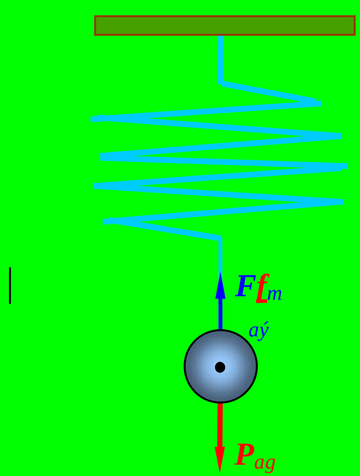
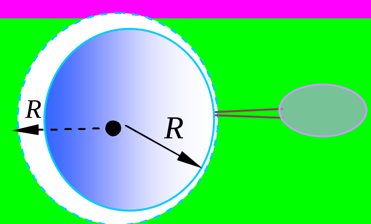
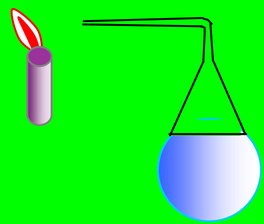
MEKDEP FIZIKASYNYŇ ESASLARY

1. MEHANIKA. MOLEKULÝAR FIZIKA WE TERMODINAMIKA







çyzgyda 1.1.17-nji deňligiň grafikleri υ_x-iň položitel (1-nji çyzyk) we otrisatel (2-nji çyzyk) baha eýe bolandaky hallary görkezilen. Bu grafikden görnüşi ýaly $tg\alpha = \dfrac{x - x_0}{\Delta t} = \upsilon_x$. Ýagny gönüçyzykly deňölçegli hereket edýän maddy nokadyň koordinatasynyň t wagta bagly üýtgeýşiniň ýapgytlyk burçunyň tangensi onuň hereket tizligine deňdir.

Umumy ýagdaýda, maddy nokadyň giňişlikdäki üç ölçegli hereketi üçin (1.1.17) deňlik

$$\boldsymbol{S} = \boldsymbol{S}_0 + \boldsymbol{\upsilon}\, t \qquad (1.1.17')$$

görnüşi alýar.

1.1.6.Günüçyzykly deňölçegsiz hereket

Gönüçyzykly deňölçegsiz hereket diýip, jisimiň (ýa-da maddy nokadyň) gönüçyzykly traýektoriýa boýunça islendik deň wagt aralygynda deň bolmadyk, ýagny dürli ululyga orun üýtgetýän hereketine aýdylýar. Bu hilli hereketde Δt wagt dowamlylygynda tizligiň hemişelik däldigi üçin ***orta tizlik*** düşünjesi girizilýär. Orta tizlik Δt wagt birliginde maddy nokadyň ΔS orun üýtgetmegidir:

$$\boldsymbol{\upsilon}_{ort} = \frac{\Delta S}{\Delta t}\ . \qquad (1.1.18)$$

Hususanda, tizlik deňölçegli (çyzykly) üýtgeýän halatynda hereketiň orta tizligi $\boldsymbol{\upsilon}_0$ başlangyç we $\boldsymbol{\upsilon}$ ahyrky tizlikleriň jeminiň ýarysyna deňdir:

$$\boldsymbol{\upsilon}_{ort} = \frac{\boldsymbol{\upsilon}_0 + \boldsymbol{\upsilon}}{2}. \qquad (1.1.18')$$

A.Gurbanmuhammedow,G.Orazow,
A.Ataýew

MEKDEP FIZIKASYNYŇ ESASLARY

1.Mehanika. Molekulýar fizika we termodinamika

Orta we ýokary mekdepleri üçin okuw gollanmasy

Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan hörürlenildi

Dosent A. Gurbanmuhammedowyň redaksiýasy bilen

Aşgabat 2010

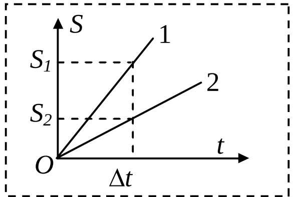
A.Gurbanmuhammedow,G.Orazow, A.Ataýew. Mekdep fizikasynyň esaslary. 1. Mehanika. Molekulýar fizika we termodinamika. Okuw gollanmasy. A.: Magtymguly adyndaky TDU, 2010.

“Mekdep fizikasynyň esaslary” 1. Mehanika. Molekulýar fizika we termodinamika kitaby Türkmenistanyň Bilim ministrligi tarapyndan orta mekdepleriň fizika okuw dersi boýunça tassyklanan meýilnamasyndaky soraglary özünde jemleýän gollanmanyň birinji bölümidir. Ondaky seredilýän soraglaryň açylyş derejesi umumy bilim berýän orta mekdepleriň meýilnamasynda göz öňünde tutulan derejeden azda-kände ýokary çylşyrymlylykda görkezmeklige çalyşyldy. Kitapda funksiýanyň önümi, differensial, kesgitli we kesgitsiz integral düşünjelerinden hem zerurlyga görä ulanyldy. Kitap ýöriteleşdirilen synp okuwçylaryna, ýokary mekdeplere girmek isleýän dalaşgärlere, fizika boýunça bilimini özbaşdak artdyrmak isleýänlere, orta mekdebiň mugallymlaryna we ýokary okuw mekdepleriniň talyplaryna gollanma bolup biler.

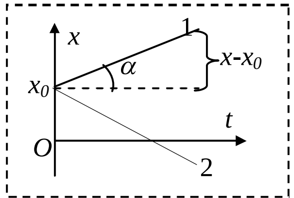
Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň tizliginiň wagta baglylyk grafigi 1.1.8-nji çyzgyda görkezilen. Ondan görnüşi ýaly S_x geçilen ýol gönüburçlygyň meýdanyna deňdir.

Gönüçyzykly deňölçegli hereketde geçilen ýoluň wagta baglylyk grafigi iki dürli $\upsilon_1 > \upsilon_2$ tizlikler üçin 1.1.9-njy çyzgyda degişlilikde 1 we 2 çyzyklar bilen görkezilen. Bu çyzgydan görnüşi ýaly uly tizlikli deňölçegli hereketde şol bir Δt wagt aralygynda geçilen S_1 ýol S_2 ýoldan uludyr.

Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň kinematiki kanunalaýyklygyny, ýagny islendik wagt pursatynda hereket edýän maddy nokadyň koordinatasynyň üýtgetmeginiň aňlatmasyny taparys. Ýagny $x = x_0 + S_x$ bolany üçin we



1.1. 9-njy çyzgy.
Deňölçegli gönüçyzykly hereketde geçilen ýoluň wagta baglylyk grafigi



1.1.10-njy çyzgy.
Deňölçegli gönüçyzykly hereketde x koordinatanyň üýtgemeginiň wagta baglylyk grafigi

1.1.16-njy aňlatmany hasaba alyp,

$$x = x_0 + \upsilon_x t \quad , \qquad (1.1.17)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde x_0 hereket edýän jisimiň başlangyç koordinarasy. Bu 1.1.17-nji aňlatma girýän ululyklary bilip, wagt birlginde hereket edýän maddy nokadyň giňişlikdäki halyny kesgitläp bolar. Ahyrky 1.1.17-nji aňlatmadaky x_0 we υ_x ululyklaryň položitel we otrisatel baha eýe bolup bilýändikleri üçin aňlatmanyň sag tarapyndaky ululyklara algebraik jem hökmünde garamalydyr. 1.1.10-njy

Kinematikada jisimiň gönüçyzykly hereketinde orun üýtgetmäni $\Delta\boldsymbol{r}$ bilen bir hatarda $\Delta\boldsymbol{S}$ wektor bilen hem bellenilýär, ýagny $\Delta\boldsymbol{r} = \Delta\boldsymbol{S}$. Eger jisim özüniň gönüçyzykly hereketinde diňe bir tarapa hereket edýän bolsa, onda onuň orun üýtgetmesiniň moduly geçilen ýola deňdir $\Delta\boldsymbol{r} = |\boldsymbol{S}| = S$. Jisimiň t wagt aralygynda $\boldsymbol{S}$ orun üýtgetmesini tapmak üçin υ tizlik düşünjesi girizilýär.

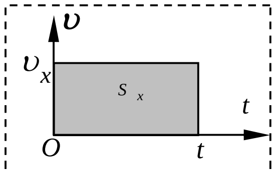
Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň ***tizligi*** diýip, wagt birliginde jisimiň orun üýtgetme wektoryna aýdylýar:

$$\boldsymbol{\upsilon} = \frac{\boldsymbol{S}}{t} \qquad (1.1.14)$$

Tizlik wektor ululyk bolup, gönüçyzykly deňölçegli hereketde onuň ugry orun üýtgetmäniň ugry bilen gabat gelýär. Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň kesgitlemesine laýyklykda tizlik hemişelik ululykdyr (υ = hemişelik).Onuň moduly

$$\upsilon = \frac{S}{t} \,. \qquad (1.1.15)$$

Bu 1.1.15-nji deňlige laýyklykda HU-da tizligiň ölçeg birligi m/s. Ox okuň položitel ugruny Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň ugruna alsak, 1.1.14-nji deňlikden $\boldsymbol{S}$ we υt wektorlar özara deňdirler we olaryň Ox ok boýunça proýeksiýalary:



1.1. 8-nji çyzgy. *Deňölçegli gönüçyzykly hereketiň tizliginiň grafigi*

$$S_x = \upsilon_x t \,. \qquad (1.1.16)$$

Giriş

Täze galkynyş we Beýik özgertmeler zamanamyzda Türkmenistanyň Hormatly Prezidenti G. Berdimuhamedowyň atalyk aladalary netijesinde ylym-bilim sistemaynda uly ösüşler amala aşyryldy. Gysga wagtyň içinde orta we ýokary okuw mekepleri üçin täze okuw kitaplary we gollanmalary taýýarlanyldy.

Hödürlenýän gollanma ilki bilen ýurdumyzdaky fizika-matematika we beýleki tebigy bilimler boýunça ýöriteleşdirilen mekdeplerdäki sapaklarda şeýle hem fizikadan bäsleşiklere taýýarlyk okuwlarynda peýdalanmak üçin niýetlenendir.

Onuň mazmuny „Orta mekdepleriň VI-X synplary üçin fizika dersi boýunça okuw maksatnamasyna“ laýyklykda düzüldi.

Gollanmada käbir fiziki hadysalar matematiki beýan edilende differensial we integral hasaplamalaryň usullary peýdalanyldy.

Bu gollanma fizikadan bäsleşiklere taýýarlyk okuwlarynda hem ýardamçy bolar diýip umyt edýäris. Bulardan başga-da gollanmada seredilýän hadysalaryň durmuşda, senagatda we oba hojalygynda ulanylýan ýerlerini düşündirmeklige-de üns bermeklige ýykgyn edildi. Kitapda ulanylan wektor ululyklar has gara edilip tapawutlandyryldy. Şonuň ýaly hem açylyp görkezilýän soraglaryň esasy üns bermeli ýerleri tapawutlandyrylyp ýazyldy. Okuw gollanmasynyň birinji bölegi fizikanyň mehanika, molekulýar fizika we termodinamika bölümlerine bagyşlanan.

Gollanma barada öz pikirlerini we belliklerini ýollan okyjylara awtorlar minnetdar bolarlar.

Awtorlar

I BÖLÜM

MEHANIKA

Mehanika - fizikanyň mehaniki hereketi öwredýän bölümi bolup, ol adatça kinematika, dinamika we statika bölümlerden durýar.

BAP 1.1. KINEMATIKA

1.1.1. Mehaniki hereket

Atom we onuň düzümine girýän bölejiklerden başlap, älemdäki hemme planetalar, maddalar üznüksiz hereketdedirler. Hereketiň iň ýönekeý görnüşi bolan ***mehaniki hereket*** jisimleriň biri-birine görä tekizlikde ýa-da giňişlikdäki orunlaryny üýtgetmekleridir.

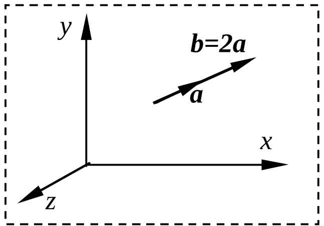
Mehaniki hereket ýaşaýşyň gözbaşydyr, adamyň organlary ýaşaýşyň bütin dowamynda yrgyldyly

- *Wektor (**a**) noldan tapawutly bolan* $(k \neq 0)$ *skalýara bölünse, öňki wektordan k esse kiçi bolan **b** wektor alynýar.* Bu düzgüne laýyklykda:

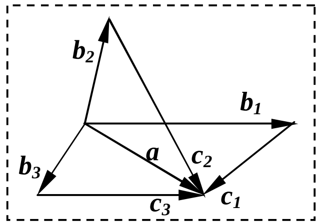
$$\boldsymbol{b} = \frac{\boldsymbol{a}}{k}, \qquad b_x = \frac{a_x}{k}, \; b_y = \frac{a_y}{k}, \; b_z = \frac{a_z}{k}. \qquad (1.1.13)$$

Wektor skalýara bölünende onuň ugry üýtgemeýär, diňe ol bölüji skalýaryň k ululygy ýaly esse kiçelýär (1.1.13-nji aňlatma).

- *Wektory iki düzüjä dargatmak köpburçlyk düzgüni boýunça bir **a** wektory **a=b+c** şerti berjaý edýän iki **b** we **c** wektorlaryň jemi bilen çalşyrmakdyr.* Bu düzgün boýunça wektor dargadylanda ***b, c*** we ***a*** wektorlar ýapyk üçburçlygy döredýärler. Dargadylýan wektoryň töwereginde munuň ýaly üçburçlyklaryň islendik sanyny döredip bolar $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{b_1}+\boldsymbol{c_1}$; $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{b_2}+\boldsymbol{c_2}$; $\boldsymbol{a}=\boldsymbol{b_3}+\boldsymbol{c_3}$ we ş.m. (1.1.7-nji çyzgy).



1.1. 6-njy çyzgy. *Wektory skalýara köpeltmek*



1.1.7-nji çyzgy. *Wektory düzüjilere dargatmak*

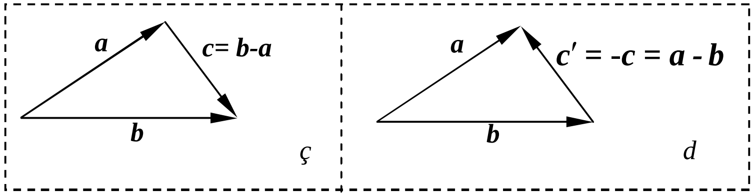
1.1.5. Gönüçyzykly deňölçegli hereket

Gönüçyzykly deňölçegli hereket diýip, jisimiň (ýa-da maddy nokadyň) gönüçyzykly traýektoriýa boýunça islendik deň wagt aralygynda deň ululyga orun üýtgedýän hereketine aýdylýar.

• ***Wektorlaryň tapawudy*****:** Iki wektoryň tapawudyny tapmak üçin ol wektorlaryň başlangyjyny bir nokatda ýerleşdirmeli (1.1.5-nji *ç* çyzgy). Bu halda

$$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{b} - \boldsymbol{a}\ . \qquad (1.1.11)$$

Munuň subudy köpburçlyk düzgüninden gelip çykýar, ýagny $\boldsymbol{a} + \boldsymbol{c} = \boldsymbol{b}$.



1.1. 5-nji çyzgy. *Wektorlaryň tapawudy*

• Eger ***a*** *wektor k skalýar ululyga köpeldilse, proýeksiýasy* ***a*** *wektoryň degişli proýeksiýasyndan k esse uly bolan täze* ***b*** *wektor ululyk alynar.* Bu düzgüne laýyklykda

$$\boldsymbol{b} = k\boldsymbol{a} \qquad \begin{cases} b_x = ka_x; \\ b_y = ka_y; \\ b_z = ka_z. \end{cases} \qquad (1.1.12)$$

Bu düzgün bitin položitel k san üçin wektorlaryň goşulma düzgüninden gelip çykýar.

Wektor skalýara köpeldilende onuň ugry üýtgänok, diňe täze wektoryň moduly k esse ulalýar (1.1.6-njy çyzgy).

$$b = \sqrt{b_x^2 + b_y^2 + b_z^2} = \sqrt{k^2a_x^2 + k^2a_y^2 + k^2a_z^2} = k\sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = ka.$$

hereketdedirler. Maddalary düzýän atomlar, molekulalar hem elmydama ýylylk hereketdedirler. Ýagtylyk şöhlesi fotonlaryň uly tizlikli hereketidir. Mahlasy aýdylanda mehaniki hereketsiz durmuşy göz öňüne getirmek mümkin däl.

Jisimiň mehaniki hereketini häsiýetlendirmek üçin onuň nokatlarynyň nähili we nämä görä hereket edýändigini anyklamak zerur.

1.1.2. Hasaplaýyş sistemaysy. Traýektoriýa

Fizikada massa (M), uzynlyk (L), wagt (t) esasy ululyklar bilen iş salyşylýar we bu ululyklaryň hemmesiniň kabul edilen kesgitli ölçegde bolmagy zerurdyr. Mysal üçin, m massany tonnalarda, kilogramlarda, gramlarda; l uzynlygy kilometrlerde, metrlerde, santimetrlerde we t wagty asyrlarda, ýyllarda, gije-gündizlerde, sagatlarda, sekuntlarda hasaplap bolar. Fiziki ölçeg birlikleriň Halkara sistemaynda (HS) massa (M) kilogramda (*kg*), uzynlyk (L) metrde (m) we wagt (t) sekuntda (s) ölçenilýär, ýagny bu ululyklar oňa meňzeş ölçeg birligi hökmünde kabul edilen ululyk bilen deňeşdirilýär. Fizikada bu ölçeg ululyklara ***esasy ölçeg birlikleri*** diýilýär. Esasy ölçeg ululyklaryň kömegi bilen aňladylýan ölçeg birliklere ***getirme ölçeg birlikleri*** *diýilýär.* Mysal üçin, tizlik, dykyzlyk, basyş we ş.m. ululyklaryň birlikleri getirme ölçeg birlikleridir. ***Esasy ölçegde*** ululygyň hut özi deňeşdirilýär, ýa-da ölçeg guralynyň kömegi bilen ölçenilýär. Mysal üçin, uzynlyk ölçeýji çyzgyç (lineýka) bilen, massa ryçagly tereziler we ş.m. bilen ölçenilýär. ***Getirme ölçegiň*** mysaly edip, dykyzlygyň ölçeg birliginiň hasaplanylyşyna seredeliň. Dykyzlyk jisimiň göwrüm birligindäki massasydyr: $d = m/V$. Ölçegleriň esasy birliklerinde dykyzlygyň ölçeg birligi ýok. Ýöne onuň birligini esasy ölçeg birlikleriň kömegi bilen massa kilogramda (*kg*), göwrüm bolsa, kub metrlerde (m^3)

hasaplanylyp, dykyzlygyň $\left[d\right]=\left[kg/m^3\right]$ getirme birligi alynýar.

Taryhy alnyşyna görä ***1 kilogram*** ölçeg birligi hökmünde platina bilen iridiýniň garyndysyndan (splawyndan) beýikligi onuň diametrine deň 39*mm* edilip ýasalan silindriň massasy alynan.

1 metr ölçeg birligi hökmünde Parižiň üstünden geçýän Ýer merdianynyň $1/(40\cdot10^6)$ (kyrkmilliondan bir) uzynlygy kabul edilen.

1 sekunt wagt hökmünde Günüň bir gije-gündüziniň (sutkasynyň) $1/(86400)$ bölegi (ýa-da ýyldyz gije – gündüziniň $1/(86164)$) bölegi kabul edilen.

Fizikada HS bilen bir hatarda ***ölçegleriň SGS sistemaysy hem ulanylýar.*** Bu ölçeg sistemaynda *l* santimetrde, *m* gramda we *t* sekuntda hasaplanylýar. Bu sistema başgaça ***Gauss sistemaysy*** diýilip hem atlandyrylýar.

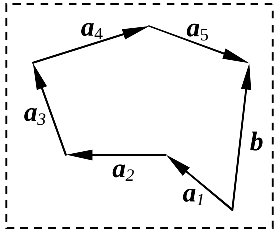
Ölçegler we ululyklar Komitetinde agzalan ululyklaryň asyl nusgasy (etalony) saklanylýar.

Ýylylyk hadysalaryny öwrenmek üçin esasy birliklere dördünji ***ölçeg birligi gradius girizilýär.***

Hereket edýän jisimiň islendik wagt pursatynda tekizlikde ýa-da giňişlikde eýe bolýan hallaryny kesgitlemekligiň usullary belli bolsa, onda onuň hereketini doly suratlandyryp bolar. Jisimiň kinematiki hereketini doly suratlandyrmak üçin nämeler zerurka?

Munuň üçin ilkinji nobatda ***hasap jisimini***, ýagny jisimiň nämä otnositel (görä) hereket edýändigini takyklamak zerurdyr. Gözegçilikleriň görkezişi ýaly jisimiň kinematiki halyny suratlandyrmaklyk (ol hereketdemi ýa-da dynçlykda), hereketiň ugry, tizligi we ş.m. häsiýetlendiriji ululyklary hasap jisiminiň alnyşyna baglydyr.

ýazyp bolar.



1.1. 3-nji çyzgy. *Wektorlaryň goşulyşy*

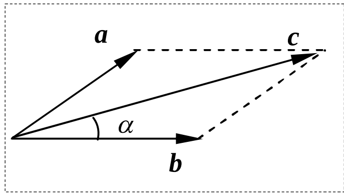
• *Goşulýan wektorlaryň ornunyň üýtgemegi olaryň jemine täsir edenok*:

$$\boldsymbol{a} + \boldsymbol{b} = \boldsymbol{b} + \boldsymbol{a}\,, \qquad (1.1.7)$$

$$\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c} = (\boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}) + \boldsymbol{c} = \boldsymbol{a}+(\boldsymbol{b}+\boldsymbol{c}). \qquad (1.1.8)$$

• *Köpburçlyk düzgüni boýunça bäş wektoryň jemi* (1.1.3-*nji çyzgy*) *olary utgaşdyryjy* ***b*** *wektoryň jemine deňdir:*

$$\boldsymbol{b} = \boldsymbol{a}_1 + \boldsymbol{a}_2 + \boldsymbol{a}_3 + \boldsymbol{a}_4 + \boldsymbol{a}_5\,. \qquad (1.1.9)$$



1.1. 4-nji çyzgy. *Bir nokatdan çykýan wektorlaryň goşulyşy*

• *Bir nokatdan çykýan* ***a*** *we* ***b*** *wektorlary goşmak, ýagny olaryň deňtäsiredijisini tapmak üçin parallellogram düzgüninden peýdalanmaly* (1.1.4 –nji çyzgy). Munuň üçin ***a*** we ***b*** wektorlaryň her biriniň uçlaryndan degişlilikde ikinjisine parallel üzňe çyzyklar geçirmeli. Emele gelen ýitiburçly dörtburçlygyň diagonalyny geçirip, ony ***c*** wektor bilen bellemeli. Wektorlaryň goşulma düzgünine laýyklykda bu wektora

$$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a} + \boldsymbol{b}, \qquad (1.1.10)$$

deň bolar.

$$r_x=x,\ r_y=y,\ r_z=z. \qquad (1.1.2')$$

Wektoryň proýeksiýasynyň skalýar ululykdygyny unutmaly däldir.

- Wektoryň $|\boldsymbol{a}|$ absolýut ululygy, ýa-da başgaça onuň a moduly wektoryň uzynlygyna deň bolan kesim bilen aňladylan skalýara deňdir. Pifagoryň teoremasyndan peýdalanyp,

$$|\boldsymbol{a}| = a = \sqrt{a_x^2 + a_y^2 + a_z^2} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2 + (z_2 - z_1)^2}, \qquad (1.1.3)$$

ýazyp bolar.

Radius –wektoryň moduly bolsa,

$$|\boldsymbol{r}| = r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \quad . \qquad (1.1.4)$$

1.1.4. Wektor ululyklar bilen käbir amallar

- *Iki wektoryň jemi täze üçünji wektor bolup, onuň proýeksiýasy degişli goşulyjylaryň proýeksiýalarynyň jemine deňdir.* Eger ***a*** we ***b*** goşulyjy wektorlaryň proýeksiýalary degişlilikde (a_x, a_y, a_z) we (b_x, b_y, b_z) bolsa, onda kesgitlemä laýyklykda:

$$\boldsymbol{c} = \boldsymbol{a}+\boldsymbol{b}, \qquad \begin{cases} c_x = a_x + b_x; \\ c_y = a_y + b_y; \\ c_z = a_z + b_z, \end{cases} \qquad (1.1.5)$$

Şonuň ýaly hem hereket edýän jisimiň hususy ölçeglerini nähili hasaba almaly diýen sorag ýüze çykýar. Eger jisimiň hemme nokatlary birmeňzeş tizlik bilen hereket edýän bolsa, onda hereketi häsiýetlendirmek üçin onuň bir nokadynyň hereketini suratlandyrmak ýeterlikdir. Munuň ýaly hereketiň mysaly bolup jisimiň öňe (yza) bolan hereketi hyzmat edýär. Hereket edýän jisimde geçirilen islendik çyzyk öz-özüne parallel ornuny üýtgetse, onda ol jisim ***öňe (yza) hereket*** edýär diýilýär.

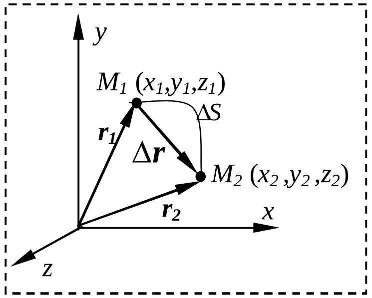
Seredilýän meseläniň çäginde jisimiň hususy ölçegleri hasaba alardan has kiçi we onuň massasy bir nokatda jemlenen diýilip hasap edip bolýan halatynda oňa ***maddy nokat*** diýilýär. Mysal üçin, Günüň daşynda Ýeriň hereketi öwrenilende ony maddy nokat hökmünde kabul edip bolar.

Jisimleriň mehaniki hereketi öwrenilende onuň maddy nokadynyň hereketini suratlandyrmak ýeterlikdir.

Maddy nokadyň giňişlikde (ýa-da tekizlikde) üznüksiz yzygiderli eýe bolan nokatlaryna ***traýektoriýa*** diýilýär. Traýektoriýanyň görnüşi hasaplaýyş sistemasyna baglydyr. Mysal üçin, deňölçegli hereket edip barýan otlydan öz erkine bir jisim gaçyrylsa, onda otly bilen baglanyşykly hasaplaýyş sistemaynda ol wertikal traýektoriýa boýunça aşak gaçar. Emma bu jisimiň Ýer bilen bagly hasaplaýyş sistemayna görä traýektoriýasy parabola bolar.

Hereket edýän maddy nokadyň hasap jisimine görä giňişlikdäki ýagdaýyny kesgitlemek üçin onuň bilen ***gönüburçly*** (dekart) ***koordinata sistemasy*** ýa-da ***r*** radius-wektoryň goýulýan nokady baglanyşdyrylýar (1.1.1-nji çyzgy). Bu halda x, y, z üç koordinata bileleikde (ýa-da ***r*** radius-wektor) maddy nokadyň giňişlikdäki halyny doly kesgitleýär. Şeýlelikde hasap jisimi, onuň bilen baglanyşdyrylan koordinata sistemay we wagt hasaplaýjy sagat bileleikde ***hasaplaýyş sistemayny*** düzýär.

Goý, maddy nokat başlangyç $M_1(x_1,y_1,z_1)$ nokatdan M_1M_2 traýektoriýa boýunça $M_2(x_2\ ,y_2\ ,z_2)$ ahyrky nokada çenli hereket edýär diýeliň (1.1.1-nji çyzgy). Bu ýerde $|M_1M_2| = \Delta S$ ýaýyň uzynlygy maddy nokadyň **geçen ýolunyň uzynlygy**. $M_1(x_1,y_1,z_1)$ nokatdan $M_2(x_2\ ,y_2\ ,z_2)$ nokada geçirlen $\Delta \boldsymbol{r}$ radius wektora ***orun üýtgetme*** diýilýär.1.1.1-nji çyzga laýyklykda $\Delta \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1$.



1.1.1-nji çyzgy. *Gönüburçly koordinat sistemasynda maddy nokadyň hereketi*

1.1.3. Skalýar we wektor ululyklar

Fiziki ulululuklar wektor we skalýar ululyklara bölünýär.

1. Skalýar ululyklar fiziki hadysalary san taýdan häsiýetlendirýärler. Mysal üçin: massa, wagt, temperatura, dykyzlyk, göwrüm, elektrik zarýady, potensial, we ş.m. ululyklar skalýar ululyklardyr.

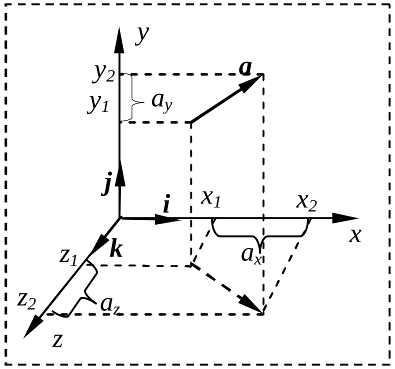
Skalýar ululyklar položitel ýa-da otrisatel bolup, olar özara algebraik goşulma häsiýetine eýedirler. Mysal üçin, seredilýän sistema üç sany $q_1=2\cdot10^{-9}\,Kl$, $q_2= -7\cdot10^{-9}Kl$ we $q_3=3\cdot10^{-9}\,Kl$ zarýady özünde saklaýan bolsa, onda onuň doly zarýady

$q = q_1 + q_2 + q_3 = 2\cdot10^{-9} - 7\cdot10^{-9} + 3\cdot10^{-9} = -2\cdot10^{-9}\,Kl$ -a deňdir.

1. Wektor diýip, islendik hasaplaýyş sistemada kesgitli ugrukdyrylan kesime laýyk gelýän ululyga aýdylýar. Ol fiziki ululyklaryň san bahasyny we ugruny häsiýetlendirýär. Mysal üçin, hereketiň tizligi, tizlenmesi, güýç, impuls, elektrik

meýdanynyň güýjenmesi, magnit meýdanynyň induksiýasy, tok güýjüniň dykyzlygy we ş.m. ululyklar wektor ululyklardyr. ***Başlangyjy koordinata okunyň başlangyjy bilen, soňy bolsa, käbir maddy nokadyň giňişlikdäki ýerleşiş ýagdaýyny aňladýan wektora bu maddy nokadyň radius – wektory*** diýilýär.1.1.1-nji çyzgyda $\boldsymbol{r}_1$ we $\boldsymbol{r}_2$ radius-wektorlardyr. Wektor ululyklar ýa-ha üsti kiçijik peýkamly ($\vec{a}$) ýa-da has gara (***a***) edilip belgilenýär. Gönüburçly koordinatalar sistemaynda **radius-wektor**

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}\ , \qquad (1.1.1)$$



1.1.2-nji çyzgy. ***a*** *wektoryň x,y,z koordinat oklara proýeksiýasy*

görnüşde ýazylýar , bu ýerde ***i***, ***j*** we ***k*** birlik wektordyr. Birlik wektorlar üçin $|\boldsymbol{i}| = |\boldsymbol{j}| = |\boldsymbol{k}| = 1$ ýerliklidir.

- Islendik wektoryň koordinata oklar boýunça proýeksiýasy alnyp biliner. Mysal üçin, ***a*** wektoryň degişli koordinata oklar boýunça proýeksiýalary a_x, a_y, a_z görnüşde ýazylýar. 1.1.2-nji çyzga laýyklykda

$$a_x = x_2 - x_1\ ,\quad a_y = y_2 - y_1\ ,\quad a_z = z_2 - z_1\ , \qquad (1.1.2)$$

bu ýerde x_1, y_1, z_1 - wektoryň *koordinata*synyň başlangyjy, x_2 , y_2 , z_2 - wektoryň *koordinat*osynyň soňy.

Radius-wektoryň (***r***) başlangyjynyň nola deňligi sebäpli koordinata oklara radius- wektoryň proýeksiýasy degişli koordinata oky boýunça özüniň modulyna deňdir:

gaçýandygyny anyklapdyr. Muny barlamak üçin bir ujy kebşirlenen ikinji ujyna bolsa kran oturdylan uzynlygy takmyn bir metr bolan aýna turbanyň içine massalary dürli bolan birnäçe jisim mysal üçin däri, ýelek we dyky ýerleşdirilýär. Aýna turbanyň içindäki jisimleriň aşak gaçmagyna degişli şert döretmek maksady bilen ony wertikal hala öwrüp, gözegçilik edilende başda massasy iň agyr gurşunyň soňra dykynyň iň soňunda bolsa ýelegiň aşak gaçýandygyny anyklap bolar. Munuň sebäbi turbanyň içindäki howa aşak gaçýan jisimleriň her birine dürli garşylyk görkezýär. Soňra sorujy nasosyň kömegi bilen turbanyň içinde uly derejede wakuum döredilýär we turbanyň ujundaky kran ýapylýar. Ýagny turbanyň içi daşky atmosfera basyşyndan goralyp, öňki tejribe gaýtalanylanda turbanyň içindäki dürli massaly däriniň, ýelegiň we dykynyň bir wagtda gaçýandygyny görüp bolar. Diýmek, *wakuumda dürli massaly jisimler deň tizlenme bilen aşak gaçýarlar*. Bu hereketiň dinamikasy haýal hereketli kinokamerada wideo ýazylyp öwrenilýär.

2.Erkin gaçmanyň tizlenmesi. Geçirilen köp sanly gözegçilikleriň netijesinde erkin gaçmanyň tizlenmesiniň aşak gaçýan jizimleriň massasyna bagly bolman, olaryň Ýerden näçe h beýiklikden we haýsy φ geografiki giňişlikde aşak gaçýandygyna baglydygy anyklandy.

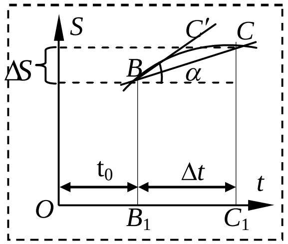
Ýere togalak diýilse-de, ol hakykatda aýlanýan ellipsoid şekillidir. Ýagny Ýeriň polýusdaky radiusy onuň ekwatordakysyndan kiçidir. Şonuň üçin hem agyrlyk güýji we onuň döredýän erkin gaçmsynyň tizlenmesi polýusda $g_{pol} = 9{,}832\, m/s^2$ we ekwatorda bolsa $g_{ekw} = 9{,}780\, m/s^2$.

Maddy nokadyň mehaniki hereketde geçen S ýolunyň t wagta baglylyk grafigine seredeliň (1.1.11-nji çyzgy). Munuň üçin abssissa (x) okunda maddy nokadyň hereket edýän t wagtyny, ordinata (y) okunda bolsa, geçen S ýolunyň ululygyny goýalyň. Bu gatnaşygyň $\Delta t \to 0$ predeline berlen pursatdaky (mgnowen) ýa-da ***pursatlaýyn tizligi*** diýilýär:

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{dS}{dt}. \qquad (1.1.19)$$

Diýmek, mehaniki hereketiň tizligini (1.1.19-njy) aňlatma bilen bir hatarda

$$\upsilon = \frac{dS}{dt} = S' = \dot{S}\ , \qquad (1.1.19')$$



1.1.11-nji çyzgy. *Maddy nokadyň deňölçegsiz hereketiniň grafigi*

görnüşde-de aňladylýar. Bu ýerde dS/dt - S-den (geçilen ýoldan) dt wagt birliginde alnan differensial (S' - ýa-da $\dot{S}$). Ol S- den wagt boýunça alnan önüm diýilip okalýar. Diýmek, mehaniki hereketiň tizligini $\upsilon = S' = \dot{S}$ görnüşde hem belläp bolýar.

Pursatlaýyn tizligi grafik boýunça $tg\alpha = dS/dt$ aňladyp bolar. Onuň ugry hereketiň şol nokatdaky traýektoriýasyna geçirlen galtaşmanyň C' ugruna ugrukdyrylandyr (1.1.11 çyzgy).

1.1.7. Gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereket

Gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereket diýip, jisimiň (ýa-da maddy nokadyň) gönüçyzykly traýektoriýa boýunça hereketinde onuň tizliginiň şol bir wagt aralygynda deň ululyga artmagyna (ýa-da kemelmegine) aýdylýar. Diýmek, deňölçegli üýtgeýän hereketde maddy nokadyň tizliginiň absolýut ululygy üýtgeýär. Bu bolsa hereketiň tizlenmesiniň ýüze çykmagyny döredýär. ***Orta tizlenme*** wagt birliginde tizligiň üýtgemegidir:

$$a_{ort} = \frac{\upsilon_t \pm \upsilon_0}{t_1 - t_0} = \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t}. \qquad (1.1.20)$$

Bu (1.1.20-nji) deňlikde $''\pm''$ alamatlary degişlilikde deňölçegli tizlenýän we deňölçegli haýallaýan hereketlere degişlidir.

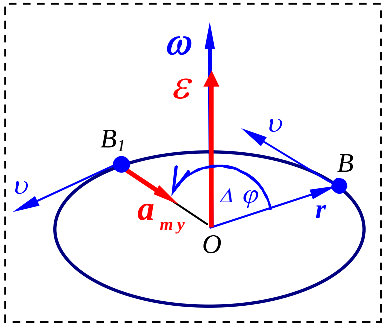
Orta tizlenmeden $\Delta t \to 0$ alnan predele pursatlaýyn (mgnowen) tizlenme diýilýär:

$$a = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\upsilon}{\Delta t} = \frac{d\upsilon}{dt} = \upsilon' = \frac{d^2S}{dt^2} = (S')' = S'' = \ddot{S}. \qquad (1.1.20')$$

Diýmek, hereketiň tizlenmesi tizlikden wagt boýunça alnan birinji önüme, ýa-da (1.1.19′) deňligi göz öňünde tutup, orun üýtgetmeden (geçilen ýoldan) alnan ikinji önüme ($a = \upsilon' = S'' = \ddot{S}$) deňdir diýip kabul etmek hem dogrydyr.

Eger maddy nokadyň gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereketiniň tizliginiň absolýut ululygy wagtyň geçmegi bilen

$$a_\tau = \frac{d\upsilon}{dt} = \frac{d(r\omega)}{dt} = r\frac{d\omega}{dt} = r\varepsilon. \qquad (1.1.31')$$



1.1.16′- njy çyzgy. *Maddy nokadyň töwerek boýunça hereketindäki wektor ululyklar*

Bu ýerde $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$- maddy nokadyň burç tizlenmesi.

Maddy nokat töwerek boýunça deňölçegli hereketinde Δt wagt aralygynda B nokatdan B_1 nokada ornuny üýtgedip, $\Delta\varphi$ burçy çyzanda ýüze çykýan kinematiki wektorlar $(1.1.16'-\text{nji})$ çyzgyda görkezilen.

1.1.10. Erkin gaçma. Erkin gaçmanyň tizlenmesi

1.Erkin gaçma . Jisimiň başlangyç tizliksiz wakuumda (seýreklendirilen giňişlike) Ýeriň dartylma güýjüniň täsiri netijesinde oňa tarap gaçmagyna ***erkin gaçma*** diýilýär.

Diýmek, *jisimleriň erkin gaçmagy olaryň diňe agyrlyk güýjüniň esasyndaky hereketidir*. Howanyň garşylygy hasaba alardan juda kiçi hasaplanylan halatynda jisimleriň başlangyç tizliksiz aşak gaçmagyny erkin gaçma hasaplap bolar.

Italian alymy Galileý ilkinjileriň hatarynda jisimleriň erkin gaçmagyny öwrenipdir we ol hemme erkin gaçýan jisimleriň deňtizlenýän hereket edip, şol bir tizlenmeli aşak

$$\beta = \lim_{\alpha \to 0} \frac{180^0 - \alpha}{2} = 90^0 ,$$

burçy emele getirer. Diýmek, töwerek boýunça deňölçegli hereketde ýüze çykýan bu tizlenmäniň berlen wagt birligindäki tizlenme bolany üçin oňa ($\boldsymbol{a}_{pur}$) pursatlaýyn tizlenme diýilýär. Bu tizlenmäniň çyzyk υ tizlik bilen $\beta = \pi/2$ burçy emele getirip, töweregiň merkezine tarap ugrugandygy üçin bolsa oňa merkeze ymtylýan ýa-da normal tizlenme diýilýär:

$$a_{m.y.} = a_n = \frac{\upsilon^2}{r} . \qquad (1.1.30')$$

Indi (1.1.27-nji we 1.1.28′-nji) deňlikleri hasaba alyp, merkeze ymtylýan tizlenmäni burç tizligiň üsti bilen aňladalyň:

$$a_{m.y.} = \frac{\upsilon^2}{r} = \omega^2 r = 4\pi^2 \nu^2 r \quad . \qquad (1.1.31)$$

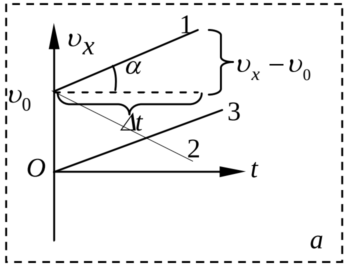
Bu (1.1.31-nji) aňlatma maddy nokadyň deňölçegli egriçyzykly hereketindäki döreýän merkeze ymtylýan tizlenmäni burç tizligi ýa-da aýlaw ýygylygy we traýektoriýanyň radiusy bilen baglanyşdyrýar.

Burç tizlenme. Maddy nokadyň deňölçegsiz hereketinde burç tizliginiň üýtgemegi bilen onuň çyzyk tizligi hem üýtgeýär. Ýokarda görkezilişi ýaly onuň normal tizlenmesi $(1.1.30')$ deňlik bilen aňladylýar we ol onuň burç tizlenmesine bagly däldir. Ýöne onuň tangensial düzüjisi bolsa,

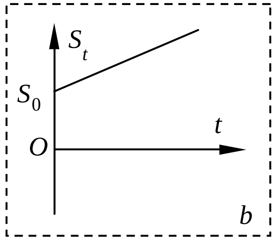
$$|\boldsymbol{a}_\tau| = \lim_{\Delta t \to 0} \left(\frac{|\upsilon_\tau|}{\Delta t} \right) = \frac{d\upsilon}{dt}$$

aňlatma bilen kesgitlenýär we burç tizlenmesiniň üsti bilen aňladylýar:

deň ululyga artýan bolsa, hereket deňtizlenýän, deň ululyga kemelýän bolsa, deňhaýallaýan diýilýär. Duralgadan ugraýan awtobusyň hereketi deňtizlenýän, durjak bolýan awtobusyň tizligi bolsa, deňhaýallaýan hereketiň mysalydyr.



1.1.12-nji *a* çyzgy.
Gönüçyzykly deňölçegli hereketiň tizliginiň wagta baglylyk grafigi



1.1.12 -nji *b* çyzgy.
Gönüçyzykly deňölçegli hereketde geçilen ýoluň wagta baglylyk grafigi

Otra tizlenmäniň kesgitlemesinden (1.1.20) hereketiň islendik t wagtdaky υ_t tizliginiň aňlatmasynyň umumy deňligini alyp bolar:

$$\upsilon_t = \upsilon_0 \pm at . \qquad (1.1.21)$$

Deňtizlenýän hereket üçin 1.1.21-nji deňlikdäki tizlenmäniň alamaty položitel, deňhaýallaýan hereket üçin bolsa, onuň alamaty otrisateldir.

Gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereketiň tizliginiň wagta baglylyk grafigi 1.1.12-nji *a* çyzgyda görkezilen. Bu ýerde 1-nji we 2-nji çyzyklar degişlilikde başlangyç υ_0 tizlikli deňtizlenýän we deňhaýallaýan herketleriň tizlikleri. 3-nji çyzyk bolsa, başlangyç tizligi nola deň bolan deňtizlenýän hereketiň tizliginiň grafigi. Bu çyzgydan görnüşi ýaly

$$tg\alpha = \frac{\upsilon_x - \upsilon_0}{\Delta t} = a\ , \qquad (1.1.22)$$

hereketiň tizliginiň wagta baglylyk ýapgytlygynyň tangens burçy deňtizlenýän hereketiň tizlenmesine deňdir.

Deňölçegli üýtgeýän hereketde geçilen ýoluň deňligini (hereketiň deňlemesini) orta tizlligiň we deňölçegli üýtgeýän hereketiň tizliginiň aňlatmasyny (1.1.20-nji deňligili) ulanyp alyp bolar:

$$S_t = \upsilon_{ort} t = \frac{\upsilon_0 + \upsilon}{2} t = \frac{2\upsilon_0 + at}{2} t = \upsilon_0 t + \frac{at^2}{2}\ . \qquad (1.1.23)$$

Bu aňlatma çykarylanda $\Delta t = t$ hasaplanyldy .

Ýokardaky (1.1.23-ni) deňligi

$$S_t = \upsilon_0 t \pm \frac{at^2}{2} \qquad (1.1.23^*)$$

umumy görnüşde ýazylýar. Deňölçegli tizlenýän hereketde a tizlenmäniň alamaty položitel, deňhaýallaýn hereketde bolsa otrisatel hasaplanylýar.

Deňölçegli üýtgeýän hereketde geçilen ýoluň wagta baglylyk grafigi 1.1.12-nji b çyzgyda görkezilen. Bu ýerde $S_0 = \upsilon_0 \Delta t$ bolup, ol maddy nokadyň deňtizlenýän hereketide geçen ýolunyň wagta baglylyk grafiginde başlangyç geçilen ýoly aňladýar.

deňdir $\left(\angle OAA_1 = \angle BA_1C\right)$. Şonuň üçin hem bu üçburçlyklar meňzeşdirler. Diýmek,

$$\frac{|\Delta \boldsymbol{\upsilon}|}{\upsilon} = \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{r}\ .$$

Bu deňligiň iki tarapyny hem Δt bölüp we $\Delta t \to 0$ şertde ondan predele geçeliň:

$$\frac{1}{\upsilon} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{\upsilon}|}{\Delta t} = \frac{1}{r} \lim_{\Delta t \to 0} \frac{|\Delta \boldsymbol{r}|}{\Delta t}\ . \qquad (1.1.29)$$

Bu deňligiň çep tarapyndaky predel pursatlaýyn (mgnowen) tizlenmäniň moduly, sag tarapyndaky predel bolsa maddy nokadyň pursatlaýyn izligi. Onda (1.1.29-njy) deňligi

$$\frac{1}{\vartheta} a = \frac{1}{r} \boldsymbol{\upsilon}\ ,$$

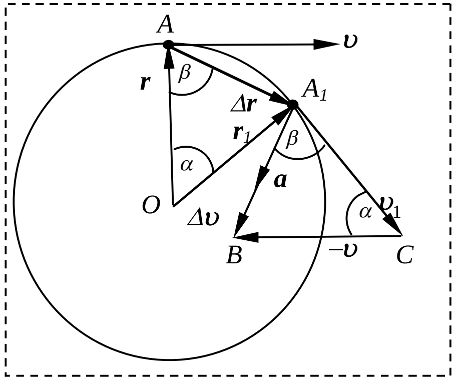
görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerden dolsa:

$$a = \frac{\boldsymbol{\upsilon}^2}{r}\ . \qquad (1.1.30)$$

Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde tizligiň modulynyň we traýektoriýanyň r radiusynyň üýtgemeýändigi üçin tizlenmäniň moduly hemişelik ululykdyr.

Indi $\boldsymbol{a}$ tizlenmäniň ugruny kesgitläliň. Bu A_1CB üçburçlyk deňýanly onuň içki burçlarynyň jemi $2\beta + \alpha = \pi$ bolany üçin 1.1.16-njy çyzgiydan görnüşi ýaly tizlenmäniň $\boldsymbol{a}$ wektory $\boldsymbol{\upsilon}_1$ tizligiň wektory bilen $\beta = \frac{180^0 - \alpha}{2}$ burçy emele getirýär. Eger $\Delta t \to 0$ A_1 nokat A nokada örän ýakynlaşýar. Bu halda burç $\alpha \to 0$. Onda agzalan tizlenme çyzyk tizligiň wektory bilen

Merkeze ymtylýan tizlenme. Goý, maddy nokat Δt wagt aralygynda töweregiň üstünde A nokatdan A_1 nokada ornuny üýtgetsin. Bu nokatlarda heteketiň tizligini degişlilikde



1.1.16-njy çyzgy. *Töwerek boýunça deňölçegli hereketde tizlenme*

υ we υ_1 bilen belläliň (1.1.16-njy çyzgy). Deňölçegli hereketde $|\upsilon_1| = |\upsilon|$. Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde tizligiň $\Delta\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\upsilon}_1 - \boldsymbol{\upsilon}$ üýtgemegi sebäpli

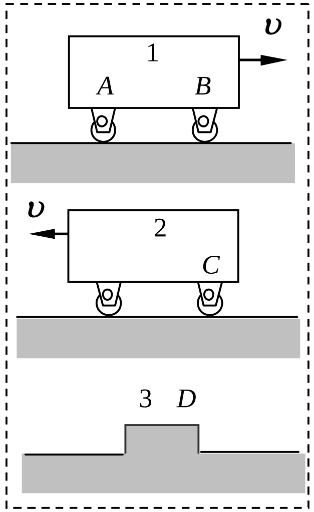
$$\boldsymbol{a} = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\boldsymbol{\upsilon}}{\Delta t} = \frac{d\boldsymbol{\upsilon}}{dt},$$

tizlenme ýüze çykýar.

Başda biz bu tizlenmäniň modulyny tapalyň. Maddy A nokat Δt wagt aralygynda ornuny $AA_1 = \Delta\boldsymbol{r}$ ululyga üýtgeder. Indi υ_1 rizligiň wektorynyň ujyndan moduly υ tizlige deň, ýöne ugry oňa garşylykly tarapa ugrukdyrylan $|\upsilon| = -|\upsilon|$ wektory geçireliň. Bu halda dörän OAA_1 we A_1CB deňýanly üçburçlyklaryň depesindäki $\angle OAA_1$ we $\angle BA_1C$ burçlaryň degişli taraplary özara perpendikulýar bolany üçin olar özara

1.1.8. Hereketiň otnositelligi. Galileýiň özgertmesi

1. Hereketiň otnositelligi. Mehaniki hereketiň kesgitlemesine görä hereketiň özi dynçlykda duran jisimlere görä aralygyň üýtgemegidir. Diýmek, hereketiň otnositelligi bu düşünjäniň kesgitlemeginiň özenini düzýär. Hereketiň otnositelliginiň asyl manysy bu herekete haýsy hasap jisimi bilen baglanyşykly hasaplaýyş sistemasynda baha berilýändigini aňladýar. Dogrudan hem, şol bir jisimiň hereketi bir-birine görä hereket edýän dürli hasap jisimi bilen baglanyşykly hasaplaýyş sistemasynda has-da üýtgeşikdir.



1.1.13-nji çyzgy. *Hereketiň göräligi*

Aýdylanlara has aýdyň düşünmek üçin bir mysala garap geçeliň. Goý, 1 we 2 wagon modullary deň υ tizlik bilen dürli parallel ýol boýunça garşylykly tarapa heteket edip, 3 bilen bellenen platformadaky (wokzalyň duralgasyndaky) D gözegçiniň öňünden şol bir wagtda geçýän bolsun. Goý, 1-nji wagonda 2 sany A we B, 2-nji wagonda bolsa, bir C ýolagçy gözegçi hökmünde otyrlar diýeliň (1.1.13-nji çyzgy). Wagondaky B, C we platformadaky D ýolagçylara hereket edip barýan 1-nji wagonyň içinde oturan A adamynyň hereketini suratlandyrmagy talap edeliň. Olaryň jogaby dürli bolar. B gözegçi A ýolagçynyň özüne görä dynçlykda oturandygyny aýdar. C gözegçi bolsa, A ýolagçynyň özünüň garşysyna 2υ

tizlik bilen, D gözegçi bolsa, A ýolagçynyň özünüň garşysyna υ tizlik bilen hereket edýändigini bellärler.

2. *Galileýiň özgetmesi.* Islendik bolup geçýän hadysa onuň bolup geçýän ýeri we haýsy hasaplaýyş sistema degişli wagtda bolup geçendigini häsiýetlendirýän dört sany *(x,y,z; t)* koordinata arkaly aňladylýar.

Eger seredilýän sistemalaryň birisi ikinjisine görä (kesgitli koordinata meselem x ok boýunça) $\boldsymbol{U}$ tizlik bilen hereket edýän bolsa, şol bir hadysanyň koordinatalary bu sistemalarda aşakdaky aňlatmalar arkaly baglanyşykdadyr:

$$\left.\begin{aligned} t &= t', \\ x &= x' + \boldsymbol{U}\,t, \\ z &= z'. \end{aligned}\right\} \qquad (1.1.24)$$

Bu aňlatma wektor görnüşde:

$$t = t', \quad \boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}' + \boldsymbol{U}\,t' \ . \qquad (1.1.24')$$

Bu ýerde $\boldsymbol{r}$ we $\boldsymbol{r}'$ - degişli hasaplaýyş sistemalarda erkin alnan şol bir D nokadyň radius wektory ($1.1.13'$-nji çyzgy). Ýokardaky (1.1.24-nji) deňlik skalýar görnüşde ***Galileýiň özgertmesiniň*** aňlatmasydyr. *Bir-birine görä deňölçegli gönüçyzykly hereket edýän ulgamlara **inersial sistema** diýilýär*. Özara inersial sistemalarda hadysanyň bolup geçýän wagty deň hasaplanylýar (1.1.24-nji) aňlatmanyň birinji deňligi.

Eger $(1.1.13'$-nji $)$çyzgydaky D nokat deňölçegli gönüçyzykly hereket edýär hasaplanylsa, onda $r = r_0 + \upsilon t$ we $r' = r_0' + \upsilon' t$, bu ýerde υ we υ' -D nokdyň iki hasaplaýyş sistemadaky tizligi. Bu ýerden bolsa, nokadyň degişli sistemalardaky orun üýtgetmeleri:

$$\nu = \frac{1}{T}. \qquad (1.1.28)$$

Doly bir aýlawdaky maddy nokadyň geçen ýolunyň uzynlygynyň $\Delta l = 2\pi r$ -digini hasaba alyp, we 1.1.28-nji aňlatmadan peýdalanyp, 1.1.27-nji aňlatmany :

$$\upsilon = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r \nu \ , \qquad (1.1.28')$$

töwerek boýunça maddy nokadyň çyzyk tizligi bilen onuň ýygylygyny baglanyşdyrýan aňlatmany aldyk.

3.Töwerek boýunça deňölçegli hereketdäki kinematiki kanun. Ýokarda getirilen (1.1.26-njy) aňlatmadan görnüşi ýaly töwerek boýunça deňölçegli hereketde $\omega =$ hemişelik bolany üçin maddy nokadyň durnuklaşan halynda radius-wektoryň aýlanma burçuny $d\varphi = \omega\, dt$ deňlikden

$$\varphi = \int_{t_0}^{t} \omega\, dt = \omega\left(t - t_0\right),$$

tapyp bolar. Bu aňlatma agzalan hereketiň kinematiki kanunydyr, ýagny ol töwerek boýunça deňölçegli hereketiň deňlemesidir.

4.Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketindäki tizlenme. Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde tizligiň absolýut ululygy üýtgemeýär $\left(|\vartheta| = \vartheta = hemi\c{s}elik\right)$.Ýöne bu hilli hereketde dürli nokatlarda *tizligiň ugrunyň üýtgeýändigi sebäpli tizlenme ýüze çykýar*. Hakykatdan hem maddy nokadyň tizligi wektor ululyk bolup, ol traýektoriýa geçirilen galtaşmanyň ugruna gönügendir. Diýmek, tizlik traýektoriýanyň islendik nokadynda dürli ugra gönügendir. Bu bolsa, maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketiniň tizlenmeli hereketdigini aňladýar.

radiandyr (rad/s). Maddy nokadyň deňölçegli tölerek boýunça hereketinde burç tizligi hemişelik ululykdyr.

Deňölçegli hereketiň tizliginiň kesgitlemesine laýyklykda maddy nokat :

$$\upsilon = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta l}{\Delta t} = \frac{dl}{dt} = \frac{r \cdot d\varphi}{dt} = r\omega, \qquad (1.1.27)$$

çyzyk tizlik bilen hereket eder. Bu aňlatma töwerek boýunça maddy nokadyň deňölçegli hereketinde onuň çyzyk we burç tizliklerini baglanyşdyrýar. Bu baglanyşygy wektor görnüşde hem aňladyp bolar. Goý, maddy nokadyň aýlanýan töwereginiň merkezi (*x*,*y*) tekiz koordinat oklarynyň başlangyjy bilen gabat gelýän bolsun. Islendik wagt pursatynda maddy nokadyň $\boldsymbol{r}$ radius wektory töweregiň şol nokadyna geçirilen galtaşmanyň ugruna gönügen $\boldsymbol{\upsilon}$ çyzyk tizliginiň wektoryna perpendikulýardyr. Burç tizliginiň $\boldsymbol{\omega}$ wektor ululygy boýunça ω burç tizliginiň modulyna deň bolup, onuň ugry aýlanma okunyň ugruna gönügendir. Özara perpendikulýar bolan $\boldsymbol{r}$,$\boldsymbol{\upsilon}$ we $\boldsymbol{\omega}$ üç wertoryň arasyndaky baglanyşygy olaryň wektor köpeltmek hasyly bilen aňladyp bolar:

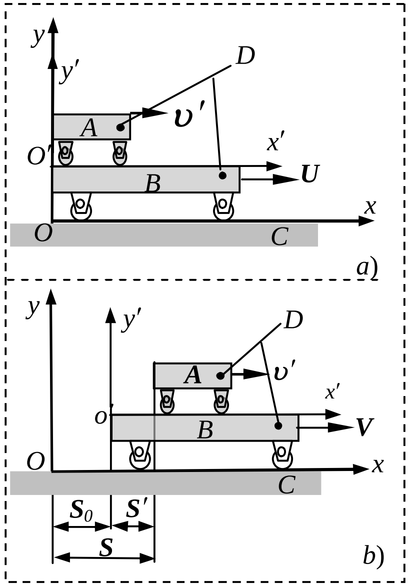
$$\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\omega} \times \boldsymbol{r} \quad \text{ýa-da} \quad \boldsymbol{\upsilon} = [\boldsymbol{\omega} \cdot \boldsymbol{r}] \; . \qquad (1.1.27')$$

Maddy nokadyň töwerek boýunça bir doly aýlawynyň bolup geçýän T wagtyna ***period*** ***(gaýtalanma döwri)*** diýilýär. Bu nokadyň wagt birligindäki doly aýlawlarynyň sanyna ν ***ýygylyk*** diýilýär. Ýygylyk Halkara sistemada gersde (*Gs*) hasaplanylýar. Mysal üçin çalgy daşynyň motory 50 *Gs* ýygylykly aýlanýar diýildigi onuň bir sekundyň dowamynda 50 aýlaw edýändigini aňladýar. Ýygylyk perioda ters baglanyşykly ululykdyr:

$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{\upsilon} t$ we $\Delta\boldsymbol{r}' = \boldsymbol{\upsilon}' t$. Bu deňlikleri Galileýiň özgertmesinde goýup, otnositel hereketde tizlikleriň goşulyş kanunyny alarys:

$$\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\upsilon}' + \boldsymbol{U} \qquad (1.1.25)$$

Tizlikleriň goşulyş kanuna has aýdyň düşünmek üçin **.** biri-birine otnosite hereket edýän jisimleriň tizliklerini anyklamaklyga mümkinçilik berýän tejribelere garap geçeliň ($1.1.13'$-nji çyzgy). Çyzgydaky *A* araba $X'O'Y'$ hasaplaýyş sistema bilen baglanysykda bolan *B* arabanyň üstünde $\boldsymbol{\upsilon}$ tizlik bilen deňölçegli gönüçyzykly hereket edýär. Bu *B* arabanyň özi hem *xoy* hasaplaýyş sistemasy bilen bagly bolan dynçlykda duran *C* tekizlige görä $\boldsymbol{V}$ tizlik bilen gönüçyzykly deňölçegli hereket edýär.(Bu ($1.1.13'$-nji) çyzgyda



$1.1.13'$ – nji çyzgy. *Otnositel hereketde tizlikleriň goşulyşy*

oz we oz' ok çyzgynyň tekizliginden okyýja tarap perpendikulýar ugrukdyrylan).

Hasaplamanyň başlangyç (*t*=0) pursaty *A* arabanyň çep tarapy we hasaplaýyş sistemalarynyň başlangyç nokatlary *O* we O' bir wertikalda ýerleşen ($1.1.13'$-nji *a* çyzgy). Hereket başlanandan *t* wagt geçenden soňra arabalar $1.1.13'$-nji *b* çyzgydaky halda bolarlar. Bu çyzgydan görnüşi ýaly agzalan wagt aralygynda *A* araba hereket edýän hasaplaýyş sistema, ýagny B araba görä $\boldsymbol{S'}$ aralyga ornuny üýtgedipdir. A arabanyň hereket edýän hasaplaýyş sistema görä tizligi $\boldsymbol{\upsilon'} = \boldsymbol{S'}/t$. Bu wagt aralygynda hereket edýän B araba hereketsiz xoy hasaplaýyş sistemasyna (C üste) otnositel $\boldsymbol{U} = \boldsymbol{s}_0/t$ tizlik bilen hereket eder.

Şunlukda t wagt aralygynda A arabanyň hereketsiz XOY hasaplaýyş sistemasyna görä $\boldsymbol{s} = \boldsymbol{s'} + \boldsymbol{s}_0$ aralyga ornuny üýtgeder. Bu halda A arabanyň D nokadynyň hereketsiz XOY hasaplaýyş sistemasyna görä tizligi

$$\boldsymbol{\upsilon} = \frac{\boldsymbol{S}}{t} = \frac{\boldsymbol{S'}}{t} + \frac{\boldsymbol{S}_0}{t} = \boldsymbol{\upsilon'} + \boldsymbol{U} \quad . \qquad (1.1.25')$$

Bu (1.1.25) we (1.1.25′) deňlikler ***tizlikleriň goşulyşynyň*** nusgawy kanunynyň aňlatmasydyr.

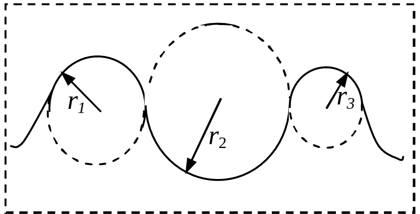
Hereketsiz hasaplaýyş ulgama görä jisimiň tizligi bu jisimiň hereket edýän jisim bilen baglanyşykly ulgamyň we bu hereket edýän ulgamyň dynçlykda duran ulgama görä hususy tizlikleriniň wektor jemine deňdir.
Tizlikleriň goşulyşynyň bu nusgawy kanuny diňe relýatiwist däl hereketler üçin degişlidir.

1.1.9. Egriçyzykly hereket. Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketi

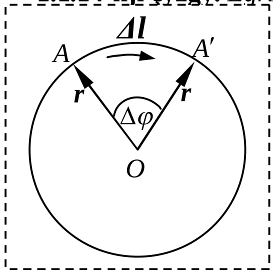
1.Egriçyzykly hereker. Traýektoriýasy göni bolmadyk herekete egriçyzykly hereket diýilýär. Bu hereketiň hususy haly töwerek boýunça hereketdir. Bu hilli hereketde tizligiň ugry üýtgäp durýar. Diýmek, ***tizligiň wektor ululyk bolany sebäpli, hereketiň deňölçegliligine ýa-da deňölçegsizligine garamazdan elmydama egriçyzykly hereketde tizlenme ýüze çykýar.***

Egriçyzykly hereketiň taryektoriýasy 1.1.14-nji çyzgyda görkezilen.

2. Çyzyk we burç tizlikleri. Goý, maddy nokat r radiusly töwerek boýunça deňölçegli hereketde bolsun. Ol Δt wagtdan soňra oz ornuny üýtgedip, $\Delta l = r \cdot \Delta\varphi$ ýaýyň uzynlygyny geçer. Bu ýerde: $\Delta\varphi$ - töweregiň radiusynyň aýlanma burçy (1.1.15-nji çyzgy).



1.1.14-nji çyzgy. *Egriçyzykly*



1.1.15-nji çyzgy. Maddy *nokadyň töwerek boýunça hereketi*

Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde onuň Δt wagt birligindäki $\boldsymbol{\Delta l}$ orun üýtgetme wektoryna deň bolan ululyga çyzyk tizligi diýilýär $\boldsymbol{\upsilon} = \boldsymbol{\Delta l}/\Delta t$.

Bu wagt aralygynda maddy nokadyň $\boldsymbol{r}$ radius wektorynyň çyzýan $\Delta\varphi$ burçuna deň bolan ululyga bolsa burç tizligi diýilýär $\omega = \Delta\varphi/\Delta t$.

Funksiýanyň önüminiň kesgitlrmesine görä $\Delta t \to 0$ çäkde

$$\omega = \lim_{\Delta t \to 0} \frac{\Delta\varphi}{\Delta t} = \frac{d\varphi}{dt} . \qquad (1.1.26)$$

Burç tizligi wektor ululykdyr, onuň ugry sag hyryň düzgüni boýunça kesgitlenilýär. ***Sag hyryň tutawajy r radius wektoryň aýlanma ugry bilen gabat geler ýaly hereketlendirilende hyryň öňe bolan hereketi burç tizligiň ugruny görkezer.*** Halkara sistemada (HS) burç tizliginiň ölçeg birligi sekuntda deň bolar. Bu bolsa, (1.2.2-nji) deňligiň esasynda m_2 jisimiň massasyny $m_2 = m_{etal}\, a_{etal} / a_2$ görnüşde kesgitlemeklige mümkinçilik berýär. Etalon hökmünde alnan massa barada 1.1.2 bölümçede maglumat berildi.

1.2.4. Nýutonyň ikinji kanuny

Isaak Nýuton özüniň geçiren köp sanly tejribeleriniň esasynda jisime $\boldsymbol{F}$ güýç täsir edende onuň deformirlenýändigini we a tizlenmä eýe bolýandygyny anyklapdyr. Diýmek, *jisime güýjiň täsir emegi onuň tizlenmä eýe bolmagynyň sebäbidir*. Berlen *hemişelik* m massaly jisimiň eýe bolýan tizlenmesi F güýje göni baglanyşykdadyr $\boldsymbol{a} = \boldsymbol{F}/m$. Bu ýerden bolsa:

$$\boldsymbol{F} = m\,\boldsymbol{a}. \qquad (1.2.3)$$

Nýutonyň ikinji kanuny : *jisime täsir edýän güýç jisimiň massasynyň onuň bu täsir astynda eýe bolýan tizlenmesine köpeldilmegine deňdir* diýilip aýdylýar.

Nýutonyň ikinji kanuny relýatiwistik däl, ýagny hususy tizligi elektromagnit tolkunynyň wakuumdaky tizliginden has kiçi ($\upsilon << c$) bolan tizlikli maddy nokadyň hereketi üçin ulanylyp biliner.

Eger jisime bir wagtda birnäçe güýç täsir edýän bolsa, onda täsir ediji jemleýji güýç bu güýçleriň wektor jemine barabar bolan bir güýje deňdir:

$$\boldsymbol{F} = \sum_{i=1}^{N} \boldsymbol{F}_i \ . \qquad (1.2.4)$$

Ondan başga-da Ýeriň gije – gündüzde bir gezek öz okunyň daşynda aýlanmagy hem erkin gaçmanyň tizlenmesiniň geografiki giňişlige baglylygyny döredýär.

Erkin gaçmanyň tizlenmesiniň Ýeriň radiusyna we Ýerden beýiklige bagly bolmagy bütindünýä dartylma kanunyndan, onuň jisimiň massasyna bagly bolmazlygy bolsa Nýutonyň ikinji kanunyndan we bütindünýä dartylma kanunyndan gelip çykýar.

Tejribeleriň esasynda edil Ýeriň üstünde $\varphi = 45^0$ geografiki giňişlikde erkin gaçmanyň tizlenmesi $g = 9{,}80665\, m/s^2$ ortaça $g = 9{,}81 m/s^2$ hasaplanylýar. Uly takyklyk zerurlygy ýok halatynda ýeriň üstüniň hemme ýerinde $g = 9{,}8\, m/s^2$ hasaplanylýar.

Gün sistemasynyň dürli planetalarynda erkin gaçmanyň tizlenmesi dürlüdir. Onuň ululygy planetalaryň massasyna we radiusyna baglydyr (1.1.1-nji tablisa).

Gun sistemasynyň planetalaryndaky erkin gaçmanyň tizlenmesi

1.1.1-nji tablisa

Planetalar	***Gtawitasiýa tizlenmesi,*** m/s^2
Merkuriý	3,7
Wenera	8,9
Ýer	9,8
Aý	1,6
Mars	3,7
Ýupiter	26
Saturn	12
Uran	11
Neptun	12
Pluton	2

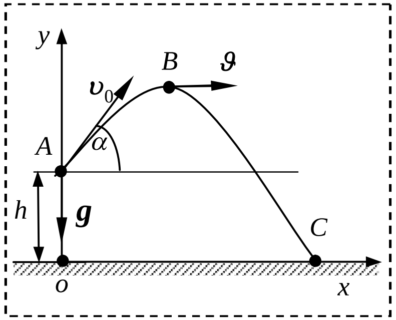
Erkin gaçma başlangyç tizliksiz deňtizlenýän hereket bolany sebäpli bu hereketler üçin ýazylan (1.1.21 we 1.1.23-nji) deňliklerde S-i h bilen we a –ny g bilen çalşyryp:

$$\upsilon = gt;\ h = \frac{gt^2}{2};\ \upsilon^2 = 2gh, \quad (1.1.32)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde υ - jisimiň pursatlaýyn tizligi, t- erkin gaçmanyň wagty, h – jisimiň gaçýan beýikligi.

1.1.11. Gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň hereketi

Jisimiň ýerden h beýiklikden *ox* oka α burç bilen υ_0 başlangyç tizlikli hereketine howanyň garşylyk güýji ýok hasaplap seredeliň (1.1.17-nji çyzgy). Munuň üçin jisimiň υ_0 tizlikli hereketiniň başlangyjyny *xoy* koordinat oklarynyň başlangyjy *o* nokatdan h beýiklikde hasaplalyň. Onda bu nokatda jisimiň erkin gaçmasynyň g tizlenmesi *oy* ok boýunça aşak ugrugar. Diýmek, jisim A nokatdan başlap, υ_0 başlangyç tizlikli gorizonta (*ox* oka) α burç bilen deňhaýallaýan we Ýeriň dartylma güýjüniň esasynda wertikal aşak *oy* okuň garşysyna hemişelik g tizlenmeli herekete gatnaşýar.



1.1.17-nji çyzgy. *Gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň traýektoriýasy*

Bu hereketiň deňlemesini ýazmak üçin saýlanan hasaplaýyş ulgama laýyklykda başlangyç şertleri belläliň: eger $t=0$ bolanda $x_0=0, y_0=h$, $\upsilon_{0x}=\upsilon_0 \cos\alpha$, $\upsilon_{0y}=\upsilon_0 \sin\alpha$. Mundan başga-da $a_x=0$, $a_y=-g$.

Indi (1.1.18′-nji) we (1.1.21-nji) aňlatmalardan peýdalanyp, seredilýän hereketiň tizliginiň we deňlemesiniň *ox* we *oy* oklara proýeksiýalaryny ýazalyň:

$$\upsilon_x=\upsilon_0 \cos\alpha, \quad \upsilon_y=\upsilon_0 \sin\alpha - gt, \qquad (1.1.33)$$

$$x=\upsilon_0(\cos\alpha)t, \quad y=h+\upsilon_0(\sin\alpha)t-\frac{gt^2}{2}. \qquad (1.1.34)$$

maýyşgaklyk koeffisiýentine köpeldilmegi $\boldsymbol{F}$ wektor ululygy berýär:

$$\boldsymbol{F}_{maýş}=-k\Delta\boldsymbol{l}=-kd\boldsymbol{l}. \qquad (1.2.1)$$

Maýyşgaklyk güýjüniň ugry elmydama $d\boldsymbol{l}$ -iň garşysyna ugrugandyr. Güýjiň wektor ululyk bolany üçin olary deňtäsiredijilere dargatmak, goşmak we olar bilen geçirilýän beýleki amallar 1.1.4. bölümçedäki wektor ululyklar bilen geçirilýän amallara kybapdaşdyr.

1. 2.3. Jisimiň massasy

Massa diýip, inertliligiň ölçegine aýdylýar. ***Inertlilik*** *inersiýadan tapawutlylykda daşky täsirleriň esasynda jisimleriň tizliklerini üýtgetmek häsiýetidir*. Inertliligi mukdar taýdan massa häsiýetlendirýär. Ölçegleriň Halkara ulgamynda massanyň ölçeg birligi kilogramdyr (*kg*). Şol bir jisimiň massasy geografiki giňişlige we jisimiň haýsy planetadalygyna bagly bolmadyk hemişelik ululykdyr. Jisimiň massasyny ölçemekligiň usullarynyň biri okaraly terezilerde kesgitlemekdir.

Geçirilen köp sanly tejribelerden mälim bolşy ýaly m_1 we m_2 massaly özara täsir edişýän jisimleriň eýe bolýan tizlenmeleriniň (tizlikleriniň wagt birliginde üýtgemeginiň) gatnaşyklary olaryň massalarynyň gatnaşyklarynyň ters ululygy ýalydyr:

$$\frac{a_1}{a_2}=\frac{m_2}{m_1}. \qquad (1.2.2)$$

Eger täsir edişýän jisimleriň birisiniň massasy etalon hökmunde kabul edilen jisimiň massasyna deň bolsa ($m_1 = m_{etal}$), onda onuň eýe bolýan tizlenmesi hem $a_1 = a_{etal}$

Inersial hasaplaýş ulgama görä gönüçyzykly deňölçegli hereket edýän islendik ulgam inersialdyr. Bu hasaplaýş ulgama görä tizlenmeli hereket edýän hasaplaýyş ulgamlary inersial däldirler.

1.2.2. Güýç özara täsiriň ölçegidir

Gündelik duşýan gözegçiliklerden belli bolşy ýaly tebigatdaky jisimleriň hemmesi diýen ýaly biri-biri bilen özara täsir edişýärler. Mysal üçin, Ýer togalagyny gurşap alan atmosfera onuň üstündäki maddalara kesgitli basyş güýjüni döredýär. Suwuň molekulalary bilen suwa düşýän adamyň teniniň arasyndaky özara täsir netijesinde suw damjalary adamyň tenine ýelmeşýär. Güýçli özara täsiriň bar bolmagy netijesinde atomlaryň ýadrolary dargap gidiberenoklar. Gaty jisimleriň kesgitli daşky görnüşiniň bolmagynyň sebäbi olary düzýän bölejikleriň arasyndaky özara täsir güýjüň barlygydyr.

Tebigatdaky hemme özara täsirler grawitasiýa, elektromagnit, güýçli we gowşak diýip atlandyrylýan toparlara bölünýärler. Bu özara täsirleriň her birini özlerine mahsus bolan güýç häsiýetlendirýär. Diýmek, *güýç özara täsiriň ölçegidir*.

- **Güýç wektor ululykdyr.** Islendik güýç kesgitli ugra eýedir. Güýjüň täsiri onuň ululygyndan başga-da täsir edýän ugruna hem baglydyr. Mysal üçin, täsir edýän güýjüň ugruny üýtgedip, pružini süýndürip ýa-da gysyp bolýar. Pružiniň maýyşgaklyk koeffisiýenti skalýar ululyk, onuň otnositel süýnmesi $\Delta \mathbf{l} = d\mathbf{l} = \mathbf{l}_2 - \mathbf{l}_1$ bolsa, wektor ululykdyr. Wektoryň skalýara köpeltmek hasyly wektor ululykdyr (1.1.12). Şonuň üçin Gukuň kanuny boýunça wektor ululyk bolan pružiniň otnositel süýnmesiniň pružiniň skalýr ululyk bolan

Garalýan jisimiň traýektoriýasyny tapmak üçin (1.1.34-nji) aňlatmanyň birinji böleginden:

$$t = \frac{x}{\upsilon_0 cos\alpha}$$

tapyp, ony (1.1.34-nji) deňligiň ikinji aňlatmasynda ornuna goýalyň:

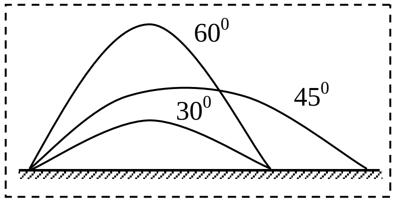
$$y = h + x \cdot tg\alpha - \frac{g}{2\vartheta_0^2 cos^2\alpha} x^2 \ . \qquad (1.1.35)$$

Bu deňligi matematikadan bize mälim bolan $y = ax^2 + bx + c$ parabolanyň deňlemesi bilen deňeşdirip,

$$a = -\frac{g}{2\upsilon_0^2 cos^2\alpha}, \quad b = tg\alpha, \quad c = h,$$

taparys.

Diýmek, (1.1.35-nji) deňlige laýyklykda gorizonta α burç bilen zyňylan jisimiň hereketiniň traýektoriýasy onuň zyňylan nokadyndan geçýän parabola şekillidir (1.1.17-nji çyzgy). Bu hereketiň (1.1.35-nji) deňlemesinde x^2 –yň koeffisiýentiniň alamaty minus bolany üçin parabolanyň şahalary aşak ugrugan we onuň örküji jisimiň traýektoriýasynyň iň beýik *B* nokadyndadyr.



1.1.18-nji çyzgy. *Gorizonta dürli burç bilen gönükdirilen suw çüwdürimi*

Köp sanly geçirilen tejribeleriň esasynda gorizonta 45^0 gradiusly burç bilen zyňylan jisimiň iň uzak aralyga düşýändigi kesgitlenildi. Bu tejribäniň netijesi gorizonta dürli burç bilen ugrukdyrylan suw çüwdüriminiň mysalynda (1.1.18-nji çyzgyda) görkezilen.

1.Jisimiň ýokary belentlige galyş we üçuş wagty. Indi gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň belentlige galyş we uçuş wagtynyň aňlatmasyny getirip çykaralyň. Munuň üçin (1.1.33-nji) aňlatmanyň ikinji deňlemesine seredeliň. Jisimiň iň ýokary *B* nokada baranda onuň υ tizliginiň wektory *ox* oka parallel, *oy* oka bolsa perpendikulýardyr. Diýmek, jisimiň uçuşynyň iň beleny *B* nokadynda υ tizligiň *oy* oka proýeksiýasy nola deňdir $(\upsilon_y = 0)$. Şonuň üçin hem $\upsilon_0 \sin\alpha = gt$. Bu ýerden jisimiň iň ýokary belentlige (*B* nokada) çenli uçuş ($t_{ý.b.u.}$) wagtyny taparys

$$t_{ý.b.u.} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}. \qquad (1.1.36)$$

Bu deňligi (1.1.34-nji) aňlatmanyň ikinji deňliginde goýup, jisimiň ýokaryk zyňylan pursatyndan tä ýere düşýänçä uçuş wagtyny hasaplap bolar. Bu halda jisim ýere gaçan, ýagny *C* nokada baran pursaty $y = 0$ hasaplamaly. Ýagny:

$h + \upsilon_0(\sin\alpha)t = \frac{gt^2}{2}$, ýa-da bu ýerden $\frac{gt^2}{2} - (\upsilon_0 \sin\alpha)t - h = 0$

Bu ýerden bolsa $t_{du} > 0$ bolany üçin kwadrat deňlemäniň ikinji otrisatel köküni taşlap,

$$t_{d.u.} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha + \sqrt{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha + 2gh}}{g}, \qquad (1.1.37)$$

jisimiň doly uçýan wagtynyň aňlatmasyny alarys. Bu (1.1.37-nji) aňlatma Ýeriň üstüne görä *h* beýiklikden gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň doly uçuş wagtynyň aňlatmasydyr. Eger

hadysasy mahsusdyr. Ýagny olar başda $(\upsilon = 0)$ halynda bolany üçin birden daşky täsir başlananda olar inersiýa boýunça Ýer bilen baglanyşykly ulgama göra özleriniň öňki dynçlykdaky halyny saklamaga ymtylyp, yza ýykylýarlar. Edil şonuň ýaly sebäbe görä agzalan ulgamda gönüçyzykly deňölçegli $(\upsilon_1 > 0)$ tizlik bilen hereket edip barýan awtobus birden saklananda ýolagçylar öňe ýykylýarlar.

Inesial hasaplaýyş ulgamy. *Nýutonyň birinji kanunynyň ýerine ýetýän hasaplaýyş ulgamlaryna* ***inersial hasaplaýyş ulgamy*** diýilýär.

Has ýokary takyklykda inersial hasaplaýyş ulgamy bolup, koordinatlarynyň başlangyjy Gün bilen baglanyşdyrylyp, *x,y,z* oklary dynçlykda duran ýyldyzlara ugrukdyrylan ***geliosentrik ulgam*** hasaplanylýar. Umuman has takyk çemeleşmelere görä Ýer Güniň töwereginde we öz okunyň daşynda tizlenmeli hereket edýär. Ekwatordaky jisimleriň merkeze ymtylýan tizlenmesi $a_{m.y.} = \upsilon^2/R$ polýusdaka (Ýeriň aýlanma okunda ýerleşmeýän nokatlardaka) garanyňda ulydyr. Bu ýerde: $R = 6370\,km \approx 6400\,km = 64\cdot 10^5\,m$; $\upsilon = 2\pi R/T$ - Ýeriň çyzyk tizligi; *T*=24 sagat = 86400 *s* - Ýeriň bir gije-gündizdäki aýlanma periody. Bu ululyklary hasaba alyp, Ýeriň $a_{m.y.} = 0{,}03\,m/s^2$, merkeze ymtylýan tizlenmä eýedigi sebäpli onuň bilen berk baglanyşykly hasaplaýyş ulgamlar inersial däldirler. Ýöne bu ekwatora degişli geografiki giňişlikdäki jisimleriň merkeze ymtylýan tizlenmesi şol ýere degişli erkin gaçmanyň tizlenmesinden juda kiçidir, has takygy $g/a_{m.y.} = 327$ esse kiçi bolany üçin Ýeriň üstündäki bolup geçýän hereketler bilen iş salyşylanda onuň bilen baglanyşykly hasaplaýyş ulgamlary ýeterlik takyklykda inersial hasaplap bolar.

ýetip, ýene-de özünüň öňki gönüçyzykly hereketini dowam edýär.

Şeýlelikde *eger, garalýan jisime daşky täsir bolmasa, ýa-da täsir edýän güýçler biri-biriniň täsirini ýok edýän bolsalar, onda bu jisim Ýer bilen baglanyşykly hasaplaýyş ulgama görä özüniň öňki tizligini (dynçlyk $\upsilon = 0$ halyny, ýa-da deňölçegli gönüçyzykly hereketini) üýtgetmän saklar.*

Jisimleriň, daşky täsiriň bolmadyk ýa-da täsir edýän güýçler bir-biriniň täsirini ýok edýän halatynda, Ýer bilen baglanyşykly hasaplaýyş ulgama görä özleriniň öňki tizligini saklamak häsiýetine ***inersiýa hadysasy*** diýilýär. Inersiýa, jisimleriň öňki tizligini saklamak häsiýetidir. Jisimlere mahsus bolan bu aýratynlyk ölçeg birliksizdir we mukdar taýdan aňladylmaýan häsiýetdir.

2. Nýutonyň birinji kanuny. Hemme jisimlere inersiýa hadysasynyň mahsusdygyny ilkinji bolup, Galileý belläp geçýär. Şoňra Nýuton inersiýa kanunynyň anyk kesgitlemesini berdi: *jisime daşky täsir bolmadyk ýa-da täsir edýän güýçler bir-biriniň täsirini ýok edýän bolsalar, onda bu jisimiň (maddy nokadyň) özüniň dynçlykdaky ýa-da gönüçyzykly deňölçegli hereketdäki halyny saklap biljek iň bolmanda bir hasaplaýyş ulgamy bardyr.* Bu kanunyna ***Nýutonyň birinji kanuny*** diýilýär.

Ýer bilen baglanyşykly hasaplaýyş ulgama görä dynçlykda duran $(\upsilon = 0)$ awtobus birden hereket edip başlanynda ondaky ýolagçylaryň yza ýykylmaklary, ýa-da gönüçyzykly deňölçegli $(\upsilon_1 > 0)$ tizlik bilen hereket edýän awtobus birden saklananda onuň üstündäki ýolagçylaryň öňe ýykylmaklary inersiýa kanunyna mysal bolup biler. Dynçlykda duran awtobus birden hereket edip ugranda ondaky ýolagçylaryň yza ýykylmagynyň sebäbi , adamlara inersiýa

jisim edil Ýeriň üstünden gorizonta burç bilen zyňylan bolsa, onda (1.1.37-nji) deňlik

$$t_{d.u.} = \frac{2\upsilon_0 \sin\alpha}{g}, \qquad (1.1.38)$$

görnüşi alar. Şunlukda biz gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň doly uçuş wagtyny (1.1.38-nji deňlik) we onuň ýokary belentlige çenli uçuş ($t_{ý.b.u.}$) wagtynyň aňlatmasyny tapdyk. Eger jisimiň doly uçuş wagtyndan onuň ýokary beýiklige galyş wagtyny aýyrsak jisimiň *B* nokatdan aşak gaçyş $t_{a.g.}$ wagtyny alarys:

$$t_{a.g.} = t_{d.u.} - t_{ý.b.u.}.$$

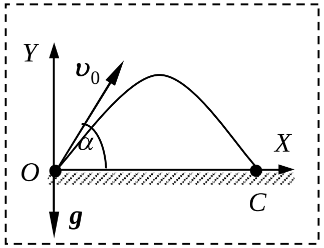
Ýeriň üstünden (h=0) nokatdan gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň aşak gaçyş wagty:

$$t_{a.g.} = \frac{\upsilon_0 \sin\alpha}{g}\ . \qquad (1.1.39)$$

Biz (1.1.36-njy) , (1.1.38-nji) we (1.1.39-njy) deňlikleri deňeşdirip, h=0 şertde jisimiň iň ýokary beýiklige galma wagtynyň (1.1.36-njy deňlik) onuň bu nokatdan aşak düşme wagtyna (1.1.39-njy deňlik) deňdigini we olaryň her biriniň doly uçuş $t_{d.u.}$ (1.1.38-nji deňlik) wagtyndan iki esse kiçidigini takykladyk.

2.Jisimiň uçuş uzaklygy we iň ýokary belentligi. Indi edil Ýeriň üstünden gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň uçuş uzaklygyny, ýagny *OC* uzaklygy (1.1.19-njy çyzgy) hasaplalyň. Munuň üçin (1.1.34-nji) aňlatmanyň birinji deňliginde doly uçuşyň wagtyny (1.1.38-nji) deňligi goýalyň. Onda doly uçuşyň uzaklygy *OC=l:*

$$l = OC = \frac{2\upsilon_0^2 \sin\alpha \cos\alpha}{g}. \quad (1.1.40)$$



1.1.19- njy çyzgy. *Ýeriň üstünden gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň traýektoriýasy*

Ýa-da $\sin\alpha \cos\alpha = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}$

bolany üçin

$$l = \frac{\upsilon_0^2 \sin 2\alpha}{g}. \quad (1.1.40')$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly jisim gorizonta $\alpha = 45^0$ burç bilen υ_0 başlangyç tizlikli zyňylanda $\sin 2\alpha = 1$ bolar. Bu şertde jisimözüniň zyňylan ýerinden iň uzak aralyga düşýär.

3.Jisimiň uçuşynyň iň ýokary belentligi. Gorizonta burç bilen υ_0 başlangyç tizlikli zyňylan jisimiň iň ýokary (y_{max}) uçuş belentligini (1.1.34-nji) aňlatmanyň ikinji deňliginde (1.1.36-njy) aňlatmany goýup taparys:

$$y_{max} = h + \upsilon_0 (\sin\alpha) t - \frac{gt^2}{2} = h + \frac{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha}{2g}. \quad (1.1.41)$$

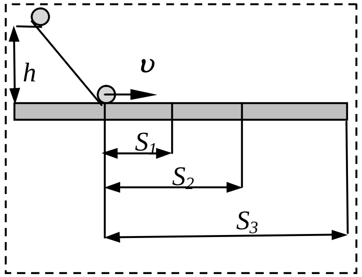
Eger jisim edil ýeriň üstünden (h=0) zyňylsa, onda (1.1.41-nji) deňligi

$$y_{max} = \frac{\upsilon_0^2 \sin^2\alpha}{2g}, \quad (1.1.42)$$

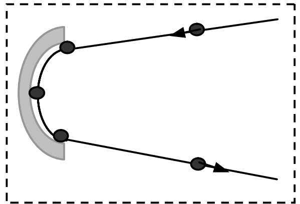
görnüşde aňladyp bolar. Diýmek, gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň iň ýokary uçuş belentligi onuň υ_0 başlangyç tizligine we zyňylan burçyna baglydyr.

Başda bellenilişi ýaly gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň hasaplamalarynyň ählisinde howanyň garşylyk güýji hasaba alnan däldir.

Goý şol bir h beýiklikden ýapgyt ternaw boýunça gorizontal tekizlige düşýän metal şarjagaz ýoluň gorizontal bölegine geçýän ýerinde hereketi şol bir tizlik bilen başlaýar diýip hasap edilen (1.2.1-nji çyzgy). Şarjagaz çäge dökülen üst boýunça hereket edip, uly bolmadyk S_1 ýoly geçip durýar. Çäge tekiz üstli tagta bilen çalşyrlanda şarjagaz $S_2 > S_1$ ýoly geçýär. Eger şarjagaz tekiz buz üstde hereket etse, onda ol $S_3 >> S_2$ has uly aralygy geçer (1.2.1- nji çyzgy). Geçirlen köp sanly tejribelerden görnüşi ýaly, daşky täsir azaldygyça şarjagazyň gorizontal tekizlikdäki hereketi Ýere görä deňölçegli gönüçyzykly herekete golaýlaşýar. Ýagny, Ýeriň dartyş täsiri esasynda gorizontal tekizligiň üstündäki jisimiň hereketini tekisligiň garşylykly ugra maýyşgak daýanjy togtatmaga çalyşýar. Şunlukda jisime bolan daşky täsirleriň jemi nola ýakynlaşýar.



1.2.1-nji çyzgy. *Metal şarjagazyň dürli örtükli üst boýunça hereketi*



1. 2.2-nji çyzgy. *Metal şarjagazyň ýaý şekilli päsgelçilik bilen täsir edişmegi*

Jisimlere islendik görnüşdäki hereket däl-de, diňe gönüçyzykly hereketiň mahsusdygyny subut edýän tejribä seredeliň. Gönüçyzykly hereket edip barýan şarjagaz egri görnüşli tekiz päsgelçilige urlup, onuň täsiri netijesinde özüniň öňki gönüçyzykly traýektoriýasyny üýtgedýär we päsgelçiligiň daşky görnüşi ýaly ýaý görnüşli traýektoriýa boýunça hereket edýär (1.2.2.-nji çyzgy). Ýöne şarjagaz päsgelçiligiň çetine

BAP 1. 2.
MADDY NOKADYŇ HEREKETINIŇ DINAMIKASY

1.2.1. Nýutonyň birinji kanuny. Hasaplamanyň inersial ulgamy

Dinamika *– mehanikanyň bir bölümi bolup, onda jisimleriň hereketiniň üýtgemegine sebäp bolýan olaryň özara täsiri öwrenilýär.* Dinamikanyň esasy bolup, Nýutonyň üç kanuny hyzmat edýär. Bu kanunlar hereketiň tizligi ýagtylygyň wakuumdaky tizliginden örän kiçi bolan makroskopik jisimleriň hereketlerini öwrenmekde ulanylýar.

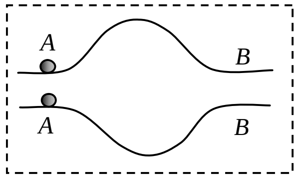
1. **Inersiýa hadysasy.** Ýer bilen baglanyşykly hasaplaýyş (geosentrik) ulgamda Ýere görä jisimleriň hereketi boýunça geçirilen gözegçilikler esasynda, islendik jisimiň tizliginiň beýleki jisimleriň täsiri netijesinde üýtgeýändigi belli edildi.

Gönükme 1.1.

1.1.1. Haýsy ýagdaýda aşakda agzalýan jisimleri material (maddy) nokat hökmünde kabul edip bolar: a). Aşgabat – Balkanabat aralykda hereket edýän otly; b). Zöhre ýyldyzyna tarap uçup barýan kosmos (ärş) gämisi; ç). Okuw otagynyň içinde orny üýtgedilýän stol; d). Uçuş meýdançasynda orny üýtgedilýän uçar?

1.1.2. Gönüçyzykly hereket edýän awtoulag ýoluň ýarysyny $\upsilon = 72\ km/sag$ tizlik bilen, beýleki ýarysyny bolsa n=1,5 esse haýal geçdi. Ähli ýoldaky ϑ_{ort} orta tizligi tapmaly we tizligiň modulynyň hem-de koordinatasynyň wagta baglylygynyň grafigini gurmaly.

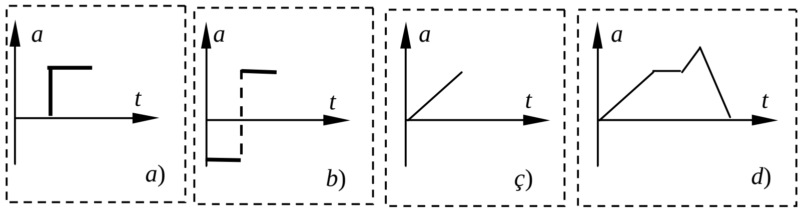
1.1.3 Iki sany şarjagaz bir wagtda we birdeň başlangyç tizlik bilen çyzgyda görkezilen görnüşe eýe bolan tekizliklriň *A* nokadyndan hereket edip başlaýarlar. *B* nokatlara ýeten pursatlarynda şarjagazlaryň tizlikleri we hereket wagtlary biri – biriniňkiden tapawutlanarmy?



1.1.3-nji gönükmäniň çyzgysy

1.1.4. Dynçlyk sürtülme güýji işi ýerine ýetirip bilermi?

1.1.5. Tizlenmeleriniň wagta baglylygynyň $a=f(t)$ grafigi çyzgyda görkezilen material nokatlaryň hereketini hil taýdan beýan ediň.



1.1.5-nji gönükmäniň çyzgysy.

1.1.6. Iki sany material nokadyň birinjisi $x_1 = 10 + 2t$, ikinjisi bolsa $x_2 = 4 + 5t$ kanun boýunça x okuň ugruna hereket edýär. Näçe t wagtdan soňra olar duşuşarlar ?

1.1.7. Welosipedçi S_1=4 *km* ýoly $\upsilon_1 = 12\, km/sag$ tizlik bilen geçip durdy we 40 minutdan soňra S_2=8 *km* –i $\upsilon_2 = 8\, km/sag$ tizlik bilen geçen bolsa onuň orta tizligini hasaplamaly. Welosipedçiniň hereketiniň orta tizligini kesgitlemeli we onuň tizliginiň wagta baglylyk $\upsilon = f(t)$ grafigini gurmaly.

1.1.8. Awtoulagyň sürüjisi hereket düzgünlerini bozup, döwlet ýol gözegçilik gullugynyň (DÝGG) nobatçylyk edýän ýeriniň deňinden $\upsilon_0 = 72\, km/sag$ tizlik bilen geçip gitdi we şol tizlik bilen hereketini dowam etdirdi. Ondan *t*=20*s* wagt geçenden soňra, düzgün bozujynyň yzyndan motosiklda inspektor ýola düşdi we deňtizlenýän hereket edip, nobatçylyk edýän ýerinden *S*=12*km* aralykda onuň yzyndan ýetdi. Inspektor haýsy tizlikde düzgün bozujynyň yzyndan ýetdi ?

Düzgün bozujynyň we inspektoryň koordinatosynyň hem-de tizliginiň grafiklerini düzmeli.

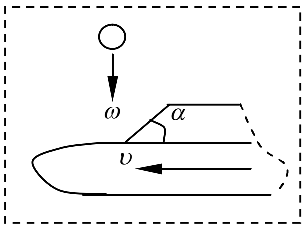
1.1.9. Gämi derýanyň akymynyň ugruna *A* –dan *B* ýere $\upsilon_1 = 10\, km/sag$ we akymyň garşysyna şol aralygy $\upsilon_2 = 16\, km/sag$ tizlik bilen hereket etdi. Gäminiň $< \upsilon >$ orta we suwuň akyş *u* tizligini kesgitlemeli.

1.1.10*. Uzynlygy *L* bolan gämi hereketsiz suwda deňölçegli günüçyzykly hereket edýär. Kater hereketdäki gäminiň aýak ujundan burnuna çenli we yzyna *t* wagtda ýüzüp geçýär. Kateriň tizligi υ_0-a deň bolsa, gäminiň υ tizligini tapmaly.

1.1.11. Derýadaky suwuň akymy $\upsilon = 3\, km/sag$, gäminiň suwa otnositel hereket tizligi $\upsilon_1 = 6\, km/sag$. Gämi garşylykly kenara ýüzüp geçmek üçin özüniň duran kenaryna otnositel näçe gradius burç bilen hereket etmelidigini kesgitlemeli.

1.1.12*. Şemalyň tizligi $\upsilon_1 = 11\ m/s$ bolanda ýagyş damjalary wertikala otnositel $\alpha = 30^0$ burç bilen aşak gaçýar. Şemalyň nähili υ_2 tizliginde ýagyş damjalary $\beta = 45^0$ burç bilen aşak gaçar ?

1.1.13*. Gorizontal υ tizlik bilen uçup barýan uçar (samolýot) ýagşa uçraýar. Ýagşyň damjalary wertikal ω tizlik bilen



1.1.13-nji gönükmäniň çyzgysy*

gaçýar. Uçaryň sürüjisiniň öňünde gorizonta α burç bilen we depesinde gorizontal ýerleşen aýnalara düşýän damjalaryň sanlarynyň N_1/N_2 gatnaşygyny kesgitlemeli.

1.1.14. Jisim $h = 10^3\, m$ beýiklikden $\upsilon_0 = 0$ tizlik bilen aşak gaçýar. Onuň başlangyç t_1=1*s* we iň soňky t_2=1*s* wagtda geçýän ýoluny hasaplamaly.

1.1.15*. Erkin gaçýan jisim özüniň hereketiniň iň soňki $\tau = 1s$ -yň dowamynda ýoluň $h/3$ bölegini geçýär. Jisimiň nähili beýiklikden we näçe wagtyň dowamynda aşak gaçýandygyny kesgitlemeli.

1.1.16*. Daş ýerden h_1=10 *m* belentlikde ýerleşen gorizontal tekizlikden başlangyç tizliksiz aşak gaçýar. Şol pursatda h_2 =5 *m* beýiklikden wertikal ýokaryk ikinji daş zyňylýar. Eger bu daşlar Ýerden *h*=1*m* beýiklikde duşuşýan bolsalar ikinji daşyň başlangyç tizligini kesgitlemeli.

1.1.17*. Guýa daş gaçanda onuň suwuň üstüne degen sesi *t*=5 *s* wagtdan soňra eşidilýär. Sesiň howadaky tizligini $\upsilon = 330\, m/s$ hasaplap, guýynyň çuňlugyny kesgitleneli.

1.1.18. Jisim Ýeriň üstünden gorizonta α burç bilen υ_0 başlangyç tizlikli zyňylýan. Jisimiň υ tizliginiň wagta baglylygyny we onuň gorizonta ýapgytlyk β burçunyň aňlatmalaryny getirip çykarmaly.

1.1.19. Daş $\upsilon_0 = 10\, m/s$ tizlik bilen gorizonta $\alpha = 30^0$ burç bilen zyňylan . Näçe *t* wagtdan soňra jisim *h*=1*m* beýiklikde bolar?

1.1.20*. Beýikligi *h*=10*m* bolan minaranyň üstünden $\upsilon_1 = 23\, m/s$ tizlik bilen gorizontal tarapa daş zyňylan. Edil şol pursatda Ýeriň üstünden gorizonta $\alpha = 30^0$ burç bilen birinji daşyň garşysyna $\upsilon_2 = 20\, m/s$ tizlikli ikinji daş zyňylan. Eger daşlar howada çakyşan bolsalar ikinji daş minaranyň düýbünden näçe *l* daşlykdan zyňylan?

çüýşe gaby duýgur tereziniň çep egninden asypdyr we tereziniň sag okarasyna çekuw daşlaryny goýup, terezini deňagramlaşdyrypdyr. Soňra bu şaryň aşagynda massasy 6000 *kg* bolan gurşun şary ýakynlaşdyryp goýupdyr. Bu şarlaryň arasynda dörän grawitasiýa özara dartylmasy netijesinde tereziniň deňagramlylygy bozulypdyr. Terezini deňagramlaşdyrmak üçin onuň sag okarasyna goýlan goşmaça çekuw daşlarynyň agramy bilen şarlaryň arasyndaky özara dartylma güýç bir-birini deňdir. Bu şarlaryň massalaryny we olaryň merkezleriniň arasyndaky uzaklygy ölçäp, G.Kawendiş (1.2.27-nji) aňlatma boýunça grawitasiýa hemişeligini hasaplapdyr. Ol takmynan $G = 6{,}67 \cdot 10^{-11} \left(N \cdot m^2 \right) / kg^2$.

1.2.13. Dartylma meýdanynyň işi

Jisimleriň arasyndaky dartylma grawitasiýa meýdanynyň üsti bilen geçirilýär. Islendik jisimiň töweregi grawitasiýa meýdany bilen gurşalandyr. Bu meýdanyň ululygy jisimiň massasyna göni baglanyşykdadyr. Hemme jisimler özleriniň materialyna seretmezden grawitasiýa meýdanynyň täsirinde bolup, özara çekişme häsiýete eýedirler. Bu täsirden goranmak mümkin däldir.

Grawitasiýa meýdanynda m massaly jisim dr aralyga göçürilende dartylma güýçleriniň ýerine ýetirýän işi:

$$dA = F_d \cdot dr . \qquad (1.2.28)$$

Bu ýerde F_d - bütindünýä dartylma güýj, dr- orun üýtgetmäniň ululygy.

Grawitasiýa meýdanynynyň ýerine ýetirýän işini gutarnykly hasaplamak üçin (1.1.28-nji) deňligi r_1 – den r_2 – ä göçürmäniň başlangyç nokadyndan onuň ahyrky nokadyna çenli integrirläp taparys:

- ***Halkara ulgamda güýjüň birligi*** hökmünde massasy 1 kilogram bolan jisime $1 m/s^2$ tizlenme berýän güýç kabul edilýär. Güýjüň bu birligine nýuton (N) diýilýär $[1N] = [1kg \cdot m/s^2]$. Güýjüň ululygyna degişli mysallar getireliň: wodorodyň atomynda elektron protona 10^{-8} N töweregi güýç bilen dartylýar. Ýer Aýy $2 \cdot 10^{22}$ N güýç bilen dartýar.

1.2.5. Impuls

Jisime täsir edýän güýç ululygy we ugry boýunça hemişelik bolsa, onda ol deňtizlenýän hereket eder. Deňtizlenýän hereketiň tizlenmesini 1.1.20-nji deňlige laýyklykda ulanyp, Nýutonyň ikinji (1.2.3) kanunyny ýazalyň:

$$\boldsymbol{F} = m \frac{\upsilon - \upsilon_0}{t} ,$$

ýa-da ony aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$\boldsymbol{F} t = m\upsilon - m\upsilon_0 . \qquad (1.2.5)$$

Güýjüň ululygyny onuň täsir edýän wagtyna köpeltmek hasyly bilen aňladylýan $\boldsymbol{F}t$ wektora ***güýjüň impulsy*** diýilýär. Jisimiň massasynyň onuň tizligine köpeltmek hasylyna deň bolan wektora $\boldsymbol{K} = m\upsilon$ ***jisimiň impulsy*** diýilýär. Onda (1.2.5 – nji) deňligi

$$\boldsymbol{F}t = \boldsymbol{K} - \boldsymbol{K}_0 = \Delta \boldsymbol{K} = d\boldsymbol{K} ,$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde $\Delta \boldsymbol{K} = d\boldsymbol{K}$ -jisimiň impulsynyň üýtgemegi. $\boldsymbol{F}$ güýjüň täsir edýän wagtynyň dowamlylygyny dt bilen belläp, ahyrky aňlatmany alarys:

$$\boldsymbol{F}=\frac{d\boldsymbol{K}}{dt}\;. \qquad (1.2.6)$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly, jisimiň impulsynyň wagt birliginde üýtgemegi jisime täsir edýän güýje we onuň ugruna baglydyr.

Eger $\Delta t\to 0$ bolsa, onda

$$\boldsymbol{F}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{K}}{\Delta t}=\frac{d\boldsymbol{K}}{dt}=\boldsymbol{K}'\,. \qquad (1.2.7)$$

Bu aňlatma maddy nokadyň hereketi we jisimiň öňe (yza) hereketi üçin Nýutonyň ikinji kanunynyň ýazgysynyň has umumy görnüşidir. Ol relýawitistik we relýawitistik däl hereket üçin hem ulanylyp bilner.

Nýutonyň ikinji kanuny, onuň birinji kanuny ýaly diňe inersial hasaplaýyş ulgamlarda ýerine ýetýär.

1.2.6. Nýutonyň üçünji kanuny

Bir jisimiň ikinji jisime täsiri bir taraplaýyn bolman, ol elmydama iki taraplaýyn özara täsirdir. Jisimleriň arasyndaky bu täsiriň tebigaty birmeňzeşdir, olar bir wagtda ýüze çykýar we özleriniň täsirini bes edýär.

Özara täsirde jizimleriň ikisi hem bir göni boýunça garşylykly tarapa ugrukdyrylan tizlenmä eýe bolýarlar.

Jisimleriň özara täsirinde $a_1/a_2=m_2/m_1$. Bu ýerden bolsa, $m_1a_1= m_2a_2$, ýa-da ony wektor görnüşde ýazyp bileris:

$$m_1\boldsymbol{a}_1 = -\,m_2\boldsymbol{a}_2\;. \qquad (1.2.8)$$

bütindünýä dartylma hemişeligi ýa-da grawitasiýa hemişeligi atlandyrylýan proporsionallyk koeffisiýenti. Bu kanun wektor görnüşinde aşakdaky ýaly aňladylýar:

$$\boldsymbol{F}_d=G\frac{m_1m_2}{r^2}\left(\frac{\boldsymbol{r}}{r}\right)=G\frac{m_1m_2}{r^3}\boldsymbol{r}\quad . \qquad (1.2.26')$$

Eger (1.2.26-njy) aňlatmadaky özara täsirleşýän jisimleriň massalary deň bolsalar ($m_1= m_2=m$) onda alarys:

$$G=\frac{F_d r^2}{m^2}\,. \qquad (1.2.27)$$

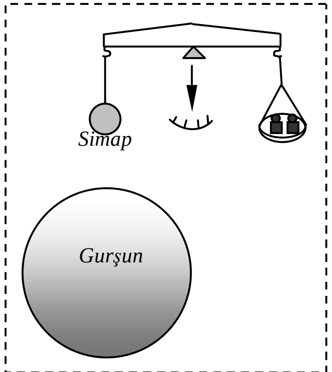
Bu aňlatma boýunça grawitasiýa hemişeliginiň fiziki manysyny düşündirip bolar. Eger özara täsirleşýän jisimleriň massalary $m_1= m_2=1kg$, olaryň arasyndaky uzaklyk $r=1m$ bolsa, onda ***grawitasiýa hemişeligi agzalan ululykdaky jisimleriň arasynda döreýän bütindünýä dartylma güýjüniň modulyna san taýdan deňdir*** ($G=F$).

Ölçegleriň Halkara sistemasynda grawitasiýa hemişeliginiň ölçeg birligi

$$[G]=\frac{[F][r]^2}{[m]^2}=\left[\frac{N\cdot m^2}{kg^2}\right]$$

hasaplanylýar.

Grawitasiýa hemişeliginiň san bahasyny 1878-nji ýylda iňlis alymy G.Kawendiş tejribe üsti bilen hasaplapdyr (1.2.6-njy çyzgy). Ol simapdan doldurylan



1.2. 6-njy çyzgy.
Grawitasiýa güýjüni hasaplamak üçin takyk ölçeýji terezi

$$F_{gg} = -\mu_1 \upsilon^2 . \qquad (1.2.24)$$

Suwuklyklaryň dykyzlygy gazlaryňkydan uly bolany üçin onuň içinde hereket edýän gaty jisimler uly tizlige eýe bolup bilmeýärler. Bu halda suwuklygyň döredýän F_{sg} garşylyk güýji

$$F_{sg} = -\mu_2 \upsilon . \qquad (1.2.25)$$

Bu (2.24-nji) we (2.25-nji) deňliklerdäki μ_1 we μ_2 ululyklar degişlilikde gazlaryň we suwuklyklaryň tebigatyna we temperaturasyna bagly bolan proporsionallyk koeffisiýentleridir. Tejribelerden belli bolşy ýaly, suwuklyklaryň we gazlaryň garşylyk güýji olaryň içinde hereket edýän jisimiň daşky görnüşine, olaryň çowlulygyna baglydyr. Awtoulaglaryň, uçarlaryň maňlaý garşylygy kiçi bolar ýaly olaryň daşky görnüşlerini çowly edilip ýasalýar.

1.2.12. Grawitasiýa güýji. Bütindünýä dartylma kanuny

1687-nji ýylda I. Nýuton mehanikanyň esasy kanuny hasaplanylýan bütindünýä dartylma kanunyny açdy. Bu kanuna laýyklykda *islendik iki maddy bölejik özleriniň massalarynyň köpeltmek hasylyna göni we olaryň arasyndaky uzaklygyň kwadratyna ters proporsional güýç bilen biri-birini dartýar*. Bu güýje ***dartylma*** (ýa-da grawitasiýa) ***güýji*** diýilýär. Bu kanunyň matematiki aňlatmasy şeýle ýazylýar:

$$F_d = G\frac{m_1 m_2}{r^2} . \qquad (1.2.26)$$

Bu ýerde F_d - dartylma güýjüniň moduly, m_1 we m_2 - maddy bölejikleriň massasy, *r*- olaryň arasyndaky uzaklyk, *G*-

Nýutonyň ikinji kanunyna laýyklykda $m_1\boldsymbol{a}_1=\boldsymbol{F}_1$ we $m_2\boldsymbol{a}_2=\boldsymbol{F}_2$, onda 1.2.8-nji deňlige laýyklykda alarys:

$$\boldsymbol{F}_1 = -\boldsymbol{F}_2. \qquad (1.2.9)$$

Bu aňlatma Nýutonyň üçünji kanunynyň aňlatmasydyr. Bu kanuna görä *jisimleriň biri-birine edýän täsir güýçleri modullary boýunça deňdirler we bir gönüniň ugry boýunça garşylykly tarapa ugrukdyrylandyrlar*. Bu 1.2.9-njy aňlatmada $\boldsymbol{F}_1$ -birnji jisimiň ikinji jisime edýän täsir güýji; $\boldsymbol{F}_2$- ikinji jisimiň birnji jisime edýän täsir güýji. $\boldsymbol{F}_1$ we $\boldsymbol{F}_2$ güýçler dürli jizimlere goýulandyklary sebäpli olaryň deňtäsiredijisini tapmaklyga synanyşmaklyk, olar biri-birini ýok edýär diýip hasaplamaklyk manysyzdyr.

Nýutonyň üçünji kanuny jisimleriň gös-göni galtaşmagynda, elektrik we magnit meýdanlarynyň üsti bilen täsirleşenlerinde hem ýerine ýetýär.

1.2.7. Deformasiýa. Maýyşgaklyk güýçleri

1. Deformasiýanyň görnüşleri. ***Deformasiýa diýip***, daşky güýjüň täsiri netijesinde *jisimleriň daşky görnüşleriniň, ölçegleriniň ýa-da göwrüminiň üýtgemegine aýdylýar*. Daşky güýjüň täsiri kesilenden soňra ýitýän deformasiýa ***maýyşgak***, saklanyp galýan deformasiýa bolsa ***maýyşgak däl*** diýiliýär.

Iş ýüzünde süýnme, bir ýa-da hemme taraplaýyn gysylma, epilme, towlanma we süýşme deformasiýalary duş gelýär.

2. Maýyşgak güýçler. Gaty jizim deformirlenende onyň kristal gözeneginiň düwüninde ýerleşen bölejikler (atomlar, molekulalar, ionlar) özleriniň deňagramlylyk hallaryndan (ýylylyk energiýasynyň hasabyna gyşarma amplitudasyndan has uly) uzak aralyga süýşýärler. Gaty jisimi düzýän bölejikleri biri-birinden kesgitli daşlykda saklaýan olaryň arasyndaky özara täsir güýji agzalan süýşmä garşylykly täsir edýär. Şonuň üçin hem islendik görnüşdäki maýyşgak deformasiýada jisimlerde deformasiýa garşylyk görkezýän içki güýçler döreýär.

Maýyşgak deformasiýanyň esasynda jisimleri düzýän bölejikleriň arasynda döreýän we olaryň orun üýtgetmeleriniň garşysyna ugrukdyrylan güýçlere ***maýyşgak güýçler*** *diýilýär*. Bu güýçler deformirlenýän jisimiň islendik kese kesiklerinde, deformirleýji güýjüň jisim bilen galtaşma nokatlaryna täsir edýärler. Birtaraplaýyn süýnme we gysylma deformasiýasynda maýyşgaklyk ($\boldsymbol{f}_{m\c{s}}$) güýji deformirleýji ($\boldsymbol{F}_{def}$) güýjüň täsir edýän gönüsi boýunça onuň garşysyna ugrukdyrylandyr ($\boldsymbol{F}_{def} = -\boldsymbol{f}_{m\c{s}}$) . Bu ýerde maýyşgaklyk güýjüniň elektrik tebigatynyň bardygyny ýatlamak zerurdyr.

1.2.8. Gukuň kanuny

Iňlis fizigi Guk maýyşgak deformasiýada ýüze çykýan maýyşgaklyk güýji bilen deformasiýanyň kesgitleýjisi bolan orun üýtgetmäniň arasyndaky baglanyşygy tejribe esasda kesgitläpdir. Bu baglanyşyga Gukuň kanuny diýilýär. Ol şeýle aňladylýar: ***deformasiýada gaty jisimlerde ýüze çykýan maýyşgaklyk güýji jisimiň süýnmesine (gysylmasyna) proporsionaldyr*** . Gukuň kanunynyň matematiki aňlatmasy :

$$\boldsymbol{f}_{ms} = -k\Delta \boldsymbol{x}, \qquad (1.2.10)$$

ýazylýar. Bu ýerde $\boldsymbol{f}_{m\c{s}}$ - maýyşgaklyk güýji, Δx - deňagramlyk haldan orun üýtgetme (deformasiýanyň ölçegi), k

sürtülme güýjüniň daýanjyň N reaksiýa güýjüne bolan gatnaşygyna μ_{ts} typma sürtülme koeffisiýenti diýilýär:

$$\mu_{ts} = \frac{F_s}{N}. \qquad (1.2.23)$$

• **Togalanma sürtülmesi.** Bir jisim beýleki jisimiň üstünde togalananda döreýän sürtülmä ***togalanma sürtülmesi*** diýilýär. Adatça agramlary deň bolan jisimlerde döreýän togalanma sürtülmesi typma sürtülmesinden has kiçidir.

Gaty jisimleriň sürtülýän üstlerine çalgy ýaglarynyň çalynmagy sürtülmäni kiçeltýär. Awtomobilleriň, stanoklaryň hereketdäki bölekleriniň sürtülmesini has azaltmak maksady bilen olara içi togalanýan şarly ýa-da slindrli podşipnikler oturdylýar.

• **Gazlardaky we suwuklyklardaky sürtülme.** Gaty jisimler suwuklyklarda we gazlarda hereket edenlerinde herekete päsgelçilik döredýän garşylyk güýji döreýär. Oňa sürtülme güýji diýilýär. Suwuklyklarda we gazlarda dynçlyk sürtülmesi bolmaýar. Sebäbi agzalan sredalarda ululygy boýunça örän ujypsyzja güýç hem jisimi deňagramlyk halyndan çykaryp, onuň tizlenmä eýe bolmagyna sebäp bolup bilýär.

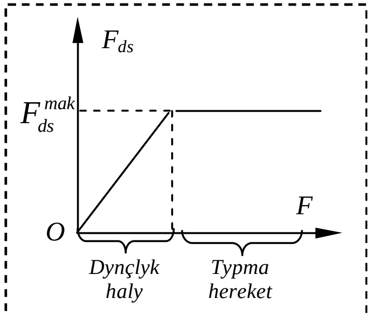
Suwuklyklarda we gazlarda döreýän garşylyk güýji hereketiň garşysyna jisimiň üstüne geçirilen galtaşma boýunça ugrugandyr. Hereket edýän jisimiň uly bolmadyk tizliginde F_g garşylyk güýji hereketiň tizliginiň birinji derejesine, uly tizliklerde bolsa tizligiň kwadratyna proporsionaldyr.

Gazlaryň dykyzlygynyň kiçi bolmagy sebäpli ondaky jisimler uly tizlige eýe bolup bilýärler. Şonuň üçin hem gazlarda hereket edýän jisimlere täsir edilýän F_{gg} ***garşylyk güýji*** agyrlyk güýjüniň F_t tangensial düzüjisi dynçlyk sürtülme güýjüni deňagramlaşdyrýar, ýagny olar modullary boýunça deňdirler $F_{ds}= F_t$. Onda (1.2.21-nji) deňlikden alarys:

$$\mu_{ds} = \frac{F_{ds}}{F_b} = \frac{F_t}{F_b} = \frac{mg\,sin\,\alpha}{mgcos\alpha} = tg\alpha \;. \qquad (1.2.22)$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly dynçlyk sürtülme koeffisiýenti jisimiň hereket edýän tekizliginiň ýapgytlyk burçunyň tangensine deňdir. Tekizligiň α ýapgytlyk burçuny endigan artdyryp, jisimiň iň kiçi typyp başlaýan burçuny kesgitläp, (1.2.22-nji) deňlik boýunça μ_{ds} dynçlyk sürtülme koeffisiýentini hasaplap bolar.

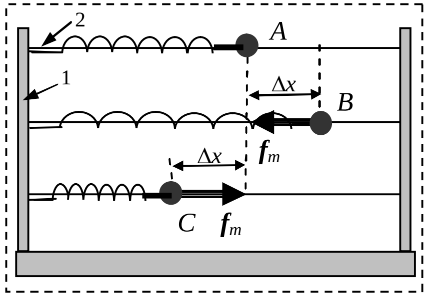
Dynçlykda duran jisime täsir edýän daşky $\boldsymbol{F}$ güýjüň ulalmagy onuň dynçlyk sürtülme $\boldsymbol{F}_{ds}$ güýjüniň artmagyna alyp barýar. $\boldsymbol{F}_{ds}$ güýç özüniň maksimal bahasyna ýetende jisim typyp başlaýar. Bu halda jisimiň dynçlyk sürtülmesiniň maksimal bahasy $\boldsymbol{F}_{ds}^{mak}$ onuň typma sürtülme güýjüne deň bolýar $\left(\boldsymbol{F}_{ds}^{mak} = \boldsymbol{F}_{ts}\right)$. Mundan soňra $\boldsymbol{F}$ daşky güýjüň ulalmagy sürtülme güýçleriň ululygynyň üýtgemegine täsir etmeýär (1.2.5′ – nji çyzgy).



1.2.5′ -nji çyzgy. *Dynçlyk* we *typma sürtülme güýçlerniiň daşky täsir güýjüne baglylyk grafigi*

• **Typma sürtülme.** Bir jisimiň beýleki jisimiň üsti boýunça typyp hereket edende hereketiň garşysyna döreýän päsgel beriji güýje ***typma sürtülme güýji*** diýilýär. Typma

- koeffisiýent deformirlenýän jisimiň ***gatylygy.*** Ölçegleriň HU-da gatylygyň ölçeg birligi metrden nýuton $[k]=[N/m]$.



1. 2. 3-nji çyzgy. *Içinden metal sim geçirilen pružinli maýatnik*

Bu (1.2.10) aňlatmadaky minus alamaty $\boldsymbol{f_{mş}}$ maýyşgaklyk güýjüniň deformirleýji güýjüň garşysyna, deňagramlylyk halyna tarap ugrukdyrylandygyny aňladýar (1.2.3-nji çyzgy). Bu çyzgyda 1 – korpus, 2 - maýatnigiň pružininiň we oňa dakylan içi deşik demir şardan geçirilen iki tarapy hem korpusa birikdirilen metal sterženi, *A* - pružinli maýatnigiň deňagramlyk haly, *B* we *C*- degişlilikde pružinli maýatnigiň süýndirilen we gysylan hallary.

• **Ýunguň moduly.** Deformasiýany häsiýetlendiriji ululyklaryň biri bolup, normal mehaniki napryaženiýe σ hyzmat edýär. Ol jisimiň kese kesiginiň üst birligine düşýän maýyşgaklyk güýjüniň modulyna deňdir

$$\sigma = \frac{f_{mş}}{S} \;. \qquad (1.2.11)$$

Goý, 1.2.3-nji çyzgyda görkezilen pružinli maýatnigiň deňagramlyk *A* halyndaky uzynlygy l_0-a deň bolsun. Maýatnige *F* deformirleýji güýç täsir edenden soňky, *B* haldaky uzynlygyny l bilen belläliň. Onda pružin $\Delta l = l - l_0$ absolýut uzynlyga süýner. *Fizikada simiň (pružiniň) uzynlyk birligine düşýän absolýut süýnmesine otnositel **uzalma** diýilýär*:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} = \frac{l - l_0}{l_0} \ . \qquad (1.2.12)$$

Süýnme deformasiýasynda $\varepsilon > 0$, gysylmada bolsa, $\varepsilon < 0$.

Geçirilen gözegçiliklerden mälim bolşy ýaly uly bolmadyk deformasiýalarda σ normal naprýaženiýe otnositel uzalma proporsionaldyr:

$$\sigma = E\left|\varepsilon\right|. \qquad (1.2.13)$$

Bu (1.2.13-nji) aňlatma Gukuň kanunynyň bir görnüşidir. Ol ýerde E- koeffisiýente ***Ýunguň moduly*** (*boý maýyşgaklyk moduly*) diýilýär. Bu aňlatmada $\varepsilon = 1$ bolanda $E = \sigma$ bolar. Ýagny agzalan şertde Ýunguň moduly normal naprýaženiýä deňdir. Ýokardaky (1.2.11) we (1.2.13) aňlatmalardan görnüşi ýaly, Ýungyň moduly ölçegleriň HS-de paskallarda hasaplanylýar $\left(1Pa = 1\,N/m^2\right)$.

1.2.9. Süýnme diagrammasy

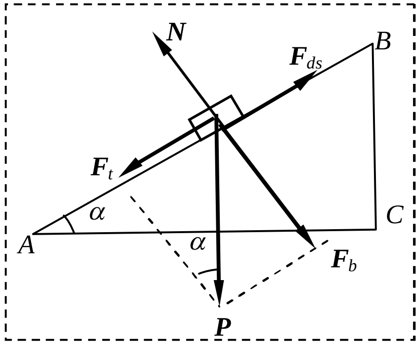
Tejribe maglumatlaryndan ε otnositel uzalmany alyp, oňa degişli normal naprýaženiýäniň σ bahasyny 1.2.13-nji aňlatmadan hasaplap, süýnmekligiň diagrammasy bolan $\sigma = f\left(\varepsilon\right)$ baglylygyň grafigini gurup bolar. Metaldan ýasalan nusga üçin ol grafik 1.2.4-nji çyzgyda görkezilen. Bu grafigiň 0-1 bölegi koordinatanyň başlangyjyndan geçýän gönüdir. Ol kesgitli ululyga çenli deformasiýanyň naprýaženiýesiniň maýyşgakdygyny we bu çäkde Gukuň kanunynyň ýerine ýetýändigini aňladýar. Şeýlelikde bu çäkde deformasiýanyň

güýjüniň modulyna deňdir (N=F_b). Şonuň üçin hem jisimiň iň uly dynçlyk sürtülme güýji daýanjyň reaksiýa güýjüne proporsionaldyr. Bu güýçleriň modullaryny aşakdaky ýaly aňladyp bolar:

$$F_{ds} = \mu_{ds} N \ . \qquad (1.2.20)$$

Bu ýerde μ_{ds} - dynçlyk sürtülme koeffisiýenti. Onuň ululygy sürtülýän üstleriň tekizliginiň derejesine we materiallaryna baglydyr.

Dynçlyk sürtülme koeffisiýentini hasaplamak üçin *AB* ýapgyt tekizlikde ýerleşdirilen dörtburç ýasy agaç bölegine täsir edýän güýçlere seredeliň (1.2.5-nji çyzgy). Olar $\boldsymbol{F}_{ds}$ dynçlyk sürtülme güýji, $\boldsymbol{P}$ agyrlyk güýji we $\boldsymbol{N}$ daýanjyň reaksiýa güýji. Sürtülme $\boldsymbol{F}_{ds}$ güýjüniň sürtülýän üstleriň arasynda ýüze çykýandygy üçin agyrlyk güýjüniň $\boldsymbol{F}_t$ tangensial düzüjisine parallel hem-de onuň garşysyna sürtülýän üstler boýunça ugrukdyrylandyr. Ýokardaky 1.2.20-nji deňlikden dynçlyk sürtülme koeffisiýentini alarys:



1.2. 5-nji çyzgy. *Ýapgyt tekizlikde jisime täsir edýän güýçler*

$$\mu_{ds} = \frac{F_{ds}}{N} = \frac{F_{ds}}{F_b} \ . \qquad (1.2.21)$$

Çyzgy boýunça $F_b = P\cos\alpha = mg\cos\alpha$ we $F_t = P\sin\alpha = mg\sin\alpha$. Ýapgytlygyň kiçi α burçunda sredanyň (suwuklygyň , gazyň) molekulalarynyň arasynda döreýär.

Özleriniň döreýişlerine görä ***daşky we içki sürtülme*** bolýar. ***Daşky sürtülme*** gaty jisimleriň bir-birine galtaşýan üstlerinde döreýär we ol özara hereketi kynlaşdyrýar. Daşky sürtülme güýji agzalan üstlere geçirilen galtaşmanyň ugruna gönükdirilendir.

Içki sürtülme (başgaça ***şepbeşiklik***) suwuklyklaryň we gazlaryň biri-birine görä hereket edýän gatlaklarynyň arasyndaky galtaşma güýçleriniň döredýän sürtülmesine aýdylýar.

Daşky sürtülme ***dynçlyk (statik)*** we ***kinematiki sürtülmelere*** bölünýär. Dynçlyk sürtülmesi hereketsiz jisimleriň birisini beýlekisine görä ornundan üýtgediljek halatynda döreýär. Kinematiki sürtülme elmydama hereketdäki gaty jisimleriň üstleriniň arasynda ýüze çykýar. Öz gezeginde kinematiki sürtülme ***typma sürtülmä*** we ***togalanma sürtülmä*** bölünýär.

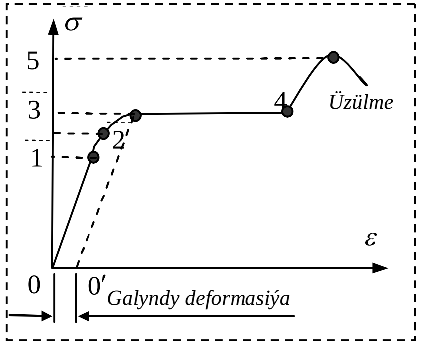
Adamlaryň durmuşynda sürtülme uly orun tutýar. Käbir halatlarda adamlar sürtülmäni ulaltmaga, käbir halatlarda bolsa, ony azaltmaga çalyşýarlar. Meselem, buzyň üstünde, sürtülme juda kiçi bolany üçin ýöremek gury ýerdäkä garanyňda kyndyr. Sürtülme güýçleriniň tebigaty elektromagnit hasaplanylýar.

- **Dynçlyk sürtülmesi.** Gözegçiliklerden mälim boluşy ýaly dynçlyk sürtülme güýji elmydama jisimi ornundan üýtgetmek üçin oňa goýlan daşky güýjüň garşysyna ugrukdyrylandyr. Jisime goýlan daşky güýjüň artmagynyň kesgitli ululygyna çenli dynçlyk sürtülme güýji onuň täsirini düýpden ýok etmek üçin artýar.

Nýutonyň üçinji kanunyna laýyklykda jisimiň özüniň daýanjyna edýän $\boldsymbol{F}_b$ basyş güýji daýanjyň garşylykly reaksiýa

naprýaženiýesi otnosirel uzalma proporsionaldyr. Gukuň kanunynyň ýerine ýetýän çägindäki normal naprýaženiýäniň iň uly bahasyna (diagrammanyň 0-1 bölegi) ***proporsionallygyň ýokary çägi*** ($\sigma_{\text{çäk}}$) diýilýär.

Deformirleýji güýjüň ululygynyň mundan beýläk artdyrylmagy jisimiň maýyşgaklyk häsiýetleriniň saklanmagyna garamazdan bu bölekde normal naprýaženiýäniň otnosirel uzalma çyzyksyz bagly bolmagyna getirýär (diagrammanyň 1-2 bölegi). Galyndy deformasiýanyň ýüze çykmagynyň öňi syrasyndaky diagrammanyň 1-2 bölegine degişli normal naprýaženiýäniň iň uly bahasyna $\sigma_{mşç}$ ***maýyşgaklygyň çägi*** diýilýär. Mundan beýläk deformirleýji güýjüň ardyrylmagy (diagrammanyň 2-3 bölegi) galyndy deformasiýanyň ýüze çykmagyna getirýär. Diagrammanyň 3-4 bölegine ***materialyň akgynlylygy*** diýilýär. Muňa degişli normal naprýaženiýä ***akgynlylygyň çägi*** $\sigma_{\text{akç}}$ diýilýär. Deformirleýji güýjüň akgynlylyk çägine degişli ululygyndan hem artdyrylmagy bilen jisimiň maýyşgaklyk häsiýeti belli bir derejede gaýtadan döredilýär we ol daşky deformasiýa täzeden garşylyk görkezip başlaýar (diagrammanyň 4-5 bölegi).



1.2. 4-nji çyzgy. *Süýnme diagrammasy*

Deformasiýanyň mundan beýläk atdyrylmagy bilen materialyň üzülmegine getirip biljek normal naprýaženiýäniň iň uly bahasyna ***berklik çägi*** $\sigma_{bkç}$ diýilýär (diagrammanyň 5-nji nokadyna degişli bölegi).

1.2.10. Maýyşgaklyk güýjüniň energiýasy

Ýokarda getirilen 1.2.3-nji çyzgydaky maýatnige $\boldsymbol{F_{def}}$ deformirleýji güýç täsir etmegi netijesinde maýatnik özüniň deňagramlyk *A* halyndan *B* hala geçirilýär. Bu halda deformirlenen pružinde maýatnigiň deňagramlyk *A* halyna tarap ugrukdyrylan $\boldsymbol{f_{mş}}$ maýyşgaklyk güýji döreýär. Pružinli maýatnige täsir edýän güýçleriň deňlemesi:

$$\boldsymbol{F_{def}} + \boldsymbol{f_{mş}} = 0\ . \qquad (1.2.14)$$

Nýutonyň ikinji kanunynyň (1.2.3) we Gukuň kanunynyň (1.2.10) esasynda (1.2.14-nji) aňlatmany:

$$ma=-kx$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu aňlatma ýazylanda $\Delta x = x$ diýilip kabul edildi. Bu aňlatmadan maýyşgak güýjüň täsiri bilen garalýan pružinli maýatnigiň garmoniki yrgyldyly hereketinde ýüze çykýan tizlenmäni

$$a = -\frac{k}{m}x\,, \qquad (1.2.15)$$

aňladyp bolar. Hemme görnüşdäki maýatnikleriň ýerine ýetirýän yrgyldylary iň ýönekeý sinusoidal ýa-da kosinusoidal garmoniki yrgyldydyr. Bu yrgyldylaryň deňlemesi:

$$x = x_0 \sin\omega t\ ; \quad x = x_0 \cos\omega t \quad , \qquad (1.2.16)$$

bu ýerde $\omega = \sqrt{\dfrac{k}{m}}$ - hereketiň aýlaw ýygylygy.

Indi deformasiýada ýüze çykýan maýyşgak güýjüň ýerine ýetirýän işiniň we deformirlenen pružiniň potensial energiýasynyň aňlatmalaryny ýazalyň. Munuň üçin energiýanyň saklanma kanunyny ulanalyň:

$$W = A_{mş}\ . \qquad (1.2.17)$$

Bu ýerde $A_{mş} = \langle f_{mş} \rangle x$ maýyşgaklyk güýjüniň ululygynyň hereketiň dowamynda üýtgeýändigi üçin onuň orta ululygynyň iň uly bahasynyň modulynyň ýarysyna $\langle f_{mş} \rangle = f_{mş}/2$ deňdigini göz öňünde tutup alarys:

$$A_{mş} = \frac{f_{mş}}{2}x = \frac{1}{2}kx^2\,. \qquad (1.2.18)$$

Bu ýerden (1.2.17) aňlatmany hasaplap, gysylan ýa-da süýndirilen pružiniň potensial energiýasynyň aňlatmasyny ýazyp bolar:

$$W_p = \frac{1}{2}kx^2\,. \qquad (1.2.19)$$

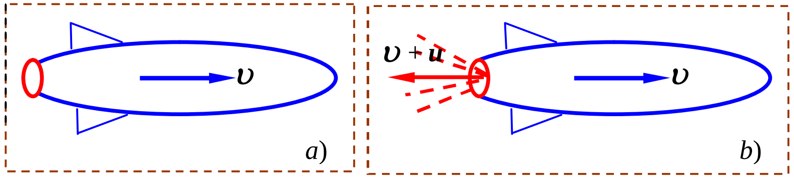
1.2.11. Sürtülme güýji

Suwuklygyň, gazyň içinde ýa-da biri-birine otnositel hereket edýän jisimler elmydama özleriniň hereketiniň garşylykly tarapyna ugrukdyrylan togtadyjy güýjiň täsirine uçraýarlar. Bu güýçlere sürtülme güýçleri diýilýär. Gazlaryň ýa-da suwuklyklaryň içinde hereket edýän jisimlerde bolsa sürtülme olaryň üstki gatlagyny düzýän bölejikler bilen daşky wagtdan soňra raketanyň massasy öňküsinden μdt ululyga azalar we M_1 deň bolar:

$$M_1 = M - \mu dt ,$$

bu ýerde μ - harçlanýan ýangyç (ol ýanýan ýangyjyň mukdarynyň onuň ýanyş wagtyna bolan gatnaşygyna deňdir).

Bu dt wagt pursatynda raketanyň tizligi hem $d\vartheta$ ululyga artýar we $\upsilon_1 = \upsilon + d\upsilon$ deň bolar. Saýlanan inersial ulgama görä raketada ýangyç ýanandan soňra onuň yzyna zyňylýan ýanyş



1.3.2-nji çyzgy. *Raketanyň hereketi*

prosesiň galyndysy bolan gazyň tizligi $\upsilon + \boldsymbol{u}$ deň bolar (1.3.2-nji *b* çyzgy). Munuň sebäbi yza zyňylan gaz ýanmanka inersial hasaplaýyş sistema görä raketanyň tizligine deň tizlikli onuň bilen hereketdedir.

Raketa- gaz sistema üçin impulsyň saklanma kanunyny agzalan häsiýetlendiriji ululyklary (parametrleri) hasaba alyp ýazalyň:

$$M\upsilon = (M - \mu dt)(\upsilon + d\upsilon) + \mu dt(\upsilon + \boldsymbol{u}) .$$

$$A = \int_{r_1}^{r_2} F_d dr = Gm_1 m_2 \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r^2} = Gm_1 m_2 \left| -\frac{1}{r} \right|_{r_1}^{r_2} =$$

$$= Gm_1 m_2 \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) . \qquad (1.2.29)$$

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly, grawitasiýa meýdanynyň işi göçürmäniň başlangyç we ahyrky nokatlarynyň halyna baglydyr. Şeýle häsiýetli güýçlere *konserwatiw* güýçler ony döredýän meýdana bolsa *potensial* meýdan diýilýär.

Grawitasiýa meýdanynda Ýeriň merkezinden r_1 daşlykdan r_2 daşlyga m massaly jisim göçürilende ýerine ýetirilýän iş şeýle aňladylýar:

$$A = GmM \left(\frac{1}{r_1} - \frac{1}{r_2} \right) . \qquad (1.2.30)$$

Bu ýerde M -Ýeriň massasy $\left(M = 5{,}98 \cdot 10^{24}\ kg \right)$.

Soňky (1.2.29) we (1.2.30) aňlatmalardan görnüşi ýaly, ***garwitasiýa meýdany potensial meýdandyr, dartylma güýji bolsa konserwatiw güçdür.***

1.2.14. Agyrlyk güýji. Jisimiň agramy. Agramsyzlyk

1. Agyrlyk güýji we erkin gaçmanyň tizlenmesi. ***Agyrlyk güýji*** diýip, Ýeriň dartuw meýdany bilen jisimi özüne çekýän güýjüne aýdylýar. Bütindünýä dartylma kanuny esasynda Ýeriň üstündäki (ýa-da onuň üstüniň golaýyndaky) *m* massaly jisimlere

$$F_d = G\frac{Mm}{R^2},\qquad (1.2.31)$$

agyrlyk güýji täsir edýär. Bu ýerde *M*- Ýeriň massasy, R - Ýeriň radiusy $\left(R = 6{,}37\cdot 10^6\ m\right)$.

Ýerden kesgitli beýiklikde ýeleşen jisime Ýeriň dartylma güýjünden özge güýçleriň täsiri bolmasa, onda ol jisim aşak *erkin gaçýar*. Diýmek, ***erkin gaçmaklyk*** *diňeÝeriň dartuw güýjüniň täsirindäki hereketdir.*

Nýutonyň ikinji kanunyny ulanyp, (1.2.31-nji) aňlatmadan erkin gaçmanyň tizlenmesini tapyp bolar:

$$g = \frac{F_d}{m} = G\frac{M}{R^2}\ .\qquad (1.2.32)$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly, erkin gaçmanyň tizlenmesi Ýere gaçýan jisimiň *m* massasyna bagly bolman, ol Ýere gaçýan hemme jisimler üçin birmeňzeşdir. Dartuw güýjüni wektor görnüşde şeýle ýazyp bolar:

$$\boldsymbol{F}_d = m\,\boldsymbol{g}\ .\qquad (1.2.33)$$

Ýeriň togalak däl-de süýnmegräkligi sebäpli onuň polýuslarynyň radiusy ekwatoryň radiusyndan kiçiräkdir. Bu bolsa, (1.2.31-nji) deňlige laýyklykda agyrlyk güýjüniň we onuň bilen birlikde erkin gaçmanyň tizlenmesiniň hem polýusda ekwatordakydan uly bolmagyna sebäp bolýar.

Agyrlyk güýji Ýeriň dartylma meýdanyndaky hemme jisimlere täsir edýär. Ýöne bu täsiriň netijesinde ol jisimleriň hemmejesi Ýere gaçmaýarlar. Sebäbi käbir jisimleriň Ýere gaçmazlygyna başga jisimler meselem daýanç, asma ýüpleri we ş.m. päsgelçilik berýär. Bu sebäplere fizikada *baglanyşyk*

$$\upsilon_2 = -\upsilon_1\frac{m_1}{m_2}\ .\qquad (1.3.3)$$

Bu ýerde m_1, υ_1- degişlilikde yza zyňylýan ýangyç önümiň massasy we tizligi, m_2, υ_2 - degişlilikde raketanyň massasy we tizligi. Bu deňlikden görnüşi ýaly m_2 raketanyň eýe bolýan υ_2 tizligi onuň yza zyňan önüminiň υ_1 tizligine we m_1 massasyna baglydyr.

Reaktiw hereketlendiriji diýip, özünden daşky atmosfera zyňylýan ýanýan ýangyjyň galyndy çüwdüriminiň reaksiýasy onuň korpusyna dartyş güýji hökmünde goýlan hereketlendirijilere aýdylýar. Beýleki hereketlendirijilerden tapawutlylykda reaktiw hereketlendirijiler kosmos giňişliginde hereket etmäge ukyplydyrlar.

Raketanyň massasy wagtyň geçmegi bilen azalýar. Diýmek, raketa özüniň uçuş döwründe üýtgeýän massaly jisimleriň hataryna girýär.

2.Meşerskiýniň deňlemesi. Sankt-Peterburg politehniki institutynyň professory I.W.Meşerskiý (1859-1935) üýtgeýän massaly jisimleriň mehaniki hereketini öwrenip, bu hereketiň deňlemesini we reaktiw güýjüň aňlatmasyny getirip çykarypdyr. Bu netijäni almak üçin raketada ýanýan gazyň ondan bölünip çykýan tizligini raketa görä hemişelik we ***u***-a deň hasaplalyň. Ýokarda bellenilişi ýaly kosmos giňişliginde ýyldyzlardan we planetalardan uzakda uçup barýan raketa daşky güýçler täsir etmeýärler.

Goý, käbir wagt pursatynda ýyldyzlar bilen baglanyşykly inersial sistema görä raketanyň tizligini υ , onuň massasyny bolsa *M* –e deň hasaplalyň (1.3.2-nji *a* çyzgy). Örän az *dt*

jisimleriň islendik özara täsirinde hemişelik saklanýandygyny aňladýar.

Diýmek, ulgamyň impulsy daşky täsir edýän güýçleriň jemine göni baglanyşykdadyr we onuň bilen ugurdaş üýtgeýär. Içki güýçler bolsa, ulgama girýän käbir jisimleriň impulsyny üýtgedýär, emma ulgamyň doly impulsyny üýtgetmeýär.

Daşky güýçleriň jemi hemişelik bolanda ulgamyň impulsynyň saklanma kanuny (1.3.2-nji deňlik) wagtyň islendik dowamlylygynda ýerine ýerýär.

1. Reaktiw hereket. *Özüniň massasynyň käbir böleginiň kesgitli tizlik bilen yza zyňylmagy zerarly döreýän herekete* ***reaktiw hereket*** *diýilýär*. Reaktiw hereketiň iň ýönekeýje mysaly hökmünde ýel berlip, agzy daňylmadyk çagalaryň rezin şarjagazyny öz erkine goýberilende ýerine ýetirýän hereketini getirip bolar. Şarjagazda howa uly tizlik akymy bilen atmosfera çykyp gutarýança şarjagaz onuň garşysyna uçýar.

Reaktiw däl hereketdäki ulgama girýän jisimleriň hemmejesi öz hereketlerinde daşky ulgam bilen özara täsirleşýärler. Meselem awto ulaglara, ýerde hereket edýän adama, suwda ýüzüp barýan gämä, ýa-da uçup barýan perli (wintli) uçara we ş.m. tizlenme berýän güýç degişlilikde ýer, suw ýa-da howa bilen özara täsirdedirler.

Sistema dynçlykda bolsa, onuň doly impulsy nola deňdir. Haçanda, sistema özünden yzyna ýangyç önümleriniň galyndysyny uly tizlik bilen (öz massasynyň kesgitli bölegini) zyňyp başlasa, ol garşylykly tarapa ugrukdyrylan tizlige eýe bolýar. Sebäbi ýapyk sistemanyň doly impulsy onuň saklanma kanunyna laýyklaykda üýtgemän galmalydyr. Munuň ýerine ýetmegi üçin massanyň azalan böleginiň öwezi sistemanyň tizliginiň artmagy bilen doldurylýar. Dogrudan hem, $m_1\upsilon_1 + m_2\upsilon_2 = 0$, onda

diýilýär. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda baglanyşyklar deformirlenýärler we deformasiýanyň reaksiýa güýji Nýutonyň üçinji kanunyna laýyklykda agyrlyk güýjüne barabar bolup, onuň täsirini ýok edýär.

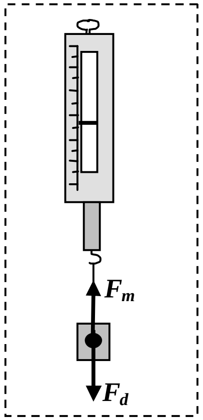
Ýer togalagynyň dürli geografiki giňişliginde geçirilen hasaplamalara görä erkin gaçmaklygyň tizlenmesi özüniň ululygy boýunça onçakly tapawut etmeýär. Şonuň üçin Ýeriň islendik künjeginde erkin gaçmaklygyň tizlenmesini 9,8 m/s^2 hasaplanylýar.

2.Jisimiň agramy. Agramsyzlyk we aşaagramlylyk

Jisimiň agramy *diýip, Ýeriň F_d dartylma güýjüniň esasynda jisimleriň özüniň daýanç ýa-da asma nokadyna edýän täsir güýjüne aýdylýar*

$$\boldsymbol{P}=\boldsymbol{F_d} = m\boldsymbol{g} \,. \qquad (1.2.34)$$

Jisimiň $\boldsymbol{P}$ agramy Ýere görä dynçlykda ýa-da gönüçyzykly deňölçegli hereket edýän pružinli terezilerde ölçenilýär (1.2.7-nji çyzgy).



1.2.7-nji çyzgy.
Pružinli terezi

Eger jisim Ýere görä tizlenmeli hereketde bolsa onda onuň agramy tizlenmäniň ululygyna we ugruna baglydyr.

Jisim pružinli tereziden asylgy halaty oňa $\boldsymbol{P}=\boldsymbol{F_d} = m\boldsymbol{g}$ agyrlyk güýjüne deň bolan dartylma güýji we pružiniň $\boldsymbol{F_m}$ maýyşgaklyk güýji täsir edýär. Eger bu halda jisim erkin gaçmanyň tizlenmesine görä wertikal ýokaryk ýa-da aşak hereketde bolsa, onda $\boldsymbol{F_d}$ we $\boldsymbol{F_m}$ güýçleriň deňtäsiredijisi jisimiň eýe bolýan tizlenmeli heretini döredýär:

$$\boldsymbol{F_d} + \boldsymbol{F_m} = m\boldsymbol{a} \ , \qquad (1.2.35)$$

bu ýerde $\boldsymbol{a}$ – jisimiň eýe bolýan tizlenmesi. Agramyň kesgitlemesine götä $\boldsymbol{P} = - \boldsymbol{F_m}$, şonuň ýaly hem $\boldsymbol{F_d} = m\boldsymbol{g}$ hasaba alyp, $m\boldsymbol{g} - m\boldsymbol{a} = - \boldsymbol{F_m}$. Diýmek, $\boldsymbol{P} = m(\boldsymbol{g} - \boldsymbol{a})$.

Jisime täsir edýän $\boldsymbol{F_d}$ we $\boldsymbol{F_m}$ güýçler bir wertikal göni boýunça garşylykly tarapa ugrukdyrylandyr. Eger, jisimiň $\boldsymbol{a}$ tizlenmesiniň ugry erkin gaçmanyň $\boldsymbol{g}$ tizlenmesiniň ugry bilen gabat gelýän bolsa, onda jisimiň agramynyň moduly şeýle aňladylar:

$$P = m(g-a) \ . \qquad (1.2.36)$$

Şeýle hereketde, (1.2.36-njy) aňlatmadan görnüşi ýaly, jisimiň eýe bolýan tizlenmesi erkin gaçmanyň tizlenmesine barabar bolsa (a = g) onda jijisimiň agramy nola deň bolýar (P=0) . Bu ýagdaýda jisim diňe agyrlyk güýjüniň täsiri astynda hereket edýär (erkin gaçýar). *Bu halda erkin gaçýan jisimler deformirlenmeýärler* we agyrlyk güýjüniň täsiri astynda dynçlykda duran jisimlerde ýüze çykýan napryaženiýe *döremeýär*. Fizikada agramyň nola deň bolmak hadysasyna ***agramsyzlyk*** diýilýär. *Agramsyzlygyň düýp sebäbi agyrlyk güýjüniň erkin gaçýan jisime we onuň daýanjyna (ýa-da asmasyna) deň ululykdaky tizlenme berýändiginden ybaratdyr.*

Eger jisimiň tizlenmesi erkin gaçmanyň tizlenmesiniň garşysyna, ýagny ýokaryk ugrugan bolsa, onda jisimiň agramynyň moduly şu deňlik bilen aňladylýar:

$$P = m\left[g - (-a)\right] = m(g + a) . \qquad (1.2.37)$$

bolsa ulalýar. Tizlikleri degişlilikde υ_1' we υ_2' $(\upsilon_1' < \upsilon_2')$ belläliň. Nýutonyň üçinji kanunyny urgy pursatynda F_1=- F_2 we bu güýçleriň goýulan dürli şarlarynyň eýe bolýan tizlenmelerini hasaba alyp, Nýutonyň ikinji kanunyny boýunça $\boldsymbol{F}_1 = m_1\boldsymbol{a}_1 = \dfrac{m_1(\boldsymbol{\upsilon}_1 - \boldsymbol{\upsilon}_1')}{dt}$ we $\boldsymbol{F}_2 = m_2\boldsymbol{a}_2 = \dfrac{m_2(\boldsymbol{\upsilon}_2' - \boldsymbol{\upsilon}_2)}{dt}$ görnüşde aňladyp bolar. Ýa-da Nýutonyň üçinji kanunyny boýunça $\dfrac{m_1(\boldsymbol{\upsilon}_1 - \boldsymbol{\upsilon}_1')}{dt} = -\dfrac{m_2(\boldsymbol{\upsilon}_2' - \boldsymbol{\upsilon}_2)}{dt}$ bu ýerden bolsa, ony $m_1(\boldsymbol{\upsilon}_1 - \upsilon_1') = -m_2(\boldsymbol{\upsilon}_2' - \boldsymbol{\upsilon}_2)$ ýazyp bolar. Jisimiň urgydan öňki we soňky impulslarynyň jemi

$$m_1\boldsymbol{\upsilon}_1' + m_2\boldsymbol{\upsilon}_2' = m_1\boldsymbol{\upsilon}_1 + m_2\boldsymbol{\upsilon}_2 , \qquad (1.3.1)$$

görüşe geler. Jisimiň impulsynyň aňladylyşyny ($\boldsymbol{K}_i = \boldsymbol{F}_i \Delta t = m_i\boldsymbol{\upsilon}_i$) göz öňünde tutup, (1.3.1-nji) aňlatmany

$$\boldsymbol{K}_1' + \boldsymbol{K}_2' = \boldsymbol{K}_1 + \boldsymbol{K}_2 , \qquad (1.3.1')$$

ýazarys. Ýa-da $\boldsymbol{K}_1' + \boldsymbol{K}_2' = \boldsymbol{K}'$ we $\boldsymbol{K}_1 + \boldsymbol{K}_2 = \boldsymbol{K}$ görnüşde belläliň.

Sistema girýän jisimleriň impulslarynyň wektor jemine bu sistemanyň ***doly impulsy*** $\boldsymbol{K_u}$ diýilýär. 1.3.1-nji deňlige görä $\boldsymbol{K}' = \boldsymbol{K} = \boldsymbol{K}_u$; $\boldsymbol{K}' - \boldsymbol{K} = d\boldsymbol{K} = 0$. Diýmek, sistemanyň doly impulsy :

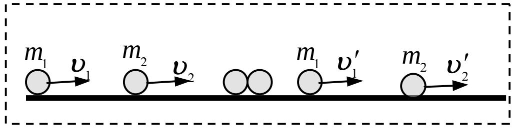
$$\boldsymbol{K_u} = \boldsymbol{K}_1 + \boldsymbol{K}_2 = hemişelik \ . \qquad (1.3.2)$$

Bu (1.3.2-nji) deňlik ***ulgamyň doly impulsynyň saklanma kanunyny***: ***ýapyk ulgamyň doly impulsy bu ulgama girýän***

BAP 1. 3. MEHANIKADA SAKLANMA KANUNLARY

1.3.1. Impulsyň saklanma kanuny. Reaktiw hereket. Meşerskiniň deňlemesi

1.Impulsyň saklanma kanuny. Impulslaryň saklanma kanunyna seretmek üçin tekiz üst boýunça m_1 we m_2



1.3.1-nji çyzgy. *Hereketdäki şarlaryň özara täsiri*

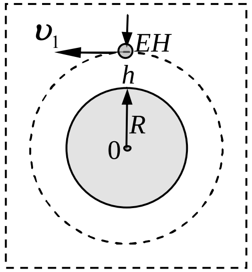
massaly, degişlilikde υ_1 we υ_2 $(\upsilon_1 > \upsilon_2)$ tizlikli şarlaryň bir ugra hereketine seredeliň (1.3.1-nji çyzgy). Hereket başlanyndan *dt* wagtdan soňra υ_1 tizliki şar υ_2 tizlikli şar bilen çakyşýar. Bu özara täsiriň maýyşgak däldigi sebäpli özara urgydan soňra şarlaryň tizlikleri üýtgeýär. Ýagny urgydan söňra birini şaryň tizligi kiçelýär, iknji şaryň tizligi

Bu halda jisimiň agramy onuň dynçlykdaky agramyndan uly bolar. Jisimiň agramynyň onuň hereketiniň tizlenmesine baglylykda artmagyna ***aşaagramlylyk*** diýilýär. Bu hadysa wertikal ýokary uçýan reaktiw uçarlaryň uçarmanlary has köp uçraýarlar.

1.2.15. Emeli hemralaryň hereketi. Birinji kosmiki tizlik

Astronomiýadan mälim bolşy ýaly, Gün ulgamynyň planetalary Günüň daşynda ellips şekilli orbita boýunça aýlanýarlar. Bu orbitalar takmynan bir tekizlikdedirler. Gün ulgamyndaky planetalaryň köpüsiniň tebigy hemralary bardyr. Ýeriň daşynda Aýdan başga-da köp sanly emeli hemralar bar. Özara dartylma esasynda asman jisimleri biri- birine görä ellips, parabola we giperbola boýunça hereket edýärler. Bu jisimleriň özara dartylma esasynda hereket orbitalarynyň görnüşi ol jisimleriň öz tizliklerine baglydyr.

Aragatnaşyk ýa-da başga niýetler üçin asmana uçurylan Ýeriň emeli hemralarynyň onuň daşynda töwerek şekilli orbita boýunça aýlanmagy üçin raketalara (emeli hemralara) berilýän başlangyç tizlige ***birinji kosmiki tizlik*** diýilýär. Bu tizlik bilen uçurylan her bir emeli hemranyň merkezi onuň uçurylan planetasynyň merkezi bilen gabat gelýän töwerek boýunça hereket edýär. Her bir planetanyň emeli hemrasynyň birinji kosmiki tizligi dürlüdir.



1.2. 8-nji çyzgy. *Birinji kosmiki tizlikli emeli hemranyň hereketi*

Ýeriň emeli hemrasynyň birinji kosmiki tizligini hasaplalyň (1.2.8-nji çyzgy). Bu çyzgyda Ýeriň emeli hemrasynyň (EH) Ýeriň üstünden h beýiklikde, onuň töweregine $r = (h+R)$ radiusly töwerek boýunça hereketiniň shemasy görkezilen. Bu ýerde R - Ýeriň radiusy, υ_1-hemranyň birinji kosmiki tizligi. Emeli hemranyň $r = (h+R)$ radiusly deňölçegli töwerek boýunça hereket edýändigi üçin Ýeriň dartylma güýjüniň döredýän merkeze ymtylýan tizlenmesi şeýle aňladylýar:

$$a = \frac{\upsilon_1^2}{r} = \frac{\upsilon_1^2}{R+h}. \qquad (1.2.38)$$

Ýeriň dartylma güýjüniň moduly

$$F_d = G\frac{Mm}{r^2} = G\frac{Mm}{(R+h)^2}, \qquad (1.2.39)$$

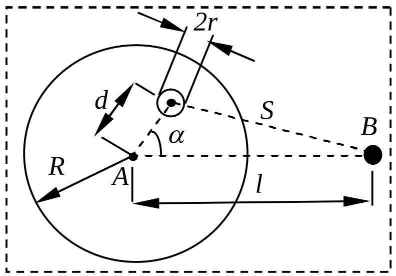
bu ýerde m hemranyň massasy, M Ýeriň massasy, G grawitasiýa hemişeligi. Nýutonyň ikinji kanunyna laýyklykda ($a = F/m$) ýazyp bolar:

$$a = G\frac{M}{(R+h)^2}. \qquad (1.2.40)$$

Ýokarda getirilen (1.2.38) we (1.2.40) deňliklerden $\frac{\upsilon_1^2}{R+h} = G\frac{M}{(R+h)^2}$ aňlatmany , soňra bu ýerden

$$\upsilon_1 = \sqrt{G\frac{M}{R+h}}, \qquad (1.2.41)$$

1.2.14*. Radiusy $R = 50sm$ bolan gurşun şaryň merkezinden d=40 sm daşlykda radiusy r =5 sm bolan sferik boşluk bar. Bu şaryň merkezinden l=80 sm daşlykda ýerleşen massasy m=10 g bolan material nokat gurşun şar tarapyndan nähili F güýç bilen dartylar. Material nokadyň we gurşun şaryň merkezlerini birikdirýän çyzyk bilen şaryň hem-de sferik boşlugyň merkezleriniň arasyndaky gönüniň emele getirýän burçy $\alpha = \pi/3$. Gurşunyň dykyzlygy $\rho = 11{,}3\, g/sm^3$.



1.2.14-nji gönükmäniň çyzgysy*

1.2.15*. Gün Ýeriň üstündäki islendik maddy nokady Aýdan güýçli özüne dartýar. Şeýle bolmagyna garamazdan daşgyn we gaýtgyn hadyslaryna Günüň täsiri däl-de Aýyň täsiri sebäp bolýar. Bu näme üçin beýle?

1.2.16. Massasy m=300kg bolan liftiň kabinasy $a_1 = 1{,}6\, m/s^2$ tizlenmeli ýokarlygyna we $a_2 = 0{,}8\, m/s^2$ tizlenme bilen aşaklygyna hereket edýän bolsa kabinanyň berkidilen trosynyň T dartyş güýgüni kesgitlemeli.

1.2.17. Liftiň içindäki ýolagçy bilen bilelikde massasy M=800 kg. Eger hereket edýän liftiň trosunyň dartyş güýji onuň dynçlykda duran halyndakysyna deň bolsa, onda onyň tizlenmesiniň ugruny we ululygyny kesgitlemeli. Dynçlykda duran liftiň hususy massasy m=600 kg.

1.2.18. Kabinadaky massasy m=100 kg bolan ýük $a = 24{,}5\, m/s^2$ tizlenme bilen şahtadan ýokarlygyna galdyrylýar. Ýüküň kabinanyň esasyna edýän F basyş güýjüni kesgitlemeli.

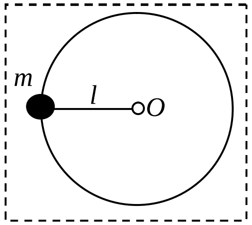
1.2.19. Emeli hemra Ýerden h beýiklikde töwerek boýunça uçýar. Emeli hemranyň υ tizligini we onuň aýlanma T periodyny h arkaly aňlatmaly. Ýeriň radiusy R, erkin gaçmanyň tizlenmesi g.

1.2.20. Mälim bolşy ýaly, Ýeriň emeli hemrasy onuň daşynda töwerek boýunça hereket edýär. Emeli hemranyň grawitasiýa potensial energiýasynyň onuň kinetik energiýasyndan näçe esse uludygyny kesgitlemeli.

1.2.21. Ikinji kosmiki tizligi hasaplamaly.

beýiklikde sferanyň üstünden sypar? Howanyň garşylygyny hasaba almaly däl.

1.2.8*. Gorizontal ýerleşdirilen agramsyz l=1m uzynlykly sterženiň ujunda onuň bilen bile m=0,9 kg massaly ýük wertikal tekizlikde $\upsilon = 3\, m/s$ tizlikli aýlanýar. Sterženiň gorizontal halda ýüke täsir edýän güýjüniň modulyny we ugruny kesgitlemeli.

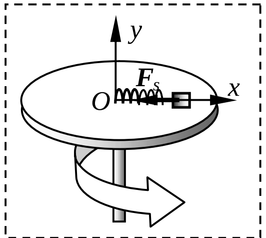


1.2.8- nji gönükmäniň çyzgysy*

1.2.9. Massasy m=500 tonna bolan otly dartyş güýjüniň täsiri kesilenden soň F=98 kN sürtülme güýjüniň täsirinde t =1 min wagtdan soňra togtan bolsa, onuň başlangyç hereketiniň υ_0 tizligini kesgitlemeli.

1.2.10*. Massasy M bolan dörtburç ýasy tagta bölejigi (brusok) gorizontal tekizlikde sürtülmesiz hereket etmäge ukyply. Bu tagtanyň üstünde m massaly kiçi kub ýerleşdirilen.Bu kub bilen tagta böleginiň arasyndaky sürtülme koeffisiýenti μ. Kuba gorizontal ugrukdyrylan $\boldsymbol{F}$ güýç täsir edýär. Bu güýjüň nähili iň kiçi (F_{min}) ululygynda kub aşagyndaky tagta böleginiň üsti boýunça typyp başlar? Eger tagta böleginiň uzynlygy l bolsa, kub onuň üstünden näçe t wagtdan soňra typyp gaçar?

1.2.11*. Wertikal okuň töweregine aýlanýan diskiň üstünde m = 100 g massaly hokkeý şaýbasy ýerleşdirilen. Şaýba gorizontal ýerleşdirilen pružin bilen diskiň aýlanma okuna birikdirilen. Eger, diskiň aýlanma ýygylygy $\nu_1 = 2\, aýl/s$ bolsa, pružin öňki uzynlygynda saklanýar. Diskiň aýlanma ýygylygyny endigan $\nu_2 = 5\, aýl/s$ ululyga artdyrylyp ýetirilende ptužiniň uzynlygy 2 esse süýnýär. Pružiniň k gatylygyny kesgitlemeli.



1.2.11 -nji gönükmäniň çyzgysy*

1.2.12. Mars planetasynyň diametri d=6790 km, onuň üstünde erkin gaçmanyň tizlenmesi $g_M = 3{,}7\, m/s^2$. Marsyň dykyzlygyny kesgitlemeli.

1.2.13. Aýyň üstünde erkin gaçmanyň tizlenmesi $g_A = 1{,}6\, m/s^2$. Aýyň radiusy Ýeriňkiden 3,7 esse kiçi bolsa , onda onuň massasy Ýeriňkiden näçe kiçidir?

deňligi alarys. Bu (2.41-nji) deňlik boýunça Ýeriň üstünden h beýiklikde birinji kosmiki tizligiň bahasyny hasaplap bolar.

Edil Ýeriň üstünde h=0 we (1.2.41) deňlik boýunça birinji kosmiki tizlik

$$\upsilon_1 = \sqrt{G\frac{M}{R}}\ . \qquad (1.2.42)$$

Ýeriň üstünde $g = G\dfrac{M}{R^2}$, onda

$$G\frac{M}{R} = gR\,, \qquad (1.2.43)$$

bu aňlatmany (2.42-nji) deňlikde goýup alarys:

$$\upsilon_1 = \sqrt{gR}\,, \qquad (1.2.44)$$

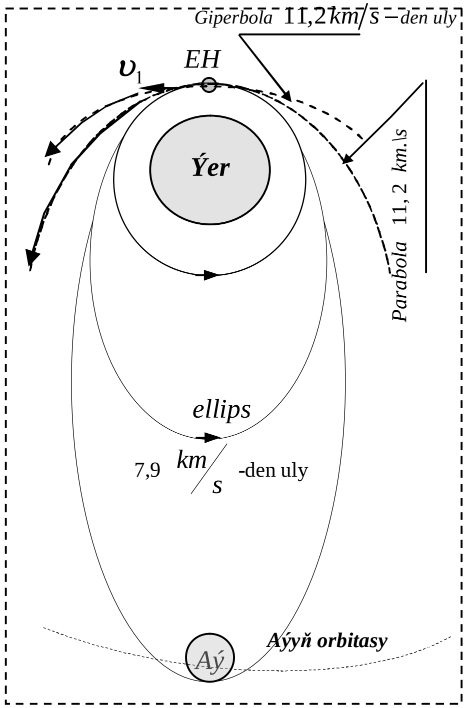
Bu aňlatmada $g = 9{,}81\ m/s^2$ we $R = 6{,}4\cdot10^6\, m$ ululyklary (1.2.44-nji) deňlikde goýup, Ýeriň üstündäki birinji kosmiki tizligiň $\upsilon_1 = 7{,}9\ km/s$ ululyga deňdigini hasap alarys.

Diýmek, ýeriň üstüne görä gorizontal $\upsilon_1 = 7{,}9\ km/s$ tizlik bilen ugrukdyrylan jisim Ýerdden kesgitli beýiklikde töwerek orbita boýunça aýlanyp, onuň emeli hemrasyna öwrülýär.

Ýeriň dartylma güýjüni ýeňip geçip, Günüň hemrasyna öwrülmegi üçin jisime ikinji kosmiki tizlik bermeli. Ýerden uçurylýan emeli hemra üçin ikinji kosmiki tizlik

$$\upsilon_2 = \sqrt{2gR} = \sqrt{2\upsilon_1}; \qquad \upsilon_2 = 11{,}2\ km/s\,.$$

Eger Ýerden uçurylyp goýberilen emeli hemranyň tizligi $\upsilon_1 = 7{,}9\ km/s$ -den uly we $\upsilon_2 = 11{,}2\ km/s$ -den kiçi bolsa , onda onuň orbitasy ellips bolar (1.2.9-njy çyzgy). Bu çyzgyda traýektoriýasy giperbola we parabola bolan emeli hemralar



1.2. 9-njy çyzgy. *Ýeriň emeli hemralarynyň tizlikleri*

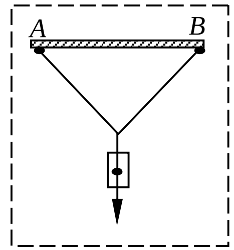
çyzgyda görkezilen üznüksiz peýkamyň ugruna üçup, olar özleriniň uçurylan planetasynyň töweregine gaýdyp gelmezler. Çyzgyda agzalan traýektoriýalaryň üznükli (puktir) bölegi emeli hemralaryň traýektoriýalarynyň görnüşine düşünmek üçin goýuldy.

Emeli hemralar Ýeriň töwereginde diňe dartylma güýjüň täsiri astynda hereket edýärler. Bu güýç hemra, onuň içindäki kosmonawtlara we hemme gurallara bir meňzeş ululykly erkin gaçmanyň tizlenmesini berýär. Diýmek, hemralardaky hemme jisimler agramsyzlyk halyndadyrlar.

Gönükme 1.2.

1.2.1. Massasy m=2 kg bolan jisim $S = A - Bt + Cr^2 - Dr^3$ ($C = 2\,m/s^2$, $D = 0{,}4\,m/s^2$) kanun boýunça gönüçyzykly hereket edýär. Jisimiň hereketiniň birinji sekundynyň ahyrynda oňa täsir edýän güýji kesgitlemeli.

1.2.2. Uzynlygy l=1m bolan sapagyň uçlary deň beýiklikde ýerleşen we özara gorizontal çyzyk boýunça hereket etmäge ukyply A we B asma nokatlara birikdirilen. Sapagyň ortasyna agramy P bolan daş asylan.
Asma A we B nokatlaryň arasy näçe daşlykda bolanda sapak üzüler?



1.2.2-nji gönükmäniň çyzgysy

1.2.3. Iki sany işçi uzynlygy l=1m bolan tagtadan asylan P ýüki eginlerine goýup, göterip barýarlar. Eger işçileriň birisiniň egnine düşýän ýüküň agramy onuň $2/5$ bölegine deň bolsa, ýük tagtanyň niresinden asylan? Tagtanyň agramyny hasaba almaly däl.

1.2.4. Massasy m=1024 kg bolan awtoulag deňhaýallaýan hereket edip, t =5 s wagtdan soňra S=25 m aralygy geçip togtaýar. Awtoulagyň togtadyjy güýjüni kesgitlemeli.

1.2.5. Massasy m=500 tonna bolan otly t =1 minut deňölçegli haýallaýan hereket edip, tizligini $\upsilon_1 = 40\,km/sag$ -dan $\upsilon_2 = 28\,km/sag$ -a çenli azaldyp togtaýar. Togtadyjy F güýji tapmaly.

1.2.6*. Asma nokatdan l uzynlykly ýüpden asylan metal şar wertikaldan α gyşarma burç bilen gorizontal tekizlikde deňölçegli töwerek boýunça hereket edýär. Şaryň bir doly aýlanma wagtyny tapmaly.

1.2.7*. Togalajyk jisim sürtülmesiz, radiusy R bolan dynçlykda duran sferanyň ýokarky nokadyndan togalanyp başlaýar. Jisimiň haýsy H

Trigonometrik funksiýanyň $cos\omega_0 t = sin(\omega_0 t + \pi/2)$ hasaba alyp, (1.4.5-nji deňligi)

$$\upsilon_x = A\omega_0 \sin\left(\omega_0 t + \pi/2\right) . \qquad (1.4.6)$$

Bu aňlatmadan mälim bolşy ýaly yrgyldaýan M nokadyň tizligi hem edil onuň x orun üýtgetmesi ýaly sinusiodal kanun boýunça üýtgeýär we $\sin(\omega_0 t + \pi/2) = 1$ bolanda ol özüniň iň uly $\upsilon_{mak} = A\omega_0$ maksimal bahasyna ýetýär.

Material nokadyň töwerek boýunça aýlanmagynda döreýän $\boldsymbol{a}_0$ merkeze ymtylýan tizlenmäniň x oka proýeksiýasy

$$a = -a_0 sin\omega_0 t . \qquad (1.4.7)$$

Birinji bapda getirilen (1.1.31-nji) aňlatmanyň esasynda $F_{my} = ma_{my} = m\upsilon_0^2/R$ we $\upsilon_0 = \omega_0 R$ onda $a_0 = \upsilon_0^2/A = \omega_0^2 A$ ululygy ulanyp, (1.4.7-nji) aňlatmany:

$$a = -\omega_0^2 A sin\omega_0 t , \qquad (1.4.8)$$

görnüşde ýazyp bolar.

Eger $sin\omega_0 t = 1$ bolanda $a_{mak} = \omega_0^2 A$ maddy nokadyň tizlenmesi özüniň iň uly bahasyna eýe bolýar.

Ýokarda getirilen (1.4.4-nji) deňligi hasaba alyp, (1.4.8-nji) garmoniki yrgyldynyň tizlenmesini

Ýaýlary açyp we $(d\upsilon \cdot dt)$ agzanyň iki sany kiçi ululygyň köpeltmek hasyly bolan juda kiçi ululykdygy sebäpli ony hasaba alman soňky aňlatmany

$$Md\upsilon = -\mu \boldsymbol{u} dt ,$$

görnüşe getirip bolar. Bu ýerden bolsa

$$M\frac{d\upsilon}{dt} = -\mu \boldsymbol{u} , \qquad (1.3.4)$$

aňlatmany alarys. Bu aňlatma ony 1897-nji ýylda getirip çykaran alymyň hormatyna ***Meşerskiýniň deňlemesi*** atlandyrylýar.

Bu deňligiň sag tarapyndaky ululyga ***reaktiw güýç*** diýilýär we ol $\boldsymbol{F}_r = -\mu \boldsymbol{u}$ bilen bellenilýär. Onda (1.3.4-nji) aňlatma üýtgeýän massaly jisim üçin Nýutonyň ikinji kanunyna barabardyr.

Siolkowskiý kosmos uçuşlarynyň nazaryýetiniň esasyny döredijidir. Kosmos uçuşlarynyň nazaryýetiniň esasyny tanymal rus alymy Siolkowskiý (1857-1935) döretdi. Ol reaktiw hereketiň umumy nazaryýetini, reaktiw uçýan gurluşlaryň prinsiplerini, shemalaryny işläp düzdi we planeta ara uçuşlarda köpbasgançakly raketalardan peýdalanmaklygyň zerurlygyny subut etdi. Siolkowskiýniň bu ylmy işleri Ýeriň emeli hemralaryny we kosmos gämilerini döretmekde we olary uçurmakda peýdalanyldy.

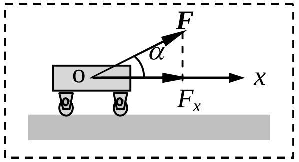
Iş ýüzünde kosmos uçuşlaryny amala aşyrmaklygyň esasyny rus alymy, akademik Korolýew (1906-1966) amala aşyrdy. Onuň ýolbaşçylygynda Ýeriň ilkinji emeli hemrasy, döredildi we uçuryldy. Onuň ýolbaşçylygynda taryhda ilkinji bolup, rus ýigidi Ý.A. Gagariniň (1934-1968) soňra bolsa köp sanly döwletleriň raýatlarynyň şol sanda biziň ýurtdaşymyz, Türkmenabat şäherindäki 15-nji orta mekdebiň uçurmy Oleg Kononenkonyň 2008-nji ýylda 17-nji ekspedisiýanyň düzüminde kosmosa uçuşlary guraldy.

1.3.2. Mehaniki iş. Kuwwat

1. Mehaniki iş . Eger jisime täsir edýän ***F*** güýç onuň ***S*** orun üýtgetmesini döredýän bolsa, onda bu güýç *A* işi ýerine ýetirýär. Diýmek, ***mehaniki iş diýip***, *jisime täsir edýän güýjüň F modulynyň orun üýtgetmäniň S modulyna köpeltmek hasylyna aýdylýar*:

$$A=FS\,. \qquad (1.3.5)$$

Köplenç jisime täsir edýän güýç orun üýtgetme bilen nuldan uly we π- den kiçi ($0<\alpha<\pi$) burç emele getirýär (1.3.3-nji çyzgy). Bu halda ***F*** güýjüň ýerine ýetiren işini hasaplamak üçin onuň orun üýtgetmesiniň ugruna geçirilen *ox* ok boýunça proýeksiýasyny almalydyr. Ýagny: $F_x = F\cos\alpha$, onda mehaniki işi



1. 3. 3-nji çyzgy. *Arabajyga täsir edýän güýç*

$$A = FS\cos\alpha\,, \qquad (1.3.6)$$

aňladyp bolar. Bu aňlatmadaky $\alpha = \pi/2$ bolanda, ýagny arabajyga täsir edýän güýç onuň orun üýtgetmesiniň ugryna geçirilen normal boýunça ugrukdyrylsa, mehaniki iş edilmeýär.

Ölçegleriň HU-da iş joulda (*J*) hasaplanylýar:

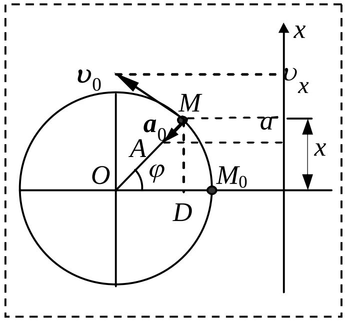
$$[A]=[F\cdot S]=[N\cdot m]=[J].$$

2.Kuwwat . ***Kuwwat*** (*N*) *diýip, wagt birliginde ýerine ýetirilýän işe aýdylýar*:

$$N = \frac{A}{\Delta t}\,. \qquad (1.3.7)$$

deňagramlylyk halyndan orun üýtgemesini aňladýar. Eger başlangyç faza φ_0=0 we t=T bolsa $\omega t = 2\pi$; Eger $t = T/4$ bolanda bolsa, $\omega t = \pi/2$; we ş.m. hala laýykdyr.

Goý, *M* material nokat *A* radiusly töwerek boýunça sagat diliniň aýlanma ugrynyň garşysyna deňölçegli hemişelik ω_0 burç tizlikli hereket etsin (1.4.2-nji çyzgy). Başlangyç t=0 pursatda material nokat M_0 nokatda bolup, onuň başlangyç fazasy φ_0=0 bolsun. Hereket başlanandan *t* wagtdan soňra *M* material nokat φ burça süýşer. Bu halda *MD*=*x* bilen belläliň, *M* nokadyň *x* ok boýunça proýeksiýasyny taparys:



1.4. 2-nji çyzgy. *Maddy nokadyň töwerek boýunça hereketi*

$$x = A\sin\varphi\,.$$

Çyzgy boýunça $\varphi = \omega_0 t$ bolany üçin bu deňligi

$$x = A\sin\omega_0 t\,, \qquad (1.4.4)$$

ýazyp bolar. Bu deňlikden görnüşi ýaly *M* nokat töwerek boýunça aýlananda onuň *x* oka proýeksiýasy *O* nokadyň töwereginde garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirýär.

Bu *M* material nokadyň υ_0 tizliginiň *x* oka proýeksiýasy (1.4.2-nji çyzgy)

$$\upsilon_x = \upsilon_0\cos\omega_0 t\,. \qquad (1.4.5)$$

Çyzyk we burç tizlikleriň arasyndaky baglanyşygy (1.1.27-nji deňlik) göz öňünde tutup, $\upsilon_0 = A\omega_0$ ýazyp bolar, bu ýerde *A* töweregiň radiusy.

bolar. Eger munuň ýaly jisim deňagramlylyk halyndan çykarylyp, öz erkine goýberilse ol özüniň deňagramlyk halynyň töwereginde yrgyldyly hereketi ýerine ýetirip başlar. Munuň ýaly yrgylda ***hususy yrgyldy*** diýilýär.

Yrgyldyly hereketde maddy nokadyň deňagramlylyk halyndan iň uly gyşarma aralygyna yrgyldynyň amplitudasy (gerimi) diýilýär. Diýmek, yrgyldyly hereket özüniň periody, ýygylygy we amplitudasy bilen häsiýetlendirilýär.

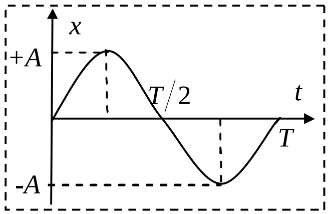
Maddy nokadyň yrgyldysy *şol bir amplituda bilen gaýtalansa*, oňa ***togtamaýan,*** *amplitudasy yzygider kiçelýän yrgyldylara bolsa,* ***togtaýan yrgyldylar*** diýilýär.

1.4.2. Garmoniki yrgyldy

Eger hereket edýän jisimiň koordinatasy wagt birliginde sinuslar (ýa-da kosinuslar)

$$x = A\sin\left(\omega t + \varphi_0\right), \qquad (1.4.3)$$

kanun boýunça üýtgeýän bolsa, hereket ***garmoniki yrgyldyly*** atlandyrylýar (1.4.1-nji çyzgy). Bu ýerde x-periodyň islendik ülüşinde maddy nokadyň deňagramlyk halyndan orun üýtgetmesi, A-yrgyldynyň amplitudasy, ωt-yrgyldynyň fazasy, φ_0-yrgyldynyň başlangyç fazasy.



1.4.1-nji çyzgy. *Sinusoidal yrgyldy*

Sinus funksiýanyň $\left(\omega t + \varphi_0\right)$ argumentine, eger φ_0=0 bolanda (ωt) ***yrgyldynyň fazasy*** diýilýär. ***Faza*** *islendik t wagt pursatynda maddy nokadyň özüniň periodynyň radian hasabyndaky näçe ülişini geçendigini aňladýar*. Başlangyç φ_0 faza, t=0 başlangyç pursatda jisimiň (maddy nokadyň)

Ölçegleriň HS-da kuwwat watlarda (*Wt*) hasaplanylýar. Ol bir sekuntda ýerine ýetirilen Joul hasabyndaky işdir, $\left(1Wt = 1\,J/s\right)$. Tehnikada köplenç 1*MWt* = 10^3*KWt* =10^6 *Wt* birlikler hem ulanylýar. Şonuň ýaly hem kuwwat hasaplaýyş sistema girmeýän ***at güýji*** diýlip atlandyrylýan ölçeg birligi bilen hem ölçenilýär. At güýji (*a.g.*) görnüşde bellenilýär we ol 1*a.g.*= 735 *Wt*.

Deňölçegli hereketdäki kuwwat bilen hereketiň tizligini baglanyşdyryp bolar. Munuň üçin (1.3.7-nji) deňlikde ýerine ýetirilýän işiň (1.3.6-njy) aňlatmasyny ulanyp, kuwwaty

$$N = \frac{A}{\Delta t} = F\frac{S}{\Delta t}\cos\alpha = F\upsilon\cos\alpha \ , \qquad (1.3.8)$$

görnüşde aňladyp bolar. Eger (1.3.8-nji) deňlikdäki kuwwatyň, güýjüň we tizligiň (*N*, *F* we υ) degişlilikde pursatlaýyn ululyklaryny ulanyp, onda ol aňlatmany deňölçegli üýtgeýän hereket üçin hem ýazyp bolar. Eger täsir edýän güýjüň ugry orun üýtgeme bilen ugurdaş bolsa, $\alpha = 0$ we $\cos\alpha = 1$ onda $N = F\upsilon$. Bu ýerden

$$F = \frac{N}{\upsilon} \quad \text{we} \quad \upsilon = \frac{N}{F}. \qquad (1.3.9)$$

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly awtomobilleriň, traktorlaryň hereketlendirijileriniň dartyş güýjüniň tizlik bilen ters baglanyşykdadygy görünýär. Diýmek, dartyş güýjüniň artmagy tizligiň kiçelmegine we tersine dartyş güýjüniň azalmagy hereketiň tizliginiň ulalmagyna getirýär. Hemme hereket edýän ulaglaryň tizligi üýtgediji gutusy (korobka peredaçasy) agzalan düzgüne laýyk edilip ýasalýar.

1.3.3. Kinetik we potensial energiýa

1. Energiýa. Jisimleriň işi ýerine ýetirip bilijilik ukybyna ***energiýa*** diýilýär. Energiýa skalýar ululyk bolup, ol berlen şertlerde jisimiň ýerine ýetirip biljek maksimal işine deňdir. Iş dürli proseslerde energiýanyň üýtgemeginiň ölçegidir. Ölçegleriň Halkara sistemasynda iş we energiýa şol bir birlikde ***joulda*** hasaplanylýar.

Umuman, *energiýa materiýanyň dürli görnüşdäki hereketiniň we onuň bir görnüşden beýleki görnüşe geçmeginiň ölçegidir*. Materiýanyň kesgitli hereketini häsiýetlendirmek üçin oňa kybapdaş bolan mehaniki, içki, elektromagnit we ş.m. energiýalaryň görnüşleri ulanylýar.

Mehaniki energiýa jisimleriň hereketini we özara täsirini häsiýetlendirýär. Ol jisimleriň tizligine we özara ýerleşişlerine baglydyr.

2.Kinetik energiýa. Kinetik energiýanyň aňlatmasyny gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereket edýän m massaly jisimiň mysalynda getirip çykaralyň. Ýokarda bellenilişi ýaly jisime täsir edýän güýjüň ýerine ýtirýän işi 1.3.6-njy deňlik bilen kesgitlenilýär $A = FS\cos\alpha$. Eger $\cos\alpha = 1$, onda ýerine ýetirilen iş

$$A = FS = maS. \qquad (1.3.10)$$

Garalýan mysal deňölçegli gönüçyzykly üýtgeýän hereket bolany üçin, bu hereketde geçilen ýoluň (1.1.18-nji) $S = \upsilon_{ort} t$ aňlatmasynda υ_{ort} -nyň bahasyny $(1.1.18')$ alyp goýalyň:

hereketlendirijileriň silindrindäki porşeniň hereketi, Ýeriň öz okunyň daşynda aýlanmagy we ş.m. periodiki yrgyldylaryň mysallarydyr.

Periodiki yrgyldyly hereketiň haýsy hem bolsa bir nokadynyň yrgyldysy öwrenilse, onuň hereketiniň traýektoriýasynyň gaýtalanýandygyna göz ýetireris. Yrgyldyly hereketiň her bir nokadynyň yrgyldysynyň bolup geçiş häsiýetiniň birmeňzeşdigi üçin onuň bir nokadynyň hereketini öwrenmek ýeterlikdir. Nokadyň ***doly yrgyldysy*** *diýip, hereketiň gaýtalanman geçýän bir gutarnykly aýlawyna aýdylýar.*

Bir doly yrgyldynyň bolup geçýän wagtyna ***yrgyldynyň*** (T) ***periody*** (***gaýtalanma döwri***) *diýilýär.*

Periodiki yrgyldynyň ν ***ýygylygy*** diýip, wagt birliginde bolup geçýän doly yrgyldylaryň sanyna aýdylýar :

$$\nu = \frac{1}{T}. \qquad (1.4.1)$$

Yrgyldynyň ýygylygy ölçegleriň Halkara sistemasynda gerslerde (Gs) aňladylýar. ***Gers*** periody 1 sekunda deň bolan yrgyldylaryň ýygylygydyr ($1Gs = 1\ s^{-1}$).

Periodiki yrgyldynyň (ω) ***aýlaw ýygylygy*** diýip, bir sekuntdaky (t=T=1s) material nokadyň aýlawly hereketinde ýazan $\varphi = 2\pi$ radian hasabyndaky burçuna aýdylýar:

$$\omega = 2\pi\nu = \frac{2\pi}{T}\ . \qquad (1.4.2)$$

Aýlaw ω ýygylyk hem edil ν ýygylyk ýaly Halkara sistemada gerslerde aňladylýar. Yrgyldyly hereket etmäge ukyply jisim (material nokat) tä daşyndan güýç täsir edip, oňa goşmaça energiýa berilýänçä öňki ***durnukly deňagramlylyk halynda***

BAP 1.4. MEHANIKI YRGYLDYLAR WE TOLKUNLAR. SES

1.4. 1. Mehaniki yrgyldylar

Biz özümiziň gündelik gözegçiligimizde, ýaşaýşymyzda yrgyldyly herekete örän köp duşýarys. Mysal üçin, adamynyň ýüreginiň urgysy, elektronyň atomdaky hereketi, dutaryň kirşiniň titremegi, maýatnigiň hereketi, yrgyldyly konturdaky elektromagnit yrgyldylary, pružiniň ujyna dakylan jisimiň hereketi yrgyldyly hereketleriň mysalydyr. ***Yrgyldyly hereket*** *diýip, deňagramlyk halynyň töwereginde şol bir wagt aralygynda doly ýa-da takmyn dolylygyna gaýtalanýan hereketlere aýdylýar*.

Gaýtalanýan prosesleriň arasynda yzygider periodiki (döwürleýin) gaýtalanýan hereket wajyp orun tutýar. *Yrgyldyny häsiýetlendirýän we hereketiň dowamynda üýtgeýän fiziki ululyklaryň (orun üýtgetme, tizlik) deň wagt aralygynda gaýtalanmagyna* ***periodiki yrgyldy*** *diýilýär*. Günüň töwereginde planetalaryň hereketi, içinden ýandyrylýan

$S=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}t$. Bu aňlatmadaky hereketiň dowam eden t wagtyny (1.1.20-nji) deňlige görä $t=\frac{\upsilon-\upsilon_0}{a}$ tapyp,

$$S=\frac{\upsilon_0+\upsilon}{2}\cdot\frac{\upsilon-\upsilon_0}{a},$$

ýazyp bolar. Bu deňlikden bolsa, $\upsilon^2=\upsilon_0^2+2aS$ taparys. Bu deňlikdäki $\upsilon_0=\upsilon_1$; $\upsilon=\upsilon_2$ bilen belläp,

$$S=\frac{\upsilon_2^2-\upsilon_1^2}{2a}, \qquad (1.3.11)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu deňligi ulanyp, 1.3.10-njy aňlatmany

$$A=\frac{m\upsilon_2^2}{2}-\frac{m\upsilon_1^2}{2}, \qquad (1.3.12)$$

ýaly ýazyp bolar.

Energiýa bilen mehaniki işiň özara kybapdaşlyk häsiýetine görä potensial meýdanlarda ýerine ýetirilen iş energiýanyň azalmagynyň hasabyna amala aşyrylýar. Şonuň üçin $A=-\Delta W_k$, onda

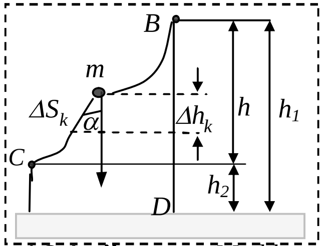
$$\Delta W_k=\frac{m\upsilon_2^2}{2}-\frac{m\upsilon_1^2}{2} \quad \text{ýa-da} \quad W_k=\frac{m\upsilon^2}{2}, \qquad (1.3.13)$$

kinetik energiýanyň aňlatmasyny aldyk. Diýmek, ***hereket edýän jisim kinetik energiýa eýedir***. Iň soňky (1.3.13-nji) deňlik kinetik energiýanyň aňlatmasydyr.

3. Potensial energiýa. Agyrlyk güýjüniň täsiri astynda m massaly maddy nokadyň BC egriçyzykly traýektoriýa boýunça B nokatdan C nokada geçendäki hereketine seredeliň (1.3.4-nji çyzgy). Bu aralykda maddy nokadyň geçýän S traýektoriýasyny

$$BC = S = \sum_{k=1}^{N} \Delta S_k ,$$

görnüşde aňladalyň.



1.3.4-nji çyzgy. *Maddy nokadyň egriçyzykly traýektoriýaly hereketi*

Traýektoriýanyň ΔS aralygynda $F_{a.g.}$ agyrlyk güýjüniň ýerine ýetiren ΔA elementar işi:

$$\Delta A_k = F_{a.g.} \Delta S \cos\alpha , \qquad (1.3.13)$$

aňladylýar. Bu deňlikdäki traýektoriýanyň ΔS bölejiginiň BD wertikal boýunça Δh_k proýeksiýasyny alalyň:

$$\Delta h_k = \Delta S_k \cos\alpha \ . \qquad (1.3.14)$$

Soňky (1.3.14) deňligi hasaba alyp, (1.3.13-nji) deňligi

$$\Delta A_k = F_{a.g.} \Delta h_k , \qquad (1.3.15)$$

ýazyp bolar. Indi BC traýektoriýa boýunça umumy ýerine ýetirilen işi :

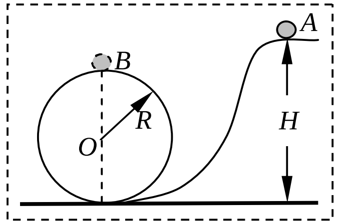
massasy M=2000 kg bolsa ol snarýad atylandan soňra hähili υ tizlige eýe bolar?

1.3.5. Topuň nilinden uçup çykan snarýad özüniň uçuşynyň iň uly h=1960 m beýikliginde $\upsilon = 100\, m/s$ tizlikli pursaty deň iki bölege bölünýär. Snarýadyň bölekleriniň birisi iki esse $\left(\upsilon_1 = 2\upsilon\right)$ tizlikli gös-göni yzyna gorizontal ugur boýunça uçýar. Snarýadyň bölekleri biri-birinden näçe S daşlykda ýere gaçar?

1.3.6. Uly adamynyň ýüregi bir minutda 70 gezek gysylyp, her gezek gysylanda A_1 =1 J iş edip, $V = 160\, sm^3$ gany itekleýär. Ýürek bir gije gündüzde näçe işi ýerine ýetirýär?

1.3.7. Massasy m=5 kg bolan jisim h = 20 m beýiklikden aşak gaçýar. Bu jisimiň W_k we W_p energiýalarynyň jemini Ýerden h_1= 5 m beýiklikdäki nokatda tapmaly. Howanyň garşylygyny hasaba almaly däl.

1.3.8. Ýerden H=20 m beýiklikden massasy m=400 g bolan daş $\upsilon_0 = 10\, m/s$ tizlikli gorizontal ugra zyňylan. Daş zyňylan pursatyndan t =1 s wagt geçenden soňra onuň W_k we W_p energiýalaryny hasaplamaly.



1.3.10*-nji gönükmäniň çyzgysy

1.3.9*. Ýapgytlygy $\alpha = 5^0$ bolan rels boýunça wagon aşak tigirlenip, S=300 m aralygy geçýär. Wagon inersiýasy boýunça edil şonuň ýaly ýapgytlykly beýiklige hereketini dowam etdirip, näçe x aralygy geçip biler. Sürtülme koeffisiýentini k=0,05 deň we hemişelik hasaplamaly.

1.3.10*. Massasy m şar halka görnüşli ternawa üznüksiz galtaşyp, onuň depesindäki B nokada çykar ýaly ol Ýere görä iň bolmanda näçe H beýiklikden aşak inmeli?

Ýeriň üstündäki 3-nji nokatda $W_{p3} = 0$, sebäbi bu nokatda h=0, $W_{k3} = \frac{m\upsilon_3^2}{2}$. Bu ýerde υ_3- jisimiň Ýere gaçan pursatyndaky tizligi. Onuň $\upsilon_3^2 = 2gh$ bolany üçin 3-nji nokatda jisimiň doly energiýasy W_3=*mgh*. Erkin gaçmagynyň bütin dowamynda jisimiň doly energiýasy:

$$W=W_k+W_p=hemi\c{s}elik. \qquad (1.3.24)$$

Bu (1.3.34-nji) deňlik ýapyk ulgamda jisimiň energiýasynyň saklanma kanunynyň aňlatmasydyr. ***Energiýanyň saklanma kanuny****: ýapyk ulgamda özara diňe konserwatiw güýçler bilen täsirleşýän jisimleriň islendik hereketinde ulgamyň doly içki energiýasy üýtgemeýär. Diňe potensial energiýa kinetik energiýa we tersine özgerýär*.

Gönükme 1.3.

1.3.1. Massasy *m*=150 *g* bolan pökgi ýylmanak wertikal diwara $\alpha = 30^0$ burç bilen maýyşgak urulyp, yzyna serpikýär. Diwar tarapyndan pökgä täsir edýän *F* güýji tapmaly. Pökgüniň tizligi $\upsilon = 10\,m/s$, urgynyň dowamlylygy $\Delta t = 0{,}1$ s.

1.3.2. Massasy *m*=200 *g* bolan şar wertikal aşak $\upsilon = 5\,m/s$ tizlik bilen pola urulyp, ondan *h* =46 *sm* beýiklige bökýär. Urgy halatynda şaryň ΔK impulsynyň üýtgemegini tapmaly.

1.3.3*. Massalarynyň gatnaşygy $m_2/m_1 = 4$ bolan plastilin şarlar özara perpendikulýar ugurda $\upsilon_1 = 3\upsilon_2$ tizlikli hereket edip çakyşýarlar. Çakyşmadan soňra olar birleşip, bir şar bolup *U* tizlik bilen gorizontal tekizlik boýunça hereketini dowam etdirýärler. *U* tizligi kesgitlemeli.

1.3.4. Gorizonta $\alpha = 30^0$ ýerleşen topyň nilinden massasy *m* =20 *kg* bolan snarýad $\upsilon_0 = 200\,m/s$ başlangyç tizlikli uçup çykýar. Eger topuň

$$A_{BC} = \sum_{k=1}^{N} \Delta A_k = F_{a.g.} \sum_{k=1}^{N} \Delta h_k = F_{a.g.} \Delta h = F_{a.g.}\left(h_1 - h_2\right), \qquad (1.3.16)$$

gutarnykly ýazarys. Bu ýerde (1.3.3-nji çyzga) laýyklykda $\sum_{k=1}^{N} \Delta h_k = \Delta h = \left(h_1 - h_2\right)$. Indi agyrlyk güýjüniň kesgitlemesine görä ony $F_{a.g.}$= *mg* görnüşde (1.3.16-nji) aňlatmada ornuna goýup

$$A_{BC} = mgh_1 - mgh_2 \quad , \qquad (1.3.17)$$

alarys. Bu deňlikden görnüşi ýaly *m* massaly maddy nokady agyrlyk güýjüniň täsiri netijesinde Ýeriň dartylma meýdanynda göçürmek üçin ýerine ýetirilen iş göçürmäniň başlangyç we ahyrky nokatlaryny häsiýetlendirýän *mgh* ululygyň tapawudyna deň. Onda (1.3.17-nji) deňligiň sag tarapy göçürilýän maddy nokadyň energiýasynyň tapawudydyr. Bu bolsa, *mgh* ululygyň göçürülýän jisimiň Ýeriň dartylma meýdanyndaky ýagdaýyny häsiýetlendirýän ululykdygyny aňladýar.

Özara täsirleşýän jisimleriň (ýa-da şol bir jisimiň aýry-aýry bölekleriniň) özara ýerleşişlerine baglylykda döreýän energiýa ***potensial energiýa*** diýilýär we ol W_p görnüşde bellenilýär. Diýmek, Ýeriň dartylma meýdanynda ýerleşen jisimler

$$W_p=mgh, \qquad (1.3.18)$$

potensial energiýa eýedirler.

Bu (1.3.18-nji) deňligi göz öňünde tutup, (1.3.17-nji) deňligi

$$A_{BC} = W_{p1} - W_{p2} = -\left(W_{p2} - W_{p1}\right) = -\Delta W_p, \qquad (1.3.19)$$

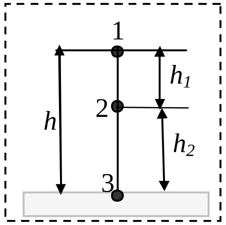
aňladyp bolar. Diýmek, *agyrlyk güýjüň işi jisimiň potensial energiýasynyň azalmagyna deňdir*.

Jisimleriň potensial energiýasy diňe bir Ýeriň dartylma meýdanynyň esasynda däl-de eýsem, jisimleriň maýyşgak deformasyýasynda hem potensial energiýa eýe bolýarlar. Mysal üçin, gysylan ýa-da sündürilen pružin $W_p = kx^2/2$, potensial energiýa eýe bolýar. Bu ýerde k-pružiniň gatylygy, x-maýyşgak güýjüň goýulan nokadynyň orun üýtgemesi, ýagny pružiniň süýnmesi (gysylmasy).

Jisimleriň kinetik we potensial energiýalarynyň jemine ***içki energiýasy*** diýilýär we ol $W = W_k + W_p$ bilen bellenilýär.

1.3.4. Mehanikada energiýanyň saklanma kanuny

Jisimiň ýapyk ýagny, diňe agyrlyk (konserwatiw) güýjüň täsir edýän sistemasyndaky hereketine seredeliň. Goý, m massaly jisim h beýiklikden howanyň garşylygy ýok şertinde aşak Ýere erkin gaçsyn. Jisimiň 1-nji nokatda (1.3.5-nji çyzgy) Ýere görä potensial energiýasy $W_{p1}=mgh$, onuň kinetik energiýasy bolsa $W_{k1}=0$. Sebäbi ol nokatda jisim entäk hereketsiz. Onda jisimiň bu nokatdaky doly energiýasy



1. 3. 5-nji çyzgy.
Jisimiň erkin gaçma herketi

$$W_1 = W_{1k} + W_{1p} = mgh.$$

Jisim aşak gaçyp ugranda onuň Ýeriň ýokarysyndaky h beýikligi azalyp başlaýar we onuň potensial energiýasy kiçelýär. Bu halda jisimiň hereketiniň tizliginiň ulalmagy bilen

onuň kinetik energiýasy artýar. Erkin gaçýan jisimiň traýektoriýasynyň 1-2 böleginde, ýagny h_1 beýiklikde onuň potensial energiýasynyň azalmagy :

$$\Delta W_p = mgh_1, \qquad (1.3.20)$$

deňdir. Bu aralykda onuň kinetik energiýasynyň artmagy:

$$\Delta W_k = \frac{m\upsilon_2^2}{2}, \qquad (1.3.21)$$

deňdir. Bu ýerde υ_2- jisimiň 2-nji nokatdaky tizligi. Başlangyç tizliksiz, erkin gaçmada tizligiň $\upsilon_2^2 = 2gh_1$ aňlatmasyny (1.3.21-nj) deňlikde goýup alarys

$$\Delta W_k = mgh_1. \qquad (1.3.22)$$

Soňky iki (1.3.21) we (1.3.22) deňliklerden görnüşi ýaly hereketiniň seredilen böleginde jisimiň kinetik energiýasynyň ululygynyň artmagy, onuň potensial energiýasynyň ululygynyň azalmagyna deňdir. Diýmek, *jisimiň potensial energiýasy onuň kinetik energiýasyna öwrülýär*, ýagny $\Delta W_k = -\Delta W_p$. Aşak gaçýan jisimiň agzalan çyzgynyň 2-nji nokadynda potensial energiýasy $W_{p2} = W_{p1} - \Delta W_p = mgh - mgh_1$, onuň kinetik energiýasy bolsa, $W_{k2} = \Delta W_k = mgh_1$.
Ýagny 2-nji nokatda jisimiň doly mehaniki energiýasy

$$W_2 = W_{k2} + W_{p2} = mgh_1 + mgh - mgh_1 = mgh. \qquad (1.3.23)$$

$$ES\frac{\upsilon}{\upsilon_x}\Delta t = \rho S\upsilon_x \Delta t\upsilon,$$ ýa-da bu ýerden $\upsilon_x = \upsilon$ bilen belläp

$$\rho = \frac{E}{\upsilon^2},$$

alarys.Şunlukda biz boý tolkunyň gaty maddalarda ýaýraýyş υ_b tizliginiň onuň ýaýraýan gurşawynyň ρ dykyzlygyna we Ýungyň (maýyşgaklyk) modulyna baglylygynyň

$$\upsilon_b = \sqrt{\frac{E}{\rho}} \qquad (1.4.25)$$

aňlatmasyny getirip çykardyk.

Gurşawda kese tolkun ýaýranynda bolsa onuň υ_k tizligi N süýşme modulyna baglydyr:

$$\upsilon_k = \sqrt{\frac{N}{\rho}} \quad . \qquad (1.4.26)$$

Ýungyň modulynyň süýşme modulyndan uly $(E > N)$ bolany üçin boý tolkunlaryň ýaýraýyş tizligi şol bir häsiýetli gurşawda kese tolkunlaryň ýaýraýyş tizliginden ulydyr ($\upsilon_b > \upsilon_k$).

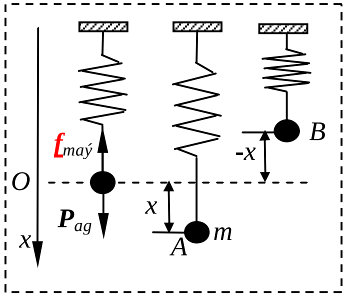
Tolkun prosesinde gurşawyň bölejikleri öňe hereket etmän, olar diňe özünüň deňagramlylyk halynyň töwereginde yrgyldyly hereketi ýerine ýetirýärler. Tolkun maýyşgak gurşawyň bir ýerinden ikinji ýerine yrgyldynyň çeşmesinden gelýän energiýany yzygider geçirýär. Energiýa gurşawyň bir böleginden goňşy bölegine we ş.m. yzygiderlikde geçirilýär. Şeýdip, energiýanyň çeşmesinden daş töwerege energiýanyň akymy geçýär. Tolkun boýunça geçýän energiýanyň mehaniki işi ýerine ýetirişi ýaly ol energiýanyň beýleki görnüşlerine-de

$$a = -\omega_0^2 x, \qquad (1.4.9)$$

görnüşe getirip bolar. Bu deňlikdäki minus alamaty yrgyldaýan nokadyň tizlenmesiniň orun üýtgemesiniň garşylykly tarapyna ugrugandygyny aňladýar.

1.4.3. Pružinli maýatnik

Bir ujy hereketsiz asma berkidilen, ikinji ujyna bolsa m massaly şar(material nokat) dakylan gatylygy k bolan pružinli gurluş ***pružinli maýatnikdir*** (1.4.3-nji çyzgy). Durnukly deňagramlylyk *O* halynda bu maýatnigiň şaryna wertikal aşak $\boldsymbol{P}_{a.g.} = m\boldsymbol{g}$ agyrlyk we onuň garşysyna wertikal ýokaryk pružiniň $\boldsymbol{f}_m = -k\boldsymbol{x}$ maýyşgaklyk güýji täsir edýär. Agzalan halda bu güýçleriň deňtäsiredijisi nola deňdir.



1.4.3-nji çyzgy. *Pružinli maýatnik*

Eger bu maýatnigiň pružinini deňagramlylyk ýagdaýyndan *x* aralyga *A* nokat bilen bellenen hala çenli süňdirilse, onda maýatnigiň şaryna $\boldsymbol{f}_m = -k\boldsymbol{x}$ maýyşgaklyk güýji täsir eder. Bu güýjüň ugry $\boldsymbol{x}$ orun üýtgetmäniň garşysyna, ýagny deňagramlylyk halyna tarap ugrugandygy üçin onuň aňlatmasynyň sagynda minus alamaty goýlan. Maýyşgaklyk güýji özüniň kesgitlemesine baglylykda ($\boldsymbol{f}_m = -k\boldsymbol{x}$) *x* orun üýtgetmä göni baglylykda artýar. Bu nokatda ol özüniň iň uly bahasyna deňdir we gaýtaryjy häsiýete eýedir. Agyrlyk güýjüniň ululygy bolsa öňkiligine galyp, bu halda maýatnigi deňagramlylyk haldan çykarmaklyga ýardam berýär. Bu halda $\boldsymbol{f}_m > \boldsymbol{P}$ bolany üçin maýatnik özüniň deňagramlylyk halyna *O* nokada tarap süýşüp başlar. Onuň bu hala golaýlaşdygyça maýyşgaklyk güýji azalýar we *O* nokatda ol nola deň bolar. Ýöne maýatnik deňagramlylyk halynda durman inersiýa boýunça hereketini dowam etdirip, *B* nokat bilen bellenen özüniň ikinji çetki nokadynda säginýär. Bu nokatda hem maýatnige edil *A* nokatdaky ýaly deňagramlylyk halyna ugrukdyrylan maýyşgak – gaýtaryjy güýç täsir edip, ony aşak *O* nokada tarap hereketlendirýär. Bu mysalda *m* massaly jisimiň (maýatnigiň) yrgyldyly hereketi gaýtaryjy güýjüň we jisimiň inersiýasynyň täsiri netijesinde döreýär. Şeýdip, pružinli maýatnik deňagramlylyk halynyň töwereginde gaýtalanýan yrgyldyly hereketi dowam etdirýär.

Nýutonyň ikinji kanuny boýunça maýatnigiň hereketiniň deňlemesini ýazalyň:

$$ma = -kx. \qquad (1.4.10)$$

Bu ýerden $a = -(k/m)x$.

Hereketiň tizlenmesiniň $a = d^2x/dt^2 = x''$ bolany üçin (1.4.10-njy) deňligi $mx'' = -kx$ ýa-da $mx'' + kx = 0$. Eger $k/m = \omega_0^2$ bilen bellesek, erkin yrgyldynyň deňlemesini

$$x'' + \omega_0^2 x = 0, \qquad (1.4.11)$$

görnüşe getirip bolar. Bu deňligiň çözgüdi bolup,

$$x = A\sin(\omega_0 t + \varphi_0),$$

görnüşdäki funksiýa bolup biler.

Şeýlelikde, *m* massaly jisim $f = -kx$ maýyşgak güýjüň täsiri netijesinde ω_0 aýlaw ýygylykly yrgyldyny ýerine ýetirer

$$F = f_m = \sigma S = E\varepsilon S = E\frac{\Delta l}{l}S.$$

F deformirleýji güýjüň Ýunguň *E* modulyna, sterženiň $\varepsilon = \Delta l/l$ otnositel uzalmagyna we sterženiň *S* kese kesiginiň meýdanyna baglylygynyň aňlatmasyny ýazyp bolar. Täsir edilýän jisimiň orun üýtgetmeginiň orta tizligini υ bilen we polat sterženiň içinde deformasiýanyň esasynda döreýän yrgyldynyň (boý tolkunynyň) ýaýramak tizligini $\upsilon_{b.t.}$ bilen belläliň. Onda sterženiň absolýut Δl uzalmasynyň $\Delta l = \upsilon\Delta t$ we onuň içinde yrgyldynyň (sesiň) geçýän uzaklygynyň $l = \upsilon_{b.t.}\Delta t$ aňlatmalaryndan peýdalanyp, $\Delta l/l = \upsilon/\upsilon_{b.t.}$ ýazyp bolar. Bu deňligi göz öňünde tutup, maýyşgaklyk güýjüni

$$f_m = ES\frac{\upsilon}{\upsilon_{b.t.}}, \qquad (*)$$

görnüşe getireris.

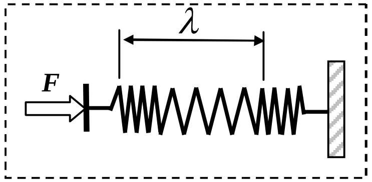
Deformirleýji *F* güýjüň täsiri netijesinde Δt wagt aralygynda sterženiň $\Delta V = Sl = S\upsilon_{b.t.}\Delta t$ göwrümindäki atomlar ϑ tizlik bilen herekete gelerler. Bu atomlaryň massasy $\Delta m = \rho\Delta V = \rho S\upsilon_{b.t.}\Delta t$. Onda bu massa täsir edýän güýjüň impulsyny

$$f_m\Delta t = \Delta(m\upsilon) = m\Delta\upsilon,$$

ýazyp bolar. Bu deňlikde (*) aňlatmany goýup, dolanyp geler. Bn halda 3-nji nokat özüniň deňagramlyk halyndan iň uzak aralykda bolar we yrgyldy 4-nji nokada ýeter.

Yrgyldy başlanandan soňra $t=T$ perioda deň wagtda, 1-nji nokat doly bir yrgyldyny ýerine ýetirip, özüniň deňagramlylyk halyna dolanyp geler. Bu wagtda yrgyldy 5-nji nokada ýeter we hemme yrgyldaýan nokatlar kese tolkuny dörederler.

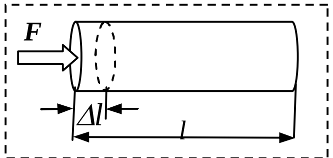
Gorizontal ýerleşdirilen uzyn pružinde boý tokunynyň döreýşi 1.4.10-njy çyzgyda görkezilen. Eger bu pružiniň berkidilmedik ujy ***F*** daşky güýjüň periodiki täsirine sezewar edilse, prujiniň sarymlary güri we seýrek sarymlar bilen sepleşip gider. Pružiniň sarymlarynyň gürelmegi, seýreklenmegi onuň uzynlygyna ýaýrar we boý tolkuny dörär. Pružiniň sarymlary deňagramlylyk halynyň töwereginde yrgyldar. Ses tolkunlary boý tolkunlarynyň mysalydyr.



1. 4.10-njy çyzgy. *Boý tolkunynyň döreýşi*

1.4.8. Yrgyldynyň ýaýraýyş tizligi. Tolkun uzynlyk

Eger uzynlygy l, kese kesiginiň meýdany S bolan polat sterženiň bir ujyna ***F*** güýç bilen täsir edilse (1.4.10-njy *a* çyzgy) ol deformirlener we polat steržende f_m myşgaklyk güýji dörär. Bu $\boldsymbol{f_m}$ maýyşgaklyk güýji daşky deformirleýji ***F*** güýje deň bolanda sterženiň deformasiýasynyň ulalmagy togtar. Bu halda (1.2.11-1.2.13-nji) aňlatmalara laýyklykda:



1. 4.10-njy *a* çyzgy. *Polat steržende boý tolkunyň ýaýraýşy*

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{m}}\,. \qquad (1.4.12)$$

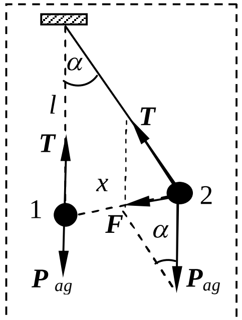
Yrgyldynyň periodynyň kesgitlemesine laýyklykda

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}\,. \qquad (1.4.13)$$

Ahyrky (1.4.12) we (1.4.13) deňliklerden görnüşi ýaly yrgyldynyň periodyny we hususy ýygylygyny ulgamyň kesgitleýji parametri bolan pružiniň k gatylyk koeffisiýenti we yrgyldaýan jisimiň m massasy kesgitleýär.

1.4.4. Matematiki maýatnik

Agramsyz, süýnmeýän, l uzynlykly sapakdan asylan m massaly material nokada ***matematiki maýatnik*** *diýilýär* (1.4.4-nji çyzgy). Bu çyzgydaky 1 halda maddy nokadyň $\boldsymbol{P}_{a.g.}=m\boldsymbol{g}$ agyrlyk güýjüni sapagyň ***T*** dartuw güýji deňagramlaşdyrýar. Diýmek, bu hal matematiki maýatnigiň durnukly deňagramlylyk halydyr. Eger maýatnik $(\alpha = sin\alpha)$ şert ýerine ýetýän kiçi burça gyşardylsa (2 hal), ol özüniň durnukly deňagramlylyk halyny ýitirýär. Bu ýagdaýda maýatnige onuň agyrlyk güýjüniň deňtäsiredijisi bolan gaýtaryjy $F = -mg\,sin\alpha$ güýç täsir edýär. Bu deňlikdäki minus alamaty güýjüň deňagramlylyk halyna tarap ugrugandygyny aňladýar.



1.4.4.-nji çyzgy. *Matematiki maýatnik*

Maýatnigiň gyşarma burçunyň kiçiligi üçin $sin\alpha = tg\alpha = \alpha$. Çyzga laýyklykda $sin\alpha = \alpha = x/l$ bolany üçin gaýtaryjy güýji

$$F = -\frac{mg}{l}x,$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu deňlikden görnüşi ýaly gaýtaryjy güýç maýatnigiň x orun üýtgemesine proporsional. Diýmek, güýjüň täsiri netijesinde material nokat, edil pružinli maýatnik ýaly deňagramlylyk halynyň töwereginde garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirer. Öz tebigaty boýunça maýyşgak däl , ýöne orun üýtgetmä proporsional bolan güýçlere ***kwazi maýyşgak*** (takmyn maýyşgak) diýilýär.

Matematiki maýatnigiň hereketiniň deňlemesini

$$F = ma = -\frac{mg}{l}x \quad , \qquad (1.4.14)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu aňlatmadan maýatnigiň tizlenmesi

$$a = -\frac{g}{l}x. \qquad (1.4.15)$$

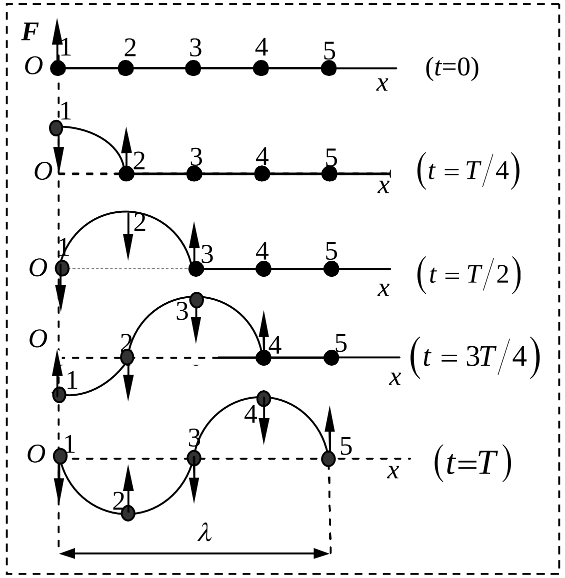
Bu aňlatmany (1.4.9-njy) deňlik bilen deňeşdirip alarys:

$$-\frac{g}{l}x = -\omega_0^2 x. \qquad (1.4.16)$$

Bu ýerden bolsa, matematiki maýatnigiň aýlaw ýygylygy:

$$\omega_0^2 = \frac{g}{l}. \qquad (1.4.17)$$

Agzalan nokadyň periodynyň dörtden birine $(t = T/4)$ deň wagtdan soňra 1-nji nokat x okdan iň uly, ýagny A amplituda deň bolan aralyga süýşer. Bu halda 2-nji nokatdan



1.4. 9-njy çyzgy. *Kese tolkunlaryň döreýiş yzygiderligi*

çepde ýerleşen nokatlaryň hemmesi herekete geler.

Yrgyldy başlandan $t = T/4$ wagt geçenden soňra 2-nji nokat hem ýokary galyp başlar. Ýene-de şonça, ýagny $t = T/2$ wagtdan 1-nji nokat özüniň deňagramlylyk halyna gaýdyp geler, 2-nji nokat bolsa, x okdan iň uly aralyga daşlaşar we yrgyldy 3-nji nokada baryp ýeter.

Periodyň $t = 3T/4$ döwründe 1-nji nokat özüniň deňagramlylyk halyndan aşak, A amplituda deň bolan iň uly aralyga süýşer, 2-nji nokat bolsa, deňagramlylyk halyna yrgyldynyň daşky maýyşgak gurşawda onuň maýyşgak häsiýetleriniň hasabyna ýaýramagyna ***maýyşgak tolkunlar*** diýilýär. Mehaniki yrgyldylar islendik atomlardan we molekulalardan ybarat, durnukly deňagramlylyk halynyň bozulmagy aňsat bolan islendik gurşawda ýaýrap bilýärler.Tolkunyň ýaýraýan ugry boýunça geçirilen göni çyzyga ***şöhle*** diýilýär. Gurşawyň bölejikleriniň yrgyldylary şöhlä (tolkunyň ýaýraýan ugryna) perpendikulýar bolup geçýän tolkunlara ***kese tolkunlar*** diýilýär. Gurşawyň bölejikleriniň yrgyldylary şöhläniň boýuna bolup geçýän tolkunlara ***boý tolkunlary*** diýilýär. *Kese tolkunlar diňe gaty jisimleriň içinde ýaýraýar. Sebäbi kese tolkunlaryň döremegi üçin gurşawy düzýän bölejikleriň başlangyç maýyşgak deformasiýanyň hasbyna süýşmegi zerurdyr.* Suwuklyklaryň we gazlaryň gatlaklarynyň özara biri-birine görä orun üýtgetmeklerinde onuň garşysyna ugrukdyrylan maýyşgak güýçler, ýagny gurşawda maýyşgak deformasiýa döremeýär. Şonuň üçin hem *gazlarda we suwuklyklarda kese tolkunlar ýaýrap bilmeýär.* Boý tolkunlary bolsa gaty, suwuk we gaz halyndaky gurşawlarda ýaýrap bilýärler. Kese tolkunlaryň döremegi 1.4.9-njy çyzgyda görkezilen. Bu çyzgynyň birinji hatarynda t=0 başlangyç pursatda maýyşgak gurşawyň bölejikleriniň bäşisiniň X ok boýunça deňagramlylyk halyndaky ýagdaýy görkezilen. Bu hataryň 1-nji nokadyna x oka görä perpendikulýar ugurda T period bilen garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirer ýaly güýç täsir edilen. Goňşy nokatlaryň hemmejesiniň özara maýyşgak güýç bilen baglanyşyklylygy sebäpli olar hem azyrak gijä galma bilen yrgyldap başlarlar.

Başga tarapdan $\omega_0 = 2\pi/T$ aňlatmany göz öňünde tutup

$$T = \frac{2\pi}{\omega_0} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}, \qquad (1.4.18)$$

matematiki maýatnigiň periodynyň aňlatmasyny alarys. Bu aňlatmadan görnüşi ýaly matematiki maýatnigiň periody onuň massasyna we amplitudasyna bagly däl.

1.4.5. Yrgyldyly hereketde energiýanyň özgermegi. Togtaýan we mejbury yrgyldylar. Mehanikada rezonans

1.Yrgyldyly hereketde eneriýanyň özgermegi. Energiýanyň bir görnüşden beýleki görnüşe özgermegini pružinli maýatnigiň mysalynda seredeliň. Maýatnigiň A halynda (1.4.3-nji çyzgy) ulgamyň (maýyşgak güýjüniň ýerine ýetirýän maksimal işiniň $A_m = f_m \cdot x$; $f_m \sim x$ bolany üçin maýyşgak güýjüň orta bahasy düşünjesini girizeliň $f^m_{ort} = f^m_{max}/2$ onda maýyşgak güýjüň ýerine ýetirjek ortaça işi $A^m_{ort} = f^m_{ort} \cdot x/2 = -kx^2/2$. Potensial meýdanlarda ulgamyň ýerine ýetiren işi onuň potensial energiýasynyň azalmagynyň hasabyna bolup geçýändigi üçin $A = -\Delta W_p$ onuň potensial energiýasy $W_p = kx^2/2$. Bu ýerde k- pružiniň gatylygy we m - maýatnigiň massasy. Potensial energiýa jisimiň durnukly deňagramlylyk halyna görä x orun üýtgetmesine bagly. Deňagramlylyk halyna tarap hereket edende bu jisimiň potensial energiýasy azalyp, onuň $W_k = m\upsilon^2/2$ kinetik enewrgiýasy bolsa artýar.

Ýapyk konserwatiw ulgamyň doly energiýasy mehaniki energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda onuň kinetik we potensial energiýalarynyň jemine deňdir. Eger yrgyldaýan jisimiň orun üýtgetmesi $x = Asin\omega_0 t$, tizligi $\upsilon = \omega_0 Acos\omega_0 t$ bolsa, onda onuň kinetik energiýasy:

$$W_k = \frac{m\upsilon^2}{2} = \frac{m\omega_0^2}{2} A^2 cos^2\omega_0 t\,, \qquad (1.4.19)$$

potensial energiýasyny bolsa,

$$W_p = \frac{kx^2}{2} = \frac{1}{2} kA^2 sin^2\omega_0 t\,,$$

görnüşde ýazyp bileris.

Pružiniň gatylygyny (1.4.12-nji) aňlatma laýyklykda $k = m\omega_0^2$ hasaba alyp,

$$W_p = \frac{m\omega_0^2}{2} A^2 sin^2\omega_0 t\,. \qquad (1.4.20)$$

Ulgamyň $W= W_k+W_p$ doly energiýasynyň aňlatmasyny (1.4.19) we (1.4.20) deňlikleri goşup,

$$W = \frac{1}{2} m\omega_0^2 A^2\,, \qquad (1.4.20)$$

alarys. Bu ýerde $sin^2\omega_0 t + cos^2\omega_0 t = 1$ hasaplanyldy. Diýmek, garmoniki yrgyldydan pružinli maýatnigiň kinetik we potensial

edil agzalan wektorlar ýaly ω_0 ýygylykly garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirer.

Bu netijeleýji garmoniki yrgyldynyň başlangyç φ fazasy $tg\varphi = \frac{|CB|}{|OB|}$. Ýa-da

$$tg\varphi = \frac{A_1 sin\varphi_1 + A_2 sin\varphi_2}{A_1 cos\varphi_1 + A_2 cos\varphi_2}\,,$$

netijeleýji garmoniki yrgyldynyň başlangyç φ fazasyny bu aňlatma boýunça hasaplap bolar. Netijeleýji garmoniki yrgyldynyň deňlemesi

$$x = A\,sin\left(\omega_0 t + \varphi\right),$$

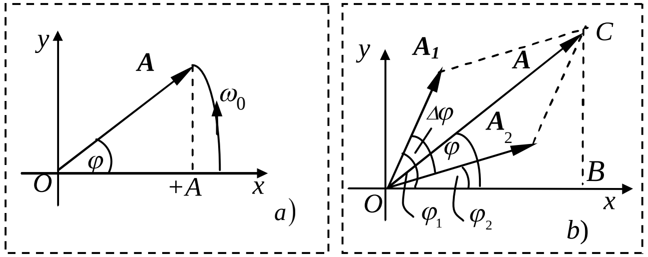
görnüşde aňladylar. Diýmek, dürli başlangyç fazaly garmoniki yrgyldylaryň goşulmagy netijesinde dörän yrgyldy hem garmoniki häsiýetlidir.

Ýokarda getirilen (1.4.24-nji) deňlikden görnüşi ýaly eger $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2 = 2\pi n$ bolsa, yrgyldynyň netijeleýji amplitudasy $A=A_1+A_2$, eger-de $\varphi_1 - \varphi_2 = (2n+1)\pi$ bolsa, onda $A = |A_1 - A_2|$ yrgyldynyň netijeleýji amplitudasy wagta bagly üýtgemeýär.

1.4.7. Mehaniki tolkunlaryň maýyşgak gurşawda ýaýramagy. Kese we boý tolkunlary

1.Maýyşgak tolkunlaryň döremegi. Maýyşgak güýçler bilen özara baglanyşykly bölejiklerden ybarat gurşaw ***maýyşgak gurşaw*** atlandyrylýar. Wagtyň dowamynda deňleme bilen aňladalyň. Çyzgylarda garmoniki yrgyldylar özuniň A amplitudasyna deň bolan x ok bilen yrgyldynyň başlangyç fazasynyň ululygyndaky burç bilen ugrukdyrylan wektor görnüşde aňladylýar. Eger bu wektor ω_0 burç tizlik bilen aýlandyrylsa, onda onuň ujynyň x oka proýeksiýasy ($+A$) -dan ($-A$)-a amplituda çenli aralykda gormoniki yrgyldyny ýerine ýetirer (1.4.8-nji *a* çyzgy).

Koordinatalaryň başlangyç O nokadynda (1.4.8-nji *b* çyzgy) agzalan yrgyldylaryň degişlilikde φ_1 we φ_2 başlangyç fazasyna deň bolan burç boýunça, yrgyldylaryň A_1 we A_2 amplitudalarynyň ululygy ýaly wektorlary ýerleşdireliň.



1.4. 8-nji çyzgy. *Garmoniki yrgyldylaryň goşulyşy*

Bu wektorlary ω_0 burç tizligi bilen aýlandyrylsa, olaryň Ox oka bolan proýeksiýalary 1.4.23-nji deňlige laýyklykda garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirerler.

Parallelogram düzgüni boýunça bu yrgyldylaryň netijeleýji **A** wektoryny kosinuslar teoremasy boýunça:

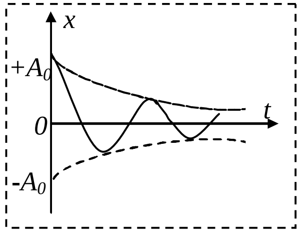
$$A^2 = A_1^2 + A_2^2 + 2A_1A_2 cos\Delta\varphi \ , \qquad (1.4.24)$$

tapyp bolar. Bu ýerde $\Delta\varphi = \varphi_1 - \varphi_2$.

Wagtyň geçmegi bilen $\boldsymbol{A}_1$ we $\boldsymbol{A}_2$ wektorlaryň özara ýerleşişleri üýtgemeýär, şonuň üçin netijeleýji **A** wektor hem

energialary wagta baglylykda üýtgeýär. Has takygy, kinetik energiýa maksimal baha eýe bolanda potensial energiýa minimal baha eýe bolýar (1.4.19-njy we 1.4.20-nji) deňlikler. Energiýanyň bu özgermesi islendik görnüşdäki erkin togtamaýan garmoniki yrgyldyly ulgam üçin degişlidir.

2.Togtaýan yrgyldy. Eger mehaniki yrgyldyly sistema sürtülme güýji, daşky gurşawyň garşylygy täsir etmeseler, onda onuň energiýasynyň ululygy hemişelik saklanar. Sürtülme we daşky gurşawyň garşylygy bar bolan halatynda yrgyldyly ulgamyň mehaniki energiasy wagtyň geçmegi bilen azalýar. Bu halda yrgyldynyň amplitudasy yzygider kiçelýär we wagtyň geçmegi bilen hususy yrgyldy togtaýar. Togtaýan yrgyldy periodiki gaýtalanmaýar. Sebäbi, yrgyldynyň amplitudasy we tizligi özüniň ululygy boýunça wagtyň geçmegi bilen üýtgeýär. Yrgyldyly hereket edýän jisime onuň tizligine proporsional bolan $F_s = -k_s\upsilon$ sürtülme güýji täsir edende togtaýan yrgyldylaryň grafigi (1.4.5-nji çyzgyda) görkezilen. Bu ýerde k_s-sürtülme koeffisiýenti. Yrgyldynyň amplitudasy wagtyň geçmegi bilen



1. 4. 5-nji çyzgy. *Togtaýan yrgyldy*

$$A_t = A_0 e^{-\delta t} , \qquad (1.4.21)$$

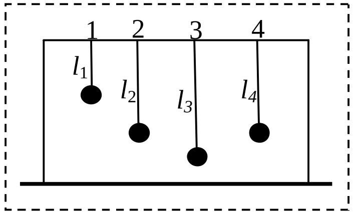
eksponensial kanun boýunça azalýar. Bu ýerde A_t - wagtyň t pursatyndaky yrgyldynyň amplitudasy, A_0 - wagtyň t=0 pursatyndaky yrgyldynyň başlangyç amplitudasy, e - natural logarifmanyň esasy, $\delta = k_s/(2m)$- yrgyldaýan jisimiň m masasyna we sürtülmäniň k_s koeffisiýentine bagly bolan yrgyldynyň ***togtama koeffisiýenti***.

Adatça yrgyldylaryň togtamaklyk derejesini onuň togtamagynyň ***logarifmik dekrementi*** λ , ýagny bir period bilen tapawutlanýan yrgyldylaryň amplitudalarynyň gatnaşygynyň natural lagorifmasy

$$\lambda = ln\frac{A(t)}{A(t+T)}, \qquad (1.4.22)$$

bilen häsiýetlendirilýär.

3. Mejbury yrgyldy. Rezonans. Daşky, $F = F_0 sin\omega t$ garmoniki üýtgeýän güýjüň täsiri astynda bolup geçýän yrgylda ***mejbury yrgyldy*** diýilýär. Mejbury yrgyldy hem



1. 4. 6-njy çyzgy. *Dürli uzynlykly matematiki maýatnikler*

$$x = A sin(\omega t + \varphi_0)$$

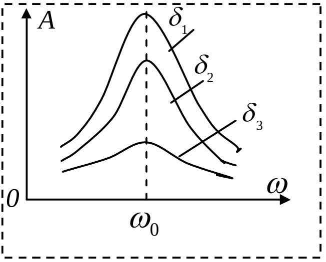
deňlik bilen häsiýetlendirilýän garmoniki yrgyldydyr. Mejbury yrgyldyda yrgyldynyň her periodynda harç edilen energiýanyň öwezi doldurylýar.

Kadalaşan mejbury yrgyldynyň A amplitudasy mejbur ediji güýjüň F amplitudasyna, onuň ω ýygylygyna we ulgamyň hususy yrgyldysynyň ω_0 ýygylygyna baglydyr.

Mejbur ediji güýjüň ω ýygylygy ulgamyň hususy yrgyldysynyň ω_0 ýygylygyna deň bolanda yrgyldynyň amplitudasy birden artýar. Bu hadysa mehaniki yrgyldylaryň ***rezonansy*** diýilýär. Rezonans hadysasynyň döremegine dürli uzynlykly matematiki maýatnigiň mysalynda seredeliň (1.4.6-njy çyzgy). Çyzgydan görnüşi ýaly 2-nji we 4-nji maýatnikleriň uzynlyklary deň ($l_2 = l_4$). Eger 2-nji maýatnigi deňagramlylyk halyndan yrgyldadyp çykarylsa, onuň yrgyldysy maýatnikleriň

asylan gorizontal ýüpüni yrgyldadar we beýleki maýatnikleriň hem yrgyldamaklaryna mejbur eder. Maýatnigiň yrgyldysynyň hususy ýygylygy $\omega_0 = \sqrt{g/l}$ bolany üçin 2-nji we 4-nji maýatnikleriň yrgyldylarynyň amplitudalary özara deň (A_2 = A_4) we beýleki maýatniklerińkä görä has uly bolar Bu ýagdaýda agzalan maýatniklerde rezonans hadysasy döreýär.

Aşakdaky 1.4.7-nji çyzgyda dürli $(\delta_3 > \delta_2 > \delta_1)$ togtama dekrementi yrgyldylara degişli rezonans egrileri getirilen. Çyzgydan görnüşi ýaly, togtama koeffisiýentiniň artmagy bilen grafigiň egriligi has örküç şekile ýakynlaşar. Gurluşyk işlerinde köprüler, jaýlar gurlanda, uçarlar, saz gurallary ýasalanda mehaniki rezonansy hasaba almaklyk zerurdyr .



1.4.7-nji çyzgy. *Mejbur ediji yrgyldylaryň rezonansy*

1.4.6. Bir ugra ugrukdyrylan yrgyldylaryň goşulyşy

Bir ugra ugrukdyrylan ýygylyklary deň, amplitudalary we başlangyç fazalary dürli bolan iki garmoniki yrgyldynyň goşulyşyna seredeliň. Munuň üçin, goý bir wagtda iki maýyşgak güýjüň täsir etmegi bilen maddy nokat şol bir wagtda iki yrgylda gatnaşsyn. Bu yrgyldylaryň hereketi

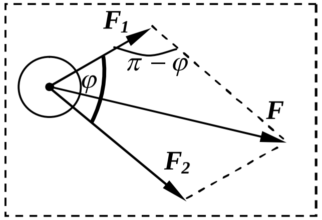
$$x_1 = A_1 sin(\omega_0 t + \varphi_1);$$
$$x_2 = A_2 sin(\omega_0 t + \varphi_2); \qquad (1.4.23)$$

$$\boldsymbol{F_t = F_1 + F_2} \quad . \qquad (1.5.3)$$

Bu deňtäsirediji $\boldsymbol{F_t}$ güýjüň moduly kosinuslar teoremasy boýunça tapylýar:

$$F=\sqrt{F_1^2+F_2^2-2F_1F_2\cos(\pi-\varphi)}=$$

$$=\sqrt{F_1^2+F_2^2+2F_1F_2\cos\varphi} \quad . \qquad (1.5.4)$$

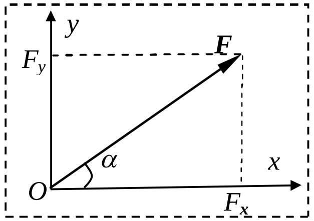


1.5. 2 -nji çyzgy. *Burç boýunça ugrukdyrylan güýçleriň goşulyşy*

Eger jisime burç boýunça täsir edýän güýçler ikiden köp bolsa, onda olary iki – ikiden parallelogram düzgüni boýunça goşup, deňtäsiredijisi tapylýar.

1.5.2. Güýjüň düzüjilere dargadylyşy

Jisime täsir edýän güýji düzüjilere dargatmak hem edil onuň deňtäsiredijisiniň tapylyşy ýaly parallelogram düzgüni boýunça ýerine ýetirilýär. Ýöne bu halda *OXY* koordinata oklarynyň başlangyjyny jisime täsir edýän güýjüň goýulan nokadynda ýerleşdirilýär we dargadyljak wektoryň ujundan *OX* we *OY* oklara parallel çyzyk geçirilýär. Koordinat oklarynyň başlangyç nokadyndan *X,Y* oklar boýunça bu wektoryň uzynlygy degişli koordinatalar boýunça seredilýän wektoryň düzüjisidir (1.5.3-nji çyzgy). Bu çyzgy boýunça :



1.5.3-nji çyzgy. *Güýjüň düzüjilere dargadylyşy*

$$F_y = F\,sin\alpha\,,\quad F_x = F\,cos\alpha\,. \qquad (1.5.5)$$

özgerip bilýär. Muňa mysal edip, weýran ediji güýji bolan partlama tolkunyň ýaýramagyny getirip bolar. Yrgyldynyň energiýasynyň ýaýraýyş tizligine υ_t ***toparlaýyn tizlik*** diýilýär.

Yrgyldynyň fazasynyň orun üýtgetmek tizligine bolsa ***faza tizligi*** diýilýär. Birmeňzeş fazada yrgyldaýan nokatlar toplumyna ***tolkun üsti,*** yrgyldynyň berlen pursatda baryp ýeten nokatlarynyň toplumyna bolsa, ***tolkunyň fronty*** (*öňhatary*) diýilýär. Şeýlelikde, tolkun fronty birdir (ýekedir), tolkun üstleriniň sany bolsa tükeniksizdir. Tolkun üstüniň görnüşine baglylykda ***tekiz*** we ***sferik tolkunlary*** *tapawutlandyrylýar*.

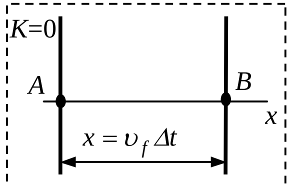
Tolkunlar hem edil yrgyldyly hereket ýaly *T* period, ν ýygylyk, şonuň ýaly hem *şol bir fazada yrgyldaýan iki goňşy nokadyň iň ýakyn aralygy* λ - ***tolkun uzynlyk*** bilen häsiýetlendirilýär. Bu häsiýetlendiriji ululyklar öz aralarynda :

$$\lambda=\upsilon_f T\,;\quad \upsilon_f=\lambda\nu\,;\quad \nu=1/T\,, \qquad (1.4.27)$$

gatnaşyklar arkaly baglanyşykdadyrlar.

1.4.9. Tolkunyň deňlemesi

Tekiz tolkunyň *x* okuň ugruna ýaýramagyna seredeliň (1.4.11-nji çyzgy). Yrgyldaýan nokadyň deňagramlyk halyna görä *S* orun üýtgetmesi *t* wagta we *x* koordinata, iki üýtgeýän ululyga $S = f\,(t,x)$ baglydyr. Goý, tekiz tolkunyň çeşmesi t=0 başlangyç pursatda *A* nokatda ýerleşen bolsun. Eger x= 0 halda tolkunyň deňlemesi $S = A\,sin\,\omega t$ (başlangyç fazasy nola deň bolan $(\varphi=0)$ garmoniki yrgyldy)



1.4.11-nji çyzgy. *Tekiz tolkunyň ýaýramagy* bolsa, onda Δt wagt aralygynda tolkunyň fronty $x=\upsilon_f \Delta t$ uzaklygy geçer we B nokatdaky yrgyldynyň fazasy $\omega\Delta t$ ululyga yza galar. Ýagny B nokatdaky S_x orun üýtgetmäni

$$S_x = A\sin\omega\left(t-\Delta t\right) = A\sin\omega\left(t-\frac{x}{\upsilon_f}\right), \qquad (1.4.28)$$

görnüşde ýazyp bolar. Indi (1.4.27-nji) deňligi we $\omega = 2\pi/T$ hasaba alyp (1.4.28-nji) deňligi özgerdeliň:

$$S_x = A\sin\left(\omega t - \frac{\omega x}{\upsilon_f}\right) = A\sin 2\pi\left(\frac{t}{T}-\frac{x}{\lambda}\right). \qquad (1.4.29)$$

Ahyrky deňlikdäki $1/\lambda$ gatnaşygy k bilen belläliň $\left(k=1/\lambda\right)$. Ol k ululyga ***tolkun sany*** diýilýär. Bu deňlikden görnüşi ýaly tekiz togtamaýan tolkunyň amplitudasy hemişelikdir. Bu nokatdaky yrgyldynyň fazasy onuň yrgyldynyň çeşmesinden ýerleşen daşlygyna baglydyr. Soňky (1.4.29-njy) deňlige laýyklykda B nokatdaky yrgyldy A nokatdaky yrgyldydan $2\pi\left(x/\lambda\right)$ ululykda yza galma bilen gaýtalanýar.

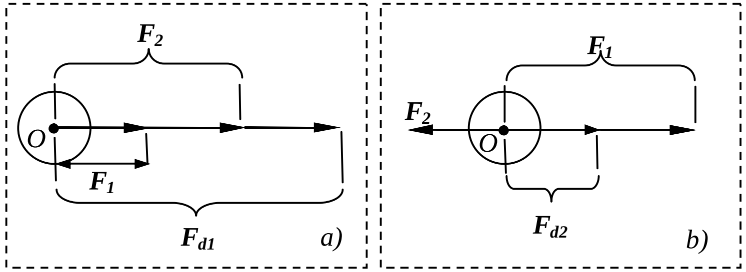
1.4.10. Tolkunlaryň interferensiýasy. Durujy tolkunlar

Iki we köp tolkunlaryň maýyşgak gurşawdaky goşulmagyna ***tolkunlaryň interferensiýasy*** diýilýär. Bu halda her tolkunyň çeşmesinden gelýän yrgyldy beýleki çeşmelerden gelýän täsire baglanyşyksyzlykda gurşawyň bölejikleriniň ornuny üýtgedýär. Gurşawyň her bir bölejiginiň netijeleýji orun

ýeke-täk güýje ***deňtäsirediji güýç*** *diýilýär*. Güçleriň täsir edýän ugurlaryna baglylykda olaryň deňtäsiredijisini tapmaklygyň dürli usullary bar.

• **Göni çyzyk boýunça täsir edýän güýçleriň goşulyşy.** Jisime täsir edýän güýçler göni çyzyk boýunça ugrukdyrylan bolsa, onda olaryň deňtäsiredijisi täsir edýän güýçleriň wektor jemine deňdir (1.5.1-nji *a* we *b* çyzgy). Ýagny:

$$\mathbf{F}_{d1} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 , \qquad \mathbf{F}_{d2} = \mathbf{F}_1 + \mathbf{F}_2 . \qquad (1.5.1)$$



1.5.1-nji çyzgy. *Göni çyzyk boýunça ugrukdyrylan güýçler*

Bu $\mathbf{F}_1$ we $\mathbf{F}_2$ wektorlaryň *ox* okyň ugruna proýeksiýalaryalyny alyp, netijeleýji $\mathbf{F}_{d1}$ we $\mathbf{F}_{d2}$ wektorlaryň modulyny taparys:

$$F_{d1} = F_1 + F_2 , \qquad F_{d2} = F_1 - F_2 . \qquad (1.5.2)$$

• **Burç boýunça täsir edýän güýçleriň goşulyşy.** Jisime täsir edýän güýçler biri-birine görä φ burç bilen ugrukdyrylan bolsalar, onda olaryň deňtäsiredijisi ***parallelogram düzgüni*** boýunça onuň diagonalyna deňdir (1.5.2-nji çyzgy). Bu halda $\mathbf{F}_n$ netijeleýji güýjüň wektory täsir edýän güýçleriň wektor jemine deňdir:

BAP 1.5.
GATY JISIMIŇ STATIKASY

Statika maddy nokadyň, jisimiň (maddy nokatlar ulgamynyň) dynçlykda ýa-da inersial hereketde bolýan wagtlarynda olara täsir edýän güýçleriň deňagramlylyk şertlerini öwrenýär. Jisimlere güýjüň täsir etmegine garamazdan olaryň käbir ulgama görä dynçlykda bolýandygy mälimdir. Jisimleriň bu haly köplenç gurluşykda, senagatda uly gyzyklanma döredýär. Güýjüň täsiri netijesinde jisimler deňagramlylyk halyna geçip we ondan çykyp bilýärler. Şonuň üçin hem jisimleriň dynçlyk hallaryny öwrenmeklik olara täsir edýän güýçleriň goşulyş we dargadylyş şertlerinden başlanýar.

1.5.1. Güýçleriň goşulyşy

Iş ýüzünde jisime bir wagtyň özünde birnäçe güýçleriň täsir edýän halatlary köp düş gelýär. Meselem, asmandaky uçara şol bir wagtda hereketlendirijiniň çekiş güýji, agyrlyk güýji we onyň ganatlaryna täsir edýän göteriji güýç bilelikde täsir edýär. Uçaryň umumy haly agzalan güýçleriň deňtäsiredijisine, ýagny olaryň jemleýji täsirine baglydyr. *Jisimlere täsir edýän hemme güýçleriň täsirini çalşyryp bilýän*

üýtgetmesi aýry – aýry tolkunlaryň bu bölejigiň ornuny üýtgetmesiniň wektor jemi hökmünde kesgitlenilýär.

Tolkunlaryň interferensiýasynda gurşawyň bölejikleriniň netijeleýji hereketi goşulyjy yrgyldylaryň ýygylygyna, amplitudasyna we başlangyç fazasyna baglydyr. Goşulyjy tolkunlaryň *ýygylygy bir meňzeş we gurşawyň islendik nokadyndaky faza tapawudy hemişelik bolan tolkunlara* ***kogerent tolkunlar*** diýilýär. Interferensiýanyň has durnukly şekiline kogerent tolkunlaryň goşulmagynda gözegçilik edip bolýar. Ylgaýjy we serpigen tolkunlaryň goşulmagy kogerent tolkunlaryň goşulmagynyň hususy halydyr.

Deň amplitudaly gapma-garşy hereket edýän kogerent tolkunlaryň interferensiýasynda ***durujy tolkun*** döreýär. Biri-birine tarap hereket edýän iki tekiz tolkunyň deňlemesini ýazalyň:

$$S_1 = A\sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right); \quad S_2 = A\sin\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right).$$

Interferensiýanyň netijesinde gurşawyň x koordinataly bölejikleriniň netijeleýji orun üýtgetmesi S_1 we S_2 orun üýtgetmeleriň jemine deňdir:

$$S = S_1 + S_2 = A\left[\sin\left(\omega t - \frac{2\pi x}{\lambda}\right) + \sin\left(\omega t + \frac{2\pi x}{\lambda}\right)\right].$$

Bu aňlatmany trigonometrik özgertmäniň netijesinde :

$$S = 2A\cos\frac{2\pi x}{\lambda}\sin\omega t \quad , \qquad (1.4.30)$$

ýazyp bolar. Bu (1.4.30-njy) aňlatma durujy tolkunyň deňlemesidir. Ondan görnüşi ýaly durujy tolkunyň islendik nokadynda goşulyjy kogerent tolkunlaryň ýygylygy ýaly ýygylykly, amplitudasy:

$$A_{dur} = \left| 2A cos \frac{2\pi x}{\lambda} \right| , \qquad (1.4.31)$$

t wagta baglanyşyksyz x koordinatanyň funksiýasy bolan durujy tolkun alynýar.

Ahyrky deňlikden görnüşi ýaly $cos(2\pi x/\lambda) = 1$, ýagny koordinatalary $2\pi x/\lambda = \pm n\pi$ (n=0,1,2,...) şert berjaý bolan nokatlarda durujy tolkun özüniň maksimal $A_{dur} = |2A|$ bahasyna eýe bolýar. Koordinatasy

$$x = \pm n \frac{\lambda}{2}, \qquad (1.4.32)$$

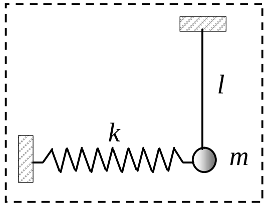
ululyga deň bolan nokatlar ***gürlük*** atlandyrylýar.

Eger $cos(2\pi x/\lambda) = 0$, ýagny koordinatalary $2\pi x/\lambda = \pm(n + 1/2)\pi$ şert berjaý bolan nokatlarda durujy tolkun özüniň iň kiçi A_{dur} amplitudasyna eýe bolýar. Koordinatasy

$$x = \pm\left(n + \frac{1}{2}\right)\frac{\lambda}{2}, \qquad (1.4.33)$$

ululyga deň bolan nokatlar ***düwün*** atlandyrylýar. Duryjy tolkunda bu nokatlar hereket etmeýärler. Soňky (1.4.32) we (1.4.33) deňliklerden görnüşi ýaly durujy tolkunyň iki goňşy gürlügiň ýa-da düwüniň arasyndaky uzaklyk ýarym tolkun uzynlyga $(\lambda/2)$ deňdir.

tekizligiň nähili ν ýygylygynda onuň üstünde ýatan jisim özüniň daýanjy bilen baglanyşygyny ýitirmez (ýokary bökmez)?



*1.4.5*** *-nji gönükmäniň çyzgysy*

1.4.7. Periody T =10^{-14} s bolan yrgyldynyň λ tolkun uzynlygyny kesgitlemeli.Yrgyldynyň ýaýraýyş tizligi $c = 3\cdot 10^8\ m/s$.

1.4.8. Ýygylygy, $\nu = 500\ Gs$ amplitudasy A=0,25 mm bolan ses yrgyldylary howada ýaýraýar. Yrgyldynyň tolkun uzynlygy $\lambda = 70\,sm$ .Yrgyldynyň ýaýraýyş c tizligini we howanyň bölejikleriniň υ_{mak} tizligini kesgitlemeli.

1.4.9. Tolkun uzynlygy λ bolan yrgyldy şöhlesiniň üstünde biri – birinden l=2 m daşlykda ýerleşen iki nokadyň arasyndaky $\Delta\varphi$ faza tapawudyny kesgitlemeli.

1.4.10. Sesiň polat steržendäki c ýaýraýyş tizligini kesgitlemeli.

1.4.11. Sesiň howada t_1 = -20^0 S , t_2 =$0^0 S$ we t_3 = +20^0 S temperaturalarda ýaýraýyş c tizligini kesgitlemeli.

1.4.12. Iki atomly gazyň molekulalarynyň orta kwadrat tizliginiň tejribede alnan maglumaty bolan $\upsilon = 461 m/s$ bahasyndan peýdalanyp, sesiň gazda ýaýramagynyň c tizligini kesgitlemeli.

1.4.13. Gazyň basyşynyň $p = 1,01\cdot 10^5\ Pa$ ululygynda onuň dykyzlygynyň $\rho = 1,29\ kg/m^3$ -a deňdigini hasaba alyp, iki atomly gazda seseň ýaýraýyş c tizligini kesgitlemeli.

1.4.14. Howadan suwa geçende ses yrgyldylarynyň ýygylygy we tolkun uzynlygy nähili üýtgär?

bu ýerde ρ-gurşawyň dykyzlygy, υ-sesiň degişli sredadaky tizligi, ν, x_m- degişlilikde yrgyldynyň ýygylygy we amplitudasy.

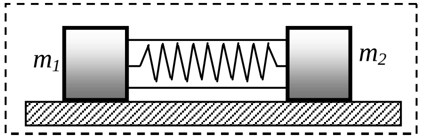
Ultrases tolkunlarynyň sredada inçe desse görnüşde ýaýramak häsiýeti ony senagatda defektoskopiýada (metal we beýleki gaty gurluşlardaky zeper ýeten ýerleri ýüze çykarmakda), eholokasiýada (dury bolmadyk sredada – suwda duşýan päsgelçilikleri anyklamakda) giňden ulanmaklyga mümkinçilik döredýär. Ultrases tolkunlary lukmançylykda käbir keselleri anyklamakda, şonuň ýaly hem kuwwatly ultrases tolkunlary uly maddalary ownatmakda ulanylýar.

Gönükme 1.4.

1.4.1. Garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirýän jisimiň yrgyldysynyň periody *T*. Jisim deňagramlyk halyndan özüniň amplitudasynyň $3/4$ bölegini näçe *t* wagtda geçer?

1.4.2. Sekunt ölçeýji maýatnik dartylma güýji Ýeriň üstündäkiden 6 esse kiçi bolan Aýyň üstüne geçirilse, onuň yrgyldy periody näçä deň bolar? Ýeriň üstünde maýatnigiň yrgyldy periody T_1=2s.

1.4.3. Käbir Δt wagt aralygynda maýatnikleriň birinjisi n_1=10 yrgyldyny ikinjisi bolsa n_2=6 yrgyldyny ýerine ýetirdi. Maýatnikleriň uzynlyklarynyň tapawudy $\Delta l = 16 sm$. Maýatnikleriň l_1 we l_2 uzynlyklaryny kesgitlemeli.



1.4.4-nji gönükmäniň çyzgysy

1.4.4*. Massalary m_1 we m_2 bolan iki sany gönüburçly tagta bölegi (brusok) *k* gatylykly pružin arkaly özara birikdirilen. Pružin başda sapak bilen gysylyp daňylan. Sapagy otlaýarlar. Tagta bölekleriniň yrgyldylarynyň periodyny kesgitlemeli.

1.4.5.** Uzynlyklary *l* bolan matematiki we ptužinli maýatnikler *m* massaly şar bilen çyzgydaky ýaly özara baglanyşdyrylan. Pružiniň gatylygy *k*. Bu ulgamyň kiçi yrgyldylarynyň *T* periodyny kesgitlemeli.

1.4.6. Gorizontal ýerleşdirilen daýanç tekizligi *A=5mm* amplituda bilen wertikal tekizlikde garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirýär. Daýanç

1.4.11. Ses tolkunlary

Mýyşgak gurşawda ýaýraýan we adamynyň eşidiş organy bilen eşidilmek mümkinçilikli (kabul edilýän) mehaniki yrgyldylara ***ses tolkunlary*** diýilýär. Fizikanyň sesi öwrenýän bölümine ***akustika*** diýilýär. Adamynyň gulagy takmyn 16 gersden (*Gs*) 20 kilogerse (*kGs*) çenli bolan yrgyldylary kabul etmäge ukyplydyr. Ýygylygy 16 *Gs*-den kiçi bolan sesler ***infra sesler***, 20 *kGs*- den uly ýygylykly sesler bolsa ***ultra sesler*** atlandyrylýar.

Sesiň tolkun uzynlygy :

$$\lambda = \upsilon T = \frac{\upsilon}{\nu}, \qquad (1.4.34)$$

deňlik bilen kesgitlenýär. Bu ýerde λ, υ-degişlilikde sesiň tolkun uzynlygy we tizligi, *T*-yrgyldynyň periody we ν-onuň ýygylygy.

Bu aňlatma boýunça 1.4.1-nji tablissadan peýdalanyp, sesiň 0^0 *S* temperaturada howadaky tizligini, sesiň aşaky we ýokarky ýygylyk çäklerine degişli tolkun uzynlygyny $\lambda = \upsilon/\nu$ deňlik boýunça $\lambda_1 \approx 17m$ we $\lambda_2 \approx 0{,}017m$ aralykdadygyny hasaplap bolar.

Ses tolkunlarynyň maýyşgak gurşawda ýaýramak tizligi gurşawyň basyşyna, dykyzlygyna , temperaturasyna we gurşawyň maýyşgaklygyna baglydyr.

Gazlarda we suwuklyklarda sesiň ýaýraýyş tizligi:

$$\upsilon = \sqrt{\gamma \frac{P}{\rho}}. \qquad (1.4.35)$$

Bu ýerde P-gurşawyň basyşy, ρ-onuň dykyzlygy.

Bu ýerde $\gamma = c_p / c_v$ - hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymyna gatnaşygy. Gazlarda we suwuklyklarda ýaýraýan sesler boý tolkunlarydyr. Wakuumda (aşa seýreklendirilen giňişlikde) ses tolkunlary ýaýramaýar. Ses tolkunlarynyň ýaýramagy üçin geçiriji sredanyň, ýagny sredada ses tolkunyny geçiriji bölejikleriň bolmagy zerurdyr. Dürli hilli sredalar sesi birmeňzeş geçirmeýärler 1.4.1-nji tablisada dürli sredada sesiň ýaýraýyş tizligi getirilen.

***Tablisa* 1. 4.1.**

Sesiň ýaýraýan sredasy	**Ýaýraýyş tizligi,** m/s
Howa (20 ^0S)	343
Howa (0 ^0S)	334
Agyz suwy (17 ^0S)	1450
Deňiz suwy (17 ^0S)	1500
Polat	5300
Demir (0 ^0S)	4900
Aýna (0 ^0S)	5600
Kömür turşy gaz (0 ^0S)	260
Wodorod (0 ^0S)	1280

.

1.4.12. Sesiň serpikmegi

Ses tolkunynyň ýaýraýan ugrunda duş gelýän päsgelçilikler bilen özara täsiriniň aýratynlygy päsgelçiligiň Δl galyňlygy bilen yrgyldynyň λ tolkun uzynlygy arasyndaky gatnaşyga baglydyr.

bolýar. Şonuň üçin hem oňa ***ultrases generatory*** diýilýär. Ultrases generatory özüniň ýerleşdirilen gurşawynda ultrases tolkunlaryny ýaýradýar. Howada ultrasesler sesiň ýaýraýyş tizligi ýaly tizlikli ýaýraýar. Ýöne, howada ultrases uzak aralyklara ýaýrap bilmeýär. Sebäbi, howanyň düzümindäki kömürturşy gazy ultrases tolkunlaryny özüne köp siňdirýär. Suwda we gaty gurşawda ultrases howadaka garanyňda uzak aralyga ýaýraýar. Kwars tekizçejiginiň ölçeglerine baglylykda islendik intensiwlikli ultrases alyp bolýar. Ultrasesi kabul edýän gurluş hem edil onuň generatory ýaly kwars tekizçejiklerinden ýasalýar.

Ultrasesiň ýaýraýyş tizligi onuň ýaýraýan sredasynyň häsiýetine baglydyr. Bu tolkunlar giňişlikde ýaýranlarynda özleri bilen kesgitli mukdarda energiýany alyp gidýärler. Tolkunyň energiýasynyň dargamagy we sreda tarapyndan siňdirilmegi sebäpli ahyrda tolkun togtaýar.

Ultrases tolkunlary hem iki sredanyň araçäginde (päsgelçilige duşup) degişli şerte görä interferensiýa, difraksiýa hadysalaryna uçraýar we bu päsgelçilikler basyş bilen täsir edýär. Ultrases tolkunlary üçin hem ***Dopleriň hadysasy*** mahsusdyr. *Ýagny ultrasesiň çeşmesi we ondan çykýan tolkunlary kabul edijiniň özara biri-birine görä hereket etmekleri netijesinde ultrases tolkunlarynyň ýygylygy üýtgeýär.*

Ultraseslere mahsus bolan ýygylyk çäklerinde adaty ses tolkunlarynyň ýygylyk çäginde ýüze çykmaýan hadysalar köpdür. Barlaglaryň görkezişi ýaly ultrases ýygylyk çäklerindäki tolkunlaryň I intensiwligi diňe bir yrgyldynyň x_m amplitudasyna bagly bolman, onuň ýygylygyna hem baglydyr:

$$I = \frac{1}{2}\omega^2 x_m^2 \rho \upsilon = 2\pi^2 \nu^2 x_m^2 \upsilon \ , \qquad (1.4.37)$$

bu ýerde *I*- sesiň güýji, *S*-meýdan, *t*-wagt, *W* –ses tolkunynyň energiýasy. Sesiň güýji ölçegleriň HS-da Wt/m^2 -da hasaplanylýar. Sesiň güýji yrgyldynyň amplitudasyna baglydyr.

Sesiň belentligi onuň ýygylygyna, ýagny onuň tonuna bagly. Sesiň ýygylygy näçe uly bolsa, onuň belentligi şonça-da ýokarydyr. ***Tembr*** –sesiň özboluşly "reňkidir". Saz gurallarynyň, adamlaryň seslerini olaryň tembri boýunça tapawutlandyrylýar. Saz sesi çylşyrymly yzygider gaýtalanýan yrgyldydyr. Ony ýönekeý yrgyldylara dargadyp bolýar. Bu yrgyldylaryň ýygylyklary (tonlary) natural sanlaryň gatnaşyklary ýaly gatnaşýarlar: $\nu_1:\nu_2:\nu_3=1:2:3$.

Iň kiçi ýygylykly tona esasy ***ton*** ýa-da ***birinji garmonik*** diýilýär. Beýleki garmoniklere ***obertonlar*** diýilýär. Sazyň tembri onuň obertonlarynyň sanyna baglydyr.

1.4.14. Ultrases

Ýygylygy 20 *kGs* –den uly bolan mehaniki yrgyldylara ***ultrases*** yrgyldylary ýa-da ýöne ***ultrasesler*** diýilýär. Adamlar ultrasesi eşitmeýärler. Ultrasesleriň generatory bolup, pýezoelektrik hadysasy hyzmat edýär. Bu hadysa 1880-nji ýylda doganlar Kýuriler tarapyndan açylan. Tekizçe (plastinka) görnüşde kesilen kwars bölejigini üýtgeýän elektrik naprýaženiýäniň çeşmesine birikdirilen metal tekizçeleriň arasynda ýerleşdirilende ol deformirlenip, uzalýar we gysylýar. Bu hadysa ***elektrostriksiýa*** diýilýär. Elektrostriksiýada kwars tekizçejigi üýtgeýän elektrik meýdanynyň ýygylygyna deň ýygylykly maýyşgak yrgyldyny ýerine ýetirýär. Ýagny, ol mehaniki yrgyldynyň generatoryna öwrülýär. Eger elektrik yrgyldylaryň ýygylygy 20 *kGs*-den uly edilip alynsa, kwars tekizçejigi ultra ses yrgyldylarynyň çeşmesi (generatory)

Eger päsgelçiligiň galyňlygy yrgyldynyň tolkun uzynlygyndan uly bolan halatlarynda $(\Delta l>\lambda)$ ses päsgelçilikden ***serpikýär***. Bu halda ses tolkunynyň päsgelçilikden serpikme burçy onuň päsgelçiligiň üstüne düşme burçyna deňdir.

Ses tolkunlary päsgelçiligiň galyňlygy bilen ölçegdeş ($\lambda\approx\Delta l$) bolan halatynda ol päsgelçilikden sowulyp geçýär. Muňa ***sesiň difraksiýasy*** diýilýär. Meselem, beýik haýatyň aňyrysyndaky sesleri adamlar eşitýärler. Ýagny, agzalan şertde ses tolkunlary haýata degip, onuň ýokarysyndan egilip geçýär we adamynyň gulagyndaky perdejigi yrgyldadyp, eşidiş duýgysyny döredýär.

Gurşawda ýaýraýan ses tolkunynyň uzynlygy sesiň çeşmesiniň yrgyldy ýygylygyna we sesiň şol sredadaky ýaýraýyş tizligine baglydygy üçin (1.4.34-nji aňlatma) haýsy gurşawda sesiň päsgelçilikden serpikýändigini ýa-da ondan egilip geçýändigini hasaplap bolar.

Eger $t=15^0S$ temperaturaly howda, $\nu=20kGs=2\cdot10^4\,Gs$ (ultrasesiň başlangyç çägi) ýygylykly ses tolkuny ýaýraýan bolsa, (1.4.34-nji) deňleme boýunça onuň tolkun uzynlygynyň

$$\lambda=\frac{\upsilon}{\nu}=\frac{340\,m\cdot s^{-1}}{2\cdot10^4\,s^{-1}}=17\cdot10^{-3}\,m=17mm$$

deňdigini hasaplap bolar.

Adatça sesiň ýaýraýyş ugrunda duşýan päsgelçilikleriň (jaýlaryň diwarynyň, dürli jisimleriň) galyňlyklary sesiň hasaplanan tolkun uzynlygyndan has ulydyr. Diýmek, hasaplanan ýygylykly ses tolkuny munuň ýaly galyňlykly päsgelçilige duşanda ondan ***zerkal serpikýär***.

Gurşawda ýaýraýan ses tolkunynyň ýygylygy adamynyň gulagynyň iň pes eşidiş çägine ýagny, $\nu = 20\,Gs$ deň bolanda , ses tolkunyň uzynlygy

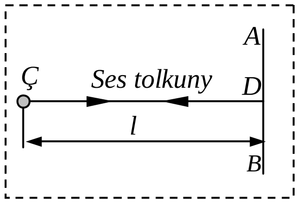
$$\lambda = \frac{340\,m \cdot s^{-1}}{20\,s^{-1}} = 17\,m,$$

deň bolýar. Bu şertlerdäki ses tolkuny päsgelçilige duşanda, ondan egilip geçýär. Ýagny, ses tolkunynyň difraksiýasy bolup geçýär.

Köplenç durmuşda, ses tolkuny özüniň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ýerleşen päsgelçiliklere degip, yzyna özüniň çeşmesine tarap serpigýär. Sesiň munuň ýaly serpikmegine ***ýaň*** diýilýär.

Adam özüniň gulagynyň perdejigine sesiň täsiri kesilenden soňra 0,1 sekundyň dowamynda onuň täsirini duýýar. Şonuň üçin hem adamynyň sesiň ýaňyny duýmagy üçin sesiň päsgelçilige çenli we oňa degip, yzyna gaýdyp gelmeginiň zerur wagtynyň dowamlylygy 0,1 sekuntdan uly bolmaly däl.

Sesiň çeşmesinde duran adamynyň (1.4.12-nji çyzgy) näçe metr uzaklykdaky päsgelçilikden serpigen sesiň ýaňyny eşitjekdigini hasaplalyň. Goý, *Ç* ses çeşmesi *AB* päsgelçilikden *l*=*ÇD* uzaklykda ýerleşen bolsun. Bu çyzgydan görnüşi ýaly *Ç* çeşmeden ses ugradylandan soňra *AB* päsgelçilige degip, ondan yzyna çeşmä dolanyp gelýänçä $t = 2l/\upsilon$ wagt geçýär. Bu ýerde: υ sesiň gurşawdaky ýaýraýyş tizligi. Bu deňlikden howada t=15 ^0S temperaturada ýaňyň eşidilmegi üçin päsgelçiligiň çeşmeden



1. 4.12 - nji çyzgy. *Ses tolkunynyň päsgelçilikden serpikmegi*

$$l = \frac{\upsilon t}{2} = \frac{340\,m \cdot s^{-1} \cdot 0{,}1s}{2} = 17\,m,$$

bolmagy zerurdyr.

Bu usul deňizlerde ýüzýän gämileriň öňünde duşýan päsgelçilikleri duýmak üçin gidrolokasiýada giňden ulanylýar.

Ýapyk otaglarda sesiň diwarlardan, potolokdan köp gezek serpikmegine duşulýar we sesiň çeşmesi özüniň yrgyldysyny togtadandan soňra hem ol eşidilýär. Sesiň çeşmesiniň yrgyldysy togtandan soňra ýapyk jaýlarda eşidilmegine ***rewerberasiýa*** diýilýär. Bu halda sesiň çeşmesiniň yrgyldamagy togtandan soňra onuň energiýasynyň 10^6 esse azalma wagtyna ***rewerberasiýa*** (*soňra seslenme*) ***wagty*** diýilýär. Rewerberasiýa wagty köp bolan seslere serpigen sesler goşulýar. Netijede ses ýaňlanýar. Ýygylyklary özara deň bolan ses tolkunlary goşulanda olaryň fazalary deň nokatlarda, ses çürt kesik güýçlenýär. Bu hadysa ***sesiň rezonansy*** diýilýär. Bu hilli ses tolkunlarynyň fazalary garşylykly bolan nokatlarda ses düýpgöter ýitýär.

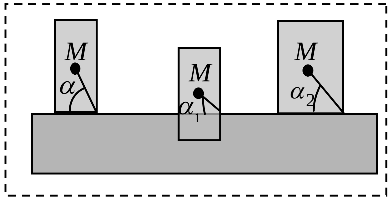
1.4.13. Sesiň güýji, belentligi we tembri

Sesiň güýji diýip, *sesiň ýaýraýan ugruna perpendikulýar ýerleşen üst birliginden wagt birliginde geçýän ses energiýasynyň mukdaryna aýdylýar:*

$$I = \frac{W}{St}, \qquad (1.4.36)$$

(1.5.14-nji çyzgy, 1-nji hal). Eger, bu silindriň agyrlyk merkezinden geçýän çyzygy onuň daýanç meýdanynyň çäginden çykar ýaly β burça gyşardyp, öz erkine goýberilse, (1.5.14-nji çyzgy, 2-nji hal) ol aşyrylar, ýagny ol özüniň başlangyç halyna dolanyp gelmez. Ýöne agzalan β burça gyşardylan silindriň daýanç meýdany uly $\left(S_2 > S_1\right)$ bolsa (1.5.14-nji çyzgy, 3-nji hal) , onuň beýikliginiň öňkä deň bolmagyna garamazdan, agyrlyk merkeziniň üstünden geçýän wertikal çyzyk silindriň daýanç meýdanynyň çäginden çykmaz. Bu haldaky silindr öz erkine goýberilse, ol özüniň başlangyç deňagramlylyk halyna dolanyp geler.

Fizikada daýanç meýdany bolan jisimleriň agyrlyk merkeziniň Ýere görä beýikligini we daýanç meýdanynyň ölçegini hasaba almak üçin *durnuklylyk burçy* diýen düşünje girizilýär. ***Durnuklylyk burçy*** diýip, jisimiň agyrlyk merkezini onuň daýanç üstüniň çetini birikdirýän gönüniň gorizontal üst bilen emele getirýän α burçuna aýdylýar (1.5.15-nji çyzgy). Jisimiň daýanç burçy näçe kiçi bolsa, onuň durnuklylygy şonça-da uludyr.



1. 5.15-nji çyzgy. *Jisimleriň durnuklylyk burçy.* $\left(\alpha_1<\alpha, \alpha_2<\alpha\right)$

Gönükme 1.5.

1.5.1. Halk arasynda “ Pahnany pahna bilen çykarýarlar” diýen pähim bar. Güýçleriň dargadylyş düzgüninden peýdalanyp, bu pähimiň dogrulygyny subut etmeli.

1.5.2. Tagta kakylýan pahnanyň daşyna çykmazlygy üçin onuň bilen tagtanyň arasyndaky μ sürtülme koeffisiýenti nähili ululykda bolmaly? Üçburç pahnanyň depesindäki burç $\alpha = 30^0$.

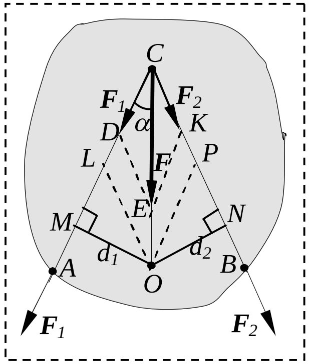
1.5.3. Güýjüň momenti

Butnawsyz oky (O) bolan jisimiň A nokadyna onuň agzalan okunyň üstünden geçýän wertikal CO çyzyk bilen α burçy emele getirýän $\boldsymbol{F_1}$ güýji goýalyň (1.5.4-nji çyzgy). Bu güýç jisimi öz okunyň daşynda bir tarapa gyşardar. Jisimiň B nokadyna-da edil $\boldsymbol{F_1}$ güýç ýaly CO çyzyk bilen α burç döreder ýaly ugrukdyrylan $\boldsymbol{F_2}$ güýç goýup, onuň ululygyny saýlap, jisimi hiç hili güýç täsir etmedik halatyndaky deňagramlylyk halyna getirip bolar. Bu ýagdaý $\boldsymbol{F_1}$ we $\boldsymbol{F_2}$ güýçleriň deňtäsirediji $\boldsymbol{F}$ güýji ($\boldsymbol{F}=\boldsymbol{F_1}+\boldsymbol{F_2}$) jisimiň aýlanma okunyň üstünden geçýän CO wertikal göni boýunça ugrukdyrylanda berjaý bolar. Muňa göz ýetirmek üçin $\boldsymbol{F_1}$ we $\boldsymbol{F_2}$ güçleri öz-özlerine parallel tä olaryň başlangyjy C nokat bilen gabat gelýänçä süýşüreliň we parallelogram düzgüni boýunça bu güýçleri olaryň $\boldsymbol{F}$ deňtäsiredijisi bilen çalşyralyň. Çyzgydan görnüşi ýaly bu $\boldsymbol{F}$ güýç jisimiň aýlanma okunyň üstünden geçýän wertikal çyzygyň ugruna ugrukdyrylandyr. Diýmek, seredilýän jisim deňagramlylyk halyndadyr.

Jisimiň O aýlanma oky bilen baglanyşykly deňagramlylyk şertini kepillendirmek üçin 1.5.4-nji çyzgyda goşmaça O nokatdan $OL \parallel CB$, $OP \parallel CA$, $OM \perp CA$, $ON \perp CB$ çyzyklary geçireliň. Jisimiň aýlanma okundan CA we CB çyzyklara geçirilen OM we ON gönülere degişlilikde $\boldsymbol{F_1}$ we $\boldsymbol{F_2}$ ***güýçleriň eginleri*** diýilýär.

Ýagny $\left|OM\right| = d_1$ $\boldsymbol{F_1}$ güýjüň we $\left|ON\right| = d_2$ bolsa $\boldsymbol{F_2}$ güýjüň O aýlanma oka görä eginleridir. Bu çyzgydaky $\Delta CDE \sim \Delta CLO$ bolany üçin $\dfrac{\left|CD\right|}{\left|DE\right|} = \dfrac{\left|CL\right|}{\left|OL\right|}$. Başga tarapdan bolsa, $|CL|=|OP|$ we $|DE|=|CK|$, onda $\dfrac{|CD|}{|CK|}=\dfrac{|OP|}{|OL|}$,

ýa-da



1.5.4-nji çyzgy. *Jisimiň aýlanma okunyň üstünden geçýän wertikal oka burç bilen ugrukdyrylan güýçler*

$$\frac{\boldsymbol{F}_1}{\boldsymbol{F}_2}=\frac{|OP|}{|OL|}. \qquad (1.5.6)$$

Çyzgydan görnüşi ýaly $\angle CLO=\angle CPO$ ýagny , $\Delta MLO \sim \Delta NPO$. Onda $\dfrac{|OP|}{|OL|}=\dfrac{|ON|}{|OM|}$, ýagny

$$\frac{d_2}{d_1}=\frac{|OP|}{|OL|}. \qquad (1.5.7)$$

Soňky (1.5.6) we (1.5.7) deňliklerden $\dfrac{F_1}{F_2}=\dfrac{d_2}{d_1}$, bu ýerden bolsa,

$$F_1d_1 = F_2d_2\,. \qquad (1.5.8)$$

Fizikada güýjüň özüniň egnine köpeltmek hasylyna ***güýjüň momenti*** diýilýär we ol umumy ýagdaýda

$$\boldsymbol{M}=[\boldsymbol{Fd}], \qquad (1.5.9)$$

bilen belgilenýär. Onda (1.5.9) hasaba alyp, (1.5.8-nji) deňligi

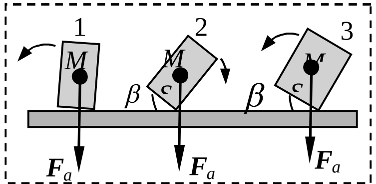
$$M_1=M_2\ , \qquad (1.5.10)$$

$(h_1<h_2$ we $W_{p1}<W_{p2})$. Bu hala geçirilen çyzgyç öz erkine goýberilse, ol özüniň başdaky 3-nji halyna dolanyp geler. Diýmek, hereketsiz *aýlanma oky agyrlyk merkezinden ýokarda ýerleşen jisimler deňagramlylyk halyndan ujypsyz gyşaranlarynda potensial energiýalary artýan bolsa, olaryň öňki* ***deňagramlylyk hallary durnuklydyr.***

Çyzgyjyň aýlanma oky onuň agyrlyk merkezinden geçýän bolsa (1.5.13 -nji *ç* çyzgy), onda onuň agyrlyk merkeziniň Ýere görä beýikligi we potensial energiýasy 5-nji we 6-njy hallarda üýtgemeýär. Şeýle haldaky jisimleriň deňagramlylygyna ***parhsyz deňagramlylyk*** diýilýär.

Şeýlelikde F_a agyrlyk güýjüň täsirinde we hereketsiz aýlanma oky bolan jisimleriň deňagramlylygy edil daýanç nokady bolan jisimleriňki ýalydyr.

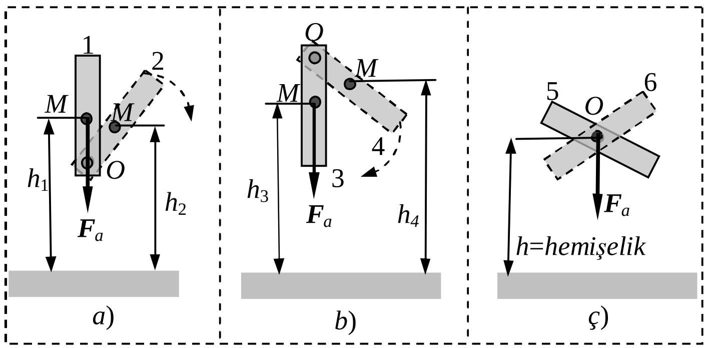
3. Daýanç meýdany bolan jisimleriň deňagramlylygy. Daýanç meýdany bolan jisimleriň agyrlyk merkeziniň üstünden geçýän wertikal çyzyk daýanç meýdanynyň çäginden daşyna çykmaýan bolsa, onda jisimler deňagramlylyk halynda bolarlar. Bu haldaky jisimler hem ýokarda agzalan jisimler ýaly durnukly, durnuksyz we parhsyz deňagramlylyk hallarynda bolup bilýär. Ýöne, bu haldaky jisimleriň deňagramlylyk hallary diňe olaryň agyrlyk merkezleriniň Ýere görä beýikligine bagly bolman, olaryň daýanç meýdanlarynyň ýerleşişine we ölçeglerine -de baglydyr.



1. 5. 14-nji çyzgy. *Daýanç meýdany bolan jisimleriň deňagramlylygy*

Silindr şekilli jisimiň deňagramlylyk hallary 1.5.14-nji çyzgyda görkezilen. Eger bu silindri kiçi burça gyşardyp, öz erkine goýberilse, ol özüniň başlangyç halyna dolanyp geler

Goý, gönüburçly tagta bölejiginiň (meselem, çyzgyjyň) M agyrlyk merkezi onuň hereketsiz aýlanma O okundan ýokarda ýerleşen bolsun (1.5.13-nji *a* çyzgy). Başda çyzgyç 1 bilen bellenen halda bolsun. Eger indi, çyzgyç az -owlak gyşardylsa, meselem 2-nji hala geçirilip, öz erkine goýberilse, ol hereketsiz O okuň daşynda Ýere tarap aşyrylyp, 1-nji hala gaýdyp gelmez. Bu iki halda çyzgyjyň M agyrlyk merkeziniň degişlilikde Ýere görä beýikligi we potensial energiýasy azalar $\left(h_2 < h_1 \text{ we } W_{p2} < W_{p1}\right)$. Onda, ýokarda bellenilişi ýaly, çyzgyjyň 1-nji haldaky deňagramlylygy *durnuksyzdyr*. Diýmek, hereketsiz *aýlanma oky agyrlyk merkezinden aşakda bolan jisimler özleriniň deňagramlylyk halyndan ujypsyz gyşaranlarynda potensial energiýalary azalýan bolsa, olaryň*



1. 5. 13-nji çyzgy. *Berkidilen aýlanma oky bolan jisimleriň deňagramlylygy*

öňki ***deňagramlylyk hallary durnuksyzdyr***.

Goý indi çyzgyjyň agyrlyk M merkezi onuň hereketsiz aýlanma O okundan aşakda 3-nji halda ýeleşsin (1.5.13-nji *b* çyzgy). Indi çyzgyjy bu haldan 4-nji hala geçirilse, onuň agyrlyk merkeziniň Ýere görä beýikligi we potensial energiýasy öňki halyndakysyndan ulalar

görnüşde aňladyp bolar. Bu (1.5.8) we (1.5.10) deňlikler hereketsiz oky bolan jisimleriň deňagramlylyk şertiniň aňlatmalarydyr.

Fizikada jisimi sagat diliniň aýlanma ugrunyň garşysyna hereketlendirilse güýjüň momenti položitel, sagat diliniň ugruna aýlandyrýan güýjüň momenti bolsa, otrisatel hasaplanylýar. Güýjüň momenti wektor ululyk bolup,onuň ***ugry sag hyryň düzgüni*** bilen kesgitlenilýär: ***eger sag hyryň tutawajynyň aýlanma ugry jisimiň aýlanma ugry bilen gabat gelse, onuň öňe bolan hereketiniň ugry M wektoryň ugrny görkezer.*** Jisimiň aýlanma okunyň üstünden geçýän güýjüň momenti nola deňdir. Sebäbi bu güýjüň egni nola deň. Agzalan şerte görä 1.5.4-nji çyzgy boýunça $M_1 = F_1 d_1 < 0, \quad M_2 = F_2 d_2 > 0$ onda $M_1 + M_2 = 0$.

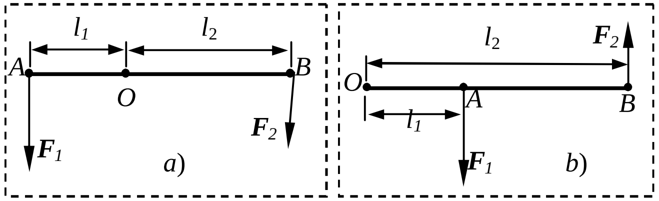
Diýmek, *butnawsyz aýlanma oky bolan jisimlere täsir edýän güýçleriň momentleriniň bu oka görä algebraik jemi nola deň bolan halatynda, jisim deňagramlylyk halyndadyr.* Ýagny jisime sagat diliniň ugruna täsir edýän güýçleriň momentleriniň jemi, oňa sagat diliniň garşysyna täsir edýän güýçleriň momentleriniň jemine deňdir. Hereketsiz aýlanma oky bolan jisimler üçin bu şerte ***momentleriň düzgüni*** diýilýär.

Ölçegleriň Halkara sistemasynda aýlanma okdan 1*m* uzaklykdaky gýjüň momenti nýuton–metrde $|N \cdot m|$ aňladylýar**.**

1.5.4. Ýönekeý mehanizmler

Jisime täsir edýän güýçleri özgerdip bilýän gurluşlara ***mehanizmler*** diýilýär. Ryçag, blok, çarh, ýapgyt tekizlik ýaly enjamlara ***ýönekeý mehanizmler*** diýilýär.

Ryçag *diýip, butbawsyz daýanjyň töwereginde hereketlendirmek üçin täsir edylýän gaty jisime aýdylýar.* Iş ýüzünde birinji we ikinji hilli ryçaglar ulanylýar. ***Birinji hilli ryçag*** diýip, aýlanma oky oňa goýlan güýçleriň arasynda bolan



1.5. 5-nji çyzgy. *a) birinji hilli; b) ikinji hilli ryçag*

ryçaga aýdylýar (1.5.5-nji *a* çyzgy). Deň eginli terezileriň koromyslasy (eginagajy), gaýçy we ş.m. bu ryçaglaryň mysaly bolup biler. ***Ikinji hilli ryçag*** diýip, aýlanma oky oňa goýlan garşylykly tarapa ugrukdyrylan güýçleriň bir tarapynda bolan ryçaga aýdylýar (1.5.5-nji *b* çyzgy). Hoz döwülýän we adaty atagzylar, turbalary towlamak üçin gysylýan gaz açarlary, üsti ýükli galtak we ş.m. bu ryçaglaryň mysaly bolup biler.

Ryçaglaryň iki görnüşinde hem momentler düzgüni $M_1= M_2$ şertde deňagramlaşýar. $M_1=F_1l_1$ we $M_2=F_2l_2$ bolany üçin $F_1l_1= F_2l_2$. Bu ýerden

$$\frac{F_1}{F_2}=\frac{l_2}{l_1}\ . \qquad (1.5.11)$$

Iki güýjüň täsiri netijesinde ryçag deňagramlylyk halda bolanda bu güýçleriň modullarynyň gatnaşygy olaryň eginleriniň ters gatnaşygyna deňdir. Bu (1.5.11-nji) deňlikden görnüşi ýaly ryçagyň eginleriniň gatnaşygy näçe uly bolsa güýçde şonça-da utuş gazanyp bolýar. Bu düzgün iş ýüzünde örän köp ulanylýar.

beýiklikde ýerleşen 2-nji nokada tigirlener. Bu nokadyň beýikliginiň 1-nji nokadyň beýikliginden kiçi $(h_2 < h_1)$ bolany üçin ikinji nokadyň potensial energiýasy hem birinji nokadyňkydan kiçidir $(W_{p2} < W_{p1})$. Ýagny, şar kiçi potensial energiýaly hala geçdi.Onda, şaryň 1-nji nokatdaky daşky täsirsiz bolup biljek deňagramlylyk *haly durnuksyzdyr*.

Jjisim ujypsyzja orun üýtgetmede kiçi potensial energiýaly hala geçýän bolsa, onda onuň öňki ***deňagramlylyk haly durnuksyzdyr***.

Goý, indi şar 3-nji nokatda Ýerden h_3 beýiklikde ýerleşen bolsun. Eger şary bu haldan çykaryp, ýagny, Ýerden h_4 beýiklikde ýerleşen 4-nji nokada galdyryp, öz erkine goýberilse, ol 3-nji nokada gaýdyp geler. Çyzgydan görnüşi ýaly, $h_3 < h_4$, onda $W_{p3} < W_{p4}$. Diýmek, şaryň 3-nji nokatdaky deňagramlylyk halyna degişli potensial energiýasy iň kiçidir.

Eger jisim ujypsyzja orun üýtgetmede uly potensial energiýaly hala geçýän bolsa onda onuň öňki ***deňagramlylyk haly durnuklydyr***.

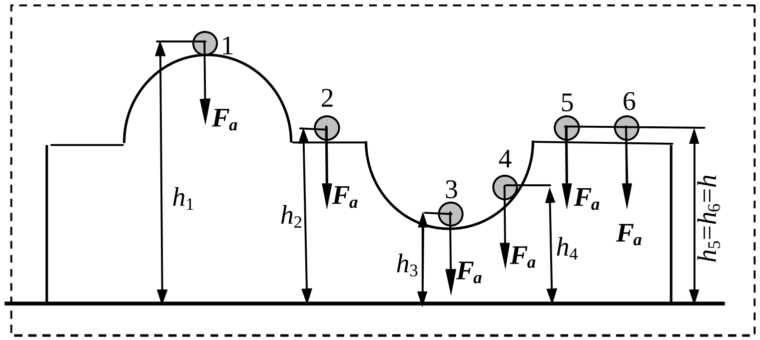
Goý, metal şar 5-nji nokatda ýerleşdirilen bolsun. Daşky täsiriň netijesinde şar ornuny üýtgedip, 6-njy nokada geçse, ol özüniň Ýere görä beýikligini üýtgedenok, ýagny h=*hemişelik*. Bu halda şaryň potensial energiýasy üýtgemeýär $(W_p = hemişelik)$. Eger jisimiň islendik ujypsyz orun üýtgetmeginde onuň potensial energiýasy öňkiligine galýan bolsa, onda jisimiň deňagramlylygyna ***parhsyz deňagramlylyk*** diýilýär.

2.Butnawsyz aýlanma oky bolan jisimleriň deňagramlylygynyň görnüşleri. Eger, jisimiň agyrlyk merkezinden geçýän wertikal çyzyk onuň butnawsyz aýlanma okunyň üstünden hem geçýän bolsa, ol jisim deňagramlylyk halyndadyr.

laýyklykda $(\Delta W_k = -\Delta W_p)$ şaryň kinetik energiýasyny artdyrmak üçin onuň potensial energiýasyny şonça ululyga azaltmaly. Bu bolsa, seredilýän halda mümkin däl. Sebäbi şonsuz hem şaryň çukurdaky potensial energiýasy özüniň mümkin bolan iň kiçi ululygyna deňdir. Şonuň üçin hem şar içki güýçleriň hasabyna herekete gelip bilmez. Diýmek, şar durnukly deňagramlylyk halyndadyr. *Ýapyk ulgamda jisimiň potensial energiýasy iň kiçi baha deň bolsa, onuň deňagramlylyk haly durnuklydyr.*

1.5.9. Jisimleriň deňagramlylygynyň görnüşleri

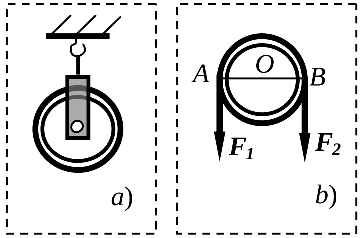
1. Daýanç nokady bolan jisimiň deňagramlylygy. Daýanç nokady bolan jisimiň agyrlyk merkezinden geçýän



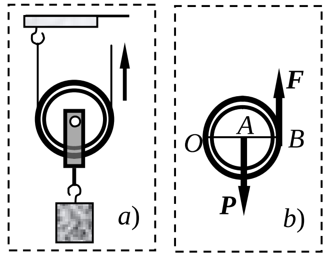
1. 5. 12-nji çyzgy. *Dürli potensial energiýaly şarlar*

wertikal çyzyk onuň daýanç nokadynyň üstünden hem geçse, jisim deňagramlylyk halynda bolar. Goý, metal şar 1-nji halda (1.5.12-nji çyzgy) Ýerden h_1 beýiklikde ýerleşen bolsun (metal şaryň agyrlyk merkeziniň Ýere görä beýikligi barada gürrüň edilýär). Bu şara sähelçe güýç täsir etdigi, ol Ýerden h_2

• ***Blok*** *diýip, erňegi oýuk we öz okunyň daşynda aýlanýan tigirçege aýdylýar.* Oky butnawsyz bloga ***gozganmaýan blok*** diýilýär (1.5.6-njy *a* çyzgy). Gozganmaýan blogy deň eginli ryçag hökmünde kabul edip bolar (1.5.6-njy *b* çyzgy).



1. 5.6-njy çyzgy.
a) gozganmaýan blogyň daşky görnüşi;
b) deň eginli ryçag



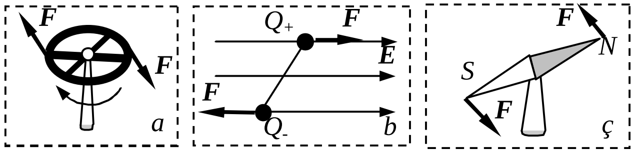
1. 5.7-nji çyzgy.
a) gozganýan blok bilen ýüküň galdyrylyşy;
b) gozganýan blokda täsir edýän güýçleriň ugry.

Işlände oky özi bilen bilelikde şüýşýän bloga ***gozganýan blok*** diýilýär (1.5.7-nji *a* we *b* çyzgy). Bu 1.5.7-nji *b* çyzgydaky *OA* aralyk ***P*** güýjüň egni, *OB* aralyk bolsa, ***F*** güýjüň egni. Çyzgydan görnüşi ýaly, ***F*** güýjüň egni ***P*** güýjüň egninden iki esse uly. Blok deňagramly halynda bolany üçin ***F*** güýç ***P*** güýçden iki esse kiçidir:

$$\boldsymbol{F} = \frac{\boldsymbol{P}}{2}. \qquad (1.5.12)$$

Diýmek, gozganýan blok bilen ***P*** ýüki galdyrmak üçin onuň agramyndan iki esse kiçi güýç ýeterlikdir. Iş ýüzünde ýük göteriji kranlarda gozganmaýan we gozganýan bloklar ulgamyndan peýdalanylýar .

• ***Goşa güýçler*** diýip, modullary boýunça deň ugurlary boýnça garşylykly (antiparallel) güýçlere aýdylýar. Bu güýçleriň mysaly awtomobilleriň rolunyň tigrine goýlan güýç (1.5.8-nji *a* çyzgy), elektrik meýdanynda ýerleşdirilen dipola täsir edýän elektrik güýçi (1.5.8-nji *b* çyzgy), magnit peýkamjygyna täsir edýän magnit güýji (1.5.8-nji ç çyzgy) bolup biler.



1.5.8-nji çyzgy. *Goşa güýçleriň mysallary*

Adatça goşa güýçler bir deňtäsir ediji güýç bilen çalşyrylmaýar. Şonuň üçin hem goşa güýjüň täsiri astynda jisim diňe aýlanyp bilýär.

1.5.5. Mehanikanyň “Altyn düzgüni”. Ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti

Goý, berkidilen aýlanma *O* oky bolan jisime parallel garşylykly tarapa ugrukdyrylan $\boldsymbol{F_1}$ we $\boldsymbol{F_2}$ goşa güýç täsir edýär diýeliň (1.5.9-njy çyzgy). Goý, $\boldsymbol{F_1 = F_2 = F}$ bolsun**.**Bu güýçleriň momentleri degişlilikde $M_1 = Fl_1 < 0$ we $M_2 = Fl_2 < 0$ (Güýjüň momenti jisimi sagat diliniň garşysyna aýlandyrýan bolsa ol otrisatel hasaplanylýar). Bu momentleriň jemi noldan tapawutlydyr, ýagny $M_1 + M_2 = F\left(l_1 + l_2\right) = Fl \neq 0$. Diýmek, jisim deňagramlylyk halynda däldir. Jisime täsir edýän goşa güýçleriň ugruna ugrukdyrylan parallel çyzyklaryň arasyndaky $l=l_1 + l_2$ iň ýakyn aralyga ***goşa güýjüň egni*** diýilýär. $M=Fl$ bolsa, ***goşa güýjüň momentidir.***

bolan mikrobölejikleriň özüni alyp baryşlary öwrenilende agyrlyk güýji düşünjesi öz manysyny ýitirýär. Bu halda agyrlyk merkezi düşünjejesine derek ***massa merkezi*** düşünje girizilýär.

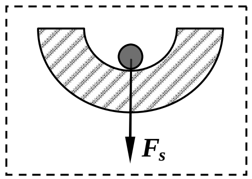
Özara täsir edişýän jisimler ulgamynyň içki gurluşyna we daşky sebäplere bagly bolmadyk nokadyna ***massa merkezi*** *diýilýär.* Fizikanyň orta mekdep çägindäki seredilýän meselelerde jisimler ulgamynyň massa merkezi olaryň agyrlyk merkezi bilen gabat gelýär.

Massa merkezi düşünjesi ýalňyz jisime hem degişlidir. *Massa merkezi jisimiň içinde ýa-da onuň daşynda ýerleşen we oňa goýlan güýçleriň täsiriniň kesişýän nokadydyr.* Jisime täsir edýän güýçler onuň massa merkezinde kesişmeýän bolsalar, onda jisim massa merkeziniň üstünden geçýän okuň daşynda aýlanar.

Eger özara täsirdäki jisimleriň ulgamy ýapyk bolmasa, onda ulgamyň massa merkezi inersial hasaplaýyş ulgamynda hereketsiz bolup bilmez ýa-da gönüçyzykly deňölçegli hereketi ýerine ýetirip bilmez. Bu haldaky jisimler ulgamy Nýutonyň ikinji kanunyna laýyklykda netijeleýji täsir güýjüň ugruna tizlenmeli hereket eder.

1. 5.8. Jisimleriň deňagramlylygy

Jisimleriň ýapyk ulgamdaky deňagramlygyna seredeliň. Munuň üçin Ýeriň üstünden kesgitli çuňlukdaky çukurda şar ýerleşdirilen (1.5.11-nji çyzgy). Mehanikanyň kanunyndan mälim bolşy ýaly şaryň kinetik energiýasy artdyrylmasa, ol hereket etmez. Seredilýän ulgam ýapyk, şonuň üçin energiýanyň saklanma kanunyna



1.5. 11-nji çyzgy. *Ýapyk ulgamda iň kiçi potensial energiýaly jisim*

1.5.7. Agyrlyk merkezi. Massa merkezi

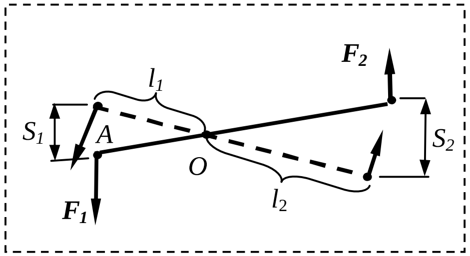
1. Agyrlyk merkezi. Agyrlyk merkezi statikanyň möhüm düşünjeleriniň biridir. ***Agyrlyk merkezi*** *diýip, jisimleriň ýa-da jisimler sistemasynyň bölejikleriniň agyrlyk güýçleriniň momentiniň jemi nola deň bolan ýeketäk nokadyna aýdylýar.*

Käbir halatlarda jisimiň agyrlyk merkezi onuň geometrik çäginden daşynda hem bolup bilýär. Meselem, birhilli halkanyň agyrlyk merkezi onuň geometrik merkezinde ýerleşendir. Eger, seredilýän jisim absolýut gaty we onuň agyrlyk merkezi jisimiň içinde ýerleşen bolsa, onda jisimiň agyrlyk güýjüni onuň agyrlyk merkeziniň üstünden geçýän wertikal çyzygyň islendik nokadyna goýup bolar. Sebäbi gaty jisime täsir edýän jüýjüň goýulan nokadyny onuň täsir edýän çyzygynyň ugry boýunça islendik nokada üýtgedip bolar. Şonuň üçin hem agyrlyk merkezi hökmünde agyrlyk güýjüniň goýulan ýeketäk nokadyny kabul etmeklik elmydama dogry çözgüt däldir.

Jisimleriň deňagramlygynyň görnüşleri kesgitlenilende agyrlyk merkeziniň ähmiýeti uludyr. Agyrlyk merkeziniň gorizontal tekizlikden ýokary galdygyça hereket edýän ulagyň durnuklylygy şonça-da azalýar. Meselem, uzyn çelek gaýykda dikligine ýerleşdirilende, ýa-da gaýygyň üstünde adam dik dursa, gaýygyň agyrlyk merkezi suwuň üstünden has ýokary galýar we ol durnuksyz hala geçýär. Edil şonuň ýaly hem, uly tizlikli awtoulaglaryň agyrlyk merkezi onuň hereket edýän ýolunyň gorizontal üstüne näçe ýakyn bolsa, onuň deňagramlygy şonça-da durnukly bolar. Ýoluň aýlaw ýerlerinde munuň ýaly awtomobil uly tizlikde hereket etse-de onuň agdarylmak howpy şonça-da azdyr.

2.Massa merkezi. Kosmiki giňişlikde Ýeriň we beýleki kosmos jisimleriň täsiri duýulmaýan halatynda, özara täsir güýçleri bilen deňeşdirilende hususy agyrlyk güýçleri juda kiçi

Indi (1.5.9-njy gyzgyda) görkezilen ryçagyň eginlerine goýlan güýç özara deň däl ýagny, $(F_2 < F_1)$ hasaplalyň we bu güýçleriň ýerine ýetirýän işlerini hasaplalyň. Munuň üçin ryçaglaryň ujunyň orun üýtgetmeleriniň gatnaşyklarynyň degişlilikde olaryň ujuna täsir edýän güýçleriň eginleri ýaly gatnaşýandygy $\frac{S_1}{S_2} = \frac{l_1}{l_2}$ 1.5.9-njy çyzgydan görünýär.



1. 5.9-njy çyzgy. *Hereketsiz aýlanma oky bolan jisime täsir edýän goşa güýç*

Ryçaglaryň deňagramlylyk şertine laýyklykda $\frac{l_1}{l_2} = \frac{F_2}{F_1}$, ýa-da bu ýerden

$$\frac{S_1}{S_2} = \frac{F_2}{F_1}. \qquad (1.5.13)$$

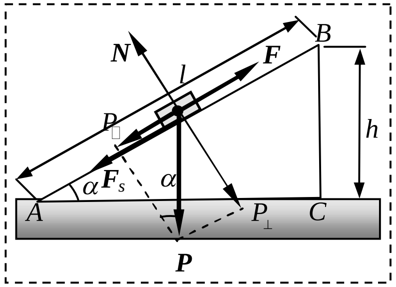
Bu deňlikden görnüşi ýaly ryçagyň uçlaryna goýulan güýçleriň ýerine ýetirýän işleri özara deňdirler: $A_1=F_1S_1=F_2S_2=A_2$. Diýmek***, ryçagdan peýdalanyp, şol bir iş ýerine ýetirilende güýçde nähili utuş gazansak, ryçagyň ujunyň orun üýtgemeginde şonça-da utulýarys. Muňa mehanikanyň “Altyn düzgüni” diýilýär*** (1.5.13-nji aňlatma).

• Ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti - *diýip, bu mehanizmlerden peýdalanyp, umumy ýerine ýetirilýän işiň näçe böleginiň peýdaly işe sarp edilýändigini görkezýän* *ululyga aýdylýar*. Köplenç peýdaly täsir koeffisiýent (PTK) η (etta) harpy bilen bellenilýär we kesgitlemä laýyklykda $\eta = \frac{A_p}{A_u}$. Bu ýerde A_p-ýerine ýetirilen işiň peýdaly bölegi, A_u-umumy ýerine ýetirilen işiň ululygy. Köplenç PTK göterimlerde aňladylýar , ýagny

$$\eta = \frac{A_p}{A_u} 100\% \,. \qquad (1.5.14)$$

1.5.6. Ýapgyt tekizligiň peýdaly täsir koeffisiýenti

Ýapgyt tekizlik hem ýönekeý mehanizmleriň birisi hökmünde ýerine ýetirilýän mehaniki işleri ýeňilleşdirmek, az güýji harç edip, uly güýjüň ýerine ýetirýän mehaniki işini amala aşyrmak üçin giňden peýdalanylýar. Ýapgyt tekizlik boýunça onuň esasyndaky A nokatdan ýapgyt tekizligiň ýokarsyndaky B nokada çenli $\boldsymbol{P}$ agramly ýüki galdyrylanda edilýän peýdaly iş (1.5.10-njy çyzgy) $A_p = Ph = mgh$.



1. 5.10-njy çyzgy. *Ýapgyt tekizlik*

Bu $\boldsymbol{F}$ güýjüň jisimi galdyrmak boýunça edýän işi sürtülme we agyrlyk güýjüniň (has takygy onuň parallel $P_{\parallel} = P \sin\alpha$ düzüjisiniň) garşysyna harçlanýar. Şonuň üçin doly mehaniki işi şeýle aňlatmak bolar:

$$A_d = l\left(F_s + P_{\parallel}\right).$$

Indi

$$F_s = \mu N, \quad N = P_{\perp} = mg\cos\alpha \,,$$
$$P_{\parallel} = P\sin\alpha = mg\sin\alpha \,,$$

bolýandygyny hasaba alyp, PTK-nyň kesgitlemesine görä

$$\eta = \frac{A_p}{A_d}\cdot 100\% = \frac{mgh}{l\left(\mu mg\cos\alpha + mg\sin\alpha\right)}\cdot 100\% =$$
$$= \frac{h}{l\left(\mu\cos\alpha + \sin\alpha\right)}\cdot 100\% \,,$$

bolar. Çyzgydan görnüşi ýaly $\sin\alpha = \frac{h}{l}$, hem-de

$$\cos\alpha = \sqrt{1 - \sin^2\alpha} = \sqrt{1 - \frac{h^2}{l^2}} = \frac{1}{l}\sqrt{l^2 - h^2} \,.$$

Onda ýapgyt tekizligiň PTK-sy üçin gutarnykly alarys:

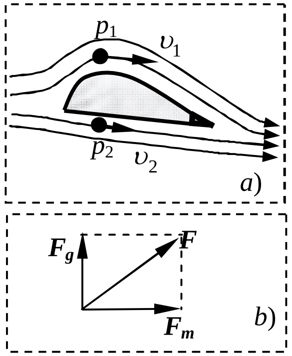
$$\eta = \frac{h}{l\left(\frac{\mu}{l}\sqrt{l^2 - h^2} + \frac{h}{l}\right)} 100\% = \frac{h}{\mu\sqrt{l^2 - h^2} + h} 100\% \,. \qquad (1.5.15)$$

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly ýapgyt tekizlik bilen onuň üstünde hereket edýän jisimiň arasyndaky sürtülme koeffisiýenti näçe kiçi bolsa, ýapgyt tekizligiň PTK-sy şonça-da uly bolar.

çümdürmeklik we suwuň ýüzüne çykarmaklyk ýygnaýjy kameralarda toplanan suwuň mukdary bien kadalaşdyrylýar.

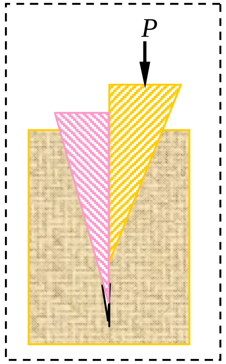
Türkmenistanda “Türkmendeňizderýa ýollary” gullugynyň gämileri bilen ýolagçylary we ýükleri döwlet içinde şonuň ýaly hem daşary ýurtlara gatnatmakda giňden ulanylýar. Türkmenistanyň ýük we ýolagçylary gatnadyjy uly kuwwatly gämileri döwletiň ykdysadyýetini ýokarlandyrmakda goşant goşýarlar.

4.Howada uçmak. Howada uçýan gurluşlaryň hemmesiniň daşky korpusy, ganatlary ýasalanda olarda Bernulliniň (1.6.7-nji) deňlemesine laýyklykda ýokary göteriji güýç dörär ýaly taýýarlanylýar. Has takygy, uçarlaryň ganatynyň kese kesiginiň üsti çowly aşagynyň bolsa tekiz ýasalmagy (1.6.7-nji *a* çyzgy) onuň ýokarsyndan we aşagyndan geçýän howa gatlaklarynyň tizlikleriniň dürli ululykda bolmagyna getirýär. Bu bolsa uçaryň ganatynyň aşagyndan akyp geçýän howa akymynyň υ_2 tizliginiň onuň ýokarsyndaky howa akymynyň υ_1 tizliginden kiçi $(\upsilon_2 < \upsilon_1)$ bolmagyny döredýär. Üznüksizlik nazaryýetine laýyklykda uçaryň ganatynyň aşagyna P_2 we üstüne howa akymynyň P_1 basyşynyň dürli ululykda bolmagyna getirýär $P_2 > P_1$. Uçaryň ganatynyň aşaky S_2 meýdany onuň ýokarky S_1 meýdanyna takmynan barabar $(S_1 \approx S_2)$ bolmagy ganatyň aşaky üstüne täsir edýän F_2 basyş

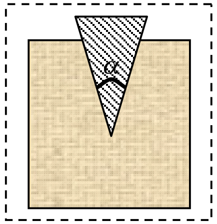


1. 6. 7-nji çyzgy.
a) Uçaryň ganatynyň kese kesigi;
b) Ganata täsir edýän güýçler.

1.5.3*. Wertikal tekiz diwaryň A nokadyndan l uzynlykly ýüpden m massaly şar asylan. Eger şaryň radiusy R –e deň bolsa ýüpüň T dartyş güýjüni we şaryň diwara F basyş güýjüni kesgitlemeli. Şaryň diwar bilen sürtülme güýjüni hasaba almaly däl.



1.5.1-nji gönükmäniň çyzgysy

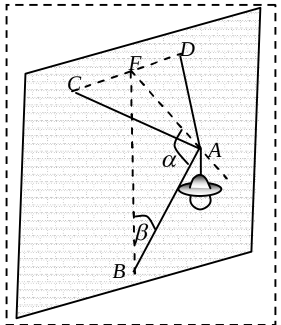


1.5.2-nji gönükmäniň çyzgysy

1.5.4. Massasy 5 *kg*, radiusy R=10 *sm* bolan şar simmetriýa okunyň töwereginde $\varphi = A + Bt^2 + Ct^3$ deňlemä laýyklykda aýlanýar. Bu ýerde $B = 2\,rad/s^2$, $C = 0{,}5\,rad/s^3$. Hereket başlanandan t =3 *s* soňra güýjüň momentini kesgitlemeli.

1.5.5. Wentilýator n=600 *aýl/min* ýygylyk bilen aýlanýar.Ol öçürilenden soňra deňhaýallaýan hereket edip, N=50 aýlawdan soňra togtaýar. Tormazlama güýjüniň işi 31,4 *J*. Tormazlama güýjüniň M momentini kesgitlemeli.

1.5.6. Trolleýbusyň ýokarsyndaky tokly sime degýän ştangany simden daşlaşdyrmak maksady bilen oňa dakylan ýüpli halkany näme üçin yza süýşürýärler?

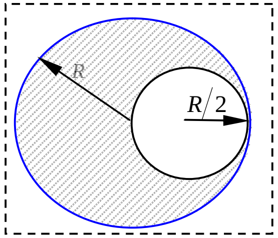


1.5.7-nji gönükmäniň çyzgysy

1.5.7. Uçlary diwara berkidilen üç sany sterženden ybarat asmadan elektrik çyra asylan. Elektrik çyranyň üstündäki saýawany bilen bilelikde agramy P=9,8 N-*a* deň. Sterženlere täsir edýän güýçleriň F deňtäsiredijisini kedgitlemeli. Çyzgydaky burçlary $\alpha = \pi/2$ we $\beta = \pi/6$ hasaplamaly.

1.5.8. Gatylygy k_1 we k_2 bolan iki sany *a*) parallel we *b*) yzygider birikdirilen pružinlerden ybarat sistemay çalşyryp biljek bir pružiniň k gatylygyny kesgitlemeli.

1.5.9. Wertikal daýanç sütünleriň üstünde massasy m_1 =400 *kg*, uzynlygy l=7 *m* bolan kese nawuň uçlary ýerleşdirilen. Nawuň bir ujundan d=2*m* daşlykda massasy m_2 =700 *kg* ýük asylan. Naw her bir daýanja nähili güýç bilen basyş edilýär?



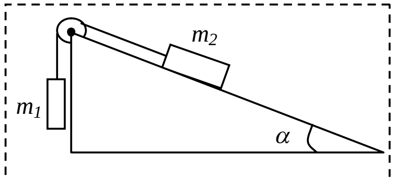
1.5.10*-njy gönükmäniň çyzgysy

1.5.10*. Birhilli, ýuka R radiusly tegelek gapakda radiusy $R/2$ bolan tegelek deşik edilen. Gapagyň agyrlyk merkezi nirede ýerleşen?

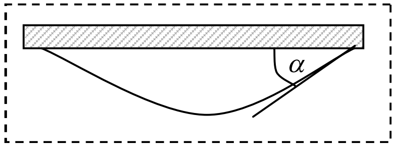
1.5.11*. Inçe birhilli simden ýasalan r radiusly ýarym halkanyň agyrlyk merkezini kesgitlemeli.

1.5.12. Üçburçlygyň depeleriniň her birinde massasy m bolan şar ýerleşdirilen. Sistemaýň agyrlyk merkezini kesgitlemeli.

1.5.13*. Gorizont bilen $\alpha = \pi/6$ gradiusly burç döredýän ýapgyt tekizligiň üstündäki massasy m_2 ýük ýüpe dakylyp, bloguň üstünden geçirilip, massasy m_1 bolan asylgy ýüke dakylan. Sistema nähili ululykdaky m_1 massada deňagramlylyk halynda bolar? Ýapgyt tekizlik bilen ýüküň arasyndaky sürtülme koeffisiýenti μ .



1.5.13*-nji gönükmäniň çyzgysy



1.5.14*-nji gönükmäniň çyzgysy.

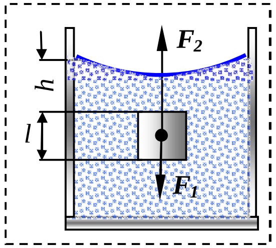
1.5.14*. Massasy m bolan zynjyr potolokdan asylan. Sallanýan zynjyryň potolok bilen döredýän α burçunyň nähili ululygynda onuň iň aşaky bölegini dartýan güýç zynjyryň agramyna deň bolar? Bu halda asma nokadyndaky T dartuw güýji nämä deň bolar?

çykarylan suwuklygyň agramy. *Diýmek, suwuklyk tarapyndan oňa batyrylan jisime täsir edýän göteriji güýç gysylyp çykarylan suwuklygyň agramyna deňdir*. Bu ýerde *suwuklyga batyrylan jisimler özleriniň gysyp çykaran suwuklygynyň agramy ýaly ululyga ýeňleýärler* diýip, netije çykarmak bolar. Arhimediň güýji jisimleriň agramsyzlyk halynda öz manysyny ýitirýär.

2.Jisimleriň suwuklyklarda ýüzme şertleri. Jisimleriň suwuklyklarda we gazlarda özlerini alyp baryşlary agyrlyk güýji bilen Arhimed güýçleriniň özara ululyklaryna baglydyr:

- Eger jisimiň $F_{a.g.}$ agyrlyk güýji F_A Arhimed güýjünden uly bolsa, ($F_{a.g.} > F_A$) jisim suwuklygyň düýbüne çümýär;
- Suwuklyga çümdürilen jisim oňa täsir edýän güýçleriň modullarynyň özara deň ($F_{a.g} = F_A$) bolan çuňlugynda ýüzýär;
- Eger $F_{a.g.} < F_A$ bolsa, jisim suwuklygyň ýüzünde ýüzýär.

3.Suw transporty. Arhimediň kanuny we ondan gelip çykýan jisimleriň suwda ýüzmek şertleri gämi gurluşygynda giňden ulanylýar. Gämiler gurlanda olaryň suwa batýan böleginde (trýumynda) birnäçe müňlerçe tonna suw saklaýan ýygnaýjy kameralar bilen üpjün edilýär. Gämileriň agyrlyk merkezleri onuň suwa batýan ýerini görkezýän “waterliniýa” diýip atlandyrylýan suwçyzygyndan mümkin boldugyça ýokarda bolmazlyk şertini berjaý eder ýaly mukdarda ýygnaýjy kameralara suw ýygnalýar. Gämilere ýük ýüklenilende takmynan şol ýüküň agramyna barabar mukdarda ýygnaýjy kameralardaky suwy azaltýarlar. Tersine, gämilerden ýük düşürilende bolsa, ýygnaýjy kameralara şonça mukdarda suw sorýarlar. Suw asty gämileri deňiziň degişli çuňlugyna bütinligine çümdirilendigi üçin onuň gapdal granlaryna suwuklyk tarapyndan edilýän garşylykly basyş güýçleri biri-birini bitaraplaşdyrýarlar. Diýmek, *suwuklyga batyrylan jisimleriň diňe ýokarky we aşaky granlaryna onuň agyrlyk merkezinden geçýän wertikal çyzygyň ugruna garşylykly tarapa ugrukdyrylan basyş güýçleri täsir edýär.* Kubuň ýokarky granyna wertikal aşak ugrukdyrylan F_1 güýç täsir edýär



1. 6. 6-njy çyzgy.
Suwuklyga batyrylan jisim

$$F_1 = \rho_s ghS . \qquad (1.6.7)$$

Bu ýerde: ρ_s-suwuklygyň dykyzlygy; S – kubuň granynyň meýdany. Onuň aşaky granyna bolsa, wertikal ýokaryk ugrukdyrylan F_2 güýç täsir edýär

$$F_2 = \rho_s g\left(h+l\right)S . \qquad (1.6.8)$$

Bu deňliklerden görnüşi ýaly $h<\left(h+l\right)$, diýmek, $F_1 < F_2$. Ýagny bu güýçleriň deňtäsiredijisi wertikal ýokaryk ugrukdyrylandyr. Bu güýç Arhimed güýjüdir:

$$F_A = F_2 - F_1 \ . \qquad (1.6.9$$

Ýokardaky (1.6.7-nji) we (1.6.8-nji) aňlatmalary (1.6.9-njy) aňlatmada ornuna goýup, Arhimediň güýjüniň modulyny taparys:

$$F_A = \rho_s glS = \rho_s gV = P_s . \qquad (1.6.10)$$

Bu ýerde V- kubuň göwrümi (ol suwuklyga çümdürilen jisimiň gysyp çykaran suwuklygynyň göwrümine deňdir), P_s- gysyp

BAP 1.6. SUWUKLYKLARYŇ WE GAZLARYŇ MEHANIKASY

1.6.1. Suwuklyklar we gazlar barada umumy maglumat

Suwuklyklar molekulalardan ybaratdyr. ***Suwuklyklaryň molekulalary*** öz gezeginde iki ýa-da köp dürli atomyň toplumydyr. Diňe bir görnüşli, ýöne iki, üç atomdan, ýagny molekuladan ybarat bolan maddalar – inert gazlary bardyr. Olardan kislorodyň (O_2) molekulasy iki sany kislorod atomyndan, azonyň (O_3) molekulasy bolsa, üç kislorod atomyndan ybaratdyr. Molekula degişli suwuklygyň ýa-da gazyň hemme häsiýetlerini özünde jemleýär. Onda suwuklygyň ýa-da gazlaryň häsiýetini öwrenmek üçin olara degişli birnäçe molekulanyň häsiýetini öwrenmek ýeterlikdir. Şol bir suwuklygyň molekulasy bir meňzeşdir.

Molekulalaryň massasynyň ölçegi şertlidir. Molekulalaryň arasynda itekleşme güýjüniň bolmagy bilen bir hatarda olaryň arasynda çekişme güýji hem bardyr. *Şonuň üçin iki molekulanyň merkeziniň iň ýakyn aralygyna* ***molekulanyň effektiw (täsir ediji) diametri*** *diýilýär.* Molekulanyň effektiw diametri σ (sigma) harpy bilen belgilenýär we ol sferik şekilli hasaplanylýar. Häzirki zaman hasaplamalaryna görä molekulanyň diametri $10^{-10}m$ we onuň massasy $10^{-26}kg$ hasaplanylýar.

Atom maddanyň elektrik häsiýetlerini özünde jemleýän iň kiçi bölejigidir. Ol öz gezeginde položitel zarýadly protonlardan, elektrik taýdan bitarap neýtronlardan we onuň daşyny gurşap alan elektronly gatlaklardan ybaratdyr. Her bir suwuklygyň we gazyň diňe özüne mahsus bolan kesgitli atomy bar. Adaty şertlerde atom elektrik taýdan bitarapdyr. Sebäbi agzalan şertde onuň düzümine girýän položitel we otrisatel zarýadlaryň absolýut ululyklary özara deňdirler. Atom hem molekula ýaly sferik şekilli hasaplanylýar.

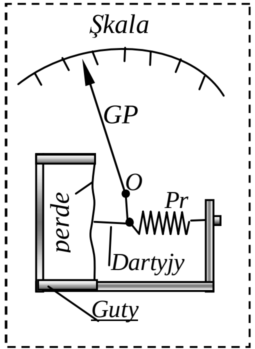
Suwuklyklaryň kesgitli formasy ýokdur, emma olaryň göwrümlerl kesgitlidir. Suwuklyk islendik gaba guýulsa onuň formasyny alýar we ol akyjylyk häsiýetine eýedir.

Suwuklyklaryň we gazlaryň fiziki häsiýetlerini öwrenmek üçin olaryň bölejikleriniň arasyndaky uzaklyk hemişelik diýip kabul edilýär.

Aslynda uly güýçleriň täsiri astynda suwuklyklaryň göwrümi az-owlak kiçelýär, emma olar hasaba alardan örän kiçidir. Gazlar bolsa, daşky täsiriň esasynda gysylýarlar we giňelýärler, olaryň dykyzlyklary göwrümiň dürli ýerlerinde dürlüdir. Ýönekeý meselelerde, daşky täsir güýçler hemişelik bolan halatynda hereketsiz (ýa-da kiçi tizlikli) gazlaryň gysylmagyny hasaba alynmasa-da bolar.

Atmosferanyň basyşy üýtgände içinde wakuum döredilen silindriň perdejigi deformirlenýär we özüne birikdirilen pružini süýndürýär ýa-da tersine ony gysýar. Bu halda O aýlanma okuň üsti bilen Pr pružine birikdirilen GP görkeziji peýkam degişli tarapa gyşarýar we şkala boýunça süýşüp, atmosfera basyşyny görkezýär.

Özüniň şkalasy boýunça okean derejesine görä beýikligi görkezmäge niýetlenen aneroid barometrlere ***altmetr*** (belentlik ölçeýji) diýilýär. Altmetr awiasiýada, alpinizmde we paraşýut sportynda ulanylýar.



1. 6. 5-nji çyzgy.
Aneroid barometriň gurluşy

1.6.10. Arhimediň kanuny. Jisimleriň suwuklykda ýüzme şertleri. Suw transporty. Howada uçmak

1.Arhimediň kanuny. Gidrawlik basyşyň bolmagy suwuklyklarda ýa-da gazlarda göteriji güýjüň döremegine sebäp bolýar. Suwuklyklarda bu güýjüň ululygyny ilkinjileriň hatarynda tejribede Arhimed hasaplapdyr. ***Arhimediň kanuny*** *: suwuklyga ýa-da gaza çümdürilen (batyrylan) jisim özüniň gysyp çykaran suwuklygynyň (gazynyň) agramy ýaly güýç bilen ýokarlygyna iteklenýär.*

Arhimediň kanunynyň matematiki aňlatmasyny aýdyňlaşdyrmak üçin suwa çümdürilen, gapyrgasynyň uzynlygy l –e deň bolan kuba täsir edýän güýçler bilen tanyşalyň (1.6.6-njy çyzgy). Bu kubuň ýokarky grany suwuň üstünden h , aşaky grany bolsa, $h+l$ çuňlukda ýerleşen. Kubuň hemme granlaryna suwuklyk basyş edýär. Kub suwa (howanyň) suwuklyklar bilen deňeşdirilende ýokary gysylyjylyk häsiýetlidigi sebäpli atmosfera basyşy beýiklige çyzykly bagly däldir. Ýagny atmosfera basyşynyň okeanyň üstünden beýiklige çyzykly baglanyşykdan uly bolan, eksponensial (natural logarifmiň esasy e derejä) baglydyr. Has takygy basyşyň okeanyň üstünden beýiklige baglylygyny görkezýän ***barometrik aňlatma***

$$p = p_0 \, exp\left(-\frac{m_0 gh}{kT}\right) \qquad (1.6.6)$$

ulanylýar. Bu ýerde: p-islendik h beýiklikdäki atmosfera basyşy; p_0 - okeanyň derejesindäki atmosfera basyşy; m_0-howanyň molekulasynyň massasy ; g-agyrlyk güýjüniň tizlenmesi; k- Bolsmanyň hemişeligi; T- atmosferanyň absolýut şkala boýunça temperaturasy.

1.6.9. Aneroid barometri

Atmosferanyň basyşyny ölçemeklige niýetlenen abzala ***barometr*** diýilýär. Barometrler özleriniň gurluşy boýunça simaply we metal görnüşde bolýar. Simaply barometrleriň takyklygy ýokary bolmagyna garamazdan olaryň aýna turbajygy sähel täsire döwülýärler we ulanmakda amatsyzlyk döredýär. Köplenç iş ýüzünde ***aneroid*** atlandyrylýan metal barometr ulanylýar (1.6.5-nji çyzgy). Bu barometr –aneroidyň esasy bölegi silindr şekilli guty. Bu guty ýukajyk metaldan ýasalyp, onuň içinden howasy çykarylandyr we onuň gapagy maýyşgak metal folgadan perdejik bilen ýapylan. Bu perdejik D dartyjy metal çybyk bilen maýyşgak pružine (Pr) dakylan. Pružiniň ikinji ujy barometriň korpusyna (gabyna) birikdirilen.

1.6.2. Maddalaryň dykyzlygy

Bir meňzeş göwrümi bolan dürli jisimleriň massalarynyň biri-birinden tapawutlylygyny hasaba almak maksady bilen fizikada dykyzlyk düşünjesi girizilýär. ***Dykyzlyk diýip, V göwrüm birligindäki maddanyň m massasyna aýdylýar.*** Dykyzlyk köplenç ρ (ro) harpy bilen belgilenýär. Kesgitlemä görä dykyzlyk şeýle aňladylýar:

$$\rho = \frac{m}{V}. \qquad (1.6.1)$$

Maddanyň dykyzlygy onuň temperaturasyna ters baglanyşykdadyr. Suwuklygyň ýokary temperaturadaky dykyzlygy onuň kiçi temperaturadakysynan kiçidir. Sebäbi, suwuklygyň temperaturasynyň artmagy bilen onuň göwrümi ulalýar. Suwuklyklaryň göwrüminiň temperatura baglylykda üýtgemegi molekulýar fizika bölüminde jikme-jik öwrenilýär.

Ölçegleriň Halkara sistemaynda dykyzlyk kg/m^3 birlikde hasaplanlýar.

1.6.3. Basyş we onuň birlikleri

Basyş *diýip, S üst birligine düşýän, üste normal (kadaly) ugrukdyrylan* ***F*** *güýjüň modulyna san taýdan deň bolan ululyga aýdylýar*:

$$p = \frac{F}{S}. \qquad (1.6.2)$$

Ölçegleriň Halkara sistemasynda basyş paskalda (Pa) hasaplanylýar. $1Pa = 1\frac{N}{m^2}$.

Basyş paskal ölçeg birligi bilen birlikde hasaplaýyş sistema girmeýän aşakdaky birliklerde hem hasaplanylýar:

a) tehniki atmosfera (at) :

$1at = 9{,}81\cdot10^4\,Pa = 0{,}981bar$; SGS (Gaus sistemaynda) $1Pa = 10\,\frac{din}{sm^2}$.

b) Normal ýa-da fiziki atmosfera (atm):

$1atm$= 760 *mm.sim. süt.* $=1{,}013\cdot10^5\,Pa$.

ç) simap sütüniniň millimetri (*mm.sim. süt.*):

$$1mm.sim.süt. = 10^{-3}m\,13595\,\frac{kg}{m^3}\cdot 9{,}81\frac{m}{s^2} = 133{,}3\ Pa;$$

bar (metrologiýada millibar ulanylýar *mbar*):

$$1bar = 10^5 Pa = 10^6\,\frac{din}{sm^2};\ 1mbar = 10^2\ Pa.$$

Suwuklyklaryň we gazlaryň basyşyny käbir halatlarda wertikal suwuklyk sütüni bilen deňeşdirýärler. Mysal üçin, atmosferanyň basyşy simaply barometr bilen ölçenilýär.

e) metr suw sütüni (*m.suw süt.*):

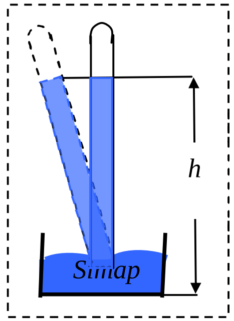
$$1\ m.\ suw\ süt. = 1m\cdot10^3\,\frac{kg}{m^3}\cdot 9{,}8\,\frac{m}{s^2} = 9{,}8\cdot10^3\,Pa = 0{,}1at.$$

1.6.4. Paskalyň kanuny

Içi suwly gaba deň diametrli iki ujy hem açyk silindr şekilli üç sany aýna turbajyk wertikal halda, deň çuňlukda durar ýaly edilip, suwuklyga batyrylan. Turbajyklaryň suwa batýan uçlary dürli tarapa (aşak, gapdala we ýokaryk) ugrukdyrylan (1.6.1-nji çyzgy). Şonuň ýaly hem gabyň içindäki

güýjüniň täsiri bilen oňa tarap dartylyp durýar. Diýmek, atmosferanyň ýokarky gatlaklary aşaky gatlaklara basyş edýär. Ýagny, atmosfera Ýere we onuň üstündäki maddalara basyş edýär. Bu basyşa ***atmosfera basyşy*** diýilýär.

Atmosfera basyşynyň bardygyny ilkinjileriň hatarynda 1634-nji ýylda italiýaly alym Toriçelli tejribe üsti bilen kesgitläpdir. Ol bir ujy açyk ikinji ujy bolsa, bütewi ýasalan inçe, 1*m* uzynlykly aýna turbasyny alyp, ony simap bilen doldurýar. Soňra turbanyň içindäki simap dökülmez ýaly onuň açyk ujuny eli bilen berk saklap, ony içi simaply gaba başaşak edip çümdirýär we şol halda turbanyň aşaky ujuny boşadýar (1.6.4-nji çyzgy). Turbadaky simabyň bir bölegi gaba dökülýär. Netijede turbada *h* beýiklikli simap sütüni gaba dökülmän galýar we onuň ýokarsynda (turbanyň ýapyk ýokarky ujunda simabyň buglary bilen doldurylan) ***Toriçelliniň boşlugy diýilip*** atlandyrylýan boşluk döreýär. Turbadaky simap sütüniniň belentligi simaply turba gyşardylanda hem üýtgemeýär.



1. 6.4-nji çyzgy.
Toriçelliniň tejribesi

Gözegçiligiň görkezişi ýaly, turbadaky simap sütüniniň belentligi atmosfera basyşy bilen deňagramlaşykda bolýar. Atmosfera basyşy artanda turbadaky simap sütüniniň belentligi hem artýar.

Howanyň 0^0 *S* temperaturasynda we bir atmosfera basyşynda turbadaky simap sütüniniň beýikligi *h* =760 *mm*- e deň. Basyşyň bu ululygyna ***normal ýa-da fiziki atmosfera*** diýilýär we 1*atm*. görnüşde bellenýär.

1. Atmosferanyň basyşynyň beýiklige baglylygy. Ýeriň (has takygy okeanyň asuda) üstünden ýokary belentlige galyndygyça atmosferanyň basyşy azalýar. Ýöne, gazyň material S_2 porşen bilen onuň ýokarsynda (çyzgyda görkezilmedik) agyr massaly daýanjyň arasynda (1.6.3-nji) çyzgyda görkezilen daşa derek goýulýar. Birinji S_1 meýdanly porşene F_1 güýç bilen basylýar. Bu halda porşeniň aşagyndaky suwuklykda $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$ goşmaça basyş döreýär. Paskalyň kanuny boýunça bu basyş suwuklyk tarapyndan hemme tarapa üýtgedilmän geçirilýär. Şunlukda S_2 porşene $F_2 = p_1 S_2 = \left(\frac{F_1}{S_1}\right) S_2$ basyş güýji täsir edýär we onuň ýokarsynda goýulan material uly güýç bilen gysylýar. Bu aňlatma laýyklykda gidrawlik presiň porşenlerine täsir edýän güýçler porşenleriň meýdanlaryna göni baglydyr.

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1} \qquad (1.6.5)$$

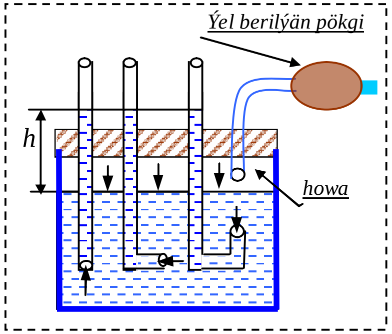
Diýmek, gidrawlik presiň kömegi bilen S_2 meýdan S_1 -den näçe uly bolsa güýçde şonça-da utuş gazanylýar. Ýagny, kiçi güýç bilen uly güýji deňagramlaşdyryp bolýar.

Gidrawlik presiň aýratyn görnüşi awtoulaglaryň tormaz sistemaynda giňden ulanylýar.Ýöne bu gurluşlara transformator ýagy däl-de, ýörite suwuklyk guýulýar.

1.6.8. Atmosfera basyşy. Atmosfera basyşynyň beýiklige baglylygy

1.Atmosfera basyşy. *Ýeriň atmosferasy diýip**,** ony gurşap alan dürli gazlaryň garyndysyndan ybarat bolan howa gabygyna aýdylýar.* Bu gazlaryň molekulalary Ýeriň dartylma

suwa degmez ýaly edilip, onuň içine rezin turbajyk girizilen. Bu turbajygyň gabyň daşyndaky ujyna ýel berilýän rezin pökgi birikdirilen we onuň kömegi bilen gapdaky suwuň ýokarsyndaky howanyň basyşyny artdyryp bolýar. Gabyň içindäki howanyň basyşy artdyrylanda hemme aýna turbajykdaky suw deň derejede ýokary galýar. Diýmek, ***gabyň içine guýulan hereketsiz suwuklyk özüniň üstüne daşardan edilýän basyşy hemme tarapa deň (üýtgetmän) geçirýär.*** Bu kanun fransuz fizigi Paskal tarapyndan açylandygy üçin oňa ***Paskalyň kanuny diýilýär.***



1. 6. 1-nji çyzgy. *Paskalyň kanunyny düşündirilýän tejribe*

Paskalyň kanuny gazlarda hem ýerine ýetýär.

1.6.5. Gidrostatik basyş

Ýeriň dartylma güýjüniň täsiri astyndaky suwuklygyň her bir molekulasyna agyrlyk güýji täsir edýär. Bu täsiriň esasynda suwuklygyň her bir gatlagy özüniň aşagyndaky suwuklyk gatlagyny basýar. Paskalyň kanunyna laýyklykda bu basyşy suwuklyk hemme tarapa deň geçirýär. Diýmek, suwuklygyň içinde agyrlyk güýji tarapyndan döredilýän basyş bar.

Gözegçiliklerden mälim bolşy ýaly, dynçlyk halyndaky suwuklyk gabyň düýbüne, diwaryna we bu suwuklyga batyrylan islendik jisimlere basyş edýär. *Dynçlykda duran suwuklygyň özi bilen galtaşýan jisimlere edýän basyşyna* ***gidrostatik basyş*** *diýilýär.*

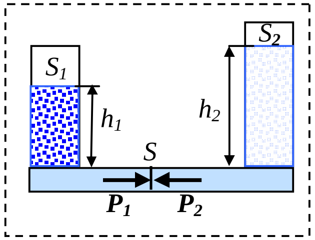
Basyşyň kesgitlemesine laýyklykda gidrostatik basyşy şeýle aňladyp bolar:

$$p = \frac{P_{a.g.}}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho V g}{S} = \frac{\rho S h g}{S} = \rho g h \quad . \qquad (1.6.3)$$

Bu ýerde $P_{a.g}$ - suwuklyk gatlagynyň döredýän agyrlyk güýji. *S*- suwuklyk gatlagynyň üstüniň meýdany, ρ - suwuklygyň dykyzlygy, *g*- erkin gaçmanyň tizlenmesi, *h*- suwuklyk sütüniniň beýikligi.

1.6.6. Gatnaşykly gaplar

Gatnaşykly gaplar diýip, *aralary suwuklygyň bir gapdan beýlekisine geçmegini üpjün edýän turba arkaly birikdirilen iki gaba aýdylýar.* Gatnaşykly gaplaryň daşky görnüşine baglanyşyksyzlykda olara guýulan birhilli suwuklygyň belentligi bir derejededir.



1.6.2-nji çyzgy.
Gatnaşykly gaplar

Gatnaşykly gaplaryň daşky görnüşleriniň deň bolmagyna garamazdan olara guýulan suwuklyk dürli dykyzlykly bolsa, gaplardaky suwuklygyň belentligi dürli bolar. Goý 1.6.2-nji çyzgyda görkezilen silindrleriň diametrleri özara deň bolsun, ýagny (S_1=S_2). Olaryň esaslaryny birikdirýän turba hem simap bilen doldurylan bolsun. Silindrlere dürli dykyzlygy $(\rho_2 < \rho_1)$ suwuklyklar guýulmagyna garamazdan gatnaşykly gapdaky suwuklyklar özara garyşmaz. Sebäbi, bu silindrleri birikdirýän turbadaky simabyň dykyzlygy silindrlerdäki suwuklyklaryň

dykyzlyklaryndan örän uly bolany üçin olary garyşdyrman saklar. Geçirilen tejribelerden görnüşi ýaly, hereketsiz kiçi bolan suwuklygyň beýikligi beýlekisiniňkiden ulydyr $(h_2 > h_1)$.

Agzalan gatnaşykly gaplary birikdirýän içi dynçlyk halynda duran simaply turbanyň ortasynda hyýaly saýlanan *S* üste iki tarapdan hem täsir edýän basyş özara deňdir ($p_l = p_2$). Bu basyş gidrostatikdir, onda (1.6.3-nji) deňlige laýyklykda $p_1 = \rho_1 g h_1$ we $p_2 = \rho_2 g h_2$. Bu ýerden

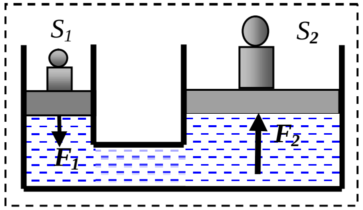
$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1} . \qquad (1.6.4)$$

Diýmek, *gatnaşykly gaplardaky* hereketsiz *dürli suwuklyk sütüniniň belentlikleri olaryň dykyzlygyna ters baglydyr.*

Eger, gatnaşykly gaplardaky suwuklyklaryň dykyzlygy $\rho_1 = \rho_2$ bolsa, onda, (1.6.4-nji) deňlikden h_1=h_2 bolany üçin gatnaşykly gaplardaky suwuklyklaryň deerejesi deň bolar.

1.6.7. Gidrawlik pres

Gidrawlik pres *dürli diametrli silindr şekilli içinde hereket etmäge ukyply dürli S_1 we S_2 $(S_2 >> S_1)$ meýdanlary bolan porşenli gatnaşykly gapdyr* (1.6.3-nji çyzgy). Adatça senagatda silindrlere transformator ýagy guýulýar. Gidrawlik pres haýsy hem bolsa bir önümi (mysal üçin pagta süýümini, ýuwulan arassa ýüňi) dykyz kip görnüşde daňmak üçin ulanylýar. Munuň üçin kip taýýarlanjak bolunýan



1. 6. 3-nji çyzgy.
Gidrawlik pres

deňlemesiniň bu görnüşde ýazylmagy köp meseleleri çözmekde amatlydyr.

Material nokadyň töwerek boýunça hereketiniň (1.7.12) deňlemesiniň sag tarapyny $\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$ we material nokadyň $J=mR^2$ inersiýa momentiniň wagta bagly däldiginden peýdalanyp ýazyp bolar:

$$M = J\varepsilon = J\frac{d\omega}{dt} = \frac{d(J\omega)}{dt}. \qquad (1.7.14)$$

Bu deňlik aýlanma hereket edýän gaty jisim üçin Nýutonyň ikinji kanunydyr. Onuň fiziki manysyny aýdyň açyp görkezmek maksady bilen $J\omega$ ululygy özgerdeliň. Ýagny $J=mR^2$ we $R\omega = \upsilon$, onda :

$$J\omega = m\upsilon R. \qquad (1.7.15)$$

Fizikada impulsyň momenti $J\omega = L$ bilen bellenilýär.Onda

$$L = m\upsilon R \qquad (1.7.15')$$

Ölçegleriň Halkara sistemaynda L impulsyň momenti $[L] = [kg \cdot m^2 \cdot s^{-1}]$ birlikde kesgitlenýär. Indi (1.7.14) deňligi aşakdaky görnüşe getirip bolar:

$$Mdt = d(J\omega) \ . \qquad (1.7.16)$$

Bu ýerden görnüşi ýaly ***impulsyň momentiniň üýtgemegi güýjüň momentiniň üýtgemegine getirýär*** .

Onda (1.7.16) deňligi

güýjüniň onuň ýokarky üstüne täsir edýän F_1 basyş güýjünden uly bolmagyny döredýär $(F_2 \rangle F_1)$ (1.6.7-nji *b*). Bu çyzgyda $\boldsymbol{F}$ uçaryň ganatynyň üstüne we aşagyna täsir edýän F_1 we F_2 basyş güýçleriniň deňtäsir edijisi. Bu güýji $\boldsymbol{F_g}$ ýokary göteriji we $\boldsymbol{F_m}$ maňlaý garşylyk güýçlere dargadyp bolar. Bu (1.6.7-nji *b*) çyzgydan görnüşi ýaly $\boldsymbol{F_g}$ ýokary göteriji güýç uçaryň uçuş beýikligini kesgitleýjidir. Diýmek, uçaryň sürüjisi onuň ganatynyň ujyndaky ýokaryk (aşak) hereketlenýän böleginiň (ol 1.6.7 –nji *a* çyzgyda has ýogyn çyzyk bilen görkezilendir) ýerleşişini üýtgedip, ganatyň ýokarsyndan akyp geçýän howa akymynyň tizligini üýtgedýär. Bu bolsa zerur bolanda $\boldsymbol{F_g}$ ýokary göteriji güýjüň ululygyny artdyrmaga ýa-da kemeltmäge we uçuşyň beýikligini kadalaşdyrmaklyga mümkinçilik berýär.

Gönükme 1.6.

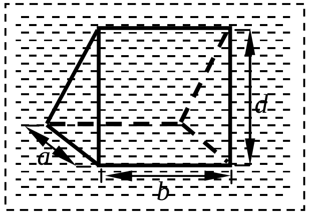
1.6.1. Atmosferanyň basyşy 750 *sim. süt. mm.* (simap sütüniniň millimetrine) deň. Köldäky süýji (agyz) suwuň haýsy çuňlukdaky basyşy atmosferanyň basyşyndan iki esse uly bolar?

1.6.2. Ölçegleri $a = b = d = 10\ sm$ bolan gönüburçly prizma suwukgyga çümdürilen. Suwuklykdaky basyş $2 \cdot 10^5\ Pa$-a deň bolsa prizmanyň ýokarky we aşaky granyna täsir edýän güýji kesgitlemeli. Prizma täsir edýän güýçleriň jemi näçä deňdir?

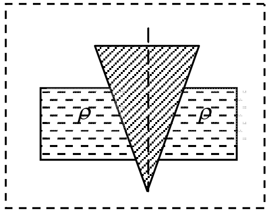
1.6.3. Iki sany deň çüýşäniň birisi suw ikinjisi bolsa simap bilen doldurylyp, agyzlary dykylan. Suwly çüýşäni suwa, simaply çüýşäni bolsa simaba batyryp, öz erkine goýbersek olar özlerini nähili alyp bararlar?

1.6.4. Çoýundan guýulan içi boş şar ýarysyna çenli suwa batyp ýüzýär. Çoýunyň dykyzlygyny $\rho = 7{,}8\frac{g}{sm^3}$ we çoýun şaryň massasyny m =5000 g hasaplap, onuň V göwrümini kesgitlemeli.

1.6.5. Tekiz gabyň garşylykly diwaryndaky radiuslary r we R nolan deşikleri şol bir dyky bilrn dykýarlar (gönükmä degişli çyzga seret) . Gabyň içindäki suwuklygyň basyşy P. Suwuklygyň dyka edýän F basyş güýjüni



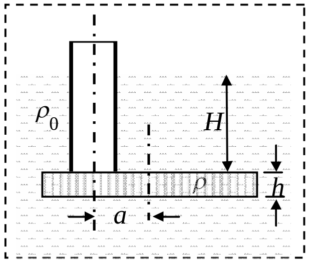
1.6.2-nji gönükmäniň çyzgysy



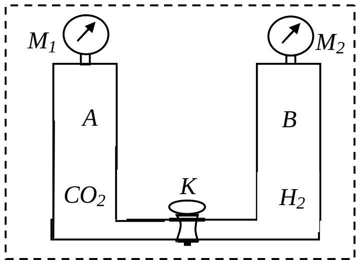
1.6.5-nji gönükmäniň çyzgysy

kesgitlemeli.

1.6.6. Wertikal r radiusly iki tarapy hem açyk turbanyň aşaky esasyna galyňlygy h, dykyzlygy ρ bolan disk jebis goýulyp, suwuklygyň H çuňlugyna batyrylan. Bu turbanyň oky diskiň okundan a daşlykda ýerleşen. Eger suwuklygyň dykyzlygy ρ_0 -a deň bolsa, turbanyň hähili beýikligine çenli suwuklyk guýulanda onuň aşagyndaky gapak ondan gopar?



1.6.6 -njy gönükmäniň çyzgysy



1.6.7-nji gönükmäniň çyzgysy

1.6.7. Gatnaşykly gaplaryň A –synda kömürrturşy gazy (CO_2) we B-sinde bolsa wodorod (H_2) bar. Başda gaplary birikdirýän K kran ýapyk we M_1 , M_2 manometrler gaplardaky basyşyň deňdigini görkezýär. 1).Eger K kran açylsa, gaz haýsy tarapa akar? 2) Eger gaplary başaşak öwrüp, manometrler aşakda halaty tejribe gaýtalansa gaz haýsy tarapa akar?

1.6.8. Toriçelliniň tejribe geçiren içi simaply turbasynyň ýokarky ujuna ýakyn ýerleşen A nokadynda agzy dykylgy deşik bar (gönükmä degişli çyzga seret). A deşigiň dykysy çykarylsa näme bolar?

1.6.9. Aýna böleginiň howadaky agramy P=0,205 N, onuň suwdaky ähtimal agramy P_0 = 0,123 N. Aýna böleginiň dykyzlygyny hasaplamaly.

Ölçegleriň Halkara sistemaynda inersiýa momentiniň ölçeg birligi kilogram köpeltmek metr kwadratdyr, ýagny $\left[J\right]=\left[m\cdot R^2\right]=\left[kg\cdot m^2\right]$.

Ýokardaky (1.7.10) we (1.7.11) deňliklerden peýdalanyp, material nokadyň töwerek boýunça hereketiniň deňlemesini ýazyp bolar:

$$M = J\varepsilon\,. \qquad (1.7.12)$$

Diýmek, material nokadyň töwerek boýunça hereketinde onuň inertliligini kesgitleýji bolup, inersiýa momenti hyzmat edýär. Başgaça aýdylanda material nokadyň töwerek boýunça hereketinde onuň inertliligi töweregiň radiusyna baglydyr. Dogrudan hem, aýlanýan material nokadyň radiusy näçe uly bolsa, onuň inerliligi hem uludyr. Mysal üçin, uzyn ýüpüň ujuna dakylan daşjagazy töwerek boýunça aýlamak, gysga ýüpüň ujuna dakylan daşjagazy aýlamakdan kyndyr.

Bu (1.7.12-nji) deňlik material nokadyň töwerek boýunça hereketiniň deňlemesidir. Bu deňleme Nýutonyň ikinji (F_t = ma_t) kanunynyň deňlemesine barabardyr. Şonuň üçin çözülýän meselä baglylykda olaryň islendik amatlysy saýlanyp alynýar.

2. Material nokadyň impulsynyň momenti. Kitabyň 2-nji babynda Nýutonyň ikinji kanunynyň (1.2.3-nji) aňlatmasyny we (1.2.6-njy) deňligi hasaba alyp, hereketiň deňlemesiniň iki görnüşi ýazylypdy:

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}; \qquad \boldsymbol{F} = \frac{d\left(m\upsilon\right)}{dt} = \frac{d\boldsymbol{K}}{dt}\;. \qquad (1.7.13)$$

Bu deňliklerden görnüşi ýaly impulsyň $d\boldsymbol{K}$ wektorynyň üýtgemegi güýjüň $\boldsymbol{F}dt$ impulsy bilen kesgitlenýär. Hereketiň

Bu tizlenmeleriň proýeksiýalary üçin Nýutonyň ikinji kanunyny ýazyp bolar:

$$ma_n = F_{n,}\;\; ma_t = F_t\;.$$

Bu ýerde F_n tizlige perpendikulýar ugur boýunça güýjüň proýeksiýasy; F_t tizligiň ugruna alnan güýjüň proýeksiýasy. Bu deňlikleriň ikinjisindäki tangensial tizlenmäni burç tizlenmäniň ($a_t = \mathcal{E}R$) üsti bilen aňladyp alarys:

$$mR\mathcal{E} = F_t. \qquad (1.7.9)$$

Eger biz m massaly material nokadyň töwerek boýunça aýlanma hereketinde oňa täsir edýän F_t güýjüň (1.7.9-njy) aňlatmasyny bu güýjüň momentiniň (1.5.9-njy) aňlatmasynda $R=d$ hasaplap göýsak, onda ***güýjüň momenti*** (M) üçin aňlatmany alarys:

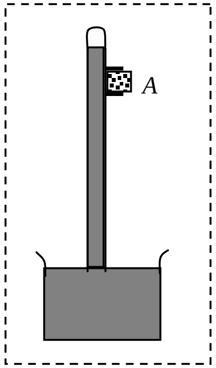
$$M = mR^2\mathcal{E}\;, \qquad (1.7.10)$$

Bu ýerden görnüşi ýaly $m=hemişelik$ we $R=hemişelik$ bolan halatynda güýjüň momentiniň ululygy diňe material nokadyň $\mathcal{E}$ burç tizlenmesine baglydyr.

1.Material nokadyň inersiýa momenti. *Aýlanma hereket edýän material nokadyň m massasynyň onuň aýlanma radiusynyň ikinji derejesine (kwadratyna) köpeltmek hasylyna aýlanýan material nokadyň* ***inersiýa momenti*** diýilýär. Inersiýa momenti J harpy bilen bellenilýär:

$$J = mR^2. \qquad (1.7.11)$$

1.6.10*. Agramy P_1=0,115N demir bölegine agramy P_2 =0,012 N bolan dyky ýüp bilen biri-birine daňylyp, suwa atylan. Dyky demir bölegine daňylan ýüpi dartdyryp, dolulygyna suwa çümýär. Ýüpüň dartuw güýji T = 0,063 N-*a* deň bolsa dykynyň göwrümini we dykyzlygyny kesgitlemeli. Howadaky göteriji güýji hasaba almaly däl.



1.6.8-nji gönükmäniň çyzgysy

1.6.11. Altyn bilen kümüşiň garyndysyndan ybarat bolan bölek metalyň howadaky agramy P_1=0,309 N. Bu metalyň suwdaky ähtimal agramy P_2= 0,289 N. Bu garyndydan duran metaldaky altynyň we kümüşiň her biriniň aýratynlykda metalyň umumy agramynyň näçe göteriminden ybaratdygyny kesgitlemeli. Howadaky göteriji güýji hasaba almaly däl.

1.6.12. Göwrümi V=2500 m^3 bolan aerostat ýokary galmagyň öňüsyrasynda göwrümi V_1=2000 m^3 bolan wodorody özünde saklaýar. Gurluşyň üstündäki adamlar bilen bilelikde umumy agramy $P = 2{,}7 \cdot 10^4\,N$. Aerostatyň nähili tizlenme bilen ýokary galyp başlajakdygyny kesgitlemeli.

1.6.13. Ýapgyt tekizlik boýunça içi doly bolmadyk suwly gap aşaklygyna a tizlnmeli hereket edýär. Gapdaky suwuň üsti nähili α burç boýunça ýerleşer?

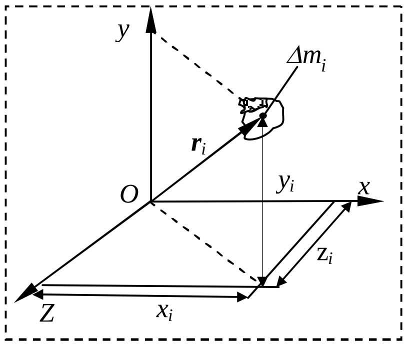
1.6.14. Gaba deňölçegli akym boýunça wagt birliginde $V_1 = 2\,\frac{dm^3}{s}$ göwrümdäki suw girýär. Gabyň düýbünde meýdany S=2 sm^2 bolan deşik bar bolsa onuň içindäki suwuň saklanjak h beýiklini hasaplamaly.

BAP 1.7.
GATY JISIMLERIŇ HEREKETINIŇ DINAMIKASY

1.7.1. Absolýut gaty jisim we onuň hereketi

1. Absolýut gaty jisim. *Eger, jisim islendik uly daşky güýçleriň täsiri netijesinde deformirlenmeýän bolsa, onda ol **absolýut gaty** jisimdir.* Diýmek, absolýut gaty jisimlere islendik ululykdaky daşky güýç täsir edende ol özüniň ölçegini we daşky görnüşini üýtgetmeýär. Tebigatda absolýut gaty jisim ýok. Uly güýçleriň goýulmagy netijesinde islendik absolýut gaty hasaplanylýan jisimi düzýän iň kiçi iki goňşy bölejigiň arasyny golaýlaşdyryp bolar. Absolýut gaty jisim düşünjesi diňe fiziki modeldir. Goýlan güýjüň ulylygy bilen deňeşdirilende jisimiň deformasiýsy hasaba alardan has kiçi halatlarynda jisim absolýut gata golaýlaşýar. Köplenç edebiýatlarda absolýut gaty jisime derek ýöne gaty jisim diýlip kabul edilýär. Bu çemeleşme şu kitapda-da saklanyljakdyr.

Birhilli jisimiň massa merkezi onuň simmetriýa merkezi bilen gabat geýär. Mysal üçin, birhilli şaryň massa merkezi onuň merkezi bilen gabat gelýär. Parallelepipediň massa merkezi onuň simmetriýa merkezi bilen gabat gelýär. Sterženiň massa merkezi onuň ortasyndadyr. Gaty jisimiň massa merkezi onuň içinde bolman hem biler.



1.7.9-njy *çyzgy*. *Gaty jisimiň elementar bölejiginiň massa merkeziniň giňişlik koordinatasy*

1.7.3. Aýlanma hereket edýän material nokadyň dinamikasynyň esasy deňlemesi

Gaty jisimi material nokatlaryň toplumy hökmünde kabul edip bolar. Jisim aýlananda bu nokatlaryň hemmesi bir meňzeş burç tizligine we tizlenmesine eýedirler. Gaty jisimiň aýlanma hereketine geçmezden öň material nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketiniň deňlemesine seredeliň.

Material nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketi öwrenilende (1.1.9-njy bölümçede) tizligiň ugrunyň wagt birliginde üýtgemegi netijesinde merkeze ymtylýan (başgaça normal) tizlenme we tizligiň modulynyň üýtgemegi bilen bolsa, galtaşma (tangensial) tizlenmäniň döreýändigi beýan edildi:

$$a_n = \omega^2 R, \quad a_t = \frac{d\upsilon}{dt}.$$

Alnan deňligi (1.7.8-nji çyzga) we (1.7.5-nji) deňlige laýyklykda $m_1\boldsymbol{l}_1 = -m_2\boldsymbol{l}_2$ görnüşde ýazyp bolar. Şeýlelikde iki material nokatdan ybarat bolan sistemaýň massa merkeziniň ýerleşişini $\boldsymbol{r}_m$ radius-wektor bilen kesgitläp bolar:

$$\boldsymbol{r}_m = \frac{m_1\boldsymbol{r}_1 + m_2\boldsymbol{r}_2}{m_1 + m_2}. \qquad (1.7.6)$$

Eger seredilýän sistema Δm_i massaly material nokatlaryň islendik köplüginden ybarat bolsa, onda ony gaty jisim hökmünde kabul edip bolar. Bu halda Δm_i massaly material nokadyň radius-wektoryny $\boldsymbol{r}_i$ bilen belläp, (1.7.6-njy) deňligiň esasynda saýlanan gaty jisimiň massa merkeziniň $\boldsymbol{r}_m$ radius wektoryny şeýle aňladyp bolar:

$$\boldsymbol{r}_m = \frac{\sum_i \Delta m_i \boldsymbol{r}_i}{m}. \qquad (1.7.7)$$

Bu ýerde $m = \sum_i \Delta m_i$ sistemaýň jemi massasy.

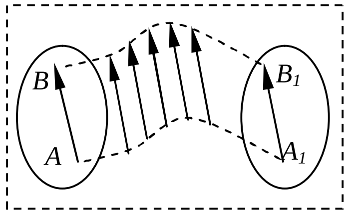
Ýokarda getirilen (1.7.7-nji) aňlatmany gönüburçly *xyz* dekart koordinata sistemaynda massa merkeziniň elementar böleginiň x_m, y_m, z_m koordinatasy (1.7.9-njy çyzgy) üçin ýazyp bolar:

$$x_m = \frac{\sum_i \Delta m_i x_i}{m}, \quad y_m = \frac{\sum_i \Delta m_i y_i}{m}, \quad z_m = \frac{\sum_i \Delta m_i z_i}{m}. \qquad (1.7.8)$$

2. Gaty jisimiň hereketi. Gaty jisimiň hereketiniň görnüşi köp, emme olary umumylaşdyryp, öňe (yza) we aýlawly görnüşe syrykdyryp bolýandygy sebäpli biz bu görnüşli we tekizparallel hereketlere serederis.

- **Gaty jisimiň öňe hereketi.** Eger *gaty jisimiň hereketinde onuň islendik iki nokadyny birikdirýän, gaty jisim bilen berk baglanyşykly göni çyzyk öz-özüne parallel orun üýtgetýän bolsa, onda gaty jisim **öňe hereket*** edýändir.

Öňe bolan hereketde gaty jisimiň hemme nokady deň orun üýtgetýär. Olar şol bir ýoly geçýär, şol bir traýektoriýany çyzýarlar, şol bir tizlige we tizlenmä eýe bolýarlar.



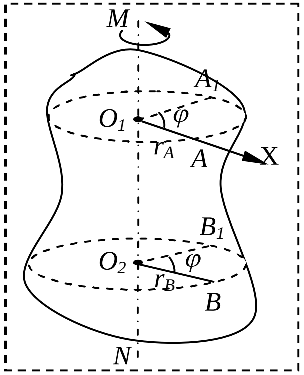
1.7.1-nji çyzgy. *Gaty jisimiň öňe hereketi*

Goý, gaty jisim öňe hereket edýän bolsun. Onuň islendik iki *A* we *B* nokatlaryny göni çyzyk bilen birikdireliň (1.7.1-nji çyzgy). Bu hereketde *AB* kesimiň ululygy üýtgemeli däl we ol elmydama öz-özüne parallel bolmalydyr. Sebäbi iş salyşylýan jisim gaty jisimdir.

Öňe hereketde ***AB*** wektoryň moduly we ugry hemişelik galýar. Muňa laýyklykda *A* we *B* nokatlaryň traýektoriýasy özara deňdir, ýagny olar ***AB*** wektoryň öz-özüne parallel orun üýtgemeginden dörändir.Şonuň ýaly hem *A* we *B* nokatlaryň şol bir wagtdaky orun üýtgetmeleri deňdir. Diýmek, olaryň tizligi we tizlenmesi hem özara deňdir. Aýdylanlardan görnüşi ýaly, gaty jisimiň hereketini öwrenmek üçin onuň bir nokadynyň hereketini öwrenmek ýeterlikdir.

Gaty jisimleriň öňe hereketiniň mysaly hökmünde, ýazgy stoluň çekeriniň, içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň silindrindäki porşenleriň , seýilgählerdäki “ gözegçilik tigrine” dakylan kabinalaryň, tokar stanogynyň demir ýonujysynyň we ş.m. hereketlerini getirip bolar.

• **Gaty jisimiň aýlanma hereketi.** *Gaty jisimiň dynçlykda duran okuň töweregindäki* ***aýlanma hereketi*** *diýip, jisimiň hemme nokatlarynyň merkezleri agzalan okuň üstünde ýerleşen töwerek boýunça hereket etmeklerine aýdylýar.* Agzalan töwerekleriň tekizligine perpendikulýar bolup, olaryň aýlanma merkezinden geçýän *MN* göni çyzyk jisimiň aýlanma okudur (1.7.2-nji çyzgy).Tehnikada şeýle hereket örän köp duş gelýär. Mysal üçin, hereketlendirijileriň, generatorlaryň, welosipedleriň, wagonlaryň, awtoulaglaryň tigirleriniň oklary we köp sanly ş.m. hereketler aýlanma hereketdir. Ýeriň öz okunyň daşyndaky hereketi hem aýlanma hereketdir.



1.7.2-nji çyzgy. *Gaty jisimiň aýlawly hereketi*

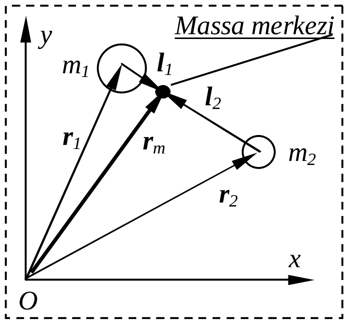
Gaty jisimiň Δt wagt aralygyndaky aýlanma hereketinde onuň *A* nokady r_A radiusly töwerek boýunça aýlanyp, käbir φ burça gyşarar. Bu wagt aralygynda jisimiň *B* nokady hem onuň *A* nokady bilen özara ýerleşişiniň üýtgemeýändigi sebäpli şol bir φ burça gyşarar. Onda gaty jisimiň aýlanma hereketini şekillendirmek üçin onuň käbir kesgitli ugur hökmünde alnan gönä görä ýazýan burçunyň wagta baglylygyny ($\varphi = f(t)$) öwrenmek ýeterlikdir. Bu ýerde φ burç r_A radiusyň O_1X oka ýa-da r_B radiusyň O_1X oka parallel bolan O_2B gönä görä ýazýan burçy.

Material nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketinde seredilen çyzyk, burç tizlikleri (1.1.19), (1.1.26) we tizlenmeleri $(1.1.30')$, $(1.1.31')$ düşünjeler gaty jisimiň hereketinde-de peýdalanyp bolar:

Indi biz gaty jisimiň massa merkeziniň ýerleşişini häsiýetlendirýän onuň $\boldsymbol{r}_M$ radius wektorynyň aňlatmasyny kesgitläliň. Onuň üçin başda seredilýän sistemay m_1 we m_2 ($m_1 \rangle m_2$) massasy bolan iki sany material nokatdan durýar diýip hasaplalyň. Bu sistemayň massa merkezi olary birikdirýän gönüniň üstünde massasy uly bolan m_1 material nokada ýakyn ýerleşendir. Muny has aýdyň göz öňüne getirmek üçin bu sistemaa girýän m_1 we m_2 material nokatlardan ybarat bolan sistemayň massa merkezi degişli bölejiklerden l_1, l_2 daşlykda diýip hasaplalyň (1.7.8-nji çyzgy). Bu çyzga we ýokarda beýan edilenlere görä :

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\boldsymbol{l}_2}{\boldsymbol{l}_1} \quad \text{ýa-da} \quad m_1 l_1 = m_2 l_2 \, . \qquad (1.7.5)$$

Bu ýerde $\boldsymbol{l}_1$ we $\boldsymbol{l}_2$ - degşli nokatlardan massa merkezine geçirilen wektorlar; $\boldsymbol{r}_1$ we $\boldsymbol{r}_2$ - nokatlaryň radius-wektorlary. Çyzgydan görnüşi ýaly:



1.7.8-nji çyzgy. *Iki sany maddy nokatdan ybarat ulgam*

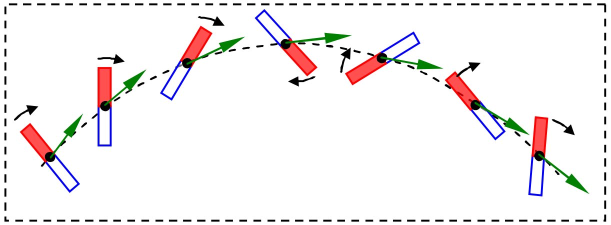
$$\boldsymbol{r}_1 + \boldsymbol{l}_1 = \boldsymbol{r}_m \, ,$$

$$\boldsymbol{r}_2 + \boldsymbol{l}_2 = \boldsymbol{r}_m .$$

Bu ýerde $\boldsymbol{r}_m$ – koordinatalar okunyň başlangyjyndan massa merkezine geçirilen radius-wektor. Soňky deňlikleriň birinjisiniň iki tarapyny m_1-e, ikinjisini bolsa, m_2 –ä köpeldip we soňra olary degişlilikde goşup alarys:

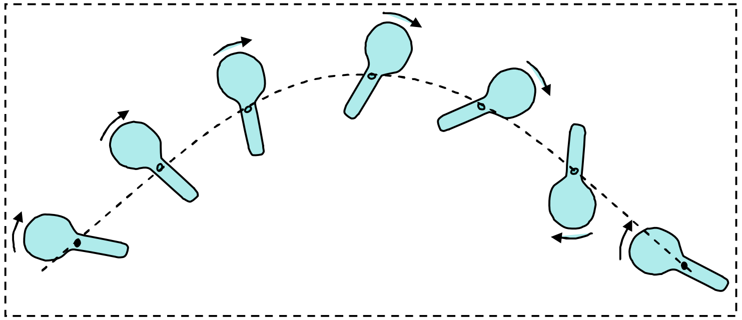
$$m_1\boldsymbol{r}_1 + m_2\boldsymbol{r}_2 + m_1\boldsymbol{l}_1 + m_2\boldsymbol{l}_2 = (m_1 + m_2)\boldsymbol{r}_m \, .$$

düşýänçä bu nokadyň daşynda aýlanma hereket eder(1.7.6-njy çyzgy).



1.7.6-njy çyzgy. *Gorizonta burç bilen zyňylan silindr şekilli birhilli jisimiň hereketi*

Indi bir ujy agyr (tommyja) jisimiň gorizonta burç bilen zyňylandaky hereketine seredeliň (1.7.7-nji çyzgy). Bu hereket hem edil silindriň hereketine kybapdaş bolar, ýöne ikinji halda



1.7. 7-nji çyzgy. *Gorizonta burç bilen zyňylan tokmajyk şekilli jisimiň hereketi*

jisimiň hereketde çyzýan parabolasynyň çyzygynyň üstündäki jisimiň nokady onuň tommyja ujyna ýakyn ýerleşer, ýagny ol nokat jisimiň ortasyndan ýokarda bolar.

Bu gözegçilikden görnüşi ýaly jisimleriň içinde onuň massasynyň paýlanşyna baglylykda kesgitli ýerde ýerleşen we daşky güýçler diňe özüne täsir edýän ýaly özüni alyp barýan bir nokat bar. Bu nokada ***jisimiň massa merkezi*** diýilip düşünilýär.

$$\upsilon = \omega R. \qquad (1.7.1)$$

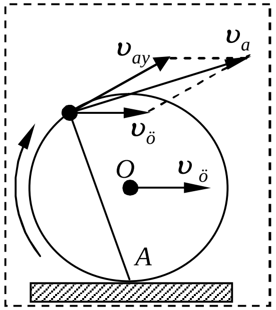
Bu ýerde R gaty jisimiň aýlanma hereketini häsiýetlendirýän nokadyň aýlanma radiusy, ýagny jisimiň seredilýän bölejiginiň aýlanma okdan uzaklygy. υ çyzyk tizliginiň ugry bu aýlanma halka geçirilen galtaşmanyň ugruna ugrukdyrylandyr. Gaty jisimiň şol bir ululykdaky burç tizligi bolan dürli nokadynyň çyzyk tizligi özara deň däldir.

Aýlanma hereketdäki gaty jisimiň dürli nokatlary $(1.1.30')$ we $(1.1.31')$ aňlatmalar bilen kesgitlenilýän degişlilikde normal we tangensial tizlenmä eýedirler:

$$a_n = \omega^2 R, \quad a_t = \varepsilon R. \qquad (1.7.2)$$

Diýmek, gaty jisimiň aýlanma hereketinde nokadyň şol bir radiusynda çyzyk tizligi burç tizligine (1.7.1), normal tizlenmesi bolsa, burç tizliginiň kwadratyna baglydyr. Tangensial tizlenme bolsa, burç tizlenmä (1.7.2) baglydyr.

- **Gaty jisimiň tekizparallel hereketi.** *Gaty jisimiň **tekizparallel** (ýa-da **ýöne tekiz**) **hereketi** diýip, hemme nokadynyň hereketi elmydama şol bir tekizlikde bolup geçýän jisimiň hereketine aýdylýar.* Jisimiň hereket edýän hemme nokatlarynyň tekizlikleri özara paralleldirler. Tekizligiň üstündäki silindriň yranmasy, göni demir ýol boýunça tigriň hereketi tekizparallel hereketiň mysalydyr. Ýer bilen baglanyşykly hasaplaýyş sistemaynda silindriň ýa-da tigriň hereketi tekizparalleldir, emma tigriň (ýa-da silindriň) oky bilen baglanyşykly hasaplaýyş sistemaynda bolsa , ol aýlanma hereketdedir. Diýmek, tigriň islendik nokadynyň Ýer bilen baglanyşykly sistemaa görä absolýut hereketi tizlikleriň goşulyş

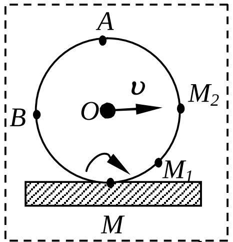


1.7. 3-nji çyzgy. *Gaty jisimiň tekizparallel hereketi*

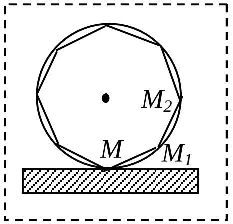
kanunyna görä gaty jisimiň aýlanma hereketiniň $\upsilon_{çyz}$ çyzyk we öňe $\upsilon_{öňe}$ bolan hereketiniň tizlikleriniň wektor jemine deňdir (1.7.3-nji çygy) .

$$\upsilon_a = \upsilon_{çyz} + \upsilon_{öňe}. \qquad (1.7.3)$$

Goý, inçe disk tekizlik boýunça typýan bolsun (1.7.4-nji çyzgy). Bu diskiň halkasyny islendik köp taraply dogry köpburçlyk ýaly seredip bolar. Şonuň üçin (1.7.4-nji) çyzgyny hyýalymyzda (1.7.5-nji) çyzgyda görkezilen köpburçlyk bilen



1.7. 4-nji çyzgy. *Ýuka diskiň tekizlikde yranmasy*



1.7. 5-nji çyzgy. *Ýuka köpburçly jisimiň tekizlikde yranmasy*

çalşyralyň. Bu köpburçlygyň hereketi uly bolmadyk köp sanly aýlawdan durýar.Ýagny başda ol M_1 nokadyň, soňra bolsa M_2, M_3 ,M_4, we ş.m. nokatlaryň töwereginde yzygider hereketiň jemine deňdir. Diýmek, wagtyň her bir pursatynda disk özüniň aşaky M nokadynyň töwereginde aýlanýar. Bu nokada diskiň ***aýlanmasynyň pursatlaýyn merkezi*** diýilýär. Eger disk tekizlik boýunça yranýan bolsa, onda diskiň ***aýlanmasynyň pursatlaýyn merkezine derek*** onuň ***aýlanmasynyň pursatlaýyn oky*** hakynda gürrüň etmeli. Bu ok bolup, islendik wagt pursatynda diskiň tekizlige galtaşýan çyzygy hyzmat eder.

Aýlanmagyň pursatlaýyn merkezi (purasatlaýyn oky) düşünjeleriň girizilmegi köp meseleleriň çözgüdini ýeňilleşdirýär. Mysal üçin, diskiň aýlanma merkeziniň tizliginiň υ deňdigini hasaba alyp, A nokadyň (1.7.4-nji çyzgy) tizligini aňsat tapyp bolýar. Dogrudan hem, disk aýlanmagyň M pursatlaýyn merkeziniň daşynda aýlanýandygy üçin A nokadyň aýlanma radiusy MA deň, O nokadyň bolsa aýlanma oky OM –e deň. Bu ýerde $MA=2OM$, onda

$$\upsilon_A = 2\upsilon_O = 2\upsilon\ . \qquad (1.7.4)$$

Edil şonuň ýaly diskiň islendik nokadynyň tizligini kesgitläp bolar.

1.7.2. Aýlanma hereket edýän gaty jisimiň massa merkezi

Gaty jisimiň hereketleriniň kanunlaryny material nokadyň dinamikasynyň üsti bilen düşündirmek örän çylşyrymly meseledir. Biz gaty jisimiň dinamikasyny öwrenmek üçin başda onuň has ýönekeý öňe bolan hereketi bilen tanyşalyň. Onuň üçin, gaty jisimiň dinamikasyny häsiýetlendirýän has wajyp ***massa merkezi*** düşünjesini girizeliň.

1. Gaty jisimiň massa merkezi. Gorizonta burç bilen zyňylan, diametri hemişelik bolan silindr görnüşli (bitewi) taýagyň hereketine gözegçilik edilse, onuň merkezindäki nokadyň kiçijik ölçegdäki zyňylan daşyň hereketine kybapdaş wertikal tekizlikde ýatan parabola ýaly endigan çyzyk boýunça hereket edýändigini görüp bolar. Taýagyň özi bolsa, ýere

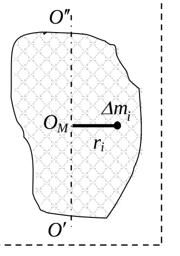
$$Mdt = dL\,, \qquad (1.7.16)$$

görnüşe getirip bolar.

Material nokadyň töwerek boýunça hereketiniň dinamikasyny düşündirmek üçin biz täze düşünjeler bolan: inersiýa momentini, impulsyň momentini girizdik we Nýutonyň ikinji kanunyny täze görnüşde $(M = J\varepsilon)$ ýazdyk. Bu görnüş gaty jisimiň aýlanma hereketiniň dinamikasyny düşündirmekligi has aňsatlaşdyrýar.

1.7.4 Gaty jisimiň aýlanma hereketiniň dinamikasynyň esasy deňlemesi

1.Hereketiň deňlemesi. Gaty jisimiň aýlanma hereketiniň dinamikasynyň esasy deňlemesini getirip çykarmak üçin ony tükeniksiz köp kiçi böleklere bölmeli we her bir bölegi Δm_i massaly material nokat hökmünde kabul etmeli (1.7.10-njy çyzgy). Kiçi bölekleriň her birisine (1.7.16-njy) deňligi ýazmaly we olaryň degişli agzalaryny goşup jemlemeli. Bu halda aýry-aýry bölekleriň arasyndaky özara täsir güýçleri jisimiň hereketiniň deňlemesine girmez. Sebäbi, Nýutonyň üçünji kanunyna laýyklykda deňlemä girýän güýçleriň momentleriniň jemi nola deň bolar. Ýagny, bu güýçleriň modullary özara deňdir we bir göni boýunça garşylykly tarapa ugrugandyrlar. Gaty jisimiň aýlanma hereketinde onuň birmeňzeş burç tizlikli we tizlenmeli dürli nokatlarynyň burmeňzeş burça orun üýtgedýändiklerini hasaba



1.7.10-njy çyzgy. *Tükeniksiz köp elementar bölejiklere bölünen gaty jisim* alyp, onuň hereketiniň deňlemesini alyp bolar. Biz material nokadyň aýlanma hereketi üçin agzalan deňlemäni öň (1.7.1~~3~~4) görnüşde alypdyk. Indi biz bu deňlemäni gaty jisimiň hemme nokatlary boýunça jemläp ýazyp bileris:

$$M_{g.j.} = \sum_{i=1}^{N} \Delta M_i = \sum_{i=1}^{N} \frac{d\left(J_i \omega\right)}{dt} \quad . \qquad (1.7.18\cancel{7})$$

Bu ýerde $M_{g.j.}$ – gaty jisime täsir edýän hemme daşky güýçleriň momenti, ΔM_i - gaty jisimiň kiçi bölegine täsir edýän daşky güýjüň momenti we J_i – gaty jisimiň kiçi böleginiň inersiýa momenti.

Ýokardaky (1.7.18~~7~~-nji) deňlige görä ***gaty jisimiň impulsynyň momentinden wagt boýunça alnan önüm oňa täsir edýän daşky güýçleriň momentleriniň jemine deňdir***.

Ýa-da bu (1.7.18~~7~~) aňlatmany şu görnüşde ýazyp bolar:

$$M_{g.j.} = J\frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon \quad . \qquad \left(1.7.18'\right)$$

Bu ýerde ε jisimiň aýlanma hereketiniň burç tizlenmesi. Ýokardaky ~~(1.7.17′)~~ $\left(1.7.18'\right)$ deňlikden alarys:

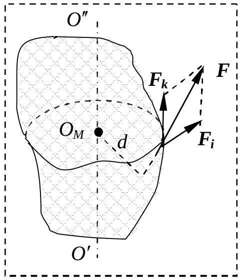
$$\varepsilon = \frac{M_{g.j.}}{J} \quad . \qquad (1.7.19\cancel{8})$$

Bu deňligi wektor görnüşde ýazyp bolar:

$$\boldsymbol{\varepsilon} = \frac{\boldsymbol{M}_{g.j.}}{\boldsymbol{J}} \qquad \left(1.7.19'\right)$$

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Bu (1.7.18~~7~~) - ~~(1.7.18′)~~ $(1.7.19')$ deňlikler aýlanma hereket edýän gaty jisimiň dinamikasynyň esasy deňlemeleridir.



1.7.11-nji çyzgy. *Gaty jisime täsir edýän aýlandyryjy güýç*

Gaty jisimiň $O'O''$ okuň daşynda aýlanma hereket etmegine diňe aýlanma okuň ýatan tekizligine perpendikulýar ugrukdyrylan $\boldsymbol{F}_i$ güýç mejbur edýär (1.7.11-nji çyzgy). Aýlanma oka parallel ugrukdyrylan $\boldsymbol{F}_k$ güýç bolsa, kinematikadan belli bol~~u~~şy ýaly, diňe özüniň ugry boýunça jisimiň ornuny üýtgetmäge ukyplydyr. Her bir $\boldsymbol{F}_i$ güýjüň momenti (1.5.9-njy) aňlatma laýyklykda

$$M = F_i d . \qquad (1.7.~~19~~20)$$

2. Gaty jisimiň inersiýa momenti. Biz (1.7.18~~7~~-nji) deňlikdäki ýaly çemeleşip, gaty jisimiň inersiýa momentini onuň kiçi böleginiň ΔJ_i inersiýa momentiniň jemi hökmünde (1.7.11~~0~~-nji~~y~~) deňligi hasaba alyp aňladalyň:

$$J = \sum_{i=1}^{N} \Delta J_i = \sum_{i=1}^{N} \Delta m_i r_i^2 . \qquad (1.7.21~~0~~)$$

Bu ýerde r_i – (1.7.10~~0~~-njy~~y~~ çyzgydaky) bellige laýyk bolup, ol aýlanma okundan Δm_i massaly kiçi bölege çenli iň ýakyn uzaklyk (köplenç $r_i \neq d$).

Отформатировано: Цвет шрифта: Синий

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

Ýokardaky (1.7.2~~0~~1 – nji) deňlik ***gaty jisimiň inersiýa momentiniň*** *aňlatmasydyr*. Bu deňlikden görnüşi ýaly, inersiýa momenti diňe bir jisimiň massasyna bagly bolman, ol bu massanyň paýlanşyna-da baglydyr. Ýagny, jisim özüniň aýlanma okunyň boýuna näçe süýnmek bolsa, onuň inersiýa momenti şonça-da kiçidir. Bu halda jisimiň elementar massasynyň aýlanma okdan r_i uzaklygy kiçi bolýar. Aýlanma okuna görä gaty jisimleriň inersiýa momenti hemişelik ululykdyr. Şonuň üçin jisimiň impulsynyň momentiniň üýtgemegi onuň burç tizliginiň üýtgemeginiň hasabyna bolup geçýär. Muňa laýyklykda (1.7.18~~7~~-nji) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazyp bolar:

$$M_{g.j.} = J\frac{d\omega}{dt}. \qquad (1.7.2\cancel{1}2)$$

Bu deňlige görä ***gaty jisimiň aýlanma okuna görä goýlan hemme daşky güýçleriň jeminiň momenti*** (***aýlanma okuna görä***) ***onuň inersiýa momentiniň burç tizlenmesine köpeldilmgine deňdir*** .

Bu (1.7.22~~1~~-nji) deňligi öňe hereket edýän jisimiň hereketiniň (1.2.3-nji) deňlemesi bolan Nýutonyň ikinji kanuny bilen deňeşdirilende jisimiň massasynyň ornuny aýlanma hereketdäki onuň inersiýa momentiniň, çyzyk tizlenmesiniň ornuny bolsa, aýlanma hereketdäki jisimiň burç tizlenmesiniň tutýandygy görünýär. Şeýlelikde (1.7.22~~1~~-nji) *deňlik, edil* (1.7.18~~7~~-nji) *deňlik ýaly aýlanma hereket edýän gaty jisimiň dinamikasynyň esasy deňlemesiniň bir görnüşidir*.

Aşakdaky 1.7.1-nji ~~.~~ tablis~~s~~ada dürli geometrik ~~görnüşli~~ jisimleriň aýlanma oklaryna görä inersiýa momentlerini hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmalar getirilen.

Отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Шрифт: не курсив

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

~~tertipsizligine seretmezden, olaryň tizlikler boýunça paýlanyşy kesgitli kanunalaykly häsiýete eýedir (Maksweliň paýlanyşy); 2) gazyň molekulalarynyň arasynda örän çalt, şeýle de örän haýal hereket edýänleri bolýar, ýöne molekulalaryň köpüsi käbir ähtimal tizlik tibiilen hereket edýärler; 3) tizlikler boýunça molekulalaryň paýlanyşy temperatura baglydyr. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen paýlanyşyň egrisiniň maksimumy uly temperaturalar tarapa süýşýärler (..~~ 2.1.1′ ~~-nji çyzga seret).~~

~~Diffuziýa - araçäkleşýän jisimleriň molekulalarynyň biri-biriniň molekula aralygyna aralaşmak hadysasydyr. (Ýarymsyzyjylykly ýorkalarda bolup geçýän diffuzuýa osmos diýilip atlandyrylýar).~~

Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0 см + 0,63 см + 1,59 см

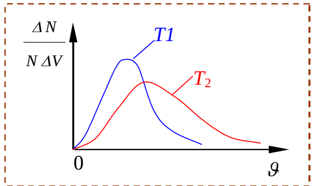
Отформатировано: Шрифт: 10 пт

~~Smoluhowskiý (1872-1917) işläp düzdüler. Fransuz fizigi Ž. Perreniň (1870-1942) broun hereketini öwrenmek boýunça 1908-1911-nji ýyllarda geçiren tejribeleri bu nazaryýeti tassyklady we molekulalaryň bardygyny gutarnykly subut etdi. Perren broun hereketiniň mollekulalaryň ýylylyk hereketiniň netijesidigini görkezdi.~~

~~Broun hereketini gazda hem gözegçilik etmek bolýar. Bu hereketi howadaky tozanyň ýa-da tüssäniň bölejikleri ýerine ýetirýärler.~~

~~Broun bölejikleriniň diametri ortaça 0,0001 mm, onuň iň uly diametri bolsa 0,005 mm ýetip biler.~~

~~Molekulalaryň öňe bolan hereketiniň tizligini 1920-nji ýylda nemes fizigi Otto Ştern (1888-1969) tejribede kesgitledi. Şterniň tejribesi dürli temperaturalarda geçirirldi. Şonda temperaturanyň ýokarlanmagy bilen molekulalaryň hereketiniň tizliginiň hem ulalýandygy ýüze çykaryldy.~~



2.1.1′ - nji çyzgy. *Molekuklalaryň tizlikleri boýunça paýlanylyşy* $T_2 \rangle T_1$.

~~Tizlikler boýunça molekulalaryň paýlanyşyny ilkinji gezek 1859-njy ýylda iňlis fizigi Jeýms Makswel (1831-1879) nazary taýdan kesgitledi. Onuň grafiki şekili ...-nji çyzgyda görkezilen. Absissa oky boýunça molekulalaryň tizligi~~ ϑ_x ~~ordinata oky boýunça bolsa molekulalaryň tizlikler boýunça paýlanylşy~~ $\Delta N / (N \Delta\vartheta)$ ~~goýlan. Bu ýerde: n – molekulalaryň umumy sany; Δn –~~ ϑ ~~dan~~ $\vartheta + \Delta\vartheta$ ~~aralykda tizligi bolan molekulalaryň sany.~~

~~Şterniň geçiren tejribelelerinden we Makswelň nazary işlerinden şu netijeler geilp çykar: 1) molekulalaryň hereketiniň~~

Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 1,16 см

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

1.7.1. Tablissa

T/b	Jisimleriň ady	Inersiýa momentiniň aňlatmasy
1	Material nokat	$J_i = \Delta m_i r_i^2$
2	Bütewi gaty jisim	$J = \int\limits_{\substack{massa \\ boýunça}} r^2 dm$
3	Inçe birhilli steržen	$J = \frac{1}{12} ml^2$
4	Bütewi birhilli silindr	$J = \frac{1}{2} m\left(r^2 + R^2\right)$
5	Inçe halka	$J = mR^2$
6	Birhilli disk	$J = \frac{1}{2} mR^2$
7	Birhilli şar	$J = \frac{2}{5} mR^2$
8	Göni burçly parallelopiped (esasynyň meýdanyna perpendikulýar oka görä)	$J = \frac{1}{12} m\left(a^2 + b^2\right)$

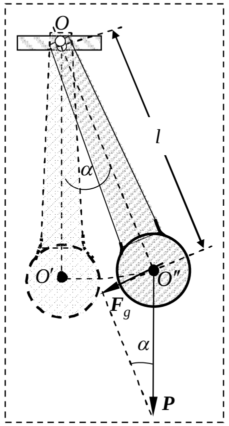
1.7.5 Fiziki maýatnik

Отформатировано: Цвет шрифта: Синий

Fiziki maýatnik diýip, massa merkezinden geçmeýän butnawsyz okuyň daşynda yrgyldyly hereket edýän gaty jisime aýdylýar. Goý, fiziki maýatnik çyzgynyň tekizligine perpendikulýar ugrugan üýtgewsiz O oka dakylgy we durnukly deňagramlylyk halynda OO' wertikal çyzyk boýunça erkin halda

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

bosun (1.7.15-nji çyzgy) . Indi maýatnigi durnukly deňagramlylyk halyndan takmyn $\alpha = 9^0$ burça (takmyn 0,5 radian) , ýagny OO'' ugra gyşardyp, öz erkine goýbereliň. Bu halda fiziki maýatnige $\boldsymbol{F}_g$ gaýtaryjy güýç täsir eder we ol O okuň töwereginde garmoniki yrgyldyly herekete geler. Gaýtaryjy $\boldsymbol{F}_g$ güýjüň döredýän momenti:



1.7.15-nji çyzgy. *Fiziki maýatnik*

$$M = F_g l \ .$$

Gaýtaryjy guýji maýatnigiň P agyrlyk güýjüniň üsti bilen aňladalyň:

$$F_g = P \sin\alpha .$$

Kiçi burçlar üçin $\sin\alpha \approx \alpha \approx tg\alpha$ we $P{=}mg$ hasaba alyp, fiziki maýatnige täsir edýän gaýtaryjy güýjüň momentini aşakdaky ýaly ýazyp bolar

$$M = -mg \cdot \alpha \cdot l \ . \qquad (1.7.23~~2~~)$$

Bu deňlikdäki minus alamaty gaýtaryjy güýjüň deňagarmlylyk hala ugrukdyrylandygy üçin goýuldy. Bu deňligi (1.7.2~~1~~2-nji) aňlatmany hasaba alyp, şu görnüşe getirip bolar:

$$M = J\frac{d\omega}{dt} = J\frac{d^2\alpha}{dt^2} = J\alpha'' = -mg\alpha l \ . \qquad (1.7.2~~3~~4)$$

Отформатиро

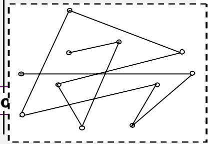
~~Molekulýar kinetik nazaryýetiň ýerliklidigini tassyklaýan köp sanly tejribeler bar. Olaryň birnäçelerini agzap geçeliň.~~

~~Atomlaryň we molekulalaryň barlygynyň ilkinji subudy 1803-nji ýylda iňlis himigi we fizigi Jon Dalton (1766-1844) tarapyndan alyndy. Ol hemişelik gatnaşyklaryň kanunyny düşündirdi. Daltonyň kanunyna görä islendik himiki element emele gelende täsirleşýän maddalaryň massalary takyk kesgitli gatnaşyklarda bolýar. Bu gatnaşyk hiç bir şertlerde üýtgemeýär.~~

Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0,95 см

~~1827-nji ýylda iňlis botanigi Robert Broun (1773-1858) gül tozanjygynyň owunjak bölejikleriniň suwdaky tertipsiz we üznüksiz hereketde bolýandyklaryny mikroskopda görüpdir. Bu hadysa broun hereketi diýlip atlandyrylypdyr. Bölejikleriň broun hereketi boýunça alymlaryň geçiren köp sanly tejribeleriniň esasynda bu hereketiň tizliginiň suwuklygyň temperaturasyna göni baglydygy we onuň dürli suwuklyklar üçin şol bir temperaturada da dürlidigi anyklanypdyr. Eýýäm XIX asyryň aýaklarynda broun bölejiklerine suwuklygyň molekulalary dyngysyz urulmagy zerarly olar tertipsiz hereket edýändirler diýilip çaklanylan. Suwuklygyň içine broun bölejigi atlandyrylýan eremeýji häsiýetli kiçijik bölejik girizilip, onuň hereketine gözegçilik edilende suwuklygyň molekulalary dyngysyz hereket edip, bu bölejige dürli tarapdan urulýarlar we bölejik deňtäsirediji güýjüň ugruna az wagtlaýyn hereket edýär. Molekulalaryň tertipsiz hereketde bolmagy sebäpli suwuklyga girizilen broun bölejigine suwuklygyň molekulalary tarapyndan edilýän täsir güýçleriň netijeleýji ugry hem dürli pursatda birmeňzeş bolanok. Broun bolejiginiň hereketiniň kesgitli wagt aralygyndaky traýektoriýasyny yzygider belläp, olary göni çyzyklar bilen birikdirip alnan broun hereketiniň şekili (2.1.1-nji) çyzgyda görkezilen.~~

Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0 см + 0,63 см + 1,59 см


2.1.1-nji çyzgy. *Broun hereketiniň şekili*

~~Broun hereketiniň mukdar nazaryňetini 1905-1906-nji ýyllarda A. Eýnşteýn (1879-1955) we polýak alymy M.~~

Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

~~Hemme jisimler aýry-aýry bölek gurluşa eýedirler. Jisimler biri-birinden kesgitli daşlykda ýerleşen iň kiçi bölejik bolan atomlardan we molekulalardan ybaratdyrlar. Islendik maddanyň owunjak bölünmeýän bölejiklerden – atomlardan durýandygy hakyndaky çaklamany 2500 ýyl töweregi mundan ozal gadymy grek filosoflary Lewkip we Demokrit aýdypdyrlar.~~

~~Atom himiki elementiň häsiýetlerini özünde saklaýan iň kiçi bölejigidir. Atom položitel zarýadly ýadrodan we ýadronyň elektrik meýdanynda hereket edýän otrisatel zarýadly elekrtonlardan durýar. Ýadronyň elektrik zarýady atomyň hemme elektronlarynyň jemleýji zarýadynyň absolýut ululygyna deňdir. Şonuň üçin atom adaty halda elektik taýdan bitarapdyr.~~

~~Molekula maddanyň hemme himiki häsiýetlerine eýe bolan iň kiçi bölejigidir. Ol bir ýa-da birnäçe birmeňzeş ýa-da dürli himiki elementleriň atomlaryndan durýar. Mysal üçin H_2, NO, CO_2, NH_3. Molekula hem atom ýaly elektrik taýdan bitarapdyr. Atomlar daşky (walent) elektronlaryň dürli özara täsirlerine esaslanan himiki baglanyşyklaryň hasabyna molukulalary emele getirýärler.~~

~~Molekulýar- kinetik nazaryýet şu başlangyç ýagdaýlara esaslanýar:~~

~~1) hemme jisimler bölejiklerden (molekulalardan, atomlardan we ionlaradan) durýarlar;~~

~~2) bu bölejikler üznüksiz tertipsiz (haotik) hereketde bolýarlar;~~

~~3) bölejikler biri-biri bilen çekişme we itekleşme güýçleri arkaly özara täsirleşýärler.~~

~~Bu ýagdaýlar diffuziýa, broun hereketi, suwuklyklaryň we gaty jisimleriň gurlyşynyň we häsiýetleriniň aýratynlyklary, şeýle-de sada bölejikleriň fizikasyndaky barlaglar bilen tassyklanýarlar.~~

~~**2.**Molekulýar –kinetik nazaryýeti tassyklaýan tejribeler~~

Bu ýerden alarys:

$$\alpha'' + \frac{mgl}{J}\alpha = 0 \;. \qquad (1.7.25\text{~~4~~})$$

Alnan deňlik kitabyň 4-nji babynda getirilen (1.4.11-nji) erkin yrgyldynyň deňlemesidir. Bu deňlikleriň deňeşdirmesinden ýazyp bileris:

$$\omega_0^2 = \frac{mgl}{J} \;. \qquad (1.7.26\text{~~5~~})$$

Ýa-da (1.4.13) deňligiň esasynda (1.7.26~~5~~-nji~~y~~) deňligi şu görnüşde aňladyp bolar:

$$\omega_0^2 = \frac{4\pi^2}{T^2} = \frac{mgl}{J} \;. \qquad (1.7.27\text{~~6~~})$$

Bu ýerden bolsa fiziki maýatnigiň erkin yrgyldysynyň periodyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän aňlatmany alarys:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{L_g}{g}} \;. \qquad (1.7.28\text{~~7~~})$$

Fizikada $\dfrac{J}{ml} = L_g$ ululyga fiziki maýatnigiň getirilen uzynlygy diýilýär.

Biz (1.7.11~~0~~-nji~~y~~) deňlikdäki $R=l$ kabul edip, $J=ml^2$ aňlatmany ulanyp (1.7.28~~7~~-nji) deňligi şu görnüşe getirip bolar:

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{J}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{ml^2}{mgl}} = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}} \quad . \qquad (1.7.2\cancel{8}9)$$

Bu deňliklerden görnüşi ýaly, fiziki maýatnigiň periodynyň aňlatmasyndan matematiki maýatnigiň periodynyň aňlatmasyna~~yň~~ deňdigi getirilip çykaryldy.

Bu (1.7.28~~7~~) we (1.7.29~~8~~) deňlikden görnüşi ýaly, matematiki we fiziki maýatnikleriň periodyny kesgitläp, erkin gaçmanyň tizlenmesini hasaplap bolýar.

Umuman, maýatnikler wagty kesgitlemeklige niýetlenilendirler.

1.7.6. Aýlanma hereket edýän jisimiň kinetik energiýasy

Kitabyň 1.3.~~-nji~~ babynda öňe hereket edýäň material nokadyň kinetik energiýasyna seredip,

$$W_k = \frac{m\upsilon^2}{2}$$

aňlatmany getirip çykarypdyk. Gaty jisimiň örän köp material nokatlardan ybarat bolany üçin, bir material nokadyň kinetik energiýasyny gaty jisimiň hemme nokatlary boýunça jemläp, hereketiň çyzyk tizligini jisimiň aýlaw hereketiniň burç tizliginiň üsti bilen aňladyp tapyp bolar:

$$W_k = \sum_{i=1}^{N}\frac{m_i\upsilon_i^2}{2} = \sum_{i=1}^{N}\frac{m_i\omega^2 r_i^2}{2} = \frac{\omega^2}{2}\sum_{i=1}^{N}m_i r_i^2 = \frac{J\omega^2}{2} . \qquad (1.7.\cancel{29}30)$$

Отформатировано: Цвет шрифта: Синий

Отформатировано: Шрифт: 12 пт, полужирный, албанский, ниже на 14 пт

Отформатировано: Шрифт: 10 пт

boýunça bolsa molekulalaryň tizlikler boýunça paýlanylyşy $\frac{\Delta N}{N\Delta\upsilon}$ goýlan. Bu ýerde N molekulalaryň umumy sany; ΔN υ-dan $\upsilon + \Delta\upsilon$ aralykda tizligi bolan molekulalaryň sany.

Şterniň geçiren tejribelerinden we Makswelliň nazaryişlerinden şu netijeler gelip çykar: 1) molekulalaryň hereketiniň tertipsizligine seretmezden, olaryň tizlikler boýunça paýlanyşy kesgitli kanunalaýykly häsiýete eýedir (Makswelliň paýlanyşy); 2) gazyň molekulalarynyň arasynda örän çalt, şeýle-de örän haýal hereket edýänleri bolýar, ýöne molekulalaryň köpüsi käbir ähtimal tizlik bilen hereket edýärler; 3) tizlikler boýunça molekulalaryň paýlanyşy temperatura baglydyr. ~~II BÖLÜM~~

~~MOLEKULÝAR FIZIKA WE TERMODINAMIKA~~

~~Maddalaryň gurluşlaryny we häsiýetlerini olary düzýän bölejikleriň hereketi we özara täsiri bilen düşündirýän nazaryýete molekulýar-kinetik nazaryýet diýilýär. Bu nazaryýetiň esasy XIX asyryň ikinji ýarymynda döredildi.~~

~~BAP 2.1.~~

~~Molekulýar -kinetik nazaryýetiň esaslary.~~

~~Ideal gazyň kanunlary~~

~~2.1.1. Molekulýar kinetik nazaryýeti tassyklaýan esasy tejribeler~~

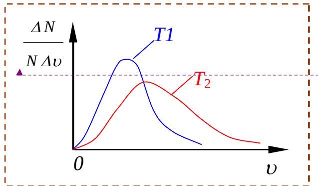
~~1.Molekulýar-kinetik nazaryýetiň esaslary~~

Отформатировано: Шрифт: 12 пт, чешский, ниже на 12 пт
Отформатировано: По ширине
Отформатировано: Шрифт: 10 пт, не полужирный, не курсив, Цвет шрифта: Черный
Отформатировано: Шрифт: 10 пт, Цвет шрифта: Черный
Отформатировано: По ширине, Поз.табуляции: нет в 8,39 см
Отформатировано: Шрифт: 10 пт, не полужирный, Цвет шрифта: Черный
Отформатировано: Шрифт: 10 пт, не полужирный, Цвет шрифта: Черный, чешский
Отформатировано: Шрифт: 10 пт, не полужирный, Цвет шрифта: Черный
Отформатировано: Шрифт: не полужирный, Цвет шрифта: Черный
Отформатировано: Цвет шрифта: Лиловый, чешский
Отформатировано: Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0,95 см
Отформатировано ... [1]
Отформатировано ... [2]
Отформатировано ... [3]
Отформатировано ... [4]
Отформатировано ... [5]
Отформатировано ... [6]
Отформатировано ... [7]
Отформатировано ... [8]
Формат: Список
Отформатировано: Шрифт: 10 пт

molekulalary tarapyndan edilýän täsir güýçleriň netijeleýji ugry hem dürli pursatda birmeňzeş bolanok. Broun bölejiginiň hereketiniň kesgitli wagt aralygyndaky traýektoriýasyny yzygider belläp, olary göni çyzyklar bilen birikdirip alnan broun hereketiniň şekili (2.1.1-nji) çyzgyda görkezilen.

Broun hereketiniň mukdar nazaryýetini 1905-1906-njy ýyllarda A. Eýnşteýn (1879-1955) we polýak alymy M. Smoluhowskiý (1872-1917) işläp düzdüler. Fransuz fizigi Ž. Perreniň (1870-1942) broun hereketini öwrenmek boýunça 1908-1911-nji ýyllarda geçiren tejribeleri bu nazaryýeti tassyklady we molekulalaryň bardygyny gutarnykly subut etdi. Perren broun hereketiniň mollekulalaryň ýylylyk hereketiniň netijesidigini görkezdi. Broun hereketini gazda hem gözegçilik etmek bolýar. Bu hereketi howadaky tozanyň ýa-da tüssäniň bölejikleri ýerine ýetirýärler. Broun bölejikleriniň diametri ortaça 0,0001 *mm*, onuň iň uly diametri bolsa 0,005 *mm* ýetip biler.

Molekulalaryň öňe bolan hereketiniň tizligini 1920-nji ýylda nemes fizigi Otto Ştern (1888-1969) tejribede kesgitledi. Şterniň tejribesi dürli temperaturalarda geçirildi. Şonda temperaturanyň ýokarlanmagy bilen molekulalaryň hereketiniň tizliginiň hem ulalýandygy ýüze çykaryldy.



2.1.1′ - nji çyzgy. *Molekuklalaryň tizlikleri boýunça paýlanylyşy* $T_2 \rangle T_1$.

Tizlikler boýunça molekulalaryň paýlanyşyny ilkinji gezek 1859-njy ýylda iňlis fizigi Jeýms Makswell (1831-1879) nazary taýdan kesgitledi. Onuň grafiki şekili $2.1.1' -$ nji çyzgyda görkezilen. Absissa oky boýunça molekulalaryň tizligi ϑ_x ordinata oky

Bu deňligi differensirläp, gaty jisimiň aýlanma hereketinde onuň kinetik energiýasynyň üýtgeýşini aňladýan deňligi alarys:

$$dW_k = J\omega d\omega. \qquad (1.7.3\cancel{0}1)$$

1.7.7. Impulsyň momentiniň saklanma kanuny

Ýokarda impulsyň we energiýanyň saklanma kanunlaryna has aýdyň seredildi (1.3~~-nj~~.i bapda). Bu bölümçede bolsa şol düşünjelere esaslanyp, impulsyň momentiniň saklanma kanuny umumy görnüşde öwreniliň~~ýär~~.

Ýokarda bellenilişi ýaly, gaty jisimiň üýtgewsiz okuň daşynda yrgyldyly hereketinde bu oka görä daşky güýçleriň momenti nola deňdir. Onda (1.7.15~~6~~-njy~~i~~) aňlatma laýyklykda impulsyň momentinden wagt boýunça alnan önüm hem nola deňdir:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{d(J\omega)}{dt} = 0 \ . \qquad (1.7.32\cancel{1})$$

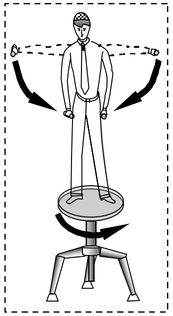
Bu ýerde *dL*-impulsyň momenti (1.7.17~~6~~-nji aňlatma laýyklykda $dL = Mdt$).

Eger, jisime täsir edýän hemme daşky güýçleriň momenti n~~u~~ola deň bolsa, ***butnawsyz oka görä yrgyldyly hereket edýän jisimiň impulsynyň momenti hemişelik galar :***

$$L = hemi\c{s}elik \ \text{ýa-da} \ J\omega = hemi\c{s}elik. \qquad (1.7.3\cancel{2}3)$$

Yrgyldyly hereket edýän gaty jisimiň kesgitli üýtgewsiz oka görä *J* inersiýa momenti hemişelik bolsa, onda onuň kesgitli okuň töweregindäki aýlanma hereketiniň burç tizligi hem üýtgewsizdir. Ýokarda getirilen (1.7.33-nji) deňlik ***impulsyň momentiniň saklanma kanunynyň aňlatmasydyr.*** Bu kanunyň ulanylyşynyň amatly mysaly hökmünde sistemaýň umumy okuň töweregindäki aýlanma hereketini getirip bolar. Bu halda impulsyň momentiniň we burç tizliginiň köpeltmek hasyllary wektor häsiýetlidir.

Goý, seredilýän sistema N sany jisimden ybarat bolup, olaryň hemmesi bir umumy okuň daşynda aýlanýan bolsun. Bu halatda sistemaýň impulsynyň saklanma kanunyny aşakdaky görnüşde aňladyp bolar:



1. 7.16-njy çyzgy. *Jukowskiýniň aýlanýan oturgyjynda maşk edýän oglan*

$$L = \sum_{i=1}^{N} J_i \omega_i \ . \qquad (1.7.34)$$

Gaty jisimiň hemme nokatlarynyň burç tizliginiň birmeňzeşdigini göz öňünde tutup, (1.7.34) deňligi şu görnüşde aňladyp bolar:

$$L = \omega \sum_{i=1}^{N} J_i = J\omega \ . \qquad (1.7.35)$$

Bu ýerde J aýlanma oka görä jisimiň inersiýa momenti. Bu deňligi wektor görnüşinde

$$\boldsymbol{L} = J\boldsymbol{\omega} \qquad (1.7.35')$$

aňladyp bolar.

Impulsyň momentiniň saklanma kanunynyň iş ýüzünde duşýan mysallarynyň biri hem Jukowskiniň oturgyjy

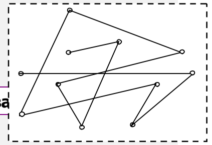
Bu ýagdaýlar diffuziýa, broun hereketi, suwuklyklaryň we gaty jisimleriň gurluşynyň we häsiýetleriniň aýratynlyklary, şeýle-de sada bölejikleriň fizikasyndaky barlaglar bilen tassyklanýarlar.

2. Molekulýar –kinetik nazaryýeti tassyklaýan tejribeler

Molekulýar-kinetik nazaryýetiň ýerliklidigini tassyklaýan köp sanly tejribeler bar. Olaryň birnäçelerini agzap geçeliň.

Atomlaryň we molekulalaryň barlygynyň ilkinji subudy 1803-nji ýylda iňlis himigi we fizigi Jon Dalton (1766-1844) tarapyndan alyndy. Ol hemişelik gatnaşyklaryň kanunyny düşündirdi. Daltonyň kanunyna görä islendik himiki element emele gelende täsirleşýän maddalaryň massalary takyk kesgitli gatnaşyklarda bolýar. Bu gatnaşyk hiç bir şertlerde üýtgemeýär.

1827-nji ýylda iňlis botanigi Robert Broun (1773-1858) gül tozanjygynyň ownujak bölejikleriniň suwdaky tertipsiz we üznüksiz hereketde bolýandyklaryny mikroskopda görüpdir. Bu hadysa ***broun hereketi*** diýlip atlandyrylypdyr. Bölejikleriň broun hereketi boýunça alymlaryň geçiren köp sanly tejribeleriniň esasynda bu hereketiň tizliginiň suwuklygyň temperaturasyna göni baglydygy we onuň dürli suwuklyklar üçin şol bir temperaturada-da dürlidigi anyklanypdyr. Eýýäm XIX asyryň aýaklarynda broun bölejiklerine suwuklygyň molekulalary dyngysyz urulmagy zerarly olar tertipsiz hereket edýändirler diýilip çaklanylan. Suwuklygyň içine broun bölejigi atlandyrylýan eremeýji häsiýetli kiçijik bölejik girizilip, onuň hereketine gözegçilik edilende suwuklygyň molekulalary dyngysyz hereket edip, bu bölejige dürli tarapdan urulýarlar we bölejik deňtäsirediji güýjüň ugruna az wagtlaýyn hereket edýär. Molekulalaryň tertipsiz hereketde bolmagy sebäpli suwuklyga girizilen broun bölejigine suwuklygyň



2.1.1-nji çyzgy. *Broun hereketiniň şekili*

2.1.1. Molekulýar –kinetik nazaryýeti tassyklaýan esasy tejribeler

1. Molekulýar-kinetik nazaryýetiň esaslary

Hemme jisimler aýry-aýry bölejiklerden ybarat gurluşa eýedirler. Jisimler biri-birinden kesgitli daşlykda ýerleşen iň kiçi bölejik bolan atomlardan we molekulalardan ybaratdyrlar. Islendik maddanyň ownujak bölejiklerden – atomlardan durýandygy hakyndaky çaklamany 2500 ýyl töweregi mundan ozal gadymy grek filosoflary Ewklid we Demokrit aýdypdyrlar.

Atom maddalaryň himiki elementiň häsiýetlerini özünde saklaýan iň kiçi bölejigidir. Atom položitel zarýadly ýadrodan we ýadronyň elektrik meýdanynda hereket edýän otrisatel zarýadly elekrtonlardan durýar. Ýadronyň elektrik zarýady atomyň hemme elektronlarynyň jemleýji zarýadynyň absolýut ululygyna deňdir. Şonuň üçin atom adaty halda elektik taýdan bitarapdyr.

Molekula maddanyň hemme himiki häsiýetlerine eýe bolan iň kiçi bölejigidir. Ol bir ýa-da birnäçe birmeňzeş ýa-da dürli himiki elementleriň atomlaryndan durýar. Mysal üçin H_2, NO, CO_2, NH_3. Molekula hem atom ýaly elektrik taýdan bitarapdyr. Atomlar daşky (walent) elektronlaryň dürli özara täsirlerine esaslanan himiki baglanyşyklaryň hasabyna molukulalary emele getirýärler.

Molekulýar- kinetik nazaryýet şu başlangyç ýagdaýlara esaslanýar:

1) hemme jisimler bölejiklerden (molekulalardan, atomlardan we ionlardan) durýarlar;

2) bu bölejikler üznüksiz tertipsiz (haotik) hereketde bolýarlar;

3) bölejikler biri-biri bilen çekişme we itekleşme güýçleri arkaly özara täsirleşýärler.

atlandyrylýan wertikal okuň daşynda ujypsyz sürtülme güýji bilen aýlanýan tekizlikdir. Jukowskiniň oturgyjynyň aýlanýan halatynda onuň tekizliginiň üstünde dik duran oglan eliniň ýerleşişini üýtgedende bu sistemaýň J inersiýa momenti we ω burç tizligi üýtgeýär (1.7.16-njy çyzgy), emma L impulsyň momenti bolsa üýtgemän saklanýar.

Gönükme 1.7.

1.7.1. Aýlanýan diskiň üstündäki nokadyň çyzyk tizligi $\upsilon_1 = 3\,m/s$, onuň aýlanma okuna l=10 *sm* ýakyn ýerleşen nokadynyň çyzyk tizligi bolsa $\upsilon_2 = 2\,m/s$. Disk bir minutda näçe aýlaw eder?

1.7.2. Ýer şarynyň üstündäki nokatlaryň çyzyk tizlikleriniň modulyny *a*) ekwatorda, *b*) 60^0 geografiki giňişlikde kesgitlemeli. Ýeriň orta radiusyny R_{ort} = 6400 *km* diýip kabul etmeli.

1.7.3. Guýydan aýlanýan çarhyň kömegi bilen suw çykarylýar. Suwly bedräniň massasy m =10 *kg*. Bedre guýydaky suwuň üstünden h=10 *m* beýiklikde bolan pursaty çarhyň tutawajy sypýar we bedre aşak hereket edip başlaýar. Bedre guýydaky suwuň üstüne degen pursatyndaky çarhyň tutawajynyň çyzyk tizligini kesgitlemeli. Çarhyň okunyň radiusy r=10 *sm*, tutawajynyň aýlanma radiusy R=30 *sm* , massasy bolsa m_1 =20 *kg* . Bedräniň asylan ýüpüniň sürtülmesini we massasyny hasaba almaly däl.

1.7.4. Ýapgytlyk burçy $\alpha = 30^0$ bolan tekizlik boýunça aşakdan ýokarlygyna ýapgyt tekizlige parallal ugrukdyrylan $\upsilon = 7\,m/s$ başlangyç tizlikli, sürtülmesiz hereket edýän disk näçe ýol geçer?

1.7.5. Hereketsiz oky bolan blogyň üstünden geçirilen ýüpüň uçlaryna massalary degişlilikde m_1 we m_2 $(m_2 > m_1)$ bolan iki ýük asylan. Bu sistemaýň massa merkeziniň tizlenmesini kesgitlemeli.

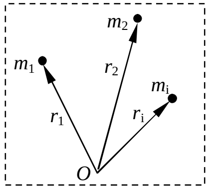
1.7.6. Massasy m=2 *kg* bolan disk gorizontal tekizlik boýunça typman, $\upsilon = 4\,m/s$ tizlik bilen tigirlenýär. Diskiň kinetik energiýasyny kesgitlmeli.

1.7.7. Massasy m=0,25 *kg*, diametri D= 6 *sm* bolan şar gorizontal tekizlik boýunça typman, n=4 *aýl/s* aýlanma ýygylykly tigirlenýär. Şaryň kinetik energiýasyny kesgitlmeli.

1.7.8*. Ýeriň aýlanma okuna görä J inersiýa we L impulsynyň momentlerini kesgitlemeli.

1.7.9*. Aýlanma ýygylygy n=5 aýl / s bolan bitewi tigriň kinetik energiýasy W_k=60 J. Bitewi tigriň L impulsynyň momentlerini kesgitlemeli.

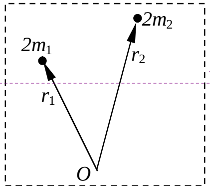
1.7.10. Uzynlygy l=1m bolan birhilli metal steržen (çybyk) özüniň ortasyndan geçýän gorizontal okuň daşynda wertikal tekizlikde aýlanýar. Eger steržene $M = 98{,}1 mN\cdot m$ güýjüň moment~~i~~i täsir etse, ol hähili ~~nähili~~ β burç tizlenme bilen hereket eder?



1.7.13~~4~~-nji gönükmäniň çyzgysy

1.7.11. Massasy m=400 g, uzynlygy l=50 sm bolan inçe steržen özüniň merkezinden uzynlygyna perpendikulýar geçýän okuň töwereginde $\beta = 3\, rad/s^2$ burç tizlenme bilen aýlanýar. Aýlandyryjy M momenti kesgitlemeli.

1.7.12. Žukowskiýniň aýlanýan oturgyjynda duran oglan massasy m=0,4 kg bolan gorizontal ugurdan $\upsilon = 20\, m/s$ tizlikli gelýän pökgüni gapýar. Pökgüniň traýektoriýasy aýlanýan oturgyjyň wertikal okundan r=0,8m aralykdan geçýär. Oglan pökgüni gapandan soňra onuň ~~oglan~~ bilen bilelikde Žukowskiýniň oturgyjy nähili ω burç tizligi bilen aýlanyp başlar? Oglan bilen bilelikde Žukowskiýniň oturgyjynyň inersiýa momenti $J = 6 kg\cdot m^2$.



1.7.14-nji gönükmäniň çyzgysy

1.7.13. N sany erkin bölejiklerden durýan sistemada (gönükmäniň çyzgysy) bölejikleriň m_i massalary we r_i radius-wektorlary belli. Sistemaýň agyrlyk merkeziniň r_c radius-wektoryny tapmaly.

1.7.14. Iki jisimli sistemaýň massalar merkeziniň ýagdaýyny görkezmeli.

1.7.15. Sistema massalary $m_1 = 0{,}1g,\ m_2 = 0{,}2g,\ m_{L3} = 0{,}3g$. bolan üç bölejikden ybarat. Birinji bölejik (1,2,3) koordinataly, ikinji bölejik (2,3,1) nokatda, üçünji (3,1,2) nokatda ýerleşen. (koordinatalar santimetrlerde berlen) sistemaýň massalar merkeziniň r_c radius-wektoryny kesgitlemeli.

1.7.16. Massalar merkezi bilen bagly hasaplama sistemaýna görä bölejikler sistemaýnyň impulsy nämä deň.

II BÖLÜM

MOLEKULÝAR FIZIKA WE TERMODINAMIKA

Maddalaryň gurluşlaryny we häsiýetlerini olary düzýän bölejikleriň hereketi we özara täsiri bilen düşündirýän nazaryýete ***molekulýar-kinetik nazaryýet*** diýilýär. Bu nazaryýetiň esasy XIX asyryň ikinji ýarymynda döredildi.

BAP 2.1.

Molekulýar -kinetik nazaryýetiň esaslary. Ideal gazyň kanunlary

Стр. 193: [1] **Отформатировано** Amanmuhammet Gurbanmuhammedow 30.12.2008 4:51:00

Шрифт: 20 пт, не полужирный, Цвет шрифта: Черный

Стр. 193: [2] **Отформатировано** rahmanberdi 12.03.2009 22:44:00

По ширине, Уровень 1, Отступ: Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0,95 см

Стр. 193: [3] **Отформатировано** Amanmuhammet Gurbanmuhammedow 30.12.2008 4:51:00

Шрифт: не полужирный, Цвет шрифта: Черный

Стр. 193: [4] **Отформатировано** Amanmuhammet Gurbanmuhammedow 30.12.2008 4:51:00

Шрифт: 20 пт, не полужирный, Цвет шрифта: Черный

Стр. 193: [5] **Отформатировано** rahmanberdi 12.03.2009 22:44:00

По ширине, Уровень 1, Поз.табуляции: нет в 0,95 см

Стр. 193: [6] **Отформатировано** rahmanberdi 12.03.2009 22:44:00

По ширине, Уровень 1, Отступ: Слева: 0 см, Первая строка: 0 см, Поз.табуляции: нет в 0,95 см

Стр. 193: [7] **Отформатировано** Amanmuhammet Gurbanmuhammedow 30.12.2008 4:49:00

Шрифт: не полужирный

Стр. 193: [8] **Отформатировано** rahmanberdi 12.03.2009 22:44:00

Уровень 1, без нумерации, Поз.табуляции: нет в 0,95 см

Durmuşda giňden ulanylýan ***simaply termometr*** aşaky we ýokarky daýanç nokady belli bolan we olaryň arasyndaky uzaklyk deň bölege bölünen şkalaly içine simap guýulan aýna kapillýardan ybaratdyr. Bu hilli termometriň şkalasynyň – bölümleriniň bahalaryny kesgitlemek üçin başda ony eräp duran buzly suwa batyryp, simabyň beýiklik derejesi durgunlaşandan soňra ony 0^0 *S* bilen bellenilýär. Soňra bu termometri bir atmosfera basyşda gaýnap duran suwa batyryp, simap sütüniniň ýokary galmagyny bes eden beýikligi 100^0 *S* bilen bellenilýär. Alnan iki daýanç nokadyň arasy özara deň 100 bölege bölünýär. Şeýle edip, 100^0 *S* temperaturany ölçemäge ukyply simaply termometr ýasalýar.

Bu *termometr suwuklyklaryň temperaturasyny ölçemek üçin has amatlydyr*. (Adamynyň temperaturasy ölçenilende termometriň simaply aşaky bölegi goltuga berk gysylyp, tä onuň temperaturasy endamyň temperaturasy bilen deňleşýänçä saklanylýar). Sebäbi termometriň aşaky bölegindäki içi simaply aýna şarjagaz temperaturasy ölçenilýän gurşawa doly batmaly we onuň temperaturasyna çenli gyzmaly. Bu halda simabyň göwrümi giňäp, degişli beýiklige galýar we temperaturany görkezýär.

Gaty jisimleriň temperaturasyny ölçemek üçin termoparalar ulanylýar. Termoparalar hromel- alýumel, mis-konstantan, mis-kopel we ş.m. jübüt simden ýasalýar. ***Termopara*** deň diametrli iki dürli metal simden iki ujy hem kebşirlenip ýasalan gurluşdyr. Gaty jisimleriň temperaturasy ölçenilende termoparanyň başjagazy (bir ujy) temperaturasy kesgitleniljek metalyň daşky üstünde ýitije predmet bilen onuň ýukajyk gatlagy galdyrylýar we onuň aşagyna orturdylýar. Soňra ol metalyň üstünden gopmaz ýaly gowy berk gysylýar. Onuň ikinji ujy bolsa, hemişelik pes temperaturada meselem

Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen paýlanyşyň egrisiniň maksimumy uly temperaturalar tarapa süýşýärler ($2.1.1'$-nji çyzga seret).

Diffuziýa - *araçäkleşýän jisimleriň molekulalarynyň biri-biriniň molekula aralygyna aralaşmak hadysasydyr.* (Ýarymsyzyjylykly ýorkalarda bolup geçýän diffuziýa ***osmos*** diýilip atlandyrylýar).

Diffuziýa dürli maddalarda dürli hili bolup geçýär. Gazlarda isleriň ýaýramagy diffuziýanyň bolmagy bilen düşündirilýär.Gazlaryň molekulalarynyň tizligi suwuklyklaryň we gaty jisimleriiň molekulalarynyňkydan uly bolmagy olarda diffuziýanyň çalt geçmegini üpjün edýär. Dürli dykyzlykly suwuklyklaryň garyşmaklaryna diffuziýa sebäp bolýar. Hatda diffuziýa esasynda agyrlyk güýjüniň garşysyna agyr molekula ýokary galýar we ýeňil molekula bolsa aşak düşýär.

Gaty maddalarda-da diffuziýa bolýar. Emma gaty maddalarda diffuziýanyň tizligi juda haýal bolup geçýär. Altyndan we gurşundan timarlanyp ýasalan tekiz plastinalar biri-birine degirlip otag temperaturasynda 5 ýyl goýlandan soňra olar bir bitewi plastina öwrülipdirler. Altynyň molekulasy gurşunyň we gurşunyň molekulasy bolsa altyn plastinanyň 1 santimetrlik çuňlugyna aralaşypdyrlar.

Diffuziýanyň tizligi maddalaryň agregat halyna we olaryň temperaturasyna baglydyr. Ýokary temperaturada diffuziýanyň tizligi uly , pes temperaturada bolsa kiçidir. Diffuziýa hem broun hereketi ýaly hemme maddalaryň molekulalarynyň üznüksiz bitertip hereketleriniň kepilnamasydyr.

2.1.2. Molekulalaryň ölçegleri we massalary

Molekulalaryň ölçegleri şertli düşünjedir we ol sferik şekilli diýlip hasaplanylýar. Molekulalaryň arasynda özara çekişme we itekleşme güýçleriniň bolmagy sebäpli olar biri-birine kesgitli aralyga çenli ýakynlaşýarlar. Iki molekulanyň merkeziniň iň golaý ýakynlaşma aralygyna molekulalaryň ***işjeň (effektiw) diametri*** diýilýär we ol σ (sigma) harpy bilen bellenýär.

Häzirki zaman abzallary jisimleriň üstündäki atomlary görmäge we olaryň ululyklaryny ölçemäge mümkinçilik berýärler. Olaryň iň kämili geçen asyryň 80-nji ýyllarynyň ortalarynda IBM kompýuter firmasynyň işgärleri G. Binning we G. Rorer tarapyndan döredilen tunnel mikroskopydyr. Bu mikroskoplar 100 million esse ulaltmaga mümkinçilik berýär. Bu bolsa maddanyň üstüniň atomlarynyň şekilini almaga we atomlaryň ululygyny örän uly takyklyk bilen ölçemäge mümkinçilik berýär. Mysal üçin, uglerodyň atomynyň diametriniň $1{,}4 \cdot 10^{-10} m$ deňdigi kesgitlenildi. Wodorodyň we suwuň molekulalarynyň (H_2 we H_2O) diametrleri degişlilikde $2{,}3 \cdot 10^{-10} m$ we $3 \cdot 10^{-10} m$ deňdir.

Massasy $1g$ we degişlilikde, göwrimi $1sm^3$ $(1 \cdot 10^{-6} m^3)$ bolan suw damjasynda $3{,}7 \cdot 10^{22}$ töweregi molekulanyň bardygyny, suwuň bir molekulanyň massasynyň bolsa takmynan $3 \cdot 10^{-26}$ kg deňdigini hasaplamalar görkezýär. Ýokary molekulýar birleşmeleriň we polimerleriň her bir molekulasynyň massasy suwuň molekulasyndan ýüzlerçe müň esse uly bolup biler.

- **Molekulanyň otnositel massasy.** Molekulanyň massasynyň juda kiçi bolany sebäpli iş ýüzündäki hasaplamalarda onuň massasynyň uglerodyň atomynyň $1/12$ massasyna deň bolan *massanyň otnositel (göräleýin) atom birligi* diýilip atlandyrylýan ululygyndan peýdalanylýar.

2.1.7. Temperatura we onuň ölçenilişi

Eger iki ulgam üçünji ulgam bilen ýylylyk deňagramlylykda bolsa, onda olaryň üçüsi hem biri-birleri bilen ýylylyk deňagramlylykdadyrlar. Diýmek, *ýylylyk deňagramlylykdaky ulgamlar deň temperaturadadyrlar*. ***Ýylylyk ýa-da termodinamiki deňagramlylyk diýip**, **makroskopik kesgitleýji ululyklaryny (parametrlerini) islendik uzak wagtlap üýtgetmän saklaýan ulgamlara aýdylýar.***

Temperatura ulgamyň ýylylyk deňagramlylyk halyny, onuň içki energiýasynyň üýtgemegini häsiýetlendiriji funksiýa hökmünde fizika girizilen ululykdyr. Jisimiň temperaturasyny deňeşdirer ýaly onuň etalonyny (nusgasyny) saklamak mümkinçiligi ýok. Temperaturany diňe maddalaryň gyzgynlykdan deňölçegli (gönüçyzykly) üýtgeýän kesgitleýji häsiýetleri boýunça deňeşdirip, ölçäp bolýar.

Ilkinjileriň hatarynda G.Galileý takmynan 1597-nji ýylda temperaturany ölçemek üçin termoskop ýasapdyr. Bu abzal örän gömelteý bolan hem bolsa, ol temperaturanyň ýokarlanmagyny we aşaklamagyny aňmaklyga mümkinçilik beripdir. Alymlar Galileýiň termoskopyny kämilleşdirmek üçin örän köp çemeleşipdirler. Ýöne olaryň hödürlän termometrleriniň umumy şkalasy bolmandygy üçin olaryň her birisi öz temperaturasyny görkezipdir. Diňe 1724-njy ýylda nemes fizigi Gabriel Farengeýte (1686-1736) ýokarky we aşaky çägi bellenen simaply termometri ýasamaklyk başardypdyr.

Termometriň ýasalmagy, temperaturanyň ölçenip bilinmegi ylym üçin ägirt uly açyşdyr. Sebäbi ol ýylylyk hadysalaryny ölçemek mümkinçiligini döredýär we Halkara ölçegler birliginde fiziki hadysalaryň esasy dördünji kesgitleýji parametri bolan temperaturany girizmekligiň başlangyjyny goýýar.

Termometr ýasalanda aýna kapillýarlara göwrümi temperatura çyzykly baglylykda üýtgeýän suwuklyk guýulýar.

berýän impulsy onuň normal düzüjisiniň üýtgemegine deňdir. Ýagny, impulsynyň x ok boýunça düzüjisi $m\upsilon_x$ bolan molekula diwara perpendikulýar urulyp, maýyşgak yzyna serpilýär we özüniň impulsynyň alamatny üýtgedip, diwara $2m\upsilon_x$ mukdarda impuls berýär.

Islendik Δt wagt aralygynda gabyň S diwaryna onuň $V = \upsilon_x \Delta t S$ göwrüminde bar bolan $N = nV = nS\,\upsilon_x \Delta t$ molekulalaryň ýarysy diwara tarap, ikinji ýarysy bolsa diwardan garşylykly tarapa hereket edýärler. Şonuň üçin hem bir diwara impuls bermäge gatnaşýan molekulalaryň sany $nS\upsilon_x \cdot (\Delta t/2)$-dir.

Diýmek, molekulalaryň Δt wagt aralygynda gabyň iki gar\ylykly mysal üçin x okuň ugruna perpendikulýar bolan diwarlaryň birisine berýän impulsynyň iki essesine deňdir :

$$\Delta K_x = (2m\upsilon_x)\left(\frac{nS\upsilon_x \Delta t}{2}\right) = nSm\upsilon_x^2 \Delta t\,. \qquad (2.1.11)$$

Ýa-da impulsyň saklanma kanunyna (1.1.32-nji deňlik) laýyklykda $\Delta K_x = F_x \Delta t$, bu ýerde F_x gabyň S diwaryna molekulalaryň perpendikulýar ugurdaky täsir güýji. Onda molekulalaryň gabyň diwaryna edýän basyşy:

$$p = \frac{F_x}{S} = nm\upsilon_x^2\,.$$

Indi (2.1.10-njy) aňlatmany hasaba alyp,

$$p = \frac{1}{3}nm\left\langle \upsilon^2 \right\rangle = \frac{2}{3}n\left(\frac{1}{2}m\left\langle \upsilon^2 \right\rangle\right) = \frac{2}{3}n\left\langle W_k \right\rangle\,, \qquad (2.1.12)$$

ideal gazyň molekulýar – kinetik nazaryýetiniň deňlemesiniň (2.1.12-nji) aňlatmasyny aldyk.

Maddalaryň *otnositel molekulýar* M_r (ýa-da A_r *atom*) *massasy* diýip, bu maddanyň molekulasynyň m_m (ýa-da atomynyň m_a) massasynyň uglerod atomynyň izotopynyň $m_{^{12}_{6}C}/12$ ululygyna bolan gatnaşygyna aýdylýar:

$$M_r = A_r = \frac{m_m}{m_{^{12}_{6}C}/12} \qquad (2.1.1.)$$

Diýmek, otnositel molekulýar we atom massalary ölçegsiz ululyk hökmünde girizilýär, ýöne käbir halatlarda ol atly ululyk hökmünde ulanylýar. Sebäbi uglerodyň atomynyň massasynyň $m_{^{12}_{6}C}/12$ ululygy atom massasynyň umumylaşdyrylan birligi diýilip (*a.m.u.b.*) atlandyrylýar.

Bu birlik: $1a.m.u.b. = 1{,}6603 \cdot 10^{-27}\,kg$. Şonuň üçin hem M_r, A_r ululyklar käbir halatlarda atom massasynyň umumylaşdyrylan birliginde ölçenen diýilip hasaplanylýar. Mysal üçin, kalsiniň otnositel atom massasy (A_{rCa} = 40,08) ölçegsiz birlikde we (A_{rCa} = 40,08 *a.m.u.b*) ölçegli birlikde-de aňladylýar.

Maddalaryň atom massasynyň umumylaşdyrylan birligi bilen bir hatarda $_8O^{16}$ kislorod atomynyň izotopynyň $1/16$ massasynyň atom birligi (*m.a.b.*) hem ulanylýar:

$$1m.a.b. = 1{,}6598 \cdot 10^{-27}\,kg \approx 1{,}66 \cdot 10^{-27}\,kg\,.$$

Maddalaryň otnositel A_r atom massasy D.I.Mendeleýew tarapyndan taýýarlanan maddalaryň tablisasynda getirilen. Bu ululyklaryň bitin sandan tapawutly bolmagy maddalaryň izotoplarynyň bardygyny aňladýar. Meselem, wodorodyň atom massasy tablisada 1,0079, geliýniňki 4,00260 we ş.m. , emma hasaplamalarda olar golaý bitin sana çenli tegeleklenip alynýar. Meselem, wodorodyň otnositel atom massasyny 1-e deň, geliýniňkini bolsa 4 we ş.m.

Eger iş salşylýan jisim birnäçe himiki maddalaryň atomyndan, ýagny molekuladan ybarat bolsa, onda onuň *otnositel molekulýar massasy ony düzýän atomlaryň otnositel molekulýar massalarynyň jemine deňdir*. Meselem, suw üç sany atomdan ýagny iki sany wodorod we bir kislorod atomyndan (H_2O) ybaratdyr. Onda suwuň otnositel molekulýar massasy iki wodorodyň we bir kislorodyň molekulýar massalarynyň jemine (1+1+16=18) deňdir.

2.1.3. Maddanyň mukdary

Makroskopik jisimlerde molekulalaryň ýa-da atomlaryň köp bolmaklygy maddanyň mukdarynyň uly bolmagyny döredýär. Maddalardaky molekulalaryň sanynyň ägirt köpdügi sebäpli maddalar baradaky maglumatlarda ony düzýän atomlaryň (molekulalaryň) hemmesiniň sany däl-de otnositel sany ulanylýar.

*Maddadaky **atomlaryň otnositel sany** diýip, bu maddadaky atomlaryň sanynyň massasy* 12*g bolan ugleroddaky atomlaryň sanyna bolan gatnaşygyna aýdylýar*.Maddadaky atomlaryň ýa-da molekulalaryň otnositel sany ***maddalaryň mukdary*** diýip atlandyrylýan ýörite fiziki ululyk ν bilen häsiýetlendirilýär.

Maddanyň mukdary diýip maddadaky bar bolan molekulalaryň N sanynyň 12 g ugleroddaky atomlaryň N_A sanyna bolan gatnaşygyna aýdylýar:

$$\nu = \frac{N}{N_A}. \qquad (2.1.2)$$

Maddanyň mukdary mollarda (*mol*) hasaplanylýar.

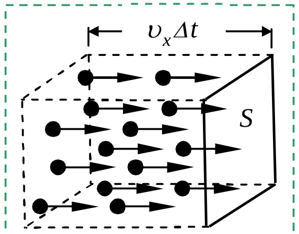
Kesgitlemä laýyklykda, ***mol massasy 12 g bolan uglerod atomlarynyň sany ýaly mukdardaky atomlary özünde saklaýan maddanyň mukdarydyr.***Maddanyň mukdary 4,6 mol diýmek (2.1.2-nji) deňlige görä $N = \nu N_A$, ýagny 12*g* =0,0012 *kg* uglerodyň atomynyň sanyndan 4,6 esse köp (4,6 N_A) atomly mukdardaky madda diýildigidir.

($\langle\upsilon_{ix}\rangle = \langle\upsilon_{iy}\rangle = \langle\upsilon_{iz}\rangle$) . Tizlikleriň orta bahalarynyň kwadratlarynyň proýeksiýalary *i*-nji molekula üçin :

$$\upsilon_i^2 = \upsilon_{ix}^2 + \upsilon_{iy}^2 + \upsilon_{iz}^2 .$$

Bu ýerde tizligiň kwadratynyň orta bahasynyň kesgitlemesine laýyklykda :

$$\langle\upsilon^2\rangle = \frac{\sum_i \upsilon_i^2}{N} = \frac{1}{N}\sum_i\left(\upsilon_{ix}^2 + \upsilon_{iy}^2 + \upsilon_{iz}^2\right) = \langle\upsilon_x^2\rangle + \langle\upsilon_y^2\rangle + \langle\upsilon_z^2\rangle . \qquad (2.1.9)$$



2.1.4-nji çyzgy. *Gabyň içindäki ideal gazyň molekulalarynyň modeli*

Ideal gazyň molekullarynyň *X* ok boýunça tizlikleriniň deňähtimallylygy sebäpli

$$\langle\upsilon_x^2\rangle = \langle\upsilon_y^2\rangle = \langle\upsilon_z^2\rangle ,$$

şonuň üçin hem

$$\langle\upsilon_x^2\rangle = \frac{\langle\upsilon^2\rangle}{3}, \quad \langle\upsilon_y^2\rangle = \frac{\langle\upsilon^2\rangle}{3}, \quad \langle\upsilon_z^2\rangle = \frac{\langle\upsilon_z^2\rangle}{3}. \qquad (2.1.10)$$

2.Ideal gazyň molekulýar-kinetik nazatyýetiniň esasy deňlemesi. Goý, *m* massasy, *N* sany özara deň molekulalardan ybarat bolan ideal gaz *V* göwrümli gaby eýelesin (2.1.4-nji çyzgy). Gazyň bir molekulasynyň gabyň diwaryna her bir urguda çyzgyda) iki molekulanyň özara täsiriniň potensial energiýasynyň olaryň arasyndaky *r* uzaklylyga baglylygy getirilen. Biri-birinden ýeterlik uzaklykda ýerleşen iki molekuladan ybarat ulgamyň özara täsiriniň potensial energiýasy nola deň hasaplanylýar. Molekulalar özara ýakynlaşyp başlanlarynda dartylma güýç položitel işi ýerine ýetirýär. Bu halda ulgamyň öňki eýe bolan otrisatel potensial energiýasy azalyp ugraýar we $r = r_0$ şertde ol özüniň iň kiçi $W_{p(min)}$ potensial energiýasyna deňleşýär. Molekulalaryň özara ýakynlaşmagy dowam etse, olaryň arasynda otrisatel işi ýerine ýetirýän itekleşme güýç agdyklyk edip başlaýar. Bu halda ulgamyň potensial energiýasy artýar.

2.1.6. Ideal gazyň modeli. Ideal gazyň molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi

1.Ideal gazyň modeli. Gazyň häsiýeti öwrenilende adatça ony ýönekeýleşdirilen model bilen çalşyrylýar. Soňra oňa ideal (hyýaly) gaz at berilýär. Ideal gazda:

- molekulalar tertipsiz haotik hereketdedirler;

molekulalaryň gabyň diwary bilen we özara täsiri maýyşgakdyr;

- aýratyn molekulalaryň hereketleri nusgawy mehanikanyň kanunlaryna boýun egýär;
- molekulalaryň hususy göwrümi nola deň bolup, olar özlerini maddy nokat hökmünde alyp barýarlar.

Gazyň munuň ýaly modeli adatça atmosfera basyşyna golaý basyşly bir atomly, takmyn -200^0 *S* temperaturadan birnäçe müň garadiusa çenli temperarurasy bolan gaza kybapdaşdyr.

Gazyň molekulalarynyň tertipsiz hereket edýändikleri üçin olaryň *x,y,z* oklar boýunça eýe bolýan tizlikleriniň položitel we otrisatel bahalary deňähtimallydyr we olar özara deňdirler

2.1.4. Awogadronyň hemişeligi . Molýar massa

1. Awogadronyň hemişeligi. Ýokardaky (2.1.2-nji) deňlikden $N_A = N/\nu$ görnüşi ýaly, $\nu = 1 mol$ maddadaky atomlaryň sanyna N_A ***Awogadronyň hemişeligi*** diýilýär. Bu at italian dizigi we himigi A.Awogadronyň (1776-1856) hatyrasyna dakyldy. N_A san 0,012 *kg* ugleroddaky atomlaryň sanyna deňdir . Ionlaryň dessesiniň magnit meýdanynda gyşarmasy boýunça geçirilen takyk ölçegleriň netijesinde uglerod atomynyň massasy $m_{^{12}C} = 1{,}995\cdot 10^{-23} g = 1{,}995\cdot 10^{-26} kg$. Bu ýerden Awogadronyň hemişeligi:

$$N_A = \frac{N}{\nu} = \frac{12g}{m_{^{12}C}}\frac{1}{mol} = \frac{0{,}012\,kg}{1{,}995\cdot 10^{-26}}\frac{1}{kg\cdot mol} = 6{,}023\cdot 10^{23} mol^{-1},$$

deňdir. Düzüminde N_A sany atomy saklaýan maddanyň mukdary 1 mol hasaplanylýar. Eger maddanyň mukdary $\nu = 4{,}6$ mola deň bolsa, onda bu maddadaky molekulalaryň sany $N = \nu N_A = 4{,}6\cdot 6{,}023\cdot 10^{23} = 2{,}77\cdot 10^{24}$. Awogadronyň hemişeligi molekulýar fizikada wajyp ululykdyr. Islendik maddanyň bir molunda Awogadronyň hemişeligine deň ($N_A = 6{,}023\cdot 10^{23} mol^{-1}$) molekula (ýa-da atom) bardyr.

2. Molýar massa . *Bir mol mukdardaky maddanyň massasyna **molýar massa** diýilýär*. Otnositel molekulýar M_r massadan tapawutlylykda, molýar massa *M* harpy bilen belgilenýär. Kesgitlemä görä molýar massa molekulanyň m_m massasyny N_A Awogadronyň hemişeligine köpeldilmegine deňdir :

$$M = m_m N_A . \qquad (2.1.3)$$

Ölçegleriň Halkara ulgamynda molýar massa moldan kilogram $[M]=[kg/mol]$ birlikde hasaplanýar.

Ýokarda getirilen (2.1.3) we (2.1.1-nji) deňliklerden peýdalanyp, M molýar massa bilen M_r otnositel atom massanyň özara baglanyşygyny taparys:

$$M=\frac{m_{^{12}C}}{12}M_r\cdot N_A\ ,$$

bu ýerde $N_A=\dfrac{M_C}{m_{^{12}C}}$. Onda

$$M=\frac{m_{^{12}C}}{12}M_r\cdot N_A=\frac{m_{^{12}C}}{12}M_r\cdot\frac{M_C}{m_{^{12}C}}=\frac{M_C}{12}M_r$$

$M_C=\dfrac{0{,}012\,kg}{12}$ hasaba alyp, ýazyp bileris:

$$M=M_r\cdot 10^{-3}=A_r\cdot 10^{-3}\,\frac{kg}{mol}. \qquad (2.1.4)$$

Bu ýerde M_r=A_r himiki elementiň otnositel atom massasy. D.I. Mendeleýewiň periodiki tablisasyndaky himiki maddalaryň degişli belgisiniň (X) öňünde ýokarda A harpy bilen atomyň massa sany, aşagynda bolsa, Z bilen elementiň tablisadaky tertip sany (ol şol elementiň ýadrosyndaky protonlaryň sanyna deňdir) görnüşde ${}^{A}_{Z}X$ aňladylýar. Käbir himiki maddalaryň otnositel atom massalary 2.6.1-nji tablisada görkezilen.

Käbir himiki maddalaryň otnositel atom massalary

Tablisa 2.6.1

Maddalar	*Wodorod*	*Geliý*	*Litiý*	*Uglerod*	*Azot*	*Kislorod*
Izotoplar	${}^{1}_{1}H$	${}^{4}_{2}He$	${}^{6}_{3}Li$	${}^{12}_{6}C$	${}^{14}_{7}N$	${}^{16}_{8}O$
Otnositel atom massasy, m.a.b.	1,0078	4,0026	6,0151	12,0000	14,0031	15,9949

$$F_i\sim\frac{1}{r^{13}} \qquad (2.1.8)$$

kanun boýunça artýar.

Molekulalaryň arasyndaky itekleşme güýçleri položitel, çekişme güýçleri bolsa otrisatel hasaplanylýar. Bu güýçleriň molekulalaryň arasyndaky r uzaklyga baglylykda üýtgemegi (2.1.3-nji çyzgyda) görkezilen. Bu (2.13-nji a çyzgyda) degişlilikde 1-nji itekleşme, 2-nji çekişme güýçleri we 3-nji çyzyk bolsa bu güýçleriň deňtäsiredijisidir.

Molekulalar bir-birinden özüniň diametriniň 2-3 essesi ýaly uzakda ýerleşenlerinde olaryň arasyndaky itekleşme güýji takmyn nola deň bolup, bu halda diňe çekişme güýçler duýulýar. Uzaklygyň kiçelmegi bilen çekişme güýçleri azalyp, itekleşme duýulyp başlanýar. Goňşy molekulalaryň arasyndaky uzaklygy saýlap, çekişme we itekleşme güýçleriň biri-birine deň bolýan r_0 aralygyny tapyp bolar. Bu halda agzalan güýçleriň deňtäsiredijisi nola deňdir (2.1.3-nji a çyzgy). Bu çyzgydan görnüşi ýaly eger goňşy molekulalaryň arasyndaky uzaklyk $r>r_0$ bolanda çekişme we $r<r_0$ bolanda bolsa, itekleşme güýçleri has täsirli häsiýete eýe bolýar. Şunlukda molekulalaryň arasyndaky netijeleýji güýç uly aralykda çekişme we kiçi aralykda itekleşme häsiýetlidirler. Diýmek, eger molekulalaryň arasyndaky uzaklyga ýylylyk hereketiniň täsiri bolmadyk bolan bolsa, onda r_0 uzaklygy molekulalaryň özara täsiriniň durnukly şerti hökmünde kabul edip bolardy.

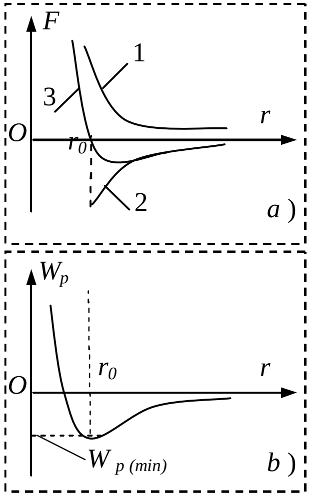
Agzalan özara täsir güýjüň uzaklyga baglylygy molekulalaryň arasynda jisimler deformirlenende maýyşgak güýjüň döreýändigini, ýagny maýyşgaklyk çäginde Gukuň kanunynyň berjaý bolýandygyny aňladýar.

Molekulalaryň özara täsirine olaryň potensial energiýalary boýunça baha bermek has amatlydyr. Bu maksat bilen (2.1.3-nji b

sebäpli käbir pursatlarda atomyň dipol momenti noldan tapawutlanýar. Munuň ýaly pursatlarda dipollar bir-biri bilen elektromagnit özara täsirleşýärler.

Kwant mehanikanyň çäklerinde geçirilen hasaplamalara laýyklykda bu hili sebäplere görä ýüze çykýan özara çekişme güýçlerine F_d ***dispersiýa güýçleri diýilip*** atlandyrylýar we ol:

$$F_d \sim \frac{\alpha_1 \alpha_2}{r^7}, \qquad (2.1.7)$$



2.1. 3 -nji çyzgy.
Molekulalaryň arasyndaky a) özaratäsir güýçleriniň we b) potensial energiýasynyň r-e baglylygy

baglylyk bilen aňladylýar. Bu ýerde α_1 we α_2 -degişlilikde molekulalaryň polýarlanma koeffisiýentleri.

Dispersiýa güýçleri hemme atomlaryň we molekulalaryň arasynda döreýär.

Ýokarda agzalan hemme üç görnüşdäki molekulýar güýçler hem uzaklygyň $1/r^7$ baglylykda kemelýärler.

2.Molekulalaryň arasyndaky itekleşme güýçleri. Iki goňşy molekulanyň agyrlyk merkezleriniň arasyndaky uzaklyk has kiçelende olaryň arasyndaky özara dartylma güýçleri itekleşme häsiýete eýe bolýar. Molekulalar bir-birine ýakynlaşanlarynda onuň düzümine girýän atomlaryň iň daşky-walent elektronly gabyklary bir-biriniň üstüne bölekleýin düşýär. Bu halda her bir molekulanyň aýratynlyk häsiýeti olaryň ýeterlik uly özara daşlyklarynda has aýdyň bildirýär we öňki özara çekişme güýçler itekleşme häsiýete eýe bolýar. Molekulalar özara ýakynlaşanlarynda itekleşme F_i güýçleri

Bu tablisada getirilen islendik himiki maddalanyň A_r otnositel atom massasyny alyp, (2.1.4-nji) deňlik boýunça onuň M molýar massasyny hasaplap bolar.

2.1.5. Molekulalaryň arasyndaky özara täsir

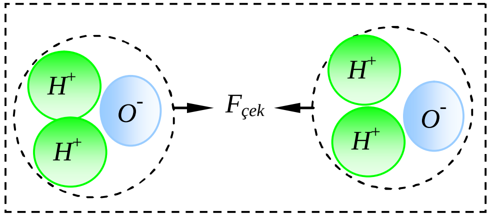
Molekulalaryň özara täsir güýçleri olaryň arasyndaky uzaklygyň azalmagy bilen itekleşme häsiýetine eýe bolýarlar. Gaty jisimleri gysmaklygyň juda kyndygy olary düzýän molekulalaryň ýakyn aralyklarda itekleşme häsiýetine eýe bolmaklary bilen düşündirilýär.

Gazlaryň molekulalarynyň arasyndaky özara täsir güýçleriniň barlygyny ilkinjileriň hatarynda niderland fizigi Wan-der Waals XIX asyryň ortalarynda belläp geçipdir. Ol molekulýar güýçleriň itekleşme ýa-da çekişme häsiýetleriniň ýüze çykyş şertleri barada takyk maglumat bermedigem bolsa, bu güýçleriň ýakyn aralykda itekleşme we uzaklygyň artmagy bilen havallyk bilen azalyp, ýeterlik uly aralykda çekişme häsiýete geçýändigini anyk aýdypdyr. Molekulalaryň arsyndaky özara täsir güýçlerini ilkinjileriň hatarynda öwrenen alymyň hormatyna oňa ***wan- der - waals güýçleri*** hem diýilýär.

1.Özara çekişme güýçleri. Geçirilen köp sany gözegçilikden mälim bolşy ýaly suwuk we gaty maddalary düzýän molekulalaryň arasynda özara täsir güýçleri bar. Meselem, arassa gurşundan ýasalan iki silindriň her biriniň bir esasyny ýiti pyçak bilen kesip, şol bada olary biri- birine gysyp, soňra bolsa olardan ýük asylsa, gurşun bölekleri biri-birinden aýrylman takmyn 2 *kg* ýaly ýüki saklarlar. Bu tejribe gaty maddalary düzýän atomlaryň arasyndaky özara çekişme güýjüň bardygyny aýdyň görkezýär.

Eger molekulalaryň arasynda özara çekişme güýçler bolmadyk bolsa, onda hemme maddalar gaz halynda bolardy. Diňe molekulalaryň arasyndaky özara çekişme güýji olary bir-birinden kesgitli uzaklykda saklap, gaty we suwuk halyndaky maddalaryň döremegini üpjün edýär.

Molekulalaryň arasyndaky *özara täsir güýçleriň elektromagnit tebigatynyň bardygy* XX asyrda alymlar tarapyndan anyklandy. Molekulalar elektrik taýdan bitarap atomlardan ybaratdyr. Ýöne käbir molekulalaryň meselem, suwuň molekulasy agyrlyk merkezleri biri-birine gabat gelmeýän wodorodyň položitel we kislorodyň otrisatel ionlaryndan ybarat. Kä bir ölçeglerde bu ionlary özara berk baglanyşykly $+q$ we $-q$ nokatlanç zarýadlar toplumy, ýagny elektrik dipol hasaplap bolar. Munuň ýaly molekulanyň elektrik häsiýetnamasy bolup onuň $p=ql$ ***dipol momenti*** hyzmat edýär. Bu ýerde q- molekulanyň (dipolyň) haýsy hem bolsa bir zarýadynyň absolýut ululygy, l – molekulanyň položitel we otrisatel zarýadlarynyň agyrlyk merkezleriniň arasyndaky uzaklyk (dipolyň egni). Iki goňşy molekula uzak aralykda bolanda olar özleriniň dürli atly zarýadlary bilen biri-birine bakyp çekişme (2.1.2-nji çyzgy),



2.1.2-nji çyzgy. *Molekulalaryň özara çekişme güýçleriň döreýiş mehanizmi*

häsiýete eýe bolýarlar. Giňişlikde suwuň molekulalary ýaly ýerleşip, özara täsirleşýän güýçlere ***gönükdirilen güýçler*** diýilýär. Bu güýçler molekulalaryň p_1 we p_2 dipol momentleriniň

köpeltmek hasylyna göni we olaryň arasyndaky uzaklygyň ýedinji derejesine ters baglydyr:

$$F_g \sim \frac{p_1 p_2}{r^7}. \qquad (2.1.5)$$

Käbir halatlarda molekulalaryň birisi dipol momentine eýe bolýar we golaýyndaky elektrik taýdan bitarap molekulany özüniň elektrostatik meýdanynda polýarlaýar .Ýagny elektrik bitarap molekulanyň düzümindäki položitel zarýad agzalan elektrostatik meýdanyň güýjenmesiniň ugruna, otrisatel zarýady bolsa onuň garşysyna ugrugýar (polýarlanýar) we öňki polýardäl dipol elektrik momentinie eýe bolýar. Bu prosesde elektrik bitarap molekula özüniň düzümindäki položitel zarýadyň agyrlyk merkeziniň daşynda aýlanma hereket edip polýarlanýar. Munuň ýaly molekulalaryň arasyndaky özara täsir güýç çekişme häsiýete eýedir. Bu güýjüň elektrostatik täsir esasda döreýändigi üçin oňa F_{ind} ***induksiýa*** ýa-da ***polýarlanma güýji*** diýilýär. Onuň ululygy polýar molekulanyň p dipol momentiniň polýar däl molekulalaryň α -polýarlanmasyna köpeltmek hasylyna göni we molekulalaryň arasyndaky uzaklygyň (r^7) ýedinji derejesine ters baglydyr:

$$F_{ind} \sim \frac{p\alpha}{r^7}. \qquad (2.1.6)$$

Gözegçiliklerden we tejribelerden mälim bolşy ýaly inert gazlarynyň atomlarynyň arasyndaky ýaly polýar däl molekulalaryň arasynda hem özara çekişme güýçleriň ýüze çykýandygy anyklandy. Umuman atomyň elektronlary elmydama ýadronyň töwereginde juda çylşyrymly hereketdedirler we atomyň wagt birligindäki ortaça dipol momenti nola deňdir. Emma, atomyň elektronlarynyň her bir wagt pursatynda ýadronyň daşyndaky giňişlikde bolmak ähtimallygynyň dürli bolmagy

$$pV = \left(\frac{m}{m_0}\right)kT = \left(\frac{m}{M}\right)\left(\frac{M}{m_0}\right)kT\,, \qquad (2.1.31)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde M molýar massa, ýa-da $m/M = \nu$, $M/m_0 = N_A$ hasaba alyp, ýokardaky deňligi

$$pV = \frac{m}{M}RT\,, \qquad (2.1.32)$$

görnüşe getirip bolar. Bu (2.1.31-nji) aňlatma m massaly ideal ***gaz halynyň birleşen*** ýa-da ***Mendeleýew – Klapeýronyň deňlemesi*** diýilýär.

Bir mol gaz üçin Mendeleýew- Klapeýronyň deňlemesi:

$$pV = RT\;. \qquad (2.1.32')$$

Bu deňliklerden görnüşi ýaly islendik erkin alnan ideal gazyň 1 we 2 hallary

$$\frac{p_1V_1}{T_1} = \frac{p_2V_2}{T_2}\,, \qquad (2.1.33)$$

aňlatma bilen özara baglydyr.

Eger p,V,T parametrleri bilen tapawutlanýan ideal gazyň iki sistemaynyň birinden beýlekisine geçiş hallary örän haýal, ýagny islendik wagt pursatynda sistemaýň daşky sreda bilen termodinamiki deňagramlylygy saklanýan bolsa, geçiş ***prosesi kwazistatistik*** (durnukla örän ýakyn) hasaplanylýar. Adatça kwazistatistik geçiş proseslerini *pV –diagrammada* şekillendirmek amatlydyr we onuň islendik nokady p,V,T parametrleriň kesgitli bahasyna eýedir. Bu diagrammada geçiş prosesi üznüksiz çyzyklar bilen şekillendirilýär .

buzuň içinde saklanylýar. Soňra termoparanyň simleriniň birisiniň arasyny üzüp, oňa galwanometr (mikrowoltmetr) birikdirilýär. Termoparada onuň uçlaryndaky temperaturanyň tapawudyna çyzykly baglanyşykly e termo eletrik hereketlendiriji güýç (ehg) döreýär. Başda bu termo ehg-niň temperaturanyň mümkin boldugyça giň çäginde $e = f(T)$ baglylyk grafigi gurulýar. Soňra gaty jisimleriň temperaturasy hasaplanylanda bu gurlan grafik boýunça termoparalarda kesgitlenen termo ehg-ä degişli temperatura alynýar.

2.1.8. Absolýut temperatura

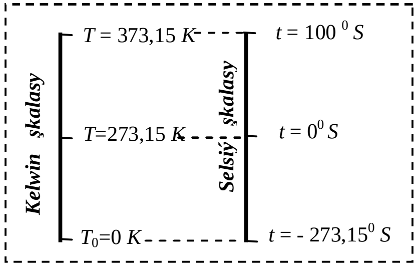
Termometr ýasalanda onuň işçi jisimi hökmünde alnan maddanyň häsiýeti temperaturanyň ýeterlik uly araçäginde bir hilli bolmagy zerurdyr. Munyň ýaly termometrik jisim hökmünde ideal gaz alnyp, ***gaz termometri*** ýasalýar. Bu termometrde gazyň hemişelik göwrüminde temperaturanyň üýtgemegi onuň basyşynyň üýtgemegi bilen kesgitlenilýär. Ideal gaz üçin $p/T = hemişelik$ gatnaşyk takyk ýerine ýetýär.

Eger gaz termometrini başda bir atmosfera basyşda gaýnap duran suwa, soňra bolsa, eräp duran buza çümdürip, iki halda hem gazyň basyşynyň gatnaşygy alynsa, ol 1,3661-e deň bolar ($p/p_0 = 1{,}3661$). Tejribeden we nazaryýetden mälim boluşy ýaly gazyň basyşlarynyň gatnaşygy olaryň degişli temperaturalarynyň gatnaşygy ýalydyr$\left(p/p_0 = T/T_0\right)$. Bu iki ölçegiň aralygyny hem edil simaply termometr ýasalandaky ýaly deň 100 bölege bölmeli. Gaýnan suwuň temperaturasyny T oňa degişli basyşy p, ereýän buzuň temperaturasyny T_0 we basyşyny p_0 bilen belläp, $T - T_0 = 100$ alarys, ýa-da $T = T_0 + 100$. Temperaturany onuň degişli basyşy bilen baglanyşdyryp bolar:

$$\frac{p}{p_0} = \frac{T_0 + 100}{T_0} = 1 + \frac{100}{T_0}. \qquad (2.1.13)$$

Öň bellenilişi ýaly $p/p_0 = 1{,}3661$, onda ýokardaky deňligi $1{,}3661 = 1 + \frac{100}{T_0}$, ýa-da $0{,}3661 \cdot T_0 = 100$ ýazyp bolar. Bu ýerden bolsa $T_0 = \frac{100}{0{,}3661} = 273{,}15$. Bu temperatura absolýut nol gradus (T_0 =273,15 K) diýilýär we temperaturanyň bu şkalasyna ol ölçegi girizen alymyň hormatyna absolýut ýa-da ***Kelwin şkalasy*** diýilýär. Bu şkala boýunça temperatura T harpy bilen bellenýär.

1954-nji ýylda ölçegler we agram boýunça X General konferensiýada ***termodinamiki şkalanyň hasap nokady hökmünde suwuň üç hal nokadyna degişli temperatura*** kabul edildi. Bu suwuň buzyň we olaryň doýgun bugynyň biri-biri bilen deňagramlylyk halyna degişli temperaturadyr. ***Suwuň üç hala degişli ýeke täk basyşynyň we temperaturasynyň bolmagy ony termodinamiki şkalada hasap nokady hökmünde kabul etmäge mümkinçilik berýär. Üçeldilen nokada degişli temperatura 273,16 K.*** Bu şkala absolýut şkala atlandyrylýar. Selsiý şkalasy boýunça bu nokat $0{,}01^0$ S temperatura laýykdyr.



2.1.5-nji çyzgy. Kelwin we Selsiýa şkalalaryň barabarlygy

Adatça Kelwin şkalasy bilen Selsiý şkalasynyň arasyndaky tapawut 273,15 deň edilip:

suwuklyklaryň ýakynlaşdyrylan hal deňlemesi bilen oňuşylýar. Gaty maddalaryň hem islendik ýagdaýda ulanyp bolaýjak (uniwersal) hal deňlemesi ýokdur.

Ýylylyk hadysalary öwrenilende hal deňlemelerinden ulanmak örän amatlydyr. Ol barlanylýan maddany doly ýa-da bölekleýin häsiýetlendirmäge mümkinçilik berýär. Has takyk aýdylanda hal deňlemelerine girýän bir ululygyň hemişelik saklanylan ýagdaýlarynda galan iki parametrleriň özara baglanyşykly üýtgeýiş dinamikasyny hal deňlemeleri doly häsiýetlendirýär.

Sistema haýsy hem bolsa bir işi ýerine ýetirende ýa-da ol daşky sredadan ýylylyk alanda sistemaýň halynyň nähili üýtgejekdigini hal deňlemeden kesgitläp bolýar.

Gaz halyny häsiýetlendirýän üç parametriň hemmesi birden üýtgäninde olaryň arasyndaky baglanyşygy takyk kesgitlemek juda kyn.Ýöne ol ululyklaryň birisi hemişelik saklanyp, galan ikisi üýtgedilse, onda olaryň arasyndaky baglanyşygy kesgitlemek aňsat. ***Şol bir massaly gazyň bir ululygy (parametri) hemişelik bolup, galan iki ululygynyň arasyndaky baglanyşygy görkezýän kanuna gaz kanuny diýilýär.***

2.Mendeleýewiň–Klapeýronyň deňlemesi. Molekulýar-kinetik nazaryýetiň (2.1.15-nji) we (2.1.16-njy) deňliklerden

$$p = nkT \quad \text{ýa-da} \quad pV = N\,kT \qquad (2.1.30)$$

aňlatmalary alarys. Goý, seredilýän V göwrümli gazyň umumy masasy m, aýry –aýry molekulalarnyň massasy m_0 bolsun. Onda (2.1.30-njy) aňlatmany silindre barýança $l = \langle \upsilon \rangle t$ uzaklygy geçýärler. Bu ýerde $\langle \upsilon \rangle$-agzalan atomlaryň orta tizligi. Ýagny:

$$\langle \upsilon \rangle = \frac{l}{t} = \frac{R-r}{t} \quad . \qquad (2.1.28)$$

Bu ýerde t atomyň iki silindriň arasyndaky $l = R$-r uzaklygy geçen wagty. Bu wagtda daşky silindr $S = \overset{\frown}{BA} = \upsilon t$ aralyga süýşýär. Ýa-da daşky silindriň υ çyzyk tizligini onuň ω burç tizliginiň üsti bilen aňladyp bolar $S = \overset{\frown}{BA} = \upsilon t = \omega R t$. Bu ýerden bolsa $t = \dfrac{S}{\omega R}$ deňligi (2.1.28-nji) aňlatmada goýalyň

$$\langle \upsilon \rangle = \frac{R-r}{t} = \frac{\omega R (R-r)}{S} \quad . \qquad (2.1.29)$$

Bu ýerde $\omega = 2\pi/T = 2\pi n$; $n = 1/T$ daşky silindriň aýlanma ýygylygy. Ştern (2.1.29-njy) aňlatmadaky ululyklaryň tejribeden alan bahalaryny ulanyp, kümüşiň atomlarynyň orta tizliginiň $650\, m/s$ -a deňdigini hasaplap çykarypdyr.

2.1.14. Hal deňlemesi. Mendeleýewiň- - Klapeýronyň deňlemesi

1. Hal deňlemesi. Fizikada maddanyň göwrümi, basyşy we temperaturasy arasyndaky baglanyşygyny aňladýan deňlige ***hal deňlemesi*** diýilýär. Her bir agregat haldaky gaz, gaty we suwuk maddalary olaryň hal deňlemeleri bilen häsiýetlendirmek has aňsatdyr.

Suwuklyklaryň gurluşynyň çylşyrymlylygy sebäpli şu çaka çenli onuň umumy görnüşdäki hal deňlemesini almak başartmady. Şol sebäpden hem ýönekeý molekulalardan duryan

$$T = 273{,}15 + t^0\, S, \qquad (2.1.14)$$

görnüşde alynýar. Absolýut we Selsiýa şkalalaryň arasyndaky degişlilik (2.1.5-nji) çyzgyda görkezilen. Bu çyzgydan görnüşi ýaly absolýut şkalanyň minusy ýokdur.

Iş ýüzünde absolýut nol temperaturany alyp bolanok. Häzirki zaman tehnikalary bilen absolýut nol temperaturadan 0,00001 K gradus uly temperatura ýetmeklik başaryldy. Gaz termometrleri iş ýüzünde (praktikada) ulanmakluga juda amatsyz bolany üçin olar diňe nusga hökmünde saklanylýar.

2.1.9. Temperatura molekulalaryň orta kinetik energiýasynyň ölçegidir

Ideal gazlaryň ýylylyk deňagramlylyk halynyň şertine laýyklykda iki sany ýylylyk deňagramlylykdaky gaz sistemay (haýsy gazdygyna baglanyşyksyzlykda) olar deň temperaturadadyrlar ($T_1 = T_2$). Diýmek, ýylylyk deňagramlylykdaky gaz sistemalarynyň molekulalarynyň orta kinetik energiýasy hem özara deň bolmaly $\left(\langle W_{k1} \rangle = \langle W_{k2} \rangle\right)$. Ideal gazyň molekulýar-kinetik nazaryýetiniň (2.1.12) deňlemesine laýyklykda

$$\frac{2}{3}\langle W_k \rangle = \frac{p}{n} = \frac{pV}{N} \; , \qquad (2.1.15)$$

ýazyp bolar.

Ýylylyk deňagramlylyk ýerine ýetýän halaty gazlaryň diňe bir temperaturasy däl, onuň basyşy we dykyzlygy hem birmeňzeşdir. Diýmek, geçirilen tejribeleriň esasynda gazlaryň molekulasynyň orta kinetik energiýasy olaryň temperaturasyny kesgitleýji parametrdir diýip, netije çykarmaga mümkinçilik berýär. Daşky sreda ýeterlik izoterma halda saklansa (T=hemişelik), (2.1.15-nji) aňlatmadaky $\frac{pV}{N}$ gatnaşyk hemme ideal gazlar üçin birmeňzeşdir. Şonuň üçin ony $\frac{pV}{N}=\theta$ bilen bellenýär. Bu θ ululyk gazyň absolýut temperaturasyna göni baglydyr. Has takygy $\theta=kT$ onda $p=\theta\frac{N}{V}=nkT$ ýazyp bolar. Ölçegleriň Halkara sistemaýnda θ joullarda hasaplanylýar $[\theta]=[J]$.

Ýokardakylary hasaba alyp, (2.1.15-nji) aňlatmany aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\langle W_k\rangle=\frac{3}{2}kT\ . \qquad (2.1.16)$$

Bu ýerde k Bolsmanyň hemişeligi. Diýmek, bu (2.1.16-njy) deňlikden görnüşi ýaly ideal gazyň molekulalarynyň ***temperaturasy onuň orta kinetik energiýasynyň ölçegidir***.

Şonuň ýaly hem (2.1. 15-nji) we (2.1.16-njy) deňlikleriň esasynda

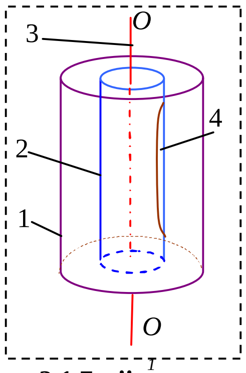
$$p=nkT\ . \qquad (2.1.17)$$

Bu (2.1.16) we (2.1.17) deňliklerden görnüşi ýaly gazyň temperaturasy näçe uly bolsa, onuň molekulalarynyň tizligi we gabyň diwaryna edýän basyşy şonça hem uludyr.

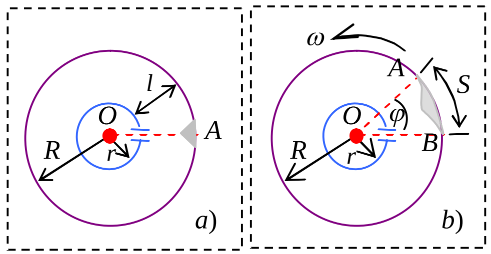
Gazyň molekulasynyň öňe hereketiniň orta kinetik energiýasynyň we diwara edýän basyşynyň temperatura baglylyk aňlatmalary seýreklendirilen gazlar üçin çykarylandygyna garamazdan ol molekulalarynyň ýa-da atomlarynyň hereketi Nýutonyň kanunyna boýun egýän islendik haldaky maddalar üçin ulanylyp bilner. Ol atomlary

tejribäniň shemasy (2.1.7-nji) we onuň wertikal proýeksiýasy (2.1.8-nji *a* we *b*) çyzgyda görkezilen.

Radiuslary degişlilikde r we R ($r<R$) bolan iki silindr bir umumy OO_1 okda ýerleşdirilen. Içki (2) silindriň gapdal üstünde onuň boýuna inçejik ýarçyk (4) edilen we olaryň içinde wakuum döredilen. Silindrleriň OO_1 okynda (3) daşyna kümüş çaýylan platina ýerleşdirilip, onuň üstünden elektrik togy geçirilýär (2.1.7-nji çyzgy). Bu halda tok geçýän sim gyzýar we platinanyň ýüzüne çaýylan kümişiň atomlary bugaryp, kümüş atomlarynyň gazyny döredýär. Başda silindrleriň ikisi hem dynçlykda bolany üçin içki (2) silindriň ýarçygyndan çykýan kümüş atomlary daşky (1) silindriň içki diwaryna



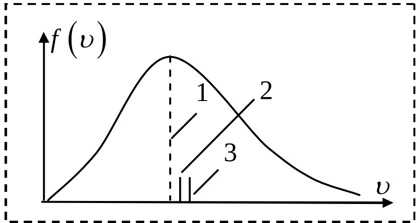
2.1.7-nji çyzgy. *Şterniň tejribesiniň shemasy*



2.1. 8-nji çyzgy. *Şterniň tejribesiniň shemasynyň wertikal proýeksiýasy*

urulyp sowaýar we kristallaşyp, onuň A nokadynda yz galdyrýar (2.1.8-nji *a* çyzgy). Indi eger daşky silindr ω burç tizligi bilen sagat diliniň garşysyna hereketlendirilse içki silindrden uçyp çykýan atomlar daşky silindre ýetýänçä ýagny olaryň arasyndaky l uzaklygy geçýänçä A nokat daşky silindr bilen bileleikde sagat diliniň garşysyna $BA=S$ aralyga süýşýär. Ýagny daşky silindr φ burça öwrülýär (2.1.8-nji *b* çyzgy). Içki silindriň ýarçygyndan uçup çykan kümüş atomlary daşky njy) çyzgyda görkezilen. Bu çyzgyda paýlanyş funksiýasynyň iň uly bahasyna degişli (1-bilen bellenen) tizlige $\upsilon_{äht}$ -ähtimal tizlik, ondan sagyrakda ýerleşen tizlige (2- bilen bellenen) orta arifmetik $<\upsilon_a>$ tizlik we ondan hem sagyrakda (3 - bilen bellenen) orta kwadrat $\langle\upsilon_{kw}\rangle$ tizlik diýilýär. Çyzgydan görnüşi ýaly

$\upsilon_{äh} < \left(\langle\upsilon_a\rangle\right) < \left(\langle\upsilon_{kw}\rangle\right)$.



2.1.6-njy çyzgy. *Paýlanyş funksiýasnyň molekulalaryň tizliklerine baglylygy*

Molekulalaryň ähtimal tizligi

$$\upsilon_{ät} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}}, \qquad (2.1.26)$$

orta arifmetik tizligi

$$\langle\upsilon_a\rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} \qquad (2.1.27)$$

görnüşde aňladylýar. Gaz molekulalarynyň orta kwadrat tizligi bolsa (2.1.20-nji) aňlatmada görkezildi. Gazyň molekulalarynyň köpüsi ähtimal tizlige eýedir.

2.1.13. Gaz molekulalarynyň tizlikleriniň tejribede kesgitlenilişi – Şterniň tejribesi

1920-nji ýylda nemes tejribeçisi fizigi O.Şterne kümüş atomlarynyň gazynyň orta tizligini hasaplamaga mümkinçilik beren tejribänii guramak we geçirmek başardypdyr. Bu

deňagramlylyk halynyň ýa-da kristal gözenegiň düwüniniň töwereginde diňe garmoniki yrgyldyny ýerine ýetirmäge ukyply bolan suwuklyklar we gaty maddalar üçin dogrudyr.

Bu deňlikden görnüşi ýaly gazayň temperaturasynyň absolýut nola golaýlaşmagy molekulalaryň ýylylyk hereketiniň energiýasynyň hem nola golaýlaşmagyny aňladýar. Ýöne kwant fizikasynyň kanunlaryna laýyklykda absolýut nol temperaturada bölejikleriň hereketi minimum energiýa laýyk gelýär. Diýmek, absolýut nol temperaturada molekulalaryň hereketi büs-bütin kesilýär diýmek juda takyk däldir. Sebäbi absolýut nol temperatura golaýlaşylanda atomlaryň we molekulalaryň hereketleri Nýutonyň kanunlaryna boýun egmän başlaýarlar. Onda iň kiçi ýagny, absolýut nola örän golaý temperaturada hem molekulalaryň ýylylyk hereketi düýpden kesilýär hasaplaman, ol minimum kinetik energiýa laýyk gelýär hasaplanylsa takyk bolar.

2.1.10. Bolsmanyň hemişeliginiň fiziki manysy. Loşmidtiň sany

Molekulýar fizikada R uniwresial gaz hemişeliginiň N_A Awogadronyň hemişeligine (sanyna) bolan gatnaşygyna beýik awstriýa fizigi molekulýar-kinetik nazaryýetiň esasyny goýujylaryň biri Lýudwig Bolsmanyň hormatryna ***Bolsmanyň hemişeligi*** atlandyrylýar we k harpy bilen bellenilýär.

Bolsmanyň hemişeliginiň san bahasy

$$k = \frac{R}{N_A} = \frac{8{,}31\frac{J}{K\cdot mol}}{6{,}02\cdot 10^{23}\, mol^{-1}} = 1{,}38\cdot 10^{-23}\,\frac{J}{K}. \qquad (2.1.18)$$

Bu (2.1.17-nji) deňlik Bolsmanyň hemişeliginiň san bahasyny aňlatmagyna garamazdan, ol onuň fiziki manysyny doly açyp görkezmeýär.

Bolsmanyň hemişeliginiň fiziki manysyna has aýdyňrak düşünmek üçin hemme ideal gazlar üçin hemişelik bolan $pV/N=\theta$ ululygy (2.1.17-nji) aňlatma bilen deňeşdirip $\theta=kT$, ýazyp bolar. Bu ýerde θ- energiýa birligi bolan joullarda hasaplanylýan temperatura. Ol gazyň graduslarda aňladylan temperaturasy bilen Bolsmanyň hemişeligi arkaly baglanyşykdadyr:

$$k=\frac{\theta}{T}. \qquad (2.1.19)$$

Diýmek, ***Bolsmanyň hemişeliginiň fiziki manysy energiýa birliginde aňladylan temperatura bilen graduslarda aňladylan temperaturany özara birikdiriji hemişelikdir***.

- **Loşmidtiň sany.** Bolsmanyň hemişeligi kesgitlenenden soňra normal (kadaly) şertlerdäki(T_0=273,15 K, p_0=1 atm = 101325 Pa) gazyň 1 m^3 göwrümindäki molekulalarynyň sanyny hasaplamaga mümkinçilik döredi. Bu hemişelige ony ilkinji bolup hasaplan awstriýaly fizik Iogan Ýozef Loşmidtiň (1821-1895) hormatyna Loşmidtiň sany diýilýär (N_L). Loşmidtiň sany:

$$N_L=\frac{p_0}{kT_0}=\frac{101325}{1{,}38\cdot10^{-23}\cdot273{,}15}=2{,}68609\cdot10^{25}\,m^{-3}.$$

Diýmek, ***Loşmidtiň sany kadaly şertde gazyň 1 m^3 göwrüminde*** $2{,}68609\cdot10^{25}$ ***molekulalaryň toplanandygyny aňladýar.***

Bu ýerden

$$f(\upsilon)=\frac{\Delta N}{N\Delta\upsilon}$$

Makswell molekulalaryň tizlikleri boýunça iň ähtimal paýlanyş $f(\upsilon)$ funsiýasyny (Makswelliň paýlanyşyny) molekulalaryň $\frac{m_0\upsilon_0^2}{2}=\frac{m_0\left(\upsilon_x^2+\upsilon_y^2+\upsilon_z^2\right)}{2}$ kinetik energiýasynyň onuň ýylylyk hereketiniň kT orta energiýasyna bolan gatnaşygy ýaly aňladypdyr:

$$f(\upsilon)=Ae^{-\frac{m_0\upsilon^2}{2kT}}. \qquad (2.1.24)$$

Bu ýerde $e\approx2{,}718$ -natural logarifmanyň esasy, A- tizlige bagly bolmadyk ululyk.

Eýnşteýn (2.1.24-nji) aňlatmadaky A hemişeligiň ululygyny

$$A=4\pi\upsilon^2\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2},$$

hasaplapdyr. Onda (2.1.24-nji) aňlatmany umumy görnüşde:

$$f(\upsilon)=4\pi\upsilon^2\left(\frac{m_0}{2\pi kT}\right)^{3/2}e^{-\frac{m_0\upsilon^2}{2kT}}, \qquad (2.1.25)$$

ýazyp bolar. Bu (2.1.25-nji) aňlatma ***Makswelliň paýlanyşynyň*** aňlatmasydyr. Bu ýerde m_o gaz molekulalarynyň massasy; k Bolsmanyň hemişeligi, υ gaz molekulalarynyň tiliginiň saýlanyp alnan ok boýunça proýeksiýasy, T gazyň absolýut temperaturasy. Makswelliň paýlanyş funsiýasynyň ýagny molekulalaryň tizlikleri boýunça paýlanylyşynyň grafigi (2.1.6-

maddy nokatlaryň degişli koordinat oklar boýunça tizlikleriniň üýtgeme çägini $\Delta\upsilon_x$, $\Delta\upsilon_y$ we $\Delta\upsilon_z$ bilen belläliň. Bu halda giňişlikdäki kiçi $\Delta\upsilon_x\Delta\upsilon_y\Delta\upsilon_z$ tizlik göwrümindäki bar bolan maddy nokatlaryň ΔN sany (edil $\Delta m = \rho\Delta V$ massanyň dykyzlygyň göwrüme köpeltmek hasylyna deň bolşy ýaly) bu göwrümdäki nokatlaryň dykyzlygyny göwrüme köpeltmek hasylyna deň bolar. Onda $\Delta\upsilon$ tizlik göwrümindäki nokatlaryň orta dykyzlygyny $N \cdot f\left(\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon_z\right)$ bilen bellenilse (bu ýerde N ideal gazyň molekulalarynyň sanyny aňladýar):

$$\Delta N = N \cdot f(\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon_z)\Delta\upsilon \ . \qquad (2.1.22)$$

Bu ýerde ΔN - tizlikleriniň proýeksiýasy $\upsilon_x -$dan $\upsilon_x + \Delta\upsilon_x$, $\upsilon_y -$dan $\upsilon_y + \Delta\upsilon_y$ we $\upsilon_z -$den $\upsilon_z + \Delta\upsilon_z$ çäkde bolan molekulalaryň sany; $\Delta\upsilon = \Delta\upsilon_x\Delta\upsilon_y\Delta\upsilon_z$ - molekulalaryň hereket tizligi bilen hyýaly döredilen gapyrgalary degişlilikde $\Delta\upsilon_x, \Delta\upsilon_y, \Delta\upsilon_z$ bolan kubyň göwrümi.

Molekulalaryň tizlikleriniň proýeksiýalarynyň agzalan çäkdäki ähtimallygy (2.1.21-nji) aňlatma laýyklykda bu çäkdäki tizlikli molekulalaryň ΔN sanynyň agzalan göwrümdäki bar bolan molekulalaryň N sanyna gatnaşygyna deňdir:

$$\Delta W = \frac{\Delta N}{N} = f\left(\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon_z\right)\Delta\upsilon_x\upsilon_y\upsilon_z . \qquad (2.1.23)$$

Bu aňlatmadaky $f\left(\upsilon_x, \upsilon_y, \upsilon_z\right)$ ***molekulalaryň tizlikleri boýunça paýlanyş funksiýasy*. *Ol tizligiň giňişlik birligindäki ähtimallygyny aňladýar.***

2.1.11. Gaz molekulalarynyň tizligi

Gabyň içindäki gazyň molekulalarynyň hususy göwrüminiň jemi onuň eýeleýän gabynyň göwrüminiň 0,04 % düzýär. Ýagny, gazyň molekulalarynyň arasyndaky uzaklyk molekulalaryň hususy ölçeglerinden onlarça esse uludyr. Şonuň üçin hem gazlaryň molekulalarynyň arasyndaky özara çekişme güýji beýleki agregat halyndaky maddalary düzýän molekulalaryň arasyndaky güýçden juda kiçidir. Ýagny gaz molekulalary inersiýa boýunça tä beýleki molekulalar bilen çakyşýança öňe hereketini dowam edýärler. Hereketiň bu görnüşi dyngysyz gaýtalanyp, her urgudan soňra onuň ugry we tizligi üýtgäp duryar. Eger, gaz molekulasy birnäçe atomdan ybarat bolsa, onda olaryň öňki hereketiniň üstüne aýlawly hereket hem goşulýar.

Umuman, gaz molekulalarynyň tizligi hakda gürrüň edilende onuň bir molekulasynyň tizligini göz öňünde tutmak uly ýalňyşlyklara getirer. Şonuň üçin hem molekulalaryň orta tizligi düşünjesi girizilýär. Gaz molekulalarynyň orta tizligini hasaplamak üçin onuň (2.1.16-njy) $\left\langle W_k \right\rangle = \frac{3}{2}kT$ kinetik energiýanyň aňlatmasyny $\left\langle W_k \right\rangle = m\upsilon^2/2$ deňlik bilen çalşyryp, molekulanyň massasyny $m = m_0$ belläp, onuň üçin ýazyp bolar:

$$\frac{m\left\langle \upsilon^2 \right\rangle}{2} = \frac{3}{2}kT$$

bu ýerden

$$\left\langle \upsilon^2 \right\rangle = \frac{3}{m_0}kT \ .$$

Ýa-da gaz molekulalarynyň orta kwadrat $\left\langle \upsilon_{or.kw.} \right\rangle$ tizligini

$$\langle \upsilon_{or.kw.} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}}, \qquad (2.1.20)$$

görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde k Bolsmanyň hemişeligi; m_0 gazyň molekulasynyň massasy; T onuň temperaturasy.

Diýmek, (2.1.20-nji) deňlik gaz molekulalarynyň orta kwadrat tizliginiň aňlatmasydyr. Bu deňlikden görnüşi ýaly molekulalaryň orta kwadrat $\langle \upsilon_{or.kw.} \rangle$ tizligi we onuň öňe hereketiniň orta kinetik energiýasy gazyň absolýut temperaturasyna we Bolsmanyň hemişeligine proporsionaldyr.

2.1.12. Gaz molekulalarynyň tizlikleri boýunça pýlanylyşy-Makswelliň paýlanyşy

Ideal gaz ýylylyk deňagramlylyk halynda bolanda hemme mümkin bolan ugurlar boýunça hereket edýän molekulalaryň sany takmyn deňdir. Molekulalar özleriniň hereketlerinde biri-birine tötänleýin urulyp hereketiniň ugruny we modulyny üýtgedip, dürli tizlige eýe bolýarlar. Molekulýar-kinetik nazaryýetden mälim boluşy ýaly her bir molekula bir sekundyň dowamynda beýleki molekulalar tarapyndan takmyn $5 \cdot 10^9$ gezek urga sezewar bolýar. Bu bolsa, olaryň tizlikleriniň modulynyň deňölçegsiz paýlanyşyny döredýär. Netijede tizlikleri nola ýakyn we aşa uly bolan molekulalaryň sany juda az bolar. Sebäbi, eger bu beýle bolmadyk bolsa, onda gaz çäksiz uly energiýa eýe bolardy. Hakykatda bolsa bu beýle däl. Diýmek, bu halda orta tizlikli gaz molekulalaryň sany tizlikleri uly we kiçi molekulalardan agdyklyk eder.

Iş ýüzünde molekulalaryň tizlikleriniň ululyklary kesgitli çäkde bolan sanyna baha bermek zerurlygy ýüze çykýan halatlary köp duş gelýär. Oňa baha bermek üçin molekulalaryň tizlikleri boýunça $[f(\upsilon)]$-***paýlanyş funksiýany*** bilmek zerurdyr.

Iňlis alymy Jems Klerk Makswell (1831-1879) ýylylyk deňagramlylyk halyndaky gazyň molekulalarynyň tizlikleriniň ululygy boýunça kesgitli çäkde bolan birnäçe topara bölünýändigini, bu toparlaryň sanynyň we olaryň tizlikleriniň ululyk çäginiň hemişelik galýandygyny nazary hasaplamalaryň netijesinde belläpdir. Makswelliň belleýşine görä berlen makroskopik şertlerde aýry-aýry molekulalaryň özlerini alyp barşy kesgitli ***ähtimallyk*** ýa-da ***statistik kanuna*** laýyk gelýär.

Islendik ***gözlenilýän amatly hadysanyň*** $W_{äh}$ ***ähtimallygy diýip, bu hadysanyň bolup geçmeginiň*** N' ***sanynyň umumy barlanan hadysalaryň N sanyna bolan gatnaşygyndan*** $N \to \infty$ ***şertde alnan predele aýdylýar:***

$$W_{äh} = \lim_{N \to \infty} \frac{N'}{N} \quad . \qquad (2.1.21)$$

Ähtimallyk sany islendik öwrenilýän hadysanyň kesgitli bir halynyň orta gaýtalanma sanyny kesgitlemäge mümkinçilik berýär. Meselem, nardy oýnalýan süňküň birden alta çenli nokatjyklar bilen belgilenen üstleri bar. Şol süňk 300 gezek zyňylanda, bäş sanyň çykyş ähtimallygyny kesgitlemek üçin ol sanyň näçe gezek çykýandygyny ýagny N'- iň näçä deňdigini hasaplamaly. Goý ol san 50-ä deň bolsun, onda bellenen sanyň çykmak ähtimallygy $50/300 = 1/6$.

Ideal gazyň modeliniň şertine görä onuň molekulalaryny maddy nokat hökmünde kabul edeliň we ol

2.Termodinamikanyň birinji kanuny. Ýokardan aşak inýän çekiç bilen gurşun plastinanyň (tekizçäniň) üstüne urulanda (2.2.7-nji) kanuna laýyklykda çekiç- plastina goralan sistemada içki energiýa öňküligine galyp, ol diňe bir görnüşden başga görnüşe özgerýär. Ýagny aşak inip gelýän çekijiň plastina urulmagynyň öňüsyrasy onuň kinetik energiýasy özüniň iň uly bahasyna eýe bolýar. Çekiç plastina urulan pursatynda onuň tizligi şonuň bilen hem kinetik energiýasy nola deň bolýar we plastina urgudan gyzýar. Çekijiň kinetik energiýasy gurşun plastinanyň içki energiýasyna özgerýär. Ýöne sistemaýň energiýasynyň mukdary üýtgemedi. Diňe çekijiň dW_k kinetik energiýasy näçe mukdarda azalan bolsa, şonça mukdarda hem plastinanyň dU_{pl} içki energiýasy artdy :

$$dU_{pl} = -\left(dW_k\right)_ç .$$

Çekijiň kinetik energiýasynyň özgermeginiň (bir görnüşden beýleki görnüşe geçmeginiň) ölçegi bolup, oňa plastina tarapyndan täsir edilýän güýjüň ýerine ýetirýän A işi hyzmat edýär.

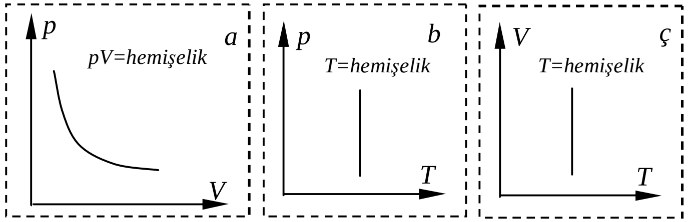
Nýutonyň üçinji kanunyna laýyklykda çekiç we plastina bir-birine moduly boýunça deň, ugurlary boýunça garşylykly güýçler bilen täsir edişýärler. Diýmek, bu güýçleriň işleri:

$$\delta A = -\delta A' = -\left(dW_k\right)_ç .$$

Bu ýerde $\delta A' = \left(dW_k\right)_c$. Ýagny çekijiň ýerine ýetirýän $\delta A'$ işiniň ululygy onuň potensial energiýasynyň üýtgemeginiň ululugyna deňdir.

2.1.15. Boýluň –Mariottanyň kanuny

Iňlis alymy R.Boýl (1627-1691) 1660-njy ýylda we birnäçe ýyl soňra ondan bihabar fransuz alymy E.Mariotta (1620-1684) gaz halyny aňladýan ululyklaryň birisini, ýagny temperaturasyny (*T=hemişelik*) hemişelik saklap, onuň galan iki p we V parametrlerini üýtgedip, olaryň arasynda ters baglanyşygyň bardygyny tejribe üsti bilen kesgitläpdirler. Şonuň üçin hem bu kanuna ***Boýluň –Mariottanyň kanuny*** diýilýär. Gazyň p basyşy bilen onuň V göwrümi arasyndaky $p \sim 1/V$ baglanyşygy görkezýän *p-V* diagrammalardaky çyzyga ***izoterma*** diýilýär. Izoterma prosesiniň diagrammasy (2.1.9-njy) çyzgyda *p-V; p-T* we *V-T* diagrammalarda görkezilen. Aslynda hemişelik temperaturada bolup geçýän termodinamiki prosese ***izoterma prosesi*** diýilýär.



2.1.9-njy çyzgy. *Izotermalar : a p-V diagrammada; b p-T diagrammada; ç V-T diagrammada.*

Boýluň–Mariottanyň kanunyny Mendeleýew-Klapeýronyň $(2.1.32' - \text{nji})$ deňlemesinde *T=hemişelik* şerti ulanyp:

$$pV = hemişelik , \qquad (2.1.34)$$

alarys. Gazyň basyşynyň onuň göwrümine köpeltmek hasylynyň hemişelik ululykdygyny görkezýän (2.1.34-nji) aňlatma ***Boýl-Mariottanyň kanunynyň*** deňlemesidir.

Termodinamiki deňagramlylykdaky iki izoterma hal üçin:

$$p_1V_1 = p_2V_2. \qquad (2.1.34')$$

Gazyň basyşy onuň molekulalarynyň gabyň diwaryna urgy sanyna ýagny, molekularyň göwrüm birligindäki $(n = N/V)$ sanyna baglydyr. Hakykardan hem molekulýar-kinetik nazaryýetden gelip çykýan (2.1.17-nji) aňlatma laýyklykda $p \sim n \sim 1/V$. Diýmek, Boýl we Mariotta özleriniň geçiren tejribeleri bilen molekulýar-kinetik nazaryýetiň dogrydygyny tassyklapdyrlar.

2.1.16. Geý-Lýussagyň kanuny

Boýl-Mariottanyň kanuny açylandan takmyn 150 ýyl geçeninden soňra, 1802-nji ýylda fransuz alymy Geý-Lýussak (1778-1850) tarapyndan tejribe üsti bilen gazyň massasy we basyşy hemişelik saklanylanda onuň göwrüminiň temperaturasyna göni baglylykda üýtgeýändigi kesgitlenipdir.

Hemişelik basyşda bolup geçýän termodinamiki prosese ***izobara prosesi*** diýilýär.

Geý-Lýussak gazyň *m* massasynyň basyşyny hemişelik (*p=hemişelik*) halda saklap, onuň göwrümini dürli temperaturada kesgitläpdir. Netijede ***Geý-Lýussak berlen massaly gazyň hemişelik basyşynda otnositel*** $\left(\frac{V - V_0}{V_0}\right)$ ***göwrüminiň temperatura göni baglanyşykdadygyny kesgitläpdir:***

$$\frac{V - V_0}{V_0} = \alpha t\,. \qquad (2.1.35)$$

Bu ýerde V_0, V degişlilikde gazyň başlangyç we ahyrky göwrümi; α göwrüm giňelmäniň temperatura koeffisiýenti. Bu α ***koeffisiýent gazyň temperaturasy 1*** ^{0}***S üýtgäninde onuň otnositel göwrüminiň näçe esse üýtgeýändigini görkezýän***

Iňlis fizigi Jeýms Joul 1884-nji ýylda mehaniki we ýylylyk energiýalarynyň bir görnüşden beýlekisine geçmegini öwrenip, ýylylygyň mehaniki barabarlygyny ölçemegi başarypdyr. Ol daşky gyurşawdan ýylylyk goragly kalorimetriň içine guýulan simaba çaklaňja bulawaç perjagaşlaryny oturdyp, olary aşak düşýän ýüküň kömegi bilen aýlanar ýaly edipdir. Ol ýük aşak düşende bulawaç periniň aýlanmagy netijesinde simabyň gyzýandygyny kesgitläpdir. Şunlukda mehaniki işiň ýylylyk energiýasyna barabardygyny tejribe üsti bilen hasaplamak Joula başardypdyr. Joulyň hasaplamasyna görä 1*kal* = 4,15 *J*. Häzirki wagtda, ýagny takmyn ýüz ýyldan hem gowurak wagtdan soňra Tomsonyň geçiren hasaplamasyny takmyn 1%-den hem azyrak gowulandyrmak başartdy, ýagny häzirki döwürde ***ýylylygyň mehaniki barabarlygy*** : 1*kal* = 4,186 *J*. Diýmek, Joul öz tejribelerini örän ýokary takyklykda geçiripdir.

Kaloriýa ýylylyk mukdarynyň öň ulanylan häzirki wagtda bolsa sistema girmeýän ölçeg birligi. 1*kkal* massasy 1*kg* suwy 14,5 ^0S-den 15,5 ^0S-ä çenli gyzdyrmak üçin zerur bolan ýylylyk mukdarydyr.

Şeýlelikde köpsanly geçirilen tejribeleriň we tebigy hadysalara edilen gözegçilikleriň esasynda ***energiýanyň saklanma kanunyny*** girizildi. Muňa laýyklykda***: jisimleriň islendik özara täsirinde energiýa düýpden ýitip gidenok we boş ýerden döränok. Energiýa diňe bir jisimden beýlekisine geçýär ýa-da bir görnüşden başga görnüşe özgerýär.*** Daşky sredaýň islendik täsirinden goragly sistemaýň *U* içki energiýasy bu sistemaýň içindäki özara täsir netijesinde üýtgänok. Diýmek, goragly sreda üçin

$$U = \text{hemişelik}, \quad \text{ýa-da} \quad dU = 0\,, \qquad (2.2.7)$$

deňlik ýerine ýetýär.

2.2.4. Termodinamikanyň birinji kanuny

1.Termodinamikada energiýanyň saklanma kanuny. XIX asyryň ortalarynda energiýanyň saklanma kanunynyň termodinamikada ulanmak mümkinçiligi kesgitlenildi. Iňlis alymy Benjemin Tompson (graf Rumford) (1753-1814), nemes lukmany Robert Maýer (1814-1878) , iňlis fizigi Jeýms Joul (1818-1889) we beýleki alymlar termodinamikanyň ösmegine saldamly goşant goşupdyrlar.

Termodinamikanyň ösmeginde Benjemin Tompsonyň goşandy XVIII asyrda jisimleriň gyzmagyny we sowamagyny düşündirmekde ulanylan “ kaloriýa suwuklyk “ nazaryýetini inkär etmekden ybaratdyr. Şol döwre çenli islendik mehaniki işiň esasynda jisimleriň gyzmagy alymlar tarapyndan kaloriýa suwuklygynyň artykmaçlygy, sowamagy bolsa, bu suwuklygyň azalmagy bilen düşündirilipdir. Tompson ýarag ýasalýan zawotda topuň nilinde deşik deşilende onuň gyzýandygyny görüpdir we onuň sebäbiniň jisime kaloriýa suwuklygyň akyp geçmegi bilen düşündirilmeginiň düýpden nädogrydygyny düşünipdir. Soňra ol köp sanly tejribe geçiripdir. Olaryň birisinde ol juda berk metaldan ýasalan deşik deşiji burawyň gyzgynlygyny suw guýup sowadypdyr. Munuň ýaly geçiren tejribeleriniň birisinde oňa suwy gaýnama temperaturasyna çenli gyzdyrmak başardypdyr. Deşik deşiji burawyň gyzmagynyň sebäbiniň bu işde ýüze çykýan sürtülme güýjündedigini düşündirmeklik Tompsona başardypdyr. Şunlukda “ kaloriýa suwuklyk “ nazaryýeti ýalňyş düşünje hökmünde doly inkär edilipdir.

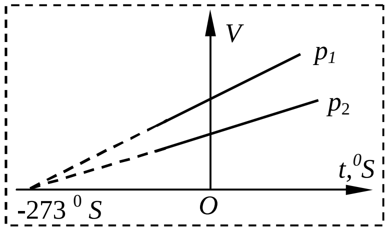
Nemes lukmany Robert Maýer demirgazykda we günortada ýaşaýan adamlaryň wenalarynyň ganynyň reňkini deňeşdirip, ilkinji bolup ***ýylylyk energiýanyň bir görnüşi*** diýip, energiýanyň saklanma kanunyny özünde jemleýän netije çykarypdyr. Emma, nebsimiz agyrsa-da onuň döwürdeş alymlary tarapyndan bu pikire ýeterlik üns berilmändir.

ululykdyr. Onuň ululygy hemme gazlar üçin $\alpha \approx \dfrac{1}{273}\ {}^{0}S^{-1}$.

Diýmek, gazlaryň temperaturasy $1\ {}^{0}S$ üýtgände olaryň göwrümi özünüň öňki göwrüminiň takmyn $1/273$ bölegine üýtgeýär.

Molekulýar-kinetik nazaryýet boýunça gazyň molekulalary biri-birine görä öz hususy ölçegleri bilen deňeşdirilende uzak aralykda ýerleşendikleri sebäpli olaryň arasyndaky özara täsir güýçleri hemme gazlar üçin takmyn deňdir. Bu bolsa, α koeffisiýentiň hemme gazlar üçin deň bolmagyny döredýär.

Izobara prosesiň (2.1.35-nji) aňlatmasyny



2.1.10-njy çyzgy.

Izobaralar $p_1 < p_2$

$$V = V_0\left(1+\alpha t\right) , \qquad (2.1.36)$$

görnüşde hem aňladyp bolar. Bu deňlikden görnüşi ýaly ***izobara prosesde gazyň göwrümi onuň temperaturasyna çyzykly baglanyşykdadyr.*** Izobara prosesiniň *V-T* ***diagrammadaky*** çyzyga ***izobara*** diýilýär. (2.1.10-njy çyzgy).

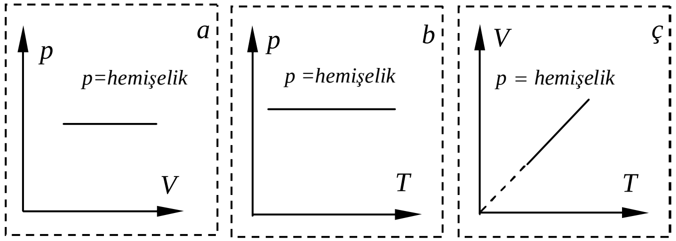
Izobara prosesi hem edil izoterma prosesiň alnyşy ýaly gaz halynyň birleşen $\left(2.1.32'\right)$ deňlemesinden *p=hemişelik* (izobara prosesiň) şertini ulanyp,

$$\frac{V}{T} = hemi\c{s}elik\ , \qquad (2.1.37)$$

ýa-da termodinamiki deňagramlylykdaky iki izobara hal üçin

$$\frac{V_1}{T_1} = \frac{V_2}{T_2}, \qquad (2.1.38)$$

ýazyp bolar. Bu ýerde *T*-absolýut temperatura. Izobara prosesiň



2.1.10-njy çyzgy. *Izobaralar : a p-V diagrammada ; b p-T diagrammada; ç V-T diagrammada.*

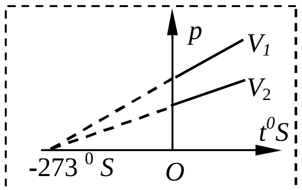
grafigi *p-V; p-T* we *V-T* diagrammalarda (2.1.10 *a; b* we *ç*) çyzgyda görkezilen.

2.1.17. Şarlyň kanuny

1728-nji ýylda fransuz fizigi Ž.Şarl (1746-1823) berlen massaly gazyň hemişelik göwrüminde (*V=hemişelik*) onuň basyşynyň temperatura göni baglylygyny tejribede kesgitledi:

$$\frac{p-p_0}{p_0}=\beta t \quad . \tag{2.1.39}$$

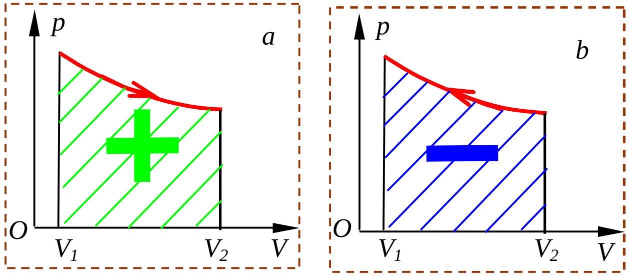
Bu ýerde $\beta=\alpha$ ***koeffisiýent*** ($\alpha\approx\frac{1}{273}\ {}^0S^{-1}$) ***gazyň temperaturasy 1 ^{0}S üýtgäninde onuň otnositel basyşynyň näçe esse üýtgeýändigini görkezýän ululykdyr.*** Bu kanuna ***Şarlyň kanuny*** diýilýär . Hemişelik göwrümde bolup geçýän termodinamiki prosese ***izohora prosesi*** , onuň *p-t* diagrammadaky çyzygyna bolsa



2.1.11-nji çyzgy.
Izohoraralar $V_1<V_2$

$$\delta A=-\delta A'=-pdV \ . \tag{2.2.6}$$

Bu aňlatmadaky minus alamaty gaz gysylanda $dV_1<0$ daşky güýçleriň ýerine ýertirýän işiniň položiteldigini ($\delta A>0$) aňladýar. Munuň sebäbi gaz gysylanda daşky güýjüň ugry porşeniň orun üýtgetmesiniň ugry bilen gabat gelýär. Gaz giňelende bolsa $dV>0$ ýokarda bellenilişi ýaly daşky güýjüň



2.2.2-nji çyzgy. *p-V diagrammada gazyň a – položitel we b – otrisatel işi*

ugry porşeniň orun üýtgetmesine garşylykly ugrukdyrylandyr şonuň üçin hem daşky güýjüň işi otrisatel ($\delta A<0$).

Bu (2.2.4) - (2.2.6) aňlatmalar islendik sistemaýň göwrüminiň kiçi üýtgemegi üçin hem ulanylyp bilner.

Ýokarda görkezilişi ýaly gaz giňelende ol içki energiýanyň hasabayna iş edýär diýmek, gazyň içki energiýasy azalýar. Eger, daşky täsiriň esasynda gaz gysylsa, ýagny daşky güýçleriň ýerine ýetirýän işleriniň hasabyna gazyň içki energiýasy artýar.

Diýmek, (2.2.6-njy) aňlatma laýyklykda $\delta A'=pdV=p(V_2-V_1)$ gazyň özi iş edip giňelende ol položitel işi, göwrümi kiçelende bolsa otrisatel işi ýerine ýetirýär (2.2.2-nji *a* we *b* çyzgy).

gazyň basyşyny hemişelik hasaplap bolar. Bu halda gazyň ýerine ýetirýän elementar (kiçi) $\delta A'$ işi:

$$\delta A' = F'dh \ . \tag{2.2.3}$$

Bu işi gazyň göwrüminiň üýtgemegi bilen hem aňladyp bolar:

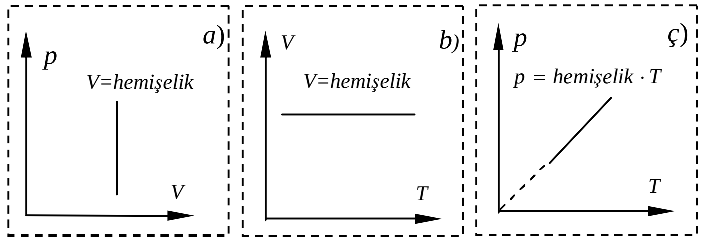
$$\delta A' = pS \cdot dh = pdV. \tag{2.2.4}$$

Gaz juda haýal göwrümine giňelende onuň basyşyny kwazihemişelik hasaplap, onuň ýerine ýetiren doly işini kesgitlemek üçin (2.2.4-nji) deňligi V_1-den V_2-ä çenli integrirläp alarys:

$$A' = \int_{V_1}^{V_2} pdV = p\int_{V_1}^{V_2} dV = p\left|V\right|_{V_1}^{V_2} = p\left(V_2 - V_1\right). \tag{2.2.5}$$

Bu ýerde V_2 we V_1 degişlilikde gazyň soňky we başlangyç göwrümi ýagny $\left(V_2 - V_1\right)$ gazyň göwrüminiň üýtgemegi. Gaz giňelende onuň porşene täsir edýän güýji bilen porşeniň orun üýtgetmesi bir tarapa bolany sebäpli onuň hut özüniň (içki sistemaýň) ýerine ýetirýän işi položiteldir $\left(A' > 0\right)$. Eger gaz gysylýan bolsa, onda agzalan iş otrisateldir ($A' < 0$) .

Daşky güýjüň ýerine ýetirýän elementar δA işi gazyň öz ýerine ýetirýän $\delta A'$ işinden diňe alamaty bilen tapawutlanýar: $\delta A = -\delta A'$. Munuň sebäbi porşene täsir edýän daşky $\boldsymbol{F}$ güýç gazyň porşene täsir edýän $\boldsymbol{F}'$ güýjüniň garşysyna ugrukdyrylandyr, porşeniň orun üýtgetmesi bolsa öňküligine galýar:



2.1.11-nji çyzgy. *Izohoralar* : *a*) *p-V diagrammada* ; *b*) *V-T diagrammada;* ç) *p-T diagrammada.*

izohora diýilýär (2.1.11-nji çyzgy).

Şarlyň kanunynyň (2.1.39) aňlatmasyny

$$p = p_0\left(1 + \alpha t\right) \tag{2.1.40}$$

görnüşde hem ýazyp bolar. Bu ýerde: p_0 , p- degişlilikde 0 ^0S we t temperaturadaky gazyň basyşy.

Izohora proses hem edil izoterma we izobara prosesleriň alnyşy ýaly gaz halynyň birleşen $\left(2.1.32'\right)$ deňlemesinden *V=hemişelik* (izohora prosesiň) şertini ulanyp,

$$\frac{p}{T} = hemi\c{s}elik\ , \tag{2.1.41}$$

ýa-da termodinamiki deňagramlylykdaky iki izobara hal üçin

$$\frac{p_1}{T_1} = \frac{p_2}{T_2}\ , \tag{2.1.42}$$

ýazyp bolar.

Izohora prosesiň grafigi *p-V; V-T* we *p-T* diagrammalarda (2.1.11-nji *a; b* we *ç*) çyzgyda görkezilen.

Gönükme 2.1.

2.1.1. Çuňlugy h =5 *m*, meýdany S=4,0 km^2 bolan köle massasy m =10 *mg* nahar duzyny ($NaCl$) goşdular. Ýeterlik wagtdan soňra kölden göwrümi V=200 sm^3 bolan bir stakan suw alyndy. Stakandaky suwda näçe natriýniň iony bardyr?

2.1.2. Nahar duzynyň ($NaCl$) kristal gözenegi gezekleşýän natriýniň we hloryň ionlaryndan ybarat. Duzyň dykyzlygy $\rho = 2200 kg/m^3$. Iki goňşy ionyň a aradaşlygyny kesgitlemeli.

2.1.3. Iki sany birmeňzeş göwrümli gabyň her birinde degişlilikde suw we simap guýulan. Bu suwuklyklaryň atomlarynyň sanyny deňeşdiriň.

2.1.4*. Gysylan gazyň molekulalarynyň arasynda döreýän özara täsir güýçler ýeterlik uly. Eger, molekulalarynyň arasyndaky özara täsir güýçler birden ýitse, gabyň içindäki gazyň basyşy nähili üýtgär?

2.1.5*. Ýapyk aýna gapda basyşy $p_1 = 2{,}35\cdot 10^5\, Pa$ bolan m_1= 0,50 *g* massaly wodorod we m_2 = 8,0 *g* massaly kislorod garyndysy bar. Gazlaryň arasynda suw bugynyň döremek reaksiýasy bolup geçýär. Gaz başlangyç temperatura çenli sowadylsa, gapdaky gazyň kadalaşan basyşyny kesgitlemeli.

2.1.6. Massasy m=5,4 *kg* bolan kümüş böleginde näçe maddanyň mukdary bardyr?

2.1.7. Mukdary 100 *mol* bolan suwuň massasy näçä deňdir?

2.1.8. Temperaturasy $t = 27\ ^0S$ bolan kislorod we wodorod molekulalarynyň öňe hereketiniň we onuň orta kwadrat energiýalaryny kesgitlemeli.

2.1.9. Gapdaky gazyň temperaturasy t=273 ^0S we basyşy p = 0,15 *Mpa*. Bu şertde gabyň göwrüm birliginde näçe n molekula bardyr?

2.1.10. Kadaly şertde $\left(T_0\text{=273 } K;\ p_0\text{= } 1{,}013\cdot 10^5\, Pa;\ V_0 = 22{,}4\cdot 10^{-3}\, m^3/mol\right)$ bolan wodorodyň näçe molekulasy bar? Bu molekulanyň massasy näçä deň?

2.1.11. Göwrümi V =50 m^3 we basyşy $p = 0{,}99\cdot 10^5\, Pa$ bolan howanyň temperaturasy $t_1 = 10\ ^0S$ -den $t_2 = 20\ ^0S$ -ä çenli artdyrylan. Howanyň otagdaky massasynyň Δm üýtgemegini hasaplamaly.

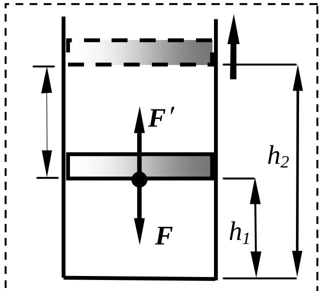
2.1.12. Köldäki suwuň içine h=5 *m* çuňlukda wertikal çümdirilen uçlary kebşirlenen aýna turbanyň aşaky ujuny döwenlerinde onuň içine m=1,95 *g* suw girýär. Turbanyň uçlary ýapyk halatynda onuň içindäki p_0

$$\delta Q = cm\left(T_2 - T_1\right) = cm\cdot dT\ , \qquad (2.2.2)$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu ýerde $c = \delta Q/\left(mdT\right)$ jisimiň udel ýylylyk sygymy, m- jisimiň massasy, T_1 we T_2 - degişlilikde jisimiň başlangyç we ahyrky temperaturasy. Udel ýylylyk sygymynyň Halkara sistemaynda ölçeg birligi $\left[J\right]/\left[kg\cdot K\right]$. Jisimiň içki energiýasyny artdyrmak üçin ony gyzdyrmaly ýagny ony temperaturasy uly jisime degirip goýmaly. Bu halda gyzgyn jisimden sowugyna tä olaryň temperaturalary deňleşýänçä energiýa geçer. Agzalan jisimlerden ybarat bolan sistemaýň energiýasy durnuklaşýar.

2.2.3. Giňelýän gazyň işi

Ýokarda bellenilişine görä içki energiýany üýtgetmegiň ikinji usuly termodinamiki sistemaýň ýerine ýetirýän işidir. Muňa göz ýetirmek üçin içi gazly silindriň porşeniniň aşagyndaky gazyň basyşyny daşky atmosferanyň basyşyndan ulaldylsa, gazyň molekulalary porşene Nýutonyň üçinji kanunyna laýyklykda $\boldsymbol{F} = -\boldsymbol{F}'$ güýç bilen täsir edip, ony azajyk ýokary süýşürer we položitel işi ýerine ýetirer (2.2.1-nji çyzgy).



2.2.1-nji çyzgy. *Silindrdäki gazyň giňelmegi*

Gaz tarapyndan porşene täsir edilýän güýjüň moduly $F' = pS$, bu ýerde p- gazyň basyşy, S-porşeniň üstüniň meýdany. Goý, bu güýjüň täsiri netijesinde porşen $dh = h_2 - h_1$ kiçi aralyga F' güýjüň ugruna süýşsün. Bu aralyk kiçi bolany üçin porşeniň aşagyndaky atomly (ýagny erkinlik derejesi üç bolan) gazyň bir atomynyň içki energiýasy $3\left(kT/2\right)$ deňdir. Eger gaz molekulalarynyň erkinlik derejesi i deň bolsa, onda onuň bir molekulasynyň içki energiýasy $i\left(kT/2\right)$ bolar. Diýmek, N atomdan ybarat bolan, bir atomly (erkinlik derejesi i=3) bolan gazyň içki U energiýasy:

$$U = \frac{3}{2}kTN\,. \qquad (2.2.1)$$

Ýa-da $N = \dfrac{m}{M}N_A$ hasaba alyp, gazyň içki energiýasyny

$$U = \frac{3}{2}\frac{m}{M}N_A kT = \frac{3}{2}\frac{m}{M}RT\,, \qquad (2.2.1')$$

aňladyp bolar. Bu ýerde m-molekulanyň massasy, M-molýar massa, R- uniwersal gaz hemişeligi,T-gazyň temperaturasy. Bu $(2.2.1')$ aňlatmadan görnüşi ýaly ideal gazyň içki energiýasy onuň diňe bir parametrine – temperaturasyna baglydyr $U=f(T)$.

Içki energiýany üýtgetmegiň usullary. Goragly (izolirlenen) termodinamiki sistemanyň içki energiýasyny iki usul ýagny sistemanyň hut özüniň ýerine ýetirýän işi ýa-da ýylylyk alyş-çalyşygy bilen üýtgedip bolar.

Fizikada temperaturanyň tapawudy netijesinde bir jisimden ikinjisine, jisimden daşky sreda (ýa-da daşky sredadan jisime) energiýanyň geçirilmegine δQ ***ýylylyk mukdary*** diýilýär. Agzalan Q ýylylyk mukdarynyň bu hala gelmegine sebäpkär prosese baglylygy, ýagny onuň prosesiň funksiýasy bolany üçin bu elementar ýylylyk mukdaryny δQ bellemek kabul edilen.

Jisimi iş etmezden gyzdyrmaga zerur bolan elementar δQ ýylylyk mukdaryny

basyş näçä deň bolupdyr? Turbanyň göwrümi V=2,0 sm^3, atmosferanyň basyşy p_a= 10^5 Pa.

2.1.13. Temperaturasy T_1 =300 K, göwrümi V_1=1 l bolan bir mol gazyň basyşyny kesgitlemeli.

2.1.14. Göwrümi V_1=240 m^3 , temperaturasy t_1=15 ^0S bolan otagdaky howanyň näçe molekulasy bardyr? Otagyň içindäki howanyň basyşy p=750 $mm.\ sim.süt.$

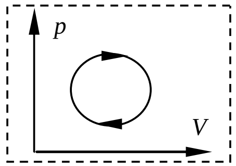
2.1.15. Temperaturasy T=280 K , basyşy p=700 $mm.\ sim.süt.$ bolan 4 g massaly wodoroddan we 32 g kisloroddan ybarat garyndynyň dykyzlygyny kesgitlemeli.

2.1.16*. Gorizontal ýerleşdirilen içi gazly silindri onuň porşeni deň iki bölege bölýär. Porşeniň meýdany S , massasy m. Gorizontal halda iki göwrümde hem gazyň basyşy p . Silindr wertikal ýerleşdirilende porşeniň aşagyndaky p_1 basyşy kesgitlemeli.

2.1.17. Silindrdäki porşeniň aşagynda basyşy p_1, temperaturasy t_1 bolan howa ýerleşdirilen. Bu howany t_2 temperatura çenli gyzdyrylandan soňra onuň göwrümini başdaky durkuna getirer ýaly meýdany S bolan porşeniň üstüne goýmaly ýüküň massasyny kesgitlemeli.

2.1.18. Gaz geçirijiden basyşy $p = 2{,}0 \cdot 10^6\,Pa$ we temperaturasy t =17 ^{0} S bolan (CH_4) metan akýar. Kese kesiginiň meýdany S=6,0 m^2 bolan bu geçiriji turba boýunça $\tau = 1 sag$ wagtda m=32 kg gaz geçirilýär. Turbadaky gazyň tizligini kesgitlemeli.

2.1.19. Gönükmä degişli çyzgynyň grafiginde görkezilen prosesinde ideal gazyň temperaturasy nähili üýtgeýär? Temperaturanyň iň ýokary baha ýetýän nokadyny grafikde görkezmeli.



2.1.19-njy gönükmäniň çyzgysy

BAP 2. 2. Termodinamikanyň esaslary

2.2.1. Termodinamikanyň usuly

1. Termodinamika. Molekulýar-kinetik nazaryýet maddalaryň häsiýetlerini, olarda bolup geçýän hadysalaryň olary düzýän molekulalaryň we atomlaryň hereketleri, özara täsiri bilen doly düşündirýär. Meselem, ideal gazyň basyşy bu nazaryýet boýunça gabyň içindäki molekulalaryň onuň diwaryna ägirt köp urgulary netijesinde, basyşyň temperatura baglylygynyň mukdar aňlatmasy bolsa, temperaturanyň ulalmagy sebäpli molekulalaryň öňe hereketiniň orta kinetik energiýasynyň artmagy bilen düşündirilýär we baglanyşdyrylýar.

Ýöne, käbir halatlarda maddalaryň häsiýetlerini öwrenmekde molekulýar-kinetik nazaryýetiň esaslaryndan peýdalanmak has çylşyrymly bolýar. Bu halatlarda molekulýar fizikanyň termodinamika atlandyrylýan bölüminden gelip çykýan kanunlaryndan we kanunalaýyklyklaryndan peýdalanmak prosesi öwrenmekligi juda aňsatlaşdyrýar.

Termodinamika (grekçe “termos” - ýylylyk , “dunamikos “- güýçli diýen sözlerden gelip çykan adalga) – *ylym bolup, ol ýylylyk proseslerinde energiýanyň saklanma we öwrülme kanunlaryna esaslanýar.* Termodinamikanyň kanunlary ***termodinamiki durnukly*** *(deňagramly)* ***sistemalar*** üçin ulanylýar. Sistemay häsiýetlendirýän parametrler onuň hemme nokatlarynda ulylygy boýunça deň bolan halatynda ol

termodinamik durnuklydyr. Tükeniksiz haýal üýtgeýän proses yzygider durnukly hallardan ybaratdyr, ýagny ol ***kwazidurnukly*** prosesdir.

Termodinamik sistema özüni gurşap alan daşky jisimler bilen özara täsirleşmez ýaly goralan maddalar toplumydyr.

2.2.2. Içki energiýa

Termodinamik sistemanyň iň wajyp kesgitleýji parametrleriniň biri hem içki energiýadyr. Sistemayň içki energiýasy onuň hut öz parametrleri bilen häsiýetlendirilýär. Molekulýar-kinetik nazaryýetde bellenilişi ýaly içki energiýa bu sistemayň içindäki molekulalaryň (atomlaryň) ýylylyk hereketiniň kinetik we özara täsiriniň potensial energiýalarynyň jemine deňdir. Bu ýerde jisimiň özüniň bütinligine kinetik we potensial energiýalarynyň içki energiýa hiç hili dahylynyň ýokdugyny unutmaly däldir.

Ideal gazyň modeli kabul edilende onuň molekulalarynyň özara täsiri ýok diýlip bellenendigi sebäpli onuň içki energiýasy molekulalarynyň ýylylyk hereketiniň orta kinetik energiýasynyň jemine düşünilýär. Eger, seredilýän ideal gazy geliý, argon , we ş.m.ýaly bir atomly bolsalar, onda atomlaryň erkinlik derejesi üçe deň bolar (her bir atom dekart koordinatalar sistemaynyň üç okunyň islendigi boýunça öňe bolan herekete gatnaşar). Has çylşyrymly köpatomly gazlaryň molekulalary iki we köp atomdan özara çekişme güýjüň hasabyna baglanyşykda bolýarlar. Iki atomly molekulanyň mysaly hökmünde ganteli göz öňüne getirip bolar. Bu hilli sistemayň erkinlik derejesi bäşe deňdir (onuň öňki üç erkinlik derejesiniň üstüne ýene-de aýlanma we yrgyldama erkinlik derejeleri goşulýar). Gazyň molekulalarynyň her bir erkinlik derejesiniň orta kinetik energiýasy $kT/2$. Şonuň üçin bir

$$T=\frac{pV}{R}=\frac{pV}{C_p-C_V}\ . \qquad (2.2.33)$$

ýazyp bolar. Indi bu (2.2.33-nji) deňligi ideal gazyň iki temperaturasy üçin (2.2.32) aňlatma esasynda ýazalyň:

$$A'=\frac{C_V\left(p_1V_1-p_2V_2\right)}{C_p-C_V}=\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\frac{C_p-C_V}{C_V}}=\frac{p_1V_1-p_2V_2}{\gamma-1}. \qquad (2.2.34)$$

Bu (2.2.34-nji) aňlatma adiabat prosesde ideal gazyň ýerine ýetirýän işiniň aňlatmasydyr.

Elmydama γ birden ulydyr, sebäbi Maýeriň (2.2.27-nji) deňligine görä $C_p>C_V$.

6. Politrop proses Ýokarda seredilip geçilen hemme izoprosesler hemişelik ýylylyk sygymynda bolup geçýärler:

Izohora prosesinde ýylylyk sygymy $C_V=\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_V$;

Izobara prosesinde ýylylyk sygymy $C_p=\left(\frac{\delta Q}{dT}\right)_p$;

Izoterma prosesinde (*dT*=0) ýylylyk sygymy $C_T=\pm\infty$;

Adiabat prosesinde $(\delta Q=0)$ ýylylyk sygymy *C*=0.

Hemişelik ýylylyk sygymynda bolup geçýän proseslere ***politrop*** atlandyrylýan prosesiň *hususy* haly hökmünde seredip bolar. ***Politrop prosesi*** *diýip, maddanyň (gazyň) ýylylyk sygymy hemişelik* (*C=hemişelik*) *bolan proseslerine aýdylýar*. Bu şerte laýyklykda termodinamikanyň birinji ($\delta Q=dU+\delta A'$) kanunyndaky ululyklary $\delta Q=CdT;$ $dU=C_VdT;$ $\delta A'=pdV$ aňladyp ýazarys:

Ýagny gurşun plastinanyň içki energiýasynyň üýtgemegi çekijiň urgy güýjüniň işine deňdir:

$$dU=\delta A.$$

Eger jisimiň içki energiýasy başga jisimler bilen ýylylyk çalyşygy netijesinde üýtgeýän bolsa, onda bu üýtgeme jisim tarapyndan berlen δQ ýylylyk mukdaryna deňdir:

$$dU=\delta Q\,.$$

Umuman jisimiň içki energiýasy daşky güýçleriň işi we ony gurşap alan daşky jisimler arasyndaky ýylylyk çalyşygy bilen hem üýtgäp bilýär. Diýmek, ***termodinamiki sistemaýň içki energiýasynyň üýtgemegi oňa berlen*** δQ ***ýylylyk mukdarynyň we daşky güýjüň*** δA ***işiniň jemine deňdir:***

$$dU=\delta Q+\delta A. \qquad (2.2.8)$$

Bu ýerde δU -sistemaýň içki energiýasynyň üýtgemegi; δQ- ýylylyk geçirijilik esasda jisime berlen energiýanyň mukdary; δA-daşky güýçleriň işi (energiýasy artýan jisime ikinji bir jisim bilen mehaniki özara täsirde geçirilen energiýanyň barabar ölçegi). Bu kanuna termodinamikanyň ***birinji kanuny*** diýilýär, (2.2.8-nji) deňlik onuň differensial aňlatmasydyr.

Umuman Q ýylylyk mukdary hal –ýagdaý funksiýasydyr, ýagny onuň ululygy makrosistemanyň eýe bolan ýagdaýyna gelmegine sebäp bolan prosesiň görnüşine baglydyr. Şonuň üçin elementar ýylylyk mukdaryny δQ ýaly belgilemek kabul edilendir. Gazyň basyş güýji tarapyndan ýerine ýetirilýän iş hem hal funksiýasydyr we ol δA ýaly bellenilýär. Emma içki energiýa termodinamiki sistemaýň berlen hala geçiş usulyna bagly däldir. Ol bu sistemaýň başlangyç we ahyrky halyna baglydyr. Şonuň üçin hem onuň üýtgemegi dU bilen belgilenýär.

Termodinamikanyň birinji kanunynyň manysy töweregindäki jisimler bilen özara täsir edişýän jisimiň içki energiýasyny iki sany prosesiň ýylylyk çalyşygy we daşky güýçleriň işi netijesinde üýtgedip bolar. Islendik jisimiň içki energiýasynyň artmagy onuň bilen täsirleşýän ikinji jisimiň agzalan ulylyga barabar mukdarda energiýasynyň azalmagynyň hasabyna bolup geçýär.

Termodinamikanyň birinji kanunyndaky daşky güýçleriň termodinamiki sistemaýň üstünde ýerine ýetirýän δA işine derek sistemaýň hut özüniň daşky güýçleriň garşysyna edýän $\delta A'$ işi bilen çalşyrmak amatlydyr. Bu işler moduly boýunça deň ugry boýunça bolsa garşylyklydyrlar ($\delta A' = -\delta A$). Onda (2.2.8-nji) aňlatmany

$$\delta Q = dU + \delta A' \qquad (2.2.9)$$

görnüşde ýazyp bolar. ***Termodinamiki goralan sistemaa berlen δQ ýylylyk mukdary sistemaýň içki energiýasyny dU ululyga üýtgetmeklige we bu sistemaýň daşky täsirleriň garşysyna ýerine ýetirýän $\delta A'$ işiniň jemine deňdir.***

Bu (2.2.9-njy) deňligi gazyň položitel işi ýerine ýetirýän, ýagny göwrümi giňelýän proseslerde ulanmak has amatlydyr. Bu deňlikden görnüşi ýaly jisime δQ ýylylyk mukdary geçirilende onuň içki energiýasynyň artjakdygy, azaljakdygy ýa-da üýtgemän galjakdygy onuň daşky täsirleriň garşysyna ýerine ýetirýän $\delta A'$ işiniň ululygyna baglydyr. Diýmek, maddanyň içki energiýasynyň şol bir ululyga üýtgemeginde onuň daşky täsiriň garşysyna ýerine ýetirýän işiniň ululygyna baglylykda ondan dürli mukdarda ýylylyk alyp boljak.

gatlaklarynda atmosferanyň basyşy azalýar we gaz giňelmek bilen özüniň ýeten belentligindäki howanyň temperaturasy bilen deňleşýänçä adiabat sowaýar. Howanyň düzümindäki bar bolan suw buglary atmosferanyň käbir beýikligine galmak we sowamak netijesinde doýgun däl haldan aşadoýgun hala geçýärler. Bu halda aşadoýgun suw buglary kondensirlenip, örän kiçi damjalardan ybarat bulutlary döredýärler. Bulutlaryň aşaky çäkleriniň ýerden iň kiçi beýikligi ýokaryk galýan howanyň gyraw nokadyna çenli sowamak şerti bilen kesgitlenýär. Ýagny buludyň temperaturasy onuň ýeten belentligindäki howanyň temperaturasyna deňleşýänçä ýokary galýar (2.2.4-nji çyzgy). Diýmek, Ýeriň atmosferansynyň temperaturasynyň we howasynyň çalyşymagynda atmosferadaky gazlaryň adiabat giňelmeginiň orny wajypdyr.

5. Adiabata prosesde ideal gazyň işi. Termodinamikanyň birinji kanuny esasynda (2.2.9-njy) ideal gazyň göwrümini giňeltmek üçin özüniň ýerine ýetiren $\delta A'$ işi onuň içki energiýasynyň azalmagyna, ýagny gazyň içki energiýasynyň üýtgemeginiň minus alamaty bilen alnan ululygyna deňdir:

$$\delta A' = -dU = mc_V\left(T_1 - T_2\right).$$

Bir mol ideal gaz üçin bu aňlatma :

$$A' = C_V\left(T_1 - T_2\right). \qquad (2.2.32)$$

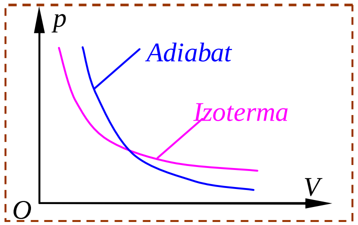
Bu aňlatmadaky T temperaturany edil ýokarda ulanylyşy ýaly Mendeleýew-Klapeýronyň $\left(2.1.32'\right)$ we Maýeriň deňliklerinden peýdalanyp

Ýa-da (2.230-njy) deňlikde absolýut temperaturanyň ornuna $T = pV/R$ deňligi ulanyp:

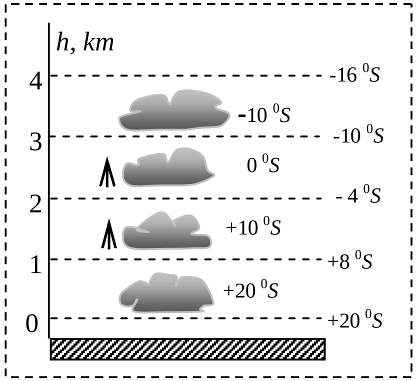
$$pV^{\gamma} = hemişelik\ . \qquad (2.2.31)$$

Bu aňlatma hem edil (2.2.30) deňlik ýaly ***Puassonyň deňlemesiniň bir görnüşidir.***

Ýokardaky (2.2.29-njy) aňlatma laýyklykda daşky güýç sistemaýň göwrümini kiçeltse, ýagny položitel işi ýerine ýetirse gazyň içki energiýasy artýar we gaz gyzar. Adiabata prosesde gazyň basyşynyň onuň göwrümine baglylyk grafigine adiabat diýilýär. Prosesleriň *p-V* diagrammasyndan görnüşi



2.2. 3-nji çyzgy. *Izoterma we adiabat baglanyşyklar*



2.2. 4-nji çyzgy. *Suw buglarynyň atmosferada adiabat sowamak fazalary*

ýaly adiabatanyň üýtgeýşi izotermanyňkydan has çaltdyr (2.2.3-nji çyzgy).

Ýeriň atmosferasynyň ägirt uly möçberinde howa (gaz) adiabat giňäp sowaýar. Ýeriň üstünde dagyň, düzüň , tokaýyň bolmagy onuň üstüniň temperaturasynyň dürlüligini döredýär. Ýeriň gyzgyn böleginiň üstündäki howa gatlaklary ýokary göterilýär we göwrümine giňeýär. Howanyň ýokary

2.2.5. Gaty jisimleriň we ideal gazyň ýylylyk sygymy

1.Ýylylyk mukdary we udel ýylylyk sygymy. Dürli hilli proseslerde maddalaryň içki energiýasynyň üýtgemegini hasaplamak üçin olara berilýän ýylylyk mukdaryny nähili hem bolsa bir usul bilen hasaplamagy başarmaly. Bu bolsa, jisime berlen ýylylyk mukdaryň onuň temperaturasyny nähili derejede üýtgedendigini kesgitlemäge syrykdyrylýar. Fizikada jisime berlen (ýa-da alnan) δQ ýylylyk mukdarynyň onuň temperaturasynyň dT üýtgemegine bolan gatnaşygyna C ýylylyk sygymy $C = \delta Q/dT$ diýilýär. Jisimiň massa birligine düşýän sygymyna bolsa udel ýylylyk sygymy diýilýär we ol $c = C/m = \delta Q/(mdT)$ bellenilýär.

Eger, daşky güýçleriň işi nola deň bolsa, ýylylyk mukdary jisime hemişelik göwrümde berilýär we ($\delta A_V = pdV = 0$) onda termodinamikanyň birinji kanunyna (2.2.8) we (2.2.2) deňliklere laýyklykda ol diňe sistemaýň içki energiýasyny üýtgetmäge harçlanýar :

$$dU = \delta Q_V = c_V mdT\ . \qquad (2.2.10)$$

Bu ýerde δQ_V - hemişelik göwrümde jisime berlen ýylylyk mukdary, *dT*- jisimiň temperaturasynyň üýtgemegi, c_V- maddalaryň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy, *m*- bölejikleriň *N* sanyna proporsional bolan makroskopik ululyk hökmünde jisimiň massasy.

Bu deňlikden görnüşi ýaly maddalaryň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy onuň 1*kg* massasyny 1^0S temperatura gyzdyrmak üçin gerek bolan δQ_V ýylylyk mukdaryna (energiýasynyň *dU* üýtgemegine) deňdir:

$$c_V = \frac{\delta Q_V}{m\,dT} = \frac{dU}{m\,dT}\,. \qquad (2.2.11)$$

Ölçegleriň Halkara sistemaynda udel ýylylyk sygymy $\left[J/(kg\cdot K)\right]$ -de hasaplanylýar. Tmodinamikanyň birinji kanunyny ulanyp, (2.2.11-nji) deňlik bilen islendik agregat haldaky maddanyň udel ýylylyk sygymyny hasaplap bolar.

2.Ýylylyk barabarlygynyň (balansynyň) deňlemesi. Eger haýsy hem bolsa m_1 we m_2 massaly , dürli başlangyç temperaturaly iki jisimiň birisiniň c_1 udel ýylylyk sygymy belli bolsa, onda olary daşky sistemadan ýylylyk gorag şertinde biri-biri bilen galtaşdyryp, olaryň temperaturasy deňagramlaşýança garaşyp, ikinji jisimiň c_2 udel ýylylyk sygymyny hasaplap bolar.

Jisimler galtaşdyrylanda olaryň gyzgynyndan sowugyna ýylylyk mukdary geçýär we jisimleriň arasynda ýylylyk deňagramlylygy döreýär. Energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda ýylylyk goragly jisimlerň birisiniň içki energiýasynyň azalmagy ikinjisiniň içki energiýasynyň şol ululyga artmagyny döredýär:

$$dU_1 + dU_2 = 0. \qquad (2.2.12)$$

Eger sistemayň içki energiýasynyň üýtgemegi diňe ýylylyk geçirijiligiň hasabyna (dA =0) bolup geçse, onda termodinamikanyň birinji kanunyna görä

$$dU_1 = \delta Q_1,\ dU_2 = \delta Q_2\,.$$

Sistemauň ýylylyk mukdarynyň jemi bolsa üýtgemez

$$\delta Q_1 + \delta Q_2 = 0\,.$$

görnüşde alyp, onuň iki tarapyny hem $1/(C_V T)$ köpeldeliň:

Mendeleýewiň –Klapeýronyň $(2.1.32')$ deňlemesinden gazyň basyşyny $p = \frac{RT}{V}$ aňladyp, ýokardaky deňligi ýazalyň:

$$\frac{dT}{T} + \frac{R}{C_V}\frac{dV}{V} = 0\,.$$

Ýokardaky (2.2.27-nji) deňlikden R –i tapyp, ahyrky deňligi özgerdeliň:

$$\frac{dT}{T} + \frac{(C_p - C_V)}{C_V}\frac{dV}{V} = \frac{dT}{T} + \left(\frac{C_p}{C_V} - 1\right)\frac{dV}{V} = 0\,.$$

Bu deňlikdäki hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymyna bolan $\gamma = \frac{C_p}{C_V}$ gatnaşyga ***Puassonyň koeffisiýenti*** diýilýär. Ony göz öňünde tutup, ahyrky deňligi ýazarys:

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

Bu deňligi integrirläp, soňra bolsa potensirläp

$$TV^{\gamma-1} = hemi\c{s}elik\,, \qquad (2.2.30)$$

adiabat prosesiň aňlatmasyny alarys. Bu (2.2.30-njy) aňlatma başgaça ***Puassonyň deňlemeleriniň*** bir görnüşidir.

Indi termodinamikanyň birinji (2.2.9) kanunynda (2.2.21), (2.2.25) we (2.2.26) deňlikleri goýup alarys:

$$C_p = C_V + R. \qquad (2.2.27)$$

Bu (2.2.27-nji) deňlige ony ilkinji bolup getirip çykaran alymyň hormatyna ***Maýeriň aňlatmasy*** diýilýär. Bu aňlatma hemişelik basyşdaky we hemişelik göwrümdäki molýar ýylylyk sygymlaryny baglanyşdyrýar.

Bir atomly ideal gaz üçin

$$C_p = \frac{3}{2}R + R = \frac{5}{2}R. \qquad (2.2.28)$$

4. Adiabata prosesi. Termodinamiki sistema goragly bolan halaty onuň daşky gurşaw bilen hiç hili ýylylyk gatnaşygy ýokdur. ***Daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşygy bolmaýan proseslere adiabata prosesi diýilýär.*** Diýmek, adiabat proseslerde $\delta Q = 0$, onda

$$dU = \delta A\ . \qquad (2.2.29)$$

Durmuşda iş salyşylýan sistemalary daşky gurşaw bilen ýylylyk çalyşygyndan büs-bütin gorap bolanok. Ýöne bu talaba has golaýlaşdyrylan hallar bar. Arasyndaky howasy aşa seýreklendirilen “köýnekli” iki gat diwarly Dýuaryň gaby atlandyrylýan termosda bolup geçýän prosesleri adiabata derek kabul edip bolar.

Adiabat prosesiň deňlemesini getirip çykarmak üçin termodinamikanyň birinji kanunyny

$$C_V dT + pdV = 0,$$

Eger birinji jisimiň temperaturasy ikinjisiniňkiden uly bolsa, onda $\delta Q_1 = \delta Q_{ber}$ we $\delta Q_2 = \delta Q_{aln}$ bellesek, ýokarky deňlik:

$$|\delta Q_{ber}| = |\delta Q_{aln}|\ . \qquad (2.2.13)$$

Diýmek, berlen ýylylyk mukdary alnan ýylylyk mukdaryna deňdir. Bu (2.2.13-nji) deňlik ýylylyk barabarlygynyň deňlemesidir. Ony

$$c_1 m_1 (T_1 - T) = -c_2 m_2 (T - T_2)\ , \qquad (2.2.13')$$

görnüşde-de aňladyp bolar. Bu ýerde T_1 we T_2 - degişlilikde birinji we ikinji jisimiň başlangyç temperaturasy, T – olaryň galtaşmadan soňky durnugyşan temperaturasy. Bu $(2.2.13')$ deňligiň sag tarapyndaky minus alamaty ikinji jisimiň ýylylyk mukdaryny kabul edendigini aňladýar. Ýa-da ol deňlikden ikinji jisimiň näbelli hasaplanylýan c_2 udel ýylylyk sygymyny

$$c_2 = -\frac{c_1 m_1 (T_1 - T)}{m_2 (T - T_2)}, \qquad (2.2.14)$$

hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany alyp bolar.

3.Gaty maddalaryň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy. Gaty agregat halyndaky maddalaryň udel ýylylyk sygymyny hasaplamak üçin m massaly jisime deformirleýji güýç bilen täsir etmeli we onuň temperaturasynyň dT üýtgemegini kesgitlemeli (gaty jisimleriň temperaturasyny termopara bilen ölçenilýändigini *“2.1.7 Temperaturanyň* *ölçenilişi* “ temada ýatlanyldy). Eger jisime täsir eden deformirleýji güýç başga jisimler bilen ýylylyk goragda ($\delta Q = 0$) geçirilen bolsa, termodinamikanyň birinji kanunyna görä jisimiň içki energiýasynyň üýtgemegi daşky deformirleýji güýjüň ýerine ýetiren δA işine deňdir.

Gaty jisimiň göwrümini üýtgetmän saklap, oňa δQ_V ýylylyk mukdaryny berip, onuň içki energiýasyny $dU = \delta Q_V = c_V m\, dT$ ululyga üýtgedip bolar. Bu ýerden gaty maddalaryň udel ýylylyk sygymyny kesgitlemäge mümkinçilik berýän

$$c_V = \frac{\delta Q_V}{mdT} = \frac{\delta A}{mdT}\ , \tag{2.2.15}$$

deňligi alarys. Bu usul boýunça 1843-nji ýylda J. Joul ilkinjileriň hatarynda gaty maddalaryň udel ýylylyk sygymyny tejribede hasaplapdyr.

4. Ideal gazyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy. Ýylylyk geçirijilikde maddalara berilýän ýylylyk mukdary olaryň temperaturalarynyň üýtgemeginiň ýeketäk usulyny kesgitlänok. Sebäbi maddalaryň üstünde daşky güýçleriň ýerine ýetirýän işiniň hasabyna-da olaryň içki energiýasy üýtgeýär. Öň bellenilişi ýaly içki energiýa maddanyň temperaturasyna göni baglydyr. Diýmek, maddalara ýylylygyň nähili şertde geçirilýändigine bagly olaryň kesgitleýji häsiýetlendirijileri bar. Meselem, şol bir madda üçin udel ýylylyk sygymy maddalary häsiýetlendirýän içki energiýanyň üýtgemegi ýylyk geçirijiligiň nähili şertde bolup geçýändigine baglydyr.

Geliň, hemişelik göwrümdäki ideal gazyna ýylylyk geçirilişine seredeliň. Bu şertde daşky güýçleriň gazyň üstünde ýerine ýetirýän δA_V işi nola deňdir. Bu haldaky gazyň udel

$$\delta Q_p = dU + \delta A' = dU + pdV\ . \tag{2.2.23}$$

Ideal gazyny Izobara gysmak, ýagny gysylýan gazyň basyşyny hemişelik saklamak üçin ony sowatmaly, gysylma sebäpli onuň temperaturasynyň artan bölegini daşky gurşawa geçirmek zerurdyr. Bu bolsa gazyň temperaturasynyň peselmegine we onuň içki energiýasynyň azalmagyna getirýär. Bu halda gazyň daşky sreda berýän δQ_p ýylylyk mukdary daşky güýçleriň gazy gysmak üçin ýerine ýetirýän işinden uludyr. Sebäbi onuň içki energiýasynyň üýtgemegi otrisatel alamatlydyr

$$dU = \delta A - \delta Q_p,$$

ýa-da bu ýerden :

$$\delta Q_p = \delta A - dU. \tag{2.2.24}$$

Izobara prosesde berlen ýylylygy

$$\delta Q_p = C_p dT \tag{2.2.25}$$

görnüşde hem aňladyp bolar. Bu ýerde C_p- hemişelik basyşdaky gazyň molýar ýylylyk sygymy, dT - onuň temperaturasynyň tapawudy.

Hemişelik basyşda göwrümini ulaldýan 1 mol gazyň ýerine ýetirýän işi :

$$\delta A' = RdT\ . \tag{2.2.26}$$

Bu aňlatma (2.2.6-njy) deňligiň esasynda gazyň hemişelik basyşda ýerine ýetirýän işiniň $\delta A' = pdV$ aňlatmasy we bir mol ideal gaz üçin Mendeleýew- Klapeýronyň $pV=RT$ deňlemesiniň esasynda getirildi.

2. Izohora prosesi. Bu prosesiň islendik pursatynda gazyň göwrümi üýtgänok, (V =hemişelik) $dV = 0$, onda $\delta A' = pdV = 0$. Şonuň üçin sistema mehaniki işi ýerine ýetirilenok ($\delta A'$=0). Onda termodinamikanyň birinji (2.2.9) kanuny :

$$dU = \delta Q_V, \qquad (2.2.20)$$

görnüşi alar. Bu (2.2.20) deňlik izohorik proses üçin termodinamikanyň birinji kanunynyň aňlatmasydyr .

Biz (2.2.20-nji) aňlatma görä bir atomly 1 mol ideal gaz üçin hemişelik göwrümdäki C_V ***molýar ýylylyk sygymyny*** $C_V = \delta Q/dT$ ýazarys. Bu ýerde: δQ_V-sistemaa izohorik prosesde berlen ýylylygyň mukdary; dT –onuň temperaturasynyň üýtgemegi. Ony we (2.2.20-nji) deňligi göz öňünde tutup,

$$C_V = \frac{dU}{dT}. \qquad (2.2.21)$$

Içki energiýanyň $(2.2.1')$ aňlatmasyny bir mol gaz üçin $U = (3/2)RT$ ulanyp, hemişelik göwrümdäki C_V molýar ýylylyk sygymyny:

$$C_V = \frac{3}{2}R, \qquad (2.2.22)$$

görnüşde aňladyp bolar.

3. Izobara prosesi. Bu prosesde ideal gaza δQ_p ýylylyk mukdaryny berip gyzdyrylanda, onuň içki energiýasy artýar we ol göwrümine giňelmek üçin $\delta A'$ işi ýerine ýetirýär:

ýylylyk sygymyny onuň içki energiýasynyň üýtgemegi netijede edil gaty maddalarda hasaplanylyşy ýaly (2.2.15-nji) aňlatmany ulanyp, kesgitläp bolar. Ýöne bu halda içki energiýanyň üýtgemegini bir atomly N molekuladan ybarat bolan ideal gaz üçin ýazylan (2.2.1) aňlatmadan tapyp bolar:

$$dU = \frac{3}{2}Nk \cdot dT. \qquad (2.2.16)$$

Indi (2.2.11) we (2.2.16) deňliklerden

$$c_V = \frac{dU}{mdT} = \frac{3kNdT}{2mdT} = \frac{3kN}{2m} = \frac{3kN_A}{2M} = \frac{3R}{2M}. \qquad (2.2.17)$$

Bir atomly ideal gazyň hemişelik basyşdaky udel ýylylyk sygymy

$$c_p = \frac{3+2}{2M}R = \frac{5}{2M}R. \qquad (2.2.17')$$

Bu ýerde M- ideal gazyň molýar massasy.

Ideal gazlara niýetlenen (2.2.17-nji) deňlik boýunça alnan netijeleri wodorod, geliý, azot, argon we kömürturşy real gazlary üçin T=300 K temperaturada tejribede alnan netijeler bilen deňeşdirilip, 2.2.1 tablisada görkezilen.

Gazlaryň udel ýylylyk sygymlarynyň tejribede alnan ululyklary bilen (2.2.17-nji) deňlik boýunça hasaplanylan ululyklary deňeşdirip, geliý we argon üçin olaryň gowy gabat gelýändigini görýäris. Ýöne wodorod, azot we kömürturşy gazy üçin udel ýylylyk sygymynyň hakyky (tejribeden alnan) ululygy olaryň nazary hasaplama bahalaryndan has uludyr (2.2.1 tablisa).

2.2.1. tablisa

Aňlatma we ady	*Wodorod*	*Geliý*	*Azot*	*Argon*	*Kömürturşy gazy*
$c_V=\frac{3R}{2M}$, $\left[J/(kg\cdot K)\right]$	$6{,}2\cdot10^3$	$3{,}1\cdot10^3$	$4{,}45\cdot10^2$	$3{,}1\cdot10^2$	$2{,}8\cdot10^2$
$(c_V)_{tejribe}$ $\left[J/(kg\cdot K)\right]$	$1{,}01\cdot10^4$	$3{,}2\cdot10^3$	$7{,}5\cdot10^2$	$3{,}2\cdot10^2$	$6{,}5\cdot10^2$
$c_V=\frac{iR}{2M}$, $\left[J/(kg\cdot K)\right]$	$1{,}04\cdot10^4$	$3{,}1\cdot10^3$	$7{,}4\cdot10^2$	$3{,}1\cdot10^2$	$5{,}7\cdot10^2$

Munuň sebäbi wodoroddan, azotdan we kömürturşy gazyndan tapawutlylykda geliý we argon inert gazlarydyr. Inert gazlaryň atomlarynyň arasyndaky özara täsir juda az bolany üçin adaty şertlerde olar birigip molekula döretmeýärler.

Geliý, argon bir atomly gazlardyr we wodorod, azot, kömürturşy gazlar bolsa köp atomly, ýagny molekulýar gazlardyr.

2.2.6. Termodinamikanyň birinji kanunynyň izohadysalarda ulanylyşy

1. **Izoterma prosesi.** Ideal gazyň içki energiýasy onuň temperaturasy bilen kesgitlenilýär. Izoterma prosesde temperatura hemişelik (T=*hemişelik*) bolany sebäpli gaz giňelende ýa-da gysylanda onuň içki energiýasy üýtgemeýär $(dU=0)$. Onda termodinamikanyň birinji (2.2.9) kanunyna

laýyklykda sistemaa berlen δQ ýylylyk mukdary dolylygyna gazyň göwrüminiň izoterma giňelmegi üçin ýerine ýetiren $\delta A'$ işine harçlanylýar:

$$\delta Q=\delta A'. \qquad (2.2.18)$$

Izotermik hadysada gaza berilýän δQ ýylylyk mukdary tutuşlygyna gazyň ýerine ýetirýän işine harçlanýar. Bu işi Mendeleýewiň –Klapeýronyň $(2.1.32')$ deňlemesinden peýdalanyp, izoterma hadysasynda gazyň ýerine ýetirýän doly işini ýazarys:

$$A'=\int_{V_1}^{V_2}pdV=RT\int_{V_1}^{V_2}\frac{dV}{V}=RT\ln\frac{V_2}{V_1},$$

ýa-da

$$Q=A'=RT\ln\frac{V_2}{V_1}=RT\ln\frac{p_1}{p_2} \qquad (2.2.18')$$

Ýa-da termodinamikanyň $(2.2.18'-\text{nji})$ görnüşdäki birinji kanunyna laýyklykda daşky güýçleriň täsiri bilen izotermik gysylýan ideal gazlar üçin agzalan kanuny:

$$\delta A=-\delta Q, \qquad (2.2.19)$$

görnüşde aňladyp bolar. Bu aňlatmadaky δQ ýylylyk mukdarynyň otrisatel alamaty izoterma gysylmada daşky güýçleriň ýerine ýetirýän işiniň položiteldigi we bu prosesde gazyň öz ýylylygyny daşky gurşawa geçirýändigini aňladýar. Ýokarda getirilen (2.2.18) we (2.2.19) deňlikler izotermik proses üçin termodinamikanyň birinji kanunynyň aňlatmasydyr.

2.2.11. Ýylylyk üfleýjiler (nasoslar)

Soňky döwürlerde otaglary gyzdyrmak üçin elektrik tokly gyzdyryjylar däl-de ***ýylylyk üfleýjiler*** atlandyrylýan ýörite gurluş ulanylýar. Bu üfleýjiler atmosferadan alan Q_2 ýylylygyny gyzdyrylýan otaga berýärler.

Ýylylyk üfleýjileriň kesgitleýji häsiýetnamasy bolup, olaryň (ε_{gyz}) ***gyzdyryjy koeffisiýenti*** hyzmat edýär. Bu koeffisiýent sowadyjylardaky ýaly alnan Q_2 ýylylyk mukdary bilen däl-de tersine gyzdyrylýan jisime berlen Q_1 ýylylyk mukdarynyň ululygy esasynda häsiýetlendirilýär $\varepsilon_{gyz} = |Q_1|/A$.

Iň gowy ýylylyk üfleýjileriň gyzdyryjy koeffisiýentini (2.2.41) aňlatma laýyklykda

$$\varepsilon_{gyz} = \frac{T_1}{T_1 - T_2} \quad , \qquad (2.2.46)$$

ýazyp bolar. Bu ýerde T_1, T_2 degişlilikde gyzdyrylýan otagyň we atmosferanyň absolýut temperaturalary.

2.2.12. Termodinamikanyň ikinji kanuny

Termodinamikanyň ikinji kanuny energiýanyň özgermeginiň mümkin bolan ugurlaryny görkezmek bilen tebigatda bolup geçýän peýroseslerň öwrülişikli däldigini aňladýar. Bu netijä tejribede alnan maglumatlaryň esasynda gelinendir.

Teermodinamikanyň ikinji kanunynyň bir-birinden özüniň düşündirilişi boýunça tapawutlanyp, şol bir manyny aňladýan dürli kesgitlemelri bar:

$$CdT = C_V dT + pdV.$$

Ýa-da ony

$$(C - C_V)dT = pdV \,.$$

Indi Mendeleýew-Klapeýronyň deňlemesini differensirläliň

$$pdV + Vdp = RdT$$

bu ýerden

$$dT = \frac{pdV + Vdp}{R} = \frac{pdV + Vdp}{C_p - C_V}\,.$$

Ýa-da $(C - C_V)dT = pdV$ deňlikde dT–niň ýokardaky aňlatmasyny ulanyp,

$$\frac{C - C_V}{C_p - C_V}(pdV + Vdp) = pdV$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu deňligi

$$\left(\frac{C - C_V}{C_p - C_V}\right) pdV = -\left(\frac{C - C_V}{C_p - C_V}\right) Vdp,$$

ýa-da onuň iki tarapyny hem $\left(\frac{C - C_V}{C_p - C_V}\right)$ köpeldip alarys:

$$\frac{C - C_p}{C - C_V}\frac{dV}{V} + \frac{dp}{p} = 0\,.$$

Bu deňlikdäki $n=\left(C-C_p\right)/\left(C-C_V\right)$ ululygy belläliň. Bu ýerde: *n*- ýylylyk sygymlaryna bagly koeffisiýent. Ol politrop prosesiň görkezijisidir. Ony göz öňünde tutup, ýokardaky deňligi:

$$pV^n = hemi\text{ş}elik, \tag{2.2.35}$$

görnüşe getirip bolar. Bu (2.2.35-nji) deňlik politrop prosesiň aňlatmasy bolup, ol hemme izoprosesleri özünde jemleýär.

Goý politrop prosesde ýylylyk sygymy *C*=0 bolsun, onda $n=C_p/C_V=\gamma$. Ýagny politrop prosesiň görkezijisi adiabatanyň görkezijisine (2.2.31-nji) deňlige öwrülýär.

Goý, indi gazyň ýylylyk sygymy tükeniksizlige ymtylsyn ($C\to\infty$). Bu halatda

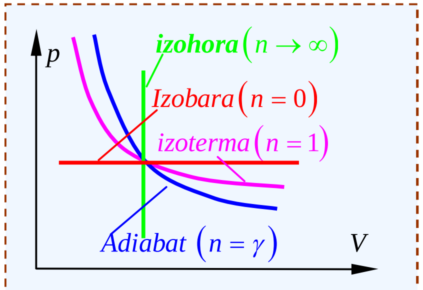
$$n=\lim_{C\to\infty}\frac{C-C_p}{C-C_V}=1,$$

politrop prosesiň (2.2.35-nji) deňlemesi izoterma prosesiniň (*pV=hemişelik*) (2.1.34-nji) deňlemesine özgerýär.

Izobara proses üçin $C=C_p$, onda n = 0 we (2.2.35-nji) deňlik *p=hemişelik* .

Edil şonuň ýaly hem izohora proses üçin $C=C_V$ we $1/n=0$. Onda $p^{1/n}V=hemi\text{ş}elik$, bu ýerden bolsa, *V=hemişelik.*

Politrop prosesiň husussy haly hökmünde dürli prosesleriň *p-V* diagrammadaky grafikleri (2.2.5-nji) çyzgyda görkezilen.



2.2. 5-nji çyzgy. *Politrop proses*

ýylylyk mukdary (2.2.40-nji) aňlatma laýyklykda $Q_2=Q_1(\eta-1)$ ýa-da

$$Q_2=Q_1(\eta-1)=\frac{A}{\eta}(\eta-1)>0\ . \tag{2.2.43}$$

Sowadyjy maşynyň işçi jisiminiň özünden gyzdyryja berýän Q_1 ýylylyk mukdary onuň sowadyjydan alýan Q_2 ýylylyk mukdaryndan ulydyr. Ýagny (2.2.41) we (2.2.43) aňlatmalara laýyklykda $Q_2=(1-\eta)A/\eta=-Q_1-A$. Bu ýerden bolsa

$$|Q_1|=A+Q_2\,. \tag{2.2.44}$$

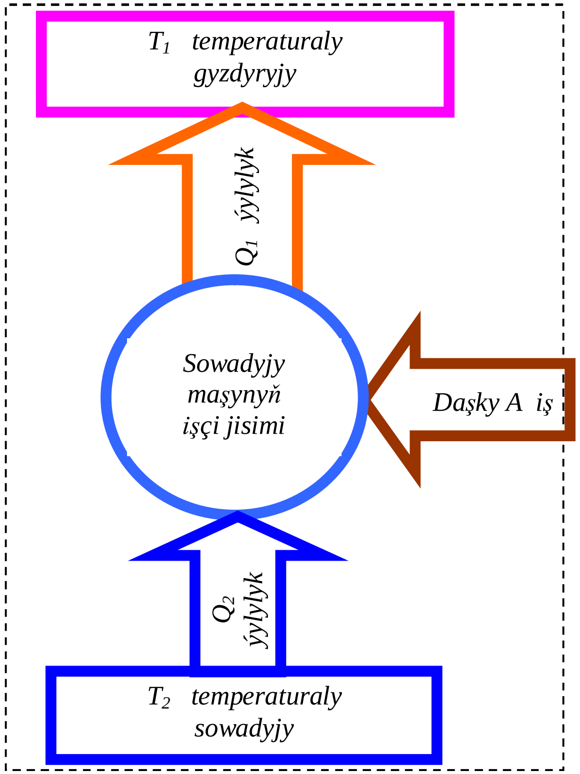
Sowadyjylaryň ε_{sow} ***sowadyjy koeffisiýenti*** diýip, *sowadylýan ulgamdan alynýan Q_2 ýylylyk mukdarynyň daşky güýjüň ýerine ýetirýän A işine gatnaşygyna* $\varepsilon=Q_2/A$ *aýdylýar.*

Diýmek, sowadyjylaryň ε_{sow} ***sowadyjy koeffisiýentini*** (2.2.38) we (2.2.43) aňlatmalaryň esasynda

$$\varepsilon_{sow}=\frac{Q_2}{A}=\frac{T_2}{T_1-T_2}, \tag{2.2.45}$$

ýazyp bolar.

Bu (2.2.45-nji) aňlatmadan görnüşi ýaly temperaturalaryň tapawudy näçe kiçi bolsa sowadyjy koeffisiýent şonça-da uludyr we sowadylýan jisimiň T_2 temperaturasy näçe kiçi bolsa ε_{sow} şonça-da azdyr. Umuman ε_{sow} sowadyjy koeffisiýent birden has uly hem bolup biler. Durmuşda ulanylýan sowadyjylaryň (holodilnikleriň) sowadyjy koeffisiýenti üçden uludyr. Sowadyjylaryň dürli görnüşleriniň biri hem otaglardaky, awtomobilleriň salonyndaky ýylylygy alyp, atmosfera geçiriji sowadyjy kondisionerlerdir.



2.2.8-nji çyzgy. *Sowadyjy maşynyň işleýiş prinsipi*

$$Q_1 = -\frac{A}{\eta}\ . \qquad (2.2.42)$$

Bu deňligiň sagyndaky minus alamaty işçi jisimden ýylylygyň başga jisime geçirilýändigini aňladýar. Bu ýylylygyň absolýut ululygy $|Q_1| = A/\eta$. Işçi jisimiň sowadyjydan alýan Q_2

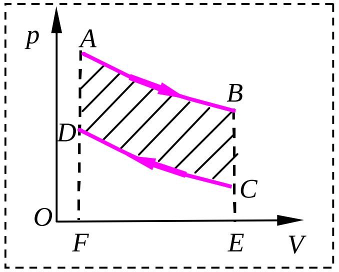
2.2.7. Ýylylyk hereketlendirijileriň işleýiş prinsipi. Ýylylyk hereketlendirijileriň PTK-sy

Ýangyjyň içki enrgiýasyny mehaniki energiýa özgerdýän maşynlara ***ýylylyk hereketlendirijiler*** *diýilýär.* Işçi bölekleri periodiki (döwürleýin) başlangyç halyna dolanyp gelýän ýylylyk hereketlendirijilere ***periodiki gaýtalanýan ýylylyk hereketlendirijiler*** diýilýär.

1. Ýylylyk hereketlendirijileriň işleýiş prinsipi. Silindriň içinde jebis ýerleşdirilen porşeniň aşagyndaky gazyň göwrümi giňelende porşen hereketlenýär. Adatça porşeni herketlendiriji onuň aşagyndaky gaza ***işçi jisim*** diýilýär. Işçi jisimiň basyşy atmosfera basyşyndan uly bolany sebäpli ol tä daşky atmosferanyň basyşy bilen deňleşýänçä giňelip iş edýär. Bu işiň ýerine ýetirilmegini gaýtalamak üçin işçi jisimi (gazy) birinji halyna çenli gysmaly. Gazy gysmak bolsa daşky güýçleriň porşeniň üstünden täsir etmegi bilen amala aşyrylýar. Mundan soňra işçi jisimiň giňelmegi we gaýtadan gysylmagy yzygider periodiki gaýtalanýar. Porşeniň hereketi onuň bilen ýörite şatunlar we tirsekli ok arkaly ulaglaryň tigirlerini aýlaýar. Munuň ýaly gurluşlara ***ýylylyk hereketlendiriji*** (dwigatel) diýilýär. Şunlukda agzalan hereketlendirijiniň kömegi bilen gazyň, ýangyjyň we ş.m. işçi jisimleriň içki energiýasyny mehaniki herekete özgerdilýär.

Işçi jisimi başky durkuna getirmek üçin, ony daşky güýçleriň täsiri bilen göwrümine gysmak üçin ýerine ýetirilýän işiň absolýut ululygynyň gaz giňelende işçi jisimiň ýerine ýetirýän položitel işiniň modulyna deň bolsa, porşeniň doly bir aýlawynda ýerine ýetirilýän umumy işi nola deň bolar. Bu ýerden görnüşi ýaly noldan tapawutly peýdaly işi almak üçin gaz gysylanda daşky güýçleriň ýerine ýetirýän işiniň ululygynyň onuň giňelendäki ýerine ýetirýän işinden kiçi bolmagyny gazanmaly. Gaz kanunlaryndan belli bolşy ýaly gaz V_1 göwrümden V_2 göwrüme çenli giňelende onuň basyşy p_1-dan p_2-ä çenli kiçelýär. Gysyş prosesinde gazyň göwrümi V_2 –den V_1-e çenli kiçeldilende bolsa, onuň basyşy giňelme prosesiň islendik pursadyndaky degişli basyşyndan kiçi bolmagyny üpjin etmeli. Ýagny gysyş prosesiň ahyrynda işçi jisimiň p_4 basyşy prosesiň başlangyç halyndaky p_1 basyşdan kiçi bolmaly $\left(p_4 < p_1\right)$. Bu halda işçi jisimiň bir doly aýlawynda ýerine ýetiren položitel işi noldan uly bolar. Munuň üçin işçi jisimi bolan gaz gysylmanyň öňi syrasynda izohora (iş etmezden) sowadylmaly. Munuň üçin ony temperaturasy has kiçi bolan ikinji jisim bilen galtaşdyrmaly. Bu jisime fizikada sowadyjy (holodilnik) diýilýär.

Işçi jisimiň giňelme we gysylma prosesi *p-V* diagrammada (2.2.6-njy) çyzgyda görkezilen. Bu çyzgyda *AB*, *CD* çyzyklar degişlilikde işçi jisimiň giňelme we başlangyç halyna çenli gysylma prosesleri. Gazyň giňelme $\left(\Delta V > 0\right)$ prosesinde ýerine ýetirýän işi položitel we onuň san bahasy *ABEF* şekiliň (figuranyň) meýdanyna deňdir. Gysylma prosesinde $\left(\Delta V < 0\right)$ ýerine ýetirilýän iş otrisatel we onuň absolýut ululygy *DCEF* şekiliň meýdanyna deň. Bu aýlawly prosesde peýdaly iş *AB* we *CD* çyzyklaryň aşagyndaky meýdanlaryň tapawudyna, ýagny kese çyzylan meýdanyň ululygyna deňdir (2.2.6-njy çyzgyda).



2.2. 6-njy çyzgy. *p-V diagrammada işçi jisimiň giňelme- gysylma prosesi*

Bu çyzgydan mälim boluşy ýaly seredilen aýlawly prosesde işçi jisimiň giňelmegi onuň gysylmagyndan uly temperaturada bolup geçmeli. Şonuň üçin giňelýän gazyň

Sowadyja berlen Q_{sowad} ýylylyk mukdary:

$$Q_{sowad} = A' - Q_{gyzd} = \eta Q_{gyzd} - Q_{gyzd} = Q_{gyzd}\left(\eta - 1\right). \quad (2.2.40)$$

Ýylylk maşynlary üçin elmydama $\eta \langle 1$, onda

$$\left|Q_{sowad}\right| = \left(1-\eta\right) Q_{gyzd} . \quad (2.2.41)$$

2.2.10. Sowadyjy maşynlar (holodilnikler)

Karnonyň prosesi öwrülişikli bolany üçin ony garşylykly tarapa işledilse ol ýylylyk däl-de sowadyjy maşyn hökmünde işläp biler.

Bu hilli sowadyjy maşynlaryň işleýiş prinsipi ýylylyk maşynlaryňka garşylykly bolany sebäpli ony işe girizmek üçin *A* işi ýerine ýetirmeli. Bu maşynlarda has uly temperaturaly işçi jisim (gaz) $Q_1 = Q_{gyzd}$ ýylylygy gyzdyryja berýär, özüne bolsa temperaturasy has kiçi bolan sowadyjydan $Q_2 = Q_{sowad}$ ýylylygy alýar. Sowadyjy maşynlaryň işleýiş prinsipi (2.2.7-nji) çyzgyda görkezilen. Bu maşynlar sowuk jisimden ýylylygy alyp, gyzgyn jisime geçirýändikleri üçin olara ***sowadyjy (holodilnik)*** diýilýär. *Ýylylyk sowuk jisimlerden gyzgyn jisimlere öz-özünden däl-de daşky güýçleriň A işiniň hasabyna geçirilýär.*

Sowadyjy maşynlaryň gyzdyryja berýän Q_1, sowadyjydan alýan Q_2 ýylylyk mukdaryny onuň η PTK-niň we daşky güýçleriň ýerine ýetirýän *A* işi bilen baglanyşdyralyň. Munuň üçin (2.2.39-njy) aňlatma görä $A' = \eta Q_1 = -A$, onda

$$\eta < \eta_{id} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} \qquad (2.2.38')$$

Diýmek, ***ýylylyk maşynlaryň peýdaly täsir koeffisiýenti gyzdyryjy bilen sowadyjynyň temperaturalarynyň tapawudynyň gyzdyryjynyň absolýut temperaturasyna bolan gatnaşygyna deňdir.***

Bu (2.2.38-nji) deňlikden görnüşi ýaly gyzdyryjynyň temperaturasy näçe ýokary, sowadyjynyňky näçe pes bolsa gurluşyň PTK-sy şonça-da uly bolar. Eger, sowadyjynyň temperaturasy absolýut nola deň bolsa PTK 100% deň bolardy, emma durmuşda ol temperaturany almak mümkin däl.

Häzirki zaman ýylylyk hereketklendirijilerinde gyzdyryjynyň temperaturasyny artdyrmak bilen olaryň PTK-sy ulaldylýar. Kuwwatly bug turbinalarynda 600 ^0S temperaturaly bug, gaz turbinalarynda bolsa 900 ^0S temperaturaly gaz ulanylýar. Mundan ýokary temperaturaly gyzdyryjylary ulanmak mümkinçiligi ýok. Sebäbi ondan ýokary gyzgyna çydamly materiallaryň ýoklugy gyzdyryjylaryň gazanyny ýasamaklygy çäklendirilýär. Bu ýylylyk hereketlendirijileriň sowadyjylary bolup, temperaturasy 20 ^0S bolan atmosfera hyzmat edýär. Munuň ýaly ýylylyk maşynlaryň (2.2.35-nji) deňlik boýunça hasaplanan PTK-sy 66-75% ýetmeli. Ýöne iş ýüzünde ulanylýan munuň ýaly hereketlendirijileriň PTK-sy 30-35%-e deňdir.

Ýylylyk maşynlarynyň PTK-synyň (2.2.33) aňlatmasyny we (2.2.34) deňligi göz öňünde tutup, bir doly aýlawda ýylylyk maşynynyň ýerine ýetirýän işini we sowadyja berýän ýylylyk mukdaryny maşynyň PTK-syny (η) we gyzdyryjydan alnan Q_{gyzd} ýylylyk mukdaryny özara baglanyşdyryp bolar:

$$A' = \eta Q_{gyzd}\,. \qquad (2.2.39)$$

gyzdyryjydan alan Q_1 ýylylyk mukdary onuň gysylanda sowadyja berýän Q_2 ýylylygyndan uly $(Q_1 > Q_2)$ bolmaly. Diýmek, islendik ýylylyk hereketlendirijileriň aýlawly işlemegi üçin onuň düzüminde gyzdyryjynyň, işçi jisimiň we sowadyjynyň bolmagy hökmanydyr.

2. Ýylylyk hereketlendirijileriň peýdaly täsir koeffisiýenti (PTK)-sy. Işçi jisimiň gyzdyryjydan alan Q_{gyzd} ýylylyk mukdarynyň hemmesi gazy giňeltmekde ýerine ýetirilýän peýdaly işe harçlanmaýar. Onuň bir bölegi $|Q_{sowad}|$ sowadyja geçirilýär. Ýylylygyň bu bölegi otrisatel hasaplanylýar. Şunlukda işçi jisimiň giňelme prosesinde ýerine ýetirýän peýdaly işi üçin onuň gyzdyryjydan alan ýylylygynyň bir bölegi $A' = Q_{gyzd} - |Q_{sowad}|$ ulanylýar. Galan Q_{sowad} bölegi bolsa sowadyja geçirilýär. *Ýylylyk hereketlendirijiniň peýdaly A' işi ýerine ýetirmegi üçin gyzdyryjydan alan $Q_{gyzd} - |Q_{sowad}|$ ýylylyk mukdarynyň gyzdyryjynyň hemme beren Q_{gyzd} ýylylyk mukdaryna bolan gatnaşygyna ýylylyk hereketlendirijiniň (maşynlaryň)* ***peýdaly täsir koeffisiýenti*** *(PTK-sy)* diýilýär we ol η *(etta)* harpy bilen belgilenýär:

$$\eta = \frac{A'}{Q_{gyzd}} = \frac{Q_{gyzd} - |Q_{sowad}|}{Q_{gyzd}}\,. \qquad (2.2.36)$$

Ýylylyk maşynlaryň PTK-sy elmydama birden kiçidir $(\eta \langle 1)$. Ýylylyk energetikasynyň esasy meseleleriniň biri ýylylyk maşynlarynyň PTK-syny mümkin boldugyça ýokarlandyrmakdan ybaratdyr. Bu bolsa agzalan maşynlarda gyzdyryjydan alynýan ýylylyk mukdarynyň mümkin boldugyça köp böleginiň işçi jisimiň A' peýdaly işi ýerine ýetirmekde ulanylmagyny aňladýar.Ýylylyk elektrostansiýalarynyň PTK-sy 40-42%, beýleki ýylylyk gurluşlaryňky bolsa ondan hem kiçidir. Meselem, iň kämil karbýuratorly içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň PTK-sy takmyn 30%, dizelli hereketlendirijileriňki bolsa, 40%-den uly däldir (*dizel hereketlendirijileri nemes inženeri R.Dizel tarapyndan* 1892-*nji ýylda hödürlenen. Bu hereketlendirijilerde silindrde has ýokary derejede adiabat gysylan* 600-700 ^{0}S *temperaturaly howanyň gös-göni üstüne ýangyç pürkülýär we ýangyç ýanýar*). Bu görkezijileri ulatmaklygyň kynçylyklarynyň birisi, ýokary basyşa we temperatura uzak çydamly materiallary entäk tapyp bolmaýandygyndan ybaratdyr.

2.2.8. Ýylylyk hereketlendirijileriň görnüşleri. Ýylylyk hereketlendirijiler we tebigaty goramak

1.Ýylylyk hereketlendirijileriň görnüşleri. Dünýä tejribesinden mälim bolşy ýaly elektrik energiýany öndürýän uly elektrostansiýalarda kuwwatly bug turbinalary ulanylýar. Ol turbinalarynda takmyn (elektrostansiýanyň kuwwatlylygyna baglylykda) $10^7\,Pa$ we ondan hem uly basyşda öndürilýän bugyň güýçli çüwdürimleri bilen elektrik togunyň generatorynyň kuwwatly rotory aýlandyrylyp, elektrik energiýasy öndürilýär. Türkmenistanda ulanylýan elektrik stansiýalaryň köpüsinde diýen ýaly ýanýan tebigi gazyň energiýasynyň hasabyna işleýän ýylylyk hereketlendirijileri ulanylýar. Ýylylyk hereketlendirijiler atom elektrik stansiýalarda – da ulanylýar.Ýöne olarda bug almak üçin atom ýadrosynyň energiýasy peýdalanylýar.

Häzirki zaman ulaglarynyň hemmesinde diýen ýaly ýylylyk hereketlendirijiler ulanylýar.

deň bolan $A_2' < 0$ otrisatel işi ýerine ýetirýär. Ýokarda getirilen (2.2.6-njy) aňlatma laýyklykda işçi jisimiň öz ýerine ýetiren işi moduly boýunça daşky güýçleriň onuň üstünde ýerine ýetirýän *A*$_2$ işine deň alamaty bolsa garşylyklydyr: $A_2' = -A_2 = Q_{sowad}$. Ahyrda ideal gazy adiabat gysyp , ony başdaky halyna getirmek üçin onuň üstünde daşky güýçleriň $A_4 = \Delta U_{21}$ işi ýerine ýetirmegi zerurdyr. Bu halda gazyň hususy işi: $A_4' = -A_4 = -\Delta U_{21} = U(T_2) - U(T_1)$. Bu ýerden görnüşi ýaly iki adiabata prosesde gazyň hususy öz ýerine ýetiren işi nola deňdir.

Şunlukda ideal gazyň doly bir aýlawda ýerine ýetiren işi:

$$A' = A_1' + A_2' = Q_{gyzd} + Q_{sowad} = \left|Q_{gyzd}\right| - \left|Q_{sowad}\right|. \qquad (2.2.37)$$

Bu iş özüniň ululygy boýunça (2.2.7-nji) çyzgyda aýlawly prosesiň kese çyzylan meýdanyna san taýdan deňdir.

Karnonyň aýlawly prosesiniň 1-2 we 3-4 izoterma proseslerinde ideal gazyň ýerine ýetiren işlerini hasaplap, Karnonyň aýlaw prosesiniň PTK-syny

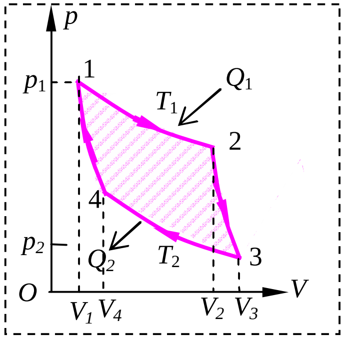
$$\eta_{id} = \frac{T_1 - T_2}{T_1} = 1 - \frac{T_2}{T_1} \qquad (2.2.38)$$

ýazyp bolar. Ýokardaky (2.2.38-nji) deňlik Karnonyň ýylylyk maşynynyň PTK-siniň aňlatmasydyr. Bu aňlatmadan görnüşi ýaly ideal prosesiň PTK-sy elmydama birden kiçidir. Durmuşda ulanylýan ýylylyk hereketlendirijileriň PTK-sy (gyzdyryjynyň we sowadyjynyň şol bir temperaturasynda bolmagyna garamazdan) elmydama Karnonyň aýlaw prosesiniň PTK- syndan kiçidir:

geçýän hemme prosesleri Karno deňagramly we öwrülişikli hasaplapdyr.

Karnonyň maşynynda işçi jisim birnäçe öwrülişikden soňra aýlanyp, başdaky halyna dolanyp getirilýär. Işçi jisim ***Karnonyň öwrülişikli prosesi*** atlandyrylýan ikisany izoterma we iki adiabata prosesden ybarat öwrülişigi ýerine ýetirýär (2.2.7-nji çyzgy). Bu çyzgyda 1-2 we 3-4 izotermalar, 2-3 we 4-1 egriler bolsa adiabatalar.

Başda işçi jisim – ideal gazy T_1 temperaturada gyzdyryjydan $Q_{gyzd} = Q_1$ ýylylyk mukdaryny alyp giňeldilýär.



2.2.7-nji çyzgy. *Karnonyň öwrülişikli prosesi*

Ondan soňra ol adiabat, ýagny daşky gurşaw bilen hiç hili ýylylyk alyşman giňelýär. Mundan soňra gaz T_2 temperaturada izotermik gysylýar. Bu halda gaz sowadyja $Q_{sowad} = Q_2$ ýylylyk mukdaryny berýär. Ahyrda ideal gaz adiabat gysylyp, başdaky halyna dolanýar.

Ideal gaz izotermik giňelende gyzdyryjydan alan Q_{gyzd} ýylylyk mukdaryna deň bolan $A_1' > 0$ položitel işi ýerine ýetirýär. Ol T_1 –den T_2 temperatura çenli $(T_2 < T_1)$ adiabat sowanda bolsa özüniň içki energiýasynyň azalan ulylygyna deň bolan mukdarda A_3' işi ýerine ýetirýär:

$$A_3' = -\Delta U_{12} = U(T_1) - U(T_2) \ .$$

Ideal gazy T_2 temperaturada izotermik gysmak üçin daşky güýçleriň onuň üstünde A_2 işi ýerine ýetirmegi zerurdyr. Bu halda işçi jisim sowadyja beren Q_{sowad} ýylylyk mukdaryna

Awtomobillerde ulanylýan içinden ýandyrylýan porşenli hereketlendirijilerde ýangyç bilen howany garyjy ýörite gurluşlar hereketlendirijiniň daşynda karbýuratorda taýýarlanýar. Traktorlarda bolsa ýanyjy garyndy hut hereketlendirijileriň öz içinde taýýarlanylýan dizel hereketlendirijiler ulanylýar.

Demirýol transportynda XX asyryň ortalaryna çenli parawozlar (bug bilen işleýän hereketlendirijiler) ulanyldy. Häzirki wagtda bolsa dizeller we özüniň energiýasyny elektrostansiýalardan alýan elektrowozlar ulanylýar.

Suw transportynda içinden ýandyrylýan dizel hereketlendirijiler bilen bir hatarda uly gämilerde kuwwatly turbinalar, atom gämilerde bolsa atomyň ýadrosynyň ýylylyk energiýasynyň hasabyna işleýän kuwwatly hereketlendirijiler ulanylýar.

Awiasiýada ýeňil uçarlarda porşenli hereketlendirijiler, uly uçarlarda turbaperli (turbawintowoý) we reaktiw hereketlendirijiler ulanylýar. Bularyň hemmesi hem ýylylyk hereketlendirijileridir. Kosmiki gämilerde reaktiw hereketlendirijiler oturdylýar.

Ýylylyk hereketlendirijisiz adamzat siwilizasiýasyny göz öňüne getirmek mümkin däl.

2. Ýylylyk hereketlendirijileri we tebigaty goramak. Zeminde ýylylyk elektrostansiýalaryň, fabrikleriň, zawodlaryň, jaýlara ýylylyk berýän merkezleriň, içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň, raketalaryň we uçarlaryň ojaklarynda, gazanlarynda, ulanylýan energiýa kuwwatlyklarynyň artmagy atmosfera zyňylýan ýylylygyň mukdaryny juda artdyrýar. Bu bolsa Zeminiň ortaça temperaturasynyň ozalkysyndan azda-kände artmagyna sebäp bolýar. Alymlaryň geçiren seljermelerine görä Zeminde toplanan hereketlendirijileriň umumy kuwwatlylygy takmyn $10^{10}\,kWt$ çemeleri hasaplanylýar. Eger bu kuwwatlylyk $10^{12}\,kWt$-a ýetirilse, onda Zeminiň atmosferasynyň temperaturasy öňküsinden takmyn $1^{0}S$ artar. Temperaturanyň yzygider artmagy Buzly okeandaky buzlaryň eräp başlamak we Dünýä okeanynyň derejesiniň beýgelmek howpyny döreder. Mundan başga-da ýylylyk hereketlendirijileriň kuwwatlylygynyň artdyrylmagy bilen atmosfera zyňylýan ýangyç önümleriniň düzümindäki ýanman galan galyndylaryny, mikroskopik bölejikleriniň, konseregen maddalaryň mukadaryny artdyrar. Olar bolsa, atmosferanyň optiki häsiýetnamalaryny onuň siňdirijilik we serpikdirijilik häsiýetleriniň özara balansyny üýtgeder. Zeminiň atmosferasynda “parnik effektiniň” döremegine we atmosferanyň howasynyň konweksiýa boýunça arassalanyp durmagyna zeper ýetirer, ýagny onda uzak wagtlap kömürturşy gazyň saklanmagyna sebäp bolar.

Awtoulaglaryň hereketlendirijilerinde ýangyç önümleri bolan kükürdiň, azodyň, uglerodyň, metallaryň oksidleriniň, doly ýanmadyk organiki ýangyç önümleri atmosfera zyňylýar. Atmosferanyň hapalanmagynyň takmyn ýarysyndan hem köpüräk bölegi Zemindäki awtoulag serişdeleri sebäp bolýar. Olar ýokarda agzalan zäherli galyndylardan başga-da her ýylda benziniň içine goşulan gurşunyň takmyn 2-3 million tonnasyny tüsse bilen atmosfera zyňýarlar (içinden ýandyrylýan hereketlendirijileriň tehniki görkezijilerini gowulandyrmak niýeti bilen benziniň içine ýörite tehnologiýa boýunça gurşun goşulýar). Diýmek, awtoulaglar atmosferany iň köp zäherleýjilerdir. Bu agzalanlaryň hemmesi Zeminiň ösümlik we haýwanat baýlygyna zyýan ýetirýär, jemgyýetiň öňünde gaýra goýulmasyz çözgüdi talap edýän meseleleri goýýar. Bu nowsanlygyň öňüni almak üçin häzirki döwürde ýylylyk hereketlendirijileriň tehniki häsiýetnamalaryna bolan talap

ýokarlandyrylýar. Maşynlaryň atmosfera zyňýan zäherli düzüji böleklerini tehniki seljeriş edaralarynda ýokary derejede barlanylýar we agzalan gurluşlaryň görkezijileri tehniki ülňiden ýokary bolsa olar ulanmaklykdan çetleşdirilýär. Awtoulaglaryň karbýuratorlarynyň hili kämilleşdirilýär, olaryň ýangyçlaryny düzüminde zäherli galyndylar juda az bolan suwuklandyrylan gaz bilen çalşyrylýar. Başga tarapdan hem elektrik energiýany aýawly we tygşytly peýdalanmak meseleleriniň üstünde işlenilýär.

Ýokarda getirilen deňeşdirmelerden görnüşi ýaly dizel hereketlendirijileri karbýuratorlylardan ýangyç babatda has tygşytlydyrlar. Eger Zemindäki hemme karbýuratorly ýük maşynlaryň 65% we ýeňil maşynlaryň hem 20% dizel hereketlendirijiler bilen çalşyrylsa, alymlaryň geçirien hasaplamalaryna görä ýylda takmyn 10 million tonna ýangyç tygşytlanar. Şonuň bilen birlikde atmosfera zyňylýan zäherli galyndylar azalar.

Energiýa resurslaryny tygşytlamak babatda Türkmenistanyň hormatly Prezidenti Gurbanguly Mälikgulyýewiç Berdimuhamedow Günüň energiýasyny elektrik energiýasyna özgertmegiň meseleleriniň üstünde işlemegi türkmen alymlarynyň öňünde wajyp meseleleriň biri hökmünde goýdy. Bu meseläniň oňyn çözülmegi ekologiýa taýdan iň arassa bolan elektomobilleriň, dürli kuwwatlykly Gün elektrostansiýalaryň we ş.m. gurluşlaryň täze amatly nesilleriniň döremeginiň başlangyjy bolar.

2.2.9. Karnonyň öwrülişilikli prosesi

1824-nji ýylda fransuz fizigi we inženeri Saadi Karno (1796-1832) işçi jisimi bolup ideal gazy hyzmat edýän ýokary PTK-ly ýylylyk maşynyny döredipdir. Bu maşynda bolup

$$mg - (F_A + F_s) = 0\,. \qquad (2.3.21')$$

Bu deňlikde (2.3.19 - 2.3.20-nji) deňlikleri goýup,

$$\frac{4}{3}\pi r^3 \rho g - \left(\frac{4}{3}\pi r^3 \rho_s g + 6\pi\eta r \upsilon_0\right) = 0\,, \qquad (2.3.22)$$

alarys. Bu ýerde υ_0-şaryň deňölçegli hereketiniň tizligi. Bu deňlikden:

$$\upsilon_0 = \frac{2(\rho - \rho_s) r_ş^2 g}{9\eta}\,. \qquad (2.3.23)$$

Bu (2.3.23-nji) aňlatma jisimiň diňe bir suwuklykdaky tizligini däl-de onuň gazdaky hereketiniň tizligini hasaplamak üçin hem ýaramlydyr.

2.3.5. Laminar we turbulent akym. Reýnoldsyň sany

1. Laminar we turbulent akym. Turba boýunça akýan suwuklyklaryň dinamikasy onuň tizligine baglydyr. Eger, suwuklygyň tizligi kesgitli ululykdan kiçi bolsa, onda ol ýuka gatlaklar boýunça her bir gatlakdaky suwuklygyň bölejikleri goňşy gatlaga garyşman akýar. *Suwuklyklaryň munuň ýaly biri-biri bilen garyşmaýan gatlaklar boýunça hereketine* ***laminar akym*** *diýilýär.* Turbanyň içki üstünde takmyn hereketsiz diýen ýaly örän ýuka galyňlykly serhetleşýän suwuklyk gabygy ýerleşýär. Ol *çäkleşýän suwuklyk gabygy* atlandyrylýar. Turbanyň okunda suwuklyk gatlagynyň akymynyň tizligi iň uly

Nemes fizigi Rudolf Ýulius Emmanuel Klauzius (1822-1888) :

iki ulgamda-da ýa-da daşky gurşawda şol bir wagtda üýtgeşme döretmezden ýylylyk mukdaryny sowuk ulgamdan gyzgynlygy has uly ulgama geçirip bolanok diýip kesgitläpdir.

Hakykatdan hem tejribeden mälim bolşy ýaly ýylylyk öz-özünden gyzgyn jisimden sowuk jisime tä olaryň temperaturalary deňleşýänçä geçýär. Sowadyjy gurluşlarda bolsa ***daşky işiň hasabyna*** sowuk jisimden gyzgyna ýylylykgeçirijilik amala aşyrylýar.

1851-nji ýylda iňlis fizigi U.Tomson*:* ***ýyly gabyň sowamagynyň ýeketäk sebäbi mehaniki iş bolup biljek proses tebigatda mümkin däldir*** diýip kesgitläpdir. Bu kesgitleme ýylylygy dolulygyna diňe işe öwurmek mümkin däldigini aňladýar. Işi dolulygyna diňe sürtülmede we geçirijilerdäki elektrik toguny ýylylyga öwrüp bolýar. Ýöne iş ýüzünde ýylylygy dolulygyna işe öwrüp bolanok.

Bug maşynlary bug gazanyndan alnan ýylylygyň hasabyna mehaniki iş edýärler. Bu ýerde ýerine ýetirilýän iş prosesiň ýeketäk netijesi däldir.Ýagny bug gazanyndan alynýan ýylylygyň bir bölegi iş etmezden buguň peýdaly işi ýerine ýetiren bölegi bilen bilelikde daşky atmosfera zyňylýar. Içinde ýandyrylýan we hemme ýylylyk hereketlendirijilerde bu proses şonuň ýalydyr. Başgaça aýdylanda PTK-sy bire deň bolan ýlylyk maşynlaryny tebigatda döretmek mümkin däldir.

Ýokarda getirilen kesgitlemeleriň esasynda *termodinamikanyň ikinji kanunyny*: ***haýsy hem bolsa bir sowaýan jisimiň hasabyna mehaniki işi ýerine ýetirýän hereketlendirijileri döredip bolmaz*** diýip jemläp bolar.

Gönükme 2.2.

2.2.1. Gorizontal silindr şekilli turba ýuka metal porşen bilen deň iki bölege bölünen. Gaplaryň birinde kislorod, ikinjisinde bolsa edil şonuň massasyna deň massaly wodorod bar. Eger gabyň uzynlygy l=50 *sm* bolsa, porşen geňagramlyk halynda silindriň ujyndan näçe x daşlykda bolar?

2.2.2. Wertikal ýerleşdirilen silindriň agyr porşeniniň aşagynda massasy m=2 *kg* bolan kislorod bar. Kislorodyň temperaturasyny $\Delta T = 5K$ ululyga artdyrmak üçin oňa Q = 9160 J ýylylyk mukdary berildi. Kislorodyň c_p udel ýylylyk sygymyny, gaz giňelende ýerine ýetiren A' işini we onuň içki energiýasynyň ΔU ylalmagyny kesgitlemeli.

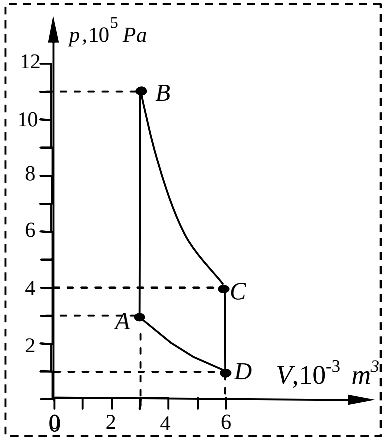
2.2.3. Massasy m bolan gazy ΔT temperatura izobarik gyzdyrylanda onuň ýerine ýetirýän işini hasaplamaly.

2.2.4. Izotermik gysylanda ideal gazyň içki energiýasy üýtgärmi?

2.2.5. Silindriň porşeniniň aşagyndaky $p = 2 \cdot 10^6$ *Pa* hemişelik basyşdaky bir atomly gaz gyzdyranlarynda porşen $\Delta h = 15\,sm$ aralyga süýşýär. Gazyň içki energiýasynyň üýtgemegini kesgitlemeli. Porşeniň meýdany S = 160 sm^2.

2.2.6. Sürtülmesiz hereket etmäge ukyply agyr porşeniň aşagyndaky massasy m =20g kömürturşy gazy t_1=20^0 S –den t_2 =108 ^{0} S – ä çenli gyzdyrýarlar. Gaza berlen ýylylyk mukdaryny hasaplamaly.

2.2.7*. Gönükmä degişli çyzgyda bir atomly ideal gazyň $\nu = 0,2\ mol$ mukdary bilen geçirilen aýlaw prosesiň grafigi getirilen. Onuň BC we DA bölegi adiabata prosesdir. Bu aýlawly prosesiň PTK –ny kesgitlemeli.



2.2.7-*nji gönükmäniň çyzgysy*

2.2.8. Getirilen 2.2.7-nji gönükmäniň çyzgysyndaky aýlaw proses boýunça işleýän ýylylyk maşynynyň maksimal PTK-syny kesgitlemeli.

2.2.9. Ideal gazynyň çyzgyda görkezilen $1 \to 2 \to 3 \to 1$ we $3 \to 2 \to 4 \to 3$ iki ýapyk halka boýunça iş etmeklige sezewar edilen. Bularyň haýsy birinde gazyň ýerine ýetirýän işi uludyr?

ilkinjileriň hatarynda getirip çykaran iňlis fiziginiň we matematiginiň hormatyna ***Stoksyň*** (1819-1903) ***kanuny*** bilen kesgitlenilýär:

$$F_{sürt} = 6\pi\eta r\upsilon\,. \qquad (2.3.18)$$

Bu ýerde r, υ degişlilikde şarjagazyň radiusy we tizligi. Bu aňlatmada jisimiň tizligine gabyň diwary täsir etmeýär hasaplanyldy.

Şarjagazyň agyrlyk güýjüni:

$$P = m_ş g = \rho_{mş} V_ş g = \frac{4}{3}\pi r_ş^3 \rho_{mş} g\ . \qquad (2.3.19)$$

Arhimediň göteriji güýji:

$$F_A = m_s g = \rho_s V g = \frac{4}{3}\pi r_ş^3 \rho_s g\ . \qquad (2.3.20)$$

Bu ýerde m_s gysyp çykarylan suwuklygyň massasy; ρ_s onuň dykyzlygy.

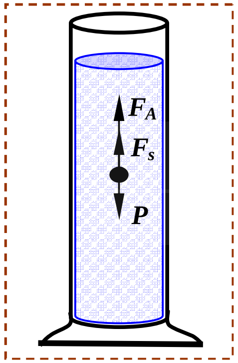
Ýokarda getirilen täsir edýän güýçleriň netijesinde şepbeşik suwuklyga atylan şarjagaz deňölçegli hereket eder. Munuň sebäbi oňa täsir edýän sürtülme güýji jisimiň tizligine proporsional we ol tä jisimiň hereketi deňölçegli tizlikli bolýança azalýar. Bu halda hereket edýän jisimiň täsir hereketiniň deňlemesi wektor görnüşde:

$$m\boldsymbol{g} + \boldsymbol{F}_A + \boldsymbol{F}_s = 0\,. \qquad (2.3.21)$$

Bu ululyklary wertikal oka proýektirläp alarys:

Gorizontal ýerleşdirilen, içinden şepbeşik suwuklyk akýan diametri birmeňzeş bolmadyk silindr şekilli turbanyň dürli ýerinde ýerleşdirilen manometr turbalary suwuklygyň statiki basyşynyň l uzynlyga proporsional azalýandygyny görkezýär (2.3.6-njy *a* çyzgy). Turbanyň islendik kese kesiginden geçýän V suwuklyk göwrüminiň birmeňzeşdigi üçin suwuklygyň basyşynyň gradiýenti turbanyň kese kesiginiň dar ýerinde ulydyr. Suwuklygyň basyşynyň onuň uzynlygyna bagly üýtgeýşi (2.3.6-njy *b* çyzgyda) görkezilen.

2.3.4. Jisimiň şepbeşik suwuklykdaky hereketi. Stoksuň kanuny

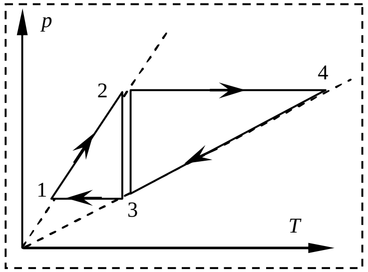


2.3.7-nji çyzgy. *Glisirindäki şajagazyň hereketi*

Tejribeden mälim bolşy ýaly şepbeşiklik suwuklygyň diňe turbanyň içindäki hereketinde däl-de, eýsem tersine jisimiň suwuklykdaky hereketinde hem ýüze çykýar. Nazaryýetden we tejribeden mälim bolşy ýaly uly bolmadyk tizliklerde Nýutonyň kanunyna laýyklykda garşylyk güýji suwuklygyň şepbeşiklik koeffisiýentine we jisimiň hereket tizligine proporsionaldyr (2.3.7-nji aňlatma). Muny öwrenmek üçin şarjagazyň şepbeşik suwuklyk bolan gliserindäki hereketine seredeliň (2.3.7-nji çyzgy). Şarjagaz gliseriniň içinde hereket edende oňa agyrlyk güýji wertikal aşak, sürtülme we Arhimediň göteriji güýçleri bolsa wertikal ýokaryk täsir eder.

Şarjagaza täsir edýän $F_{sürt}$ sürtülme güýji, ýokarda aýdylan sebäpleri özünde jemleýär, ony 1845-nji ýylda

2.2.10*. Massalary m_1 =3g bolan kömürturşy gazynyň m_1 =4g massaly azot bilen garyndysynyň c_V we c_p udel ýylylyk sygymyny kesgitlemeli.

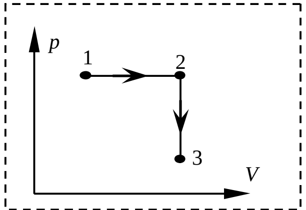


2.2.9-njy gönükmäniň çyzgysy

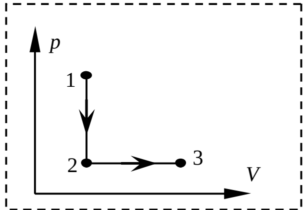
2.2.11*. Massasy m_1 =8g geliý bilen m_2 =2g wodorodyň garyndysyndan ybarat bolan gaz garyndysynyň adiabata prosesiniň γ görkezijisini kesgitlemeli.

2.2.12*. Mukdary 1 mol bolan ideal gaz haly başda 1-2 izobara, soňra bolsa 2-3 izohora boýunça üýtgedi. Bu prosesde gaz A' işi ýerine ýetirdi. Prosesdäki 2 we 3 nokatlara degişli temperaturany $T_1= T_2 =T$ kesgitlemeli. Bu nokatlara degişli basyş p_2/p_3 .

2.2.13*. Mukdary 1 mol bolan ideal gaz haly başda 1-2 izohora, soňra bolsa 2-3 izobara boýunça üýtgedi. Bu prosesde gaz A' işi ýerine ýetirdi. Eger, 1 we 2 hallarda gazyň temperaturasy T deň bolsa, onda bu nokatlardaky basyşlaryň p_1/p_2 gatnaşyklaryny kesgitlemeli.



2.2.12-nji gönükmäniň çyzgysy*



2.2.13-nji gönükmäniň çyzgysy*

2.2.14. Karnonyň aýlawly prosesini ýerine ýetirýän ideal gaz özüniň gyzdyryjydan alan ýylylygynyň 70% -ni sowadyja berýär. Gazyň gyzdyryjydan alan ýylylygy Q=5 kJ. Aýlaw prosesiň *PTK*-syny we doly ýerine ýetirýän işini kesgitlemeli.

BAP 2. 3.
Suwuklyklaryň we gazlaryň dinamikasy

2.3.1. Turbadaky suwuklyklaryň hereketi. Suwuklyklaryň basyşynyň onuň akymynyň tizligine baglylygy

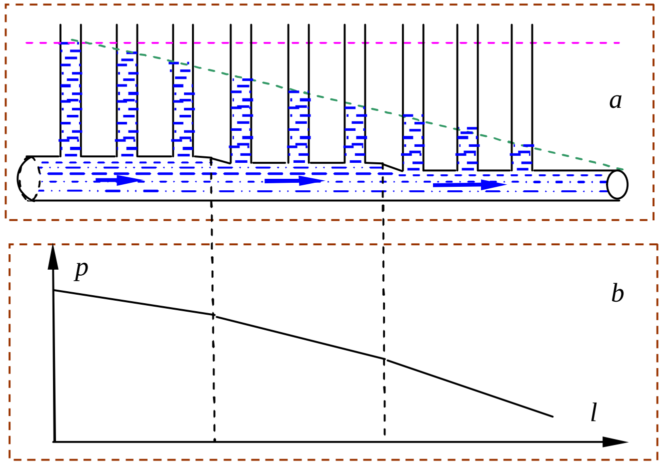
1. Turbadaky suwuklyklaryň hereketi. Kese kesiginiň meýdany birmeňzeş bolmadyk silindr şekilli turbanyň içinde gysylmaýan suwuklygyň akymyna seredeliň (2.3.1-nji çyzgy).

Turbadan akýan suwuklygyň islendik nokadynda onuň tizligi hemişelik bolan halatynda ***akym durnukly*** hasaplanylýar.

Suwuklyklar adatça gysylmaýarlar, ýagny şol bir deň temperaturada olaryň ρ dykyzlygy hemişelikdir. Diýmek, şol bir turbanyň dürli diametrli kesiminden geçýän suwuklygyň massasynyň göwrümi deňdir ($V_1=V_2$).   .

$$V=\pi\frac{p_1-p_2}{2l\eta}\int_0^R\left(R^2-r^2\right)rdr=\frac{\pi R^4}{8\eta}\cdot\frac{p_1-p_2}{l}. \qquad (2.3.16)$$

Bu deňlik ony ilkinji getirip çykaran alymyň hormatyna ***Puazeýliň aňlatmasy*** atlandyrylýar.



2.3.6-njy çyzgy. *Suwuklygyň tizliginiň we basyşynyň turbanyň diametrine , uzynlygyna bagly üýtgeýşi*

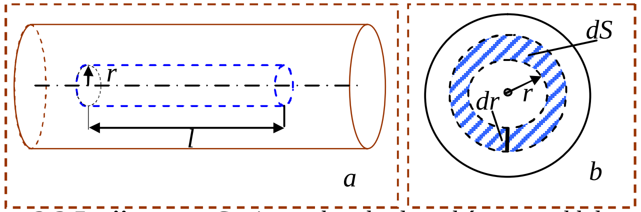
Puazeýliň aňlatmasyndaky $\left(p_1-p_2\right)/l$ ululygy basyşyň uzynlyk birliginde üýtgeýiş tizligi bolan ***basyşyň gradiýenti*** $\left(dp/dl\right)$ bilen çalşyryp, diametri endigan bolmadyk turbalar üçin Puazeýliň deňlemesini

$$V=\frac{\pi R^4}{8\eta}\frac{dp}{dl}, \qquad (2.3.17)$$

ýazyp bolar.

1. Puazeýliň aňlatmasy. Fransuz fizigi we fiziology Jan lui Mari Puazeýl (1799-1869) 1840-njy ýylda inçe turbalardan akýan suwuklygyň göwrümini hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany getirip çykarypdyr. Soňra bu aňlatma suwuklyklaryň şepbeşikligini we kapillýarlardaky tizligini hasaplamakda giňden peýdalanylýar.

Gorizontal ýerleşdirilen turbadan 1*s* dowamynda akyp geçen suwuklygyň göwrüminiň nämä baglydygyna seredeliň. Munuň üçin alnan silindrde r radiusly dr galyňlykly silindr gabygyny alalyň (2.3.5-nji çyzgy) . Bu silindriň kese kesiginiň meýdany $dS = 2\pi rdr$ (2.3.5-nji *b* çyzgy). Alnan gabygyň örän



2.3.5-nji çyzgy. *Gorizontal turbadan akýan suwuklyk gatlagy*

inçedigi sebäpli onuň içindäki suwuklyk hemişelik υ tizlik bilen hereket edýär hasaplalyň. Wagtyň 1*s* pursadynda turbanyň kese kesiginden geçýän silindr şrkilli suwuklygyň dV göwrümi :

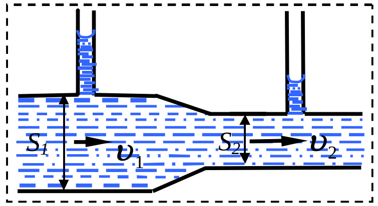
$$dV = \upsilon dS = \upsilon \cdot 2\pi rdr \,. \qquad (2.3.15)$$

Bu deňlikde υ tizligiň (2.3.14) aňlatmadaky bahasyny goýup taparys:

$$dV = \pi \frac{p_{1-}p_2}{2l\eta}\left(R^2 - r^2\right) rdr \ .$$

Ýa-da ahyrky deňligi bütin kesim boýunça integrirläp taparys:

Goý, bu turbanyň S_1 we S_2 kesimlerinden t wagtda geçýän suwuklygyň durnukly tizlikleri degişlilikde υ_1 we υ_2 -ä deň bolsun. Turbanyň S_1 $V_1 = S_1\upsilon_1 t$ we S_2 kesiginden bolsa, $V_2 = S_2\upsilon_2 t$ göwrümde suwuklyk akyp geçer. Onda



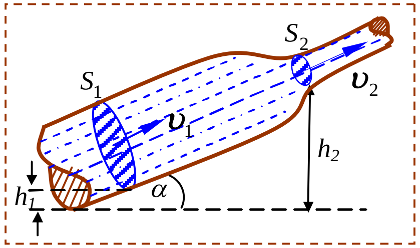
2.3.1-nji çyzgy. *Dürli kese kesikli turbadaky suwuklygyň hereketi*

$$S_1\upsilon_1 = S_2\upsilon_2 \ . \qquad (2.3.1)$$

Bu (2.3.1-nji) aňlatma ***üznüksizlik deňlemesi*** diýilýär. Bu deňlimeden görnüşi ýaly $\upsilon_1/\upsilon_2 = S_2/S_1$. Diýmek, *turbanyň kese kesiginiň dürli bolan ýerlerinde suwuklygyň durnukly akymynda onuň bölejikleriniň tizlikleriniň gatnaşygy degişli kesimleriň meýdanlarynyň ters gatnaşygyna deňdir.*

Bu bolsa, turbanyň diametriniň kiçi ýerinde suwuklygyň tizliginiň uly we tersine diametriň uly ýerinde bolsa, onuň tizligi kiçi diýildigidir. Diýmek, dürli diametrli turbadaky *suwuklygyň tizligi onuň kese kesiginiň meýdanyna baglydyr.*

2.Suwuklyklaryň basyşynyň onuň akymynyň tizligine baglylygy. Suwuklyklaryň tizliginiň onuň kese kesiginiň meýdanyna baglylygy öz gezeginde bu hilli turbalardaky suwuklyklaryň basyşynyň olaryň tizligine bagly bolmagyny döredýär. Muňa düşünmek üçin gorizonta burç bilen ýerleşen dürli diametrli turbadan (2.3.2-nji çyzgy) akýan suwuň energiýasynyň üýtgemegi bilen ýerine ýetirilýän işiň aňlatmasyna seredeliň:



2. 3. 2-nji çyzgy. *Dürli diametrli gorizonta burç bilen ýerleşdirilen turba*

$$A = \Delta W_p + \Delta W_k . \quad (2.3.1)$$

Başga tarapdan bu işi $A = F_1 l_1 - F_2 l_2$ görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde: F_1 we F_2 degişlilikde suwuklygyň akýan turbasynyň birinji we ikinji kesimlerindäki basyş güýçleri $F_1 = p_1 S_1$ we $F_2 = p_2 S_2$; l_1 we l_2 - degişli kesimlerden wagt birliginde geçýän suwuklyk akymlarynyň uzynlyklary. Onda (2.3.2-nji) aňlatmany

$$A = (p_1 - p_2)V; \quad V = V_1 = V_2 = S_1 l_1 = S_2 l_2 , \qquad (2.3.2')$$

görnüşde ýazyp bolar.

Turbadaky suwuklyk akymynyň potensial we kinetik energiýalarynyň üýtgemegini :

$$\Delta W_p = \Delta(mgh) = mg\Delta h = \rho V g (h_2 - h_1);$$

$$\Delta W_k = \frac{1}{2} m(\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2) = \frac{1}{2} \rho V (\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2),$$

görnüşde ýazyp bolar. Bu aňlatmalary (2.3.2-nji) we $(2.3.2' - \text{nji})$ deňlikde ornuna goýup alarys:

$$(p_1 - p_2)V = \rho V g (h_2 - h_1) + \frac{1}{2} \rho V (\upsilon_2^2 - \upsilon_1^2). \quad (2.3.3)$$

Bu ýerden bolsa,

Bu deňligiň sag tarapyndaky minus alamaty r radiusyň artmagy bilen tizligiň kiçelýändigi sebäpli goýlan ($d\upsilon/dr < 0$). Indi (2.3.11-nji) deňlikden:

$$d\upsilon = -\frac{p_1 - p_2}{2l\eta} rdr .$$

Bu deňligi integrirläp, alarys:

$$\int_0^{\upsilon} d\upsilon = -\frac{p_1 - p_2}{2l\eta} \int_R^r rdr. \qquad (2.3.12)$$

Bu ýerde integralyň aşaky predeli turbanyň içki diwaryna ýelmeşen gatlaga degişli ($r=R$ tizligi nola deň $\upsilon = 0$), ýokarky predeli bolsa üýtgeýän ululykdyr. Bu deňligi çözüp, suwuklyk gatlaklarynyň tizliguniň turbanyň okundan daşlyga parabola görnüşde baglydygyny (2.3.4-nji çyzgy) aňladýan deňlik alarys:

$$\upsilon = -\frac{p_1 - p_2}{2l\eta} \int_R^r rdr = -\frac{p_1 - p_2}{2l\eta} \left| \frac{r^2}{2} \right|_R^r =$$

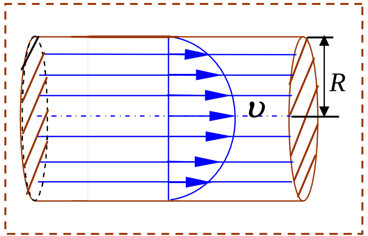
$$= \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} (R^2 - r^2). \qquad (2.3.13)$$

Bu deňlikden görnüşi ýaly turbanyň oky boýunça (r = 0) akýan suwuklyk gatlagynyň tizligi iň uly –maksimaldyr:

$$\upsilon = \frac{p_1 - p_2}{4l\eta} R^2 . \qquad (2.3.14)$$

tizlikleriniň paýlanyşynyň mysaly şekili (2.3.4-nji) çyzgyda görkezilen.

Turbanyň içinden akýan şepbeşik suwuklygyň tizliginiň turbanyň radiusyna baglylyk derejesini anyklalaýň. Munuň üçin turbanyň içinde akýan suwuklykda radiusy r, uzynlygy l bolan silindr şekilli suwuklyk göwrümini belläliň (2.3.5-nji çyzgy). Bu silindriň iki ujynda hem degişlilikde p_1 we p_2 basyş saklanýar hasaplalyň. Onda bu saýlanan silindriň içindäki suwuklyga netijeleýji F basyş güýji täsir eder:



2.3.4-nji çyzgy. *Turbada akýan suwuklyk gatlagynyň tizlikleri*

$$F = p_1\pi r^2 - p_2\pi r^2 = \left(p_1 - p_2\right)\pi r^2. \qquad (2.3.9)$$

Bu silindriň gapdal üstüne ony gurşap alan suwuklygyň gatlaklary tarapyndan içki sürtülmäniň F_s güýji täsir eder:

$$F_s = \eta\frac{d\upsilon}{dr}S = \eta\frac{d\upsilon}{dr}2\pi rl\ . \qquad (2.3.10)$$

Bu ýerde: $S = 2\pi rl$ - silindriň gapdal üsti. Turbanyň içindäki suwuklygyň deňölçegli hereket edýändigi üçin oňa täsir edýän F basyş güýji F_s sürtülme güýjüni deňagramlaşdyrýar: $F = F_s$. Ýa-da (2.3.9) we (2.3.10) deňliklerden peýdalanyp, $F = F_s$ laýyklykda alarys:

$$\left(p_1 - p_2\right)\pi r^2 = -\eta\frac{d\upsilon}{dr}2\pi rl\,. \qquad (2.3.11)$$

$$p_1 + \rho g h_1 + \frac{1}{2}\rho\vartheta_1^2 = p_2 + \rho g h_2 + \frac{1}{2}\rho\upsilon_2^2.$$

Ýa-da bu deňligi gutarnykly

$$p\ + \rho gh\ + \frac{1}{2}\rho\upsilon^2 = hemi\c{s}elik, \qquad (2.3.4)$$

aňladyp bolar. Bu ýerde p turbanyň garalýan kese kesigindäki suwuň statiki basyşy; ρgh we $\frac{1}{2}\rho\upsilon^2$ degişlilikde turbanyň içindäki suwuklygyň statiki we gidrawliki basyşlary. Bu (2.3.4-njy) ony açan alymyň hormatyna ***Bernulliniň deňlemesi*** diýilýär.

Eger içinden suw akýan turba gorizontal ýerleşdirilen bolsa, Bernulliniň deňlemesi

$$p\ + \frac{1}{2}\rho\upsilon^2 = hemi\c{s}elik, \qquad (2.3.5)$$

aňladylýar.

Turbadaky suwuklyk hereket etmeýän $\upsilon = 0$ halatynda (2.3.4-nji) deňlik

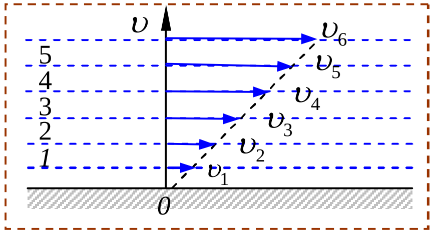
$$p\ + \rho gh\ = hemi\c{s}elik, \qquad (2.3.6)$$

görnüşde aňladylýar.

2.3.2. Suwuklygyň şepbeşikligi. Nýutonyň deňlemesi

Turbanyň içinde akýan suwuklygyň tizligi juda kiçi bolmadyk halaty onuň her bir gatlagy goňşy gatlagyň akym çyzygyna geçirilen galtaşma perpendikulýar ugrukdyrylan güýç bilen özaratäsirleşýär. Bu hadysa ***içki sürtülme*** ýa-da ***şepbeşiklik*** diýilýär.

Biz gorizontal örän uly diametrli turbany doldurman akýan suwuklygyň şertli 1; 2; 3; 4; 5 gatlagynyň hereketini öwreneliň (2.3.3-nji çyzgy). Goý, iň aşaky 1-nji gatlak suwuklygyň akýan gabynyň düýbünde we ony gabyň diwaryna ýelmeşendigi üçin hereketsiz hasaplalyň. Suwuklygyň gatlaklary gabyň düýbünden daşlaşdygyça olaryň tizlikleri artar $(\upsilon_1 < \upsilon_2 < \upsilon_3 < \upsilon_4 < \upsilon_5)$ we howa bilen galtaşýan suwuklyk gatlagynyň υ_h tizligi iň uly bolar.



2.3. 3-nji çyzgy. *Gorizontal akýan suwuklyk gatlaklarynyň tizligi*

Gatlaklar bir- birine täsir edýärler. Meselem, üçünji gatlak ikinji gatlaga täsir edip, onuň tizligini artdyrmaga ymtylýar, ýöne özi ol tarapyndan togtadyjy, dördünji gatlakdan bolsa tizlendiriji we ş.m. güýje sezewar bolýar. Içki sürtülme güýji özara galtaşýan suwuklyk gatlaklarynyň S üstlerine göni baglanyşykda bolup, onuň ululygy gatlaklaryň özara otnositel tizliginiň ulalmagy bilen köpelýär. Umuman suwuklygy gatlaklara şertli bölünendigi sebäpli olaryň arasyndaky F_s sürtülme güýç suwuklygyň tizligine geçirilen perpendikulýaryň ugruna tizligiň gradiýentine baglydyr. ***Tizligiň gradiýenti*** $(d\upsilon/dx)$ *diýip, uzynlyk birliginde tizligiň üýtgemegine aýdylýar*. Ýagny:

$$F_s = \eta \frac{d\upsilon}{dx} S. \qquad (2.3.7)$$

Bu (2.3.7-nji) deňlik ***Nýutonyň deňlemesidir***. Bu ýerde: η - içki sürtülme (şepbeşiklik ýa-da dinamiki şepbeşiklik) koeffisiýentidir. Şepbeşiklik suwuklygyň (gazyň) halyna we molekulalarynyň häsiýetine bagly. Bu deňlikden şepbeşiklik koeffisiýenti:

$$\eta = \frac{F_s}{\frac{d\upsilon}{dx}\cdot S} = \frac{F_s \cdot dx}{d\upsilon \cdot S}. \qquad (2.3.8)$$

Ölçegleriň Halkara ulgamynda şepbeşiklik Paskal – sekunt birliginde $[\eta] = [Pa \cdot s]$ hasaplanylýar.

2.3.3. Şepbeşik suwuklyklaryň turbanyň içindäki hereketi. Puazeýliň aňlatmasy

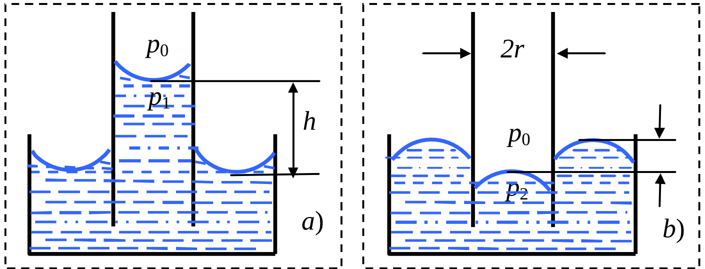
1.Şepbeşik suwuklyklaryň turbanyň içindäki akymy.

Şepbeşik suwuklygyň turbanyň içindäki akymy senagatda we durmuşda örän wajyp orun tutýar. Sebäbi biziň Watanymyz Baky Bitarap Türkmenistan baý nebit gorlarynyň üstünde ýerleşýär. Nebit önümi hem şepbeşik suwuklyk hökmünde Zeminiň göwsünde edil turbanyň içindäki ýaly akýar we onuň dinamikasyny öwrenmeklik biz üçin parzdyr. Galyberse-de adamynyň gan akýan damarlary dürli diametrli turba ýalydyr we ganyň özi bolsa şepbeşik sredadyr. Şonuň üçin hem bu temany öwrenmek kesgitli gyzyklanma döredýär.

Simmetriýa laýyklykda turbanyň okundan deňdaşlykda akýan suwuklygyň tizlikleri özara deňdir. Turbanyň oky boýunça akýan gatlakdaky suwuklyk gatlaklarynyň tizligi iň uludyr we onuň diwaryna iň ýakyn ýerleşen gatlak hereketsizdir. Turbanyň içinde akýan suwuklyk bölejikleriniň şekilli suwuklyk üstleriniň aşagyndaky we üstündäki basyşlaryň Δp tapawudyny :

$$\Delta p = p_0 - p_1 = p_2 - p_0 = \frac{f_{\ddot{u}.d.}}{\pi r^2} = \frac{\sigma 2\pi r}{\pi r^2} = \frac{2\sigma}{r}, \qquad (2.4.8)$$

görnüşde aňladyp bolar. Bu ýerde $p_0 - p_1 = \Delta p$ oýuk we $p_2 - p_0 = \Delta p$ bolsa güberçek ýarym aý şekilli suwuklyk üstleriniň aşagyndaky we üstündäki basyşyň tapawudy (2.4.8-nji *b* çyzgy).



2. 4.8-nji çyzgy. *Suwuklyklaryň kapilýarlary ölleme we öllemezlik hallary*

Diýmek, ýarym aý şekilli suwuklygyň üstüniň aşagyndaky *p* basyş bilen onuň üstündäki atmosferanyň p_0 basyşynyň tapawudy:

$$\Delta p = p - p_0 = \pm \frac{2\sigma}{r}. \qquad (2.4.9)$$

aňlatma deňdir.

Kapillýar hadysalaryň toprakda çyglylygyň saklanmagyna we ösümlikleri suw bilen üpjün etmekde wajyp orny bar. Toprak örän dykyz ýaly bolsa-da onuň içinde kapillýaryň ornuny tutýan inçe-mikro kanaljyklar juda köpdür. Bu kapillýarlar boýunça toprakdaky suw ösümlikleriň köklerine

baha eýedir. Suwuklyklaryň laminar akymy durnuksyz hasaplanylýar. Laminar akymly ideal suwuklyklar üçin Bernulliniň (2.3.4-nji) deňlemesi we şepbeşik suwuklyklar üçin çykarylan (2.3.16) Puazeýliň aňlatmasy ýeterlik derejede ulanarlyklydyr. Suwuklygyň tizliginiň artmagy bilen onuň hereketiniň laminar häsiýeti bozulýar we onuň gatlaklarynyň bölejikleri goňşy gatlaklara aralaşyp, suwuklyk köwlenme häsiýetli herekete geçýär. Suwuklyklaryň munuň ýaly hereketine ***turbulent hereket*** diýilýär.

2. Reýnoldsyň sany. Suwuklyklaryň laminar häsiýetli akymdan turbulent akyma geçmegi suwuklygyň häsiýetine, onuň akym tizligine, turbanyň ölçegine baglydyr. 1883-nji ýylda iňlis fizigi we inženeri Osbori Reýnolds (1842-1912) suwuklygyň laminar akymdan turbulent akyma geçmekligini häsiýetlendirýän ölçegsiz ululyklaryň kesgitli bahasynda döreýändigini öwrenipdir. Bu ölçegsiz ululyga ony açan alymyň hormatyna ***Reýnoldsyň sany*** (*kriteriýasy*) atlandyrylýar:

$$Re = \frac{\rho_s \upsilon D}{\eta}. \qquad (2.3.24)$$

Bu ýerde ρ_s suwuklygyň dykyzlygy; D turbanyň diametri.

Eger Reýnoldsyň sany käbir ***kritiki*** (kesgitleýji) Re_{ks} sandan uly bolsa $(Re > Re_{ks})$ suwuklygyň akymy turbulent häsiýetli bolar. Bu Re_{ks} sanyň bahasy suwuklygyň akýan turbasynyň görnüşine, onuň içki diwarynyň büdür-südürligine, suwuklygyň häsiýetine baglydyr. Içi timarlanan silindr turbalar üçin $Re_{ks} \approx 2300$.

Fizikada suwuklygyň şepbeşikliginiň onuň dykyzlygyna bolan gatnaşygyna ***kinematik şepbeşiklik*** diýilýär:

$$K_{şepb} = \frac{\eta}{\rho_s}.$$

Ölçegleriň Halkara ulgamynda kinematik şepbeşiklik sekuntdan metr kwadratlarda $\left(m^2/s\right)$ hasaplanylýar.

Kinematik şepbeşikligi göz öňünde tutup, Reýnoldsyň sanyny

$$Re = \frac{\upsilon D}{K_{şepb}}, \qquad (2.3.25)$$

görnüşde aňladyp bolar.

Bu (2.3.25-nji) aňlatmadan görnüşi ýaly suwuklygyň turbadaky hereketiniň häsiýeti turbanyň ölçegine bagly. Diametri uly turbalarda kiçi tizliklerde-de turbulent hereket döreýär. Meselem, diametri D=2mm bolan turbalarda $\upsilon = 1{,}27\, m/s$; we D=20mm turbada $\upsilon = 0{,}12\, m/s$ tizlikde (t=16 ^0S) temperaturaly suwuň akymy turbulet häsiýetli bolýar.

Gönükme 2.3.

2.3.1. Kese kesigi endigan bolmadyk turba boýunça suw akýar. Turbanyň iki dürli ýerinde onuň kese kesiginiň meýdany degişlilikde S_1=10 sm^2 we S_2=20 sm^2. Bu kesimlerde oturdylan wertikal turbalardaky suwuň beýikliginiň tapawudy $\Delta h = 20\,sm$. Turbanyň kese kesiginden $\tau = 1s$ wagtda geçýän suwuň V göwrümini kesgitlemeli.

2.3.2. Diametri d = 3 sm bolan içinde kömürturşy gazy $\left(\rho_{k.gaz} = 7{,}5\, kg/m^3\right)$ akýan gorizontal turbanyň içinde Pitonyň turbasy (basyşy kesgitleýji U - görnüşli suwuklykly manometr) ýerleşdirilen. Eger, manometrdäki suwuklygyň derejesiniň tapawudy $\Delta h = 0{,}5\,sm$ bolsa, turbanyň kese kesiginden $\tau = 1s$ wagtda akyp geçýän gazyň göwrümini

Öllenýän kapillýarlarda suwuklyk sütüniniň ýokary galmagyny başgaça-da düşündirip bolar. Ýaý şekilli suwuklygyň üst gatlagynyň boýuna kapillýaryň diwaryna tarap üst dartylma güýji täsir edýär. Nýutonyň üçünji kanunyna laýyklykda moduly boýunça edil şonuň ýaly güýç hem kapillýaryň diwary tarapyndan suwuklygyň üstüne ugrukdyrylandyr. Bu güýç suwuklygyň ýokary galmagyny mejbur edýär. Kapillýardaky suwuklyk sütüniniň agyrlyk güýji onuň ýokary galmagyny mejbur edýän güýç bilen deňleşen badyna suwuklygyň ýokary galmagy togtaýar.

Radiusy r bolan kapillýardaky suwuklygyň ýokary galma (aşak düşme) h derejesini kesgitläliň. Içine suwuklyk guýulan okara kapillýar turbanyň aşaky ujy batar ýaly edilip oňa çümdüreliň. Suwuklyk kapillýaryň materialyny ölleýän halatynda, ol kapillýar boýunça tä suwuklyk sütüniniň agyrlyk güýji $P_s = \rho_s gV = \rho_s g\pi r^2 h$ onuň üst dartylma $f_{ü.d.} = \sigma l = 2\pi r\sigma$ güýjüne deňleşýänçä (P_s=$f_{ü.d.}$) ýokary galar. Onda kapillýardky suwuklygyň belentligi

$$h = \frac{2\sigma}{\rho_s g r} \qquad (2.4.7)$$

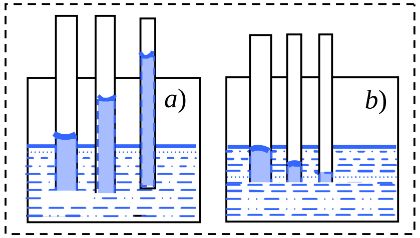
bolar. Bu ýerde ρ_s-suwuklygyň dykyzlygy; $V = \pi r^2 h$- kapillýardaky suwuklygyň göwrümi. Kapillýardaky suwuklygyň ýokary galma h beýikligini ölçäp, (2.4.7-nji) aňlatmadaky ρ_s, r ululyklar belli bolanda suwuklygyň σ üst dartylma koeffisiýentini hem hasaplap bolar.

Radiusy r bolan kapillýardaky suwuklygyň ýarym aý şekilli üstleriniň ýokarsyndaky basyşy p_0 olaryň oýuk ýarym aý şekilli üstüniň aşagyndaky basyşy p_1 we güberçek ýarym aý şekilli üstüniň aşagyndaky basyşy bolsa p_2 bilen belläliň (2.4.8-nji a we b çyzgy) . Onda oýuk we güberçek ýarym aý tehnologiýasynda ilkinji nobatda bu erginleriň ölleýjilik ukybynyň ýokary bolmagy göz öňünde tutulýar. Bu häsiýetiň derejesi ýelmeýjileriň hilini aňladýan görkezijileriň biridir.

2. 4.5. Kapillýar hadysalar

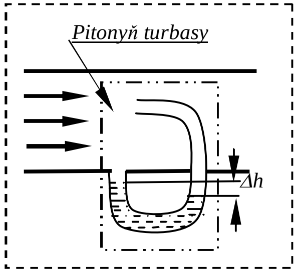
Diametri juda kiçi bolan turbajyklara ***kapillýar*** diýilýär. *Kapillýarlardaky suwuklygyň beýiklik derejesi bu suwuklygyň kapillýary ölleýändigine ýa-da öllemeýändigine baglylykdakapillýaryň batyrylan gabynyň erkin üstünden ýokaryk ýa-da aşak üýtgemek hadysasyna* ***kapillýarlyk hadysasy*** diýilýär.

Eger suwuklyk kapillýary ölleýän bolsa (2.4.7-nji *a* çyzgy), onda onuň üsti oýuk ýarym aý şekilli bolar we onuň aşagyndaky suwuklygyň basyşy giň gaba guýulan suwuklygyň tekiz üstüň aşagyndakydan kiçidir. Şonuň üçin hem kapillýardaky suwuklyk sütüni özüniň döredýän gidrostatik basyşy giň gapdaky suwuklygyň tekiz üstündäki artmosfera basyşy bilen deňleşýänçä ýokary galýar. Kapillýaryň radiusy kiçi boldugyça ondaky oýuk üstli suwuklyk sütüni şonça-da beýik bolýar (2.4.7-nji *a* çyzgy). Güberçek ýarym aý şekilli suwuklyk üstüniň aşagyndaky suwuklygyň basyşy bolsa tersine tekiz suwuklyk üstüniň aşagyndakydan kiçidir we ol hem tä basyşlaryň tapawudy deňleşýänçä öllemeýän kapillýardaky suwuklyk sütüni aşak düşýär. Kapillýaryň radiusy kiçi boldugyça ondaky güberçek üstli suwuklyk sütüni şonça-da aşak düşer (2.4.7-nji *b* çyzgy).

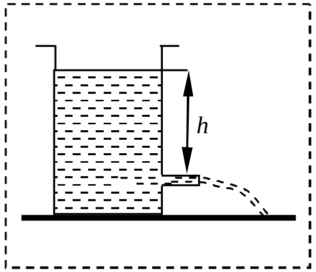


2. 4.7-nji çyzgy. *Kapilýarlar*

kesgitlemeli. Şepbeşiklik koeffisiýentini hasaba almaly däl, Pitonyň turbasynyň içindäki suwuklygyň dykyzlygy $\rho_s = 1000\ kg/m^3$.



2.3.2-nji gönükmäniň çycgysy



2.3.3-nji gönükmäniň çycgysy

2.3.3. Wertikal ýerleşdirilen gapdaky suwuklygyň ýokarky derejesinden h=1,5 *m* *aşak*da ýerleşen kiçi deşikden akýan suwuklygyň tizligini kesgitlemeli.

2.3.4. Şar dykyzlygy özüniňkiden 3 esse uly bolan suwuklygyň üstüne hemişelik tizlikli ýüzüp çykýar. Ýokaryk ýüzüp çykýan şara täsir edýän sürtülme güýji onuň agramyndan näçe esse uludyr?

2.3.5*. Dykyzlygy $\rho_s = 11,3\,g/sm^3$ diametrleri iki dürli d_1=4 *mm* we d_2=2 *mm* bolan gurşun seçmeleri giň bokurdakly wertikal ýerleşdirilen gapdaky gliseriniň içine şol bir pursatda başlangyç tizliksiz öz erkine goýberilýär. Gabyň çuňlugy h=1,5 *m*, gliseriniň dykyzlygy $\rho_g = 1,26\,g/sm^3$ we dinamiki şepbeşikligi $\eta = 1,48\,Pa\cdot s$ Kiçi seçme gabyň düýbüne ulysyndan näçe Δt wagtdan soňra ýeter?

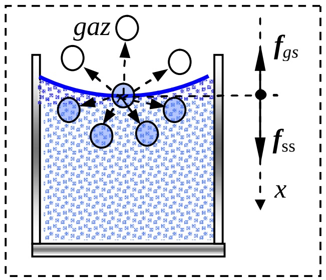
2.3.6. Howada erkin gaçýan gurşun şaryň eýe bolup bilýän iň uly tizligini kesgitlemeli. Howanyň we gurşunyň dykyzlygyny degişlilikde $\rho_h = 1,29\ kg/m^3$; $\rho_g = 11,3\ kg/m^3$, howanyň C_x garşylygyny 0,5 deň hasaplamaly.

2.3.7. Agramy m_1=32 *kg* paraşýut açylan halynda diametri d=12 *m*-e deň ýarymsfera görnüşde bolup, ol howada C_x=1,3 garşylyk koeffisiýentine eýedir. Massasy m_2=65*kg* paraşutçynyň howanyň dykyzlygy $\rho_h = 1,29\ kg/m^3$ bolanda eýe bolup biljek

BAP 2. 4. Suwuklyklardaky üst dartylma

2.4.1. Üst dartylma

Goý, gaba guýulan suwuklygyň üsti gaz (howa) gatlagy bilen araçäkleşsin. Has takygy suwuklygyň üsti bu suwuklygyň bugy bilen gurşalandyr. Gazyň dykyzlygy suwuklygyň dykyzlygyndan has kiçidir.Ýagny gazyň iki goňşy molekulalarynyň arasyndaky daşlyk suwuklygyňka garanyňda ulydyr. Diýmek, suwuklygyň iň ýokarky gatlagyny düzýän molekulalaryna onuň aşaky gatlaklaryny düzýän molekulalary tarapyndan f_{ss} suwuklyk –



2. 4. 1-nji çyzgy. *Suwuklygyň üst gatlagyndaky molekulalaryna edilýän täsir güýçler*

taparys. Bu ýerde $R=r$ hasaplasak,

$$\Delta p = \frac{2\sigma}{r}, \qquad (2.4.6)$$

sabyn köpürjiginiň düwmesiniň içindäki howanyň (suw buglarynyň) basyşynyň atmosfera basyşyndan Δp ululyk ýaly köpdügine göz ýetireris.

Diýmek, howa düwmesiniň içindäki basyş hem edil suwuklyk üstüniň güberçek ýarym aý şekilli halyndaky ýaly hasaplanylýar. Bu ýagdaý suwuklyk damjalaryna hem degişlidir.

Suwuklyklaryň gaty maddalary, metallary, matalary, gaýyş, tagta önümlerini we ş.m. ölläp bilijilik ukyby senagatda we durmuşda giňden ulanylýar. Agzalan önümleri reňklemekde, fotografiýa materiallary gaýtadan işlemekde, geýimleri ýuwmakda suwuk erginleriň ölläp bilijiginiň ýokary bolmaklygy zerurdyr.

Sabynyň we sintetiki ýuwujy poroşoklaryň ýuwujylyk ukyplary olaryň üst dartylma koeffisiýentleriniň suwuňka garanyňda kiçi bolmagy sebäp bolýar. Suwuň molekulalarynyň uly üst dartylma koeffisiýenti sabynyň we ýuwujy poroşoklaryň köpürjikleriniň gös-göni matanyň içine we onuň öýjüklerine siňmegine päsgelçilik berýär. Mundan başga-da sabynyň molekulalary süýnmegräk bolup, onuň bir tarapy suwuň molekulasyna badaşyp (berk birigip), suwuň içine çümýär. Beýleki ujy bolsa suwdan iteklenip, ýagyň, kir-kimiriň molekulasyna birigýär. Suwuň molekulasy sabyn molekulasyny onuň ikinji ujundaky ýag molekula bilen birlikde özüne çekýär we ýag menegini öňki ýerinden goparýar, ondan arassalanmaklyga ýardam berýär.

Agaç, gaýyş, rezin we beýleki önümleri ýelmemek üçin ulanylýan kleýleri (ýelmeýjileri) ýasamaklygyň bu iş sabyn köpürjiginiň düwmesiniň üst energiýasynyň artmagyna deňdir. Ýagny,

$$\Delta p\Delta V = \sigma\Delta S\,. \qquad (2.4.3)$$

Bu ýerde ΔS sabyn köpürjiginiň düwmesiniň artan üsti. Ol

$$\Delta S = 4\pi\left(R+\Delta R\right)^2 - 4\pi R^2,$$

aňlatma deňdir. Ýa-da bu aňlatmadaky ýaýy açyp we $\Delta R^2, \Delta R^3$ ululyklary juda kiçi bolany üçin nola deň hasaplap taparys:

$$\Delta S = 4\pi\Delta R\left(2R+\Delta R\right) = 8\pi\Delta RR\,. \qquad (2.4.4)$$

Indi sabyn düwmesiniň artan ΔV göwrümini hasaplalyň:

$$\Delta V = \frac{4}{3}\pi\left(R+\Delta R\right)^3 - \frac{4}{3}\pi R^3 = \frac{4}{3}\pi\left(R^3+3R^2\Delta R+3R\Delta R^2+\Delta R^3-R^3\right) =$$

$$= 4\pi\left(R^2\Delta R+\Delta R^2 R\right) = 4\pi R\Delta R\left(R+\Delta R\right) = 4\pi R^2\Delta R + 4\pi R\Delta R^2.$$

Bu ýerde hem $\Delta R^2 = 0$ hasaplap taparys:

$$\Delta V = 4\pi R^2\Delta R\,. \qquad (2.4.5)$$

Indi (2.4.4-nji) we (2.4.5-nji) deňlikleri (2.4.3-nji) aňlatmada ornuna goýup,

$$\Delta p = \frac{\sigma\Delta S}{\Delta V} = \frac{8\pi\Delta RR\sigma}{4\pi R^2\Delta R} = \frac{2\sigma}{R},$$

suwuklyk molekulalaryň özara çekiş güýji onuň yokarsyndaky f_{gs} gaz-suwuklyk molekulalarynyň çekiş güýjünden uludyr (2.4.1-nji çyzgyda içi boş töwerejik gazyň, içi reňkli töwerejik bolsa suwuklygyň molekulalary). Bu bolsa, suwuklyk-gaz gurşawlaryň araçäkleşýän çyzygyna perpendikulýar dykyzlygy uly gurşawyň içine ugrukdyrylan ***üst dartylma*** güýjüni döredýär.

Üst dartylma güýji *diýip, iki dürli gurşawyň araçägindäki erkin alnan çyzygyň uzynlygyna proporsional dykyz gurşawyň içine perpendikulýar ugrukdyrylan güýje aýdylýar :*

$$f_{ü.d.} = \sigma\, l\,. \qquad (2.4.1)$$

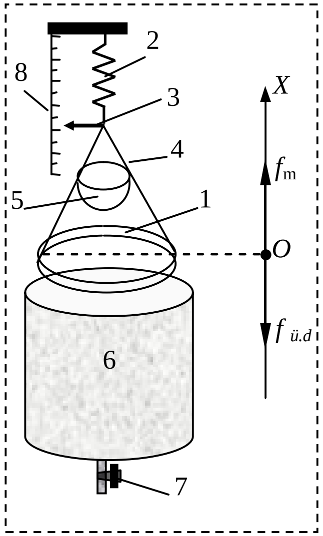
Bu ýerde σ üst dartylma koeffisiýenti; l gurşawlaryň araçägindäki erkin alnan çyzygyň uzynlygy.

Ýokardaky (2.4.1-nji) aňlatmadan $\sigma = f_{ü.d.}/l$ ***üst dartylma koeffisiýenti*** uzynlyk birligine düşýän üst dartylma güýjüne san taýdan deňdir we ol Halkara ulgamda metrden nýuton$\left[N/m\right]$ birlikde hasaplanylýar.

Üst dartylma koeffisiýenti suwuklygyň temperaturasyna ters baglydyr.Ýagny suwuklygyň temperaturanyň artmagy bilen suwuklyk-gaz gurşawyň araçägindäki erkin alnan çyzygyň uzynlygy $l = l_0\left(1+\alpha_t\, t\right)$ çyzykly baglanyşyk boýunça uzalýar. Bu bolsa üst dartylma koeffisiýentiň ulylygynyň azalmagyny döredýär. Bu ýerde l we l_0 degişlilikde suwuklyk-gaz gurşawyň araçägindäki erkin alnan çyzygyň islendik t we $0^0 S$ temperaturadaky uzynlygy; α_t degişli suwuklygyň uzynlygyna giňelmeginiň termiki koeffisiýenti. Her bir suwuklyga mahsus bolan kritiki temperaturada ust dartylma koeffisiýenti we onuň bilen baglylykda ust dartylma güýji nola deň bolýar. Suwuklyga käbir garyndylaryň goşulmagy ust dartylmany kiçeldýär. Bu häsiýetli garyndylara ***üst-işjeň garyndylar*** diýilýär (mysal üçin spirt, efir, sabyn, dürli hilli eşik ýuwulýan poroşoklar üst işjeň garyndylardyr).

Ýokarda bellenilişi ýaly üst dartylma güýjüniň suwuklygyň içine ugrugandygy üçin suwuklyk we ýagyş damjalarynyň üstüniň iň kiçi –sferik (togalagörtük) bolmagyna alyp barýar. Şonuň üçin hem ýagyşyň, krandan damýan suwuň damjalary togalak iň kiçi üstli geometrik figuranyň şekilini alýarlar.

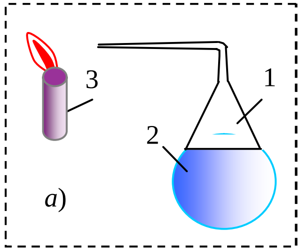
2.4.2. Suwuklyklaryň üst dartylma koeffisiýentiniň kesgitlenilişi



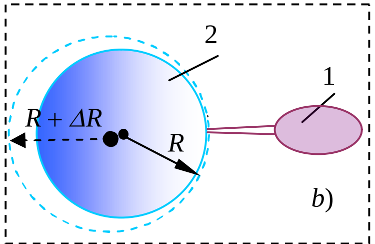
2. 4. 2-nji çyzgy. *Suwuklyklaryň üst dartylma koeffisiýentini kesgitlemek üçin gurluş*

Suwuklyklaryň üst dartylma koeffisiýentini kesgitlemekligiň köp sanly usullarynyň biriniň mysaly (prinsipial) shemasy (2.4.2-nji) çyzgyda görkezilen. Dýuralýuminiýden ýasalan ýukajyk halka (1), gozganmaýan asmadan asylan ujy (3) görkezijili (2) maýyşgak pružine (4) sapak bilen daňylan. Bu sapagyň ýokary çetine agramlyk daşjagazlary goýmak üçin niýetlenen (5) okarajyk dakylan. Çyzgydaky (6) bilen bellenen gaba halka deger ýaly beýiklikde üst dartylmasy hasaplanyljak suwuklyk mysal üçin, suw guýulýar. Soňra bu gabyň aşagyndaky krany (7) azyrak açyp, onuň içindäki suwuň derejesi azaldylýar. Gapdaky suwuň

Guýgujyň (1) içine sabyn köpürjikli suw guýup, onuň inçe tarapyndan endigan üflenilse onuň ujynda sabyn köpürjiginiň (2) düwmesi dörär (2.4.6-njy *a* çyzgy). Ýokarda bellenilişi ýaly sabyn köpürjiginiň düwmesiniň içinde howanyň (gazyň) basyşy daşky atmosferanyňkydan uludyr. Eger, bu guýgujyň boş inçe ujunyň öňünde ýanyp duran şemjagaz (3) ýerleşdirilse, şemiň ýalyny edil guýgujyň ujundaky turbajykdan üflenýän ýaly ondan daşlaşar (2.4.6-njy *a* çyzgy). Hakykatdan hem ýalynyň gyşarmasy sabyn köpürjiginiň düwmesiniň



2. 4. 6-njy *a* çyzgy. *Uly basyşly sabyn köpürjik düwmesi şemiň ýalnyny gyşardýar*



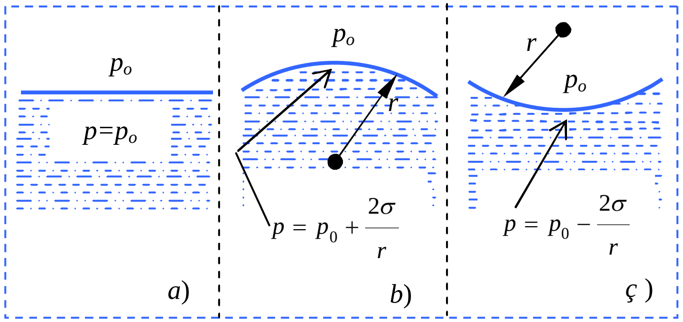
2. 4. 6-njy *b* çyzgy. *Radiusy üýtgedilýän sabyn köpurjik düwmesi*

içindäki howanyň basyşynyň onuň daşyndaky atmosferanyň basyşyndan uly bolany sebäplidir.

Biz sabyn düwmesiniň içindäki basyşyň onuň daşyndaky atmosfera basyşyndan näçe tapawutlydygyny hasaplalyň. Munuň üçin ujuna rezin pökgi dakylan turbajyk (1) bilen başda sabyn köpürjikli suwdan az- owlak sorduryp, soňra pökgini endigan gysylsa onuň inçe ujunda radiusy R bolan sabyn kopürjiginiň düwmesi dörär (2.4.6-njy *b* çyzgy) . Indi biz ýene-de rezin pökgini asudalyk bilen çalaja gyssak, onda sabyn köpürjiginiň düwmesiniň radiusy ΔR ululyga artar. Ýagny öňki sabyn düwmesiniň göwrümi ΔV ululyga üýtgär we ol $R + \Delta R$ radiusly düwmä öwrüler. Şunlukda ýerine ýetirilen iş $A = \Delta p \Delta V$ bolar. Energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda

2.4.4. Suwuklygyň sferik üstiniň aşagyndaky goşmaça basyş

Ýokarda bellenilişi ýaly suwuklygyň tekiz üstüniň ýokarsynda we onuň aşagynda basyş özara deň (2.4.5-nji *a* çyzgy). Emma, suwuklygyň üsti güberçek ýa-da oýuk ýarym aý şekilli bolan halatynda ýagdaý düýpgöter üýtgeýär. Güberçek ýarym aý şekilli suwuklygyň aşagyndaky basyş onuň



2. 4. 5-nji çyzgy. *Suwuklygyň tekiz we ýarym aý şekilli üstleri*

ýokarsyndakydan $\frac{2\sigma}{r}$ ululyk ýaly köpdür (2.4.5-nji *b* çyzgy). Oýuk ýarym aý şekilli suwuklyk üstüniň aşagyndaky basyş bolsa, onuň ýokarsyndakydan $\frac{2\sigma}{r}$ ululyk ýaly azdyr (2.4.5-nji ç çyzgy).

Ýarym aý şekilli suwuklyk üstleriniň aşagyndaky basyşyň üýtgemegi şar şekilli suwuklyk damjalarynyň we gaz (howa, bug) düwmeleriniň içinde hem şeýledir. Muňa göz ýetirmek üçin aşakdaky tejribä ýüzleneliň.

beýiklik derejesiniň aşak düşmegi bilen birlikde oňa batyp duran metal halka ozüniň daňylan pružinini süýndürip, suwuklyk bilen birlikde aşak süýşýär. Bu halda metal halka *OX* okuň ugruna tarap pružiniň f_m maýyşgaklyk güýji we onuň garşysgyna suwuň $f_{ü.d.}$ üst dartylma güýçleri täsir edýär. Garşylykly tarapa täsir edýän bu iki güýjüň moduly deňleşýänçä metal halkanyň derejesi peselýän suw bilen aşak düşmesi dowam edýär. Haçanda $|\boldsymbol{f_m}| = |\boldsymbol{f_{ü.d.}}|$ bolanda halka suwdan üzülýär. Halkanyň suwdan üzülýän derejesini görkeziji (3) peýkam boýunça lineýkadan (8) kesgitlenýär. Soňra metal halkany sorguç kagyz bilen guradyp, onuň ýokarsynda ýerleşdirilen (5) okarajyga tä pružin suwdan üzülen derejesine gelýänçä çekuw daşjagazlary goýulýar. Görkeziji peýkam halkanyň suwdan üzülen derejesine gelende okarajyga goýlan çekuw daşlaryň $\boldsymbol{P}$ agramy pružiniň $\boldsymbol{f_m}$ maýyşgak güýjüne deň bolýar $\boldsymbol{P} = \boldsymbol{f_m}$. Ýa-da $|\boldsymbol{P}| = |\boldsymbol{f_{ü.d.}}|$, bu güýçleriň *OX* oka proýeksiýalary $P = f_{ü.d.}$, ýa-da $P = \sigma l$ göz öňünde tutup,

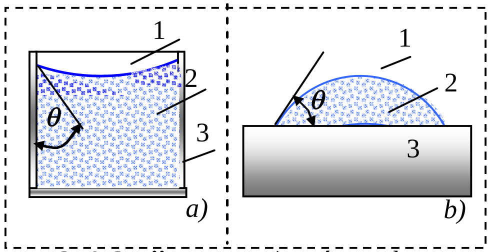
$$\sigma = \frac{P}{l} = \frac{P}{2\pi R_{ort}} = \frac{P}{\pi(D-d)}, \qquad (2.4.2)$$

alarys. Bu ýerde: *l*- metal halkanyň suwa batýan bölegininiň uzynlygy $l = 2\pi R_{ort}$; R_{ort} halkanyň orta radiusy $\left(R_{ort} = \frac{D-d}{2}\right)$, *D* – halkanyň daşky diametri, *d*- halkanyň galyňlygy.

Agzalan halkanyň diamertini we galyňlygyny mikrometr bilen ölçäp, σ -nyň ululygyny hasaplarys.

2. 4.3. Öllenme we öllenmezlik

1.Öllenme. Gaty jisimleriň we suwuklyklaryň molekulalarynyň özara täsirine baglylykda olaryň özara galtaşma üstlerinde öllenme we öllenmezlik hadysalary döreýär. Bu hadysany düşündirmek üçin suwuklyk



2. 4. 3-nji çyzgy. *a*)- aýna turbany içinden; b) - tekiz aýna bölegini üstünden; suwuň öllemegi.

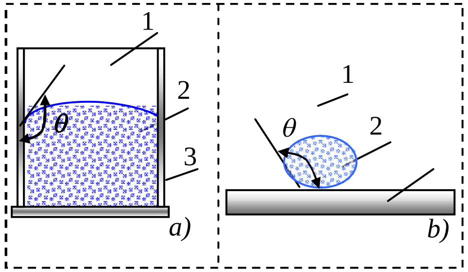
molekulalarynyň arasyndaky özara täsir güýjüň modulyny f_{ss} we gaty jisimiň we suwuklygyň molekulalarynyň özara täsir güý,leriniň modulyny bolsa f_{gs} bilen belläliň.

- Eger $f_{gs} > f_{ss}$ bolsa ***suwuklyk gaty jisimi ölleýär.*** Bu

haldaky suwuklyk inçejik aýna turbajyga guýulan bolsa suwuklygyň aýnanyň diwaryna galtaşýan ýerleri onuň üstüniň ortasyndan (gabyň diwaryna galtaşmaýan ýerinden) ýokarda ýerleşer (2.4.3-nji *a* çyzgy). Eger, suwuklyk (suw) tekiz aýna böleginiň üstüne guýulsa, onda ol gaty jisimiň üstünde (2.4.3-nji *b* çyzgyda) görkezilişi ýaly onuň erkin üsti güberçek bolup ýazylar. Bu çyzgylarda 1- suwuklygyň gazy, 2- suwuklyk we 3-gaty jisim.

Suwuklyk bilen gaty jisimiň galtaşma üstünden suwuklygyň erkin üstüne geçirilen galtaşmanyň emele getirýän θ burçuna gyra burçy diýilýär. Suwuklyk gaty jisimi öllände (suw aýnany ölleýär) gyra burçy ýiti bolýar $0 \le \theta \le \pi/2$. Eger $\theta = 0$ ***bolsa onda suwuklyk gaty jisimi doly ölleýär.***

2. Öllenmezlik. Eger $f_{gs} < f_{ss}$ bolsa ***suwuklyk gaty jisimi öllemeýär.*** Bu haldaky simap (suwuklyk) inçejik aýna turbajyga guýulsa onuň erkin üsti simabyň aýnanyň diwaryna galtaşýan ýerlerine garanyňda güberçek bolýar (2.4.4-nji *a* çyzgy). Ýagny simap aýnany öllemeýär. Eger simap tekiz aýna böleginiň üstüne guýulsa ol damja (togalak) görnüşde bolar (2.4.4-nji *b* çyzgy). Suwuklyk gaty jisimi öllemese $\pi/2 \le \theta \le \pi$ gyra burçy kütek bolar. Eger $\theta = \pi$ ***bolsa onda suwuklyk gaty jisimi doly öllemeýär.***



2. 4.4-nji çyzgy. *Suwyň a)- aýna turbany içine guýulanda; b) - tekiz aýna böleginiň üstünde ony öllemezligi*

Diametri juda inçe turbajyklara guýulan suwuklyklaryň üsti ***güberçek (ýa-da oýuk) ýarym aý şekillidir.*** Bu hadysa diňe bir gabyň diwarynyň suwuklyga galtaşýan ýerlerine däl-de suwuklykda ýüzýän islendik gaty jisim bilen suwuklygyň galtaşma ýerlerine hem degişlidir.

degişli *temperatura we basyş kiritiki* atlandyrylýar. Kömürturşy gazyň kritiki basyşy $p_k = 7{,}4 \cdot 10^6 Pa \ (73\,atm)$, suw üçin bolsa $p_k = 2{,}2 \cdot 10^7 Pa \ (218\,atm)$. Kritiki halda suwuň göwrümi, buguň bolsa basyşy maksimumdyr.

3.Kritiki temperaturadaky suwuň we onuň doýgun bugunyň dykyzlygy. Biz (2.5.3-nji) temada doýgun buguň temperaturanyň ýokarlanmagy bilen artýandygy barada belläpdik. Özüniň bugy bilen dinamiki deňagramlylykda bolan suwuklyk gyzdyrylanda onuň göwrümi ulalýar,dykyzlygy bolsa tersine azalýar. Bu baglanyşyk suw we onuň bugy üçin 2.5.1-nji tablisada görkezilen

Tablisa 2.5.1.

Temperatura, $^0 S$	**Dykyzlyk , kg/m^3**	
	suw	**bug**
15	1000	0,073
50	998	0,083
100	960	0,597
200	860	7,84
300	700	46,9
374	320	320

Eger bir çyzgyda suwuklygyň we onuň doýgun bugunyň dykyzlygynyň temperatura baglylygy görkezilse, onda temperaturanyň artmagy bilen suwuklyk üçin egri aşak gaýdar (dykyzlyk azalar) doýgun bug üçin bolsa ol ýokaryk galar (dykyzlyk artar) (2.5.5-nji çyzgy) .

Kritiki temperaturada iki egri hem biri-biri bilen tapyşýar. Suwuklygyň we onuň doýgun bugunyň dykyzlygy özara deňleşýär. Bu 2.5.1-nji tablisadan hem görünýär.

Kapillýarlar boýunça toprakdaky suw ösümlikleriň köklerine baryp, olary çyglylyk we mineral iýmit bilen üpjün edýär. Ösümlikler özlerindäki artykmaç çyglylygy ýapraklaryndan bugardýarlar. Diýmek, olaryň kapillýar damarjyklaryndaky suw üznüksizdir, ýagny hiç hili molekulýar dartylma esasynda üzülmeýärler.

Toprakdaky çyglylyk kapillýar boýunça atmosfera bugaryp gidýär we Ýeriň çyglylygy azaldýar. Munuň öňüni almak üçin toprakdaky kapillýarlary bozmak ýeri sürmek zerurdyr. Atmosferanyň temperaturasynyň ýokary bolmagy topragyň ýokarky gatlaklaryna kapillýar boýunça çyglylygyň örän köp mukdarda galmagyna ýardam berýär. Netijede bu çyglylygyň düzümindäki agyz (dissilirlenen) suwlar atmosfera bugarýar. Toprakdaky çyglylygyň düzümindäki bugarmasy kyn agyr bölegi bolan dürli duzlar ýeriň ýüzünde galýarlar we onuň şorlanmagyna sebäp bolýar.

Häzirki döwürde alymlaryň we tehnologlaryň bilelikdäki işleri netijesinde ýokary kapillýarlyk häsiýetli kagyzlar, pergamentler, matalar döredildi. Agzalan ýokary kapillýarlykly matalar we dürli pergamentler adamynyň bedeninde döreýän başlardan, ýaralardan bölünip çykýan jerhetleri, dürli gurluşlaryň üstündäki çygy özüne siňdirmek üçin giňden peýdalanylýar. Tersine, ýagyşly howada geýilýän daşky eşikler (plaşlar) kapillýarlygy juda pes ýa-da asla ýok matalardan tikilýär.

Gönükme 2.4.

2.4.1*. Radiusy r bolan sabyn düwmesiniň içindäki suw buglarynyň basyşynyň onuň daşyndakydan näçe tapawutlydygyny subut etmeli.

2.4.2*. Gorizontal ýerleşdirilen konus şekilli kapillýardaky suwuklyk damjasy kapillýary a) ölleýän; b) öllemeýän halatlary haýsy tarapa hereket eder?

2.4.3. Radiusy r = 0,50 *mm* bolan aýna kapillýar turbanyň ujy gapdaky suwuklygyň h=2,0 *sm* çuňlugyna batyrylan. Kapillýar turbajygyň aşaky ujundan suwuň içine howa düwmejigini çykarmak üçin onuň uçlarynda näçe Δp basyşyň tapawudyny döretmek zerur?

2.4.4*. Içki diametri d=0,50 *mm* bolan aýna kapillýar turbajyk wertikal halda suwa batyrylan. Turbajygyň ýokarky ujy suwdan h=2,0 *sm* çykyp dur. Kapillýardaky suw tegmiliniň görnüşi nähilidir?

2.4.5*. Sabyn köpürjiginiň düwmesiniň radiusy r. Düwmäniň içindäki howanyň p basyşyny kesgitlemeli. Bu basyş onuň daşyndaky p_0 basyşdan nähili tapawutlanýar? Sabyn köpürjik ýorkasynyň üst dartylma koeffisiýenti σ, düwmäniň daşyndaky howanyň basyşy p_0.

2.4.6. Elek bilen suw daşap bolarmy? Torunyň sapaklary biri-birinden d=1,0 *mm* aralykdan geçirilen, radiusy r= 10 *sm* bolan elek bilen bir gezekde näçe mukdardaky suwy daşap bolar?

2.4.7. Massasy m gapdallarynyň uzynlygy degişlilikde a we b bolan gönüburçly ramka özüniň hemme taraplary bilen suwuň üstüne galtaşýar. Ramkany suwuň üstünden goparmak üçin oňa wertikal ugrukdyrylan nähili ululykdaky güýji goýmaly?

2.4.8. Ýag tegmillerini aýyrmak üçin niýetlenen matanyň üstünde ýumşak kagyz goýup, onuň üstünden gyzgyn ütük ýöredýärler. Beýle edilende näme üçin ýag dargap gitmän, kagyza sorulýar?

2.4.9. Potolokdan asylyp durup biljek suw damjasynyň iň uly ölçegine baha beriň.

2.4.10. Bir-birine "ýelmeşen" iki sany sabyn köpürjiginiň umumy diwarjygy bar. Eger köpürjikleriň egrilik radiuslary degişlilikde R_1 we R_2 bolsa, köpürjik diwarjygynyň R_3 egrilik radiusyny tapmaly.

dykyzlygynyň artmagyna hem baglylykda artýar. Bu ýerde doýgun buguň basyşynyň onuň dykyzlygyna göni baglydygyny bellemek zerurdyr.

Diýmek, bu deňeşdirmede ideal gaz bilen doýgun buguň hemişelik göwrümde gyzdyrylmagynda ýa-da porşeniň aşagynda onuň göwrüminiň kiçelmeginiň hasabyna gyzdyrylmagynda olaryň özlerini alyp baryşlary üýtgeşikdir. Doýgun buguň massasy onuň kondensirlenmegi ýa-da bugarmagy sebäpli üýtgeýär. Ideal gazda bolsa munuň ýaly özgermeler bolmaýar.

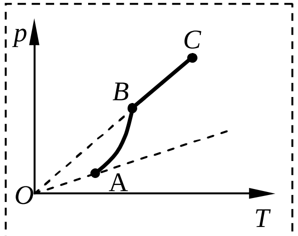
Porşeniň aşagyndaky iki fazaly (suwuklyk we onuň bugy) gurşawdaky hemme suwuklygyň bugaryp gutarmagy bilen bug doýgun haldan çykýar we onuň basyşy mundan beýläk Şarlyň kanunyna laýyklykda absolýut temperatura göni baglanyşykda atrýar (2.5.4-nji çyzgydaky *BC* bölek).

2.5.4. Kritiki temperatura. Kritiki hal

1.Kritiki temperatura. Real gazyň izotermalarynyň ýeterlik ýokary temperaturalardaky gorizontal bölekleri gysgalyp başlaýar we käbir temperaturada ol nola deň bolýar (2.5.3-nji çyzgyda *K* nokat). Bu temperatura ***kritiki temperatura*** diýilýär. ***Kritiki temperaturada öň özara dinamiki deňagramlylyk halynda bolan suwuklyk bilen onuň bugunyň häsiýetleriniň arasyndaky fiziki tapawut ýitýär.*** Her bir maddanyň özüniň kritiki temperaturasy bar. Meselem, (CO_2) kömürturşy gazynyň kritiki temperaturasy $T_k=304\ K$, suwuňky bolsa $T_k=647\ K$.

2. Kritiki hal. Real gazyň izotermalar toplumyndaky izoterma çyzygynyň gorizontal böleginiň nola owrülýän $T=T_k$ temperaturasyna degişli halyna ***kritiki hal*** diýilýär. Bu hala

3. Real gazyň basyşynyň we doýgun bugunyň dykyzlygynyň temperatura baglylygy. Real gazyň dürli temperaturada geçirilen izotermalaryndan (2.5.3-nji çyzgy) görnüşi ýaly gaz näçe *uly temperaturaly izoterma prosese geçirildigiçe onuň doýgun buglarynyň basyşy şonça-da artýar*. Ýagny doýgun buguň basyşy onuň eýeleýän göwrümine däl-de gazyň temperaturasyna bagly artýar.



2. 5.4.-nji çyzgy. *Real we ideal gazlaryň p-T diagrammalary*

Real gazlar bilen geçirilen tejribe maglumatlaryna görä onuň doýgun bugynyň basyşynyň temperatura baglylygy $p=f(T)$ ideal gazyň basyşynyň temperatura baglylygyndan tapawutlylykda örän çalt üýtgeýär (2.5.4-nji çyzgyda *AB* bölek). Eger, ideal gazyň izohora çyzygyny *A* nokadyň üstünden geçirilse, onda real gazyň doýgun buglarynyň p basyşynyň onuň T temperaturasyna baglylygynyň (*AB* çyzyk) ideal gazyň *OA* izohorasyndan çalt üýtgeýändigi has aýdyň görüner (2.5.4-nji çyzgyda).

Munuň sebäbi gürrüň real gazyň doýgun bugy hakynda barýandygyny unutmaly däl. Doýgun bug (2.5.2) temada bellenilişi ýaly özüniň kondensaty-suwuklygy bilen dinamiki deňagramlylykdaky bugdyr. Diýmek, temperaturanyň artmagy bilen onuň kondensatynyň bugarma tizligi hem köpelýär we kondensat bilen buguň arasyndaky öňki deňagramlylyk bozulýar. Buguň molekulasynyň konsentrasiýasy $(n = N/V)$ we onuň bilen birlikde buguň dykyzlygy artýar. Bu proses buguň kondensirlenýän molekulalarynyň wagt birligindäki mukdary onuň şol wagt birliginde bugarýan molekulalarynyň mukdaryna deňleşýänçä dowam edýär. Netijede *real gazyň doýgun buglarynyň basyşy $p=nkT$ aňlatma laýyklykda diňe bir temperatura däl, eýsem onuň n konsentrasiýasynyň ýagny*

BAP 2. 5.
Maddalaryň agregat hallarynyň üýtgemegi

Molekulýar-kinetik nazaryýet maddalaryň gaz, suwuk we gaty halynda bolmaklarynyň sebäplerini düşündirmek bilen çäklenmän, eýsem olaryň bir haldan beýlekisine özgermeginiň sebäplerini hem düşündirýär.

2.5.1. Suwuklyklaryň bugarmagy. Bugarmadan sowama. Buglaryň kondensirlenmegi

Suwuklyklar we gazlar barada umumy başlangyç maglumatlar şu kitabyň I bölüminiň 6-njy babynda getirildi. Biz bu bapda dürli agregat (suwuk, gaz we gaty) haldaky maddalaryň özara öwrülişigini öwrenmekçidiris.

Maddalaryň suwuk ýa-da gaty haldan bug halyna geçmeklerine ***bug emele gelmegi*** *diýilýär.* Bug emele gelmeginiň *bugarma* we *gaýnama* atlandyrylýan iki görnüşi mälim.

Fizikada suwuklygyň erkin üstden bug emele gelmegine ***bugarma,*** gaty maddalaryň üstünden bug emele gelmegine bolsa ***sublimasiýa*** ýa-da ***wozgonka*** diýilýar.

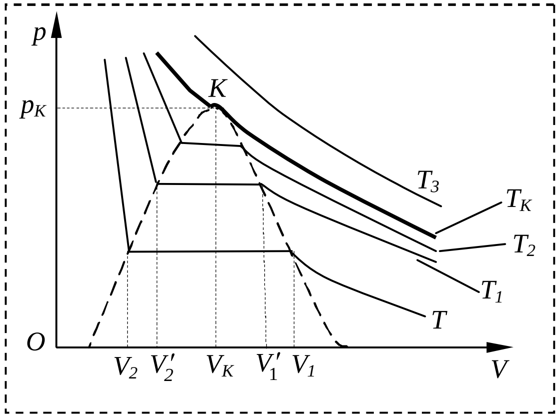
1. Bugarma. Gözegçiliklerden mälim bolşy ýaly açyk gaba guýlup goýlan suwuklygyň mukdarynyň wagtyň geçmegi bilen azalyp, ahyrda gutarýandygy mälim. Agzy jebis ýapylgy gaplardaky suwuklyklaryň bolsa wagtyň köp geçmegine garamazdan mukdary azalmaýar.

Hakykatda suwuklyk islendik temperaturada bolmagyna garamazdan onuň howa bilen çäkleşýän üstündäki molekulalary buga öwrülýärler.

Suwuklygyň temperaturasynyň ýokarlanmagy we howanyň şemally bolmagy bilen bugarmanyň tizligi artýar we suwuklyk çalt azalýar. Öl geýimler yssy we şemally howada çalt guramagynyň sebäbi hem şondan ybaratdyr. Şonuň ýaly hem daşky atmosferanyň basyşynyň, has takygy atmosferadaky suw buglarynyň basyşynyň azalmagy suwuklygyň çalt bugarmagyny döredýär.

Dürli suwuklyklaryň bugarmagynyň tizligi bir meňzeş däldir. Efir benzinden, benzin bolsa spirtden çalt bugarýar. Bu üç ***bugaryjy*** atlandyrylýan suwuklyklar suwdan çalt bugarýarlar. Bugaryjy suwuklyklar guýulan gaplaryň agzyny jebis ýapýarlar. Simap udel agramy boýunça iň agyr suwuklyklaryň hasabyna girmegi bilen ol örän haýal bugarýar. Ýöne onuň bugy adamynyň saglygyna zeper ýetiriji, zäherleýjidir. Simabyň buglarynyň döremeginiň öňüni almak maksady bilen ol elmydama suwuň içinde saklanylýar.

Bu çyzgydan görnüşi ýaly izotermanyň geçirilen hemişelik temperaturasynyň ululygynyň artmagy bilen gysylýan gazyň iki fazaly (gaz-suwuklyk) halynyň eýeleýän göwrümi $\left(V_1 - V_2; V_1' - V_2'\right)$ kiçelýär. Munuň birinji sebäbi uly temperaturalarda molekulalaryň hereket tizligi uludyr. Şol sebäpli hem olary bir-biriniň golaýynda saklamak üçin olaryň arasyndaky özara dartylma güýjüniň uly bolmagy ýagny gazyň uly dykyzlykly bolmagy zerurdyr. Ikinji sebäbi bolsa, izoterma prosesi has uly hemişelik temperaturada geçirildigiçe gaz doly kondensirlenenden soňra suwuklyk uly göwrümi talap edýär. Bu bolsa iki fazaly göwrümiň kiçelmeginiň hasabyna



2. 5.3.-nji çyzgy. *Real gazyň p-V diagrammasyndaky izotermalaryň köplügi*

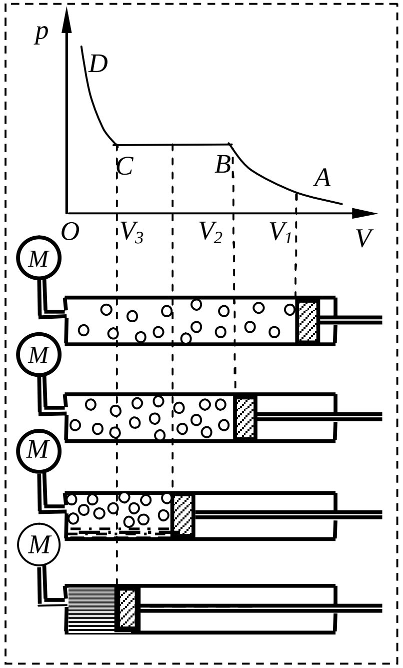
amalaaşýar.

Dürli real gazlar bilen geçirilen tejribeleriň netijesi hem edil kömürturşy gazyňky ýaly uly basyşda özüniň kondensatyna öwrülýär. Real gazlaryň bu häsiýeti olary uzak aralyga kondensat görnüşde geçirmekde ulanylýar. Durmyşda kislorod, propan-butan we ş.m. gazlar uly basyşa niýetlenen gaz balonlarda suwuklandyrylyp ulanylýar.

gazyň basyşy hemişelik saklanýar. Bu halda gözegçilik penjirejiginden silindriň içine seredilse onuň içinde buguň suwuklyga öwrülen kondensaty we ak suwuklyk görnüşli doýgun bugy görüp bolar. Bu proses *p-V* diagrammada grafigiň *BC* bölegine degişli. Porşeniň aşagyndaky kömürturşy gazyň göwrümi V_3 –e ýetirilende gaz dolylygyna suwuklyga ýagny öz kondensatyna öwrülýär.

Soňra, suwuklyga doly özgeren kömürturşy gazyň kondensatyny ujypsyzja gysylanda $(V < V_3)$ onyň basyşy örän çalt artýar (grafikde *CD* bölek).

Edil şonuň ýaly tejribäni kömürturşy gazy bilen dürli temperaturada geçirilse, temperaturanyň artmagy bilen kondensatyň - gazyň suwuklyga öwrülen mukdarynyň köpelýändigini göreris (2.5.2-nji çyzgyda diagrammanyň *CD* bölegi).



2.5.2-nji çyzgy. *Real gazyň p-V diagrammadaky izotermasy*

Dürli real gazlar bilen geçirilen tejribeleriň netijesi hem edil kömürturşy gazyňky ýaly bolýar.

2.Real gazlaryň izotermasynyň toplumy. Kömürturşy gazy bilen dürli $(T < T_1 < T_2 < T_k < T_3)$ temperaturalarda alymlaryň geçiren tejribeleriniň netijesi (2.5.3-nji) çyzgyda *p-V* diagrammada getirilen.

Aziýa döwletlerinde atmosferanyň temperaturasynyň ýokary bolany üçin bugaryjy ýangyç önümi bolan benzini mümkin boldugyça az bugartmak problemasy döreýär.

Türkmen alymlary hem bu problemany çözmeklige gatnaşdylar we belli bir derejede položitel netije gazandylar.

2. Bugarmagyň molekulýar düşündirilişi. Suwuklyklaryň molekulalary tertipsiz ýylylyk hereketindedirler. Suwuklygyň temperaturasynyň artmagy bilen onuň molekulalarynyň tizlikleri ýagny kinetik energiýalary artýar. Şol bir temperaturada suwuklygyň molekulalarynyň hemmejesiniň kinetik energiýalary deň ululykda däldir. Olaryň arasynda suwuklygyň berlen temperaturasyna degişli orta energiýadan uly we kiçi kinetik energiýaly molekulalary duşýar. Suwuklygyň erkin üstüne ýakyn aralyga baran, suwuklygyň orta energiýasyndan uly kinetik energiýaly molekulalar goňşy molekulalar tarapyndan dartylma täsir güýjüni ýeňip geçýärler we suwuklykdan uçup, onuň ýokarsyny gurşap alan suwuklygyň bugunyň içine aralaşýar (2.5.1-nji çyzgy). Şeýdibem suwuklyk bugarýar. Suwuklygyň guýlan gabynyň üstüniň açyk bolmagy onuň içindäki molekulalaryň azalmagyna we ahyrda suwuklygyň doly bugarmagyna getirýär.

Molekulýar – kinetik nazaryýetine laýyklykda suwuklygyň üstüniň ulalmagy ondan wagt birliginde uçup çykýan molekulalaryň sanynyň artmagyna getirýär we bugarmany çaltlaşdyrýar. Suwuklygyň temperaturasynyň ulalmagy molekulalaryň kinetik energiýasyny artdyrýar. Suwuklygyň bugarmagy üçin onuň üst gatlagyndaky molekulalarynyň ε_k kinetik energiýasy molekulalaryň çykyş işine deň bolan u_0 bugarma energiýasyndan uly ýa-da iň bolmanda oňa deň bolmagy zerurdyr $(\varepsilon_k \geq u_0)$.

Diýmek, suwuklygyň üst gatlagyndaky molekulalarynyň bugarma şerti:

$$\frac{m_0\upsilon^2}{2} \ge u_0 . \qquad (2.5.1)$$

Ýokarda bellenilişi ýaly suwuklyklaryň bugarmasyny kesgitleýjileriň birisi hem olaryň υ_b bugarma tizligidir. Geçirilen hasaplamalara görä bugarma tizlik:

$$\upsilon_b = G_0 e^{-\frac{u_0}{kT}} . \qquad (2.5.2)$$

Bu ýerde G_0 üst gatlagyny taşlap gitmäge ukyply molekulalaryň konsentrasiýasy. Aslynda ol (2.5.1-nji) şerte laýyk gelýän molekulalaryň göwrüm birligindäki sany. Suwuklygyň temperaturasynyň artmagy bilen agzalan şerte laýyk gelýän molekulalaryň sany artýar. Şonuň üçin hem $G_0 = BT^\alpha$ hasaplamaly , bu ýerde B suwuklygyň himiki düzümine bagly hemişelik koeffisiýent, $\alpha \approx 1/2$. Bu agzalanlary hasaba alyp suwuklygyň bugarma tizligini gutarnykly

$$\upsilon_b = BT^\alpha e^{-\frac{u_0}{kT}} , \qquad (2.5.3)$$

görnüşde aňladyp bolar.

3. Bugarmadan sowama. Ýokarda aýdylanlara laýyklykda bugarmak prosesine gatnaşýan molekulalaryň energiýasy suwuklygyň orta kinetik energiýasyndan uludyr. Bugarýan molekulalar suwuklygyň energiýasynyň belli bir mukdaryny özi bilen äkidip, onuň umumy energiýasyny

$$\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT , \qquad (2.5.7)$$

aňlatma ulanylýar. Bu aňlatma 1873-nji ýylda ony açan niderland fizigi Iohannes Diderik Wan-der Waalsyň (1837-1923) hormatyna ***Wan-der Waalsyň deňlemesi*** atlandyrylýar. Bu ýerde V real gazyň molýar göwrümi; a gazyň tebigatyna bagly bolan hemişelik koeffisiýent; b “gadagan göwrüm” ($b = (4/3)\cdot \pi d^3$, d real gazyň molekulasynyň diametri).

Bu aňlatmadan görnüşi ýaly izoterma prosesinde hakyky gazyň p-V diagrammada izotermasy ideal gazyňky ýaly giperbola bolmaz. Sebäbi (2.5.7-nji) deňlikden görnüşi ýaly real gazyň izotermasy p-V diagrammada üçünji derejeli parabola bolar

:

$$pV^3 - V^2(pb + RT) + aV - ab = 0 . \qquad (2.5.8)$$

Real gazyň izotermasyna p-V diagrammada seredeliň. Munuň üçin silindriň porşeniniň aşagynda kömürturşy gazyny ýerleşdirip, onuň göwrümini V_1 -e deň bolar ýaly edip porşeni daşyna çekeliň (2.4.2-nji çyzgy). Umuman prosesi hemişelik T temperaturada geçirmek üçin silindriň daşy örän göwnejaý ýylylyk goragda bolmaly. Munuň üçin iň amatlysy silindri T temperaturaly suwly uly gapda ýerleşdirmeli we gaz gysylanda onuň temperaturasynyň ulalan bölegi gazyň daşyndaky jisimlere geçip ýetişer ýaly porşeni örän haýal gysmaly.

Bu tejribe geçirilende gazyň göwrümi ýeterlik uly bolanda $(V > V_2)$ (2.5.2-nji çyzga seret) kömürturşy gazynyň göwrüminiň kiçelmegi bilen basyşyň artmagy başda Boýluň - Mariottanyň kanunyna laýyk, soňra bolsa oňa boýun egmän üýtgeýär (2.5.2-nji çyzgy AB bölek). Mundan beýläk porşeniň aşagyndaky gazyň göwrüminiň V_2-den kiçelip başlamagy bilen

2. Doýgundäl bug. *Özüniň suwuklygy bilen dinamiki deňagramlylykda bolmadyk buga **doýgundäl bug** diýilýär*.

Dürli suwuklyklar özleriniň bugunyň dürli dykyzlygynda olar bilen dinamiki deňagramlylykda bolýarlar. Oňa hemme suwuklyklarda molekulalaryň özaradartylma güýjüniň deňdäldigi sebäp bolýar. Molekulalarynyň arasyndaky özara dartylma güýji uly bolan suwuklyklarda, meselem simapda bar bolan az sanly uly tizlikli molekulalar suwuklykdan uçup çykýarlar. Şol sebäpden hem bugunyň dykyzlygy uly bolan suwuklyklar buguň kiçi dykyzlygynda dinamiki deňagramlylyk halyna geçýärler. Molekulalarynyň arasyndaky özara dartylma güýji kiçi bolan bugaryjy suwuklyklarda, meselem efirde şol bir temperaturada köp sanly molekulalar suwuklygyň çäginden uçup çykýarlar. Şonuň üçin hem bugaryjy suwuklyklarda dinamiki deňagramlylyk buguň örän uly dykyzlygynda ýüze çykýar.

2.5.3. Real (hakyky) gazlar we olaryň aýratynlyklary

1. Real gazlar. Ýokarda (2.1.1.-2.5.3.) temalarda seredilen hallar diňe ideal (hyýaly) gazlaryň modelleri üçin degişlidir. Adatça ideal gazlar diýip, Mendeleýew-Klapeýronyň kanunyna $(2.1.32')$ boýun egýän gazlara aýdylýar. Durmuşda iş salyşylýan gazlaryň köpüsinde agzalan kanun ýerine ýetmeýär. Ýagny, bu kanun boýunça gazyň basyşy tükeniksizlige ymtylanda onuň göwrümi nola ymtylmaly. Emma real gazlaryň basyşy tükeniksizlige ymtyldyrylsa, onuň göwrümi real gazyň molekulalarynyň göwrüminiň jemine ymtylýar. Ýagny real gazyň bir moly üçin hal deňlemesi hökmünde :

azaldýar. Molekulýar-kinetik nazaryýete görä energiýanyň azalmagy temperaturanyň kiçelmegine getirýär. Suwuklygyň temperaturasynyň azalmagy onuň sowamagydyr. Diýmek, *islendik suwuklyk bugaranda özüniň bugarýan üstüniň energiýasyny azaldýar we onuň sowamagyny döredýär.* Bu prosese ***bugarmadan sowama*** diýilýär. Durmuşdan belli bolşy ýaly çyg eşikli adam gury eşikliden özüni sowuk duýýar. Bu has hem şemally howada gowy duýulýar. Sebäbi şemally howada bugarmanyň tizligi şemalsyz howadakydan uludyr. Yssy ýurtlarda içilýän suwy, çaly, sowatmak üçin olary küýzelere guýýarlar. Küýzäniň diwary öýjükli bolany üçin onuň içindäki suwuklyk küýzäniň diwarynyň daşyny çygjardar we bugarýar. Netijede küýzedäki suwuklyk sowaýar. Küýze şemally ýerde goýulsa, onuň bugarma tizligi artýar we ol çalt sowaýar.

Eger suwuklygyň bugarmagy togtadylsa ol haýal sowar. Çorbanyň haýal sowaýandygyny biz özümiziň gündelik gözegçiligimizden bilýäris. Sebäbi onuň ýüzündäki ýag molekulalary juda haýal bugarýarlar. Ýagyň uly molekulalary suwuň molekulalaryna garanda bir-biri bilen örän berk baglanyşandyrlar we olar çorbanyň düzümindäki suwuň çalt molekulalarynyň bugarmagyna päsgelçilik döredýär. Bu bolsa, çorbanyň haýal sowamagyna sebäp bolýar.

4. Buguň kondensirlenmegi. Suwuklygyň açyk üstünden onuň ýokarsyndaky atmosfera bugarýan molekulalary suwuklygyň dürli beýikliginden çykýarlar. Ýagny olar dürli mukdardaky çykyş işini ýerine ýetirýärler şonuň üçin bug molekulalarynyň energiýalary dürlüdir. Bu molekulalaryň uly energiýalylary suwuklygyň bugunyň içine aralaşyp, olaryň ýylylyk hereketine goşulyp gidýärler. Suw buglarynyň energiýasy kiçi molekulalary bolsa gaýdyp, suwuklygyň içine dolanyp girýärler we suwuň molekulasyna öwrülýärler. *Bug* *molekulalarynyň suwuklyga öwrülmek prosesine **kondensasiýa** (suwuklanma) diýilýär.*

Doýgun buguň düzümindäki gaz molekulalarynyň υ_k ***kondensirlenmek tizligi*** doýgun buguň molekulalarynyň n konsentrasiýasyna we suwuklygyň düzümine bagly β hemişelik koeffisiýente baglydyr:

$$\upsilon_k = \beta n \ . \qquad (2.5.4)$$

Uly energiýaly buglaryň hem kondensirlenmegini gazanyp bolýar. Bug akymynyň öňünde temperaturasy buguňkydan kiçi ýüzi ýylmanak metal plastinka goýulsa, onuň ýüzünde suw damjalary dörär. Bu suw damjalary uly tizlikli bug molekulalarynyň kondensatydyr (suwuklyga öwrülen mukdarydyr). Agzalan prosesde metal plastinka gyzýar. Munuň sebäbi *energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda bugarma prosesinde bugarýan üstden bug molekulalarynyň alyp giden energiýasyny kondensirlenýän üstüne berýärler*.

Diýmek, ***bugarýan üst sowaýar, kondensirlenýän üst bolsa tersine gyzýar.***

2.5.2. Suwuklyk bilen buguň arasyndaky deňagramlylyk

1. Doýgun bug. Açyk gapdaky suwuklyk tä büs-bütin gutarýança üznüksiz bugarýar. Eger, aýna gaba doludan azyrak suwuklyk guýup, gabyň agzyny jebis ýapsak, onuň içindäki suwuklygyň mukdary azalmaz. Munuň sebäbi gapdaky suwuklyk bugaryp başlaýar we suwuklygyň üstündäki boşlukda onuň bugynyň dykyzlygy artýar. Munuň bilen bir wagtda buguň düzüminden yzyna suwuklygyň içine gaýdyp gelýän

bug molekulalaryň hem sany artýar. *Wagt birliginde suwuklykdan onuň üstündäki boşluga çykýan molekulalaryň sany buguň düzüminden suwuklygyň içine gaýdyp gelýän bug molekulalarynyň sanyna deňleşen halynda suwuklyk bilen onuň bugunyň arasynda deňagramlylyk döreýär.* Bu deňagramlylyk ***dinamiki*** ýa-da ***hereketli*** atlandyrylýar. Dinamiki deňagramlylyk halynda bugarma we kondensasiýa bir wagtda bolup geçýär. Bu halda molekulalaryň bugarmagynyň tizligi bilen olaryň kondensirlenmeginiň tizligi biri-birine deňleşýär ($\upsilon_b = \upsilon_k$). Bu şertden doýgun buguň molekulalarynyň konsentrasiýasynyň aňlatmasyny

$$n_d = \frac{B}{\beta} T^{\alpha} e^{-\frac{u_0}{kT}} = AT^{\alpha} e^{-\frac{u_0}{kT}} \qquad (2.5.5)$$

ýazyp bolar. Bu ýerde *B*- suwuklygyň himiki halyna bagly hemişelik koeffisiýent.

Bu (2.5.5-nji) aňlatmadan doýgun buguň bir molekulasynyň massasyny m_0 bilen belläp, onuň dykyzlygynyň aňlatmasyny alarys:

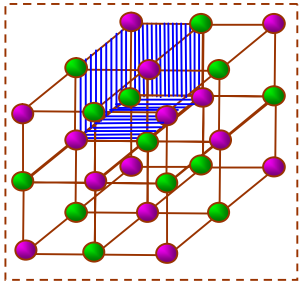
$$\rho_d = m_0 n_d = Am_0 T^{\alpha} e^{-\frac{u_0}{kT}} \ . \qquad (2.5.6)$$

Bu (2.5.6-njy) deňlik doýgun buguň dykyzlygynyň onuň temperaturasyna baglylykda birden çürt – kesik artýandygyny görkezýär.

*Özüniň suwuklygy bilen dinamiki deňagramlylykdaky buga **doýgun bug** diýilýär*. Hemişelik temperaturada doýgun buguň mukdaryny wagt birliginde artdyryp bolanok. Diýmek, berlen temperaturadaky doýgun buguň molekulalarynyň göwrüm birligindäki sany (ýagny onuň dykyzlygy) iň uly mukdardadyr we ol iň uly basyş döredýär.

köp duşýar. Olardan sinkiň, magniýniň, kadmiýniň kristallary altyburçly kub görnüşlidirler. Misiň, alýumiýniň, altynyň we köp sanly başga metallaryň kristallary granlary merkezleşen kub şekillidir. Umuman tebigatda duşýan kristallar diňe agzalan şekil bilen çäklenenoklar.

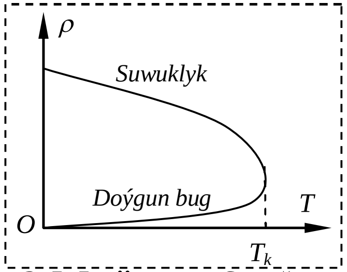
4. Kristallaryň giňişlik gözenegi. Kristallaryň içki gurluşyny has aýdyň göz öňüne getirmek maksady bilen olaryň gurluşyny giňişlik gözenegi görnüşde şekililendirýärler (2.5.13-nji çyzgy). Bu halda kristal ***gözenegiň düwüni*** atlandyrylýan gözenegiň çyzyklarynyň kesişme nokatlarynda kristalyň düzümine girýän bölejikler ýerleşýärler. Kristal gözenegiň düwünleri biri-birinden deň daşlykda bolup gaýtalanýar. Özüniň yzygider gaýtalanmagy bilen kristal gözenegini döredýän onuň iň kiçi bölejigine ***kristalyň elementar bölejigi*** diýilýär (2.5.13-nji çyzgyda çyzylan-ştrihlenen bölek). Elementar bölegiň gapyrgasynyň uzynlygyna gözenegiň ***periody*** diýilýär. (Elementar bölegiň gapyrgasy dürli ugurlar boýunça deň bolman hem biler). Kriptonyň monokristalynda munyň ýaly bölejik özüniň giňişlikdäki ugruny üýtgetmän köp gezek gaýtalanyp bilner. Şonuň üçin hem kristallarda atomlaryň ýa-da kristaly düzýän bölejikleriň ýerleşmeginde *daşlaşan tertip* (dalnyý porýadok) ýüze çykýar diýilýär.


2. 5. 13-njy çyzgy. *Kristalyň giňişlik gözenegi*

Maddalaryň kristal gözeneginiň düwüninde ýerleşen bölejikler (ionlar) ýylylyk hereketine gatnaşyp, olar özleriniň deňagramlylyk halynyň töwereginde kristalyň temperaturasyna degişli kesgitli amplitudaly garmoniki yrgylda gatnaşýarlar.

Diýmek, kritiki temperaturada suwuklyk bilen buguň arasyndaky tapawut ýitýär.

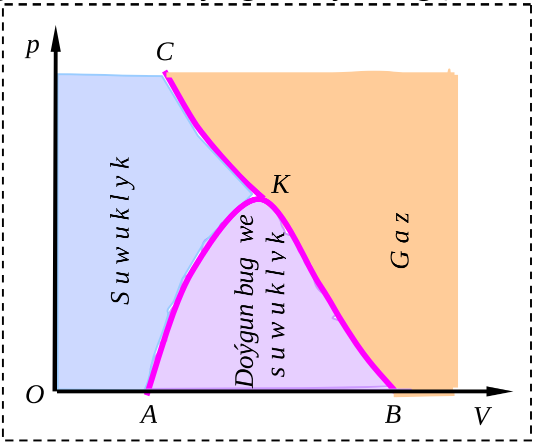
Fizikada, durmuşda gaz we bug düşünjeleri irki döwürden bäri köp ulanylýar. Bu adalgalar gaz we suwuklyk düşünjileri arasynda özara öwrülişik öwrenilmänkä girizilen bolmagy mümkin. Aslyýetinde gaz we bug şol bir zat olaryň arasynda düýpgöter tapawut ýok. Haýsy hem bolsa bir suwuklygyň bugy diýip, temperaturasy kritiki temperaturadan kiçi bolan we ony gysyp suwuklyga özgerdip boljak bug göz öňüne getirilýär. Biz diňe endik boýunça suwuň gazy diýmän bugy atlandyrýarys. Şonuň ýaly hem doýgun bug diýiär, ýöne doýgun gaz diýilmeýär. Aslyýetinde bolsa, bu adalgalaryň arasynda hiç hili fiziki tapawut ýokdur.



2. 5. 5-nji çyzgy. *Suwuň we onuň doýgun buguň dykyzlygynyň temperatura baglylygy*

4. Gazyň we suwuklygyň deňagramlylyk halynyň diagrammasy. Biz ýene-de real gazyň izotermalarynyň köplüginiň şekillendirilen (2.5.3-nji) çyzgysyna ýüzleneliň. Izotermalaryň gorizontal bölekleriniň uçlaryny ýagny doýgun buguň kondensasiýasynyň gutaran we suwuklygyň gysylmagynyň başlangyjyny özara bütewi çyzyk bilen birikdireliň. Munuň netijesinde soňy kritiki K nokatda tapyşýan endigan akgynly çyzyk emele geler.Bu (2.5.6-njy) çyzgyda AK egri. AKC çyzygyň çep tarapy suwuk faza degişli bolup, onuň islendik nokadyna suwuklygyň deňagramlylyk halyny häsiýetlendirýän p, V we T parametrler degişlidir.

Indi bolsa izotermanyň gorizontal böleginiň sag taraplarynyň uçlaryny endigan çyzyk bilen birikdireliň. Bu çyzyklar (2.5.6-njy çyzgyda) edil öňki çyzyk ýaly K nokatda gutarar. Bu çyzgydaky *AK* we *BK* çyzyklar doýgun buguň we suwuklygyň garyndysyny, ýagny iki fazaly ulgama degişli bölegini aňladýar. Bu bölek doýgun buguň we suwuklygyň dinamiki deňagramlylygyny häsiýetlendirýär. Diagrammanyň galan bölegi bolsa maddanyň gaz halyna degişlidir.



2. 5.6-njy çyzgy. *Suwuklygyň we gazyň deňagramlyk halynyň diagrammasy*

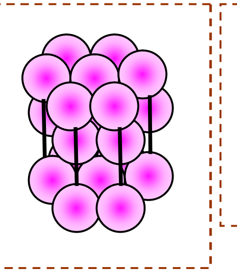
Adatça kritiki *K* nokatda gaz bilen suwuklygyň arasyndaky tapawut ýitýär, olaryň dykyzlyklary ýeketäk baha ymtylýarlar. Bu nokatda udel ýylylyk we üst dartylma nola deňdir.

2.5.5. Suwuklyklaryň gaýnamagy. Gaýnamak temperaturasynyň basyşa baglylygy

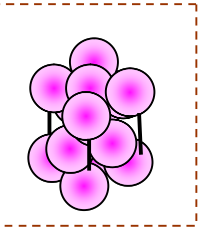
1.Suwuklyklaryň gaýnamagy. Oda çydamly aýna gaba suw guýup gyzdyryp başlansa, onuň düýbi düwmejikler bilen örtüler. Bu düwmejikler suwuň düzümindäki ergin haldaky

boýunça birmeňzeş däldir. Kristallaryň fiziki häsiýetleriniň anizotropiýasy we daşky görnüşiniň dogry bolmagy maddalaryň gurluşynyň atom- molekulýar nazaryýeti tarapyndan özüniň düşündirişini tapdy.

3. Jebis ýerleşme. Iňlis alymy R. Guk we gollandiýa alymy H. Gýugens dogry köpburçlyklary jebis ýerleşdirilen şar şekilli bölejiklerden ýagny atomlardan ýa-da molekulalardan düzmek mümkinçiliginiň üstünde işläpdirler. Olaryň çaklamasy boýunça kristallaryň daşky görnüşleri onuň iondan, atomdan ýa-da molekuladan durýandygyna baglydyr. Ol alymlardan bihabar rus alymy M.W. Lomonosow (1711-1765) hem bu pikire gelipdir.



2. 5.11-nji çyzgy. *Geksagonal jebis ýerleşme*



2. 5.12-nji çyzgy. *Granlary merkezleşen jebis ýerleşme*

Şarlar bir-birine jebis bir tekizlikde ýerleşdirilende her bir şar beýleki alty şar bilen gurşalan bolup, şarlaryň her biriniň merkezi dogry altyburçlygy döredýär. Eger şarlardan düzülen ikinji gabygy birinji gabykdaky iki goňşy şaryň arasyndaky oýda ýerleşdirip, edil birinji gatdaky ýaly ýerleşdirilse, ikinji gabyk hem edil birinji gabykdaky ýaly ýone giňişlikde oňa görä bir şaryň diametri ýaly aralykda ýerleşer. Beýleki gabyklar hem edil şonuň ýaly ýerleşerler.

Şarlary ýokarda aýdylyşy ýaly jebis ýerleşme boýunça hatar –hatar edip ýerleşdirip, dogry altygranly prizma alyp bolar. Bu jebis ýerleşme ***geksagonal*** (2.5.11-nji çyzgy) ýa-da ***granlary merkezleşdirilen kub*** (2.5.12-nji çyzgy) atlandyrylýar. Munyň ýaly görnüşli kristallar tebigatda örän

Dokma, konditer we ş.m. senagat kärhanalarynda çykarylýan önümiň ýokary hilli bolmagy, muzeýlerde, sungat önümlerini, kitaphanalarda kitaplary saklamakda çyglylygyň kesgitli ululykda bolmagy zerurdyr.

2.5.8. Kristal maddalar

1. Kristal maddalar. Eger, mikroskopyň ýa-da ulaldyjy lupanyň kömegi bilen şekeriň, duzuň, mis kuporosynyň, naftaliniň (porsy dermanyň) we ş.m.-leriň bölejiklerine seredilse olaryň timarlanan tekiz üstler bilen çäkelnendigine göz ýetirip bolar. Maddalarda şonuň ýaly tebigy granlaryň bolmagy olaryň kristal haldadyklaryny aňladýar. ***Kristal diýip*** (grekçe *kristallos – hut buz* diýmekligi aňladýar), ***tebigy tekiz granlar bilen çäklenen maddalara aýdylýar.***

Bir kristaldan ybarat bolan (durýan) maddalara ***monokristal*** diýilýär. Şekeriň ownujaklary monokristaldyr.

Kristal maddalaryň köpüsi diýen ýaly bir-biri bilen tertipsiz bitişen köpsanly kristaldan ybarat bolýarlar. Munuň ýaly maddalara ***polikristallar*** diýilýär. Metallaryň we mineral duzlaryň hemmesi diýen ýaly polikristal maddalardyr. Gandyň bölegi hem polikristaldyr.

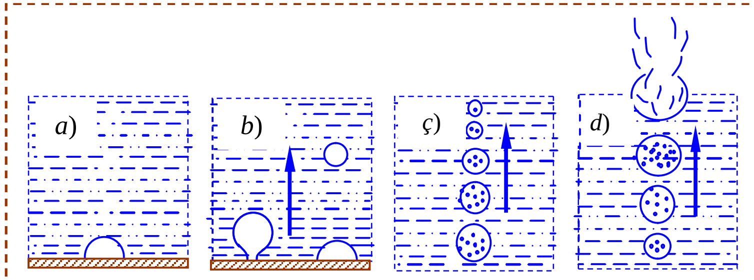
2. Kristallaryň anizotropiýasy. *Tebigatda duşýan dogry köpgranly gaty maddalara* ***kristallar*** *diýilýär.* Kristallaryň esasy häsiýetleriniň biri olaryň fiziki häsiýetleriniň dürli ugurlar boýunça üýtgeşik bolmagydyr. Kristallaryň bu häsiýetine ***anizotropiýa*** diýilýär.

Kristallaryň anizotropiýasynyň ýönekeý mysaly hökmünde onuň dürli ugurlar boýunça berkliginiň meňzeş bolmazlygyny getirip bolar. Kristal jisimler böleklere bölünende bu häsiýet has hem aýdyň ýüze çykýar.

Geçirilen barlaglardan mälim bolşy ýaly kristallaryň ýylylyk, elektrik we optiki häsiýetleri hem onuň dürli oklary

howanyň bölünip çykmagy zerarly döreýär. Suwda we hemme beýleki suwuklyklarda ergin halda howa bolýar. Suwdaky balyklar we beýleki jandarlar şol ergin howa bilen dem alýarlar. Adatça gyzdyrylýan suwuklygyň düýbündäki bar bolan mikrojaýryklar howa düwmejikleriniň gözbaşy bolup hyzmat edýärler. Her bir düwmejigiň içinde howadan başga doýgun suw buglary hem bardyr. Suwuň temperaturasynyň artmagy bilen içinde howa we suw buglary bolan düwmejikleriň ölçegleri ulalýar we sanlary artyp başlaýar.

Agzalan aýna gapda haýsy hem bolsa bir düwmäniň döreýşinden başlap, onuň özgerişine syn edeliň (2.5.7-nji



2.5 .7-nji çyzgy. *Suwuň içinde döreýän bug düwmeleriniň ösüş yzygiderliligi*

çyzgy). Suwuň temperaturasynyň artmagy sebäpli içi howa we suw buglary bilen doldurylan düwmeleriň sany artýar, göwrümi ulalýar.

Düwme ýeterlik derejede ulalanda (2.5.7-nji *a* çyzgy) oňa täsir edýän göteriji Arhimed güýji hem ulalýar. Bu halda düwmäniň gabyň düýbüne galtaşýan üsti kiçelýär (2.5.7-nji *b* çyzgy) we ahyrda düwme gabyň düýbünden gopýar. Bu proses bilen bir wagtda gabyň düýbünde ýene-de täze düwmeler döreýär. Ýokaryk galýan düwmeler entäk doly gyzyp ýetişmedik suwuň ýokarky sowuk gatlaklaryna öz gyzgynlygyny berýär. Düwmelerdäki suw buglary kondensirlenýär we olaryň içindäki basyş azalýar, göwrümleri kiçelip, özboluşly sesli mikropartlamalar döreýär (bu ses suw gyzdyrylyp başlananda başda döreýän sesdir). Şeýdibem suwdaky dörän düwmeler ýitip gidýärler we suwuň ýokarky gatlaklary gyzyp başlaýar (2.5.7-nji *ç* çyzgy).

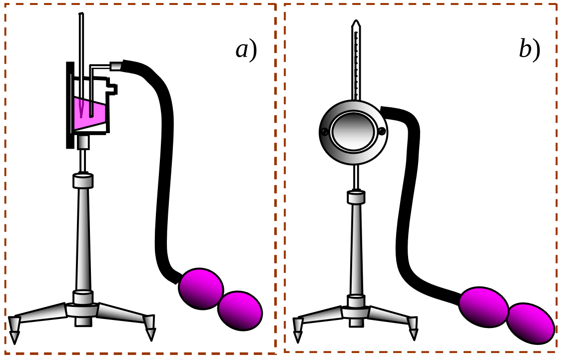
Gyzdyrylýan suwuň temperaturasy ýeterlik uly derejä baranda suwda döreýän düwmeleriň içindäki suw buglaryň basyşy artýar we ýokarky suw gatlaklaryna galdygyça olaryň göwrümi indi ulalyp başlaýar. Suwdaky ses kesilýär. Düwmeleriň içindäki suwuň doýgun buglarynyň basyşy suwuň üstündäki atmosfera basyşyndan sähelçe uly bolanda düwmeler ýarylýarlar we gaýnamak prosesi başlaýar, suwda oňa mahsus bolan bygyrdy peýda bolýar (2.5.7-nji *d* çyzgy).

Diýmek, ***gaýnamak suwuň göwrüminde we üstünde bug düwmeleriniň intensiw ýarylmak prosesidir.*** Suw gaýnanynda onuň temperaturasy üýtgemeýär, ýagny temperatura gaýnama prosesiniň bütin dowamynda hemişelik saklanýar. *Molekulýar –kinetik nazaryýete görä basyşyň temperatura baglylygy sebäpli düwmeleriň içindäki doýgun suw buglarynyň temperaturasy onuň basyşy bilen kesgitlenýär.* Onda gaýnama prosesindäki hemişelik saklanýan ***doýgun suw buglarynyň temperaturasy suwuň gaýnama temperaturasydyr.***
Suwuklyk gaýnanynda onuň üsti bu suwuklygyň doýgun buglary bilen eýelenendigi üçin suwuklygyň üstündäki atmosfera düşünjesi hökmünde onuň doýgun buglary göz *öňünde tutulýar. Şonuň üçin hem gaýnamak diýip, suwuklyk düwmeleriniň içindäki suw buglarynyň basyşynyň bu suwuklygyň doýgun buglarynyň basyşyndan az-owlak uly bolan halatynda olaryň göwrüm ýa-da üst boýunça ýarylmak prosesine aýdylýar diýmek has hem fiziki taýdan dogrydyr.*

2. Gaýnamak temperaturasynyň basyşa baglylygy. Ýokarda bellenilişi ýaly atmosferanyň basyşyna baglylykda

suw damjalary döreýär. Bu halda termometriň görkezýän temperaturasy gyraw nokadynyň temperaturasydyr.

Gyraw nokadyny kesgitlemek otnositel çyglylygy hasaplamagyň iň takyk , ýöne ýeketäk usuly däldir. Howanyň çyglylygyny has takyk kesgitlemek zerur bolmadyk halatlarynda gyl gigrometrlerden peýdalanylýar. Gyl gigrometrde otnositel çyglylygyň artmagy bilen ýagsyzlandyrylan adam saçynyň süýnme häsiýeti ulanylýar.



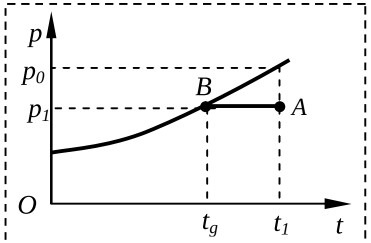
2. 5.10-njy çyzgy. *Gigrometriň a) – gurluşy we b) – daşky görnüşi*

Otnositel çyglylygy takyk we çalt hasaplamak zerur bolanda psihrometrlerden peýdalnylýar. Psihrometr iki sany termometrden ybarat bolup, olaryň birisi gury saklanylýar ikinjisiniň ujy bolsa öl mata bilen dolanandyr. Gury we öl termometrleriň temperaturasynyň tapawudyna laýyklykda psihrometr tablisadan otnositel çyglylyk hasaplanylýar.

Ýokarda bellenilişi ýaly adamlaryň ýaşaýşynda otnositel çyglylygyň wajyp orny bar. Otnositel çyglylygyň 40-60 % aralygynda bolmagy adamlaryň ýaşamagyna položitel täsir edýär.

çyzgydaky doýgun suw bugunyň basyşynyň temperatura baglylyk grafigine seredilse-de belli bolar.

Goý, t_1 temperaturaly suw bugunyň parsial basyşy p_1 deň bolsun. Çyzgyda bu hal *A* nokat bilen belgilenen. Eger indi howanyň basyşyny üýtgetmän saklap, (p_1=*hemişelik*) onuň temperaturasyny t_g çenli sowadylsa bug doýgun hala geçer (2.5.9-njy çyzgyda *B* nokat).



2. 5.9-njy çyzgy. *Suw buglarynyň gyraw nokady*

Berlen çyglylykda we hemişelik basyşda suw bugunyň doýgun hala geçýän t_g *temperaturasyna* ***gyraw nokady*** *diýilýär.*

Diýmek, bu çyzgyda *B* nokada degişli t_g temperarura gyraw nokadydyr. *Gyraw nokadyna degişli doýgun suw buglarynyň* p_1 *basyşy howadaky suw duglarynyň* ***parsial basyşydyr.***

Eger howa gyraw nokadyna degişli temperatura çenli sowasa, atmosferadaky suw buglary kondensirlenýär we ümür döreýär, ýere gyraw düşýär.

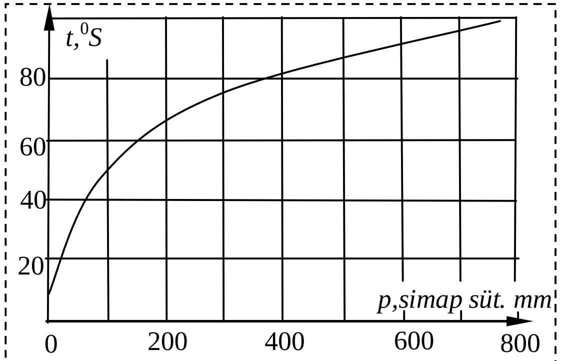
Gyraw nokady kondensirlenýän gigrometrleriň kömegi bilen kesgitlenýär. Bu guralyň gurlyşy (2.5.10-njy *a* çyzgyda) we daşky görnüşi (2.5.10-njy *b* çyzgyda) görkezilen .

Gigrometr demir guty görnüşli ýasalyp, onuň gapagy örän ýylmanan ýuka metal plastinadandyr. Gutynyň içine bugaryjy suwuklyk – efir guýulýar we onuň temperaturasyny kesgitlemek üçin oňa termometriň ujuny batyrýarlar. Termometriň şkalasy gigrometriň daşyna çykarylyp, efiriň temperaturasyny hasaplap bolar ýaly edilip ýerleşdirilýär.

Rezin pökgi bilen gigrometriň içine howa üflenilse efir çalt bugarýar we gigrometriň gapagy sowaýar. Onuň üstünde

suw dürli temperaturada gaýnaýar. Sebäbi gaýnamak, munuň özi suw düwmeleriniň içindäki doýgun buglaryň basyşynyň atmosferanyň basyşy bilen deňleşende ýüze çykýan prosesidir. Diýmek, gaýnamagyň kesgitlemesine laýyklykda atmosferanyň basyşy kiçeldigiçe düwmeler kiçi basyşda ýarylmaly, ýagny gaýnamak prosesi ýüze çykmaly. Basyş azaldygyça düwmäniň içindäki doýgun buguň temperaturasy hem oňa proporsional azalýar. Onda, aýnadan ýasalan wakuum gaplarynyň içindäki basyşy kiçeldip, onuň içinde ýerleşdirilen suwy edil otag temperaturasynda hem gaýnadyp bolar. Eger, howanyň basyşy 1*atm* deň bolsa, suw 100 ^0S temperaturada gaýnaýar.

Atmosferanyň basyşyny artdyryp, suwuň gaýnamak temperaturasyny ýokarlandyryp bolar. Ýörite bug gazanlarynda uly basyş döredip, suwuň gaýnama temperaturasyny islendikçe artdyryp bolýar. Elektrostansiýalaryň bug gazanlarynda olaryň kuwwatyna baglylykda takmyn 100 *atm* basyş döredilýär.
Munuň ýaly şertlerde alynýan doýgun buguň temperaturasy



2. 5.8-nji çyzgy. *Suwuň gaýnamak temperaturasynyň atmosfera basyşyna baglylygy*

takmyn 500 -550 ^0S barabardyr. Lukmançylykda hirurgiýa gurallaryny we ş.m. stirilizasiýa (juda ýokary hilli arassalamak) üçin ulanylýan gurluşlarda uly basyş döredilip, suwuň gaýnamak temperaturasy örän ýokarlandyrylýar. Dagyň üstünde atmosfera basyşynyň azalýandygy bilen baglanyşyky suwuň gaýnama temperaturasy hem kiçelýär. Bu şertde nahar bişirilse, onuň içine atylan et önümleri çorbanyň suwy gaýnaýan bolsa-da doly bişmeýär. Ony doly we çalt bişirmek üçin uly basyşlara çydamly ýörite çalt bişiriji gazanlar ulanylýar.

Getirilen 2.5.8-nji çyzgyda suwuň gaýnamak temperaturasynyň atmosferanyň basyşyna baglylygy görkezilen.

Bu çyzgy şol bir wagtda doýgun suw buglarynyň basyşynyň onuň temperaturasyna baglylygyny hem görkezýär.

3. Suwuklyklaryň gaýnama temperaturasynyň dürlüligi. Dürli suwuklyklaryň gaýnama temperaturasynyň birmeňzeş däldigi olaryň şolbir temperaturadaky doýgun duglarynyň basyşynyň dürliligi bilen düşündirilýär. Mysal üçin efiriň buglarynyň basyşy eýýäm otag temperaturasynda ýarym atmosfera barabardyr. Şonuň üçin hem efiriň buglarynyň basyşynyň atmosfera barabar bolmagy üçin ony 35 ^0S temperatura çenli gyzdyrmak ýeterlikdir. Simabyň buglarynyň otag temperaturadaky basyşy ujypsyzjadyr. Ony atmosfera basyşyna ýetirmek üçin simaby 357 ^0S temperatura çenli gyzdyrmak zerur. Diýmek, atmosfera basyşy 10^5 *Pa* bolanda simap gaýnaýar.

Suwuklyklaryň gaýnama temperaturasynyň dürli bolmak häsiýetleri tehnikada giňden ulanylýar. Meselem, nebit önümlerini düzüjilere bölmekligiň usullarynyň biri ony gyzdyrmakdyr. Nebit gyzdyrylanda onuň ilki iň ýeňil we iň gymmatly düzüjisi bolan benzin beýleki “agyr” (çalgy ýaglary , mazut) düzüjilerinden öň bugarýar we ýörite gaplara ýygnalýar.

hem bu soraglara jogap bermek maksady bilen *otnositel çyglylyk* düşünjesi girizilýär.

*Howanyň φ **otnositel çyglylygy** diýip, berlen temperaturada howada bar bolan suw buglarynyň göterim hasabyndaky p parsial basyşynyň şol temperaturadaky p_0 doýgun buglaryň basyşyna bolan gatnaşygyna aýdylýar:*

$$\varphi = \frac{p}{p_0}100\%. \qquad (2.5.12)$$

Mendeleýew-Klapeýronyň (2.5.11) deňliginiň esasynda howanyň otnositel çyglylygynyň ýene-de bir aňlatmasyny alyp bolar:

$$\varphi = \frac{\rho}{\rho_0}100\%, \qquad (2.5.13)$$

bu ýerde : ρ -berlen temperaturadaky suw buglarynyň dykyzlygy; ρ_0 - şol temperaturadaky doýgun suw buglarynyň dykyzlygy.

Diýmek, otnositel çyglylygy kesgitlemek üçin suw buglarynyň parsial basyşyny ýa-da şol temperaturadaky howada bar bolan buglaryň dykyzlygyny we doýgun buglaryň berlen temperaturadaky basyşyny ýa-da şol temperaturadaky onuň dykyzlygyny bilmek zerurdyr.

4. Gyraw nokady. Gigrometr. Hemişelik basyşda çygly howa sowadylsa onuň otnositel çyglylygy artýar. Sebäbi çygly howanyň temperaturasy näçe pes bolsa, onuň howada döredýän parsial basyşy şonça-da doýgun buglaryň basyşyna ýakyndyr we ahyrda bug doýgunlaşýar. Bu (2.5.9-njy)

Diýmek, *atmosferanyň jisimlere edýän basyşy onuň düzümindäki dürli gazlaryň basyşynyň jeminden ybaratdyr.* Atmosferadaky bar bolan suw buglarynyň beýleki gazlar ýok hasaplanylandaky döredýän basyşyna suw buglarynyň ***parsial basyşy (ýa-da maýyşgaklygy)*** diýilýär. Suw buglarynyň parsial p basyşy howanyň ***çyglylyk derejesini*** kesgitleýji parametrleriň birisi hökmünde ulanylýar. Ol ölçegleriň Halkara ulgamynda basyşyň birligi bolan paskallarda (*Pa*) ýa-da simap sütüniniň millimetrlerinde (*sim. süt. mm.*) hasaplanylýar.

2. Absolýut çyglylyk. Ýokarda howanyň çyglylygyny kesgitleýjileriň birisi hökmünde suw buglarynyň parsial basyşy hyzmat edýär diýlip bellendi. Ýöne Mendeleýewiň – Klapeýronyň deňlemesine laýyklykda suw buglarynyň p basyşy bilen onuň ρ dykyzlygy arasynda

$$p = \frac{1}{M}\frac{m}{V}RT = \frac{\rho}{M}RT \ , \qquad (2.5.11)$$

baglylyk bolany üçin, howanyň çyglylygyny kesgitleýji ululyk hökmünde ***suw buglarynyň*** ρ ***dykyzlygyny*** hem alyp bolar. Bu (2.5.11-nji deňlikde) $\rho = m/V$ - atmosferadaky suw buglarynyň dykyzlygy. ***Howanyň bir metr kub göwrümindäki bar bolan gram hasabynda aňladylan suw buglarynyň mukdaryna (*** ρ ***dykyzlygyna) absolýut çyglylyk*** **diýilýär.**

3. Otnositel çyglylyk. Howadaky suw buglarynyň parsial basyşy (maýyşgaklygy) ýa-da absolýut çyglylygy berlen şertlerdäki suw buglarynyň doýgun haldan näçe daşlykdadygy barada maglumat berenok. Durmuşda adamlaryň organizminden çyglylygyň ýitmegi, matalaryň, topragyň guramagy, ösümlikleriň süllermek çaltlygy we ş.m. suw buglarynyň doýgun haldan daşlygyna baglydyr. Şonuň üçin

2.5.6. Bug emele gelmegiň ýylylygy we onuň temperatura baglylygy

1. Bug emele gelmegiň ýylylygy. Geçirilen tejribelerden mälim boluşy ýaly suwuklyk bugaranda onuň temperaturasy peselýär we suwuklyk sowaýar. Suwuklygyň endigan gaýnamagy üçin onuň üstünden bölünip çykýan buglaryň alyp gidýän energiýasynyň öwezini doldurmaly. Oňa yzygider ýylylyk berip durmaly.

Suwuklygyň berlen massasyny dolulygyna buga öwürmek üçin zerur bolan ýylylyk mukdaryna bu suwuklyk üçin bug emele gelmegiň ýylylygy diýilýär.

Suwuklygy bugartmak ýa-da gaýnatmak arkaly buga öwürmek maksady bilen oňa berilýän ýylylyk mukdary ilkinji nobatda onuň içki energiýasyny artdyrmaklyga, maddany suwuk haldan onuň göwrüminiň uly bolan doýgun bug halyna geçirmeklige harçlanylýar. Diýmek, molekulalaryň arasyndaky orta uzaklyk artýar we onuň bilen baglanyşykly olaryň potensial energiýasy köpelýär.

Mundan başga-da , maddanyň göwrüminiň artmagy bilen ol daşky basyş güýjüň garşysyna iş edýär. Otag temperaturasynda suwuklygyň bugarmagyna harç edilýän ýylylygyň mukdary bug emele gelmegi üçin zerir bolan jemi ýylylygyň birnäçe göterimini düzýär.

Hemme suwuklyklaryň bir meňzeş temperaturadaky we şol bir mukdaryny buga öwürmek üçin dürli mukdarda ýylylyk zerurdyr. Her bir maddany doly buga öwürmek üçin zerur bolan ýylylyk mukdaryny hasaplamak maksady bilen bug emele gelmegiň *udel ýylylyk mukdary* düşünje girizilýär.

Bug emele gelmegiň r ***udel ýylylyk mukdary diýip, massasy 1 kilogramm*** ($m=1kg$) ***bolan suwuklygy dolulygyna buga öwürmek üçin zerur bolan*** Q_b ***ýylylyk mukdaryna aýdylýar:***

$$r = \frac{Q_b}{m}. \qquad (2.5.9)$$

Bu ýerde r suwuklygyň Bug emele gelmeginiň udel ýylylygy; m suwuklygyň massasy; Q_b- berlen massaly suwuklygy buga öwürmek üçin zerur bolan ýylylygyň mukdary. Ölçegleriň Halkara ulgamynda bug emele gelmegiň udel ýylylygy kilogramdan joullarda (J/kg) hasaplanylýar.

Suw üçin bug emele gelmegiň udel ýylylygy örän uludyr ol t=100 ^0S temperaturada $2{,}256\cdot10^6\ J/kg$. Beýleki suwuklyklar üçin (meselem spirt, efir, simap, kerosin we ş.m.) Bug emele gelmegiň udel ýylylygy suwuňkydan 3-10 esse azdyr.

2.Bug emele gelmegiň udel ýylylygynyň temperatura baglylygy. Dürli temperaturaly şol bir suwuklyk üçin bug emele gelmegiň udel ýylylygy deň däldir. Şol bir suwuklygyň temperaturasynyň artmagy bilen onuň bug emele gelmeginiň udel ýylylygy kiçelýär. Munuň sebäbi temperaturanyň artmagy bilen suwuklygyň we onuň doýgun bugunyň eýeleýän göwrümleriniň tapawudy azalýar. Şonuň üçin hem suwuklyk – bug garyndysynyň içki energiýasynyň üýtgemegi we onuň daşky basyş güýçleriň garşysyna edýän işi azalýar.

Bug emele gelmegiň udel ýylylygynyň temperatura baglylygy suw üçin 2.5.2-nji tablisada getirilýär.

Kritiki (374 ^0S) temperaturada suw üçin bug emele gelmegiň udel ýylylygy nola deňdir. Sebäbi kritiki temperaturada suwuklyklar bilen olaryň doýgun buglarynyň arasyndaky tapawut ýitýär.

Diýmek, gaýnamak prosesinde suwuklyklaryň buga öwrülmegi üçin (2.5.9-njy) deňlige laýyklykda $Q_b= rm$ mukdarda ýylylyk zerurdyr. Başgaça aýdylanda bug suwuklykdan bölünip çykanda özi bilen Q_b ýylylyk mukdaryny

alyp gidýär. Energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda (2.5.1-nji) temada ýatlanylyşy ýaly bug kondensirlenip, m massaly suwuklyga öwrülende

$$Q_k = - rm, \qquad (2.5.10)$$

ýylylygy özünden bölüp çykarýar.

Tablisa 2.5.2.

Temperatura , ^0S	Bug emele gelmegiň udel ýylylygy, MJ/kg	Temperatura , ^0S	Bug emele gelmegiň udel ýylylygy, MJ/kg
0	2,45	250	1,71
50	2,38	300	1,38
100	2,26	350	0,88
150	2,12	374	0
200	1,96		

Bug emele gelende ýylylygyň siňdirilip, kondensirlenende bolsa, onuň bölünip çykarylmagy atmosferanyň temperatura balansyny sazlamakda roly örän uludyr.Yssy howalarda deňziň we okeanyň üstünde bugarma bilen uly mukdarda gyzgynlyk atmosfera siňip gidýär we sowuk howada asmandaky buglar kondensirlenip, ýagyş ýagmak bilen alnan ýylylyk yzyna gaýtarylyp çykarylýar. Şeýdibem atmosferanyň temperaturasy sazlanylýar.

2.5.7. Howanyň çyglylygy. Absolýut we otnositel çyglylyk. Gyraw nokady

1. Howanyň çyglylygy. Parsial basyş. Zemini gurşap alan atmosfera – howa dürli gazlaryň we suw buglarynyň doýgun däl garyndysyndan ybaratdyr. Bu garyndy gazlaryň her birisi atmosferanyň umumy basyşyna öz goşantlaryny goşýar.

diagramma bilen bilelikde çyzylsa, onda olar dikligine geçirilen üzňe çyzygyň üstünde θ degişli temperaturada bir-biri bilen kesişer (2.5.24-nji çyzgy).

Temperaturanyň artmagy bilen kristal gaza öwrülýär. Basyşyň artmagy bilen bölejikleriň jebisligi artýar we gaz kristala öwrülýär. Bu babatdan seredilende kristal-gaz diagramma suwuklyk-gaz diagramma meňzeşdir. Ýagny bu ýerde hem diagramma çyzygynyň aşagynda, sagyrakdaky nokatlaryň basyşy kiçi temperaturasy uly bolan kristalyň bug, çyzygyň ýokarsynda çepiräkdäki nokatlar bolsa basyşy ulyrak, temperaturasy kiçiräk kristal hala degişlidirler.

3.Kristal –suwuklyk geçişiň diagrammasy. Ýokarda seredilen iki faza öwrülişigine degişli diagrammalaryň umumy meňzeşlikleri bar. Olaryň ikisinde hem temperaturanyň artmagy gaza mahsus bolan molekulalaryň tertipsiz hereketini döredýär we seredilýän maddalar gaz halyna geçýärler.

Edil şonuň ýaly hem basyşyň artmagy degişli fazadan has dykyz faza, ýagny suwuklyga ýa-da kristal hala geçmeklige ýardam edýär. Basyşyň artmagy bilen molekulalar bir-birine golaýlaşýarlar, ýagny uly temperaturada olary ýakynlaşdyryjy güýç molekulalaryň ýerleşişinde täze tertipleşme döredýär.Uly temperaturada bu güýç ýakyn tertipde, kiçi temperaturada bolsa uzak tertipde täsir edýär. Şonuň üçin hem bu geçişleri häsiýetlendirýän diagrammalar özara meňzeş. Diňe olaryň dürli agregat hallara degişli bölekleriniň absissa oka bolan ýapgytlyk burçy dürlidir (2.5.24-nji çyzgy).

Kristal-suwuklyk faza geçişi bolsa, agzalan geçişlerden çylşyrymlydyr.

Bu halda temperaturanyň artmagy molekulalaryň has takyk tertipde ýerleşen kristal halyndan tertipsizräk ýerleşme suwuk halyna geçmegine ýardam edýär. Bu faza geçişde basyşyň üýtgemegi prosese iki hili täsir edip biler.

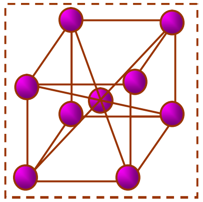
Şonuň üçin hem bölejikleriň arasyndaky uzaklyk hemişelik saklanýar diýip bolmaz.

5. Kristallaryň görnüşleri. Kristallaryň dört: *molekulýar*, *kowalent* (ýa-da *atomly*) , *ionly* *we metal* görnüşdedirler.

Molekulýar kristallara wodorodyň, argonyň, azotyň, bromyň, naftaliniň we ş.m. kristallar girýär. Gury buz we köp sanly organiki maddalar hem molekulýar kristallardyr. Bu kristallaryň hemmesiniň berkligi uly däldir.

Ýokarda getirilen (2.5.12-nji çyzgydaky) granlary merkezleşen kub strukturaly kristal argonyň molekulýar kistalydyr. Bu kristalyň her bir elementar bölejiginde kubuň depelerinde we granyň merkezinde atom ýerleşendir.

Kowalent kristallara almaz, ýarymgeçiriji kremniý we germaniý, şonuň ýaly hem sinkiň sulfady, berilliýniň oksidi we ş.m. girýärler. Bu hilli kristallarda her bir atom özüniň çar tarapyndaky atom bilen iki walent elektron (her atomdan biri) bilen baglanyşykly bolýar.



2. 5.14-nji çyzgy. *Natriý kristalynyň giňişlik gözenegi*

Ionly kristallara organiki däl birleşmeler bolan *NaCl*, *AgBr* we başgalar girýärler. Bu kristallaryň giňişlik gözeneginiň düwünlerinde natriýniň položitel, hloryň otrisatel ionlary gezekleşip ýerleşýärler we olar öz aralarynda döreýän elektrostatiki çekişme bilen saklanýarlar.

Metallik kristallarda kowalent elektronlar (atomlaryň iň daşky elektronly gabygyndaky elektronlar) kesgitli bir atoma degişliligini ýitirýärler we olar metalyň içinde islendik tarapa erkin hereket etmäge ukyplydyrlar. Natriý kristalnyň elementar bölegi (2.5.14-nji) çyzgyda görkezilen. Bu çyzgydan görnüşi ýaly metallaryň kristal gözenegi kubuň düwünlerinde we merkezinde metalyň položitel ionlary ýerleşýär.

Ylymda we tehnikada kristallar giňden peýdalanylýar. Tebigi görnüşde alynýan almazlaryň takmyn 80% we hemme emeli almazlar senagatda ulanylýar. Almazdan ýasalan gurallar maşynlaryň, stanoklaryň iň gaty şaý-seplerini timarlamakda, gazuw ýer buraw işlerinde, giňden peýdalanylýar. Has takyk gurallarda we gämileriň ýokary takyklykdaky wagt ölçeýjilerinde almaz daýanç daşy hökmünde peýdalanylýar. Almazdan ýasalan podşipniklerde $25\cdot10^{6}$ aýlawdan soň hem hiç hili sürtülme yzy duýulmaýar.

Sintetiki rubiniň bir kilogramyndan sagadyň 40 000 sany daýanç daşy ýasalýar. Himiki süýüm taýýarlanylýan egirme – dokma fabriklerde rubinden taýýarlanan sterženler örän uzak wagtlap hyzmat edýärler.

Şonuň ýaly hem rubinler ylmy işlerde inçe ýagtylyk dessesini almakda rubin lazerlerinde peýdalanylýar.

Häzirki zaman elektronikasynda kristallaryň orny has uludyr. Ýarymgeçiriji elektron gurallarynyň esasyny germaniý we kremniý kristallary düzýär.

2.5.9. Amorf maddalar

Hemme gaty maddalar kristal däldirler. Olaryň içinde özleriniň gurluşlary boýunça dogry formasy bolmadyk maddalar duşýar. Bu maddalara amorf (grekçe *amorfos-formasyz* diýmekdir). Amorf maddalaryň esasy nyşany olaryň döwülme üstleriniň dogry bolmadyk görnüşiniň bolmagydyr. Kristal maddalaryň döwülme üstleri tekizdir (ýa-da basgançaklydyr).

Amorf maddalaryň ýylylyk we optiki häsiýetleri hemme taraplar boýunça birmeňzeşdir. Ýagny amorf maddalary izotrop maddalardyr. Ergin halyndaky amorf maddalary özleriniň sowadylyş şertine baglylykda olaryň içinde kristal gurluşy bolan maddalar hem duşýar. Meselem, 1700 ^{0}S temperatura

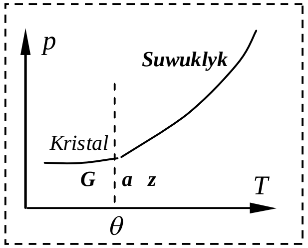
basyşyndan kiçi we ondan pesiräk temperaturadaky suwuklyga degişlidir.

- *B* nokatdan *G* nokada geçmeklik hemişelik temperaturada pes basyşa geçmekdir. Öň seredilişine görä doýgun gazyň basyşy kiçeldilse, ol öz düzümindäki çyglylygy bugardýar we doýgun haldan doýgundäl gaz halyna geçýär. Diýmek, *G* nokat *B* nokadyň temperaturasyna degişli temperaturada, kiçi basyşly doýgun bolmadyk gaza degişli nokatdyr.

E nokat gaz halyndaky halda bolup, ol şol basyşly doýgun bugyň temperaturasyndan uly aşa gyzdyrylan gaza degişlidir.

Diýmek, geçiş diagramma egrisiniň aşagy gaz ýokarsy bolsa suwuklyk haldaky madda degişlidir.

2.Kristal-gaz geçişiň diagrammasy. Sublimasiýa prosesinde (kristalyň bugarmasynda) kristalyň üstündäki buguň basyşyny edil suwuklygyň üstündäki buguň basyşynyň aňlatmasy bilen hasaplap bolar. Ýöne bu halda (2.5.5-nji) deňlikdäki u_0 bugarma energiýasyna derek ω_0 sublimasiýa energiýasyny we *A* hemişelik koeffisiýentine derek kristalyň maddasyny häsiýetlendirýän täze *B* hemişeligi girizmek zerurdyr. Bu üýtgeşmeler girizilenden soňra kristal-gaz geçişiň diagrammasyny (2.5.24-nji) çyzgydaky ýaly şekillendirip bolar. Kristal-gaz diagrammanyň ýapgytlyk burçy suwuklyk–gaz diagrammanyňkydan üýtgeşigräkdir. Eger (2.5.23-nji) çyzgydaky diagrammany (2.5.24-nji) çyzgydaky



2. 5. 24-nji çyzgy.
Kristal- gaz faza geçişiň diagrammasy

goramaklyga sebäp bolýar. Şonuň ýaly hem gyşda dagyň gowaklaryna, ýarçyklaryna akan suwlar doňup, göwrümine giňelmek bilen dag bölekleriniň jaýrylmagyna, böleklere bölünmegine sebäp bolýar.

2.5.16. Faza öwrülişigiň diagrammalary. Üç hal nokat

1.Suwuklyk - gaz geçişiň diagrammasy. Biz (2.5.9-njy) çyzgyda doýgun suw buglarynyň basyşynyň temperatura baglylykda gyraw nokady öwrenildi. Indi doýgun suw buglarynyň basyşynyň aňlatmasyny (2.5.5-nji) deňligiň esasynda

$$p_d = n_d kT = AkT^{\alpha+1} e^{-\frac{U_0}{kT}}, \qquad (2.5.17)$$

ýazyp bolar. Bu ýerden görnüşi ýaly doýgun buguň basyşy onuň temperaturasyna eksponenta (*e* dereje) boýunça bagly bolany üçin suwuklykdan gaza geçiş diagrammany (2.5.23-nji) çyzgydaky ýaly şekillendirip bolar. Bu grafigiň edil üstündäki *B* iki faza ýagny suwuklyk we onuň bilen dinamiki deňagramlylykda bolan doýgun buga degişli nokatdyr. Bu nokadyň dört tarapynda özara perpendikulýar çyzyklaryň üstünde alnan *C, D, E* we *G* nokatlaryň haýsy faza degişlidigine seredeliň.

- *B* nokada degişli haldan *D* hala geçmeklik hemişelik temperaturada basyşyň artýan tarapyna geçmekdir. Gazyň temperaturasyny hemişelik saklap, onuň basyşy artdyrylsa, gaz suwa öwrülýär. Diýmek, *D* nokat basyşy doýgun buguň basyşyndan uly, ýöne onuň bilen bir temperaturada bolan suwuklyga degişlidir. Onda *C* nokat hem *D* nokadyň

çenli gyzdyrylan kwars kristaly birden sowadylsa, ergin kwarsa öwrülýär. Bu hilli kwarsyň dykyzlygy kristal haldaky kwarsyňkydan kiçidir we onuň hemme taraplar boýunça häsiýeti birmeňzeşdir.

Aslyýetinde amorf maddalary özleriniň häsiýetleri boýunça käbir halatlarda kristal, käbir halatlarda bolsa suwuk maddalara meňzeşdirler. Meselem, öz daşky formalaryny saklamakda olar kristallara, agyrlyk güýjüň dowamly täsiri netijesinde olaryň öz formalaryny üýtgetmekleri bolsa suwuklyklara meňzeýär.

Umuman maddalaryň amorf haly durnuksyzdyr, olar irde-giçde kristal görnüşe geçýär. Aýna özüniň häsiýeti boýunça amorf maddadyr. Ýöne ýeterlik we dowamly agyrlyk güýjüň täsiri astynda aýna özüniň durylygyny ýitirýär, ýagny onuň içinde kristaljyklar döreýär.

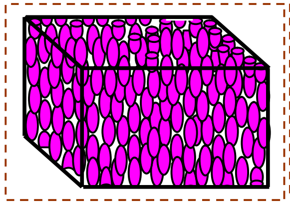
Käbir halatlarda bolsa amorf haldan kristal hala geçmeklik örän çalt bolup geçýär. Mysal üçin amorf häsiýetli maýyşgak kükürt birnäçe sagadyň içinde kristallaşýar. Başga tarapdan bolsa arheologik gazyş işleriniň netijesinde tapylan aýna bezeg şaýlarynyň içinde ýüzlerçe ýyllap öz görnüşini ýitirmän saklanlary hem duşýar.

Amorf maddalaryň gurluşyna girýän atomlarda (molekulalarda) kesgitli tertip ýokdyr. Diňe ýakyn atomlar otnositel ýerleşýärler, ýagny ýakyn tertip saklanylýar. Kristal maddalardaky ýaly hemme taraplar boýunça elementar kristal bölejigiň gaýtalanyşy ýaly gurluş amorf maddalarda gaýtalanmaýar.

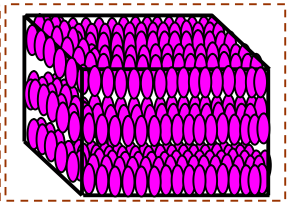
2.5.10. Suwuk kristallar

Tebigatda duşýan maddalar umuman gaty, suwuk we gaz halynda bolýarlar. *Ýöne käbir organiki maddalar bir wagtyň özünde kristal we suwuk maddalaryň häsiýetini özünde* *saklaýarlar*. *Munuň ýaly maddalara* ***suwuk kristallar*** *diýilýär.* Suwuk kristallaryň molekulalary sapak şekilli ýa-da tekiz plastina görnüşli bolup, olaryň ujy özara bir-biri bilen gowşak täsirdedirler. Molekulalaryň gapdal üstleriniň özara täsiri ýeterlik derejede ulydyr we şonuň üçin hem olar uçlary baglanyşyksyz bir bütewi topar bolup saklanmaga ukyplydyrlar. Şol bir wagtda suwuk kristalyň molekulalary anizotrop we suwuklyga mahsus bolan akyjylyk häsiýete eýedirler. Geçirilen barlaglara görä takmyn her bir 200 sany çylşyrymly organiki birleşmeleriň içinde birisiniň suwuk kristal häsiýetlisine duş gelinýär.

Swuk kristallaryň her birine mahsus bolan temperatura çägi bar. Käbir maddalar üçin bu temperatura çägi uly däldir $(\Delta T \approx 0{,}01K)$, käbirleri üçin bolsa bu çäk ýeterlik giňdir $(\Delta T \approx 100K)$. Eger suwuk kristal gyzdyrylsa, ol käbir temperaturada adaty suwuklyga sowadylsa bolsa, adaty kristala



2. 5.15-nji çyzgy. *Suwuk kristallaryň nematik toparynyň molekulalarynyň gurluşy*



2.5.16-njy çyzgy. *Suwuk kristallaryň smektik toparynyň molekulalarynyň gurluşy*

öwrülýär.

1. Suwuk kristallaryň gurluşy. Özleriniň içki gurluşlary boýunça suwuk kristallar üç topara bölünýärler: ***nematik, smektik*** we ***holesterik.***

2.5.15. Eremekde we gatamakda jisimleriň göwrüminiň üýtgemegi

Adatça köp maddalar eränlerinde olaryň göwrümi ulalýar we onuň bilen baglylykda dykyzlyklary azalýar. Suwuk maddalar gatanlarynda tersine göwrümi kiçelýär we dykyzlygy ulalýar. Ýöne, buz, çoýun, wismut we käbir başga maddalar bu kanuna boýun egmeýärler.

1. Suwuň we buzyň özara faza öwrülişigi. Tejribelerden we gözegçiliklerden mälim bolşy ýaly suw gaty buz halyna geçende onuň göwrümi ulalýar we onuň bilen baglylykda dykyzlygy azalýar. Buzyň elmydama suwuň ýüzünde ýüzýändigi hem onuň dykyzlygynyň suwuňky bilen deňeşdirilende kiçidigi bilen düşündirilýär. Diýmek, buzuň molekulalarynyň şol bir suwuň molekulasyna girýän bir kislorod we iki sany wodorod atomyndan durýandygyna garamazdan buzuň molekulalarynyň giňişlik gözeneginiň gurluşy suwuňky bilen deňeşdirilende çylşyrymlylygy bilen düşündirilýär.

Alymlaryň geçiren tejribelerinden mälim bolşy ýaly buzuň molekulalarynyň düzümine girýän wodorodyň we kislorodyň atomlarynyň giňişlik gözeneginde ýerleşişi endigan däldir. Ýagny, käbir ýerlerde buzuň molekulalary bir-birine örän ýakyn ýerleşendirler, käbir ýerlerde bolsa olaryň arasynda uly boşluk bardyr. Kristal görnüşden suwuklyga geçende molekulalaryň özara ýerleşişi endiganlaşýar. Şonuň üçin hem suwuň göwrümi kiçelýär we onuň dykyzlygy artýar. Temperaturasy $0\ ^0S$ bolan buzuň dykyzlygy $900\ kg/m^3$ suwuňky bolsa, $1000\,kg/m^3$. Bu bolsa köllerde, deňizde buzuň suwda ýüzmegini we özüniň pes ýylylyk geçirijiligi sebäpli suwdaky balyklary, janly jandarlary sowukdan

2.5.14. Faza geçişler. Sublimasiýa

Biz ýokarda gaty jisimleriň suwuklyga , suwuklygyň gaza we tersine gazyň suwuklyga , suwuklygyň bolsa gaty jisime öwrülmegine seretdik. Jisimleriň munuň ýaly bir görnüşden beýleki görnüşe öwrülmegine fizikada ***faza öwrülişik*** diýilýär.

Gaty jisimi bugartmak, ýagny ony gaz halyna öwürmek üçin başda ony suwuk hala geçirip, soňra bugartmaly ýaly bolup görünýär. Dogrydan hem köp gaty jisimlerde bu şonuň ýaly. Ýöne tebigatda gaty halyndan gös- göni bugarýan, ýagny gaz halyna öwrülýän jisimler hem bar. Meselem, naftalin (porsy derman), gury buz, aýazly howada serilen öl geýimler gös-göni bugarýarlar.

Fizikada kristallaryň buga öwrülmek (bugarmak) prosesine ***sublimasiýa*** (ýa-da wozgonka) diýilýär.

Kirstalyň eremeginde, bugarmagynda, suwuklygyň kristallaşmagynda we bugarmagynda şonuň ýaly hem buguň kondensasiýasynda kesgitli mukdardaky ýylylygyň siňdirilmegi ýa-da bölünip çykarylmagy bolup geçýär. Bu prosese gatnaşýan maddalaryň fiziki (dykyzlygy, olaryň düzüjileriniň göterim hasabyndaky gatnaşygy şonuň ýaly hem olar bilen baglylykda optiki we beýleki) häsiýetleri çürt-kesik özgerýär. Umuman maddalaryň agzalan sebäpler zerarly daşky parametrleriniň (temperaturasynyň , basyşynyň we ş.m.) üýtgemegine ***birinji görnüşli faza geçiş*** diýylýär.

Diýmek, *bugarma, kondensasiýa, sublimasiýa, eremek we kristallaşmak* ***birinji görnüşli faza geçişdir***.

Durmuşda bolup geçýän käbir faza özgerişde maddanyň fiziki häsiýetleri bolan dykyzlygy çürt-kesik üýtgemezden we hiç hili ýylylyk alyş- çalyşsyz bolup geçýär. Bu hilli faza geçişe ***ikinji görnüşli faza geçiş*** diýilýär. Suwuk geliýniň aşa akyjylyk halyna geçmegi ikinji atly faza geçişdir.

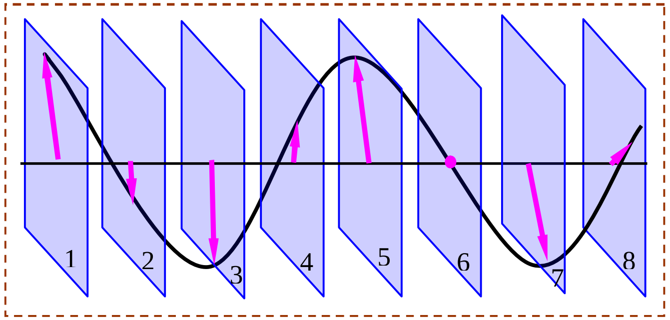
Nematik (grekçe *nem –sapak* diýmek) topary iň ýönekeý suwuk kristal bolup, olaryň molekulalary uzyn sapak ýa-dainçe silindr şekillidirler. Suwuk halda bu molekulalar bir-birine parallel bolup, öz oklary boýunça özara tertipsiz ýerleşendirler (2.5.15-nji çyzgy).

Smektik (grekçe *smegma – sabyn* diýmek) toparyň molekulalarynyň tertipleşme derejesi has ýokary bolan we gatlak boýunça ýerleşen suwuk kristaldyr (2.5.16-njy çyzgy). Smektik toparyň gatlaklarynyň molekulalarynyň arasyndaky özara täsir gowşakdyr. Şol sebäpli hem gatlaklar bir-birine görä sabyn ýaly typançak bolany üçin olar özara aňsat typýarlar.

Holesterik bu suwuk kristallar öz aýratynlyklary boýunça nematik we smektik toparlarynyň arasyndaky orny eýeleýär. Bu toparyň ady onuň molekulalary edil düzüminde holesterini saklaýan birleşmeleriň molekulalaryna meňzeşligi sebäpli dakylan.

Holesterik toparyň molekulalary hem edil smektik toparyň molekulalary ýaly ýuka tekiz (bir molekulanyň galyňlygyndaky-inindäki) gabyklary döredip ýerleşýärler. Her gabykdaky molekulalaryň oklary özara parallel bolup, olar göňşy gabyklardaky molekulalaryň okuna kesgitli burç bilen ýerleşýärler. Netijede bir molekulýar gabykdan ikinjisine, ikinjisinden üçünjisine we ş.m. geçilende gabyklardaky molekulalaryň umumy okunyň ugruny hemme gabyklar boýunça üznüksiz çyzyk bilen birikdirilse, bu çyzyk takyk sinusiodal kanuna boýun egýän egri – garmoniki çyzygyň şekilini berer (2.5.17-nji çyzgy). Çyzgyda bu topara girýän goňşy bolmadyk sekiz tekizligiň mysalynda degişli tekiz gabykdaky molekulalaryň okunyň ugry bir peýkamjagaz bilen görkezilen. Geçirilen barlaglara görä bu seredilen gabykdaky molekulalaryň okunyň ýerleşiş ugry soňra takmyn 300-nji gabykda gaýtalanýar.Ýagny 2.5.17-nji çyzgyda 1-nji diýlip bellenen gabykdaky molekulanyň gabykda ýerleşişini aňladýan peýkamjagaz bir doly yrgyldydan soňra 5-nji atlandyrylan tekizlikde takmyn şonuň ýaly bir fazada ilkinji gezek gaýtalanýar. Diýmek, alnan mysalda 1-5 tekiz gabyklaryň arasynda çyzgyda görkezilmedik takmyn 300 sany tekiz gabyk bolmaly.

Suwuk kristalyň temperaturasynyň üýtgemegi bilen tekiz gabykdaky molekulalaryň okunyň aýlanmagyny häsiýetlendirýän burç bir gabykdan ikinjisine geçilende



2. 5.17-nji çyzgy. *Suwuk kristallaryň holestrik toparynyň molekulalarynyň tekiz gabyklardaky netijeleýji ugurlary*

üýtgeýär. Bu bolsa, ýagtylygyň kristaldan serpikmeginiň şertini üýtgedýär. Munuň netijesinde holesterik suwuk kristal ak ýagtylygy serpikdirende onuň reňki temperatura bagly üýtgeýär. Temperatura hemişelik saklananda kristal kesgitli bir reňkde bolýar.

2.5.11. Suwuk kristallaryň ulanylyşy

Holesterik suwuk kristallaryň reňkiniň temperatura baglylygy medisinada peýdalanylýar. Onuň kömegi bilen adamyň bedeni boýunça temperaturanyň paýlanylyşyny kesgitläp, nirede sowuklama bardygy anyklanylýar. Suwuk

görnüşde aňladylýar. Ölçegleriň Halkara ulgamynda eremekligiň udel ýylylygy $[\lambda]=\dfrac{[J]}{[kg]}$ hasaplanylýar.

Ýokarky deňlikden görnüşi ýaly eremek temperaturasyndaky m massaly kristaly doly eretmek üçin

$$Q=\lambda m \qquad (2.5.15)$$

ýylylyk mukdary zerurdyr.

2. Kristallaşmagyň udel ýylylygy. Ýokarda bellenilişi ýaly energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda suwuk kristal gaty hala geçmeklige degişli temperaturada sowap. Daşky gurşawa

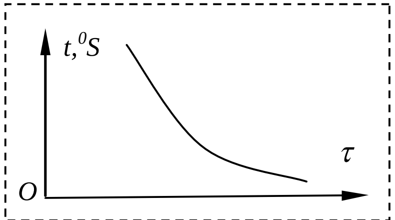
$$Q_{kr}=-\lambda m \qquad (2.5.16)$$

ýylylyk mukdaryny derýär. Bu deňlik ergin kristal gaty hala geçende (kristallaşanda) özünden bölüp çykarýan ýylylyk mukdarydyr.

Dürli maddalar üçin eremekligiň udel ýylylgy dürlüdir. Meselem, gurşun üçin eremekligiň udel ýylylygy $\lambda=23\cdot10^3\ J/kg$; altyn üçin $\lambda=65{,}7\cdot10^3\ J/kg$; buzuň eremeginiň udel ýylylygy bolsa, $\lambda=3{,}337\cdot10^5\ J/kg$ -a deňdir. Getirilen mysallardan görnüşi ýaly buzuň eremekliginiň udel ýylylygynyň örän uly bolmagy ýyly howada okeanlardaky buzuň doly eremeginden we okeanyň derejesiniň çürt-kesik üýtgemeginden goraýar.

4. Ergin amorf fazadan gaty faza geçmek

Ergin amorf haldan-fazadan gaty amorf faza geçmeklik hem edil bu jisimleriň eremek halyndaky ýaly endigan sowap, proses basgançaksyz bolup geçýär. Meselem, şepbigiň ergin haldan özüne mahsus bolan gaty- şepbik hala geçmeginde onuň temperaturasynyň wagta bagly üýtgeýşi (2.5.22-nji çyzgy) getirilen. Ondan görnüşi ýaly şepbik sowamak bilen wagtyň geçmegi netijesinde özüne mahsus bolan şepbeşiklik hala geçýär.



2. 5. 22-nji çyzgy. *Ergin amorf jisimleriň gatylaşma prosesinde temperaturasynyň üýtgeýşiniň wagta baglylygy*

Diýmek, ***amorf jisimleriň kesgirli eremek we gatylaşma prosesine degişli temperaturasy ýokdur.***

2.5.13. Eremegiň we kristallaşmagyň udel ýylylyygy

1. Eremegiň udel ýylylygy. *Massasy 1kg bolan kristaly doly eretmeklik üçin zerur bolan Q_{er} ýylylyk mukdaryna eremekligiň udel ýylylygy diýilýär.*

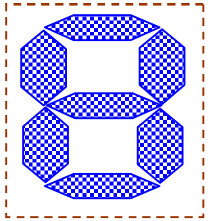
Eremekligiň udel ýylylygy λ (lambda) harpy bilen bellenýär.

Kesgitlemä laýyklykda eremekligiň udel ýylylygy :

$$\lambda = \frac{Q_{er}}{m} , \qquad (2.5.14)$$

kristally termometr bilen otagyň temperaturasyny kesgitlemek üçin termometrleriň içine kesgitli temperatura durnukly bolan dürli holesterikli sanlar ýasalýar. Otagyň temperaturasyna degişli holesterik ýagtylýar.

Şonuň ýaly hem ýagtylýan sanly we harply sagatlarda we mikrokalkulýatorlarda suwuk kristallar giňden ulanylýar. Suwuk kristallar kiçi zolak edilip kesilýär we olaryň birnäçesini birikdirip, gerekli harp ýa-da san ýazylan uly bolmadyk öýjük ýasalýar (2.5.18-nji çyzgy). Bu öýjüklere iki sany elektrod birikdirilýär we olar elektrik naprýaženiýä dakylýar. Elktrik meýdany suwuk kristalyň molekulalarynyň oklaryny öňki ugrundan gyşardýar, bu bolsa her bir öýjügiň serpikdiriji häsiýetini üýtgedýär. Indikatorlar daşky napryaženiýäniň döredýän ýagtylygy bilen ýagtylandyrylanda işleýärler. Bu indikatorlary örän kiçi ölçegde ýasap bolýar we az energiýa bilen işledilýär.


2. 5.18-nji çyzgy. *Sanly abzallarda ulanylýan suwuk kristallar*

Häzirki döwürde suwuk kristallar dürli hilli edara edilýän ekranlarda, telewizorlaryň kompýuterleriň monitorlarynda we ş.m. giňden ulanylýar.

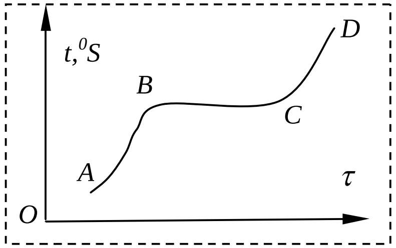
2.5.12. Eremek we kristallaşma

1. Kristal jisimleriň eremegi. ***Eremek jisimleriň gaty haldan suwuk hala öwrülmegidir.***

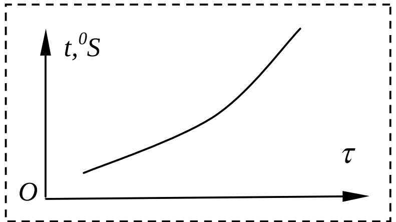
Gaty jisimi eretmek üçin ony her jisime mahsus bolan aýratyn eremek temperaturasyna çenli gyzdyrmalydyr. Meselem, buz kadaly atmosfera basyşynda 0^0 *S*, naftalin 80 ^0S, mis 1083 ^0S , wolfram 3380 ^0S temperaturada ereýär.

Jisimiň eremegi üçin ony ereme temperaturasyna çenli gyzdyrmak ýeterlik şert däldir. Onuň doly eremegi üçin bu proses başlanyndan gutarýança oňa ýylylyk bermekligi dowam etdirmeli. Ereme prosesiniň dowamynda jisimiň temperaturasy hemişelik saklanýar. Jisime berilýän ýylylyk mukdary bütinligine ony eretmäge harçlanýar. Jisim kristal haldan ergin hala geçenden soňra hem gyzdyrylmagy dowam etdirilende onuň temperaturasynyň τ wagta bagly üýtgemegi (2.5.19-njy) çyzgyda görkezilen.

Bu çyzgynyň *AB* bölegi kristalyň eremek temperaturasyna çenli gyzdyrylmagy. Bu çyzgynyň ýapgytlyk burçy, jisimiň massasyna we onuň materialyna görä oňa berilýän degişli temperatura baglydyr. Grafigiň bu bölegi kristal haldaky jisimiň eremek nokadyna çenli gyzdyrylmagyna degişli. Grafigiň *BC* böleginde kristal eräp başlaýar. Diýmek, bu bölek kristal we onuň suwuk fazasyna , ýagny iki fazaly jisime degişli bolup, bu fazanyň dowamynda jisim eremek temperaturasyna degişli gyzgynlykda saklanýar. Bu aralyga degişli wagtda jisime berilýän ýylylyk ony eretmeklige harçlanylýar. Jisim doly eränden ýagny, ol bütinligine suwuk faza geçenden soňra oňa berilýän ýylylyk suwuk fazanyň temperaturasyny artdyrmaklyga harç edilýär (2.5.19-njy çyzgyda grafigiň *CD* bölegi).



2.5.19-njy çyzgy. *Kristalyň temperaturasynyň üýtgeýşiniň wagta baglylygy*



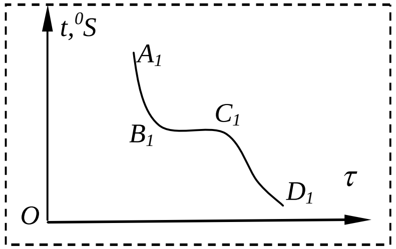
2.5.20-nji çyzgy. *Amorf jisimiň temperaturasynyň üýtgeýşiniň wagta baglylygy*

2.Amorf jisimleriň eremegi. Amorf jisimleri gyzdyrylyp başlanmagy bilen ýumşap, ol doly suwuklyga öwrülýänçä özüniň birhilliligini saklaýar we ahyr soňunda doly suwuklyk halyna geçýär. Kristallardan tapawutlylykda amorf jisimleriň kesgitli ereme temperaturasy ýokdur. Amorf jisiminiň gaty haldan suwuk hala çenli gyzdyrylanda onuň temperaturasynyň wagta baglylykda üýtgemegi (2.5.20-nji çyzgyda) görkezilen. Bu çyzgydan görnüşi ýaly onuň temperaturasy prosesiň başyndan tä ahyryna çenli artmagyny dowam etdirýär.

3. Ergin kristalyň gatylaşmagy

Ergin kristalyň suwuk haldan gaty* (*kristal*) *hala öwrülmegine gatylaşma (ýa-da kristallaşma) diýilýär.

Kristal erginler özüniň temperaturasyny daşky gurşawa bermek bilen tä özlerine mahsus bolan kristallaşma temperaturasyna çenli (2.5.21-nji çyzgyda A_1B_1 bölek) sowaýarlar. Kiristallaşma prosesi başlanyndan soňra (çyzgyda B_1 C_1 bölek) iki fazaly (gaty we suwuk) jisimiň temperaturasy hemişelik galýar. Jisim daşky gurşawa özüniň gyzgynlygyny berip sowaýar we kristallaşýar. Doly kristallaşma prosesi gutarandan soňra (2.5.21-nji çyzgyda C_1D_1 bölek) jisimiň temperaturasy wagta baglylykda peselýär we ol sowaýar.



2.5. 21-nji çyzgy. *Suwuk kristalyň gatylaşma prosesinde onuň temperaturasynyň üýtgeýşiniň wagta baglylygy*

Energiýanyň saklanma kanunyna laýyklykda kristaly ergin hala geçirmek üçin harç edilen ýylylyk mukdary onuň kristallaşma prosesinde tersine daşky gurşawa yzyna gaýtarylyp berilýär.

geçiriji turba uzynlygyna kiçelýär, sazlaýjylaryň agyzlary (uçlary) bir-birinden daşlaşýar (2.6.5-nji *b* çyzgy).

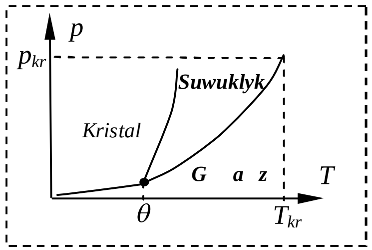
Elektrik, telefon geçiriji simler hem ýylylykdan süýňýärler we gyş sowukda bolsa gysgalýarlar. Şonuň üçin hem elektrik we beýleki geçiriji simler geçirilende olar dartdyrylman goýulýar.

Temperaturasynyň üýtgemegi, mysal üçin sowamagy bilen göwrümine (uzynlygyna) kiçelme hadysasy aýna önümçiliginde giňden ulanylýar. Aýnadan ýasalan her bir gap-gaçlar başda takmyn 2000 ^{0} *S* temperaturadaky aýna ergin halynda degişli galyplara guýulýar. Soňra temperaturasy uzynlygyna endigan sowaýan pejiň içinde ýerleşdirilen örän haýal hereket edýän eskolatoryň üstünde ýasalan gyzgyn aýna gaplar ýerleşdirilip sowadylýar. Eger eskolatoryň tizligi uly bolsa, onda agzalan gaplaryň daşky diwary onuň içki diwary bilen deň sowamaýanlygy üçin olaryň uzynlygyna (göwrümine) kiçelmegi hem deň bolup geçenok. Şunlukda aýna gabyň diwary jaýrylyp, öndürilýän harydyň bisarpa zaýalanmagyny döredýär. Bu has hem galyňlygy küti bolan aýna önümlerinde köp duşýar. Mysal üçin aýazda duran ýuka we galyň diwarly stakanlara gaýnap duran suw guýsak, galyň stakanyň daşky diwary entäk ýylap ýetişmänkä onuň içki diwary şol bada gyzyp giňeýär. Galyň stakanyň daşky diwarynyň giňelmeginiň onuň içki diwardan yza galmagy onuň jaýrylmagyny döredýär. Ýuka stakanyň içki we daşky diwarlary takmyn bir bada gyzyp ýetişýändigi üçin olar parallel giňeýärler we diwar jaýrylmaýar.

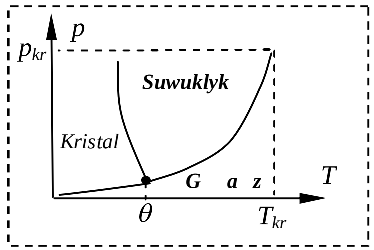
Elektrik we elektron çyralary ýasalanda olaryň düýbündäki metal (ebonit) ýörite ýelim bilen çyranyň aýnasyna birikdirilýär. Bu ýerde metal, ýelim we aýna saýlananda olaryň üçüsiniň hem göwrümine giňelme koeffisiýenti bir-biriniňkä örän ýakyn edilip saýlanylýar. Bu halda onuň metal patrony uzynlygyna giňelme koeffisiýenti juda kiçi bolan inwar splawyndan ýasalýar.

Köplenç maddalaryň bölejikleri kristal halynda onuň degişli suwuk halyndaka garanyňda has jebis (dykyz) ýerleşendirler. Munuň ýaly maddalarda basyşyň artmagy suwuklyga kybapdaş bolan iki goňşy bölejigiň uly aralygynyň kristallara mahsus jebis ýerleşmäge ýakynlaşmagyna ýardam eder. Ýa-da tersine basyş azalanda kistal-suwuklyk faza geçiş diagrammasynda nokatlar kristal haldan suwuk hala degişli diagrammanyň bölegine geçmekligi, ýagny kristal- suwuklyk geçiş diagrammadaky faza geçişden aşak we sagyraga geçmekligi aňladýar (2.5.25-nji çyzgy).

Şonuň ýaly hem maddalaryň bölejikleri tersine suwuk halynda onuň degişli kristal halyndaka garanyňda jebis (dykyz) ýerleşenleri hem bar (duşýar). Bu hilli häsiýetli maddanyň mysaly hökmünde suwy we käbir (wismut, çoýun ýaly) metallary, splawlary görkezip bolar. Bu maddalarda basyşyň artmagy molekulalaryň dykyzlanmagyna we şonuň bilen birlikde gaty kristalyň eremegine ýardam eder. Bu halda kristal



2. 5. 25-nji çyzgy.
Kristal- suwuklyk faza geçişiň I hilli diagrammasy



2. 5. 26-njy çyzgy.
Kristal- suwuklyk faza geçişiň II hilli diagrammasy

–suwuklyk geçiş diagrammasynda suwuk hala degişli nokatlar geçiş diagramma çyzygynyň ýokarsynda we has uly temperatura degişli sag tarapynda ýerleşer (2.5.26-njy çyzgy).

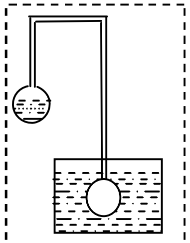
4.Üç hal nokat. Ýokarda seredilen (2.5.24-2.5.26-njy) çyzgylarda getirilen faza geçiş diagrammalarda üç faza degişli diagrammalaryň kesişýän θ temperatura we degişli basyş bilen bellenen ýeketäk nokat bar. Bu nokat kristal- suwuklyk-gaz üç faza, ýagny gaýnamak, sublimasiýa we eremek proseslerine degişli umumy bolan ýeketäk temperatura nokadyna ***üç hal nokady*** atlandyrylýar.

Üç hal nokat berlen madda üçin ýeketäk kesgitli ululykda bolany üçin ony Halkara ölçegler ulgamynda temperaturanyň absolýut şkalasynyň daýanç nokady hökmünde alynmaga mümkinçilik döredýär. Suwuň üç hal nokady ölçegleriň Halkara ulgamynda 273,16 K temperatura laýyk gelýär. Bu ýerden 1 kelwin suwuň üç hal nokadyna degişli termodinamiki temperaturanyň $\frac{1}{273{,}16}$ -e deňdir diýen netije gelip çykýar.

Gönükme 2.5.

2.5.1. Göwrümi V=1m^3 ýapyk gabyň içinde massasy m=12 g bolan suw we doýgun bug bar. Bu halda berlen temperaturada buguň dykyzlygy we basyşy degişlilikde $\rho = 8\cdot10^{-3}\ kg/m^3$, p =1,1 kPa. Eger gabyň göwrümi k=5 esse ulaldylsa, onuň içindäki basyş näçä deň bolar? Gabyň göwrüminiň üýtgemegu T=*hemişelik* prosesde bolup geçýär.

2.5.2. Iki sany içi köwlenip aýrylan şarlaryň birine suw guýulan ikinjisi boş. Bu şarlar özara aýna turba bilen birikdirilip kebşirlenen. Eger içi boş şar suwuklandyrylan howaly gaba batyryp goýulsa, birinji şardaky suw derrew doňýar. Hadysany düşündirmeli.



2.5.2-nji gönükmäniň çyzgysy

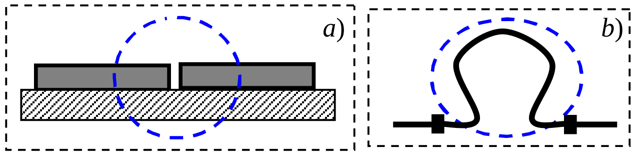
2.5.3. Daşarda uzak gün jybarlap sowuk ýagyş ýagýar. Öýde asylgy ýuwlan eşikleriň çalt guramagyna penjiräni açmaklýk täsir edermi?

2.5.4. Massasy m=6,6 kg, basyşy p=0,1 MPa bolan kömürturşy gazy V = 3,75 m^3 göwrümi eýeleýär. Eger gaz : 1) real; 2) ideal bolan halatlarynda olaryň temperaturalaryny kesgitlemeli. Wan-der Waalsyň

2.6.4. Ýylylykdan giňelmegiň tehnikada ulanylyşy

Maddalaryň uzynlygyna we göwrümine giňelmek häsiýetleri senagatda, awtoulag zawodlarynda , demir ýol gurluşygynda turba geçirijilerde we ş.m. ýerlerde göz öňünde tutulýar. Gurluşlaryň gyzýan bölekleridäki boltlar, gaýkalar, şaýbalar ýasalanda uzynlygyna giňelmek koeffisiýenti kiçi, ýa-da ýylylygy gowy geçiriji reňkli materiallardan ýasalýar.

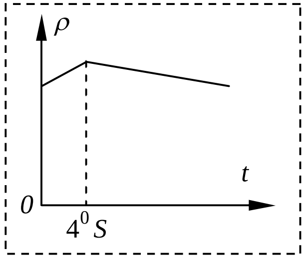
Demir ýol geçirilende relseriň sepleri bir-birine degirmän goýulýar (2.6.5-nji *a* çyzgy). Munuň beýle edilmeginiň sebäbi temperaruranyň ýokarlanmagy bilen relsler uzalýar, olaryň arasynda goýulan ýarçygyň ini kiçelýär. Gyş howa sowanda



2.6.5-nji çyzgy. *Metallaryň uzynlygynyň temperatura baglylygynyň hasaba alnyşy*

bolsa relsiň boýy gysgalýar we relsara ýarçyk ulalýar. Eger, relsler biri-birine degirlip goýulan bolsa, tomus günleri olar gyzgynlykdan uzalyp egrelerdiler we poýezdiň tigirleri relsden çykardy. Edil şonuň ýaly ýagdaý suw, gaz, bug we ş.m. geçiriji turbalarda hem bolýar. Bu geçirijileriň kesgitli aralygynda olaryň temperatura bagly uzalmagyny (kiçelmegini) sazlaýjylar (2.6.5-nji *b* çyzgy) goýulýar. Howanyň temperaturasy gyzanda turbalar uzalýar we sazlaýjylaryň uçlary bir-birine maýyşgak ýakynlaşýar, gyş aýlary howa sowanda bolsa

• **Ýylylykdan suwuklyklaryň giňelmegi.** Suwuklyklaryň molekulalarynyň özara baglanyşyk güýçleri gaty maddalardakydan gowşakdygyny biz öň öwrendik. Suwuklyklaryň bu aýratynlygy şol bir temperatura çenli gyzdyrylanda olaryň göwrümine giňelmeginiň gaty maddanyňkydan uly bolmagyna sebäp bolýar. Muňa gözegçilik etmek üçin ýuka diwarly, inçe bokurdakly aýna kolbany dolabara edip, suw guýup, ondaky suwuň derejesini rezin halka geýdirip belläliň. Soňra suwly kolbany gyzdyryp başlanylsa başda suwuklygyň göwrümi kiçelýär. Gyzdyrmaklyk dowam etdirilse, soňra suwuň göwrüminiň artýandygyny göreris. Başda suwuklygyň göwrüminiň azalýandygyny görüp bolar. Bu halda ilki suwuklygyň guýulan gaby gyzýar we ol göwrümine giňelýär diýip hem pikir edip bolar. Eger uly bokurdakly gaba guýulan 0 ^0S temperaturaly suwuň içine elektrik gaýnadyjy batyryp gyzdyrsa-da başda 4^0S temperatura çenli onuň göwrümi kiçeler. Diýmek, 4^0S temperaturada suwuň göwrümi minimal, onuň ρ dykyzlygy bolsa iň uly baha eýe bolýar (2.6.4-nji çyzgy). Suwuň bu häsiýeti köllerde we howdanlardaky suwuň ýylylyk çalyşygygny kadalaşdyrýar. Suw sowanda onuň ýokarky gatlaklarynyň dykyzlygy artýar we olar aşak çökýärler. Suwuň temperaturasy 4 ^0S den aşak düşende onuň dykyzlygy kiçelip başlaýar we onuň sowuk gatlaklary suwuň ýüzünde galýar. Bu bolsa, howanyň has sowuk döwründe-de howdanyň aşaky gatlaklarynyň temperaturasynyň 4 ^0S -den pese düşmezligini üpjün edýär.



2.6.4-nji çyzgy. *Suwuň dykyzlygynyň temperatura baglylygy*

deňlemesindäki hemişelik koeffisiýentleri $a = 0,361 N\cdot m^4/mol^2$ we $b = 4,28\cdot 10^{-5}\, m^3/mol$.

2.5.5. Massasy m=2,2 kg, temperaturasy T=290 K bolan kömürturşy gazy V = 30 l göwrümi eýeleýär. Eger gaz : 1) real; 2) ideal bolan halatlarynda olaryň basyşyny kesgitlemeli. Wan-der Waalsyň deňlemesindäki hemişelik koeffisiýentleri $a = 0,361 N\cdot m^4/mol^2$ we $b = 4,28\cdot 10^{-5}\, m^3/mol$.

2.5.6. Azodyň dykyzlygy $\rho = 140\, kg/m^3$, onuň basyşy p=10 MPa. Eger gaz : 1) real; 2) ideal bolan halatlary onuň temperaturasyny kesgitlemeli. Wan-der Waalsyň deňlemesindäki hemişelik koeffisiýentler $a = 0,135\, N\cdot m^4/mol^2$ we $b = 3,86\cdot 10^{-5}\, m^3/mol$.

2.5.7.** Real gazyň hal deňlemesini seljerip , azot üçin onuň a we b hemişelik koeffisiýentlerini kesgitlemeli. Azodyň kritiki basyşy we temperaturasy degişlilikde: p_k =3,39 MPa , T_k=126 K .

2.5.8. Göwrümi V=1,1 l bolan jebis ýapyk gapda massasy m=100 g suw we 100 ^0S temperaturada gaýnap duran ssuwuň bugy bar. Gapda nowa ýok hasaplap, buguň m_b massasyny kesgitlemeli. Suwuň dykyzlygynyň temperatura baglylygyny hasaba almaly däl.

2.5.9. Gaýnap duran suwy porşenli nasos bilen näçe h beýiklige galdyryp bolar? Suw ýokary galdyrylanda sowamaýar hasaplamaly.

2.5.10. Howanyň temperaturasy t_1=30 ^0S –ä deň bolanynda onuň otnositel çyglylygy $\varphi_1 = 80\%$. Eger, bu howany t_2 =50 ^0S temperatura çenli gyzdyrylsa, onuň φ_2 otnositel çyglylygy näçä deň bolar?

2.5.11*. Jaýyň içine temperaturasy t_1=18 ^0S we otnositel çyglylygy $\varphi_1 = 50\%$ bolan V =10000 m^3 göwrümde howa girizmeli. Daşky howanyň temperaturasy t_2 =10 ^0S we otnositel çyglylygy $\varphi_2 = 60\%$. Talap edilýän parametrli howany jaýyň içine bermek üçin alynýan daşky howany guraklandyrmalymy ýa-da çyglandyrmalymy? Suwy bugartmalymy ýa-da kondensirlemelimi?

2.5.12*. Ýapyk gapda göwrümi V =100 l we temperaturasy t=30 ^0S, otnositel çyglylygy $\varphi_1 = 30\%$ bolan howa bar. Eger, gabyň içine m=1,0 g suw dökülse, käbir wagtdan soňra gapdaky howanyň φ_2 otnositel çyglylygy näçe bolar? Temperaturany hemişelik hasaplamaly.

2.5.13. Howanyň temperaturasy t_1=20 ^0S, gyraw nokady t_2 =10 ^0S . Howanyň otnositel φ çyglylygyny hasaplamaly.

2.5.14. 1) .Sywy gyzdyrman gaýnadyp bolarmy? 2).Gaýnap duran suwy doňduryp bolarmy?

2.5.15. Temperaturasy t=20 ^0S, umumy ýylylyk sygymy $C = 1670\ J/K$ suwly gaba massasy m_1=100g, temperaturasy $t_1 = -8{,}0^0 S$ bolan buz ýerleşdirilen. Kadalaşan temperaturany kesgitlemeli. Degişlilikde buzyň eremeginiň ydel ýylylygy $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5\ J/kg$ we onuň udel ýylylyk sygymy $C_b = 2{,}1 \cdot 10^3\ J/(kg \cdot K)$.

2.5.16. Üstüniň meýdany S=2 m^2, galyňlygy d =1 sm we temperaturasy t= 0 ^0S bolan buz bölegininiň üstüne düşýän Gün şöhlesi ony näçe wagtdan doly ereder? Wagt birliginde üst birligine düşýän Gün şöhlesiniň energiýasy $W = 350\ Wt/m^2$.

2.5.17. Massasy m=1,0 kg , temperaturasy $t_1 = -10{,}0^0 S$ bolan buz bölegini normal atmosfera basyşynda we $t_2 = 110{,}0^0 S$ temperaturada buga öwürmek üçin näçe ýylylyk mukdary gerek bolar?

2.5.18. Agzy ýapyk gabyň ýarysyna çenli temperaturasy $t = 0^0 S$ bolan suw guýulan. Bu gapdaky howa sordurylsa , onuň içindäki suwuň näçe mukdary doňar? Buzuň udel ýylylyk sygymy $r = 2{,}26\ MJ/kg$ we eremekliginiň udel ýylylygy $\lambda = 3{,}3 \cdot 10^5\ J/kg$.

Maddanyň göwrüminiň temperatura baglylykda üýtgemegini hasaba alyp, dykyzlygyň aňlatmasyny aşakdaky ýaly ýazyp bolar:

$$\rho = \frac{m}{V_0\left(1+\beta\Delta t\right)}.$$

Bu deňligi şol bir m massaly jisimiň iki dürli temperaturasy üçin ýazalyň:

$$\rho_1 = \frac{m}{V_1} \quad \text{we} \quad \rho_2 = \frac{m}{V_2},$$

bu ýerden bolsa,

$$\frac{\rho_2}{\rho_1} = \frac{V_1}{V_2} \quad \text{ýa-da} \quad \rho_2 = \frac{V_1}{V_2}\rho_1 .$$

Bu deňligi hem edil (2.6.3-nji) deňlige laýyklykda

$$\rho_2 = \frac{\rho_1}{1+\beta\Delta t}\ , \qquad (2.6.10)$$

ýazyp bolar.

Bu deňligi $\left(1-\beta\Delta t\right)$ köpeldip we bölüp alarys:

$$\rho_2 = \frac{\rho_1\left(1-\beta\Delta t\right)}{\left(1+\beta\Delta t\right)\left(1-\beta\Delta t\right)} = \frac{\rho_1\left(1-\beta\Delta t\right)}{1-\left(\beta\Delta t\right)^2}.$$

Bu deňlikdäki $\left(\beta\Delta t\right)^2 << 1$-digini hasaba alyp, maddanyň temperaturasynyň artmagy bilen onuň dykyzlygynyň azalýandygyny aňladýan ýönekeý aňlatma alarys:

$$\rho = \rho_1\left(1-\beta\Delta t\right) \ . \qquad (2.6.11)$$

$$l = l_0\left(1+\alpha\Delta t\right) \quad (2.6.7)$$

ýazyp bolar. Bu halda kubuň göwrümi :

$$V = V_0\left(1+\beta\Delta t\right).$$

Emma $V_0 = l_0^3$ we $V = l^3$. Diýmek,

$$l^3 = l_0^3\left(1+\beta\Delta t\right)^3 \quad . \quad (2.6.8)$$

Indi (2.6.7-nji) deňlikdäki l-iň bahasyny (2.6.8-nji) deňlikde goýup alarys:

$$l_0^3\left(1+\beta\Delta t\right)^3 = l_0^3\left(1+\alpha\Delta t\right)^3 = l_0^3\left[1+3\alpha\Delta t+3\alpha^2\left(\Delta t\right)^2+\alpha^3\left(\Delta t\right)^3\right].$$

Ýa-da bu deňlikdäki $\alpha^2\left(\Delta t\right)^2$ we $\alpha^3\left(\Delta t\right)^3$ agzalaryň juda kiçi bolany üçin olary hasaba alman ýazyp bolar:

$$\beta \approx 3\alpha . \quad (2.6.9)$$

Diýmek, göwrüm giňelmegiň temperatura koeffisiýenti uzynlygyna giňelmek koeffisiýentiniň üç essesine deňdir.

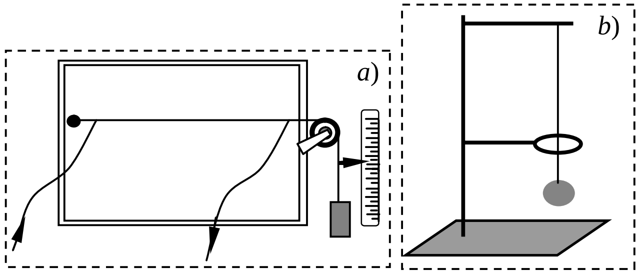
- **Maddanyň dykyzlygynyň temperatura baglylygy.** Maddanyň dykyzlygy onuň göwrüm birligindäki massasyna deňdir. Eger dykyzlygy ρ bilen bellesek, onda onuň kesgitlemesine görä:

$$\rho = \frac{m}{V}.$$

BAP 2. 6.
Gaty we suwuk maddalaryň ýylylykdan giňelmegi

2.6.1.Maddalaryň ýylylykdan giňemegi

Ölçegleri kiçi bolan maddalaryň ýylylykdan uzalýandyklaryny duýmak kyn. Ýöne uzynlygy 1,5-2 *m* (ýa-da



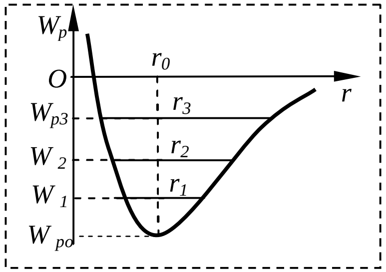
2.6.1-nji çyzgy.*Gyzdyrylanda (sowadylanda) jisimleriň ölçegleriň üýtgemegi*

ondan hem uzyn) bolan simiň temperaturasy üýtgedilse onuň ölçegleriniň temperatura göni baglanyşykda üýtgeýändigini görüp bolar. Munuň üçin bloguň üstünden geçirilen polat simiň bir ujyny berkidip, onuň ikinji ujuna şkalaly uzynlyk görkeziji dakmaly. Sim dartylyp durar ýaly onuň ujyna agramlyk daş asylýar. Soňra berlen temperaturada simiň başlangyç uzynlygy bellenilýär. Simiň üstünden elektrik tok geçirilende ol gyzýar (onuň temperaturasy artýar) we simiň uzalandygyny görkezijiden kesgitlenilýär (2.6.1-nji *a* çyzgy). Edil şonuň ýaly hem sowuk halynda ştatiwa berkidilen halkadan aňsat geçip duran ýüpden asylan şar gyzdyrylandan soňra göwrümine ulalýar we ony öňki halkadan geçirip bolanok (2.6.1-nji *b* çyzgy).

Jisimler sowadylanda seredilen mysallardaky polat simiň uzynlygy, şaryň göwrümi kiçelýär. Sowuk şar halkadan aňsat geçýär.

Gyşda howanyň sowuk döwri,elektrik, telefon simleriniň dartylýandyklaryny we tomsuň jöwzaly yssysynda bolsa salparýandyklaryny görüp bolýar.

Jisimler gyzanda olaryň geometrik ölçegleri ulalýar, sowadylanda bolsa kiçelýär. Bu hadysalar jisimleriň molekulalarynyň temperatura baglylykda özlerini alyp baryşlary boýunça düşündirilýär.



2.6.2 -nji çyzgy. *Molekulalaryň özara täsiriniň potensial energiýasynyň r-e baglylygy*

Gyzdyrylan maddalaryň giňelmeginiň molekulalaryň häsiýetleri boýunça düşündirilişi. Maddalaryň bu häsiýetlerini düşündirmek üçin olary düzýän molekulalaryň arasyndaky potensial energiýasynyň iki goňşy molekulanyň arasyndaky *r* uzaklyga baglylygynyň (2.1.3-nji) çyzgysyna täzeden çyzgydaky (2.6.2-nji) has aýdyň görnüşine seredeliň.

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \beta \Delta t = \beta\left(t - t_0\right) \ . \qquad (2.6.4)$$

Bu ýerde β -göwrümine giňelmegiň temperatura koeffisiýenti. Ol şol bir material üçin hemişelik ululyk bolup, temperatura 1*K* üýtgände maddanyň göwrüminiň $t = 0^0 S$ temperaturadaky göwrüminiň näçe bölegine üýtgändigini görkezýän ululykdyr. Umuman temperaturanyň juda uly bolmadyk çäklerinde gaty maddalaryň göwrümine giňelmek koeffisiýenti kiçidir $\left(10^{-5} - 10^{-4} K^{-1}\right)$. Gazlarda bolsa bu koeffisiýent gaty maddalardakydan has uludyr.

Ýokarda getirilen (2.6.4-nji) deňlikden

$$V = V_0\left(1 + \beta \Delta t\right) \ . \qquad (2.6.5)$$

Bu ýerde-de edil (2.6.3-nji) aňlatma laýyklykda

$$V_2 = V_1\left(1 + \beta \Delta t\right), \qquad (2.6.6)$$

ýazyp bolar. Bu ýerde V_1, V_2 – degişlilikde maddanyň t_1 we t_2 temperaturalardaky göwrümleri; $\Delta t = t_2 - t_1$.

Içi boş islendik görnüşdäki maddalaryň göwrümine giňelmegi edil şol görnüşli içi bütewi jisimleriňki ýalydyr.

- **Uzynlygyna we göwrümine giňelme koeffisiýentleriniň arabaglanyşygy.** Uzynlygyna giňelme koeffisiýenti α bilen β göwrümine giňelme koeffisiýentiniň arasynda kesgitli baglanyşyk bar. Bu baglanyşygy tapmak üçin gapyrgasynyň uzynlygy l_0 bolan kub alalyň we ony temperaturanyň Δt ululygyna çenli gyzdyralyň. Bu halda onuň uzynlygy Δl ululyga uzalar we (2.6.2-nji) aňlatma laýyklykda

$$l_1 = l_0\left(1+\alpha t_1\right),$$

$$l_2 = l_0\left(1+\alpha t_2\right)$$

bolar. Bu ýerden bolsa olary bir-birine gatnaşdyryp aňlatmalarda l_0 –yň täsiri bolmaz ýaly şert döredilýär:

$$\frac{l_2}{l_1} = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2}.$$

Ýa-da

$$l_2 = \frac{1+\alpha t_1}{1+\alpha t_2} l_1. \qquad (2.6.3)$$

Bu ýerde jisimleriň ýylylykdan uzynlugyna giňelmegi hasaplanylanda olaryň hemme ölçegleriniň galyňlygynyň, ininiň, tegelek jisimlerde tegelegiň uzynlygynyň we diametriniň hem üýtgeýändigini hasaba almalydygyny unutmaly däldir.

2.6.3. Maddalaryň ýylylykdan göwrümine giňelmegi

Ýokarda bellenilişi ýaly maddalar gyzdyrylanda olar göwrümine-de giňelýärler. Maddalaryň ýylylykdan otnositel göwrümine giňelmegi

$$\frac{\Delta V}{V_0} = \frac{V - V_0}{V_0}.$$

Temperaturanyň juda uly bolmadyk çäklerinde maddalaryň otnositel göwrümine giňelmegi olaryň temperaturasynyň üýtgemegine proporsionaldyr:

Bu çyzgydan görnüşi ýaly molekulalaryň özara täsiriniň potensial energiýasy r –e simmetriki bagly däl. Ol r_0 nokatdan başlap r – iň kiçelmegi bilen W_{p0} minimal bahadan örän çalt we r ulalanda bolsa oňa görä haýalrak artýar.

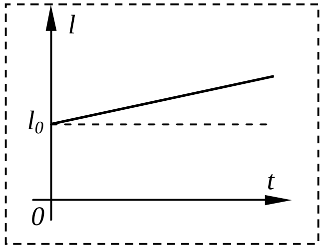
Maddalar absolýut nol temperaturada bolan bolsadylar, onda molekullaryň deňagramlylyk halynda olar bir-birinden minimal potensial energiýanyň W_0 bahasyna kybap gelýän r_0 aralykda ýerleşerdiler. Temperaturanyň ýokarlanmagy bilen molekulalar özleriniň deňagramlylyk halynyň töwereginde yrgyldap başlaýarlar. Molekulalaryň yrgyldysynyň gerimi olaryň $<W>$ orta energiýasynyň bahasy bilen kesgitlenýär. Eger, molekulalaryň özara täsiriniň potensial energiýasynyň egrisi simmetrik bolan bolsady, onda iki goňşy molekulanyň arasyndaky orta r_0 uzaklyk öňküligine galardy. Bu bolsa molekulalaryň arasyndaky uzaklygyň maddalaryň temperaturasyna düýpgöter baglanşyksyzlygyny aňladardy. Ýagny maddalaryň temperaturasynyň üýtgemegi (artmagy ýa- da kemelmegi) onuň geometrik ölçeglerini üýtgetmezdi. Hakykatda bolsa molekulalaryň özara täsiriniň potensial egrisiniň r – e baglylyk grafigi simmetrik däl. Şonuň üçin hem $<W_1>$ orta energiýada molekulanyň yrgyldysynyň orta aralygy $r_1 > r_0$ uzaklyga laýyk gelýär.

Iki goňşy molekulanyň arasyndaky orta uzaklygyň üýtgemegi, ol maddany düzýän hemme molekulalaryň arasyndaky uzaklygyň üýtgemegini aňladýar.

Maddanyň gyzmagy onuň orta energiýasynyň $W_1 < W_2 < W_3 < ... < W_k$ bahalara deň bolmagyna molekulalaryň arasyndaky orta uzaklygyň degişlilikde $r_1 < r_2 < r_3 < ... < r_k$ üýtgemegini döredýär (2.6.2-nji çyzgy).

2.6.2.Maddalaryň ýylylykdan uzynlygyna giňelmegi

Gaty maddalar endigan gyzdyrylanda ýa-da sowadylanda özleriniň daşky görnüşlerini (formalaryny) üýtgetmeýärler, ýöne olar uzynlygyna giňeýärler. Suwuklyklar gyzdyrylanda özleriniň daşky görnüşini üýtgedip bilýär. Meselem, termometrdäki simap gyzdyrylanda ol kapillýaryň içine girýär we şar görnüşden kapillýar görnüşe geçýär. Şonuň üçin hem suwuklyklar bilen iş salyşylanda olar ýylylykdan göwrümine giňelýär diýilýär. Diýmek, maddalar ýylylykdan uzynlygyna we göwrümine giňelýärler.



2.6.3-nji çyzgy. *Gaty jisimiň ýylylykdan uzynlygyna giňelmegi*

Geçirilen tejribelerden mälim bolşy ýaly temperaturanyň örän uly bolmadyk çäklerinde gaty jisimiň uzynlygyna giňelmegi temperatura göni bagly (2.6.3-nji çyzgy).

Jisimleriň ýylylykdan uzynlygyna giňelmesi hakynda gürrüň edilende onuň başdaky, ýagny $t=0\ ^0S$ temperaturadaky l_0 uzynlygyna görä uzalmagyna baha bermek amatlydyr. Sebäbi şol bir materialdan ýasalan dürli uzynlykly jisimleriň absolýut ýzalmagy birmeňzeş däldir. Şonuň üçin hem absolýut uzalma berlen materiallar üçin kesgitleýji ululyk däldir. Jisimleriň ***absolýut uzalmasy*** onuň t temperaturadaky uzynlygyndan $t=0\ ^0S$ temperaturadaky l_0 uzynlygynyň tapawudyna $\Delta l = l_t - l_0$ aýdylýar**.** ***Otnositel uzalma*** bolsa absolýut uzalmanyň l_0 uzynlyga bolan gatnaşygyna aýdylýar $\Delta l / l_0$. Otnositel uzalma jisimiň temperaturasynyň $\Delta t = t - t_0$ üýtgemegine göni baglydyr:

$$\frac{\Delta l}{l_0} = \alpha \Delta t\ . \qquad (2.6.1)$$

Bu ýerde α jisimleriň uzynlygyna (çyzykly) giňelmeginiň temperatura koeffisiýenti diýilýär. ***Ol jisimiň temperaturasynyň 1K üýtgäninde onuň otnositel uzynlygynyň näçe üýtgändigini görkezýär.*** Uzynlygyna giňelmegiň temperatura koeffisiýenti jisimleriň tebigatyna baglydyr. Berlen jisim üçin ol hemişelik ululykdyr.Ölçegleriň Halkara birliginde uzynlygyna giňelmegiň temperatura koeffisiýenti

$$[\alpha] = \left[\frac{\Delta l}{l_0 \Delta t}\right] = \left[K^{-1}\right]$$

birlikde hasaplanylýar. Köp materiallar üçin bu koeffisiýent $10^{-5} - 10^{-6}\ K^{-1}$ aralykdadyr. Demir bilen nikeliň garyndysyndan (splawyndan) ýasalan materiala ***inwar*** diýilýär. Bu material üçin temperaturanyň (-30-dan +100)^0S aralygynda α -nyň ululygy juda kiçidir. Şonuň üçin hem inwar uzynlyk kesgitleýji takyk gurallary ýasamak üçin ulanylýar.

Ýokarda getirilen (2.6.1-nji) deňlikden jisimleriň uzynlygynyň temperatura baglylygyny hasaplamaga mümkinçilik berýän aňlatmany alyp bolar:

$$l = l_0 \left(1 + \alpha \Delta t\right)\ . \qquad (2.6.2)$$

Adatça bu aňlatmadaky başlangyç temperaturany $t_0 = 0^0 S$ hasaplanylýar. Durmuşda bolsa bu temperaturaly jisim bilen elmydama iş salşylanok. Şol sebäpli bu deňligi derňelýän jisimiň iki dürli temperaturasy üçin ýazyp

Diýmek, $3 \to 2 \to 4 \to 3$ prosesde gazyň ýerine ýetirýän işi hem uludyr. Bu iş p,V diagrammada halkanyň meýdanyna deňdir. Şunlukda, $A_1 = (p_2 - p_1)(V_4 - V_1) = p_2V_4 - p_1V_4 - p_2V_1 + p_1V_1$ 1,2,3,4 nokatlaryň her birisi üçin gaz halynyň $(pV = RT)$ deňlemesini ýazalyň. $p_1V_1 = RT_1$; $p_2V_2 = RT_2$; $p_3V_3 = RT_3$ we $p_4V_4 = RT_4$. Indi çyzgy boýunça $p_3 = p_1$, $p_4 = p_2$, $V_1=V_2$, $V_3=V_4$, $T_2=T_3=T$ bolýandygyny hasaba alyp, getirilen deňliklerden $T/T_1 = T_3/T$. Gazyň ýerine ýetiren işi $A = RT_1 - 2RT + RT_3 = R(T_1 - 2T + T_3) = R\left(T_1 - 2\sqrt{T_1T_3} + T_3\right) = R\left(\sqrt{T_1} - \sqrt{T_3}\right)^2$.

2.2.10*. Hemişelik göwrümde gaz garyndysyna berilýän δQ_V ýylylyk mukdary $\delta Q_V = c_V mdT$ (1); bu ýerde $m=m_1+m_2$. Bu ýylylyk mukdary gaz garyndysynyň her birini gyzdyrmaklyga harçlanýar: $\delta Q_V = \delta Q_{V1} + \delta Q_{V2}$, $\delta Q_{V1} = c_{V1} m_1 dT$, $\delta Q_{V2} = c_{V2} m_2 dT$ (2).Onda $c_V mdT = c_{V1} m_1 dT + c_{V1} m_1 dT \Rightarrow$ $c_V = \dfrac{c_{V1}m_1 + c_{V2}m_2}{m_1+m_2}$ (3). Bu ýerde $c_{V1} = \dfrac{i_1}{2}\dfrac{R}{M_1}$ -kömürturşy gazynyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy, $i_1=6$ – kömürturşy gazynyň molekulasynyň erkinlik derejesi, M_1 –onuň molýar massasy. $c_{V2} = \dfrac{i_2}{2}\dfrac{R}{M_2}$ - azodyň hemişelik göwrümdäki udel ýylylyk sygymy, i_2 =5. Bu ululyklardan peýdalanyp gutarnykly:

$c_V = \dfrac{R}{2}\left(\dfrac{i_1m_1}{M_1} + \dfrac{i_2m_2}{M_2}\right)\cdot\dfrac{1}{m_1+m_2}$ (4). Edil (3) esasynda $c_p = \dfrac{c_{p1}m_1 + c_{p2}m_2}{m_1+m_2}$ (5).

Bu ýerde: $c_{p1} = \dfrac{i_1+2}{2}\cdot\dfrac{R}{M_1}$, $c_{p2} = \dfrac{i_2+2}{2}\cdot\dfrac{R}{M_2}$, ýa-da gutarnykly

$c_p = \dfrac{R}{2}\left(\dfrac{(i_1+2)m_1}{M_1} + \dfrac{(i_2+2)m_2}{M_2}\right)\cdot\dfrac{1}{m_1+m_2}$ (6). Ýokardaky (4) we (6) aňlatmalar boýunça geçirilen hasaplamalaryň netijesinde $c_V = 667\, J/(kg\cdot K)$; $c_p = 917\, J/(kg\cdot K)$.

Ýylylykdan giňelme käbir halatlarda tehnikada ýylylyk sazlaýjylaryny (termoregulýatorlary) ýasamak üçin peýdalanylýar. Mysal üçin ýylylyk giňelme koeffisiýenti dürli bolan mis we demir insiz tekiz plastina (tekizçe) görnüşde alnyp, bir-birine kebşirlenýär. Munuň ýaly gurluşly plastina bimetal diýilýär. Plastina gyzdyrylanda ol güberçek hala geçýär. Misiň ýylylykdan giňelme koeffisiýentiniň demriňkiden has uly bolany üçin ol plastinanyň güberçek üstünde bolar. Gurluşyň bu häsiýetini dürli temperaturada barlap, onuň egrilik radiusy bilen temperaturanyň arasyndaky baglanyşyk grafigini gurup özboluşly termometr we ýylylyk sazlaýjylar ýasalýar.

Gönükme 2.6.

2.6.1. Arabanyň agaç tigri ýasalanda onuň daşyna demir halka geýdirýärler. Adatça bu demir halkanyň diametri tigriň diametrinden kiçi edilip guýulýar we gyzgyn halda geýdirilýär. Diametri 100 *sm* bolan agaç tigre ondan 5 *mm* kiçi diametrli demir halkany geýdirmek üçin halkanyň temperaturasyny oňküsinden näçe gradus gyzdyrmaly bolar? Demriň uzynlygyna giňelmeginiň temperatura koeffisiýenti $\alpha = 12\cdot 10^{-6} K^{-1}$.

2.6.2. Eger, demir we mis lineýkalaryň $t' = 50\,^0S$ we $t'' = 450\,^0S$ temperaturalarda uzynlyklarynyň tapawudy moduly boýunça $\Delta l = 2sm$ -e deň bolsa, olaryň $t_0=0^0S$ temperaturadaky uzynlyklaryny kesgitlemeli. Demiriň we misiň uzynlygyna giňelmeginiň temperatura koeffisiýentleri degişlilikde $\alpha_{Fe} = 12\cdot 10^{-6} K^{-1}$, $\alpha_{Cu} = 17\cdot 10^{-6} K^{-1}$.

2.6.3. Metal maýatnikli sagat temperatura $t_1 = 15\,^0S$ bolanda gije gündiziň dowamynda $\tau_1 = 5s$ öňe gidýär we temperatura $t_2 = 30\,^0S$ bolanda bolsa ol gije gündiziň dowamynda $\tau_2 = 10s$ yza galýar. Maýatnigiň metalynyň uzynlygyna giňelmeginiň α temperatura koeffisiýentini kesgitlemeli. Maýatnigiň yrgyldysynyň periodyny $T = 2\pi\sqrt{l/g}$ deň hasaplamaly (l-maýatnigiň uzynlygy; g –erkin gaçmanyň tizlenmesi).

2.6.4. Aýna ballon $t_0=0^0\ S$ temperaturada m_0 =100 g simaby ýerleşdirýär. Temperatura $t = 20\,^0S$ bolanda bolsa ol m =99,7 g simaby ýerleşdirýär. (Iki halda hem simabyň temperaturasyny gabyň temperaturasyna deň hasaplamaly). Simabyň göwrümine giňelmeginiň temperatura koeffisiýentini $\beta = 18 \cdot 10^{-5} K^{-1}$ hasaplap, aýnanyň uzynlygyna giňelmeginiň α temperatura koeffisiýentini kesgitlemeli.

2.6.5. Demir bölegini gyzdyrmak üçin Q =400 *kkal* ýylylyk harç edilen. Demir böleginiň göwrüminiň ΔV üýtgemegini kesgitlemeli.

2.6.6. Suw we kerosin $t_0=0^0$ S temperaturada birmeňzeş V=4 l göwrümi eýeleýärler. Olaryň $t = 50\,^0S$ temperaturadaky eýe bolýan göwrümleriniň tapawudyny kesgitlemeli.

2.6.7. Demir çelege $t_0=0^0$ S temperaturada V_0 =50 l kerosin sygýar. Eger bu çelegi $t = 20\,^0S$ temperaturaly otagda goýsak, kerosiniň näçe mukdardaky Δm massasy döküler?

2.6.8*. Butnawsyz asmadan sapak bilen asylan massasy m=100 g bolan polat şarjagaz kerosine batyrylan. Eger, olaryň hemmesini T_1= 293 K – den T_2 =323 K-e çenli gyzdyrylsa sapagyň T dartuw güýji nähili üýtgär?

2.6.9. Temperatura t_0 = 0 ^{0} S bolanda spirtiň göwrümi V_0 =500 sm^3, massasy m=400 g. Onuň t = 15 ^{0} S temperaturadaky ρ dykyzlygyny kesgitlemeli.

2.6.10. Beýikligi h=6,0 m, esasynyň diametri d=5 sm bolan demirden ýasalan silindr sisterna nebit guýulan. Temperatura t_0 = 0 ^{0} S bolanda nebit sisternanyň ýokarky erňegine h_1 =20,0 sm ýetenok. Näçe gradus temperaturada nebit sisternanyň ýokarsyndan döküler?

Gönükmeleriň jogaplary we çözgütleri

Gönükme 1.1.

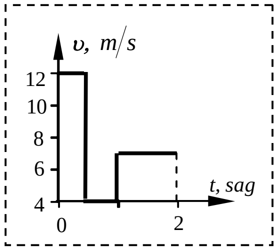
1.1.1. *a; b.* **1.1.2.** $\upsilon_{or} = \dfrac{2\upsilon}{n+1} = 16\, m/s$.

1.1.3. Aşaky şarjagazyň hereket wagty az.

1.1.4. Hawa, biler.

1.1.6. t=2 wagtdan duşuşarlar.

1.1.7. $\upsilon_{ort} = \dfrac{S_1 + S_2}{\dfrac{S_1}{\vartheta_1} + t_0 + \dfrac{S_2}{\vartheta_2}} = 1{,}67\, m/s$.



1.1.7.-nji gönükmäniň çyzgysy

Gönükme 2.1.

2.1.1. $N = 1 \cdot 10^9$. **2.1.2.** $a = 2{,}8 \cdot 10^{-10} m$.

2.1.3. $N_1/N_2 \approx 25$. **2.1.4.** Gazyň basyşy ulalar.

2.1.5*. $p = 176 kPa$. **2.1.6.** $\nu = 50\, mol$.

2.1.7. m=1,8 kg. **2.1.8.** $\langle W_{k(O_2)} \rangle = \langle W_{k(O_2)} \rangle = 6{,}2 \cdot 10^{-21} J$; $\langle W_{ort.kw.(O_2)} \rangle = 480\, m/s$; $\langle W_{ort\,kw.(H_2)} \rangle = 1900\, m/s$; **2.1.9.** $n = 2 \cdot 10^{25} m^{-3}$.

2.1.10. $n_0 = 2{,}69 \cdot 10^{25}\, m^{-3}$; $m = 3{,}3 \cdot 10^{-27}\, kg$. **2.1.11.** $\Delta m \approx -2{,}2 kg$.

2.1.12. $p_0 = 3{,}7\, kPa$. **2.1.13.** $p = 7{,}5 \cdot 10^3 Pa$.

2.1.14. $N \approx 6 \cdot 10^{27}$. **2.1.15.** $\rho = 0{,}48\, kg/m^3$.

2.1.16. $p_1 = \dfrac{p \pm \sqrt{p^2 + \dfrac{2mgp}{S}}}{2}$. **2.1.17*.** $m = \dfrac{p_1 S}{g}\left(\dfrac{T_2 - T_1}{T_1}\right)$.

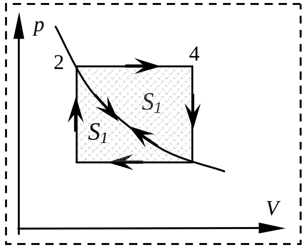
2.1.18. $\vartheta = 1{,}1\, m/s$.

Gönükme 2.2.

2.2.1. x= 2,9 sm. **2.2.2.** $c_p = 916\, J/(kg \cdot K)$; $A = 2{,}59\, J$; $\Delta U = 6{,}57\, kJ$. **2.2.3.** $A' = \dfrac{m}{M} R \Delta T$. **2.2.4.** Ýok üýtgemez.

2.2.5. $\Delta U = 7{,}2\, J$. **2.2.6.** Q=1480 J.

2.2.7*. $\eta = 0{,}375$. **2.2.8.** $\eta_{mak} = 0{,}82$.



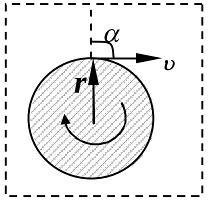
2.2.9-njy gönükmäniň çyzgysy

2.2.9*. Mendeleýew-Klapeýronyň deňlemesinden $\left(pV = \dfrac{m}{M}RT\right)$. Şerte görä p-T diagrammada $1 \to 2$ we $3 \to 4$ izohoralar koordinata başlangyjyndan geçýän göni çyzyklardyr. Degişlilikde 2 we 3 nokatlar izoterma degişli nokatlardyr (çyzga seret) .Onda prosesleri p,V koordinatalarda getirsek, ol (2.2.9-njy) gönükmä degişli çyzgydaky görnüşi alar. Bu çyzga laýyklykda $2 \to 3$ (3→2) egrileriň izotermalardygy sebäpli (2-4-3-2) halkanyň meýdanynyň (2-3-1-2) halkanyň meýdanyndan ulydygy çyzgydan görünýär.

1.7.5. $a_m = \left(\dfrac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2}\right)^2 g$ we aşak ugrukdyrylan.

1.7.6. Diskiň kinetik energiýasy onuň öňe bolan we aýlawly hereketleriniň kinetik energiýalarynyň jemine deňdir:

$$W_k = \frac{m\upsilon^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2} = \frac{3m\upsilon^2}{4} = 24\ J.$$



1.7.9-nji gönükmäniň çyzgysy*

1.7.7. $W_k = 0{,}1\ J.$

1.7.8*. $J = 9{,}7 \cdot 10^{27}\ kg \cdot m^2;\quad L = 7 \cdot 10^{33}\ kg \cdot m^2/s.$

1.7.9*. Impulsyň momenti wektor görnüşde $\boldsymbol{L} = [\boldsymbol{r} \times \boldsymbol{K}]$, bu ýerde $\boldsymbol{r}$ radius wektor, $\boldsymbol{K} = m\upsilon$ - impuls . Ýa-da impulsyň momentiniň aňlatmasyny skaýar görnüşde $L = rK\sin\alpha = m\upsilon r$ (1), ýazyp bolar. Çyzgy boýunça $\alpha = \pi/2$ .Aýlanma hereketdäki jisimiň kinetik energiýasy $W_k = J\omega^2/2$ (2) . Inersiýa momenti $J = mr^2/2$,(3) bitewi tigriň burç tizligi $\omega = 2\pi n$ (4). (2)- (4) aňlatmalaryň esasynda $W_k = mr^2\pi^2 n^2 \Rightarrow m = \dfrac{W_k}{r^2\pi^2 n^2}$ (5). Bitewi tigriň aýlanma ýygylygy $v = 2\pi n r$ (6). (5) - (6) we (1) aňlatmalardan $L = 2W_k/\pi n = 7{,}6\ kg \cdot m^2/s$.

1.7.10. $\beta = 2{,}35\ rad/s$.   **1.7.11.** $M = \beta m l^2 \beta/12 = 0{,}025\ N \cdot m.$

1.7.12. $\omega = \dfrac{m\vartheta r}{J + mr^2} = 1{,}02\ rad/s.$ **1.7.13.** $\boldsymbol{r}_c = \sum\limits_{i=1}^{N} m_i \boldsymbol{r}_i \Big/ \sum\limits_{i=1}^{N} m_i.$

1.7.14 Material nokatlar ulgamynyň massalar merkeziniň radius-wektory

$\boldsymbol{r}_c = \dfrac{1}{m}\sum\limits_{i=1}^{n} m_i \boldsymbol{r}_i$ aňlatma arkaly tapylýar. Bu meselede

$i = 2,\ m = m_1 + m_2$, onda $\boldsymbol{r}_c = \dfrac{1}{m}\left(m_1\boldsymbol{r}_1 + m_2\boldsymbol{r}_2\right) = \dfrac{1}{m_1 + m_2}\left(m_1\boldsymbol{r}_1 + m_2\boldsymbol{r}_2\right).$

Indi $m_1 = m,\quad m_2 = 2m$ hasaba alyp, taparys:

$\boldsymbol{r}_2 = \dfrac{1}{3m}\left(mr_1 + 2m\boldsymbol{r}_2\right) = \dfrac{\boldsymbol{r}_2 + 2\boldsymbol{r}_2}{3}$. **1.7.15 .** $\boldsymbol{r}_c = \left(1{,}4\boldsymbol{e}_x + 11\boldsymbol{e}_y + 11\boldsymbol{e}_z\right)/6.$

1.7.16. nola deň.

1.1.8. $\upsilon = \dfrac{2S\upsilon_0}{S - \upsilon_0 t} = 41,4\ m/S$.

1.1.9. $<\upsilon> = \dfrac{2\upsilon_1\upsilon_2}{\upsilon_1 + \upsilon_2} = 12{,}3 km/sag$; $u = \dfrac{\upsilon_2 - \upsilon_1}{2} = 3km/sag$.

1.1.10*. $\upsilon = \sqrt{\upsilon_0\left(\upsilon_0 - 2L/t\right)}$.   **1.1.11.** $\alpha = 60^0$.

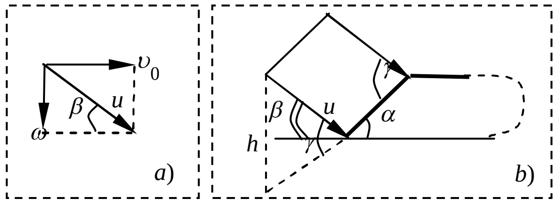
1.1.12*. $\upsilon_2 = 19\ m/s$.

1.1.13*. Uçaryň sürüjisiniň öňündäki aýna düşýän ýagyş damjalarynyň N_1 sanyny kesgitlemek üçin biz samolýotyň tizligini $\upsilon = -\upsilon_0$ kabul edeliň. Bu tizligi uçaryň sürüjisiniň öňündäki gorizontala ýapgyt ýerleşen aýnanyň üstüne u tizlik bilen düşýän ýagyş damjalarynyň β burçuny ω, υ_0 we u tizlikler bilen baglanyşdyralyň (gönükmäniň *a çyzgysy*): $\sin\beta = \omega/u;\ \cos\beta = \upsilon_0/u$ (1). Ýapgyt aýna düşýän damjalaryň sany $N_1 = nV$. Bu ýerde $V = S \cdot h$ (gönükmäniň *b* çyzga laýyklykda) ýapgyt aýnanyň S meýdany bilen h beýikligiň döredýän prizmasynyň göwrümi. Bu çyzga laýyklykda $h = u\sin\gamma$ .Onda $V = Sh = Su\sin(\alpha + \beta) =$

$= Su\left(\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta\right)$ Bu aňlatmany ulanyp,

$N_1 = nSu\left(\sin\alpha\cos\beta + \cos\alpha\sin\beta\right);$ (1) aňlatmany ulanyp, bu deňligi ýazyp bolar:

$N_1 = nS\left(\upsilon_0\sin\alpha + \omega\cos\alpha\right) = nS\left(\omega\cos\alpha - \upsilon\sin\alpha\right)$ (2). Uçaryň sürüjisiniň

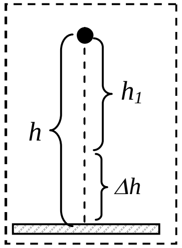


1.1.13-nji gönükmäniň çyzgysy*

depesindäki gorizontal aýna düşýän damjalaryň N_2 sanyny $\alpha = 0$ şerte laýyklykda (2-nji) aňlatmada $\sin\alpha = 0,$ we $\cos\alpha = 1$ hasaplap bolar $N_2 = nS\omega$ (3). Indi gutarnykly $\dfrac{N_1}{N_2} = \cos\alpha - \dfrac{\upsilon}{\omega}\sin\alpha$.

1.1.14. $S_1=\frac{gt_1^2}{2}=4,9m$; $S_2=h-\frac{g\left(\sqrt{\frac{2h}{g}}-t_2\right)^2}{2}=132m$.

1.1.15*. Gönükmäniň şertine görä jisim özünüň hereketiniň iň soňky $\tau=1s$ wagtyna çenli ýokardan aşak $h_1=\frac{2}{3}h$ beýikligi t_1 wagtda geçýär. Onda jisimiň ýokardan aşak doly erkin gaçmak wagty: $t=t_1+\tau$ (1). Çyzga laýyklykda jisimiň gaçýan beýikligi $h=h_1+\Delta h$ (2). Erkin gaçýan jisimiň hereketiniň deňlemesine laýyklykda $h_1=gt_1^2/2$; $h=gt^2/2$ (3).



1.1.15-nji gönükmäniň çyzgysy*

Indi (2-nji) deňlikden $h_1=h-\Delta h$ ýa-da $\frac{1}{3}h=\frac{gt^2}{2}-\frac{gt_1^2}{2}$. Bu deňlikde (1 we 2-nji) aňlatmalary goýup $\frac{t^2}{2}-\frac{(t-\tau)^2}{2}=\frac{t^2}{6}$ (3) alarys. Bu deňlemäni işläp, gönükmäniň şertine görä $\tau=1s$ göz öňünde tutup, $t^2-6t-3=0$ (4) kwadrat deňlemäni alarys. Kwadrat deňlemeden: $t_{1,2}=3\pm\sqrt{9-3}=3\pm 2,4$. Diýmek jisimiň erkin gaçma wagty t=5,4 *s*. Onuň gaçýan beýikligini bolsa (2-nji) deňlik boýunça $h=gt^2/2=143\ m$.

1.1.16*. $\upsilon_0=(h_1-h_2)/t\approx 3,7\,m/s$. **1.1.17*.** $h=\frac{gt^2}{2}=107m$.

1.1.18. $\upsilon=\sqrt{\upsilon_0^2+g^2t^2-2(\upsilon_0\sin\alpha)gt}$; $\beta=arctg\left(\frac{\upsilon_0\sin\alpha-gt}{\upsilon_0\cos\alpha}\right)$.

1.1.19. Daş bu beýiklikde t_1=0,28 *s* –da we t_2= 0,75 *s*-da iki gezek bolýar.

1.5.13*. $m_2(\sin\alpha-\mu\cos\alpha)<m_1<m_2(\sin\alpha+\mu\cos\alpha)$.

1.5.14*. $\alpha=arctg\frac{1}{2}=27^0$; $T=\frac{\sqrt{5}}{2}mg\approx 1,1mg$.

Gönükme1.6.

1.6.1. h =10,2 *m*. **1.6.2.** $F_1=2\cdot 10^3\sqrt{2}\ N$; $F_2=0$.

1.6.3. Suwly çüýşe aşak çümer, simaply çüýşe bolsa simapda ýüzer.

1.6.4. $V=m\left(\frac{2}{\rho_s}-\frac{1}{\rho}\right)\approx 9350\,sm^3$. **1.6.5.** $F=\pi\left(R^2-r^2\right)P$.

1.6.6. $x=H-\frac{R^2}{r^2}\left(1+\frac{a}{r}\right)\left(\frac{\rho}{\rho_0}-1\right)h$.

1.6.7. 1) CO_2 kömürturşy gazy H_2 wodorodyň içine akar;
2) H_2 wodorod CO_2 kömürturşy gazyyň içine akar.

1.6.8. Turbadaky simap sütüniniň basyşy içi simaply okaranyň üstündäki atmosfera basyşyna deňleşýänçä turbanyň aşaky esasyndan onuň içine döküler.

1.6.9. $d_a=2,5\cdot 10^3\ kg/m^3$.

1.6.10*. $\rho_2=\frac{\rho_0\rho_1 gP_2}{(P_1+P_2-T)\rho_1-P_1\rho_0}=0,24\frac{g}{sm^3}$;

$$V_2=\frac{\left(P_1+P_2-T\right)\rho_1-P_1\rho_0}{\rho_0\rho_1 g}=5\cdot 10^{-6}m^3.$$

1.6.11. $\frac{P_a}{P_1}\approx 73\%$; $\frac{P_k}{P_1}\approx 27\%$. **1.6.12.** $a=\left(\frac{V\rho_0 g}{P+V_1\rho_1 g}-1\right)g\approx 1\frac{m}{s^2}$.

1.6.13. $tg\alpha=\frac{a}{g}$. **1.6.14.** $h=V_2^2/\left(2gS^2\right)=5m$.

Gönükme 1.7.

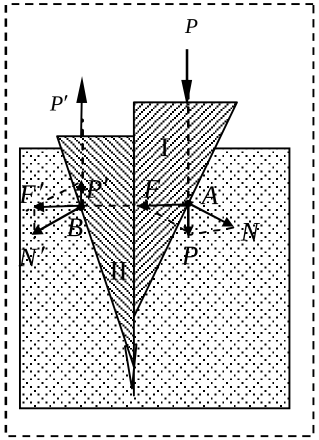
1.7.1. $n=96$ *aýl / min*. **1.7.2.** a) $\upsilon_{.1}=465m/s$; b) $\upsilon_{.2}=233\,m/s$.

1.7.3. $\upsilon=\frac{2R}{r}\sqrt{\frac{hmg}{m_1+2m}}=21\frac{m}{s}$. **1.7.4.** $S=\frac{3}{4}\frac{\upsilon_0^2}{g\sin\alpha}=7,5m$.

1.4.13. $c = 330\,m/s$. **1.4.14.** $\nu = const;\ \lambda_{suw}/\lambda_{howa} = 4{,}4$.

Gönükme 1.5.

1.5.1. Gönükmäni çözmek üçin I pahna täsir edýän P güýji onuň täsir ugruny saklap, A nokada geçireliň we ol ýerde ony bu pahnanyň üstüne perpendikulýar ygrugan N, pahnanyň esasyna parallel ugrugan F güýçlere dargydalyň. Bu ýerde N güýç pahnanyň kakylýan tagta böleginiň özüne deň bolan reaksiýa güýjüni döredýär. F güýç bolsa öň kakylan II pahna täsir edýär we onuň reaksiýa güýjüni döredýär. F güýji II pahnanyň tagta bölegine direnýän B nokadyna geçireliň we ony P' we N' düzüjilere dargadalyň. P' güýç II pahnany çykarmaklyga ýardam berýän güýçdür. Hakykatdan hem pähim dogry.



1.5.1-nji gönükmäniň çyzgysy

1.5.2. $\mu \geq tg15^0 = 0{,}268$. **1.5.3***. $T = mg\dfrac{l+R}{\sqrt{l^2+2lR}}$; $F = mg\dfrac{R}{\sqrt{l^2+2lR}}$.

1.5.4. $M = \dfrac{2}{5}mR^2\left(2B+6Ct\right) = -0{,}1\,N\cdot m$.

1.5.5. $M = A/\left(2\pi N\right) \approx 8\cdot 10^{-3}\,N\cdot m$.

1.5.6. Ştanga goýlan güýjüň egnini artdyrmak üçin.

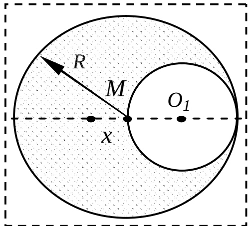
1.5.7. $F = \dfrac{9{,}8}{2\sqrt{3}}\,N$.

1.5.8. *a*) parallel birikdirmede $k = k_1 + k_2$;

b) yzygider birikdirmede $1/k = 1/k_1 + 1/k_2$.

1.5.9. N_1=6,9 *kN;* N_2=3,9 *kN.* **1.5.10.** $x = R/6$.

1.5.11*. $x = 2r/\pi$.



1.5.10-njy gönükmäniň çyzgysy

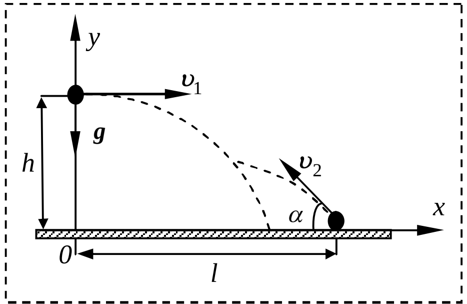
1.5.12. Ulgamyň agyrlyk merkezi üçburçlygyň medianasynyň kesişme nokadynda ýerleşendir.

1.1.20*. Zyňylan daşlaryň hereket deňlemeleri degişlilikde $y_1 = \upsilon_1 t - \dfrac{gt^2}{2}$; $y_2 = h_2 - \dfrac{gt^2}{2} = \upsilon_2 t\sin\alpha - \dfrac{gt^2}{2}$. Daşlar duşuşanlarynda $y_1 = y_2$, onda

$$\upsilon_1 t - \frac{gt^2}{2} = \upsilon_2 t\sin\alpha - \frac{gt^2}{2}.$$

Bu ýerden bolsa $t = h/\left(\upsilon_2\sin\alpha\right)$. Daşlaryň hereket deňlemeleriniň x oka proýeksiýalary

$$x = x_0 + \upsilon_{0x}t + \frac{a_x t^2}{2},$$



1.1.20-nji gönükmäniň çyzgysy

deňlemeden tapyp bolar. Bu ýeýrde x_0 – hereketiň başlangyç koordinatasy.. Birinji we ikinji daşyň zyňylandan soňra t wagtda x ok boýunça geçen aralyklary $x_1 = \upsilon_1 t$ we $x_2 = l - \upsilon_2 t\cos\alpha$. Daşlar çakyşanlarynda $x_1 = x_2$, onda

$$\upsilon_1 t = l - \upsilon_2 t\cos\alpha \;\Rightarrow\; l = \left(\upsilon_1 - \upsilon_2\cos\alpha\right)t = \left(\upsilon_1 - \upsilon_2\cos\alpha\right)\frac{h}{\upsilon_2\cos\alpha} = 40{,}4\,m.$$

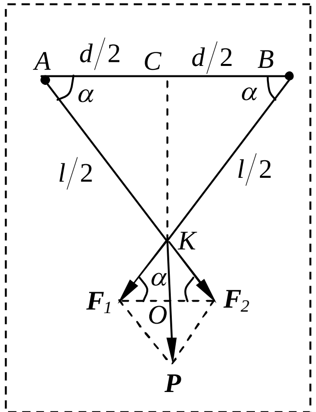
Gönükme 1.2.

1.2.1. F=3,2 *N.*

1.2.2. Başda $\boldsymbol{P}$ agyrlyk güýjüni $\boldsymbol{F}_1$ we $\boldsymbol{F}_2$ düzüjilere dargadalyň. Bu halda sapak $\boldsymbol{F}_1 = \boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{P}$ şert ýerine ýetende üzüler. Çyzgydan $OK = P/2$; $\sin\alpha = OK/F_2 = P/\left(2F_2\right)$. Ýa-da ýüpüň üzülme şertini hasaba alyp, $F_2 = P$. Onda $\sin\alpha = \dfrac{P}{2F_2} = \dfrac{P}{2P} = \dfrac{1}{2}$. Ýagny $\alpha = 30^0$. Onda ΔACK – dan $\cos\alpha = \dfrac{AC}{AK} = \dfrac{d/2}{l/2} = \dfrac{d}{l} \Rightarrow$

$$d = l\cos\alpha = 1m\cdot\cos 30^0 = 0{,}87m.$$

Diýmek, sapagyň arasy d=0,87 *m* bolanda ol üzüler.



1.2.2. –nji gönükmäniň çyzgysy.

1.2.3. Ýük tagtanyň ujundan x=0,6 m daşlykda asylan.

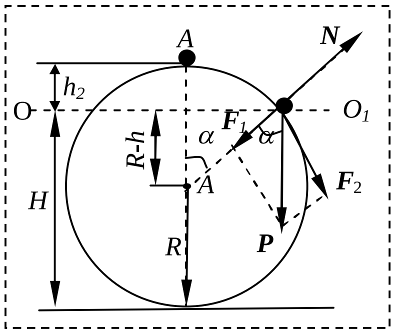
1.2.4. $F = 2S\, m/t^2 = 2{,}04\cdot 10^3\, N$. **1.2.5.** $F = 27{,}5\cdot 10^3\, N$ **.**

1.2.6*. $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{l\cos\alpha}{g}}$ **.** **1.2.7*.** Goý togalajyk jisim A nokatdan B nokada ornuny üýtgesin. Bu nokatda şarjagaza täsir edýän güýçleriň ugrundan görnüşi ýaly $\boldsymbol{N}$ reaksiýa güýji OO_1 ugra ugruganda şarjagaz sferik üstden gopar. Bu şertde $\boldsymbol{F}_1 = \boldsymbol{F}_{my}$. Çyzgy boýunça

$F_1 = P\cos\alpha = mg\cos\alpha$. $F_{my} = m\upsilon^2/R$. Onda $mg\cos\alpha = \dfrac{m\upsilon^2}{R}\ (1)$.

Şarjagazyň sferanyň üstünden gopan pursaty onuň υ_B tizligini energiýanyň saklanma we öwrülme kanunyndan tapmaly. Munuň üçin Şarjagazyň A we B nokatlardaky doly energiýasyny ýazalyň:

$W_A = W_{pA} = mgh;\ W_B = W_{pB} + W_{kB} = mgH + \dfrac{m\upsilon_B^2}{2}$. Şerte gärä $\boldsymbol{F}_s$=0 bolany üçin W_A=W_B: $mgh = \dfrac{m\upsilon_B^2}{2} + mgH \Rightarrow \upsilon_B^2 = 2mgh_2\ (2)$**.** Bu ýerde $h_2 = h - H$. Ýokardaky (1-nji) we (2-nji) deňliklerden $\cos\alpha = 2h/R$.. Çyzgy boýunça $\cos\alpha = \dfrac{R-h_2}{R} = 1 - \dfrac{h_2}{R}$**.** Ýa-da $2h/R = 1 - \dfrac{h_2}{R}$, bu ýerden bolsa $h_2 = R/3$. Ýa-da H=$2R$-h_2=$2R - \frac{1}{3}R = \frac{5}{3}R$.



1.2.7-nji gönükmäniň çyzgysy*

Diýmek, şarjagaz gorizontal tekizlikden sferanyň radiusynyň üçden bir ($R/3$) beýikliginde sferanyň üstünden gopar.

1.2.8*. F =12 N ; Bu güýjüň ugry gorizonta $\alpha = 47{,}5^0$ burç bilen ugrugandyr.

bolany üçin bu deňleme $a_x = -\omega_0^2 x$ garmoniki yrgyldynyň deňlemesi bilen gabat gelýär. Bu deňlemeleri deňeşdirip, $\omega_0 = \sqrt{A/B}$, (3) ýazyp bolar. Ýüküň deňagramlyk halyndan kiçi x gyşarmasynda pružin $W_p = \dfrac{kx^2}{2}$ we ýük $W_p = mgh$ potensial energiýa eýe bolýar. Çyzgy boýunça $(l-h)^2 + x^2 = l^2$. Bu ýerden $l - h = \sqrt{l^2 - x^2} \Rightarrow h = l - \sqrt{l^2 - x^2}$, ýa-da bu deňlik

$$h = \frac{\left(l-\sqrt{l^2-x^2}\right)\left(l+\sqrt{l^2-x^2}\right)}{\left(l+\sqrt{l^2-x^2}\right)} = \frac{l^2-\left(l^2-x^2\right)}{l+\sqrt{l^2-x^2}} = \frac{x^2}{l+\sqrt{l^2-x^2}}.$$

Çyzgy boýunça $x \langle\langle\, l$ bolany sebäpli x^2 has kiçi bolany üçin ony hasaba alman ahyrky aňlatmany $h \approx \dfrac{x^2}{2l}$ hasaplap bolar. Eger $\dfrac{m\upsilon^2}{2} = \dfrac{m(x')^2}{2}$ kinetik energiýany hem hasaba alsak, onda $W = \left(k + \dfrac{mg}{l}\right)\dfrac{x^2}{2} + \dfrac{m(x')^2}{2}$.(4) Bu (4-nji) aňlatmany (1-nji) bilen deňeşdirip, $A = \dfrac{1}{2}\left(k + \dfrac{mg}{l}\right)$, $B = \dfrac{m}{2}$. (5)

Başga tarapdan bolsa, $\omega_0 = \dfrac{2\pi}{T} = \sqrt{\dfrac{A}{B}} \Rightarrow T = 2\pi\sqrt{\dfrac{B}{A}}$. Bu aňlatmada A we B ululyklary (5-nji) bilen çalşyryp gutarnykly alarys: $T = 2\pi\sqrt{\dfrac{ml}{kl+mg}}$ **.**

1.4.6. $\nu < \dfrac{1}{2\pi}\sqrt{g/A} = 7{,}0\,Gs$ **.** **1.4.7.** $\lambda = 3mkm$ **.**

1.4.8. $c = 350\, m/s$; $\upsilon_{mak} = 0{,}785\, m/s$.

1.4.9. $\Delta\varphi = 2\pi$ – nokatlar bir fazada yrgyldaýarlar.

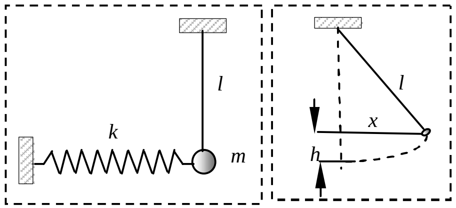
1.4.10. $c = 5300\, m/s$ **.**

1.4.11. $c_1 = 318m/s;\ c_2 = 330m/s;\ c_3 = 343m/s.$ **1.4.12.** $c = 315m/s$.

1.4.3. $l_1 = \frac{n_2^2 \Delta l}{n_1^2 - n_2^2} = 9sm; \quad l_2 = \frac{n_1^2 \Delta l}{n_1^2 - n_2^2} = 25sm.$

1.4.4.* Gysylmadyk pružiniň uzynlygyny l bilen belläliň. Onda tagta bölekleriniň merkezinden tagta bölekleri- pružin ulgamyň massa merkezine çenli aralygyk $m_1 l_1 = m_2 l_2$, $l = l_1 + l_2$. Pružin gysylandan soňra birinji we ikinji tagta bölekleriniň orun üýtgetmelerini degişlilikde x we y bilen belläliň. Onda bu halda tagta bölekleri bilen ulgamyň massa merkezine çenli aralyk $m_1\left(l_1 - x\right) = m_2\left(l_2 - y\right)$ ýa-da $m_1 x = m_2 y$. Pružiniň gysylma aralygy $x + y = x\left(m_1 + m_2\right)/m_2$ .Pružiniň birinji tagta bölegine täsir edýän maýyşgak güýjüniň moduly $F_1 = kx$, bu ýerde $k_1 = k\left(m_1 + m_2\right)/m_2$. Pružiniň k_1 gatylygyny pružinli maýatnigiň periodynyň aňlatmasynda goýup taparys: $T = 2\pi\sqrt{\frac{m_1}{k_1}} = 2\pi\sqrt{\frac{m_1 m_2}{k_1\left(m_1 + m_2\right)}}$. Ikinji tagta bölegi hem edil şu period bilen yrgyldar.

1.4.5**. Ulgamyň yrgyldysynyň periodyny doly mehaniki energiýany ulanyp kesgitläp bolar. Goý, ulgamyň deňagramlylyk halyndan gyşarmasyny x bilen energiýasyny bolsa $W = Ax^2 + B\left(x'\right)^2$,(1) görnüşde aňladalyň. Bu ýerde : A,B – položitel hemişelik ululyklar; $x' = dx/dt$ - x



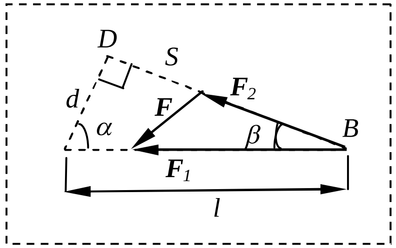
*1.4.5** -nji gönükmäniň çyzgylary*

ululygyň üýtgeýiş tizligi. Eger, ulgamda sürtülme bolmasa, onda doly mehaniki energiýa hemişelik bolar we $dW/dt = W' = 2Ax'x + 2Bx'x'' = 0$ bolar. Ýa-da $2x'\left(Ax + Bx''\right) = 0$; Bu ýerden $x' = 0$, onda $x=const.$ Onda (1-nji) deňligi $Ax + Bx'' = 0$ ýazyp bolar. Bu ýerden $x'' = -\frac{A}{B}x.(2)$; $\frac{A}{B} > 0$

1.2.9. $\upsilon_0 = F_s\, t/m = 11{,}75\, m/s$.

1.2.10*. $F_{min} = \mu mg\left(1 + \frac{m}{M}\right)$;

$t = \sqrt{\frac{2l}{\frac{F}{m} - \mu g\left(1 + \frac{m}{M}\right)}}$. **1.2.11*.**



1.2.14-nji gönükmäniň çyzgysy*

$k = 4\pi^2 m\left(2\nu_2^2 - \nu_1^2\right) = 1{,}8 \cdot 10^2\ N/m$.

1.2.12. $\rho = 3{,}95 \cdot 10^3\ kg/m^3$. **1.2.13.** $M_A = M_Ý/(81)$.

1.2.14*. Meseläni çözmek üçin bütindünýä dartylma kanunyndan peýdalanalyň. Ýöne munuň üçin r radiusly boşlugy hyýalymyzda $m' = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho$ massaly gurşun bilen dolduralyň. Mundan soňra massasy M bolan bütewi şar bilen m massaly maddy nokadyň arasyndaky dartylma kanuny $F_1 = G\,Mm/l^2$. (1) Bu halda maddy nokat bilen m' massaly şarjagazyň özara dartylma güýji $F_2 = G\,m'm/S^2$. (2) Çyzga laýyklykda $\boldsymbol{F} + \boldsymbol{F}_2 = \boldsymbol{F}_1$. (3) Ýa-da bu ýerden $\boldsymbol{F} = \boldsymbol{F}_1 - \boldsymbol{F}_2$.(3′) Çyzgy boýunça kosinuslar teoremasyndan peýdalanyp taparys: $F = \sqrt{F_1^2 + F_2^2 - 2F_1\,F_2 \cos\beta}$. (4) Bu F güýji tapmak üçin çyzgydan peýdalanyp, S – i we $\cos\beta$ -ni kesgitlemeli. ΔABD – dan $S^2 = d^2 + l^2 - 2ld\cos\alpha$, (5) we sinuslar teoremasy boýunça $\frac{S}{\sin\alpha} = \frac{d}{\sin\beta}$.⇒ $\sin\beta = \frac{d\sin\alpha}{S}$, $\sin^2\beta + \cos^2\beta = 1$.

$$\Rightarrow \cos\beta = \sqrt{1 - \sin^2\beta} = \sqrt{1 - \frac{d^2\sin^2\beta}{S^2}} = \sqrt{\frac{S^2 - d^2\sin^2\beta}{S^2}} =$$

$$= \frac{1}{S}\sqrt{S^2 - d^2\sin^2\beta} = \frac{1}{S}\sqrt{d^2 + l^2 - 2d \cdot l\cos\beta - d^2\sin^2\beta} =$$

$$= \frac{1}{S}\sqrt{d^2\left(1 - \sin^2\beta\right) + l^2 - 2d \cdot l\cos\beta} =$$

$$= \frac{1}{S}\sqrt{d^2\cos^2\beta + l^2 - 2d\cdot l\cos\beta} = \frac{1}{S}\sqrt{(l - d\cos\beta)^2} = \frac{l - d\cos\beta}{S}.$$

Bu we (1-4) deňlikleriň esasynda alarys:

$$F = \frac{4}{3}\pi G\rho m\sqrt{\frac{R^6}{l^4} + \frac{r^6}{\left(d^2 + l^2 - 2dl\cos\alpha\right)^2} - \frac{2R^3r^3(l - d\cos\alpha)}{l^2\left(d^2 + l^2 - 2dl\cos\alpha\right)^{3/2}}} \approx$$

$$\approx 5{,}7\cdot 10^{-6}\, N.$$

1.2.15*. $F_A \approx 3F_G$ bolany üçin Aýyň daşgyn täsiri Güniňkiden 3 esse uludyr.

1.2.16. $T_1 \approx 3420N;\ T_2 \approx 2705N$. **1.2.17.** $a = 2{,}45\, m/s^2$ **;** tizlenme aşak ugrukdyrylan. **1.2.18.** F =104,5 *N.*

1.2.19. $\upsilon = R\sqrt{\dfrac{g}{R+h}};\quad T = \dfrac{2\pi(R+h)}{R}\sqrt{\dfrac{R+h}{g}}$. **1.2.20.** $W_G = 2W_k$ **.**

1.2.21. **<u>I usuly.</u>**Ýeriň üstünden uçurylan m massaly jisime üýtgeýän $F = GMm/x^2$ (1), dartuw güýji täsir edýär. Ol güýjüň işi $A = \int_{R_1}^{R_2} F\cos\alpha\cdot dx$ (2), deň. Bu ýerde $\alpha = \pi$ bolup, ol F güýç bilen orun üýtgetmäniň arasyndaky burç. Indi (1) we (2) esasynda $R_2 = \infty$ hasaplap $A = -\int_{R_1}^{\infty} G\dfrac{mM}{x^2}dx = G\dfrac{mM}{x}\Big|_{R_1}^{\infty} = -G\dfrac{mM}{R_1}$ (3). Başga tarapdan bolsa $A = \Delta W = W_2 - W_1$.Tükeniksizlikde W_2=0 hasaplap, $A = -W_1 = -m\upsilon^2/2$. Bu deňligi (3) bilen deňeşdirip , $GmM/R_1 = m\upsilon^2/2$ (4) , alarys. Bu ýerden $\upsilon^2 = 2GM/R_1 = 2GMR_1/R_1^2 = 2g\, R_1$. Bu ýerden bolsa $\upsilon_2 = \sqrt{2gR}\, m/s \approx 11{,}2\cdot 10^3\, m/s$.

<u>II usuly</u>. Jisimiň Ýeriň üstünden daşlaşmagy üçin onuň kinetik energiýasy Grawitasiýa potensial energiýasyny ýeňip geçer ýaly ýeterlik ululykda bolmaly ýagny: $m\upsilon^2/2 \ge GmM/R$. Agyrlyk güýjüniň $F = mg = GmM/R^2$, bolany üçin edil Ýeriň üstünde $GM/R^2 = g$. Şonuň üçin hem $m\upsilon_2^2/2 \ge mgR$. Bu ýerden bolsa ikinji kosmiki tizlik $\upsilon_2 \ge \sqrt{2gR} = 11{,}2\ km/s$.

Gönükme 1.3.

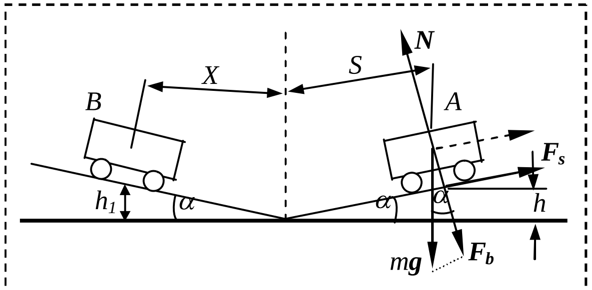
1.3.1. $F = \Delta K/\Delta t = 15N$. **1.3.2.** $\Delta \boldsymbol{K} = m\left(\upsilon + \sqrt{2gh}\right)$**.**

1.3.3*. $U = \upsilon_2 = \frac{1}{3}\upsilon_1$**.** **1.34.** $\upsilon = m\upsilon_0\cos\alpha/M = 1{,}73\, m/s$ **.**

1.3.5. *S*=1200 *m.* **1.3.6.** $A = 10^5\, J$ **.**

1.3.7. *W = mgh*=981 *J.* **1.3.8.** $W_k = 39{,}2\,J$ **;** $W_p = 59{,}2\ J$.

1.3.9*. Meseläni energiýanyň saklanma kanuny boýunça çözeliň. Çyzga laýyklykda $W_A = W_{pA} = mgh$; $W_B = W_{pB} = mgh_1$ (1). Wagonyň energiýasynyň üýtgemegi F_s sürtülme güýjüniň garşygyna ýerine ýetirilen A işe deňdir: $\Delta W = W_{pA} - W_{pB} = A$ (2). Başga tarapdan bolsa



1.3.8-nji gönükmäniň çyzgysy.*

A=F_s (X+S) (3). Onda (1) - (3) aňlatmalar boýunça $mgh - mgh_1 = F_s(S+X)$ (4). Bu ýerde $F_s = kN$. Çyzgy boýunça $|N| = |F_b|$ we $F_b = mg\cos\alpha$ we $h = S\cdot\sin\alpha;\ h_1 = X\sin\alpha$. Indi h, h_1 we F_s –iň bahalaryny (4) aňlatmada goýup taparys: $X = \dfrac{S(\sin\alpha - k\cos\alpha)}{\sin\alpha + k\cos\alpha} = 81{,}8\ sm$.

1.3.10*. $H = \frac{5}{2}R$ **.**

Gönükme 1.4.

1.4.1. $t \approx 0{,}13T$ **.** **1.4.2.** $T_2 = \sqrt{F_1T_1/F_{21}} = 4{,}88s.$

Amanmuhammet Gurbanmuhammedow,
Gylyçmämmet Orazow, Akmämmet Ataýew

Mekdep fizikasynyň esaslary

1. Mehanika. Molekulýar fizika we termodinamika

Orta we ýokary mekdepleri üçin okuw gollanmasy

2.2.11*. $\gamma = \dfrac{(i_1+2)\dfrac{m_1}{M_1}+(i_2+2)\dfrac{m_2}{M_2}}{i_1\dfrac{m_1}{M_1}+i_2\dfrac{m_2}{M_2}} = 1{,}55.$

2.2.12*. $T = \dfrac{A'}{R\left(k-1\right)}.$

2.2.13*. $\dfrac{p_1}{p_2} = \dfrac{V_3}{V_2} = \dfrac{RT}{RT - A'}.$

2.2.14. $\eta = 30\%$; $A = 1{,}5\ kJ$.

Gönükme 2.3.

2.3.1. $V = S_1 t\sqrt{\dfrac{2g\Delta h}{1-\left(\dfrac{S_1}{S_2}\right)^2}} = 2{,}29\cdot 10^3\ sm^3$.

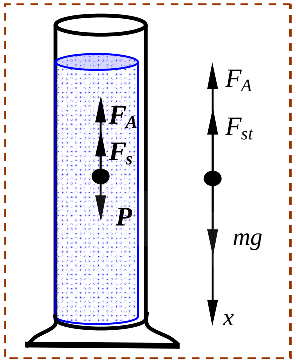
2.3.2. $V = \dfrac{\pi d^2}{4}t\sqrt{2g\Delta h\dfrac{\rho_s}{\rho_{k.gaz}}} = 2{,}55\cdot 10^3\ sm^3$.

2.3.3. $\upsilon = \sqrt{2gh}$.

2.3.4. $F_{sür}/P = 2$.

2.3.5*. Gliseriniň içindäki şarlar takmyn deňölçegli tizlik bilen hereket edýärler $\upsilon \approx hemişelik$. Seçmeler öz erkine goýberilenden soňra olaryň ulusy $t_1 = h/\upsilon_1$ kiçisi bolsa $t_2 = h/\upsilon_2$ wagtdan soňra gliseriniň düýbüne ýeter. Seçmeleriň hereket wagtlarynyň tapawudy: $\Delta t = t_2 - t_1 = h\left(\dfrac{1}{\upsilon_2}-\dfrac{1}{\upsilon_1}\right)$(1). Seçmelere täsir edýän güýçleriň x oka proýersiýalary degişlilikde olaryň modullaryna deňdir: $mg=F_A+F_{st}$ (2). Bu ýerde:

$mg = \rho gV = \dfrac{4}{3}\rho g\pi r^3$ -agyrlyk güýjüniň moduly; $F_A = \rho_g gV_s = \dfrac{4}{3}\rho_g g\pi r^3$-Arhimediň güýjüniň moduly we $F_{st} = 6\pi\eta r\upsilon$ - suwuklygyň içinde hereket edýän jisime täsir



2.3.5-nji gönükmäniň çyzgysy

edýän garşylyk güýjüň moduly. Bu ululyklary (2-nji) deňlikde goýup alnan deňlikden seçmeleriň hereketiniň ϑ tizliginiň aňlatmasyny taparys:

$\vartheta = \frac{2gr^2\left(\rho_s - \rho_g\right)}{9\eta} = \frac{gd^2\left(\rho_s - \rho_g\right)}{18\eta}$ (3). Bu ýerde $r = d/2$. Muňa laýyklykda uly we kiçi seçmeleriň hereket tizlikleri degişlilikde: $\vartheta_1 = \frac{gd_1^2\left(\rho_s - \rho_g\right)}{18\eta}$; $\vartheta_2 = \frac{gd_2^2\left(\rho_s - \rho_g\right)}{18\eta}$ (4). Bu (4-nji) deňligi (1-nji) aňlatmada goýup, seçmeleriň hereket wagtlarynyň tapawudyny gutarnykly taparys: $\Delta t = \frac{18h\eta}{g\left(\rho_s - \rho_g\right)}\left(\frac{1}{d_1^2} - \frac{1}{d_2^2}\right) = 76{,}1s$.

2.3.6. $\upsilon_{max} = \sqrt{\frac{8\rho_g gr}{3C_x\rho_h}} = 53{,}9\ m/s$. **2.3.7.** $\upsilon_{max} = \sqrt{\frac{8(m_1 + m_2)g}{3C_x\pi d^2\rho_h}} = 3{,}17\ m/s$.

Gönükme 2.4.

2.4.1*. $\Delta p = p - p_0 = 2\sigma/r$.

2.4.2*. a) kapillýaryň giň tarapyna; b) kapillýaryň dar tarapyna.

2.4.3. $\Delta p = \rho gh + \frac{2\sigma}{r} = 490\,Pa$.

2.4.4*. Tegmil oýuk, onuň radiusy $r = \frac{2\sigma}{\rho gh} = 0{,}74\,mm$.

2.4.5*. $\Delta p = p_0 + \frac{4\sigma}{r}$.

2.4.6. m=0,94 kg.

2.4.7. $F = mg + 4\sigma\left(a + b\right)$.

2.4.8. Jogabyny düşündirmeli.

2.4.9. $r = \sqrt{\frac{3\sigma}{\rho g}} = 4{,}7\,mm.$

2.4.10*. Köpürjik düwmeleriniň içindäki artykmaç basyş atmosfera basyşyndan dürlüdir we ol Laplasyň formulasy bilen kesgitlenýär: $\Delta P_1 = \frac{2\sigma}{R_1}, \Delta P_2 = \frac{2\sigma}{R_2}$. Şonuň üçin köpürjik düwmeleriniň içinde goşmaça basyş döredýär. Diýmek, $\Delta P_2 \rangle \Delta P_1$ bolany üçin iki köpürjik

2.5.1.Suwuklyklaryň bugarmagy. Bugarmadan sowama. Bugyň kondensirlenegi................................307
2.5.2.Suwuklyk bilen buguň arasyndaky deňagramlylyk.......313
2.5.3. Real (hakyky) gazlar we olaryň aýratynlyklary.........315
2.5.4. Kritiki temperatura. Kritiki hal...................................320
2.5.5. Suwuklyklaryň gaýnamagy. Gaýnamak temperaturasynyň basyşa baglylygy 323
2.5.6. Bug emele gelmegiň ýylylygy we onuň temperatura baglylygy...328
2.5.7. Howanyň çyglylygy..330
2.5.8. Kristal maddalar..335
2.5.9. Amorf maddalar 339
2.5.10.Suwuk kristallar...340
2.5.11.Suwuk kristallaryň ulanylyşy. 343
2.5.12. Eremek we kristallaşma..344
2.5.13. Eremegiň we kristallaşmaygyň udel ýylylygy...347
2.5.14. Faza geçişler. Sublimasiýa.......................................349
2.5.15. Eremekde we gatamakda jisimleriň göwrüminiň üýtgemegi...........................350
2.5.16. Faza öwrülişigiň diagrammalary. Üç hal nokat...351
Gönükme 2.5. 355
BAP 2. 6. Gaty we suwuk maddalaryň ýylylykdan giňelmegi...358
2.6.1. Maddalaryň ýylylykdan giňelmegi.............................358
2.6.2. Maddalaryň ýylylykdan uzynlygyna giňelmegi..........361
2.6.3. Maddalaryň ýylylykdan göwrümine giňelmegi..........363
2.6.4. Tehnikada ýylylykdan giňelmegiň ulanylyşy 368
Gönükme 2.6. 370
Gönükmeleriň jogaplary we çözgütleri.............................372
Edebiýat...404

hereketlendirijiler we tebigaty goramak...................262
2.2.9. Karnonyň öwrülişilikli prosesi....................................265
2.2.10. Sowadyjy maşynlar...269
2.2.11. Ýylylyk üfleýjiler..272
2.2.12.Termodinamikanyň ikinji kanuny 272
Gönükme 2.2. 274

BAP 2.3.
Suwuklyklaryň we gazlaryň dinamikasy........................276
2.3.1. Turbadaky suwuklyklaryň hereketi. Suwuklyklaryň
basyşynyň onuň akym tizligine baglylygy...................276
2.3.2. Suwuklygyň şepbeşikligi.
Nýutonyň deňlemesi...280
2.3.3. Şepbeşik suwuklyklaryň
hereketi. Puazeýliň aňlatmasy......................................281
2.3.4. Jisimiň şepbeşik suwuklykdaky hereketi.
Stoksyň kanuny...286
2.3.5.Laminar we turbulent akym.Reýnoldsyň sany..............288
Gönükme 2.3. 290

BAP 2.4.
Suwuklyklardaky üst dartylma..292
2.4.1. Üst dartylma..292
2.4.2. Suwuklyklaryň üst dartylma
koeffisiýentiniň kesgitlenilişi......................................294
2.4.3.Öllenme we öllenmezlik..296
2.4.4. Suwuklygyň sferik üstüniň aşagyndaky
goşmaça basyş.. 298
2.4.5. Kapillýar hadysalar 302
Gönükme 2.4. 306

BAP 2.5.
Maddalaryň agregat hallarynyň üýtgemegi......................307

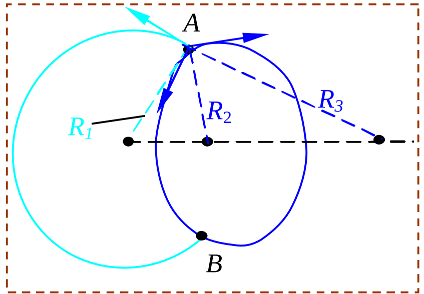
düwmesiniň arasyndaky "ýelmeşen" diwar R_1 radiusly köpürjik düwmesiniň içine F_3 basyş güýji bilen täsir erdýär. Netijede bu "ýelmeşen" diwar R_3 egrilik radiusa eýe bolýar. "Ýelmeşen" köpürjikler üçin deňagramlylyk şertini ýazalyň:

$$\frac{2\sigma}{R_3} = \frac{2\sigma}{R_2} - \frac{2\sigma}{R_1}.$$

Bu ýerden diwarjygyň R_3 egrilik radiusyny tapmak kyn däldir:

$$\frac{1}{R_3} = \frac{1}{R_2} - \frac{1}{R_1}, \qquad \frac{1}{R_3} = \frac{R_1 R_2}{R_2 - R_1}.$$

$$\Rightarrow R_3 = \frac{R_1R_2}{R_1 - R_2}.$$



2.4.10-gönükmäniň çyzgysy.

Gönükmäniň çyzgysynda köpürjikleriň merkezlerinden geçýän tekizlikdäki şekil görkezilen. *A* we *B* nokatlar köpürjik düwmeleriniň galtaşýan üstleriniň çyzgynyň tekizligi bilen kesişýän nokatlarydyr.

Gönükme 2.5.

2.5.1. $p_1 = \frac{p_1\rho_1}{\rho} = \frac{\rho(m+m_1)}{\rho kV} = 550\,kPa$. **2.5.2.** Hadysany düşündirmeli.

2.5.3. Hawwa täsir eder.

2.5.4. Real (hakyky) gazyň hal deňlemesi bir mol gaz üçin $\left(p + \frac{a}{V^2}\right)(V - b) = RT$. Bu deňligi berlen $v = m/M$ mol gaz üçin

$$\left(p + v^2\frac{a}{V^2}\right)\left(\frac{V}{v} - b\right) = RT_1 \Rightarrow \quad T_1 = \frac{M\left(p + \frac{m^2 a}{M^2V^2}\right)\left(V - \frac{m}{M}b\right)}{mR} = 302\,K.$$

Ideal gazyň hal deňlemesi $pV = \frac{m}{M}RT_2$. $\Rightarrow T_2 = \frac{MpV}{mR}$=301 *K*.

2.5.5. p_1 =3,32 *Mpa;* p_2 =4,02 *Mpa.* **2.5.6.** 1) T_1=260 *K;* 2) T_2=241 *K.*

2.5.7.** Real gazyň hal deňlemesini $\left(p+\nu^2\frac{a}{V^2}\right)\left(\frac{V}{\nu}-b\right)=RT$ (1), görnüşde ýazalyň. Ýa-da ony $pV^3-\left(\nu RT+p\nu b\right)V^2+\nu^2aV-\nu^3ab=0$ (2) görnüşe getirip bolar. Bu deňligiň kökleri: V_1, V_2, V_3 . Kritiki halda

$p=p_k$, $T=T_k$, $V_1=V_2=V_3=V_k$ Onda $p_k(V-V_k)^3=0$ (3). $\Rightarrow$

$p_kV^3-3p_kV_kV^2+3p_kV_k^2V-p_kV_k^3=0$ (4). Kritiki hal üçin (2-nji) deňlemäni $p_kV^3-\left(\nu RT_k+p_k\nu b\right)V^2+\nu^2aV-\nu^3ab=0$ (5) görnüşde ýazyp bolar. Indi (4-nji) we (5-nji) deňlemelerden: $3p_kV_k=\nu RT_k+p_k\nu b$; $3p_kV_k^2=\nu^2a$; $p_kV_k^3=\nu^3ab$. Ýa-da bulardan $V_k/3=\nu b,\Rightarrow V_k=3\nu b$.

$3p_k\cdot\left(3\nu b\right)^2=\nu^2b\Rightarrow a=27p_kb^2$; Edil şonuň ýaly $3p_k\cdot3\nu b=\nu RT_k+p_k\nu b$, ýa-da $8p_k\nu b=\nu RT_k\Rightarrow b=\frac{RT_k}{8p_k}$

$a=27p_kb^2=\frac{27R^2T_k^2}{64p_k}$. Gönükmäniň şertindäki maglumatlary ulanyp, $a=0,136\,N\cdot m^4/mol^2$; $b=3,86\cdot10^{-5}m^3/mol$.

2.5.8. $m_b=\frac{M\,p_dV_1}{RT}=0,59g$. **2.5.9.** h=0.

2.5.10. $\varphi_2=29\%$.

2.5.11*. Jaýdaky suw buglarynyň massasy $m_1=\rho_1V$, daşky howadan alynýan massa $m_2=\rho_2V_2$. Bu ýerde ρ_1 we ρ_2-degişli suw buglaryň dykyzlygy; $V_2=\frac{VT_2}{T_1}$ -daşardan alynýan howanyň göwrümi. Daşky howadan alynýan buguň massasyny $\Delta m=m_1-m_2=V\left(\rho_1-\rho_2\frac{T_2}{T_1}\right)$ (1)

2.1.6. Ideal gazyň modeli. Ideal gazyň molekulýar-kinetik nazaryýetiniň esasy deňlemesi....................................204
2.1.7. Temperatura we onuň ölçenilişi..................................207
2.1.8.Absolýut temperatura..209
2.1.9. Temperatura molekulalaryň orta kinetik energiýasynyň ölçegidir...211
2.1.10.Bolsmanyň hemişeliginiň fiziki manysy. Loşmidtiň sany.................................... 213
2.1.11. Gaz molekulalarynyň tizligi. 215
2.1.12. Gaz molekulalarynyň tizlikleri boýunça paýlanylyşy - Makswelliň paýlanyşy..........................216
2.1.13.Gaz molekulalarynyň tizlikleriniň tejribede kesgitlenilişi-Şterniň tejribesi.......................220
2.1.14. Hal deňlemesi. Mendeleýewiň – Klapeýronyň deňlemesi..222
2.1.15.Boýlyň–Mariottanyň kanuny.....................................225
2.1.16.Geý-Lýussagyň kanuny..226
2.1.17.Şarlyň kanuny...228
Gönükme 2.1.. 230

BAP 2.2.

Termodinamikanyň esaslary..232
2.2.1. Termodinamikanyň usulyýeti....................................232
2.2.2. Içki energiýa...233
2.2.3. Giňelýän gazyň işi..235
2.2.4. Termodinamikanyň birinji kanuny.. 238
2.2.5. Gaty jisimleriň we ideal gazyň ýylylyk sygymy..243
2.2.6. Termodinamikanyň birinji kanunynynyň izohadysalarda ulanylyşy...248
2.2.7. Ýylylyk hereketlendirijileriň işleýiş prinsipi. Ýylylyk hereketlendirijileriň PTK-sy..........................258
2.2.8. Ýylylyk hereketlendirijileriň görnüşleri.Ýylylyk

1.6.8. Atmosfera basyşy. Atmosfera basyşynyň beýiklige baglylgy..154
1.6.9. Aneroid barometri 156
1.6.10.Arhimediň kanuny. Jisimleriň suwuklykda ýüzme şertleri. Howada uçmak 161
Gönükme 1.6. 161

BAP 1.7.
GATY JISIMLERIŇ HEREKETINIŇ DINAMIKASY 164
1.7.1. Absolýut gaty jisim we onuň hereketi..........................164
1.7.2. Aýlanma hereket edýän gaty jisimiň massa merkezi...164
1.7.3. Aýlanma hereket edýän maddy nokadyň dinamikasynyň esasy deňlemesi..................................169
1.7.4. Gaty jisimiň aýlanma hereketiniň dinamikasytyň esasy deňlemesi....................................177
1.7.5. Fiziki maýatnik..182
1.7.6. Aýlanma hereket edýän jisimiň kinetik energiýasy. ...184
1.7.7. Impulsyň momentiniň saklanma kanuny.................185
Gönükme 1.7. 187

II BÖLÜM
MOLEKULÝAR FIZIKA WE TERMODINAMIKA

BAP 2.1.
Molekulýar -kinetik nazaryýetiň esaslary....................189
Ideal gazyň kanunlary..189
2.1.1. Molekulýar – kinetik nazaryýeti tassyklaýan esasy tejribeler..190
2.1.2. Molekulalaryň ölçegleri we massalary.........................193
2.1.3. Maddanyň mukdary...195
2.1.4.Awogadronyň hemişeligi . Molýar massa....................196
2.1.5. Molekulalaryň arasyndaky özara täsir..........................198

ululyga üýtgetmeli. Eger, $\Delta m\rangle 0$ bolsa, howany çyglandyrmaly; eger $\Delta m\langle 0$ bolsa onda ony guraklandyrmaly. Suw bugunyň dykyzlygyny φ otnositel çyglylygyň we doýgun buguň ρ_d dykyzlygynyň üsti bilen aňladyp bolar: $\rho = \rho_d \dfrac{\varphi}{100\%}$ (2). Munuň esasynda (1-nji) deňligi

$$\Delta m = \frac{V}{100\%}\left(\rho_{d1}\varphi_{d1} - \rho_{d2}\varphi_{d2}\frac{T_2}{T_1}\right) \quad (3)$$

. Degişli ululyklaryň san bahasyny goýup, $\Delta m = 22\,kg$ deňdigini kesgitläp bolar. Diýmek, massasy 22 *kg* bolan suwy bugardyp, daşardan alynýan howany çyglandyrmaly.

2.5.12*. $\varphi_2 = 63\,\%$. **2.5.13.** $\varphi = 54\,\%$.

2.5.14. 1.Suwuklygyň üstündäki basyşy onuň doýgun bugunyň basyşyndan azaltmak bilen. 2.Doýgun bugy dyngysyz sorup almak bilen.

2.5.15. $\theta = 0^0 S$. **2.5.16.** $\tau = 2{,}5 sag$.

2.1.17. $Q = 3{,}1\,MJ$. **2.5.18.** $m_b / m_s = 0{,}87$.

Gönükme 2.6.

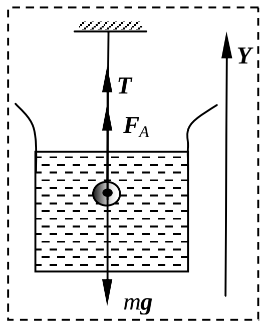
2.6.1. $\Delta t \approx 420\,^0K$. **2.6.2.** $t_{0Fe} = 2008{,}5\,sm;\ t_{0Cu} = 2006{,}0\,sm$.

2.6.3. $\alpha \approx 2{,}3 \cdot 10^{-5} K^{-1}$. **2.6.4.** $\alpha = 1 \cdot 10^{-5} K^{-1}$.

2.6.5. $\Delta V = 1{,}69 \cdot 10^{-5} m^3$. **2.6.6.** $\Delta V \approx 1{,}64 \cdot 10^{-4} m^3$.

2.6.7. $\Delta m \approx 0{,}8 kg$.

2.6.8*. Eger başda temperatura t_1 bolanda kerosine batyrylan şara ýüpüň T_d dartuw güýji, Arhimediň F_A göteriji güýji we $P=mg$ agyrlyk güýji täsir edýär (bu güýçleriň täsir ugry çyzgyda görkezilen) . Şaryň deňagramlylyk şertiniň deňlemesiniň Y oka proýeksiýasy : $T_d + F_A - mg = 0$, ýazalyň. Bu ýerden bolsa $T_d = mg - F_A$ (1). Bu ýerde $F_A = \rho_k V_ş g$, bu



2.6.8-nji gänükmäniň çyzgysy

aňlatmada $\rho_k = \rho_{0k} / \left(1 + \beta_k \Delta t\right)$, $V_ş = V_{0_ş}\left(1 + \beta_p \Delta t_1\right) = V_{0_ş}\left(1 + 3\alpha_p \Delta t_1\right)$. $V_{0ş} = m / \rho_{0p}$, $\Delta t_1 = t_1 - t_0$, bolany üçin $F_{A1} = \frac{\rho_{0k}}{1+\beta_k(t_1-t_0)} \cdot \frac{m}{\rho_{0p}}\left[1+3\alpha_p(t_1-t_0)g\right]$. Bu ýerde α_p -poladyň uzynlygyna süýnme koeffisiýenti. Bu ýazylanlary göz öňünde tutup, (1-nji) deňligi: $T_d = mg - \frac{\rho_{0k}}{1+\beta_k(t_1-t_0)} \cdot \frac{m}{\rho_{0p}}\left[1+3\alpha_p(t_1-t_0)g\right]$. Edil şonuň ýaly hem t_2 temperatura üçin : $T_d = mg - \frac{\rho_{0k}}{1+\beta_k(t_2-t_0)} \cdot \frac{m}{\rho_{0p}}\left[1+3\alpha_p(t_2-t_0)g\right]$, ýazyp bolar. Ýa-da gutarnykly

$$\Delta T = T_{d1} - T_{d2} \approx \frac{\rho_{0k} mg(t_2-t_1)(3\alpha_p-\beta_k)}{\rho_{0p}\left[1+\beta_k(t_1+t_2-2t_0)\right]} \approx 3\cdot 10^{-3}\,N.$$

2.6.9. $\rho \approx 0,79\cdot 10^3\, kg/m^3$ **.**

2.6.10. T =309 K.

1.4.9. Tolkunyň deňlemesi..113
1.4.10. Tolkunlaryň interferensiýasy. Duryjy tolkunlar.........114
1.4.11. Ses tolkunlary...117
1.4.12. Sesiň serpikmegi..118
1.4.13. Sesiň güýji, belentligi we tembri...............................121
1.4.14. Ultrases..122
Gönükme 1.4. 124

BAP 1.5.
STATIKA 126
1.5.1. Güýçleriň goşulyşy...126
1.5.2. Güýjüň düzüjilere dargadylyşy..................................128
1.5.3. Güýjüň momenti..129
1.5.4. Ýönekeý mehanizmler...131
1.5.5. Mehanikanyň “Altyn düzgüni”. Ýönekeý mehanizmleriň peýdaly täsir koeffisiýenti.................134
1.5.6. Ýapgyt tekizligiň peýdaly täsir koeffisiýenti..............136
1.5.7. Agyrlyk merkezi. Massa merkezi................................138
1.5.8. Jisimleriň deňagramlylygy..139
1.5.9. Jisimleriň deňagramlylygynyň görnüşleri 140
Gönükme 1.5. 144

BAP 1.6.
SUWUKLYKLARYŇ WE GAZLARYŇ MEHANIKASY.............................. 147
1.6.1.Suwuklyklar we gazlar barada umumy maglumat.......147
1.6.2. Maddanyň dykyzlygy..149
1.6.3. Basyş we onuň birlikleri...149
1.6.4. Paskalyň kanuny..150
1.6.5. Gidrostatik basyş..151
1.6.6. Gatnaşykly gaplar..152
1.6.7. Gidrawlik pres...153

1.2.9.Süýnme diagrammasy..54
1.2.10. Maýyşgaklyk güýjüniň energiýasy..............................56
1.2.11. Sürtülme güýji...57
1.2.12. Grawitasiýa güýji. Bütindünýä dartylma kanuny.........62
1.2.13. Dartylma meýdanynyň işi..64
1.2.14. Agyrlyk güýji. Jisimiň agramy. Agramsyzlyk.............65
1.2.15. Emeli hemralaryň hereketi.
Birinji kosmiki tizlik..69
Gönükme 1.2. 73

BAP 1.3.
MEHANIKADA SAKLANMA KANUNLARY............76
1.3.1. Impulsyň saklanma kanuny. Reaktiw hereket
Meşerskiniň deňlemesi.. 76
1.3.2. Mehaniki iş. Kuwwat...82
1.3.3. Kinetik we potensial energiýa.......................................84
1.3.4. Mehanikada energiýanyň saklanma kanuny..................88
Gönükme 1.3. 90

BAP 1.4.
MEHANIKI YRGYLDYLAR
WE TOLKUNLAR. SES..92
1.4.1. Mehaniki yrgyldylar 92
1.4.2. Garmoniki yrgyldy..94
1.4.3. Pružinli maýatnik...97
1.4.4. Matematiki maýatnik... 99
1.4.5. Yrgyldyly hereketde energiýanyň öwrülişigi.
Togtaýan we mejbury yrgyldylar.
Mehanikada rezonans...101
1.4.6. Bir ugra ugrukdyrylan yrgyldylaryň goşulyşy............105
1.4.7. Mehaniki tolkunlaryň maýyşgak
gurşawda ýaýramagy. Kese we boý tolkunlar........... . 108
1.4.8. Yrgyldynyň ýaýraýyş tizligi. Tolkun uzynlyk............110

E D E B I Ý A T

1. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler,1-nji tom, Aşgabat, 2008.
2. Gurbanguly Berdimuhamedow. Ösüşiň täze belentliklerine tarap. Saýlanan eserler,2-nji tom,Aşgabat, 2009.
3. Orta mekdepleriň VI-X synplary üçin fizika, X synpy üçin astronomiýa dersleri boýunça okuw maksatnamalary.-A.: TDNG,2007.
4. Çaryýew A. Fizikanyň esasy kanunlary.- A.: TDNG,2004
5. Физика: Механика. 10 кл. Учебник для углубленного изучения физики. Под ред. Г.Я. Мякишева – М.: Дрофа, 2002.
6. Мякишев Г.Я., Синяков А.З. Физика: Молекулярная физика. Термодинамика. 10 кл. Учебник для углубленного изучения физики.- М.: Дрофа, 2002.
7. Мякишев Г.Я. , Синяков А.З. Физика: Колебания и волны.11кл. Учебник для углубленного изучения физики.- М.: Дрофа, 2002.
8. Мустафаев Р.А., Кривцов В.Г. Физика. В помощь поступающим в вузы.- М.: Высшая школа, 1989.
9. Савченко Н.Е. Задачи по физики с анализом их решения - М.:Просвешение, 2000.
10. Рымкевич А.П. Физика. 10-11 классы. Задачник.-М: Дрофа, 2006.
11. Всероссийские олимпиады по физике. (1991-2002) Под. ред. С.М.Козела.-М.: Вербум, 2002.
12. G.Toýlyýew,G.Orazow, M.Maşaýew. Fizikadan meseleler. Mehanika, Aşgabat,TDNG, 2008.
13. G.Toýlyýew, A.Nurgeldiýew, A.Rahmanow. Fizikadan meseleler. Molekulýar fizika, Aşgabat,TDNG, 2008.

14. A.Nurgeldiýew, Ö.Bekmyradow, B.Akmyradow. Molekulýar fizika we termodinamika, Aşgabat,TDNG, 2006.
15. Ö.Allakow, Ç.Gurbangeldiýew. Mehanika, Aşgabat,TDNG, 2006.

M A Z M U N Y

I BÖLÜM
MEHANIKA..4

BAP1.1.
KINEMATIKANYŇ ESASLARY..............................4
1.1.1. Mehaniki hereket..4
1.1.2. Hasaplaýyş ulgamy. Traýektoriýa...............................5
1.1.3. Skalýar we wektor ululyklar..8
1.1.4. Wektor ululyklar bilen käbir amallar............................10
1.1.5. Gönüçyzykly deňölçegli hereket..................................13
1.1.6. Günüçyzykly deňölçegsiz hereket................................16
1.1.7. Gönüçyzykly deňölçegli üýtgeýän hereket..................18
1.1.8. Herketiň otnositelligi . Galileýiň özgertmesi................21
1.1.9. Egriçyzykly hereket. Maddy nokadyň töwerek boýunça deňölçegli hereketi.......................................24
1.1.10. Erkin gaçma . Erkin gaçmanyň tizlenmesi..................31
1.1.11. Gorizonta burç bilen zyňylan jisimiň hereketi.............34
Gönükme 1.1. 39

BAP 1.2.
DINAMIKANYŇ ESASLARY...............................42
1.2.1. Nýutonyň birinji kanuny. Hasaplamanyň inersial ulgamy...42
1.2.2. Güýç özara täsiriň ölçegidir..46
1.2.3. Jisimiň massasy..47
1.2.4. Nýutonyň ikinji kanuny..48
1.2.5. Impuls..49
1.2.6. Nýutonyň üçünji kanuny...50
1.2.7. Deformasiýa. Maýyşgaklyk güýçleri............................51
1.2.8. Gukuň kanuny..52