R. Artykow, G. Durdyýew

FIZIKA WE BIOFIZIKANYŇ ESASLARY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hödürlenildi

Aşgabat
"Ylym" neşirýaty
2012

UOK 378 + 53
A 72

Artykow R., Durdyýew G.

A 72 **Fizika we biofizikanyň esaslary.** Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby. – A.: Ylym, 2012. – 208 sah.

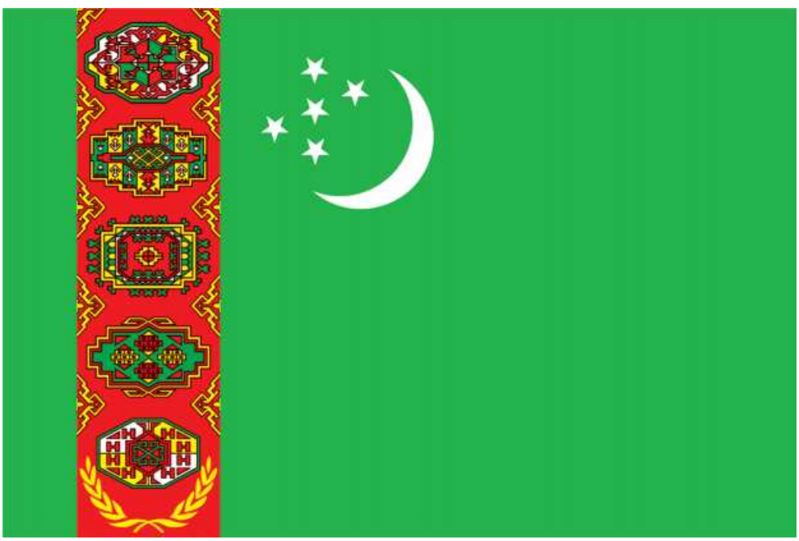
Kitap S.A.Nyýazow adyndaky Türkmen oba hojalyk uniwersitetinde okadylýan fizika we biofizikanyň esaslary dersiniň okuw maksatnamasy esasynda taýýarlanyldy.

Okuw kitaby ýokary okuw mekdepleriniň maldarçylyk hünärleri boýunça bilim alýan talyplara niýetlenen bolup, ondan beýleki ýokary we orta hünär okuw mekdepleriniň talyplary hem-de bu ugurda işleýän hünärmenler hem okuw gollanmasy hökmünde peýdalanyp bilerler.

TDKP № 343 KBK 28.071 ýa 73

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.

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

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

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

GIRIŞ

Fizika we biofizikanyň esaslary dersi maldarçylyk, weterinar lukmançylygy we atçylyk ugurlaryndan ýokary bilimli hünärmenleri taýýarlamaklygyň nazary esaslaryny düzmek bilen, talyplaryň birnäçe garyşyk dersleri öwrenmeklerine kömek edýär hem-de olaryň geljekde praktiki işlerinde zerur bolan dürli fiziki hadysalary we kanunlary öwredýär. Ondan başga-da, “Fizika we biofizikanyň esaslary” dersi “Haýwanlaryň anatomiýasy”, “Organiki däl we analitiki himiýa”, “Haýwanlaryň fiziologiýasy”, “Hususy maldarçylyk”, “Patologiki fiziologiýa”, “Kliniki diagnostika”, “Umumy we hususy hirurgiýa”, “Weterinar radiologiýasy”, “Zähmeti goramak”, “Içki ýokanç däl keseller”, “Maldarçylykda mehanizasiýa”, “Maldarçylykda elektrifikasiýa” ýaly dersler öwrenilende gerek bolýar.

Fizikanyň usullarynyň, enjamlarynyň ýyl geçdigiçe ylma we oba hojalyk tejribeligine, önümçiligine giňden aralaşmagy, önümçilik tejribehanalarynda seljermegiň elektron we optiki usullarynyň giňden ulanylmagy fizikany öwrenmekligi talap edýär. Ses, elektromagnit tolkunlary, şol sanda ultramelewşe we infragyzyl şöhleler ýaly fiziki hadysalaryň janly bedenlere edýän täsirlerini öwrenmek biofizika dersiniň esasy meselelerinden biri bolup durýar. Şonuň üçin oba hojalygynda şu ugurdan zähmet çekýän her bir ýokary hünärli hünärmen fizikadan nazaryýet taýdan-da bilimi bolup, olary janly organizmlerde bolup geçýän prosesleri düşündirmekde ulanmaklygy başarmalydyr.

Fizika we biofizikanyň esaslary dersini maldarçylyk, weterinar lukmançylygy we atçylyk hünärleriniň 1-nji ýyl talyplary diňe okuw ýylynyň 1-nji ýarymýyllygynda öwrenýärler. Şonuň üçin 1-nji ýyl talyplaryna düşnükli bolar ýaly, oba hojalygynda fizika bilen biologiýanyň has anyk, takyk baglanyşygy bolan biologiki hadysalara (meselelere) seredildi. Şeýlelikde, fizika we biofizikanyň esaslary fizikanyň esasy kanunlarynyň yzygiderlilikde bir bitewi görnüşde beýan edilmegidir. Onda biologiýanyň meseleleri aýratynlykda seredilmän, fizikanyň esaslarynyň degişli bölümleri bilen berk baglanyşykda öwrenilýär.

Fizika we biofizikanyň esaslary – fizikanyň, biologiýanyň we himiýanyň çäklerinde, olary özara baglaşdyrýan täze ylym bolup, biologiki sistemalardaky fiziki we fiziki-himiki hadysalary ylmy esasda düşündirýär.

Biofizikada mehanika – gan aýlanyşygyň dinamikasyny, akustika – sesiň biologiki täsirlerini we ýüze çykyşyny, termodinamika – janly organizmlerde ýylylyk alyş-çalşygynyň kanunlaryny, elektrik bölümi – biologiki sistemalardaky elektrik hadysalaryny, optika bolsa –ýagtylyk şöhlelenmeleriniň biologiki obýektlere edýän täsirini öwredýär.

Fiziki kanunlar fiziki ululyklary biri-biri bilen baglanyşdyrýarlar. Şonuň üçin bu ululyklary ölçemeklik gerek bolýar. Haýsy hem bolsa bir fiziki ululygy ölçemek diýmek, ony birlik deregine kabul edilen başga bir (nusga) ululyk bilen deňeşdirmek diýmekdir.

Birlikler ulgamyny gurmak üçin biri-birine bagly bolmadyk birnäçe fiziki ululyklaryň birlikleri erkin saýlanyp alynýar. Bu birliklere esasy birlikler diýilýär. Beýleki fiziki ululyklar we olaryň birlikleri bu ululyklary esasy fiziki ululyklar bilen baglanyşdyrýan kanunlar arkaly getirilip çykarylýar. Olara getirilen birlikler diýilýär.

Öňki SSSR Döwlet standartyna laýyklykda (TDS 8.417-81) Halkara birlikler sistemasyny (HS) – Internasional sistemany (IS) ulanmaklyk hökmany suratda girizildi. Bu birlikler sistemasy ylym, tehnika, oba hojalygy, bilim öwretmegiň usulyýeti üçin ýeke-täk kabul edilen birlikler sistemasydyr. IS-iň düzümine 7 sany esasy – metr, kilogram, sekunt, amper, kelwin, mol, kandela we iki sany goşmaça – radian we steradian birlikler girýär.

Getirilen birlikleri almak üçin esasy birlikler bilen baglanyşdyrýan fiziki kanunlar ulanylýar. Mysal üçin, gönüçyzykly deňölçegli hereketiň formulasy esasynda $v = s/t$, s – geçilen ýol, t – wagt. Onda tizligiň döredilen birligi 1 m/s bolýar.

Bu okuw kitaby oba hojalyk ýokary okuw mekdepleriniň talyplary üçin niýetlenendir. Kitaba oba hojalyk hünärlerinde okaýan talyplar üçin fizika we biofizikanyň esaslary dersinden okuw maksatnamasyna laýklyklykda kursuň degişli bölümleri girizildi. Bölümleriň göwrümleri okuw meýilnamasyna laýyklykda çäklendirildi.

I BÖLÜM

MEHANIKANYŇ ESASLARY

Mehanika – mehaniki hereketiň kanunalaýyklyklaryny we onuň ýüze çykmasynyň ýa-da üýtgemesiniň sebäplerini öwrenýän fizikanyň bölümidir. Mehaniki hereket – bu wagtyň geçmegi bilen jisimiň ýa-da onuň bölejikleriniň özara ýerleşişiniň beýleki jisimlere görä üýtgemegidir.

Mehanika grek alymy Arhimed (biziň eramyzdan öň 287-212-nji ýyllar) ryçagyň deňagramlylyk düzgünini açandan soň ylym hökmünde ösüp başlady. Mehanikanyň esasy kanunlary italýan fizigi we astronomy G.Galileý (1564-1642) tarapyndan takyklandy we iňlis alymy I.Nýuton (1643-1727) tarapyndan gutarnykly görnüşi aldy.

Galileý-Nýutonyň mehanikasyna nusgawy mehanika diýilýär we ol tizligi ýagtylygyň tizligine garanyňda has kiçi bolan tizlik bilen hereket edýän makroskopiki jisimleriň hereket kanunlaryny öwrenýär. Tizlikleri ýagtylygyň wakuumdaky tizligine deň we oňa golaý bolan tizlik bilen hereket edýän jisimleriň hereket kanunlaryny Eýnşteýniň (1879-1955) otnositellik teoriýasyna esaslanan relýatiwistik mehanika öwrenýär. Aýry-aýry atomlaryň ýa-da elementar bölejikleriň (mikroskopik jisimleriň) hereketi öwrenilende nusgawy mehanikanyň kanunlaryny ulanyp bolmaýar, olar kwant mehanikasynyň kanunlaryna boýun egýär. Mehanika üç bölümden ybaratdyr: kinematika, dinamika, statika.

Kinematika – jisimiň hereketini, ony döredýän sebäplere seretmezden, öwrenýär.

Dinamika – jisimiň hereketiniň ýüze çykmagynyň ýa-da üýtgemesiniň sebäplerini we kanunlaryny, ýagny tizlenmäniň döremeginiň sebäplerini öwrenýär.

Statika – jisimler sistemasynyň deňagramlylyk kanunlaryny öwrenýär. Eger jisimiň hereket kanuny belli bolsa, onda olardan deňagramlylyk kanunlaryny getirip çykaryp bolýar. Şonuň üçin fizikada statikanyň kanunlary, dinamikanyň kanunlaryndan aýratynlykda öwrenilmeýär.

1.1. Kinematika

Mehaniki hereketiň iň sada görnüşi − material nokadyň hereketidir. Hereketiň berlen şertlerinde ölçegini hasaba almasaň hem bolýan jisime material nokat diýilýär. Mysal üçin, Ýeriň ortaça diametri 12700 *km* ≈ ≈ $0{,}13 \cdot 10^5$ *km*-e, onuň Gün bilen aralygy bolsa $150 \cdot 10^6$ *km*-e golaý, şonuň üçin Ýeriň ululygy Güne çenli bolan aralyk bilen deňeşdirilende örän kiçidigi sebäpli, Ýeri material nokat hökmünde kabul etmek bolar. Emma, edil şol bir hakyky jisime, meseläniň goýluşyna baglylykda, bir ýagdaýda material nokat hökmünde, ikinji bir ýagdaýda bolsa belli bir ölçegli jisim hökmünde garalýandygyny bellemek gerek. Mysal üçin, top okuna uçuş şertlerinde material nokat hökmünde garap bileris. Emma, top okunuň uçuşyna howanyň garşylygynyň edýän täsirini hem-de uçuş wagtynda top okunuň aýlanýandygyny hasaba alsak, onda biz top okuna material nokat hökmünde garap bilmeris: biz onuň massasyny, ölçeglerini we ş.m. hasaba almaly bolarys.

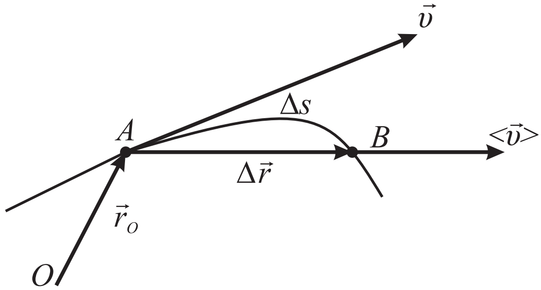
Islendik mehaniki hereket otnositeldir. Tebigatda hereketsiz jisim ýokdur. Jisimiň hereketi giňişlikde belli bir wagtda bolup geçýär. Şonuň üçin islendik jisimiň hereketini kesgitlemek üçin, onuň şol bir wagtda giňişligiň haýsy ýerinde durandygyny, belli bir wagtdan soň onuň ornuny nähili üýtgedendigini bilmek gerek. Şonuň üçin biz haýsy hem bolsa bir jisimi hereketsiz diýip kabul etmeli bolýarys. Hereketsiz diýip kabul edilen jisime hasap jisimi ýa-da hasaplama başlangyjy diýilýär. Başlangyç nokady hasap jisiminde ýerleşdirilen koordinatalar sistemasyna hasaplama sistemasy diýilýär. Mysal üçin, otagyň bir burçundan zyňlan şarjagazyň hereketine biz otaga otnositellikde garap bileris. Koordinatalar başlangyjyny şol burçda ýerleşdirip, onuň oklaryny diwarlaryň boýuna ugrukdyrsak, hasaplama sistemasyny alarys.

Hereketsiz diýip kabul edilýän, ýa-da oňa otnositellikde mydama deňölçegli gönüçyzykly hereketde bolýan islendik sistema hasaplamanyň inersial sistemasy diyilyär. Degişlilikde, üýtgeýan ýa-da egriçyzykly hereket edýan islendik sistema hasaplamanyň inersial däl sistemasy bolup hyzmat eder. Hereketleriň kanunlary öwrenilýan wagtynda oňa doly we dogry düşünmek üçin, bu hereketiň haýsy hasaplama sistemasyna otnositellikde seredilýändigine üns bermek gerek.

Jisimiň giňişlikde hereket edende galdyrýan yzyna traýektoriya diyilyär. Traýektoriýanyň görnüşine baglylykda jisimiň hereketi gönüçyzykly ýa-da egriçyzykly bolup biler.

Jisimiň islendik deň wagt aralygynda deň orun üýtgetmesine deňölçegli, deň wagt aralygynda dürli orun üýtgetmesine bolsa deňölçegsiz hereket diýilýär.

Goý, jisim egriçyzykly traýektoriýa bilen hereket edýär diýeliň. Oňa t wagt pursatynda $\vec{r}$ radius-wektor degişli bolsun (ýagny t_0 wagt pursatynda jisimiň ýagdaýy $\vec{r_0}$ radius-wektoryň ululygy bilen kesgitlenilýär (*1.1-nji surat*).



1.1-nji surat. Egriçyzykly hereketiň şekillendirilişi

Uly bolmadyk Δt wagtyň dowamynda jisim Δs ýoly geçýän we elementar Δr orun üýtgetmäni alýan bolsun, onda

$$\langle\vec{\upsilon}\rangle = \frac{\Delta\vec{r}}{\Delta t}. \tag{1.1}$$

Bu ululyga hereketiň Δt wagtdaky orta tizligi diýilýär. Orta tizlik wektorynyň ugry $\Delta\vec{r}$ -iň ugry bilen gabat gelýär.

(1.1) deňlikden $\Delta t \to 0$ ymtylanda mgnowen (berlen wagt pursatyndaky) tizligi alyp bolýar:

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t} = \frac{dr}{dt}.$$

Diýmek, mgnowen tizlik hereket edýän jisimiň radius-wektoryndan wagta görä alnan birinji önüme deňdir. Mgnowen tizligiň ugry hereketiň ugry bilen gabat gelýär we ol traýektoriýanyň berlen nokadyna geçirilen galtaşma boýunça ugrukdyrylýar. Δt wagtyň kiçelmegi bilen jisimiň geçýän Δs ýoly barha $|\Delta r|$-e golaýlaşýar. Şonuň üçin mgnowen tizligiň moduly aşakdaky görnüşi alar:

$$\upsilon = |\vec{\upsilon}| = \left|\lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta r}{\Delta t}\right| = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta r|}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{ds}{dt}.$$

Şeýlelikde, mgnowen tizligiň san bahasy geçilen ýoluň wagta görä alnan birinji önümine deňdir:

$$\upsilon = \frac{ds}{dt}. \qquad (1.2)$$

Bu ululyk wagtyň islendik pursatynda jisimiň hereketiniň tizligini kesgitlemäge mumkinçilik berýär. Munuň üçin jisimiň hereket deňlemesini, ýagny onuň geçýän ýolunyň wagta baglylyk aňlatmasyny bilmek ýeterlikdir.

Deňölçegsiz hereketde mgnowen tizligiň moduly wagta görä üýtgeýär. Şonuň üçin deňölçegsiz hereketiň orta tizligi düşünjesi girizilýär. Ýagny:

$$\langle\vec{\upsilon}\rangle = \frac{\Delta s}{\Delta t}.$$

1.1-nji suratdan görnüşi ýaly, $\langle\upsilon\rangle > |\langle\vec{\upsilon}\rangle|$ sebäbi $\Delta s > |\Delta r|$, gönüçyzykly hereketde $\Delta s = |\Delta r|$.

(1.2) formuladan ds-i tapyp ($ds = \upsilon dt$), ony t-den $t + \Delta t$ wagt aralygynda integrirläp, material nokadyň Δt wagtda geçen ýolunyň uzynlygyny tapýarys:

$$s = \int_t^{t+\Delta t} \upsilon dt. \qquad (1.3)$$

Deňölçegli hereketde (1.3) aňlatmany şeýle ýazmak bolar:

$$s = \upsilon \int_t^{t+\Delta t} dt = \upsilon \Delta t.$$

Deňölçegsiz hereketde jisimiň tizliginiň wagta görä nähili üýtgeýändigini bilmek gerek bolýar. Moduly we ugry boýunça tizligiň wagt birliginde üýtgemesini häsiýetlendirýän fiziki ululyga tizlenme diýilýär:

$$\langle\vec{a}\rangle = \frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t}.$$

Bu ýerde $\langle\vec{a}\rangle$ – orta tizlenme.

Jisimiň t wagt pursatyndaky $\vec{a}$ mgnowen (pursat) tizlenmesi onuň orta tizlenmesine deňdir:

$$\vec{a} = \lim_{\Delta t\to 0}\langle\vec{a}\rangle = \lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\vec{\upsilon}}{\Delta t} = \frac{d\vec{\upsilon}}{dt}.$$

Görnüşi ýaly, $\vec{a}$ tizlenme wektor ululyk bolup, tizlikden wagta görä alnan birinji önüme deňdir.

Gönüçyzykly hereketde tizlik we tizlenme wektorlary traýektoriýanyň ugry bilen gabat gelýär. Egriçyzykly hereketde tizlik ululygy we ugry boýunça wagta görä üýtgäp durýar. Tizligiň ugry boýunça üýtgeýşini häsiýetlendirýän ululyga normal tizlenme diýilýär. Ol mydama hereketiň tizligine perpendikulýardyr: $a_n = \frac{\upsilon^2}{r}$.

Tizligiň ululygy boýunça üýtgeýşini häsiýetlendirýän ululyga tangensial tizlenme diýilýär: $a_t = \lim\limits_{\Delta t\to o}\frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{d\upsilon}{dt}$.

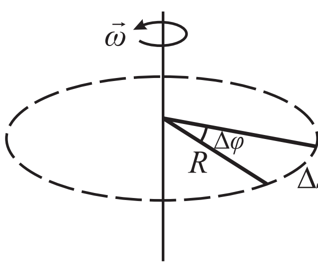
Şeýlelikde, egriçyzykly hereket edýän jisimiň doly tizlenmesi tangensial we normal düzüjileriň geometriki jemine deňdir:

$$\vec{a} = \vec{a}_\tau + \vec{a}_n.$$

Onuň moduly $a = \sqrt{a_\tau^2 + a_n^2} = \sqrt{\left(\frac{d\upsilon}{dt}\right)^2 + \left(\frac{\upsilon^2}{r}\right)^2}$.

Kinematiki ululyklar.

Jisimiň töwerek boýunça hereketini häsiýetlendirmek üçin burç tizligi we burç tizlenmesi diýen düşünjeler girizilýär.



1.2-nji surat. Burç tizliginiň şekillendirilişi

Goý, jisim R radiusly töwerek boýunça deňölçegli hereket edýän bolsun (*1.2-nji surat*). Onuň sähelçe Δt wagt geçendäki ýagdaýyny $\Delta\varphi$ öwrülme burçy bilen aňladalyň. Jisimiň öwrülme burçundan wagta görä alnan birinji önümine deň bolan wektor ululyga burç tizligi diýilýär:

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt}.$$

Onuň ugry sag nurbatyň ugry bilen gabat gelýär:

$$\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt} \cdot \vec{n}.$$

Bu ýerde $\vec{n}$ – jisimiň hereketlenýän tekizligine perpendikulýar ugur boýunça ugrukdyrylan birlik wektor.

Burç tizliginiň birligi deregine radius-wektoryň bir sekuntda bir radian burça öwrülendäki tizligi kabul edilýär we $1\frac{rad}{s}$ görnüşinde belgilenýär.

Çyzyk tizliginiň ululygy burç tizliginiň radiusa köpeldilmegine deňdir (*1.2-nji surata seret*):

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta s}{\Delta t} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{R\Delta\varphi}{\Delta t} = R \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = R\omega \,,\ \vec{\upsilon} = R\vec{\omega} \cdot$$

ω = const bolsa, aýlanma hereketi deňölçeglidir we ony T aýlanma periody bilen kesgitlemek bolar. Jisimiň töwerek boýunça doly bir aýlaw edýän wagtyna aýlaw periody diýilýär. Bu $\Delta t = T$ wagt aralygynda $\Delta\varphi = 2\pi$ bolýar, onda $\omega = \frac{2\pi}{T}$, bu ýerden:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} \cdot$$

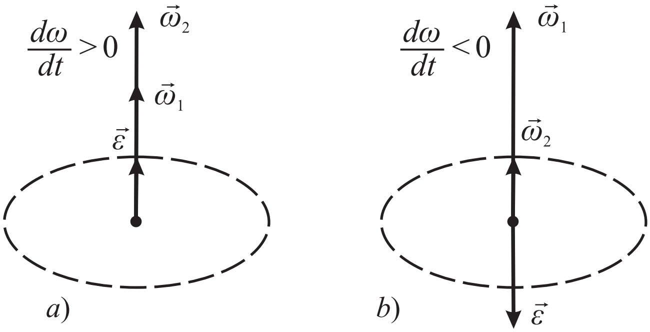
Jisimiň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde onuň wagt birliginde ýerine ýetirýän n aýlaw sanyna aýlaw ýygylygy ýa-da çyzykly ýygylyk diýilýär. Eger-de aýlaw ýygylygyny n harpy bilen bellesek, onda:

$$n = \frac{1}{T} = \frac{\omega}{2\pi}, \text{ bu ýerden: } \omega = 2\pi n.$$

Burç tizlenmesi diýip, burç tizliginiň wagta görä alnan birinji önümine ýa-da öwrülme burçundan wagta görä alnan ilkinji önümine deň bolan wektor ululyga aýdylýar:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\vec{\omega}}{dt} \quad \text{ýa-da} \quad \varepsilon = \frac{d^2\varphi}{dt^2}.$$

1.3-nji suratdan görnüşi ýaly, burç tizlenmesiniň wektory $\vec{\varepsilon}$ aýlanma oky boýunça burç tizliginiň elementar artdyrmasyna tarap ugrukdyrylandyr. Tizlenýän hereketde $\vec{\varepsilon}$ wektor $\vec{\omega}$ wektora ugurdaş, (*1.3-nji a surat*), haýallaýan hereketde bolsa garşylykly (*1.3-nji b surat*) ugrukdyrylandyr.



1.3-nji surat. Burç tizlenmesiniň şekillendirilişi

$$a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt}, \quad \upsilon = \omega R \quad \text{we} \quad a_\tau = \frac{d(\omega R)}{dt} = R\frac{d\omega}{dt} = R\varepsilon.$$

Tizlenmäniň normal düzüjisi:

$$a_n = \frac{\upsilon^2}{R} = \frac{\omega^2 R^2}{R} = \omega^2 R.$$

Şeýlelikde, çyzyk (nokadyň R radiusly töweregiň dugasy boýunça geçen s ýoly, çyzyk tizligi – υ, tangensial tizlenmesi – a_τ, normal tizlenmesi – a_n) we burç (öwrülme burçy – φ, burç tizligi – ω, burç tizlenmesi – ε) ululyklarynyň arasyndaky baglanyşyk aşakdaky formulalar bilen aňladylýar:

$$s = R\varphi,\ \upsilon = R\omega,\ a_\tau = R\varepsilon,\ a_n = \omega^2 R.$$

Töwerek boýunça deňüýtgeýän hereketde (ε = const)

$$\omega = \omega_0 + \varepsilon t,\ \varphi = \omega_0 t + \varepsilon t^2/2,$$

bu ýerde ω_0 – başlangyç burç tizligi.

1.2. Dinamika. Nýutonyň kanunlary

Dinamika mehanikanyň esasy bölümidir. Dinamikanyň üç kanuny esasynda jisimleriň Ýeriň üstündäki we asman jisimleriniň hereketi barada geçirilen köpsanly tejribeleriň we teoretiki maglumatlaryň netijeleri Nýuton tarapyndan umumylaşdyrylýar. Nýutonyň kanunlary esasynda hereketiň dinamiki we kinematiki kanunalaýyklyklary biri-biri bilen baglanyşdyrylýar.

Nýutonyň birinji kanuny: Islendik jisim özüniň otnositel dynçlyk ýagdaýyny ýa-da deňölçegli we gönüçyzykly hereketini, tä başga jisimler tarapyndan edilýän täsir ony şol ýagdaýdan üýtgetmäge mejbur edýänçä saklaýar.

Jisime başga jisimler tarapyndan hiç hili täsiriň bolmadyk wagtynda onuň öňki tizligini saklamak häsiýetine inersiýa diýilýär. Şonuň üçin Nýutonyň birinji kanunyna inersiýa kanuny diýilýär.

Nýutonyň birinji kanunyny gös-göni tejribeler arkaly barlamak mümkin däldir, sebäbi, biziň daş-töweregimizdäki jisimleri beýleki jisimleriň täsirinden goramak mümkin däldir. Biziň daş-töweregimizdäki jisimleriň görünýän adaty dynçlyk ýagdaýy dürli jisimleriň oňa edýän täsiriniň biri-birini kompensirleýändigi bilen şertlenendir. Hereket edýän jisime başga jisimler näçe gowşak täsir etse, ol özüniň tizligini şonça hem uzak wagtlap saklaýar. Käbir başlangyç tizlik bilen zyňylan daş ýeriň üstünden typyp barýarka, üst näçe düz bolsa, ýagny başga jisimleriň edýän täsiri näçe az bolsa, ol şonça hem uzaga gider.

Bir jisime beýleki jisimler ýa-da meýdan tarapyndan edilýän mehaniki täsiri häsiýetlendirýän fiziki ululyga güýç diýilýär. Güýç jisimleriň tizliginiň üýtgemesiniň sebäbidir. Täsir belli bir tarapa ugrukdyrylandygy üçin, ol wektor ululykdyr.

Nýutonyň birinji kanuny ähli hasaplaýyş sistemalary üçin dogry däldir. Mysal üçin, goý wagonyň gönüçyzykly we deňölçegli hereketi hasaplaýyş sistemasy bolsun, şonda wagonyň sandyramasyny göz öňünde tutmasak, wagona görä dynçlykda duran jisimlere beýleki jisimler täsir etmese, olar öz-özünden hereketlenmeýärler. Ýöne welin, wagon öwrülende, tormozlanyp ýa-da gidişini tizlendirip başlanda Nýutonyň birinji kanuny mese-mälim bozulyp başlaýar: şol wagta dynçlykda duran jisimler gyşaryp, ýykylyp başlaýarlar. Nýutonyň birinji kanunynyň ýerine ýetýän hasaplaýyş sistemasyna inersial sistema diýilýär. Hasaplaýyş sistemasynyň inersial sistemasy diýlip, dynçlykda duran ýa-da bolmasa, başga bir inersial sistema görä deňölçegli we gönüçyzykly hereket edýän sistema aýdylýar. Nýutonyň birinji kanunynyň ýerine ýetmeýän sistemasyna inersial däl sistema diýilýär.

Materiýanyň esasy häsiýetlerinden biri bolup, onuň inertlilik we grawitasion häsiýetini kesgitleýän fiziki ululyga jisimiň massasy diýilýär.

Nýutonyň ikinji kanuny şeýle formulirlenýär: jisimiň özüne täsir edýän $\vec{F}$ güýç tarapyndan alýan $\vec{a}$ tizlenmesi, bu güýjüň ululygyna göni, massasyna ters proporsionaldyr, onuň ugry bolsa, güýç wektorynyň ugry bilen gabat gelýär, ýagny:

$$\vec{a} = k\frac{\vec{F}}{m}. \qquad (1.4)$$

Bu ýerde k – saýlanyp alnan ölçeg birliklerine bagly bolan proporsionallyk koeffisiýenti, m – jisimiň massasy. Eger $\vec{a}$, $\vec{F}$ we m ululyklar şol bir birlikler sistemasynda alynsa, onda k = 1 bolar we Nýutonyň ikinji kanunyny şeýle ýazmak bolar:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \qquad (1.5)$$

Berlen güýjüň täsiri astynda jisim näçe az tizlenme alýan bolsa, onuň massasy şonça-da uludyr. Diýmek, dürli jisimleriň massalary olaryň deň güýçleriň täsiri astynda alýan tizlenmelerine ters proporsionaldyr, ýagny:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{a_2}{a_1}.$$

Jisimiň massasynyň onuň ölçeglerine we maddasynyň tebigatyna baglydygy mekdep kursundan bellidir.

Durmuşda bir jisime birnäçe güýçleriň täsir edýän wagtlaryna hem az duş gelinmeýär. Şol ýagdaýda:

$$\vec{a} = \frac{\sum_{i \to 1}^{n} \vec{F}_i}{m} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Bu ýerdäki $\frac{\beta_2}{\alpha_2}=\frac{1}{n}$ güýje jisime goýlan n güýjüň deňtäsiredijisi (netijeleýjisi) diýilýär.

Nýutonyň ikinji kanunyny skalýar görnüşinde şeýle ýazmak bolýar:

$$a=\frac{F}{m}, \quad \text{bu ýerden: } F=ma.$$

Ýagny, güýç jisimiň massasyny şu güýjüň emele getirýän tizlenmesine köpeldilmegine san taýdan deňdir.

Belli bolşy ýaly¸ berlen jisimiň massasy haçan-da onuň tizligi ýagtylygyň tizligine golaýlaşyp başlanda üýtgäp başlaýar. Şu halatda hereket edýän jisimiň massasy şeýle kesgitlenilýär:

$$m=\frac{m_0}{\sqrt{1-\frac{\upsilon^2}{c^2}}}.$$

Bu ýerde υ – hereket edýän jisimiň tizligi, m_0 – onuň dynçlyk ýagdaýyndaky massasy, $c = 3\cdot10^8$ m/s – ýagtylygyň wakuumdaky tizligi.

Jisimiň massasynyň onuň tizligine baglylygy ilkinji gezek Eýnşteýn tarapyndan subut edilen we ol relýatiwistik mehanikanyň esasyny düzýär. $\vec{a}=\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$ formulany göz öňünde tutup, Nýutonyň ikinji kanunyny şeýle görnüşde ýazýarys:

$$\vec{F}=m\frac{d\vec{\upsilon}}{dt}$$

ýa-da massany differensial alamatynyň aşagyna girizip, alýarys:

$$\vec{F}=\frac{d}{dt}(m\vec{\upsilon}). \tag{1.6}$$

(1.6) formuladaky massanyň tizlige ($m\upsilon$) köpeltmek hasylynyň wektoryna jisimiň impulsy ýa-da hereket mukdary diýilýär we ol $\vec{\upsilon}$ tizlik wektorynyň ugry bilen gabat gelýär, $d(m\vec{\upsilon})$ – impulsyň wektorynyň üýtgemesini aňladýar. (1.6) formulany şeýle görnüşde ýazýarys:

$$\vec{F}dt=d(m\vec{\upsilon}). \tag{1.7}$$

$\vec{F}dt$ wektora $\vec{F}$ güýjüň impulsy diýilýär. (1.7) deňleme hem Nýutonyň ikinji kanunyny aňladýar: jisimiň impulsynyň (hereket mukdarynyň) üýtgemesi oňa täsir edýän güýçleriň impulsynyň üýtgemesine deňdir.

Nýutonyň üçünji kanuny arkaly jisimleriň aralygyndaky özara täsir güýjüni kesgitleýärler. Ol şeyle aňladylýar. Iki jisimiň biri-birine bolan özara täsir güýçleri ululyklary boýunça deňdirler, ugurlary boýunça garşylyklydyrlar we ol güýçler bu nokatlary birleşdirýän gönüniň boýuna ugrugandyrlar:

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}\,. \tag{1.8}$$

1.3. Agramsyzlyk, aşaagramlylyk we olaryň täsiri

Impulsyň (hereket mukdarynyň) saklanmak kanunyny Nýutonyň kanunlaryndan getirip çykaryp bolar. Emma biz ilki bilen şu kanuny çykarmak üçin gerek bolan birnäçe düşünjelere seredeliň. Alanyňda bir bitewi hökmünde seredilýän material nokatlaryň we jisimleriň toplumyna mehaniki sistema diýilýär. Mehaniki sistemadaky material nokatlaryň özara täsir güýjüne içki, sistemanyň daşynda ýerleşen jisim tarapyndan sistemanyň içindäki jisimleriň her birine täsir edýän güýje daşky güýçler diýilýär. Daşardan hiç hili güýç täsir etmeýän mehaniki sistema ýapyk ýa-da izolirlenen sistema diýilýär.

Izolirlenen sistemany emele getirýän iki sany material nokadyň özara täsirine seredeliň. Birinji nokadyň massasyny m_1 arkaly, onuň täsir edişýänçä bolan tizligini $\vec{\upsilon}$, özara täsirden soňkusyny $\vec{\upsilon}_1'$ bilen, degişlilikde, ikinji nokadyň massasyny m_2 özara täsire çenli bolan tizligini $\vec{\upsilon}_2$, soňkusyny $\vec{\upsilon}_2'$ arkaly aňladalyň.

Nýutonyň ikinji kanunyny aňladýan (1.7) deňleme esasynda şeýle ýazmak bolar:

$$\left.\begin{aligned} \vec{F}_1 dt &= d(m\vec{\upsilon}_1) \\ \vec{F}_2 dt &= d(m\vec{\upsilon}_2) \end{aligned}\right\} \tag{1.9}$$

ýa-da

$$\left.\begin{aligned} \vec{F}_1 dt &= m_1\vec{\upsilon}_1' - m_1\vec{\upsilon}_1 \\ \vec{F}_2 dt &= m_2\vec{\upsilon}_2' - m_2\vec{\upsilon}_2 \end{aligned}\right\} \tag{1.10}$$

Bu ýerde dt – material nokatlaryň özara täsir edişýän wagty, $\vec{F}_1$ we $\vec{F}_2$ – olaryň täsir edişýän güýçleri. Nyutonyň üçünji kanunynyň esasynda:

$$\vec{F}_1 = -\vec{F}_2 .$$

Şeýlelikde, (1.10) aňlatmanyň çep taraplary biri-birine deň. Şonuň üçin olaryň sag taraplaryny-da biri-birine deňläp, ýazyp bolýar:

$$m_1\vec{\upsilon}_1' - m_1\vec{\upsilon}_1 = -(m_2\vec{\upsilon}_2' - m_2\vec{\upsilon}_2), \tag{1.11}$$

ýagny iki sany material nokadyň (jisimiň) özara täsirinde olaryň impulslarynyň (hereket mukdarlarynyň) üýtgemesi biri-birine deňdir, ugurlary boýunça garşylyklydyr:

$$\overrightarrow{K} = \sum_{i=1}^{n} m_1\vec{\upsilon}_1 = \text{const} . \tag{1.12}$$

Bu deňleme impulsyň saklanma kanunyny aňladýar. Izolirlenen (ýapyk) sistemalarda impulsyň doly wektory wagtyň geçmegi bilen üýtgemeýär.

Şeýlelikde, izolirlenen sistemadaky bir jisimiň impulsynyň üýtgemegi diňe ikinji bir jisimiň impulsynyň üýtgemesiniň hasabyna bolup geçýär.

Mehanikanyň fundamental (esasy) kanunlarynyň biri hem bütindünýä dartyşma kanunydyr. Ýagny, Ýer we onuň üstündäki hem-de bütin dünýädäki material jisimleriň biri-birine belli bir güýç bilen dartylýandyklaryna ilkinji bolup iňlis alymy Nýuton göz ýetiripdir. Şol kanuna-da bütindünýä dartyşma kanuny diýilýär. Ol kanun şeýle formulirlenýär:

Islendik iki material nokadyň özara dartyşma güýji olaryň massalaryna (m_1 we m_2) göni proporsionaldyr, aralaryndaky uzaklygyň kwadratyna bolsa ters proporsionaldyr:

$$F = G\frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} . \tag{1.13}$$

Bu formuladaky G ululyga grawitasiýa hemişeligi diýilýär. Egerde iki jisimiň massalary biri-birine deň bolup ($m_1 = m_2 = 1$ massa birligine), bir uzynlyk birligine deň bolan aralykda ýerleşen bolsalar, onda (1.13) formulanyň esasynda

$$G = F$$

bolar. Diýmek, grawitasiýa hemişeligi bir birlik massaly iki jisimiň uzynlyk birligine deň bolan aralykdan çekişýän güýjüne san taýdan deňdir.

Ýeriň golaýynda ýerleşen islendik jisime F dartyşma güýji täsir edýär, şonuň täsiri astynda ol Ýeriň merkezine tarap dartylýar:

$$\vec{P} = m\vec{g}\,.$$

Bu ýerde $\vec{P}$ – agyrlyk güýji; $\vec{g}$ – erkin gaçmanyň tizlenmesi. g – niň san bahasyny iş ýüzünde duş gelýän meseleler çözülende 9,8 m/s^2 diýip alýarlar.

Eger-de Ýeriň öz okunyň töwereginde gije-gündizleýin aýlanyşyny hasaba almasaň, agyrlyk güýji we bütindünýä dartylma güýji biri-birine deň bolýar:

$$P = mg = F = GmM/R^2.$$

Bu ýerde M – Ýeriň massasy, R – Ýeriň merkezi bilen jisimiň agyrlyk merkeziniň aralygy. Haçan-da, jisim Ýeriň üstünde ýatanda, şu formulany ulanmak bolar. Eger-de jisim Ýeriň üstünden h beýiklikde ýerleşen bolsa, onda:

$$P = GmM/(R + h)^2.$$

Bu ýerde h – beýiklik. Ýeriň üstünden jisimiň ýerleşýän aralygynyň artmagy bilen agyrlyk azalyp başlaýar.

Jisim a tizlenme bilen dikligine hereketlenende, onuň agyrlyk güýjüne tizlenme beriji güýç goşulýar:

$$P = mg + ma = mg(1 + a/g).$$

Bu ýerdäki $k = a/g$ ululyga aşa agramlylyk diýilýär. Jisim aşaklygyna hereketlenende, bu ululyk otrisatel bolup, agram azalýar, ýagny $k = –1$ bolanda, agramsyzlyk ýüze çykýar.

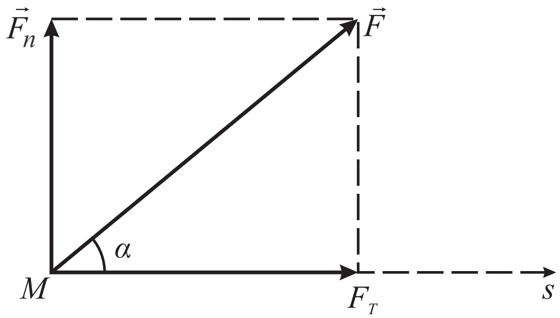
1.4. Üýtgeýän güýjüň işi. Kuwwat

Biziň daş-töweregimizi gurşap alan ähli jisimleriň orun üýtgetmesi haýsy-da bolsa bir güýjüň ýa-da birnäçe güýçleriň täsir etmeginde bolup geçýär. Bu ýerden güýçleriň we jisimleriň orun üýtgetmeleriniň özara täsirlerini öwrenmekligiň zerurlygy gelip çykýar.

Goý, M jisim hemişelik F güýjüň täsiri astynda gönüçyzykly (şu güýjüň ugruna baka) ornuny üýtgetsin we s aralygy geçsin. Jisime täsir edýän güýjüň onuň orun üýtgetmesiniň ululygyna köpeltmek hasylyna mehaniki iş diýilýär:

$$A = F \cdot s. \tag{1.14}$$

Eger jisime goýlan F güýç ornuň üýtgeýän ugry bilen α burçuny emele getirýän bolsa (*1.4-nji surat*), güýji ornuň üýtgeýän ugruna ugurdaş bolan F_T we oňa perpendikulýar bolan F_n düzüji güýçlere dargatmak bolar.



1.4-nji surat. Ýapgyt güýjüň işi

Ýokarda belleýşimiz ýaly, işi diňe F_T düzüji güýç ýerine ýetirýär, şoňa görä-de:

$$A = F_T \cdot s \quad \text{ýa-da} \quad F_T = F \cos\alpha$$

bolýanlygy üçin $A = F \cdot s \cdot \cos\alpha.$ (1.15)

Şeýlelik bilen, A iş F güýjüň orun üýtgetmäniň ululygyna hem-de bu güýjüň ugry bilen üýtgeýän ugruň arasyndaky burçuň kosinusyna köpeldilmegine san taýdan deňdir.

Iş diňe san bahasy bilen häsiýetlendirilýär, şoňa görä-de ol skalýar ululykdyr.

(1.15) formuladan görnüşi ýaly, edilen iş diňe jisime täsir edýän güýje we jisimiň orun üýtgetmesine bagly bolman, olaryň arasyndaky burça-da baglydyr. Onuň üç halyna seredeliň:

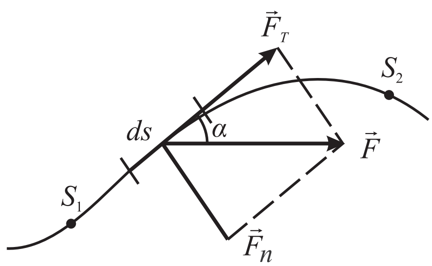
1. $\alpha < 90°$ bolanda $\cos\alpha > 0$, diýmek, iş položiteldir. Bu halda F_T düzüji güýç orun üýtgetmäniň tarapyna ugrukdyrylandyr.

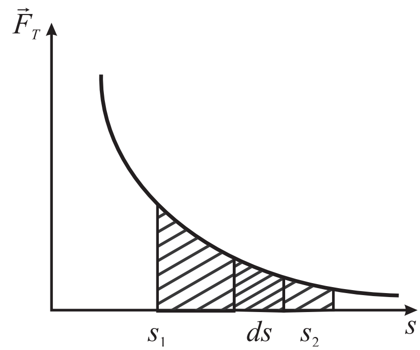
2. $\alpha > 90°$ bolanda $\cos\alpha < 0$ bolýar, bu halda iş otrisateldir we F_T düzüji güýç orun üýtgetmäniň garşylykly tarapyna ugrukdyrylandyr.

(zyňlan agyr jisim ýokarlygyna barýar, agyrlyk güýji bolsa aşaklygyna, hereketiň düzüjileri garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr: agyrlyk güýjüniň işi otrisateldir).

3. $\alpha = 90°$ bolanda, iş nola deňdir (Jisim merkeze ymtylýan güýjüň täsiri astynda töwerek boýunça deňölçegli hereket edýär, bu halda güýç hereketiň ugruna perpendikulýar bolýar, şoňa görä-de, $A = 0$).

Indi işiň umumy görnüşde kesgitlemesine seredeliň. Goý, jisim üýtgeýän güýjüň täsiri astynda egriçyzykly ýol bilen S_1 nokatdan S_2 nokada ornuny üýtgetsin (*1.5-nji surat*).





1.5-nji surat. Üýtgeýän güýjüň işiniň kesgitlenilişi

Güýjüň ýola baglylyk egrisiniň örän kiçi ds kesimini alalyň, şu aralykda F güýji hemişelik, onuň ugruny bolsa gönüçyzykly diýip kabul etmek bolar, ýagny:

$$dA = F \cdot ds \cdot \cos\alpha. \tag{1.16}$$

s_1 we s_2 aralykda ýerine ýetirilen doly işi integrirlemek ýoly bilen tapýarys:

$$A = \int_{s_1}^{s_2} F \cdot \cos\alpha \cdot ds\,. \tag{1.17}$$

A doly işi grafiki görnüşde hem bermek bolar. Absissa oky boýunça s ýoluň uzynlygyny, ordinata oky boýunça bolsa F_T düzüji güýjüň bahasyny goýalyň. s_1 we s_2 nokatlardaky F_T düzüji güýjüň bahalaryny goýup, A doly işiň bütin ştrihlenen şekiliň meýdanyna deňdigini kesgitlemek kyn däldir.

Umuman, diňe bir güýçleriň ýerine ýetirýän işini däl-de, eýsem ol işiň ýerine ýetirilen wagtynyň dowamlylygyny hem bilmek örän möhümdir. Edil şol bir işi ýerine ýetirýän iki mehanizmiň haýsy birisi şol işi az wagt aralygynda ýerine ýetirse, onuň oňatdygy görnüp dur. Şoňa görä-de, iş bilen bir hatarda kuwwat diýilýän täze bir ululyk girizilýär. Kuwwat diýip, ΔA işe proporsional bolan, bu işiň ýerine ýetirilen Δt wagtyna ters proporsional bolan fiziki ululyga aýdylýar. Eger-de kuwwaty N harpy bilen bellesek, onda:

$$N = \frac{\Delta A}{\Delta t}. \tag{1.18}$$

Eger güýç wagta görä üýtgese, kuwwat hem öňküligine galmaýar. Onda (1.18) formula orta kuwwaty kesgitlär, Δt wagt aralygynyň tükeniksiz kemelmeginde $\Delta A/\Delta t$ gatnaşygyň ymtylýan çägi mgnowen kuwwat bolýar:

$$N = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta A}{\Delta t} = \frac{dA}{dt}. \tag{1.19}$$

Iş birligi – jouldyr (J). 1 J – 1 nýuton güýjüň 1 m ýolda edýän işiniň ululygyna deňdir.

Kuwwat birligi – watt (Wt). 1 Wt – 1 s dowamynda 1 J iş edilse, ol 1 watta deňdir: 1 Wt = 1 J/s.

Material nokat hökmünde garalýan jisim haýsy hem bolsa bir güýjüň täsir etmegi netijesinde özüniň tizligini üýtgedýär. Goýlan güýjüň edýän işi jisimiň tizliginiň üýtgemegi bilen baglanyşykly. Bu baglylyk material nokadyň kinetik energiýasy diýilýän fiziki ululyk arkaly aňladylýar.

Material nokadyň kinetik energiýasyny kesgitlemek üçin goý, m massaly nokada ululygy üýtgemeýän F güýç täsir edip, onuň tizligini υ_1 bahadan υ_2 baha çenli üýtgedýär diýeliň. Şu halatda t wagtyň dowamynda material nokat s ýoly geçer, F güýç bolsa

$$A = F \cdot s \tag{1.20}$$

işi ýerine ýetirer.

Güýjüň hemişelik bolanlygy zerarly hereket deňtizlenýän bolar, onuň tizlenmesi:

$$a = \frac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{t}.$$

Nýutonyň ikinji kanunyna görä:

$$F = m \cdot a = m\frac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{t}. \qquad (1.21)$$

Material nokadyň *t* wagtda geçen ýoluny $\langle \upsilon \rangle = \dfrac{\upsilon_2 + \upsilon_1}{2}$ orta tizlik arkaly kesgitläliň, bu ýerden ($s = < \upsilon > \cdot t$ görä) alýarys:

$$s = \frac{\upsilon_2 + \upsilon_1}{2}t. \qquad (1.22)$$

F güýjüň hem-de *s* ýoluň (1.21) we (1.22) deňlikler arkaly tapylan san bahalaryny (1.20) formulada ornuna goýup, alarys:

$$A = m\frac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{t}\frac{(\upsilon_2 + \upsilon_1)}{2}t = m\frac{(\upsilon_2 - \upsilon_1)(\upsilon_2 + \upsilon_1)}{2}.$$

Bu ýerden:

$$A = \frac{m\upsilon_2^2}{2} - \frac{m\upsilon_1^2}{2}. \qquad (1.23)$$

Şeýlelik bilen, *F* güýjüň işi kinetik energiýa diýilýän

$$E_k = \frac{m\upsilon^2}{2},$$

ululygyň artmasyna san taýdan deňdir.

Şonda (1.23) deňligi aşakdaky görnüşde ýazmak bolar:

$$A = E_{k2} - E_{k1} = \Delta E_k. \qquad (1.24)$$

m massaly jisime υ tizlik bermek üçin goýlan güýjüň $m\upsilon^2/2$-ä deň bolan položitel işi etmelidigi (1.23) deňlikden gelip çykýar.

Sistemada energiýanyň üýtgemesi bu sistema täsir edýän daşarky güýçleriň ýerine ýetirýän işine göni proporsionaldyr. Şoňa görä iş hem, energiýa hem bir ölçeg birliginde aňladylýar.

Eger daşky güýçleriň ýerine ýetirýän işi položitel bolsa (A>0), sistemanyň energiýasy artýar we jisim çalt hereket eder. A<0 bolsa, sistemanyň energiýasy azalýar, jisimiň tizligi-de peselip başlar. A=0 bolan ýagdaýyndaky sistema ýapyk sistema diýilýär.

Potensial energiýa diýip, jisimleriň bölekleriniň ýa-da bölejikleriniň özara ýerleşişleri we olaryň özara täsirleri bilen häsiýetlendirilýän energiýa aýdylýar.

Maýyşgak deformirlenen pružinler, gysylan gazlar, ýeriň üstünden haýsy-da bolsa bir beýiklige galdyrylan jisimler we ş.m. potensial energiýa eýedirler.

m massaly jisimi h beýiklige galdyrmak üçin (υ = const bolan ýagdaýynda) ýerine ýetirilýän işiň ululugy:

$$A = Ph = mgh.$$

Bu iş ýapyk (izolirlenen) sistemanyň energiýasyny artdyrmaga gidýär. Ýagny:

$$A = \Delta E = E_2 - E_1.$$

Eger material nokadyň ýeriň üstündäki potensial energiýasyny $E_1 = 0$ diýip kabul etsek, onda:

$$A = \Delta E = E_p = mgh \text{ bolar ýa-da } E_p = mgh. \qquad (1.25)$$

Şunlukda, ýeriň üstünde ýatan jisimiň potensial energiýasyny nola deň diýip şertli kabul eden wagtymyzda, m massaly jisimiň h beýiklige ýokary göterilen wagtyndaky potensial energiýasy mgh bolar.

Käte jisimleriň özara täsiri gönüden-göni meýdanlaryň täsir etmegi arkaly amala aşyrylýar (meselem, maýyşgak güýçleriň täsirleriniň bir nokatdan ikinji bir nokada ornuny üýtgetmegi, onuň nähili traýektoriýa bilen bolup geçenligine bagly bolman, diňe onuň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň ýagdaýlaryna baglydyr). Şeýle meýdanlara potensial meýdanlar, olardaky täsir edýän güýçlere – konserwatiw güýçler diýilýär. Eger güýçler tarapyndan ýerine ýetirilýän işiň ululugy, onuň bir nokatdan ikinji nokada geçendäki hereketiniň traýektoriýasyna bagly bolsa, onda şeýle güýçlere dissipatiw güýçler diýilýär. Oňa sürtülme güýji mysal bolup biler.

Jisimiň energiýasynyň üýtgemek prosesine seredeliň: m massaly jisim h beýiklige ýokary galdyrylan diýeliň, onda onuň potensial energiýasynyň $E_p = mgh$ bolýandygy bize belli. Jisim aşak $\upsilon_0 = 0$ ýagdaýdan gaçýar, onuň potensial energiýasy kemelýär. Aşak gaçmaklygyň ahyrynda onuň kinetik energiýasy şeýle bolar: ýeriň üstüne ýeten pursatynda onuň tizligi $\upsilon = \sqrt{2gh}$, kinetik energiýasy $E_k = \dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{m \cdot 2gh}{2} = mgh$ bolar.

Ýagny, aşak gaçmaklygyň ahyrynda potensial energiýanyň deregine oňa deň bolan kinetik energiýa döredi. Energiýa bir görnüşden başga bir görnüşe geçdi, ýöne welin, onuň umumy mukdary üýtgemän galdy.

Ýapyk mehaniki sistema üçin jisimiň E_k kinetik energiýasy bilen E_p potensial energiýasynyň jemine deň bolan doly energiýasy hemişelik bolup galýar:

$$E = E_K + E_P = \text{const.} \tag{1.26}$$

Bu ýagdaýa mehaniki energiýanyň saklanma we öwrülme kanuny diýilýär. Ol mehanikanyň esasy kanunlarynyň iň möhüm netijeleriniň biridir. Eger bir ýagdaýdan ikinji bir ýagdaýa geçilende izolirlenen sisitemanyň kinetik energiýasy käbir ΔE_k ululyga artsa, onda onuň potensial energiýasy edil şol ululykça kemelmelidir.

Ýüregiň işini takmynan şeýleräk kesgitlemek bolar. Ýüregiň gysylma wagtyndaky işini A bilen, bir gezekki gysylmadaky ýüregiň iterýän ganynyň göwrümini V bilen, 1-lik indeks bilen arterial ganyna degişli ulylyklary, 2-lik bilen wena ganyna degişli ululyklary belläliň. Onda ýüregiň işini şeýle formula arkaly kesgitlemek bolar:

$$A = V[(p_1 - p_2) + \frac{1}{2}\rho(\upsilon_1^2 - \upsilon_2^2) + \rho g(h_1 - h_2)]\cdot \tag{1.27}$$

Boş wenanyň we aortanyň bir derejede (beýiklikde) ýerleşýändigini göz öňünde tutup ($h_1 - h_2 = 0$), bu formulany ýönekeýleşdirip bolar. Ganyň basyşy we tizligi boş wena seredeniňde aortada ep-esli uly. Şonuň üçin υ_2 we p_2 ululyklary υ_1 we p_1 ululyklar bilen deňeşdireniňde hasaba almasaň-da bolar. Amatlylyk üçin 1-lik indeksleri aýryp, ýüregiň işleýşini häsiýetlendirýän aňlatmany şeýle görnüşde ýazýarys:

$$A = pV + \frac{\rho\upsilon^2 V}{2}\cdot \tag{1.28}$$

Bu ýerde p – sistoliki we diastoliki basyşlaryň tapawudy, υ – garynjykdan ganyň iterilen pursatyndaky tizligi.

Kiçi gan aýlanma aýlawynda gan uly bolmadyk garşylyga duçar bolýar. Şonuň üçin sagdaky garynjykda başdaky basyş, çepdäkä seredeniňde 5-6 gezek az bolýar. Ganyň başlangyç tizligi uly we kiçi aýlanma aýlawlarynda deň. Ýüregiň doly işi uly we kiçi ganaýlanma aýlawlaryndaky garşylyklary ýeňip geçmek üçin edilen işiň jemine deňdir. Sagdaky garynjykdaky p_{sg} sistoliki we diastoliki basyşlaryň tapawudyny $1/5$ diýip kabul edip, degişlilikde çepki garynjykdaky ($p_{çg}$) basyşlaryň tapawudyny, ýagny $p_{sg} = \frac{1}{5}p_{çg}$ şeýle ýazýarys:

$$A = A_u + A_k = (p_{çg}V + \frac{1}{2}\rho\upsilon^2 V) + (\frac{1}{5}p_{çg}V + \frac{1}{2}\rho\upsilon^2 V) =$$

$$= \frac{6}{5}p_{çg}V + \rho\upsilon^2 V \cdot \qquad (1.29)$$

Şu formula arkaly iri şahly mallaryň ýürek myşsasynyň bir gezekki gysylmadaky ýerine ýetirýän işini kesgitläliň. Gan iterilen wagtyndaky sistolik basyşy 100 *mm* sim. süt., diastoliki basyşy 70 *mm* sim.süt. diýip kabul edýäris. Şeýlelikde, $p_{ç.g.}$ = 30 *mm*.sim.süt. = = 3990 *Pa*. Ýüregiň çykyşyndaky ganyň orta tizligi 0,5*m*/*s* bolsun. Bir gezekki gysylmada iterilýän ganyň göwrümi V = 580 *ml* we ganyň dykyzlygy $1{,}05 \cdot 10^3$ kg/m^3. Ululyklaryň bahalaryny formulada ýerine goýup, A = 2,78J + 0,15J = 2,93J alýarys. Garynjyklaryň bir gezekki gysylma wagtyny 0,25 *s* diýsek, ýüregiň kuwwaty N = 2,93J/0,25 *s* = = 11,7 *Wt*. Bu hasaplama onçakly takyk däl. Sebäbi, biz ganyň garynjykdan iterilen pursatlaryndaky basyşyň üýtgemesini hasaba almadyk. Emma alnan netije bizi doly kanagatlandyrýar. Iş edilende, agyr ýükde ýüregiň kuwwaty artýar. Sebäbi, ganyň hereketini çaltlandyryp, beden agzalaryny we dokumalaryny kislorod bilen köpräk üpjün etmeli bolýar.

1.5. Gaty jisimleriň aýlanma hereketi. Gaty jisimleriň gozganmaýan oka görä aýlanmagy

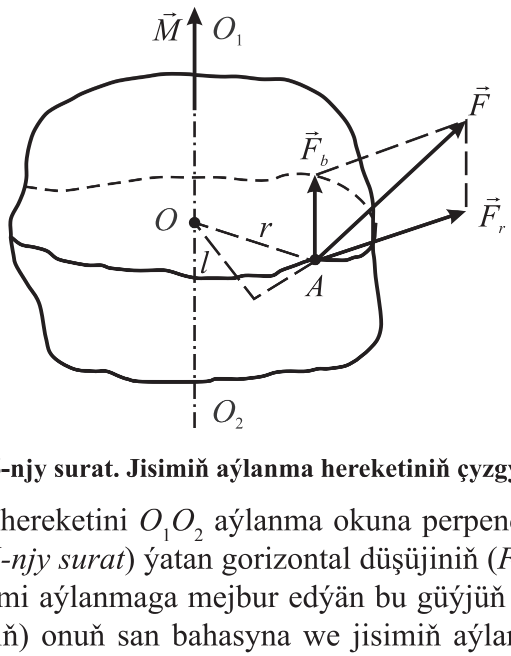
Mehanikada gaty jisim diýip, onuň bölekleriniň hereketiň ähli dowamynda özara ýerleşişi üýtgemeýän jisime düşünilýär.

Gaty jisimiň içinden geçirilýän we onuň bilen butnawsyz bagly bolan göni çyzygyň öz-özüne parallel bolup edýän hereketine öňe bolan hereket diýilýär. Öňe bolan hereketde gaty jisimiň hemme nokatlarynyň birmeňzeş $\vec{\upsilon}$ tizligi we $\vec{a}$ tizlenmesi bolýar. Öňe bolan hereketiň iň bir ýönekeý görnüşi gönüçyzykly hereketdir. Bu halatda jisimiň ähli nokatlarynyň traýektoriýasy parallel gönüçyzyklardyr.

Aýlanma hereketde gaty jisimiň ähli nokatlarynyň merkezleri bir gönüniň üstünde ýatýarlar. Şol gönüçyzyga bolsa aýlanma oky diýilýär.

Umumy halda gaty jisim şol bir wagtyň özünde öňe bolan hereketi-de, aýlanma hereketi-de ýerine ýetirip biler.

Material nokadyň öňe bolan hereketiniň dinamikasy öwrenilende öňki kinematiki ululyklaryň üstüne güýç we massa goşulypdy. Şular ýaly, aýlanma hereketiň dinamikasy öwrenileninde hem öňki kinematiki ululyklardan (öwrülme burçy, burç tizligi, burç tizlenmesi) daşgary iki sany – güýjüň momenti we inersiýa momenti diýlen täze düşünjeler girizilýär. Güýç momenti we inersiýa momenti hakyndaky düşünjeleriň manysyny aýdyňlaşdyrmak üçin O_1O_2 aýlanma okuň töwereginde $\vec{F}$ güýjüň täsiri astynda aýlanýan m massaly A maddy nokadyň hereketine seredeliň (*1.6-njy surat*). Şu ýerde A nokada täsir edýän F güýji iki sany F_b we F_r düzüjä dargadyp bolýar. Güýjüň wertikal düzüjisi bolan F_b O_1O_2 okuň töwereginde aýlanmany döredip bilmez, ol jisimiň aýlanma okunyň ugry boýunça süýşmesini döredip biler. Şonuň üçin aýlanma hereketinde bu güýç hasaba alynmaýar.



1.6-njy surat. Jisimiň aýlanma hereketiniň çyzgysy

Aýlanma hereketini O_1O_2 aýlanma okuna perpendikulýar bolan tekizlikde (*1.6-njy surat*) ýatan gorizontal düşüjiniň (F_r) döretjekdigi aýdyňdyr. Jisimi aýlanmaga mejbur edýän bu güýjüň täsiri (ony biz F diýip belläliň) onuň san bahasyna we jisimiň aýlanma oky bilen ýerleşen aralygynyň ululygyna baglydyr.

Eger-de bu aralyk nola deň bolsa, F güýç O_1O_2 aýlanma oky bilen kesişer, netijede jisim aýlanmaz.

F güýjüň ululygynyň O nokatdan (aýlanma merkezinden) geçirilen l perpendikulýar (eginiň) uzynlygyna köpeltmek hasylyna M aýlanma momenti ýa-da oka görä güýjüň momenti diýilyär:

$$M = F \cdot l. \tag{1.31}$$

M – Halkara birlikler sistemasynda $N \cdot m$ bilen ölçeýärler.

Öňe bolan hereketiň dinamikasynda jisimiň inersiýasyny onuň massasy doly häsiýetlendirýär. Aýlanma hereketinde material nokadyň inersiýasyny diňe onuň massasy häsiýetlendirmän, ol nokadyň aýlanma okuna çenli bolan aralygyň hem uly roly bar.

Onda $F_t \cdot r = ma_t \cdot r$ bolar. (1.31) formulany we $a_t = r\varepsilon$ deňdigini göz öňünde tutup, ýazýarys:

$$M = mr^2\varepsilon = J \cdot \varepsilon. \tag{1.32}$$

Bu (1.32) deňlik aýlanma hereketi üçin dinamikanyň ikinji kanunyny aňladýar. Bu deňlemäni gönüçyzykly öňe hereketdäki Nýutonyň ikinji kanuny bilen deňeşdirmek arkaly şeýle netijä gelmek bolar: aýlanma hereketde F güýjüň roluny M aýlanma momenti, çyzyk tizlenmesi bolan a-nyň roluny ε burç tizlenmesi ýerine ýetirýär. Massany bolsa material nokadyň aýlanma okuna otnositel bolan inersiýa momenti bilen çalşyrmak bolar. Nokadyň massasynyň onuň aýlanma merkezine çenli bolan aralygynyň kwadratyna köpeltmek hasylyna deň bolan J ululyga inersiýa momenti diýilýär:

$$J = m \cdot r^2. \tag{1.33}$$

Şeýlelikde, Nýutonyň ikinji kanunyny aýlanýan jisim üçin şeýle görnüşde ýazmak bolar:

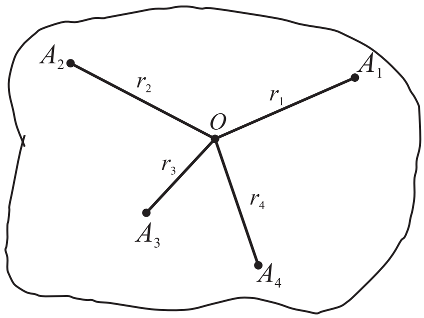
$$M = J \cdot \varepsilon. \tag{1.34}$$

Bu deňlemäni başga bir A_1 material nokat üçin ýazalyň (*1.7-nji surata seret*)

$$M_1 = J_1 \cdot \varepsilon.$$

Goý, $m = m_1$, $M = M_1$ emma, $r_1 > r$ bolsun. Şonuň üçin A_1 nokadyň $J_1 = mr^2_1$ – formula bilen kesgitlenilýän inersiýa momenti

A nokadyň (J) inersiýa momentinden uludyr. Ýagny, jisimiň inersiýa momenti aýlanma hereketinde onuň inersiýa häsiýetini kesgitleýär we ol diňe bir jisimiň massasyna bagly bolman, jisimiň bölejikleriniň aýlanma okuna görä ýerleşişlerine-de baglydyr.



1.7-nji surat. Jisimiň inersiýa momentiniň kesgitlenilişi

Jisimiň inersiýa momentini kesgitlemek üçin şu jisimi düzýän onuň ähli material nokatlarynyň (A_1, A_2, A_3, A_4....) inersiýa momentlerini goşmak gerek (*1.7-nji surat*):

$$J = m_1 r_1^2 + m_2 r_2^2 + m_3 r_3^2 + \ldots + m_n r_n^2.$$

Bu ýerde: r_1, r_2, r_3, ... r_n – nokatlaryň, degişlilikde aýlanma okuna çenli bolan aralyklary ýa-da $J = \sum_{i=1}^{n} m_i r_i^2$. Umumy görnüşde, jisim tükeniksiz kiçi massaly material nokatlardan düzülip, bitewi bir jisimi emele getirýän bolsa, onuň inersiýa momenti integrirlemek arkaly kesgitlener:

$$J = \int_0^m r^2 dm \, . \qquad (1.35)$$

Jisimiň inersiýa momenti, onuň haýsy oka otnositel aýlanýandygyna we massanyň göwrüme görä nähili bölünendigine baglydyr. Biz köp hallarda jisimiň aýlanma okunyň onuň agyrlyk merkezinden geçip, jisimiň hem şol okuň töwereginde aýlanýan hallaryna duş gelýäris. Şeýle ýagdaýda dürli jisimleriň inersiýa momentleriniň kesgitleniş formulalary tablisada berlendir.

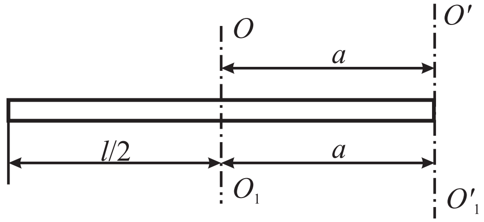
Tablisa

Jisim	**Aýlanma okunyň ýerleşişi**	**Inersiýa momenti**
Ýuka diwarly içi boş R radiusly halka	Onuň merkezinden geçýär	mR^2
Tutuş silindr ýa-da R radiusly disk	Onuň merkezinden geçýär	$\frac{1}{2}mR^2$
R radiusly şar	Aýlanma oky onuň merkezinden geçýär	$\frac{2}{5}mR^2$
Inçe silindr görnüşli l uzynlykly demir taýajygy	Aýlanma oky onuň merkezinden geçýär	$\frac{1}{12}ml^2$

Biziň sereden hallarymyzyň hemmesinde-de aýlanma oky olaryň merkezinden geçýär. Emma, iş ýüzünde jisimleriň, olaryň merkezinden geçýän aýlanma okunyň daşynda däl-de, ol oka parallel bolan islendik okuň daşynda aýlanýan halatlary-da az gabat gelmeýär. Şu ýagdaýda jisimiň inersiýa momentini kesgitlemek üçin Şteýneriň teoremasy ulanylýar: onda jisimiň islendik aýlanma okuna görä J inersiýa momenti onuň agyrlyk merkezinden geçýän oka görä J_c inersiýa momentiniň üstüne jisimiň massasynyň onuň aýlanýan okuna çenli bolan uzaklygyň kwadratyna köpeltmek hasylynyň goşulmagyna deňdir:

$$J = J_c + ma^2. \qquad (1.36)$$

Bu ýerde J_c – jisimiň aýlanma oky agyrlyk merkeziniň üstünden geçýän ýagdaýyndaky inersiýa momenti, m – onuň massasy, a – agyrlyk merkezinden aýlanýan oka çenli bolan aralyk. Mysal üçin, m massaly, uzynlygy l bolan inçe silindr görnüşli demir taýajygy onuň ahyryndan geçýän, taýajyga perpendikulýar bolan $O_1'O'$ okuň töwereginde aýlanýar diýeliň (*1.8-nji surat*).



1.8-nji surat. Inersiýa momentiniň aýlanma okuna baglylygy

Belli bolşy ýaly, taýajyk OO_1 simmetriýa okuna otnositel aýlanýan wagtynda onuň inersiýa momenti $J_c = \frac{1}{12} ml^2$. Çyzgydan görnüşi ýaly, $a = l/2$ we onuň $O'O'_1$ oka otnositel aýlanýan wagtyndaky inersiýa momenti (1.35) formula görä:

$$J = \frac{1}{12} ml^2 + m\left(\frac{l}{2}\right)^2.$$

Bu ýerden $J = \frac{1}{3} ml^2$ gelip çykýar.

Diýmek, taýajygyň inersiýa momenti ilkinji ýagdaýyna garanyňda 4 esse artýar.

Öňe bolan hereket üçin Nýutonyň ikinji kanuny şeýle aňladylýar:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}.$$

Eger-de jisim ähli daşarky güýçleriň netijeleýji M momentiniň täsiri astynda gozganmaýan okuň daşynda aýlanýan bolsa, ýokardaky formulany şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$\vec{\varepsilon} = \frac{\vec{M}}{J}.$$

Bu ýerde $J = \int_0^m r^2 dm$ – dm massaly material nokatlaryň birleşmesinden ybarat bolan jisimiň inersiýa momentidir. Şu aňlatmadan görnüşi ýaly, gaty jisimiň gozganmaýan okuň daşynda aýlanýan wagtyndaky burç tizlenmesi aýlanma momentine göni, inersiýa momentine bolsa ters proporsionaldyr.

1.6. Aýlanma hereketi üçin dinamikanyň esasy deňlemesi

Üýtgemeýän aýlanma momentinde burç tizlenmesi hem üýtgemän galýar, bu bolsa deňüýtgeýän aýlanma hereketi döredýär. Şonuň üçin jisimiň başlangyç aýlaw tizligini ω_o bilen, daşarky güýçleriň M momentiniň täsir etmeginde onuň Δt wagt geçeninden soňky burç tizligini ω bilen belläp:

$$\varepsilon = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

diýip, ýazyp bolýar. Onda (3.4) deňleme şeýle görnüşi alar:

$$M = J\frac{\omega-\omega_0}{\Delta t} \qquad \text{ýa-da} \qquad M\cdot\Delta t = J\omega - J\omega_0. \qquad (1.37)$$

(1.37) formuladaky (M) güýç momentiniň onuň täsir edýän wagtyna (Δt) köpeltmek hasylyna deň bolan ululyga güýçleriň momentiniň impulsy (ýa-da aýlaw momentiniň impulsy) diýilýär. Jisimiň J inersiýa momentiniň onuň burç tizligine köpeltmek hasylyna ($J\omega$) impulsyň momenti (ýa-da hereket mukdarynyň momenti) diýilýär. (1.37) deňleme aýlanma hereket üçin dinamikanyň esasy kanunydyr.

Güýçleriň momentiniň ýok wagtynda (M = 0) hereket mukdarynyň momenti hemişelik bolup galýar. Bu netije hereket mukdarynyň momentiniň saklanma kanunyny aňladýar.

Aýlanma hereketde-de öňe bolan hereketdäki ýaly, Nýutonyň üçünji kanuny ulanylýar: iki sany aýlanýan jisimleriň özara täsirinde birinji jisimiň ikinji jisime täsir edýän $\vec{M}_1$ aýlanma momentiň ululygy ikinji jisim tarapyndan birinji jisime täsir edýän $\vec{M}_2$ aýlanma momentiň ululygyna deňdir, ugry boýunça garşylyklydyr, ýagny:

$$\vec{M}_1 = -\vec{M}_2\,.$$

Eger-de, aýlanýan jisimleriň biri-birine täsir edýän wagtlary deň bolsa, jisime täsir edýän güýçleriň momentiniň impulsy hem biri-birine deňdir we ugurlary boýunça garşylyklydyr:

$$\vec{M}_1\cdot\Delta t = -\vec{M}_2\cdot\Delta t\,. \qquad (1.38)$$

Şu halatda aýlanma hereket üçin dinamikanyň esasy kanunynyň üsti bilen (1.38) formulany şeýle görnüşde ýazýarys:

$$J_1(\vec{\omega}_1{}^1 - \vec{\omega}_1) = -J_2(\vec{\omega}_2{}^1 - \vec{\omega}_2)\,. \qquad (1.39)$$

Bu ýerde J_1, J_2 – birinji we ikinji jisimleriň inersiýa momentleridir; $\vec{\omega}_1{}'$ we $\vec{\omega}_2{}'$ – olaryň degişlilikde özara täsirden soňky ω_1 we ω_2 – öňki burç tizlikleridir. (1.39) formulany şeýle görnüşe geçirýäris:

$$J_1\vec{\omega}_1 + J_2\vec{\omega}_2 = J_1\vec{\omega}_1{}' + J_2\vec{\omega}_2{}'\,.$$

Şu ýerden görnüşi ýaly, ýapyk sistemadaky jisimleriň impulslarynyň momentleri olaryň özara täsirleri netijesinde-de üýtgemän galýar:

$$\sum_{i=1}^{n} J_i\vec{\omega}_i = \text{const}. \qquad (1.40)$$

(1.40) formula impulsyň momentiniň saklanma kanunyny aňladýar. Şu formuladan görnüşi ýaly, inersiýa momentiniň üýtgemeýän halynda, daşky güýçleriň ýok wagtynda, aýlanýan jisimiň burç tizligi hemişelik bolup galýar. Eger daşky güýçleriň ýok wagtynda inersiýa momenti üýtgeýän bolsa, onda $\vec{\omega}$ burç tizligi hem üýtgäp başlaýar, şoňa görä-de $J\vec{\omega}$ köpeltmek hasyly hemişelik bolup galýar, ýagny J inersiýa momenti artsa, onda $\vec{\omega}$ burç tizligi kemelýär ýa-da tersine – $\vec{\omega}$ artsa, J kemelýär.

1.7. Maýyşgak jisimleriň häsiýetleri

Gaty jisimler çaknyşanlarynda, olar deformirlenýärler. Eger urgudan soň jisimiň formasy ýene-de öňki ýagdaýyna gaýdyp gelýän bolsa, şeýle urgulara maýyşgak urgular diýilýär. Maýyşgak urgularda çaknyşýan jisimleriň umumy kinetik energiýasy üýtgemän galýar we mehaniki energiýa energiýanyň beýleki görnüşlerine geçmeýär.

Maýyşgak däl urgularda çaknyşýan jisimleriň kinetik energiýalary azda-kände energiýanyň başga görnüşine geçýär we urgudan soňra olar galyndyly deformasiýa eýe bolýarlar.

Daşky görnüşi (formasy) we göwrümi üýtgemeýän jisimlere **gaty jisimler** diýilýär. Düzümine girýän bölejikleri (atomlary, molekulalary) dogry periodiki ýerleşen gaty jisimlere **kristallar** diýilýär.

Gaty jisimiň öz formasyny we göwrümini, haýsy-da bolsa bir täsir netijesinde üýtgetmegine **deformasiýa** diýilýär. Gaty jisimi düzýän bölejikleriň özara täsirleriniň ol jisimiň formasyny we göwrümini üýtgetmän saklamaga ymtylmaklaryna **maýyşgak güýçler** diýilýär.

Daşky deformirleýji güýjüň täsiri kesilenden soň ýok bolýan deformasiýa (jisimiň başdaky ýagdaýyna gaýdyp gelmegine) maýyşgak deformasiýa diýilýär.

Eger jisim deformirleýji täsir kesilenden soň başdaky ýagdaýyna gaýdyp gelip bilmeýän bolsa, bu hili jisimlere **plastiki** jisimler diýilýär.

Deformasiýany otnositel deformasiýa diýilýän ululyk häsiýetlendirýär. Ol jisimiň ölçegleriniň biriniň $\Delta l = l - l_0$ absolýut üýtgemesiniň, onuň başdaky l_0 ölçegine gatnaşyg bilen kesgitlenilýär:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Maýyşgak güýjüň meýdan üstüne gatnaşygyna $p = \frac{F}{S}$ **maýyşgak naprýaženiýe** diýilýär.

Maýyşgak naprýaženiýe otnositel deformasiýa göni baglydyr (Gukuň kanuny):

$$p = E\varepsilon.$$

Bu ýerde E – maýyşgaklyk (Ýunguň) moduly. Daşky F güýjüň täsirinde maýyşgak jisimiň öz ölçegini Δl üýtgetmesi

$$\Delta l = \frac{Fl_0}{ES}$$

formula boýunça kesgitlenýär.

Maýyşgak deformirlenen jisimiň potensial energiýasy bu güýjüň garşysyna iş etmäge ukyplydyr. Ol işiň ululygy:

$$A = \frac{p}{2E}V.$$

Mallaryň deformirlenen süňkleri gysylma garşy şu işi ýerine ýetirmäge mejbur bolýarlar.

Bu ýerde p – maýyşgak gysma naprýaźeniýesi.

Döwmekligiň öň ýanyndaky täsir güýjüniň iň uly bahasyna degişli naprýaźeniýä berklik çägi diýilýär. Haýwanlaryň dürli süňkleriniň kesgitli berklik çäkleri bolýar.

Deformasiýanyň birnäçe görnüşleri bolýar: süýnme (gysylma), egilme, towlanma. Süýşme deformasiýasynyň ululygy özara süýşýän iki gatlagyň arasyndaky h aralyga bagly bolup,

$$\Delta S = \frac{Fh}{GS}$$

formula arkaly kesgitlenýär. Bu aňlatmada: ΔS – iki gatlagyň özara absolýut süýşmesi; G – kese maýyşgaklyk (süýşme) moduly. Towlanma deformasiýasy wagtynda tegelek kese-kesikli sterźen üçin towlaýjy moment

$$M = C\varphi$$

aňlatma arkaly kesgitlenýär. Bu ýerde C – towlanma hemişeligi, φ – towlanma burçy. Tegelek kesikli süňklerde maýyşgaklyk güýji daşky ölçegler boýunça täsir edýändigi sebäpli, olaryň ortalaryna az güýç düşýär, netijede süňkler turba şekilli bolýarlar. Tebigatda emele gelen süňk görnüşleri gurluşyk tehnikalarynda göz öňüne tutulyp, zerur berklik gerek ýagdaýda bütewi sterźenlere derek turbalar we ş.m. ulanylýarlar.

1.8. Gidrodinamika we gemodinamika

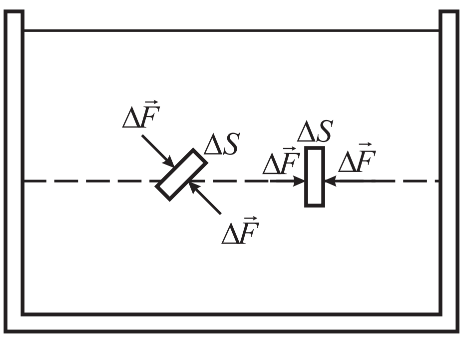
Suwuklyklar özleriniň ýerleşen gaplarynyň formasyny alýarlar. Gazlardan tapawutlylykda, suwuklyklaryň molekulalary biri-birine degişip diýen ýaly ýerleşendirler. Şoňa görä-de, olardaky molekula gazdaka garanyňda özüni başgaça alyp barýar.

Suwuklyklaryň we gazlaryň häsiýetleri boýunça biri-birinden tapawutlanýandyklaryna garamazdan, birnaçe mehaniki hadysalaryň geçişi şol bir meňzeş deňlemeleriň üsti bilen aňladylýar. Şonuň üçin gazlaryň we suwuklyklaryň deňagyramlylyk ýagdaýlary, hasiýetleri, olaryň özara täsirleri, olardaky gaty jisimleriň hereketleri bitewilikde (meňzeşlikde) öwrenilýär. Mehanikanyň gazlaryň we suwuklyklaryň şu häsiyetlerini öwrenýan bölümine **gidroaerodinamika** diýilýär.Ýürek-damar ulgamynda ganyň hereketini öwrenýän bölüme **gemodinamika** diýilýär.

Mehanikada suwuklyklara we gazlara üznüksüz we tükeniksiz tutuş sreda hökmünde seredilýär. Suwuklyklaryň dykyzlygy basyşa juda az bagly bolýar. Gazlaryňky bolsa, tersine.

Suwuklyga ýa-da gaza daşardan berlen basyş onuň ähli taraplaryna deň geçirilýär (Paskalyň kanuny).

Deňagramlylyk ýagdaýynda duran suwuklygyň içinde inçejik plastinkajyk ýerleşen diýip göz öňüne getireliň (*1.9-njy surat*).



1.9-njy surat. Suwuklygyň içindäki jisime suwuklygyň basyşy

Onuň nähili ýerleşendigine garamazdan, onuň dürli taraplaryndaky suwuklyk bölejikleri tarapyndan oňa ululuklary boýunça biri-birine deň we plastinkanyň meýdanyna perpendikulýar bolan ΔF güýçler täsir edýär.

Suwuklyk tarapyndan täsir edýän ΔF normal güýjüň bu güýjüň täsir edýän ΔS meýdanyna bolan gatnaşygyna deň bolan fiziki ululyga **basyş** diýilýär:

$$p = \frac{\Delta F}{\Delta S}. \qquad (1.41)$$

Halkara birlikler sistemasynda (IS) basyşyň ölçeg birligi paskaldyr (*Pa*). (1.41) formula esasynda 1 *Pa* = 1 N/m^2. Ondan başga-da, basyşy ölçemek üçin sistemadan daşary ölçeg birlikleri hem ulanylýar: simap sütüni (*mm* sim.süt.), tehniki atmosfera (at), fiziki ýa-da normal atmosfera (atm) we başgalar:

1 *mm* sim.süt. = 133 *Pa*;
1 atm = $1.01 \cdot 10^5$ *Pa*;
1 at = $0{,}981 \cdot 10^5$ *Pa.*

Silindr görnüşinde bölüp alan sütünimiziň ýokarky üstüne täsir edýän güýç $F_0 = p_0 S$, aşaky esasyna täsir edýan güýç $F = pS$.

Bu ýerde p – h çuňlukdaky basyş. Ondan başga-da, silindr sütüniniň içinde ýerleşen m massaly suwuklyklaryn agramy (F_A) wertikal aşak täsir edýär. Bu güýç

$$F_A = mg = \rho hSg.$$

Bu ýerde ρ – suwuklygyň dykyzlygy, hS – onuň göwrümi ($m = \rho V$). Gapdaldan täsir edýän güýçleriň özara deňdikleri sebäpli, olary hasaba almaýarys.

Bölüp alnan suwuklyk sütüniniň deňagramlaşan şertini ýazýarys:

$$F_0 = F_A = F \qquad \text{ýa-da} \qquad p_0 S + pghS = pS.$$

Şu aňlatmadan görnüşi ýaly, h çuňlukdaky biziň gözleýän basyşymyz:

$$p = p_0 + \rho gh. \qquad (1.42)$$

Bu ýerde $p_r = \rho gh$ ululyga deň bolan basyşa **gidrostatiki basyş** diýilýär. Eger daşarky basyş $p_0 = 0$ diýsek, onda h çuňlukdaky suwuklygyň basyşy onuň gidrostatik basyşyna deňdir, ýagny:

$$p = p_r.$$

Gidrostatiki basyş haýsy-da bolsa bir h çuňlukda ýerleşen gatlaga ondan ýokarda ýerleşen gatlaklaryň agramynyň döredýän basyşydyr.

(1.42) formuladan görnüşi ýaly, suwuklykda näçe çuňlaşylsa, onuň gidrostatiki basyşy şonça-da artýar. Daşarky basyşy üýtgemeýär diýip kabul etsek, umumy basyşyň köpelmegine getirýär. Şonun üçin suwuklyga çümdürilen her bir jisime Arhimediň kanuny boýunça kesgitlenilýän itekleýji güýç täsir edýär. Suwuklyga (gaza) çümdürilen her bir jisime şu suwuklyk tarapyndan onuň gysyp çykaran suwuklygynyň (gazynyň) agramyna deň bolan ýokary ugrukdyrylan itekleýji güýç täsir edýär:

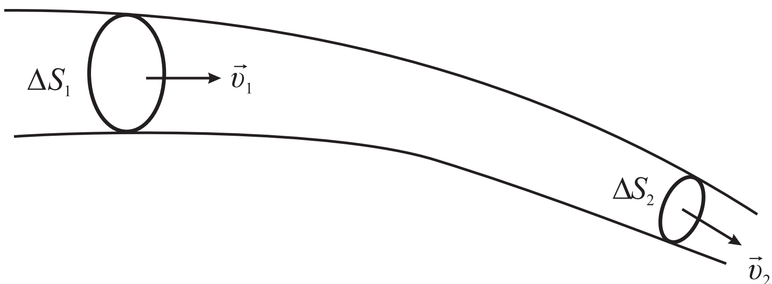
$$F_A = \rho g V,$$

bu ýerde F_A – Arhimediň güýji, ρ – suwuklygyň dykyzlygy, V – suwuklyga çümdürilen jisimiň göwrümi.

Absolýut gysylmaýan we içki sürtülme güýçleri (şepbeşikligi) absolýut bolmadyk suwuklyklara ideal suwuklyklar diýilýär.

Suwuklygyň akyş çyzyklary bilen çäklenen bölegine akyş turbajygy diýilýär. Akyş turbajygynyň käbir kesiklerindäki bölejikleriniň hemmesi hereket edenlerinde akyş turbajygynyň içinde bolmagyny dowam etdirip, ondan daşary çykmaýarlar, onun içine daşyndan hem hiç bir bölejik girmeýär.

Kese-kesiginiň meýdany ΔS_1 we ΔS_2 bolan akyş turbasyna seredeliň (*1.10-njy surat*).



1.10-njy surat. Akymyň üznüksizliginiň kesgitlenilişi

Wagt birliginde ΔS_1 kesim arkaly $\Delta S_1 v_1$ göwrümli suwuklyk akyp geçer, bu ýerde v_1 – ΔS_1 kesimiň alnan ýerindäki suwuklygyň akyş tizligi. Wagt birliginde ΔS_2 kesim arkaly $\Delta S_2\, v_2$ göwrümli suwuklyk akyp geçer, bu ýerde v_2 – ΔS_2 kesimiň alnan ýerindäki akyş tizligi.

Gysylmaýan suwuklyk bolanda ΔS_2 kesim arkaly ΔS_1 kesimden akyp geçen suwuklygyň göwrümine deň bolan göwrümli suwuklyk akyp geçer, diýmek:

$$\Delta S_1 v_1 = \Delta S_2 v_2 .$$

Bu baglanyşyk akym turbajygynyň islendik iki kesimi üçin dogrudyr. Şonuň üçin ony şeýle görnüşde ýazýarys:

$$\Delta S \cdot \upsilon = \text{const.} \quad (1.43)$$

Bu deňlemä suwuklygyň üznüksizliginiň deňlemesi diýilýär.

Akýan suwuklygyň akyş turbajygynyň ΔS_1 kesiginden soňra ΔS_2 kesiginden akyp geçýän Δm massany bölüp alalyň (*1.10-njy surat*). Suwuklygyň giriş ΔS_1 kesikdäki tizligini υ_1 arkaly, basyşyny p_1 arkaly, çykyş ΔS_2 kesikdäki tizligini υ_2, basyşyny p_2 arkaly belgiläliň. Akyş turbajygy gorizontal däl-de, ýapgytrak ýerleşipdir diýip, göz öňüne getireliň. ΔS_1 kesigiň ýerleşen beýikligini h_1 arkaly ΔS_2 – kesigiňkini h_2 arkaly belgiläliň.

Δt wagtyň dowamynda ΔS_1 kesikden akyp geçýän m massaly suwuklygyň kinetik energiýasy $\frac{m\upsilon_1^2}{2}$ we potensial energiýasy mgh_1. ΔS_1-den çepde we ΔS_2-den sagda ýerleşen suwuklygyň gatlaklary tarapyndan ΔS_1 we ΔS_2 kesiklere basyş güýçleriniň täsiri netijesinde iş edilýär. Ol işiň ululygy:

$$A = p_1 \Delta S_1 l_1 - p_2 \Delta S_2 l_2, \quad (1.44)$$

bu ýerde Δt wagtda suwuklygyň ΔS_1 kesikden akyp geçen l_1 ýoly $l_1 = \upsilon_1 \Delta t$, ΔS_2 kesikdäkisi $l_2 = \upsilon_2 \Delta t$.

Şeýlelikde, suwuklyk akymynyň ýerine ýetirýän A işi

$$A = p_1 \Delta S_1 \upsilon_2 \Delta t - p_2 \Delta S_2 \upsilon_2 \Delta t. \quad (1.45)$$

Suwuklygyň ΔS_1 kesigiň üstünden akyp geçenindäki doly energiýasy

$$W_1 = m\upsilon_1^2/2 + mgh_1.$$

ΔS_2 kesigiň üstünden geçenindäki doly energiýasy:

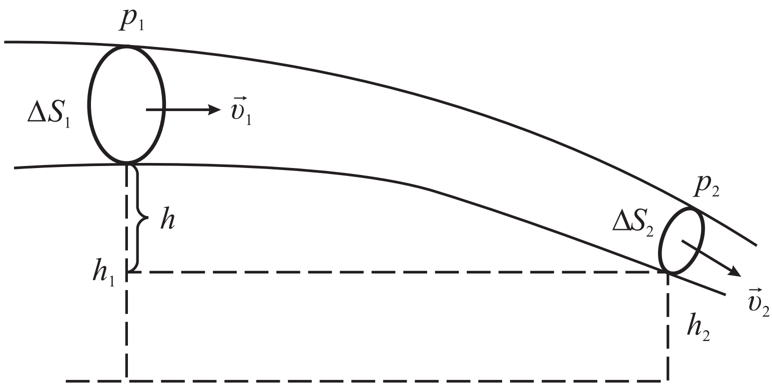
$$W_2 = m\upsilon_2^2/2 + mgh_2. \quad (1.46)$$

ΔS_1 we ΔS_2 kesikleriň aralygynda hiç hili energiýanyň toplanmasy ýok. Suwuklygyň doly energiýasynyň üýtgemesi daşarky güýçleriň ýerine ýetirýän işiniň ululygyna deňdir, ýagny

$$\Delta W = -A.$$

$$m_1\upsilon_1^2/2 + mgh_1 - m\upsilon_2^2/2 - mgh_2 = p_2 \Delta S_2 \upsilon_2 \Delta t - p_1 \Delta S_1 \upsilon_1 \Delta t, \text{ ýa-da}$$

$$\frac{m\upsilon_1^2}{2} + mgh_1 + p_1 \Delta S_1 \upsilon_1 \Delta t = \frac{m\upsilon_2^2}{2} + mgh_2 + p_2 \Delta S_2 \alpha \upsilon_2 \Delta t. \quad (1.47)$$



1.11-nji surat. Bernulliniň deňlemesiniň kesgitlenilişi

Çüwdürimiň üznüksizlik kanunyna (1.43) göra, Δt wagtyň dowamynda ΔS_1 kesige girýän we ΔS_2 kesikden çykýan suwuklyklaryň göwrümleri deň, şonuň üçin

$$\Delta S_1 \upsilon_1 \Delta t = \Delta S_2 \upsilon_2 \Delta t = V.$$

(1.47) deňlemäniň çep we sag taraplaryny V göwrüme bölüp we $\rho = m/V$ dykyzlygyň formulasyny göz öňünde tutup, aşakdaky aňlatmany alýarys:

$$\rho \frac{\upsilon_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \rho \frac{\upsilon_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2 \,. \qquad (1.48)$$

Bu deňleme ilkinji gezek görnükli fizik hem-de matematik Daniil Bernulli (1700-1782) tarapyndan işlenilip çykarylýar. Şonuň üçin oňa **Bernulliniň deňlemesi** diýilýär.

Eger ähli akymy inçejik akym turbajyklaryna bölsek, onuň her bir kesigi üçin Bernulliniň deňlemesiniň şeýle görnüşi dogrudyr:

$$\rho \frac{\upsilon^2}{2} + \rho g h + p = \text{const} \,. \qquad (1.49)$$

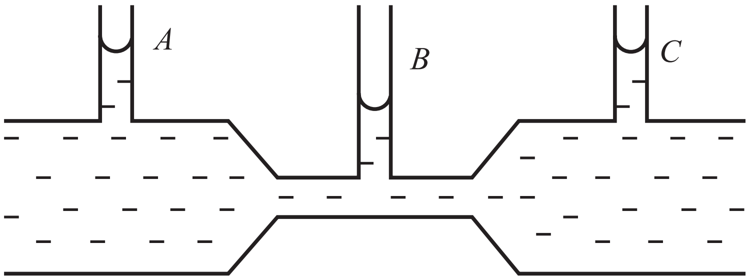
Bu deňlemedäki p – statiki basyş, $\rho\upsilon^2/2$ – dinamiki basyş, $\rho g h$ – gidrostatiki basyş diýilýär.

Bernulliniň deňlemesiniň käbir ulanylýan ýerleri barada durup geçeliň:

Gorizontal ýerleşen ($h_1 = h_2$) akym turbajygy üçin Bernulliniň deňlemesini şeýle ýazmak bolar:

$$\rho \frac{\upsilon_1^2}{2} + p_1 = \rho \frac{\upsilon_2^2}{2} + p_2 \,. \qquad (1.50)$$

Suwuklyk dürli kesigi bolan gorizontal turbadan akanda turbanyň dar ýerlerinde suwuklygyň tizliginiň uly, emma basyşynyň kiçi bolýandygyny, giň ýerlerinde bolsa tersine, basyşyň köp bolup, tizligiň kiçi bolýandygyny (1.50) formuladan we suw çüwdüriminiň üznüksizlik deňlemesinden görmek kyn däl. Munuň hakykatdan-da şeýle bolýandygyny turbanyň boýuna *A*, *B*, *C* manometrleri ýerleşdirip, barlap görmek bolar (*1.12-nji surat*).

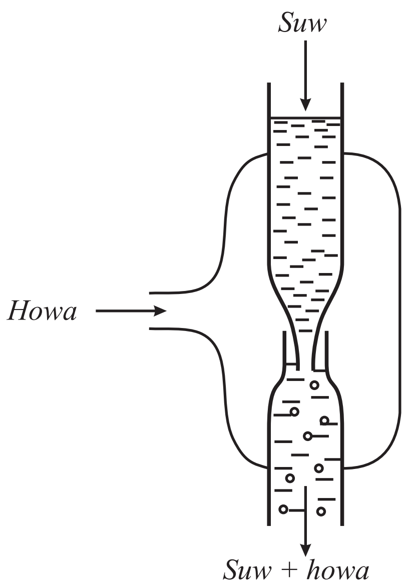


1.12-nji surat. Dürli kese-kesikli turbada basyşyň dürlüligi

Şu manometrik turbajyklardaky suwuklyklaryň beýiklik derejeleri turbadaky *p* basyşy ölçär.

Akymyň tizliginiň has uly bolan ýerlerinde statiki basyşyň kiçelýändigi halk hojalygynda ulanylýan birnäçe abzallaryň işleýiş prinsipleriniň esasydyr.

Mysal üçin, pulwerizatorlaryň (atyr sepiji gural) suw çüwdüriji nasoslaryň işleýiş prinsiplerine seredeliň (*1.13-nji surat*). Turbajygyň giň bölegindäki basyş atmosfera basyşyna deň bolsa, onda dar bölegindäki basyş atmosfera basyşyndan az bolar. Şonda çüwdürimiň sorujy täsiri ýüze çykýar. Turbajygyň daralan ujundan uly tizlik bilen çykýan suw howanyň düwmejiklerini soryar we olary özi bilen alyp gidýär.



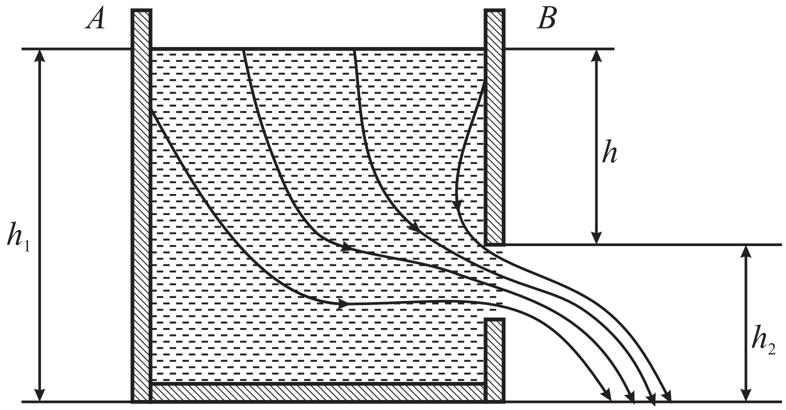
1.13-nji surat. Suw çüwdüriji nasoslaryň işleýşi

Bernulliniň deňlemesiniň kömegi bilen, deşikden akyp çykýan suwuň tizligini-de kesgitlemek bolar. Eger gap giň bolup, deşigi dar bolsa (*1.14-nji surat*), onda gapdaky suwuklygyň tizligi azdyr, şoňa görä-de, tutuş akyma bir akym turbajygy hökmünde garamak bolar. Onda, Bernulliniň deňlemesini bu hal üçin şeýle ýazmak bolar:

$$\rho \frac{\upsilon_1^2}{2} + \rho g h_1 + p_1 = \rho \frac{\upsilon_2^2}{2} + \rho g h_2 + p_2 \cdot$$

Emma, ýokardaky kesikdäki (*AB* üstdäki) basyş-da, aşaky deşikdäki basyş-da, biri-birine (atmosfera basyşyna) deň, ýagny $p_1 = p_2$. Onda ýokardaky formuladan:

$$\frac{\upsilon_1^2}{2} + g h_1 = \frac{\upsilon_2^2}{2} + g h_2 \cdot$$



1.14-nji surat. Deşikden akyp çykýan suwuň tizliginiň kesgitlenilişi

Suw çüwdüriminiň üznüksizliginiň deňlemesine görä, $\upsilon_2/\upsilon_1 = S_1/S_2$. Şu ýerde S_1 we S_2 – degişlilikde gabyň üstüniň we deşiginiň kese-kesiginiň meýdanlary. Eger $S_1 > S_2$, onda $\upsilon_1^2/2$-ni hasaba almasa-da bolar. Onda:

$$\upsilon_2^2 = 2g(h_1 - h_2) = 2gh \qquad \text{ýa-da} \qquad \upsilon_2 = \sqrt{2gh}\,.$$

Bu formula **Toriçelliniň formulasy** diýilýär. Bu formula çüwdürimiň *h* beýiklikden akyp çykanda alýan tizligi edil şol beýiklikden erkin gaçýan jisimiň alýan tizligine deňdigini görkezýär.

II BÖLÜM

YRGYLDYLAR WE TOLKUNLAR

2.1. Yrgyldylar we tolkunlar

Akustika, radiotehnika, optika hem-de ylmyň, tehnikanyň beýleki bölümleri öwrenilende tolkunlar we yrgyldylar baradaky ylma esaslanylýar.

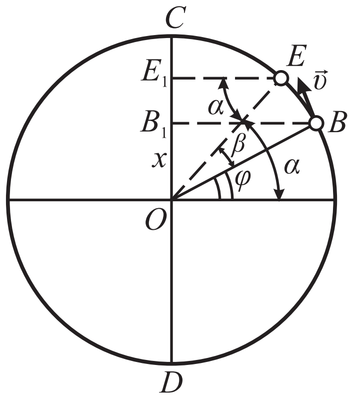
Umumy ýagdaýda yrgyldyly prosesler diýip, deň wagt aralygynda takyk ýa-da takyga golaý gaýtalanyp durýan prosese aýdylýar. Mehanikada, hususan-da köprüleriň, uçýan maşynlaryň, aýratyn görnüşli maşynlaryň berkligini hasaplamakda yrgyldyly prosesleriň nazaryýetinden giňden peýdalanylýar.

Yrgyldaýan jisime edilýän täsire görä yrgyldylar erkin (ýa-da hususy) we mejbury toparlara bölünýärler. Yrgyldaýan jisime (maddy nokada) diňe yzyna gaýtaryjy güýç täsir edýän wagtyndaky yrgylda erkin yrgyldy diýilýär. Eger yrgyldaýan jisimi gurşap alan giňişlikde hiç-hili energiýa ýitgisi bolmasa, onda erkin yrgyldy togtamaýan yrgylda öwrülýär. Emma, yrgyldaýan jisime hemişe sürtülme güýjüniň täsir edýänligi sebäpli, hakyky yrgyldylar togtaýan yrgyldylardyr.

Periodiki üýtgeýän daşky güýjüň täsiri astynda bolup geçýän yrgyldylara mejbury yrgyldylar diýilýär. Mejbury yrgyldyda yrgyldaýan jisime daşardan birsyhly energiýa berilip durulýar. Berilýän energiýa yrgyldaýan jisimiň her periodynyň dowamynda ýitirilýän energiýasyna deň we hususy yrgyldy bilen fazadaş bolmalydyr. Ulgamy togtamaýan yrgyldy etmäge mejbur edýän güýje mejbur ediji güýç diýilýär.

Jisimiň deňagramlylyk ýagdaýyndan süýşmesi sinuslar ýa-da kosinuslar kanuny boýunça bolup geçýän yrgyldylara **garmoniki yrgyldylar** diýilýär. Goý, *B* nokat *v* tizlik bilen töwerek boýunça deňölçegli hereket etsin. Onda bu nokadyň töweregiň islendik diametrine bolan proýeksiýasy, mysal uçin *CD* diametrine, *O* nokadyň golaýynda garmoniki yrgyldy eder.

Bu ýagdaýda O nokat B nokadyň proýeksiýasy bolan töwerek boyunça aýlanýan we garmoniki yrgyldy edýän B_1 nokadyň deňagramlylyk ýagdaýy bolar (*2.1-nji surat*).



2.1-nji surat. Yrgyldyly hereketiň töwerek boýunça hereket bilen düşündirilişi

Deňagramlylyk ýagdaýyndan nokadyň proýeksiýasyna çenli aralyk (OB_1) x orun üýtgetme bolar. Nokadyň deňagramlylyk ýagdaýyndan in uly süýşmesine (OC ýa-da OD) yrgyldynyň amplitudasy diýilýär. B nokat töwerek boýünça bir aýlaw edende onuň proýeksiýasy doly bir yrygldy edýär we başdaky B nokada dolanyp gelýär. Doly bir yrgyldy etmek üçin gerek bolan T wagta yrgyldynyň periody diýilýär. Bir perioddan soň yrgyldyny häsiýetlendirýän ähli fiziki ululyklar gatalanýar. Yrgyldaýan nokat bir periodyň dowamynda dört amplituda deň bolan ýoly gecýär.

Goý, yrgyldaýan nokat başlangyç wagt pursatynda B nokatda bolsun. t wagtda onuň proýeksiýasy B nokatdan E nokada geçsin. Şonda onuň OB radiusy β burça öwrülyär. Onuň OB radiusynyň ω burç tizligi:

$$\omega = \frac{\beta}{t} \text{ bolar, bu ýerden } \beta = \omega t.$$

Eger B nokadyň öwrülýän burçuny kese diametrden hasap etsek, öwrülme burçuny şeýle aňlatmak bolar:

$$\alpha = \beta + \varphi \qquad \text{ýa-da} \qquad \alpha = \omega t + \varphi. \qquad (2.1)$$

OEE_1 üçburçlugyndan süýşmäni kesgitleýäris:

$$x = OE\sin\alpha \qquad \text{ýa-da} \qquad x = A\sin(\omega t + \varphi). \qquad (2.2)$$

(2.2) deňlemä garmoniki yrgyldynyň deňlemesi diýilyär. Sinus alamatynyň astynda duran ululyga, ýagny burç $\alpha = \omega t + \varphi$ ululyga yrgyldynyň fazasy diýilýär. Faza yrgyldaýan nokadyň berlen wagt pursatyndaky ýagdaýyny häsiýetlendirýär we graduslarda ýa-da radianlarda aňladylýar.

T wagtda töweregiň OB radiusy doly bir aýlaw edýär. Ýagny, 2π radian burça öwrülýär. Onda burç tizligi:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}. \tag{2.3}$$

Bu ýerden: $$T = \frac{2\pi}{\omega},$$

bu ýerdäki ω ululyga garmoniki yrgyldyly hereketiň aýlaw ýa-da siklleýin ýygylygy diýilýär. Wagt birliginde bolup geçýän doly yrgyldylaryň sanyna **yrgyldylaryň ýygylygy** diýilýär. Ýygylyk gerslerde (Gs) ölçelýär. $1Gs$ − bir sekuntda bir doly yrgyldy edýän yrgyldynyň ýygylygydyr. Durmuşda gersden uly kilogers we megagers diýen birlikler hem ulanylýar. 1kilogers (kGs) = $1000Gs$, 1 Megagers (MGs) = = 1000000 Gs.

$$\nu = \frac{1}{T} \quad \text{ýa-da} \quad T = \frac{1}{\nu},$$

ýagny, yrgyldynyň ýygylygy ν onuň periodyna T ters proporsionaldyr ýa-da tersine, yrgyldynyň periody onuň ýygylygyna ters proporsionaldyr.

Yrgyldaýan maddy nokadyň süýşmesi (2.2) formula bilen kesgitlenilýär:

$$x = A\sin(\omega t + \varphi).$$

Onuň tizligi süýşmeden wagta görä alnan birinji önüme deňdir:

$$\upsilon = \frac{dx}{dt} = \omega A\cos(\omega t + \varphi). \tag{2.4}$$

Yrgyldaýan nokadyň tizlenmesi tizlikden wagta görä alnan birinji önüme deňdir:

$$a = \frac{d\upsilon}{dt} = -\omega^2 A\sin(\omega t + \varphi) \cdot \tag{2.5}$$

Şu ýerden görnüşi ýaly, garmoniki yrgyldaýan jisimiň tizlenmesi onuň deňagramlylyk ýagdaýyndan süýşmesine göni proporsionaldyr we oňa garşylykly ugrukdyrylandyr, ýagny:

$$a = -\omega^2 x. \tag{2.5a}$$

ω – aýlaw ýygylygy T period arkaly aňladyp ýa-da yrgyldynyň ýygylygy bilen çalşyryp, tizligi we tizlenmäni başga görnüşde ýazýarys:

$$\upsilon = 2\pi\nu A\cos(2\pi\nu t+\varphi) = \frac{2\pi}{t}A\cos\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right). \qquad (2.6a)$$

$$a = -4\pi^2\nu^2 x = -\frac{4\pi^2}{T^2}A\sin\left(\frac{2\pi}{T}t+\varphi\right). \qquad (2.6b)$$

(2.6*a*) we (2.6*b*) formulalar yrgyldaýan nokadyň tizliginiň we tizlenmesiniň yrgyldyly prosesiň T periodyna deň bolan wagta baglylykda üýtgeýän funksiýalardygyny görkezýärler.

(2.6*a*) deňlemeden iki sany netije çykarmak bolar:

1) garmoniki yrgyldyda tizlenme x süýşmä proporsionaldyr we ugry boýunça oňa garşylyklydyr.

2) $a/x = -\omega^2$ gatnaşyk hemişelik ululykdyr, sebäbi aýlaw ýygylyk ω berlen jisimiň ya-da ulgamyň garmoniki yrgyldysy üçin üýtgemeýär.

Garmoniki yrgyldyly proses başlangyç fazasyz ($\varphi_0 = 0$) diýip hasaplalyň, onda yrgyldaýan nokadyň süýşmesi:

$$x = A\sin\omega t.$$

Onuň tizligi:

$$\upsilon = \omega A\cos\omega t = \omega A\sin\left(\omega t+\frac{\pi}{2}\right) = \upsilon_0\sin(\omega t+\frac{\pi}{2}) \text{ bolar.}$$

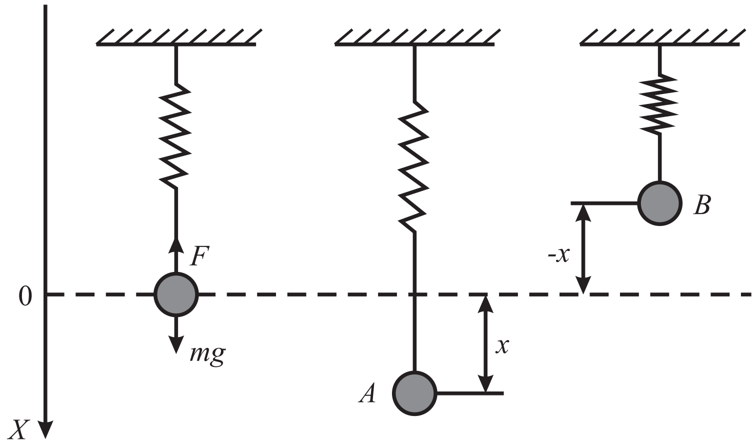
Bu ýerdäki $\omega A = \upsilon_0$ tizligiň iň uly bahasyna deň bolup, oňa **tizligiň amplitudasy** diýilýär; tizlenme:

$a = -\omega^2 A\sin\omega t = -a_0\sin\omega t = a_0\sin(\omega t+\pi)$.

Süýşmäniň, tizligiň we tizlenmäniň deňlemelerini deňeşdirip, olaryň hemmesiniň-de birmeňzeş garmoniki kanun boýunça üýtgeýändigine, emma, tizligiň fazasynyň süýşmäniň fazasyndan $\pi/2$, a tizlenmäniň fazasynyň bolsa ondan $-\pi$ tapawutlanýandygyna göz ýetirýäris.

Yrgyldaýan nokadyň tizlenmesi haçan tizlik wektory öz ugruny üýtgedende, ýagny, $t = T/4$, $3T/4$, $5T/4$ we ş.m. pursatlarda özüniň iň uly bahalaryny alýar.

Puržinli maýatnik. Puržinli maýatnigiň deňagramlylyk ýagdaýynda oňa täsir edýän agyrlyk güýji P, F maýyşgaklyk güýjüne deň. Eger-de ony Ox oky boýunça aşaklygyna çekip, x aralyga süýşürip göýbersek, maýatnigiň süýşmesine garşylykly ugrukdyrylan puržine täsir edýän F maýyşgaklyk güýjüň täsiri astynda maýatnik erkin yrgyldap başlaýar. Gukuň kanunyna görä, F güýç maýatnigiň x süýşmesiniň absolyut bahasyna göni proporsionaldyr we mydama deňagramlylyk ýagdaýyna tarap ugrukdyrylandyr. Yrgyldyly hereketdäki şeýle güýçlere yzyna gaýtaryjy maýyşgak güýçler diýilyär.



2.2-nji surat. Puržinden asylan ýüküň yrgyldylary

Eger koordinatlar başlangyjyny puržinli maýatnigiň deňagramlylyk ýagdaýy diýip hasap etsek we Ox ok aşaklygyna ugrukdyrylan bolsa, Gukuň kanunyna görä:

$$F = -kx$$

bolar.

Bu ýerde F – täsir edýän güýç, x – maýatnigiň süýşmesiniň absolýut bahasy, k – puržiniň gatylyk koeffisiýenti. Nýutonyň ikinji kanunyna görä:

$$F = ma.$$

m – maýatnigiň massasy, a – onuň tizlenmesi ýa-da:

$$a = \frac{F}{m} = -\frac{k}{m}x = -\omega^2 x.$$

Ýagny, puržinli maýatnik sikl ýygylygy bolan erkin garmoniki yrgyldy edýär (ω_0 – erkin yrgyldynyň hususy sikl ýygylygy).

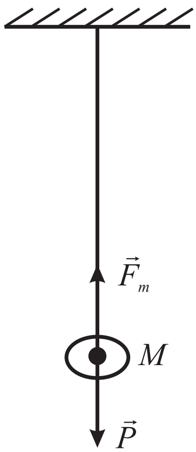
$$\omega_0 = \sqrt{\frac{m}{k}}.$$

$T = \dfrac{2\pi}{\omega_0}$ formula esasynda puržinli maýatnigiň yrgyldysynyň periodyny kesgitleýäris:

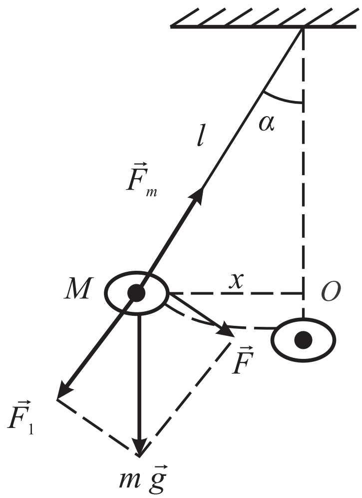
$$T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,. \qquad (2.7)$$

Puržinli maýatnigiň periody yrgyldaýan jisimiň massasyna we puržiniň gatylygyna baglydyr.

Matematiki maýatnik. Agramsyz, süýnmeýän uzyn sapakdan asylan maddy nokada matematiki maýatnik diýilýär (*2.3-nji surat*). M massaly togalak jisimiň asylan sapagy dik ýagdaýdaka, maýatnik deňagramlylyk ýagdaýynda bolýar. Şol wagtda oňa täsir edýän P agyrlyk güýji dartylan sapagyň F_m maýyşgaklyk güýji bilen deňagramlaşýar.



2.3-nji surat. Matematiki maýatnik



2.4-nji surat. Matematiki maýatnigiň dinamikasy

Maýatnik uly bolmadyk α burça gyşardylanda (*2.4-nji surat*) oňa ýene-de şol güýçler täsir edýärler, ýöne indi olar bir gönüde ýatman, öz aralarynda burç bilen ugrukdyrylandyrlar. Bu iki güýjüň deňtäsiredijisi F güýç bolýar. Bu güýç hemişe maýatnigiň deňagramlylyk ýagdaýyna ugrugandyr. Ol güýjüň ululygy:

$$F = mg\sin\alpha. \qquad (2.8)$$

Uly bolmadyk burça gyşarmada $\sin\alpha \approx \alpha = \frac{x}{l}$. Süýşmäniň we gaýtaryjy güýjüň ugurlarynyň garşylyklydygyny hasaba almak bilen, alýarys:

$$F = -mg\frac{x}{l}. \tag{2.9}$$

Bu ýerde x – maýatnigiň deňagramlylyk ýagdaýyndan süýşmesi. Nýutonyň ikinji kanunyna görä, $F = ma$ ýa-da:

$$a = \frac{F}{m} = -mg\frac{x}{ml} = -g\frac{x}{l}, \tag{2.10}$$

bu ýerde l – maýatnigiň sapagynyň uzynlygy. Minus (–) alamaty tizlenmäniň süýşmä ters ugrukdyrylandygyny aňladýar.

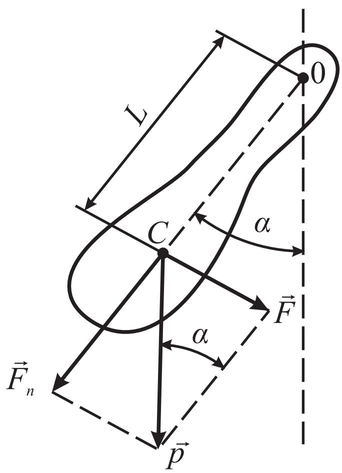
(2.9) we (2.10) deňlemeleri deňeşdirip, alarys:

$$-\omega_0^2 x = -g\frac{x}{l} \qquad \text{ýa-da} \qquad \omega_0^2 = \frac{g}{l}. \tag{2.11}$$

Bu ýerde $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$ gatnaşygy göz öňünde tutup, alarys:

$$\frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{g}{l} \qquad \text{ýa-da} \qquad T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \tag{2.12}$$

(2.12) formuladan görnüşi ýaly, matematiki maýatnigiň T periody maýatnigiň massasyna we onuň amplitudasyna bagly däl.



2.5-nji surat. Fiziki maýatnik

Fiziki maýatnik. Agyrlyk merkezinden geçmedik gozganmaýan kese oka berkidilen we agyrlyk güýjüniň täsiri astynda şu oka görä yrgyldyly hereket edýän gaty jisime **fiziki maýatnik** diýilýär.

Matematiki maýatnikden tapawutlylykda, şeýle jisimi maddy nokat hökmünde kabul etmek bolmaz. Uly bolmadyk α burça gyşardylanda fiziki maýatnik hem yrgyldyly hereket edýär. Agyrlyk güýji fiziki maýatnigiň C merkezine goýlan diýip hasaplalyň (*2.5-nji surat*).

Şu ýagdaýda maýatnigi deňagramlylyk ýagdaýyna gaýtaryjy güýç F – agyrlyk güýji bolýar. Bu güýjüň O oka görä momenti

$$M = -FL = -mgL \cdot \sin\alpha$$

bolar. O oka görä güýç momentiniň alamaty maýatnigiň öwrülme burçunyň alamatyna we sinα-nyň alamatyna garşylyklydyr, ýagny sagat diliniň ugry boýunça maýatnik deňagramlylyk ýagdaýyndan α burça gyşaranda, F güýç maýatnigi sagat diliniň tersine tarap aýlamaga ymtylýar we tersine.

Aýlaýjy moment M aýlaw hereketiniň dinamikasynyň esasy deňlemesine laýyklykda:

$$M = J\varepsilon = J\frac{d^2\alpha}{dt^2},$$

deňdir. Bu ýerde J – maýatnigiň inersiýa momenti, ε – onuň burç tizlenmesi. Onda:

$$J\frac{d^2\alpha}{dt^2} = -mgL\sin\alpha$$

ýa-da

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{mgL}{J}\sin\alpha = 0. \qquad (2.13)$$

Bu deňleme fiziki maýatnigiň yrgyldysynyň differensial deňlemesidir.

Bu deňleme matematiki maýatnigiň yrgyldysynyň deňlemesinden $\left(\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{g}{l}\sin\alpha = 0\right)$ diňe sinα-nyň koeffisiýenti bilen tapawutlanýar. Olaryň koeffisiýentlerini biri-birine deňläp, alýarys:

$$\frac{g}{l} = \frac{mgL}{J}, \qquad \text{bu ýerden} \qquad l = \frac{J}{mL}. \qquad (2.14)$$

(2.14) formula fiziki maýatnigiň getirilen uzynlygyny, ýagny yrgyldy periody berlen fiziki maýatnigiň periodyna deň bolan matematiki maýatnigiň uzynlygyny kesgitleýär:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgL}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}. \qquad (2.15)$$

Bu ýerde J – maýatnigiň O oka görä inersiýa momenti, L – asma nokadyndan maýatnigiň massa merkezine çenli aralyk, $l = J/(mL)$ – fiziki maýatnigiň getirilen uzynlygy, g – erkin gaçmanyň tizlenmesi.

Garmoniki yrgyldyly hereketiň energiýasy. Massasy m bolan yrgyldyly hereket edýän material nokadyň energiýasyny kesgitläliň. Nokadyň tizligi hemişelik däl, şonuň üçin onuň kinetik we potensial energiýalary-da üýtgäp durýar. Potensial energiýa jisimi deňagramlylyk ýagdaýyndan çykaryp, garmoniki yrgyldy etmäge mejbur edýän, ýagny x – süýşmäni döredýän işiň güýji bilen ölçenýär. Bu güýç yzyna gaýtaryjy F güýje deň bolup, ugry boýunça oňa garşylykly ugrukdyrylandyr. Onda:

$$E_p = \int_0^x (-Fdx) .$$

Bu ýerde $F = -kx$, şeýlelikde

$$E_p = \int_o^x kxdx = \frac{kx^2}{2} . \qquad (2.16)$$

Emma, $k = m\omega^2$ we $x = A\sin(\omega t + \varphi)$. Şonuň üçin, yrgyldyly hereket edýän jisimiň potensial energiýasy:

$$E_p = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \sin^2(\omega t + \varphi) . \qquad (2.17)$$

Yrgyldyly hereket edýän jisimiň tizligi $\upsilon = \omega A\cos(\omega t + \varphi)$, onuň kinetik energiýasy şuňa deň bolýar:

$$W_k = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \cos^2(\omega t + \varphi) . \qquad (2.18)$$

Şeýlelikde, garmoniki hereket edýän jisimiň doly energiýasy:

$$E = E_k = E_p = \frac{1}{2} m\omega^2 A^2 \left[\sin^2(\omega t + \varphi) + \cos^2(\omega t + \varphi)\right],$$

emma, $\sin^2\alpha + \cos^2\alpha = 1$, şonuń üçin:

$$E = m\omega^2 A^2/2. \qquad (2.19)$$

Şeýlelikde, yrgyldaýan jisimiň doly energiýasy onuň amplitudasynyň kwadratyna proporsionaldyr we yrgyldy prosesiň dowamynda üýtgemeýär. Çetki ýagdaýlarda yrgyldaýan jisimiň tizligi $\upsilon = 0$, ýagny doly energiýa potensial energiýa deň. Deňagramlylyk ýagdaýynda süýşme $x = 0$, şonuň üçin doly energiýa onuň kinetik energiýasyna deň.

2.2. Akustikanyň fiziki esaslary

Akustika. Ses tolkunlary. Infra- we ultrasesler

Ýygylygy 20*Gs*-den 20000*Gs* aralygynda bolan mehaniki yrgyldylara **ses tolkunlary** diýilýär. Ses adamyň gulagynyň eşidip bilýän mehaniki yrgyldylarynyň bölegidir. Ses yrgyldylaryna gazlarda, suwuklyklarda we gaty jisimlerde tolkunly proses görnüşinde ýaýrap ýa-da şu jisimleriň çäklenen oblastlarynda durujy tolkunlary emele getirýän **maýyşgak yrgyldylar** diýlip düşünilýär.

Ses tolkunlarynyň ýaýraýyş tizligi gurşawyň häsiýetlerine (onuň maýyşgaklygyna, dykyzlygyna) bagly bolup, gazlarda 0,2-den 1,2 *km/s*, suwuklyklarda 1,2-den 2 *km/s*, gaty jisimlerde 2-den 5 *km/s* tizlik bilen ýaýraýar.

Ýygylygy 20000 *Gs*-den uly bolan maýyşgak tolkunlara **ultrasesler**, ýygylygy 20 *Gs*-den kiçi bolan tolkunlara **infrasesler** diýilýär. Fizikanyň ses tolkunlaryny öwrenýän bölümine **akustika** diýilýär. Sesi eşitmek üçin ses çeşmesinden gulaga çenli bolan giňişlikde üznüksiz maýyşgak gurşawyň bolmagy gerekdir.

Ses boý tolkunlaryna degişlidir. Ses maýyşgak gurşawda tolkun görnüşinde ýaýraýar.

Ses tolkuny özi bilen belli bir mukdarda energiýa alyp gidýär. Sesiň güýji tolkunyň özi bilen alyp gidýän energiýasy bilen baglanyşyklydyr. Ses tolkunlarynyň ugruna perpendikulýar bolan 1m^2 meýdanly üstden her sekuntda geçýän energiýanyň mukdary bilen ölçenýän fiziki ululyga **sesiň güýji** diýilýär. Sesiň güýji ony kabul edijä bagly däldir. Ol diňe ses çeşmesinden çykýan yrgyldy hereketi häsiýetlendirýär. Sesiň güýji yrgyldynyň amplitudasyna baglydyr. Ol şeýle formula arkaly kesgitlenilýär:

$$I = \frac{W}{St}, \tag{2.20}$$

bu ýerde I – sesiň güýji, S – meýdan, t – wagt, W – ses tolkunynyň energiýasy. Ölçeg birligi J/m^2s ýa-da Wt/m^2. Ýokarda belleýşimiz ýaly, sesiň güýji yrgyldynyň amplitudasyna baglydyr. Seslenýän jisimiň doly energiýasy

$$W = \frac{4\pi^2 \nu^2 A^2 m}{2} = 2\pi\nu^2 A^2 m, \tag{2.21}$$

formula bilen kesgitlenilýär. Ýagny, ses tolkunynyň energiýasy ýygylygyň we amplitudanyň kwadratyna proporsionaldyr. Sesiň güýji çeşmeden daşlaşdygyça, peselýär. Ony şu formuladan görmek bolar:

$$I = \frac{W}{4\pi R^2 t}, \tag{2.23}$$

bu ýerde $4\pi R^2$ ses çeşmesini gurşap alan R radiusly sferanyň üstüniň meýdany. R – çeşmeden kabul edijä çenli bolan aralyk.

Ýokarda belläp geçişimiz ýaly, ses tolkunlary suwuklyklarda we gazlarda boý tolkunlary, gaty jisimlerde boý tolkunlary görnüşinde-de, kese tolkunlar görnüşinde-de, ýaýrap biler. Onuň ýaýraýyş tizligi gurşawyň maýyşgaklyk häsiýetine we dykyzlygyna baglydyr.

Ses tolkunlarynyň ýaýramagynyň köp kanunalaýyklyklaryny termodinamikanyň bölüminde öwrenilýän adiabatiki prosesleriň teoriýasynyň esasynda düşündirmek başartdy.

Kadaly ýagdaýda howada sesiň ýaýraýyş tizligini kesgitläliň. Şerte görä:

$t = 0^{o}C$, $(T = 273K)$; $\gamma = 1{,}40$; $\mu = 0{,}029\ kg/mol$, $R = 8{,}31 J/(mol \cdot K)$.

Ýagny:

$$\upsilon = \sqrt{\frac{\gamma RT}{\mu}} = \sqrt{\frac{1{,}40 \cdot 8{,}31 \cdot 273 J \cdot K \cdot mol}{0{,}029 mol \cdot K \cdot kg}} \approx 333 m/s.$$

Tizligiň bu bahasy tejribe arkaly alnan bahalar bilen gabat gelýär.

Ozal belläp geçişimiz ýaly, ýygylygy 20000 *Gs*-den uly bolan yrgyldylara ultrasesler diýilýär. Ultrasesi adamyň gulagy eşitmeýär. It we beýleki haýwanlar oňa duýgur bolýarlar. Ultrasesiň esasy aýratynlygy – onuň uly güýjüniň bardygy we olary belli bir ugra gönükdirip bolýanlygydyr.

Ultrasesleri almak üçin pýezoelektrik effekt diýilýän effekt has köp ulanylýar. Ultrases yrgyldylaryny almak üçin kwarsyň kristallary (pýezokwars) peýdalanylýar. Eger kristallografiki oklaryna görä belli bir ýagdaýda kesilip alnan kwars plastinkasyna metal obkladkalarynyň kömegi bilen üýtgeýän elektrik naprýaženiýesi goýulsa, plastinka yrgyldamaga başlar. Eger goýlan elektrik naprýaženiýesiniň ýygylygy plastinkanyň hususy mehaniki yrgyldylarynyň ýygylygyna laýyk gelse (rezonans hadysasy), onda kwars plastinkasynyň yrgyldylary has-da güýçli bolýar. Plastinkanyň ölçeglerini saýlap almak bilen, ýüzlerçe müň *Gs* ýygylykly ultrases yrgyldylaryny almak bolar.

Häzirki wagtda ultrases tehnikada, hususan-da ugrukdyrylan suwasty signalizasiýa üçin, suwuň astyndaky zatlary duýmak hem-de çuňluklary kesgitlemek üçin giňden ulanylýar.

Ultrases we ses tolkunlaryň ýaýraýyş tizligi biri-birine golaý. Ultrasesiň λ tolkun uzynlygyny, ν ýygylygyny we υ tizligini $\upsilon = \lambda\nu$ gatnaşyk biri-biri bilen baglanyşdyrýar. Emma, ultrases tolkunlarynyň uzynlygy ses tolkunlarynyň tolkun uzynlygyndan kiçi. Mysal üçin, ultrasesiň tizligi $\upsilon = 330\ m/s$, $\nu = 330\ kGs$ bolsa

$$\lambda = \frac{\upsilon}{\nu} = \frac{330 m \cdot s^{-1}}{330 \cdot 10^3 s^{-1}} = 10^{-3} m = 1 mm\ .$$

Ultrasesiň ýygylygynyň aşaky çägi 20 *kGs* bolup, ýokarky çägi häzirki wagtda 200 *MGs*-den-de geçýär.

Suwuklykdaky jisimleriň ornuny ultrasesiň kömegi bilen kesgitlemeklige **gidrolokasiýa** diýilýär. Gidrolokasiýa ideýasy örän sadadyr. Ultrases baryp düşýän jisiminiň üstünden yzyna serpigýär. Ultrases tolkunlaryň çeşmesinden çykyp, yza serpikdirýän üste baryp, soňra yzyna dolanyp gelýänçä bolan uzaklygy geçýän wagty ýörite abzal bilen ölçelýär. Ultrasesiň gurşawda ýaýramak tizliginiň belli bolany üçin jisime çenli uzaklygy olçemek aňsat.

Ultrases defektoskopiýasy. Ultrasesiň tehnikada wajyp ulanylyşy − rus alymy S.Y.Sokolow tarapyndan döredilen ultrases defektoskopiýasydyr. Eger ultrasesiň ýaýraýan ýerindäki metalda jaýryk bolsa, ondan ultrases tutuşlygyna diýen ýaly yzyna serpigýär we ony kabul ediji görkezýär.

Ultrases saglygy goraýyşda näsag mallaryň bedenindäki dürli hili näsazlyklary tapmak üçin ulanylýar. Mysal üçin, UZI (ultrazwukowoý indikator) edil ultrases defektoskopy ýaly işleýär. Ultrases çykarýan enjamy haýwanyň bedeniniň ýüzi boýunça ýöredip, olaryň ölçegleri nähili diýen soraga jogap berip bolýar.

Ultrases özi bilen uly energiýany alyp gidýär. Şonuň üçin ultrasesiň täsiri astynda jisimler gyzýar we basyşa sezewar bolýar. Şol sebäpli ultrasesi suwuň, ýagyň emulsiýasyny almak üçin we ş. m. giňden ulanylýar.

Haýwanlarda we guşlarda jübüt eşidiş organlarynyń bolmagy ses tolkunlarynyń ýaýraýyş ugruny kesgitlemäge mümkiinçilik berýär (bınewral effekt). Beýni merkezleriniń gulaklara gelýän yrgyldylaryń faza tapawudyny kesgitlemäge ukyplydygy zerarly, ses tolkunlarynyń ugry kesgitlenilýär. Belent yrgyldyly ses bolanda gulaklaryń ikisindäki ses amplitudalarynyń tapawudy netijesinde sesiň gelýän ugruny seljermek bolýar. Ses subýektiw eşidilende, biz sesiń üç sany häsiýetini duýýarys: sesiń belentligini, tembrini, gatylygyny tapawutlandyrýarys. Sesiň belentligi onuń ýygylygy bilen kesgitlenýär. Sesiń gatylygy (güýji) sesiń ýaýraýyş ugruna perpendikulýar ýerleşen bir meýdan birliginden ýaýraýan ses tolkunlarynyń wagt birliginde geçirýän energiýasynyń mukdary bilen kesgitlenýär.

Ses tolkunlarynyń ses duýgusyny döretmegi üçin sesiń güýjüniń **eşidiş bosagasy** diýilýän käbir minimal (iń kiçi) ululykdan uly bolmagy zerurdyr. Güýji eşidiş bosagasyndan aşakda ýatýan sesi gulak eşitmeýär. Ol eşiderden gaty gowşak bolýar. Eşidiş bosagasy dürli ýygylyklar üçin dürlüdir. Adamyń gulagy 1-3 *kGs* aralygyndaky ýygylykly yrgyldylary has gowy duýýar. Bu aralyk üçin eşidiş bosagasy 10^{-12} Wt/m^2 ululyga ýetýär. Has pes we has ýokary ýygylyklary gulak has ýaramaz duýýar. 20 *Gs*-den kiçi we 20 *kGs*-den uly ýygylykly yrgyldylaryń güýji näçe bolsa-da, olar ses bolup eşidilmeýär.

Ýygylygy 3 *Gs* çeşmäniň kuwwaty 1*Wt* bolanda infrasesiň ýaýraýan aralygy 100 *km* ýetýär. Kuwwatly ýadro partlamasynda döreýän ultrases ähli Ýer şaryna aýlanýar.

Hususy ýygylygy 2-20 *Gs* aralygynda bolan infrases gulagyň içindäki westibulýar organa täsir edip, onda rezonansy oýarýar hem-de onuň kadaly işlemegini bozýar.

Ýygylygy 7 *Gs* bolan infrases ýaşaýyş üçin has-da howply. Bu ýygylyk beýniniň λ-ritmine gabat gelýär. Kuwwaty 180 *Db* bolan şeýle infrases adamy ysmaz edip, ölüm howpuny salýar.

Infrasesden goranmak mümkin däl. Myşsalar infrases bilen şöhlelendirilende ýüregiň myşsalarynyň mejbury yrgyldysynyň ýygylygy artýar we onuň amplitudasy ulalýar, ol gan damarlarynyň ýarylmagyna alyp barýar.

Ýygylygy 7 *Gs*, kuwwaty 170 *Db* bolan ultrases bilen 20 minutlap alaka şöhlelendirilende onuň gan damarlary giňelip, öýkenine gan inýär.

Ses hem ýagtylyk ýaly, maglumat çeşmesi bolup hyzmat edýär. Ol bizi gurşap alan adamlaryň gürrüňlerini, galmagallaryny we başga-da köp zatlary bize ýetirýär.

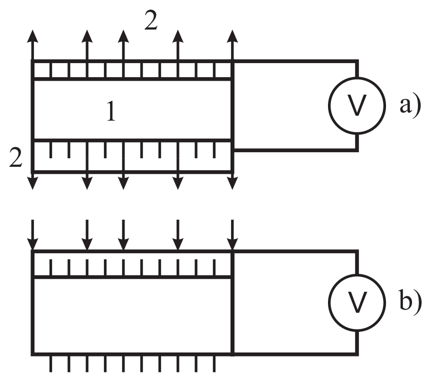
Sesiň janly-jandarlar üçin ähmiýeti uludyr. Ses – adamlaryň we haýwanlaryň içki organlarynyň maglumat çeşmesidir.

Sesiň üsti bilen keselleri derňemegiň usullaryna **auskultasiýa** diýilýär. Ol biziň eramyzdan öň II asyrda hem belli ekeni. Auskultasiýa usulynda **stetoskop** we **fonendoskop** ulanylýar.

Fonendoskopyň gurluşy ýarym kapsul görnüşinde bolup, ol sesi berýän membranadan, kesselliniň endamyna galtaşdyryjydan we ondan gulaga gelýän iki sany turbajyklardan ybaratdyr.

Auskultasiýa usuly bilen öýkeniň dem alyş agzalarynyň ýagdaýyny, ýüregiň işleýşiniň kadalylygyny olardaky galmagallaryň üsti bilen bilip bolýar. Bu diagnostika üçin mikrofon, usilitel (güýçlendiriji), gromkogoworitel (sesi gataldyjy) we birnäçe telefonlar ulanylýarlar. Ýüregiň işleýşini ýazmaga niýetlenen abzala **fonokardiograf** diýilýär (FKG).

Keselleri ses usuly bilen derňemek usulyna **perkussiýa** diýilýär. Ýokarda belleýişimiz ýaly, ultrases diýip, ýygylygy 20 *kGs*-den ýokary bolan mehaniki yrgyldy ýygylyklaryna aýdylýar. Ultrasesiň ýokary çägi v = 109-1010 *Gs*. Bu çäkde ultrases tolkunynyň generatory bolup, elektromehaniki şöhlelendiriji, ýagny ters pýezoelektriki effekti ulanylýar.



2.6-njy surat

Mehaniki tolkunlaryň şöhleleniş effekti rezonans şerti ýerine ýetende bolýar.

Plastinanyň galyňlygy 1 *mm* bolanda kwarsda – ýygylygy 2,87 *MGs*, segnet duzunda – 1,5 *MGs*, titanat bariýde – 2,75 *MGs* ýygylykda rezonans ýüze çykýar.

Ultrasesiň weterinar lukmançylyk – biologiki täsiri iki bölege bölünýär:

1) diagnostika – derňemek usuly;

2) täsir usuly.

Ehoensefalografiýa usulynda çiş keselleri we beýni çişme keseli derňelýär. Ol Eho-12 enjamda amala aşyrylýar.

Ultrases kardiologiýasy – ýüregiň ölçegini bilmek we dinamikasyny kesgitlemek.

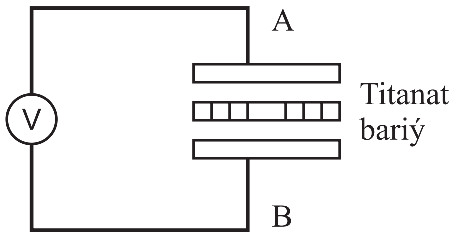
Göz kesellerinde ultrases lokasiýasy, ýagny impuls şöhlelenmesi gözüň giňişliginiň ölçeglerini kesgitlemäge mümkinçilik berýär.

2) Ultrases terapiýasy UTP – 3M enjamda amala aşyrylýar. Onda ulanylýan tolkunlaryň ýygylygy we intensiwligi

$$v = 800\ kGs;\ I = 1\frac{Wt}{sm^2}.$$

Öýjüklere mehaniki we ýylylyk täsiri – birnäçe görnüşli ultrases skanerleri, jisimleri döwmek, dermanlary emulsiýalamak, inçekesele, astma garşy göreşmek, süňki kebşirlemek, mikroblary öldürmek, ultrases lokasiýasy körler üçin 10 *m* aralykda görmek ýaly maksatlar üçin ulanylýar. Ultrases generatorlary (*2.7-nji surat*) dürli hili bolup biler. Mysal üçin, ultrasesleri mehaniki we elektromehaniki generatorlarda alyp bolýar.

Pýezoelektrik effektiň ("pýeza" – "basýaryn") esasynda Pýer Kýuri tarapyndan 1880-nji ýylda teklip edilen gurluşyň işleýşi şeýle: kondensatoryň plastinalaryna üýtgeýän toguň naprýaženiýesi birikdirilende kristal deformirlenýär, howanyň gysylmasynyň we seýreklenmesiniň netijesinde ultrases ýüze çykýar.



2.7-nji surat. Ultrases generatorynyň gurluşy

Eholokasiýany 1891ý. rus fizigi P.N.Lebedew suwasty gämilerini ýüze çykarmak üçin ulandy. Ultrases toplumyny suwasty obýekte ugrukdyrýarlar, onuň goýberilen we kabul edilen wagtlaryny bilip, onuň aralygyny ölçeýärler. Ultrases eholokasiýasy balyk toplumyny tapmakda hem giňden ulanylýar. Dispergirlemek – farmokologiýada dermanlaryň daşyny emulsiýalamakda giňden ulanylýar. Ultrases defektoskopy – eger metal guýulanda boşluk galsa ýa-da kesilen bolsa, onda kabuledijä signal barmaýar. Ultrasesi port materiallary (keramika, aýna, ýarymgeçiriji kremniý we germaniý) kesmek üçin ulanýarlar.

III BÖLÜM

MOLEKULÝAR FIZIKA WE TERMODINAMIKA

3.1. Molekulýar-kinetik teoriýanyň esaslary

Örän köpsanly atomlary we molekulalary özünde birleşdirýän jisimler bilen bagly bolup, olarda bolup geçýän mikroprosesleri öwrenýän fizikanyň bölümine **molekulýar fizika** we **termodinamika** diýilýär. Bu prosesleri öwrenmek üçin hil taýdan biri-birinden tapawutlanýan we şol bir wagtyň özünde-de biri-biriniň üstüni ýetirýän **statistik** (molekulýar-kinetik) we **termodinamik** diýilýän iki sany usul ulanylýar. Birinji usul molekulýar fizikanyň esasyny düzýän bolsa, ikinji usul - termodinamikanyň esasyny düzýär.

Biziň daş-töweregimizi gurşap alan gaty, suwuk we gaz görnüşindäki ähli jisimleriň molekulalardan düzülendigini, olaryň hem mydama dyngysyz hereketdedigini ykrar edýän **molekulýar-kinetik teoriýanyň** nukdaý nazaryndan seredip, jisimleriň gurluşlaryny, häsiýetlerini öwrenýän fizikanyň bölümine **molekulýar fizika** diýilýär.

Örän köpsanly atomlardan ýa-da molekulalardan ybarat bolup, ölçegleri boýunça atomlaryň ölçeglerinden köp esse uly bolan jisimlere fizikada **makroskopik jisimler** diýilýär (ballondaky gaz, stakandaky suw, Ýer şary we ş.m.)

Termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýyndaky mikroskopiki sistemanyň umumy häsiýetlerini we bu ýagdaýlaryň aralygyndaky geçiş proseslerini öwrenýän fizikanyň bölümine **termodinamika** diýilýär. Şeýlelik bilen hem termodinamik usuly statistik (molekulýar-kinetik) usuldan tapawutlanýar.

Termodinamikanyň hemme mazmuny termodinamikanyň kanunlary diýilýän birnäçe tassyklamalardan ybaratdyr. Termodinamik usul çäkli, ol jisimiň makroskopik gurluşy barada hiç zat aýtmaýar, olarda bolup geçýän hadysalaryň mehanizmleri barada-da şeýle, ol diňe jisimleriň mikroskopik häsiýetleriniň arasyndaky baglanyşygy kesgitleýär. Termodinamika – mikroskopik sistemalar bilen iş salyşýar. Mikroskopik sistemanyň ýagdaýy wagtyň berlen momentinde ony düzýän molekulalaryň ýagdaýy bilen kesgitlenilýär. Jisimiň ähli häsiýetleri kesgitlenende onuň ýagdaýynyň üýtgeýän wagtynda tejribe arkaly ölçäp bolaýjak ululyklar ulanylýar. Jisimiň (gazyň) ýagdaýyny häsiýetlendirýän bu ululyklara dykyzlyk, basyş we temperatura degişlidir.

Jisimiň massasynyň onuň göwrümine bolan gatnaşygyna san taýdan deň bolan ululyga dykyzlyk diýilýär:

$$\rho = m/V.$$

Eger-de gaz haýsy hem bolsa bir gapda ýerleşdirilip, onuň meýdanyna perpendikulýar täsir edýän daşarky F güýji bu meýdanda deň bölünen bolsa, onda gazyň basyşy:

$$p = F/S.$$

Termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýyndaky izolirlenen sistemanyň ähli ýerinde temperaturalar birmeňzeşdir. Temperaturalaryň tapawudy Δt – bu berlen jisimiň beýleki jisim bilen ýylylyk deňagramlylygyndan üýtgemesidir (iki jisimiň temperaturasy birmeňzeş bolsa olaryň arasynda ýylylyk çalşygy bolmaýar, jisimler ýylylyk deňagramlylygy halynda bolýarlar).

Temperaturany kesgitlemek üçin iki şkala – selsiý şkalasy we kelwin şkalasy giňden ulanylýar.

Selsiý şkalasynda 0 gradus hökmünde ereýän buzuň temperaturasy, 100^o temperatura hökmünde, kadaly atmosfera basyşynda gaýnaýan suwuň temperaturasy kabul edilendir. 0 we 100 nokatlaryň arasyndaky ähli şkalany graduslar diýilýän 100 deň böleklere bölýärler, her bölüm, 1^oC degişlidir. Kelwin şkalasyndaky temperaturanyň ölçegi Selsiý şkalasyndaky temperaturanyň ölçegine deňdir (gradus), emma, selsiýdäki 0 şkala temperaturanyň otrisatel çäklerine $-273,15^oC$ süýşürilendir:

$$T = t + 273,15\ K.$$

Bu ýerde T – absolýut temperatura, ol *HU*-da kelwinlerde (K) ölçenilýär, t – selsiý şkalasyndaky temperatura. Mysal üçin, 27^oC temperaturany kelwin (absolýut temperatura) şkalasynda aňladanymyzda

$$T = 27 + 273 = 300\ K \text{ bolar.}$$

Aşakdaky şertler ýerine ýetýän gazlara **ideal gazlar** diýilýär:

1. Molekulalaryň hususy göwrümi hasaba alarlykdan örän kiçi;
2. Molekulalaryň aralarynda özara täsir güýçleri ýok;
3. Molekulalaryň öz aralarynda we gabyň diwarlary bilen bolan çaknyşmalary absolýut maýyşgak urgulardyr.

Geliý, wodorod ýaly gazlary ideal gaz hasaplamak bolar. Molekulýar-kinetik teoriýasy açylmazyndan öň tejribe üsti bilen ideal gazlaryň özlerini alyp baryşlaryna degişli birnäçe gaz kanunlary açyldy.

Termodinamiki sistema bir haldan beýleki bir hala geçende onuň ululyklary üýtgeýär. Haçan-da, berlen gazyň m massasy hemişelik bolup, onuň üç ululyklarynyň (p, V ýa-da T) biriniň üýtgemeýän bahasynda bolup geçýän proseslere izoprosesler diýilýär. (“Izos” – grek sözi bolup, “deň” diýmekdir). Izotermik proses hemişelik temperaturada bolup geçýär we **Boýluň-Mariottyň kanunyna** boýun egýär: hemişelik temperaturada, berlen m massaly gaz üçin onuň p basyşynyň V göwrümine köpeltmek hasyly hemişelik ululykdyr:

$$p \cdot V = \text{const.} \tag{3.1}$$

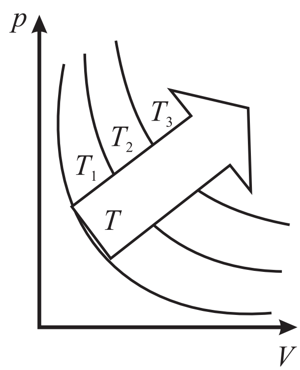
Bu kanun iňlis alymy Boýl (1662 ý.) we fransuz alymy Mariott (1676) tarapyndan açylýar.

Şoňa görä-de, oňa Boýluň-Mariottyň kanuny diýilýär. Bu kanunyň çyzgysy giperbolany şekillendirýär (*3.1-nji surat*).

T_1, T_2, T_3 – temperaturalara degişli bolan egriçyzyklara **izotermalar** diýilýär. Izobarik proses basyş hemişelik bolan ýagdaýynda (p = const) ýüze çykýan prosesdir. Ol **Geý – Lýussagyň kanuny** arkaly aňladylýar: hemişelik basyşda berlen gazyň massasynyň göwrümi temperatura görä çyzykly üýtgeýär:

$$V = V_0\,(1 + \alpha t). \tag{3.2}$$

Bu ýerde V – gazyň t°C temperaturadaky göwrümi, V_0 – onuň 0°C-däki göwrümi, α – ululyga **göwrüme giňelmegiň termik koeffisiýenti** diýilýär. Ol hemme gazlar üçin birmeňzeşdir we $\frac{1}{273}\,grad^{-1}$ deňdir.



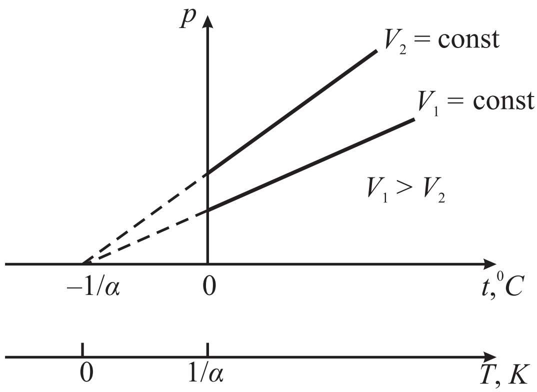
3.1-nji surat. Boýluň-Mariottyň kanuny

Izohorik proses hemişelik göwrümde (V = const) bolup geçýär we **Şarlyň kanunyna** boýun egýär: hemişelik göwrümde berlen gazyň massasynyň basyşy temperatura görä çyzykly üýtgeýär:

$$p = p_0\,(1 + \gamma t). \tag{3.3}$$

Bu ýerde p w p_0 degişlilikde, gazyň t°C we 0°C temperaturalardaky basyşlary. γ – ululyga **basyşyň termik koeffisiýenti** diýilýär. Ol ideal gaz üçin $\gamma = \alpha$.

Bu kanunyň grafiki şekillendirilişi 3.2-nji suratda görkezilendir (izotermik proses üçin hem şuňa meňzeş grafik bolýar. Diňe ordinata okundaky p-niň deregine V bolýar).



3.2-nji surat. Şarlyň kanuny

(3.3) formuladan görnüşi ýaly, $p = 0$ bolanda $p_0 \neq 0$, $(1 + \gamma t)$ köpeltmek hasyly nola deň, ýagny: $(1 + \gamma t) = 0$. Şu ýerden: $t = 1/\gamma$, ýagny eger $p = 0$ bolsa, $t = –273,15$°C, bu bolsa absolýut nol temperatura gabat gelýär. Dogrudan-da, temperatura absolýut nola golaýlanda, gaz gaty jisime öwrülýär, onuň üçin ideal gaz kanunlaryny ulanyp bolmaýar.

Absolýut temperatura düşünjesini girizip ($T = t + 273,15$), (8.2) we (8.3) deňlemeleri başga görnüşde ýazmak bolar:

$$\frac{V}{V_0} = 1 + \frac{t}{273,15}, \qquad \text{ýa-da} \qquad \frac{V}{V_0} = 1 + \frac{273,15 + t}{273,15},$$

bu ýerden $\frac{V}{V_0} = \frac{T}{T_0}$.

Bu ýerde $T_0 = 273,15\ K$, T_0 we V_0 – ululyklaryň hemişelikdigini göz öňünde tutup, izobarik poses üçin bu formulany şeýle görnüşde ýazýarys:

$$\frac{V}{T} = \text{const}. \qquad (3.4)$$

Şular ýaly, izohorik proses üçin-de:

$$\frac{p}{T} = \text{const} \tag{3.5}$$

diýip ýazmak bolar.

Seredip geçen gaz kanunlarymyzy jemläp, şeýle görnüşde ýazýarys:

$pV = \text{const}$ (izotermik proses);

$V/T = \text{const}$ (izobarik proses);

$p/T = \text{const}$ (izohorik proses);

Bu kanunlary birleşdirip, umumy bir deňleme alyp bolýar:

$$pV = \frac{m}{\mu} RT. \tag{3.6}$$

(3.6) deňlemä hem **ideal gaz halynyň deňlemesi** diýilýär. Ideal gazlaryň molekulalarynyň özara täsirlerini öwrenip, alýarys:

$$p = \frac{2}{3} n_0 < W >, \tag{3.7}$$

ýagny gazyň basyşy göwrüm birligindäki molekulalaryň öňe bolan hereketiniň ortaça kinetik energiýalarynyň 2/3-si ýaly kesgitlenilýär. (3.7) formula gazlaryň molekulýar-kinetik teoriýasynyň esasy deňlemesi diýilýär.

(3.7) formulanyň sag we çep bölegini gazyň bir molunyň V_1 göwrümine köpeldeliň, onda:

$$pV_1 = \frac{2}{3} n_0 V_1 < W >,$$

bu ýerde $n_0 - V_1$ gazyň bir molundaky molekulalaryň sanydyr, bu san Awogadronyň sanyna deň: $n_0 V_1 = N_A$, bu ýerden

$$p \cdot V_1 = \frac{2}{3} N_A < W >,$$

bir mol üçin gaz halynyň şeýle deňlemesi bar, ýagny

$$pV_1 = RT,$$

bu ýerden $p \cdot V_1 = \frac{2}{3} N_A < W > = RT$ ýa-da

$$T = \frac{2}{3} \cdot \frac{N_A}{R} < W >. \tag{3.8}$$

Şu ýerden görnüşi ýaly, gazyň absolýut temperaturasy onuň molekulalarynyň öňe bolan hereketiniň orta kinetik energiýasyna proporsionaldyr. (3.8) formuladan alýarys:

$$<W>=\frac{2}{3}\frac{R}{N_A}\cdot T\,. \tag{3.9}$$

Bu ýerdäki $R/N_A = k$ hemişelik ululyga Bolsmanyň hemişeligi diýilýär we ol uniwersal gaz hemişeliginiň Awogadro sanyna gatnaşygyna deňdir. Ýagny:

$$k=\frac{8{,}31J/(mol\cdot K)}{6{,}023\cdot 10^{23}mol^{-1}}=1{,}38\cdot 10^{-23}J/K\,.$$

Bolsmanyň hemişeligi fizikanyň köp deňlemelerinde ulanylýan ululykdyr.

Bolsmanyň hemişeligini (3.8) formulada ýerine goýup, alarys:

$$<W>=\frac{2}{3}kT\cdot \tag{3.10}$$

(3.10) formuladan görnüşi ýaly, molekulalaryň öňe bolan hereketiniň orta kinetik energiýasy diňe absolýut temperatura göni proporsionaldyr. Şeýlelikde, temperaturanyň absolýut nol şkalasy şeýle fiziki mana eýe bolýar: haçan $T = 0$ bolanda, (temperaturanyň absolýut nolynda) molekulalaryň öňe bolan hereketi düýbünden togtaýar, bu temperaturada molekulalaryň we atomlaryň içindäki hereketleriň käbir görnüşleri saklanýar.

(3.10) formuladan molekulalaryň tizliginiň kwadratynyň ortaça bahasy üçin aşakdaky formulany alarys:

$$<\upsilon_{kw}>=\sqrt{<\upsilon_{kw}^2>}=\sqrt{\frac{3kT}{m}} \tag{3.11}$$

ýa-da Bolsmanyň hemişeliginiň $k = R/N_A$ deňdigini göz öňünde tutup, şeýle ýazýarys:

$$<\upsilon_{kw}>=\sqrt{\frac{3RT}{mN_A}}\,. \tag{3.12}$$

Emma, $m\cdot N_A = \mu$ – 1 moluň massasy, onda

$$<\upsilon_{kw}>=\sqrt{\frac{3RT}{\mu}}\,. \tag{3.13}$$

Şeýlelikde, gazyň temperaturasyny we molýar massasyny bilip, (3.13) formula esasynda molekulanyň hereketiniň orta kwadrat tizligini tapmak bolar.

Molekulalaryň öňe bolan hereketiniň ortaça kinetik energiýasyny aňladýan (3.10) we molekulýar - kinetik teoriýanyň esasy deňlemesindäki p basyşy aňladýan (3.7) formulalary birleşdirip, alýarys:

$$p = n_0 kT. \tag{3.14}$$

Ýagny, gazyň basyşy göwrüm birligindäki molekulalaryň sanynyň onuň absolýut temperaturasyna köpeldilmegine göni proporsionaldyr.

Islendik gazyň molekulasyna Ýeriň dartyş güýjüniň täsir etmegi netijesinde olar belli bir güýç bilen Ýere basyş edýärler. Olaryň Ýere edýän basyşy beýiklige görä üýtgeýär.Takyk hasaplamalara görä, her 8 *m* beýiklikden howanyň basyşy 10 *Pa* azalýar.

$$p = p_0 e^{-\frac{\mu g h}{RT}}. \tag{3.15}$$

Alnan (3.15) aňlatma **barometrik** formula diýilýär. Ol beýiklige görä atmosfera basyşyny kesgitlemäge ýa-da basyşy ölçäp, beýikligi tapmaklyga mümkinçilik berýär.

Bu ýerde $p - h$ beýiklikdäki, $p_0 - h_0$ beýiklikdäki gazyň basyşlarydyr (Beýikligi ölçeýän enjamlaryň – altimetrleriň işleýişleri (3.15) formula esaslanandyr). Bu formula gazyň basyşynyň beýiklige görä eksponensial kemelýändigini görkezýär. Mundan başga-da, ol gazyň molekulýar agyrlygyna hem baglydyr. Gazyň molekulýar agyrlygy näçe uly bolsa, beýiklige görä onuň basyşy şonça-da çalt kemelýär.

3.2. Geçiş hadysalary. Osmos

Gazlardaky molekulalaryň tertipsiz hereketi olaryň üznüksiz garyşmagyna eltýär, şol sebäpli iki sany galtaşýan gaz bir-biriniň içine aralaşýar – diffundirlenýär. Gaz molekulalarynyň bir ýerden başga ýere geçmegi gazlardaky içki sürtülme we ýylylyk geçirijilik hadysalaryna esaslanandyr. Molekulalaryň hereketi bilen düşündirilýän bu hadysalaryň hemmesine geçiş hadysalary diýilýär.

Şu ýerde bir zady anyklamak gerek. Haçan ýylylyk geçirijilik hadysalary bolanda – giňişleýin energiýanyň geçirilişi, diffuziýada – massanyň geçirilişi, içki sürtülmede bolsa – hereket mukdarynyň geçirilişi göz öňünde tutulýar. Bu hadysalaryň hemmesinde-de energiýanyň, massanyň we hereket mukdarynyň geçirilişinde, geçiş mydama olaryň gradiýentleriniň (belli ugur boüunça artmalarynyň) ters tarapyna ugrukdyrylandyr, ýagny sistema özüniň termodinamik deňagramlylyk ýagdaýyna golaýlaşýar.

Ýylylyk geçirijiligi. Ilki bilen gazlarda ýylylyk geçirijiligine garap geçeliň. Makroskopiki nukdaýnazardan, ýylylyk geçirijilik hadysasy has gyzgyn gatlakdan has sowuk gatlaga käbir q ýylylyk mukdarynyň geçirilmeginden ybaratdyr. Wagtyň geçmegi bilen molekulalaryň dyngysyz çaknyşmalarynyň netijesinde olaryň orta kinetik energiýalarynyň deňleşmek prosesi bolup geçýär, başga söz bilen aýdanymyzda, gatlaklaryň temperaturasy deňleşýär.

Energiýanyň ýylylyk görnüşinde geçiş prosesi Furýeniň ýylylyk geçiş kanunyna boýun egýär: wagt birliginde meýdan birliginden geçirilýän q ýylylyk mukdary, dT/dx – temperaturanyň gradiýentine göni proporsionaldyr:

$$q = -\lambda \frac{dT}{dx} . \tag{3.16}$$

Bu ýerde λ – gazyň düzümine we onuň häzirki bolýan şertine bagly bolan ululyk; bu ululyga ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti diýilýär. Minus alamaty q ýylylyk mukdarynyň T temperaturanyň kemelýän tarapyna geçýändigini aňladýar.

Wagt birliginde temperatura gradiýentiniň bire deň bolan wagtynda meýdan birliginden geçirilýän ýylylyk mukdaryna deň bolan ululyga λ **ýylylyk geçirijilik koeffisiýenti** diýilýär.

Görnüşi ýaly, t wagtda S meýdançanyň üstünden geçýän Q ýylylyk mukdary, S meýdançanyň ululygyna, t wagta, temperaturanyň dT/dx gradiýentine proporsionaldyr:

$$Q = -\lambda \frac{dT}{dx} St .$$

Molekulýar-kinetik nukdaýnazardan Q ýylylyk mukdarynyň geçirilmegi molekulalaryň tertipsiz hereketiniň belli bir mukdardaky kinetik energiýasynyň S meýdançanyň üsti bilen geçirilmegini aňladýar.

Ýylylyk geçirijilik koeffisiýentini göwrüm hemişelik bolan wagtyndaky c_V **gazyň udel ýylylyk sygymy** (göwrüm hemişelik bolan wagtynda 1 kg gazy 1 K gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdary) bilen we onuň dykyzlygy bilen, molekulalaryň ýylylyk hereketiniň $<\upsilon>$ **orta arifmetiki tizligi** bilen, hem-de olaryň **erkin ýolunyň ortaça uzynlygy** $<l>$ bilen baglanyşdyrýan şu aşakdaky formulany alyp bolýandygyny hasaplamalar görkezýär:

$$\lambda = 1/3 c_V \rho <\upsilon><l>. \qquad (3.17)$$

Diffuziýa. Diffuziýa hadysasy biri-birine galtaşýan iki sany gazyň, suwukluklaryň, hat-da gaty jisimleriň bölejikleriniň öz-özünden biri-birine geçip, garylmaklary bilen häsiýetlendirilýär. Diffuziýa hadysasynda garyşýan jisimler biri-biri bilen bölejikleriniň massalaryny çalyşýarlar. Şeýle çalyşmaklyk, garyşmaklyk olaryň dykyzlyklary deňleşýänçä dowam edýär.

Molekulalar örän uly tizlik bilen hereket edýärler. Şoňa görä-de, olaryň biri-biriniň içine aralaşmasy örän çalt bolup geçmelidir. Eger otagyň içinde haýsy-da bolsa bir ysly maddaly gap açylsa, onda ys otagyň hemme ýerinde derrew duýulmalydyr, çünki maddanyň molekulalaryna otagyň ölçegine deň bolan ýoly uçup geçmek üçin, diňe sekundyň onlarça ülüşlerine deň bolan wagt ýeterlikdir. Hakykatda bolsa, atmosfera basyşynda gazlaryň diffuziýasynyň haýal bolup geçýändigi mälimdir: hususan-da, yslar haýal ýaýraýar. Bu derňemelerdäki ýalňyşlyk, atmosfera basyşynda molekulalaryň erkin ýolunyň uzynlygynyň gysgalygy sebäpli, molekulalaryň beýleki molekulalar bilen üznüksiz çaknyşýandygynyň we şunlukda, bir ýerde „itekleşip durýandygy“ hasaba alynmaýandygyndan ybaratdyr. Tizliginiň ululygyna garamazdan, molekula bir sekuntda özüniň duran ýerinden örän ujypsyz aralyga gidýär, onuň ýoly örän çylşyrymly we çolaşyk döwük çyzykdyr.

Maddanyň massasynyň aralaşmagy Fikanyň kanunyna boýun egýär: wagt birliginde meýdan birliginiň üsti bilen geçirilýän maddanyň m massasy **dykyzlygyň gradiýentine** göni proporsionaldyr:

$$m = -D\frac{d\rho}{dx}, \qquad (3.18)$$

bu ýerde D – diffuziýa koeffisiýenti. Minus alamaty massanyň maddanyň dykyzlygynyň kemelýän tarapyna geçýändigini aňladýar.

Diffuziýa diýip, dykyzlyk gradiýenti bire deň bolan wagtynda wagt birliginde meýdan birliginiň üsti bilen geçirilen maddanyň massasyna deň bolan ululyga aýdylýar. Gazlaryň kinetik teoriýasynyň esasynda:

$$D = 1/3\langle \upsilon \rangle \langle l \rangle. \qquad (3.19)$$

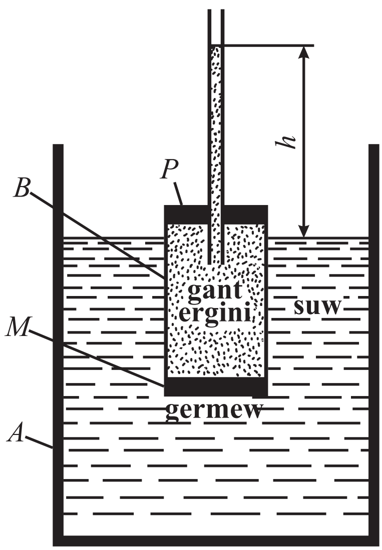
Görnüşi ýaly, D diffuziýa koeffisiýenti molekulalaryň hereketiniň $\langle \upsilon \rangle$ orta tizligi we erkin ýolunyň ortaça uzynlygy bilen baglanşykly ekeni.

Diffuziýanyň netijesinde t wagtyň dowamynda S meýdançadan geçirilen maddanyň m massasy S meýdanyň ululygyna, t wagta we dykyzlygyň gradiýentine göni proporsionaldyr:

$$m = -D\frac{d\rho}{dx}St\,. \qquad (3.20)$$

Ergini we arassa eredijini ýa-da dürli konsentrasiýaly iki ergini biri-birinden bölýän ýarym geçiriji membrana arkaly eredijiniň diffuziýasyna **osmos** diýilýär. Ýarym geçiriji membrana eredijiniň has ownuk molekulalaryny geçirýän, emma erän maddanyň molekulalaryny geçirmeýän germewdir. Şeýle membrananyň iki tarapy boýunça konsentrasiýany deňlemek eredijiniň diňe birtaraplaýyn diffuziýasynda mümkindir (*3.3-nji surat*). Suratda öküz böweninden ýasalan ýarym geçiriji membranaly P gapda gant ergini, onuň daşyndaky A gapda bolsa arassa suw bar. Şonuň üçin hem osmos arassa eredijiden (suwdan) ergine (gantly suwa) ýa-da suw garylan erginden konsentrirlenene geçýär. Eger-de ergin arassa eredijiden ýarym syzdyryjy membrana arkaly bölünse, onda diňe birtaraplaýyn diffuziýa bolar – erediji ergine membrana arkaly sorulyp biler. Bu hadysa eredijiniň konsentrasiýasy membrananyň iki tarapynda-da deňleşýänçä dowam edýär. Şeýle ýagdaýda osmotiki basyş döreýär. Want-Goffuň kanunyna laýyklykda, garyşdyrylan erginlerdäki osmotiki basyş berlen temperaturada eredilýän maddanyň ideal gaz ýagdaýynda bolan halyndaky ýaly basyşyna san taýdan deňdir:

$$\pi = i[c]RT.$$



3.3-nji surat.
Osmos basyşynyň ölçenilişi

Bu ýerde c – erginiň konsentrasiýasy, i – izotoniki koeffisiýent. Izotoniki koeffisiýent erginde molekulalaryň dissosirleniş, ýagny molekulalaryň atomlara dargaýyş derejesine bagly:

$$i = 1 + \alpha.$$

Bu ýerde α – dissosiasiýa derejesi, ýagny dissosirlenen molekulalaryň sanynyň ähli molekulalaryň sanyna gatnaşygy.

Osmotiki basyşlary deň bolan erginlere **izotoniki** erginler diýilýär.

Ösümlikleriň we jandarlaryň öýjükleriniň gabyklary diňe suwy geçirip, onda erän maddalary geçirmeýän ýarymgeçiriji örtügi emele getirýärler. Biologik suwuklyklaryň we öýjükleriň duzly düzümi, her bir organizm üçin häsiýetli bolup, ionlaryň aktiw geçişi we dürli duzlar üçin biologik membranalaryň saýlap syzyjylygy saklanýar. Mysal üçin, fiziologiki erginiň − (0,86% NaCl) osmotiki basyşy adamyň ganynyň osmotiki basyşyna (0,76 − 0,78 *MPa*) laýyklanylýar. Oba hojalyk mallarynyň öýjüklerindäki osmotiki basyş 0,68 − 0,73 *MPa*, şor ýerlerde ösýän ösümliklerde bolsa, ol 10 *MPa* çenli ýetýär.

3.3. Içki sürtülme. Şepbeşikligi kesgitlemegiň usullary

Gazlarda we suwuklyklarda içki sürtülmäniň ýüze çykmasynyň esasy sebäbi, olara molekulýar-kinetik teoriýasy nukdaýnazaryndan garalanda, molekulalaryň haotik hereket edýändikleri sebäpli, has çalt hereket edýän gatlakdan molekulalar has haýal hereket edýän gatlaga geçenlerinde özleri bilen $m\upsilon$ hereket mukdaryny getirýärler we şeýlelik bilen, has haýal hereket edýän bu gatlagyň hereketini çaltlandyrýarlar. Şeýlelikde, dürli tizlikler bilen hereket edýän bu gatlaklaryň arasynda içki sürtülme ýüze çykýar. Içki sürtülme güýji Nýutonyň kanunyna boýun egýär:

$$F = -\eta \frac{d\upsilon}{dx}, \tag{3.21}$$

bu ýerde F – üst gatlagynyň meýdan birligine täsir edýän sürtülme güýji, η – **dinamiki şepbeşiklik**, $d\upsilon/dx$ – tizligiň gradiýenti. Minus alamaty sürtülme güýjüniň tizligiň garşysyna ugrukdyrylandygyny görkezýär.

Dinamiki şepbeşiklik diýip tizligiň gradiýentiniň bire deň bolan wagtynda üst gatlagynyň meýdan birligine täsir edýän içki sürtülme güýjüne deň bolan ululyga aýdylýar:

$$\eta = 1/3\rho\langle\upsilon\rangle\langle l\rangle. \tag{3.22}$$

S meýdana täsir edýän F güýç şu meýdanyň ululygyna we $d\upsilon/dx$ tizlik gradiýentine proporsionaldyr:

$$F = -\eta \frac{d\upsilon}{dx} S.$$

(3.21) formuladan görnüşi ýaly, gazlaryň molekulýar-kinetik teoriýasy, içki sürtülme koeffisiýentini-de (şepbeşikligi) gazyň molekulýar strukturasyny häsiýetlendirýän ululyklar bilen molekulalaryň erkin ýolunyň $<l>$ ortaça uzynlygy, olaryň $<\upsilon>$ orta tizligi we gazyň ρ dykyzlygy bilen aňlatmaga mümkinçilik berýär.

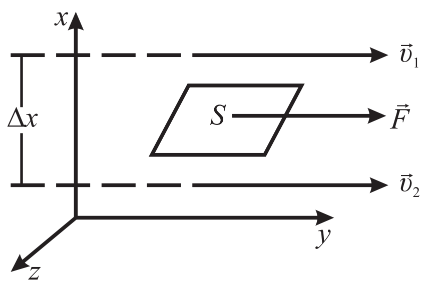
(3.20), (3.21) we (3.22) formulalar geçiş koeffisiýentlerini we molekulalaryň ýylylyk häsiýetnamalaryny biri-birleri bilen baglanyşdyrýar. Şu formulalardan: λ ýylylyk geçirijilik, D diffuziýa we η içki sürtülme koeffisiýentleriniň arasynda şeýle ýönekeý baglylyk gelip çykýar:

$$\eta = \rho D;$$

$$\lambda / (\eta c_V) = 1.$$

Şu formulalary ulanyp, tejribe arkaly tapylýan bir ululygyň üsti bilen ikinjini kesgitlemek bolýar.

Şepbeşikligi kesgitlemegiň usullary. Suwuklyklarda bir gatlak beýleki gatlaga görä orun çalşyranda sürtülme güýji döreýär. Has çalt hereketlenýän gatlak tarapyndan haýal hereketlenýän gatlaga tizlendiriji güýç täsir edýär. Tersine, haýal hereketlenýän gatlak tarapyndan çalt hereketlenýän gatlaga saklaýjy güýç täsir edýär. Şeýlelikde, içki sürtülme güýji döreýär. Bu güýçler gatlaklaryň üstüne geçirilen galtaşma çyzygy boýunça ugrukdyrylandyr. Seredilýän gatlagyň meýdanynyň üsti näçe uly bolsa, içki sürtülme güýji şonça-da uludyr, hem-de gatlakdan gatlaga geçendäki suwuklygyň akyş tizliginiň üýtgeýiş çaltlygyna baglydyr.



3.4-nji surat. Suwuklyklarda içki sürtülme güýji

Goý, biri-birinden Δx aralykda ýerleşen iki gatlak (*3.4-nji surat*) degişlilikde υ_1 we υ_2 tizlik bilen akýar diýeliň. Ýagny

$$\upsilon_1 - \upsilon_2 = \Delta \upsilon.$$

Δx – gatlaklaryň arasyndaky hasaplanyş ugry gatlaklaryň akyş tizligine perpendikulýardyr. Gatlakdan gatlaga geçilende tizligiň üýtgeýiş çaltlygyny görkezýän $\Delta\upsilon/\Delta x$ ululyga tizlik gradiýenti diýilýär. Içki sürtülme güýji tizlik gradiýentine proparsionaldyr, diýmek:

$$F = \eta \left|\frac{\Delta \upsilon}{\Delta x}\right| S . \tag{3.23}$$

Suwuklygyň tebigatyna bagly bolan η proporsionallyk koeffisiýentine içki sürtülme diýilýär. η näçe uly bolsa, suwuklyk ideal suwuklykdan şonça-da köp tapawutlanýar we onda içki sürtülme güýçleri-de köp döreýär.

Şepbeşiklik koeffitsiýentiniň halkara birlikler sistemasyndaky (IS) ölçeg birligi (3.3) formula laýyklykda $Pa \cdot s$.

Suwuklygyň şepbeşikligi temperatura görä örän çalt üýtgäp, temperaturanyň ýokarlanmagy bilen kemelýär.

Suwuklygyň (gazyň) akymy **laminar** we **turbulent** görnüşinde bolup biler. Laminar (gatlaklaýyn) akymda her bir gatlak goňşy gatlak bilen garyşman, gatlaklaýyn akýar, turbulent akymda suwuklygyň ähli gatlaklary biri-biri bilen garyşyp akýar.

Akymyn tizliginiň artmagy bilen laminar akym turbulent akyma hem geçip biler. Ol Reýnoldsyň sany diýilýän ölçegsiz ululyk bilen häsiýetlendirilýär:

$$Re = \frac{d\upsilon\rho}{\eta} .$$

Turbadan akýan suw üçin *Re*-niň kritiki bahasy 1200-e deňdir.

Içki sürtülme (şepbeşiklik) koeffisiýentini kesgitlemekligiň dürli usullary bar. Goý, uly bolmadyk metal şarjagazy gliseriniň içine taşlanylýar diýip pikir edeliň. Şonda dik aşak gaçýan şara üç sany güýç täsir edýär: agyrlyk güýji $P = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho g$ (ρ – şarjagazyň dykyzlygy), Arhimed güýji $F_A = mg = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_0 g$ (ρ_0 – gliseriniň dykyzlygy) we sürtülme güýji. Stoks tarapyndan tassyklanan kanuna göra, sürtülme güýji F_s jisimiň tizliginiň (υ), şepbeşiklik koeffisiýentiniň (η), şaryň (r) radiusynyň köpeldilmegine deňdir, ýagny $F_s = 6\pi\eta r\upsilon$. Suwuklyga gaçan şarjagaz diňe ilkinji momentinde tizlenip gaçmaga başlaýar: onuň gaçyş tizliginiň artdygyça F_s sürtülme güýji hem artyp, ol güýç şara täsir edýän P agyrlyk güýjüni deňagramlaşdyrmaga başlaýar. Güýçleriň şunuň ýaly deňagramlaşmagyna ýetilende şar deňölçegli hereket edip başlaýar. Onda:

$$P = F_A + F_s, \tag{3.24}$$

ýa-da P, F_A we F_s ululyklaryň bahalaryny şu deňlige goýup alarys:

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho' g + 6\pi\eta r\upsilon .$$

Bu ýerden
$$\upsilon = \frac{(\rho - \rho')gr^2}{9\eta} . \tag{3.25}$$

Deňölçegli hereket edýän şaryň υ tizligini tapyp, onuň hereket edýän suwuklygynyň (gliserin) şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitläp bolar. (3.25) formuladan görnüşi ýaly, şarjagazyň diametri näçe kiçi bolsa, ol berlen suwuklyga şonça-da haýal gaçýar. Stoksuň formulasy diňe bir suwuklyga gaçýan şarlaryň hereket tizligini kesgitlemek üçin däl-de, suwuklyk hökmünde garalýan gazly gurşawdaky kiçijik tozgajyklaryň gaçmagy üçin hem ulanarlykdyr. Mysal üçin, dumanyň owunjak damjalarynyň howada aşak gaçýan tizligini (3.25) formulanyň kömegi bilen örän oňat kesgitlemek bolar.

Içki sürtülme (şepbeşiklik) koeffisiýentini kesgitlemek üçin Puazeýliň usuly hem ulanylýar. Bu usul inçejik kapillýar turbajykdaky suwuklygyň laminar akymyna esaslanandyr. Ýagny

$$\eta = \frac{\pi r^4 \Delta p \cdot t}{8Vl} , \tag{3.26}$$

bu ýerde r – kapillýar turbajygyň radiusy, l – onun uzynlygy, Δp – onuň ahyrlaryndaky basyşlaryň tapawudy, t – wagt we V – şol wagtda turbajykdan akyp geçen suwuklygyň göwrümi.

Gidrodinamikanyň esasy meselelerinden biri − suwuklyklarda hereket edýän gaty jisimleriň häsiýetlerini öwrenmekden, aýratyn hem hereket edýän jisime gurşaw tarapyndan täsir edýän güýçleri öwrenmekden ybaratdyr.

3.4. Ganyň fiziki häsiýetleri

Sentrifugalar we olaryň ulanylyşy. Merkezden daşlaşýan güýjüň täsiri bilen suwuklygy (garyndyny) ony düzýän maýdaja bölejiklere mehaniki bölmek üçin ulanylýan abzallara sentrifugalar diýilýär. Bu hadysanyň fizikasyna seredeliň. Goý, dürli dykyzlykly böljikleriň suw suspenziýasy berlen bolsun. Wagtyň geçmegi bilen agyrlyk güýjüniň we arhimed güýjüniň täsiri netijesinde bölejikleriň gatlaklara bölünmesi bolýar, dykyzlygy suwuň dykyzlygyndan uly bolan bölejikler çümýärler, dykyzlygy suwuň dykyzlygyndan kiçileri ýüzýärler. Dykyzlygy has uly bolan aýratyn bölejige täsir edýän netijeliýji güýjüň ululygy:

$$F = mg - F_A = \rho_1 Vg - \rho Vg = (\rho_1 - \rho)Vg.$$

Bu ýerde: ρ_1 – madda bölejiginiň dykyzlygy: ρ – suwuň dykyzlygy, V – bölejikleriň göwrümi.

Eger ρ_1 we ρ biri-birinden ulylyklary boýunça az tapawutlanýan bolsalar, F güýç kiçi we gatlaklara bölünme (çökme) örän haýal geçýär. Sentrifugada şeýle bölünme merkezden daşlaşýan inersiýany ulanmak arkaly mejbury ýagdaýda amala aşyrylýar. Belli bolşy ýaly, inersiýanyň merkezden daşlaşýan güýji aýlaw hereketiniň tizligi bilen kesgitlenýär. Şonuň üçin aýlaw hereketiniň tizligini üýtgedip, bu güýjüň ululygyny dolandyrmak bolar. Şu maksat üçin tejribehanalarda, klinikalarda ЦВР-1 kysymly sentrifugalar ulanylýar.

Goý, sentrifuganyň göwrümi haýsydyr bir birhilli suwuklyk bilen doly bolsun. Suwuklygyň aýlanma okundan r aralykda ýerleşen uly bolmadyk V göwrümini bölüp alalyň. Sentrifuga deňölçegli aýlananda suwuklygyň garylmasy bolmaýar we bölüp alnan göwrüm sentrifuga göra (hereketsiz) gozganmaýar (hasaplaýyşyň inersial däl sistemasy). Ähli güýçleriň deňtäsiredijisi nola deň. Bölünen göwrüme agyrlyk güýjünden başga-da iki güýç – arhimed güýji we merkezden daşlaşdyryjy güýç täsir edýär. Suwuklyk göwrüminiň gurşap alnan tarapyndan täsir edýän, aýlaw merkezine tarap ugrukdyrylan

$$m\omega^2 r = \rho V\omega^2 r \qquad (3.27)$$

güýç we aýlanma merkezinden ugrukdyrylan merkezden daşlaşdyryjy inersiýa güýji täsir edýär:

$$F_i = m\omega^2 r = \rho V\omega^2 r.$$

Goý, bölünen V göwrüm dykyzlygy $\rho_1 \neq \rho$ bolan bölejiklere bölünýän göwrüm bolsun, onda suwuklygyň bölejiklerini gurşap alan güýç üýtgemeýär, bölejikleriň dykyzlyklaryna bagly bolan merkezden daşlaşdyryjy inersiýa güýji üýtgeýär:

$$F_i = \rho_1 V\omega^2 r. \tag{3.28}$$

Bu iki güýjüň deňtäsiredijisi

$$F = (\rho_1 - \rho)V\omega^2 r. \tag{3.29}$$

(3.29) formulany seljerip, belleýäris, eger $\rho_1 < \rho$ bolsa, deňtäsirediji merkezden, eger $\rho_1 > \rho$ bolsa, ýagny bölejigiň dykyzlygy suwuklygyň dykyzlygyndan uly bolsa, bölejikler garyşýarlar, has ýeňil bölejikler – aýlanma okuna tarap ugrugandyrlar. Deňtäsirediji güýji ((11.3) aňlatma) ω^2 baglydyr we giň aralykda üýtgäp bilýär.

Sentrifugirleme arkaly bölünenleri agyrlyk güýjüniň kömegi bilen bölünenler bilen deňeşdirýäris.

$$\eta = \frac{F_{s.f.}}{F_{ag.}} = \frac{(\rho_1 - \rho)V\omega^2 r}{(\rho_1 - \rho)Vg} = \frac{\omega^2 r}{g}. \tag{3.30}$$

Hazirki zaman ultrasentrifugirlemede burç tizligi $\omega=2\pi\cdot10^3$ *rad/s* ýetýär, bu ýerde (3.30 seret) $r = 0{,}1$ m bolanda

$$\eta = \frac{\left(2\pi\cdot10^3\right)^2\cdot0{,}1}{9{,}8} \approx 4\cdot10^3. \tag{3.31}$$

Gan bölejikleriniň otnositel mukdaryny sentrifugirleme arkaly bölmeklik has-da amatly bolýar. Eger gany probirkada ýerleşdirip, ony-da belli bir tizlikli aýlaw hereketine gatnaşdyrsak, aýlaw merkezinden r aralykda ýerleşen her bir bölejige (3.30) formula laýyklykda, merkezden daşlaşdyryjy inersiýa güýji täsir edýär. Bu formuladaky V – bölejikleriň göwrümi, ω – aýlawyň burç tizligi. Sentrifugirlemede eritrositleriň probirkanyň düýbünde ýerleşýändigini, plazmanyň üst böleginde beýleki formaly elementleriň olaryň arasyndaky gatlaklarda ýerleşýändigini tejribeler görkezýär.

Gan haýwanlaryň bedenlerinde esasy fiziki funksiýany ýerine ýetirýär. Ol öýkende kislorod bilen baglaşýar. Soňra ony dokumalara we beden agzalaryna geçirýär. Iýmit siňdiriş prosesinde ol iýmitiň erän düzüm bölegini alýar we ony beden agzalaryna dargadýar. Öýjükden gana madda çalyşmasynda birnäçe önümler düşýär we olar böwrek, öýken, deri ýaly beden agzalaryna bölünýär. Ondan başga-da, gan arassa fiziki funksiýany ýerine ýetirýär. Uly ýylylyk geçirijiligine eýe bolmak bilen beden agzalarynyň ýaşamagy üçin gerek bolan ýylylygy geçirýär we mallaryň beden agzalarynda hemişelik temperaturanyň bolmagyny üpjün edýär.

Gan – suwuk bölekden (plazma) we formaly elementler diýilýän (eritrositlerden, leýkositlerden, trombositlerden we ş.m.) gan öýjüklerinden ybarat bolan dury bolmadyk şepbeşik suspenziýadyr. Oňurgaly haýwanlarda (mallarda) arassa ganyň dykyzlygy $(1{,}042 - 1{,}056)\cdot 10^3$ *kg*/*m*^{3}, eritrositleriň dykyzlygy $1{,}09\cdot 10^3$, plazmanyňky $(1{,}025–1{,}034)\cdot 10^3$ *kg*/*m*^{3}-a golaýdyr. Birnäçe haýwanlaryň ganlarynyň mukdar häsiýetnamalary aşakdaky tablisada getirilendir. Ganyň fiziki häsiýetleri (tablisada ululyklaryň orta bahalary getirilen) mallaryň ýaşyna, jynsyna, tohumyna we ýagdaýyna bagly bolýar.

Göterimlerde alnan formaly elementleriň göwrümleriniň jeminiň ganyň ähli göwrümine bolan gatnaşygyna **gematokrit** (*Ф*) diýilýär.

EÇT – agyrlyk güýjüniň täsiri astynda iri eritrositleriň plazmada çöküş tizligi. Ony Stoksuň kanuny boýunça

$r = \frac{2}{9}\frac{gr^2(\rho - \rho_s)}{\upsilon}$ formula arkaly kesgitläp bolar.

Ganyň plazmasy, esasan, organiki we organiki däl birleşmeleriň eremeginden emele gelen suwdan ybaratdyr. Plazmada suwuň mukdary – 90%, beloklar – 7%-e, ýaglar – 0,8%-e, üzüm şekeri – glýukoza – 0,12%-e, mineral duzlar – 0,9%-e golaýdyr. Ondan başga-da, plazmada iýmit dargamagynda öýjükleriň bölüp çykarýan dürli maddalary-da bardyr.

Nemes fiziology O.Frankyň teklip eden teoretiki ideýasyna görä (1899), sistol wagtynda ýürekden gan uly basyş bilen iri damarly maýyşgak aorta we arteriýa damarlaryna barýar. Ol damarlar ýognap, özleriniň içinde belli bir mukdarda “ätiýaçlyk” gany saklaýarlar. Bu wagtdaky ganyň basyşyna **sistoliki basyş** diýilýär. Ol kadaly ýagdaýda adamlarda 120 *mm* simap sütünine deňdir.

Gan basyşyny ölçemegiň ýönekeý usuly 1905 ý. N.S.Korotkow tarapyndan hödürlenildi. Sistoliki basyşda arteriýadan akýan ganyň akymy turbulent häsiýetli bolup, fonendoskopda ses eşidilýär. Haçan-da manjetde basyş peseldilende (diastoliki basyşda) akym laminar hala geçip (bu basyş adamda 70 *mm* simap sütünine deň bolanda ýüze çykýar), fonendoskopda eşidilýän ses ýitýär. Basyşlaryň bu gatnaşygy damarlaryň ýogynlygyna, olardaky basyşlara hem-de zerur tizliklere laýyklykda olardaky akymlaryň laminar bolmagyny üpjün etmek üçin ewolýusiýa netijesinde dörän ýagdaýdyr.

Tablisa

Haýwanlaryň görnüşleri	**Ganyň dykyzlygy** ***kg/m³***	**Ganyň massasy** ***ml/kg***	**Gemato-krit** ***Φ*, %**	**Eritrositleriň mukdary 1 *mkl* ganda, *mln***	**EÇT kadaly ýagdaýda,** ***mm/sag***
Atlarda (Gylýallarda)	1054	85-100	39	6-9	64
Iri şahly mallarda	1055	65-82	36	5-7,5	0,70
Doňuzlarda	1048	65-80	42	6-7,5	8,0
Gymmat bahaly derili çöl haýwanlarynda	1056	55-60	32	8,5-11	2,5
Guşlarda (towuklarda)	1052	90-120	37	2,5-4,9	4,0
Balyklarda	1035	35-40	39	1,5-2,5	4,0

Ýürek gowşan (diastol) wagtynda iri ýognalan maýyşgak damarlar gowşap, kadaly ýagdaýa gelip, "ätiýaçlyk" üçin alyp galan ganlaryny özlerinden daşda ýerleşen kapillýarlara (inçejik gan damarlara) ugradýarlar (bu ýerde ýürek tarapyndan olara berlen potensial energiýa ganyň akymynyň kinetik energiýasyna öwrülýär). Şunlukda döreýän 10,665 kilopaskala golaý bolan basyşa **diastoliki basyş** diýilýär. We ol hemişelik saklanylýar. Şeýlelikde, ýürek elektrik zynjyryndaky çeşmäniň işine meňzeş iş edýär, ýagny arteriýa we wena ulgamlarynyň arasynda sistoliki we diastoliki basyşlaryň tapawudynyň hemişelik saklanmagyny üpjün edýär. Ýürek dört kameradan – iki sany öňtaýky kameradan we iki sany garynjykdan ybaratdyr. Her bir ýygrylmada sagdaky we çepgäki garynjyklar özlerinden deň mukdardaky gany göýberýärler. Oňa **sistoliki göwrüm** diýilýär. Sistoliki göwrümiň ulylygy janly-jandarlar-da dürli-dürli bolup, mysal üçin, atlarda we iri şahly mallarda, degişlilikde 850 we 580 millilitre, adamlarda – 60 – 70, goýunlarda – 55, itlerde – 14 millilitre deňdir. Fiziki zähmet çekilende bu göwrüm hasda ulalýar. Ýüregiň bir minutda zyňýan ganynyň göwrümine ganyň bir minutdaky göwrümi diýilýär. Ol sistoliki göwrümiň ýüregiň bir minutdaky ýygrylmalarynyň sanyna köpeldilmegine deňdir. Ýürek jandaryň damar ulgamynda üznüksiz hereketini döredip, iş edýär. Ol iş ganyň akymynyň energiýasyna öwrülýär we damar ulgamyndaky sürtülmeleri ýeňip geçmek üçin harç edilýär.

Dynç alnan wagtynda ýürek öz üstünden her minutda 3-6 litr gany geçirýär (adamyň ýüreginiň urgusy 200-e golaýlaşanda, ýüregiň üstünden bir minutda 20-30 litre golaý gan geçýär). Ýürek dynç almany bilmeýär. Ol adamyň bütin ýaşaýşynyň dowamynda işleýär. Takyk hasaplamalara görä, 70 ýylyň dowamynda ol iki ýarym milliard gezege golaý ýygrylyp, ýazylýar. Häzirki zaman tehnikasynyň soňky ýeten derejesinde taýýarlanan, has ygtybarly aýryp-utgaşdyryjy gurallaryň iş dowamlylygy on million gezege golaý bolup ýüregiň ygtybarly iş dowamlylygyndan ýüzlerçe gezek azdyr. Üstesine-de, biologiki ulgamyň ygtybarlylygy işçi agzalarynyň öz-özünden dikeldilmegidir. 70 ýylyň dowamynda adamyň ýüreginiň ýerine ýetirýän işi 10 milliard joula barabardyr. Beýle uly işi agramy bary-ýogy 200-250 gram bolan ýürek myşşasy ýerine ýetirýär. Şeýlelikde, ýürek damarlara (aorta) şeýle mukdarda gan göýberýär, eger-de ol ýapyk ulgam boýunça hereket etmedik bolsady, onda ol uzynlygy, ini we çuňlugy bir killometr bolan kanaly doldurardy hem-de onda deňiz gämileri hereket edip bilerdi.

Alymlar Gageniň (1839) we Puazeýliň (1840 ý) tejribe arkaly subut eden kanunlaryna görä, suwuklygyň (ganyň) turbada (damarlarda) göwrüm boýunça harçlanylyşy ýüregiň ýygrylma we gowşama wagtynda anteriýa we wena gan – damar ulgamlarynyň arasyndaky basyşlaryň tapawudyna göni proporsionaldyr, gan aýlanyş ulgamynyň umumy gidrawliki garşylygyna bolsa ters proporsionaldyr.

Bu kesgitleme tok güýjüniň naprýaženiýä we garşylyga baglylygyny öwrenen nemes alymy Omuň 1827-nji ýylda zynjyr bölegi üçin açan kanunyna meňzeşdir. Onda şeýle diýilýär: zynjyryň berlen böleginden akýan tok güýji bu bölegiň uçlaryndaky naprýaženiýä (potensiallaryň tapawudyna) göni proporsionaldyr, aktiw garşylyga bolsa, ters proporsionaldyr. Diýmek, janly we jansyz tebigatda bolup geçýän hadysalaryň arasynda doly meňzeşlik bar.

Ýürek öz gysylmalary arkaly gan aýlanyş damarlaryna gany iterýär we onuň üznüksiz hereketini üpjün edýär. Ýürek togtanynda dokumalara kislorodyň we iýmit önümleriniň barmagy kesilýär, ölüm howpy döreýär.

Ganyň hereketi gan aýlawlarynyň ikisi - uly we kiçi aýlawlar boýunça bolup geçýär. Kiçi aýlawda gan ep-esli az garşylyga duçar bolýar. Şonuň üçin sag garynjykda başlangyç basyş çepdäkä seredeniňde 5-6 esse kiçi bolýar. Ganyň başlangyç tizlikleri uly we kiçi aýlawlarda deň. Ýüregiň doly işi uly we kiçi gan aýlawlaryndaky garşylyklary ýeňip geçmek üçin edilen işiň jemine deňdir.

3.5. Termodinamikanyň fiziki esaslary

Termodinamiki ulgam (sistema) diýip, ýylylyk energiýasynyň energiýanyň başga görnüşlere geçýän wagtyndaky we oňa ters bolan prosesler bilen bagly bolan makroskopik jisimleriň toplumyna düşünilýär.

Molekulýar-kinetik teoriýanyň nukdaýnazaryndan termodinamik sistemanyň energiýasy onuň bütewilikdäki hereketiniň kinetik energiýasyndan, daşky meýdan güýçleriniň bardygy bilen häsiýetlendirilýän potensial energiýasyndan we bu sistemanyň mikrobölejikleriniň özara täsirleriniň we hereketleriniň içki energiýalaryndan ybaratdyr, ýagny:

$$W = W_K + W_P + U, \tag{3.32}$$

bu ýerde W_K – kinetik energiýa, W_P – potensial energiýa, U – içki energiýalar.

Jisimiň içki energiýasy molekulalaryň haotik hereketleriniň (öňe bolan we aýlanma) kinetik energiýasyndan, molekulalaryň özara täsirleri bilen häsiýetlendirilýän potensial energiýasyndan, atomlaryň molekulalardaky yrgyldy hereketleriniň energiýasyndan hem-de atomlaryň we ionlaryň elektron gatlaklarynyň energiýasyndan, elektrostatik we grawitasion meýdanlaryň energiýalaryndan toplanýar.

Sistemanyň halynyň üýtgeýşini p, V, T ululyklar häsiýetlendirýärler, şeýlelikde sistemanyň içki energiýasy hal ululyklarynyň funksiýasydyr. Ýagny, $U = f(p, V, T)$, sistemanyň içki energiýasy bir bahaly funksiýadyr.

Termodinamiki proseslerde sistemanyň içki energiýasynyň üýtgeýşine seredilýär.

Energiýanyň geçirilişi A mehaniki iş görnüşinde ýa-da molekulalaryň ýylylyk hereketi bilen häsiýetlendirilýän Q ýylylyk mukdary görnüşinde berlip bilner.

Şeýlelikde iş we ýylylyk − energiýany bermekligiň iki görnüşi hökmünde biri-biri bilen berk baglanyşyklydyr.

Ýylylyk işe geçip bilýär we tersine, iş – ýylylyga. Mysal üçin, biz iki elimizi biri-birine sürtenimizde iş edýäris. Ol ýylylyk energiýasyna öwrülip, elimiz gyzýar. Eger agzy dyky bilen ýapylan içi suwly probirkany gyzdyrsak, suw gaýnar we bugyň basyşy artyp, dykyny zyňar, ýylylyk işe geçýär we ş.m.

Halkara birlikler sistemasynda iş we ýylylyk şol bir ululyklarda – joullarda ölçenilýär.

Sistemadan daşgary ýylylygyň ölçeg birligine kaloriýa diýilýär. 1 *kal* – 1 *g* suwy 19,5^{o}-dan 20,5^{o}C çenli gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryna deňdir.

Şeýlelikde göwrüm üýtgände edilýän iş:

$$dA = pdV. \tag{3.33}$$

Gazyň göwrüminiň V_1-den V_2-ä çenli üýtgän wagtyndaky onuň ýerine ýetirýän doly işini (3.33) deňlemäni integrirläp, tapýarys:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} pdV = p(V_2 - V_1)\,. \tag{3.34}$$

Integrirlemegiň netijesi basyş bilen göwrümiň arasyndaky baglylygyň häsiýetine görä kesgitlenilýär.

Iş üçin bu aňlatma gaty, suwuk we gaz görnüşli jisimleriň göwrümleriniň islendik üýtgemelerinde hem dogrudyr.

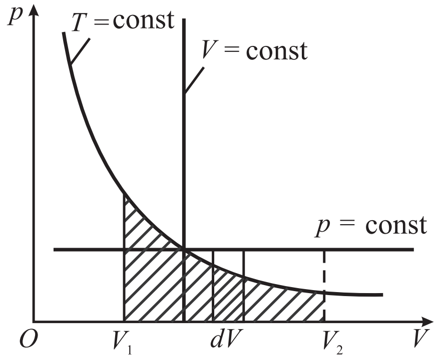
Sistema (jisim) gysylan ýagdaýynda ($dV < 0$), daşky iş otrisateldir ($A < 0$), bu halda daşky güýçler sistemanyň üstünde iş edýär. Indi (3.34) formulanyň kömegi bilen dürli izoproseslerde gaz giňelenindäki onuň ýerine ýetirýän daşky işini hasaplalyň.

1. **Izohorik prosesde** (*3.5-nji surat*) V = const, şeýlelikde göwrümiň üýtgemesi $dV = 0$, şonuň üçin-de, (3.34) formuladan görnüşi ýaly, daşky iş nola deňdir.

2. **Izobarik prosesde** p = const (*3.5-nji surata seret*). (3.34) formulanyň esasynda, alýarys:

$$A = p\int_{V_1}^{V_2} dV \quad \text{ýa-da} \quad A = p(V_2 - V_1).$$

Iş basyşy göwrümiň üýtgemesine köpeltmek arkaly tapylýar. Bu işiň ululygy 3.5-nji suratda esaslary $V_2 - V_1$ we beýikligi p = const bilen çäklenen gönüburçlygyň meýdanyna deňdir.



3.5-nji surat.Dürli hadysalarda işiň kesgilenilişi

3. **Izotermik prosesde** T = const. Elementar iş 3.5-nji suratda esasy dV bolan zolajygyň meýdanyna deňdir. Ähli işiň ululygy (*3.5-nji suratda*) esaslary $V_2 - V_1$, ýokarsy T = const izoterma bilen çäklenen figuranyň meýdanyna deňdir.

Ideal gaz halynyň deňlemesinden taparys:

$$p = \frac{m}{\mu} RT \frac{1}{V}.$$

Bu formuladaky p-niň bahasyny (3.34) deňlemä goýup, alarys:

$$A = \int_{V_1}^{V_2} \frac{m}{\mu} RT \frac{dV}{V}.$$

Gazyň m massasynyň we onuň μ molýar massasynyň hem-de R we T parametrleriniň hemişelik ululykdyklaryny göz öňünde tutup, ýazýarys:

$$A = \frac{m}{\mu} RT \int_{V_1}^{V_2} \frac{dV}{V} = \frac{m}{\mu} RT(\ln V_2 - \ln V_1)$$

ýa-da

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1}. \tag{3.35}$$

Izotermik prosesiň deňlemesinden: $p_1V_1 = p_2V_2$ gelip çykýar. Ony ýokardaky deňlemede ornuna goýup, tapýarys:

$$A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{p_1}{p_2} . \qquad (3.36)$$

Termodinamikada jisimleriň ýylylyk häsiýetlerini anyklamak üçin ýylylyk sygymy diýen düşünje ulanylýar. Jisime berlen ýa-da ondan alnan Q ýylylyk mukdary şu formula bilen kesgitlenilýär:

$$dQ = mcdT,$$

bu ýerde m – jisimiň massasy, c – udel ýylylyk sygymy, Δt – jisimiň temperaturasynyň üýtgemesi. Maddanyň udel ýylylyk sygymy diýip, $1kg$ maddany $1K$ gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryna aýdylýar:

$$c = \frac{dQ}{mdT} .$$

Udel ýylylyk sygymynyň ölçeg birligi $J/(kg \cdot K)$.

Molýar ýylylyk sygymy 1 *mol* maddany $1K$ gyzdyrmak ·üçin gerek bolan ýylylyk mukdaryna deň bolan ululykdyr:

$$C_m = \frac{dQ}{\nu dT} , \qquad (3.37)$$

bu ýerde $\nu = m/\mu$ – moluň sany. Molýar ýylylyk sygymynyň birligi – $J/(mol \cdot K)$.

c udel ýylylyk sygymy, C_m molýar ýylylyk sygymy bilen şeýle gatnaşyk arkaly baglanyşýar:

$$C_m = c\mu, \qquad (3.38)$$

bu ýerde μ – maddanyň molýar massasy.

Ondan başga-da, gazlar üçin iki sany ýylylyk sygymy – göwrüm hemişelik bolan wagtyndaky c_V (izohorik) we basyş hemişelik bolan wagtyndaky c_P (izobarik) udel ýylylyk sygymy ulanylýar.

Termodinamikanyň birinji kanuny (başlangyjy) energiýanyň saklanma kanunyny aňladýar, şoňa laýyklykda islendik izolirlenen sistemanyň energiýasy üýtgemeýär.

Energiýanyň saklanma kanuny tebigatyň hemme hadysalarynda takyk ýerine ýetýär; bu kanunyň ýerine ýetmeýän hiç bir haly mälim däldir.

Umumy görnüşde, sistemanyň üstünde ýerine ýetirilen kiçi ΔA iş we sistema berlen ΔQ ýylylyk mukdary jemlenende, sistemanyň energiýasynyň üýtgemesine deňdigini energiýanyň saklanma kanuny tassyklaýar:

$$\Delta U = \Delta A + \Delta Q. \quad (3.39)$$

Termodinamikada adaty mehaniki energiýa seredilmeýär. Şonuň üçin-de, sistemanyň energiýasynyň üýtgemesi diýilende, onuň içki energiýasynyň ΔU üýtgemesine düşünilýär.

Daşarky güýçleriň üstünde ýerine ýetirýän ΔA işi sistemanyň daşarky güýçleriň garşysyna ýerine ýetirýän $\Delta A'$ işine ululygy boýunça deňdir, emma alamaty boýunça garşylyklydyr ($\Delta A = -\Delta A'$). Soňky aýdanymyzy hasaba almak bilen, (3.39) deňlemäni şeýle ýazmak bolar:

Yagny $\Delta A = -\Delta A' = -p\Delta V$

$$\Delta Q = \Delta U + \Delta A'. \quad (3.40)$$

Bu ýerden termodinamikanyň birinji kanunynyň şeýle kesgitlemesi ýüze çykýar: sistema bir haldan başga hala geçende, oňa berilýän ýylylyk mukdary onuň içki energiýasynyň üýtgemegine we daşky güýçleriň garşysyna iş etmegine harç edilýär. (3.40) deňlemäni differensial görnüşde ýazýarys:

$$dQ = dU + dA', \quad (3.41)$$

bu ýerde dU – sistemanyň içki energiýasynyň tükeniksiz kiçi üýtgemesi, dA – tükeniksiz kiçi iş; dQ – tükeniksiz az bolan ýylylyk mukdary.

(3.41) aňlatmadan görnüşi ýaly, ýylylyk mukdary hem işiň we energiýanyň ölçeg birlikleri bilen, ýagny joullarda ölçenilýär.

Eger sistema periodiki başlangyç ýagdaýyna gaýdyp gelýän bolsa, onda onuň içki energiýasynyň üýtgemesi $\Delta U = 0$. Diýmek, termodinamikanyň birinji kanuny esasynda

$$dA = dQ.$$

Ýagny, energiýanyň hiç bir görnüşini harçlamazdan we daşyndan ýylylyk almazdan, iş edip bilýän hereketlendirijini (maşyny) gurup bolmaz. Başga söz bilen aýdanymyzda, birinji hilli ömürlik dwigateli (perpetuum mobileni) gurmak mümkin däldir.

Termodinamikanyň birinji kanunynyň dürli izoproseslere ulanylyşy barada durup geçeliň.

1. **Izohorik proses**. Izohorik prosesde gazyň ýerine ýetirýän işiniň ululygy

$$dA = pdV = 0.$$

Ýagny, gaz mehaniki işi ýerine ýetirmeýär. Termodinamikanyň birinji kanunyndan:

$$dQ = dU. \quad (3.42)$$

Şu formuladan görnüşi ýaly, izohorik prosesde sistema berilýän ähli ýylylyk mukdary gazyň içki energiýasyny artdyrmaga harç edilýär.

Göwrüm hemişelik bolandaky udel ýylylyk sygymy

$$c_V = \frac{1}{m}\frac{dQ}{dT}, \quad \text{ýa-da} \quad C_V = \frac{1}{m}\frac{dU}{dT}.$$

Bu ýerden

$$dU = mC_V dT. \tag{3.43}$$

Ýagny, ideal gazyň içki energiýasynyň üýtgemesi, onuň temperaturasynyň üýtgemesine proporsionaldyr.

2. **Izobarik prosesde** (p = const), iş $dA = pdV \neq 0$ we 1 *mol* gaz üçin ($m = \mu$) termodinamikanyň birinji başlangyjynyň deňlemesi şeýle bolýar:

$$dQ = C_V dT + pdV. \tag{3.44}$$

bu ýerde C_V – izohorik molýar ýylylyk sygymy.

Şeýlelikde, izobarik prosesde gaza berilýän ýylylyk, onuň içki energiýasyny arytdyrmak üçin we daşky işi ýerine ýetirmek üçin harç edilýär.

Izobarik molýar ýylylyk sygymy

$C_p = \dfrac{dQ}{dT}$, bu ýerden $dQ = C_p dT$.

Soňky aňlatmany (3.44) deňlemede ýerine goýup, alarys:

$$C_p dT = C_V dT + pdV. \tag{3.45}$$

Gaz halynyň deňlemesine görä, 1 *mol* gaz üçin şeýle ýazýarys (p = const; R = const):

$$pdV = RdT.$$

Onda (3.45) deňleme şeýle görnüşi alýar:

$$C_p dT = C_V dT + RdT,$$

şu ýerden

$$C_p - C_V = R \tag{3.46}$$

deňlemäni alarys. Bu aňlatma Maýeriň deňlemesi diýilýär.

3. **Izotermik prosesde** (T = const), $dT = 0$ we içki energiýanyň üýtgemesi

$$dU = mC_V dT = 0$$

bolýar. Ýagny, gazyň içki energiýasy üýtgemeýär (U = const). Termodinamikanyň birinji kanunynynyň esasynda, gaza berlen dQ ýylylyk mukdary doly daşarky işe sarp edilýär:

$$dQ = dA \quad \text{ýa-da} \quad dQ = pdV. \tag{3.47}$$

Gazyň giňelmegi ($dV > 0$) sistemanyň daşky položitel işine degişli hemişelik temperaturada (we içki energiýada) daşky iş gaza berilýän ýylylygyň hasabyna amala aşyrylýar.

Gaz gysylanda ($dV < 0$) gazyň ýerine ýetirýän işi otrisateldir, ýagny gysylmak daşarky güýçleriň sistemanyň üstünde ýerine ýetirýän položitel işiniň netijesinde bolýar.

Adiabatik proses diýip, gazyň halynyň şeýle üýtgemesine aýdylýar, ýagny ol daşary hiç hili ýylylyk berenogam, alanogam. Şeýlelikde, adiabatik proses gazyň ony gurşap alan gurşawy bilen ýylylyk çalşygynyň ýoklugyny häsiýetlendirýär.

Adiabatik prosesde ýylylyk berijiligi bolmaýar:

$$dQ = 0$$

we termodinamikanyň birinji kanunyny bu proses üçin şeýle ýazmak bolar:

$$dU + dA = 0,$$

bu ýerden $\quad dA = -dU \quad$ ýa-da $\quad PdV = -mC_V dT, \qquad (3.48)$

ýagny gazyň ýerine ýetirýän işi diňe onuň içki energiýasynyň hasabyna bolup biler (Iş edilende onuň energiýasy azalýar).

Gazyň adiabatik giňelmegi ($dV > 0$) daşky položitel iş bilen baglylykda geçýär, emma bu halatda içki energiýa azalýar ($dT < 0$) we gaz sowaýar.

Gazyň adiabatik gysylmagy ($dV<0$) daşky otrisatel işe degişli bolýar we ol gazyň temperaturasynyň ýokarlanmagyna getirýär ($dT > 0$), sebäbi, onuň içki energiýasy artýar. Adiabatik gysylan wagtynda gazlaryň temperaturasynyň artmagy dizel hereketlendirijilerinde giňden ulanylýar. Ýagny, olaryň silindrlerindäki howa porşeniň kömegi bilen adiabatik gysylanynda onuň temperaturasy 500º C-den-de ýokary geçýär. Şol wagtda silindre tozanlandyrylan (pürkülýän) ýangyç gaty gyzan howa bilen duşuşanynda şolbada ýanýar.

Goý, 1 *mol* gaz alnan bolsun, ýagny $m = \mu$. Onda (3.48) deňleme şeýle görnüşi alýar:

$$pdV = -C_V dT, \tag{3.49}$$

bu ýerde $C_V = \mu c_V$ şu deňlemäni gaz halynyň deňlemesine ($pV = RT$) bölüp, alarys:

$$\frac{dV}{V} = -\frac{C_V}{R}\frac{dT}{T},$$

bu ýerden

$$\frac{R}{C_V}\frac{dV}{V} + \frac{dT}{T} = 0. \quad (3.50)$$

Maýeriň deňlemesi esasynda: $R = C_p - C_V$

$$\frac{R}{C_V} = \frac{C_p - C_V}{C_V} = \frac{C_p}{C_V} - 1$$

Ýylylyk sygymynyň $\frac{C_p}{C_V} = \gamma$ gatnaşygyny hasaba alsak, onda (3.50) aňlatmany şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$$(\gamma - 1)\frac{dV}{V} + \frac{dT}{T} = 0.$$

Bu aňlatmany integrirläp, alarys:

$$(\gamma - 1)\ln V + \ln T = C,$$

bu ýerde C – hemişelik san. Deňlemäni üýtgedip we potensirläp (logarifmden boşadyp), alarys:

$$\ln V^{\gamma - 1} + \ln T = C,$$

$$TV^{\gamma - 1} = \text{const}. \quad (3.51)$$

Gaz halynyň deňlemesini ulanyp:

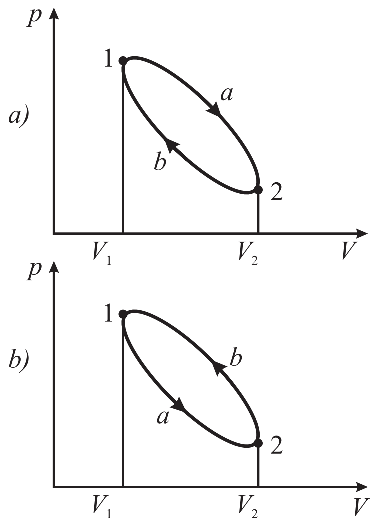
$$pV/T = R$$

we ony (3.51) aňlatma köpeldip, alarys:

$$pV^{\gamma} = \text{const}. \quad (3.52)$$

Sistemanyň birnäçe hallary geçip, ýene-de öňki ýagdaýyna gaýdyp gelmek prosesine aýlawly proses diýilýär. Prosesleriň diagrammasynda aýlaw (sikl) ýapykdyr (*3.6-njy surat*).

Ideal gazyň edýän aýlawly prosesini gazyň giňelmek (1-2) we gysylmak (2-1) poseslerine bölmek bolar. Gaz giňelenindäki edilýän iş položiteldir. Ol $1a2V_2V_11$ figuranyň (şekiliň) meýdany bilen kesgitlenilýär ($dV > 0$); gysylanyndaky edilýän iş otrisateldir. Ol $2b1V_1V_22$ şekiliň meýdanyna deňdir ($dV < 0$). Şeýlelikde, bir siklde ýerine ýetirilýän iş onuň öz içine alýan şekilleriniň meýdany bilen kesgitlenilýär.



3.6-njy surat. Göni we ters aýlawly öwrülişikli prosesler

Eger siklde položitel iş edilýän bolsa: $A = \oint pdV > 0$ (aýlaw sagat diliniň ugry boýunça geçýär), onda oňa göni sikl (*3.6-njy a surat*), eger-de siklde otrisatel iş edilýän bolsa: $A = \oint pdV < 0$ (aýlaw sagat diliniň ugrunyň garşysyna geçýär), onda şeýle aýlawa ters aýlaw diýilýär (*3.6-njy b surat*).

Göni aýlaw – daşardan alnan ýylylygyň hasabyna iş edýän, periodiki işleýän ýylylyk hereketlendirijilerinde ulanylýar. Ters aýlaw – daşarky güýçleriň işiniň hasabyna ýylylyk pes temperaturaly jisimden has ýokary temperaturaly jisime periodik işleýän gurluşlarda geçirilýär.

Aýlawly prosesiň netijesinde sistema başlangyç ýagdaýyna gaýdyp gelýär we şeýlelikde, gazyň içki energiýasynyň doly üýtgemesi nola deňdir. Şonuň üçin aýlawly proseslerde termodinamikanyň birinji kanuny şeýle görnüşde ýazylýar:

$$Q = \Delta U + A = A. \tag{3.53}$$

Ýagny, aýlawda (siklde) ýerine ýetirilýän işiň ululygy daşardan alnan ýylylyk mukdaryna deňdir. Emma aýlawly prosesiň netijesinde sistema ýylylygy alyp-da we berip-de biler, şonuň üçin

$$Q = Q_1 - Q_2.$$

Bu ýerde Q_1 we Q_2 − degişlilikde sistemanyń alan we beren ýylylyk mukdarlary. Şeýlelikde, aýlawly prosesde ýylylyk hereketlendirijileriniň peýdaly täsir koeffisiýenti şeýle kesgitlenilýär:

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = 1 - \frac{Q_2}{Q_1}. \tag{3.54}$$

Eger termodinamik proses göni ugur boýunça-da, ters ugur boýunça-da geçip bilýän bolsa we şeýle proses ilki bada göni ugurda, soňra ters ugurda geçip, sistema ýene-de ilkinji halyna gaýdyp gelse hem-de daş-töwerekdäki gurşawda hiç hili üýtgeşme bolmasa, şeýle proseslere öwrülişikli prosesler diýilýär. Şeýle şertleri kanagatlandyrmaýan islendik proseslere öwrülişiksiz prosesler diýilýär. Ýylylygyň gyzgyn jisimden sowuk jisime geçmegi öwrülişiksiz prosesleriň adaty mysalydyr. Tebigatdaky ähli makroskopik prosesler diňe bir kesgitli ugur boýunça bolup geçýär. Olar ters ugurlara öz-özünden geçip bilmez. Şonuň üçin, tebigatdaky öz-özünden bolup geçýän prosesleriň ählisi-de öwrülişiksiz proseslerdir we olardan has howplusy organizmleriň garramagydyr.

Ýylylygy sowuk jisimden gyzgyn jisime-de geçirmek bolar. Emma, munuň üçin energiýany ulanýan sowadyjy gurluş gerek.

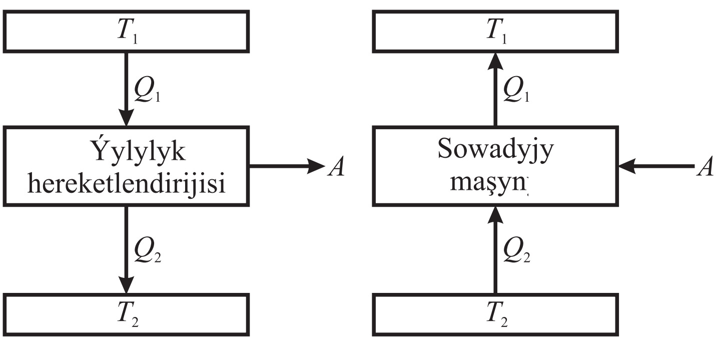
Islendik deňagramlylyk halyndaky proses öwrülişikli prosesdir (Sistemanyň deňagramly haly diýip, onuň ululyklarynyň belli bir durnukly bahalary bolup, olara daşardan hiç hili täsir bolman, islendik uzak wagtlap üýtgemän galýan halyna aýdylýar). Öwrülişikli prosesler – haýsy hem bolsa käbir derejede hyýallaşdyrylan hakyky proseslerdir.

Tebigatda we tehnikada bolup geçýän köpsanly prosesler öwrülişikli proseslerdir.

Öwrülişikli prosesleri ulanmak ykdysady taýdan peýdalydyr we olary öwrenmek real ýylylyk hereketlendirijileriniň peýdaly täsir koeffisiýentini artdyrmagyň ýollaryny görkezýär.

Termodinamikanyň birinji kanuny ýylylyk proseslerindäki energiýanyň saklanma we öwrülme kanuny bolmak bilen, birnäçe termodinamiki prosesleri durmuşda bolşy ýaly dogry beýan edip bilmeýär. Ol kanun tebigatda bolup geçýän prosesleriň ugruny görkezmeýär.

Termodinamikanyň ikinji kanuny ýylylyk hereketlendirijileriň iş esaslaryny derňemegiň esasynda döredi. Şonuň üçin ýylylyk hereketlendirijileriniň işleýşine seredeliň (*3.7-nji a surat*).



3.7-nji surat. Termodinamikanyň ikinji kanunynyň esaslandyrylyşy

Gyzdyryjy diýip atlandyrylýan ýokary T_1 temperaturaly termostatdan aýlawyň dowamynda Q_1 ýylylyk mukdary alyndy, sowadyjy diýip atlandyrylýan pes T_2 temperaturaly termostada bolsa Q_2 ýylylyk mukdary berildi we iş edildi diýip göz öňüne getireliň. Ol işiň ululygy

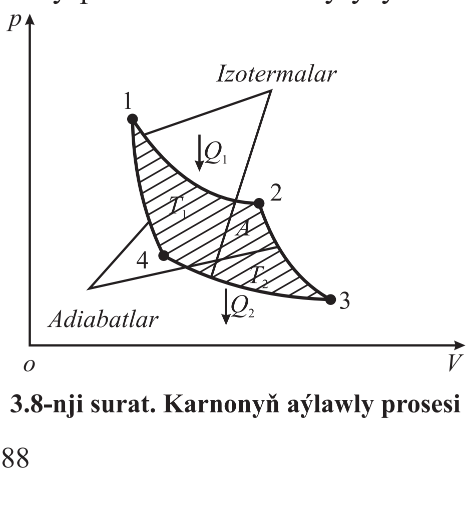
$$A = Q_1 - Q_2.$$

Ýylylyk hereketlendirijiniň peýdaly täsir koeffisiýentiniň (3.54) bire deň bolmagy üçin $Q_2 = 0$ şert ýerine ýetmeli, ýagny ýylylyk hereketlendirijiniň bir ýylylyk çeşmesi bolmaly. Şeýle hereketlendiriji has gyzgyn (gyzdyryjy) we has sowuk (sowadyjy) iki sany jisimiň bolmagyny talap etmezdi, ol bolsa mümkin däl.

Fransuz inženeri S.Karno (1796-1832) ýylylyk herekelendirijileriniň işlemegi üçin dürli temperaturaly, ikiden az bolmadyk ýylylyk çeşmesiniň gerekdigini (sowadyjy we gyzdyryjy) subut etdi. Bir ýylylyk çeşmesinden işleýän ýylylyk hereketlendirijisini döretmek münkin däldir. Ýagny, bir çeşmeden Q_1 ýylylyk mukdaryny alyp, ony doly iş jisimine berip bolýan ($A = Q_1$) we periodik işleýän ýylylyk dwigatelini gurmaklyk (ikinji hilli perpetuum mobile–ömürlik dwigateli) barada edilen synanyşyklaryň hemmesi şowsuz çykdy.

Soňra, Saadi Karnonyň gelen netijelerini Klauzius bilen B.Tomson umumylaşdyryp, ýeke-täk netijesi diňe bir çeşmeden alnan ýylylyk mukdaryny, oňa ekwiwalent bolan işe geçirip bilýän periodik prosesi amala aşyrmagyň mümkin dällik prinsipini aýtdylar.

Termodinamikanyň ikinji başlangyjyna esaslanyp we ýylylyk hereketlendirijileriniň işleýiş prinsipini derňäp, 1824-nji ýylda S. Karno aýlawly prosesleriň iň amatlysynyň iki izotermik we iki adiabatik proseslerden ybarat bolan öwrülişikli aýlawly prosesdir diýen netijä geldi. Ol aýlawly hadysa Karnonyň aýlawy diýen ady aldy.



3.8-nji surat. Karnonyň aýlawly prosesi

Karnonyň aýlawly prosesi 3.8-nji suratda şekillendirilendir. Bu suratda izotermik giňelme we gysylma 1-2 we 3-4, adiabatik giňelme we gysylma 2-3 we 4-1 egriçyzyklar bilen görkezilendir.

Izotermiki prosesde U = const, şonuň üçin gazyň gyzdyryjydan alan Q_1 ýylylyk mukdary gazyň 1 haldan 2 hala geçendäki A_{12} edilen işiň ululygyna deňdir:

$$A_{12} = \frac{m}{M} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} = Q_1 . \quad (3.55)$$

2–3 aralygynda gaz adiabatik giňelende daşky gurşaw bilen ýylylyk çalşygy bolmaýar we A_{23} aralykda gazyň giňelendäki işi sistemanyň içki energiýasynyň üýtgetmeginiň hasabyna ýerine ýetirilýär:

$$A_{23} = -\frac{m}{M} C_V (T_2 - T_1) . \quad (3.56)$$

Izotermik gysylanda, gazyň sowadyja berýän Q_2 ýylylygy gazyň A_{34} gysyş işine deňdir:

$$A_{34} = \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{V_4}{V_3} = -Q_2 . \quad (3.57)$$

Adiabatik gysylanyndaky iş:

$$A_{41} = \frac{m}{M} C_V (T_1 - T_2) = A_{23} .$$

Aýlawly prosesiň netijesinde ýerine ýetirilän doly iş:

$$A = A_{12} + A_{23} + A_{34} + A_{41} = Q_1 + A_{23} - Q_2 - A_{23} = Q_1 - Q_2.$$

Bu iş 3.8-nji suratdaky figuranyň ştrihlenen böleginiň meýdanyna deňdir:

(3.54) deňlemä görä, Karnonyň aýlaw prosesiniň peýdaly täsir koeffisiýenti

$$\eta = \frac{A}{Q_1} = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} .$$

2-3 we 4-1 adiabatalar üçin (3.52) formulany ulanyp, alarys:

$$T_1 V_2^{\gamma - 1} = T_2 V_3^{\gamma - 1} , \qquad T_1 V_1^{\gamma - 1} = T_2 V_4^{\gamma - 1} .$$

Bu ýerden

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{V_3}{V_4} . \quad (3.58)$$

(3.55) we (3.56) deňlemeleri (3.54) aňlatmada ornuna goýup, hem-de (3.58) gatnaşygy göz öňüne tutup, alarys:

$$\eta = \frac{Q_1 - Q_2}{Q_1} = \frac{\frac{m}{M} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1} - \frac{m}{M} RT_2 \ln \frac{V_3}{V_4}}{\frac{m}{M} RT_1 \ln \frac{V_2}{V_1}} = \frac{T_1 - T_2}{T_1}.$$

η-ny ulaltmak üçin gyzdyryjy bilen sowadyjynyň temperaturalarynyň tapawudyny ulaltmak gerek bolýar. Mysal üçin, $T_1 = 400\ K$ we $T_2 = 300\ K$ bolanda $\eta = 0{,}25$. Eger gyzdyryjynyň temperaturasyny $100K$ ýokarlatsak, sowadyjynyňkyny bolsa $50K$ aşaklatsak, onda $\eta = 0{,}5$ bolýar. Islendik real ýylylyk hereketlendirijileriniň PTK-sy 1-den kiçidir. PTK-nyň dürli hili energiýa ýitgileri zerarly maksimal bahasy, içinden ýandyrylýan hereketlendirijilerde 44%, bug turbinalarynda η = 62% çemesidir.

3.6. Entropiýa. Entalpiýa

Öwrülişikli aýlaw hadysasy boýunça işleýän Karnonyň maşynynyň peýdaly täsir koeffisiýenti

$$\eta = \frac{T - T_0}{T} = 1 - \frac{T_0}{T},$$

bu ýerde T – ýylylyk alynýan jisimiň (gyzdyryjynyň) temperaturasy, T_0 – ýylylyk berilýän jisimiň (sowadyjynyň) temperaturasy.

Gyzdyryjydan alnan Q ýylylygyň hasabyna $A = Q - Q_0$ mehaniki işi ýerine ýetirmek bolar. PTK-nyň kesgitlemesine görä $\eta = A/Q$, bu ýerden:

$$A = Q\eta \tag{3.59}$$

ýa-da

$$A = Q - T_0 \frac{Q}{T}. \tag{3.60}$$

(3.60) deňleme diňe bir ýylylyk maşynlaryna degişli bolman, islendik öwrülişikli aýlawlarda (sikllerde) işleýän maşynlara-da degişlidir. Ýylylyk energiýasynyň islendik öwrülişiginde mümkin bolan maksimal iş (3.60) deňleme bilen tapylýar:

$$Q_0 = T_0 \frac{Q}{T}, \tag{3.61}$$

ýylylyk mukdary sowadyjy tarapyndan alynýar we onuň işe öwrülmegi mümkin däldir. Q/T gatnaşyk energiýanyň berlen sistemada işe öwrülip bilinmejek bölegini häsiýetlendirýär. Ol daş-töwerege ýaýran energiýanyň ölçegi bolup hyzmat edýär. Bu ululyga entropiýa diýip at berilýär.

Islendik öwrülişikli aýlawly proses üçin

$$\oint \frac{dQ}{T} = 0 \qquad (3.62)$$

diýip ýazyp bolýanlygyny teoretiki derńewler görkezýär. $\oint$ integral alamaty onuň ýapyk kontur üçin alnandygyny görkezýär. Entropiýany S harpy bilen bellemekligi ilkinji gezek Klauzius girizýär.

Onda (3.62) formulanyň esasynda, entropiýa öwrülişikli prosesler üçin şeýle ýazylýar:

$$\Delta S = 0. \qquad (3.63)$$

Öwrülişiksiz aýlawly hadysany edýän sistemalaryň entropiýasynyň artýandygyny termodinamikada subut edýärler, ýagny

$$\Delta S > 0. \qquad (3.64)$$

Emma, (3.63) we (3.64) formulalaryň diňe ýapyk sistemalara degişlidigini bellemek gerek. Eger sistema daşky gurşaw bilen ýylylyk çalşygyny edýän bolsa, onda bu sistemanyň entropiýasy özüni dürli hili alyp barar, onda (3.63) we (3.64) formulalary Klauziusyň deňsizligi görnüşinde ýazmak bolar:

$$\Delta S \geq 0, \qquad (3.65)$$

ýagny ýapyk sistemanyň entropiýasy ýa-ha artar (öwrülişiksiz proses ýagdaýynda), ýa-da hemişelik galar (öwrülişikli proses ýagdaýynda).

Entalpiýa (ýylylyk funksiýasy, ýylylyk derejesi) – termodinamiki ulgamyň basyşynyň göwrümine köpeltmek hasylyna içki energiýanyň goşulmagynyň jemine deň bolan ululyk bolup, termodinamiki sistemanyň hal funksiýasyny aňladýar:

$$H = p \cdot V + U.$$

Ideal gazyň entalpiýasy diňe absolýut temperatura bagly bolup, gazyň m massasyna proporsionaldyr:

$$H = \int C_p dT + H_0 .$$

Bu ýerde H_0 – gazyň T = 0 K temperaturadaky entalpiýasy, C_p- izobarik hadysada ýylylyk sygym.

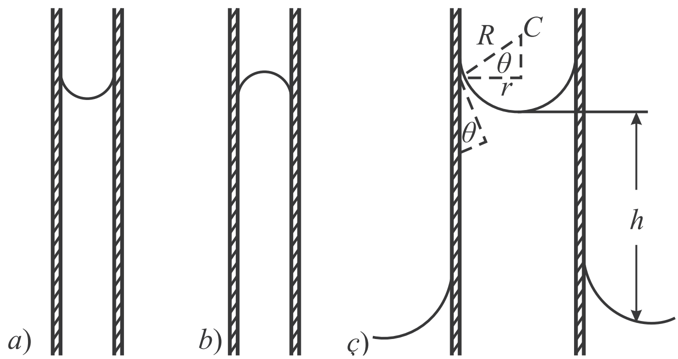
Termodinamiki sistemanyň bölejikleriniň N sany hem-de beýleki makroskopik ululyklary üýtgewsiz bolanda entalpiýanyň üýtgemesi

$$dH = TdS + Vdp \text{ bolýar.}$$

Kapillýar hadysalar.

Suwuklygyň giň turbadaky derejesi bilen deňeşdirende, onuň inçejik turbajyklarda ýokaryk galmagyna ýa-da aşak düşmegine kapillýar hadysa diýilýär.

Inçejik silindrik turbadaky ölleýän suwuklygyň üsti çöket formada (*3.9-njy a surat*), öllemeýän suwuklygyňky bolsa, güberçek formada bolýar (*3.9-njy b surat*). Suwuklygyň şonuň ýaly egri üstlerine meniskler diýilýär.



3.9-njy surat. Inçe turbalarda suwuklygyň üstüniň egrelişi

Bir ujy giň gapdaky suwuklygyň içine sokulan inçejik turbajyga garap geçeliň. Goý, suwuklyk turbanyň ýasalan materialyny ölleýän bolsun. Onda turbajygyň içinde suwuklygyň egri üsti (menisk) çöket bolar *(3.9-njy ç surat*) we ol turbajygyň tegelek kesiginde takmynan sferanyň formasyny alar (kapillýar ulaldylan görnüşinde görkezilen). Çöket üstüň aşagynda goşmaça otrisatel basyş peýda bolar:

$$p = 2\alpha/R,$$

bu ýerde α – üst dartylmasyň koeffisiýenti, R – suwuklygyň üstüniň radiusy.

Giň gapdaky suwuklygyň tekiz üstüniň aşagynda goşmaça basyşyň ýokdugy sebäpli, suwuklyk turbajygyň içi bilen suwuklyk sütüniniň p basyşy deňagramlaşdyrýança galyp, h beýiklige ýeter:

$$p = \rho g h.$$

Bu ýerde ρ – suwuklygyň dyzyklygy, g – erkin gaçma tizlenmesi. Bu ýerden deňagramlylyk şertiniň görnüşi şeýle bolar:

$$p = \frac{2\alpha}{R} = \rho g h. \qquad (3.66)$$

Turbajygyň radiusyny r bilen we gyra burçuny θ bilen belläp, (*3.9-njy surat*) alarys: $R = \dfrac{r}{\cos\theta}$.

Bu ýerden suwuklygyň ýokary galyş beýikligi

$$h = \frac{2\alpha\cos\theta}{r\rho g}. \tag{3.67}$$

Eger suwuklyk diwary doly ölleýen bolsa, ýagny $\theta = 0$, onda kapillýarda suwuklygyň ýokary göterilen beýikligi

$$h = \frac{2\alpha}{\rho g r} \tag{3.68}$$

bolar. Alnan aňlatma Jýureniň kanuny diýilýär. Kapillýaryň radiusy näçe kiçi bolsa, onda suwuklyk şonça-da ýokary göterilýär.

Eger suwuklyk turbajygyň materialyny öllemeýän bolsa, onda turbajygyň içindäki menisk güberçekdir, şol meniski döredýän basyş položiteldir we turbajykdaky suwuklygyň derejesi gabyň giň bölegindäkiden aşakdadyr. Öllemeýän suwuklygyň h derejesiniň peselişiniň ululygy hem ölleýän suwuklygyň ýokary galyş beýikligini aňladýan (3.68) aňlatma bilen kesgitlenilýär.

Kapillýarlyk hadysasy tebigatda we durmuşda uly ähmiýete eýedir. köpsanly kapillýarlar arkaly damarlarda gan hereketlenýär, toprakdaky suw ýokary galýar we güýçli bugarýar, munuň özi ösümliklere zerur bolan çyglylygyň ýitmegine eltýär, haýwanlaryň ýaşaýyşyny üpjün edýär.

Yapyk sistemalarda diňe entropiýanyň artmagyna alyp barýan prosesler bolup biler. Emma, islendik janly bedenlerde, goý, ösümlik ýa-da haýwan bolsun, döränlerinden soňra ösüp, ulalyp, barha kämilleşýär, durmuşy çylşyrymlaşýar. Onda üznüksiz çylşyrymly molekulalaryň emele gelmesi bolup geçýär.

Şeýle prosesler bolsa entropiýanyň azalmagy bilen baglanyşyklydyr, şonuň üçin köp wagtlap termodinamikanyň ikinji başlangyjy janly organizmler uçin ulanarlykly däl diýip gelindi.

Janly organizmlerde entropiýanyň doly uýtgemesi, organizmde öwrülişiksiz prosesleriň geçmegi bilen baglanyşykly bolan entropiýanyň artmagy (ΔS) we organizm bilen daşky gurşawyň baglanyşygy netijesinde organizme erkin energiýanyň gelmegi zerarly entropiýanyň üýtgemeleriniň (S_i, S_e) goşulmalarynyň jemine dendir, bu entropiýanyň üýtgemesini S bilen bellesek, onda: $S = S_i + S_e$.

Entropiýanyň artmasy S – organizmiň içinde bolup geçýän prosesler bilen we fiziologiki hadysalarda bolşy ýaly, organizmiň ýylylygy bölüp çykarmagy bilen, şeýle-de organizmiň iş etmegi bilen baglanyşyklydyr. Bu bolsa, termodinamikanyň ikinji başlangyjyna görä, diňe položiteldir.

S entropiýanyň ululygy islendik – položitel, otrisatel ýa-da nol bolup biler. Eger bu ululyk položitel bolsa, organizmiň entropiýasy daşky gurşawyň täsirinde artýar. Bu bolsa çylşyrymly biohimiki birleşmeliriň has ýönekeý öýjükli gurluşlara dargaýandygyny, olaryň-da weýran bolýandygyny we biologiki ulgamda ýaşaýşyň togtaýandygyny aňladýar (mysal üçin, ýaşyl ýapragyň suwa taşlanyşy ýaly), ahyrynda $\Delta S = 0$ bolýar.

Eger ΔS-iň ululygy otrisatel we absolýyt ululygy boýunça S_e-den uly bolsa, biologiki ulgamda entropiýanyň umumy üýtgemesi otrisatel bolýar, ýagny organizmiň umumy entropiýasy kiçelýär. Bu bolsa, sistemanyň gurluşynyň çylşyrymlaşýandygyny, has çylşyrymly biohimiki birleşmeleriň emele gelýändigini, gurluşy bolmadyk organiki maddalardan öýjükleriň döreýändigini, dokumalaryň ösýändigini aňladýar. Bu bolsa nusgawy termodinamikanyň ýapyk ulgamda bolup geçýän deňagramly prosesleriň entropiýasynyň tersine, açyk termodinamiki sistemada islendik deňagramsyz prosesleriň entropiýasyny kesgitleýär. Biologiki sistemanyň durnukly ýagdaýy $\Delta S = O$ ýa-da $\Delta S_i = \Delta S_e$ bolanynda, ýagny ulgamyň entropiýasynyň artmagy ondaky öwrülişiksiz prosesleriň netijesinde döreýän üýtgemeleriň, ulgamyň daşky gurşaw bilen özara täsirinde döreýän otrisatel entropiýa bilen kompensirleşeninde bolýar. Organizmiň ösüş prosesi we onuň garramagy, biologiki ulgamyň entropiýasynyň fiziologiki kadasyndan dürli gyşarmalary kesgitli çäklerde üýtgäp biler. Şonuň üçin entropiýanyň jeminiň tizliginiň üýtgemesiniň ululygy sistemanyň ýagdaýyny kesgitleýär:

$$\frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\Delta S_i}{\Delta t} + \frac{\Delta S_e}{\Delta t} . \qquad (3.69)$$

(3.69) aňlatma janly organizmler üçin termodinamikanyň ikinji başlangyjynyň matematiki aňlatmasydyr. Onuň manysy – organizmde entropiýanyň üýtgeýiş tizligi, organizmiň içindäki entropiýanyň tizliginiň artmagynyň we daşky gurşawdan organizme gelýän otrisatel entropiýanyň tizlikleriniň algebraik jemine deňdir.

Termodinamiki deňagramlylyk ýagdaýynda, ýokarda belleýşimiz ýaly, sistemanyň S_i entropiýasy iň uly ululyga ýetýär we onuň üýtgeýiş tizligi $\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = 0$. Durnukly ýagdaýda entropiýa iň uly baha deň däl, emma hemişelik we umumy entropiýanyň üýtgeýiş tizligi nola deň, ýagny $\frac{\Delta S}{\Delta t} = 0$. Şu ýerden durnukly ýagdaýyň şertini kesgitleýäris:

$$\frac{\Delta S_i}{\Delta t} = \frac{-\Delta S_e}{\Delta t}. \quad (3.70)$$

Termodinamiki sistemalar seljerilende olarda entropiýa düşünjesinden başga entalpiýa düşünjesi hem ulanylýar.

IV BÖLÜM

ELEKTRIK WE MAGNIT HADYSALARY

4.1. Elektrodinamika

Gozganmaýan elektrik zarýadlarynyň özara täsirlerini we häsiýetlerini öwrenýän elektrodinamikanyň bir bölümine elektrostatika diýilýär.

Tebigatda zarýadlaryň položitel we otrisatel – iki görnüşi bar. Položitel zarýad, mysal üçin, aýna taýajygyny derä sürtenimizde, otrisatel – ýantar taýajygyny ýüň mata sürtenimizde döreýär.

Belli bolşy ýaly, ähli jisimler atomlardan düzülýär. Atom hem öz gezeginde položitel zarýadlanan ýadrodan we onuň töwereginde aýlanýan elektronlardan ybaratdyr. Elektronlar otrisatel zarýadlanandyr. Şonuň üçin-de, bitewilikde alanymyzda, atom elektrik taýdan bitarapdyr. Temperaturanyň, magnit meýdanynyň, ýagtylygyň we şuňa meňzeş sebäpleriň täsirinde atom özüniň bir ýa-da birnäçe elektronlaryny ýitirmegi mümkin. Şeýle ýagdaýda ol položitel zarýadlanan iona öwrülýär. Eger-de atom (ýa-da molekula) özüne goşmaça elektron kabul etse, ol otrisatel iona öwrülýär.

Şeýlelikde, elektrik zarýady elektronlar görnüşinde bolup biler. Şonuň üçin-de, erkin zarýadyň diňe bir görnüşi – otrisatel elektronlar bardyr diýip aýtmak bolar. Eger jisimde elektronlar ýetmezçilik etse, ol položitel, artykmaçlyk etse – otrisatel zarýadlanýar.

Her bir maddanyň elektrik häsiýeti onuň atomynyň gurluşyna baglydyr. Atomlar özlerinden birnäçe elektronlary ýitirip biler. Şol wagtda olara köp gezek ionlaşan diýýärler. Atomyň ýadrosy protonlardan we neýtronlardan ybaratdyr. Her bir protonyň zarýady elektronyň zarýadynyň absolýut ululygyna deň, emma garşylykly zarýady bardyr. Neýtron elektrik taýdan zarýadsyz bölejikdir. Elektrondan we protondan başga-da köpsanly zarýadly elementar bölejikler bardyr. Elektrik zarýadsyz bölejik bolýar, emma bölejiksiz zarýad bolmaýar. Hemme zarýadlanan elementar bölejikleriň zarýady bardyr. Ol zarýadlaryň iň kiçisine, ýagny elektronyň zarýadyna, deň bolan zarýada **elementar zarýad** diýilýär. Amerikan fizigi R.Milliken (1968-1953) we rus fizigi A.F.Ioffe elementar zarýadyň $e = 1{,}6 \cdot 10^{-19}$ kulona (*Kl*) deňdigini, ähli elektrik zarýadlaryň diskretdigini tejribe üsti bilen subut etdiler.

Şonuň üçin jisimler elektriklenenlerinde olaryň zarýadlarynyň ululygy elektronyň zarýadynyň ululygyça birdeń üýtgeýär.

Islendik zarýadlanmadyk jisimde položitel zarýad-da, otrisatel zarýad-da bardyr. Olaryň sanlary biri-birlerine deň bolany sebäpli, biri-birini kompensirleýärler. Zarýadlar döremeýärler we ýok bolmaýarlar, diňe bir jisimden beýleki bir jisime berilýärler ýa-da şol bir jisimiň içinde ornuny üýtgedýärler. Tebigatyň esasy kanunlaryndan biri bolan şu **elektrik zarýadynyň saklanma** kanuny ilkinji gezek iňlis fizigi M.Faradeý (1791-1867) tarapyndan formulirlenýär.

Islendik ýapyk (daşky jisimler bilen zarýad çalşygy bolmadyk) ulgamlarda olaryň içinde nähili hadysalaryň bolup geçýändiginde garamazdan, elektrik zarýadlarynyň algebraik jemi üýtgemän galýar. Ýagny:

$$\sum_{i=1}^{n} q_i = \text{const}\,. \qquad (4.1)$$

Sürtülme wagtynda aýna, ebonit ýaly köp materiallar elektriklenýärler. Senagatyň köp pudaklarynda, has hem kagyz senagatynda, dokma we un senagatlarynda elektrik zarýadlary şeýle bir köp toplanýarlar, netijede olara garşy göreş çärelerini geçirmek uly kynçylyklary döredýär. Mysal üçin, sintetik matalaryň gatlarynyň arasynda zarýadlar toplanýar, dokma fabriklerinde ýüplük sapaklar sürtülmäniň hasabyna elektriklenýärler, iklere we roliklere dartylýarlar hem-de üzülýärler. Ýüplük tozany çekýär we hapalanýar. Sapaklaryň elektriklenmeginiň garşysyna ýörite çäreler ulanmaly bolýar.

Jisimleriň jebis kontaktda (galtaşmada) elektriklenmegi häzirki zaman elektrik nusgalaýjylarda (kitaplaryň, resminamalaryň nusgalaryny alýan maşynlarda) giňden peýdalanylýar.

Biratly zarýadlar itekleşýärler, dürli atly zarýadlar bolsa dartyşýarlar, ýagny zarýadlaryň arasynda özara täsir güýçleri ýüze çykýar. 1785-nji ýylda fransuz fizigi Ş.Kulon tejribe arkaly zarýadlanan metal şarjagazlarynyň arasynda ýüze çykýan özara täsirleriň kanunalaýyklyklaryny öwrenýär. Bu kanun diňe nokatlanç zarýad üçin dogrudyr. Zarýadlanan jisimi hemişe nokatlanç hasaplap bolmaýar. Emma, jisimleriň arasyndaky uzaklyk olaryň ölçeglerinden köp esse uly bolsa, onda zarýadlanan jisimleriň görnüşleri-de, ölçegleri-de olaryň arasyndaky özara güýje onçakly täsir etmeýär. Şeýle jisimlere nokatlanç jisimler (zarýadlar) diýýärler.

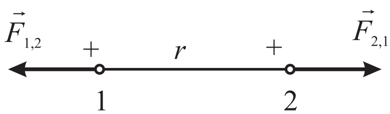
Kulonyň kanuny: iki sany nokatlanç zarýadyň özara täsir güýji bu zarýadlaryń ululyklaryna göni proporsionaldyr, olaryň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna bolsa ters proporsionaldyr, ýagny

$$F = k\frac{q_1 q_2}{r^2}. \tag{4.2}$$

Bu ýerde k – ölçeg birlikleriniň saýlanyp alnyşyna bagly bolan, proporsionallyk koeffisiýenti, q_1, q_2 – degişlilikde zarýadlaryň ululygy, r – olaryň arasyndaky uzaklyk.

Iki sany gozganmaýan nokatlanç zarýadlanan jisimiň özara täsir güýji ol jisimleriň merkezlerini birikdirýän göni çyzygyň boýuna baka ugrukdyrylandyr (*4.1-nji surat*).

Şeýle güýçlere merkezi güýçler diýilýär. Nýutonyň üçünji kanunyna laýyklykda, $\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$ bolar. Eger $F > 0$ bolsa, zarýadly jisimler özara itekleşýärler. Bu iki güýjüň deňtäsiredijisi položitel bolsa zarýadly jisimler itekleşýärler, tersine – dartyşýarlar. Olaryň arasynda ýüze çykýan F özara täsir güýjüne kulon güýji diýilýär.



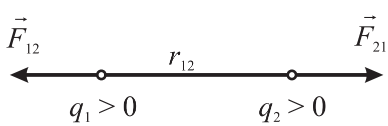
4.1-nji surat. Iki nokatlanç zarýadlaryň özara täsiri

Kulonyň kanuny wektor görnüşinde şeýle ýazylýar:

$$\vec{F} = k\frac{q_1 q_2}{r^2}\frac{\vec{r}_{12}}{r}. \tag{4.3}$$

Bu ýerde $\vec{F}_{12} - q_1$ zarýada q_2 zarýad tarapyndan täsir edýän güýç, $\vec{r}_{12} - q_1$ zarýady q_2 zarýad bilen birleşdirýän radius-wektor. $r = |\vec{r}_{12}|$ (*4.2-nji surat*).

Eger özara täsir edişýän zarýadlar birhilli we izotropik gurşawda ýerleşen bolsalar, olaryň özara täsir güýçleri



4.2-nji surat. Dürli zarýadlaryň özara täsiri

$$F = k\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}.$$

Bu ýerdäki ε – ölçegsiz ululyga gurşawyň dielektrik syzyjylygy diýilýär. Ol berlen gurşawda zarýadlaryň aralygynda döreýän F özara täsir güýjüň wakuumdaky F_0 özara täsir güýçden näçe esse kiçidigini görkezýär:

$$\varepsilon = F_0 / F. \qquad (4.4)$$

Wakuumda $\varepsilon = 1$.

Halkara birlikler sistemasynda proporsionallyk koeffisiýenti $k = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}$. Onda Kulonyň kanuny (zarýadyň birligi esasy däl-de, döredilen birlikdir) şeýle görnüşde ýazylýar:

$$F = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q_1 q_2}{\varepsilon r^2}. \qquad (4.5)$$

Elektrik zarýadynyň ölçeg birligi hökmünde kulon (Kl) ulanylýar. Ol tok güýjüniň ölçeg birliginiň üsti bilen aňladylýar. 1 kulon (Kl) – toguň güýji bir amper bolan wagtynda geçirijiniň kese-kesiginden 1 sekuntda geçýän elektrik zarýadydyr. Ýagny:

$$1Kl = 1A \cdot s.$$

(4.2) formuladaky proporsionallyk koeffisiýenti

$$k = \frac{Fr^2}{q_1 q_2} \qquad (4.6)$$

aňlatma arkaly aňladylýar. Onuň halkara birlikler sistemasynda ölçeg birligi $N \cdot m^2/Kl^2$.

Güýç nýutonlarda, uzaklyk metrlerde we zarýad kulonlarda aňladylýar. Bu koeffisiýentiň san bahasyny tejribede kesgitlemek bolar. Munuň üçin berlen uzaklykda duran iki sany belli nokatlanç zarýadyň arasyndaky özara täsir güýjüni ölçemek ýeterlikdir we F, r, q_1 hem q_2-niň bahalaryny (4.6) formulada ornuna goýup, k-nyň bahasyny taparys.

(4.5) formuladaky ε_0 ululyga elektrik hemişeligi diýilýär. Ol fiziki hemişelikleriň iň esaslaryndan biri bolup, aşakdaky baha eýedir:

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} Kl^2/(N \cdot m^2)$$

ýa-da

$$\varepsilon_0 = 8{,}85 \cdot 10^{-12} F/m, \qquad (4.7)$$

bu ýerde farad (F) – elektrik sygymynyň birligi.

Zarýadlanan jisimleriň özara täsiri nähili ýüze çykýarka? Bu täsir bir jisimden başga bir jisime nähili geçýärkä? Bu soraglar öňler köp alymlary gyzyklandyrypdyr. Bu soraglara jogap berýän iki taglymat döreýär. Olar – ýakyndan täsir we aralykdan täsir taglymatlarydyr. Ikinji täsire görä, bir zarýadyň beýleki bir zarýada täsiri gös-göni, boşluk arkaly hiç hili gurşawsyz, şobada berilýär. Aralykdan täsir teoriýasynyň tarapdarlary jisimler öz aralarynda hiç bir gurşaw bolmasa-da, bir-biriniň bardygyny "duýmaga" ukyplydyrlar diýip düşünipdirler.

Häzirki zaman fizikasy ikinji – ýakyndan täsir teoriýasynyň tarapynda durýar. Dogrudan-da, eger zarýadlaryň özara täsiri, ýagny hereket, hiç bir gurşawsyz bir zarýaddan beýlekä geçýär diýsek, materiýasyz hereket bar diýdigimizdir. Bu bolsa manysyzdyr. Diýmek, dynçlykda duran zarýadlaryň özara täsir güýjüniň döremegi we berilmegi üçin, ol zarýadlaryň arasynda haýsy-da bolsa bir gurşaw bolmaly. Bu gurşaw hem elektrik meýdanydyr.

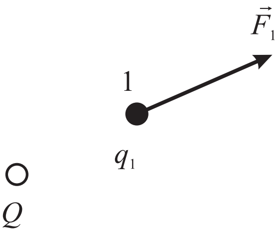
Zarýadyň töwereginde dörän elektrik meýdany, obýektiw reallyk bolup, biziň özümize, aňymyza bagly bolman biziň duýujy organlarymyza täsir edýär. Şeýlelikde, elektrik meýdany-da materiýanyň bir görnüşidir. Gozganmaýan zarýadlaryň töwereginde döreýän meýdana elektrostatiki meýdan diýilýär. Aýrylykda alnan bir zarýadyň meýdanynyň barlygyny, şol meýdana başga bir "synag" zarýadyny eltenimizde, olaryň arasynda, kulonyň kanuny esasynda, özara täsir güýçleriniň ýüze çykýanlygy bilen duýmak bolýar. Emma, birinji zarýadyň töweregindäki meýdan, onuň meýdanyna ikinji zarýady eltmezimizden öň hem bardy, emma biz onuň bardygyny duýamyzokdyk.

Elektrostatiki meýdan bu meýdanyň E güýjenmesi bilen häsiýetlendirilýär. Ýokarda belleýşimiz ýaly, elektrik meýdanynyň barlygynyň esasy şerti − bu meýdanda ýerleşdirilen zarýada täsir edýän güýçdir. Emma, bu güýjüň ululygy meýdanyň hemme nokatlarynda birmeňzeş däldir. Şol bir nokatda hem dürli ululykly zarýadlara dürli güýç täsir edýär. Şonuň üçin hem bu güýç meýdany häsiýetlendirip bilmeýär. Emma, meýdanyň berlen nokadynda ýerleşen zarýada täsir edýän güýjüň ol zarýadyň ululygyna bolan gatnaşygy meýdanyň her bir nokady üçin zarýada bagly däl we oňa meýdanyň häsiýetnamasy hökminde garamak bolar.

Goý, elektrik meýdany Q zarýad tarapyndan döredilen bolsun (*4.3-nji surat*). Bu meýdanyň 1 nokadynda ululyklary dürli bolan nokatlanç, $q_{0_1}, q_{0_2}, q_{0_3} ... q_{0n}$ “synag” zarýadlaryny gezekli-gezegine ýerleşdireliň, olara täsir edýän güýçleri degişlilikde $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \vec{F}_3 ... \vec{F}_n$ bilen belläliň. Olar-da dürli bolar.

Emma, zarýadlaryň arasynda ýüze çykýan özaratäsir güýçleri dürli bolsa-da, F/q gatnaşyk hemişelik bolar. Ýagny,

$$\frac{\vec{F}_1}{q_{0_1}} = \frac{\vec{F}_2}{q_{0_2}} = \frac{\vec{F}_3}{q_{0_3}} = ... = \frac{\vec{F}_n}{q_{0_n}} = \text{const.}$$



4.3-nji surat. Zarýadyň getirilen zarýada täsiri

Bu gatnaşyga san taýdan deň bolan ululyga meýdanyň berlen nokadyndaky güýjenmesi diýilýär. Ony E harpy bilen belgiläp, alarys:

$$\vec{E} = k\frac{\vec{F}}{q}. \tag{4.8}$$

Diýmek, elektrik meýdanynyň berlen nokadynyň E güýjenmesi bu nokatda ýerleşdirilen položitel birlik synag zarýada täsir edýän F güýje deňdir. Güýjenme meýdanyň güýç häsiýetnamasydyr.

(4.8) formuladan görnüşi ýaly, elektrostatik meýdanyň güýjenmesiniň birligi N/Kl, ýagny 1 N/Kl, 1 Kl nokatlanç zarýada 1 N güýç bilen täsir edýän meýdanyň güýjenmesidir. 1 N/Kl = 1 W/m. Ýokardaky (4.8) aňlatmadan F güýjüň ugry q zarýadyň alamatyna bagly. Eger $q > 0$ $\vec{F} = q \cdot \vec{E}$ güýç $\vec{E}$ güýjenmäniň ugruna, $q < 0$ bolanda bolsa, onuň garşysyna ugrukýar.

Wektor görnüşinde ýazylan Kulonyň (4.3) kanunyndan we (4.8) formulalardan görnüşi ýaly, nokatlanç zarýadyň güýjenmesi, wektor görnüşinde şeýle ýazylýar:

$$\vec{E} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\frac{\vec{r}}{r}$$

ýa-da skalýar görnüşinde

$$E = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{r^2}\,. \tag{4.9}$$

Eger meýdan $+q$ položitel zarýad tarapyndan döredilen bolsa, güýjenme wektory radiusyň boýuna zarýaddan ugrukdyrylandyr, eger meýdan $-q$ (otrisatel zarýad) tarapyndan döredilen bolsa, onda radiusyň boýuna zarýada tarap ugrukdyrylandyr.

Eger meýdan nokatlanç zarýadlaryň birnäçesi tarapyndan döredilen bolsa, onda bu meýdanda ýerleşdirilen q_0 synag zarýadyna täsir edýän güýçler wektorlary goşmak düzgüni boýunça goşulýar. Şonuň üçin meýdanyň berlen nokadyndaky zarýadlar sistemasynyň döredýän elektrik meýdanynyň güýjenmesi aýry-aýrylykda alnan her bir zarýadyň döreden güýjenme meýdanlarydyr, ýagny

$$\vec{E} = \vec{E}_1 + \vec{E}_2 + \vec{E}_3 + \ldots = \sum_{i=1}^{n}\vec{E}_i\,. \tag{4.10}$$

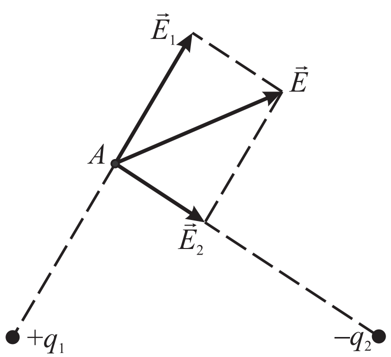
Bu düzgüne elektrik meýdanlarynyň **superpozisiýa** (üstüne goýma) düzgüni diýilýär.

Elektrik meýdanlarynyň superpozisiýa düzgünine görä, iki sany nokatlanç $+q$ we $-q$ zarýadlaryň emele getiren meýdanlarynyň islendik nokadyndaky güýjenmesini tapmak, $\vec{E}_1$ we $\vec{E}_2$ wektorlary goşmak parallelogram düzgüni boýunça geçirilýär. Netijeleýji $\vec{E}$ wektoryň ugry grafigi gurmak arkaly tapylýar, onuň absolýut ululygy bolsa, şu formula bilen hasaplanyp bilner (*4.4-nji surat*):

$$E = \sqrt{E_1^2 + E_2^2 + 2E_1E_2\cos\alpha}\,, \tag{4.11}$$

bu ýerde α – E_1 we E_2 wektorlaryň arasyndaky burç.

Ululyklary boýunça deň, alamatlary boýunça garşylykly, özara berk baglanyşykda bolan $+q$ we $-q$ iki nokatlanç zarýadlar sistemasyna **elektrik dipoly** diýilýär.



4.4-nji surat. Elektrik meýdanlarynyň üstüne goýma düzgüni

Ululygy boýunça zarýadlaryň arasyndaky uzaklyga deň we dipolyň oky (iki zarýadyňam üstünden geçýän göni) boýunça otrisatel zarýaddan položitel zarýada tarap ugrukdyrylan wektora **dipolyň egni** diýilýär. Dipolyň esasy häsiýetnamasy − elektrik dipol momenti bolup durýar. Ol otrisatel zarýaddan položitel zarýada tarap ugrukdyrylan wektor bolup, ol q zarýadyň dipolyň $\vec{l}$ egnine köpeltmek hasylyna deňdir:

$$\vec{p} = q\vec{l}\ . \tag{4.12}$$

Elektrik momentiň ugry dipolyň egniniň ugry bilen gabat gelýär.

Superpozisiýa prinsipine görä, islendik nokatdaky dipolyň elektrik meýdanynyň $\vec{E}$ güýjenmesi

$$\vec{E} = \vec{E}_+ + \vec{E}_-\ ,$$

bu ýerde $\vec{E}_+$ we $\vec{E}_-$ degişlilikde položitel we otrisatel zarýadlaryň döreden meýdanlarynyň güýjenmeleri. Şu formuladan peýdalanyp, dipolyň okunyň ugrunda ýerleşen we onuň ortasyndan bu oka galdyrylan perpendikulýardaky meýdanlaryň güýjenmesini hasaplalyň.

1. 4.5-nji suratdan görnüşi ýaly dipolyň okunyň üstünde ýerleşen O nokatdaky meýdanyň güýjenmesi moduly boýunça $E_0 = E_+ + E_-$ we dipolyň A nokatdaky meýdanyň güýjenmesi dipolyň oky boýunça ugrukdyrylandyr we moduly boýunça şu aňlatma deňdir:

$$E_A = E_+ - E_-.$$

A nokatdan dipolyň ortasyna çenli bolan aralygy r bilen belläliň. (4.9) formulanyň esasynda, wakuum üçin şeýle ýazýarys:

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\left[\frac{q}{(r-l/2)^2} - \frac{q}{(r+l/2)^2}\right] = \frac{q}{4\pi\varepsilon_0}\frac{(r+l/2)^2-(r-l/2)^2}{(r-l/2)^2(r+l/2)^2}.$$

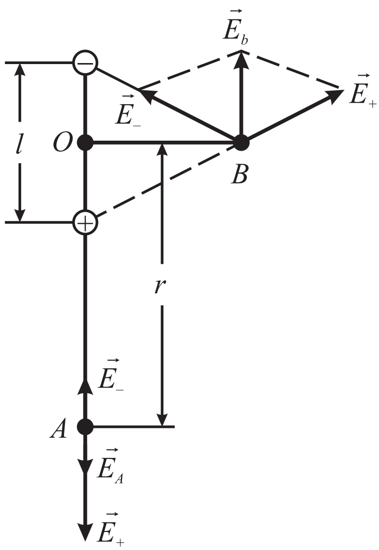
Dipolyň kesgitlemesine görä, $l/2 << r$, şonuň üçin:

$$E_A = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2ql}{r^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{2p}{r^3}\ .$$

2. Dipolyň okuna onuň ortasyndan galdyrylan perpendikulýarda ýerleşen B nokadyň güýjenmesini kesgitläliň:

B nokat zarýadlardan deň daşlykda ýerleşýär, şonuň üçin

$$E_+ = E_- = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{(r')^2 + l^2/4} \approx \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{q}{(r')^2}\ . \tag{4.13}$$



4.5-nji surat. Dipolyň meýdany

Bu ýerde $r' - B$ nokatdan dipolyň egniniň ortasyna çenli aralyk. Deňýanly üçburçluklaryň meňzeşliginden alarys:

$$\frac{E_B}{E_+} = \frac{l}{\sqrt{(r')^2 + (l/2)^2}} \approx \frac{l}{r'},$$

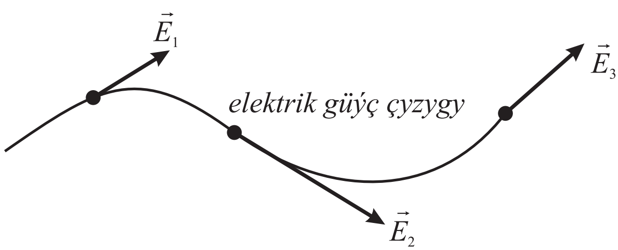
bu ýerden: $$E_B = E_+ l/r'. \qquad (4.14)$$

(4.14) formuladaky $\vec{E}_B$-niň bahasyny (4.13) formula goýup, tapýarys:

$$E_B = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{ql}{(r')^3} = \frac{1}{4\pi\varepsilon_0}\frac{p}{(r')^3}.$$

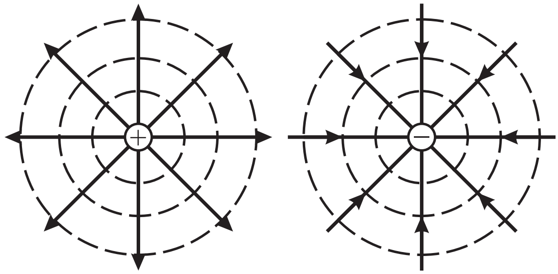
4.5-nji suratdan görnüşi ýaly, $\vec{E}_B$ wektoryň ugry dipolyň elektrik momentiniň garşysyna ugrukdyrylandyr.

Elektrostatiki meýdany güýç çyzyklarynyń (güýjenme çyzyklarynyň) kömegi bilen şekillendirmek bolar. Sebäbi, ol meýdanyň her bir nokadynda güýjenmäniň ugry we ululygy bar. Meýdany güýç çyzyklarynyň kömegi bilen şekillendirmegi M.Faradeý teklip etdi. Her bir nokadynda oňa geçirilen galtaşma bu nokatda güýjenmäniň ugry bilen gabat gelýän egrä elektrik güýç çyzyklary diýilýär (*4.6-njy surat*).



4.6-njy surat. Elektrik güýç çyzyklary

Elektrik güýç çyzyklarynyň başlangyjy-da, ahyry-da bar, ýagny olar açykdyrlar. Bu bolsa tebigatda elektrik meýdanynyň zarýad görnüşde çeşmesiniň bardygyny görkezýär. Aýry-aýrylykda alnan položitel we otrisatel zarýadyň güýç çyzyklary 4.7-nji suratda şekillendirilendir.



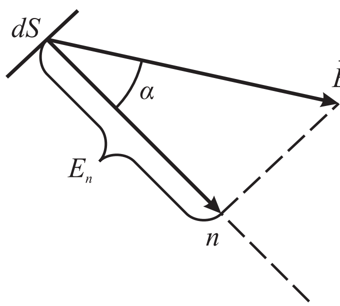
4.7-nji surat. Aýry-aýry položitel we otrisatel zarýadlaryň güýç çyzyklary

Eger güýç çyzyklarynyň gürlügi we ugry meýdanyň ähli ýerinde üýtgemeýän bolsa, şeýle meýdana birhilli meýdan diýilýär. Şeýle meýdanlar grafiki biri-birinden deň r aralykda ýerleşen parallel gönüçyzyklar görnüşinde şekillendirilip bilner.

Güýç çyzyklarynyň diňe bir meýdanyň ugruny görkezmän, onuň güýjenmesiniň hem ululygyny görkezer ýaly, çyzyklaryň sany meýdanyň $\vec{E}$ güýjenmesine san taýdan deň bolmalydyr.

Şonda dS elementar meýdançany kesip geçýän, $\vec{E}$ wektor bilen α burçy emele getirýän $\vec{n}$ normal hasaba alnanda $EdS\cos\alpha = E_n dS$. Bu ýerde $E_n - \vec{E}$ wektoryň düzüjisi. Bu ýerdäki $d\Phi_E = E_n dS = EdS$ ululyga dS meýdançanyň üstünden geçýän güýjenme wektorynyň akymy diýilýär (*4.8-nji surat*).

Bu ýerde $d\vec{S} = d\vec{S}_n$ – moduly boýunça dS-e deň bolan, ugry boýunça meýdança geçirilen $\vec{n}$ normalyň ugry bilen gabat gelýän wektordyr. $\vec{n}$ wektoryň ugry şertleýin kabul edilendir,



4.8-nji surat. *dS* meýdançadan çykýan güýjenme wektorynyň akymy

ony islendik tarapa ugrukdyrmak bolar. Islendik erkin alnan S ýapyk üsti kesip geçýän $\vec{E}$ güýjenme wektorynyň akymy şeýle kesgitlenýär:

$$\Phi_E = \oint_S E_n dS = \oint_S E dS, \qquad (4.15)$$

bu ýerde $E_n = E \cdot \cos\alpha$.

Bu ýerde integral S ýapyk üst boýunça alynýar. $\vec{E}$ wekroryň akymy algebraik ululyk bolup, ol diňe bir elektrik meýdanlarynyň konfigurasiýalaryna (özara ýerleşişlerine) bagly bolman, $\vec{n}$ normalyň saýlanyp alnan ugruna hem baglydyr.

Nokatlanç q_s synag zarýady elektrostatik meýdanda dr aralyga, onuň bir nokadyndan ikinji bir nokadyna ornuny üýtgedende F güýjüň ýerine ýetirýän elementar işiniň ululygy kesgitlemä görä şeýle tapylýar:

$$dA = Fdr \cdot \cos\alpha. \qquad (4.16)$$

Bu ýerde α – F güýç bilen zarýadyň orun üýtgetmesiniň arasyndaky burç.

Soňky aňlatmany integrirläp, q_s zarýadyň meýdanynyň a nokadyndan b nokadyna geçirilendäki (meýdan güýçleriniň garşysyna) ýerine ýetirilen işi tapýarys:

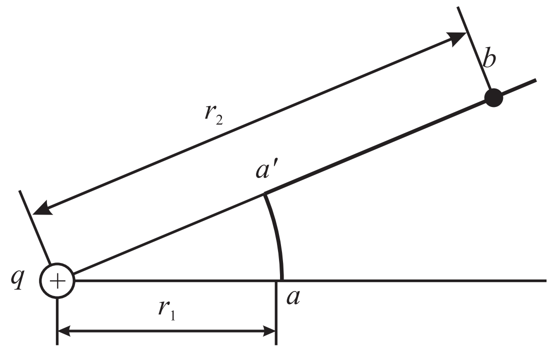
$$A = -\int_a^b Fdr \cos\alpha. \qquad (4.17)$$

Bu ýerde $F = E \cdot q_s$, ýagny synag zarýadyna güýjenmesi E bolan meýdanyň her bir nokadynda täsir edýän kulon güýji. Onda iş:

$$A = -\int_a^b Eq_s dr \cos\alpha. \qquad (4.18)$$

Goý, integrirlemegiň netijesi birlik zarýadyň a nokatdan b nokada geçirilendäki ýoluň uzaklygyna bagly bolsun diýeliň. Onda biz (4.18) formula görä, q_s zarýada A kiçi bolar ýaly gysga ýol bilen, a nokatdan b nokada geçirerdik, yzyna bolsa tersine, A uly bolar ýaly, uzynrak ýol bilen onuň ornuny üýtgederdik we netijede ilkibaşda sarp eden energiýamyzdan uly energiýany ”alardyk”. Emma, bu netije elektrostatikada energiýanyň saklanma kanunyna garşy gidýär. Şonuň üçin hem mümkin däl.

Goý, q_s synag zarýady q zarýadyň meýdanynda radiusy r_1 bolan a nokatdan radiusy r_2 bolan b nokada $aa'b$ ýol bilen süýşürilýär diýeliň (*4.9-njy surat*).



4.9-njy surat. q_s synag zarýady q zarýadyň meýdanynda süýşürilende işiň kesgitlenilişi

Bu ýerde aa' aralykda hiç hili iş ýerine ýetirilmeýär, sebäbi, zarýadyň orun üýtgetmesi elektrik meýdanynyň güýjenme wektoryna perpendikulýardyr. Diýmek, "synag" zarýady a nokatdan b nokada geçirilendäki iş

$$\int_a^b Eq_s dr = \frac{qq_s}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\int_{r_1}^{r_2}\frac{dr}{r^2} = \frac{qq_s}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right). \qquad (4.19)$$

Elektrostatiki meýdanda zarýadyň islendik çylşyrymly ýol bilen a nokatdan b nokada geçirilendigine garamazdan, ahyrynda şol bir netijä gelinýär:

$$A = -\int_a^b Eq_s dr\,. \qquad (4.20)$$

Ýagny, edilen işiň ululygy zarýadyň süýşürilen ýoluna bagly däldir.

(4.20) formuladan görnüşi ýaly, zarýad a nokatdan b nokada geçirilenindäki edilen iş synag zarýadynyň hereket edýän ýolunyň traýektoriýasyna bagly däldir, ol diňe bu nokatlaryň başlangyç we ahyrky ýagdaýlaryna baglydyr. Şonuň üçin iş şol zarýadyň potensial energiýasynyň kemelmegine deňdir, ýagny

$$A = -\Delta W = W_1 - W_2. \qquad (4.21)$$

Eger elektrostatiki meýdanda ýerine ýetirilýän iş diňe ýoluň başlangyç we ahyrky ýagdaýlaryna bagly bolsa, onda ol iki sanyň tapawudy görnüşinde aňladylyp bilner.

Islendik bir M nokady alyp q_s synag zarýadyny şol nokatdan a nokada geçirilen wagtyndaky ýerine ýetirilen işi $\varphi(a)$ bilen, M nokatdan b nokada geçirilen wagtyndakysyny – $\varphi(b)$ bilen belgiläp, (4.21) formulany şeýle görnüşde ýazyp bolar:

$$A = -\int_a^b E q_s dr = \left(\varphi(a) - \varphi(b)\right) q_s. \tag{4.22}$$

Işiň ululygy φ funksiýanyň bahalarynyň tapawudyna baglydyr.

Şu ýerdäki φ ululyk elektrostatik meýdanyň potensialydyr. Tükeniksiz daşlaşdyrylan nokadyň potensialyny nola deň diýip kabul edýärler, ýagny $\varphi_\infty = 0$.

Elektrik meýdanynyň potensialy diýip, q_s položitel zarýady tükeniksizlikden giňişligiň berlen nokadyna geçirilende onuň alýan potensial energiýasynyň şol zarýadyň ululygyna bolan gatnaşygyna deň bolan fiziki ululyga aýdylýar, ýagny

$$\varphi = \frac{W}{q_s}. \tag{4.23}$$

φ potensial skalýar ululykdyr, ol meýdanyň energetiki häsiýetnamasydyr: ol meýdanyň berlen nokadyndaky q_s zarýadyň potensial energiýasyny kesgitleýär.

(4.19) we (4.22) formulalardan q nokatlanç zarýadyň döreden meýdanynyň potensialy üçin şeýle aňlatmany alýarys:

$$\varphi = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r}. \tag{4.24}$$

Haçan-da meýdan erkin ýerleşen q_1, q_2, q_3, …, q_n zarýadlaryň toplumy tarapyndan döredilen bolsa, onuň berlen nokatdaky potensialy her bir zarýadyň aýry-aýrylykda döreden φ_1, φ_2, φ_3, …, φ_n potensiallarynyň algebraik jemine deňdir.

$$\varphi = \sum_{i=1}^{n} \varphi_i. \tag{4.25}$$

Eger $q_1, q_2, q_3, ..., q_n$ zarýadlary nokatlanç zarýadlar diýip kabul etsek, onda potensiallaryň jemi

$$\varphi = \frac{1}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{q_1}{r_1} + \frac{q_2}{r_2} + \frac{q_3}{r_3} + ... + \frac{q_n}{r_n}\right) \qquad (4.26)$$

bolar. Bu ýerde $r_1, r_2, r_3, ..., r_n$ – degişlilikde $q_1, q_2, q_3, ..., q_n$ zarýadlardan meýdanyň berlen nokadyna çenli aralyk.

Eger meýdan elektrik dipoly tarapyndan döredilen bolsa, dipolyň ortasyndan r aralykda ýerleşen onuň haýsydyr bir nokadynyň potensialy şu formula arkaly kesgitlenilýär:

$$\varphi = \frac{p}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2}\cos\alpha , \qquad (4.27)$$

bu ýerde $p = q\ell$ – dipolyň elektrik momenti (ℓ – dipolyň egni), α – dipolyň $\vec{r}$ radius-wektory bilen ℓ – egniniň arasyndaky burç ($r >> \ell$).

Nokat dipolyň okunyň üstünde ýerleşende, $\alpha = 0$:

$$\varphi = \frac{p}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r^2} .$$

Dipolyň okuna onuň ortasyndan galdyrylan perpendikulýaryň üstünde ýatan ähli nokatlaryň potensialy nola deňdir ($\varphi = 0$) sebäbi, $\alpha = 90^o$.

Eger elektrostatiki meýdanda q' zarýad a nokatdan b nokada ornuny üýtgetse, onda elektrik güýçleriniň garşysyna iş edilýär, ýagny ((4.21) we (4.22) formulalara seret):

$$A_{1,2} = W_1 - W_2 = -q'(\varphi_1 - \varphi_2). \qquad (4.28)$$

Bu ýerde φ_1 we φ_2 – meýdanyň a we b nokadyndaky potensiallary ýa-da

$$A_{2,1} = q'(\varphi_2 - \varphi_1). \qquad (4.29)$$

Ýagny, meýdanyň zarýad ornuny üýtgedende ýerine ýetirýän işiniň ululygy elektrostatiki meýdanda ornuny üýtgedýän q' zarýadyň ýoluň ahyrky φ_2 we başlangyç (φ_1) nokatlaryndaky potensiallar tapawudyna köpeldilmegine deňdir we ol ýoluň görnüşine bagly däldir.

Eger potensiallary özara deň bolan nokatlary birleşdirsek, hemme nokatlarynyň potensiallary birmeňzeş bolan üst alarys. Bu üste deň **potensially üst** ýa-da **ekwipotensial üst** diýilýär.

Elektrostatiki meýdanyň güýjenmesi bilen potensiallarynyň tapawudynyň arasynda kesgitli baglanyşyk bar.

Goý, zarýad birligi koordinatlary (x, y, z) we ($x + \Delta x, y, z$) bolan iki nokadyň arasynda ornuny üýtgetsin. Şu zarýad bir nokatdan ikinji bir nokada ornuny üýtgedende, elektrostatiki meýdanyň güýçleriniň garşysyna ýerine ýetiriljek işiň ululygy şu nokatlardaky potensiallaryň tapawudyna deňdir, ýagny

$$A_b = \varphi(x + \Delta x, y, z) - \varphi(x, y, z) = \frac{d\varphi}{dx}\Delta x \cdot$$

Ikinji bir tarapdan $A = q'\int E_S ds,$ bu ýerde $E_S - \vec{E}$ güýjenme wektorynyň orun üýtgetmäniň ugruna bolan proýeksiýasy, ds – elementar orun üýtgetme. Şuňa görä, zarýad birligi ($q' = 1$) şol bir aralykda ornuny üýtgedende ýerine ýetirilýän iş

$$A_b = -\int_x^{x+\Delta x} E dx = -E_x \Delta x.$$

Bu ýerde E_x – güýjenme wektorynyň x koordinatlar okuna proýeksiýasy.

Ýokardaky iki deňlemäniň sag taraplaryny deňleşdirip, alarys:

$$E_x = -\frac{d\varphi}{dx} \cdot \tag{4.30}$$

Şuňa meňzeşlikde, güýjenme wektorynyň y we z koordinatlar okuna bolan proýeksiýalaryny-da şeýle ýazmak bolar:

$$E_y = -\frac{d\varphi}{dy}, \qquad E_z = -\frac{d\varphi}{dz} \cdot$$

Berlen deňlemelerdäki E_x, E_y, E_z düzüji wektorlary E bilen çalşyryp, ugrukdyryjy x, y, z koordinatlaryň ýerine $\vec{n}$ normaly goýup ýazýarys:

$$E = -\frac{d\varphi}{dn} \tag{4.31}$$

ýa-da wektor görnüşinde:

$$\vec{E} = -\frac{d\varphi}{d\vec{n}} \cdot \tag{4.32}$$

Güýç çyzyklarynyň ugry boýunça potensialyň üýtgeýşiniň çaltlygyny häsiýetlendirýän $d\varphi/dn$ ululyga potensialyň gradiýenti diýilýär. Şonuň üçin öňdäki aňlatmany şeýle ýazmak bolar:

$$\vec{E} = -grad\varphi .$$

Potensiallary hemişelik φ_1 we φ_2, aralyklary d bolan, iki sany tükeniksiz parallel, zarýadlanan plastinkalaryň arasyndaky elektrostatik meýdanyň güýjenmesini kesgitläliň. Plastinkalarda zarýadlar birdeň bölünen, plastinkalaryň arasyndaky elektrostatiki meýdan birhilli. Güýç çyzyklary plastinka perpendikulýar ekwipotensial üstler olara paralleldir. (4.31) formulany ulanyp, ýazýarys:

$$E = \frac{\varphi_1 - \varphi_2}{d} = \frac{U}{d}, \tag{4.33}$$

bu ýerde $\varphi_1 - \varphi_2 = U$ – plastinkalaryň aralygyndaky potensiallaryň tapawudy. Oňa naprýaženiýe hem diýilýär.

Potensiallaryň tapawudy ýa-da naprýaženiýe elektrostatiki meýdanyň esasy häsiýetnamalarynyň biridir. Meýdanyň berlen nokadynyň potensialy diýlende hem potensiallaryň tapawudy göz öňünde tutulýar. Bu ýerde meýdanyň berlen nokadynyň potensialy bilen meýdanyň beýleki bir nokadynyň potensialy, şertleýin nol hasap edilýän nokadyň potensialy göz öňünde tutulýar (Mysal üçin, ýeriň potensialyny nol diýip kabul edýärler).

(4.33) formula laýyklykda potensial we potensiallaryň tapawudy (U elektrik naprýaženiýesi) halkara ölçeg birlikler sistemasynda

$$1W = \frac{1J}{1Kl}$$

bolýar.

Eger 1 *Kl* zarýad iki nokadyň aralygynda ornuny üýtgedende 1 *J* iş edilýän bolsa, onda bu nokatlaryň aralygyndaky potensiallaryň tapawudy 1 wolta (*W*) deňdir.

Geçirijilerde elektrik zarýadlary meýdanyň täsiri astynda erkin hereket edip bilýärler. Eger geçirijiler hökmünde suwuklyklar we gazlar ulanylsa, olarda položitel hem-de otrisatel zarýadlanan bölejikler – položitel we otrisatel ionlar we elektronlar hereket edýärler.

Suwuklyklar we gazlar adaty şertlerde elektrik zarýadlaryny ýaramaz geçirýärler. Eger-de gaz ionlaşdyrylsa, suwuklyga haýsy-da bolsa bir duzy garyp eredende, olaryň geçirijiligi artyp, oňat geçirijä öwrülýärler.

Geçirijiniň içindäki elektrik meýdanynyň güýjenmesi (daşarky elektrik meýdany bolsa-da) nola deňdir ($E = 0$). "Dielektrik" termini ilkinji gezek M.Faradeý tarapyndan girizilýär. Dielektriklere ebonit, farfor ýaly gaty jisimler, suwuklyklar (mysal üçin disilirlenen suw), gazlar degişlidir.

Ýokarda belleýşimiz ýaly, daşarky şertleriň üýtgemegi netijesinde (gyzdyrmak, radioaktiw şöhlelenme we ş.m.) dielektrikler geçirijä öwrülip bilerler.

Dielektrikleri şertleýin üç topara bölmek bolar: 1) polýar molekulaly; 2) polýar däl molekulaly; 3) kristallik.

Birinji topara suw, fenol, nitrobenzol ýaly maddalar girýärler. Bu dielektrikleriň molekulalarynyň ýerleşişi simmetrik däl, olaryň položitel we otrisatel zarýadlarynyň "massa merkezleri" gabat gelmeýärler, hat-da elektrik meýdany bolmadyk wagtynda hem olar dipolyň elektrik momentine eýedirler.

Netijede, elektrik meýdanynda ýerleşdirilen dielektrigiň bir gapdaly otrisatel, bir gapdaly bolsa položitel zarýadlanýar - dielektrik polýarlanýar. Dielektrigiň polýarlanyş derejesi onuň häsiýetine we daşky elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň ululygyna baglydyr.

Dielektrikleriň ikinji toparyna kislorod, wodorod, elektrik meýdany bolmadyk wagtynda azot, benzol, polietilen, ftoroplast ýaly maddalar degişlidir. Olaryň molekulalarynyň dipol momentleri ýokdur. Eger polýar däl molekula elektrik meýdanynda ýerleşdirilse, dürli atly zarýadlar garşylykly taraplara süýşýärler we molekulanyň dipol momenti döreýär.

Birinji topara girýän dielektrikler üçin - ugrukdyrylan polýarlanma, ikinji – elektron (ýagny esasy elektronlar süýşýärler), üçünjä – ion polýarlanmasy degişlidir. Dielektrikleri şeýle toparlara bölmeklik diňe şertleýindir. Sebäbi, real dielektriklerde birbada polýarlanmagyň ähli görnüşleriniň-de bolmagy mümkindir.

Dielektrigiň polýarlanyşyny häsiýetlendirmek üçin polýarlanyş diýilýän ululyk girizilýär. Ol dielektrigiň elementiniň elektrik momentiniň jeminiň bu elementiň göwrümine bolan gatnaşygyna deňdir:

$$\vec{p} = \frac{\sum_{i=1}^{n} \vec{p}_i}{V}.$$

Bu ýerde p_i – molekulalaryň dipol momentiniň wektory, n – dielektrigiň V göwrümdäki dipol molekulalarynyň sany, $\vec{p}$ – polýarlanma wektory. Polýarlanma wektorynyň ölçeg birligi – Kl/m^2.

Izotrop dielektrikleriň polýarlanma wektory onçakly uly bolmadyk E-de onuň içindäki meýdanyň güýjenmesine proporsionaldyr:

$$\vec{p} = \chi \varepsilon_0 \vec{E},$$

bu ýerde χ – maddanyň dielektrik kabul edijiligi. Ol maddanyň gurluşyna we temperaturasyna bagly bolan ölçegsiz ululykdyr.

Olar geçirijilerdäki erkin zarýadlar ýaly, maddanyň bütin göwrümi boýunça erkin süýşüp bilmeýärler. Şonuň üçin hem olara baglanşykly zarýadlar diýilýär.

Dielektrigiň içindäki jemleýji meýdanyň güýjenmesi:

$$E = E_0 - E'.$$

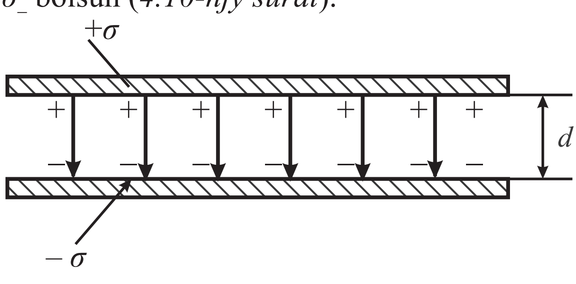
E netijeleýji meýdanyň güýjenmesi gurşawyň elektrik häsiýetine baglydyr we dielektrige goýlan daşarky meýdanyň güýjenmesine proporsionaldyr.

$$E = E_0/\varepsilon.$$

Gurşawyň dielektrik syzyjylygy $\varepsilon = E_0/E$. Bu ululyk wakuumdaky meýdanyň güýjenmesiniň dielektrigiň içindäkä garanynda näçe esse uludygyny görkezýär. ε ölçeg birliksiz ululykdyr.

Elektrostatiki maşynyň kömegi bilen iki sany golaý duran geçirijini zarýadlandyryp başlanymyzda olaryň biri +(q) zarýady, beýlekisi – (q) zarýady alýar. Iki geçirijiniň arasynda elektrik meýdany döreýär. Olaryň arasynda potensiallar tapawudy artyp başlaýar. Geçirijilerde toplanýan zarýadlaryň sanynyň köpeldigiçe, olaryň arasyndaky naprýaženiýe-de artýar we geçirijileriň arasynda uçgun döräp, olar zarýadsyzlanyp başlaýar.

Goý, iki sany, her haýsynyň meýdany S bolan, parallel ýerleşdirilen metal plastinalar berlen bolsun. Plastinalaryň aralygynda dielektrik syzyjylygy ε bolan dielektrik gatlagy ýerleşen. Ýokarky plastinada $+q$, aşakyda $-q$ zarýadlar toplanýar diýeliň. Olar plastinkalaryň içki üstlerinde bir hilli bölünen. Zarýadlaryň üst dykyzlygy degişlilikde σ_+ we σ_- bolsun (*4.10-njy surat*).



4.10-njy surat. Parallel plastinalaryň elektrik meýdany

Goý, bir plastinanyň potensialy φ_1, beýlekisininíki φ_2 bolsun. Potensiallar tapawudyna deň bolan $U = \varphi_1 - \varphi_2$ naprýaženiýäniň, E meýdanyň güýjenmesiniň we plastinkalaryň (*4.10-njy surat*) aralygyndaky d uzaklygyň şeýle baglanyşygy bar:

$$U = E \cdot d.$$

Ikinji tarapdan, iki plastinkanyň arasyndaky meýdanyň güýjenmesi (öň belleýşimiz ýaly)

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0}$$

ululyga deň. Zarýadlaryň $\sigma = q/S$ üst dykyzlygyny hasaba almak bilen, ýazýarys:

$$U = E \cdot d = \frac{\sigma}{\varepsilon\varepsilon_0} d = \frac{d}{\varepsilon\varepsilon_0}\frac{q}{S} \qquad (4.34)$$

ýa-da

$$U = \frac{q}{\varepsilon\varepsilon_0 S / d}.$$

Indi $\varepsilon\varepsilon_0\, S/d$ gatnaşygy C bilen bellesek, onda

$$U = \frac{q}{C} \qquad (4.35)$$

ýa-da

$$q = CU$$

bolar. (4.34) formuladan görnüşi ýaly, plastinkalaryň arasyndaky U naprýaženiýe q zarýada proporsionaldyr.

Bu ýerdäki C proporsionallyk koeffisiýentine **geçirijiniň sygymy** (ýa-da elektrik sygymy) diýilýär.

Iki sany geçiriji plastinkalardan ybarat bolan sistema tekiz kondensator diýilýär. Tekiz kondensatoryň sygymy (4.35) formula görä, şeýle bolar:

$$C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d}. \qquad (4.36)$$

Kondensatoryň sygymy onuň plastinkalarynyň (obkladkalarynyň) S meýdanyna, olaryň aralygynyň uzaklygyna, dielektrigiň hiline baglydyr.

Her bir aýry-aýrylykda alnan jisimiň hem elektrik sygymy bardyr. Mysal üçin dielektrik syzyjylygy ε bolan, tükeniksiz gurşawda ýerleşen, R radiusly, ýekelikde ýerleşen metallik sferanyň elektrik sygymy:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = 4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R. \qquad (4.37)$$

Bu ýerde ikinji tekizlige (obkladka) tükeniksiz radiusly sfera hökmünde seretmek bolar. Onda $\varphi_2 = \varphi_\infty = 0$ ýa-da $\varphi_1 = q/(4\pi\varepsilon\varepsilon_0 R)$.

Halkara ölçeg birlikler sistemasynda sygym birligi deregine Kl/W kabul edilendir. Bu birlige **farad** diýilýär.

Farad diýip, 1 Kl zarýad berlende potensialy 1W artýan geçirijiniň sygymyna aýdylýar, ýagny

$$1F = \frac{1Kl}{1W} = 9 \cdot 10^{11} sm.$$

Soňky gatnaşykdan görnüşi ýaly, radiusy $9 \cdot 10^{11}$ sm bolan, wakuumda ýerleşdirilen şaryň sygymy 1 farada deňdir (Ýeriň radiusy $6{,}371 \cdot 10^8$ sm, elektrik sygymy $C \approx 0{,}7$ mF).

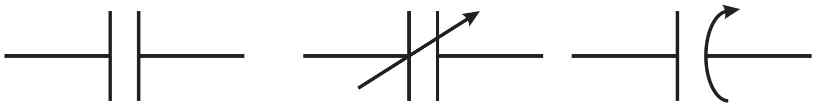
Şeýlelikde farad – örän uly ulylyk, şonuň üçin onuň ülüşlerinden peýdalanýarlar: millifarad (mF), mikrofarad (mkF), nanofarad (nF) we pikofarad (pF): $1mF = 10^{-3}F$, $1mkF = 10^{-6}F$, $1nF = 10^{-9}F$, $1pF = 10^{-12}F$ we ş.m.

Kondensatoryň iň ýönekeý görnüşlerinden biri – biri-birine golaý ýerleşdirilen we aralygy dielektrik gatlagy bilen bölünen birmeňzeş iki sany parallel tekizliklerden (plastinalardan) ybaratdyr. Şeýle görnüşli kondensatora tekiz kondensator diýilýär. Kondensatoryň aýry-aýrylykdaky plastinalaryna onuň obkladkalary diýilýär (*4.10-njy surat*). Kondensatorlar zarýadlananda onuň obkladkalaryndaky toplanan zarýadlar modullary boýunça birmeňzeş, emma alamatlary boýunça garşylyklydyrlar. Şeýle tekiz kondensatorlarda elektrik meýdanynyň güýç çyzyklary onuň položitel zarýadlanan obkladkasynda başlanýar we otrisatel zarýadlanan obkladkasynda gutarýar. Şonuň üçin elektrik meýdanynyň ählisi diýen ýaly kondensatoryň içinde ýerleşendir. Şeýle kondensatoryň sygymy (4.36) formula bilen kesgitlenilýär.

Kondensatorlaryň tehnikada dürli görnüşleri ulanylýarlar: tekiz, silindr, sfera görnüşleri. Olaryň obkladkalarynyň arasyndaky dielektrik hökmünde ulanylýan gurşawyň tebigatyna baglylykda: howa, kagyz, slýuda, keramika, elektrolit kondensatory bardyrlar.

Kondensatorlar hemişelik, üýtgeýän we ýarym üýtgeýän sygymly bolup bilýär.

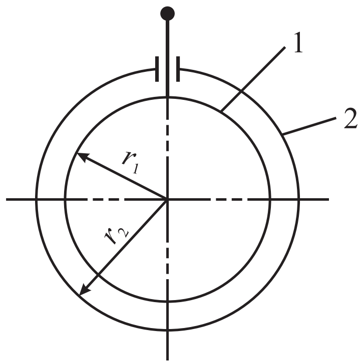
Kondensatorlaryň çyzgylarda belgilenişi 4.11-nji suratda görkezilendir.



4.11-nji surat. Kondensatorlaryň çyzgylarda belgilenişleri

Bu ýerde *a* – hemişelik sygymly kondensator, *b* – üýtgeýän, *ç* – ýarym üýtgeýän sygymly kondensatorlardyr. Kondensatorlar radiokabuledijilerde, telewizorlarda, tehnikanyň dürli pudaklarynda giňden ulanylýar.

a. *Sferik* (*şar*) *kondensator*. Sferik kondensator – radiuslary degişlilikde r_1 we r_2 bolan özara konsentrik sferalardyr (*4.12-nji surat*).



4.12-nji surat. Sferik kondensatoryň sygymynyň kesgitlenilişi

Şeýle kondensatorlarda meýdan tutuşlygyna kondensatoryň içinde jemlenendir. 1 we 2 konsentrik sferalaryň aralygy dielektrikden doldurylandyr. Kondensatoryň daşynda $E = 0$, sebäbi, kondensatoryň içki we daşky obkladkalarynyň döreden meýdanlary biri-birlerini kompensirleýärler. Obkladkalaryň aralygyndaky meýdany diňe birinji zarýadlanan sfera döredýär. (4.24) formula laýyklykda, kondensatoryň obkladkalarynyň arasyndaky potensiallar tapawudy

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right).$$

Şeýlelikde, sferiki kondensatoryň elektrik sygymy

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\frac{q}{4\pi\varepsilon\varepsilon_0}\left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2}\right)} = \frac{4\pi\varepsilon\varepsilon_0 r_1 r_2}{r_2 - r_1}. \qquad (4.38)$$

(4.38) formuladan görnüşi ýaly, sferik kondensatoryň sygymy obkladkalaryň arasyndaky gurşawyň dielektrik syzyjylygyna göni proporsionaldyr.

b. Silindrik kondensator. Uzynlyklary l we radiuslary r_1 hem r_2 bolan, biri-biriniň içinde ýerleşen iki sany umumy okuň daşynda ýerleşdirilen (koaksial) silindrlerden ybaratdyr.

Zarýadlanan silindriň okundan r_1 we r_2 aralykda ýerleşen iki sany nokadyň aralygyndaky potensiallar tapawudy

$$\varphi_1 - \varphi_2 = \int_{r_1}^{r_2} E dr = \int_{r_1}^{r_2} \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \frac{dr}{r} = \frac{\tau}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0} \ln\frac{r_2}{r_1}, \qquad (4.39)$$

bu ýerde $\tau = \frac{q}{l}$ – silindriň zarýadynyň çyzyk dykyzlygy; l – obkladkalaryň uzynlygy.

(4.39) formuladan potensiallar tapawudynyň bahasyny ornuna goýup, alarys:

$$C = \frac{q}{\varphi_1 - \varphi_2} = \frac{q}{\frac{q}{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l} \ln\frac{r_2}{r_1}} = \frac{2\pi\varepsilon\varepsilon_0 l}{\ln\frac{r_2}{r_1}}. \qquad (4.40)$$

Eger ýekelikde ýerleşdirilen geçirijiniň q zarýady bar bolsa, onuň töwereginde elektrostatiki meýdan döreýär. Goý, geçirijiniň üstüniň potensialy φ bolsun. Indi, geçirijiniň zarýadyny dq ululykça ulaldalyň. dq zarýady tükeniksizlikden meýdanyň berlen nokadyna geçirmek üçin dA işi ýerine ýetirmeli, ýagny:

$$dA = dq\,(\varphi - \varphi_\infty).$$

Emma, berlen geçirijiniň elektrostatik meýdanynyň potensialy tükeniksizlikde nola deňdir ($\varphi_\infty = 0$), onda

$$dA = \varphi dq = \frac{q}{C} dq. \qquad (4.41)$$

Bu zarýady geçirijiden tükeniksizlige geçirmek üçin hem elektrostatik meýdanyň güýçleri şu ýokardaky dA işe deň bolan işi ýerine ýetirýär. Şeýlelikde, geçirijiniň zarýadyny dq ululyga köpeldenimizde, meýdanyň potensial energiýasy artýar, ýagny

$$dW = dA = \frac{q}{C} dq. \qquad (4.42)$$

(4.42) formulany integrirläp, zarýadlanan geçirijiniň zarýadynyň 0-dan q çenli artanyndaky elektrostatiki meýdanyň potensial energiýasyny tapýarys:

$$W = \int_0^q \frac{1}{C} q dq = \frac{q^2}{2C}. \tag{4.43}$$

$\varphi = \dfrac{q}{C}$ gatnaşygy göz öňünde tutup, meýdanyň potensial energiýasyny şeýle formulalaryň üsti bilen aňlatmak bolar:

$$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}; \qquad W = \frac{1}{2}C\varphi^2; \qquad W = \frac{1}{2}q\varphi \tag{4.44}$$

bu ýerde q – geçirijiniň zarýady, C – onuň elektrik sygymy.

Eger elektrostatiki meýdan birnäçe q_i nokatlanç zarýadlar toplumy tarapyndan döredilen bolsa, onda onuň energiýasy:

$$W = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{i=n-1} q_i \varphi_i \tag{4.45}$$

bu ýerde φ_i – (q_i – zarýaddan başga) (n – 1) zarýadlar tarapyndan q_i zarýadyň ýerleşen nokadynda döredilen meýdanyň potensialy.

Zarýadlanan kondensator üçin potensiallar tapawudynyň $U = \dfrac{q}{C}$ deňligi hasaba alyp, onuň elektrostatik meýdanynyň doly energiýasyny tapýarys:

$$W = \frac{1}{2}\frac{q^2}{C}; \qquad W = \frac{1}{2}CU^2; \qquad W = \frac{1}{2}Uq.$$

Bu formulalary kondensatorlaryň obkladkalary nähili formada bolsalar-da, ulanyp bolýar.

$$W_P = \frac{W}{V}. \tag{4.46}$$

Energiýanyň göwrüm dykyzlygynyň birligi − 1 J/m^3.

Mysal üçin, tekiz kondensatoryň energiýasynyň göwrüm dykyzlygyny kesgitläliň: kondensatoryň göwrümi − $V = S \cdot d$

bu ýerde: S – plastinanyň meýdany, d – olaryň arasyndaky uzaklyk, onda

$$W_P = \frac{W}{Sd} = \frac{1}{2}\frac{CU^2}{Sd}, \quad \text{emma} \quad C = \frac{\varepsilon\varepsilon_0 S}{d} \quad \text{we} \quad E = \frac{U}{d}$$

gatnaşyklary göz öňünde tutup, ýazýarys:

$$W_P = \frac{1}{2}\frac{\varepsilon\varepsilon_0 SU^2}{d^2 S} = \frac{1}{2}\varepsilon\varepsilon_0 E^2 \qquad (4.47)$$

ýa-da

$$W_P = \frac{1}{2}ED = \frac{1}{2}\frac{D^2}{\varepsilon\varepsilon_0}, \qquad (4.48)$$

bu ýerde E – dielektrik syzyjylygy ε bolan gurşawdaky elektrostatiki meýdanyň güýjenmesi; $D = \varepsilon\varepsilon_0 E$; $\vec{D}$ – elektrik süýşme wektory.

Janly organizmleriň dürli bölekleriniň arasynda ýüze çykýan potensiallar tapawudyna **biopotensiallar** diýilýär.

Membrana biopotensiallary öýjügiň (kletkanyň) içindäki we daşyndaky kaliý ionlarynyň konsentrasiýalarynyň gatnaşygy boýunça kesgitlenýär:

$$E_m = -\frac{RT}{F}\cdot \ln\frac{[K^+]_i}{[K^+]_d}.$$

Bu ýerde R – uniwersal gaz hemişeligi, F – Faradeýiň sany.

Öýjügiň dynçlyk potensialy E_m boýunça dokumanyň kesellerini kesgitlemek bolýar (mysal üçin, çişli dokumalaryň potensial tapawutlary sag dokumalaryňkydan tapawutlanyp, wodorod ionlarynyň gatnaşygy boýunça kesgitlenip bilner).

4.2. Hemişelik toguň kanunlary

Elektrik zarýadynyň bir tarapa tertipli hereketine **elektrik togy** diýilýär. Metallardaky elektrik togy elektronlaryň ugrukdyrylan hereketidir.

Suwuklyklardaky elektrik togy – elektronlaryň, položitel we otrisatel ionlaryň, gazlardaky bolsa – ionlaryň hereketidir. Toguň ugry deregine položitel zaryadlanan bölejikleriň hereketiniň ugry kabul edilen. Emma bu ugur metallardaky elektrik togunuň hakyky ugry bilen gabat gelmeýär.

Geçirijiniň kese-kesiginden wagt birliginde akyp geçýän elektrik zarýadynyň mukdaryna san taýdan deň bolan fiziki ululyga toguň güýji diýilýär. Ýagny

$$I = \frac{dq}{dt}. \qquad (4.49)$$

Eger islendik deň wagt aralygynda geçirijinin islendik kese-kesiginden şol bir mukdardaky elektrik zarýady geçýän bolsa, hem-de olaryň hereketleriniň ugurlary üýtgemeýän bolsa, şeýle toga hemişelik tok diýilýär, onda

$$I = \frac{q}{t}.$$

Halkara birlikler sistemasynda tok guýjüniň birligi esasy birlikdir, oňa amper diýilýär we ol birlik iki sany parallel tokly geçirijileriň özara tasirinden kesgitlenilýär (Biz oňa toklaryň magnit täsirini öwrenimizde seretjekdiris). (4.49) formuladaky zarýad birligi

$$[q] = [I][t] = A \cdot s = Kl.$$

Tok güýjüniň geçirijiniň kese-kesiginiň meýdanyna bolan gatnaşygyna toguň dykyzlygy diýilýär, ol şeýle formula bilen kesgitlenýär:

$$j = \frac{dI}{dS}.$$

Eger tok hemişelik bolsa, onda toguň dykyzlygy hem üýtgemeýär, ýagny

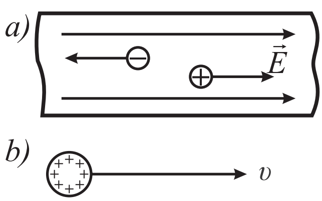
$$j = \frac{I}{S} = \frac{q}{S \cdot t}.$$

Toguň dykyzlygy wektor ululykdyr we ol položitel zarýadlaryň tizliginiň ugry boýunça ugrukdyrylandyr:

$$\vec{j} = en\vec{\upsilon}.$$

Elektrik togunyň görnüşleri:

a) Eger geçirijide daşky elektrik meýdanyny döretsek we ony saklasak, onda geçirijiniň içinde zarýadlanan ummasyz köp bölejikler herekete geler: (*4.13-nji surat*) položitel zarýadlar – meýdanyň ugruna baka otrisatel zarýadlar bolsa, meýdanyň garşysyna (*4.13-nji a surat*) tertipli hereket ederler, ýagny geçirijide elktrik togy dörär. Şeýle toga geçiriji tok diýilýär. Geçiriji togy döretmek üçin ýapyk elektrik zynjyry we tok çeşmesi gerek.



4.13-nji surat. Elektrik meýdany döredilen geçirijilerde zarýadlaryň hereketleriniň ugurlary

b) Goý, zarýadlanan makroskopik jisim, mysal üçin, şar (*4.13-nji b surat*) giňişlikde ornuny üýtgetsin. Şar bilen bilelikde onuň içindäki ähli zarýadlanan bölejikler-de orunlaryny üýtgedýärler we olaryň tertipleşdirilen (ugrukdyrylan) hereketi döreýär, elektrik togy ýüze çykýar. Şeýle toga konweksiýa togy diýilýär.

ç) Eger zarýadlanan bölejikler daşky elektrik meýdanynyň täsiri astynda wakuumda hereket edýän bolsalar, şeýle toga wakuumdaky tok diýilýär.

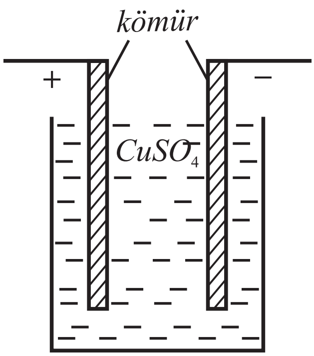
Elektrik togunyň tasirleri. Elektronlaryň we ionlaryň hereketini biz gözümiz bilen görüp bilmeýäris. Emma, olaryň hereketleriniň tasiri astynda ýüze çykýan käbir hadysalara seredip, elektrik togunyň barlygy we onuň ululygy barada aýdyp bileris.

a) *Toguň magnit tasiri.* 1820-nji ýylda Kopengagenli professor Ersted geçirijiden tok akanda, onuň golaýynda ýerleşdirilen magnit peýkamjagazyna täsir edýändigini açdy. Sebäbi, tokly geçirijiniň töwereginde magnit meýdany döreýär. Ol hem belli bir güýç bilen magnit peýkamjagazyna täsir edýär. Toguň magnit täsiri hazirki wagtda magnitelektrik enjamlarynyň kömegi bilen tok güýjüni ölçemekde ulanylýar.

b) *Toguň himiki täsiri*. Oňa ýönekeý tejribäniň üsti bilen göz ýetirmek bolar. Mis kuporosynyň ($CuSO_4$) suwly erginine iki sany kömür sterženini (taýajyklary) salalyň (*4.14-nji surat*) we ony galwaniki elementiň ýa-da akkumulýatoryň uçlaryna (polýuslaryna) birleşdireliň. Birnäçe minut geçenden soňra, sterženleri erginiň içinden çykaralyň. Biz akkumulýatoryň otrisatel polýusyna birikdirilen sterženiň ýüzünde mis gatlagynyň emele gelendigini göreris. Beýleki tok çeşmesiniň položitel polýusyna birleşdirilen steržene SO_4 galyndysy çökýär. Emma, suwa galtaşanda ol toguň barlygyna bagly bolmazdan, reaksiýa girýär:

$$2SO_4 + 2H_2O = 2H_2SO_4 + O_2.$$

Erginde kükürt kislotasy emele gelýär, kömür sterženinde bolsa gaz görnüşinde kislorod bölünýär.



4.14-nji surat.
Toguň himiki tasiri

ç) *Toguň ýylylyk täsiri.* Elektrik togy geçende geçiriji gyzýar. Metal geçirijiniň üstünden kesgitli tok güýjüni geçirip, ony gerek bolan temperatura çenli gyzdyrmak bolar. Elektrik pejiniň we ýylylyk galwanometrleriniň işleýiş prinsipleri şu häsiýete esaslanandyr. Ýagny, olarda okislenmeýän maýyşgak metal geçirijiler bolup, onuň üstünden ölçeniljek bolýan tok goýberilýär, geçirijiniň uzynlygyna giňelişi boýunça hem toguň ululygyny kesgitleýärler.

Togy hemişelik saklamak üçin ulanylýan ýörite gurluşlara tok çeşmeleri diýilýär.

Tok çeşmesi hökmünde galwaniki elementleri, akkumulýatorlary, termoelementleri, elektrik generatorlaryny… ulanýarlar. Tok çeşmesi toguň hemişelik bolmagy üçin şarjagazlaryň arasynda hemişelik potensiallar tapawudyny saklamakdan başga-da, elektrik zynjyryny utgaşdyryp, ikinji meseläni-de çözýär. Ýapyk zynjyr boýunça zarýadlaryň dyngysyz hereketini döredýär.

Tok çeşmesiniň iki polýusy (uçlary) bardyr: ýokary potensially – položitel we aşak potensially – otrisatel. Daşky zynjyr açyk bolan wagtynda onuň otrisatel polýusynda elektronlar agdyklyk edýärler, položitel polýusynda bolsa ýetmezçilik edýärler. Tok çesmesinde zarýadlaryň bölünmesi daşgary güýçleriň kömegi bilen bolup geçýär. Zynjyr utgaşdyrylanda, tutuş zynjyrda elektrik meýdany döreýär. Çeşmäniň içinde zarýadlar daşgary guüýçleriň täsiri astynda kulon güýçleriniň garşysyna (položitel zarýadlar – plýusdan minusa tarap) hereket edýärler, galan ähli zynjyrda bolsa olary elektrik meýdany herekete getirýär (Zarýadlanan bölejiklere elektrostatik häsiyetli – kulon güýçlerinden başga täsir edýän güýçleriň ählisine daşgary güýçler diýilýär).

Daşgary güýçler tebigaty boýunça mehaniki, himiki, ýylylyk, biologiki we ş.m. hadysalar bilen bagly bolup, dürli-dürlüdirler. Mysal üçin, galwaniki elementlerde we akkumulýatorlarda zarýadlaryň bölünmegi himiki reaksiýanyň, hemişelik toguň generatorlarynda elektromagnit induksiýa hadysasynyň esasynda bolup geçýär.

Geçirijiden akyp geçýän tok güýjüniň ululygy bilen, onuň uçlaryndaky potensiallar tapawudynyň, ýagny naprýaženiýäniň arasynda baglanyşyk bar. Bu baglanyşygy nemes fizigi G.Om (1787-1854) ilkinji bolup tejribe arkaly ýüze çykarypdyr, ýagny birhilli (tok çeşmesi bolmadyk) metal geçirijiden akyp geçýän toguň ululygy onuň ahyrlaryndaky naprýaženiýä göni proporsionaldyr:

$$I = \frac{U}{R}. \tag{4.50}$$

Bu ýerde R – geçirijiniň elektrik garşylygy.

(4.50) deňlemä zynjyr bölegi üçin Omuň kanuny diýilýär: geçirijidäki toguň güýji onuň uçlaryna goýlan naprýaźeniýä göni proporsionaldyr we onuň garşylygyna ters proporsionaldyr. (4.50) formula garşylyk birligini kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Garşylyk birligi omlarda (*Om*) ölçenilýär: 1 *Om* – geçirijiniň uçlaryndaky naprýaźeniýe 1*W* bolanda ondan ululygy 1*A* bolan hemişelik tok akyp geçen wagtyndaky garşylygydyr.

$$\gamma = 1/R$$

ululyga geçirijiniň elektrik geçirijiligi diýilýär. Geçirijiligiň birligi – simensdir (*Sm*). 1 *Sm* – elektrik zynjyrynyň garşylygy 1 *Om* bolan zynjyr böleginiň geçirijiligidir.

Geçirijiniň garşylygy onuň ölçeglerine, formalaryna hem-de onuň taýýarlanylan materialyna baglydyr. Silindr görnüşindäki geçirijiniň R garşylygy onuň uzynlygyna göni proporsionaldyr we kese-kesiginiň S meýdanyna ters proporsionaldyr:

$$R = \rho \frac{l}{S}. \tag{4.51}$$

Bu ýerde ρ – geçirijiniň materialyny häsiýetlendirýän proporsionallyk koeffisiýentidir. Oňa udel elektrik garşylygy diýilýär. Udel elektrik garşylygynyň birligi – Om·metr (*Om·m*). Iň kiçi udel elektrik garşylykly materiallara kümüş (ρ = 1,6·10^{-8} *Om·m*) we mis (ρ =1,7·10^{-8} *Om·m*) girýär. Praktikada elektrik geçirijileri hökmünde mis simleri bilen bir hatarda, udel garşylygynyň mise görä uludygyna garamazdan (ρ = 2,6 · 10^{-8} *Om·m*) alýuminiý simleri hem ulanylýar.

Garşylyk üçin ýazylan (4.51) formulany (4.50) formulada ornuna goýup, Omuň kanunyny differensial görnüşinde ýazyp bolýar:

$$\frac{I}{S} = \frac{1}{\rho}\frac{U}{l}.$$

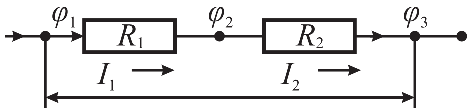
Bu ýerde udel garşylyga ters bolan ululyga $\gamma = \frac{1}{\rho}$ geçirijiniň *udel elektrik geçirijiligi* diýilýär. Onuň birligi – metrde simens (*Sm*/*m*). Gecirijidäki elektrik meýdanynyň güýjenmesiniň $U/l = E$ bolýandygyny we toguň dykyzlygynyň $j = \frac{I}{S}$ deňdigini hasaba alyp, soňky formulany (Omuň kanunynyň differensial görnüşinde) şeýle ýazmak bolar:

$$j = \gamma E. \tag{4.52}$$

(4.52) formula Omuň kanunynyň differensial görnüşinde ýazylyşydyr. Bu formula geçirijiniň içindäki islendik nokadyň togunyň dykyzlygyny, şol nokatdaky elektrik meýdanynyň güýjenmesi bilen baglanyşdyrýar.

Praktikada elektrik zynjyryny birnäçe geçirijilerden düzmeli bolýar. Şol zynjyrda, öňde goýlan maksada görä, geçirijiler biri-birleri bilen esasy iki usulda – parallel we yzygiderli birikdirilýärler.

a) Goý, iki geçiriji yzygiderli birikdirilen bolsun (*4.15-nji surat*). Şol bir berlen wagtyň dowamynda iki geçirijiniň üstünden-de şol bir zarýadyň ululygy geçýär, ýagny $I_1 = I_2 = I$. Birinji geçirijidäki naprýaźeniýäniň peselmesi $U_1 = \varphi_1 - \varphi_2$ we ikinjidäki $U_2 = \varphi_2 - \varphi_3$.



4.15-nji surat. Geçirijileriň yzygiderli birikdirilişi

Zynjyr bölegi üçin Omuň kanunyndan ýazýarys:

$$I_1 = \frac{U_1}{R_1}; \qquad I_2 = \frac{U_2}{R_2}.$$

Şu ýerden R_1 – garşylykdaky naprýaźeniýäniň peselmesi

$$U_1 = I_1 R_1 = IR_1.$$

R_2 garşylykdaky

$$U_2 = I_2 R_2 = IR_2.$$

Soňky iki deňligi goşup, alýarys:

$$U_1 + U_2 = IR_1 + IR_2 = I(R_1 + R_2).$$

Emma, $U_1 + U_2 = \varphi_1 - \varphi_2 = U$, şeýlelikde

$$U = I(R_1 + R_2).$$

n sany yzygiderli birleşdirilen geçirijilerden ybarat bolan zynjyryň umumy naprýaźeniýesi

$$U = I(R_1 + R_2 + \ldots + R_n)$$

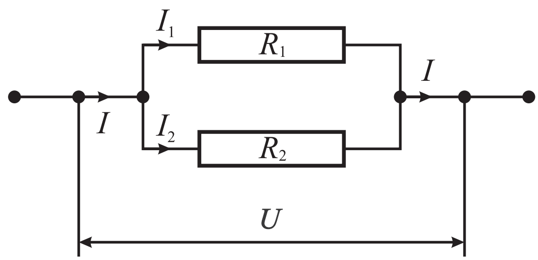
ýa-da garşylygy

$$R = R_1 + R_2 + \ldots + R_n. \tag{4.53}$$

(4.53) formuladan görnüşi ýaly, geçirijiler yzygiderli birikdirilende, olaryň umumy garşylygy geçirijileriň garşylyklarynyň jemine deňdir.

b) Gecirijiler parallel birikdirilende (*4.16-njy surat*) R_1 we R_2 garşylykly geçirijileriň ikisinde-de napršaženiýäniň peselmesi bir-birine deň bolýar, ýagny $U = U_1 = U_2$, emma, olaryň üstünden geçýän toklar R_1 we R_2-niň ululygyna baglydyr. Şonuň üçin umumy tok

$$I = I_1 + I_2 \qquad \text{ýa-da} \qquad I = I_1 + I_2 = \frac{U}{R_1} + \frac{U}{R_2} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$



4.16-njy surat. Gecirijileriň parallel birikdirilişi

Elektrik zynjyrynyň ähli böleklerindäki toguň ululygyny şeýle ýazýarys:

$$I = \frac{U}{R},$$

bu ýerde R – parallel birleşdirilen geçirijileriň umumy garşylygy. Onda:

$$\frac{U}{R} = U\left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}\right).$$

Şu ýerden

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2}.$$

Şular ýaly n sany geçirijiler parallel birikdirilenlerinde

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \ldots \frac{1}{R_n} \qquad (4.54)$$

ýagny, parallel birikdirilen geçirijileriň umumy geçirijiligi olaryň aýry-aýrylykda alnan geçirijilikleriniň jemine deňdir.

Praktikada has çylşyrymly (şahalanan) elektrik zynjyrlaryna köp gabat gelinýär. Elektrik zynjyryndaky ululyklary kesgitlemek üçin nemes fizigi G.Kirhgofyň (1824-1887) hemişelik toguň esasy kanunlaryna daýanýan kanunlaryny ulanmaklyk, meseläni ýeňilleşdirýär. Şeýlelikde, Omuň kanunynyň umumylaşdyrylan görnüşi bolan bu kanunlar iş ýüzünde islendik çylşyrymly zynjyryň ululyklaryny hasaplamaga mümkinçilik berýär.

Kirhgofyň iki kanuny (düzgüni) bar.

Şahalanýan elektrik zynjyrynyň islendik nokadynda üçden az bolmadyk tokly geçirijiler birleşen bolsalar, şeýle nokatlara **düwünler** diýilýär. Şunlukda, zynjyryň düwünine gelýän toklar položitel, düwünden çykýan toklar bolsa otrisatel hasap edilýär.

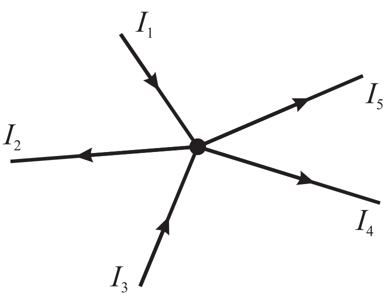
Kirhgofyň birinji kanuny: Elektrik zynjyrynyň düwünindäki toklaryň algebraik jemi nola deňdir: $\sum_{i=1}^{n} I_i = 0$. (4.55)

Mysal üçin, 4.17-nji suratdaky toklar üçin Kirhgofyň birinji kanuny şeýle ýazylýar:

$$I_1 - I_2 + I_3 - I_4 - I_5 = 0$$

ýa-da:

$$I_1 + I_3 = I_2 + I_4 + I_5.$$

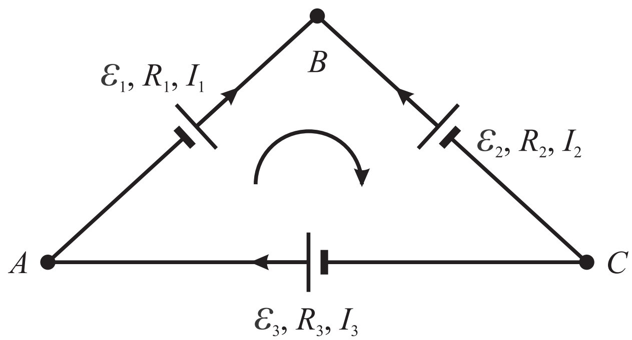


4.17-nji surat. Düwündäki toklaryň şekillendirilişi

Kirhgofyň birinji kanuny elektrik zarýadynyň saklanma kanunyndan gelip çykýar. Dogrudan-da, şol kanuna görä, geçirijiniň hiç bir nokadynda zarýadlaryň toplanmagy we ýok bolmagy bolmaly däldir. Ýagny, wagt birliginde zynjyryň düwünine gelýän we ondan çykýan elektrik zarýadlarynyň mukdary biri-birine deňdir.

Kirhgofyň ikinji kanuny Omuň kanunynyň çylşyrymly elektrik zynjyrlary üçin umumylaşdyrylmagyndan alnyp, ol energiýanyň saklanma kanunyna esaslanandyr. Üç bölekden düzülen kontura (ýapyk zynjyra) seredeliň (*4.18-nji surat*).

Elektrik zynjyryny derňemek üçin ilki bilen konturyň aýlanma ugruny kesgitleýäris, onda islendik bir ugry (sagat dilinin ugry boýunça bolsun, ýa-da tersine, tapawudy ýok) položitel ugur hökmünde kabul edýäris.



4.18-nji surat. Ýapyk elektrik zynjyry (kontur)

Goý, biziň seredýän konturymyzda aýlanma ugry sagat diliniň ugruna bolsun. Haýsy toklar ugurlary boýunça konturyň aýlanma ugry bilen gabat gelseler, $I_i R_i$ köpeltmek hasyly položitel alamaty bilen, eger-de tersine bolsalar, otrisatel alamaty bilen alynýarlar. Konturda aýlanma ugry onuň potensialynyň ýokarlaýan ugruna gabat gelse (ýagny otrisatel polýusyndan položitele), tok çeşmesiniň EHG-si položitel hasap edilýär, tersine – otrisatel.

Şu düzgünden peýdalanyp, konturdaky uçastoklar (şahalar) üçin Omuň kanunyny ýazalyň:

$$\begin{cases} I_1 R_1 = \varphi_A - \varphi_B + \mathcal{E}_1 \\ -I_2 R_2 = \varphi_B - \varphi_C - \mathcal{E}_2 \\ I_3 R_3 = \varphi_C - \varphi_A + \mathcal{E}_3 \end{cases}.$$

Deňlemeleri agzama-agza goşup, alarys:

$$I_1 R_1 - I_2 R_2 + I_3 R_3 = \mathcal{E}_2 - \mathcal{E}_2 + \mathcal{E}_3. \qquad (4.56)$$

(4.56) deňleme Kirhgofyň ikinji kanunyny aňladýar.

Islendik ýapyk konturyň şahalanan elektrik zynjyryndaky I_i tok güýjüniň şu konturyň degişli böleklerindäki R_i garşylyga köpeltmek hasylynyň algebraik jemi, şu konturda bar bolan $\mathcal{E}_K$ elektrik hereketlendiriji güýçleriniň algebraik jemine deňdir:

$$\sum_{i=1}^{n} I_i R_i = \sum_{k=1}^{m} \mathcal{E}_k \, . \qquad (4.57)$$

Hemişelik toguň çylşyrymly (şahalanan) elektrik zynjyrlary Krihgofyň kanunlary ulanylyp hasaplanylanda, şu aşakdaky düzgünleri göz önünde tutmaly:

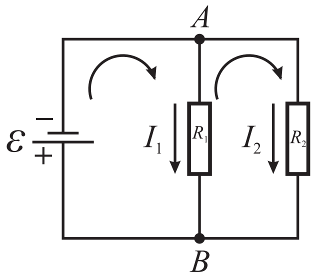
1. Berlen zynjyryň her bir şahasynda toguň ugruny anyklamaly. Dogry, meseläni çözmezden, toguň ugruny görkezmek kyn. Emma, häzirki ýagdaýda berlen zynjyrda toguň ugruny islendikçe görkezäýmeli. Mesele çözülenden soň, bu şahadaky toguň alamaty položitel çyksa, onda zynjyrdaky görkezilen toguň ugry dogry. Eger toguň alamaty otrisatel bolsa, onda çyzgyda görkezilen toguň ugry nädogry.

2. Konturda aýlanma ugruny saýlap almaly we oňa esaslanmaly; eger toguň ugry konturda aýlanma ugry bilen gabat gelse, onda IR-iň köpeltmek hasyly položitel, tersine – otrisatel, EHG-niň potensialynyň artýan ugry (minusdan plýusa) položitel, tersine - otrisatel.

3. Berlen elektrik zynjyrynda näçe sany gözlenilýän näbelli ululyk bar bolsa, şonça-da deňleme düzmeli. Her bir seredilýän konturda, öňki seredilen kontura garanyňda, iň bolmanynda bir ululyk başga bolmaly.

Ýokarda belleýşimiz ýaly, Kirhgofyň kanunlary boýunça düzülýän deňlemeleriň sany, zynjyrdaky näbelli ululyklaryň sanyna deň bolmaly. Şeýlelikde, onuň birinji kanuny boýunça: şahalanan zynjyryň m düwüni bar bolsa, onda $(m - 1)$, ýagny düwünleriň sanyndan bir deňleme az bolan, biri-birine bagly bolmadyk deňlemeler sistemasyny, ikinji kanuny boýunça – (eger-de zynjyrda m düwün n - sany şaha bar bolsa,) $(n - m + 1)$ deňlemeler sistemasyny ýazyp bolýar. Mysal üçin, 4.19-njy suratda görkezilen elektrik zynjyryny hasaplamak üçin Kirhgofyň kanunlary esasynda deňlemeler düzeliň:

Konturda aýlanma ugruny sagat diliniň ugruna diýip hasap edýäris. Şahalardaky toguň položitel ugruny shemada strelka arkaly görkezýäris. Berlen elektrik zynjyrynyň iki sany düwüni (A we B) bar. Diýmek Kirhgofyň birinji kanuny boýunça $m - 1$, diňe bir deňleme ýazyp bolýar. Geliň A düwün üçin ýazalyň:



4.19-njy surat. Şahalanan elektrik zynjyry

$$I - I_1 - I_2 = 0. \qquad (4.58)$$

Zynjyrda AR_1B, AR_2B we $B\mathcal{E}A$ üç şaha bar ($n = 3$). Diýmek, Kirhgofyň ikinji kanuny boýunça $n - m + 1 = 3 - 2 + 1 = 2$ deňleme düzüp bolýar. Berlen elektrik zynjyrynda: tok çeşmesiniň EHG-si we garşylyklary belli, I_1, I_2 we I toklary tapmaly.

Berlen meseläni çözmek üçin Kirhgofyň kanunlary boýunça üç sany deňlemeler sistemasyny düzmeli. Birinji kanuny boýunça bir (4.58), ikinji kanuny boýunça: AR_2BR_1A kontur üçin:

$$I_2R_2 - I_1R_1 = 0 \qquad (4.59)$$

we $\mathcal{E}AR_1B\mathcal{E}$ kontur üçin

$$I \cdot r + IR_1 = -\mathcal{E} \qquad (4.60)$$

iki sany (4.59) we (4.60) deňlemeleri alarys.

Bu ýerde r – tok çeşmesiniň garşylygy.

Netijede (4.58), (4.59) we (4.60) – üç sany bir-birine bagly bolmadyk deňlemeler sistemasyny aldyk. Bu deňlemeler sistemasyny bilelikde çözüp, şahalardaky näbelli I, I_1 we I_2 toklary kesgitläp bolýar.

Goý, geçiriji U naprýaženiýeli tok çeşmesine birleşdirilen bolsun. Onuň kese-kesiginden dt wagtyň dowamynda $q = Idt$ zarýad geçýär diýeliň. Elektrik meýdanynyň täsiri astynda q zarýad ornuny üýtgedenindäki toguň işi şeyle kesgitlenilýär:

$$dA = qU = IUdt. \qquad (4.61)$$

R garşylykly geçiriji üçin Omuň kanunyndan peýdalanyp, ýazýarys:

$$dA = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt \cdot \qquad (4.62)$$

(4.61) we (4.62) formulalardan toguň kuwwatyny tapýarys, ýagny

$$P = \frac{dA}{dt} = UI = I^2R = U^2 / R\,. \qquad (4.63)$$

(4.63) aňlatma hemişelik tok üçin-de, üýtgeýän tok üçin-de dogrudyr. Eger üýtgeýän tok bolanda bu formula kuwwatyň mgnowen bahasyny aňladýar.

Tok güýji amperlerde, naprýaženiýe – woltlarda, garşylyk – omlarda ölçenilse, onda iş joullarda, kuwwat bolsa wattlarda ölçenilýär. Önümçilikde toguň işi sistemadan daşgary birliklerde hem ölçenilýär: watt-sagat (*Wt·sag*) we kilowatt-sagat (*kWt·sag*): 1 *Wt·sag* – – kuwwaty 1 *Wt* bolanda 1 sagadyň dowamyndaky toguň işi 1 *Wt·sag* = = 3600 *Wt·s* = 3,6 · 10^3 *J*; 1 *kWt·sag* = 10^3 *Wt·sag* = 3,6 · 10^6 *J*.

Eger tok gyzdyrmak üçin niýetlenen metal geçirijilerden geçýän bolsa, toguň ähli edýän işi ony gyzdyrmaga gidýär we energiýanyň saklanmak kanuny esasynda ýazýarys:

$$dQ = dA. \qquad (4.64)$$

Şeýlelikde (4.62), (4.63) we (4.64) formulalary ulanyp, alarys:

$$dQ = IUdt = I^2Rdt = \frac{U^2}{R}dt \cdot \qquad (4.65)$$

(4.65) formulany tejribe üsti bilen 1841-nji ýylda iňlis fizigi Joulyň we ondan bihabar 1842-nji ýylda rus fizigi E.H.Lensiň açandygy üçin oňa Joulyň-Lensiň kanuny diýilýär.

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen metal geçirijileriň garşylygynyň artýandygyny tejribeler görkezýär. Gaty bir pes bolmadyk temperaturalarda olaryň udel garşylyklary absolýut temperatura göni proporsionallykda üýtgeýär, ýagny

$$\rho = \rho_o \alpha T, \qquad (4.66)$$

bu ýerde ρ_o – geçirijiniň 0ºC-däki udel garşylygy, α – 1/273 K^{-1} golaý bolan hemişelik koeffisiýent. Ýokarky formulany başgarak görnüşde ýazýarys:

$$\rho = \rho_o(1 + \alpha t), \qquad (4.67)$$

bu ýerde t – geçirijiniň t gradusdaky temperaturasy. Metallaryň elektron teoriýasyna görä, ideal kristallik gözenekde elektronlar hiç hili elektrik garşylygyna duçar bolmazdan hereket edýärler, ýagny $\rho = 0$.

Udel elektrik garşylygynyň temperatura baglylygy çylşyrymly funksiýa bolup, onuň iki sany biri-birine bagly bolmadyk goşulyjylardan ybaratdygyny Matisseniň düzgüni tassyklaýar. Şu düzgüne laýyklykda:

$$\rho(T) = \rho_2 + \rho_{ug},$$

bu ýerdäki ρ_2 – galyndyly udel garşylyk diýilýär, ρ_{ug} bolsa absolýut arassa metalyň garşylygyna gabat gelýän we diňe atomlaryň ýylylyk yrgyldylary bilen kesgitlenilýän metalyň ideal udel garşylygydyr.

1911-nji ýylda golland fizigi Kamerling-Onnes şol wagtlarda has arassa görnüşinde alyp bolýan simap bilen tejribe geçireninde täze, garaşylmadyk bir hadysa gabat geldi. Simabyň udel garşylygy 4,1K (–269ºC) temperaturada şeýle bir azalyp, ölçäp bolmajak ululyga ýetdi. Kamerling-Onnes bu hadysa, ýagny, geçirijiniň udel garşylygynyň nola öwrülmek hadysasyna aşageçirijilik diýip at berdi. Aşaky tablisada käbir maddalaryň aşageçirijilik halyna geçýän T_K temperaturalary görkezilendir.

Tablisa

Madda	**T_K, K**	**Madda**	**T_K, K**
Titan	0,4	Simap	4,1
Kadmiý	0,5	Wanadiý	5,3
Sink	0,38	Gurşun	7,2
Alýuminiý	1,2	Niobiý	9,3
Galaýy	3,7	Nb_3Sn	18

Aşageçirijilik teoriýasy Amerikan fizikleri D.Bardin, L.Kuper we D.Şriffer tarapyndan döredildi we rus fizigi N.N.Bogolýubow tarapyndan ösdürildi.

Eger iki sany dürli metal biri-biri bilen jebis galtaşdyrylsa, onda olaryň aralygynda potensiallar tapawudy ýüze çykýar, oňa hem kontaktdaky (galtaşmadaky) potensiallar tapawudy diýilýär.

Italýan alymy A.Wolta (1745-1827), eger *Al*, *Zn*, *Sn*, *Pb*, *Sb*, *Bi*, *Hg*, *Fe*, *Cu*, *Pt*, *Pd* metallaryny, şu ýerde ýazylyşy ýaly, yzygiderlilikde biri--biri bilen galtaşdyrsaň, her bir öňki metal özüniň yz ýanyndaky metal bilen galtaşanynda onuň položitel zarýadlanýandygyny kesgitledi. Şu hatara Woltanyň hatary diýilýär. Wolta tejribe üsti bilen iki sany kanuny girizdi:

1. Iki sany dürli metal biri-biri bilen galtaşanda kontaktda döreýän potensiallar tapawudy galtaşýan metallaryň diňe himiki düzümine we temperaturasyna baglydyr.

2. Birdeň temperaturaly yzygiderli birikdirilen birnäçe metal geçirijilerden düzülen, açyk zynjyryň ahyrlarynda döreýän potensiallar tapawudy aralykdaky geçirijilere bagly däldir, ol gös-göni çetki geçirijiler birleşdirilende döreýän potensiallar tapawudyna deňdir.

Bu kanunlary metallaryň nusgawy elektron nazaryýetiniň esasynda düşündirip bolýar.

1.Goý, çykyş işi A_1 we A_2 bolan iki sany metal berlen bolsun. Birinji we ikinji metallaryň çykyş işleri biri-birine deň däl diýeliň: $A_2 > A_1$. Haýsy metalda elektronlaryň çykyş işi kiçi bolsa, ol beýleki metal bilen galtaşdyrylanda elektronlaryny çalt ýitirýär we položitel zarýadlanýar, ikinji metal bolsa elektronlary (araçäk oblastynyň golaýynda) kabul edip otrisatel zarýadlanýar. Şeýlelikde iki metalyň arasyndaky kontaktda potensiallar tapawudy döreýär, ýagny:

$$U_1 = \frac{A_1 - A_2}{e}, \qquad (4.68)$$

bu ýerde A_1 we A_2 – degişlilikde birinji we ikinji metallardaky çykyş işleri, e – elektronyň zarýady. (4.68) formula, birinji we ikinji metallardaky erkin elektronlaryň konsentrasiýalary biri-birine deň, emma, $A_1 \neq A_2$ ýagdaý üçin dogrudyr.

2. Goý, indi n_1 we n_2 – degişlilikde birinji we ikinji metallarda elektronlaryň konsentrasiýalary biri-birine deň däl bolsun: $n_1 > n_2$. Şu şertde metallar biri-birine galtaşanlarynda birinji metaldan ikinji

metala tarap elektronlar geçip başlaýarlar, netijede ol položitel, ikinji bolsa otrisatel zarýadlanýar, metallaryň arasynda potensiallar tapawudy döreýär we nazary hasaplamalara görä, ol

$$U_2 = \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2} \tag{4.69}$$

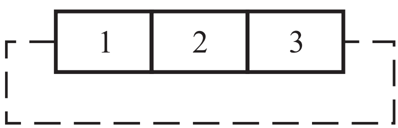
bolýar. Bu ýerde k – Bolsmanyň hemişeligi, e – elektronyň zarýady.

Iki sebäbe görä dörän jemleýji potensiallar tapawudy birinji we ikinji sebäpleriň döreden potensiallar tapawudynyň jemine deňdir, ýagny:

$$U = U_1 + U_2 = \frac{A_2 - A_1}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_2}. \tag{4.70}$$

Bu formula Woltanyň birinji kanunynyň matematiki aňlatmasydyr. Formuladan görnüşi ýaly, kontaktdaky (galtaşmadaky) potensiallar tapawudy galtaşýan geçirijileriň diňe temperaturasyna we himiki düzümine baglydyr.

Woltanyň ikinji kanunyny subut etmek üçin bir temperaturada ýerleşen üç sany dürli geçirijileriň galtaşdyrylan ýagdaýyna seredeliň (*4.20-nji surat*).



4.20-nji surat. Kontaktda (galtaşmada) potensiallaryň tapawudynyň ýüze çykyşy

Açyk zynjyryň uçlarynyň arasyndaky potensiallar tapawudy onuň içindäki kontaktlardaky potensiallar tapawudynyň algebraik jemine deňdir, ýagny

$$\varphi_1 - \varphi_3 = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3).$$

(4.70) formulany ulanyp, alýarys:

$$\varphi_1 - \varphi_3 = U = -\frac{A_1 - A_3}{e} + \frac{kT}{e} \ln \frac{n_1}{n_3}. \tag{4.71}$$

Hakykatdan-da, U potensiallar tapawudy $\varphi_1 - \varphi_3$ aralykdaky geçirijiniň tebigatyna bagly däl.

Eger sereden metallarymyzdan ýapyk zynjyry düzsek (*4.20-nji surat, punktir çyzygy*), onda oňa goýlan elektrik hereketlendiriji güýç bu ýapyk zynjyrdaky potensiallaryň algebraik jemine deňdir:

$$\mathcal{E} = (\varphi_1 - \varphi_2) + (\varphi_2 - \varphi_3) + (\varphi_1 - \varphi_3).$$

(4.71) formulany ulanyp, alarys:

$$\mathcal{E} = -\frac{A_1 - A_2}{e} + \frac{kT}{e}\ln\frac{n_1}{n_2} - \frac{A_2 - A_3}{e} + \frac{kT}{e}\ln\frac{n_2}{n_1} - \frac{A_3 - A_1}{e} + \frac{kT}{e}\ln\frac{n_3}{n_1} = 0. \quad (4.72)$$

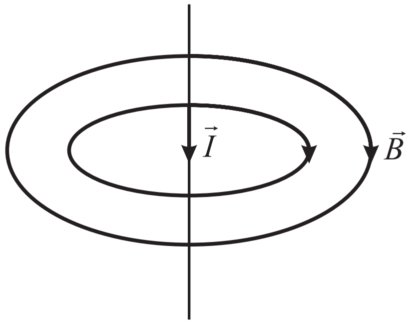
Şeýlelikde, bir temperaturada ýerleşdirilen birnäçe metal geçirijileriň galtaşmagyndan emele gelen ýapyk zynjyrda diňe kontaktlardaky potensiallaryň üýtgemegi bilen elektrik hereketlendiriji güýjüniň döremeýändigini (4.72) formula subut edýär.

4.3. Elektromagnetizm

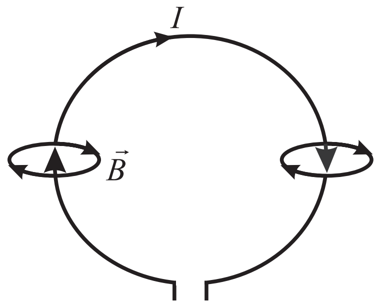
XIX asyrda geçirilen tejribeler islendik hereket edýän zarýadyň magnit häsiýetlerini ýüze çykarýandygyny görkezdi. Gozganmaýan elektrik zarýady elektrik meýdanynyň üsti bilen elektrik zarýadlaryna täsir edýär. Magnit peýkamyna ol zarýad tasir etmeýär. Magnit täsiri diňe hereket edýän zarýadlara (we üytgemeýän elektrik meýdanlaryna) mahsusdyr.

Hereket edýän zarýadlaryň (elektrik togunyň) töwereginde meýdanyň ýene bir görnüşiniň – magnit meýdanynyň ýüze çykýandygy anyklanyldy. Hereket edýän zarýadlar magnit meýdanynyň üsti bilen magnit ýa-da başga hereket edýän zarýadlar bilen özara täsir edişýärler.

Magnit meýdanynyň güýç meýdany bolanlygy üçin ony çyzgyda güýç çyzyklarynyň üsti bilen suratlandyryp bolýar. Magnit güýç çyzygynyň islendik nokadyna geçirilen galtaşmanyň ugry şol nokatda magnit meýdanynyň magnit peýkamynyň demirgazyk polýusyna täsir edýän güýjüniň ugry bilen gabat gelmeli. Tejribede magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň şekilini magnit peýkamlarynyň ýa-da ownuk demir bölejikleriniň kömegi bilen alyp bolýar. Güýç çyzyklarynyň ugry magnit peýkamlarynyň günorta polýusyndan demirgazyk polýusyna tarap ugry bilen gabat gelýär. Daniýa fizigi H.K.Erstediň 1820-nji ýylda geçiren tejribesi netijesinde gönüçyzykly simden akýan I toguň magnit meýdanynyň güýç çyzyklarynyň şol sime perpendikulýar bolan we merkezleri simiň üstünde ýatýan töwerekleri emele getirýändigi anyklanyldy.



4.21-nji surat. Göni toguň magnit induksiýasy



4.22-nji surat. Halka görnüşli toguň magnit induksiýasy

Güýç çyzyklarynyň ugry sag nurbatyň (burawjygyň hereketiniň) ýa-da sag eliň düzgüni bilen kesgitlenilýär.

Burawjygyň düzgünine görä - toguň ugry bilen hereket edýän burawjygyň ujunyň ugry, sapynyň aýlanýan ugry bilen bolsa, magnit güýç çyzyklarynyň ugry gabat gelýär.

Elektrostatiki meýdanyň güýç çyzyklaryndan tapawutlylykda, magnit meýdanynyň güýç çyzyklary ýapyk bolýarlar, ýagny olaryň başlangyjy we ahyrlary bolmaýar.

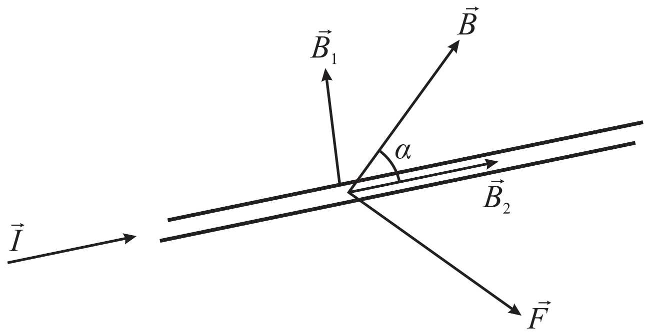
Töwerek boýunça akýan toguň magnit meýdanynyň görnüşi burawjygyň düzgünine laýyklykda 4.22-nji suratdaky ýaly bolar.

1820-nji ýylda fransuz fizigi A.M.Amper hemişelik magnitleriň magnit täsirlerini olaryň içinde örän kiçi töwerek boýunça hereket edýän aýlaw toklarynyň barlygy bilen düşündirdi. Bu aýlaw toklary elektronlaryň öz hususy oklarynyň daşynda we ýadronyň daşynda aýlanmaklary netijesinde emele gelýär.

Maddanyň magnit täsirleri atomlardaky we molekulalardaky örän kiçi aýlaw toklary bilen baglanyşyklydyr.

Tokly geçirijileriň özara magnit täsirini ilkinji bolup Amper öwrenýär. Birinji tokly geçirijiniň magnit meýdany ikinji tokly geçirijä belli bir güýç bilen täsir edýär we ikinji tokly geçirijiniň magnit meýdany birinji tokly geçirijä täsir edýär. Magnit meýdanynyň tokly geçirijä edýän täsir güýjüne Amperiň güýji diýilýär.

Geçirilen tejribeler Amperiň güýjüniň tokly geçirijä täsir edýän magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektorynyň modulyna proporsionaldygyny görkezýär. Ondan başga-da, Amperiň güýjüniň geçirijiden akýan toga baglylygy kesgitlenildi. Toguň güýjüniň ulalmagy bilen Amperiň güýji hem ulalýar. Amperiň güýji geçirijiniň uzynlygyna, $\vec{B}$ wektor bilen geçirijiniň emele getirýän burçuna baglydyr. Goý, $\vec{B}$ magnit induksiýasynyň wektory tokly geçirijiniň kesiminiň ugry bilen (toguň elementi bilen) α burçy emele getirýän bolsun. Onda ýüze çykýan F güýji şeýle şekillendirip bolýar: (*4.23-nji surat*)



4.23-nji surat. Magnit meýdanynyň tokly geçirijä täsiri

Geçirilen tejribeler tokly geçirijiniň ugry bilen ugrukdyrylan magnit meýdanynyň toga hiç hili täsir etmeýänligini görkezýär. Şonuň üçin tokly geçirijä täsir edýän F güýjüň moduly diňe geçirijä perpendikulýar bolan B wektorynyň düzüjisine, yagny $B_2 = B \cdot \sin\alpha$ baglydyr.

Toguň elementi bilen α burçuny emele getiren B magnit induksiýaly magnit meýdany tarapyndan üstünden güýji I bolan elektrik togy akýan $d\ell$ uzynlykly geçirijä täsir edýän F güýjüň moduly şeýle tapylýar:

$$dF = BI\ell\sin\alpha. \qquad (4.73)$$

Bu aňlatma Amperiň kanunynyň matematiki görnüşidir.

Amperiň kanuny magnit meýdany tarapyndan tokly geçirijä täsir edýän güýç magnit meýdanynyň induksiýasyna, toguň güýjüne, geçirijiniň uzynlygyna we toguň ugry bilen magnit induksiýasynyň arasyndaky burçuň sinusyna göni proporsionaldyr. Amperiň güýjüniň ugry çep eliň düzgüni bilen kesgitlenýär.

Eger $\vec{B}$ magnit induksiýasynyň wektorlary çep eliň aýasyna girer ýaly ýerleşdirilse, uzadylan dört barmak toguň ugry bilen gabat gelse, onda gönüburç bilen duran başam barmak magnit meýdany tarapyndan tokly geçirijä täsir edýän Amperiň güýjüniň ugruny görkezýär.

(4.73) aňlatmadan ℓ uzynlykly gönüçyzykly geçiriji üçin (eger $\alpha = 90^{\circ}$ bolsa) alarys:

$$F = BI\ell. \tag{4.74}$$

Bu aňlatmadan magnit meýdanynyň induksiýasynyň fiziki manysyny anyklap bolýar.

Magnit meýdanynýň induksiýasynyň moduly üstünden $1A$ tok akýan 1 metr uzynlykly göni geçirijä magnit meýdany tarapyndan täsir edýän güýje san taýdan deň bolan ululykdyr. Eger täsir edýän güýç 1 nýutona deň bolsa, onda magnit meýdanynyň induksiýasynyň wektorynyň moduly 1 tesla deň diýip kabul edilýär.

Ýokarda belleýşimiz ýaly, magnit meýdanynda ýerleşen tokly geçirijä Amperiň güýji täsir edýär. Elektrik togunyň zarýadlanan bölejikleriň tertipleşdirilen hereketidigini göz öňünde tutsak, onda Amperiň güýji zarýadlanan bölejiklere magnit meýdany tarapyndan täsir edýän güýçleriň jemidir diýip aydyp bolýar. Magnit meýdanynda hereket edýän zarýadlanan bölejige täsir edýän güýje maddanyň gurluşynyň elektron nazaryýetini esaslandyryjy, golland fizigi G.Lorensiň hormatyna Lorens güýji diýilýär. Bu güýji Amperiň kanunynyň kömegi bilen kesgitlemek bolar. Amperiň (4.73) aňlatmasyna laýyklykda zarýadlanan bölejige traýektoriýanyň ℓ uzynlykly böleginde magnit meýdany tarapyndan täsir edýän güýç:

$$F = BI\ell\sin\alpha.$$

Bilişimiz ýaly, toguň güýji:

$$I = \frac{q}{t}\cdot$$

Bu ýerde t – q zarýadyň traýektoriýanyň ℓ uzynlykly bölegini geçmek üçin sarp edýän wagty. Şonuň üçin Lorens güýji:

$$F = B\frac{q}{t}\ell\sin\alpha\cdot \tag{4.75}$$

Ýöne:

$$\upsilon = \frac{\ell}{t}\cdot \tag{4.76}$$

Bu ýerde υ – zarýadlanan bölejigiň hereketiniň tizligi; α – tizligiň wektory bilen magnit induksiýasynyň wektorynyň arasyndaky burç. Netijede

$$F = qB\upsilon\sin\alpha. \tag{4.77}$$

F, υ we B ululyklaryň ugurlary özara perpendikulýardyr.

Lorens güýjüniň ugruny çep eliň düzgüni boýunça kesgitläp bolýar. Düzgündäki güýjüň ugry diýip (eger zarýad položitel bolsa) $\vec{\upsilon}$ we $\vec{B}$ wektor ululyklaryň köpeltmek hasylynyň emele getirýän wektorynyň ugruny kabul etmeli. Eger hereket edýän zarýad otrisatel bolsa, onda güýjüň ugry bilen tizligiň ugry gapma-garşylykly bolýar.

Lorens güýji merkeze ymtylýan güýç bolýar.

Bu töweregiň radiusyny tapmak üçin merkeze ymtylýan we Lorens güýçlerini deňleýäris: $\frac{m\upsilon^2}{r} = Bq\upsilon$ ýa-da $r = \frac{m\upsilon}{qB}$, (4.78)

bu ýerde: m – bölejigiň massasy.

Şeýlelik bilen bölejigiň hereket edýän töwereginiň radiusy bölejigiň tizligine göni proporsional we magnit meýdanynyň induksiýasyna ters proporsional.

Bölejigiň töwerek boýunça aýlanma periody töweregiň s uzynlygynyň bölejigiň υ tizligine bolan gatnaşygyna deň:

$$T = \frac{s}{\upsilon} = \frac{2\pi r}{\upsilon}.$$

(4.78) aňlatmany göz öňünde tutsak: $T = \frac{2\pi m}{qB}$. (4.79)

Diýmek, bölejigiň magnit meýdanynda aýlanma periody zarýadyň q ululygyna we B magnit induksiýasyna ters baglydyr.

Elektrik togunyň töwereginde magnit meýdanynyň döreýändigi bellidir. Bu hadysa magnit meýdanynyň kömegi bilen tok döretmek synanyşyklaryna itekledi. 1831-nji ýylda iňlis alymy Faradeý elektromagnit induksiýasy hadysasyny açdy. Bu kanuna laýyklykda, elektrik geçiriji ýapyk konturyň giňişligindäki magnit akymy

$$\Phi = B \cdot S \tag{4.80}$$

üýtgände, induksion tok diýilýän tok döreýär. Bu hadysa elektromagnit induksiýasy diýilýär. Induksion toguň ululygynyň magnit akymynyň üýtgeýiş tizligine baglydygy tejribeleriň üsti bilen subut edildi.

Utgaşan geçirijide, ýagny ýapyk konturda toguň döremegi zynjyrda induksiýanyň EHG-siniň ýüze çykandygyny aňladýar. Onda bu EHG

$$\varepsilon_i \sim \frac{d\Phi}{dt}. \tag{4.81}$$

Tok geçirýän konturda oňa inderilen perpendikulýaryň ugry bu EHG-iň alamatyny magnit akymynyň üýtgemesiniň alamaty bilen baglanyşdyrýar. Toguň magnit meýdany kesgitlenende, bu ugruň sag nurbat kanuny boýunça kesgitlenýändigi subut edilipdi. Onda:

$$\varepsilon_i = -\frac{d\Phi}{dt} \tag{4.82}$$

gelip çykýar. Bu aňlatma Faradeýiň kanunynyň aňlatmasydyr. Bu aňlatmadaky minus alamaty 1833-nji ýylda getirilip çykarylan Lensiň düzgüni bilen düşündirilýär: induksion toguň ugry şol togy döredýän magnit akymynyň üýtgemesine garşylykly ugrukdyrylandyr.

Lensiň düzgüni magnit meýdanynda ýerleşen geçirijide we onuň töwereginde energiýanyň saklanmak kanunyndan alynýar:

$$\mathcal{E}Jdt = J^2Rdt + Id\Phi \tag{4.83}$$

ýa-da, dt bölsek:

$$J\left(\mathcal{E} - \frac{d\Phi}{dt}\right) = J^2R\,. \tag{4.84}$$

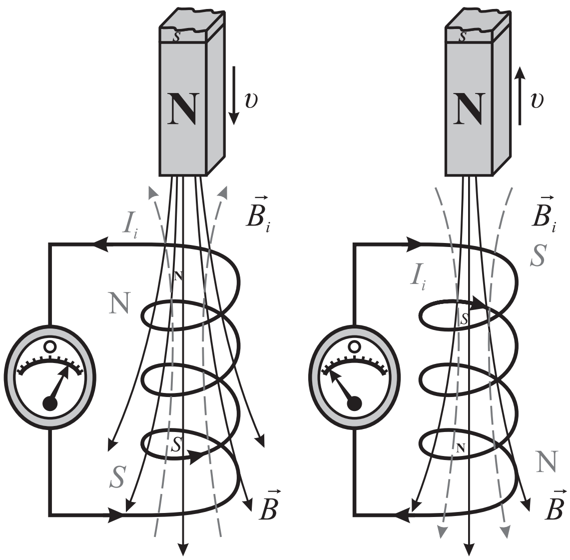
Onda:

$$J = \frac{1}{R}\left(\mathcal{E} - \frac{d\Phi}{dt}\right). \tag{4.85}$$

Elektromagnit induksiýasynyň ölçeg birligi:

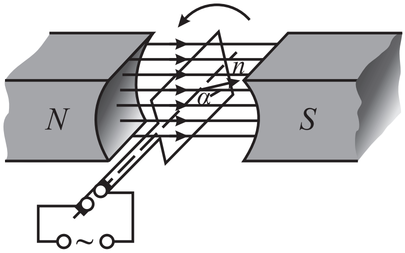
$$\left[\frac{d\Phi}{dt}\right] = \frac{Wb}{s} = \frac{Tl\cdot m^2}{s} = \frac{N\cdot m^2}{A\cdot m\cdot s} = \frac{J}{A\cdot s} = \frac{A\cdot W\cdot s}{A\cdot s} = Wolt\,. \tag{4.86}$$

Elektromagnit induksiýasy hadysasy mehaniki energiýany elektrik energiýasyna öwürmekde ulanylýar.



4.25-nji surat. Elektromagnit induksiýasy hadysasy barada Faradeýiň tejribesi

Bu hadysa öwrülişikli bolanlygy sebäpli, elektrik energiýasyny mehaniki energiýa hem öwürmek bolýar. Bu esasda elektrik hereketlendirijileri işleýärler.



4.26-njy surat. Elektromagnit induksiýasy hadysasy esasynda elektrik toguny öndürijiniň işleýiş esasy

Utgaşan (ýapyk) geçirijide akýan toguň öz töwereginde magnit meýdanyny döredýändigini bilýäris. Bu magnit meýdanynyň geçirijä ilişen Φ magnit akymy

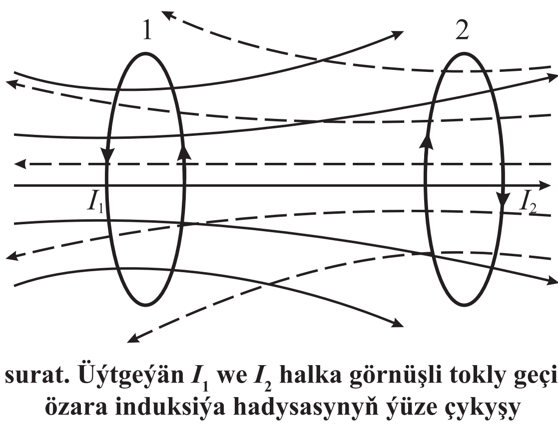
$$\Phi = LI \tag{4.87}$$

I tok güýjüne bagly. Bu ýerde L ululyga konturyň (ýapyk geçirijiniň) induktiwligi diýilýär. Geçirijide akýan tok üýtgände onda döreýän induksiýanyň EHG-sine öz-özünden induktiwlik diýilýär:

$$[L] = \frac{Wb}{A} = \frac{W \cdot s}{A} = Gn; (Genri) \cdot \tag{4.88}$$

Tükeniksiz uzyn (uly uzynlykly) solenoidiň doly magnit akymy

$$\Phi = \Phi_0 N = NBS = \mu_0 \mu \frac{N^2 I}{l} S. \tag{4.89}$$



4.27-nji surat. Üýtgeýän I_1 we I_2 halka görnüşli tokly geçirijilerde özara induksiýa hadysasynyň ýüze çykyşy

Magnit meýdany hem elektrik meýdany ýaly, energiýa eýedir. Magnit meýdanynyň energiýasy bu meýdany döretmek üçin gerek bolan toguň işine deňdir. I tok güýji bolan L induktiwlikli tegegi derňäliň. Bu tegek (4.80) aňlatma boýunça kesgitlenýän magnit akymyny özüne ilişdirýär. Tok güýji dI ululyga üýtgände magnit akymy hem $d\Phi = LdI$ ululyga üýtgär. Bu ýagdaýda ýerine ýetirilýän iş

$$dA = Id\Phi = LIdI \tag{4.90}$$

bolar. Onda Φ magnit akymyny döretmek üçin gerek bolan iş:

$$A = \int_O^I LIdI = \frac{LI^2}{2} \tag{4.91}$$

bolar.

Eger, hususy halda, ýagny, takyk şertde, magnit meýdany uzyn tegegiň içinde bolup, onuň hemme ýeri birmeňzeş bolsa, bu iş:

$$W = \frac{1}{2}\mu_0\mu\frac{N^2I^2}{l}S \tag{4.92}$$

energiýa deň bolar.

Onda uzyn tegekde (solenoidde) I tok güýjüniň döredýän magnit induksiýasynyň

$$B = \frac{\mu_0 NI}{l} \tag{4.93}$$

bolýandygyny hem-de

$$B = \mu_0\mu H \tag{4.94}$$

aňlatmany nazarda tutsak

$$W = \frac{B^2}{2\mu_0\mu}V = \frac{BH}{2}V \tag{4.95}$$

gelip çykýar. Bu ýerde

$$V = S \cdot l \tag{4.96}$$

uzyn tegegiň (solenoidiň) göwrümi. Onda solenoidiň energiýasynyň göwrüm dykyzlygy

$$W = \frac{W}{V} = \frac{B^2}{2\mu_0\mu} = \frac{\mu_0\mu H^2}{2} = \frac{BH}{2} \tag{4.97}$$

bolýar. Umuman, bu aňlatmanyň dia- we paramagnetiklere degişlidigini bellemek gerek. Magnit meýdanynyň B induksiýasynyň onuň H güýjenmesi bilen çyzykly baglanyşykda bolmadyk ferromagnetikler üçin bu aňlatma çylşyrymlaşýar.

Elektromagnit – tegek boýunça elektrik togy akyp geçende, magnitleşýän adaty tok geçiriji tegekden we gatlakly ferromagnit özenden ybarat bolan elektrotehniki gurluş. Elektromagnit, esasan, magnit akymyny we güýji döretmekde ulanylýar. Gurluş aýratynlyklaryna garamazdan, elektromagnit adatça tok geçiriji sarymly tegekden, magnitlenýän özenden we mehanizm tarapyndan herekete getirilýän detallara (maşyn şaýlaryna) güýç berýän ýakordan (magnit geçirijiniň hereket edýän bölegi) ybaratdyr.

Elektromagnitiň öz ýakoryny çekýän güýji onuň hemişelik ýa-da üýtgeýän tokda işleýändigine, gurluşyna, tegegiň görnüşine, tegegiň ýasalan geçirijisine we ş. m. bagly bolup, umuman, Makswelliň aňlatmasy bilen kesgitlenýär. Üýtgeýän toguň Ш – görnüşli özenli elektromagniti üçin bu güýç şeýle kesgitlenýär:

$$F = 4\cdot 10^5 B^2 S\,. \quad B = 0,4\pi \frac{IN}{l}\mu_0\mu\,. \qquad (4.98)$$

Ol ferromagnit häsiýetli şaýlary hereketlendirmek üçin (elektromagnit muftasy we ş.m.), ikilenç ulanyljak, zyňylan metal bölekleri ulaglara ýüklemek we düşürmek üçin ulanylýar.

Magnit induksiýasy hadysasy "magneto" atly gurluşda galyndyly magnit meýdanynyň hasabyna EHG döretmekde ulanylýar. Bu gurluş uly bolmadyk kuwwatly içinden ýandyrylýan dwigatelleri elektrik togy bilen üpjün etmekde ulanylýar.

Starteri (içinden ýandyrylýan dwigateli işe goýberiji gurluşy) işe goşujyda (wtýagiwaýuşaýa katuşka) hemişelik toguň hasabyna hemişelik magnit meýdanyny döretmegiň hasabyna elektromagnit ýüze çykarylýar. Elektromagnit starteri hereketlendirijini işe goşýar, ýagny ony elektrik zynjyryna utgaşdyrýar. Hereketlendiriji işe goşulan bada, elektromagnitiň toguny kesýärler.

"Bobina" diýip atlandyrylýan, ýangyç-howa garyndysyna elektrik uçgunyny bermegi üpjün edýän gurluş hem özboluşly transformatordyr. Ol hem elektromagnit induksiýasy hadysasynyň esasynda işleýär. Elektromagnit induksiýasy hadysasy aeroportlarda (howa menzillerinde) metal detektorynda ulanylýar. Onda bir tegekde I_0 tok B_0 magnit induksiýasyny döredýär. Ikinji tegek bilen birinji tegegiň arasyna giren adamda metal bar bolsa, onda Lensiň düzgüni boýunça köwlenme togy we oňa degişli B' magnit induksiýasy döräp, ikinji tegekde I' duýduryjy togy ýüze çykarýar. Ikinji tegek metal bardygyny ýagtylyk we ses duýduryjylary arkaly duýdurýar.

Uly tekizlikli bütewi geçirijilerde köwlenme induksoin (Fuko) toklary ol geçirijileri gyzdyrmak üçin ulanylýarlar. Bu esasda metal erediji elektrik peçleri hem-de öý hojalygynda ulanylýan mikrotolkun peçleri işleýärler.

Elektromagnit induksiýasy hadysasy wideo we audio maglumatlary magnit ýazgylarynda ýazmaga we soňra okamaga mümkinçilik berýär. Magnit ýazgy ýazylanda *C* – görnüşli ferromagnetikden ýasalan ýazyjy başjagaz (golowka), onuň arasyndan magnit lentasy (zolagy) geçende, onuň magnit domenlerini ýazylýan maglumata laýyk tertipleýär. Habar okalanda bu maglumatlar okaýan başjagazda (golowkada) degişli magnit meýdanyny we induksion togy döredýär. Ol tok bolsa, degişli şekili ýa-da sesi ýüze çykarýar.

Bulardan başga-da, uly toklaryň kömegi bilen güýçli magnit meýdanyny döredip, magnitlenen suwlary ulanýarlar. Olardan ýerleriň şorlaryny azaltmakda netijeli peýdalanylýar.

Içimlik suwlary şorlaşan suwlardan almak üçin magnitlenen suwlary doňduryp, eredýärler.

4.4. Üýtgeýän tok we onuň janly organizmlere täsiri

Häzirki zaman senagatynda üýtgeýän tok giňden ulanylýar. Giň manyda üýtgeýän tok diýip wagta görä üýtgeýän islendik toga aýdylýar. Energetikada ýygylygy 50 *Gs* bolan, sinuslar kanuny boýunça üýtgeýän tok giň ulanyşa eýe boldy. Ol üýtgeýän toguň generatorlary arkaly öndürilýär.

Belli bolşy ýaly, aktiw, induktiw we sygym garşylyklaryndan ybarat bolan zynjyrdan üýtgeýan tok geçende zynjyrdaky *I* tok güýji *U* naprýaženiýä Omuň umumylaşdyrylan kanuny arkaly bagly:

$$I = \frac{U}{Z}.$$

Bu ýerde *Z* – üýtgeýän toguň zynjyryndaky ähli garşylyklaryň jemi bolan umumy garşylyk. Biologiki obýektlerde induktiwlik örän kiçi we doly garşylygyň ululygy diňe aktiw we sygym garşylyklarynyň jemine deň bolýar. Eger-de R aktiw we C sygym garşylyklary yzygider birikdirilen ýagdaýynda umumy garşylygyň ululygy şu formula arkaly kesgitlenýär:

$$Z = \sqrt{R^2 + \frac{1}{\omega^2 C^2}}. \tag{4.99}$$

Bu ýerde $\omega = 2\pi\nu$ – üýtgeýän toguň aýlaw ýygylygy, $R_S = \dfrac{1}{\omega C}$ – sygym garşylygy.

Janly organizmlerde umumy sygym yzygider birikdirilen öýjükli membrananyň statiki (C_m) we polýarizasion (C_p) sygymlary arkaly kesgitlenýär. Yzygider birikmede umumy sygym

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_m} + \frac{1}{C_p} \quad \text{ýa-da} \quad C = \frac{C_m C_p}{C_m + C_p} \tag{4.100}$$

formula arkaly kesgitlenýär.

C_p sygymyň ululygy elektrik meýdanynyň täsir edýän wagtynyň dowamlylygyna bagly. Üýtgeýän toguň kiçi ýygylyklarynda uly, hatda, $C_p > C_m$. Ýokary ýygylyklarda ($f > 10^3$ Gs-de) kiçi, ýagny, $C_p << C_m$.

Janly organizmlerde aktiw garşylyk öýjükli membranadaky polýarlaýjy hadysalar bilen baglanyşykly. Onuň ululygy, şeýle-de polýarlaýjy sygym membrana arkaly geçýän netijeleýji ionlaryň akymyna, diýmek, üýtgeýän toguň ýygylygyna we öýjükli membrananyň elektrik syzyjylygyna bagly.

Biologiki obýektleriň ýagdaýy barada dispersion erginleriň, ýagny dokumalaryň doly garşylygynyň üýtgeýän toguň ýygylygyna baglylygy barlaglarda örän wajyp maglumatlary berýär.

4.5. Biologiki sistemalardaky elektrik hadysalary

Hemişelik toguň haýwanlaryň bedeninden geçişi.

§4-de belleýşimiz ýaly, beden oýjükleri diňe hemişelik togy geçirmän, ol üýtgeýän togy hem geçirýär. Janly organizmlerde induktiw tegege meňzeş sistema ýok, şol sebäpli hem bedeniň induktiw garşylygy ýokdur: $R_2 = 0$. Biologiki oýjüklerde, hemme organizmlerde sygym häsiýetler bardyr, şonuň bilen baglanyşykda öýjügiň impedansy diňe omiki we sygym garşylygy bilen kesgitlenilýär. Üýtgeýän toguň ýygylygy üýtgände bioobýektiň doly garşylygynyň üýtgeýşine seredeliň. Pes ýygylykda, hemişelik tokdaky ýaly, polýarlanma effekti uly, degişlilikde, R_p we C_p hem uly. Öýjükleriň aralygy uly bolanda, olaryň garşylygy az we ähli tok dolulygyna diýen ýaly şuntirleýji $R_ş$ garşylykdan geçýär. R_p, öz gezeginde, membrananyň elektrik syzyjylygyna bagly, şonuň üçin kiçi ýygylyklarda ol öýjükli membrananyň syzyjylygynyň ölçegidir.

Birnäçe *MGs* bolan ýokary ýygylyklarda membrananyň polýarlanmagy ýitýär diýen ýaly we doly garşylyk kesgitlenende R_p we C_p ululyklary hasaba almasaň-da bolýar.

Şeýlelikde, ýokary ýygylykda ölçenen doly garşylyk şeýle kesgitlenýär:

$$Z = \frac{R_ö R_Ş}{R_ö + R_Ş}. \qquad (4.101)$$

Bu ýerde $R_ö$ – öýjük sitoplazmasynyň aktiw garşylygy.

Tejribeleriň görkezişi ýaly, berlen dokuma üçin polýarlanma koeffisiýenti (*k*) hemişelik ululykdyr:

$$k = \frac{Z_{10}^4}{Z_{10}^6}. \qquad (4.102)$$

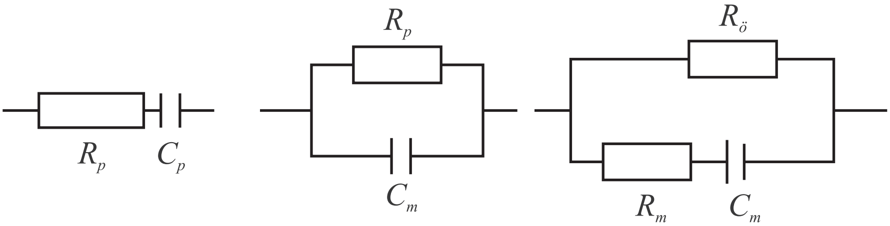
Bu ýerde $Z_{10}{}^4$ we $Z_{10}{}^6$ – degişlilikde, deň şertlerde 10^4 we 10^6 *Gs* ýygylyklarda dokumanyň doly garşylyklarydyr. Gurbaga bagrynda $k = 2 – 3$, süýdemdirijileriňkide – $k = 9 – 10$, öli dokumalarda bolsa, *k* bire golaýlaşýar.

Biologiki organizm sygym häsiýete eýe bolansoň, tok napryýaženiýeden fazasy boýunça öňe gidýär.

Dürli biologiki obýektlerde 1 *kGs* ýygylykda φ faza süýşmesi dürlüdir, mysal üçin:

– adamyň derisi, gurbaga $\varphi = 55^o$;
– gurbaganyň nerwi $\varphi = 64^o$;
– towşanyň myşsasy $\varphi = 65^o$.

Öýjükleriň elektrik toguna garşylygynyň omiki (aktiw) we sygym häsiýetleri bolany sebäpli, ekwiwalent elektrik shemalaryny şeýle şekillendirip bolýar (*4.28-nji surat*):



4.28-nji surat

Janly organizmde R (aktiw garşylygyň), C (sygymyň) üýtgemeginiň öýjüklerde, ýüregiň üýtgemegine edýän täsirine esaslanan diagnostiki usula reografiýa diýilýär. Şu usul bilen kelle beýni reogrammasy (reoensefalogrammasy), ýüregiň reokardiogrammasy magistral damarlar, öýken, bagyr we ş.m. öwrenilýär. Ölçegler ýönekeý usul bilen ýygylygy 30 *kGs* bolan üýtgeýän tokda geçirilýär.

Biologiki obýektde statiki C_m membrana sygymy we C_p polýarlanma sygym yzygider birikdirilen ýagdaýy emele getirýärler. Onda biologiki sistemanyň umumy sygymy:

$$\frac{1}{C} = \frac{1}{C_m} + \frac{1}{C_p}. \qquad (4.103)$$

Keseli anyklamak üçin tok bilen naprýaženiýäniň arasyndaky φ faza süýşmesini kesgitlemegiň ähmiýeti uludyr: faza φ dürli obýektlerde, ýygylyk 1 *MGs* bolanda:

– gurbaganyň nerwi üçin – $\varphi = 64^o$;

– towşanyň myşsasy üçin – $\varphi = 65^o$;

– adamyň derisi üçin – $\varphi = 55^o$ deňdir.

Reografiýa üçin 20-30 *kGs* ýygylykly üýtgeýän tok ulanylýar.

Reografiýa – kelle beýni, öýken, göz barlaglarynda ulanylýar.

Elektroosmos – daşky elektrik meýdanynyň täsirinde suwuklygyň kapillýarlarda ya-da membranalarda hereketi.

Elektroforez – daşky elektrik meýdanynyň täsirinde suwuklykdaky jisimleriň (düwmeleriň) hereketini ulanýan elektrokinetiki hadysa. Suwuklykdaky bölejikleriň elektroforetiki tizlikleri boýunça olary bölmek mümkin (Ganyň sywortkasynyň beloklaryny fraksiýalara bölmek).

Fotosintez:

$$CO_2 + H_2O + h\nu \rightarrow CH_2O + O_2 + 469\ \frac{kJ}{mol}. \qquad (4.104)$$

Bu dem alanymyzda bolup geçýän reaksiýanyň tersidir. Soňra, uglewoddan glýukoza emele gelýär:

$$CH_2 = \frac{1}{6}\ C_6H_{12}O. \qquad (4.105)$$

Gün ýagtylygynyň täsirine janly organizmlerde bu hadysa yzygiderli bolup durýar.

4.6. Elektromagnit meýdanynyň biologiki täsiri

Elektromagnit meýdanlarynyň energiýasy mal lukmançylygynda giňden ulanylýar. Magnit meýdany, esasan-da, ýürek-damar sistemasyna netijeli täsir edýär.

Olardan esasylary:

1. **Darsonwalizasiýa** – 1892 ý. D'Arsonawal tarapyndan teklip edilen bejeriş usuly. U = 20 kilowolt naprýaženiýeli 200...500 *kGs* ýygylykly impuls toklarynyň reflektor we gyzdyryş täsirleri ulanylýar. Toklaryň dokumadaky bahalary 15...20 *mA* ýetýär. Täsir etdiriljek ýere içiniň howasy seýreklendirilen (0,5 *mm* simap sütünine çenli) çüýşe elektrod golaýlaşdyrylýar. Ikinji elektroda derek bejerilýän jandaryň organizmi bilen ýokary ýygylykly togy öndüriji generatoryň daşky gabarasynyň arasynda ýüze çykýan kiçiräk elektrik sygymy peýdalanylýar. Täsir ýokary ýygylykly toguň gyzdyryjy häsiýetiniň we elektrod bilen teniň arasynda emele gelýän uçgunyň hasabyna ýüze çykýar. Öýjük membranalaryny gyjyndyrýar, dokumalary gyzdyrýar. Netijede gan aýlanyşy oňatlaşýar.

2. **Diatermiya** – $U = 200 - 250W$, $f = 1...1{,}5\ MGs$, $I = 1...3A$ üýtgeýän toguň gyzdyryjy effektini ulanyp içki dokumalary 2...5ºC çenli gyzdyryp bolýan usul. Iň amatly ýygylyk 1760 *kGs* bolup, tok güýjüni 2*A*-e çenli ýetirmek bolýar. Metal elektrodlar gyzdyrylýan organyň formasynda bolup, gyzdyryş udel garşylyga bagly – gan, myşsalar, bagyr, gury deri, öýken, ýag gatlagy dürli udel garşylyklydyrlar, iň

uly udel garşylyk bolsa süňke degişli. Udel garşylygyň uly ýeri (süňk) gaty gyzýar. Netijede gan damarlar giňelýär, gan aýlanyş oňatlaşýar. Diatermiýanyň esasy kemçiligi – deriniň we deriasty ýag gatlaklarynyň netijesiz gyzdyrylmagy bolup durýar.

3. **Induktotermiýa** – malyň teninde köwlenme toklaryny ýokary ýygylykly elektromagnit meýdanynyň kömegi bilen ýüze çykarmak usuly. Adatça 10...15 *MGs* elektromagnit meýdany bilen ýüze çykarylýar, köwlenme toklary teni gyzdyrýar.

Induktotermiýada organizmde gan aýlanyşyň güýçli, şol sebäpli-de elektrik geçirijiligi ýokary ýerleri (mysal üçin, myşsalar) has güýçli gyzýarlar. Organizmiň elektrik geçirijiligi pes ýerleri (mysal üçin, ýagly gatlaklar) çala gyzýarlar. Diatermiýadan tapawudy – çuňrak we deňölçegliräk täsiri bar.

4. **AÝÝ** – ("ultrawysokoçastotnoýe" – "aşaýokary ýygylykly **şöhlelenme**"diýen manyny berýär) bejergi – 30...300 *MGs* ultraýokary ýygylykly tolkunlaryň kömegi bilen çuň organlary gyzdyrmak usuly. Deri AÝÝ üçin "dury" hasap edilýär. Şol sebäpli-de, gyzmaýar. Adatça λ = 7,37 *m* tolkun ulanylýar (bu tolkun uzynlyklarda radiogepleşikler ýok). Bölünýän ýylylyk mukdary $Q = I^2\rho Vt$.

Üýtgeýän (sinusoidal) toguň janly organizmlere täsiri toguň ýygylygyna bagly. Pes ýygylykly üýtgeýän toklar gyjyndyryjy we aşa gyzdyryjy häsiýetli bolýarlar. Yokary ýygylykly toklaryň täsiri bolsa, ýerli gyzdyryjy (köwlenme toklary netijesinde) hasiýetli bolup, olaryň organizme ýaýramagy doly garşylygyň ýygylyga baglylykda üýtgemegi bilen baglanyşyklydyr. Bu hadysa tok geçirijiligiň dispersiýasy diýilýär. Elektrik geçirijiligiň dispersiýasy diňe janly organizme we janly öýjüklere mahsusdyr.

V BÖLÜM

OPTIKA

5.1. Geometrik optika

Optika – fizikanyň ýagtylygyň tebigatyny, ýagtylyk hadysalarynyň kanunalaýyklyklaryny hem-de ýagtylygyň maddalar bilen özara täsirlerini öwrenýän bölümdir.

Ýagtylygyň tebigaty barada iki sany taglymat bar: Nýuton tarapyndan esaslandyrylan korpuskulýar taglymat we Makswell tarapyndan esaslandyrylan tolkun taglymaty. Korpuskulýar taglymata laýyklykda, ýagtylyk − çeşmeden uçup çykýan örän uly tizlikli bölejikleriň (korpuskulalaryň) üznüksiz akymydyr. Tolkun taglymatyna laýykylykda, ýagtylyk çeşmeden uly tizlik bilen ýaýraýan tolkundyr. Tolkun älemi doldurup duran hyýaly maýyşgak gurşawda -“dünýä efirinde” ýaýraýar diýlip hasap edilipdir. Soň, 1881-nji ýylda amerikan fizigi A.A.Maýkelson ýagtylygyň ýaýramagy üçin maýyşgak gurşawyň hökman däldigini, netijede “dünýä efiriniň” ýokduguny subut etdi. Şeýlelikde, bu taglymat çäkli bolup galdy. Öňe sürülen bu iki taglymatlar ýagtylygyň serpikmegini we döwülmegini esaslandyryp bilseler-de, interferensiýa, difraksiýa, polýarlanma ýaly hadysalary fiziki esasda düşündürmek üçin ýeterlik bolmadylar.

Optikanyň esasy kanunlary – ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramagy, serpikmegi, döwülmegi gadym döwürlerden bäri belli bolupdyrlar. Ýagtylygyň hökman gönüçyzyk boýunça ugrukdyrylýanlygyny b.e. öň 430-njy ýylda Platon, bir dury maddadan ikinjä geçende döwlüp, ýene-de gönüçyzyk boýunça ugrukýandygyny Aristotel we Ptolomeý b.e. öň 350-nji ýylda kesgitläpdirler.

Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak kanuny: birmeňzeş gurşawda ýagtylyk gönüçyzykly ýaýraýar.

Nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden çykýan şöhlelenmäniň inçe konusyny çyzyk hökmünde kabul edip, oňa şöhle diýýärler.

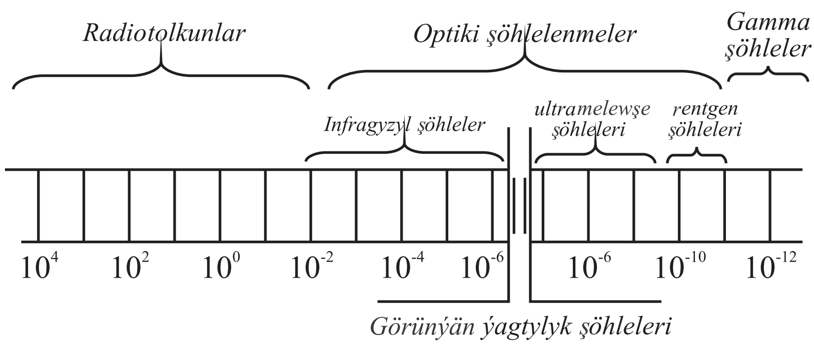
Şöhlelenmäniň ähli energiýasy “şöhle” diýip atlandyrylýan çyzyk boýunça geçirilýär diýip hasap edilýär. Ýagtylyk hadysalaryny şeýle düşündirýän bölüme geometrik optika diýilýär. Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak hadysasy Ýeriň üstünde ýerleşen zatlaryň aralyklaryny, beýikliklerini kesgitlemekde ulanylýar. Nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden jisimiň üstüne ýagtylyk düşende onuň takyk çäkli kölegesiniň emele gelmegi, bular bilen bagly, Günüň tutulmagy, Aýyň tutulmagy geometrik optikanyň kanunlary bilen düşündirilýärler.

Elektrik we magnit meýdanlary bilelikde ýaýraýan elektromagnit tolkunlaryny emele getirýärler. Lebedewiň we Gersiň tejribelerinde ol tolkunlaryň ýagtylygyň tizligine deň bolan tizlik bilen ýaýraýandygy subut edildi. Bu bolsa, ýagtylygyň elektromagnit tolkundygy barada netije çykarmaga şert döretdi.

Ýagtylygyň tizliginiň (c = 300000 *km/s*) örän ululygy sebäpli, ony tejribede kesgitlemek kyn. 1676-njy ýylda Rýomer Ýupiteriň hemralarynyň üstünde Gün tutulmasynyň (garaňkyda bolmalarynyň) gözegçilikleri netijesinde ilkinji gezek ýagtylygyň tizligini kesgitlemäge synanyşdy. Şonda ol ýagtylygyň tizligini 215000 *km/s* barabar görnüşinde ölçedi. 1727-nji ýylda Bredli bu ululygyň 303000 *km/s*, 1849-njy ýylda Fizo 313000 *km/s* deňdigini ölçeglerde görkezdiler. Häzirki döwürde wakuumda ýagtylygyň tizligi

$$c = 299792{,}5 \pm 0{,}1 \ km/s \tag{5.1}$$

hasap edilýär.

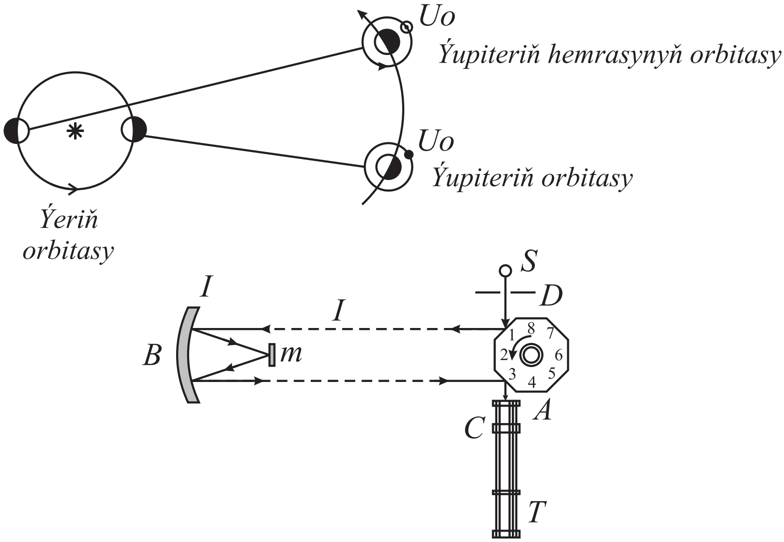


5.1-nji surat. Elektromagnit tolkunlarynyň şkalasy

Makswelliň teoriýasyna görä, ýagtylyk – elektromagnit tolkuny, ol gurşawda

$$\upsilon = \frac{c}{\sqrt{\varepsilon\mu}} \tag{5.2}$$

tizlik bilen ýaýraýar.



5.2-nji surat. Rýomeriň tejribesinde ýagtylygyň tizliginiň kesgitlenişi

Adamyň gözleriniň kabul edip bilýän ýagtylyk tolkunlarynyň tolkun uzynlyklarynyň örän gysgalygy ($8 \cdot 10^{-7} - 4 \cdot 10^{-7}$ *m*) sebäpli, ony şöhle diýip atlandyrylýan käbir çyzyk boýunça ýaýraýar diýip hasap edýärler. Optikanyň bu bölümine geometriki ýa-da şöhle optikasy diýilýär. Ýagtylyk energiýasynyň akymynyň ýagtylyk tolkunlarynyň üstlerine perpendikulýar ugurlara ýagtylyk şöhleleri diýilýär.

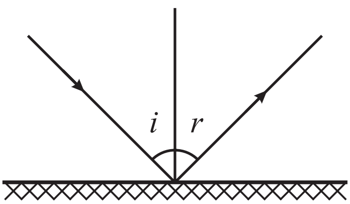
Optikanyň esasy dört sany kanunlary bar: optiki birmeňzeş gurşawda ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak kanuny; ýagtylyk şöhleleriniň özara baglanyşykly däldigi baradaky kanun (bu kanun diňe şöhle optikasynda dogry); ýagtylygyň serpikme kanuny; ýagtylygyň döwülme kanuny.

Ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak kanuny: optiki birmeňzeş gurşawda ýagtylyk gönüçyzykly ýaýraýar. Optiki birmeňzeş gurşaw – bu islendik ugur boýunça, islendik ýerinde ýagtylygyň ýaýramak tizligi deň bolan gurşawdyr. Bu kanunyň subudy – dury däl jisimleriň üstlerine nokatlanç ýagtylyk çeşmesinden ýagtylyk düşürilende, olaryň takyk çäkli kölegeleriniň emele gelmegidir. Nokatlanç ýagtylyk çeşmesi – öz ölçegleri şöhlelendirilýän predmetiň hem-de oňa çenli aralygyň ululyklaryndan örän kiçi bolan çeşmedir. Ýagtylyk dar yşdan geçirilse, ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramak kanuny bozulýar, yşyň takyk şekili emele gelmeýär. Kölege ýarymkölegeden soň ýüze çykýar. Bu ýagdaý yş näçe dar bolsa, şonça-da täsirli emele gelýär: yşyň ýarymkölegesi ulalýar.

Ýagtylyk şöhleleriniň özara baglanyşykly däldigi baradaky kanun ýagtylyk şöhleleri özara kesişen ýerlerinde biri-birine täsir ýetirmeýärler diýmekdir. Şöhleleriň kesişmegi olaryň ýaýramagyna hiç hili täsir ýetirmeýärler, ýagny kesişýän ýagtylyklar öz ugurlaryny hiç hili üýtgewsiz dowam etdirýärler. Kesişip geçen ýagtylyk şöhleleri düşen ýerlerini kesişmedik ýagdaýyndaky ýaly ýagtyldýarlar. Bu kanun intensiwligi uly bolmadyk şöhleler üçin dogrudyr. Intensiwligi örän ýokary bolan ýagtylyk şöhleleri kesişen ýerlerinde krossmodulýasiýa diýilýän hadysany ýüze çykarýar. Kesişip geçen şöhleleriň kesişmeden soň täsirleri üýtgeýärler.

Ýagtylygyň üçünji kanuny – ýagtylygyň serpikme kanuny. Ol kanuna laýyklykda, ýagtylyk ýylmanak üstden serpigýär; serpigen şöhle, düşýän şöhle we ol şöhleleriň düşýän nokadyna inderilen perpendikulýar bir tekizlikde ýatýarlar; serpikme burçy (r) düşme (i) burçuna deňdir:

$$\angle r = \angle i.$$

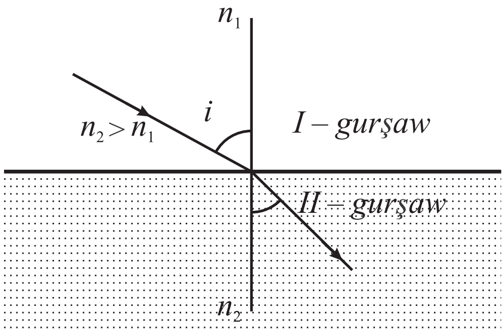


5.3-nji surat. Ýagtylygyň serpikme kanuny

Dördünji kanun – ýagtylygyň bir gurşawdan başga gurşawa geçende döwülme kanuny. Oňa laýyklykda, düşýän şöhle, döwlen şöhle we ol şöhläniň düşýän nokadyna inderilen perpendikulýar bir tekizlikde ýatýarlar; düşme burçunyň sinusynyň döwülme burçunyň sinusyna bolan gatnaşygy berlen iki gurşaw üçin hemişelikdir:

$$\frac{\sin i}{\sin \gamma} = n_{21}. \qquad (5.3)$$

Bu ýerde n_{21} – ikinji gurşawyň birinji gurşawa görä döwme görkezijisi. Bu döwme görkeziji şol iki (döwme görkezijileri n_1 we n_2) gurşawlaryň absolyut döwme görkezijileriniň gatnaşygyna deňdir:



5.4-nji surat. Ýagtylygyň döwülme kanuny

$$n_{21} = \frac{n_2}{n_1}\,. \tag{5.4}$$

Gurşawyň absolýut döwme görkezijisi diýip, ýagtylygyň wakuumdaky (howasyz boşlukdaky) tizliginiň (c = 300000 km/s) şol gurşawdaky faza (υ) tizligine bolan gatnaşygyna aýdylýar:

$$n = \frac{c}{\upsilon}\cdot \tag{5.5}$$

Umuman, $n = \sqrt{\varepsilon\mu}$ bolýanlygyny bellemek gerek. Eger gurşawyň absolyut döwme görkezijisi uly bolsa, onda ol gurşawa optiki dykyz gurşaw diýilýär. Eger ýagtylyk optiki kiçi dykyzlykly gurşawdan optiki dykyz gurşawa geçse, otnositel n_{21} döwme görkeziji 1-den uly bolýar:

$$\frac{\sin\iota}{\sin\gamma} = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} > 1\,. \tag{5.6}$$

Eger, tersine, ýagtylyk optiki dykyz gurşawdan optiki dykyzlygy kiçi gurşawa geçse, onda döwülme burçy γ düşme $í$ burçdan uly bolýar:

$$\angle\gamma > \angle t \quad \text{we} \quad \frac{\sin\iota}{\sin\gamma} < 1. \tag{5.7}$$

Şonda i düşme burçunyň käbir $í_{aňryçäk}$ bahasynda $\gamma = \frac{\pi}{2}$ baha golaýlaýar. Bu ýagdaýda ýagtylyk ikinji gurşawa geçmeýär. Döwlen şöhle iki gurşawyň çäginde ýaýraýar. Bu hadysa ýagtylygyň doly yzyna serpikmesi diýilýär. Ol ýagtylyk şöhlesi optiki taýdan dykyz bolan gurşawdan optiki dykyzlygy pes gurşawa geçende ýüze çykýar.

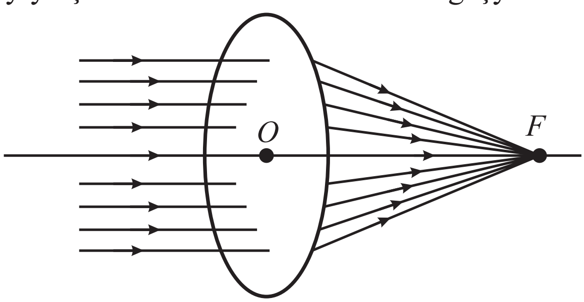
Bu şertde:
$$\sin\iota = \sin\iota_a = \frac{n_2}{n_1} = n_{21} \qquad (5.8)$$

bolýar. Bu hadysa doly serpikdiriji aýna prizmalarynda (ýagtylygyň ýaýraýan ýoluny üýtgetmek maksady üçin) ulanylýar.

Iki tarapy ýylmanak üstler bilen çäklenen dury jisime linza diýilýär. Adatça olaryň bir üstleri sferik (şaryň bölegi) ýa-da silindrik, beýlekisi bolsa sferik ýa-da tekiz bolýarlar. Linzalar ýylmanak üstlerine düşen ýagtylyk şöhlelerini döwüp şekil emele getirmäge ukyplydyrlar. Adatça, olar aýnadan, kwarsdan, kristallardan, plastmassalardan we ş.m. dury (ýagtylygy geçirýän) maddalardan ýasalýar. Daşky görnüşleri boýunça linzalar şu toparlara bölünýärler:

1) iki taraplary güberçek;
2) bir tarapy güberçek, beýlekisi tekiz;
3) iki tarapy oýuk;
4) bir tarapy oýuk, beýlekisi tekiz;

Linzanyň galyňlygy onuň üst radiuslaryndan örän kiçi bolsa, oňa ýuka linza diýilýär. Islendik linzanyň optiki merkezi bolýar. Linzanyň üstleriniň egrilik merkezlerinden geçýän göniçyzyga linzanyň baş optiki oky diýilýär. Baş optiki okuň üstünde ýatýan optiki merkezden geçýän ýagtylyk şöhleleri linzadan döwülmän geçýärler.



5.5-nji surat. Güberçek linzada parallel şöhleleriň döwlüşi

Iki tarapy güberçek linzalar ýygnaýjy linzalar bolýar. Onuň üstüne düşýän parallel ýagtylyk şöhleleri linzadan geçip, bir *F* nokatda jemlenip geçýärler. Ol *F* nokada linzanyň fokusy diýilýär. Linzanyň merkezinden *F* nokadyna çenli aralyga linzanyň fokus aralygy diýilýär. Linzanyň *F* fokus aralygynyň onuň geometriki ölçeglerine we döwme görkezijisine baglylygyna ýuka linzanyň formulasy diýilýär:

$$\frac{1}{F}=(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right). \quad (5.9)$$

Bu ýerde:

$$n=\frac{n_1}{n_2};$$

n_1 – gursawyň absolýut döwme görkezijisi;
n_2 – linzanyň absolýut döwme görkezijisi;
R_1 we R_2 – linzanyň üstleriniň egrilik radiuslary;
F – linzanyň fokus aralygy.

Iki tarapy oýuk linzanyň üstüne düşýän parallel söhleler linzadan geçende, dargaýarlar. Ol şöhleleriň hyýaly dowamlary linzanyň şöhle gelýän tarapynda bir nokatda ýygnanýarlar. Bu linzanyň *OF* fokus aralygy hyýaly bolup, ol otrisatel baha eýedir. Ýagny, bu görnüşli linzalaryň egrilik radiuslary minus alamatlary bilen alynýarlar. Eger linzanyň bir tarapy tekiz bolsa, onda linzanyň optiki güýjüniň ýokarda görkezilen aňlatmasynda degişli radius tükeniksize deň hasap edilýär. Eger linzanyň bir tarapy oýuk, beýleki tarapy güberçek bolsa, oýuk tarapynyň egrilik radiusy minus alamaty bilen alynýar. Galyňlygy egrilik radiuslaryndan köp kiçi bolan linzalara ýuka linzalar diýilýär. Ýokarda belleýşimiz ýaly, linzalaryň optiki merkezinden geçýän ýagtylyk şöhleleri döwülmän geçýärler. Linzanyň egrilik merkezlerinden geçýän göniçyzyga linzanyň baş optiki oky diýilýär. Linzanyň merkezinden baş optiki oka perpendikulýar geçýän tekizlige linzanyň baş tekizligi diýilýär.

$$D=\frac{1}{F}, \quad (5.10)$$

ululyga linzanyň optiki güýji diýilýär. Onuň ölçeg birligi – dioptriýa. 1 dioptriýa – fokus aralygy 1 metr bolan linzanyň optiki güýjüdir.

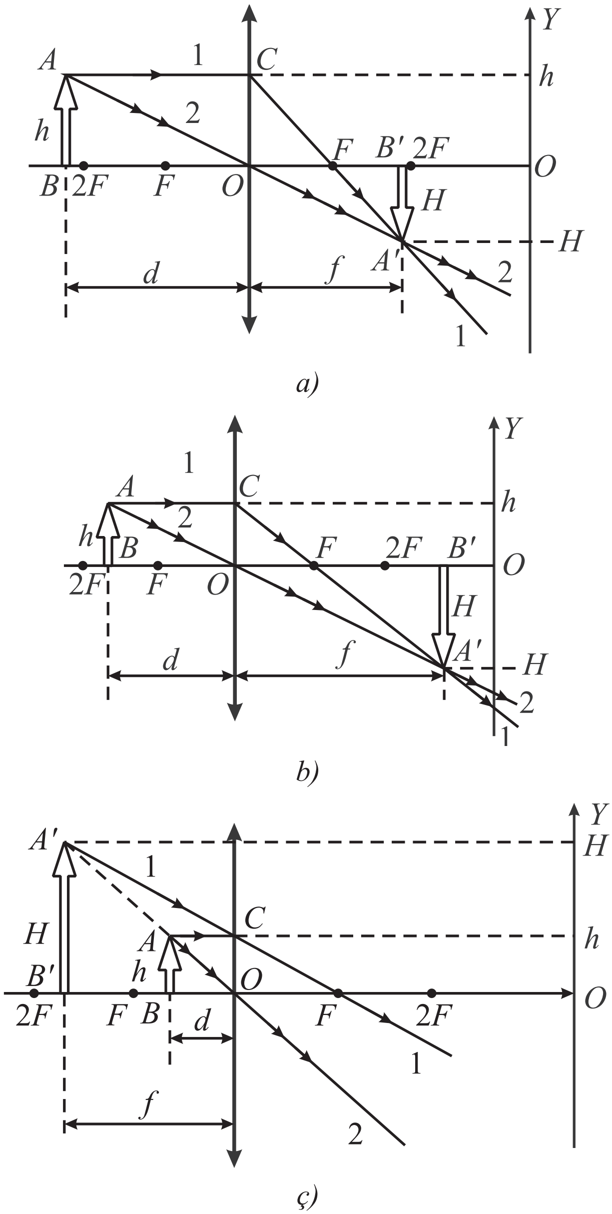
Iki tarapy güberçek (ýygnaýjy) linzanyň optiki güýji položitel, oýuk (dargadyjy) linzanyň optiki güýji otrisateldir.

$$D=\frac{1}{F}=-(n-1)\left(\frac{1}{R_1}+\frac{1}{R_2}\right). \quad (5.11)$$

Linzalarda predmetiň (jisimiň) şekili şeýle gurulýar (*5.6-njy surat*):

AB predmetiň ýygnaýjy linzada *A'B'* şekiliniň gurluşy:

$d > 2F$ – şekil hakyky, kiçijik, ters;
$F < d < 2F$ – şekil hakyky, ulalan, ters;
$d < F$ – şekil hakyky, ulalan, göni;



5.6-njy surat. Linzalarda şekiliň gurluşy

Suratlarda: d – predmetden linza çenli aralyk;
F – fokus aralygy;
h – predmetiň beýikligi;
H – şekiliň beýikligi.

Ýuka linzada d, f, F ululyklary baglanyşdyrýan aňlatma linzanyň formulasy diýilýär.

Suratlardaky a we b ýagdaýlar üçin bu baglanyşyk:

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} + \frac{1}{f}. \qquad (5.12)$$

$ç$ ýagdaý ($d < F$) üçin

$$\frac{1}{F} = \frac{1}{d} - \frac{1}{f} \qquad (5.13)$$

boljakdygyny geometrik subut etmek kyn däl. Şekiliň H ölçeginiň predmetiň h ölçegine gatnaşygyna linzanyň ulaldyşy diýilýär:

$$\gamma = \frac{H}{h}. \qquad (5.14)$$

Suratlardan görnüşi ýaly, $\Delta AOB \sim \Delta A'OB'$, onda:

$$\gamma = \frac{H}{h} = \frac{f}{d} \quad \text{we} \quad \gamma = \frac{H}{h} = \frac{f-F}{F}. \qquad (5.15)$$

ç) ýagdaýda bolsa :

$$\gamma = \frac{H}{h} = \frac{f+F}{F}. \qquad (5.16)$$

bolýandygy linzanyň formulalaryny onuň ulaldyşy bilen baglanyşdyrýar.

Fotometriki ýagtylyk ululyklary elektromagnit tolkunlarynyň 380 nm-den 760 nm-e ($3{,}8 \cdot 10^{-7} - 7{,}6 \cdot 10^{-7}$ m) çenli tolkun uzynlyklary aralygyndaky energiýany adamyň gözüniň kabuledijiligi boýunça kesgitleýärler. Olar fiziki – fiziologiki ululyklardyr. Adamyň gözüniň görüjiligi $V(\lambda)$ otnositel spektral ululyk bolup, onuň iň netijeli täsirli bahasy $\lambda = 555$ nm-e gabat gelýär. Bu tolkun uzynlygynda $V(\lambda) = V(555) = 1$ kabul edilendir.

Görüş duýgulary boýunça bahalandyrylýan energiýa akymyna Φ ýagtylyk akymy diýilýär. Energetiki şöhlelenmäniň 1 watta deň bahasynyň ýaşyl ($\lambda = 555$ nm) tolkuna degişli akymy 683 lýumen hasaplanýar. 1 watt gök ýagtylygyň ($\lambda = 480$ nm) görünijiligi $V(\lambda) = V(480) = 0{,}14$ bolup, akymy $\Phi_v = 683 \cdot 0{,}14 = 95{,}62$ lýumene barabar bolýar.

Umuman:

$$\Phi_v = 683\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} V(\lambda)\cdot r_{\lambda T} d\lambda\,. \qquad (5.17)$$

Plankyň kanunyna laýyklykda:

$$r_{\lambda,T} = \frac{2c^2\pi h}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1}\,. \qquad (5.18)$$

$$V(\lambda) = e^{-72\left(\frac{\lambda}{\lambda_m}-1\right)^2}\,.$$

Bu ýerde: λ_m = 555 *nm* (Bu tolkun uzynlykda V iň uly bolup, $V = 1$ baha eýe bolýar); $r_{\lambda,T}$ – T temperaturaly jisimiň energetiki şöhlelenmesiniň spektral dykyzlygy; $k = 1{,}38 \cdot 10^{-23} J/K$ – Bolsmanyň hemişeligi.

Onda, görünýän ýagtylykda absolýut gara jisimiň döredýän ýagtylanyşy

$$M_v = 683\int_{480nm}^{760nm} \frac{2c^2\pi h}{\lambda^5}\frac{1}{e^{\frac{hc}{\lambda kT}}-1}\cdot e^{-72\left(\frac{\lambda}{\lambda_m}-1\right)^2} d\lambda \qquad (5.19)$$

bolar.

Adamyň derisiniň iň ýokary duýgurlygy λ = 296,7 *nm*-e gabat gelýär. Ultramelewşe tolkunlaryň bakterisid täsiriniň maksimal netijeliligi 254 *nm*-e gabat gelýär.

$E_v = \dfrac{d\Phi_v}{ds}$ – ýagtylanyş, ölçeg birligi: lýuks (1 lýuks =1 lýmen/m^2)

$L_v = \dfrac{I_v}{\Delta S\cos i} = \dfrac{d\Phi_v}{\Delta S d\omega\cos i}$ – energetiki ýagtylyk derejesi,

ölçeg birligi: *Wt*/*sr* ýa-da *nit* (1 *nit* = 1*kd*/m^2)

Ýagtylyk güýji kandelalarda aňladylýar. Kandela iňlisçeden terjime edilende “şem” (“sweça”) sözüni aňladýar.

Esasy fotometriki ululyklary we olaryň birliklerini, ýagtylygyň we onuň çeşmeleriniň intensiwliklerini ölçemek meselelerini öwrenýän optikanyň bölümine fotometriýa diýilýär. Fotometriýada şeýle ululyklar ulanylýar:

1. Energetiki – optiki şöhlelenmeleriň energetiki ululyklaryny we olaryň şöhlelenmeleriniň kabuledijilere edýän täsirini häsiýetlendirýär.

2. Ýagtylyk – gözüň ortaça duýujylygyndan ugur alyp, ýagtylygyň fiziologiki täsirini we göze täsir edişiniň bahalandyrylyşyny häsiýetlendirýär.

I. Energetiki ululyklar

Φ_e şöhlelenme akymy – W şöhlelenme energiýasynyň bu şöhlelenmäniň bolup geçen wagtyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýän ululykdyr:

$$\Phi_e = W/t. \tag{5.20}$$

Şöhlelenme akymynyň birligi – watt (*Wt*).

Energetiki ýagtylanyş (şöhlelenmek) R_e – tekizligiň goýberýän Φ_e şöhlelenme akymynyň şu akymyň kesip geçýän S kesigiň meýdanyna bolan gatnaşygyna deň bolan ululykdyr:

$$R_e = \Phi_e/S \tag{5.21}$$

ýagny, bu şöhlelenme akymyň üst dykyzlygydyr. Energetiki ýagtylanyşyň birligi – kwadrat metrde watt (Wt/m^2)

Ýagtylygyñ energetiki güýji (şöhlelenme güýji) I_e – ýagtylygyň nokatlanç çeşmesi baradaky düşünje arkaly kesgitlenýär.

Ýagtylygyň energetiki güýji I_e çeşmäniň Φ_e şöhlelenme akymynyň bu şöhlelenmäniň ýaýraýan çägindäki ω göwrüm burçuna bolan gatnaşygyna deň bolan ululykdyr:

$$I_e = \Phi_e/\omega. \tag{5.22}$$

Ýagtylygyň energetiki güýjüniň birligi – steradianda watt (Wt/sr)

Energetiki nurlulyk (şöhleleniş) B_e – Şöhlelenýän üstüň elementiniň ΔI_e energetiki ýagtylyk güýjüniň bu elementiň ΔS meýdanynyň proýeksiýasynyň gözegçilik edilýän ugra perpendikulýar tekizlige bolan gatnaşygyna deň bolan ululykdyr:

$$B_e = \Delta I_e/\Delta S. \tag{5.23}$$

Energetiki nurlulygyň birligi kwadrat metr-steradianda watt ($Wt/(sr.m^2)$)

Energetiki ýagtylandyrylyş (*şöhlelendiriliş*) E_e – ýagtylandyrylýan üst birligine düşýän şöhlelenme akymynyň ululygyny häsiýetlendirýär. Energetiki ýagtlandyrylyşyň birligi energetiki ýagtylygyň birligi bilen gabat gelýär (Wt/m^2).

II. Ýagtylyk ululyklary

Optiki ölçeglerde (ölçemelerinde) dürli şöhleleri kabuledijiler ulanylýar (mysal üçin, göz, fotoelementler, fotoköpeldijiler (fotoumnožiteller)). Olar dürli tolkun uzynlykly energiýalar üçin dürli duýujylyga eýedirler.

Her bir şöhle kabulediji özüniň dürli tolkun uzynlykly ýagtylyga duýgurlyk egrisi bilen häsiýetlendirilýär. Şonuň üçin ýagtylyk ölçegleri energetiki, obýektiwlikden tapawutlylykda, subýektiw häsiýetdedirler, olar üçin diňe görünýän ýagtylykda ulanylýan ýagtylyk birlikleri girizilýär.

Halkara birlikler ulgamynda (*IS* – internasional sistemada) esasy ýagtylyk birligi hökmünde, ýokarda kesgitlemesi berlen kandela (*Kd*) ulanylýar.

Ýagtylyk birlikleriniň kesgitlemeleri-de, energetiki birlikleriniň kesgitlemelerine meňzeş.

Ýagtylyk akymy Φ – ýagtylyk duýujylygyny ýüze çykarýan optiki şöhlelenmäniň kuwwaty (berlen spektral duýujylygynda onuň ýagtylygy saýlap kabuledijä edýän täsiri) ýaly kesgitlenýär.

Ýagtylyk akymynyñ birligi – lýumen (lm), içki göwrüm burçy 1 *sr*, ýagtylyk güýji 1 *Kd* bolan nokatlanç ýagtylyk çeşmesiniň goýberýän ýagtylyk akymy (içki göwrüm burçunda şöhlelenme meýdany birdeň bolanda) $1lm = 1Kd \cdot sr$.

Nurlanyş R şeýle gatnaşyk bilen kesgitlenýär:

$$R = \Phi/S. \qquad (5.24)$$

Nurlanyş birligi – kwadrat metrde lýumen (lm/m^2).

Ýagtylyk (Çeşmäniň ýagtylanma ýitiligi) – bu birnäçe ugurlarda ýagtylanýan üstüň ululygy, şu ugurlardaky *I* ýagtylyk güýjüniň berlen ugra perpendikulýar bolan tekizligiň ýagtylanýan üstüniň *S* meýdanynyň proýeksiýasyna bolan gatnaşygyna deňdir:

$$B_\varphi = I/(S \cdot \cos\varphi). \qquad (5.25)$$

Ýagtylyk (ýagtylanma ýitilik) birligi – kwadrat metrde kandela (Kd/m^2).

Ýagtylandyrylyş E – üste düşýän *Φ* ýagtylyk akymynyň bu üstüň *S* meýdanyna bolan gatnaşygy bilen kesgitlenýän ululykdyr:

$$E = \Phi/S. \qquad (5.26)$$

Ýagtylandyrylyşyň birligi – lýuks (*lk*). 1 *lk* – bu 1 m^2 üste 1 *lm* ýagtylyk akymy düşenindäki üstüň ýagtylandyrylyşydyr:

$$(1\ lk = 1\ lm/m^2).$$

5.2. Tolkun optikasy

Ýagtylyk tolkunlarynyň interferensiýasy

Periodlary bir-birine deň bolan, giňişlikde ýaýraýan iki we birnäçe tolkunlaryň goşulmagy netijesinde netijeleýji yrgyldynyň güýçlenmegine ýa-da peselmegine tolkunlaryň interferensiýasy diýilýär. Ol goşulyşýan yrgyldylaryň faza gatnaşygyna baglydyr.

Tolkunlaryň interferensiýasynyň ýüze çykmagynyň möhüm şerti –olaryň kogerentligidir, ýagny olaryň ýygylyklarynyň deň, fazalarynyň tapawudynyň wagta görä hemişelik bolmagydyr. Bu şerti diňe monohromatik ýagtylyk tolkunlary ýerine ýetirýärler. Şu şert ýerine ýetende, interferensiýa hadysasy diňe bir ýagtylyk tolkunlarynda däl, eýsem, ses tolkunlarynda-da, radiotolkunlarynda-da ýüze çykýar.

Hususy halda, haçan-da meýdanlaryň emele getirýän güýjenmeleri ululyklary boýunça deň, ugurlary boýunça garşylykly bolanda netijeleýji güýjenme nola deň, bir ýagtylyk beýleki ýagtylygy öçürýär we tersine, eger goşulyşýan tolkunlaryň elektrik meýdanlarynyň güýjenmeleriniň wektorlarynyň ugry bir tarapa ugrugan bolsa, ýagtylygyň intensiwligi artýar (ýagtylyk ýagtylygy güýçlendirýär).

Netijeleýji yrgyldynyň amplitudasy seredilýän yrgyldylaryň amplitudalaryny geometrik goşmak arkaly kesgitlenýär:

$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 \cos(\varphi_2 - \varphi_1). \qquad (5.27)$$

(5.27) deňlemäni seljerip, şeýle netije çykarýarys:

1. Eger $\varphi_2 - \varphi_1 = 0; 2\pi; 4\pi; \ldots 2k\pi$ bolsa, (bu ýerde: $k = 0, 1,2,3\ldots$), onda $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = 1$ we $A = A_1 + A_2$. (5.28)

2. Eger $\varphi_2 - \varphi_1 = \pi; 3\pi; 5\pi; \ldots (2k + 1)\pi$, (bu ýerde: $k = 0, 1,2,3\ldots$), onda $\cos(\varphi_2 - \varphi_1) = -1$ we $A = A_1 - A_2$. (5.29)

Birinji ýagdaýda netijeleýji yrgyldy artýar (güýçlenýär), ikinjide peselýär. Eger $A_1 = A_2$ bolsa, onda $A_{max} = 2A$ we $A_{min} = 0$. Ahyrky ýagdaýda ýagtylygy ýagtylygyň doly öçürmesi bolýar.

Adatça, bu şert fazalaryň tapawutlary arkaly däl-de, tolkunlaryň geçýän optiki ýolunyň $\Delta\delta$ tapawudy bilen kesgitlenýär. Belli bolşy ýaly, $\varphi = \pi$ faza ýarym tolkun uzynlygyna $\frac{\lambda}{2}$ tolkuna deň. Onda maksimumlar şertini şeýle formulirlemek bolar.

Goşulyşýan yrgyldylaryň optiki ýollarynyň tapawudy ýarym tolkun uzynlygynyň jübüt sanyna ýa-da tolkun uzynlygynyň bitin sanyna deň bolanynda netijeleýji yrgyldynyň maksimal güýçlenmesi bolýar, ýagny

$$\Delta\delta = 2k\frac{\lambda}{2} = k\lambda\,. \qquad (5.30)$$

Şular ýaly-da minimumlar şerti formulirlenýär: goşulyşýan yrgyldylaryň ýollarynyň tapawudy ýarym tolkun uzynlygynyň täk sanyna deň bolanynda netijeleýji yrgyldynyň peselmesi bolýar, ýagny

$$\Delta\delta = \left(2k+1\right)\frac{\lambda}{2}, \qquad (5.31)$$

bu ýerde $k = 0,1,2,3,\ldots$ ululyga interferensiýa maksimumynyň ýa-da minimumynyň tertibi diýilýär.

Interferensiýanyň ulanylyşy

Işleýşi interferensiýa hadysasyna esaslanan interferometrler dürli maksatlar üçin giňden ulanylýarlar. Mysal üçin, ýagtylyk tolkunlarynyň uzynlyklaryny takyk ölçemek, gazlaryň we başga maddalaryň döwme görkezijilerini kesgitlemek, iki şöhleli interferometriň we mikroskopyň birikdirilmesinden emele gelen interferension mikroskopy biologiýada gury maddanyň konsentrasiýasynyň döwme görkezijisini we dury mikroobýektleriň galyňlygyny ölçemek üçin giňden ulanylýar.

Interferensiýanyň kömegi bilen önümiň üstüniň bejerilişiniň hiline 10^{-6} *sm*-e çenli takyklyk bilen baha bermek bolýar we ş.m.

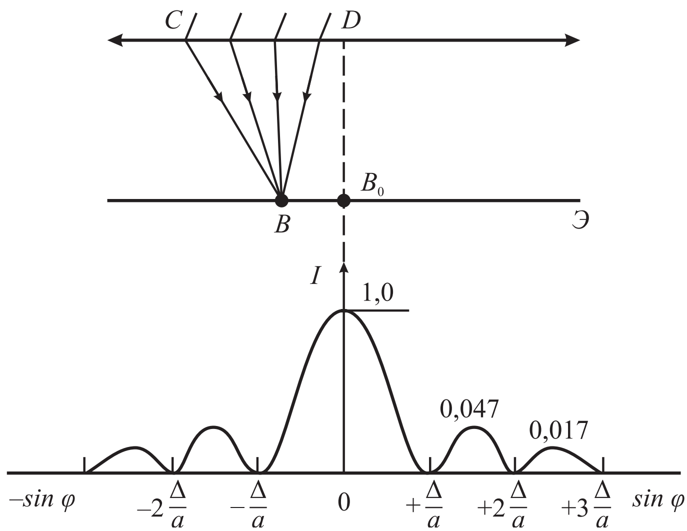
Ýagtylyk tolkunlarynyň gönüçyzykly ýaýramagyndan gyşaryp, päsgelçilikleriň daşyndan öwrülip geçmegine ýagtylygyň difraksiýasy diýilýär. Ýagtylygyň difraksiýasy onuň tolkun uzynlygyndan kiçi (ýa-da deňräk) yşlardan ýa-da dury däl ekranyň gyrasyndan geçende anyk ýüze çykýar. Tejribelerde ýagtylyk tolkunynyň difrakisýasyny yşlaryň ýa-da päsgelçilikleriň öçlegleri tolkun uzynlygy bilen bir tertipde bolsa (10 esseden köp tapawut etmese) ýa-da difraksiýa syn edilýän nokat yşdan ýa-da päsgelçilikden uly aralykda ýerleşen bolsa görmek bolýar.

Eger ýagtylygyň difraksiýasy ekranda käbir gutarnykly aralykda ýerleşen päsgelçiliklerden ýa-da yşdan ýüze çykýan bolsa, onda oňa Freneliň difraksiýasy diýilýär. Bu difraksiýa sferik ýagtylyk tolkunlarynyň difraksiýasydyr. Freneliň difraksiýasynda ekranda päsgelçiligiň (ýa-da yşyň) difraksion şekili emele gelýär. Freneliň difraksiýasynda difraksiýanyň şekilini Freneliň zonalary usulyny ulanyp anyklamak bolýar.

Tekiz ýagtylyk tolkunlarynyň, ýagny, parallel ýagtylyk şöhleleriniň difraksiýasyna Fraungoferiň difraksiýasy diýilýär. Nemes fizigi Ýozef Fraungofer 1821-1826-njy ýyllar aralygynda tekiz ýagtylyk tolkunlarynyň ýa-da käte aýdylyşy ýaly, parallel şöhleleriň difraksiýasyny öwrenen alym. Ol spektrleri barlamak üçin difraksion gözenegi ilkinji ulananlaryň biri hasaplanylýar.

Fraungoferiň difraksiýasynyň uly amaly ähmiýeti bolup, ol haçan-da ýagtylyk şöhlesi we päsgelçilik nokady difraksiýany emele getirýän päsgelçilikden tükeniksiz uzak aralykda ýerleşende ýüze çykýar. Şeýle görnüşli difraksiýany döretmek üçin ýygnaýjy linzanyň fokusynda ýagtylyk çeşmesini ýerleşdirip, difraksiýanyň şekiline päsgelçiligiň aňyrsynda ýerleşen ikinji ýygnaýjy linzanyň fokal tekizliginde gözegçilik etmek ýeterlikdir.

Tükeniksiz uzyn yşly Fraungoferiň difraksiýasyna seredeliň (şeýle ýagdaý üçin yşyň uzynlygy ininden has ulurak bolmagy ýeterlikdir). Goý, monohromatik ýagtylyk tolkuny ini *a* bolan darajyk yşyň tekizligine düşsün (*5.7-nji surat*).



5.7-nji surat. Fraungoferiň difraksiýasynyň emele gelşi

Yşdan φ erkin ugurlara gidýän çetki *MC* we *ND* şöhleleriň arasyndaky optiki ýoluň tapawudy:

$$\Delta = NF = a\sin\varphi. \qquad (5.32)$$

Bu ýerde F – ND şöhlä M nokatdan geçirilen perpendikulýaryň esasy.

Yşyň MN tekizligindäki tolkun üstüniň açyk bölegini M yşyň gapyrgalaryna parallel bolan zolak görnüşinde Freneliň zonalaryna dargadalyň. Her bir zonanyň ini bu zonalaryň çetindäki ýoluň tapawudy $\lambda/2$ bolar ýaly edilip alynýar, ýagny yşyň ähli ininde $\Delta:\lambda/2$ zona ýerleşmeli. Görnüşi ýaly, yşa ýagtylyk kadaly düşýär, yşyň tekizligi tolkunyň öň üsti bilen gabat gelýär. Şeýlelikde yşyň tekizligindäki tolkunyň öň üstleriniň ähli nokatlary birmeňzeş fazada yrgyldaýarlar. Saýlanyp alnan Freneliň zonalarynyň meýdanlarynyň deň we gözegçilik edilýän ugra ýapgytlyklarynyň birmeňzeş bolandygy sebäpli yşyň tekizligindäki ikilenji tolkunlaryň amplitudalary deň.

(5.32) aňlatmadan görnüşi ýaly, yşyň ininde ýerleşýän Freneliň zonalarynyň sany φ burça baglydyr. Öz gezeginde Freneliň zonalarynyň sany-da bir-biriniň üstüne düşýän ähli ikilenji tolkunlaryň netijesine bagly.

Ýagtylygyň interferensiýasy netijesinde her bir jübüt goňşy zonalaryň yrgyldylary özara biri-birilerini ýok edýändikleri sebäpli Freneliň her bir jübüt goňşy zonasynyň netijeleýji yrgyldysynyň amplitudasy nola deňdir.

Şeýlelikde, eger Freneliň zonalarynyň sany jübüt bolsa:

$$a\sin\varphi = \pm 2m\frac{\lambda}{2}\,(m = 1, 2, 3...)\,. \tag{5.33}$$

B nokatda difraksiýa minimumy döreýär (doly garaňky), eger Freneliň zonalarynyň sany täk bolsa:

$$a\sin\varphi = \pm(2m+1)\frac{\lambda}{2}\,(m = 1, 2, 3...) \tag{5.34}$$

bir sany kompensirlenmedik (ýok edilmedik) Freneliň zonasy arkaly difraksiýa maksimumy ýüze çykýar. Göni ugurda ($\varphi = 0$) yş Freneliň bir zonasy ýaly täsir edýär we bu ugurda ýagtylyk uly intensiwlikde ýaýraýar, ýagny B_0 nokatda merkezi difraksiýa maksimumy bolýar.

(5.33) we (5.34) aňlatmalaryň şertlerinden amplitudanyň (şeýle-de intensiwligiň) nola deň ($\sin\varphi_{min} = \pm\, m\lambda/a$) ýa-da maksimal baha ($\sin\varphi_{max} = \pm\,(2m + 1)\lambda/2a$) eýe bolan nokatlaryň ugurlaryny kesgitlemek bolýar.

Difraksiýa netijesinde ekranda ýagtylygyň intensiwliginiň bölünişi (difraksiýa spektri) 5.7-nji *b* suratda görkezilendir.

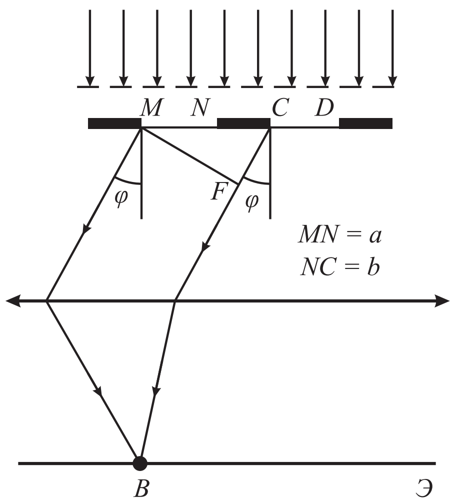
Merkezi we indiki maksimumlarda intensiwligiň şeýle gatnaşykdadygyny hasaplamalar görkezýär: 1 : 0,047 : 0,017 : 0,0083..., ýagny ýagtylyk energiýasynyň esasy bölegi merkezi maksimumda jemlenendir. Yşyň daralmagynyň merkezi maksimumyň köremegine (aýdyňlaşmazlygyna), onuň ýagtylygynyň azalmagyna (bu beýleki maksimumlara-da degişli) getirýändigini tejribeler we geçirilen degişli hasaplamalar görkezýär. Tersine, yş näçe giň ($a>\lambda$) bolsa, şekil şonça-da ýagty. Difraksiýa zolagy insiz we olaryň sany köp bolýar. Haçan $a>>\lambda$ bolanda, merkezi ýagtylyk çeşmesiniň aýdyň şekili alynýar, ýagny ýagtylygyň gönüçyzykly ýaýramasy bolýar.

Difraksiýa maksimumlarynyň ýagdaýy tolkun uzynlygyna – λ bagly, şonuň üçin difraksiýanyň seredilen görnüşleri diňe monohromatik ýagtylyga degişlidir.

Yş ak ýagtylyk bilen ýagtylandyrylanda merkezi maksimum ak zolak görnüşinde bolýar, ol ähli tolkun uzynlyklary üçin umumydyr ($\varphi = 0$ ýagdaýda ähli λ üçin ýoluň tapawudy nola deň). Gapdaldaky maksimumlar älemgoşar reňkinde reňklenen, sebäbi maksimumlar şerti islendik derejeli maksimumlar, dürli λ üçin dürli-dürli. Şeýlelikde, merkezi maksimumyň sagynda we çepinde birinji derejeli ($m = 1$), ikinji ($m = 2$) we beýleki derejeli maksimumlar emele gelýärler. Olaryň ählisiniň ýaşyl gyrasy merkezi maksimum tarapynda ýerleşendir.

Difraksiýa gözenegindäki Fraungoferiň difraksiýasy

Ýönekeýlik üçin goňşy MN we CD yşlary bolan difraksiýa gözenegine seredeliň.



5.8-nji surat. Difraksiýa gözeneginde Fraungoferiň difraksiýasy

Eger her bir dury yşyň giňligi a, yşlaryň aralygyndaky dury däl aralyklaryň ini b bolsa, onda $d = a + b$ ululyga difraksion gözenegiň hemişeligi (periody) diýilýär.

Goý, tekiz monohromatik ýagtylyk tolkuny gözenegiň tekizligine kadaly düşsün. Yşlar bir-birlerinden deň aralykda ýerleşýärler, goňşy iki yşdan gidýän şöhleleriniň ýollarynyň tapawudy şu ugurda ähli difraksion gözeneginiň çäginde birmeňzeş:

$$\Delta = CF = (a + b)\sin\varphi = d\sin\varphi. \tag{5.35}$$

Görnüşi ýaly, yşdan ýagtylygyň ýaýramaýan ugurlaryna ol iki yş bolanynda-da ýaýramaýar, ýagny öňki intensiwligiň (baş) minimumlary (5.35) aňlatmanyň şerti bilen kesgitlenýän ugurlarda ýüze çykýar:

$$a\sin\varphi = \pm m\lambda (m = 1,2,3,...). \tag{5.36}$$

Ondan başga-da, iki yşyň goýberýän ýagtylyk şöhleleri özara interferensiýa netijesinde birnäçe ugurlarda biri-birleriniň intensiwliklerini has-da kiçeldýärler, ýagny goşmaça minimumlary döredýärler. Görnüşi ýaly, goşmaça minimumlar şöhleleriň ýollarynyň tapawudy $\lambda/2$, $3\lambda/2$, ... bolan ugurlarda emele gelýär (mysal üçin, iki yşyň-da iň çetki çepdäki M we C nokatlaryň ugurlarynda).

Şeýlelikde, (5.36) aňlatmany hasaba almak bilen, goşmaça minimumlaryň şertini ýazýarys:

$$d\sin\varphi = \pm(2m + 1)\lambda/2, (m = 0, 1, 2 ...).$$

Tersine, bir yşyň täsiri beýlekileriň täsirini güýçlendirýär, eger

$$d\sin\varphi = \pm 2m\,\lambda/2 = \pm m\lambda, (m = 0, 1, 2 ...). \tag{5.37}$$

Ýagny, (5.37) aňlatma baş maksimumlar şertini goýýar.

Şeýlelikde, iki yş üçin difraksiýanyň doly şekili şeýle şert bilen kesgitlenýär:

baş minimumlar:

$$a\sin\varphi = \lambda, 2\lambda, 3\lambda ...,$$

goşmaça minimumlar:

$$d\sin\varphi = \frac{\lambda}{2}, \frac{3}{2}\lambda, \frac{5}{2}\lambda ...,$$

baş maksimumlar:

$$d\sin\varphi = 0, \lambda, 2\lambda, 3\lambda ....$$

Eger difraksion gözenek N yşdan durýan bolsa, baş minimumlar şerti (5.36) aňlatma bilen, baş maksimumlar şerti (5.37) aňlatma bilen kesgitlenýär. Goşmaça minimumlar şerti:

$$d\sin\varphi = m'\lambda/N,$$

$$(m'=1, 2, \dots N-1, N+1 \dots 2N-1, 2N+1 \dots). \qquad (5.38)$$

Bu ýerde m' – 0, N, $2N$,...-den başga ähli bitin san bahalaryny kabul edip biler. Ýagny, (5.38) aňlatmanyň şertiniň (5.37) aňlatmanyň şertine öwrülmeýän bahalary.

Şeýlelik bilen, N sany yş bolan ýagdaýynda iki sany baş maksimumyň aralygynda gaty gowşak ýagtylykly ikilenji maksimumlar arkaly bölünen (N – 1) goşmaça minimum ýerleşýär.

Yşlaryň sany näçe köp bolsa, gözenek arkaly şonça-da köp mukdarda ýagtylyk energiýasy geçýär we şonça-da goňşy baş maksimumlaryň aralygynda köp minimumlar ýerleşýär. Şeýlelikde, maksimumlar has ýiti we ýagty bolýar.

Ýagtylygyň gurşawlarda döwülmegi diňe ol gurşawlaryň häsiýetleri (olarda ýagtylygyň ýaýraýyş aýratynlyklary we ş.m) bilen bagly bolman, eýsem ýagtylygyň tolkun uzynlygy bilen hem bagly bolup durýar. Hemme ýeri optiki birmeňzeş bolan gurşawa takyk tolkun uzynlykly (kesgitli reňkli) ýagtylyk düşende, onuň belli ugur boýunça döwlüp ýaýraýandygyny belläp geçipdik. Bu hadysa diňe gurşawa bagly bolmak bilen çäklenmeýär. Ol gurşawa düşýän ýagtylygyň tolkun uzynlygyna (ýa-da) ýygylygyna hem baglydyr. Ýagny, şol bir gurşawda dürli tolkun uzynlykly ýagtylyklar dürli tizlikler bilen ýaýraýarlar. Netijede, şol bir gurşaw dürli tolkun uzynlykly (ýa-da ýygylykly, reňkli) ýagtylygy dürli hili döwýärler.

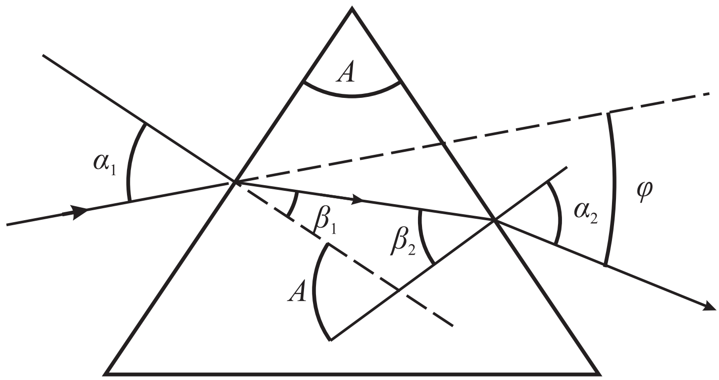
Gurşawda ýagtylygyň döwülme görkezijisiniň tolkun uzynlyga baglylygyna ýagtylygyň dispersiýasy diýilýär. Umuman, dispersiýa diýip, ýagtylygyň saýlanylmagy, ýagny onuň interferensiýa, difraksiýa hadysalarda döwleninde-de, dürli burçlar boýunça döwülmegine düşünilýär. Bu nukdaý nazardan interferensiýadaky dispersiýa, difraksiýadaky dispersiýa we çylşyrymly (ak) ýagtylygyň üçgranly dury aýnadan geçende döwlüp ýüze çykýan dispersiyalary tapawutlanýarlar.

Ýagtylygyň dispersiýasy şeýle aňladylýar:

$$n = f(\lambda). \qquad (5.39)$$

Bu ýerde n – gurşawda ýagtylygyň döwülme görkezijisi, λ – gurşawa düşýän ýagtylygyň tolkun uzynlygy.

Ak ýagtylyk üçgranly dury aýna prizma düşende dürli (7 sany atlary kabul edilen) reňklere dargap, dispersiýany ýüze çykarýar. Eger bir reňkli (bir ýygylykly) ýagtylyk depe burçy A bolan dury, döwme görkezijisi n bolan maddadan ýasalan üçgranly prizma α_1 burç bilen düşürilse, onuň çep we sag granlarynda (gapyrgalarynda) döwülip, ol φ burç boýunça çykar (*5.9-njy surat*).



5.9-njy surat. Üçgranly prizmada ýagtylygyň döwlüşi

Çyzgydan görnüşine görä:

$$\varphi = (\alpha_1 - \beta_1) + (\alpha_2 - \beta_2) = \alpha + \alpha_2 - A. \qquad (5.40)$$

Eger A we α_1 burçlary kiçi hasap etsek, onda α_2, β_1, β_2 burçlar hem kiçidirler we olaryň sinuslaryna derek burçlaryň radian bahalaryny ulanyp bolar. Onda:

$$\frac{\alpha_1}{\beta_1} = n; \qquad \frac{\beta_2}{\alpha_2} = \frac{1}{n} \qquad (5.41)$$

we

$$\beta_1 + \beta_2 = A \qquad (5.42)$$

bolýandygy sebäpli

$$\alpha_2 = \beta_2 n = n(A - \beta_1) = n(A - \alpha_1/n) = nA - \alpha_1, \qquad (5.43)$$

ýagny

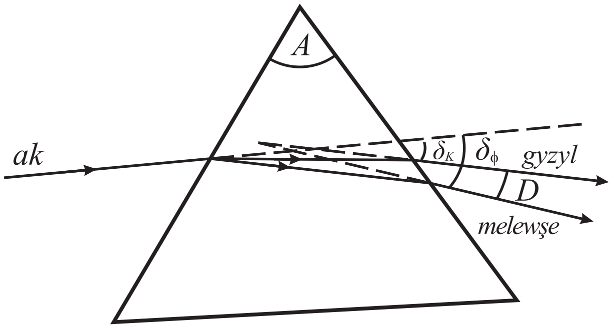
$$\alpha_1 + \alpha_2 = nA \qquad (5.44)$$

hem-de (5.40) we (5.43) aňlatmalardan

$$\varphi = A(n - 1) \qquad (5.45)$$

gelip çykýar. Ýagny, prizma düşýän şöhläniň çykanda gyşarýan burçy prizmanyň A depe burçuna we döwme görkezijisine bagly.

Eger-de bu ýagdaýda bir reňkli (monohromatik) däl-de, ak reňkli (köp tolkun uzynlykly) ýagtylyk düşürilse, döwlüp çykan şöhle dürli reňkli, dürli burçlar boýunça prizmadan çykarlar (*5.10-njy surat*).



5.10-njy surat. Üçgranly prizmada ak ýagtylygyň dispersiýasy

Eger tolkun uzynlygy kiçelende döwülme görkeziji ulalsa, şeýle dispersiýa normal dispersiýa diýilýär. Dispersiýanyň ululygy:

$$D = \frac{dn}{d\lambda} \tag{5.46}$$

aňlatma bilen aňladylýar. Şeýlelikde, λ ululygyň kiçelmeginde

$$\left|\frac{dn}{d\lambda}\right| > 0 \tag{5.47}$$

şert ýüze çyksa, bu normal dispersiýadyr. Eger-de λ kiçelende n hem kiçelse, anomal (normal däl) dispersiýa diýilýär.

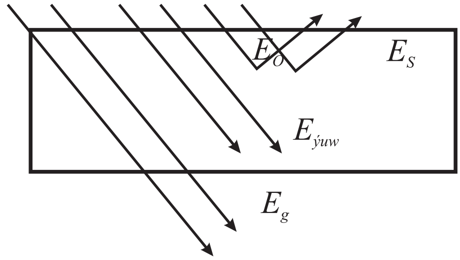
Aýna prizmada normal dispersiýa bolup geçýänligi sebäpli, melewşe (tolkun uzynlygy kiçi bolan) reňkli ýagtylyk gyzyl ýagtylykdan köp gyşarýar. Onuň döwülme görkezijisi uly.

Dispersiýanyň gyraky şöhleleriniň gyşarma burçlarynyň arasyndaky burça dispersiýa burçy diýilýär:

$$D = \delta_m - \delta_g = (n_m - n_g)A. \tag{5.48}$$

Bu hadysanyň esasynda maddalaryň spektral derňewlerini geçirip, olaryň himiki düzümlerini kesgitlemekde prizmaly spektrograflar ulanylýar.

Şöhlelenmäniň serpikdirilişi, ýuwudylyşy we geçirilişi.Temperaturasy absolýut noldan ýokary bolan jisimler elektromagnit şöhlelerini goýberýärler. Jisimler näçe gyzdyrylsa (temperaturasy artdyrylsa), olaryň şöhle goýberijiligi hem artýar. Goýberilen şöhleler başga jisimlere siňýärler we olary gyzdyrýarlar. Şoňa görä-de, bu şöhlelere ýylylyk şöhleleri, bu hadysa bolsa ýylylyk şöhlelenmesi diýilýär. Belli bir temperaturada jisimiň üst birliginden wagt birliginde goýberilýän şöhleleriň energiýasyna jisimiň şöhle goýberiş ukyby diýilýär. Ony E harpy bilen belläliň. Goý, bir jisimiň üstüne E_0 şöhle energiýasy düşýän bolsun.



5.11-nji surat. Şöhlelenmäniň serpikdirilişi, ýuwudylyşy we geçirilişi

Onda ýagtylyk şöhlesiniň bir bölegi serpigýär ($E_s < E_0$), ýene-de bir bölegi ýuwdulýar

($E_{ýuw} < E_0$), galan bölegi bolsa şöhlelenýän üstden geçýär ($E_g < E_0$)

Umumy energiýanyň deňlemesi şeýle aňladylar:

$$E_0 = E_s + E_{ýuw} + E_g. \tag{5.49}$$

Bu deňlemäniň iki tarapyny-da doly E_0 energiýa bölüp alarys:

$$1 = \frac{E_s}{E_0} + \frac{E_{yuw}}{E_0} + \frac{E_g}{E_0}. \tag{5.50}$$

Bu ýerde $\frac{E_s}{E_0} = \rho$ – jisimiň şöhläni serpikdirmek ukyby ýa-da serpikme koeffisiýenti, $\frac{E_{ýuw}}{E_0} = \alpha$ – şöhläni ýuwutmak ukyby ýa-da ýuwudylma koeffisiýenti, $\frac{E_s}{E_0} = r$ – ýagtylyk şöhlesini goýbermek ukyby ýa-da goýberijilik koeffisiýenti.

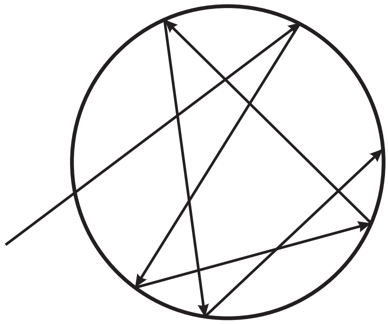
(5.50) aňlatma görä, bu koeffisiýentleriň arasynda şeýle baglanyşyk bardyr:

$$1 = \rho + \alpha + r. \tag{5.51}$$

r ululyk jisimiň durulygyny aňladýar. Jisimiň durulygy onuň galyňlygyna we materialyna baglydyr. Gaty jisimleriň köpüsi dury däldirler, $r = 0$. Onda

$$1 = \rho + \alpha. \tag{5.52}$$

Üstüne düşýän şöhleleriň ählisini özüne doly siňdirýän (ýuwudýan) jisime absolýut gara jisim diýilýär ($E_{ýuw} = E_o$) we $\alpha = 1$. Älemdäki käbir "gara deşik" diýilýän jisimler absolýut gara jisime meňzeşdirler. Emma biziň tebigatymyzda absolýut gara jisim ýokdur. Şoňa görä-de, ylymda we tehniki derňewlerde absolýut gara jisime meňzeş jisimler, mysal üçin, içi boş şar, (*5.12-nji surat*) emeli usullar bilen ýasalýar.



5.12-nji surat. Absolýut gara jisimiň şekillendirilişi

Deşikden şaryň içine girýän şöhle onuň içki üstünden birnäçe gezek serpikme netijesinde onuň energiýasy şara siňýär we ondan daşary çykmaýar. Şoňa görä-de, şaryň içi garaňky bolup görünýär.

Jisimleriň şöhle siňdiriş we goýberiş ukyby şöhläniň tolkun uzynlygyna, jisimiň reňkine we tempraturasyna bagly bolýar.

Käbir jisimleriň şöhle siňdiriş ukyplary:

a) ak reňkli jisimler (kagyz, gar, hek we ş.m.) $\alpha = 0{,}15 – 0{,}20$;

b) gara jisimler (kömür, gara reňkli mata, tüsse gurumy we ş.m.) $\alpha = 0{,}8 + 0{,}95$;

ç) absolýut gara jisimler $\alpha = 1$.

Beýleki jisimleriň şöhläni siňdirijilik ukyplary ak we gara jisimleriň aralygynda bolýarlar.

Jisimleriň hemişe ýylylyk şöhlelerini goýberýändikleri sebäpli ýapyk ulgamdaky jisimlerde bir-birleri bilen ýylylyk çalşygy netijesinde deňagramlylyk ýagdaýy döreýär.

Ýapyk ulgamdaky iki jisimiň arasyndaky şöhlelenmäniň deňagramlylyk ýagdaýyna seredeliň. Jisimleriň şöhle goýberiş ukyplary degişlilikde r_1 we r_2, şöhle siňdiriş ukyplary α_1 we α_2 , temperaturalary T_1 we T_2 bolsun.

Birinji jisimiň (*5.13-nji surat*) şöhle göýberiş ukyby ikinji jisimiňkiden n gezek köp, ýagny

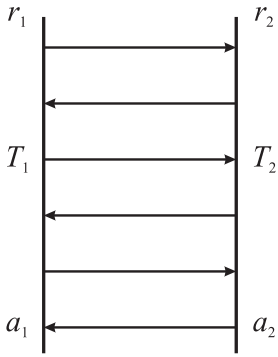
$$r_1 = nr_2. \qquad (5.53)$$

Deňagramlylyk ýagdaýynda birinji jisim näçe energiýany özüne siňdirse, ikinji jisimiňki şonça azalmaly:

$$\alpha_1 = n\alpha_2. \qquad (5.53)$$

Bu deňlikleriň gatnaşygyny ýazalyň:

$$\frac{r_1}{\alpha_1} = \frac{nr_2}{n\alpha_2} = \frac{r_2}{\alpha_2}. \qquad (5.54)$$



5.13-nji surat. Şöhlelenenmäniň deňagramlylygy

Eger ulgamda iki jisimden başga-da absolyut gara jisim bar bolsa, bu gatnaşyk aşakdaky ýaly ýazylar:

$$\frac{r_1}{\alpha_1} = \frac{r_2}{\alpha_2} = \frac{R_0}{\alpha_0}. \qquad (5.55)$$

Absolýut gara jisim üçin $\alpha_0 = 1$, onda:

$$\frac{r_1}{\alpha_1} = \frac{r_2}{\alpha_2} = R_0. \qquad (5.56)$$

Diýmek, jisimiň şöhle goýberiş ukybynyň, şöhle siňdiriş ukybyna bolan gatnaşygy absolyut gara jisimiň şöhle goýberiş ukybyna deňdir. Bu kesgitlemä Kirhgofyň kanuny diýilýär:

$$\frac{r}{\alpha} = R_0. \qquad (5.57)$$

Absolýut gara jisimiň şöhle goýberijilik ukyby onuň absolýut temperaturasynyň dördünji derejesine proporsionaldyr (Stefanyň-Bolsmanyň kanuny):

$$R_0 = \sigma T^4. \qquad (5.58)$$

Bu ýerde σ – Stefanyň-Bolsmanyň hemişeligi, $\sigma = 5{,}67 \cdot 10^{-8} \frac{Wt}{m^2 K^4}$;

T – jisimiň absolýut temperaturasy.

Dürli temperaturalarda absolýut gara jisimleriň spektrinde energiýanyň bölünişini içgin öwrenmeklik şeýle kanunalaýyklyklara getirýär:

1. Absolýut gara jisimleriň şöhlelenme spektrleri tutuş spektrlerdir.

2. Şöhlelenme spektrinde energiýanyň bölünişi tolkun uzynlygyna bagly. Tolkun uzynlygynyň artmagy bilen energiýa şöhlelenmesiniň spektral dykyzlygy artýar, birnäçe λ_m-de (tolkun uzynlygynda) uly baha (maksimuma) eýe bolup, soňra kiçelýär.

3. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen şöhlelenme maksimumy has gysga tolkun uzynlygyna tarap süýşýär.

Gaty gyzdyrylan jisim has-da gyzarýar, tempraturanyň artmagy bilen barha agymtyl bolup başlaýar. Bu bolsa ýylylyk şöhlelenme intensiwliginiň maksimumynyň jisimiň temperaturasynyň artmagy bilen spektriň ahyryna (melewşä), ýagny gysga tolkun uzynlygyna tarap süýşýändigini tassyklaýar.

Absolýut gara jisimiň şöhlelenme spektrindäki energetiki ýagtylanmasynyň spektral dykyzlygynyň gabat gelýän λ_m tolkun uzynlygy Winiň süýşme düzgüni bilen kesgitlenýär:

$$\lambda_m = \frac{c}{T}, \qquad (5.59)$$

bu ýerde $c = 2{,}8979 \cdot 10^{-3}\ m \cdot K$ – Winiň hemişeligi, T – jisimiň absolýut temperaturasy.

Fotoelektrik effekti. Fotoeffektiň kanunlary. Fotoeffektiň nazaryýeti

Infragyzyl şöhleleriň, görünýän ýagtylygyň, ultramelewşe, rentgen şöhleleriniň we energiýasy uly bolmadyk gamma kwantlaryň madda bilen özara täsiri netijesinde olardan elektronlaryň goparylmasy bolup geçýär.

Ýagtylygyň täsir etmegi netijesinde gaty we suwuk jisimleriň üstünden elektronlaryň goparylmak (uçyp çykmak) hadysasyna fotoeffekt diýilýär.

Ýagtylygyň täsiri netijesinde gazyň atomlarynyň we molekulalarynyň ionlaşmagyna fotoionizasiýa hadysasy diýilýär.

Fotoeffekt hadysasy esasy iki görnüşde – daşky we içki görnüşde bolýar.

1887-nji ýylda nemes fizigi G.Gers tarapyndan açylan we görnükli rus fizigi Stoletow tarapyndan bu ajaýyp hadysanyň ykjam öwrenilmegi ýagtylygyň tebigaty baradaky düşinjeleriň ösüşinde öňe ädilen möhüm ädim boldy.

Fotoelektronlaryň maksimal kinetik energiýasy ýagtylygyň ýygylygy bilen göni ösýär we ýagtylygyň intensiwligine bagly bolmaýar. Ýokarda belleýşimiz ýaly, eger ýagtylygyň ýygylygy berlen madda üçin käbir kesgitlenen ν_{min} minimal ýygylygyndan kiçi bolsa, onda fotoeffekt ýüze çykmaýar.

Fotoeffekt hadysasyny Makswelliň elektrodinamika degişli kanunlarynyň esasynda düşündirmegiň synanyşyklary hiç bir netije bermedi.

Plankyň ýagtylygyň üznükli goýberilýändigi baradaky ideýasyny ösdürmek bilen, Eýnşteýn 1905-nji ýylda fotoeffekti düşündirdi. Fotoeffektiň tejribe arkaly alnan kanunlarynda Eýnşteýn ýagtylygyň üznükli gurluşynyň bardygynyň we aýry-aýry ülüşler bien siňdirilýändigininiň hem ynandyryjy subudyny görüpdir. Şöhlelenmäniň her bir ülşüniň E energiýasy Plankyň çaklamasyna görä ýagtylygyň ýygylygyna proporsionaldyr:

$$E = h\nu. \tag{5.60}$$

Bu ýerde h – Plankyň hemişeligi, $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$.

Plankyň görkezişi ýaly, ýagtylygyň aýry-aýry ülüşler bilen şöhlelendirilmeginden ýagtylyk şöhlesiniň üznükli gurluşy gelip çykanok. Ýagyş hem ýere damja-damja bolup düşýär ahyryn, emma suwuň üznükli gurluşy bardyr we bölünmeýän bölejiklerden – damjalardan ybaratdyr diýip asla aýtmak bolmaz. Ýagtylygyň üznükli gurluşynyň bardygyny, diňe fotoeffekt hadysasy görkezdi: ýagtylyk energiýasynyň şöhlelendirilen $E = h\nu$ ülşi özboluşlylygyny soň hem saklaýar. Ülüş diňe tutuşlaýyn siňdirilip bilner.

Ýagtylygyň ülşüniň $h\nu$ energiýasy $A_ç$ çykyş işine, ýagny maddadan elektrony goparmak üçin gerek bolan işe we elektrona kinetik energiýa bermäge gidýär. Diýmek:

$$h\nu = A_ç + \frac{m\upsilon^2}{2}. \tag{5.61}$$

Bu deňleme fotoeffekte degişli bolan esasy faktlary düşündiryär. Ýagtylygyň intensiwligi Eýnşteýniň pikirine görä, ýagtylyk dessesindäki energiýanyň kwantlarynyň (ülüşleriniň) sanyna proporsionaldyr we şoňa görä, metaldan goparylan elektronlaryň sanyny kesgitleýär. Elektronlaryň tizlikleri bolsa (5.61) aňlatma laýyklykda, ýagtylygyň ýygylygyna we maddanyň jynsyna hem onuň üstüniň ýagdaýyna bagly bolan $A_ç$ çykyş işi bilen kesgitlenýär. Ol ýagtylygyň intensiwligine bagly däldir.

Fotoeffekt her bir madda üçin, ýagtylygyň ν ýygylygy käbir iň kiçi ν_{min} bahadan uly bolanda ýüze çykýar. Elektrona kinetik energiýa bermän, ony metaldan goparmak üçin hem $A_ç$ çykyş işini ýerine ýetirmeli. Diýmek, kwantyň energiýasy bu işden uly bolmalydyr:

$$h\nu > A.$$

Aňryçäk ν_{min} ýygylyga fotoeffektiň gyzyl araçägi (serhedi) diýilýär. Ol şeýle aňladylýar:

$$\nu_{min} = \frac{A_ç}{h}. \qquad (5.62)$$

$A_ç$ çykyş işi maddanyň jynsyna baglydyr. Şoňa görä hem dürli maddalar üçin fotoeffektiň aňryçäk ν_{min} ýygylygy dürlüdir.

Häzirki zaman fizikasynda fotona elementar bölejikleriň biri hökmünde garalýar. Elementar bölejikleriň tablisasy onlarça ýyllaryň dowamynda fotondan başlanýar. Ýagtylyk goýberilende we siňdirilende özüni ýygylyga bagly bolan $E = h\nu$ energiýaly bölejikleriň akymy ýaly alyp barýar. Ýagtylygyň şöhlelenýän we siňdirilýän mahalynda ýüze çykýan häsiýetlerine korpuskulýar häsiýetler diýilýär. Ýagtylyk bölejikleriniň özüne bolsa foton ýa-da ýagtylyk kwanty diýilýär.

Fotonyň hem beýleki bölejikleriňki ýaly, kesgitli $h\nu$ energiýasy bardyr. Fotonyň energiýasyny köplenç ν ýygylyk arkaly däl-de, $\omega = 2\pi\nu$ aýlaw ýygylyk bilen aňladýarlar. Şunda proporsionallyk koeffisiýenti hökmünde h ululygyň deregine $\hbar$ ululyk ulanylýar (“çyzylan aş” diýip okalýar), ol häzirki maglumatlara görä:

$$\hbar = 1{,}05 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s.$$

Onda fotonyň energiýasy şeýle aňladylýar:

$$E = h\nu = \hbar\omega. \qquad (5.63)$$

Görälik nazaryýetine laýyklykda, energiýa mydama massa bilen $E = mc^2$ aňlatma arkaly baglanyşyklydyr. Fotonyň energiýasy $h\nu$ bolany üçin onuň m massasy aşakdaky ýaly kesgitlenýär:

$$m = \frac{h\nu}{c^2}. \qquad (5.64)$$

Fotonyň m_o dynçlyk massasy ýokdur, ýagny ol dynçlyk ýagdaýynda bolmaýar. Dörän dessine c tizlik alýan, (5.64) formula bilen kesgitlenýän massa hereket edýän fotonyň massasydyr. Fotonyň belli m massasy we tizligi boýunça onuň impulsyny kesgitläp bolar:

$$p = mc = \frac{h\nu}{c} = \frac{h}{\lambda}.$$

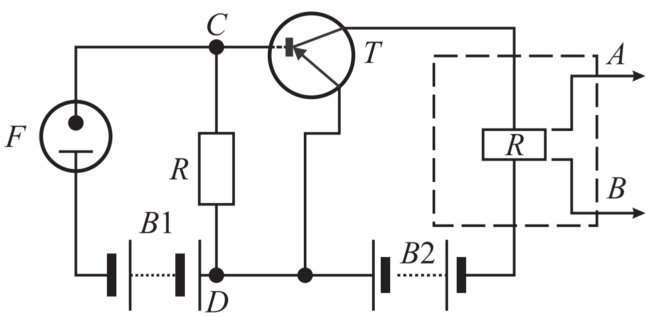
Fotonyň impulsy ýagtylyk şöhlesi boýunça ugrukdyrylandyr. Ýygylygyň energiýasy näçe uly bolsa, fotonyň energiýasy we impulsy şonça-da uludyr, ýagtylygyň korpuskulýar häsiýeti şonça-da aýdyň ýüze çykýar. Plankyň hemişeliginiň kiçiligi sebäpli, görünýän ýagtylygyň fotonlarynyň energiýasy juda ujypsyzdyr. Yaşyl ýagtylyga laýyk gelýän fotonlaryň energiýasy $4 \cdot 10^{-19}$ J bolýar. Muňa garamazdan, S.I.Wawilowyň ajaýyp tejribelerinde adamyň gözüniň kwant birliklerinde ölçelýan ýagtylandyryşyň tapawudyny duýmaga ukyply iň duýgur abzallaryň biridigi anyklandy.

Fotoeffektiň ulanylyşy

Ýagtylygyň tebigatyna has çuň düşünmek üçin fotoeffektiň açylmagynyň örän uly ähmiýeti boldy. Emma, ylmyň gymmaty diňe bizi gurşap alan dünýäniň çylşyrymly we köpdürli düzülişini düşündirmekden ybarat bolman, eýsem onuň biziň ygtyýarymyza berýän serişdelerini ulanylyp önümçiligi kämilleşdirmekden, jemgyýetiň maddy we medeni ýaşaýş şertlerini gowulandyrmakdan hem ybaratdyr.

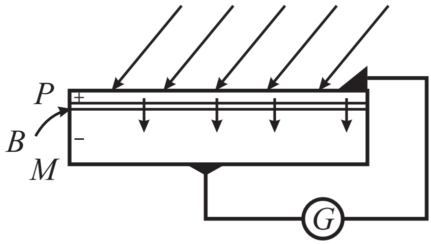
Fotoeffektiň kömegi bilen kino "dil açdy" we hereketlenýän şekilleri bermek mümkin boldy. Fotoeffekte esaslanyp gurlan abzallar önümleriň ölçeglerini islendik adamdan gowy barlaýar, maýaklary, köçe çyralaryny we ş.m. öz wagtynda ýakyp, söndürýär.

Bularyň hemmesi has kämilleşen gurluşlaryň – fotoelementleriň oýlanyp tapylmagy netijesinde mümkin boldy, olarda ýagtylygyň energiýasy elektrik togunyň energiýasyny dolandyrýar ýa-da oňa öwrülýär.



5.14-nji surat. Fotoelektriki dolandyryjy gurluş

5.14-nji suratdan görüşi ýaly, ýagtylyk fotoelementiň katodyna düşende, zynjyrda elektrik togy emele gelýar, ol tok bolsa ol ýa-da beýleki reläni işledýär ýa-da duruzýar. Fotoelementin rele bilen utgaşdyrylmagy köp dürli görüji awtomatlary döretmäge mümkinçilik berdi.



5.15-nji surat.Ýarymgeçirijili fotoelektrik çeşme

Fotoelementiň üstüne ýagtylyk düşende (*5.15-nji surat*) *R* rezistor arkaly *B*1 batareýanyň zynjyryndan gowşak tok gidýär. Rezistoryň uçlaryna tranzistoryň bazasy we emmitery birikdirilen. Bazanyň potensialy emmiteriň potensialyndan ýokarydyr hem-de tranzistoryň kollektor zynjyrynda tok ýokdur. Haçan-da, adamyň eli howply zona gabat gelende, ol fotogarşylyga düşýän ýagtylygyň akymynyň öňüni ýapýar.

Optiki kwant generatorlary (lazerler)

Lazer sözi "*Light Amplification by stimulated Emission of Radiation*" diýen iňlis sözleriniň ilkinji harplarynyň goşulmagyndan emele gelen söz bolup, türkmen diline terjime edilende indusirlenen (mejbury) şöhlelenmäniň kömegi bilen ýagtylygy güýçlendirmegi aňladýar.

Lazer näme diýlen soraga akademik N.G.Basow şeýle jogap berýär: "Lazer – ýylylyk, himiki, elektrik energiýalaryny elektromagnit meýdanynyň – lazer şöhlesiniň energiýasyna öwürýän gurluşdyr. Şeýle özgertmede energiýanyň bir bölegi gürrüňsiz ýitýär, ýöne netijede alnan lazer energiýasy juda ýokary hillidir. Lazer energiýasynyň hili onuň ýokary dykyzlygy we juda uly aralyga bermek mümkinçiligi bilen kesgitlenýär.

Lazer şöhlesiniň diametrini ýagtylyk tolkunynyň uzynlygyna deň bolan kiçijik menejikde ýygnap bolýar we şu günki mümkinçiliklerden peýdalanyp, ýadro partlamasynyň energiýasynyň dykyzlygyndanam uly dykyzlykly energiýany alyp bolýar. Lazer şöhlelenmesiniň kömegi bilen eýýäm temperaturanyň, basyşyň, magnit induksiýasynyň iň ýokary bahalary alyndy. Galyberse-de, lazer şöhlesi uly sygymly maglumat göteriji bolup, şu maksat bilen maglumat bermekde we gaýtadan işlemekde düýpgöter täze serişdedir".

1954-nji ýyly elektromagnit şöhleleriniň kwant generatorynyň döredilen ýyly diýip hasaplamak bolar. Şol ýyl rus alymlary N.G.Basow we A.M.Prohorow elektromagnit tolkunlaryny güýçlendirmek we generirlemek üçin indusirlenen şöhleleriň kwant ulgamyny ulanmaklygy teklip etdiler. Soňra öz ideýalaryny durmuşa geçirip, molekulýar generatory döretdiler. Şol ýyl hem amerikan fizikleri Ç.Taunsyň we onuň işgärleriniň ammiak molekulasynda elektromagnit şöhleleriniň molekulýar kwant generatorlary baradaky işleri çap edildi. Şeýle generatorlaryň şöhleleriniň tolkun uzynlygy 1,27 *sm*. Bu ilkinji iş kwant elektronikasynyň ösüşiniň başlangyjy boldy. Döredilen molekulýar generatorda iki energetiki derejeleriň arasyndaky geçişler ulanylýardy. Soňra N.G.Basow we A.M.Prohorow elektromagnit tolkunlaryny generirlemek we güýçlendirmek üçin üç energetiki derejeleriň arasyndaky geçişleri ulanmaklygy teklip etdiler.

Şeýlelikde, tebigy ýagdaýda elektromagnit şöhleleriniň optiki diapazonynda işleýän kwant generatorlaryny döretmek meselesi ýüze çykdy. Ýagtylygy güýçlendirmegiň usuly (prinsipi) 1940-njy ýylda rus fizigi B.A.Fabrikant tarapyndan teklip edilipdi.

1961-nji ýylda N.G.Basow, O.N.Krotin, A.M.Prohorow ýarymgeçirijili lazerleri döretmekligi teklip etdiler. 1963-nji ýylda ABŞ-da we öňki SSSR-de ilkinji arsenid galliý materialynyň esasynda ýarymgeçiriji lazeri döredildi.

Elektromagnit şöhlelenmeleriniň kwant generatorlarynyň ylmy we amaly ähmiýeti diýseň uludyr. 1964-nji ýylda kwant generatorlaryny döretmekde, kwant elektronikasyny ösdürmekde ýerine ýetiren işleri üçin rus fizikleri N.G.Basowa, A.M.Prohorowa we amerikan fizigi Ç.Taunsa Nobel baýragy berildi.

Häzirki wagtda giňden ulanylýan lazerler işçi jisimleriniň (aktiw gurşawyň) görnüşi boýunça gaty jisim, gaz, ýarymgeçirijili we suwuklykly lazerlere bölünýärler. Maddada elektronlaryň ýokary derejedäki sanyny aşaky esasy derejä seredeniňde köplüguni döretmek (nakaçka) üçin optiki, ýylylyk, himiki we elektriki usullar ulanylýar.

Lazerleriň esasy hökmany üç düzüm bölegi (komponenti) bolmaly:

1. Işçi jisimi, onda elektronlaryň konsentrasiýasynyň (göwrüm birligindäki sanynyň) köplügi döredilýär.

2. Atomlary oýandyrylan ýagdaýyna geçirmäge mümkinçilik berýän gurluş – işçi jisiminde elektronlaryň köplügini döretmek üçin ulanylýan gurluş.

3. Optiki rezonator – giňişlikde fotonlaryň akym ugruny saýlaýan we çykýan ýagtylyk desselerini emele getirýän gurluş.

Eger atomlar esasy 1-nji ýagdaýda ýerleşen bolsalar, olaryň bir bölegi daşky şöhlelenmäniň täsir etmeginde mejbury geçiş edip, ýokary energiýaly 2-nji ýagdaýa geçýärler we oýandyrylan halda bolýarlar.

Oýandyrlan 2-nji ýagdaýda duran atomlar sähelçe wagtdan soň hiç hili daşky güýçleriň täsiri bolmazdan, öz-özünden pes energiýaly (biziň ýagdaýymyzda esasy ýagdaý hasaplanýan) E_1 ýagdaýa geçýärler we artykmaç energiýalaryny elektromagnit şöhlelenmesi görnüşinde (energiýasy $h\nu = E_2 - E_1$ bolan) fotony goýbermek arkaly şöhlelenýärler.

Oýandyrylan atomlaryň hiç hili daşky güýçleriň täsiri bolmazdan, foton goybermeklik (şöhlelenmek) prosesine spontan ýa-da öz-özünden şöhlelenme diýilýär (*5.16-njy surat*). Öz-özünden bolup geçýän şeýle geçişleriň ähtimallygy näçe uly bolsa, atomyň oýandyrylan ýagdaýynda "ýaşaýan" (bolýan) wagty şonça-da az bolýar. Sebäbi, şeýle geçişler özara baglanyşyksyz we kogerent däldirler (birmeňzeş tolkun uzynlykly, fazalarynyň tapawudy hemişelik bolan ylalaşykly tolkunlara kogerent tolkunlar diýilýär).

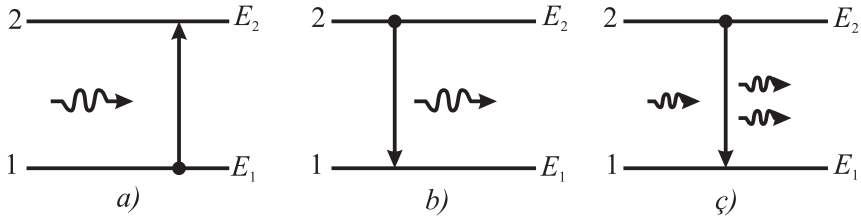
1916-njy ýylda A.Eýnşteýn maddanyň termodınamiki deňagramlylygynyň hem-de onuň göýberýän we siňdirýän şöhlelenmesiniň arasynda tejribede ýüze çykýan prosesleri düşündirmek üçin siňdirilýän we öz-özünden şöhlelenýän şöhlelenmelerden başga-da, täze üçünji bir hil taýdan täze görnüşli özara täsiriň bolmalydygyny teklip etdi. Eger oýandyrlan 2 ýagdaýdaky atoma $h\nu = E_1 - E_2$ şerti kanagatlandyrýan daşardan şöhlelenme täsir etse, mejbury (indusirlenen) geçiş ýüze çykýar we oýandyrlan atom energiýasy $h\nu = E_1 - E_2$ bolan fotony şöhlelendirip, energiýasy pes bolan 1 esasy ýagdaýa geçýär (*5.16-njy ç surat*). Şeýle geçişde şu geçişi döreden fotona goşmaça atomyň özü-de foton goýberýär. Şeýle geçişleriň netijesinde ýüze çykýan şöhlelenmä iki sany foton gatnaşýar. Ilkinji foton-oýandyrylan atomy şöhlelendirmäge mejbur eden foton, ikinjisi oýandyrylan atomyň goýberýän fotony. Şöhlelendirilen fotonlar bir ugra tarap hereket edýärler we beýleki oýandyrylan atomlar bilen duşuşyp, mejbury geçişleri ýüze çykarýarlar. Şeýlelikde, olaryň sany barha artýar. Bu şöhlelenmäniň ajaýyp aýratynlygy indusirlenen şöhlelenmede soňky dörän fotonlar, ilkinji fotonlardan ýygylyklary boýunça-da, polýarlanyşy boýunça-da tapawutlanmaýarlar.

Mejbury şöhlelenme kwant nazaryýetiniň dilinde atomyň ýokary energetik haldan aşaky (pes) energetik hala geçmegini aňladýar, emma bu adaty şöhlelenmede bolşy ýaly öz-özünden bolman, daşky täsiriň astynda bolýar.

Ilkinji işçi jisimi gaty jisim bolan, spektiriň görünýän çäklerinde işleýän (tolkun uzynlygy 0,6943 *mkm*) rubin lazeri 1960-njy ýylda ABŞ-da (T.Meýman) döredilýär. Onda N.G.Basow tarapyndan teklip edilen üç derejeli ulgam ulanylýar.

Siňdirme, öz-özünden we mejbury şöhlelenme.

Atomlar E_1, E_2, E_3… energiýalara eýe bolan kesgitli (kwant) hallarynda bolup bilerler. Biz ýönekeýlik üçin diňe E_1 we E_2 energiýalara eýe bolan iki derejeli ulgama serederis:



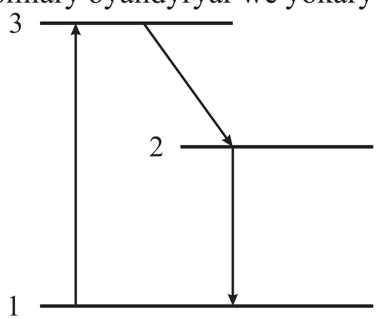
5.16-njy surat. *a – siňdirme; b – öz-özünden şöhlelenme; ç – mejbury şöhlelenme*

Üç derejeli sistema. Ýokarda belleýşimiz ýaly, atomlary oýandyrylan ýagdaýda bolan ulgamy almagyň dürli usullary bar. Rubin lazerinde şeýle maksat üçin ýörite kuwwatly çyra ulanylýar. Atomlar ýagtylygy siňdirmegiň hasabyna oýandyrylýar.

Emma energiýanyň iki derejesi lazeriň işlemegi üçin ýeterlik däldir. Çyranyň ýagtylygy näçe kuwwatly bolsa-da, oýandyrylan atomlaryň sany oýandyrylmadyk atomlaryň sanyndan köp bolup bilmez. Sebäbi, ýagtylyk şol bir wagtyň özünde atomlary oýandyrýar we ýokary derejeden aşaky derejä indusirlenen geçişlerini döredýär.

Üç energetik derejäni peýdalanmak bilen bu ýagdaýdan çykalga tapyldy (5.17-nji suratda üç energetik dereje şekillendirilendir).

Daşky täsir bolmadyk 1-nji ýagdaýda ulgamyň dürli energetik ýagdaýlarda bolýan wagtynyň (ýaşaýyş wagtynyň) birdeň däl bolmagynyň uly ähmiýeti bar-



5.17-nji surat. Oýandyrylan atomyň üç energetiki derejeleri

dyr. Üçünji derejede elektronlar oýandyrylan ýagdaýda bolup, örän az, ortaça $10^{-8}s$ töweregi ýaşaýarlar. Soňra öz-özünden 2-nji ýagdaýa ýagtylyk şöhlelendirmän geçýärler. Bu ýagdaýa durgunly däl (metastabil) ýagdaý diýilýär. Olaryň bu ýagdaýda „ýaşaýan“ wagtlary üçünji ýagdaý bilen deňeşdireniňde 100 000 esse uly ($10^{-3}s$). Şonuň üçin bu ýagdaý lazerlerde gysga wagtlaýyn energiýany toplamak hökmünde ulanylýar.

Hususan-da, lazeriň ähli täsir ediş mehanizmi, ýagny şeýle durnukly däl derejelerde mümkin boldugyça köp energiýany toplap, soňra-da ony birbada goýbermekden ybarat bolup durýar. Şonuň üçin durnukly däl derejelere mümkin boldugyça köp sanly atomlary „zyňmak“ gerek. Şeýle maksat üçin optiki nakaçka ulanylýar. Kristalyň daşynda ýerleşen ýagtylyk çeşmesi – pružin görnüşli gaz zarýadsyzlanma çyrasy energiýany şöhlelendirýär. Sygymy birnäçe müň mikrofarad bolan kondensatorlaryň batareýasyndan gelýän toguň impulsy çyranyň ýagty ýalpyldysyny döredýär. Ol şöhleler dury rubin kristalynyň içine aralaşýar.

Sähelçe wagtdan soň durnukly däl 2-nji energetik derejede elektronlaryň köplügi döredilýär.

Öz-özünden 2-1 geçişleriň netjesinde dürli ugurlar boýunça tolkunlar şöhlelendirilip başlanýar. Olardan kristalyň okuna burç bilen gidýänleri okdan çykyp, soňraky proseslerde hiç hili rol oýnamaýarlar. Kristalyň oky boýunça gidýän tolkun bolsa, onuň uçlaryndan köp gezek serpigýär. Ol hromyň oýandyrylan ionlarynyň industirlenen şöhlelenmesini döredýär we çalt güýçlenýär. Rubin çybygynyň bir ujuny aýnalaýyn, beýlekisini bolsa ýarym dury edýärler. Bu uçdan gyzyl ýagtylygyň kuwwatly gysga wagtly (dowamlylygy ýüz mikrosekunt töweregi) impulsy çykýar. Ähli atomlaryň ylalaşykly şöhlelenýändikleri sebäpli tolkun kogerentdir we juda kuwwatlydyr, sebäbi, indusirlenen şöhlelenmede ähli toplanan energiýa örän az wagtyň dowamynda kristaldan şöhle görnüşinde çykyp gidýär.

Lazerleriň işleýşini ýönekeý dörttaktly hereketlendirijileriň işleýişleri ýaly-da düşündirmek bolar:

1–nji takt. *Oýandyrmak*. Daşky ýagtylyk çeşmesi bilen işçi jisimini oýandyrmak we onuň atomlaryny energiýanyň oýandyrylan derejelerine geçirmek;

2-nji takt. *Gysyş*. Berlen energiýanyň köp bölegini durnukly däl derejelere geçirmek;

3-nji takt. *Otlamak*. Her bir kwantyň ýyldyrym çaltlygynda mejbury şöhlelenmäni goýbermegini döretmek;

4-nji takt. *Çykyş*. Gapdal üstleriň aralygynda „ylgap“ ýören ýagtylyk kwantlary durnukly däl derejeleri boşadýarlar. Ýagtylyk şöhlesi kuwwatly kogerent impulslar görnüşinde kristaldan çykýarlar.

Lazerleriň görnüşleri: Rubin lazerleriň işçi jisimi Al_2O_3 alýumin okisi bolup, oňa 0,03-0,05% möçberinde üç walentli hromyň ionlary goşulýar. Olar impuls kadasynda işleýärler. Rubinden başga-da, gaty jisim lazerleri hökmünde ýarymgeçirijili (*CaAs*) we aýna (flýuorit kalsiý –CaF_2, uran, samariý ýa-da neodim goşulan) lazerler ulanylýar. Bulardan başga-da, mysal üçin, geliýniň we neonyň garyndysyndan taýýarlanan gaz lazerleri bar. Aýratyn hem kömürturşy gazynyň – CO_2-niň esasynda taýýarlanan lazer giňden ulanylýar. Onuň peýdaly täsir koeffisiýenti 33%-e ýetýär (kuwwaty 18 *kWt*).

Bu lazeriň şöhlesi hiç bir kynçylyksyz, kerpijiň içinden geçip, ony ýakyp bilýär.

Häzirki wagtda işçi jisimi suwuklyk (gadoliniýniň, neodimiň we samariýniň erginlerinden) bolan lazerler hem ulanylýar. Olar spektriň ýaşyl böleginde (0,58 *mkm*) işleýärler. Bu şöhleler suwuň çuňluguna gowy aralaşyp bilýärler.

Lazerleriň ulanylyşy: Lazer şöhlesiniň ägirt uly kuwwatlylary wakuumda materiallary bugartmak, kebşirlemek we ş. m. üçin peýdalanylýar. Lazer şöhlesiniň kömegi bilen hirurgiýa operasiýalaryny geçirmek bolýar, meselem: gözüň düýbünden gopan torjagazlaryny “seplemek” bolýar, lazer şöhleleriniň kogerentligini peýdalanyp, jisimleriň göwrümleýin şekillerini alyp bolýar.

Lazerler ýagtylyk lokatorlaryny amala aşyrmaga mümkinçilik berýär, olaryň kömegi bilen predmetlere çenli uzaklyklary birnäçe millimetrlere çenli takyklyk bilen ölçäp bolýar. Şeýle takyklyk bilen ölçemek radiolokatorlar üçin mümkin däl.

Atomlary ýa-da molekulalary lazer şöhlelenmesi bilen oýandyryp, olaryň arasynda adaty şertlerde bolmaýan, himiki reaksiýalary ýüze çykaryp bolýar.

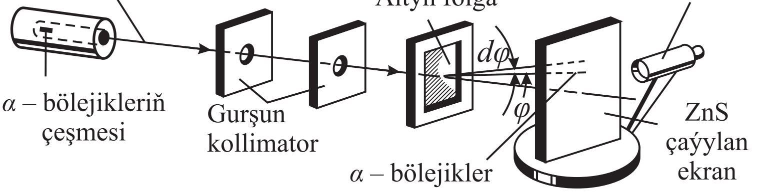
Lazer kuwwatly ýagtylyk çeşmesidir. Mysal üçin: rubin çybygy nakaçkada $W = 20Wt$ energiýa aldy we $10^{-3}s$ şöhlelendirildi diýeliň, onda şöhlelenme akymy $\phi_e = 20/10^{-3}\ J/s = 2.10^4 Wt$ bolýar. Bu şöhlelenmäni $1mm^2$ üste fokuslap, $\phi_e/S = 2\cdot10^4/10^{-6} Wt/m^2 = 2\cdot10^{10} Wt/m^2$ energiýa alyp bolýar. Şeýle kuwwatly şöhle bilen islendik gaty materiallary kesmek, olarda kiçijik deşijekleri emele getirmek bolýar.

5.3. Atomyň gurluşy

Atomyň çylşyrymly gurluşynyň açylmagy, atomyň ähli geljekki ösüşinde yz galdyrýan häzirki zaman fizikasynyň emele gelmeginde möhüm etap bolup, kwant mehanikasynyň döremegine getirdi.

Tomsonyň modeli. Alymlar atomyň gurluşy baradaky dogry düşünjelere birbada gelmediler. Atomyň ilkinji modelini elektrony açan iňlis fizigi J.J.Tomson teklip etdi. Tomsonyň pikirine görä, atomyň položitel zarýady onuň bütin göwrümini tutýar we şol göwrümde hemişelik dykyzlyk bilen paýlanandyr. Iň bir ýönekeý atom bolan wodorodyň atomy 10^{-8} *sm* görnüşindäki şarjagaz (sfera) bolup, onuň içinde deňagramlylyk ýagdaýda elektron ýerleşendir. Otrisatel elektronlar we ýadrodaky položitel zarýadlar özara itekleşme we dartyşma güýçleriniň täsiri netijesinde deňagramlylyk ýagdaýda bolýarlar. Deňagramlylyk ýagdaýyndaky elektronlar belli bir aralykda yrgyldyly hereket edýärler we ýagtylygy şöhlelendirýärler. Emma, Tomsonyň teklip eden bu modeli atomda položitel zarýadlaryň bölünişi barada geçirilen tejribelere doly garşy çykdy we bu model atom spektrindäki kanunalaýyklyklary düşündirip bilmedi. 1911-nji ýylda iňlis fizigi E. Rezerfordyň geçiren tejribeleri düýbünden başga atom modeline getirdi.

Rezerfordyň tejribesi. Radiý we birnäçe radioaktiw elementler α-bölejikleriniň çeşmeleri bolup hyzmat edip bilerler. Şol wagta çenli α-bölejikler barada köp zatlar bellidi: onuň massasy $6{,}7 \cdot 10^{-27}$ *kg* bolup, elektronyň massasyndan 7150 essä golaý uly, položitel zarýady bolsa elektronyň zarýadyndan 2 esse uly bolan, ýagtylygyň tizligine golaý ($\approx 10^7$ *m*/*s*) tizlik bilen hereket edýän iki gezek ionlaşdyrylan geliý atomlarydyr. Rezerford α – bölejikleriň çeşmesi hökmünde radiýni ulanýar. Geçirilen tejribäniň netijelerine esaslanyp, ol birnäçe gram agramly daşjagazyň awtoulag bilen çaknyşanda onuň tizligini duýarlyk üýtgedip bilmeýşi ýaly, elektronlar hem massalarynyň kiçidigi sebäpli α-bölejikleriň traýektoriýasyny duýarlyk derejede üýtgedip bilmezler, α-bölejikleriň hereket ugruny bölejikleriň diňe atomyň položitel zarýadlanan bölegi üýtgedip biler diýen netijä gelýär.



5.18-nji surat. Rezerfordyň tejjribesi

Suratdan görnüşi ýaly, gurşun silindriň içinde ýerleşdirilen radiýden çykýan bölejikleriň dessesi diafragma hökmünde ulanylýan gurşun kollimatoryndan geçip, altynyň (barlanylýan material) ýukajyk folgasyna düşýär. Energiýasy 5 *MeW* bolan bölejikler galyňlygy millimetriň ýüzden bir ülşüne golaý bolan altyn folgasyndan geçenlerinde olaryň 20000-inden diňe biri 90º gyşarypdyr. α-bölejikler folgadan geçip darganlaryndan soň kükürtli sink bilen örtülen ýarymdury ekrana düşýär. Her bir bölejik ekrana urlanda ýalpyldy döreýär we ony mikroskop arkaly görmek bolýar.

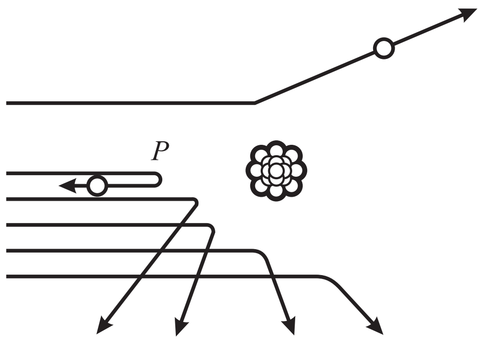
Gowy wakuumda abzalyň içinde folga ýokka, ekranda bölejikleriň insizje dessesiniň döreden ýagtylyk zolagy döräpdir. Emma, dessäniň ýolunda folga goýlanda α-bölejikler dargap, ekranyň köp meýdançasyny tutupdyrlar.

Rezerford tejribede alnan netijeleri seljerip, elektronlaryň massalaryna garanyňda iki esse uly massaly, ägirt uly tizlik bilen hereket edýän α-bölejikleriň gyşarmasy, eger-de folgada Tomsonyň teklip eden modelindäki ýaly položitel zarýadlar bütin göwrüm boýunça ýerleşmän, bir-birlerinden ýeterlik daşlykda topbak görnüşinde (örän kiçi ýerde) jemlenen bolsa, diňe şol halda α – bölejigiň yzyna zyňylmagy ýa-da gyşarmagy mümkindir diýen netijä gelýär. Şeýlelikde Rezerford, atom merkezinde ýadrosy bolan şol ýadroda-da onuň ähli massasy we ähli položitel zarýady toplanan kiçijik jisimlerdir diýen netijä gelipdir.

Ýadrodan dürli uzaklyklara gyşaran α - bölejikleriň traýektoriýasy 5.18-nji suratda görkezilendir. Dürli burçlara gyşaran α - bölejikleriň sanyny hasaplap, Rezerford ýadronyň ölçeglerini kesgitleýär.

Ýadronyň diametri dürli ýadrolar üçin dürli bolup, $10^{-12} – 10^{-13}$ *sm* töweregindedir. Atomyň özüniň ölçegi 10^{-8} *sm* töweregidir. Diýmek, ýadronyň ölçegi atomyň ölçeginden ýüz müň esse kiçidir. Ÿadronyň zarýady elektronyň zarýady birlik deregine kabul edilende elektronyň zarýadyny şol himiki elementleriň tablisasyndaky tertip belgisine köpeldilmegine deňdir (Ze).

Atomyň ýadrosy protonlardan we neýtronlardan ybaratdyr. Olara bilelikde nuklonlar diýilýär. Atom ýadrosyndaky nuklonlaryň sanyna atomyň A massa sany diýilýär.



5.19-njy surat. Ýadrodan gyşaran α – bölejikleriň traýektoriýalary

Atomyň planetar modeli. Rezerfordyň tejribelerinden atomyň planetar modeli gös-göni gelip çykýar. Merkezinde položitel zarýadlanan ýadro ýerleşip, atomyň ähli massasy diýen ýaly şonda jemlenendir. Atom tutuşlygyna bitarapdyr. Şoňa görä atomyň içindäki elektronlaryň sany onuň ýadrosynda ýerleşen položitel zarýadly bölejikleriň (protonlaryň) sanyna deňdir. Elektronlar, planetalaryň Günüň daşynda aýlanyşlary ýaly, ýadronyň töwereginde hereket edýärler. Elektronlaryň hereketleriniň şeýle häsiýeti ýadronyň kulon güýçleriniň edýän täsiri bilen kesgitlenýär.

Elektronlar ýadronyň töwereginde orbitalar boýunça tizlenmeli hereket edýärler. Makswelliň elektrodinamikadaky kanunyna görä, tizlenip hereket edýän zarýad özüniň ýadronyň töweregindäki aýlanma ýygylygyna deň ýygylykly elektromagnit tolkunlaryny şöhlelendirmelidir. Şöhle goýberen elektronlar öz energiýalaryny azaldýarlar, Nýutonyň mehanikasyna we Makswelliň elektrodinamikasyna esaslanyp geçirilen takyk hasaplamalara görä elektron 10^{-8} s çemesi wagtyň dowamynda ýadronyň üstüne gaçyp, atom öz ýaşamagyny bes etmelidir. Emma bu ýerde tejribe bilen nazaryýet gabat gelmeýär.

Atomlar durnukly. Olar ýaşamaklaryny bes etmeýärler. Bu ýerden atomyň içinde bolup geçýän hadysalary düşündirmek üçin nusgawy mehanikanyň kanunlaryny ulanyp bolmaýanlygy gelip çykýar.

Boruň kwant postulatlary. Tejribe bilen nazaryýetiň arasynda ýüze çykan bu gapma-garşylykdan 1913-nji ýylda Daniýaly fizik Nils Bor çykalga tapdy. Ol ilkinji bolup ýagtylyk şöhlelenmeleriň nazaryýeti baradaky çaklamalaryny üç sany postulat görnüşinde teklip etdi.

1-nji postulat. Elektronlar atomda birnäçe stasionar orbitalarda şöhlelenmän hereket edýärler.

2-nji postulat. Stasionar orbitalar bolup elektronyň hereket mukdarynyň momenti (impulsynyň momenti) $m\upsilon_n r_n$ bütin sanlara deň bolan orbitalar hasaplanylýar:

$$m\upsilon_n r_n = n\frac{h}{2\pi}, \qquad (5.65)$$

bu ýerde n – bütin sanlar (baş kwant sany n = 1,2,3…. bahalara eýe);

h – Plankyň hemişeligi $h = 6{,}63 \cdot 10^{-34}\ J \cdot s$;

m – elektronyň massasy, υ_n-elektronyň n-nji orbitadaky tizligi;

r_n – n-nji orbitanyň radiusy.

3-nji postulat. Elektron islendik daşky (2-nji) stasionar orbitadan golaýdaky (1-nji) stasionar orbita geçeninde atom, energiýasy $h\nu = E_2 - E_1$ deň bolan ýagtylyk ülşüni (fotony) göýberýär. Şeýlelikde, ol $\Delta E = E_2 - E_1$ ululykda energiýasyny ýitirýär.

Ýitirilen energiýanyň ululygy elektronyň haýsy orbitadan haýsysyna geçýändigine baglydyr.

Atom fotony ýuwudanynda oňa ters bolan proses bolup geçýär. Ol golaýdaky orbitadan daşky orbita geçip, oýandyrylan ýagdaýda bolýar.

Atom ýadrosy protonlardan we neýtronlardan ybaratdyr. Protonlaryň položitel zarýady bolup, ululygy boýunça elektronyň zarýadyna deňdir, emma alamaty boýunça garşylyklydyr. Protonyň massasy elektronyň massasyndan 1836,12 esse, neýtronyň massasy bolsa elektronyň massasyndan 1838,65 esse uludyr.

Biri-birinden 10^{-13} *sm* aralykda ýerleşen protonlar ägirt uly güýç bilen itekleşýänler-de bolsalar, olar böleklere dargap gitmeýärler. Ýadronyň şeýle durnuklylygy, ýadrodaky bölejikleriň arasynda ýadro güýçleri diýen aýratyn güýçleriň barlygy bilen düşündirilýär. Islendik himiki elementiň atomy ýa-da ýadrosy şeýle belgilenýär:

$${}^{A}_{Z}X,$$

bu ýerde A – ýadrodaky protonlaryň we neýtronlaryň sanyna deň bolan massa sany, Z – ýadrodaky zarýadlanan bölejikleriň (protonlaryň) sanyna deň bolan zarýad sany. Ýadronyň zarýady Ze, e-elektronyň zarýadyna deň bolan elementar zarýad. Mysal üçin $^{235}_{92}U$. Uran ýadrosy 92 protondan, $A - Z = 235 - 92 = 143$ neýtrondan ybaratdyr.

Ýadronyň massasy ony emele getirýän protonlaryň we neýtronlaryň massalarynyň jemine deňdir.

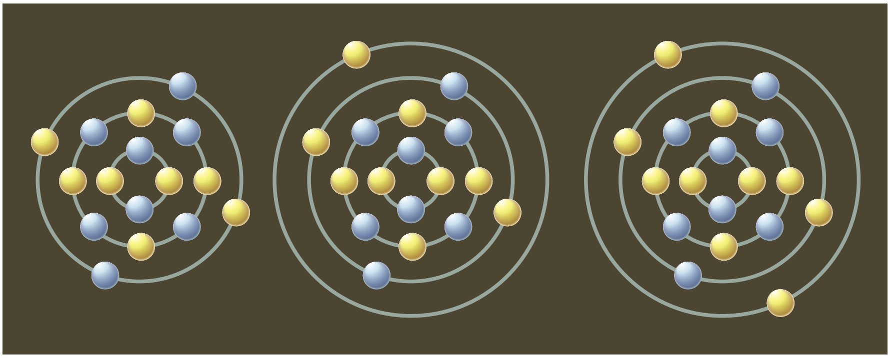
Birmeňzeş zarýadly, emma dürli massaly ýadrolara izotoplar diýilýär. Bir himiki elementiň izotoplarynyň birmeňzeş zarýad sany we dürli massa sany bardyr. Käbir elementleriň diňe durnuksyz (ýagny, radioaktiw) izotoplary bardyr. Tebigatda bar bolan elementleriň iň agyry bolan uranyňam (A = 238,235), iň ýeňili – wodorodyňam (A = 1,2,3) izotoplary bardyr. Wodorodyň izotoplary biri-birinden massalary boýunça üç esse tapawutlanýarlar.

Onuň birinji izotopy – $^{1}_{1}H$ – protiý, $^{2}_{1}H$ – izotopa deýteriý diýilýär. Ol durnukly (ýagny radioaktiw däl). Deýteriý kislorod bilen birleşende agyr suwy emele getirýär.

Ol, adaty suwdan tapawutlylykda, kadaly şertlerde 101,2ºC temperaturada gaýnaýar we 3,8ºC temperaturada doňýar. Agyr suw tebigy suwuň düzüminiň takmynan 0,016%-ini tutýar.

Atom massasy 3-e deň bolan ($^{3}_{1}H$) wodorodyň izotopyna tritiý diýilýär. Ol ýarymdargama periody 12 ýyla deň bolan β-radioaktiwdir.

5.20-nji suratda kislorodyň üç sany durnukly izotoplary görkezilendir.



5.20-nji surat. Kislorodyň izotoplary: $^{16}_{8}O$, $^{17}_{8}O$, $^{18}_{8}O$

Birmeňzeş (A) massa sanly, emma (Z) zarýad sanlary dürli bolan ýadrolara izobarlar diýilýär. Meselem $^{79}_{36}Kr$, $^{79}_{36}Pb$. Izobarlar dürli fiziki we dürli himiki häsiýetli elementler bolandyklary üçin olar Mendeleýewiň periodiki tablisasynda dürli öýjüklerde ýerleşýärler.

Materiýa hasaplanylýan bölejikleriň arasynda bize belli bolan üç sany özaratäsir güýçleri bardyr. Olar − grawitasiýa, elektromagnit we ýadro güýçleridir. Grawitasiýa güýçleriniň uly massaly jisimleriň özara täsirinde ähmiýeti uly bolup, atom hadysalarynda olary hasaba almasaň-da bolýar. Elektromagnit güýçleri iki sany nokatlanç zarýadlanan jisimleriň arasynda 10^{-8} *sm* aralyklarda täsir edýär. Ýadro güýçleri örän kiçi aralyklarda, ýagny atom ýadrosynyň diametrine golaýrak aralykda täsir edýär. Ýadroda ýerleşen bölejiklere iç tarapyndan ony döwjek bolýan ýeterlik uly bolan itekleşme Kulon güýçleri täsir edýär. Emma, atom ýadrosynda ýerleşen protonlary we neýtronlary ululygy boýunça ägirt uly bolan ýadro güýçleri dargamakdan saklaýar (nuklony ýadrodan çykarmak üçin örän uly iş etmeli, ýadro ägirt uly energiýa bermeli).

Ýadrony aýry-aýry nuklonlara doly bölmek üçin gerek bolan energiýa ýadronyň baglanyşyk energiýasy diýilýär. Energiýanyň saklanmak kanunynyň esasynda baglanyşyk energiýasy aýrý-aýry bölejiklerden ýadro emele gelende bölünip çykýan energiýa deňdir diýmek bolar.

Energiýanyň saklanmak kanunyna görä, ýadrodaky nuklonlaryň energiýasy olar birleşmeden öňki energiýalaryndan baglanyşyk (E_{bagl}) energiýalarynyň ululygyça azdyr. Beýleki tarapdan, massanyň we energiýanyň proporsionallyk kanunyna görä, sistemanyň energiýasynyň üýtgemesi sistemanyň massasynyň üýtgemegi bilen bolup geçýär:

$$\Delta E = \Delta mc^2. \tag{5.66}$$

Bu ýerde *c*-ýagtylygyň wakuumdaky tizligi. Seredýän halymyzda ΔE ýadronyň baglanyşyk energiýasydyr.

Çylşyrymly ýadronyň massasynyň ony emele getirýän bölejikleriň (protonlaryň we neýtronlaryň) massalarynyň jeminden kiçidigini tejribeler görkezýär. Olaryň tapawudyna massa defekti diýilýär. Ýagny,

$$\Delta m = M_0 - {}_Z^A M > O\,, \tag{5.67}$$

bu ýerde M_0 – ýadrony emele getirýän ähli bölejikleriň massalarynyň jemi, ${}_Z^A M$ – ýadronyň massasy. Belli bolşy ýaly:

$$M_0 = Zm_p + (A - Z)m_n, \tag{5.68}$$

bu ýerde m_p, m_n – degişlilikde – protonyň we neýtronyň massalary.

$$\Delta m = Zm_p + (A - Z)m_n - {}_Z^A M \cdot \qquad (5.69)$$

Massa defekti ýadrony ony emele getiren nuklonlara doly dargatmak üçin gerek bolan energiýanyň mukdaryny görkezýär. Ol ýokarda belleýşimiz ýaly, (5.69) formula bilen kesgitlenýär. ΔE ululyga izotopyň baglanyşyk energiýasy diýilýär we ol gönüden-göni ýadronyň durnuklylygynyň ölçegi bolup durýar.

Eger massa defekti atom massa birliginde ($1.a.m.b. = 1{,}66 \cdot 10^{-27} kg$) aňladylan bolsa, baglanyşyk energiýasyny şeýle aňlatma bilen kesgitlemek bolar:

$$\Delta E = 931 \cdot \Delta m \; MeW, \qquad (5.70)$$

bu ýerde 931 – proporsionallyk koeffisiýenti.

Baglanyşyk energiýasynyň ululygy barada şeýle mysal getirmek bolar: 4*g* geliý emele gelende 1,5-2 wagon daşkömür ýanan wagtynda bölünip çykýan energiýa deň energiýa bölünip çykýar.

Udel baglanyşyk energiýasynyň *A* massa sanyna baglylygy ýadronyň häsiýetleri barada möhüm maglumatlary berip biler.

Ýadronyň bir nuklonyna düşýän baglanyşyk energiýasyna udel baglanyşyk energiýasy diýilýär:

$$\varepsilon = \frac{\Delta E}{A} = \frac{\Delta m \cdot c^2}{A} \cdot \qquad (5.71)$$

Ýadro güýçleri tebigaty boýunça elektrik güýçleri däl, onuň ululygy bölejigiň zarýadyna bagly däl. Şonuň üçin neýtron-neýtron, proton-proton we neýtron-proton jübütleriniň arasynda täsir edýän ýadro güýçleri birmeňzeşdirler. Emma, atom belgileriniň artmagy bilen protonlaryň arasyndaky elektrostatiki itekleşme güýçleri barha artýar. Şonuň üçin Mendeleýewiň periodiki tablisasynyň ahyrynda ýerleşen elementleriň ýadrolarynyň, talliýden başlap, radioaktiwdikleri tebigydyr.

Radioaktiwlik. Alfa-, beta- we gamma-şöhlelenmeler

Fransuz alymy Bekkerel gün ýagtylygy bilen şöhlelendirilen maddalaryň häsiýetlerini öwrenipdir. Ol bir gezek fotoplastinkany dykyz gara kagyza dolap, onuň üstüne uran duzunyň owuntygyny döküp, ony Günüň açyk ýagtysynda goýýar. Plastinka işlenip bejerilende onuň üstüne duz dökülen ýerleri garalypdyr. Ol uranyň rentgen şöhlelenmesine meňzeş, dury däl jisimleriň içinden geçip, fotoplastinka täsir edýän nähilidir bir şöhlelenmäni döredýändigini görýär.

Bekkerel bu şöhlelenme gün şöhleleriniň täsir etmeginde döreýändir diýip pikir edýär. Tejribäni gaýtalajak bolýar. Emma howa bulutly bolanlygy sebäpli, gaýtalap bilmeýär. Bekkerel plastinkanyň üstünde uranyň duzy bilen örtülen mis atanagyny goýup, olary stoluň çekerine salypdyr. Iki gün geçenden soň, plastinkany işläninde, onuň üstünde atanagyň açyk kölegesiniň görnüşinde garalmany görýär. Bu bolsa uranyň duzlarynyň öz-özünden haýsydyr bir şöhlelenmäni döredýändigini aňladýar. Diýmek, uran duzlary görünmeýän şöhleleri göýberýär, ýagtylanmany ýüze çykarýar, dury däl jisimleriň içinden geçýär, gazlary ionlaşdyrýar, fotoplastinkany garaldýar.

Şeýlelikde, Bekkerel tarapyndan 1896-njy ýylda açylan bu hadysa radioaktiwlik hadysasy adyny aldy. Uran duzlarynyň öz-özünden şöhlelenmegine tebigy radioaktiw şöhlelenme diýilýär.

Radioaktiw şöhlelenmäniň çylşyrymly düzümi bolup, oňa alfa-şöhlesi, beta-şöhlesi we gamma şöhlesi adyny alan üç görnüşli şöhleler girýär. Bu şöhleleriň tebigaty we esasy häsiýetleri bilen tanşalyň.

1. *Alfa bölejikler* ýadroda iki protonyň we iki neýtronyň goşulmagyndan emele gelýär diýip hasap edilýär. Olar alfa-şöhleleri adyny alan ^4_2He geliý atomynyň ýadrosynyň akymydyr. Bu ýadro reaksiýasy şeýle görnüşde ýazylýar: $^A_zX \rightarrow {}^{A-4}_{z-2}Y + {}^4_2He$.

Alfa-şöhleleri elektrik we magnit meýdanlarynda gyşarýarlar. 5.21-nji suratda alfa- bölejikleriň akymynyň ugruna perpendikulýar bolan magnit meýdanynda olaryň gyşaryşy görkezilendir. Her bir bölejigiň $+ 2e$ bolan položitel zarýady we 4-e deň bolan massa sany bardyr. Alfa-bölejikler radioaktiw elementiň ýadrosyndan 14000-20000 km/s tizlik bilen çykýar.

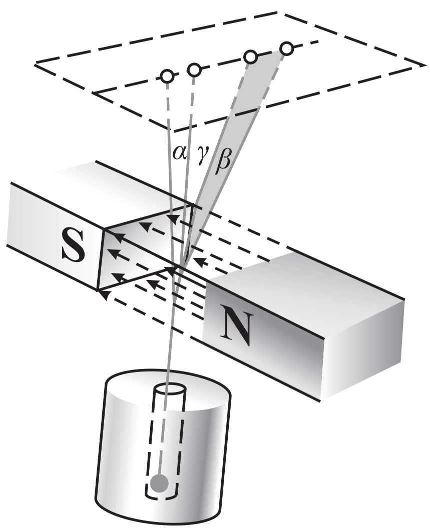
Maddanyň içinden geçip, α – bölejikler onuň atomlaryny ionlaşdyrýarlar, olara özüniň elektrik meýdany bilen täsir edýärler (maddanyň atomyndan elektronlary gysyp çykarýarlar). Atomlary ionlaşdyrmaga energiýalaryny harçlap, α – bölejikler togtaýarlar we özüne iki elektrony kabul edip, geliý atomyna öwrülýärler.

α – şöhleleriniň iň kiçi geçijilik ukyby bardyr, şol bir wagtyň özünde ionlaşdyryjy ukyby has-da uludyr (1 sm aralykda 30.000 jübüt iony emele getirýär). Galyňlygy 0,1 mm bolan kagyz gatlagy α-bölejikler üçin eýýäm dury däldir. Eger gurşun plastinkasyndaky deşigi kagyz listi bilen ýapsak, onda fotoplastinkada α-şöhlelenmä degişli menek görünmez. Ol galyňlygy 0,06 *mm* bolan alýumin gatlagynda doly ýuwdulýar.

2. *Beta-şöhlelenme* ýadrodan protonyň neýtrona we elektrona dargap, elektronyň uçup çykmagy bilen düşündirilýär. Netijede ýadronyň zarýad sany bir birlik artýar. Bu ýadro reaksiýasy şeýle görnüşde ýazylýar: ${}^{A}_{z}X \rightarrow {}^{A}_{z+1}Y + {}^{0}_{-1}e$.

Käbir emeli-radioaktiw izotoplaryň pozitronlary (zarýady položitel bolan elektronlary $-\ {}^{0}_{+1}e$) şöhlelendirýändikleri hem belli boldy.

Beta-şöhleleri elektrik meýdanynda-da, magnit meýdanynda-da güýçli gyşarýarlar. Olar β-bölejikleri diýip atlandyrylýan elektronlaryň akymydyr. Olaryň massasy 7350 esse *α*-bölejikleriň massasyndan kiçidir. *β*-bölejikleriň orta tizligi 160000 *km*/*s* golaý. Suratda magnit meýdanynda *β*-bölejikleriň gyşaryşy görkezilendir. Şol bir radioaktiw elementiň ýadrosy tizligi 0-a golaý bolan we ýagtylygyň tizligine golaý bolan *β*-bölejikleri göýberýär. Bu bolsa *β*-bölejikleriň dessesiniň magnit meýdanynda giňelmegine getirýär. *β*-böjikleriň massalary kiçi, tizlikleri uly, bir elementar zarýada eýe, ionlaşdyryjy ukyby *α*-bölejikleriňkiden 100 gezek kiçi. Olaryň ylgaw ýoly (ýokary energiýada) howada 40 *m*, alýuminiýde 2 *sm*, biologiki tende – 6 *sm*-e deňdir.



5.21-nji surat. *α*, *β*, *γ* – şöhleleriň magnit meýdanynda gyşaryşy

3. *Gamma şöhleleri*. Öz häsiýetleri boýunça γ-şöhleleri rentgen şöhlelerini ýada salýar. Emma olaryň geçirjilik ukyby rentgen şöhleleriniňkiden has-da uludyr. γ – şöhleleri örän gysga tolkun uzynlygy bolan elektromagnit tolkunlarydyr ($\gamma = 10^{-8} - 10^{-11} sm$). Olaryň tizligi elektromagnit tolkunlarynyň tizligi ýaly – 300000 *km/s* golaýdyr. Ýokarda belleýşimiz ýaly, rentgen we γ şöhleleri bir-birlerinden öz gelip çykyşlary we energiýalary boýunça tapawutlanýarlar. Rentgen şöhleleri çalt hereket edýän elektronlar birden togtadylan wagtynda ýüze çykýan bolsa, γ – şöhleleri ýadro öwrülmelerinde ýüze çykýar. Onuň islendik madda bilen özara täsirinde üç sany häsiýeti ýüze çykýar: fotoeffekt, Komptonyň effekti we elektron-pozitron jübütiniň emele gelmegidir.

Süýşme düzgüni. Radioaktiw dargama kanuny. Ýarymdargama periody

Radioaktiw şöhlelenmede şöhlelenýän elementiň atomy başga bir elementiň atomyna öwrülýär. Bu proses süýşme düzgünine boýun egýär. Bu düzgün radioaktiw dargama mejbur bolan izotopyň massa sanyny emele gelen izotopyň massa sany bilen baglanyşdyrýar.

β bölejik göýberilende ýadronyň zarýady bir birlik artýar, β-bölejigiň massasynyň kiçidigi sebäpli massa sany üýtgemän galýar. Şeýlelikde, β-dargamada radioaktiw element atom belgisi bir birlik uly bolan elemente öwrülýär, massa öňküligine galýar. Başgaça aýdanymyzda, β – dargamada element massa sany üýtgemesiz periodiki ulgamda bir belgi saga süýşýär, ýagny:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{z+1}^{A}Y + \beta^{-}. \qquad (5.72)$$

Mysal üçin: ${}_{83}^{210}Bi \rightarrow {}_{84}^{210}Po + \beta^{-}$.

α – bölejik göýberilende ýadronyň zarýady iki birlik, massa sany bolsa – 4 birlik kemelýär, ýagny, α – dargamada elementiň massa sany dört birlik kemelip, ol iki belgi çepe süýşýär:

$$ {}_{Z}^{A}X \rightarrow {}_{z-2}^{A-4}Y + {}_{2}^{4}He. \qquad (5.73)$$

Mysal üçin ${}_{84}^{210}Po \rightarrow {}_{82}^{206}Pb + {}_{2}^{4}He$.

Periodiki ulgamda radioaktiw elementiň süýşmesini kesgitleýän (5.72) we (5.73) düzgüne radioaktiw süýşme düzgüni diýilýär. Ol ilkinji gezek 1913-nji ýylda iňlis fizigi we himigi J.Soddi tarapyndan we ondan bihabar, nemes fizigi we himigi K.Faýans tarapyndan açylýar (Soddiniň-Faýansyň kanuny).

Radioaktiw dargama radioaktiw elementiň atom sanynyň kem-kemden azalmagyna getirýär. Ol tötänleýin häsiýete eýe bolup, haýsy atomyň haçan dargajakdygyny öňünden aýtmak mümkin däl.

dt wagtda dargaýan *dN* atomlaryň sany, radioaktiw elementiň atomlarynyň umumy *N* sanyna we dargama wagtyna proporsionaldyr:

$$dN = -\lambda N dt, \qquad (5.74)$$

bu ýerde λ – berlen elementiň proporsionallyk koeffisiýenti, oňa dargama hemişeligi diýilýär. Minus alamaty radioaktiw elementiň atomlarynyň sanynyň wagta görä azalýandygyny aňladýar. (5.74) deňlemeden, tapýarys:

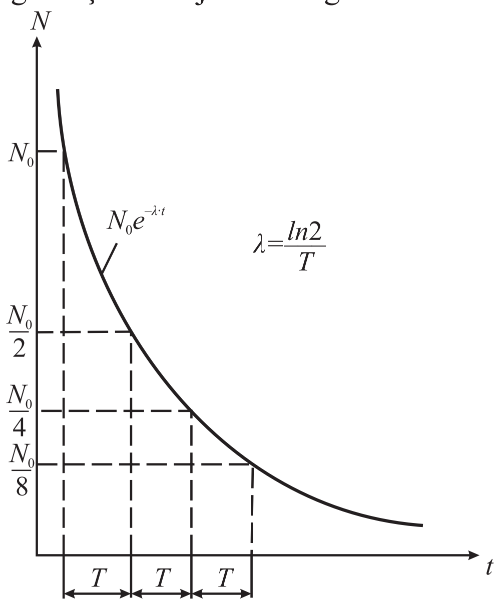
$$\lambda = -\frac{dN}{Ndt}.$$

Ýagny, dargama hemişeligi berlen elementiň atomlarynyň sanynyň wagta baglylykda göräli azalmagyna deňdir.

(5.74) deňlemäni $t = 0$-dan t aralygynda integrirläp, alýarys

$$N = N_0 e^{-\lambda t}. \qquad (5.75)$$

bu ýerde N_0 – başlangyç wagt pursatyndaky elementiň atomlarynyň sany, N – şol bir elementiň t wagt geçeninden soňky galan atomlarynyň sany. (5.75) gatnaşyga radioaktiw dargama kanuny diýilýär. Bu kanunyň çyzgy görnüşi 5.22-nji suratda görkezilendir.



5.22-nji surat. Radioaktiw atomlaryň dargaýşynyň ýarymdargama periodyna baglylygynyň grafigi

Radioaktiw elementiň dargaýşyny häsiýetlendirmek üçin ýarymdargama periody diýen düşünje girizilýär.

Berlen elementiň atomlarynyň mukdarynyň iki esse azalýan wagtyna ýarymdargama periody T diýilýär. (5.75) aňlatmadan

$$e^{-\lambda T} = \frac{1}{2}, \text{ bu ýerden: } T = \frac{\ln 2}{\lambda} = \frac{0,693}{\lambda}. \qquad (5.76)$$

Dargama hemişeligine ters bagly bolan ululyga radioaktiw atomyň ortaça ýaşaýan wagty τ diýilýär.

$$\tau = \frac{1}{\lambda}, \quad \text{diýmek,} \quad T = \tau \ln 2.$$

Bu ýerden: $T = \tau \ln 2$; $\tau = 1,44 \cdot T$. Ýagny, radioaktiw atomyň ortaça ýaşaýan wagty ýarymdargama periodyndan 1,5 essä golaý uly.

Ýarymdargama periodyna düşünmek üçin şeýle mysal getireliň: Poloniýniň ${}^{210}_{84}Po$ periody T = 140 gün. Diýmek, 1g poloniýden 140 günden soňra 0,5 g galýar. Ýene-de 140 günden 0,5 gramyň ýarysy, ýagny 0,25 g galýar. Şeýlelikde, her 140 günden poloniýniň galan atomlarynyň sany ýarym-ýarymdan azalyp barýar. Geň galaýmaly fakt, poloniýniň 560 günden soňky galan 1/16 gramy ähli häsiýetleri boýunça şol başdakysyndan hiç hili tapawutlanmaýar. Bu bolsa ýadronyň häsiýetleriniň kem-kemden üýtgäp, ewolýusiýa netijesinde ýadronyň dargaýandygyny aňlatmaýar. Diýmek, radioaktiw ýadronyň häsiýeti wagtyň geçmegi bilen üýtgemeýär, „ýadro garramaýar“. Bu häsiýet ähli radioaktiw elementlere-de, ähli radioaktiw öwrülmelere-de degişlidir.

Radioaktiw elementiň 1sekundyň dowamynda dargaýan atomlarynyň sanyna, bu elementiň aktiwligi diýilýär:

$$a = \left| \frac{dN}{dt} \right|, \qquad (5.77)$$

(5.74), (5.75) we (5.76) aňlatmalardan: $a = \lambda N = \frac{N \ln 2}{T}$ ýagny, elementiň aktiwligi onuň mukdaryna göni proporsional bolup, ýarymdargama periodyna ters proporsionaldyr. Aktiwligiň birligi deregine 1g radiniň aktiwliligi kabul edilen, oňa kýuri diýilýär (Ku). 1 $Ku = 3,7 \cdot 10^{10}$ *dargama/s.*

Radioaktiw elementleriň topary

Himiki elementiň radioaktiw dargamasynyň önümi-de radioaktiw bolup biler. Şonuň üçin radioaktiw dargama prosesi köpsanly aralyk derejelerden geçip, radioaktiw elementleriň zynjyryny emele getirýär, ahyrynda bolsa durnukly elementde gutarýar. Elementleriň şeýle zynjyryna radioaktiw maşgalalar diýilýär.

Häzirki wagta çenli dört sany radioaktiw maşgalanyň barlygy anyklanyldy.

1. Uran – radiýniň maşgalasy $^{238}_{92}U$-den başlanýar ($T = 4{,}5 \cdot 10^9$ ýyl) we durnukly $^{206}_{82}Pb$ gurşun izotopynda gutarýar.

2. Neptunlaryň maşgalasy transuran elementi bolan $^{237}_{93}Np$ neptuniýden başlanýar ($T = 2{,}2 \cdot 10^6$ ýyl) we $^{209}_{83}Bi$ wismut izotopynda gutarýar. Şu ýerde bir zady bellemek gerek. Tebigy neptuniý doly dargap gutaranlygy sebäpli Ýerde ýok, häzirki wagtda ony emeli ýadro reaksiýalary arkaly alýarlar.

3. Aktiniýleriň maşgalasy $^{235}_{92}AcU$ – aktiniý urandan başlanýar ($T = 7{,}3 \cdot 10^8$ ýyl) we $^{207}_{82}Pb$ gurşunyň izotopynda gutarýar.

4. Toriýleriň maşgalalary $^{232}_{90}Th$ toriýden başlap ($T = 1{,}4 \cdot 10^{10}$ ýyl), $^{208}_{82}Pb$ gurşunyň izotopynda gutarýar.

Aşakdaky tablisada uran-toriýniň radioaktiw maşgalasynyň ähli agzalary ýerleşdirilen. Enelik elementleriň aşagynda gyzlyk elementleri ýerleşdirilen jedwelde radioaktiw dargamanyň görnüşleri, ýarymdargama periodlary görkezilendir.

Şu tablisadan we süýşme düzgüninden peýdalanyp, ähli zynjyr boýunça şu maşgalada bolup geçýän radioaktiw öwrülmeleri häsiýetlendirmek bolar.

Tablisa

Uran-toriýniň radioaktiw maşgalasynyň häsiýetnamalary. Ýadro reaksiýalary. Emeli radioaktiwlik

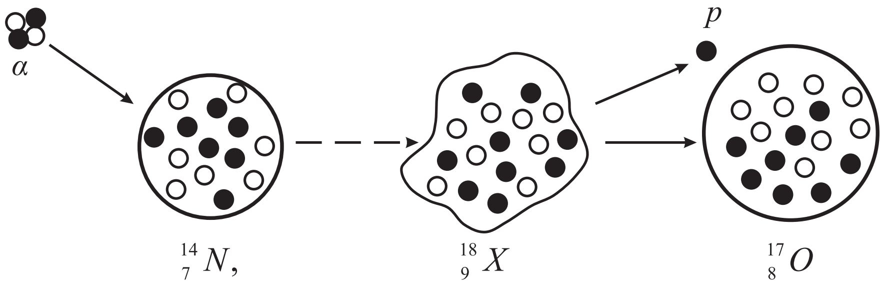
T/n	Element	Belgilenişi	Dargamanyň görnüşi	Ýarymdargama periody
1.	Uran	$^{238}_{92}U$	α	$4{,}5 \cdot 10^9$ ýyl
2.	Toriý	$^{234}_{90}Th$	β	24,1 gün
3.	Protaktiniý	$^{234}_{91}Ra$	β	1,14 min
4.	Uran	$^{234}_{92}U$	α	$2{,}7 \cdot 10^6$ ýyl

5.	Toriý	$^{230}_{90}Th$	α	$8{,}2 \cdot 10^4$ ýyl
6.	Radiý	$^{226}_{88}Ra$	α	1622 ýyl
7.	Radon	$^{222}_{86}Rn$	α	3,8 gün
8.	Poloniý	$^{218}_{84}Po$	α	3,05 min
9.	Gurşun	$^{214}_{84}Pb$	β	26,8 gün
10.	Wismut	$^{214}_{83}Bi$	β, α	19,7 min
11.	Poloniý	$^{214}_{84}Po$	α	$1{,}5 \cdot 10^{-4}$ S
12	Talliý	$^{210}_{81}Tl$	β	1,32 min
13.	Gurşun	$^{210}_{82}Pb$	β	22,2 ýyl
14.	Wismut	$^{210}_{83}Bi$	β	4,97 gün
15.	Poloniý	$^{210}_{84}Po$	α	139 gün
16.	Gurşun	$^{206}_{82}Pb$	durnukly	∞

Tebigy radioaktiwlik hadysasyny içgin öwrenmeklik radioaktiw dargamanyň netijesinde bir elementiň ýadrosynyň başga bir elementiň ýadrosyna öwrülmegi atom ýadrosynyň içinde bolup geçýän prosesler bilen häsiýetlendirilýändigi doly anyklandy. Diýmek, emeli radioaktiwligi amala aşyrmak üçin, diňe elementiň ýadrosyna täsir edip, ony dargamaga mejbur etmeli. Bu meseläniň üstünde dünýäniň alymlary işläp başladylar.

Şeýle maksat bilen ilkinji etmeli ýadro reaksiýasy 1919-njy ýylda iňlis alymy E.Rezerford tarapyndan amala aşyryldy. Reaksiýa azotdan doldurylan Wilsonyň kamerasynda geçirilýär. Ol azodyň ýadrosyny bombalamak üçin α – bölejikleri ulanýar. Azot şöhlelendirileninden soňra kamerada kislorod atomynyň izotopy we wodorodyň atomynyň ýadrosy, ýagny proton emele gelýär.

Bu reaksiýa şeýle tertipde geçýär:



5.23-nji surat. Azodyň kisloroda öwrüliş reaksiýasy

α – bölejik azodyň atomynyň ${}^{14}_{7}\mathrm{N}$ ýadrosyna degip, onda ýuwdulýar, durnuksyz, aralyk ýadro – ftor izotopynyň ýadrosy ${}^{18}_{9}X$ emele gelýär. Ol şol pursatda özünden bir proton göýberip, kislorodyň ${}^{17}_{8}\mathrm{O}$ izotopynyň atomynyň ýadrosyna öwrülýär. Bu reaksiýany şeýle görnüşde ýazmak bolar:

$${}^{14}_{7}\mathrm{N} + {}^{4}_{2}\mathrm{He} \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + {}^{1}_{1}\mathrm{H}$$

ýa-da

$${}^{14}_{7}\mathrm{N} + \alpha \rightarrow {}^{17}_{8}\mathrm{O} + p\,.$$

Reaksiýa netijesinde ilkinji gezek protonyň bardygy ýüze çykarylýar.

Tablisa

Emeli radioaktiw izotoplaryň häsiýetnamalary

T/n	Element	Belgilenişi	Dargamanyň görnüşi	Ýarymdargama periody
1.	Uglerod	${}^{14}_{6}\mathrm{C}$	β^-	5720 ýyl
2.	Azot	${}^{13}_{7}\mathrm{N}$	β^+	9,9 min
3.	Kislorod	${}^{15}_{8}\mathrm{O}$	β^+	2,1 min
4.	Natriý	${}^{2}_{11}\mathrm{Na}$	β^-, γ	2,6 ýyl
5.	Fosfor	${}^{32}_{15}\mathrm{P}$	β^-	14,3 gün
6.	Kükürt	${}^{35}_{16}\mathrm{S}$	β^-	87,1 gün

7.	Kaliý	${}^{42}_{19}K$	β^{-}, γ	12,4 sagat
8.	Kalsiý	${}^{45}_{20}Ca$	β^{-}	152 gün
9.	Marganes	${}^{56}_{25}Mn$	β^{-}, γ	26 sagat
10.	Demir	${}^{59}_{26}Fe$	β^{-}, γ	46,3 gün
11.	Kobalt	${}^{60}_{27}Co$	β^{-}, γ	5,3 ýyl
12.	Sink	${}^{65}_{30}Zn$	β^{+}, γ	250 gün
13.	Myşýak	${}^{76}_{33}As$	β^{-}, γ	26,8 sagat
14.	Ýod	${}^{31}_{53}J$	β^{-}, γ	8 gün

1932-nji ýylda iňlis fizigi D.Çedwik tarapyndan geçirilen ýadro reaksiýasyna seredeliň. Berilliý ${}^{9}_{4}Be$ plastinkajygy α – bölejik bilen bombalanynda plastinka α – bölejigi tutup, özünden neýtron göýberýär we uglerodyň ${}^{12}_{6}C$ ýadrosyna öwrülýär.

$$ {}^{9}_{4}Be + {}^{4}_{2}\alpha \rightarrow {}^{12}_{6}C + {}^{1}_{0}n . $$

Berilliýden çykan neýtron azotdan doldurylan Wilsonyň kamerasyna barýar we azodyň ${}^{14}_{7}N$ ýadrosyna degip, boruň ${}^{11}_{5}B$ ýadrosyny hem-de α – bölejigi emele getirýär:

$$ {}^{14}_{7}N + {}^{1}_{0}n \rightarrow {}^{11}_{5}B + {}^{4}_{2}\alpha . $$

Häzirki wagtda her bir himiki elementiň birnäçe izotoplarynyň bardygy ýüze çykaryldy. Olaryň umumy sany 1500-den-de gowrakdyr.

Tablisada biologiýada we oba hojalygynda has köp ulanylýan emeli radioaktiw izotoplaryň birnäçesiniň häsiýetnamalary görkezilendir.

Radioaktiw izotoplaryň ulanylyşy we radioaktiw şöhlelenmäniň biologiki täsiri

Radioaktiw izotoplar ylymda, saglyk ulgamynda we tehnikada γ – şöhleleriň oňaýly çeşmeleri bolup giňden ulanylýar. Esasan hem radioaktiw kobalt ${}^{60}_{27}Co$ peýdalanylýar. Olar oba hojalygynda-da giň ulanyşa eýe boldy. Ösümlikleriň – pagtanyň, kelemiň, kartoşkanyň, rediskanyň we başga-da dürli ösümlikleriň tohumlaryny γ – şöhleleriniň uly bolmadyk dozasy bilen şöhlelendirmeklik belli bir derejede olaryň hasyllylygyny artdyrýar.

Radiasiýanyň uly dozalary ösümliklerde we mikroorganizmlerde mutasiýa döredip, käbir ýagdaýlarda täze oňat häsiýetli mutantlaryň ýüze çykmagyna getirýär. Şeýle ýol bilen bugdaýyň, noýbanyň, pagtanyň we beýleki ekinleriň gymmatly sortlary döredilýär, şeýle hem antibiotikleri ösdürmekde ulanylýan ýokary önümli organizmler alynýar. Radioaktiw izotoplaryň γ – şöhlelenmesi zyýanly mörmöjekler bilen göreşde we iýmit önümlerini konserwirlemekde hem ulanylýar.

Şöhlelenmäniň biologiki täsiri. Radioaktiw maddalaryň şöhlelenmeleri ähli janly organizmlere juda güýçli täsir edýär. Hat-da, doly siňdirilende jisimiň temperaturasyny bary-ýogy 0,0010ºC ýokarlandyrýan has gowşak şöhlelenme-de öýjükleriň ýaşaýşyny bozýar. Sebäbi, janly öýjük aýry-aýry ýerlerine sähelçe zyýan ýetende-de kadaly ýaşap bilmeýän çylşyrymly mehanizmdir.

Janly organizmlere şöhlelenmäniň täsiri şöhlelenme dozasy bilen häsiýetlendirilýär. Onuň ölçeg birligi $1J/1kg = 1$ greý (Gr). Şöhlelenme bilen işleýän adamlar üçin bir ýylky şöhlelenme dozasy 0,05 Gr. Gysga wagtda alnan 3-10 Gr şöhlelenme dozasy ölüm howpludyr. Şöhlelenme dozasy rentgenlerde-de ölçenýär: $1R \approx 0{,}01$ Gr.

Şöhlelenmäniň siňdirilen ionlaşdyryjy dozasy şeýle formula bilen kesgitlenýär:

$$D = E/m,$$

bu ýerde D – şöhlelenmäniň siňdirilen dozasy, E – ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň siňdirilen energiýasy, m – şöhlelendirilýän maddanyň massasy.

Siňdirilen ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň ekwiwalent we effektiw (täsirediji) dozasy (ülüşi), yagny ionlaşdyryjy şöhlelenmäniň otnositel biologiki täsirliligi hasaba alnan mukdary 1979-njy ýyldan başlap, şwed fizigi R.M.Ziwertiň hormatyna ziwertde aňladylyar. Käbir şöhlelenmeleriň otnositel biologiki täsirliligi tablisada getirilyär.

Tablisa

Şöhlelenmeleriň görnüşleri	**Otnositel biologiki täsirlilik (OBT)**
Rentgen şöhleleri we 3 *MeW* çenli energiýaly γ – şöhleleri	1
3 *MeW* çenli energiýaly β-şöhleleri	1
α – şöhleleri	10-20
Protonlaryň we neýtronlaryň (0,5 ... 10 *MeW*) akymlary	10
Haýal neýtronlaryň akymy	3
Çalt neýtronlaryň akymy (20 *MeW* çenli)	10
Agyr ionlar	20

Ziwert (*Sv*) hem greý ýaly Joul/kilogram birlikde aňladylsa-da, olary özara deň hasaplamak bolmaz. Sebäbi, ziwert dürli şöhlelenmäniň ýuwudulan böleginiň energetiki mukdaryny aňlatmak bilen çäklenmän, eýsem onuň täsir ediş derejesini-de hasaba alýan ululyk. Ýuwudulan doza (ülüş) 1 greý bolup, şöhlelenmäniň täsirliligi (hili) 1-e deň bolan şertde şöhlelenmäniň ekwiwalent dozasy 1 ziwert bolýar (tablisanyň 1-nji we 2-nji ýagdaýlarynda 1greý 1 ziwerte deň bolýar).

Umuman, 1 greý = 1 Joul/kilogram = 100 *rad*; we 1 ziwert = = 100 *ber*.

Bu ýerde *ber* – radiasiýanyň biologiki ekwiwalenti,
rad – täsir edilýän obýektiň massa birligini ionlaşdyrmak üçin gerek energiýany aňladýar. Köplenç bu ululygy 0,84 rad ululyga deň bolan rentgen atly ululyk bilen hem çalşyrýarlar.

Emma, 1 rentgen = $2{,}58 \cdot 10^{-4}$ kulon/kilogram ululyk şöhleleniji çeşmäniň işjeňligini, rad bolsa täsir edilýän obýektiň ýagdaýyny häsiýetlendirýän ululykdyr.

Eger şöhlelenme 1 *kg* howada ionlaryň bir görnüşiniň zarýadlarynyň 1 kulon mukdaryny emele getirýän bolsa, onda şöhlelenme dozasy 1 *Kl*/*kg*-e deň.

Şöhlelenmeliň käbir tebigy çeşmeleriniň täsirinde adamyň ýylyň dowamynda ýuwdýan mukdarlary şeýle:

1. Kosmiki şöhleler – 0,28 *mSv* (milliziwert);

2. Ýeriň täsirinde ýüze çykýan şöhlelenmeler – 0,2 *mSv*;

3. Içki şöhlelenme (esasan K40-yň hasabyna) – 0,15 ... 0,3 *mSv*;

4. Rodon (esasan öýkeniň üsti bilen) – 0,3 *mSv.*

Netijede jemi 1,1 *mSv* bolup, ol takmýnan 11 *mkrad*/*sag* barabardyr.

Şöhlelenmäniň zyýanly täsirini hasaba almak hökman bolan ýuwudulan mukdary 0,5... 0,7 *Sv*. Bu mukdarda öýjükleriň we ganyň düzümlerinde duýarlykly üýtgeşmeler başlanyp, 1 ziwerte ýetende, ýiti şöhle keseli ýüze çykyp başlaýar,

2 ... 5 ziwert ýuwudulan mukdar saçyň düşmegine we akganlylygyň ýüze çykyp başlamagyna getirýär. Gysga wagtyň dowamynda ýuwudulan biologiki täsirli 0,15 *Kl*/*kg* doza (ülüş) ölüm howply hasaplanýar.

Şöhlelenmeler bilen işleýän adamlaryň bir ýylda ýuwudýan biologiki täsirli şöhlelenmeleriniň ekwiwalent mukdary $1{,}3 \cdot 10^{-3}$ *Kl*/*kg*-dan geçmeli däldigi radiasiýa goragy boýunça Halkara komissiýasynyň gelen netijesidir.

5.4. Lýuminessensiýa

Jisimiň ýylylyk şöhlelenmesinden artyk bolan we ýagtylyk yrgyldylarynyň periodyndan has uzak wagtlap dowam edýän şöhlelenmä lýuminessensiýa diýilýär. Ol käbir atomlaryň oýandyrylan energetiki derejä geçip, yzyna gaýtmagynda ýüze çykýar. Adatça atomyň ýokary derejede ýerleşip saklanýan wagtynyň dowamlylygy 10^{-8} sekuntdan ýokary bolmaýar. Kähalatlarda atomlar bu ýagdaýda uzagrak dowamly ($\geq 10^{-4}$ sekunt) saklanýar. Bu ýagdaýda lýuminessensiýa uzak dowam edýär.

$10^{-8}\ldots10^{-9}$ sekunt dowam edýän lýuminessensiýanyň gönüşine fluoressensiýa diýilýär.

Uzak wagtlap dowam edýän lýuminessensiýa fosforessensiýa diýilýär.

Ýagtylanyş dowamlylygy boýunça lýuminessensiýanyň bölünmegi şertleýindir. Sebäbi, onuň dowam edýän wagtyny kesgitlemek kyn. Ýagtylanmanyň oýandyrylyşy (ýüze çykyşy) boýunça lýuminessensiýa fotolýuminessensiýa (ýagtylygyň täsirinde oýandyrylyş), radiolýuminessensiýa (şöhlelenýän elektromagnit energiýasynyň täsirinde oýandyrylyş), rentgenolýuminessensiýa, ionolýuminessensiýa, hemilýuminessensiýa, biolýuminessensiýa we ş,m. bölünýärler.

Hemilýuminessensiýa maddada energiýa bölünip çykýan himiki reaksiýalar bolanda ýüze çykýar. Lýuminessent şöhlelenme himiki reaksiýa wagtynda ýüze çykan artyk energiýany äkidýär.

Elektrolýuminessensiýa gazlarda elektrik zarýadsyzlanmasynda ýüze çykýar. Ol gaz zarýadsyzlanma çyralarynda ulanylýar. Olaryň içindäki simap buglary elektrik zarýadsyzlanmada ultramelewşe şöhleleri goýberýärler. Ol şöhleler bolsa, çyranyň turbasynyň iç ýüzüne çaýylan lýuminofor diýilýän maddanyň şöhlelenmesine getirýär. Lýuminoforlardan has köp ýaýrany zink sulfidi (*ZnS*) bolup, ol ak ýagtylanmany emele getirýär. Telewizorlaryň ekranlaryna hem zink sulfidini çaýýarlar. Ak ýagtylyk, has takygy, gün ýagtylygyna ýakyn ýagtylygy almak üçin surma we marganes bilen aktiwlendirilen kalsiý galofosfaty ulanylýar.

Lýuminessensiýa hadysasy dürli maddalaryň lýuminessensiýasyna syn etmeklige esaslanan lýuminessent derňewlerinde hem ulanylýar. Bu işde barlanýan maddanyň özüniň ýagtylanyşyna ýa-da oňa lýuminoforlar bilen täsir edilenden soňky ýagtylanyşyna syn edýärler.

Fluoressensiýa birnäçe suwuklyklarda, gazlarda we köplenç gaty jisimlerde ýüze çykýar.

Elektrolýuminessensiýa ýarymgeçirijilerde hem ýüze çykýar.

Bu hadysa ýagtylyk diodlarda ulanylýar. Kremniý ýagtylyk diodlary infragyzyl (ýagny ýylylyk) şöhlelenmesini ýüze çykarýarlar. Kremniý karbidli (SiC) we galliý fosfidli (GaP) ýylylygy, ýagtylyk diodlary bolsa, görünýän ýagtylygy şöhlelendirýärler.

Lýuminessent reňkler öz üstlerine düşýän ýagtylygy serpikdirmek bilen çäklenmän, ýuwudýan şöhlelenmelerini başga reňklere-de öwürmäge ukyply bolýarlar. Şonuň üçin olar güýçli ýagtylyk täsirini ýüze çykarmakda (ýol belgilerinde, mahabatlama tekstlerde we ş.m.) ulanylýarlar. Hemilýuminessensiýanyň bir görnüşine biolýuminessensiýa diýilýär (Mysal üçin, çüýrän agaçlaryň, käbir mör-möjekleriň ýagtylanmalary...).

Lýuminessent derňewler weterinar-sanitar ekspertizasynda iýmit önümleriniň hilini barlamakda ulanylýar. Ol maddalaryň üstlerine ultramelewşe şöhleler düşende olaryň lýuminessent şöhlelenmegine esaslanýar. Ol jisime mahsus bolmadyk, örän az mukdarda (10^{-10} grama çenli) onuň üstünde dörän maddalary-da kesgitlemäge şert döredýär. Organiki maddalaryň esasylary (kislotalar, efirler, ýaglar, alkaloidler, reňkler we ş.m.) üstlerine ultramelewşe şöhleler düşende diňe özlerine mahsus lýuminessent şöhleleri goýberýärler. Lýuminessent derňew birnäçe minudyň dowamynda azyk önümleriniň zaýalanyp başlandygyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Lýuminessent derňew ýönekeý göz bilen kesgitlenilýän makroderňewe we mikroskopyň kömegi bilen barlanylýan mikroderňewe bölünýär. Mikroderňewde maddalaryň fluoressensiýa şöhlelenmelerine mikroskopyň kömegi bilen gözegçilik edilýär.

EDEBIÝATLAR:

1. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Täze galkynyş eýýamy. – Aşgabat: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008.

2. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň dermanlyk ösümlikleri. – T. – I. Aşgabat, 2009.

3. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň dermanlyk ösümlikleri. – T. – II. Aşgabat, 2011.

4. *Gurbanguly Berdimuhamedow*. Türkmenistanyň dermanlyk ösümlikleri. – T. – III. Aşgabat, 2012.

5. Türkmenistanyň durmuş-ykdysady ösüşiniň 2011-2030-njy ýyllar üçin Milli maksatnamasy. – Aşgabat, 2010.

6. *Грабовский Р.И.* Курс физики. (учебное пособие для сельскохозяйственных институтов). – М.: Лань, 2007.

7. *Трухан Э. М.* Введение в биофизику. – М.: 2008.

8. *Дмитриева В.Ф.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2005.

9. *Трофимова Т.И.* Курс физики. – М.: Высшая школа, 2003.

10. *Савельев С.П.* Курс общей физики. Т. 1-5. М.: Астрель, 2007.

11. *Мэрион Дж.Б.* Общая физика с биологическими примерами. – М.: Высшая школа, 1986.

12. *Белановский А.С.* Основы биофизики в ветеринарии. – М.: ВО., Агропромиздат, 1989.

13. *Антонов В.Ф.*, *Черныш А.М.*, *Пасечник В.И.*, *Вознесенский С.А.*, *Козлова Е.К*. Биофика. – М.: Владос, 2006.

14. *Волькенштейн М.В*. Биофизика. – М.: Наука, 1988.

15. *Чулановская М.В*. Курс физики для биологов. – Издательство Ленинградского университета, 1972.

16. *Ремизов А.Н*. Медицинская и биологическая физика. – М.: Высшая школа, 1987.

17. *Бондарев Б.В.,Спирин Г.Г.* Курс общей физики. – М.: 2005.

18. *Журавлев А.И.* и др. Основы физики и биофизики. – М.: Мир, 2008.

19. *Çaryýew A.A.* Fizikanyň esasy kanunlary. – A: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2001.

20. *Allakow Ö.*, *Gurbangeldiýew Ç.* Mehanika. – A: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.

21. *Nurgeldiýew A.*, *Bekmyradow Ö.*, *Akmyradow B*. Molekulýar fizika we termodinamika. – A: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.

22. *Gurbanmuhammedow A*. Elektrik we magnit hadysalary. – A: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.

23. *Awliýakulyýew J.*, *Baratow Ý.*, *Ataýew G.*, *Çaryýew A.*. Optika. – Aşgabat: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2009.

24. *Ataýew A.* Atom we ýadro fizikasy. – Aşgabat: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2006.

25. *Awliýakulyýew J.*, *Ataýew G*. Kwant fizikasy. – Aşgabat: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2008.

26. *Gurbangeldiýew Ç.*, *Allakow Ö.*, *Toýlyýew G.*, *Jumagulyýew R*. Fizikadan dűşűndirişli sözlűk. – Aşgabat: Tűrkmen döwlet neşirýat gullugy, 2005.

MAZMUNY

Giriş 7

I BÖLÜM
Mehanıkanyň esaslary

1.1. Kinematika 10
1.2. Dinamika. Nýutonyň kanunlary 16
1.3. Agramsyzlyk, aşaagramlylyk we olaryň täsiri 19
1.4. Üýtgeýän güýjüň işi. Kuwwat 21
1.5. Gaty jisimleriň aýlanma hereketi. Gaty jisimleriň gozganmaýan oka görä aýlanmagy 28
1.6. Aýlanma hereketi üçin dinamikanyň esasy deňlemesi 33
1.7. Maýyşgak jisimleriň häsiýetleri 35
1.8. Gidrodinamika we gemodinamika 37

II BÖLÜM
Yrgyldylar we tolkunlar

2.1. Yrgyldylar we tolkunlar 44
2.2. Akustikanyň fiziki esaslary 53

III BÖLÜM
Molekulýar fizika we termodinamika

3.1. Molekulýar-kinetik teoriýanyň esaslary 59
3.2. Geçiş hadysalary. Osmos 65
3.3. Içki sürtülme. Şepbeşikligi kesgitlemegiň usullary 69
3.4. Ganyň fiziki häsiýetleri 73
3.5. Termodinamikanyň fiziki esaslary 78
3.6. Entropiýa. Entalpiýa 90

IV BÖLÜM
Elektrik we magnit hadysalary

4.1. Elektrodinamika 96
4.2. Hemişelik toguň kanunlary 119
4.3. Elektromagnetizm 133
4.4. Üýtgeýän tok we onuň janly organizmlere täsiri 142
4.5. Biologiki sistemalardaky elektrik hadysalary 143
4.6. Elektromagnit meýdanynyň biologiki täsiri. 146

V BÖLÜM
Optika

5.1. Geometrik optika 148
5.2. Tolkun optikasy 160
5.3. Atomyň gurluşy 182
5.4. Lýuminessensiýa 200

Rejep Artykow, Gurban Durdyýew

FIZIKA WE BIOFIZIKANYŇ ESASLARY

Ýokary okuw mekdepleri üçin okuw kitaby

Redaktory *A. Çaryýew*
Teh. redaktor *T. Aslanowa*
Suratçy *A. Abdyrahmanow*
Kompýuter bezegi *O. Gataulina*

Ýygnamaga berildi 21.09.2012. Çap etmäge rugsat edildi 26.12.2012.
Ölçegi 60x90 $^{1}/_{16}$. Ofset kagyzy. Edebi garnitura.
Ofset çap ediliş usuly. Şertli çap listi 13,0. Çap listi 13,0.
Hasap-neşir listi 9,132. Neşir № 90. Sargyt № 011. Sany 800.

Türkmenistanyň Ylymlar akademiýasynyň “Ylym” neşirýaty.
744000. Aşgabat, Türkmenbaşy şaýoly, 18.