hereketlendiriji güýç aşakdaky deňleme bilen aňladylyp bilner:

$$f = - \frac{RT}{SCN_A} \cdot \frac{dc}{dx}, \quad (65)$$

bu ýerde  $C$  – konsentrasiýa.

Sürtülme güýç bolsa, kolloid bölejik bilen gurşawyň arasyndaky sürtülme koeffisiýentiniň şol bölejigiň hereketiniň tizligine köpeldilmegine deňdir:

$$f^1 = BU. \quad (66)$$

Togalak görnüşli bölejikler üçin sürtülme koeffisiýentiniň bahasy Stoksyň kanuny boýunça tapylýar:

$$B = 6\pi\eta r,$$

bu ýerde  $\eta$  –gurşawyň dinamiki şepbeşikligi,  $r$  – bölejigiň radiusy.



Onda (65) we (66) deňlemelerden aşakdaky deňlemäni alarys:

$$-RT/SCN_A \cdot dc/dx = BU. \quad (67)$$

(67) deňlemäni täzeden şeýle ýazyp bileris:

$$CU = -RT/SN_a \cdot dc/dx \cdot 1/B,$$

bu ýerde  $CU$  - wagt birliginde kese kesigiň meýdanynyň birliginiň üstünden diffuziýa netijesinde maddanyň göçürilen mukdary ( $m$ ).  
Şonuň üçin:

$$m = -RT/SN_A \cdot dc/dx \cdot 1/B. \quad (68)$$

Edil şeýle şertler üçin Fukuň deňlemesini aşakdaky ýaly ýazmak bolar:

$$m = -Ds \cdot dc/dx. \quad (69)$$

(68) we (69) deňlemelerden aşakdaky deňlemäni alarys:

$$-DS \cdot dc/dx = -RT/SN_A \cdot dc/dx \cdot 1/B.$$

Şu deňlemäni diffuziýanyň koeffisiýentine görä çözsek, alarys:

$$D = RT/N_A \cdot 1/B = RT/N_A 6\pi\eta r = kT/6\pi\eta r. \quad (70)$$

Soňky alnan (70) deňlemä Eýnşteýniň deňlemesi diýilýär. Bu deňlemä görä diffuziýanyň koeffisiýenti absolýut temperatura göni proporsionaldyr, gurşawyň şepbeşikligine we bölejikleriň radiusyna ters proporsional. Eýnşteýniň deňlemesiniň kömegi bilen Awogadronyň sanyny, şonuň ýaly-da molekulanyň hakykatdan hem bardygyny subut edip bolýar. Molekulýar massany kesgitlemek üçin, aşakdaky deňlemeden peýdalanylýar:

$$M = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho N_A. \quad (71)$$

Kolloid bölejikleriň möçberiniň molekulalara garanyňda has iridigi sebäpli, olar üçin diffuziýanyň koeffisiýenti has kiçi. Kolloid bölejikleriň Broun hereketi bilen hereketlenýändigini sebäpli, diffuziýa sezewar bolýarlar. Broun hereketi bilen diffuziýanyň arasyndaky baglanyşyk 1905-nji ýylda Eýnşteýn, 1906-njy ýylda Smoluhow-

skiý tarapyndan kesgitlenen. Bu baglanyşyk aşakdaky deňleme bilen aňladylýar:

$$\overline{\chi}^2 = 2D\tau. \quad (72)$$

(70) deňlemeden diffuziýanyň koeffisiýentiniň bahasyny (72) deňlemede ýerinde goýsak, onda aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\overline{\chi}^2 = \frac{2kT\tau}{6\pi\eta r} = \frac{kT\tau}{3\pi\eta r}. \quad (73)$$

Soňky (73) deňlemä Eýnşteýniň – Smoluhowskiniň deňlemesi diýilýär. Ž. Perren we T. Swedberg Eýnşteýniň – Smoluhowskiniň deňlemesini eksperimental usullar bilen barlap, onuň dogrudygyny subut etdiler hem-de şu deňlemeden peýdalanyň, gyrađeň möçberli kolloid bölejikleriň süýşme proyeksiýasy boýunça, Awogadronyň sanyny kesgitlediler.

### 5.3. Dispers sistemalarda osmos hadysasy

Kolloid erginlerine osmos hadysasy hem mahsusdyr. Eger-de konsentراسiýasy boýunça tapawutlanýan iki sany ergin biri-birinden ýarym syzyp geçiriji membrana bilen bölünse, onda eredijiniň molekulalarynyň pes konsentراسiýaly erginden uly konsentراسiýaly ergine tarap birtaraplaýyn hereketine gözegçilik edilýär. Bu hadysa osmos hadysasy diýilýär. Osmos – bu eredijiniň molekulalarynyň ýa-da dispers gurşawyň molekulalarynyň birtaraplaýyn diffuziýasy. Osmos basyşy – bu ergine eredijiniň geçişiniň tamamlanmagy üçin edilýän basyş. Osmos hadysasy diňe bir iki dürli konsentراسiýaly erginleri däl-de, eýsem, ergin bilen arassa eredijini ýarym syzyp geçiriji membrana bilen bölünende hem ýüze çykýar. Osmos hadysasy netijesinde ýüze çykýan basyş erginde eredilen maddanyň tebigatyna däl-de, eredilen bölejikleriň sanyna bagly. Want-Goffyň kanunyna görä, erginiň osmos basyşy erginde eredilen maddanyň konsentراسiýasyna we absolýut temperatura göni proporsional:

$$P = CRT. \quad (74)$$

Kolloid erginler üçin konsentراسiýa (C) derek göwrüm birligindeki bölejikleriň sany boýunça konsentراسiýa diýen düşüňjeden peýdalanylýar (v):

$$C = \nu/NA.$$

Onuň bahasyny (74) deňlemede ýerinde goýsak, alarys:

$$P = \nu kBT. \quad (75)$$

Deňlemeden görnüşi ýaly, birmeňzeş agram konsentrasiýaly hakyky ergin bilen kolloid ergini deňeşdirilende, kolloid erginleriň göwrüm birligindäki bölejikleriň sany ýa-da bölejikleriň sany boýunça konsentrasiýasy örän az. Şonuň üçin, ol erginleriň osmos basyşy hakyky erginleriňkä garanynda has pes. Eger-de ergine  $\pi$  -den ýokary basyş berilse, onda hadysa tersine gidýär.

Ösümlikleriň we haýwanlaryň bedenindäki erginler biri-birlerinden ýarym geçiriji membrana bilen bölünen. Şol membrananyň üstünden diňe bir eredijiniň molekulalary däl-de, erginde bar bolan elektrolitleriň ionlary hem geçip bilýärler. Membrananyň üstünden möçberi uly bolan ýokary molekulaly elektrolitleriň ionlary (polionlar) geçip bilmeýärler.

#### 5.4. Sedimentasiýa we onuň kanunalaýyklyklary

Erkin dispers sistemalarda dispers fazanyň bölejikleri dispers gurşawyň ähli göwrümünde erkin garyşyp bilerler. Şular ýaly sistemalarda molekulýar – kinetik häsiýeti bilen sedimentasiýanyň umumy kanunalaýyklyklary ýüze çykarylýar. Suspenziýa, emulsiýa, aerosol ýaly sistemalarda, esasan hem, gowşadylan ýagdaýlarynda dispers fazanyň bölejiginiň çökmegi ýa-da gurşawyň ýüzüne çykmagy mümkin. Dispers fazanyň bölejiginiň çökmegine sedimentasiýa diýilýär. Sistemada her bir bölejige agyrlyk güýji (grawitasiýa) we oňa ters bolan Arhimediň güýji täsir edýär:

$$F_g = mg = \nu \rho g, \quad (76)$$

$$F_a = \nu \rho_0 g, \quad (77)$$

bu ýerde  $m$  - bölejigiň massasy,  $\nu$  - bölejigiň göwrümi,  $g$  - erkin gaçma tizlenmesi,

$\rho, \rho_0$  - dispers fazanyň we dispers gurşawyň bölejiginiň dykyzlygy.

Bu güýçler hemişelikdir we gapma-garşydyrlar. Sedimentasiýany emele getirýän güýji şeýle aňlatmak bolar:

$$F_{\text{sed}} = F_g - F_a = v(\rho - \rho_0)g. \quad (78)$$

Eger - de  $\rho > \rho_0$  bolsa, onda  $F_{\text{sed}} > 0$  we bölejik çöker.

Eger - de  $\rho < \rho_0$  bolsa, onda  $F_{\text{sed}} < 0$  we bölejik gurşawyň ýüzüne çykar. Bu hadysa gaz we suwuk emulsiýalarda gabat gelýär.

Suwuklyklardaky bölejiklere, onuň tizligine proporsional bolan sürtülme güýji täsir edýär. Ýagny:

$$F_{\text{sürt}} = BU, \quad (79)$$

$$B = 6\pi\eta r,$$

bu ýerde  $B$  - sürtülme koeffisiýenti,  $u$  -bölejigiň hereketiniň tizligi.

Şeýlelikde, bölejigiň hereket edýän wagtynda oňa täsir edýän güýç şeýle aňladylýar:

$$F = F_{\text{sed}} - F_{\text{sürt}} = v(\rho - \rho_0)g - BU. \quad (80)$$

Bölejik sistemada ilki  $F$  güýjüň täsirinde uly tizlik bilen hereket edýär. Tizligiň ulalmagy bilen sürtülme koeffisiýenti ulalyp, sürtülme güýji sedimentasiýa güýjüne gabat gelýär. Şondan soňra bölejigiň tizligi hemişelik bolup, ony  $F = 0$  şertden kesgitlemek bolar:

$$U = \frac{v(\rho - \rho_0)g}{B}. \quad (81)$$

Bölejikleriň sedimentasiýa ukyplylygyny sedimentasiýa koeffisiýenti bilen aňlatmak kabul edilen. Ol sedimentasiýanyň tizligi bilen kesgitlenýär:

$$S_{\text{sed}} = \frac{U}{g} = \frac{v(\rho - \rho_0)}{B}. \quad (82)$$

Sedimentasiýany ultramikroheterogen sistemalarda has giňden öwrenmek üçin rus alymy Dumanskiý (1912) merkeze ymtylýan güýjüň täsir edýän meýdanyny hödürledi. Bu usuly şwed alymy Swedberg önümçilige girizmek bilen, iş ýüzüne geçirdi.

Merkeze ymtylýan güýç  $F_m$  we tizlenme  $a$  hereket edýän bölejigiň traýektoriasynyň egriligine proporsional:

$$F_m = v(\rho - \rho_0)a = \frac{v(\rho - \rho_0)U^2}{R} = v(\rho - \rho_0)\omega^2 R, \quad (83)$$

bu ýerde  $R$  – bölejigiň traýektoríasynyň radiusy,  $w = \frac{U}{R}$  - burç tizligi.

Sedimentasiýa wagtynda  $F$  sürt we  $F_m$  deňagramlylygyny şeýle ýazmak bolar:

$$\frac{BdR}{d\tau} = \nu(\rho - \rho_0)w^2R, \quad (84)$$

bu ýerde  $R$ - üýtgäp durýan radius,  $\frac{dR}{d\tau}$  – sedimentasiýanyň tizligi.

$F_m \gg F_g$  bolsa we dispers fazanyň diffuziýasy hasaba alynmasa, bu deňleme ulanarlyklydyr. Deňlemeden görnüşi ýaly, merkeze ymtylýan güýjüň täsir edýän meýdanynda sedimentasiýanyň tizligi radiusa proporsionallykda ulalýandyr. Şeýle hem sedimentasiýanyň tizligi burç tizligine ýa-da  $w = 2\pi\nu$  sentrifuganyň aýlanmak ýygyllygyna bagly.

## 5.5. Dispersililigiň barlag usullary

Maddalaryň dispersililiginiň barlagy gadym wagtdan bäri bellidir, ýagny arassa boýaglary almak, unuň tagamly bolmagy, keramiki işler we ş.m. maddalaryň dispersililigini bilmek zerur bolupdyr. Häzirki wagtda hem dispersililigiň barlagy önümçilikde esasy meseleleriň biri bolup, onuň dürli usullary işlenilip düzülen.

Dispersililigiň barlag usullary – bu bölejikleriň ölçegini kesgitlemek usullarynyň jemidir. Dispersililigiň barlag ýokary we gödek dispers sistemalarda amal edilýänligi bilen häsiýetlendirilýär. Ýokary dispers sistemalaryň dispersililigini häsiýetlendirmeklik üçin, olaryň bölejikleriniň ortaça, radiusyny kesgitlemek ýeterlik, meselem, diffuziýa, osmos we diffuziýa–sedimentasiýa deňagramlylyk hadysalarynyň arasynda. Gödek dispers sistemalary häsiýetlendirmek üçin nusganyň fraksiýalar boýunça düzümini kesgitlemek hem-de bölejikleriň ölçegleriniň bölüniş çyzygysyny çyzmak ýeterlik. Disperslilik barlag usullarynyň üç sany topary belli:

- bölejikleriň aýratyn parametrlerini kesgitlemeklik (ölçegini, massasyny we ş.m.) (mikroskobyň kömegi bilen barlag geçirmeklik);
- mehaniki usullar bilen bölejikleriniň ölçegine görä dispers sistemany toparlara bölmek (eleme usuly);

– bölejikleriň häsiýetini kesgitlemek (sedimentasiýa barlag usuly).

Olardan ýönekeýi hem-de giň ýaýrany sedimentasiýa barlag usulydyr. Sedimentasiýa usulynyň talaplary şulardan ybarat:

- bölejikleriň çöküş tizligine suwuklygyň asuda ýagdaýynda gözegçilik etmeli;
- suwuklygyň akyp duran ýagdaýynda dispers fazany, bölejikleriniň ölçegine görä fraksiýalara bölmeklik bilen, suspenziýany bulamaly;
- howa separasiýasynyň kömegi bilen külleri fraksiýalara bölmeli.

Birinji talap ylmy – barlag işlerinde köp ýagdaýlarda ulanylýar. Şu ýagdaýa görä sedimentasiýanyň tizligini kesgitlemek birnäçe tejribe usullar bilen geçirilýär. Olar:

- mikroskop usuly. Mikroskobyň kömegi bilen bölejikleriň çöküşine gözegçilik etmek;
- çekim usuly. Gapda çökündiniň ýygnanyş tizligi boýunça;
- dispers fazanyň konsentrasiýasynyň bellibir çuňlukda üýtgeýşi bilen nusga almak usuly;
- çökündiniň çöken wagtyndaky gidrostatik basyşynyň ýa-da dykzlygynyň üýtgemegi boýunça kesgitlenilişi (gidrostatik usul).

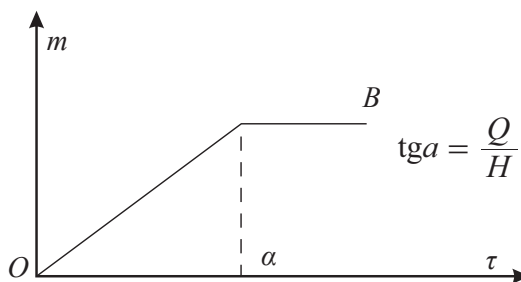
Dispersliligiň sedimentasiýa barlag usulynyň maksady adaty suwuk gurşawda bölejikleriň çöküş tizligini kesgitlemekden ybarat. Sedimentasiýa usulyny monodispers sistemalaryň mysalynda seretmek amatly. Monodispers sistemada ähli bölejik birmeňzeş tizlik bilen çökýär. Eger-de  $Q$  - dispers fazanyň umumy massasy,  $H$  – suspenziýanyň gapdaky başlangyç beýikligi bolsa, onda  $\frac{Q}{H}$  – göwrümiň bir birligindäki  $m$  - massasydyr. Bölejigiň  $\tau$  wagtdaky çökmek tizligi  $u$  bolsa, çökýän maddanyň massasy:

$$m = \frac{Q}{H} u \tau. \quad (85)$$

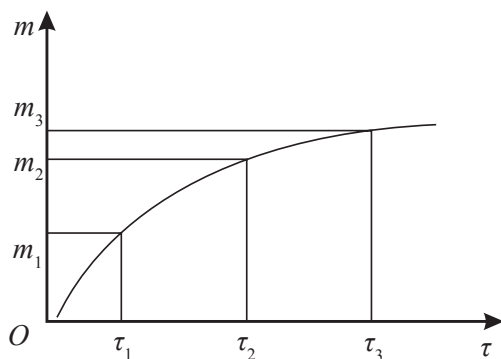
Bu deňleme monodispers sistemadaky sedimentasiýanyň kinetikasyny aňladýar. Ýagny  $Q$ ,  $H$  we  $u$  hemişelikdirler, onda çökýän bölejigiň massasy sedimentasiýanyň wagtyna proporsional.

Şeýlelikde, çökýän maddanyň massasynyň wagta baglylygyny kesgitlep, bölejigiň ölçegini hasaplap bolar (13-nji surat).  $\operatorname{tg} \alpha = \frac{Q}{H}$  – dispers fazanyň çökme tizligini häsiýetlendirýär.

Monodispers sistemadan tapawutlylykda polidispers sistemada bölejikler dürli tizlik bilen çökýärler. Sebäbi olaryň ölçegi deň bolmaýar. Bu ýagdaýda dispersliligiň sedimentasiýa barlagy geçirilende, sistemany birnäçe fraksiýalardan, ýagny monodispers sistemalardan ybarat diýlip kabul edilen. Polidispers sistema näçe köp fraksiýalara bölünýän bolsa, olar üçin monodispers sistemanyň deňlemesini ulanmak mümkinçiligi ýokary. Onuň üçin ilki çökýän maddanyň wagta baglylygynyň, ýagny sedimentasiýanyň çyzygysy gurulýar (14-nji surat).



**13-nji surat.** Monodispers sistemalaryň sedimentasiýasynyň çyzygysy



**14-nji surat.** Polidispers sistemalaryň sedimentasiýasynyň çyzygysy

Bölejigiň ölçegi näçe kiçi bolsa çyzygy hem şonça kiçi.

Çökündiniň  $\tau$  – wagtdan soňra umumy massasyny şeýle kesgitlemek bolar:

$$m = k_1 \tau + k_2 \tau + k_3 \tau + \dots = (k_1 + k_2 + k_3 + \dots) \tau, \quad (86)$$

bu ýerde  $k$  -proporsionallyk koeffisiýenti.

Bu deňleme birinji fraksiýa degişli bolup, soňkular üçin:

$$m = m_1 + (k_2 + k_3 + \dots)\tau,$$

$$m = m_1 + m_2 + (k_3 + k_4 + \dots)\tau$$

we ş.m.

Umuman, çyzgynyň islendik nokadyndaky sedimentasiýanyň deňlemesini ýokarky deňlemeleriň dowamy hökmünde şeýle ýazmak bolar:

$$m = m_i + \frac{d_m}{d_\tau} \tau_i. \quad (87)$$

Bu deňlemä Odeniň deňlemesi diýilýär. Ol polidispers sistemalarda bölekleriň ölçegi boýunça bölünmeginiň çyzgy usulynyň deňlemesi.

## 5.6. Sedimentasiýa – diffuziýa deňagramlylygy

Dispers sistemalaryň sedimentasiýasyna seredilende, diffuziýanyň şol hadysanyň öňüni alyp biljekligi barada giňden bellenişler (grawitasiýa meýdanda).

Diffuziýa sedimentasiýa täsir edýän ýagdaýynda ýokarky gatlakda hususy  $\nu$  konsentrasiónyň kiçelmegine, aşaky gatlakda bolsa ulalmagyna getirýär. Ýagny diffuziýa akymy aşakdan ýokarlygyna bolup, ony Eýnşteýniň deňlemesini hasaba alyp, şeýle ýazmak bolar:

$$i_{\text{diff}} = \frac{Q}{S_\tau} = -D \frac{d\nu}{dx} = -\frac{kBT}{B} \cdot \frac{d\nu}{dx}. \quad (88)$$

Sedimentasiýa akymy bolsa, ýokardan aşak ugrukdyrylyp, ony şeýle ýazyp bolýar:

$$i_{\text{sed}} = u\nu = \frac{\nu g(\rho - \rho_0)}{B} \nu. \quad (89)$$

Diffuziýanyň akymy bilen sedimentasiýanyň akymynyň arasyndaky mukdar gatnaşygy ýokarky deňlemeleri gatnaşdyryp almak bolar:



$$\frac{i_{\text{diff}}}{i_{\text{sed}}} = - \frac{k_B \cdot T}{v(\rho - \rho_0)gv} \cdot \frac{dv}{dx}. \quad (90)$$

Bu deňlemeden görnüşi ýaly, dispers sistemalardaky bölejikleriň ýagdaýyny olaryň ölçegi we dispers fazanyň hem-de dispers gurşawyň bölejikleriniň dykzlygynyň tapawudy bilen kesgitlenilýär. Bu tapawut näçe uly boldugyça, sedimentasiýanyň täsiri bölejikleriň ýylylyk hereketinden şonça uly. Ondan başga-da, bölejigiň ölçeginiň ulalmagy bilen sedimentasiýanyň akymy artýandyr  $i_{\text{sed}} \sim v$  we diffuziýa akymy peselýär:

$$i_{\text{sed}} \sim \frac{1}{V}, \quad i_{\text{diff}} \gg i_{\text{sed}}.$$

Bu ultramikroeterogen sistemalar üçin häsiýetli. Onda sedimentasiýany hasaba almasa hem bolar. Eger-de  $i_{\text{sed}} \gg i_{\text{diff}}$ , mikroeterogen sistemalar emele gelýär. Onda diffuziýany hasaba almasa hem bolar. Iri dispers sistemalarda bolsa sedimentasiýa çalt geçýär. Ýagny bölejigiň ölçegi  $\approx 10 \text{ mkm}$  we uludyr. Bu gatnaşyk dispers sistemalary klassifikasiýalaşdyrmak üçin hem ulanylýar.

Zollarda kesgitli, kähalatlarda bolsa örän köp wagtdan soň diffuziýa akymy sedimentasiýa akymyna deň bolýar:  $i_{\text{diff}} \gg i_{\text{sed}}$ . Ýagny diffuziýa – sedimentasiýa deňagramlylyk ýagdaýy ýüze çykýar. Bu deňagramlylykda sistemada dispers fazanyň beýiklik boýunça bölünmegi bolmaly. Bu bölünmegi  $i_{\text{diff}} \gg i_{\text{sed}}$ , ýagdaýynda kesgitlemek üçin  $x$  ululygy  $h$  ululyga, ýagny beýiklige çalşyp alarys:

$$-k_B T \frac{dv}{dh} = v(\rho - \rho_0)gv. \quad (91)$$

Üýtgeýän ululyklary bölüp alarys:

$$\frac{dv}{v} = - \frac{v(\rho - \rho_0)g}{k_B T} dh. \quad (92)$$

Deňlemäni  $v_0 - da \ v_h - a$  we  $h=0$  - dan  $h$ -a çenli integrirläp alarys:

$$\ln \frac{v_h}{v_0} = - \frac{v(\rho - \rho_0)gh}{k_B T}. \quad (93)$$

Ýa-da

$$v_h = v_0 \exp\left(- \frac{v(\rho - \rho_0)gh}{k_B T}\right). \quad (94)$$

Bu P. Laplasyň bölünmek kanunyna gabat gelýär.

Diffuziýa–sedimentasiýa deňagramlylygynda bölejikleriň bölünmek kanuny Ž.Perren tarapyndan eksperimental tassyklanyldy. Şeýle hem diffuziýa – sedimentasiýa deňagramlylygy merkeze ymtylýan güýjüň täsir edýän wagtynda hem ýüze çykýar. Bölejikleriň merkeze ymtylýan güýjüň ugruna bölünmeginiň deňlemesini almak üçin Bolsmanyň kanuny ulanylýar. Ýagny hemişelik burç tizligi wagtynda bölejigiň energiýasy şeýle bolar:

$$E = E_0 \frac{v(\rho - \rho_0)\omega^2 x^2}{2}, \quad (95)$$

bu ýerde  $E_0$  - aýlaw okundaky bölejigiň energiýasy,  $x$  –bölejigiň aýlaw oky bilen aradaşlygy.

Aýlaw okundan  $x_1$  we  $x_2$  daşlykdaky hususy konsentrasiýalaryň gatnaşygy  $L$ . Bolsmanyň kanunyna laýyklykda aşakdaka deň:

$$\frac{v_1}{v_2} = \exp \frac{v(\rho - \rho_0)\omega^2(x_1^2 - x_2^2)}{2k_B T}. \quad (96)$$

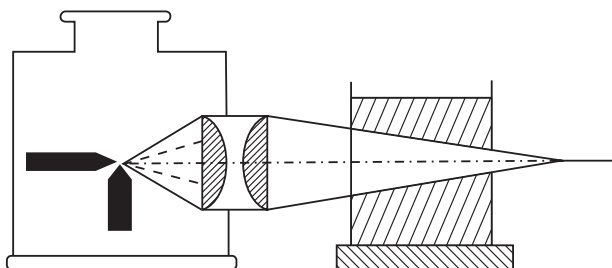
Bu deňleme polimerleriň molekulýar massasyny kesgitlemek üçin peýdalanylýar. Ýagny  $M = N_A v \rho$  deňlikden ugur alyp ýazarys:

$$M - \frac{2RTn \frac{v_1}{v_2}}{(1 - \frac{\rho_0}{\rho})\omega^2(x_1^2 - x_2^2)}. \quad (97)$$

### DISPERS SISTEMALARYŇ OPTIKI HÄSIÝETLERI

#### 6.1. Dispers sistemada ýagtylygyň ýaýramagy

Dispers sistemalaryň üstünden ýagtylyk şöhlesi goýberilse, dispers fazanyň bölejikleriniň möçberine baglylykda, onuň geçip gitmegi, pytradylmagy, siňdirilmegi (adsorbsiýasy), serpikmegi we beýleki hadysalaryň ýüze çykmagy bolup geçýär. Kolloid bölejikleriň ululygy (togalak şekilli bölejikleriň diametri, kub şekilli bölejikleriň gapyrgasynyň uzynlygy) ýagtylygyň tolkun uzynlygyna golaý bolany sebäpli, olara ýagtylygy pytratmak we adsorbirlemek (siňdirmek) mahsus. Ýagtylygyň tolkun uzynlygy  $0,4-0,7\text{ mkm}$  – e deňdir, kolloid bölejikleriň ululygy bolsa,  $0,1-1\text{ mkm}$  (ýa-da  $10^{-5}-10^{-7}\text{ sm}$ ) çemesi. Şeýlelikde, kolloid bölejikleriň ululygy ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan kiçi. Şonuň üçin, dispers sistemalaryň üstünden ýagtylyk şöhleleri goýberilse, ýagtylyk şöhleleri kolloid bölejikleriň daşyndan aýlanyp geçýärler we şonda onuň pytramagyna we adsorbsiýasyna gözegçilik edilýär. Difraksiýaly ýagtylygyň pytramagyny M.W. Lomonosow öwrenipdir. 1857-nji ýylda Faradeý bu ýagdaýy altynyň zolunda we 1868-nji ýylda has düýpli difraksiýa hadysasy suwuklyk we gaz gurşawda Tindal tarapyndan gözegçilik edilipdir. Garaňky ýerligi bolan ekranda hakyky we kolloid erginleri gezekleşdirip ýerleşdirip, olaryň üstünden ýagtylyk şöhlesini goýberseň, onda hakyky erginiň optiki durudygyny, kolloid ergininiň bolsa ýagtylyk şöhleleriniň geçýän ýeriniň konus şekilli şöhlelenýändigini görmek bolýar (*15-nji surat*). Şol hadysa ilkinji bolup gözegçilik edendikleri üçin, alymlaryň hatyrasyna Tindalyň -Faradeýiň netijesi diýip at beripdirler. Bu hadysada kolloid bölejikleri ýagtylyk şöhlesini pytradyp, özleri ýagtylanýan nokatlyklar ýaly bolup görünýärler. Şeýlelikde, ýagtylyk şöhlesini kolloid erginleri tanamak üçin indikator hökmünde peýdalanmak bolar.



15-nji surat. Faradeýiň – Tindalyň netijesi

## 6.2. Dispers sistemalarda ýagtylygyň pytradylmagy we siňdirilmegi

Iňlis alymy D. Releý 1871 – nji ýylda dispers sistemalaryň ýagtylyk şöhlelerini pytratmak häsiýetini öwrenýär hem-de onuň aşakdaky şertleri kanagatlandyrmalydygyny belleýär:

1. Pytradylan bölejikler örän kiçi bolup, olaryň iň uly bölegi düşýän ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan 30 esse az bolmaly;
2. Bölejikler elektrik toguny geçirmeýärler hem-de optiki taýdan izotrop we reňksizdir;
3. Bölejikleriň konsentrasiýasy az bolup, olaryň arasyndaky aralyk düşýän ýagtylygyň tolkun uzynlygyndan birazrak uly bolmaly;
4. Pytraýan ýagtylyk şöhlesi geçýän dispers sistemanyň göwrümi kiçi bolmaly.

Releýiň kesgitleýşi boýunça, ýagtylygyň pytradylyşy, dispers fazanyň bölejiklerinde üýtgeýän (ossillirleýji) dipol momentiniň  $\mu(t)$  ýüze çykmagy bilen baglanyşykly bolup, aşakdaky deňleme bilen kesgitlenilýär:

$$I_V = 9\pi^2 \left( \frac{n^2 - n_0^2}{n^2 + 2n_0^2} \right)^2 \frac{nV^2}{R^2 \lambda^4} \sin^2 \varphi I_0, \quad (98)$$

bu ýerde  $n$  we  $n_0$  - dispers fazanyň bölejikleriniň we dispers gurşawyň döwürleme görkezijileri,  $V$  - dispers sistemanyň göwrümi,  $n$  - dispers fazanyň bölejikleriniň konsentrasiýasy,  $R$  - dispers sistemanyň pytradylýan göwrümi bilen ýagtylygyň pytraýan ýeriniň aralygy,  $\lambda$  - düşýän ýagtylygyň tolkun uzynlygy,  $\varphi$  - üýtgeýän dipolyň oky bilen pytraýan ýagtylygyň tolkunynyň ugrunyň arasyndaky burç.

Releýiň kanuny dispers sistemalaryň optiki gözegçilik usullarynda ulanylýar.

Bu kanun elektrik toguny geçirmeýän bölejikler üçin dogrudyr. Releýiň kanuny bilen geçirilen barlaglar, onuň ulanyş derejesiniň çäklidigini subut etdiler. Ýagny:

Bu kanun dispers fazasy elektrik toguny geçirmeýän zollara mahsus;

Releýiň kanuny ölçegi  $5 - 100 \text{ nm}$  bolan zollara degişli.

Ýagtylygyň pytramagynyň intensiwligi dispers fazanyň we dispers gursawyň döwülme görkezijileriniň tapawudyna bagly. Döwülme görkezijisi deň bolanda ýagtylyk pytramaýar. Eger – de döwülme görkezijiler tapawutlanýan bolsalar, onda sistema açyk ýagty reňk bilen reňklenýär.

Releýiň deňlemesi dispers sistemalarda ýagtylygyň pytramak häsiýetini optiki öwrenmeklige esaslanan.

Molekulýar erginler we kolloid erginler ýagtylygy adsorbirleýşi (siňdirişi) boýunça biri-birine golaýdyrlar, ýagny olaryň ikisi üçin hem Lambertiň-Beýeriň kanuny dogrudyr. Bu kanun aşakdaky deňleme bilen ýazylyp beýan edilýär:

$$I = I_0 e^{-kc\delta}, \quad (99)$$

bu ýerde  $I$  - erginiň üstünden geçen ýagtylygyň intensiwligi,  $I_0$  - erginiň üstüne düşýän ýagtylygyň intensiwligi,  $c$  – erginiň konsentrasiýasy,  $\delta$  - erginiň gatlagynyň galyňlygy,  $k$ - siňdiriş koeffisiýenti.

Kolloid erginlerinde şol bir wagtda pytradylmak we adsorbsiýa hadysalaryna gözegçilik edilýändigini sebäpli, Lambertiň-Beýeriň deňlemesine ýagtylygyň pytradylmagyny hasaba alýan düzediş girizmeli bolýar:

$$I = I_0 e^{-kc\delta \frac{v^2}{\lambda^2}}. \quad (100)$$

### 6.3. Reňkli dispers sistemalar

Metallaryň zollary üçin has çylşyrymly kanunalaýyklyk mahsus. Ýagtylyk tolkunlarynyň üýtgäp durýan elektromagnit meýdany metallaryň bölejiklerinde elektrik toguny ýüze çykarýar. Şol ýüze çy-

kan toguň bir bölegi ýylylyga öwrülýär we netijede, ýagtylygyň ep-esli siňdirilmegine gözegçilik edilýär. Ýagtylygyň siňdirilmegi elektrik toguny geçirmeýän bölejiklerde hem gözegçilik edilýän hadysalaryň biridir. Mysal üçin, berlin lazurynyň zoly, ýagtylygyň siňdirilýändigini sebäpli, ýiti gök reňklidir.

Metallaryň zollarynyň ýagtylygy siňdirmeginiň saýlaýjylyk häsiýeti bardyr. Ol saýlaýjylyk dispersililigiň funksiýasydyr, ýagny dispersililigiň artmagy bilen ýagtylygyň siňdirilmegi gysga tolkunly tarapa süýşýär. Şonuň üçin hem ýokary dispersililigi bolan altynyň zolunyň intensiw gyzyly (ýiti gyzyly) reňki bar, dispersililigi pes bolsa, gök-mawy reňkli bolýar. Şu sanalan reňkler geçýän şohläniň reňki bolup, pytradylyan şohläniň reňki degişlilikde, gök we gyzyly bolýar. Swedbergiň gözegçiliklerine görä, örän ýokary disperslilikli altynyň zollary sary reňkli bolýar ( $\text{AuCl}_3$ ). Aşgar metallaryň organiki zollarynyň reňki metallaryň buglarynyň reňkine meňzeş, bu ýagdaýy kolloid erginleriň yzygider molekulýar erginlere geçmekligi bilen düşündirmek bolar.

Düzümünde ýokary dispers ýagdaýyndaky metallary saklaýan gymmat bahaly daşlaryň (minerallaryň) reňki hem olaryň ýagtylygy pytradyşynyň we adsorbsiýasynyň saýlaýjylyk häsiýetlerine bagly. Tüsse görnüşli kwars, ametis, sapfir - kwarsyň dürli reňkli görnüşleri. Olarda  $\text{SiO}_2$  –niň gözeneklerinde degişlilikde Mn, Fe we beýleki metallaryň dispergirlenendigi sebäpli, şol görnüşlere eýe bolýar. Rubin – hromuň ýa-da altynyň  $\text{Al}_2\text{O}_3$  –däki kolloid erginleri. Rubiniň optiki häsiýetleri lazer tehnikaşynda ulanylýar. Emeli rubin, bu altynyň aýna erginindäki dispers sistemasy.

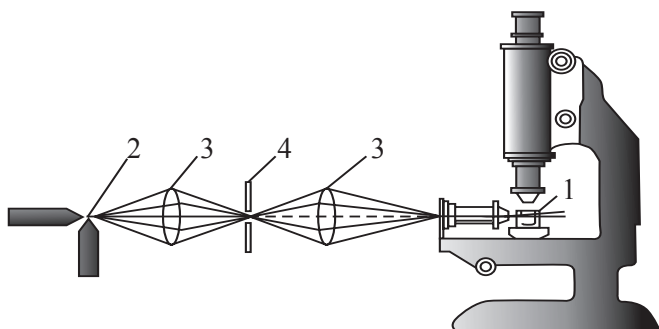
Esasyny metal birleşmeleri eýeleýän dispers sistemalar dürli reňkleri kabul edýärler. Mysal üçin,  $\text{As}_2\text{S}_3$  açyk-sary,  $\text{Sb}_2\text{S}_3$  – melewşe,  $\text{Fe}(\text{OH})_3$  gyzylymtyl – goňur, altyn – açyk – gyzyly we ş.m.

#### 6.4. Dispers sistemalaryň optiki gözegçilik usullary

Dispers sistemalaryň optiki gözegçilik usullaryna absorbsiometriýa, turbidimetriýa, ultramikroskopiýa, nefelometriýa we elektron mikroskopiýa degişli. Dispers sistemalaryň we ýokary molekulýar

birleşmeleriň erginleriniň gurluşyny we häsiýetlerini öwrenmäge mümkinçilik berýän uniwersal, netijeli we giňden ulanylýan usullara ýagtylygy pytratmak barlaglary degişli. Releýiň deňlemesini ulanyp bolýan sistemalarda peýdalanylýan usullar, geçýän ýagtylygyň intensiwliginiň peselmegine (absorbsiometriýa, turbidimetriýa) esaslanýarlar we bellibir burç esasynda pytradylmagy bilen ýagtylygyň intensiwligini kesgitlemeklige (nefelometriýa) degişli.

Ultramikroskop 1903-nji ýylda Zidentopf we Zigmondi tarapyndan oýlanyp tapylýar.



**16-njy surat.** Ultramikroskop:

1 – ergin, 2 – ýagtylyk çeşmesi, 3 – linza, 4 – diafragma

Ol adatdaky mikroskopdan garaňky ýerligi bolan ekranda ýerleşdirilen kolloid ergine gapdaldan goýberilýän şöhläniň kömegi bilen gözegçilik etmäge mümkinçilik berýändigini bilen tapawutlanýar. Ultramikroskopda kolloid bölejikler ýagtylanýan nokatjyklar görnüşinde görünýär (16-njy surat). Onuň kömegi bilen kolloid bölejikleriň hereketine gözegçilik edip bolýar we görüş meýdanynda ýerleşdirilen, konsentrasíýasy uly bolmadyk kolloid erginleriniň bölejikleriniň sanyny sanap, alnan maglumatlaryň kömegi bilen kolloid bölejikleriniň möçberini ölçäp (hasaplap) bolýar. Onuň üçin, konsentrasíýasy  $g/l$  aňladylan, uly bolmadyk konsentrasíýaly kolloid erginini alyp, onuň göwrüm birligindäki kolloid bölejiklerini sanap, şol maglumatlar esasynda bir litr erginde bar bolan bölejikleriň umumy massasyny aşakdaky formulanyň kömegi bilen hasaplap bolýar:

$$m = nvd, \quad (101)$$

bu ýerde  $n$  – kolloid bölejikleriniň sany,  $v$  – bir sany kolloid bölejigiň göwrümi,  $d$  – maddanyň bölejikleriniň dykzlygy.

Eger-de kolloid bölejikleriniň togalak görnüşi bar bolsa, onda onuň göwrümini bilip, şol esasyda onuň radiusyny aşakdaky formulanyň kömegi bilen hasaplap bolýar. Bu deňlemäniň tapylyşy aşakdaky ýaly:

$$v = \frac{4}{3}\pi r^3. \quad (102)$$

(101) deňlemeden bir sany bölejigiň göwrümini tapýarys:

$$v = \frac{m}{nd}. \quad (103)$$

(102) we (103) deňlemeleriniň sag taraplaryny deňläp, alarys:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{m}{nd}$$

deňlemeden kolloid bölejikleriniň radiusyny tapýarys:

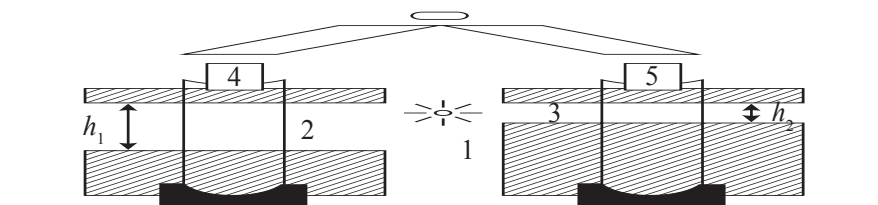
$$r = \sqrt[3]{\frac{3m}{4\pi nd}}. \quad (104)$$

Görnüşi kub şekilli bolan kolloid bölejikleriniň gapyrgasynyň uzynlygyny aşakdaky formulanyň kömegi bilen hasaplap bolýar:

$$l = \sqrt[3]{v} = \sqrt[3]{\frac{m}{nd}}. \quad (105)$$

Ultramikroskopy ulanmak bilen ölçegi  $3nm$  bolan bölejiklere hem gözegçilik edip bolýar.

Nefelometriýa usuly kolloid erginleriniň ýagtylygy pytratmak ukybyna esaslanan, ýagny kolloid erginiň ýagtylygy pytradys intensiwligi standart erginiňki bilen deňeşdirilýär (17-nji surat).



17-nji surat. Nefelometr:

1 – ýagtylyk çeşmesi, 2 we 3 – ýş geçiriji, 4 we 5 – silindrler



17-nji suratda (4) barlag erginli we (5) standart erginli kýuwetelerdäki erginleriň üstünden ýagtylyk çeşmesi (1), (2) we (3) yş geçirijileriň üsti belen geçirilýändigini hem-de kolloid erginiň (4) ýagtylygy pytradýandygy düşündirilýär.

Ýagtylygyň pytradýlyş intensiwligi kolloid erginiň disperslilik derejesine we konsentrasiýasyna bagly. Ýagtylygyň pytradýlmagynyň intensiwligi standart we gözegçilik edilýän kolloid erginleriň salnan kýuwetasynyň ýagtylandyrylýan böleginiň beýikligine bagly. Şonuň üçin Releyiň deňlemesini standart we gözegçilik edilýän erginler üçin ýazyp, ol deňlemelere erginleriň ýagtylandyrylýan böleginiň beýikligini ( $h$ ) girizip hem-de birnäçe özgertmeleriň üsti bilen aşakdaky yzygiderlikde nefelometrik hasaplamalar üçin deňlemäni alarys:

$$I = \frac{kvv^2 I^0}{\lambda^2} = \frac{kvvvI}{\lambda^2} = \frac{kcvI_0}{\lambda^4}; \quad (106)$$

$$\frac{kc_1 v I_0 h_1}{\lambda^4} = \frac{kc_2 v I_0 h_2}{\lambda^4};$$

$$kc_1 v I_0 h_1 = kc_2 v I_0 h_2;$$

$$\frac{kc_1 v I_0 h_1}{kv I_0} = \frac{kc_2 v I_0 h_2}{kv I_0};$$

$$c_1 h_1 = c_2 h_2, \quad (107)$$

bu ýerde  $h_1$  we  $h_2$  deňşililikde, erginleriň salnan gabyndaky ýagtylandyrylýan böleginiň beýikligi,  $c_1$  we  $c_2$  deňşililikde, erginleriň konsentrasiýasy.

Eger-de  $c_1$  belli bolsa, onda  $c_2$  aşakdaky deňlemäniň kömegi bilen tapylýar:

$$c_2 = \frac{h_1 c_1}{h_2}. \quad (108)$$

Elektron mikroskopda ýagtylyk şöhlesine derek elektronlaryň akymyndan peýdalanylýar we onuň kömegi bilen kolloid bölejiklerini görüp we suratyny alyp bolýar. Ýöne gözegçilik etmek üçin ergin taýýarlamak kyndyr we  $\Delta I$  kolloid erginiň tebigy ýagdaýyna gabat gelmeýär, ýagny ol taýýarlananda dispers sreda dispers fazadan aýrylýar.

Elektron mikroskoplarda barlag geçirmegiň käbir kemçilikleri bu usuly giňden ulanmaga päsgel berýär. Elektron mikroskoplarda gözegçilik edilýän madda gaty görnüşde we örän ýuka gatlakly bolmaly. Erginiň damjasyna ýukajyk kolloid örtük geçirmeli we bugartmaly. Şu ýagdaýda ulgamyň häsiýeti doly üýtgäp bilýär. Netijede, alynýan parametrler barlanylýan parametrlerden düýpli tapawutlanyp bilýär. Diýmek, elektron mikroskoplarda kolloid bölejikleriň ölçegine we görnüşine gözegçilik edip bolýar. Şol bir wagtda-da elektromikroskoplaryň tehnikasy aerözollary, gidrozollary, dispersliligiň üýtgeýiş hadysalaryny öwrenmäge mümkinçilik bermeýär.

Bu usullar biri-biriniň ýetmezçiliklerini dolduryp kolloid erginlerini has içgin öwrenmäge ýol açýar. 1968-nji ýylda ion mikroskop usuly işlenip düzüldi. Optiki usullar bilen birlikde dispers sistemalaryny rentgen barlag usullary bilen hem öwrenýärler. Rentgen barlag usullary, esasan, dispers fazanyň bölejikleriniň içki gurluşyny öwrenmekde ulanylýar.

### DISPERS SISTEMALARYŇ ELEKTRIK HÄSIÝETLERI

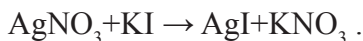
#### 7.1. Kolloid bölejikleriň elektrohimiýa ýagdaýy

Zarýadly bölejikleri saklaýan sistemanyň üstünden elektrik togy goýberilende, adaty elektrohimiýa hadysalar bolup geçýär. Kolloid bölejikleriň zarýady bolup, onuň emele gelmeginiň iki hili mehanizmi bar:

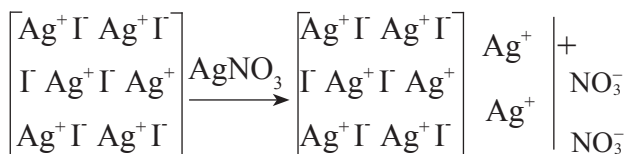
- 1) zarýadly bölejikleriň adsorbsiýasy;
- 2) üst ýüzündäki molekulalaryň ionlaşmagy.

Gaty maddalaryň üstünde zarýadly bölejikleriň bellibir görnüşi adsorbirlenende, onuň üst ýüzi zarýadlanýar. Mysal üçin, metal plastinkasy onuň öz ionlaryny saklaýan ergine batyrylsa, onda metalyň tebigatyna baglylykda ergindäki metal plastinkasynyň üstündäki (Cu) ýa-da metal plastinkasynyň üst ýüzündäki atomlaryň ionlaşyp, emele gelen ionlaryň ergine geçmegi (Zn) mümkin. Metal plastinkasy suwa batyrylanda hem onuň üst ýüzündäki atomlaryň ionlaşyp, metal ionlarynyň ergine geçmegine gözegçilik edilýär. Aýna plastinkasy kislotanyň erginine batyrylsa, onda protonlaryň adsorbsiýasy netijesinde, aýna plastinkasy položitel zarýadlanýar. Şeýlelikde, haýsy mehanizm bilen zarýadyň emele gelýändigine garamazdan, zarýadly bölejikleriň bir fazadan beýleki faza geçmegi netijesinde, fazalaryň biri položitel, beýlekisi bolsa otrisatel zarýadlanýar. Adsorbirlenen we ergine geçen ionlar gaty maddany ýa-da ergini zarýadlandyryrlar. Şonda ionlar gaty fazanyň üst ýüzünden bir sany gidratirlenen ionyň möçberinden uzak bolmadyk aradaşlykda ýerleşýärler hem-de gaty fazanyň özi garşydaş zarýad bilen zarýadlanyp, zarýadly bölejikleriň emele gelmeginiň haýsy mehanizm bilen geçýändigine garamazdan, ikileýin elektrik gatlagy emele gelýär.

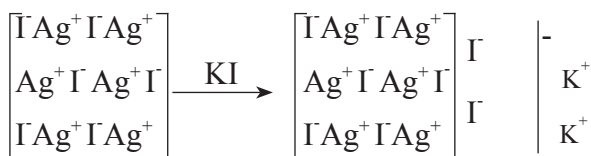
Kolloid bölejikleriniň ikileýin elektrik gatlagynyň adsorbsiýa mehanizm boýunça emele gelmegini aşakdaky ýaly göz önüne getirmek bolar.



Şu täsirleşme boýunça kolloid bölejikleriniň iki hili zarýadly görnüşleri emele gelýär. Kolloid bölejikleriniň emele gelmegi iňlis alymlary Faýansyň, Panetiň, Hanyň düzgünine boýun egýär. Bu düzgüne görä, ýadronyň üstüne onuň düzümindäki ionlaryň haýsydyr biri bilen kyn ereýän birleşmäni emele getirýän ionlar adsorbirlenip, şol ionlar potensial kesgitleýji ionlaryň işini ýerine ýetirýär. Eger-de deňleme boýunça  $\text{AgNO}_3$  artykmaç mukdarda alynsa, onda ýadronyň üstüne kümüş kationlary adsorbirlenip, şol ionyň özi potensial kesgitleýji iondyr. Şu ýagdaýda kolloid bölejigi položitel zarýadlanýar:



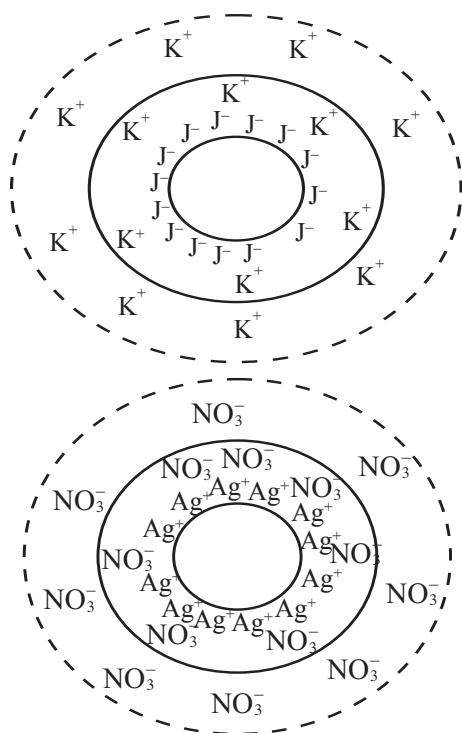
Deňleme boýunça, eger-de KI artykmaç mukdarda alynsa, onda ýadronyň üstüne  $\text{I}^-$  ionlary adsorbirlenýärler we kolloid bölejigi otrisatel zarýadlanýar.



Soňky ýagdaýda ýoduň ionlary potensial kesgitleýji ionlardyr.

## 7.2. Misellanyň gurluşy

Kolloid bölejikleriniň üst ýüzüni, köplenç halatlarda, tekizlik görnüşinde göz önüne getirilse-de, hakykatda onuň togalak görnüşü bar. Togalak görnüşli kolloid bölejigiň töweregi ionlar bilen gurşalyp alnan (18-nji surat).



18-nji surat. Kümşüň iodidiniň kolloid bölejiginiň gurluşy

Şonda kolloid bölejigi gurşap alan ionlara potensial kesgitleýji ionlar, ol ionlaryň golaýyndaky beýleki ionlara bolsa, garşydaş ionlar diýilýär. 18-nji surat esasynda kolloid bölejiginiň gurluşy ýazgyda aşakdaky ýaly görkezilýär:

$$\{m[\text{AgI}]n\text{Ag}^+(n-x)\text{NO}_3^-\}^{x+}x\text{NO}_3^-.$$

$$\{m[\text{AgI}]n\text{I}^-(n-x)\text{K}^+\}^{x-}x\text{K}^+.$$

bu ýerde  $m$  – ýadronyň ( $\text{AgI}$ ) mukdary,  $n$  - potensial kesgitleýji ionlaryň ( $\text{Ag}^+$ ) we ( $\text{I}^-$ ) mukdary,  $n-x$  we  $-x$  garşydaş ionlaryň ( $\text{NO}_3^-$ ) we ( $\text{K}^+$ ) mukdary - hemmesi bilelikde granulany emele getirýärler. Potensial kesgitleýji ionyň zaryady granulanyň (ýa-da kolloid bölejigiň) zaryadyny kesgitleýär. Granula we  $x$  mukdardaky garşydaş ionlar bilelikde misellany düzýärler. **Misell** - bu ikileýin elektrik gatlak bilen örtülen dispers fazanyň bölejigi.

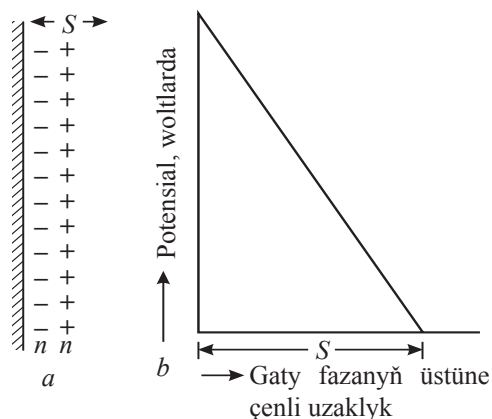
Üst ionlaşmasy netijesinde ikileýin elektrik gatlagy alýuminiý gidroksidiniň kolloid ergininde emele gelýär. Alýuminiý gidroksidiniň kolloid bölejikleriniň üst ýüzi otrisatel zarýadly, položitel zarýadlanan gidroksoniý ionlary bolsa, garşydaş ionlar bolup, olar kolloid bölejiginiň üst ýüzüniň golaýynda ýerleşýärler. Ikileýin elektrik gatlagynyň içki gatlagy üçin (biziň mysalymyzda  $\text{Ag}^+$ ,  $\text{I}^-$ ) himiki özbaşdaklyk mahsus we olar, adatça, hereketlenmeýärler. Ikileýin elektrik gatlagynyň daşky gatlagy üçin himiki özbaşdaklyk mahsus däl we olar hemişe tertipsiz hereketde. Şonuň üçin garşydaş ionlar beýleki ionlara çalşylyp bilner, potensial kesgitleýji ionlar bolsa, adatça, çalşylmaýar. Eger-de çalşylýan ion ýadronyň kristallik gözenegini mundan beýläk gurup bilýän bolsa, onda seýrek ýagdaýda potensial kesgitleýji ionlaryň hem çalyşmagy mümkin.

Potensial kesgitleýji ionlar bilen garşydaş ionlaryň özara gatnaşygy elektroneýtrallyk ýörelgesi boýunça düzülen, ýagny  $n = (n-x) + x^-$ .

### 7.3. Ikileýin elektrik gatlagynyň gurluşy

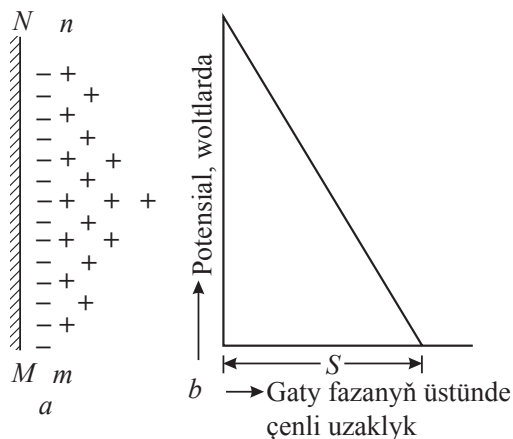
Ikileýin elektrik gatlagynyň gurluşy barada birnäçe nazary garaýyşlar bar. Olaryň ilkinjileriniň biri 1879-njy ýylda teklipe edilen Gelmgolsyň-Perreniň taglymaty. Şol döwürde ionlaryň tebigaty kesgitlelenip başlanypdy. Ýöne şeýle-de bolsa, olar öz nazary garaýyşlaryny hödürlediler we şoňa görä, ikileýin elektrik gatlagynyň ýerleşişini ýasy kondensatoryň içki we daşky örümlerine çalymdaş. Ýagny onuň içki örüm gaty fazanyň üst ýüzünde, daşkysy bolsa, oňa parallel ýagdaýda, erginiň içinde molekulýar aradaşlykda ýerleşen. Bu ýagdaýda ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygy biri-birine galtaşyp duran ionlaryň merkezleriniň aradaşlygyna ýa-da ionlaryň radiuslarynyň jemine deň (*19-njy surat*).

Gelmgolsyň-Perreniň taglymaty garşydaş ionlaryň özara itekleşmesini, daşky sredanyň ionlarynyň diffuziýasyny, ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygyny, temperaturany, ionlaryň möçberini we beýlekileriň täsirini hasaba almaýar.



**19-njy surat.** Gelmgolsyň ikileýin elektrik gatlagy:  
 $a$  – zarýadlaryň ýerleşşi,  $b$  – energiýanyň üýtgemegi

1910-njy ýylda esaslandyrylan Guiniň-Çepmeniň taglymatyna görä bolsa, garşydaş ionlar diffuziýa gatlagy emele getirýärler (20-nji surat).



**20-nji surat.** Guiniň-Çepmeniň diffuziýa gatlagynyň gurluşy:

$a$  – zarýadynyň ýerleşşi;  $b$  – energiýanyň üýtgemegi

Birmeňzeş zaryadly garşydaş ionlaryň itekleşmegi netijesinde olar kolloid bölejikleriniň diwaryndan daşlaşýarlar. Olaryň giňişlikde diffuziýa ýagdaýda bolmagyna iki sany şert sebäp bolýar:

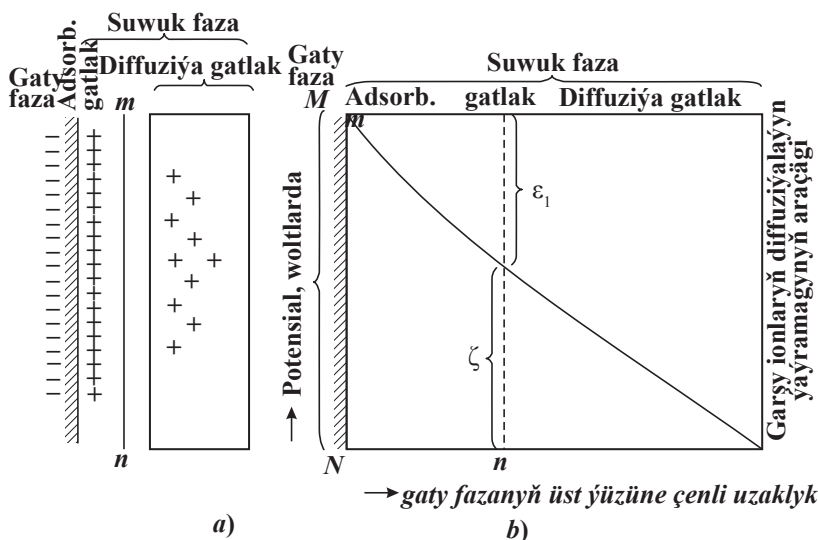
1) kolloid bölejikler bilen garşydaş ionlaryň özara elektrostatik dartyşmasy;

2) ionlaryň diffuziýasy (ýylylyk hereketi) netijesinde olaryň konsentrasiýasynyň kolloid bölejigiň üst ýüzünde we erginiň göwrümünde deňleşmegi.

Guiniň-Çepmeniň taglymaty ionlaryň tebigatyny, möçberini we gidratasiýasyny hasaba almaýar.

Şterniň taglymaty (1923) boýunça ikileýin elektrik gatlagy adsorbsiýa we diffuziýa gatlaklardan ybarat. Bu taglymatda ikileýin elektrik gatlagyň emele gelmeginde, ionlaryň arasynda täsir edýän, elektrostatik güýçlerden başga-da, adsorbsiýa güýçleriň täsiri hem hasaba alynýar. Ýöne elektrostatik güýçlerden tapawutlylykda adsorbsiýa güýçleri ýakyn aralykda güýçli täsir edip, aradaşlyk uzaldygyça, erginiň içine tarap täsiri peselýär. Şonuň ýaly-da, bu taglymatda ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygyna ionlaryň möçberiniň, tebigatynyň, polýarlaşma häsiýetiniň we gidratasiýasynyň täsiri hasaba alynýar (21-nji surat).

Adsorbsiýa güýçleriň täsirinde garşydaş ionlaryň birnäçesi potensial kesgitleýji ionlaryň golaýynda saklanýarlar. Ionlaryň zarýadyna we aýratyn himiki häsiýetlerine baglylykda olar kolloid bölejigiň üst ýüzünde ýa-da iki molekulýar aradaşlykda saklanýarlar. Şol ionlaryň potensial kesgitleýji ionlar bilen bilelikde emele getiren gatlagyna adsorbsiýa (Şterniň gatlagy) gatlak diýilýär.



21-nji surat. Ikileýin elektrik gatlagyň shemasy:  
a - zarýadlaryň ýerleşşi; b – energiýanyň üýtgemegi



Potensial kesgitleýji ionlary kompensirlemek üçin gerek bolan beýleki ionlar bolsa, ýylylyk hereketiniň täsirinde diffuziýa gatlagy emele getirýärler.

Şeýlelikde, ikileýin elektrik gatlagy adsorbsiýa we diffuziýa gatlaklardan ybarat bolup, onuň adsorbsiýa böleginde potensial çalt, diffuziýa böleginde bolsa, kem-kemden üýtgeýär. Adsorbsiýa we diffuziýa gatlaklaryň galyňlyklarynyň jemi ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygyna deň. Şterniň taglymatyna görä, ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygy ionlaryň himiki tebigatyna, gidratasiýa bolan ukybyna, zaryadyna, möçberine we beýleki häsiýetlerine bagly. Ionlaryň gidrat gatlagy dispers gurşaw tarapda бүтewüdir, dispers faza tarapda bolsa, bozulan.

#### 7.4. Elektrokinetik potensial

Elektrokinetik hadysalar kolloid bölejiklerinde ikileýin elektrik gatlagynyň bolmagy bilen baglanyşykly. Bu hadysa dispers sistemanyň, 2 fazasynyň biri-birine tarap hereketine elektrtik meýdanyň täsiri netijesinde ýa-da hereketiň özi elektrik meýdany döretmeginiň esasynda geçýär.

Kolloid bölejigi dispers gurşawa görä ortaça hereketlendirilende, şeýle hereket typma tekizligi boýunça geçýär. Typma tekizligi adsorbsiýa gatlakdan birneme uzagrakda ýerleşip, onuň ýerleşýän ýeri kolloid bölejigi bilen gurşawyň ýa-da adsorbsiýa gatlak bilen diffuziýa gatlagyň, araçägine gabat gelmeýär. Typma tekizligine gabat gelýän potensiala (ýa-da potensiallaryň tapawudyna) dzeta potensial ( $\zeta$ ) diýilýär.  $\zeta$  –potensialyň ululygyny kesgitlemek üçin kolloid bölejigini elektrik meýdanynda hereketlendirmeli bolýar. Şonuň üçin oňa elektrokinetik potensial hem diýilýär. Elektrokinetik potensial kolloid bölejiginiň dynçlyk (hereketlenmeýän) ýagdaýynda hem bardyr, ýöne ony bu ýagdaýda kesgitlep bolmaýar.

Kolloid bölejik bilen diffuziýa gatlagynyň araçägine typma araçägi ýa-da typma üsti diýilýär. Typma araçäginde misellanyň kolloid bölejigine we diffuziýa gatlagyna bölünýän geometriki meýdany belleniýär. Bu ýagdaý dispers gurşawa görä onuň geçişi bolanda ýüze çykýar (Meselem, elektrik meýdanynyň tä-

sirinde misellanyň hereketi). Dispers fazanyň bölejikleriniň hereketi dzeta potensiala ( $\zeta$ ) proporsionaldyr. ( $\zeta$ ) dzeta potensial Gelmgolsyň-Smoluhowskiniň deňlemesi bilen kesgitlenilýär:

$$\zeta = \frac{K\pi\eta v}{\varepsilon \times}, \quad (109)$$

bu ýerde  $K$  – bölejigiň görnüşine bagly koeffisiýent, (togalak görnüşlilerde  $K=6$ , silindr görnüşlide  $K=4$ ),  $\eta$  - gurşawyň şepbeşikligi,  $v$  - bölejigiň geçişiniň çyzykly tizligi,  $\times$  - elektrik meýdanynyň dartgynlylygy (potensialyň gradiýenti).

$\zeta$  – potensiala täsir edýän birnäçe şertler aşakdakylardan ybarat:

– diffuziýa gatlagynda saklanýan garşydaş ionlaryň umumy zarýady;

– diffuziýa gatlagynyň galyňlygy ;

– potensial kesgitleýji ionlaryň mukdary;

– garşydaş ionlaryň ýaýraýşy.

Şeýle-de 3,4-nji şertler temperatura we ion güýjüne bagly bolýar.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen, garşydaş ionlaryň bardygyna garamazdan, diffuziýa gatlagy giňeýär.

Dispers sistemanyň gowşadylmagy bilen  $\zeta$  – potensial artýar, sebäbi erginiň ion güýji peselýär, garşydaş ionlaryň diffuziýa gatlagynyň galyňlygy artýar we bölejikleriniň desorbsiýasy güýçlenýär.

Sistema goýberilýän elektrolitler indifferent bolanda, ion güýjüniň ýokarlanmagy bilen hereket ikitaraplaýyn bolýar. Ýagny: 1) garşydaş ionlaryň diffuziýa gatlagynyň galyňlygynyň peselmegi; 2) garşydaş ionlaryň dykz we diffuziýa gatlaklarynyň arasyndan dykz gatлага tarap süşme bolýar. Olaryň ikisi hem  $\zeta$  – potensialyň peselmegine alyp barýar. Eger-de bu peselmeler güýçli derejede geçse, onda dispers bölejikler koagulirlenip başlaýarlar.

$\zeta$ -potensialyň ululygy kolloid sistemalaryň häsiýetlerine, ýagny kolloid bölejikleriň zarýadlarynyň dykzlygyna we ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygyna baglydyr. Onuň 1-den onlarça milliwolta çenli ululygy bolup, ol adatça,  $\varnothing$  potensialdan kiçi.

Elektrokinetik potentsialyň ululygyna ergine goşulan keseki ionlar güýçli täsir edýärler. Keseki ionlaryň täsirinde ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygy we  $\zeta$  – potentsialyň ululygy üýtgeýär. Şol sebäpli kolloid erginleriň durnuklylygy üýtgeýär.

### 7.5. Elektrokinetik hadysalar

Elektrokinetik hadysalaryň iki topary bellidir: birinjisi, elektrik meýdanynyň täsirinde dispers fazanyň dispers gurşawa görä ýa-da dispers gurşawyň dispers faza görä otnositel hereketiniň netijesinde ýüze çykýan elektrokinetik hadysalar. Olara elektroforez we elektroosmos degişli.

Bu hadysalar 1808-nji ýylda F.F. Reýss tarapyndan açylyp, ol dispers fazanyň bölejikleriniň dispers gurşawa görä otnositel hereketine elektroforez we tersine, dispers gurşawyň dispers faza görä otnositel hereketine bolsa, elektroosmos diýip at berdi. Bu hadysalar biri-birine baglanyşykly bolup, ikisi şol bir wagtda bolup geçýär. Elektrik meýdanynyň täsirinde kolloid bölejigi garşydaş zaryadly elektroda tarap hereketlenende bu hereket onuň ikileýin elektrik gatlagynyň typma tekizligi boýunça bolup geçýär. Diffuziýa gatlakdaky garşydaş ionlar ters tarapa hereketlenenlerinde özi bilen bilelikde gidrat gatlagyndaky suwy hem alyp gidýärler we şeýlelikde, elektroosmos hadysasyna gözegçilik edilýär.

Bu elektrokinetik hadysalar daşky görnüşi boýunça elektrolize meňzeşdir, ýöne ondan tapawutlylykda elektroforez we elektroosmos hadysalaryň haýsy elektrodyň golaýynda geçjekdigi kolloid bölejiginiň zaryadyna bagly. Ondan başga-da, elektroliz netijesinde elektrodларыň üstünde okislenme-gaýtarylma täsirleşmeleri geçýän bolsa, elektroforez hadysasy kolloid bölejikleriniň koagullirlenmegi bilen gutarýar.

Garşydaş ionlaryň zaryadyna baglylykda, katodyň we anodyň golaýynda geçýän elektroosmos hadysasynyň himizmi, elektrolizde degişli elektrodларыň üstünde geçýän okislenme-gaýtarylma täsirleşmelerine meňzeş.

Elektrokinetik hadysalaryň ikinjisi elektroosmosa we elektroforeze ters bolan hadysalar bolup, oňa akymyň potensialy we sedimentasiýanyň potensialy diýilýär. Akymyň potensialy 1959-njy ýylda Kwinke tarapyndan öwrenilýär. Syzyp geçiriji maddalardan suw ýa-da suwly ergin geçende, potenciallaryň tapawudy ýüze çykyp, oňa akymyň potensialy diýilýär. Sedimentasiýanyň potensialy bolsa 1878-nji ýylda Dorn tarapyndan öwrenilýär. Ýagny dispers fazanyň bölejikleri çökende potenciallaryň tapawudy emele gelip, oňa sedimentasiýanyň potensialy diýilýär.

Elektrokinetik hadysalaryň nazaryýeti işlenilip düzülende, aşakdaky çaklamalardan ugur alynýar:

1) ikileýin elektrik gatlagyň gurluşy ýasy kondensatoryň gurluşyna meňzeşdir. Onuň galyňlygy molekulalaryň möçberine barabar bolup, ýasy kondensatoryň örümleriniň aradaşlygyna deň.

2) ikileýin elektrik gatlagyň elektrik häsiýetleri onuň zarýadynyň dykzlygy bilen kesgitlenýär.

3) dispers fazanyň bölejiklerini dispers gurşawa görä ýa-da dispers gurşawyň dispers faza görä otnositel hereketlendirilende, olaryň arasyndaky baglanyşygyň üzülýän ýeri, typma tekizligi, ýagny elektrokinetik potensialyň ölçenýän ýeri boýunça bolup geçýär.

4) ikileýin elektrik gatlagyndaky suwuklygyň hereketi gidrodinamikanyň kanunlaryna boýun egýär. Ýagny gatlaklary garyşman, laminar akym boýunça akýar;

5) gaty faza (kolloid bölejik) we suwuklyk (dispers gurşaw) elektrik toguny geçirmeýärler.

Ýasy kondensatoryň nazaryýetine görä, ikileýin elektrik gatlagyň galyňlygynyň ( $\delta$ ), zarýadyň dykzlygynyň ( $\sigma$ ) we elektrokinetik potensialyň ( $\zeta$ ) arasynda aşakdaky ýaly baglanyşygy bar:

$$\zeta = \frac{4\pi\delta\sigma}{\varepsilon}, \quad (110)$$

bu ýerde  $\varepsilon$  – ýasy kondensatoryň örümleriniň arasyndaky maddanyň dielektrik syzyjylygy.

Elektrik meýdanlarynda kolloid bölejikleriniň dispers gurşawa görä otnositel hereketiniň tizligi hemişelik. Elektroforeziň tizliginiň

hemişeligi, elektrik meýdanynyň täsirinde ýüze çykýan tangensial güýçleriň sürtülme güýçleri bilen deňleşýändigini düşünürilýär, ýagny:

$$F_1 = \sigma H, \quad (111)$$

$$F_2 = \eta \frac{U}{\delta}, \quad (112)$$

$$F_1 = F_2, \quad (113)$$

bu ýerde  $F_1$  – tangensial güýji,  $F_2$  – sürtülme güýji,  $H$  – potensiallaryň gradiýenti,  $\eta$  – şepbeşiklik.

$F_1$  we  $F_2$  bahalaryny ýerinde goýup, deňlemeleriň sag taraplarýny deňläp, aşakdaky deňlemäni alarys:

$$\sigma H = \eta \frac{U}{\delta}, \quad (114)$$

$$\frac{\varepsilon \zeta H}{4\pi \delta} = \eta \frac{U}{\delta}, \quad (115)$$

$$\frac{\varepsilon \zeta H}{4\pi} = \eta U, \quad (116)$$

$$U = \frac{\varepsilon \zeta H}{4\pi \eta}, \quad (117)$$

bu ýerde  $U$  – elektroforeziň tizligi.

Şeýlelikde, elektroforeziň tizligini kesgitlemek ýoly bilen elektrokinetik potensialyň san bahasyny hasaplap bolýar:

$$\zeta = \frac{U 4\pi \eta}{\varepsilon H}. \quad (118)$$

Deňlemelerden görnüşi ýaly, elektrokinetik potensial elektroforeziň tizligine göni proporsional.

Elektrokinetik hadysalary öwrenmek, meselem, elektroforeziň tizligini ölçemek, elektrolitiň konsentrasiýasynyň artmagy bilen  $\zeta$  – potensialyň düşýändigini, konsentrasiýanyň käbir ýagdaýlarda bolsa, ýagny izoelektrik nokatda elektrokinetiki potensialyň nola deň bolýandygyny görkezýär.

### DISPERS SISTEMALARYŇ DURNUKLYLYGY WE KOAGULÝASIÝASY

#### 8.1. Dispers sistemalaryň agregatiw we kinetik durnuklylygy

Dispers sistemalaryň durnuklylygy – bu dispers sistemalaryň bellibir wagt aralygynda bölejikleriň ortaça ölçegini saklap galmagy we olaryň gurşawda deň ýaýramagy.

Dispers sistemalaryň durnuklylygy baradaky düşünje ilkinji gezek 1922-nji ýylda N.P.Peskow tarapyndan esaslandyrylan. Ol dispers sistemalaryň kinetik we agregatiw durnuklylygyny tapawutlandyrdy.

Kolloid erginler durnukly bolýarlar. Şonuň üçin hem olaryň dargamagy dowamly bolýar (aýlap, ýyllap). Olaryň dispers fazalary az ereýän maddalardan duran hem bolsa biri-birlerine ýelmeşmeýärler, irileşmeýärler, çökmeýärler. Dispers sistemalaryň, şular ýaly durnuklylygyny 1809-njy ýylda Moskwa uniwersitetiniň professory F.F. Reýssiň elektroforez hadysasyny açandan soňra düşündirmäge mümkinçilik alyndy. Elektroforez hadysasynda erginden elektrik togy goýberilende, kolloid bölejikler elektroda tarap hereket edýärler. Metallaryň gidroksidleriniň, gemoglobiniň, käbir boýaglaryň kolloid bölejikleri položitel zarýadlanan bolup, olar katoda tarap süýşýärler. Beýleki kolloid bölejikler (metallar, metallaryň sulfidleri) anoda tarap süýşüp, otrisatel zarýadlanýarlar. Diýmek, bir erginde ýerleşen kolloid bölejikler birmeňzeş zarýadlanýar, şonuň üçin hem olar öz aralarynda itekleşip, bölejikleriň ulalmagyna ýol bermeýärler we dispers sistema hem durnukly bolýar.

Agregatiw durnuklylyk – sistemanyň bölejikleriniň agregasiýa garşy durnuklylygy (koagulyasiýa, koalesensiýa).

Kinetik durnuklylyk – bu dispers sistemalaryň agyrlyk güýjüne garşy durnuklylygy. Dispers sistemalaryň kinetik durnuklylygy dispers fazanyň bölejikleriniň Broun hereketine, dispers gurşawyň şepbeşikligine, temperatura we dispers fazanyň dispersliligine (maýdalanyş derejesine) bagly.

Agregatiw durnuklylyk – bu dispers fazanyň disperslilik derejesini saklamaga bolan ukyby. Dispers sistemanyň agregatiw durnuklylygy dispers fazanyň (kolloid bölejigiň) zarýadynyň ululygyna, solwatlaşma derejesine bagly.

Durnuklylygyň 2 görnüşi-de biri-biri bilen baglanyşykly.

Durnuklylygyň 3-nji görnüşi kondensasiýa durnuklylygy. Ol agregatlaryň berkliginiň üýtgemegi we gurluşynyň kemala gelmegi bilen baglanyşykly.

Durnukly kondensasiýalaýyn sistema – bölejikleriň agregatlary ikileýin elektrik gatlak bilen bölünip hem-de hereketini togtadyp, öz ýekebaralygyny saklan ýagdaýynda emele gelýän sistemadyr. Şular ýaly sistemalar wagtyň geçmegi bilen peptizasiýa netijesinde zollary emele getirmäge ukyply bolýarlar. Netijede, berk gurluşly geller emele gelýär.

Dispers sistemalaryň agregatiw durnuklylygynyň şu aşakdaky ýaly şertleri bolup bilýär:

**1. Termodinamik şertler.** Oňa **elektrostatik, adsorbsiýa-solwatlaşma, entropiýalaýyn** şertler degişli.

**Elektrostatik şert** – bu birmeňzeş zarýadlanan kolloid bölejikleriň arasyndaky itekleşme güýji ýokarlanyp, bölejigiň üstündäki potensialyň, esasan hem, elektrokinetika potensialyň artmagy bilen häsiýetlendirilýär.

**Adsorbsiýa–solwatlaşma şert**–bu fazalaryň arasyndaky çekişmäniň azalmagy we bölejigiň üstündäki Gibbsiň energiýasynyň peselmegi bilen häsiýetlendirilýär.

**Entropiýalaýyn şert** – bu elektrostatik we adsorbsiýa-solwatlaşma şertlere goşmaça bolup, ol dispers fazasynyň Broun hereketine gatnaşýan bölejikleriniň sistemanyň бүтін göwrümüne deň ýaýramagy.

**2. Kinetik şertlere:** **gurluş-mehaniki, gidrodinamik** şertler degişli.

**Gurluş-mehaniki** şertler bölejikleriň üstünde maýyşgak adsorbsiýa gatlagynyň emele gelmegi ýa-da dispers fazanyň bölejikleriniň dispers gurşawda hereketini azaldýan gurluşynyň emele gelmegi bilen baglanyşykly.

**Gidrodinamiki** şertlerde agregasiýa tizliginiň peselmegi bilen gurşawyň şepbeşikligi artýar we dispers faza bilen dispers gurşawyň dykzlygy üýtgeýär.

Dispers sistemalaryň agregatiw durnuklylygyny peseldýän şertler:

Wan der Waals çekişme güýji;

Bölejikleriň zaryadyna we dzeta potensiala täsir edýän elektrolitleriň gatnaşmagy.

## 8.2. Koagulyasiýa hadysasy

Kolloid sistemalaryň agregatiw durnuklylygynyň bozulmagyna başgaça, kolloid bölejikleriniň biri-birleri bilen birleşip, has iri bölejikleri emele getirmegine we netijede, sistemanyň disperslilik derejesiniň peselmegine **koagulyasiýa** diýilýär. Kolloid bölejikleriniň irileşmegi (koagulyasiýasy) uýamak hadysasyna meňzeş. Kolloid bölejikler näçe ulaldygyça, olaryň Broun hereketi boýunça hereketlenmek ukyby peselýär. Irileşen bölejikler agyrylyk güýjüniň täsirinde gabyň düýbüne çökýärler. Bu hadysa bolsa, sedimentasiýa diýilýär. Sedimentasiýa kolloid sistemanyň kinetik durnuklylygynyň bozulmagy netijesinde bolup geçýär.

**Sedimentasiýa** – bu bölejikleriň ýuwaş-ýuwaşdan çökmegidir (sedimentasiýa diffuziýadan üstün çykanda). Ol bolsa bölejikleriň gurşawda deň ýaýramagynyň bozulmagyna alyp barýar.

Koagulyasiýa we sedimentasiýa kolloid sistemalaryň agregatiw we kinetik durnuklylygynyň bozulmagy netijesinde bolup geçýän zygider hadysalar.

Koagulyasiýa hadysasy, öz gezeginde, zygider geçýän iki tapgyrdan ybarat: 1) *gizlin koagulyasiýa*; 2) *aç-açan koagulyasiýa*. Gizlin koagulyasiýa geçende daşyndan hiç hili üýtgeşiklige gözegçilik edilmeýär. Aç-açan koagulyasiýa kolloid erginiň bulanmagy, reňkiniň



üýtgemegi, çökündiniň emele gelmegi ýaly wizual (daşyndan görünýän) üýtgemeleriň ýüze çykmagy bilen bolup geçýär.

Koagulýasiýa ýa-da kolloid erginleriň agregatiw durnuklylygynyň bozulmagyna uzak dowamly dializ, elektrolitleriň goşulmagy, elektrolit dälleriň goşulmagy, mehaniki garyşdyrmak, gyzdyrmak, sowatmak, elektrik toguny goýbermek, şöhläniň täsiri we beýlekiler täsir edip biler.

### **8.3. Kolloid erginleriň durnuklylygyna täsir edýän elektrolitler**

Kolloid erginleriň durnuklylygyna täsir edýän elektrolitleri iki topara, ýagny indifferent (kolloid bölejigiň ýadrosynyň kristallik gözenegini mundan beýläk gurup bilmeyän ionlardan ybarat bolan elektrolitler) we indifferent däl elektrolitlere, bölýärler.

Kolloid erginlere indifferent elektrolitleri goşulanda, olaryň ionlarynyň täsirinde kolloid bölejikleriň ikileýin elektrik gatlagynyň diffuziýa bölegi ýa-da diffuziýa gatlagyň galyňlygy gysylýar, ikileýin elektrik gatlagyň typma tekizligi bolsa üýtgemeyär. Şeýlelikde, goşulýan indifferent elektrolitiň mukdary ýa-da ionlaryň konsentrasiýasy näçe uly bolsa, ikileýin elektrik gatlagy hem şonça güýçli gysylýar. Ikileýin elektrik gatlagy şeýle tertipde gysylanda, elektrokinetik potensialyň peselmegine gözegçilik edilýär. Elektrokinetik potensialyň peselmegi (kiçelmegi) şu ýagdaýda nola çenli bolup biler. Onuň bahasynyň nola golaýlaşdygyça, kolloid sistemalaryň agregatiw durnuklylygy peselýär. Goşulýan elektrolitleriň ionlaryň zarýadynyň ululygyna we olaryň ion radiusyna baglylykda kolloid bölejikleriň ikileýin elektrik gatlagynyň galyňlygy dürlüçe üýtgeýär. Položitel zarýadly kolloid bölejikleri anionlar, otrisatel zarýadly kolloid bölejikleri bolsa, kationlar koagulirleýärler. Aşgar metallarynyň kationlarynyň ion radiusy aşakdaky yzygiderlilik boýunça artýar:



Ion radiusynyň artmagy bilen olaryň gidratasiýa derejesi peselýär. Şeýlelikde, ionyň radiusy näçe kiçi bolsa, onuň gidrat gatlagy şonça galyň. Ionyň radiusy näçe uly bolsa hem-de şonuň bilen baglanyşyklylykda gidrat gatlagy näçe ýuka bolsa, onuň koagulir-

leýji güýji şonça uludyr. Şeýle ionlaryň täsirinde elektrokinetik potensial kiçelýär. Ion radiusynyň artmagy bilen olaryň polýarlaşdyryjy ukyby hem artýar. Şonuň bilen baglanyşyklylykda radiusy uly bolan ionlaryň adsorbsiýa bolan ukyby hem uly. Kationlaryň ion radiusynyň täsirinde elektrokinetik potensialyň kiçelmegi, onuň ionlaryň konsentrasiýasynyň täsirinde üýtgeýşine kybapdaş. Ionlaryň zarýadynyň artmagy bilen elektrokinetik potensialyň kiçelmesi has güýçlenýär.

Köp zarýadly indifferent ionlaryň täsirinde elektrokinetik potensialyň has güýçli peselmegi, ionlaryň elektrostatik täsiriniň güýçlüdigi we polýarlaşdyryjy ukybynyň uludygy bilen düşündirilýär. Şol sebäpli köp zarýadly ionlaryň adsorbirlenmäge bolan ukyby hem uly. Düzüminde köp zarýadly ionlary saklaýan elektrolitik kolloid ergini goşulanda, şol ionlar diňe bir güýçli adsorbirlenip, kolloid bölejigini bitaraplaşdyrmak bilen çäklenmän, olaryň zarýadyny hem üýtgedýär.

Koagulirleýji ionyň zarýady näçe uly bolsa, onuň koagulyýasiýa hadysasy şonça az konsentrasiýasynda başlanýar. Koagulyýasiýanyň başlanmagy üçin zerur bolan, elektrolitiň kolloid ergindäki konsentrasiýasyna (ölçeg birligi  $mol/l$ ) koagulyýasiýanyň başlanmak konsentrasiýasy diýilýär. 1,2 we 3 zarýadly ionlar üçin olaryň koagulyýasiýanyň başlanmak konsentrasiýasy degişlilikde, aşakdaky ýaly:

25–100  $mmol/l$ ;

0,5 – 2,0  $mmol/l$ ;

0,01–0,1  $mmol/l$ .

Ionlaryň zarýadynyň artmagy bilen olaryň koagullirleýji güýjüniň artmagy 1882-nji ýylda Şulse we Gardi tarapyndan ýüze çykarylan. Şonuň üçin oňa Şulseniň – Gardiniň düzgüni diýilýär. Bu düzgüne görä, koagulirleýji ionyň zarýady bir birlige artanda, onuň koagulirleýji güýji on esse çemesi artýar.

Kolloid erginlere indifferent däl elektrolitler goşulanda, koagulyýasiýanyň geçmegi hem-de olaryň zarýadynyň üýtgemegi ýaly hadysalara gözegçilik edilýär. Şonda başlangyç maddalaryň haýsydyr biri artykmaç mukdarda alynsa, onda haýsy maddanyň artykmaç mukdarda alynýandygyna baglylykda položitel ýa-da otri-

satel zaryadly kolloid bölejikleriniň emele gelmegine gözegçilik edilýär. Eger-de başlangyç maddalaryň ekwiwalent mukdarlary alynsa, onda koagulyasiýa geçip, çökündi emele gelýär.

Kolloid erginlere elektrolitleriniň garyndylary täsir etdirilse, onda additiwlik, antogonizm we sinergizm ýaly hadysalara gözegçilik edilýär. Eger-de goşulan elektrolitleriniň garyndysyndaky koagulirleýji ionlaryň täsirleri goşulyşsa, oňa *additiwlik*, biri-birleriniň koagulirleýji täsirlerini peseltseler, *antagonizm*, biri-biriniň koagulirleýji täsirlerini güýçlendirseler bolsa, *sinergizm* diýilýär.

Koagulyasiýa haçanda zaryadlary dürli ýa-da birmeňzeş bolan dürli kolloid erginleri biri-biriniň üstüne goşulanda hem gözegçilik edilýär. Koagulyasiýanyň şeýle görnüşine *kolloidleriň özara koagulyasiýasy ýa-da geterokoagulyasiýa* diýilýär.

#### 8.4. B.W. Derýaginiň, L.D. Landauň, E. Ferweýiň we Ý. Owerbegiň nazaryýetleri

Elektrolitleriniň täsirinde geçýän koagulyasiýanyň himiki (Dýuklo), adsorbsion (Freýndlih), elektrostatik (Mýuller) we beýleki birnäçe nazaryýetleri belli bolup, olaryň diňe taryhy ähmiýeti bar. Olar koagulyasiýanyň aýry-aýry görnüşlerini düşündirse-de, umumylyk ýokdur. Häzirki wagtda in ýörgünlisi fiziki nazaryýet bolup, ol sowet alymlary B.W. Derýagin we L.D. Landau hem-de golland alymlary E. Ferweý we Ý. Owerbek tarapyndan esaslandyrylan (1937-1941). Başgaça oňa, *DLFO*-nyň nazaryýeti diýilýär. Şoňa görä koagulyasiýa hadysasy kolloid bölejikleriniň molekulýarara dartyşma we elektrostatik itekleşme güýçleriniň bilelikdäki täsiriniň netijesidir. Biri-birine golaý ýerleşen iki sany plastinka üçin *DLFO*-nyň nazaryýetiniň esasynda aşakdaky deňleme getirilip çykarylyp:

$$U = U_i + U_d = \frac{64cRT}{\chi} \gamma^2 e^{-2\chi h} - \frac{A}{48\pi^2 h}, \quad (119)$$

bu ýerde  $U_i$  – elektrostatik itekleşme güýçleriniň energiýasy,  $U_d$  – molekulýarara dartyşma güýçleriniň energiýasy,  $\chi$  - Debaýiň parametri ýa-da ikileýin elektrik gatlagynyň effektiv galyňlygynyň tersine bolan ululyk,  $\gamma_1 A$  – hemişelik sanlar,  $h$  – plastinkalaryň ortasyndan başlap hasaplanýan koordinata.

Uzak aralykda bölejikleriň arasynda dartyşma güýji agdyklyk edýär. Kolloid bölejikleri biri-birlerine golaýlaşanlarynda, olaryň arasynda itekleşme güýji ýüze çykýar. Olaryň arasyndaky aradaşlyk has kiçi bolan halatynda, ýene-de dartyşma güýji agdyklyk edýär.

### 8.5. Liofob dispers erginleriň durnuklylyk nazaryýetleri

Kolloid sistemada dispers faza bilen dispers gurşawyň arasyndaky baglanyşyk gowşak ýaly hem bolsa, wagtyň geçmegi bilen disperslilik peselip, durnuksyzlyk başlanýar. Bölejikleriň irileşmek hadysasy uly çäklerde bolup biler. Meselem, altynyň zoly onlarça ýyllaryň dowamynda hem üýtgemeyär, käbir zollar bolsa birnäçe sekundyň dowamynda üýtgäp bilýär.

Disperslilik peseltmegiň iki sany usuly bolýar. Olar:

1. Täzeden kristallaşma netijesinde ownuk bölejikleri iri bölejikleriň ýuwutmagy;
2. Dispers fazanyň bölejikleriniň biri-birine ýelmeşmegi.

Kolloid himiýa ylmynda esasy wezipeleriň biri-de durnuklylyk meselesidir. Onuň ilkinji nazary esaslary H.P. Peskow tarapyndan düşündirililen. Liofob dispers sistemada bölejikleriň agregasiýasyna garşylygyň bolmagyny H.P. Peskow şeýle düşündirýär: sistemada dispers faza we dispers gurşawdan başga-da, 3-nji şertiň, ýagny durnuklaýjylaryň (stabilizatorlar) bolmagy. Stabilizatorlaryň işi kolloid bölejikleriň töwereginde duz gatlagyny emele getirmekten ybarat. Rebinder şol gatlagyň bolmagy koagulyýasyýa hadysasyna päsgelçilik döredýär diýip belleýär. 1945-nji ýylda B.P. Derýagin Liofob zollaryň durnuklylyk we koagulyýasyýa nazaryýetini işläp düzýär. Ol kolloid bölejikleriň biri-birine dartyşma we itekleşme güýçlerini göz önünde tutýar. Hasaplamalar itekleşme güýçleriniň artyşy, kolloid bölejikleriň aralarynyň peselmegi bilen haýallaýar. Has uly aralykda itekleşme güýçleri ýokary, gysga aralykda dartyş güýçleri ýokary bolýar. Derýagin öz işdeşleri bilen bile elektrolitleriň kritiki konsentrasiýasyna täsir edýän şertleriň hem köpdüğini kesgitleýär. Zoluň uly radiusly bölejigine az konsentrasiýa gabat gelýändigini, olar hasaplaýarlar. Rebinder tarapyndan dispers sistemalaryň durnuklylygynyň diňe bir polýar sistemardaky ýagdaýy däl-de, uglewodorod gurşawly sistemasy hem öwre-

nildi. Liofob sistemada durnuklylygy galdyrmagyň has umumy görnüşi – bölejikleriň üstünde durnukly adsorbsiýa gatlagy ýa-da ýeterlik derejede dispers gurşawda durnukly gurluşy emele getirmek. 1-nji ýagdaýda koagulyýasiýa adsorbsiýa gatlagy bolany sebäpli amala aşmaýar. Adsorbsiýa gatlagy bölejikleriň biri-birine ýakynlaşmagyna mehaniki päsgelçilikler döredýär. Ýylylyk hereketi esasynda olaryň duşuşygy adsorbsiýa gatlagynyň itekleşmegine alyp barýar (Zaharçenko). 2-nji ýagdaýda sistemada emele gelen gurluş tory, bölejikleriň hereketini azaldýar. Zollaryň durnuklylygyny polisaharidleri, polimerleri, sabyny goşup güýçlendirip bolýar. Polisaharidleriň, beloklaryň goraýjylyk hereketi, suwda eremeýän derman maddalaryň esasynda ýokary disperslilikli derman serişdelelerini taýýarlamakda we ulanmakda peýdalanylýar.

Liofob (gidrofob) zollar emeli usullar bilen alynýar. Ol daşyndan berilýän himiki ýa-da mehaniki işiň esasynda alynýar. Diňe şol işiň esasynda hem olar artykmaç üst energiýany özünde saklaýar, ol bolsa kem-kemden azalmaga ymtylýar we netijede, zoluň agregatiw durnuksyzlygyna alyp barýar. Ýokary molekulýar birleşmeler hem liofob zollary emele getirmäge ukyply bolýar. Meselem, želatininiň spirtäki ergini, nitrosellýulozanyň suwdaky ergini. Zollary koagulyýasyýadan dispers gurşawa alýumininiň naftenatyny, kalsiniň stearatyny, ýokary molekulýar birleşmeleri (kauçuk) goşup saklap bolýar. Bu usul metallaryň we oksidleriň benzoldaky, toluoldaky zollaryny durnukly saklamak üçin ulanylýar.

## 8.6. Koagulyýasiýa tizligi

Elektrolitleriň täsirinde geçýän koagulyýasiýa, kolloid bölejikleriň elektrokinetik potensialy bellibir kritiki ululyga çenli kiçelen ýagdaýynda başlanýar. Kolloid erginiň üstüne elektrolit goşulanda, onuň koagulyýasiýasy birbada geçmeýär. Ilki goşulýan elektrolitiň konsentrasiyasy bellibir ululyga (koagulyýasiýanyň bosagasyna) ýetende, koagulyýasiýa başlanýar. Soňra elektrolitiň konsentrasiyasy näçe uly bolsa, koagulyýasiýanyň tizligi hem şonça uludyr. Elektrolitiň konsentrasiyasyna görä koagulyýasiýanyň tizliginiň şeýle üýtgemegi, kesgitlenilýän elektrokinetik potensialyň bahasynyň ortaçadygy, şol bir wagtda elektrokinetik potensialy kritiki ululyga ýeten we ondan

uly bolan kolloid bölejikleriň bardygy hem-de olaryň elektrokinetik potensialy uly bolanlarynyň sanynyň elektrolitiň konsentrasiýasynyň artmagy bilen azalýandygy, elektrokinetik potensialy kritiki ululyga ýeten kolloid bölejikleriň sanynyň bolsa köpelişendigi bilen düşündirilýär. Elektrolitiň konsentrasiýasy bellibir maksimal ululyga ýetende, koagulyasiýanyň tizligi mundan beýläk artmaýar, ýagny ol hem maksimal baha eýe bolýar.

Kolloid bölejigiň elektrokinetik potensialynyň bahasy noldan uly bolsa, ol erginlerde geçýän koagulyasiýa, şertli, haýal koagulyasiýa diýlip atlandyrylýar. Eger-de elektrokinetik potensialyň bahasy nola deň bolsa, onda bu ýagdaýda geçýän koagulyasiýa şertli çalt koagulyasiýa diýlip atlandyrylýar.

Çalt koagulyasiýanyň kinetik deňlemesi polýak alymy M.Smoluhowskiý tarapyndan işlenilip düzülen. Onuň nazaryýetine görä, kolloid bölejikleriň arasynda, şol bir wagtda, dartyşma we itekleşme güýçleri täsir edýärler. Elektrolitiň goşulýan mukdary çalt koagulyasiýanyň geçmegi üçin ýeterlik bolanda, kolloid bölejikleriň arasynda täsir edýän itekleşme güýçleri azalyp, onuň bütinleý ýitip gitmegi hem mümkin. Şeýle ýagdaýda, Broun hereketi netijesinde, kolloid bölejikleriň islendik ýakynlaşmasy koagulyasiýa bilen gutarýar. Netijede, biri-birleri bilen birleşen kolloid bölejikleriň agregatlary mundan beýläk bütewi bir uly bölejik görnüşinde, özbaşdak, Broun hereketi bilen hereketlenip başlaýarlar.

Emele gelen iri bölejikler özara birleşip, öz gezeginde has iri agregatlary emele getirýärler.

Smoluhowskiý öz nazaryýetini işläp düzende, koagulyasiýanyň tizligi, ýagny dispers fazanyň bölejikleriniň göwrüm birligindäki sanynyň wagta görä üýtgemesi, kolloid erginiň bölejikleriniň sany boýunça konsentrasiýasyna ( $v$ ), Broun hereketiniň intensiwligine ýa-da diffuziýanyň koeffisiýentine ( $D$ ) we koagulyasiýanyň geçmegi üçin zerur bolan kolloid bölejikleriň ýakynlaşmaly aradaşlygyna ( $\rho$ ) baglydyr diýip kesgitleýär. Şonda ol koagulyasiýa hadysasynyň iki sany kolloid bölejigiň ýa-da agregatyň arasynda geçýändigini sebäpli, ony ikinji tertipli täsirleşmelere meňzeşdir diýip hasap edýär. Onda koagulyasiýanyň tizligi ikinji tertipli täsirleşmeleriň kinetik deňlemelerine boýun egýär we aşakdaky deňleme bilen ýazylyp beýan edilýär:

$$\frac{dv}{dt} = kv^2, \quad (120)$$

bu ýerde  $k$ —kolloid bölejikleriniň biri-birine golaýlaşmak ähtimallygyny häsiýetlendirýän hemişelik sandyr, ýagny:

$$k = 4\pi D\rho \quad (121)$$

deňlemäniň üýtgeýän ululyklaryny deňlemäniň iki tarapyna paýlap, alnan deňlemäniň çep tarapyny  $v_0$ -dan  $v$  çenli, sag tarapyny bolsa, 0-dan  $t$  çenli çäkli integrirläp alarys:

$$-\frac{dv}{dt}dt = kv^2 dt;$$

$$-dv = kv^2 dt;$$

$$-\frac{dv}{dt} = \frac{kv^2 dt}{v^2};$$

$$-\int_{v_0}^v \frac{dv}{dt} = \int_0^t k dt;$$

$$\frac{1}{v} - \frac{1}{v_0} = kt.$$

Bu ýerden

$$v = \frac{v_0}{1 + kv_0 t}. \quad (122)$$

Eksperimental usul bilen diffuziýa koeffisiýentini  $D$  we koagulyýasiýanyň geçmegi üçin zerur bolan kolloid bölejikleriň golaýlaşmaly  $\rho$  aradaşlygyny kesgitlemek örän kyn bolanlygy sebäpli, Smoluhowskiý kolloid bölejikleriň ýarpysynyň koagulirlenmegi üçin zerur bolan,  $\theta$  ýarym koagulyýasiýa döwri diýen ululygy girizýär:

$$kv_0 = \frac{1}{\theta}. \quad (123)$$

Şonda deňleme aşakdaky görnüşini alýar:

$$\nu = \frac{\nu_0}{1 + \frac{t}{\theta}} \quad (124)$$

deňlemeler boýunça, eger-de dürli wagt aralygynda kolloid erginiň başlangyç we ahyrky konsentراسیalary belli bolsa, ýarym koagulyásiýa döwrüni we  $k$  hemişelik sany hasaplap bolýar.

Smoluhowskiý tarapyndan hödürlenen nazaryýet esasynda koagulyásiýa hadysasynyň geçmegi üçin kolloid bölejikleriň ýakynlaşmaly aradaşlygyny deňlemäniň kömegi bilen hasaplap bolýar. Onuň üçin şol deňlemäni aşakdaky ýaly özgertmeli:

$$\theta = \frac{1}{k\nu_0} = \frac{1}{4\pi D\rho\nu_0}. \quad (125)$$

Eýnşteýniň- Smoluhowskiniň deňlemesine görä:

$$D = \frac{RT}{N_A 6\pi\eta r}. \quad (126)$$

Diffuziýanyň koeffisiýentiniň bahasyny deňlemede ýerine goýsak, alarys:

$$\theta = \frac{1}{4\pi \left(\frac{RT}{N_A 6\pi\eta r}\right) \rho\nu_0} = \frac{6\pi\eta r N_A}{4\pi\rho\nu_0 RT} = \frac{6\eta r N_A}{4\rho\nu_0 RT} = \frac{3\eta r N_A}{2\rho\nu_0 RT}.$$

Bu ýerden dykzylygy tapýarys:

$$\rho = \frac{3\eta r N_A}{2\theta\nu_0 RT}. \quad (127)$$



### DISPERS SISTEMALARYŇ FIZIKI-HIMIKI MEHANIKASY

#### 9.1. Dispers sistemalaryň gurluşy

Maddalaryň gurluşy diýlip, olary düzýän bölekleriň, ýagny atomlaryň, molekulalaryň we beýlekileriň giňişlikde özara ýerleşişine düşünilýär.

Sistemalaryň gurluş-mehaniki häsiýetleri reologiýanyň usullary bilen barlanylyp, ol deformasiýalar baradaky ylymdyr. Reologiýa daşky güýjüň täsirinde deformasiýanyň ýüze çykmagy bilen mehaniki häsiýetleri öwrenýär. Kolloid himiýada reologiýanyň usullary dispers sistemalaryň gurluşyny barlamak we şepbeşik akyjylyk häsiýetini beýan etmek üçin ulanylýar.

Deformasiýa düşünjesi sistemanyň bütewüliginiň bozulmaýan nokatlarynyň ortaça süýşmegini aňladýar. Deformasiýa ikä, ýagny maýyşgak we galyndy deformasiýa bölünýär. Maýyşgak deformasiýada güýç aýrylandan soňra jisimiň gurluşy doly dikelýär (gaýtarylýar). Galyndy deformasiýa öwrülišiksiz bolup, sistemadaky üýtgeşme güýç aýrylandan soňra hem, şol bolşuna galýar.

Reologiýanyň iki sany aksiomasy bolup, olar aşakdakylardyr:

1) hemmetaraplaýyn deň derejede (izotrop) gysylanda, ähli maddy sistemalar özlerini birmeňzeş, ýagny ideal maýyşgak jisim ýaly alyp barýar. Metal, smola, suw, kislorod (gaz) ýaly gurluşy dürli bolan maddalarda, izotrop gysylmada maýyşgak deformasiýa bolýar. Has takygy sistemanyň ölçegi onuň görnüşini saklap, kiçelýär, dykzlygy bolsa ýokarlanýar. Güýç aýrylandan soňra bolsa, jisimiň ähli parametrleri öňki ýagdaýyny alýar. Bu ýerden gelip çykyşy ýaly, izotrop gysylma maddanyň gurluşynda hil tapawudy ýüze çykarmaýar;

2) islendik maddy sistema ähli reologik häsiýetlere eýedir. Olaryň esasylyary maýyşgaklyk, plastiklik, şepbeşiklik we berklik.

Gurluş-mehaniki häsiýetleriň giň gerimi tebigy we sintetiki maddalaryň köpdürlüliligini şöhlelendirýär. Olardan esasysy dispers sistemalar bolup, olar tebigaty we agregat ýagdaýy, bölekleriniň ölçegi hem-de olaryň arasyndaky özara täsir boýunça biri-birin-

den tapawutlanýarlar. Dispers sistemalardaky gurluşlaryň köpdürli häsiýetleriniň barlagy netijesinde P.A.Rebinder olary dispers fazanyň bölejikleriniň özara täsirleşmeginiň görnüşleri boýunça iki sany esasy topara bölýär, ýagny *kondensirlenme-kristallaşma we koagullirlenme – gurluş* emele gelmegi. Gurluşy dürli görnüşli bolan hakyky dispers sistemalarda olary şol iki görnüşe takyk bölüp bolmaýar. Sebäbi aralyk ýagdaýdaky sistemalar hem emele gelýärler.

## 9.2. Dispers sistemalaryň reologik häsiýetleri

Maddalary olaryň reologik häsiýetleriniň esasynda hem toparlara bölýärler. Şol häsiýetleriniň esasynda ähli hakyky maddalar iki topara bölünip, olar:

1. Gaty görnüşli maddalar (akyjylygyň çägi nola deň  $PT = 0$ );
2. Suwuk görnüşli maddalar ( $PT > 0$ ).

Gowşadylan liozollaryň (suspenszialaryň) şepbeşiklik nazaryýetiniň esasy Eýnşteýn tarapyndan işlenildi. Dispers sistemanyň şepbeşikligi ( $\eta$ ) bilen dispers fazanyň göwrüm paýynyň ( $\varphi$ ) arasyndaky baglanyşyk Eýnşteýn tarapyndan şeýle kesgitlenildi:

$$\eta = \eta_0(1 + 2,5\varphi), \quad (128)$$

bu ýerde  $\eta_0$  – dispers gurşawyň şepbeşikligi.

Deňlemedäki  $\varphi$  - niň koeffisiýenti bölejikleriň görnüşine bagly bolup, Eýnşteýniň deňlemesi aşakdaky umumy görnüşli alar:

$$\eta = \eta_0(1 + \alpha\varphi), \quad (129)$$

bu ýerde  $\alpha$  – dispers fazanyň bölejikleriniň görnüşine bagly bolan koeffisiýent.

Içki gurluşyň molekulalaryň özara täsiriniň esasynda emele gelmegi we onuň netijesinde erginiň şepbeşikliginiň artmagy, gurluş şepbeşikligi bilen häsiýetlendirilýär. Şeýlelikde, polimerleriň konsentirlenen ergininde Nýutonyň we Puazeýliň deňlemeleri boýunça hasaplanan şepbeşiklikden gyşarmalary gurluş şepbeşikliginiň bolmagy bilen kesgitlenilýär.

Polimerleriň şepbeşikligi erginiň konsentrasiýasyna, bölejikleriň görnüşine, ölçegine we gurşawyň pH-na bagly. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen polimerleriň ergininiň şepbeşikligi peselýär. Ýagny

bu şert, sistemanyň molekulýar-ýylylyk hereketiniň artmagy netijesinde içki gurluşynyň emele gelmegini kynlaşdyrýar.

Ýokary molekulýar birleşmeler (*ÝMB*) tebigy maddalar hökmünde ähli janly materiýanyň esasyňy düzüjidir we sintetiki madda hökmünde bolsa birnäçe müňden milliona çenli molekulýar massasy bolan makromolekulalaryň zynjyryndan emele gelen. Olar himiki baglanyşygy emele getirip, uly bolmadyk atomlaryň toparlaryndan düzülen. Amfoter we kristallik, *ÝMB*-niň dürli görnüşli fiziki häsiýetleri, makromolekulalaryň himiki düzümi we temperatura bilen kesgitlenilýär.

Polimeriň molekulýar massasyňy, makromolekulalaryň görnüşini we olaryň erediji bilen özara täsirleniş energiýasyny *ÝMB*-niň erginleriniň häsiýeti boýunça kesgitleýärler. Polimeriň köpüsi ýokary molekulýar agyrlyklary emele getirýärler. Bu maddalar polimolekuladyrlar we olar üçin, ortaça molekulýar massa diýen düşünje ulanylýar. Ortaça molekulýar massany, massasy  $M_w$ , ýagny bölejikleriň massasy we sany  $M_n$ , ýagny bölejikleriň sany boýunça iki topara bölýärler. Polidispers sistemalar üçin  $M_w > M_n$ . Molekulýar massa ýagtylygyň ýaýramagy, osmos basyşy, sepbeşiklik we beýlekiler boýunça kesgitlenilýär. Has giň ulanylýan usullaryň biri bolsa wiskozimetriýa usulydyr. Bu usul bilen  $M_w$  kesgitlenilýär. Ol polimeriň ergininiň sepbeşikliginiň onuň molekulýar massasyna baglylygyna esaslanandyr. Polimeriň ergininiň sepbeşikligi  $\eta$  eredijiniň  $\eta_0$  sepbeşikliginden uludyr.  $\frac{\eta}{\eta_0}$  gatnaşyk, ortaça  $\eta_{\text{otn}} = \frac{\eta - \eta_0}{\eta_0}$  gatnaşyga bolsa, ortaça udel sepbeşiklik ( $\eta_{\text{ud}}$ ) diýilýär.

### 9.3. Ştaudingeriň deňlemesi

Ştaudingeriň deňlemesi boýunça polimerleriň gowşadylan erginleriniň sepbeşikligi, polimeriň molekulýar massasy we konsentراسیasy bilen bagly:

$$\frac{\eta - \eta_0}{\eta_0} = \eta_{\text{ud}} = kCM, \quad (130)$$

bu ýerde  $\eta$  we  $\eta_0$  – erginiň we eredijiniň sepbeşikligi,  $\eta_{\text{ud}}$  – erginiň udel sepbeşikligi,  $k$  – her bir aýratyn gomolitik (birmeňzeş häsiýetli) hatar üçin konstanta,  $M$  – erän polimeriň molekulýar massasy,  $C$  – erginiň konsentراسیasy.

Ol litrde «esasy mollarda» aňladylandyr. «Esasy mol» – bu monomeriň molekulýar massasyna deň bolan polimeriň gram sany.

Ştaudingeriň deňlemesi molekulýar massasy 80 000-den uly bolmadyk polimerleri kesgitlemek üçin ulanarlyklydyr. Bu deňlemeden  $\frac{\eta_{ud}}{C} = \eta_{get} = kM$  gatnaşyk konsentrasiýa bagly däl. Bu ýerde  $\eta_{get}$  – getirilen şepbeşiklik. Hakykatdan hem, konsentrasiýanyň ýokarlanmagy bilen  $\eta_{get}$  ulalýandyr.

Barlaglaryň görkezişi ýaly,  $k$  - hemişelik polimeriň molekulýar massasyna bagly. Polimeriň molekulýar massasyny kesgitlemek üçin gowşadylan erginlerdäki makromolekulalaryň özara täsirini hasaba almak bilen Mark-Huwink aşakdaky deňlemäni hödürledi:

$$[\eta] = \left[ \frac{\eta_{ud}}{C} \right]_{c \rightarrow e} = kM^\alpha, \quad (131)$$

bu ýerde  $k$  – berlen eredijidäki polimergomologik hataryň erginleri üçin hemişelik,  $\alpha$  – ergindäki makromolekulalaryň görnüşini häsiýetlendirýän ululyk.

Ol zynjyryň maýyşgaklygyna baglydyr.  $k$  we  $\alpha$  ululyklaryň bahalary käbir polimerler üçin aşakdaky tablisada getirilen (6-njy tablisa).

Grafikden häsiýetlendirilýän şepbeşikligi  $[\eta]$  tapyp,  $K$ –konstanty we  $\alpha$  – ny bilip, polimeriň molekulýar massasy tapylýar:

$$M^\alpha = \frac{[\eta]}{K}; \text{alg} M = \lg \frac{[\eta]}{K}; \lg M = \frac{\lg [\eta]}{K\alpha}. \quad (132)$$

6-njy tablisa

#### Käbir polimerleriň şepbeşikligini häsiýetlendirýän ululyklar

Polimer	Erediji	Temperatura	$K * 10^{-4}$	$\alpha$
Krahmal	Suw	20	1,32	0,68
Poliwinil spirti	Suw	25	5,95	0,63
Poliakrilamid	Suw	25	0,63	0,80

## 9.4. Suwuk sistemalaryň reologik häsiýetleri

Gurluşly dispers sistemalaryň reologiýasyny mälüm etmäge agregasiýa durnukly we durnukly däl sistemalar üçin dürli bolan sedimentasiýa göwrümleriň aýratynlygyna seredeliň. Agregasiýa durnukly dispers sistemalarda bölejikler çökenden soňra sedimentasiýa göwrümi kiçi bolan dykyz çökündi emele gelýär. Agregasiýa durnukly däl sistemalarda bolsa uly göwrümi tutýan dykyz däl çökündi emele gelýär. Dekantasiýadan soňra bolsa dispers fazanyň bölejiklerindenden bolan ýokary konsentراسiýaly sistema alynýar. Ol sistema dispers fazanyň bölejikleriniň giňişlikde birleşmegi bilen gurluş emele getirmegine gabat gelýär. Şolar ýaly gurluşyň emele gelmeginiň minimal konsentراسiýasyna gurluş emele gelmäniň kritiki konsentراسiýasy diýilýär. Sedimentasiýa göwrümden we çökündidäki dispers fazanyň konsentراسiýasyndan ugur alyp bölejikleriň ýerleşşi iki: dykyz we erkin görnüşli bölege bölünýär. Dykyz görnüşli bolanda dispers fazanyň konsentراسiýasy maksimaldyr. Erkin görnüşli bolsa minimal konsentراسiýa laýyk gelýär we bu ýagdaýda gurluş tory emele gelip biler. Bölejikleriň ýerleşşi ol ýa-da beýleki bolanda-da sistemanyň gurluşy üçin akyjylyk häsiýetli.

Mikroeterogen sistemada gurluşyň emele gelmek mümkinçiligi (Broun hereketi ýok bolanda), esasan, bölejikleriň, ortaça agyrylyk güýji we onuň töweregindäki bölejikler bilen ilteşme güýjüniň arasyndaky gatnaşyklar bilen kesgitlenýär:

$$\sum_{k=1}^n P_k \geq m_{\text{otn.}} g, \quad (133)$$

bu ýerde  $m_{\text{otn.}}$  – bölejigiň, ortaça massasy,  $P_k$  – galtaşmadaky ilteşme güýji,  $n$  – bölejikleriň töweregindäkiler bilen galtaşma sany,  $g$  – erkin gaçma tizlenmesi.

Formuladan görnüşi ýaly, bölejikleriň ölçeginiň ýa-da massasynyň kiçelmegi we galtaşma meýdanynyň ýokarlanmagynyň hasabyna dispersliliginiň artmagy bilen ýokarlanyp bilýär. Ilteşme güýjüniň ulalmagy bolsa dykyz däl giňişlik gurluşynyň emele gelmegine getirýär. Bölejikleriň ölçegi ulalyp, ilteşme güýji kiçelse, sistemada dykyz gurluşly, ýagny kiçi sedimentasiýa göwrümlü çökündi emele gelýär.

Umuman, bölejikleriň erkin we dykyz ýerleşmegi dispers fazanyň konsentrasiýasy bilen düýpli tapawutlanýar. Erkin we dykyz ýerleşmäniň aralygyndaky konsentrasiýa çägi sistemanyň plastiki akymyna laýyk gelýär. Suspenziýa bölejikleriniň täsirli çägi üst gatlagyň we örtügiň hasabyna artýan bolsa, onda olardaky plastiki akym has-da giň. Agregasiýa durnukly sistemalar, durnuksyzdan tapawutlylykda erkin ýerleşmä degişli gurluşy amaly emele getirmeýär. Şonuň üçin hem olarda plastiki häsiýetleriň emele gelmek konsentrasiýa çägi kiçi. Bular ýaly sistemalarda plastiki häsiýetler, köplenç ýagdaýda, üstki gatlaklary hasaba almak bilen dykyz ýerleşmä ýakyn konsentrasiýalarda ýüze çykarýarlar. Umuman, gaty görnüşli maddalara seredeninde, suwuk görnüşlilerde akyjylygyň üznüksiz geçişiniň çäginin ýuwaş-yuwaşdan peselmeginiň, şeýle hem iki sany Nýuton şepbeşikliginiň aratapawudynyň kiçelmeginiň kömegi bilen amala aşyrylyp bilner. Soňky ýagdaýda şepbeşikligiň geçişi  $\eta_{\max-a}$  çenli ulalmagy ýa-da  $\eta_{\min-a}$  çenli kiçelmegi bilen amala aşyrylyp bilner.

## 9.5. Gaty sistemalaryň reologik häsiýetleri

Akyjylygyň çägi ýüze çykanda, dispers sistemalar gaty görnüşli bolýarlar we olaryň bütewüligi saklanýar, gurluşynyň aňrybaş bozulmak ýagdaýyna geçmek mümkinçiligi aradan aýrylýar.

Gaty görnüşli sistemalar koagulyasiýa ýa-da kondensasiýa-kristallaşma gurluşly bolup bilerler. Koagulyasiýa gurluşly gaty görnüşli sistemalar üçin, ortaça uly bolmadyk akyjylygyň çägi we ýeterlik derejede giň akyjylyk ýaýraw häsiýetli. Gurluşynyň durnuklylygynyň artmagy bilen akyjylygyň çäginin artmak, akyjylygyň ýaýrawynyň bolsa daralmak ähtimallygy bar. Akyjylygyň giň ýaýrawy bolan gaty görnüşli dispers sistemalar möhüm tehnologik häsiýetlere eýe. Akyjylygyň çäginden birnäçe ýokary bolan güýç täsir edende, olar islendik görnüşli alýarlar we akyjylygyň çäginden pes güýçde akym ýüze çykmaýar. Olara meňzeş materiallar keramikada we beýleki önümçilikde giňden ulanylýar.

Güýç aýrylandan soňra, wagtyň geçmegi bilen gurluşynyň dikeldilmegi diňe erkin ýerleşen gurluşly sistemalarda bolup biler. Ol güýjüň täsirinde bölejikler biri-birine garanda, arasyndaky çekişme

örän kiçelen ýagdaýyndaky garyşmagyň (ýaýramagyň) netijesinde bolýar.

Gurluşynyň şular ýaly üýtgemesine, güýjüň täsir etmeginde kül-ke görnüşli maddalarda gözegçilik edilýär.

Kondensasiýa gurluşly polimerler üçin has mahsus bolan relaxasiýa hadysasy, elastikanyň, plastikligiň we akyjylygyň ýüze çykmagynda amala aşýar. Polimerlerde akyjylygyň ýaýrawynyň bolmagy ilkibaşlangyç gurluşynyň bozulmagy we makromolekulalaryň kesgitli gözükmegi bilen düşündirilýär. Olar ýaly gözükmeklik gutarandan soň, materialyň käbir tertipleşmegi bolup biler. Soňra bolsa güýjüň artmagy bilen bozulýar.

Tutuşlaýyn giňişlik toruny suwuklyk bilen doldurylan, gaty görnüşli dispers sistemalara kolloid himiýada *geller* diýilýär. Guran gellere kserogeller diýlip atlandyrmak kabul edilendir. Organiki ÝMB-den emele gelýän gellere *studenler* hem diýilýär. Şolara laýyklykda gurluş emele gelmäni gel ýa-da studen emele gelme bilen çalyşýarlar. Esasan hem, gurluş suwuk dispers gurşawly sistemalarda emele gelen gellere kömür, torf, agaç, karton, kagyz, toprak we beýlekiler degişli.

Koagulýasiýa gurluşly studenler elastik häsiýeti bilen tapawutlanýarlar. Koagulýasiýa gurluşly studenler temperaturanyň ýokarlanmagy bilen bozulyp bilerler we Nýuton suwuklyk ýagdaýyna geçýärler. Bu hadysa *studenin eremegi* diýilýär. Kondensasiýa görnüşli studenler bolsa erginlerden ýa-da giňişleýin polimerleriň çişmeginiň netijesinde üç ölçegli polimerizasiýany emele getirýärler.

Makromolekulalaryň arasyndaky himiki baglanyşyk gyzdýrylanda, bozulmaýar. Şonuň üçin hem olar ýaly studenler eremeýärler.

Geller üçin wagtyň geçmegi bilen könelişmek häsiýetli. Ýagny olarda ýuwaş-ýuwaşdan gurluşynyň tertipleşmegi bolup, onuň gysylmagy bilen gurluşdan suwuklyklaryň bir bölegi boşadylýar. Bu hadysa *sinerezis* diýilýär. Sinerezisiň netijesinde gel görnüşli sistema tutuşlaýyn kristallik görnüşli madda geçip biler. Koagulýasiýa gurluşynyň kondensasiýa-kristallaşma gurluşly suwuklyklaryň gysylp çykarylmagy bilen özakymlaýyn geçmegi sinerezisiň aýdyň mysaly.

Gurluş emele gelme, beloklara häsiýetli bolan denaturasiýa (maddanyň tebigy häsiýetiniň bozulmagy) ýaly hadysalar hem degişli.

### DAŞ-TÖWEREGI GORAMAGYŇ KOLLOID HIMIÝA ESASLARY

#### 10.1. Howany, suwy we topragy goramakda kolloid himiýa ylmynyň usullarynyň ulanylyşy

Türkmen topragy baş müň ýyldan hem öňki döwürlerden bäri geçen ekologik özgertmelere garamazdan, özüniň tebigy durkuny we özboluşly aýratynlygyny saklap gelipdir. Ol biziň ata-babalarymyza maddy baýlyk we ruhy döredijiligiň çeşmesi bolup hyzmat edipdir. Bu bolsa Türkmen milletiniň tebigat bilen sazlaşykly ýaşayyş gatnaşyklarynyň berkemegine getiripdir.

Ekologiýanyň esaslary we tebigaty goramak Türkmenistanyň milli we tebigy aýratynlyklary esasynda «Daş-töweregi goramak hereketleriniň milli meýilnamasy» (2002 ) resminamada öz beýanyny tapdy.

Tebigaty goramak 3 sany esasy şertler bilen kesgitlenýär:

- howanyň arassalygyny saklamak;
- agyz suwunyň arassalygyny saklamak;
- ýer üstüni, onuň relýefini, peýdaly meýdanyny, ösümligini, haýwanat dünýäsini abat saklamak.

Bu şertleri doly we dogry berjaý etmek halkara, döwletara meseleler bolup, her bir kärhananyň möçberinde çözülýär we sebitde tebigaty goramaga ýardam edýär.

Durmuşda islendik tehniki ýa-da ekologik meseleler çözülen-de, dispers sistemalaryň toplumy bilen işlemeli bolýar. Mysal üçin, emulsiýalar, suspenziýalar, aerezollar tebigatda-da gabat gelýär, kärhanalarda hem öndürilýär. Ýene-de bir mysal, kometalar – aerezollar. Olar Günün ýagtysyna ýagtylanýan maýdajyk bölejikler, ýagny tozanly gaz bulutlary. Şol tozanly – gaz maddalardan hem bütün Gün ulgamy emele gelendir. Dispers



sistemalara: ümür, bulutlar, howa we beýlekiler birigip, biziň planetamyzyň ekologik ulgamyny emele getirýär. Daş – töweregimizi gurşap alýan dispers sistemalara dogry düşünişip, olary dogry ýola gönükdirmek diňe bir biziň tebigy ylymlar hakyndaky düşüňjelerimizi giňeltmän, ol önümçilik bilen baglanyşykly meseleleriň hem oňyn çözülmegine ýardam eder.

Aerозollar gazylyp alynýan peýdaly magdanlaryň alnyşsynyň birinji basgançagynda ýüze çykýar (burawlamak, ýarylmak işleri, traktorlaryň işleri). Dag jynslary owradylanda-da, iberilende-de aerозollar döreýär. Mehanizasiýa işleriniň köpelmegi bilen tozan has hem köpeliýär. Şonuň üçin hem häzirki döwürde dag – magdan işleri geçirilende, tozan ýatyrnak işleri iň wajyp çäreleriň biridir. Sebäbi tozan adamda birnäçe keselleriň ýüze çykmagyna alyp barýar. Şonuň bilen birlikde tozan dürli usullaryň kömegi bilen ýygnalanda, goşmaça önüm hem bolýar (kömür, hek).

Kömür şahtalarynda ýönekeý maşynlar bilen işlenilende, tozanylyk  $470 - 500 \text{ mg/m}^3$ , rotor görnüşli kombaýnlar ulanylanda,  $1300 \text{ mg/m}^3$ , frezerler işlese bolsa,  $3000 \text{ mg/m}^3$  bolýar. Şonuň üçin hem ýörite fiziki – himiki usullar bilen tozany aýyrýarlar.

Wentilýasiýa enjamlary kömür şahtalarynda ýerleşdirilende, 1 minutda  $12000 \text{ m}^3$  howa bölünip çykarylýar, şonuň  $30 - 40 \text{ mg/m}^2 - \text{y}$  tozan. Sement zawodlarynda  $2-3 \text{ km}$  daşlykda hem sement tozanjyklaryna duş gelinýär. Şonuň üçin hem dürli önümçilik şertlerinde işleýän kärhanalaryň işlerine gözegçilik etmeli bolýar. Alynýan önümleriň düzümine, dispersililigine, konsentراسiýalaryna üns bermeli bolýar.

Tozany aýyrmaklygyň esasynda siňdirmek, sordurmak ýagdaýlary bolup, oňa öllenmek hadysasy hem degişli.

Howa zyňylýan zyýanly galyndylary (tozan, gaz) azaltmagyň iki usuly bolýar:

- ol ýa-da beýleki aerозollaryň emele gelmeginiň önüni almak;
- aerозollary ýok etmek, dargatmak.

Zyýanly aerозollaryň emele gelmeginiň önüni almak üçin häzirki döwürde birnäçe çäreler geçirilýär. Mysal üçin, dag mag-

danlary gazylyp alnanda, öllenmek işleri geçirilip, onuň üçin *ÜIM* (Üst işeň maddalar) ulanylsa, has hem gównējaý bolýar.

Bu usul bilen alnanda tozanyň we zäherli gazlaryň bölünip çykamazlygy peýdalydyr. Kärhanalarda tozan sorujy ýörite enjamlar oturdylýar.

Eger-de önümçilik galyndysyz işlemeýän bolsa, onda ol atmosfera, suwa goýberýän zyňyndysyny bellibir kadada saklamaly. Eger-de gürrüň howa hakynda bolsa, onda aerozollaryň arassalygyny saklamaly.

Kada laýyklykda atmosferada  $150 \text{ mg/m}^3$  tozan bolmaly. Tozan janly bedene uly zyýan getirýär (öýken keseli, aşgazan keseli, gurygy, deri keseli). Şonuň üçin hem tozany artykmaç mukdarda howa düşürmezlik üçin aşakdaky işler geçirilýär:

- önümçilik hadysalaryny tozansyzlandyrmak;
- önümçilik hadysalary geçýän howany tozansyzlandyrmak;
- şahsy gorag (ýörite daňylar, eşik).

Has amatlysy 1,2 bölümlerdir, sebäbi şolaryň üsti bilen tebigaty gorap bolýar.

Atmosferanyň tozanlanmagy bütün planetanyň klimatynyň üýtgemegine alyp barýar. Atmosferanyň tämizligi Günüň şöhlesiniň ýere düşüşine bagly bolýar. Onlarça million tonna tozan Ýeriň dürli sebitlerine howa akymlyry bilen baryp bilýär.

Arktikanyň, Antarktida buzlaryna düşen tozan Gün energiýasyny özüne siňdirip, buzlaryň eremegine getirýär. Ol bolsa ummanlarda suwuň derejesini galdyrýar. Şeýle-de atmosferadaky tozanly ekran Ýer ýüzündäki temperaturanyň peselmegine alyp barýar. Umuman, orta hasapdan Ýer ýüzüniň tozanlylygy 20% ýokarlandy.

Janly bedene aerozollaryň edýän zyýanyna ýene bir ýagdaýlaryň üsti bilen göz ýetirmek bolýar. Mysal üçin, oba hojalygynda zyýan beriji mör-möjeklere garşy ulanylýan inseksidleri barlag geçirmek arkaly miwelerde, gök-önümlerde, haýwan bedenlerinde (pingwinleriň bagrynda) hem duş gelýändigini anyklanyldy.

Esasy tozanly aerozollary şu aşakdaky önümçilikler bölüp çykarýarlar: kömür, silikat senagaty, reňkli we gara metallurgiýa, oba hojalyk meýdanlary dürli himikatlar bilen işlenilende. Şonuň üçin

hem fiziki we kolloid himiýanyň esaslaryny dogry öwrenmek, önümçilik we ekologik soraglaryň çözgüdini dogry tapmaga kömek edýär.

Atmosferanyň, gidrosferanyň, biosferanyň hemme ýerleri özarlarynda baglanyşyklydyr. Ýagny şu ulgamyň bir böleginde näsazlyk ýüze çyksa, onda ekologik deňagramlylyk hem bozulýar.

Adamzadyň iň zerur baýlyklarynyň biri-de agyz suwudyr. Agyz suwunyň 98%-i buzluklarda ýygnanandyr. Şonuň üçin hem Ýer üstündäki içilýän suwlary aýawly saklamak hemme adamlaryň borjudy. Onuň üçin ýörite suw arassalaýjy enjamlar ulanylýar. Suwy zähersizlendirmek, zyýansyzlandyrmak üçin hlorlaýarlar, düzümindäki käbir maddalary çökdürýärler, reňksizlendirýärler.

Kärhanalaryň zyňyndy suwlaryny, tebigy ýerasty suwlary aýawly, zaýasyz saklamaly. Senagat ähmiýetli suwlary kärhanalar örän ýerli hem-de ekologiýa ýagdaýlaryny göz önünde tutup ulanmaly.

Topragyň zaýalanmagynyň esasy sebäpleri:

1. Topragyň ýel tarapyndan tozadylmagy we suw tarapyndan iýilmegi;

2. Silden goranyş desgalarynyň ýeterliksizligi;

3. Daglyk we çöllük ýerlerde öri meýdanlaryndan peýdalanylanda, kada-hukuk resminamalarynyň doly berjaý edilmezligi;

4. Daglyk we çöllük ýerlerde tokaý we gyrymsy agaçlaryň çapylmagy;

5. Deňizleriň, kölleriň guran meýdan giňişliginden howa göterilýän duzly tozanlaryň serhetüsti geçmegi;

6. Suwarymly ýerleriň we öri meýdanlaryň kem-kemden suwa basdyrylmagy;

7. Ylmy taýdan esaslandyrylan ekin dolanyşygynyň ýeterliksiz peýdalanmagy;

8. Täze açylan ýerleriň melioratiw taýýarlyksyz özleşdirilmegi we peýdalanylmagy;

9. Zeýakaba – zeýkeş ulgamynyň uzynlygynyň ýeterliksizligi.

Şu sebäpleriň hemmesiniň netijesinde dispers sistemalaryň dürli görnüşleri emele gelýär we olar bolsa topragyň zaýalanmagyna esas bolýar.

## 10.2. Tebigy we emeli suspenziýalaryň we zollaryň koagulýasiýasy

Dispers sistemalaryň durnuklylygyny olaryň dispers gurşawly agregat ýagdaýlaryna görä kesgitlemek bolar. Dispers sistemalaryň içinde möhüm hem-de giň ýaýranlarynyň biri gaty maddalar bolup, olaryň dispers gurşawy gaty. Gaty maddalar üçin durnuklylyk we koagulýasiýa erkin dispers sistemalar ýaly häsiýetli däl. Liofob gaty dispers sistemalarda üst energiýasynyň peselmegi bilen haýal hem bolsa hadysalar geçýär. Ol hadysalar öýjükli jisimlerde, esasan hem, suwuk faza bolup, haçanda az-kem bolsa ereýjilik mümkin bolanda çalt bolup geçýär. Şulara laýyklykda Liofob gaty dispers sistemalar, dispers gurşawyny örän ýokary şepbeşikligi bolan kinetiki durnukly sistemalarydyr. Şeýle hem olary göwrüm gurluşynyň emele gelmegi bilen koagulyrlenen sistemalar hökmünde belli etmek bolar. Ol gaty materiallary almagyň usullarynyň biri bolup, adatça, olar erkin dispers sistemalardan ýa-da dispers sistemalaryň emele gelmegi bilen alynýar. Liofil gaty dispers sistemalar wagta görä ýokary durnuklylygy bilen tapawutlanýarlar.

Dispers gurşawy suwuk bolan dispers sistemalar durnuklylyk şertleriniň we koagulýasiýa usullarynyň köpdürlüligi bilen tapawutlanýarlar. Olar üçin termodinamik hem-de kinetik durnuklylyk mahsus. Sebäbi deň suwuk gurşawda fazara dartylmany peseldip, *IEG*-ni we solwatasiýany emele getirýän elektrolitik dissosiasiýa mahsus. Suwuk gurşawlarda üst energiýanyň minimal baha çenli adsorbsiýa peselmegine gözegçilik etmek bolar. Netijede, özakymlaýyn dispergirleme ýa-da durnukly geterogen dispers sistemalaryň emele gelmegi bolup biler. Suwuk gurşawlarda fazalaryň dykzlygynyň giň gerimde üýtgemegi mümkin. Şonuň üçin hem sedimentasiýa görä termodinamik durnuklylyk örän aňsat emele gelýär. Suwuk gurşawly dispers sistemalar üçin koagulýasiýa we sedimentasiýa görä durnuklylygyň kinetiki şertlerini sazlamak bolar.

Dispers gurşawly gaz halyndaky bolan sistemalar agregasiýa we sedimentasiýa durnukly däl. Bu ýagdaý gaz halyndaky gurşawda üst energiýany zerur bolan bahasyna çenli derejede peseldip, dispers faza bilen özara täsirleşip bilmeýärler. Gazlaryň dykzlygynyň pesligi hem sedimentasiýa durnuklylygyny sazlamak mümkinçiligini çäklendirýär.

Dispers sistemalaryň durnuklylygynyň we koagulýasiýasynyň şertleri hem-de kanunalaýyklyklary, esasan, liozollara, ýagny gaty dispers fazaly we suwuk dispers gurşawly ulgamlara degişli. Suspenziýalar we zollar bölejikleriniň ölçegi bilen tapawutlanýarlar. Şeýle hem fazalaryň tebigaty meňzeş bolanda aýratyn bölejikleriň üst häsiýetleri birmeňzeş. Bölejikleriň ölçeginiň dürli bolmagy, sistemalaryň köp göwrüm häsiýetleriniň aýratynlygyny kesgitleýär. Birmeňzeş massa konsentrasýalarynda suspenziýalaryň bulanyklylygy zollaryňkydan has ýokarydyr. Elektrik potensialy we *IEG*-niň gurluşy bölejikleriň ölçegine baglylygy pesdir.

Dispers fazanyň bölejikleriniň dürli ölçegde bolmagy dispers sistemalaryň molekulýar-kinetik häsiýetlerini kesgitleýär. Suspenziýanyň bölejikleri Broun hereketine gatnaşýarlar. Olar diffuziýa ukyply däl. Liozollardan tapawutlylykda suspenziýalar sedimentasiýa durnuksyz. Olarda osmos basyşy ýok diýen ýaly. Koagulýasiýanyň tizligi bolsa, bölejikleriň ýylylyk çaknyşmalaryna bagly bolman, esasan, üst gatlaklaryň häsiýetlerine bagly. Liozollaryň agregasiýa durnuklylygynyň entropiýa faktory bölejikleriň özüniň, şeýle hem olaryň üstki gatlaklarynyň ýylylyk hereketi bilen häsiýetlendirilýär. Ol bolsa dispers gurşawyň göwrümi boýunça bölejikleriň deňölçegli ýaýramagyny üpjün edýär. Suspenziýalarda bu şert üstki gatlaklaryň ýylylyk süýşmeleriniň hasabyna täsir edip, bölejikleriň biri-birine ýapyşmagyny we koagulýasiýany aradan aýryp biler. Ýöne ol, adatça, sedimentasiýa durnuklylygy üpjün etmek üçin ýeterlik däl. Suspenziýalarda we liozollarda agregasiýa durnuklylygynyň beýleki şertleriniň täsiri umumy häsiýete eýe.

Agregasiýa durnukly we durnuksyz suspenziýalar we liozollar koagulýasiýanyň netijesinde çökündi emele getirende, düýpli tapawutlanýarlar. Ol, esasan hem, sedimentasiýa göwürüme we çökündiniň gurluşyna degişli. Agregasiýa durnukly sistemalarda bölejikleriň çökmeği haýal geçýär we örän dykyz çökündi emele gelýär. Munuň özi üstki gatlaklaryň bölejikleriniň toplanmagyna päsgel bermegi bilen düşündirilýär. Agregasiýa durnuksyz sistemalarda bölejikleriň çökmeği agregatlaryň emele gelmeği bilen örän çalt bolup geçýär. Ýöne

bölünip çykyan çökündi uly göwrümi tutýar. Sebäbi bölejikler tötänleýin ýerleşen ýerinde we ilkinji täsirleşme ýagdaýlarynda galýarlar.

Eger-de bölejikler aralyk ölçegde bolsalar, onda agregasiýa durnukly we durnuksyz sistemalaryň aratapawudy örän aýdyň bildirýär. Durnuksyz sistemalaryň iri bölejikleri agyrlýk güýjüniň ýokarylygy sebäpli has dykyz çökündini emele getirýär. Durnukly sistemalardaky maýda bölejikler bolsa haýal çökýärler we çökündiler ýokary derejede hereketjeň bolýarlar.

Liozollaryň aýdyň görüňän aýratynlyklarynyň biri, olaryň öwrülişikliligi, ýagny koagulyýasiýadan soňra peptizasiýa ukyplylygydyr. Koagulyantyň zola geçmegi, esasan, zoluň liofilligine we wagta bagly. Eger-de koagulyýasiýa durnuklylygyň ol ýa-da beýleki şertiň täsiriniň peselmegi bilen geçýän bolsa, onda tersine bolan hadysa hökmünde peptizasiýany amala aşyrmak üçin, şol şertleriň täsiriniň dikeldilmegi zerur.

Koagulyýasiýanyň bolmagynyň bir görnüşi dürli görnüşli dispers sistemalaryň özara koagulyýasiýasy – geterokoagulyýasiýasydyr. Geterokoagulyýasiýa akar suwlaryny arassalamak we agyz suwlaryny taýýarlamak hadysalarynda giňden ulanylýar. Geterokoagulyýasiýa ugurdaş geçýän hadysa *flokulyýasiýa* diýilýär. Ol flokulýantlar diýlip atlandyrylýan, ÝMB-niň bölejikleriniň toplanmagy netijesinde agregatlaryň emele gelmegi bilen häsiýetlendirilýär. Flokulýantlar erginleri durlamak, suwy mehaniki garyndydan arassalamak üçin ulanylýar. Olar petdeleriň emele gelmek prosesini we olaryň çökme-gini çaltlandyrýar. Agregatlaryň we çökündileriň dykyzlygyny ýokarlandyrýarlar.

### **10.3. Tebigy we emeli emulsiýalaryň, köpürjikleriň, aerosollaryň durnuklylygy**

Emulsiýalaryň agregasiýa durnuklylygy, durnuklylygyň köp şertleri bilen häsiýetlendirilip bilner. Bu sistemalaryň emele gelmegi kesgitli şertlerde özakymlaýyn dispergirilenme bilen bagly bolmagy mümkin. Ýagny emulsiýalar kynçylyk ýagdaýda, üýtgeýän temperaturada, iki komponentli geterogen sistemada özakymlaýyn emele gelýärler. Belli bolşy ýaly, bular ýaly häsiýetleri kolloid ÜIM we ÝMB-niň erginleri hem ýüze çykarýar. ÜIM sistema goşulanda üst dartylmasyynyň güýçli peselmegi we entropiýanyň ýokarlanmagy, diňe

bir üýtgäp durýan temperaturalarynda däl, eýsem, adaty şertlerde-de termodinamik durnukly emulsiýalary almaga mümkinçilik berýär. Emulsiýalaryň bu häsiýeti durmuşda uly ähmiýete eýe.

Termodinamik durnukly we özakymlaýyn emele gelýän emulsiýalarda bölekler örän ýokary dispersiligi emele getirýär. Köp emulsiýalar mikroheterogen bolup, termodinamik durnuksyz sistemadyr.

Emulsiýalaryň agregasiýa durnuklylygy mukdar taýdan olaryň gatklara bölünmek tizligi ýa-da aýratyn damjanyň beýlekiler bilen galtaşma wagty häsiýetlendirilýär we emulsiýa alnandan soňra kesgitli wagt aralygynda gatlagy emele getirýän fazanyň beýikligini (göwrümini) ölçäp kesgitleýärler. Emulgatorsyz emulsiýalaryň durnuklylygy, adaty, uly däl. *ÜIM*-iň, *ÝMB*-niň, poroşoklaryň kömegi bilen emulsiýalaryň durnuklylygyny saklamagyň usullary belli edilen.

*ÜIM*-iň emulgirleýjilik ukyby gidrofil-liofil bolmagy (*GLB*) ýa-da gidrofil-olefil gatnaşygy (*GOG*) bilen kesgitlenilýär. Eger-de *ÜIM* ýagda däl-de, suwda gowy ereýän bolsa, gönümel emulsiýa (ýag/suw) emele gelýär. Haçanda onuň ereýjiligi ýagda gowy bolsa, onda garşylykly emulsiýa alynýar. Gönümel emulsiýany *GLB* sany  $8 \div 13$ -e deň bolan emulgatorlar berýär. *GLB* sany  $3 \div 6$  bolanda garşylykly emulsiýa alynýar.

Emulsiýalaryň durnuklylygyny ýokary dispersli poroşoklar bilen hem saklamak bolar. Olaryň täsiri hem *ÜIM*-e meňzeş.

Tebigatda, dürli senagat pudaklarynda emulsiýalar giňden ýaýrandyr. Senagatda, köplenç ýagdaýlarda, emulsiýalary bozmak zerurlygy ýüze çykýar. Ionogen emulgatorlar bilen durnuklaşdyrylan gönümel emulsiýalary, köp walentli ionlary bolan elektrolitleri goşmak bilen durnuklylygyny bozmak bolar. Olar ýaly elektrolitler diňe bir *IEG*-niň gysylmagyna getirmän, eýsem, emulgatory suwda az ereýän görnüşe getirýär. Emulgatorlary garşylykly görnüşli emulsiýalary emele getirmäge ukyply beýleki emulgatorlar bilen bitaraplaşdyrmak bolar. Temperaturany ýokarlandyrmak, elektrik usullar, merkeze ymtylýan güýji ulanmak we beýlekiler bilen emulsiýalaryň durnuklylygyny bozmak bolýar.

Köpürjikler suwuk we gaty dispers gurşawly bolup bilerler. Suwuk gurşawly köpürjikler üçin durnuklylyk we onuň bozulmagy uly ähmiýete eýe. Suwuk gurşawly beýleki dispers sistemalardaky

ýaly, köpürjikler üçin hem durnuklylygyň termodinamik we kinetik şertleri mahsus. Ýöne emulsiýalardan tapawutlylykda köpürjikleri liozollardaky ýaly özakymlaýyn dispergirmek bilen alyp bolmaýar. Ýagny gaz bilen araçäkde üst dartylymasyny zerur baha çenli peseldip bolmaýar. Şonuň üçin hem köpürjikler ýörite köpürjik emele getirijisiz uzak saklanyp bilmeýär.

Köpürjikleriň durnuklylygy, esasan, gidrodinamik şertler we sistemanyň degişli häsiýetleri bilen kesgitlenilýär. Köpürjikleriň durnuklylygy üst işjeň, pes hem-de ýokary molekulýar birleşmeleriň kömegi bilen üpjün edilýär. Durnuklylyk olaryň köpürjikleriniň ýa-da onuň kesgitli göwrüminiň ýaşaýyş wagty bilen kesgitlenilýär. Köpürjik emele getiriji hökmünde *ÜIM* ulanylanda, olaryň molekulýar massasynyň artmagy bilen köpürjikleriň durnuklylygy kesgitli çäge çenli ýokarlanýar. Molekulýar massanyň soňraky ulalmagy bilen bolsa peselýär. Şolar ýaly köpürjik emele getirijileriň konsentrasiýasynyň artmagy bilen maksimal durnuklylyga gözegçilik etmek bolar. Olar pes molekulýar birleşmelerden bolan *ÜIM*-dir. Bular ýaly maddalar birinji görnüşli köpürjik emele getirijilere degişlidir. Olary ulanyp alynýan köpürjikleriň durnuklylygy çalt bozulýar.

Kolloid *ÜIM* we beloklar ikinji görnüşli köpürjik emele getirijilere degişlidir. Olaryň konsentrasiýasy ýokarlananda, köpürjikleriň durnuklylygy üznüksiz artýar. Bu ýagdaý köpürjikleriň gurлуşynyň berkligi bilen düşündirilýär. Ionogen *ÜIM*-iň köpürjik emele getirmek ukyby ionogen dälleriňkiden düýpli ýokary bolup, ol ionogen *ÜIM*-den adsorbsiýa gatlaklarynyň emele gelmek tizliginiň uludygy bilen baglanyşdyrylýar.

Köp önümçiliklerde köpürjikler hadysalaryň gidişine gözegçilik etmäge päsgel berýärler. Şonuň üçin hem köpürjikleri öçürmek ýa-da onuň önüni almak zerur bolup, sistema ýörite köpürjik öçürijileri goşýarlar. Şeýle-de, himiki däl usullar hem ulanylýar. Köpürjikleri öçürijileriň deregine tebigy ýaglar, organiki kislotalar, spirtler, efirler, käbir kremniý we fosfor organiki birleşmeler hem ulanylýar. Himiki däl usullardan bolsa mehaniki, termiki we akustiki usullar ulanylýar.

Gaz görnüşli dispers gurşawy bolan sistemalar, hususan-da aerozollar örän pes agregasiýa durnuklylygy bilen tapawutlanýar. Bu durnuksyzlyk olardaky gurşawyň inertliligi bilen



şertlendirilýär. Aerozollar üçin durnuklylygyň termodinamik şertleri mahsus dälidir. Sebäbi gaz görnüşli gurşaw bilen araçä-de üst dartylmasyny minimuma çenli peseldýän üstki gatlagy döredip bolmaýar. Şonuň üçin hem bu sistemalar diňe kinetik durnuklylygy ýüze çykarýar we dispers fazanyň uly konsentra-siýasynda emele gelip bilmeýär.

Aerозollaryň ýene-de bir aýratynlyklarynyň biri, olaryň böle-jikleriniň durnuksyz we deňagramsyz elektrik häsiýetleridir. Eger-de liozollar üçin sistemanyň elektrik ýagdaýy bölejikler bilen gurşawyň arasynda deňagramlylyga laýyk gelip, bölejiklerdäki elektrik poten-sialy birmeňzeş bolsa, onda aerозollarda bölejikleriň zarýady dürli alamata eýedir. Sebäbi gaz görnüşli gurşawda deňagramlylygy çalt üpjün edip bilmeýär.

Gaz gurşawdaky Broun hereketiň hasabyna aerозollarda koa-gulýasiýa prosesi liozollardan çalt geçýär. Aerозollaryň koagulýasiýa hemişeligi örän uly bolup, olaryň konsentrasiýasynyň ýokarlanma-gy bilen koagulýasiýanyň tizligi artýar. Eger-de bölejikler birmeňzeş zarýadly bolsalar, onda olaryň dargamagyny we agregasiýa durnukly-lygyny ýokarlandyrýar. Garşylykly zarýadly bölejikler bar bolanda aerозollaryň koagulýasiýasy çaltlanýar.

Aerозollar senagatda, oba hojalygynda we durmuşda giňden ula-nylýar. Ýöne önümçilikde emele gelyän dürli görnüşli aerозollaryň önüni almak, olaryň durnuklylygyny bozmak zerur bolup, ol daş-töweregimizi gurşap alýan gurşawy goramagyň esasynda amal edilmelidir.

Aerозollaryň durnuklylygyny bozmak we dispers fazanyň böle-jiklerini tutup galmak üçin dürli usullar ulanylýar. Iri bölejikler to-zan giňişliginde çökdürilýär. Elektrosüzgüçlerde täsirli arassalamak işlerini geçirýärler. Umuman, aerозollary süzmek usuly giň gerime eýe. Ýöne aerозollaryň dispersililiginiň artmagy bilen bu usulyň tä-sirliligi peselýär. Şonuň üçin hem ýokary dispersiýaly aerозollaryň durnuklylygyny bozmak üçin, ilki koagulirlmek usuly ulanyl-ýar. Senagatda giň ýaýran usullaryň biri aerозolyň gurşawyndaky suwuklyklaryň buglarynyň kondensasiýasyna esaslanýan aerозollary tutup galmak usullarydyr.

## Peýdalanylan edebiýatlar

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Garaşsyzlyga guwanmak, Watany, halky söýmek bagtdyr. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2007.
2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Döwlet adam üçindir. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008.
3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Bilim – bagtyýarlyk, ruhubelentlik, rowaçlyk. – A.: Türkmen döwlet neşirýat gullugy, 2014.
4. *Фридрихсберг Д.А.* Курс коллоидной химии. – Ленинград. Химия, 2007.
5. *Фролов Ю.Г.* Курс коллоидной химии. – Москва. Химия, 2004.
6. *Никляева Н.И., Нурбердиев Р.* Коллоид химия боюнча методики голланма. – Ашгабат, 1993.
7. *Нурбердиев Р., Никляева Н.И.* Коллоид химия боюнча семинар сапаклар үчин методики голланма. – Ашгабат, 1997.
8. *Кругляков П.М., Хасков Т.Н.* Физическая и коллоидная химия. – Москва, 2010.
9. *Савицкая Т.А., Котиков Д.А.* Коллоидная химия. – Минск. БГУ, 2009.
10. *Воюцкий С.С.* Курс коллоидной химии. – Москва. Химия, 1998.
11. *Захарченко В.Н.* Коллоидная химия. – Москва. Высшая школа, 1994.
12. *Шукин Е.Д.* и др. Коллоидная химия. – Москва. Высшая школа, 2007.
13. *Адамсон А.* Физическая химия поверхностей. – Москва. Высшая школа, 2008.
14. *Болдырев А.И.* Демонстрационные опыты по физической и коллоидной химии. – Москва. Высшая школа, 1996.
15. *Дерягин Б.В.* Теория устойчивости коллоидов и тонких плёнок. – Москва. Высшая школа. Наука, 2001.
16. *Амелина Е.А.* Методическое пособие к курсу коллоидной химии. – Москва. МГУ, ч.1, 2, 3, 2007.
17. *Измайлова В.Н., Ребиндер П.А.* Структурообразование в белковых системах. – Москва. Высшая школа, 1994.
18. *Маршев П.М.* Практикум по физической и коллоидной химии. – Москва. Высшая школа, 1997.

19. *Маколкин И.А., Шмелов Б.А.* Сборник примеров и задач по физической химии. – Москва. Высшая школа, 1993.
20. *Сумм Б.Д.* Основы коллоидной химии. – Москва. Академия, 2006.
21. *Пригожин И., Конденпуди Д.* Современная термодинамика. – Москва. Мир, 2002.
22. *Рибиндер П.А.* Поверхностные явления в дисперсных системах. – Москва. Высшая школа, 1998.
23. Успехи коллоидной химии. Под ред. Ахмедова К. С. – Ташкент. ФАН, 1986.
24. *Агеев Е.П.* Неравновесная термодинамика в вопросах и ответах. – Москва. Эдиториал УРСС, 2001.
25. Методическая разработка к практикум по коллоидной химии. Составитель Е.А. Амелина. – Москва. МГУ, 2005.
26. *Кругляков П.М., Хаскова Т.Н.* Физическая и коллоидная химия. – Москва. Высшая школа, 2007.
27. *Щукин Е.Д., Перцов А.В., Амелина Е.А.* Коллоидная химия. Учебник для вузов и бакалавров. 6-е изд. – Москва. Юрайт, 2012.
28. [www.World Book.kol /chem/ russion/](http://www.WorldBook.kol/chem/russian/).2016.
29. [www.chemistry /ru/ laws/](http://www.chemistry.ru/laws/).
30. [www. bibliofond.ru](http://www.bibliofond.ru).2014.

## MAZMUNY

Giriş.....	7
------------	---

### I BÖLÜM DISPERS SISTEMALAR

1.1. Maddalaryň kolloid ýagdaýy .....	11
1.2. Dispers sistemalaryň häsiýetleri .....	12
1.3. Dispers sistemalaryň klassifikasiýasy .....	15
1.4. Polimerleriň kolloid himiýasy.....	21

### II BÖLÜM FAZALARYŇ ARAÇÄKLEŞÝÄN ÜSTÜNIŇ HÄSIÝETLERI

2.1. Fazalaryň araçägi we molekulýar özara täsir.....	24
2.2. Üst hadysalarynyň termodinamik esaslary .....	26
2.3. Kapillýar hadysalar .....	27
2.4. Dispers fazalaryň arasyndaky adgeziýa we kogeziýa hadysalary.....	31
2.5. Öllenmekligiň termodinamik şertleri.....	32

### III BÖLÜM ADSORBSIÝA WE ONUŇ DISPERS SISTEMALARYŇ HÄSIÝETLERINE EDÝÄN TÄSIRI

3.1. Adsorbsiýa barada umumy düşünje .....	35
3.2. Gibbsiň adsorbsiýa deňlemesi.....	36
3.3. Üst işjeň we üst işjeň däl maddalarda adsorbsiýa .....	38
3.4. Gaty madda-gaz we gaty madda-suwuklyk üst ýüz araçägindäki adsorbsiýa .....	41
3.5. Gaz garyndylaryndan we erginlerden adsorbsiýa .....	45
3.6. Adsorbsiýa güýçleriniň tebigaty we kinetikasy .....	48

## **IV BÖLÜM**

### **DISPERS SISTEMALARYŇ ALNYŞY WE ARASSALANYŞY**

4.1. Dispers sistemalaryň alnyş usullary .....	51
4.2. Dispers sistemalaryň dispergirleme usuly bilen alnyşy .....	53
4.3. Dispers sistemalaryň kondensasiýa usuly bilen alnyşy .....	54
4.4. Üst işjeň maddalar.....	60
4.5. Dispers sistemalary arassalamak usullary.....	66

## **V BÖLÜM**

### **DISPERS SISTEMALARYŇ MOLEKULÝAR-KINETIK HÄSIÝETLERI**

5.1. Dispers sistemalarda Broun hereketi .....	70
5.2. Dispers sistemalarda diffuziýa hadysasy .....	71
5.3. Dispers sistemalarda osmos hadysasy .....	74
5.4. Sedimentasiýa we onuň kanunalaýyklyklary.....	75
5.5. Dispersliligiň barlag usullary.....	77
5.6. Sedimentasiýa – diffuziýa deňagramlylygy.....	80

## **VI BÖLÜM**

### **DISPERS SISTEMALARYŇ OPTIKI HÄSIÝETLERI**

6.1. Dispers sistemada ýagtylygyň ýaýramagy .....	83
6.2. Dispers sistemalarda ýagtylygyň pytradylmagy we siňdirilmegi .....	84
6.3. Reňkli dispers sistemalar .....	85
6.4. Dispers sistemalaryň optiki gözegçilik usullary .....	86

## **VII BÖLÜM**

### **DISPERS SISTEMALARYŇ ELEKTRIK HÄSIÝETLERI**

7.1. Kolloid bölejikleriň elektrohimiýa ýagdaýy.....	91
7.2. Misellanyň gurluşy.....	92
7.3. İkileýin elektrik gatlagynyň gurluşy .....	94
7.4. Elektrokinetik potensial .....	97
7.5. Elektrokinetik hadysalar .....	99

**VIII BÖLÜM**  
**DISPERS SISTEMALARYŇ DURNUKLYLYGY**  
**WE KOAGULÝASIÝASY**

8.1. Dispers sistemalaryň agregatiw we kinetik durnuklylygy .....	102
8.2. Koagulýasiýa hadysasy .....	104
8.3. Kolloid erginleriň durnuklylygyna täsir edýän elektrolitler .....	105
8.4. B.W. Derýaginiň, L.D. Landauň, E. Ferweýiň we Ý. Owerbegiň nazaryýetleri .....	107
8.5. Liofob dispers erginleriň durnuklylyk nazaryýetleri .....	108
8.6. Koagulýasiýa tizligi .....	109

**IX BÖLÜM**  
**DISPERS SISTEMALARYŇ FIZIKI-HIMIKI**  
**MEHANIKASY**

9.1. Dispers sistemalaryň gurluşy .....	113
9.2. Dispers sistemalaryň reologik häsiýetleri .....	114
9.3. Ştaudingeriň deňlemesi .....	115
9.4. Suwuk sistemalaryň reologik häsiýetleri .....	117
9.5. Gaty sistemalaryň reologik häsiýetleri .....	118

**X BÖLÜM**  
**DAŞ-TÖWEREGI GORAMAGYŇ KOLLOID HIMIÝA ESASLARY**

10.1. Howany, suwy we topragy goramakda kolloid himiýa ylmynyň usullarynyň ulanylyşy .....	120
10.2. Tebigy we emeli suspenziýalaryň we zollaryň koagulýasiýasy .....	124
10.3. Tebigy we emeli emulsiýalaryň, köpürjikleriň, aerozollaryň durnuklylygy .....	126
Peýdalanylan edebiýatlar .....	130

Gerek Orazgulyýewa, Rejepnur Nurberdiýew, Muhammet Goşaýew

## KOLLOID HIMIÝA

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Redaktor

Surat redaktory

Teh.redaktor

Kompýuter bezegi

Neşir üçin jogapkär

*A. Aşyrowa*

*O. Çerkezowa*

*O. Nurýagdyýewa*

*M. Atajanowa,*

*B. Mämmetgurbanow*

*R. Nurow*

Çap etmäge rugsat edildi 05.09.2019. Ölçeği 60x90<sup>1/16</sup>.  
Şertli çap listi 8,5. Hasap-neşir listi 7,96.  
Çap listi 8,5. Şertli reňkli ottiski 26,75.  
Sargyt № 1387. Sany 500.

Türkmen döwlet neşirýat gullugy.  
744000. Aşgabat. Garaşsyzlyk şaýoly, 100.

Türkmen döwlet neşirýat gullugynyň Metbugat merkezi.  
744015. Aşgabat. 2127-nji (G. Gulyýew) köçe, 51/1.