

**TÜRKMENISTANYŇ BILIM MINISTRIGI**

**TÜRKMEN POLITEHNIKI INSTITUTY**

**Kafedra:** Umumy tehniki dersler

**MEHANIKA WE MOLEKULÝAR FIZIKADAN**  
tejribe işleri

**Hünär:** Ähli hünärler üçin

**Taýýarlanlar:** dosent A. Hojamgulyýew  
dosent A. Akgaýew  
dosent D. Baýramow

**Aşgabat - 2009ý**

## FIZIKI ULULYKLARYŇ ÖLÇENİŞLERI WE ÖLÇEGDE GOÝBERILÝÄN ÝALŇYŞLYKLARYŇ GÖRNÜŞLERI

Fiziki kanunlar köplenç fiziki ululyklaryň arasyndaky funksional baglanyşyk görnüşinde berilýär. Jisimiň häsiýetini ölçegleriň kömegi bilen mukdar taýdan kesgitlenmegine fiziki ululyk diýilýär. Fiziki ululygy ölçemek – ony, ýörite birlik hökmünde kabul edilen onuň bilen birhilli ululyk bilen deňeşdirmekdir.

Iş ýüzünde gözlenilýän fiziki ululygyň gös-göni ölçenilşine seýrek düş gelinýär. Diňe, uzynlyk, massa, wagt we temperatura ýaly ululyklar degişli abzallaryň kömegi bilen ölçenilip biliner. Köp halatlarda bolsa, gözlenilýän ululygyň hut özi ölçenilmän, şol ululyk bilen funksional baglanyşykly bolan başga ululyklar ölçenilýär. Gözlenilýän ululyk bolsa şol ölçegler esasynda formula üsti bilen kesgitlenilýär. Mysal üçin: ýokardan erkin gaçmagyň tizlenmesini maýatnigiň uzynlygyny we yrgyldy periodyny ölçäp, matematiki maýatnigiň formulasy boýunça kesgitlep bolar; ýa-da jisimiň tizligini kesgitlemek üçin onuň wagt birliginde geçen ýoluny ölçemek ýeterlikdir. Islendik fiziki ululygy takyk ölçäp bolmaýar. Şoňa görä-de, her bir ululyk ölçenilende belli bir derejede ýalňyşlyklar goýberilýär. Ölçegde goýberilýän ýalňyşlyklar birsyhly we tötänleýin bolýarlar.

Birsyhly ýalňyşlyklar ölçeg abzallaryň näsazlygy, ölçeg usulynyň nädogrylygy ýa-da daşky faktoryň ölçege edýän mydamalyk täsiri sebäpli döreýär. Ölçeğiň sanyny köpeltmek bilen birsyhly ýalňyşlykdan düýp – göter halas bolmak mümkin däl. Birsyhly ýalňyşlygy azaltmak üçin, ölçeg abzallary takyk ölçemeli, ölçeg usuly dogry işlenilen bolmaly we alynan ölçegiň netijesine dogry düzedişler girizilmeli. Birsyhly ýalňyşlyk bar bolan sebäplere görä ýüze çykýar we mydama hakyky ululykdan uly ýa-da kiçi tarapa gyşarýar. Mysal üçin: zadyň galyňlygy nol şkala nokadyndan süýşen mikrometr bilen ölçenilse, onda süýşmäniň ululygyna baglylykda, ölçegiň netijesi zadyň hakyky galyňlygyndan uly ýa-da kiçi bolar.

Tötänleýin ýalňyş göçürme häsiýete eýe bolup, öňünden hasaba alynmaýan sebäplere görä ýüze çykýar. Tötänleýin ýalňyşlyk ölçeg geçirýäniň günäsi boýunça, ýagny onuň görüş we duýuş organlarynyň näsazlygy sebäpli goýberilýär. Ölçeg geçirilende tötänleýin ýalňyşlykdan doly halas bolmak mümkin däl. Ýöne, tötänleýin ýalňyşlyga ähtimallyk nazarýeti ulanmak we geçirilýän ölçegleriň sanyny köpeltmek bilen şol ýalňyşlygyň ahyrky netijä edýän täsirini azaltmak mümkin. Ölçenilýän ululygyň has ähtimal bahasyny tapmak üçin Gaussyň nazarýetiniň ajaýyp häsiýetinden peýdalanýarys: ölçenilýän ululygyň has ähtimal bahasyna ölçegiň tötänleýin ýalňyşlygynyň kwadratlarynyň jeminiň in az bahasy laýykdyr, ýa-da ölçenilýän ululygyň has ähtimal bahasy şeýle bolmaly.

Tejribe işini ýerine ýetirýän talybyň öňünde ilkinji mesele bolup ýalňyşlygyň nazaryýetini öwrenmek meselesi durýar.

Talybyň işi ýerine, ýetirmekde tejribesiniň ýeterlik dældigi sebäpli ölçeg netijesinde alynýan ululyklaryň takyklyk derejesi pesräk bolýar. Ölçeğiň takyklygy (dogrylygy) ölçegdäki ulanylýan abzallaryň we esbaplaryň takyklyk derejesine bagly.

Abzalyň takyklyk derejesi olaryň özünden ýa-da pasportlarynda ýazylgydyr. Eksperimentiň ýalňyşlygy ölçeg döwründe goýberilen ýalňyşlyklardan we tötänleýin ýalňyşlyklardan durýar. Meselem, abzalyň görkezmesini ýalňyş hasaplamakdan ýa-da abzaly zynjyra nädogry çatylyandaky goýberilýän ýalňyşlyk.

Öňünden käbir belli sebäplere görä goýberilýän ýalňyşlyklar sistematiiki ýalňyşlykdyr.

Mysal üçin, terezide çekilen agramyň ýalňyşlygy ýörite tablisalardan ýa-da abzalyň pasportyndaky düzedişlerden peýdalanyp düzetmeli.

Näbelli sebäplere görä goýberilýän ýalňyşlyklar tötänleýin ýalňyşlyga degişlidir.

Şu agzalan ýalňyşlyklar abzallaryň we ölçegiň metodikasynyň doly saýlanyp alnyp başarylmazlygyndandyr. Galybersede ölçeg geçirýän adamyň duýuş organlarynyň goýberýän ýalňyşlygy sebäpli ýüze çykýandyr.

Şu goýberilýän ýalňyşlyklaryň derejesini kiçeltmek bolar, emma bu ýalňyşlyklardan doly saplanmak mümkin däl. Edilýän ölçegiň sany näçe köpelse şonçada barlagdaky goýberilýän ýalňyşlyk azalýar.

Alnan netijäniň ýalňyşlygynyň ortaça arifmetiki bahasynyň hasaplanyşy ýaly hasaplanylýar.

Tötänleýin ýalňyşlyk öz gezeginde absolýut we otnositel ýalňyşlyga bölünýär. Mysal, goý aýry-aýry ölçeglariň netijesi  $N_1, N_2, \dots, N_k$  bolsun, bu ýerde  $K$ -ölçegiň sany.

$$\text{Onda} \quad N_{\text{orta}} = \frac{N_1 + N_2 + \dots + N_k}{K} \quad (1)$$

Ölçenilýän ululygyň hakyky bahasyna golaý bahany berer. Ölçegiň ortaça bahasyndan aýry – aýry ölçegiň bahasynyň gyşarmasyna

$$\Delta N_1 = (N_{\text{orta}} - N_1), \quad \Delta N_2 = (N_{\text{orta}} - N_2)$$

absolýut ýalňyşlyk diýilýär. Absolýut ýalňyşlygyň orta bahasy:

$$\Delta N_{\text{orta}} = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \dots + \Delta N_k}{K} \quad (2)$$

ölçegiň netijesindeki kesgitlenilýän ululygyň hakyky bahasy.

$$N_{\text{hakyky}} = N_{\text{orta}} \pm \Delta N_{\text{orta}}$$

Ýalňyşlygyň absolýut bahasy ölçegiň bahasy takyklyk derejesini häsiýetlendirmeyär. Şonuň üçin otnositel ýalňyşlyk diýilýän ululyk girizilýär.

$\frac{\Delta N_1}{N_1}; \frac{\Delta N_2}{N_2}; \dots, \frac{\Delta N_k}{N_k}$  gatnaşyklar aýry-aýry ölçegiň ýalňyşlygynyň otnositel bahasyny görkezýär.

Ýalňyşlygyň absolýut orta bahasyny  $\Delta N_{orta}$  ölçegiň sanynyň orta ýalňyşlygynyň  $N_{orta}$  bahasyna bolan gatnaşygyny ölçemegiň ýalňyşlygynyň orta otnositel bahasy diýilýär.

$$\delta = \frac{\Delta N_{orta}}{N_{orta}} \cdot 100 \% \quad (3)$$

Ýalňyşlygyň orta otnositel bahasy ýa-da otnositel ýalňyşlyk ölçeg derejesiniň takyklygynyň ortaça bahasyny hem-de şu ululygy ölçemeklik üçin saýlanyp alnan usulyň dogry ýa-da nädogrydygyny görkezýär. Işiň netijesi ölçeg prosesinde diňe ýeke-täk ululygy kesgitlemäge bagly bolmaýar. Köplenç halatda ölçeg prosesinde birnäçe ululyklary ölçemeli bolar. Şonuň bilen birlikde birnäçe matematiki hasaplamalary ýerine ýetirmeli bolýar.

Ölçeg prosesinde goýberilen ýalňyşlyklary göz önünde tutup alynan netijäniň hem ýalňyşlygyny hasaplamalydyr. Goýberilýän ýalňyşlyklar  $3 \div 7 \%$  - den köp bolmaly däl.

### **№ 1-nji tejribe işi.**

**Atwudyň maşynynyň kömegi bilen kinematikanyň kanunlaryny we Nýutonyň ikinji kanunynyň ýerine ýetirilişini barlamak.**

**Gerekli abzallary we esbaplar.**

1. Atwudyň maşyny – halka görnüşli we tutuş platformadan, elektromagnitden, esasy we goşmaça ýükjagazlardan düzülen mehanizm.
2. Elektrosekundomer.

### **Işiň nazaryýeti.**

Atwudyň maşynynda santimetrlerde bölünen şkalaly A metal sterženiň ýokary çetinde sürtülme koeffisienti örän ujypsyz bolan aýlanýan ýeňiljek W alýumini blok berkidilen. Blogyň üsti-aşyry massalary özara deň bolan  $S_1$  we  $S_2$  Ýükjagazlar sapakdan asylan. Ýükjagazlaryň birisi  $S_1$  elektromagnitiň kömegi bilen saklanýar.  $S_1$  we  $S_2$  ýükjagazlaryň agramyny  $m_1$  we  $m_2$  massajyklary  $m_1=4g$ ,  $m_2=8g$  goýup artdyrmak bolar 1-nji çyzgy. Eger ýükjagazlaryň biriniň üstüne  $m_1$  massa goýulsa onda sistema deňtizlenmeli herekete geler.

Hereketiň tizlenmesini aşakdaky usul bilen kesgitlemek bolar. Ýükjagazlaryň her birine agyrylyk güýji  $P$  we sapagyň dartýş güýji  $F$  täsir edýär. Şu güýçleriň täsiri zerarly ýükjagazlar hereket edýärler. Olaryň tizlenmesi ululygy boýunça deň ugurlary boýunça garşylyklydyr. Ýükleriň dartýşynyň deňligi sebäpli Nýutonyň ikinji kanunyndan  $S_2$  ýükjagazlar üçin aşakdaky deňlemäni ýazyp bileris.

$$(m_1 + m) a = (m_1 + m)g - T \quad (1)$$

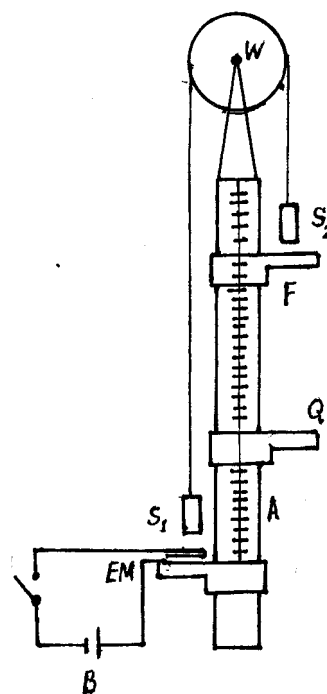
$S_1$  ýükjagaz üçin

$$-ma = mg - T \quad (2)$$

(1) deňlemeden (2) aýryp alarys.

$$a = g \frac{m_1}{2m + m_1} \quad (3)$$

(3) formuladan görnüşi ýaly ulgam erkin gaçmanyň tizlenmesinden kiçi tizlenme bilen hereket edýär. Goşmaça massajyklar goýup ulgamyň tizlenmesini artdyrmak bolar.



1-nji çyzgy

Eger şol goşmaça goýulan massajyklary hereketiň dowamynda ulgamdan aýyrsak, onda ulgam deňölçegli hereket eder.

A steržende iki sany  $Q$  tutuş we  $F$  halka görnüşli platforma ýerleşdirilen ( $F$  halka görnüşli platformadan goşmaça ýükjagazlary aýryp bolýar). Platformalaryň ikisini hem gysylýan pružinli nurbatyň kömegi bilen sterženiň islendik ýerinde berkidip bolýar. Elektrosekundomer hereketiň wagtyňy hasaplaýar. Atwudyň maşynynda deňtizlenýän we deňölçegli hereketiň kanunyny we Nýutonyň ikinji kanunyny barlamak bolýar.

### 1-nji gönükmä.

#### Deňölçegli hereketde tizlikleriň kanunynyň üýtgemeyänligini barlamak.

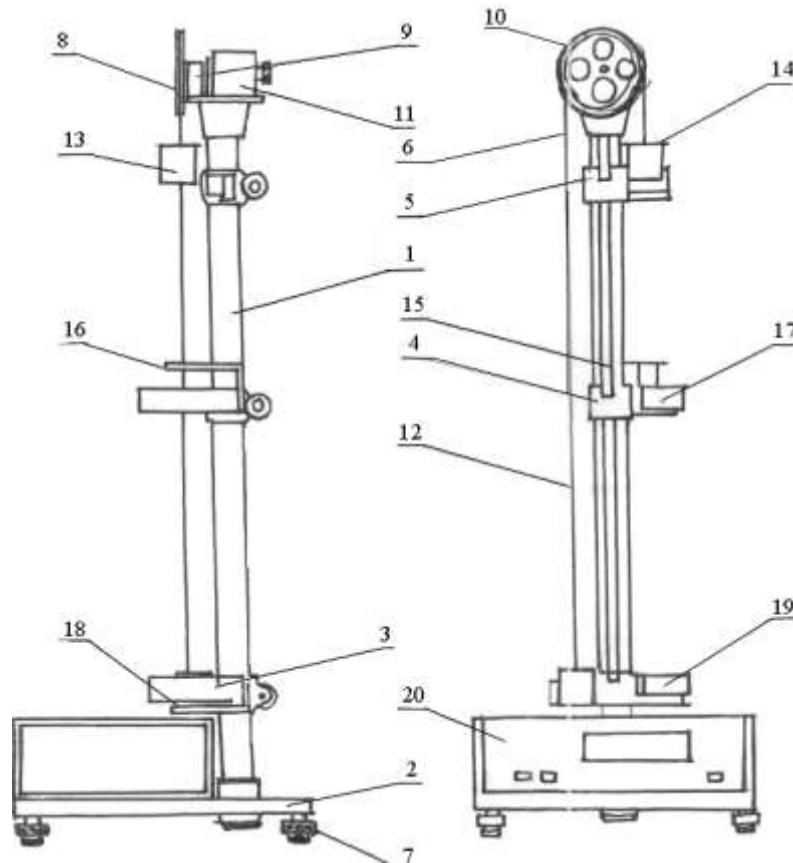
1. Halka görnüşli  $F$  platformany şkalanyň ýokarky başlangyjyndan 40+70 sm aralykda ýerleşdirmeli.
2.  $S_2$  ýüküň üstünde goşmaça ýükjagazlaryň birini goýmaly. Elektromagnitiň tumblerini "WKL" ýagdaýa geçirmeli. Şonda elektromagnit ulgamyny deňagramly halda saklar.
3. Elektromagnitiň tumblerini "WYKL" ýagdaýa geçirmeli. Şeýle halda elektromagnite tok barmasy kesiler we ýükjagazlar herekete geler.
4. Halka görnüşli platforma goşmaça ýükjagazy alyp galar. Esasy ýükler bolsa deňölçegli hereket ederler. Elektrosekundomeriň tumblerini "WKL" ýagdaýa

geçirmeli. Hereket edýän ýük gelip tutuş platforma urlan pursatynda elektrosekundomeriň tumblerini "WYKL hala geçirmeli.

Esasy tutuş we halka görnüşli platformaň ýerleşişini üýtgetmän hereketiň wagtyny elektrosekundomeriň kömegi bilen birnäçe gezek ölçemeli. Platformalaryň ýerleşiş aralygyny ölçäp we  $S_2$  ýüküň gaçan beýikligini ölçäp, ýüküň geçen ýoluny kesgitlemeli.

Ýüpüň tizligini  $g = \frac{S}{t}$  (4) formula boýunça hasaplamaly.

5. Halka görnüşli platforma degmän, tutuş platformaň ýerleşişini üýtgedip ölçegi 3—4 gezek gaýtalamaly.



2 –nj çyzgy.

Atwudyň maşynynyň umumy görnüşi.

Alnan netijeleri jedwele ýazmaly.

Jedwel 1.

Nº	$S,$ (m)	$t$ (s)	$g,$ (m/s)	$g_{ort} = \frac{g_1 + g_2 + g_3}{3}$	$\Delta\alpha_{ort} = \frac{\Delta g_1 + \Delta g_2 + \Delta g_3}{3}$	$\sigma = \frac{\Delta g_{ort}}{g_{ort}} \cdot 100 \%$
----	-------------	------------	---------------	---------------------------------------	---	--

1						
2						
3						

Aşakdaky gatnaşyklary barlamaly:

$$g = \frac{S_1}{t_{1\text{ orta}}} = \frac{S_2}{t_{2\text{ orta}}} = \dots = \frac{S_n}{t_{n\text{ orta}}} = \text{const}$$

Deň ölçegli hereketde tizlik üýtgemän galýar.

## 2-nji gönükme.

### Deňtizlenýän hereketde tizlenmäni kesgitlemek.

1. Tutuş we halka görnüşli platformany sterženiň ýokary ujyndan käbir aralyga süýşirip berkitmeli.
2.  $S_2$  ýüküň üstüne goşmaça ýükjagazyň birini goýmaly. Elektromagnitiň tumblerini “WKL” hala geçirmeli. Elektromagnit  $S_1$  ýüki özüne çekip saklar ýaly edip sistemany berklemlerli.
3. Elektromagnitiň tumblerini “WYKL” elektrosekundomeriň tumblerini “WKL” hala geçirmeli. Şu halda ýükleriň ikisi hem tizlenýän hereket eder. Haçanda ýükleriň biri gelip tutuş platforma urlanda elektrosekundomeriň tumblerini “WYKL” hala geçirmeli.
4. Ölçeği birnäçe gezek (3 - 4 gezek) gaýtalap geçirmeli. Ýükleriň biri iň ýokary ýagdaýda durka onuň aşaky çägi bilen tutuş platforma çenli aralygy ölçemeli.

Ýüküň tizlenmesini

$$a = \frac{2S}{t^2} \quad (5)$$

formula bilen kesgitlemeli.

5. Platformalar bilen ýükleriň ýerleşiş aralygyny birnäçe gezek üýtgedip ölçegi geçirmeli.

Ölçeğiň netijelerini jedwele ýazmaly.

Jedwel 2.

№	$S,$ (m)	$t,$ (s)	$g$ (m/s)	$a_{ort} = \frac{a_1 + a_2 + a_3}{3}$	$\Delta a_{ort} = \frac{\Delta a_1 + \Delta a_2 + \Delta a_3}{3}$	$\delta = \frac{\Delta a_{ort}}{a_{ort}} \cdot 100 \%$
1						
2						
3						

Ulgama tizlenme berýän güýjüň ululygynyň we sistemaň massasynyň hereketiň dowamynda üýtgemeyänligi sebäpli tizlenme hem üýtgemän galýar ( $a = \text{const}$ ). Aşakdaky gatnaşyklary barlamaly.

$$a = \frac{2S_1}{t_1^2} = \frac{2S_2}{t_2^2} = \dots = \frac{2S_n}{t_n^2} = \text{const}$$

### **3-nji gönükme.** **Nýutonyň ikinji kanunyny barlamak.**

Eger ýükleriň biriniň üstüne goýlan goşmaça ýükjagazlary alyp beýleki ýüküň üstüne geçirsek ulgamyň umumy massasy üýtgemez. Emma ulgama täsir edýän güýçleriň jemleýjisi ululygy boýunça üýtgäp, şonuň bilen birlikde hereketiň tizlenmesi hem üýtgär.

Ulgamyň iki sany dürli ýagdaýy üçin

onda

$$F_1 = ma_1 \quad \text{we} \quad F_2 = ma_2$$

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{ma_1}{ma_2} \quad \text{ýa-da} \quad \frac{F_1}{F_2} = \frac{a_1}{a_2} \quad (6)$$

Bu ýerden  $a_1$  we  $a_2$  - ni, 2-nji gönükmedäki ýaly aňsatlyk bilen kesgitlemek bolar

$$a_1 = \frac{2S}{t_1^2}; \quad a_2 = \frac{2S}{t_2^2}.$$

Ýa-da

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2} \quad (7)$$

(6) we (7) formulalary deňläp alarys:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$$

Berlen deňligiň dogrudygyny barlamaly.

### **Işiň ýerine ýetirlişi.**

1. Platformalaryň ikisiniň hem sütüniň aşaky başlangyjynda ýerleşdirmeli.  $S_2$  ýüküň üstüne  $m_2$ ,  $S_1$  ýüküň üstüne  $m_1$  massaly goşmaça ýükjagazlary goýmaly. Bu ýagdaýda ulgama täsir edýän güýç  $F = (m_2 - m_1) g$ .
2. Elektromagnitiň tumblerini ”WKL” hala geçirmeli. Şeýle edilende sistema dynçlyk ýagdaýda bolar.



3. Elektromagnitiň tumblerini "WYKL" hala geçirip elektrosekundomeriň kömegi bilen ýükleriň gaçma  $t$  wagtyňy bellemeli.
4. Goşmaça  $m_1$  ýükjagazy  $S_1$  ýükden  $S_2$  ýüke geçirmeli. Bu halda sistema täsir edýän güýç  $F_2 = (m_2 + m_1)g$
5. Ölçeği 2–3 gezek gaýtalap geçirmeli.

Alnan netijeleri jedwele ýazmaly.

Jedwel 3.

№	$F_1 = 4g$ (täsir edýän güýç)				$F_2 = 8g$ (täsir edýän güýç)				$\frac{F_1}{F_2} = \frac{t_2^2}{t_1^2}$
	$t_1'$ (s)	$t_1''$	$t_1'''$	$t_{1_{orra}}$	$t_2'$ (s)	$t_2''$	$t_2'''$	$t_{2_{orra}}$	
1									
2									
3									

### Barlag üçin soraglar.

1. Deňölçegli hereket. Deňölçegli hereketde tizlik
2. Deňtizlenýän hereket. Deňtizlenýän hereketde tizlenme.
3. Nýutonyň kanunlary.

### № 2 – nji tejribe işi.

### Maýyşgak we maýyşgak däl urgyda impulsyň saklanma ka nunynyň ýerine ýetirlişini barlamak.

### Gerekli abzallar we esbaplar.

1. Urgyny (çakyşmany) duýýan enjam,
2. Şarlar toplumy. (polat we plastilin şarlar),
3. Ölçeğ çyzgysy.

### Işň nazaryýeti.

Iki ýa-da birnäçe jisimleriň örän gysga wagtlaýyn özara täsir edişmeklerine urgy ýa-da çaknyşma diýilýär. Jisimler çaknyşanlarynda olar azda-kände deformasiýa sezewar bolýarlar.

Urgy wagtynda jisimleriň urgydan öňki kinetik energiýasy bölekleyin ýa-da doly görnüşde maýyşgak deformasiýanyň potensial energiýasyna öwrülýär.

Urgynyň iki görnüşi bar. **Absolýut maýyşgak we absolýut maýyşgak däl urgy.** Urgy wagtynda jisimleriň mehaniki energiýasy başga mehaniki däl energiýa öwürülmedik halyndaky uрга absolýut urgy diýilýär. Absolýut urgyda mehaniki energiýanyň we doly impulsyň saklanma kanunlary ýerine ýetýär.

Merkezi urgy üçin, ýagny, şarlar öz merkezlerinden geçýän göni çyzygyň urgy boýunça hereket edýän haly üçin energiýanyň we impulsyň saklanma kanuny şeýle ýazylyar.

$$\frac{m_1 g_1^2}{2} + \frac{m_2 g_2^2}{2} = \frac{m_1 g_1'^2}{2} + \frac{m_2 g_2'^2}{2}$$

$$m_1 g_1 + m_2 g_2 = m_1 g_1' + m_2 g_2'$$

bu ýerde  $m_1$  we  $m_2$ -çaknyşýan şarlaryň massalary;  $g_1, g_2$  we  $g_1', g_2'$ -şarlaryň urgydan öňki we soňky deňişlilikde tizlikleri. Eger mehaniki energiýa bölekleyin ýa-da doly görnüşde içki energiýa öwrülýän bolsa oňa absolýut maýyşgak däl urgy diýilýär. Jisimler urgydan soň şol bir tizlik bilen hereket edýärler ýa-da dynçlyk halda saklanýarlar. Absolýut maýyşgak däl urgyda diňe impulsyň saklanma kanuny ýerine ýetýär. Energiýanyň saklanma kanuny ýerine ýetmeýär.

$$m_1 g_1 + m_2 g_2 = (m_1 + m_2) g$$

bu ýerden

$$g = \frac{m_1 g_1 + m_2 g_2}{m_1 + m_2}$$

$g$ -şarlaryň urgydan soňky tizligi.

Şarlaryň merkezi urgysyny öwrenmek üçin mysaly gurnama seredip geçeliň.

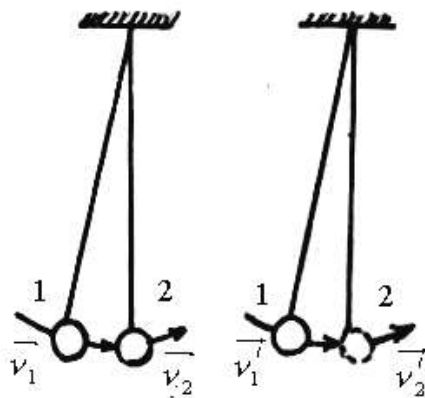
Iki sany  $m_1$  we  $m_2$  massaly şarlar  $l$  uzynlykly sapakdan asylan.

Şarlaryň birini,  $m_1$  massaly şary gapdala çekip, soňra goýbereliň.

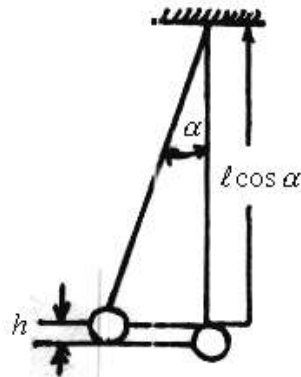
Şarlar çaknyşýarlar.  $m_1$  massaly şaryň urgydan öňki impulsy

$$P_1 = m_1 g_1$$

( $m_2$  massaly ikinji şar urgydan öň dynçlykda dur). Indi şaryň urgydan öňki tizligini kesgittäliň. Şary gapdala çekip biz oňa potensial  $k_p$  energiýa berýäris. Şaryň alan  $W_p$  potensial energiýasy urgy wagtynda  $W_k$  kinetiki energiýa öwrülýär.



1-nji çyzygy.



2-nji çyzygy.

$$m_1 g h = \frac{m_1 g_1^2}{2} \quad \text{ýa-da} \quad g_1 = \sqrt{2gh} \quad (1)$$

$h$ -yň bahasyny 2-nji çyzgydan tapyp bileris.

$$h = l - l \cos \alpha_1 = l(1 - \cos \alpha)_1 = 2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2}$$

bu ýerde  $h$ -sapagyň uzynlygy,  $\alpha_1$ -şar asylan sapagyň gyşarma burçy. 1-nji formulada  $h$ -yň bahasyny goýup alarys;

$$g_1 = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1}{2}; \quad (2)$$

Edil şunuň ýaly edip şarlaryň urgydan soňky  $g_1'$  we  $g_2'$  tizliklerini kesgitlemek mümkin.

$$g_1' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_1'}{2}; \quad (3)$$

$$g_2' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2'}{2}; \quad (4)$$

bu ýerde  $\alpha_1'$  we  $\alpha_2'$  - urgydan soňra şarlaryň wertikaldan gyşarma burçlary. Urgydan soňra şarlaryň doly impulsyny

$$P' = m_1 g_1' + m_2 g_2' \quad (5)$$

(5) formula bilen kesgitlemek bolar.

Şarlaryň maýyşgak däl urgydan soňraky doly impulsyny.

$$P'' = (m_1 + m_2) g_2'' \quad (6)$$

(6) formula bilen kesgitlemek bolar.

Bu ýerde  $g''$  – şarlaryň ideal maýyşgak däl urgydan soňraky umumy tizligi

$$g_2'' = 2\sqrt{gl} \sin \frac{\alpha_2''}{2} \quad (7)$$

bu ýerde  $\alpha_2''$  - urýan we urulýan şarlaryň bilelikdäki urgydan soňky burç aralygy.

Işi ýerine ýetirmek üçin berlen abzalyň umumy görnüşi 3-nji çyzgyda görkezilen.

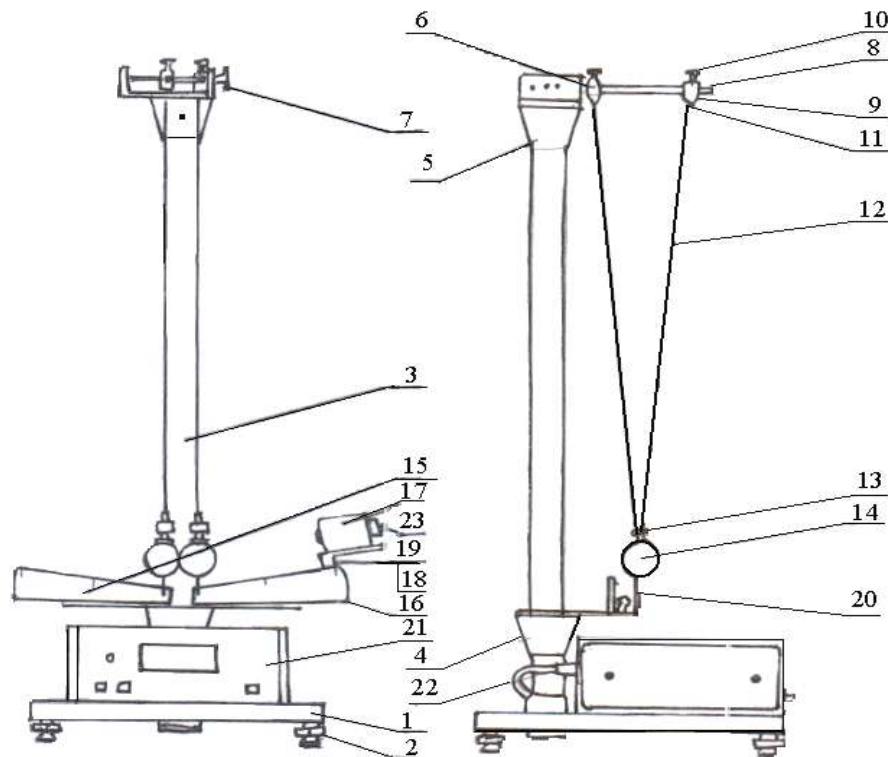
Abzal deň tekizlikde gurnar ýaly onuň esasynda (1) towlanyp girýän hyrly aýajyklar (2) oturdylan. Abzala berkidilen sütüniň (3) aşaky ujyna aşaky kranşteýni (4), ýokarky ujyna ýokarky kranşteýni (5) oturdylýan. Ýokarky kranşteýne (5) şarlaryň aralygyny süýşürrip sazlar ýaly sterženli kranşteýni (6) we hyrly worotok (7) berkidilen. Sterženli kranşteýnde boltyň (10) kömegi bilen berkidip bolýan süýşýän wtulkaly (9) berkidiji (8) oturdylan. Çaknyşýan (14) şarlar ýörite simlerden asylýan. Simleriň (12) bir uýy ýokarky kranşteýni, beýleki aşaky uýy bolsa ýörite ýasalan podwesiň (18) kömegi bilen şarlara birleşdirilen. Şar asylan simleriň uzynlygyny (11) asmanyň üsti bilen deňlemek bolar.

Sütünde oturan aşaky kranşteýne bölümlere bölünen (15, 16) iki sany metal plastini berkidilen.. Metal plastinaň birine plastinanyň boýyna süýşýän ЭМ (17) elektromagnit oturdylan. Elektromagniti (18, 19) boltlaryň kömegi bilen dürli beýiklikde we şkalanyň islendik bölümünde ýerleşdirmek bolar. (28) worotnik bilen elektromagnitiň toguny ulaldyp we azaldyp bolar.

Aşaky kranşteýne berkidilen metal plastinanyň ýerleşişini (2) gaýka bilen üýtgedip bolýar.

Abzalyň esasyna FRM-16 kysymly (21) mikrosekundomer berkidilen. Bu sekundomer ýörite birleşdirijiniň (22) üsti bilen şarlarda we elektromagnitde napraženie döredýär.

Şu işiň esasy maksady absolýut maýyşgak we maýyşgak däl urgyda impulsyň saklanma kanunynyň ýerine ýetişini barlamakdan durýar. Millisekundomeriň öňünden we yzyndan görnüşi.



3-nji çyzgy

Maýyşgak we maýyşgak däl urguny barlanylýan enjamyň umumy görnüşi.

$$P_1 = P' \quad (8) \quad \text{we} \quad P_1 = P'' \quad (9)$$

Şarlaryň deformasiýasy wagtyndaky döreyän güýçler, urgy wagtynyň dowamynda üýtgeýär. Şarlaryň haýsam bolsa birine täsir edýän şol güýçleriň wagta görä ortaça ululugyny tapalyň.

$$\langle \vec{F} \rangle = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} \vec{F}(t) dt$$

bu ýerde  $\tau$  -- şarlaryň çaknyşma wagtynyň dowamlylygy.

Dinamikanyň ikinji kanunyna laýyklykda:

$$\vec{F}(t) = \frac{d\vec{P}}{dt} \quad \text{bu ýerde} \quad \langle \vec{F} \rangle = \frac{|\Delta \vec{P}|}{\tau}$$

$\Delta \vec{P}$  --urgy prosesinde şarlaryň biriniň impulsynyň artmagy. Ortaça güýjüň moduly

$$|\langle \vec{F} \rangle| = \frac{m \vartheta_1}{\tau}$$

Eger urgydan öň şarlaryň biri dynçlykda duran halynda we şarlaryň massalary deň bolsa, onda  $|\Delta \vec{P}| = m_1 \vartheta_1$  Bu ýerde  $\vartheta_1$  –urýan şaryň urgy pursatyndaky tizligi.

Şu halda ortaça güýjüň moduly  $|\langle F \rangle| = \frac{m \vartheta_1}{\tau}$  (10) deňdir.

### Işň ýerine ýetirlişi.

#### 1-nji gönükmä. Impulsyň (hereket mukdaryň) saklanma kanunyny barlamaly.

1. Şarlary simleriň uýyndaky podwese towlap oturtmaly. Soňra (7) worotogyň kömegi bilen ýokarky kronşteýndäki (6) sterženleriň aralygyny asylan şarlar tä biri-birine galtaşýança üýtgetmeli.
2. (10) bolty gowşadyp şarlara oturdylyan ýiti uçlar metal plastinanyň tekizligine parallel bolýança (8) berkidijini süýşürmeli. Soňra (10) bolty towlap çekmeli.
3. Asylan şarlaryň göwrüminiň köp bölegi plastinanyň çäginde ýokarda bolmaly. Şarlara oturdylyan ýiti uçlar plastinanyň tekizliginde plastina degmän hereket etmeli.
4. (20) gaýkanyň kömegi bilen şarlaryň ýiti uçlarynyň ýerleşişini plastinanyň ýüzündäki nula deňlemeli.
5. (18), (19) boltlary gowşadyp şarlaryň hereketiniň ugryny we ЭМ elektromagnitiň ýerleşişini bir gönüň üstüne düşer ýaly etmekligi gazanmaly.
6. Millisekundomeri toga birleşdirip, soňra onuň  $W_1$  (SET) klawişasyny basmaly. Siz abzalyň işleýändigine göz ýetirýärsiňiz.
7. Millisekundomeriň  $W_3$  (PUSK) klawişasyna basmaly.
8. (23) worotogy towlap ЭМ elektromagnit şary saklar ýaly onuň toguny saýlap almaly.
9. Asylgy şarlaryň sag tarapkysyny elektromagnite saklatmaly. Çepdäki şar dynçlykda galmaly.

10. Elektromagnitiň özüne dartyp duran şarynyň wertikaldan gyşarma burçyny ýazmaly.
11.  $W_2$  (СБРОС) we  $W_3$  (ПЫСК) klawişleri basyp goýbermeli. Şarlar çaknyşarlar. Çaknyşmadan soň şarlaryň  $\alpha$ ,  $\alpha'_2, \alpha''_2$  gyşarma burçlaryny bellemeli. Millisekyndomeriň tablosyndan bolsa urgynyň dowamlygynyň wagty  $|\tau|$  ýazyp almaly. Ölçepleri birnäçe gezek gaýtalamaly. Gyşarma burçlaryň we urgynyň dowamlygynyň wagtyň ortaça bahalaryny aşakdaky formulalary peýdalanyp kesgitlemeli.

$$\alpha'_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha'_{1i}; \quad \alpha''_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha''_{2i}$$

$$\alpha'_1 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \alpha'_{2i}; \quad \tau = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \tau_i$$

bu ýerde  $n$  – ölçegiň sany.

12. Ýokarky kronşteýndäki sterženden şarlaryň merkezine çenli aralygy lineýka bilen ölçemeli.
13. Şarlaryň urgydan öňki we soňky tizliklerini (2), (3), (4), (7) formulalardan peýdalanyp tapmaly.
14. Şarlaryň massalaryny terezide çekmeli.
15. Şarlaryň urgydan öňki we soňky impulslaryny (1), (5), (6) formulalary ulanyp hasaplamaly. Soňra olaryň absolýut bahasyny deňeşdirmeli.

16. Ölçeğiň ýalňyşlygyny hasaplamaly.
- $$\delta = \frac{|P_1 - P'|}{P_1} \cdot 100 \%$$

bu ýerde  $P$  we  $P'$  – şaryň urgydan öňki we soňky impulsy.

Alnan netijeleri jedwele ýerleşdiriň.

**Maýyşgak urgy.**

Jedwel 1.

№	Massa $m_1$ (kg)	Massa $m_2$ (kg)	Sapagyň uzynlygy $\ell$ , (m)	Gyşarma aralygy			Şarlaryň tizligi		
				$\alpha_1$ grad	$\alpha'_1$	$\alpha'_2$	$g_1$ (m/sek )	$g'_1$	$g'_2$
1									
2									
3									

$P_1 = P'_1$  deňligi barlamaly.

**Maýyşgak däl urgy.**

Jedwel 2.

№	Massa $m_1$ , (kg)	Massa $m_2$ , (kg)	Sapagyň uzynlygy $\ell$ , (m)	Gyşarma aralygy		Şarlaryň tizligi	
				$\alpha_1$ <i>grad</i>	$\alpha_2''$	$g_1$ (m/sek )	$g_2''$
1							
2							
3							

$P_1 = P_2'$  deňligi barlamaly.

**2-nji gönükmä.** Şarlaryň täsir edýän güýjüň wagta görä orta bahasyny kesgitlemeli.

Urgy wagtyň dowamlylygynyň ( $\tau$ ) urgy şaryň  $g_1$  tizligini we onuň  $m_1$  massasyny (10) formulada ýerine goýup,  $\langle F \rangle$  güýjüň wagta görä ortaça bahasyny kesgitlemeli.

### Barlag üçin soraglar.

1. Maýyşgak we maýyşgak däl urgylar.
2. Impulsyň saklanma kanuny.
3. Mehaniki energiýanyň saklanma kanuny.
4. Impulsyň saklanma kanunynyň maýyşgak we maýyşgak däl urguda ulanylşy.

### № 3. Tejribe işi.

#### Egilme deformasiýasynda Ýungyň modulyny kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar.

1. Göniburçly uzyn steržen.
2. Egilmäni ölçeyän indikator.
3. Çekuw daşlary.
4. Ölçeg çyzgyjy.
5. Mikrometr.

#### Işiň nazarýeti.

**Deformasiýa we onuň görnüşleri:** Jisimlerin daşky güýçlerin täsiri astynda özläriniň formasyny ýa-da ölçeglerini üýtgetmeklik häsiýetine deformasiýa diýilýär. Tebigatda daşky güýçlerin täsiri netijesinde hemme jisimler öz formalaryny ýa-da ölçeglerini azda-kände üýtgedýärler.

Daşky güýçleriň täsiri kesilenden soň doly, ozalky görnüşe gaýdyp gelýän jisimlere **absolýut-maýyşgak** jisimler diýilýär. Daşky täsir edýän güýç jisimiň maýyşgaklyk çäginiň derejesinden uly bolsa, onda jisime täsir edýän güýç kesilenden soň (ýa-da ýük aýrylandan soň) jisimde galyndy deformasiýa emele gelýär. Jisime goýlan güýjiň ululygy (ýüküň agramy) örän uly bolanda, jisim öz durkuny ýitirýär.

Deformirlenýän jisimlerde Nýutonyň 3-nji kanunyna görä deformirlenmeklige garşy güýç döreýär. Gaty jisimleriň atomlarynyň özara täsir edişýänligi zerarly, jisimiň islendik kesiginde döreýän güýç onuň ähli ýerine ýaýraýar. Şu ýaýraýan güýçleriň esasynda jisim dartgynly halda bolýar.

Deformirlenen jisimiň şeýle ýagdaýyny häsiýetlendirmek üçin mehaniki güýjenme diýilýän ululyk girizilýär. Güýjenme - maýyşgaklyk güýjiň  $dF$  modulynyň jisimiň  $dS$  kese-kesigine bolan gatnaşygy bilen ölçenilýän fiziki ululykdyr.

$$\sigma = \frac{dF}{dS} \quad (1)$$

HBS-da güýjenmäniň birligi deregine  $1 \text{ Pa} = 1 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$  kabul edilýär. Eger täsir edýän maýyşgaklyk  $dF$  güýjüň ugry jisimiň kese-kesiginiň meýdanyna normal (perpendikulýar) ugrykdyrylsa, onda jisimde normal güýjenme döreýär, ýagny  $\sigma = F / S$ . Jisimleriň deformasiýasy görnüşleri boýunça: süýşme, gysylma, süýşme, towlanma we egrelme deformasiýalaryna bölünýär we absolýut  $\Delta x = \pm (x - x')$  /hem-de otnositel  $\varepsilon = \Delta x / x$  deformasiýa bilen häsiýetlendirilýär.

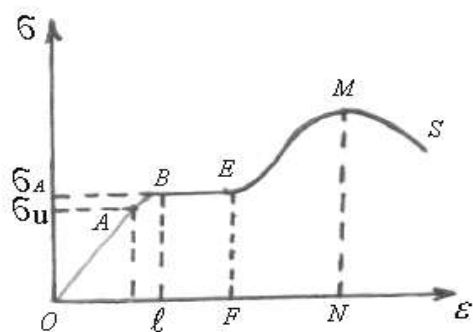
Absolýut we otnositel deformasiýa jisimleriň ölçeglerine we formasyna bagly. Bu ýerde  $x'$  -- jisimiň deformirlenenden soňky ölçegi.  $x$  -jisimiň başlangyç ölçegi.

Hemme taraplaýyn gysylmada ýa-da süýnmede  $x$  ululyk  $V$  göwrümi,  $\Delta x$  bolsa  $\Delta V$  göwrümiň kiçelmegini ýa-da ulalmagyny aňladýar. Bir taraplaýyn uzalma ýa-da gysylma deformasiýasynda  $x = l$ ,  $\Delta x = \Delta l$  deňdir.

Belli inlis fizigi R. Guk 1865-nji ýylda kiçi deformasiýalarda  $\sigma$  güýjenmäniň  $\varepsilon$  otnositel deformasiýa göni proporsionaldygyny tejribe arkaly anyklady.  $\sigma = k \frac{\Delta x}{x}$

Bu ýerde  $k$ -jisimiň materialyna bagly maýyşgaklyk modulyna deň bolan proporsionallyk koeffisienti. Maýyşgaklyk modulynyň ters ululygyna deň bolan  $\alpha = \frac{1}{k}$  ululygyna maýyşgaklyk koeffisienti





1-nji çyzgy

diýilýär.  $\sigma$  güýjenmäniň  $\varepsilon$  otnositel deformasiýa baglylyk grafigi sünme diagrammasynda görkezilen. (1-nji çyzgyda). Grafigiň  $OA$  oblastynda Gukun kanuny örän takyk ýerine ýetýär. Bu oblastda otnositel deformasiýa güýjenmä göniçyzykly baglydygy görkezilýär. Eger güýjenmäni ulaltsak, onda deformasiýa çyzykly däl bolar, güýjenme otnositel deformasiýa göni proporsional bolmaz. Çyzykly däl deformasiýa güýjenme (ýük) aýrylandan soň jisim öňki öz formasyny we ölçeglerini alar ( $AB$ ).

Gukun kanunynyň ýerine ýetýän mahalynda  $\sigma_p$  -- maksimal güýjenmä proporsionallyk çägi diýilýär. Entek galyndy deformasiýasy aýyk ýüze çykmaýan iň uly güýjenmä  $\sigma_A$  maýyşgaklyk çägi diýilýär. ( $\sigma_u$   $A$  nokadyň ordinatasy). Jisimiň maýyşgaklyk çägi onuň iň esasy mehaniki häsiýetlerini görkezýän ululyklaryň biridir. Mysal üçin, gurluşyk çyzyglary taýarlananda mehaniki güýjenmesi  $0,5 \sigma_u$  -den uly bolmadyk materiallardan ýasalan sütünler saýlanyp alynýar.

Diagrammada  $A$  nokatdan  $B$  nokada çenli aralyk galyndy deformasiýa degişlidir. Oňa plastiki deformasiýa oblasty diýilýär.  $B$  nokatdan  $F$  nokada çenli bolan aralyk güýjenmäniň käbir bahasynda ýük artdyrylmasada ösýän uzalma degişlidir. Bu hadysa **materialyň akyjylygy** diýilýär.

Soňra güýjenmäniň artmagy bilen diagrammanyň egriligi ulalyp başlaýar we  $M$  nokatda iň uly baha ýetýär. Soňra güýjenme  $\varepsilon$  çalt pese düşýär we çydamlylygy barlanylýan nusga zaýalanýar. Şeýlelikde güýjenme berklilik çägi diýilýän  $\sigma_A$  iň uly baha ýeten soň üzümeklik bolup geçýär. Jisimiň uzynlygyna süýnme ýa-da gysylma deformasiýasyndaky maýyşgaklyk modulyna Ýungyň moduly diýilýär we ol Gukun kanunyna görä aşakdaky ýaly ýazylýar.

$$\sigma = E \frac{\Delta l}{l} \quad (2)$$

bu ýerde  $E$  – Ýunguň moduly. (1) we (2) formuladan alarys:

$$E = \frac{Fl}{S \Delta l} \quad (3)$$

$\Delta l = l$  bolanda  $E = \sigma = \frac{F}{S}$  bolanda, ýagny Ýungyň moduly maýyşgak deformasiýasynda Gukun kanuny ýerine ýetende nusganyň uzynlygynyň iki esse artmagyny döredýän normal güýjenmä deňdir.

HBS-da Ýungyň modulynyň ölçeg birligi  $\frac{N}{m^2}$  deňdir, iş ýüzünde maýyşgaklyk moduly  $kg/mm^2$  ölçenilýär.

### **Ulanylýan usulyň nazaryeti we ölçeg usulynyň ýazgysy.**

Jisimleriniň maýyşgaklyk modulyny onuň egilme deformasiýasyny ölçemek bilen kesgitlemek bolýar. Egilme deformasiýasy iň ýönekeý görnüşde parallelopiped görnüşli uzyn sterženlerde ýüze çykýar: Onuň ululygy sterženiň daýanç nokatlaryna hem-de olaryň berkidilşine baglydyr. Deformasiýanyň ähli hallarynda onuň ululygyny egilmäniň ululygy ( $l$ ) bilen, steržene goýlan güýjüň düşýän nokadynyň egilme aralygy bilen ölçenilýär. Egilme ululygy steržene goýlan ýüküň agramyna, sterženiň ölçeglerine, onuň görnüşine we sterženiň materialynyň maýyşgaklyk modulyna baglydyr. Şu işde synag sterženiň uçlary gozganmaýan daýançlaryň üstünde goýulýar. Sterženiň ortasyndan  $P$  agramly ýük asylan. Steržen egrelip ýaý görnüşli bolar.

Sterženiň egilmesini döredýän agram, onuň daýanç ayaklaryna ýarpylaýyn düşýär. Şeýlelikde, sterženiň daýançlaryna  $P/2$  deň bolan güýç täsir edýär. Bu güýç sterženiň merkezinden uçlaryna çenli  $l/2$  aralykda ýerleşýän nokada täsir edýär.

Sterženiň geometriki ölçeglerini hasaba alyp deformirleýji güýjüň döredýän momentini aşakdaky ýaly ýazmak bolar.

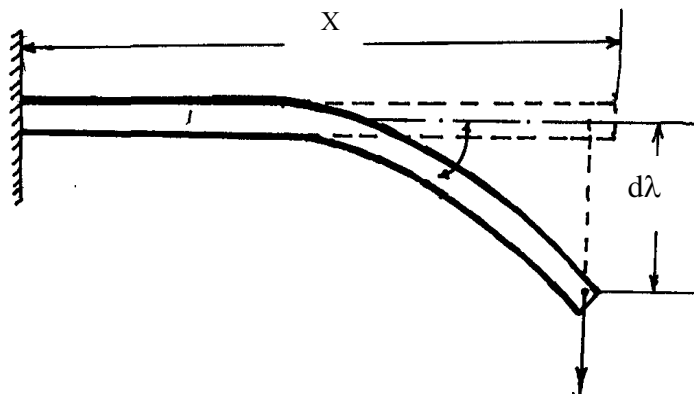
$$M = .Px = \frac{I}{12} Eab^3 \frac{d\varphi}{dx} \quad (4)$$

bu ýerde  $a$  -- sterženiň ini.

$b$  – sterženiň galyňlygy.

$$d\varphi = \frac{d\lambda}{x}$$

$d\lambda$  -- ýaý bermek ululygynyň elementi. (5) formulany (4) formulada ýerine goýup alarys:



$$P x = \frac{I}{12} E \alpha b^3 \frac{d\lambda}{x dx} \quad (6)$$

(6) deňligi  $d\lambda$  -- görä çözsek

$$d\lambda = \frac{12 P x^2 dx}{E \alpha b^3} \quad (7)$$

2 – nji çyzgy.

(7) deňligi 0-dan  $l$ -çenli çäkke integrirläp ýaý bermäniň ululygyny taparys

$$\lambda = \frac{12 P x^3}{3 E \alpha b^3} \Big|_0^l = \frac{4 P l^3}{E \alpha b^3} \quad (8)$$

bu ýerde  $P$ -deformasiýanyň ýaý bermesini döredýän güýç.  $l$ --sterženiň uzynlygy.

### Işni ýerine ýetirlişi.

Barlag geçirilýän parallelopiped görnüşli uzyn nusga sterženi iki sany daýanjyň üstünde uzynlygyna goýmaly. Soňra ölçeg çyzgysy bilen iki daýanjyň aralygyny ölçemeli.

Ýaý berme ululygyny indikator diýilýän abzalyň kömegi bilen ölçemeli. Indikatornyň çykyp duran ujyny sterženi deň ýarpa bölýän nokadyň üstüne basyp durar ýaly edip berkitmeli. Şonda indikatornyň peýkamy 3-4 gezek aýlanar (3-nji çyzgyda).

Abzalyň peýkamyny nola geçirmek üçin indikatornyň aýlanýan tegelegini sagat peýkamynyň ugruna ýa-da tersine tä peýkamynyň, ugry şkalanyň nol bölüjisi bilen gabat gelinçä aýlamaly.

Eger barlag geçirilýän nusgadan (sterženden) ýük assak nusga egilýär we indikatornyň ujyna düşýän basyş azalýar. Şeýlelikde, indikatornyň peýkamy birnäçe bölünijä öwrülýär. Indikatornyň görkezmesi san taýdan sterženiň berlen agramda ýaý bermesine deň bolar (indikatornyň şkalasynda bir bölüjiniň bahasy  $0,01 \text{ m}$ ). Hasaplamaný, ýagny ölçegi has göwnējaý ýazmak üçin indikatore şkalasy iki sanydyr, birinde hasaplama peýkamy ters ugra öwrülende alynýar.

I. Indikatornyň çykyp duran ujyny egrelmä sezewar boljak nusganyň (sterženiň) edil orta aralygyndaky nokada degip durar ýaly edip berkitmeli. Indikatornyň aýlanma tegelegini peýkamynyň ugry tä nol şkala bilen gabat gelinçä öwürmeli. Şonda

peýkamy noly görkezer (bu ölçegiň başlangyjydyr). Sebäbi nusga-sterženden entek ýük asylanok.

2. Nusga-sterženden  $P$  agramly ýüki asmaly. Indikatoryň peýkamy şkala boýunça öwrüler we belli bahany görkezer. Bu bolsa ýaýbermäň bahasydyr. Peýkamyň görkezmesini ýazyp belläň, ýene-de indikatoryň şkalasyny nola öwürmeli.

3. Nusga-steržene goýulan agramlaryň ululygynyň yzygiderliligini  $2P$  artdyryp, hasaplamany gaýtalamaly we ýaýbermäň bahasyny hasaplamaly. Alynan ölçegleri jedwele geçirmeli.

4. Indiki nusga-sterženden asylan ýükleri yzygiderlilikde bir- birdeň aýryp peýkamyň görkezýänini ýazmaly, ýagny  $\lambda$  ýaýbermäniň ululygyny hasaplamaly.

Her bir agramda alynan  $\lambda$  ýaýbermäniň iki bahasyndan onuň ortaça bahasyny tapmaly.

Alynan ölçeglerden peýdalanyň 9-njy formuladan maýyşgaklyk modulynyň ululygyny kesgitlemeli.

jedwel.

№	$\ell$ (m)	$\alpha$ (m)	$b$ (m)	$P$ (N)	$\lambda_1$ (m)	$\lambda_2$ (m)	$\lambda_{orta}$ (m)	$E$ (N/m <sup>2</sup> )	$\Delta E$	$\Delta E_{ort}$ a	$\frac{\Delta E_{orta}}{E_{orta}} \cdot 100$ %
1											
2											
3											

### Barlag üçin soraglar.

1. Deformasiýa we onuň görnüşleri. Maýyşgak deformasiýa.
2. Maýyşgak deformasiýa üçin Gukuň kanuny.
3. Ýunguň modulynyň fiziki manysy.

#### № 4. Tejribe işi.

**Towlanma hereket edýän jisimiň inersiýa momentini kesgitlemek.**

**Gerekli abzallar we esbaplar:**

1. Towlanyp hereket edýän maýatnik.
2. Millisekundomer (wagty ölçeýän abzal).
3. Dürli formaly ýükler.
4. Ştangensirkul.

#### **Işiň nazaryýeti**

**Towlanýan maýatnik** munuň özi, belli inersiýa momenti bolup sapakdan asylan agramly jisimdir. Maýatnik deňagramlylyk ýagdaýdan çykarylanda onuň hereketiniň kinetik energiýasy sapagyň towlanma maýyşgak deformasiýasynyň potensial energiýasyna öwrülýär. Soňra potensial energiýanyň kinetik energiýa öwürülme prosesi we tersine gaýtalanýar. Şeýlelikde, maýatnik garmoniki yrgyldyly hereket edýär.

Towlanma deformasiýasy üçin Gukuň kanunyna laýyklykda, ýazyp bileris.

$$M = -k\alpha \quad (1)$$

Bu ýerde  $M$  - jisimiň oka görä aýlanma momenti;

$k$  – towlanma moduly diýilýän koeffisient, (berlen sapak üçin hemişelik ululykdyr);

$\alpha$  - sapagyň towlanma burçy.

(I) deňlemedäki minus alamaty maýatnigiň aýlanma momentiniň ugrunyň we gyşarma ugrunyň garşylykly ugrukdyrylandygyny aňladýar.

Maýatnigiň sapagyny towlamaklyk üçin maýyşgak güýjüň edýän elementar işi onuň aýlanma momentiniň towlanma burçuna köpeldilmegine deňdir.

$$dA = Md\alpha = -k\alpha d\alpha .$$

Şu deňleme integrirlenenden soň, ýazyp bileris.

$$A = k \frac{\alpha^2}{2}$$

Towlanma sapagynyň sürtülmesiniň örän ujypsyzlygyny göz önünde tutup we maýyşgak güýjüň edýän işini aýlanma hereketdäki kinetik energiýa deňläp alarys:

$$\frac{I\omega^2}{2} = k \frac{\alpha^2}{2} \quad \text{ýa-da} \quad \sqrt{\frac{I}{k}} = \frac{\alpha}{\omega} \quad (2)$$

Aýlanma hereketi üçin dinamikanyň kanunynyndan peýdalanyp

$$M = I\varepsilon \quad (3)$$

we (I) formulany ulanyp, ýazyp bileris:

$$I\varepsilon + k\alpha = 0$$

Ýa-da

$$\frac{d^2\alpha}{dt^2} + \frac{k}{I}\alpha = 0$$

Şu berilen aňlatmany garmoniki yrgyldynyň deňlemesi bilen deňeşdirip alarys

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0,$$

bu ýerden  $\omega_0 = \sqrt{k/I}$  netije gelýär.

Ýazylan deňlemäniň hususy görnüşi  $\alpha = A \cos \sqrt{\frac{k}{I}} x$  bolup biler bu ýerde

$\omega_0$  – aýlanma ýygyllygy. Ol  $\omega_0 = 2\pi/T$  wagtyň  $T$  dowamlylygyna baglydyr.

Şeýlelikde, maýatnik  $T = 2\pi\sqrt{\frac{I}{k}}$  dowamly garmoniki hereket eder.

Ýagny, bu formuladan  $I = \frac{T^2}{4\pi^2} k \quad (4)$

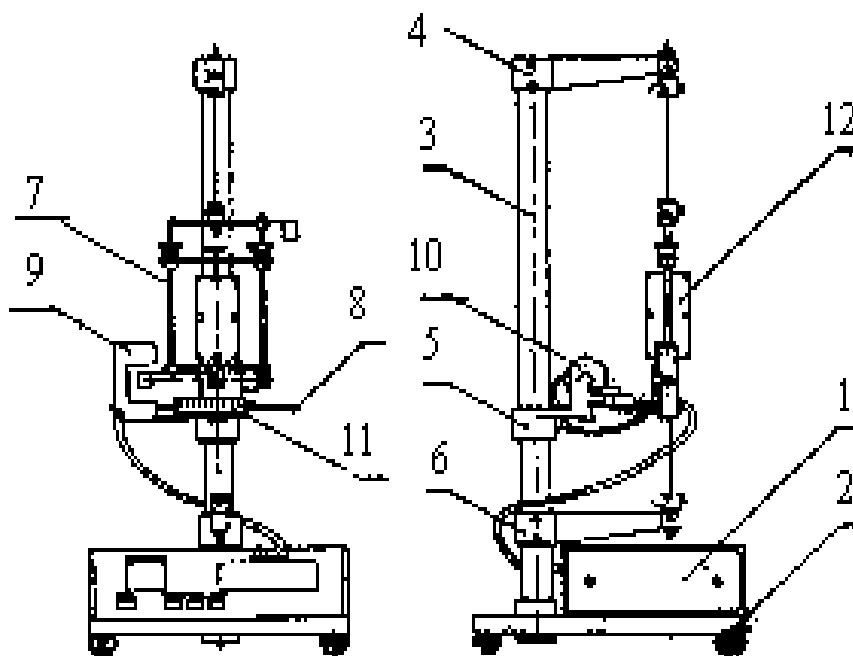
Sapagyň  $k$  towlanma modulyny bilip (4) formuladan gaty jisimleriň inersiýa momentini kesgitlemek bolýar.

Maýatnigiň towlanma yrgyldysynyň dowamlylygyny millisekundomeriň görkezýän wagty alyp  $T=t/n$  formuladan kesgitlemek bolar. Bu ýerde  $t$  – yrgyldynyň wagty;  $n$  – yrgyldynyň sany. Berlen tejribe işiň esasy maksady jisimiň inersiýa momentini onuň esasy merkezi inersiýa momenti bilen baglanyşdyrýan formulany barlamakdan ybaratdyr.

Käbir jisimiň öz massalar merkezinden geçýän  $OA$  oka görä  $I_A$  inersiýa momenti we onuň  $I_x, I_y, I_z$  merkezi inersiýa momentleri aşakdaky formula bilen özara baglanşyklydyr.

$$I_A = I_x \cos^2 \alpha + I_y \cos^2 \beta + I_z \cos^2 \gamma \quad (5)$$

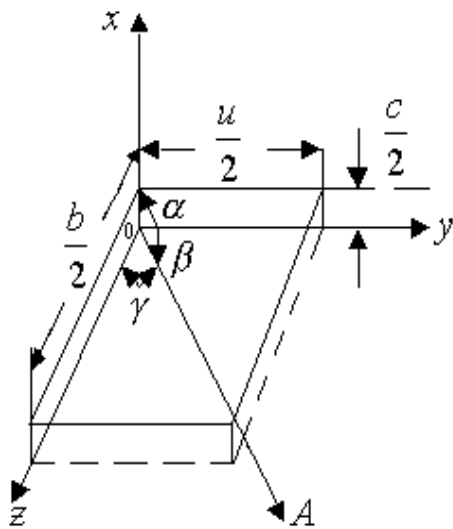
Bu ýerde  $\cos \alpha, \cos \beta, \cos \gamma$  - deňişlilikde  $OA$  okuň ugrukdyryjy kosinuslary, ýagny  $OA$  ok bilen esasy  $OX, OY, OZ$  oklaryň arasyndaky burçlaryň kosinusy.



1-nji çyzgy.

Towlanma maýatniginiň umumy görnüşi.

(4) formuladaky  $I$  inersiýa momentiniň bahasyny (5) formulada goýsaň ýüküň tovlanma momenti deňlemeden aýrylýar (gysgalýar). Şeýlelikde, (5) formula jisimiň oka görä tovlanma yrgyldysynyň dowamlylygynyň onuň geometrik ölçeglerine baglydygyny görkezýär.



$$\left. \begin{aligned} \cos \alpha &= \frac{c}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \\ \cos \beta &= \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \\ \cos \gamma &= \frac{b}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

2-nji çyzgy.

Esasy we merkezi oklara görä jisimiň inersiýa momentlerini, degişlilikde, aşakdaky ýaly ýazmak bolar.

$$\left. \begin{aligned} I_x &= \frac{k}{4\pi^2} T_x^2 \\ I_y &= \frac{k}{4\pi^2} T_y^2 \\ I_z &= \frac{k}{4\pi^2} T_z^2 \end{aligned} \right\} \quad (7)$$

$$I_A = \frac{K}{4\pi^2} T^2 A \quad (8)$$

### Abzalyň ýazgysy

“Towlanma maýatnigi“ diýilýän abzalyň umumy görnüşi 2-nji çyzgyda şekillendirilen.

Gysyjy hyrlaryň kömegi bilen sütünde (4, 5, 6) kranşteýinler oturdylyan. (4) we (6) inçe polatdan ýasalan sim, (5) kranşteýne (9) fotodatçik ýörite burçlara bölünen (11) şkala we (10) elektromagnit berkidilen (8) ýasy polat plita oturdylyan.



Daşky uzynlyk ölçegleri biri-birinden has tapawutlanan jisimleri aýry-aýry çarçuwanyň içine ýerleşdirer ýaly onuň ýokarky egni aşak we ýokaryk süýşip bilýär.

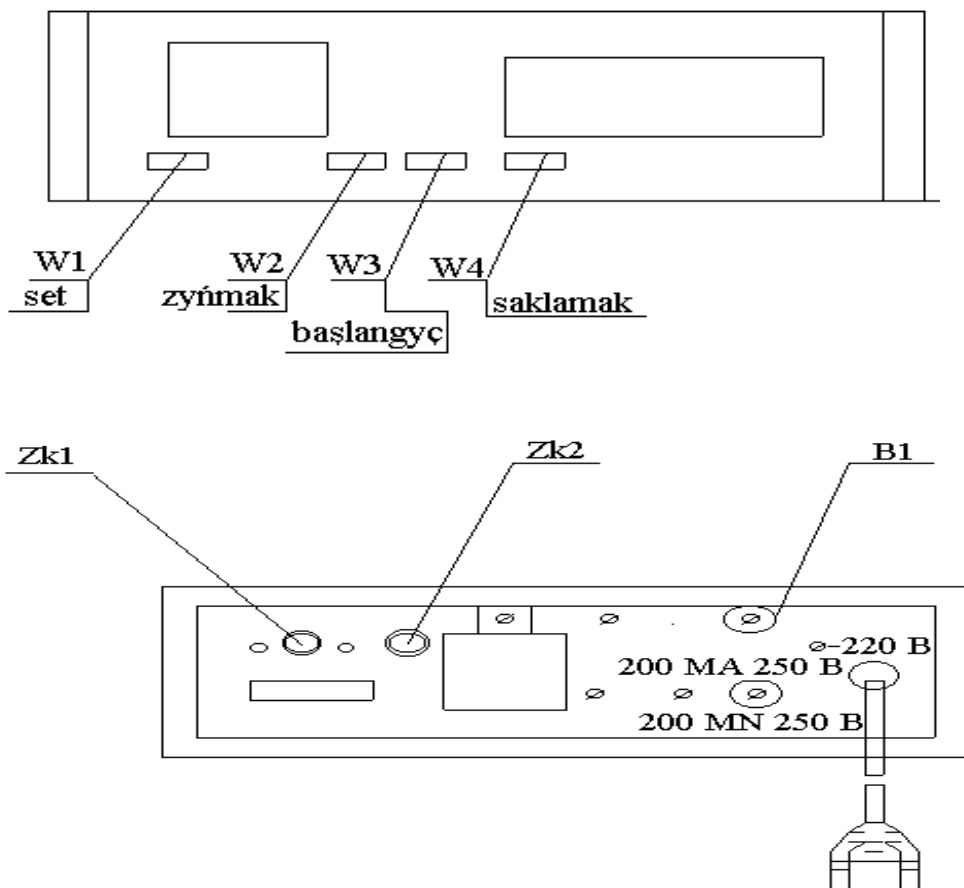
Ölçegde ulanylýan ýükler polatdan ýasalan burçlary çala kesilen parallelipedlerdir.

Parallelipedleriň gapdal ýanlarynyň ortasyndaky edilen ýörite deşijkler onuň esasy oklarynyň ugurlaryny, dioganalyndaky deşijkler bolsa  $OA$  okuň ugryny görkezýär.

Millisekundomeriň önünden we yzyndan görnüşi 3-nji çyzgyda görkezilen.

### Işň ýerine ýetirlişi.

1. Barlag geçirilýän jisimiň (parallelipediniň) inini, boýuny we galyňlygyny ştangensirkul bilen ölçemeli. Bu ululyklar bolsa (6) formuladaky  $OA$  okuň ugrukdyryjy kossinusyny görkezýär.
2. Barlag geçirilýän ýüki  $OX$  oka görä deşijege laýyklykda çarçuwada berkitmeli. Soňra  $W_1$  (set) açara basmaly.
3. Içi ýükli çarçuwany towlap ony elektromagnite saklatmaly.
4. Ilki  $W_2$  (zyňmak) deňyjyny, soňra  $W_3$  goýberiji açary basmaly.
5. 10 sany towlanma yrgyldyny sanap  $W_4$  açary basmaly.
6.  $T=t/n$  formula boýunça maýatnigiň periodynyň dowamlylygyny tapmaly.



3-nji çyzgy.

Abzalyň yzyndan we önünden görnüşi.

7. Ýüki  $Oy$ ,  $O\check{Z}$ ,  $OA$  oklara görä berkidip ölçegleri deňişlilikde gaýtalamaly.
8.  $T_x$ ,  $T_y$ ,  $T_z$  we  $T_A$  dowamlylygyň bahalaryny (7) formulada goýup  $I_x$ ,  $I_y$ ,  $I_z$  we  $I_A$ , bahalary tejribe esasynda kesgitlemeli.
9.  $I_A$  –ny hasaplap (5) gatnaşygy barlamaly.
10. Gollanmanyň girişindäki formulalardan peýdalanyp ölçegleriň ýalňyşlygyny hasaplamaly. Ölçege goýberilen ýalňyşlygyň derejesi  $\pm 5\%$  - den uly bolmaly däl.
- 11.1—10 görkezmeleri beýleki ýükler üçin hem ýerine ýetirmeli .
12. Ölçegleriň netijelerini aşakdaky jedwelde ýazmaly.  
1)  $m_1 = 980 \text{ g}$ ,  $a = 50 \text{ mm}$ ,  $b = 50 \text{ mm}$ ,  $c = 50 \text{ mm}$ .  
Alnan netijeleri jedwele geçiriň.

Jedwel

№	Yrgyldynyň wagty				Yrgyldynyň sany				Yrgyldynyň dowamlylygy				Inersiýa momenti				$\delta$ %
	$t_x$ (s)	$t_y$	$T_z$	$t_A$	$n_x$	$n_y$	$n_z$	$n_A$	$T_x$ (s)	$T_y$	$T_z$	$T_A$	$I_x$ ( $\text{kgm}^2$ )	$I_y$	$I_z$	$I_A$	
1																	
2																	
3																	

- 2)  $m_2 = 1884 \text{ g}$ ,  $a = 40 \text{ mm}$ ,  $B = 60 \text{ mm}$ ,  $C = 100 \text{ mm}$   
 3)  $m_3 = 1962 \text{ g}$ ,  $a = 50 \text{ mm}$ ,  $B = 50 \text{ mm}$ ,  $C = 100 \text{ mm}$

### Barlag üçin soraglar.

1. Gaty jisimleriň inersiýa momenti.
2. Inersiýa momenti üçin Şteýneriň teoreması.
3. Garmoniki yrgyldy we onuň deňlemesi. Yrgyldynyň dowamlylygy, fazasy, amplitudasy we süýşmesi.

## № 5-nji Tejribe işi

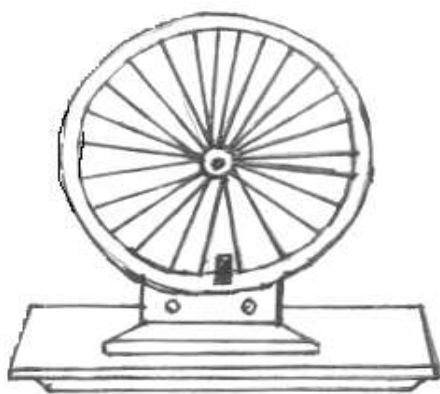
**Yrgyldatma usuly boýunça tigriň inersiýa momentini kesgitlemek.**

**Gerekli abzallar we esbaplar.**

1. Welosiped tigri (koleso).
2. Silindir görnüşli ýükjagaz.
3. Abzalyň şkalasyna berkidilen metal lineýkasy.
4. Ştangensirkul.
5. Sekundomer.
6. Gyşarma burçy hasaplar ýaly gradusa bölünen şkala.

**Ulanylýan usulyň we abzalyň ýazgysy.**

Berilen tejribe işinde platforma berklenen gorizental okuň daşynda aýlanyp we yrgyldap bilýän, sürtülmesi örän ujypsyz welosiped tigriniň inersiýa momentini kesgitlemeli.



1-nji çyzgy

Tigir gorizental okuň daşynda aýlanar ýaly edilip sütünä

berkidilen, sütün bolsa platforma dikligine nurbatlar bilen berkidilen. Eger tigriň daşky halkasynda, agyrylyk merkezinde silindir görnüşli ýükjagaz otursak onda sistemanyň erkinlik haly bozular, sistema durnukly- deňagramly hala geçer 1-nji çyzgy. Tigiriň agyrylyk merkezinden geçýän ok bilen onuň aýlanma nokady bir gönä gabat gelýär. Diňe şeýle halda tigir kese (gorizental) okuň daşynda erkin aýlanyp biler.

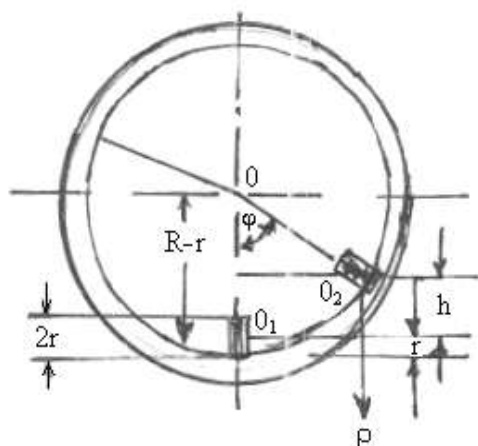
Indi material nokat(owuntyk) üçin aýlaw hereketiň deňlemesini ýazalyň.

$$M = I \varepsilon \quad (I)$$

Bu ýerde  $M$ —güýjüň momenti,  $I$ —inersiýa momenti,

$\varepsilon$  - burçlaýyn tizlenme.

Şu işde üstü ýükli welosiped tigri fiziki maýatnige kybapdaşdyr, ýagny ony fiziki maýatnik hökümünde kabul etmek bolar (2-nji çyzgy). Ýükli tigri dik oka görä gyşardyp ony deňagramly 00, haldan çykarmaly.



2-nji çyzgy

Tigriň aýlaw hereketi üçin dinamikanyň ikinji kanuny aşakdaky görnüşli alar.

$$M_{aýl. orta} = (I_t + I_y) \varepsilon \quad (2)$$

bu ýerde  $M_{aýl. orta}$  - ýükli tigriň aýlanma momentiniň orta bahasy.

$I_t$  - tigriň inersiýa momenti.

$I_y$  - ýükjagazyň inersiýa momenti.

2-nji çyzgydan görnüşli ýaly ýükli tigriň

momentiniň orta bahasy:

$$M_{aýl. orta} = \frac{P O_2 O_3}{2} \quad \text{ýa-da} \quad M_{aýl. orta} = \frac{mg O_2 O_3}{2} \quad (3)$$

bu ýerde  $O_2 O_3$  - güýjüň egni,  $O_2 O_3 = (R-r) \sin \varphi$ ,  $P = mg$  - ýüküň agyrlýk güýji.

Ujypsyz gyşarmada  $\sin \varphi \approx \varphi$  onda (4) deňlemäni şeýle ýazmak bolar:  $O_2 O_3 = (R-r) \varphi$

bu ýerde :

$R$  - tigriň radiusy,  $r$  - ýüküň ýarpy beýikligi.  $\varphi$  - yrgyldynyň gyşarma fazasy.  $(R-r)$  - ýüküň agyrlýk merkezinden aýlanma okuna çenli aralyk.

Onda (3) formulany

$$M_{aýl. orta} = \frac{mg (R-r) \varphi}{2} \quad (6)$$

ýazyp bileris.

(6) we (7) fomulalary deňläp şeýle ýazmak bolar.

$$\frac{mg(R-r) \varphi}{2} = (I_t + I_r) \varepsilon \quad (7)$$

$t$  pursatdaky  $m$  ýükli tigriň  $\varphi$  gyşarma-burçy garmoniki yrgyldy kanunyna görä şeýle ýazylýar.

$\varphi = A_o \sin \omega t$  bu ýerde  $\varphi$  - yrgyldynyň gyşarma fazasy,  $t$  - yrgyldynyň wagty,  $\omega$  - burçlaýyn tizlik.  $A_o$  - başlangyç yrgyldynyň amplitudasyndan wagta görä 2-nji önüm alsak burçlaýyn tizlenmäni alarys

$$\varepsilon = \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -\omega^2 A_o \sin \omega t \quad (9)$$

(9) deňlemeden burçlaýyn tizlenmäniň ( $\varepsilon$ ) bahasyny (7) deňlemede goýsak,

$$\frac{mg(R-r)\varphi}{2} = (I_t + I_r)\omega^2\varphi$$

ýa-da  $\omega^2 = 4\pi^2 / T^2$  bilen çalşyryp, alarys:

$$mg(R-r) = (I_t + I_r) \frac{4\pi^2}{T^2} \quad (10)$$

bu deňlemeden

$$I_t = mg(R-r) \frac{T^2}{8\pi^2} - I_r$$

Goýlan ýüküň beýikligini tigrň radiusyndan birnäçe örän uly diýip kabul edip ( $R \gg r$ ) ýüküň inersiýa momentini aşakdaky ýaly ýazyp bileris.

$$I_r = m(R-r)^2 \quad (11)$$

bu ýerde  $m$  – ýüküň massasy.

Onda (9) we (11) deňlikden alarys

$$I_r = mg(R-r) \frac{T^2}{8\pi^2} - m(R-r)^2$$

$$I_t = m(R-r) \left[ g \frac{T^2}{8\pi^2} - (R-r) \right] \quad (12)$$

(12) formula bilen ýüküň inersiýa momentini kesgitlemek üçin massasyny ( $m$ ) yrgyldynyň döwrüni  $T$  we ýüküň agyrlık merkezinden aýlanma oka çenli aralygy ( $R-r$ ) ölçemeli.

### Işň ýerine ýetirlişi.

Yrgyldatma usuly bilen tigrň ( $I_t$ ) inersiýa momenti ýörite gurnalan (ýasalan) gurluşyň kömegi bilen kesgitlemek bolar. Bu gurluş (ustanowka) platformanyň üstünde dik okda oturdylan, kese okuň daşynda aýlanyp we yrgyldap bilýän daşky gyrasynda silindir görnüşli uly bolmadyk ýük goýlan welosiped tigrinden durýar. Bu sistema (tigr-ýük ylgamy) fiziki maýatnigi ýatladýar.

Tigr-ýük sistemanyň yrgyldy döwri  $T$  ulgamyň inersiýa momentine, tigrň we ýüküň agramyna we onuň agyrlık merkezinden aýlanma okuna çenli aralyga baglydyr.

Ilki bilen silindir görnüşli goýuljak ýüküň agramyny terezide çekmeli. Soňra ştangensirkul bilen ýüküň beýikligini ( $2r$ ) ölçmeli. Tigrň radiusyny lineýka bilen birnäçe gezek dürli ýerinden ölçäp orta bahasyny almaly.

Soňra tigr-ýük ulgamyny  $40-45^0$  gradus burça gyşardyp onuň edýän 5 sany doly yrgyldy  $t$  wagtyny sekunder bilen ölçmeli. Ulgamyň doly döwrüni şu deňlikden hasaplamaly  $T = t/n$  bu ýerde  $n = 5$  – doly yrgyldynyň sany.

Ölçeği üç-dört gezekden az geçirmeli däl. Ölçeğiň ýalňyşlygyny hasaplamaly.

Alnan netijeleri jedwele ýazmaly.

Jedwel.

$N_0$	Ýüküň massasy	Tigrň radiusy	Ýüküň beýikligi	Ýüküň esasynda agyryk merkezine cenli aralyk	Erkin gaçmagyň izlenmesi	Doly yrgyldynyň döwri	Inersiýa momenti	$I_{ort} = \Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3 / 3$	$\Delta I_{ort} = \Delta I_1 + \Delta I_2 + \Delta I_3 / 3$	$\Delta I_{ort} / I_{ort} - 100 \%$
	$m,$ (kg)	$R,$ (m)	$2r,$ (m)	$r,$ (m)	$g$ (m/s <sup>2</sup> )	$T$ (s)	$I_r$ (kg m <sup>2</sup> )			
1.										
2.										
3.										

### Barlag üçin soraglar.

1. Jisimiň inersiýa momenti we ol haýsy ululyklara bagly.
2. Aýlanma hereket üçin dinamikanyň ikinji kanuny.
3. Garmoniki yrgyldyň deňlemesi. Yrgyldyň döwri  $T$  we ýygylgy  $V$ .

## № 6-njy tejribe işi.

**Makswelliň maýatniginiň kömegi bilen inersiýa momentini kesgitlemek.**

**Gerekli abzallar we esbaplar.**

- 1 Makswelliň maýatnigi.
2. Milli sekundomer.
3. Çalşyrylyp goýulýan halkalar toplumy.

### **Işň nazaryýeti**

Abzalyň işleýişi fizikanyň esasy kanuny-energiýanyň saklanma kanunyna esaslanan.

Konserwatiw sistemanyň doly mehaniki energiýasy şol sistema hereket edende üýtgemän galýar. Bu mehaniki energiýanyň saklanmak kanunydyr. Makswelliň maýatnigi-oka gozganmaz ýaly edilip otyrdylan we okuň uçlaryndan geçirilip daňlan sapakdan asylan uly bolmadyk disk (kiçiräk mahowik). Bu disk agyrylyk güýjiniň täsiri zerarly oka saralan sapagyň sarymy tä çözülip doly gutarýança aşak aýlanyp gaçýar. Soňra sapak okuň uçlaryna yzyna saralyp, disk haýallanýan hereket edip, belli bir belentlige galýar, ýene-de aşak düşýär. Diskiň ýokary galyp-aşak düşmekligi birnäçe gzek gaýtalanýar. Diskiň aşak-ýokary hereketine maýatnigiň hereketi höküminde garamak

bolar. Maýatnigi sapaga towlap ony deňagramlylyk ýagdaýyndan belli bir belentlige galdyryars. Bu bolsa oňa  $W_p = mgh$  potensial energiýa berdigimiz bolar. Maýatnik aşak gaçanda ol kinetik energiýa alyar.

$$W_k = \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m g^2$$

Energiýanyň saklanmak kanunyna görä

$$mgh = \frac{1}{2} I \omega^2 + \frac{1}{2} m g^2$$

Burçlaýyn we çyzyklaýyn 9 tizlikleriň  $R$  özara  $\frac{2h}{t}$  baglansygyny hasaba alyp maýatnigiň inersiýa momentini kesgitläp bileris.

$$I = \frac{1}{4} m D^2 \left( \frac{g t^2}{2h} - 1 \right) \quad (1)$$

Bu ýerde:  $I$ -maýatnigiň inersiýa momenti.

$D$ -daşyna sapak saralan okuň daşky diametri.

$t$ -maýatnigiň aşak gaçyş wagty.

$g$ -erkin gamanyň tizlenmesi .

$h$ -maýatnigiň ýokary galdyrylan belentligi, (maýatnigiň uzynlygy).

$m$ -geýdirilýän halkalar bilen bilelikde maýatnigiň massasy.

Maýatnigiň massasyny  $m = m_o + m_h + m_r$  (2)

Formula bilen hasaplamak bolar.

Bu ýerde:

$m_o$ -maýatnigiň okunyň massasy.

$m_h$ -maýatnigiň roligine geýdirilýän halkaň massasy.

$m_r$  - roligiň massasy.

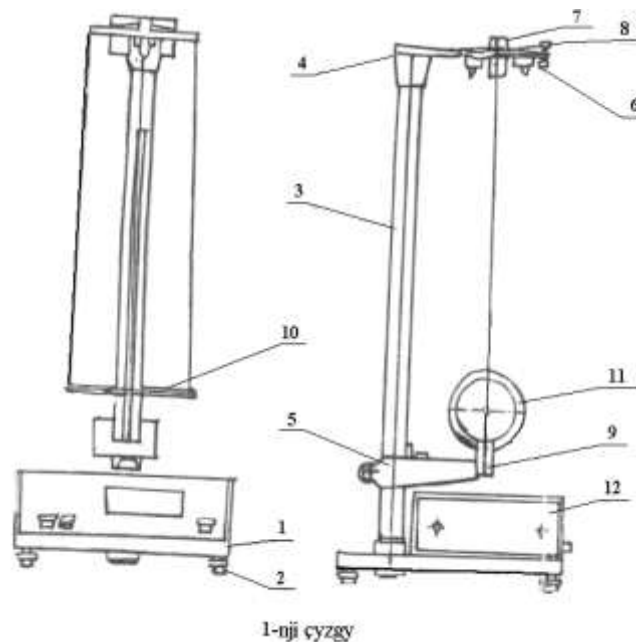
Maýatnigiň sapak saralan okunyň daşky diametri

$$D = D_0 + 2D_s \quad (3)$$

Bu ýerde:  $D_o$ —maýatnigiň okunyň diametri.

$D_n$ —sapagyň diametri.

Abzaly deň tekizlikde oturar ýaly onuň esasyna (I) towlanyp girýän hyrly aýajyklar (2) oturdylan.



### Makswelliň maýatniginiň umumy görnüşi

Abzalyň esasyna oturdylan sütüniň (3) ýokary uýynda gozganmaýan ýokarky (4), aşagynda süýşýän aşaky (5) kronşteýn berkidilen. Ýokarky (4) kronşteýne fotodatçik (7) bilen elektromagnit (6) we sapagyň uzynlygyny sazlaýan worotok oturdylan.

Aşaky kronşteýni oňa berkidilen fotodatçik bilen bilelikde sütüniň boýuna süýşirip islendik

ýagdaýda berkitmek bolar.



Maýatnik (I0) munuň özi çalşyryp halka geýdirip bolýan, kese oka berk oturdylan we uçlaryndan sapak geçirilip asylan rolikdir. Rolige çalşyrylyp halka geýdirsek sistemanyň inersiýa momentini üýtgedip bolýar.

Halka geýdirilen roligi ýokarky ýagdaýynda elektromagnit saklaýar.

Maýatnigiň uzynlygy sütüniň ýüzündäki millimetrlere bölünen şkaladan ölçäp bolýar.

Ýokarky kronşteýndäki oturdylan fotoelektrik datçik (6) millisekundameriň ( $Zt_1$ ) öýjüğine (gnezda), aşaky kronşteýndäki millisekundameriň (9) ( $Zt_2$ ) öýjüğine ýörite geçiriji arkaly birleşdirýärler.

### Işin ýerine ýetirilişi

1. Abzalyň aşaky kronşteýni aşakda berkitmeli.
2. Maýatnigiň roligine halkalar toplumyndan haýsy hem bolsa birini geýdirmeli.
3. Maýatnigiň okuna sapagy towlap saramaly. Halka aşak goýberilende onuň gyrasy sütüniň şkalasyndaky noly görkezmeli. Eger halkaň aşaky çägi nol bilen gabatlaşmasa onda ýokarky kronşteýni gowşadyp onuň ýerini üýtgemeli. Soňra berkitmeli.
4. Millisekundameriň "PUSK" knopkasyny basmaly.
5. Worotogyň nurbatyny gowşadyp asma sapagyň uzynlygyny saýlap almaly. Sapagyň uzynlygy maýatnik aşak goýberilenden soň geýdirilen polat halkanyň aşaky çägi, aşaky fotodatçigiň optiki okundan 2 mm aşak geçer ýaly edip almaly.
6. Millisekundameriň "PUSK" knopkasyny basmaly.
7. Asma sapagy maýatnigiň okuna saramaly. Saralan sarymlar biri birinejebis ýerleşen bolmaly.
8. Maýatniki elektromagnite degirip goýmaly. (Elektromagnit maýatniki çekip saklar).
9. Maýatniki öz hereketiniň ugruna görä  $5^\circ$  öwürmeli.
10. Abzalyň "SBROS" knopkasyna basmaly.
11. Abzalyň "PUSK" knopkasyna basmaly.
12. Maýatnigiň aşak gaçma wagtyny abzaldan ýazyp almaly.
13. Gaçmany 5 gezek gezek ölçemeli.
14. Maýatnigiň aşak gaçma wagtynyň orta bahasyny şu formula bilen hasaplamaly.

$$t_{\text{orta}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i \quad (4)$$

15. Sütüniň ýüzündäki şkaladan maýatnigiň uzynlygyny kesgitlemeli.
16. (3) formulany ulanyp maýatnigiň sapak saralan okunyň daşky diametrini hasaplamaly.  $D_o=10 \text{ mm}$ ,  $D_s=0,5 \text{ mm}$ .
17. (2) formulany ulanyp maýatnigiň halkalar bilen bilelikdäki massasyny hasaplamaly.  
 $m_o=32,52 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$ ,  $m_t=124,9 \text{ kg}$ ,  $m_{h1}=0,25 \text{ kg}$ ,  $m_{h2}=0,35 \text{ kg}$ ,  $m_{h3}=0,46 \text{ kg}$ .
18. (1) formulada maýatnigiň inersiýa momentini kesgitlemeli.

19. Ölçeği üç halka için geçirmeli.
20. Ölçeği şeýle hem  $m_{h2}$  we  $m_{h3}$  halkalar üçin geçirmeli.
21. Abzalyň dogry ölçeýändigini we ölçeğiň ýalňyşlygyny barlamaly. Ölçeğiň ýalňyşlygyny aşakdaky formula bilen hasaplamaly.

$$\delta = \frac{I - I_t}{I_t} 100\% \quad (5)$$

bu ýerde:

$I$ — tejribede alnan inersiýa momentiniň bahasy.

$I_t$ — diskiň teoriya boýunça inersiýa momenti.

$I_t$ — ni şeýle hasaplamak bolar.

$$I_t = I_o + I_h + I_r \quad (6)$$

bu ýerde:

$I_o$ — maýatnigiň okunyň inersiýa momenti.

$I_h$ — halkaň inersiýa momenti.

$I_r$ — roligiň inersiýa momenti.

Bu inersiýa momentlerini aýry –aýrylykda aşakdaky ýaly hasaplamak bolar.

$$I_o = \frac{1}{8} m_o D_o^2$$

Bu ýerde:  $m_o = 32,5 \cdot 10^{-3} \text{ kg}$  – maýatnygyň okunyň massasy.

$D_o = 10 \text{ mm}$  – maýatnygyň okunyň diametri.

$$I_h = \frac{1}{8} m_h (D_r^2 + D_h^2)$$

$m_h$ —her bir halkaň massasy.

$D_h$  – halkaň daşky diametri.

$$I_r = \frac{1}{8} m_r (D_r^2 + D_o^2)$$

$D_r$  – roligiň daşky diametri.

Ölçegde goýberilen ýalňyşlyk 8% köp bolmaly däl.

Alnan netijeleri jedwelde ýazmaly.

№	$h,$ ( $m$ )	$D$ ( $m$ )	$t$ ( $s$ )	$t_{orta},$ ( $s$ )	$I,$ ( $kgm^2$ )
1					
2					
3					

### Barlag üçin soraglar.

1. Kinetiki we potonsial energiýa. Aýlanýan jisimiň kinetik energiýasy.
2. Mehaniki energiýanyň saklanma kanuny.
3. Gaty jisimiň inersiýa momenti. Simmetriki jisimiň inersiýa momenti.

## №7-nji tejribe işi

### Haç görnüşli maýatnigiň kömegi bilen aýlanma hereketiniň dinamikasynyň esasy kanunyny barlamak

#### Gerekli abzallar we esbaplar.

1. Oberbekiň maýatnigi (haç görnüşli maýatnik).
2. Metal leneýka.
3. Ýikjagazlaryň toplumy. (4 sany).
4. Abzalyň esasynda berkidilen elktromegnit, fotodatçik we millisekundomer.

#### Abzallaryň işleýiş prinsipi

Abzaldaky maýatnik-munuň özi gozganmaýan kese okuň daşynda aýlanýan inertligi has uly bolan biri-birine perpendikulýar dört sany haç görnüşli diske berkidilen, uçlaryna deň massaly ýükler oturdylan sterženlerdir. Steržindäki ýükler bilen aýlanma okunuň aralygyny sterženiň boýuna ýükleri süýşürmek bilen üýtgedip bolýar. Diskiň daşyna saralan sapagyň ujyna  $m_1$  massaly platforma dakylan. Platformanyň üstüne goşmaça  $m_2$  massaly ýükjagaz goýulsa agyrlyk güýjüniň täsiri zerarly haç görnüşli maýatnik deňtizlenýän aýlanma hereketini eder. Ulgamyň gozganmaýan oka görä inersiýa momenti sterženlerde oturdylan ýükleriň aýlanma okyna görä ýerleşişlerine bagly. Ulgamyň burçlaýyn tizlenmesi  $\varepsilon$  näçe uly boldygyça onuň inersiýa momenti  $I$  şonça-da kiçidir.

Aýlanýan jisimiň hereketi üçin dinamikanyň esasy kanunynyň formulasy

$$M = I\varepsilon \quad (I)$$

Bu ýerde

$M$ -güýjüň aýlanma momenti.

$I$ -aýlanma oka görä jisimiň inersiýa momenti.

$\varepsilon$ -jisimiň burçlaýyn tizlenmesi.

Jisimiň burçlaýyn we çyzyklaýyn tizlenmeleri biri-biri bilen aşakdaky ýaly baglanyşykly.

$$\varepsilon = \frac{a}{r} \quad (2)$$

Bu ýerde

$a$ -aşak gaçan jisimiň çyzyklaýyn tizlenmesi.

$r$ -diskiň radiusy; ýagny diskniň aýlanma merkezi bilen öňe goýlan güýjüň aralygy.

$h$  beýiklikden deňtizlenýän hereket edip gaçýan ýüküň çyzyklaýyn tizlenmesi.

$$a = \frac{2h}{t^2};$$

Bu formulany (2) formulada ýerine goýup alarys.

$$\varepsilon = \frac{2h}{rt^2}; \quad (3)$$

Bu ýerde

$t$ -ýüküň gaçma wagty.

Haç görnüşli magnide goýlan güýjüň aýlanma momenti.

$$M = F \cdot r = m \left( g - \frac{2h}{t^2} \right) r; \quad (4)$$

formula bilen kesgitlenýär.

Bu ýerde

$m = m_1 + m_2$  ýüp dakylan platformanyň we goşmaça goýlan ýüpjagazyň massasy.

$F$ -diske täsir edýän (goýlan) güýç.

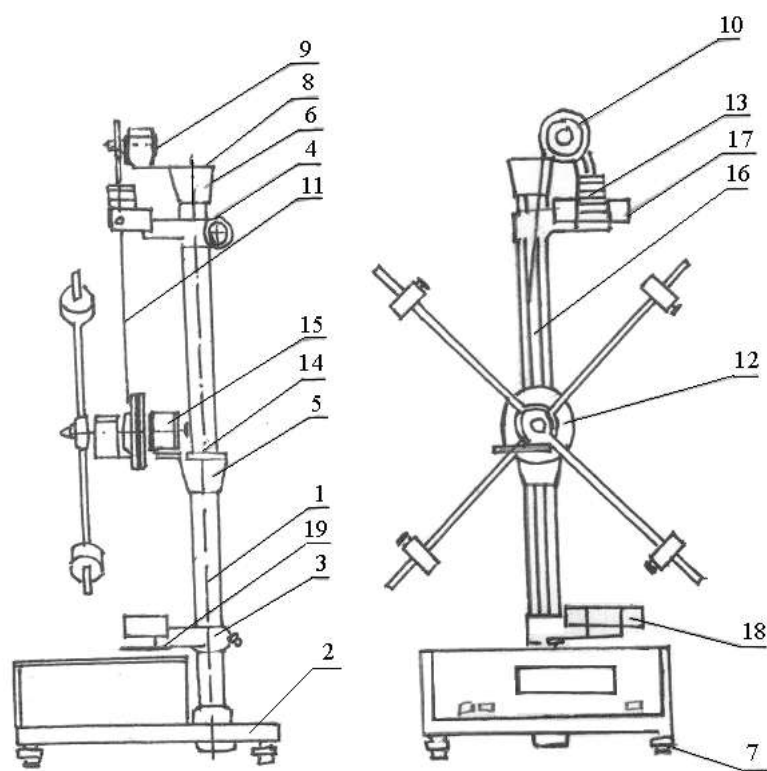
(1) we (4) formulany deňeşdirip alarys.

$$I = \frac{M}{\varepsilon} = \frac{r^2 t^2 m}{2h} \left( g - \frac{2h}{t^2} \right); \quad (5)$$

(3) formulany peýdalanyp burçlaýyn  $\varepsilon$  tizlenmäni (4) formulany ulanyp güýjüň aýlanma  $M$  momentini hasaplamak bolar, şeýle-de (5) formulany ulansak hem bolar.

### **Gurluşyň ýazgysy**

Gurluşyň umumy görnüşi 1-nji çyzgyda şekillendirilen. Abzalyň esasy (1) oturdylan sütüniň (2) ýokarky ujynda süýşýän (4), aşaky ujunda süýşmeýän (gozganmaýan) (3) kronşteýnler hem-de aşaky (5) we ýokarky (6) gozganmaýan wtulkalar oturdylan.



1-nji cyzgy

Abzalyň deň we düz tekizlikde ornaşdyrmak üçin onuň esasyňa hyrly aýajyklar towlanan. Ýokarky (6) wtulka disk (10) berklenen. Diskiň üstaşyry atylan sapagyň bir uýy iki basgançakly diske (12) beýleki uýy platforma (13) daňylan. Aşaky yzky wutlka (5) esasyň üsti bilen (togtadyjy) tormazlaýjy elektromagnit berkidilen. Bu elektromagnite tok berilende ol haç görnüşli ulgamyň hereketini togtadyp dynçlykda saklaýar. Süýşýän (4) kronşteýniň ornuny sütüniň boýuna üýtgedip ýüküň gaçmak belentligini saýlap almak bolar. Bu belentligi sütüniň ýüzünde edilen millimetrleýin şkaladan kesgitlemek bolar. Süşýän (4) kronşteýnde fotoelektrik (17) datçik oturdylan. Beýleki süýmeýän (3) kronşteýne fotoelektrik datçik (18) oturdylan. Bu fotodatçik ölçegiň soňuny aňladýan elektro impuls goýberýän we elektromagniti togtatýar.

(3) kronşteýne ýükleriň hereketini çäklendirýän rezin amortizatorly başga bir kronşteýn berkidilen.

Wagty ölçemek üçin abzalyň esasyňa millisekundomer berkidilen. Millisekundomeriň yzky panelindäki  $rL1$  we  $rL2$  öýjüklere ýörite geçiriji arkaly fotodatçikler çatylan.

## 1-nji gönükme

Jisimniň inersiýa momentiniň oňa täsir ediji güýjüň momentine bagly bolman, jisimiň gurluşyna we onuň aýlanma okuna baglydygyny barlalyň.

Jisimniň inersiýa momentiniň oňa täsir ediji güýjüň momentine bagly bolman, jisimiň gurluşyna we onuň aýlanma okuna baglydygyny barlalyň.

1. Dört sterženiň ýüklerini çykarmaly.
2. Süýşýän (6) kranşteýni saýlap alnan  $h$  belentlikde aşak gaçan ýüküň platforma fotodatçigiň arasynda korpusyna galtaşman geçjer ýaly edip berkitmeli.
3. Abzalyň esasynda oturdylan hyrly aýajyklaryň kömegi bilen sütüni dik durýan halyna gazanmaly.
4. Abzalyň şnuryny tok çeşmesine birleşdirmeli.
5. Abzalyň "Set" knopkasyna basyp fotodatçigiň we wagty ölçeýän millisekundameriň tablosynyň yşyklarynyň ýanýanlygyny anyk göz ýetirmeli. Soňra ýene-de şol knopka basyp abzaly tok çeşmesinden öçürmeli.
6. Platforma goçmaça ýük goýmaly we fotodatçigiň şöhlesi goýlan ýüküň aşaky çäğine düşer ýaly edip fotodatçigi berkitmeli. Soňra abzalyň "Set" knopkasyna basmaly.
7. Millisekundomeriň "Pusk" knopkasyna basmaly. Elektromagnite tok basmasy kesilip ýük aşak gaýdan we millisekundomer ýüküň gaçýan wagtyny görkezzer. Ýük aşaky fotoelemente etende millisekundomeriň wagty görkezmesi kesiler. Şu operasiýany 3-4 gezek gaýtalap wagtyň orta bahasyny almaly.
8. (3) formulada  $h$ ,  $r$ ,  $t$ -iň bahasyny goýup  $\varepsilon$  hasaplamaly. (4) formuladan güýjüň aýlanma momentini, (6) formuladan ulgamyň inersiýa  $I_o$  momentini kesgitlemeli.
9. Platforma 2 esse ýük goýmaly. Öňki edilen ölçegi geçirmeli. Şunda güýjüň momenti we burçlaýyn tizlenme  $\varepsilon$  köpeliýär. Emma sistemanyň inersiýa momenti öňkilegine galýar.

Aşakdaky gatnaşygy  $\frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2} = \frac{m_1}{m_2}$  mometiniň orta

ýa-da  $I_1 = I_2$  barlamaly. Ulgamyň inersiýa

bahasy  $I = \frac{I_1 + I_2}{2}$ .

Jedwel 1.

№	Platformanyň massasy $m_o$ (kg)	Ýükleriň massasy		$t$ (s)	$t_{ort}$ a	$r$ (m)	$h$ (m)	$\varepsilon$ (s)	M (N.m)	I (kg m <sup>2</sup> )
		$m=m_1+m_o$	$m=m_1+2m_o$							
1										
2										
3										

## 2-nji gönükme

**Aýlanma oka görä sistemanyň inersiýa momenti sistemany düzýän bölekleriň aýlanma okundan aradaşlygyny baglydygyny barlamak.**

1. Sterženiň uçlaryndaky ýükleriň orunlaryny onuň uçlaryna ýakyn edip berkitmeli. Maýatnigi 2 we 4 sterženlerini wertikal goýup ulgamyň deň agramlylygyn barlamaly. Soňra maýatnigi  $90^0$  öwürüp 1 we 3 sterženiň wertikal halynda ulgamyň deňagramlygyny gazanmaly.

2.  $m_o$  jisimiň inewrsiýa merkezinden aýlanma okuna çenli aralyga  $R_1$  ölçemeli we ölçegi edil 1-nji gönükmedäki ýaly gaýtalamaly.

3. (3), (4) we (6) formuladan peýdalanyň ulgamyň inersiýa momentine kesgitlemeli. bu ýagdaýda ulgamyň inersiýa  $I_1$  momenti ýükleri çykarylan haç görnüşli maýatnigiň inersiýa momentini  $I_o$  (1-nji gönükmede kesgitlenildi) we sterženleri ýükli haç görnüşli maýatnigiň şol bir aýlanma okuna görä inersiýa momentiniň jemine deňdir.

$$I_1 = I_o + 4m_o R_1^2$$

Bu ýerde

$R_1, m_o$  massaly jisimiň inersiýa merkezinden aýlanma okuna çenli aralyk.

4.  $m_o$  massaly ýükleri steržanyň ortasyny süýşürüp sistemanyň deňagramlygyny gazanmaly. Soňra ýükleriň massa merkezlerinden aýlanma oka çenli aralygyň orta  $R_2$  bahasyny ölçemeli.

4. Steržendäki massalaryň ýerleşiş ýagdaýyny hasaba alyp ulgamyň inersiýa momentini kesgitlemeli (edil 1-nji gönükmedäki ýaly)

$$I_2 = I_o + 4m_o R_2^2$$

5. eger maýatnigiň inersiýa momenti steržendäki massalaryň ýerleşişine bagly bolsa, onda

$$I_1 - I_2 = (I_o + 4m_o R_1^2) - (I_o + 4m_o R_2^2) = 4m_o (R_1^2 - R_2^2) \quad (6)$$

bu ýerde

$4m_0$  – ýükleriň massalarynyň jemi (6) deňlemäni barlamaly.  
Alnan netijeleri jedwele ýazmaly

Jedwel 2.

№	$m_0$ (kg)	$I_0$ (kg $m^2$ )	$R_2$ (m)	$R_2$ (m)	$I_1$ (kg $m^2$ )	$I$ (kg $m^2$ )	$I_1-I_2$
1							
2							
3							

### Barlag üçin soraglar.

1. Gaty jisimiň inersiýa momenti we güýjüň momenti.
2. Deňtizlenýän hereket. Deňtizlenýän hereketiň deňlemeleri.
3. Burçlaýyn tizlenme we onuň çyzyklaýyn tizlenme bilen baglansygy.

## 9 -njy işe giriş.

**Garmoniki yrgyldylar.** Ulgamyň halynyň belli wagt aralygynda gaýtalanmasyna yrgyldy diýilýär. Eger bu üýtgeме deň wagt aralygynda periodiki gaýtalanýan bolsa onda yrgylda periodiki yrgyldy diýilýär.

Periodiki yrgyldynyň iň ýönekeý görnüşi garmoniki yrgyldylardyr. Wagta görä sinuslar ýa-da kosinuslar kanunyna laýyklykda üýtgeýän yrgyldylara garmoniki yrgyldylar diýilýär.

Garmoniki yrgyldylaryň deňlemesi şeýle ýazylýar.

$$x = A \sin (\omega t + \varphi) \quad \text{ýa-da} \quad x = A \cos (\omega t + \varphi)$$

Bu ýerde

$x$  - yrgyldy edýän nokadyň deňagramly halyndan süýşmesi

$A$  - yrgyldy edýän nokadyň deňagramly halyndan iň uly süýşmesi.

$(\omega t + \varphi)$  - yrgyldynyň fazasy, wagt birligindäki yrgyldynyň süýşmesi.

$\varphi$  - yrgyldynyň başlangyç fazasy, ol  $t=0$  pursatda yrgyldynyň süýmesinigörkezýär.

Yrgyldaýan nokadyň (ýa-da ulgamyň) doly bir yrgyldy edýän wagtyna yrgyldynyň periody diýilýär.

Wagt birligindäki yrgyldynyň sanyna yrgyldynyň ýygylgy diýilýär.

Yrgyldynyň

ýygylgy  $\nu$  we onuň periody  $T$  aşakdaky ýaly baglanyşyklydyr.

$$\nu = \frac{1}{T}$$



Pružindäki asylan  $m$  massaly şarly ulgama seredeliň. Şara deňagramlylyk halynda

$x = A$  aralyga süýşüreläň. (gyşardalyň). Şardan elimizi aýyrsak ol  $F = -kx$  güýjüň täsir etmegi bilen öňki deňagramlylyk ýagdaýyna gaýdyp gelmek üçin ösýän tizlik bilen hereket eder (yzyna gaýdar). Deňagramlylyk ýagdaýyna gelenden soň ol inersiýa boýunça deňagramlylyk ýagdaýyndan geçen süýşmesi tä  $A$  ululyga deň bolýança öz hereketini dowam eder. Soňra şeýle proses şar yzyna gaýdanynda (hereket edeninde) hem emele geler.

Bu ulgam üçin pružynly maýatnigiň hereketiniň deňlemesini ýazalyň.

$$m \frac{d^2 x}{dt^2} = -kx$$

Bu deňlemäniň ýazylyşy aşakdaky ýaly üýtgedeliň.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \frac{kx}{m} = 0$$

Bu deňlemedäki  $k$  koeffisient  $\omega_0^2 = \frac{k}{m}$  görnüşde aňladalyň.

$\omega_0$  - erkin yrgyldy ýygylýgy (sikkeleýin ýygylýk) .

Onda ýokary aňlatma aşakdaky aşakdaky görnüş alar.

$$\frac{d^2 x}{dt^2} + \omega_0^2 x = 0$$

Şeýlelikde pružinli maýatnik  $x = A \cos(\omega_0 t + \varphi)$  kähünä  $\sqrt{\frac{m}{k}}$  laýyklykda sikilleýin

ýygylýkly we  $T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}}$  periodly garmoniki yrgyldy edýändir diýip kabul etmek bolar.

## № 9-nji tejribe işi.

**Unwersal maýatnikiň kömegi bilen erkin gaçmanyň tizlenmesini kesgitlemek.**

**Gerekli abzallar we esbaplar:**

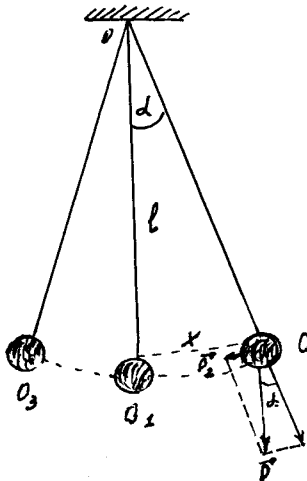
1. Uniwersal maýatnik.
2. Millisekundomer.

**Uniwersal maýatnik** - yrgyldy hereket edýän matematiki we öwrülýän maýatnikiň kanunlaryny we erkin gaçmanyň tizlenmesini kesgitlemek üçin peýdalanylýar.

**Matematiki maýatnikiň kömegi bilen erkin gaçmanyň tizlenmesini kesgitlemek.**

**Matematiki maýatnik** munuň özi agramsyz, süýnmeýän ýüplükden asylan, massa merkezleri bir nokatda jemlenen we agyrylyk güýjiniň täsiri zerarly yrgyldaýan gaty jisimdir. Inçe polat simden asylan agramly gurşyn şara matematiki maýatnik hökmünde garamak bolar. Matematiki maýatnikiň yrgyldysyny hususy garmoniki yrgyldy diýip kabul etmek bolar.

Matematiki maýatnikiň hereketiniň kanunynyň deň agramlylyk halynadan has yjypsyz aralyga süýşürilen (gyşardylan) jisim üçin getirip çykaralyň (1-nji çyzga seret).



1-nji çyzgy.

1-nji çyzgyda O maýatnikiň asylan nokady;  $O_1$  merkezinde massasy jemlenen gurşun şaryň dynçlyk haly.  $l$  - maýatnikiň uzynlygy. Maýatniki  $O_2$  nokada gyşardyp O  $O_1$  deň agramlyk halýndan çykaralyň. Maýatnik  $O_2$  ýagdaýda saklanyp bilmän  $\vec{P}_2$  yza iteriji güýjiň täsiri zerarly öňki durnukly O  $O_1$  ýagdaýyna eýelemek üçin ymtylýar, we öz hereketiniň inersiýasyna görä  $O_3$  nokada geçip gider. Egerde şaryň hereketiniň energiýasynyň ýitgisi döreýän dürli hilli garşylyyklara sarp bolmaýan bolsa onda O  $O_1$  halyň golaýyndaky yrgyldy mydama gaýtalanyp durardy. Birnäçe bellikler girizileliň.

$O_1 O_2 = X$  - süýşme diýeliň.

$O_1 O = OO_2 = l$  - matematiki maýatnikiň uzynlygy

$\vec{P}_2$  - yza gaýtaryjy, iteriji güýç.

$\vec{P}_2$  güýç  $x$  süýşmäniň täsirine ugrukdyrylany üçin impuls alamaty bilen alynýar.

Çyzgydaky  $O_2 PP_2$  göniburçly üçburçlykdan  $\vec{P}_2$  güýji tapalyň.

$$-\vec{P}_2 = P \sin \alpha$$

Bu üçburçlykda  $\sin \alpha = \frac{x}{l}$

onda 
$$-\vec{P}_2 = P \frac{x}{l} \quad (1)$$

Bu ýerde  $P$  maýatnigiň agramyny aňladýar. Nýutonyň kanuna görä

$$P = mg \quad \text{we} \quad -P_2 = m\alpha$$
  
ýagny 
$$-P_2 = mg \frac{x}{l}, \quad -ma = mg \frac{x}{l}$$
  
bu ýerden 
$$-\alpha = g \frac{x}{l} \quad (2)$$

2-nji formuladan görnüşi ýaly matematiki maýatnigiň tizlenmesi süýşmä göni proporsionaldyr we oňa ters ugrukdyrylandyr, ýagny tizlenmäniň urgy iteriji güýjüň ugry bilen gabat gelýär.

Matematiki maýatnigiň yrgyldysynyň garmoniki yrgyldynyň hususy haly (yrgyldysy) diýip kabul edenimiz sebäpli, onuň tizlenmesiniň garmoniki yrgyldynyň formulasynyň üsti bilen aňladyp bileris.

$$\alpha = \frac{4\pi^2}{T^2} x \quad (3)$$

(3) formuladan  $a$ -nyň bahasyny (2) formula goýup alarys:

$$\frac{4\pi^2}{T^2} x = \frac{2}{l} x \quad \text{onda} \quad T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (4)$$

Ýeriň berlen bu nokady üçin  $g = const$ , diýmek matematiki maýatnigiň dowamy onuň uzynlygyndan alnan kwadrat köke proporsionaldyr. (4) formulany ilkinji bolup Galileý hödürledi.

Şu formuladan peýdalanyňp Gýugens we Piker 1673 ýylda matematiki maýatnigiň ýerleşen nokady üçin erkin gaçmanyň tizlenmesini  $|g|$  hasapladý.

Ýagny (4) formuladaky  $T$  we  $l$ -i tejribe arkaly kesgitlep we bu formulanyň çep we sag tarapyny kwadrata göterip  $g$ -ni hasaplap bolar.

$$T^2 = 4\pi^2 \frac{l}{g} \quad \text{bu ýerden} \quad g = \frac{4\pi^2 l}{T^2} \quad (5)$$

Şu tejribe işinde (5) formulada ulanyňp erkin gaçmany hasaplamaly. Yrgyldynyň dowamyny edilen eksperimentdäki ölçeglere görä

$$T = \frac{t}{\pi} \quad (6)$$

formula arkaly hasaplamaly.

Bu ýerde

$t$  -yrgyldynyň dowamlylygy.

$n$  - ölçenen doly yrgyldynyň sany.

**Öwrülýän (oborotnyý) maýatnigiň kömegi bilen erkin gaçmany hasaplamaly.**

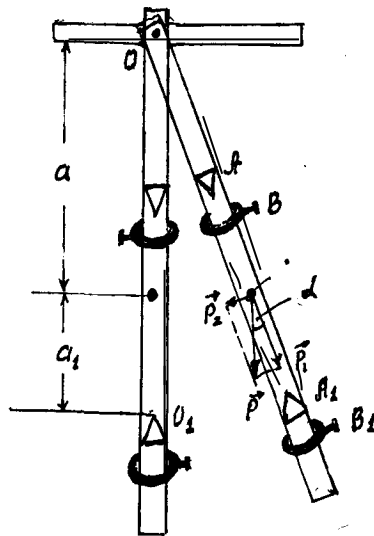
**Gerekli abzallar we esbaplar:**

1. Öwrülýän maýatnik.

2. Sekundomer.

Horizantal okuň töwereginde yrgyldap bilýän islendik jisime maýatnik diýilýär. Maýatnigiň bir yrgyldyny edýän wagtyna yrgyldynyň döwri ( $T$ ) diýilýär. Maýatnigiň deňagramly halyndan in uly gyşarmasyna amplituda diýilýär.

**Fiziki maýatnik** - agyrylyk merkezinden geçmeýän käbir kese okuň daşynda agyrylyk güýjüniň täsiri netijesinde aýlanyp bilýän (yrgyldyly hereket edip bilýän) gaty jisimdir. Şol oka jisimiň agyrylyk merkezinden geçýän we yrama okuna perpendikulýar tekizlikdäki şekili 2-nji çyzgyda görkezilen. Ok bilen tekizligiň kesişme nokadyna maýatnigiň asma 0 nokady diýilýär.



Maýatnigi deňagramlyly ýagdaýdan bir burça gyşardylanda ony öňki halyna getirmek üçin çalyşýan aýlanma momenti ýüze çykýar. Bu döwrän moment

$$M = -mga \sin \varphi$$

bu ýerde  $a$  - maýatnigiň inersiýa merkezinden asma nokadyna çenli aralyk. Formuladaky minus alamaty aýlanyp momentiniň we maýatnigiň gyşarmasynyň garşylykly ugrukdyrylandygyny aňladýar.

Şu aýlanma momentiniň täsiri netijesinde fiziki maýatnigiň şeýle

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{I}{mga}} \quad (7)$$

döwürli garmoniki yrgyldy edip bilmekligini subut etmek kyn däldir.

2-nji çyzgy.

Eger  $I_{get} = \frac{I}{ma}$  bellesek, onda

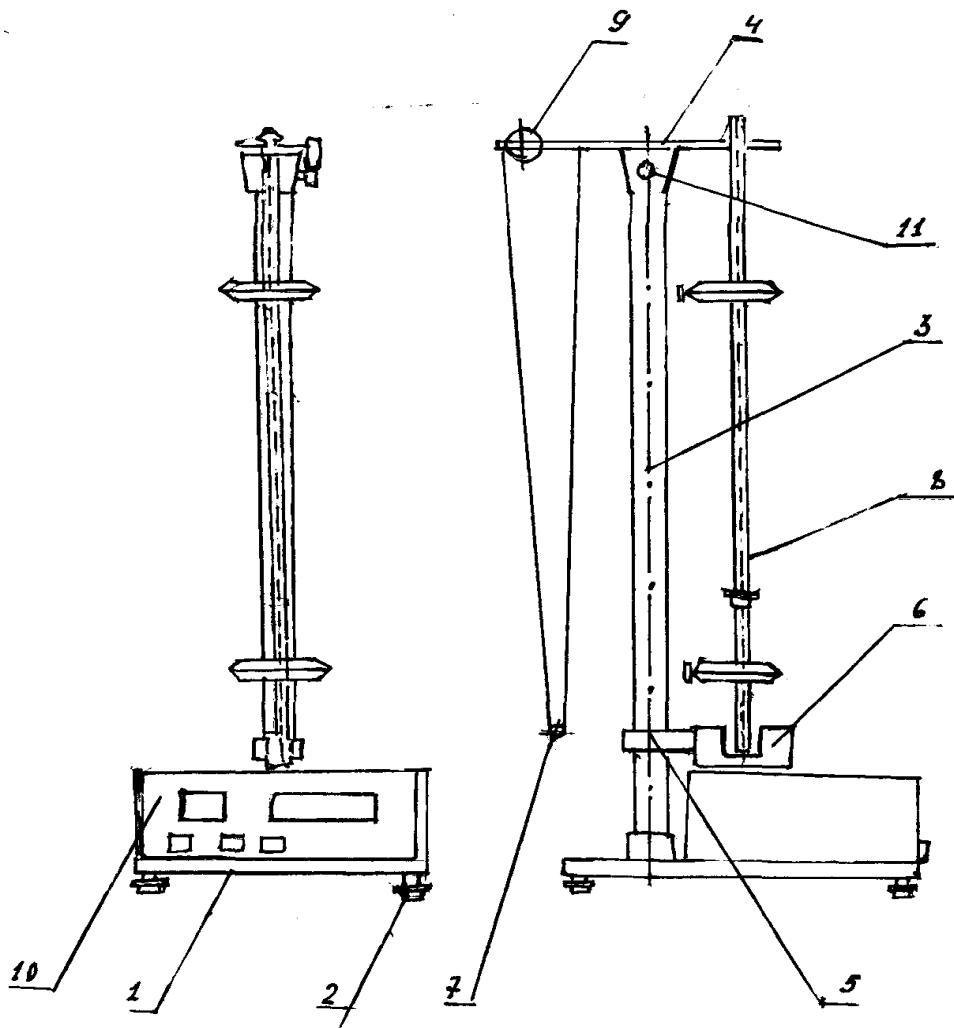
$$T_g = 2\pi \sqrt{\frac{I_{get}}{g}} \quad (8)$$

Şu formuladan görnüşi ýaly  $l_{get}$  uzynlykly matematiki maýatnigiň döwri berlen fiziki maýatnigiň döwrüne deň bolar.

Erkin gaçmanyň tizlenmesini

$$g = \frac{4\pi^2 l_{get}}{T_r^2} \quad (9)$$

Bu ýerde  $T_r$  - öwrülme (oborotnyý) maýatnigiň döwri (ony) 7 (formuladan tapmak bolar).



3-nji çyzgy.

Uniwersal maýatnigiň umumy görnüşi.

## Enjamyň ýzgysy.

RM - 04 kysymly uniwersal maýatnigiň umumy görnüşi 3-nji çyzygyda şekillendirilen. Ulgamyň tekiz (düz) halyny sazlamak üçin abzalyň esasynda (1) hyrly aýajyklar (2) oturdylan. Esasan berkidilen (3) sütünde ýokarky kronşteýn (4) we fotodatçikli (6) aşaky kronşteýn geýdirilen. Woronkany (11) gowşadyp, ýokary kronşteýni sütüniň daşynda aýlap, kronşteýniň ýerleşişini saýlap alyp, soňra woronkany berkitmeli. Kronşteýn (4) bir tarapynda matematiki maýatnik (7) beýleki tarapynda wkladyşlarda oturdylan öwrümlü (8) maýatnik berkidilen.

Matematiki maýatnigiň uzynlygyny worotogyň (9) kömegi bilen barlamak bolar.

Öwrümlü maýatnik polat sterženden ýasalan ýiti taraplary biri-birine bakdyrylyp berkidilen. Ol iki sany tygdan we iki sany rolikden durýar.

Öwrümlü maýatnigiň uzynlygyny has takyk ölçär ýaly sterženiň tutuş boýuna her 10 mm-den halkalaýyn çyzykly öýük edilen.

Tygy we roligi sterženiň okunyň ugry boýunça islendik aralyga süýşürüp we berkläp bolar.

Sterženiň tutuş boýuna süýşýän elementleriň ölçegleri 10 mm deň edilip ýasalan. Olary berkidýän worotoklar bolsa edil halkalaýyn çyzykly oýuga girer ýaly edilendir.

Aşaky kronşteýin fotoelektrik datçik bilen bileleikde sütüniň boýuna süýşürüp islendik ýagdaýda berkitmek bolar.

Fotoelektrik datçik FRM -14 (10) kysymly millisekundomer bilen 271 razýom arkaly çatylan.

## Işň ýerine ýetirlişi.

### 1-nji gönükmä. Matematiki maýatnigiň kömegi bilen erkin gaçmanyň tizlenmesini kesgitlemek.

1. Aşaky kronşteýni fotodatçik bilen bilelikde sütüniň aşak çetinde kronşteýniň ýokary gyrasy

şkalada uzynlygy 50 sm-den az görkezmez ýaly edip berkitmeli.

2. Ýokarky kronşteýin öwürüp (towlap) matematiki maýatnigi fotodatçigiň üstünde ýerleşdirmeli. 3. Ýokarka kronşteýindäki worotogy towlap matematiki maýatnigiň uzynlygyny saýlap almaly. Ýöne asylgy şaryň daşyndaky çyzyk bilen fotodatçigiň çyzygy deň gelmeli.

4. Matematiki maýatnigi dynçlyk haldan 4 – 5 gradus burça gyşardyp şary herekete getirmeli.

5. Soňra millisekundomeriň “SBROS” knopkasyna basmaly.

6. Abzalyň tablosynda 10 yrgyldyny sanap alanyňdan soň „STOP“ knopkany basmaly.

7. (6) formula bilen matematiki maýatnigiň  $T$  döwrüni (periodyny) hasaplamaly.

8. Abzalyň şkalasyndan maýatnigiň  $l$  uzynlygyny ýazmaly.

9. (5) formula görä erkin gaçmanyň tizlenmesini ( $g$ -ni) kesgitlemeli.

Alynan netijeleri jedwelde ýazmaly.

Jedwel -1

№	$\ell$ , (m)	$t$ , (s)	$n$	$T$ (s)	$g$ , (m/s <sup>2</sup> )
I.					
2					
.					
3					
.					

## 2-nji gönükme. Öwrülýän (oborotnyý) maýatnigiň kömegi bilen erkin gaçmagyň tizlenmesini kesgitlemek.

1. Ýokarky kronşteýni 180<sup>0</sup> öwürmeli.
2. Steržendäki rolikleriň aşak çetinde beýlekisini ortasyna ýakynrak edip berklemeli.
3. Maýatnigiň tyglarynyň birini onuň agyrylyk merkezinden bir tarapda beýlekisini beýleki tarapda biri- birine bakdyryp berkitmeli. Ýöne olaryň birini sterženiň boş ujyna ýakynrak, beýlekisini rolikleriň aralygynyň ýarysyna deň aralykda goýmaly.
4. Tgyň ýiti tarapynyň sterženiň oýulan çyzygyna gabat gelýändigini anyklamaly.
6. Maýatnigi ýokarky kronşteýniň üstünde aýak ujyna ýakyn berkidilen tygy kronşteýniň çyzygyna düşer ýaly edip oturtmaly.
7. Aşaky kronşteýni fotodatçik bilen bilelikde maýatnigiň sterženi optiki oky keser ýaly süýşürmeli.
7. Maýatnigi dynçlyk halyndan 4 - 5 gadus burça gyşardyp, eliňi aýyrmaly.
8. Abzalyň „SBROS “ knopkasyna basmaly.
9. Abzalyň tablosynda doly 10 yrgyldy alanyňdan soň „STOP“ knopka basmaly.
- 10.(6) formulany ulanyp öwrülýän maýatnigiň döwrüni hasaplamaly.
- 11.Maýatnigi aýryp, öwürüp ikinji tygynda goýmaly.
- 12.Aşaky kronşteýni fotodatçik bilen bilelikde steržen optiki oky keser ýaly süýşirmeli.
- 13.Maýatnigi deňagramly ýagdaýyndan 4<sup>0</sup> -- 5<sup>0</sup> gradus burça gyşardyp goýbermeli. Maýatnigiň  $T_{r_2}$  döwrüni öňki alan  $T_{r_1}$  netije bilen deňeşdirmeli.
- 14.Eger  $T_{r_2} > T_{r_1}$  bolsa ikinji tygy sterženiň aýak ujynda berkidilen rolige tarap süýşirmeli, eger  $T_{r_2} < T_{r_1}$  bolsa onda ony sterženiň ortaragyna tarap süýşürmeli. Birinji tyg bilen roligiň arasyny üýtgetmeli däl.
- 15.Gaýtadan  $T_{r_2}$  ölçemeli we  $T_{r_1}$  bilen deňeşdirmeli.
- 16.Ikinji tygyň ýerleşişini tä alan netijäňde  $T_{r_2} = T_{r_1}$  bolýança süýşirmeli.
- 17.Öwrülýän maýatnigiň getirip çykaryş uzynlygyny  $l_{rer}$  tyglaryň arasyndaky 10 mm-den çyzylan çyzyklary (oýuklary) sanap ölçemeli.
18. (9) formulany ulanyp erkin gaçmanyň tizlenmesini hasaplamaly.

Alnan netijeleri jedwele ýerleşdirin.

Jedwel - 2.

№	n <sub>1</sub>	T <sub>r1</sub> (s)	n <sub>2</sub>	T <sub>r2</sub>	ℓ <sub>get</sub> (m)	g (m/s <sup>2</sup> )	g <sub>t</sub>	g <sub>hak mka</sub>	δ · 100 %
1.									
2.									
3.									

Işde  $T_{r_1} = T_{r_2}$  gazanmaly. (takyklygy 0, 5 %).

Erkin gaçmanyň tizligi kesgitlenilende tejribäniň ýalňyşlygyny aşakdaky formuladan hasaplamaly.

$$\delta = \frac{g - g_t}{g_t} \cdot 100 \%$$

bu ýerde g - ölçegiň netijesinde alnan tizlenme

g<sub>t</sub> - erkin gaçmanyň tablisadaky nazarýetde (teoriýada) bahasy

$$(g_t = 9,81 \frac{m}{s^2})$$

### Barlag üçin soraglar.

1. Garmoniki yrgyldynyň deňlemesi.
2. Matematiki maýatnik. Matematiki maýatnigiň döwri (periody).
3. Fiziki maýatnik. Fiziki maýatnigiň döwri. Fiziki maýatnigiň getirilen uzynlygynyň getirilip çykarylyşy.



### № 11-nji tejribе işi.

## Yrgyldyly sürtülme koeffisientini kesgitlemek

## Gerekli abzallar we esbaplar

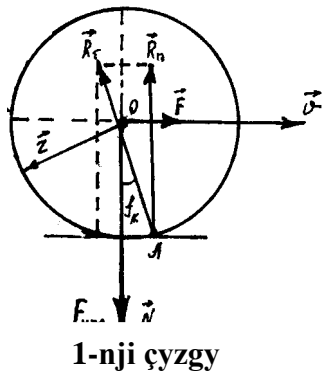
1. Gaýşardylyan maýatnik.
2. Çalşyrylan nusganyň köplügi. (şarlaryň köplügi).

Hereket edýän her bir jisim az hereketiniň dowamynda özüni gurşap alýan sreda ýa-da jisimlere sürtülýänligi sebäpli sredanyň ýa-da jisimleriniň garşylygyna duçar bolýar. Başgaça aýdanymyzda hereket edýän her bir jisime sürtülme güýçleri täsir etmegi netijesinde mehaniki energiýa sürtülýän jisimleriniň içki energiýasyna öwrülýär.

Hereketdäki sürtülmä yrgyldy sürtülme hem degişlidir. Yrgyldy sürtülmesinde iki jisimiň galtaşma nokadynda (meselem, şaryň tizlikdäki yrgyldy hereketinde) galtaşma örän tiz wagtda pursatlanç (mgnowen) wagtda bolup geçýär we galtaşýan jisimleriň biri galtaşma nokadyndan geçýän mgnowen okuň daşyndan aýlanýar.

## Yrgyldy sürtülmäniň ýüze çykyşyna garap geçeliň.

Şar tekiz üste togalanyp yrgyldy halynda deformasiýa ýüze çykyar. Şonuň üçin hem şaryň  $A$  nokadyna düşýän reaksiýa güýjiniň öňe süýşmesi we täsir ediji güýjiniň wertikaldan yza süýşmesi bolýan 1-njy sypary.



Reaksiya güyüniñ normal düzüjisi  $\vec{R}_n = -\vec{N}$  galtaşma düzüjisi  $R_\tau$  bolsa sürtülme güyüni berýär.

$$\vec{F}_{yrg} = \vec{R}_\tau \quad (1)$$

Yrgyldy deňölçeqli bolanda yrgyldy  $\vec{F}_{yrg}$  güýji agyrlık  $\vec{F}$  güýji bilen kompensirlenýär. Reaksiýa  $\vec{R}$  gýji bolsa  $AO$  göni boýunça ugrukdyrylýar. Sebäbi güýjiň yrgyldaýan jisimiň  $O$  simmetriýa okuna görä momenti nula deňdir.

Eger togalanyp yrgyldaýan şaryň radiusyny  $r$ , reaksiýa güýjini  $A$  nokada düşmesiniň süýşmesini  $f_k$  diýip bellesek, onda  $\vec{R}$  onda güýjiniň  $O$  simmetriýa okuna görä momentiniň nula

deňliginden peýdalanyň

$$F_{yrg} r = R_n f_k = N f_k \quad (2)$$

ýazyp bileris.

Onda yrgyldy sürtülme güýji üçin Kulonuň kanuny

$$F_{yrg} = f_k \frac{N}{r} \quad (3)$$

şeýle ýazylyar:

Bu ýerde  $f_k$  – yrgyldyly hereketdäki sürtülme koeffisienti.

Şu işdäki berlen abzal gaýşardylýan maýatnigiň kömegi bilen yrgyldy sürtülme koeffisientini kesgitlemek üçin niýetlenendir. Yöne şaryň deňölçegli hereket etmeýänligi üçin yrgyldy sürtülme koeffisientini aşakdaky formula bilen

$$f_k \cong R \operatorname{tg} \beta \frac{(\alpha_o - \alpha_n)}{n} \quad (4)$$

hasaplamak bolýar.

Bu ýede:

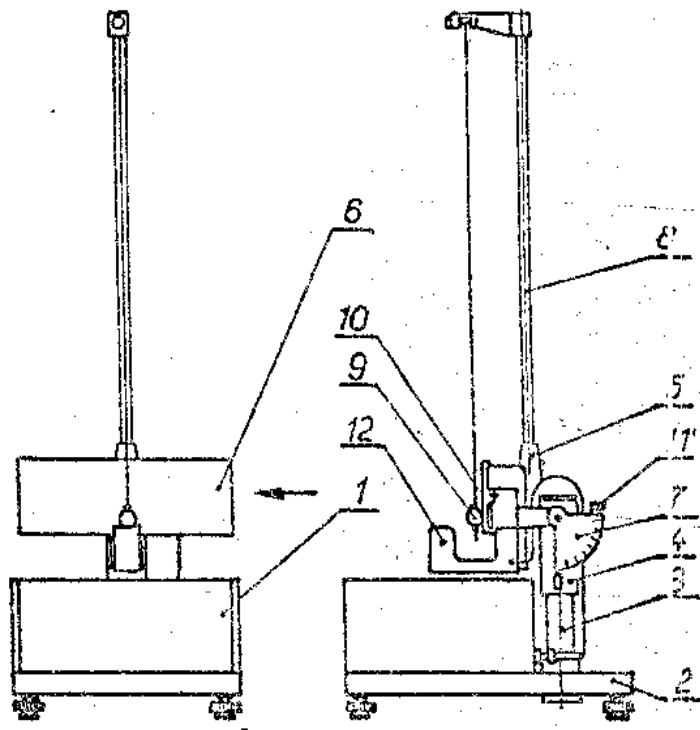
$R$  – şaryň radiusy.

$\alpha_o$  – maýatnigiň başlangyç gyşarmasy.

$\alpha_n$  – maýatnigiň doly  $n$  sany yrgylda edeninden soňky gyşarmasy.

$n$  – maýatnigiň doly yrgyldy sany.

$\beta$  – maýatnigiň gaýşarma burçy, ony priboryň gapdalyndaky şkaladan almaly.



1-nji çyzgy.

Gyşardylýan maýatnigiň umumy görnüşi.

### Gurluşyň ( ustanowkanyň ) ýazgysy.

Abzalyň esasynda dik (3) sütün oturdylan. Sütüne (4) hyrly geçiriş berkidilen. Hyrly geçiriş ýörite ok arkaly (5) kronşteýn bilen birleşdirilen. Kronşteýnlere (6) we (7) şkalalar oturdylan. Ýokadaky kronşteýndäki (8) kolonkadan ujy görkezijili şar asylan (II). Worotyň üsti bilen maýatnik dik haldan gaýşardylýar . Kronşteýne (12) fotodatçik oturdylan. Şarlary görkezijiden towlap aýyrlýp başga şar oturdylan. Abzalyň esasynda oturdylan (2) millisekundamer fotodatçik bilen birleşdirilendir.

### Işiň ýerine ýetiriliş tertibi.

1. Ýokary kronşteýndäki worotogy towlap maýatnigiň uzynlygyny kesgitlemeli. Şonda şaryň görkezijisi fotodatçigiň şöhlesini kesip geçmelidir.
2. Maýatnigi  $\beta=30^\circ$  burça gaýşartmaly.
3. Şary deňagramly haldan  $\alpha=40^\circ+50^\circ$  gradusburça gyşartmaly.
4.  $n=10$  doly yrgyldy üçin maýatnigiň döwrüni (period) we iň soňky yrgyldy burçyny kesgitlemeli.
5.  $\beta=45^\circ$  we  $60^\circ$  burçda 2,3,4-nji punktlary ýerine ýetirmeli.
6. Yrgyldy sürtülme koeffisienti (4) formuladan hasaplamaly.

Ölçeğdäki alnan netijeleri jedwele ýazmaly.  $\beta = 30^\circ$

Jedwel.

№	$R$ (m)	$\alpha_o$ (grad)	$\alpha_n$	$n$	$f_k$	$\langle f_k \rangle$	$\chi^2_{\text{exp}} = \langle \chi^2 \rangle \mp \langle \Delta \chi^2 \rangle$
1							
2							
3							

Maýatnigi  $\beta = 45^\circ$  we  $60^\circ$  burça gaýşardyp ýokardaky ýaly tablisany doldurmaly.

### Barlag üçin soraglar.

1. Sürtülme güýji barada düşünje. Yrgyldy sürtülme koeffisienti, onuň ölçeg birligi.
2. Garmoniki yrgyldyly hereket. Pessaýlaýan yrgyldy.

## № 21-nji tejribe işi

### Durujy tolkunynyň kömegi bilen sesiň howadaky tizligini kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Ýörite gurnalan enjam.
2. Ses dörediji generátor.

#### Işiň nazaryeti.

Kogerent tolkunlaryň goşulmagynyň (deň ýygylýkly we bir tekizlikde yrgyldy edýän iki ýa-da köp tolkuna kogerent tolkunlar diýilär) netijesinde tolkunynyň energiýasynyň peselmegi we ýokarlanmagy bolup geçýär. Muňa tolkunynyň *interferensiýasy* diýilär. Durujy tolkuny muňa mysal getirmek bolar. Iki sany meňzeş amplitudaly kogerent tolkunlaryň goşulmasy duruji tolkun döredýär. Iş ýüzünde durujy tolkun, tolkunynyň päsgelçilikden yza serpikmeginde döredýär.

Päsgelçilige ýeten we ondan yzyna serpilen tolkunlar yzyna ýaýranda biri-biriniň üstüne düşüp **durujy tolkun** döredýär. Durujy tolkundan tapawutlylykda, düşýän we serpikýän tolkunlara **ylgawly tolkun** hem diýilýär.

Durujy tolkunynyň denlemesiniň görnüşi:

$$S = \left( 2 |A| \cos 2\pi \frac{x}{\lambda} \right) \cos \omega t;$$

Ýaýyň (skopkanyň) içindäki aňlatma wagta bagly däl. Oňa durujy tolkunynyň **amplitudasy** diýilýär.

$$A_0 = 2 |A| \cos 2\pi \frac{x}{\lambda};$$

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm n\pi \quad (1) \quad (n=0, 1, 2, \dots \text{bütün san})$$

bolan halda yrgyldyň amplitudasy iň uly baha eýe bolýar, ýagny

$$A_0 = 2 |A|;$$

Ol nokatlara durujy tolkunynyň örküji diýilýär. (1) - şertden örküjiň koordinatalary alynýar.

$$x_{\text{örk}} = \pm n \frac{\lambda}{2}; \quad (2)$$

nokatlarda

$$2\pi \frac{x}{\lambda} = \pm (2n+1) \pi \quad (3)$$

şeylelikde, yrgyldynyň amplitudasy nola öwrülýär. Bu nokatlara durujy tolkunyň düwüni diýilýär. Gurşawyň (sredanyň) düwüninde ýerleşýän nokatlaryň hemmesi yrgylda gatnaşmaýar.

(3)-şertden düwüniň koordinatlaryny taparys.

$$x_{d\ddot{u}w} = \pm(2n+1)\frac{\lambda}{2}; \quad (4)$$

Biri-birine ýakyn ýerleşen düwünleriň ýa-da örküçleriň aralygyna durujy tolkunyň uzynlygy diýilýär. Belli bolşy ýaly, (2) aňlatma 1-örküçdäki koordinaty kesgitleýär. Ol koordinatadan soň gelýän indiki örküjiň bahasy

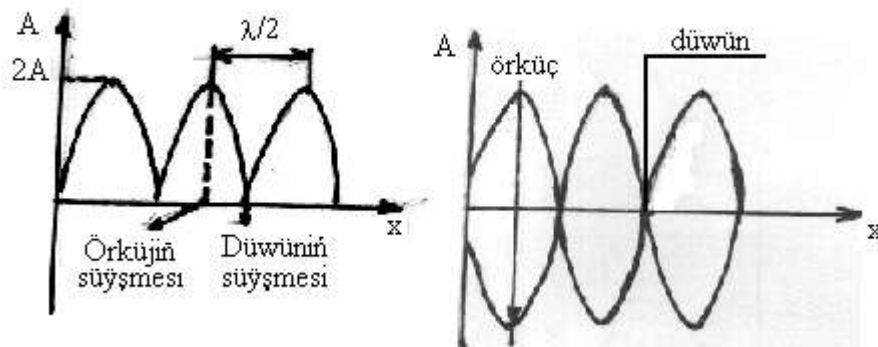
$$x_{n+1} = (n+1)\frac{\lambda}{2}; \quad (5)$$

şeyle bolar.

Kesgitlemä laýyklykda, (4) we (5) aňlatmalaryň tapawudy durujy tolkunyň uzynlygyna deň bolar:

$$x_{dur} = x_{n+1} - x_n = (n+1)\frac{\lambda}{2} - n\frac{\lambda}{2} = \frac{\lambda}{2};$$

başgaça aýdanymyzda, durujy tolkunyň uzynlygy ylgaw tolkunyň ýarysyna deň diýiligidir.



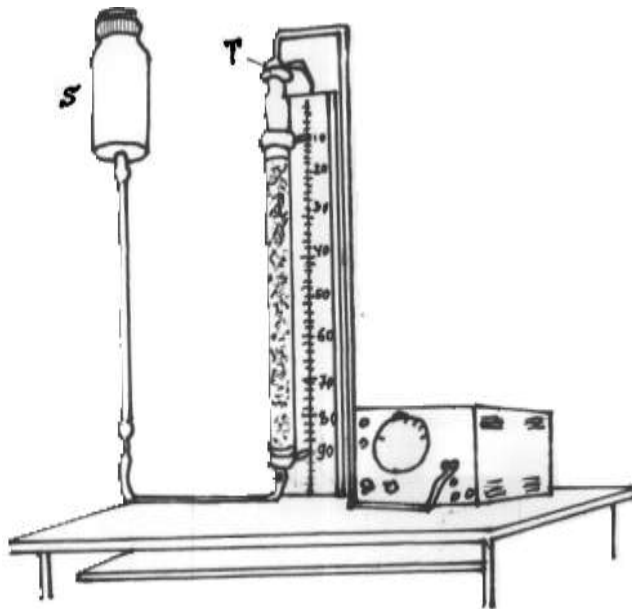
1-nji çyzgyda durujy tolkunyň düwüni we örküçi görkezilen.

1-nji çyzgy

### Işiň goýluşy

*AB* aýna turbajygy dikligine ýerleşdirilen. Onuň gapdalynda milli metre bölünen şkala ýerleşdirilen (2-nji çyzgy).

Turbajygyň aşaky düýbi suw salynýan *S* gap bilen rezin şlanganyň kömegi bilen birleşdirilen. Turbajygyň ýokarky bölegine ýerleşdirilen *T* telefona generatoryň üsti bilen kesgitli ýygyllykly ses berilýär.

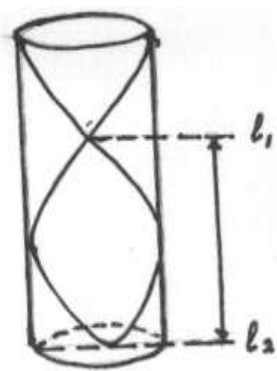


2-nji çyzgy. Enjamyň umumy görnüşi.

Turbajygyň içindäki suwuň üst tekizligi telefonyň berýän sesini serpikdirýär we ol ses yzyna gaýdýar. Netijede, ylgawly we serpigen tolkunlar interfirlenýär, ýagny biri-birine goşulup durujy tolkuny emele getirýär. Turbajykda emele gelýän durujy tolkunyň düwüniniň we örküjiniň turbajykdaýy ýerleşşi suwuň üst derejesiniň ýagdaýyna bagly bolup durýar. Ses tolkunlary has dykyz gursawdan (sredadan) serpigende akustik taýdan özüniň ýarym tolkunyny ýitirýär, şol pursat suwuň üst tekizliginde tolkunyň düwüni döreýär, turbajygyň ýokarky açyk üstünde örküç emele gelýär. AB suwuň turbajykdaýy derejesini turbajygyň ýokarky ujuna golaýlaşdyryp soňra S gabyň assa-assa aşak düşürmeli. Turbajykdaýy suwuň derejesi ýuwaş-ýuwaşdan aşaklap başlanda suwuň üst beýikliginiň şeýle bir ýagdaýyny tapyp, turbajygyň ýokarky üstünde düwüne ýakyn ýerleşen örküç alynar ýaly nola getirmeli.

AB aýna turbajykdaýy suwuň derejesini onuň ýokarky ujuna ýakyn getirmeli. Soňra, S gaby aşak düşürmeli. Şundan soň AB turbajykdaýy suwuň derejesi ýuwaş-ýuwaşdan peselip başlar, şeýle ýagdaýda turbajygyň içindäki suwuň üst tekizliginde güýçli ses tolkuny emele gelýär. Sesiň güýçlenmesi tolkunyň düwüniniň emele gelýändigini aňladýar. Suwuň aşaky derejesinde bolsa gowşak ses tolkunlary emele gelýär. Şol pursat tolkunyň örküji alynýar.

Ses tolkunyň güýçli eten ýerinde rezonans döreýär, ýagny iki sany tolkun suwuň üst tekizliginde biri-biri bilen goşulyp A turbajykdaýy suwuň üst derejesiniň peselmeginiň dowamynda gaýtadan ses tolkunlarynyň güýçlenmesi we peselmesi bolup durar (3-nji çyzgy). Sebäbi, iki sany goňşy düwünleriň



3-nji çyzgy.

3-nji çyzgy.

aralygy ylgaw tolkunyn ýarysyna deň. Onda, AB turbajykdaky suwuň beýikliginiň üýtgemesi şkala bilen hasaplananda iki sany yzygider rezonansyň aralygynyň tolkun uzynlygyna deň bolýanlygy gelip çykar.

$$\Delta l = l_2 - l_1 = \frac{l}{2};$$

bu ýerde  $l$  – telefonyň göýberýän ses tolkunynyň uzynlygydyr, olary,

$$l = 2\Delta l; \quad (6)$$

Şeýle-de, ses tolkunynyň uzynlygyny we AB turbajygyň ölçegini, uzynlygyny bilip, AB turbajykdaky suwuň beýikliginiň bir-näçe dürli ýagdaýlaryny tapyp bolar. Şu aralyklaryň ählisinde biri-birinden ýarym tolkun yza galýar.

Şeýlelik bilen (6) deňleme boýunça ses tolkunlarynyň uzynlygyny tejribede we ses tolkunynyň ýygylmagyny  $v$  ses beriji generatoryň şkalasyndan bilip, ses tolkunynyň uzynlygyny  $\lambda = \frac{g_x}{v}$  deňleme boýunça kesgitläp tejribe geçirilen wagtdaky temperaturasynda sesiň howadaky tizligini  $g_x$  anyklap bolar. Şeýlelikde,  $g_x = v\lambda$ , aňlatmadan we (6)  $\lambda = 2\Delta l$  deňlemäni ulanyp alarys:

$$g_x = 2\Delta l v;$$

Otag temperaturasyny bilip, sesiň  $0^\circ\text{C}$ -däki tizligini aşakdaky deňlemäni ulanyp taparys.

$$g_x = g_0 \sqrt{1 + \alpha t^\circ\text{C}};$$

Bu ýerde  $\alpha$  - howanyň göwrümüne giňelmek koeffisiýenti ( $\alpha = 0,00366\text{K}^{-1}$ ).

$$g_0 = \frac{2\Delta l \cdot v}{\sqrt{1 + \alpha t^\circ\text{C}}}; \quad (7)$$

(7) deňlemedäki  $\Delta l$  -metrde,  $v$  bolsa Gersde ölçenyär.

### Işiň ýerine ýetirilişi.

Ses dörediji generatory elektrik toguna birikdirip, onuň diapazonyny 800 Gs goýmaly. Giň S gaby ýokaryk galdyrmaly, ýokarky kesigine çenli suwdan doldurmaly, soňra S gaby aşak düşürüp, oňa AB turbajykdaky suwuň ählisiniň S gaba geçür ýaly etmeli. Telefonyň gaty seslenişini şkaladaky bölümler boýunça bellemeli. Goý, turbajykdaky suw sütüniniň ýokarky ýagdaýynda sesiň gaty seslenişiniň ilkinji bahasy  $l_1$ , ikinjisi bolsa  $l_2$  diýip belläliň.

Onda

$$\Delta l_1 = l_1 - l_2;$$

Eger-de turbajykdaky suw sütüniniň üçünji beýikligi  $l_3$  deň bolsa,  $\Delta l_2 = l_2 - l_3$  onda

$$\Delta l_{ort} = \frac{\Delta l_1 + \Delta l_2}{2};$$

Alynanlardan  $\Delta l$ –iň berilen bahalaryndan onuň ortaça arifmetiki hasabyny tapmak mümkin,  $\Delta l_{ort}$ -ny bahasyny bilip, (7) formula boýunça sesiň  $0^\circ C$  temperaturaly howadaky tizligini kesgitlep bileris.

Barlaglardan alynan netijeleri jedwele (tablisada) geçirmeli:

Jedwel.1.

№	Belent (maksimal) seslenmäniň ýagdaýy				$\Delta l_1$ (m)	$\Delta l_2$	$\Delta l_3$	$\Delta l_{ort}$	$g_0$ (m/s)
	$l_1$ (m)	$l_2$	$l_3$	$l_{ort}$					
1									
2									
3									

### Barlag üçin soraglar:

1. Durujy tolkun nähili alynýar? Durujy tolkunyň deňlemesini ýazyň.
2. Durujy tolkunyň örküji we düwüni diýip nämä aýdylýar?
3. Durujy tolkunyň uzynlygy diýip nämä aýdylýar?
4. Interferensiýa diýip näme aýdylýar?



## 22-nji laboratoriya işi

### Kleman - Dzormanyň usuly boýunça gazyň udel ýylylyk sygymalarynyň gatnaşygyny kesgitlemek

#### Gerekli abzallary we esbaplar:

1. Aýna gap.
2. U- görnüşli monometr.
3. Ýel beriji enjam.

#### Işň nazaryýeti.

Jisimiň **udel ýylylyk** sygymy – bu  $1\text{ kg}$  jisimi  $1^\circ\text{K}$  gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdarydyr.

$$C = \frac{dQ}{mdT}; \quad (1)$$

Udel ýylylyk sygymyň birligi –  $[J / \text{kgK}]$ .

Gazyň molýar ýylylyk sygymy – bu  $1\text{ kmol}$  gazy  $1^\circ\text{K}$  gyzdyrmak üçin gerek bolan ýylylyk mukdarydyr.

$$C_\mu = \frac{dQ}{\nu dT}; \quad (2)$$

Bu ýerde  $\mu = \frac{m}{\nu}$  kilomollaryň sany. Molýar ýylylyk sygymyň ölçeg birligi  $J/\text{kmol K}$ . Udel ýylylyk

sygymy  $C$ , molýar ýylylyk sygym  $C_\mu$  bilen aşakdaky ýaly gatnaşykly baglanyşygy bardyr.

$$C_\mu = \mu C;$$

Bu ýerde:  $\mu$  - jisimiň molýar massasy. Jisim gyzdyrylýan döwründe, deňşililikde onuň basyşy we göwrümi hemişelik saklananda, hemişelik göwrümdäki ýylylyk sygymy we hemişelik basyşdaky ýylylyk sygymy boýunça tapawutlandyrylýar.

Termodinamikanyň birinji başlangyjynyň teswirlemesine görä ulgama berilen ýylylyk mukdary, onuň içki energiýasyny artdyrmaga we daşky güýçleriň garşysyna işe harçlanýar.

$$Q = \Delta U + A;$$

Ulgamyň haly ujypsyz üýtgemekligi üçin berilýän ýylylyk mukdary:

$$\delta Q = dU + \delta A$$

bu ýerde

$dU$  - ulgamyň içki energiýasynyň ujypsyz üýtgemegi,

$dQ$  – ýylylyk mukdarynyň ujypsyz kiçi mukdary,

$\delta A$ - üznüksiz kiçi iş.

(1) we (2) deňlemeleri hasaba almak bilen 1 *kmol* gaz üçin termodinamkanyň 1-nji başlangyjyňy aşakdaky görnüşde aňlatmak bolar.

$$C_{\mu} dT = dU_m + PdV_m; \quad (3)$$

Eger-de gaz hemişelik gowrümde gyzdyrylsa, onda daşky güýjiň işi nola deň bolup, berilen ýylylyk mukdary ulgamyň içki energiýasyny artdyrmaklyga harçlanýar.

$$C_{\mu_v} = \frac{dU_m}{dT};$$

Ýagny,  $V = const$ , bolanda gazyň molýar ýylylyk sygymy 1 *kmol* gazyň temperturasyny 1K ýokarlanandaky içki energiýanyň üýtgemegine deňdir. 1 *kmol* ideal gazyň içki energiýasy

$$dU_m = \frac{i}{2} R \Delta T;$$

Bu ýerde:  $i$  –molekulanyň erkinlik derejesiniň sany, onda:

$$C_{\mu_v} = \frac{i}{2} R$$

Eger-de gaz hemişelik basyşda gyzdyrylsa, onda (3) aňlatmany aşakdaky görnüşde ýazmak mümkin.

$$C_{\mu_p} = \frac{dU_m}{dT} + \frac{PdV_m}{dT};$$

$\frac{dU_m}{dT}$  - gatnaşyk prosesleriň görnüşine bagly dälidir. Mendeleyew – Klaperyonyň deňlemesini differensirläp alarys.  $C_{\mu_p} = C_{\mu_v} + R;$  (5)

(5) aňlatma Maýeriň adyny göterýär.

Bu deňleme  $C_{\mu_p}$  – niň,  $C_{\mu_v}$  – den elmydama  $R$ -iň bahasyna ulydygyny görkezýär. (4) deňlemäni ulanyp şeýle ýazmak bolar.

Termodinamiki proseslere seredilende  $C_{\mu}$  – ä gatnaşygyny her bir gaz üçin bilip bolar.

$$\gamma = \frac{C_{\mu_p}}{C_{\mu_v}} = \frac{i+2}{i};$$

Eger-de, gazyň temperaturasy hemişleik bolanda ( $T = const$ ), onda termodinamikanyň birinji başlangyjyny **izotermiki** prosesi üçin aşakdaky görnüşde ýazmak bolar.

$$\Delta Q = \delta A;$$

$T = const$ , bolanda ideal gazyň içki energiýasy üýtgemeyär, onda

$$dU = \frac{m}{\mu} C_{\mu_v} dT = 0;$$

Gaza berlen ähli ýylylyk mukdary, daşyndan goýlan güýjiň garşysyna işe harçlanýar.

$$Q = A = \frac{m}{\mu} RT \ln \frac{V_2}{V_1};$$

Seredilen proseslerden gaýry adiabatik prosesiň uly ähmiýeti bardur. Proses wagtynda, daşky sreda bilen ýylylyk alyş-çalyş bolup geçmese, onda oňa **adiabatik proses** diýilýär.

Adiabatik proses üçin termodinamikanyň birinji başlangyjy şeýle bolar:

$$dA = -dU;$$

ýagny, adiabatik prosesde daşky iş ulgamyň içki energiýasynyň uýtgemesiniň hasabyna bolup geçýar.

Gazyň erkin massasy üçin deňlemäni şeýle ýazyp bolar:

$$PdV = -\frac{m}{\mu} C_{\mu_v} dT; \quad (6)$$

Ideal gazyň (6) hal deňlemesini ulanyp, adiabatik proses üçin Puassonyň deňlemesini almak mümkin :

$$pV^\gamma = const;$$

Bu yerde:  $\gamma = \frac{C_p}{C_v}$  – Puassonyň koeffisiýenti.

Üýtgeýän ( $T, V$ ) ýa-da ( $P, T$ ) üçin alarys.

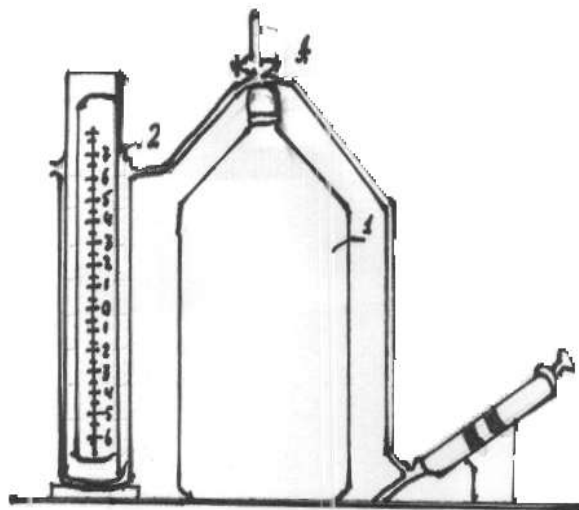
$$PV^{\gamma-1} = const; \quad T^\gamma P^{\gamma-1} = const.$$

Gaz üçin Puassonyň koeffisiýentiniň adiabatik proses ya-da oňa golaý proseslerde uly ähmiýeti eýedir. Ýylylyk sygymalaryny kesgitlemegiň, esasanam  $C_v$ -niň uly kynçylygy bardyr.

Şuňa degişli köp meseleler seredilende  $\frac{C_p}{C_v}$  – gatnaşygy kesgitlemekde  $C_v$ -ni kesgitlemek zerurdyr. (Puassonyň koeffisiýenti), bu bolsa öňde goýulan meseläniň maksady bolup durýandyr.

Puasson Klemanyň we Dzormanyň koeffisiýentini kesgitlemek üçin 1819-njy ýylda gazyň adiabatik giňelme we gysylma usulynyň ýönekeý görnüşini hödürledi. Gazyň göwrüminiň çalt üýtgemegini edil adiabatyk prosesdäki bolşy ýaly göz önüne getirilýär. Şu proses näçe çalt bolup geçse ol şonçada adiabata ýakyndyr.

Tejribe üçin ulanylýan aýna gap (1) suwly manometr bilen birleşdirilen (2). (1-nji çyzgy).



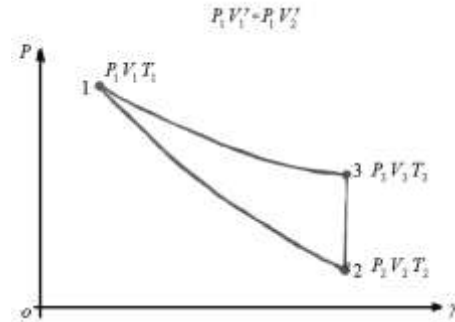
1-nji çyzgy.

A krany ýapyp gaba, suwly monometriň suwunuň beýikliginiň tapawudy 25-30 sm bolýança howa berilýär. Bu ýagdaý balondaky howanyň temperaturasy daşky gurşawyň temperaturasy bilen deňleşýänçä we monometrdeki suwuklygyň beýikligi üýtgemän saklanýan halyna çenli 2-3 minutlap saklamaly.

Biz udel göwrümi  $V_1$ , basyşy  $P_1$  we temperaturasy  $T_1$  (otag temperaturaly) bolan birlik massaly gazyň käbir bölegine seredeliň. Soňra balondaky basyşy daşky atmosfera basyşyna deňleşdirmek üçin krany çalt açyp ýapmaly. Şonda balondaky we daşky gurşawyň basyşy öz-ara deňleşer. Kranyň uly kesigi bolany üçin, balondaky howanyň gurşawa geçmesi gaty çalt bolup geçýär, muni bolsa adiabatik proses diýip hasap etmek bolar. Netijede gazyň şeýle çalt giňelmeginde temperatura  $T_2$  çenli sowaýar, gazyň udel göwrümi  $V_2$  bolar, basyşy  $P_2$ , (atmosfera) we temperaturasy  $T_2$ . 2-3 minut geçenden soň balondaky howa otag temperaturasyna

çenli gyzar we basyşy  $P_3 > P_2$  bolar, (udel göwrümi  $V_3 = V_2$ , şeýle ýagdaýda gap otagyň temperaturasy  $T_3 = T_1$  ýyly bolýança ýapyk bolmaly. Adibatik geçişni birinjiden ikinjä geçiş haly üçin Puassonyň deňlemesi kanagatlanarlykdyr, ýagny

$$P_1 V_1^\gamma = P_2 V_2^\gamma; \quad (7)$$



2-nji çyzgy

Gazyň ahyrky üçünji halyny birinji haly bilen deňeşdirseň, birinji halyndan üçünji hala gazyň geçişiniň izoterma prosesi boýunça geçýändigini görmek bolýar. Bu geçiş üçin Boýl-Mariotaň kanuny ulanarlykdyr. Şeýlelikde,

$$P_1 V_1 = P_3 V_3; \quad \text{çünki} \quad V_3 = V_2; \quad (8)$$

(7) we (8) deňlemelerden  $\gamma$  kesgitläp bolar. Onuň üçin (8) deňlemanı  $\gamma$  derejä göterip we (7) deňlemä böleliň.

$$\frac{P_1^\gamma V_1^\gamma}{P_1 V_1^\gamma} = \frac{P_3^\gamma V_3^\gamma}{P_2 V_2^\gamma}; \quad \text{ýa-da} \quad \frac{P_1^\gamma}{P_1} = \frac{P_3^\gamma}{P_2}; \quad \left( \frac{P_3}{P_1} \right)^\gamma = \frac{P_2}{P_1};$$

Iň soňky aňlatmany logarifmirläp, taparys

$$\gamma = \frac{\ln \frac{P_2}{P_1}}{\ln \frac{P_3}{P_1}}; \quad (9)$$

Alynan aňaltma, Puassonyň koeffisiýentini kesgitlemegiň deňlemesidir. Emma, şol bir şertde bolup geçýän Kleman we Dezormaň tejribesi, juda ýönekeý ýakynlaşýan deňlemäni almaklyga mümkinçilik berýär.

Gazyň birinji halyna degişli monometrdäki suwuklygyň tapawudyny  $H$  we üçünji halyna degislisini  $h$  bilen belgiläliň.

Şeýle ýagdaýda:

$$P_1 = P_2 + \alpha H; \quad P_3 = P_2 + \alpha h; \quad (10)$$

Bu ýerde:

$\alpha$  - monometrdäki suwuklygyň derejesiniň tapawudynyň san bahasyny aňlatmak üçin geçiş koeffisiýenti.

$P_2$  - atmosfera basyşy.

Iki ýagdaýda-da, ikinji aňlatmanyň sag tarapy, birinji aňlatma bilen deňeşdireniňde azdyr.

$$P_2 - P_1 - \alpha H; \quad P_3 = P_1 - \alpha(H - h);$$

(10) deňlemiden  $P_1$  we  $P_3$  bahalaryny (9) deňlemede goýup alarys.

$$\gamma = \frac{\ln \frac{P_1 - \alpha H}{P_1}}{\ln \frac{P_1 - \alpha(H - h)}{P_1}} = \frac{\ln \left( 1 - \frac{\alpha H}{P_1} \right)}{\ln \left( 1 - \frac{\alpha(H - h)}{P_1} \right)};$$

$\frac{\alpha H}{P_1}$  we  $\frac{\alpha(H - h)}{P_1}$  ululyklar birden juda kiçidir.

Şu ýagdaý üçin ýakynlaşýan aňlatma ýerliklidir.

$$\ln \left( 1 - \frac{\alpha H}{P_1} \right) \approx -\frac{\alpha H}{P_1};$$

Eger-de,  $\ln \left( 1 - \frac{\alpha H}{P_1} \right)$  aňlatmany hatara dargadylsa, onda biz Makloryň hatarynyň birinji goşulyjysy bilen çäklenip bileris.

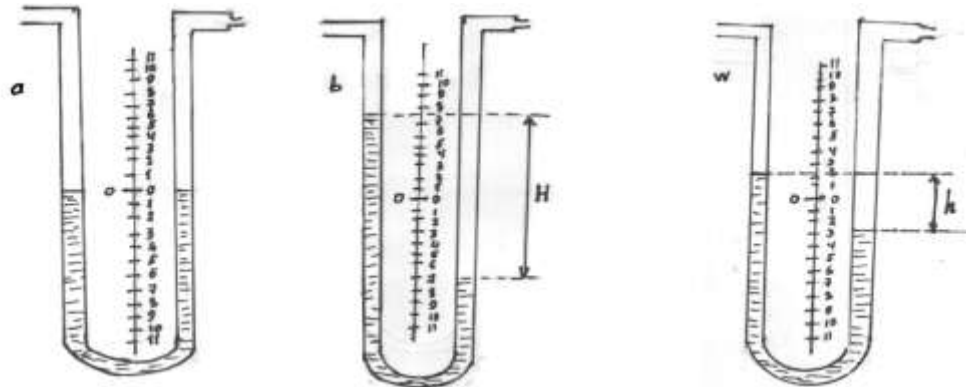
$$\gamma = \frac{\frac{\alpha H}{P_1}}{\frac{\alpha(H - h)}{P_1}} = \frac{H}{H - h}; \quad (11)$$

Bu has ýönekeýleşdirilen deňlemäni, hasaplama geçirmek üçin ulanmak mümkin. Başda howany seýreklendirip we krany açyp adiabatiki gysylma döredilende ýokardaky (11) deňleme öz görnüşini ýitirmez. Oňa derek  $H$  we  $h$  alamatlary üýtgär.

### Işin ýerine ýetirilişi

1. Suwly monometriň başlangyç ýagdaýy 2-nji çyzgy (a).
2. A krany ýapyp monometrdäki suwuň derejeleriniň tapawudy 25-30 sm deň bolýança el nasosy arkaly howa girizmeli. Soňra krany ýapyp balonyň içindäki howanyň temperaturasy daşky sredanyň temperaturasy bilen deňleşýança 2-3 minut garaşmaly, ýagny (balondaky basyş üýtgemesini goýýar). Şondan soň manometriň

görkezenini hasaba almaly. Manometriň sütündäki suwuň derejesiniň tapawudyny  $H$  kesgitlemek üçin suwuň turbajykdaky egilmesiniň aşaky gyrasyny almaly. 3-nji çyzgy (b).



3-njy çyzgy

3. A krany açyp manometriň iki egrelmesindäki suwuň derejesi deňleşen pursatynda krany ýapmaly. Şeýlelikde , balondaky howa atmosfera bilen gatnaşykda bolýar. (şuňa berilen wag 1-2–sekunddan köp bolmaly däl).

Balondaky basyş atmosfera basyşy bilen deňleşende onuň içindäki howanyň temperaturasy peseler, çünki balonyň howasy adiabatik giňelmeklige sezewar boldy. Balondaky howanyň temperaturasy daşky sreda bilen deňeşýänça 2-3 minut garaşmaly, soňra monometrden  $h$  beýikligi ölçemeli. 2-nji çyzgy (w). Şu tejribede takyk hasap geçirmek ol monometriň beýikligini takyk hasap alyp bilşiňe, şeýle-de A kranyň öz wagtynda ýapylamgyňa baglydyr.

4. Tejribäni azyndan 10 sapa geçirmeli we alynan netijäniň orta arifmetiki bahasyny almaly.

Alynan netijeleri jedwele geçirmeli.

Jedwel.

№	Giňelmäk e derejesi		$H$ (mm)	Giňelenden soňky derejesi		$h$ (mm)	$\gamma$	$\gamma_{ort}$	$\gamma_{hak} = \gamma_{ort} \pm \Delta \gamma_{ort}$
	çepi	sag y		çepi	sagy				
1.									
2.									
3.									

## Barlag üçin soraglar:

1. Termodinamikanyň birinji başlangyjy we onuň izoproseslerde ulanylyşy.
2. Udel we molýar ýylylyk sygymy. Maýeriň deňlemesi. Näme üçin  $C_p$ ,  $C_v$ - den ulydyr?

## 23-nji we 24-nji tejribe işlerine

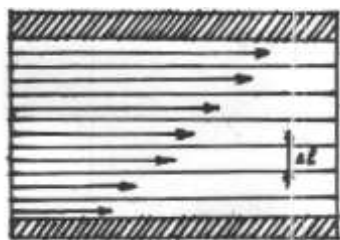
### Giriş

Real gazlaryň we suwuklyklaryň esasy häsiýetnamasynyň biri şepbeşiklikdir. Onuň ýüze çykmagyna suwuklyk ýa-da gaz turbadan akanda ýa-da haýsy hem bolsa jisim suwuklykda ýa-da gazda hereket edende gözegçilik etmek mümkin.

Şepbeşiklik (muňa kähalatlarda içki sürtülme hem diýilýär), gazyň we akyjy suwuklygyň akyjylyk häsiýeti bolup, daşky güýçleriň täsiri netijesinde bir gatlagyň beýleki gatlagga görä hereketinde päsgelçiligiň ýüze çykmasydyr.

Gatlaklary dürli tizlikli suwuklykda (gazda), onuň gatlaklarynyň arasynda içki sürtülmäniň döremeginiň mehanizmi, ýagny haotiki ýylylyk hereket edýän molekulalaryň bir gatlakdan başga gatlagga geçmeginiň netijesinde ýüze çykyp biler. Bir gatlakdaky molekulalaryň hereket mukdarynyň ulalmagy beýleki gatlakda onuň peselmeginiň netijesidir. Gatlaklaryň tizligine päsgelçilik döreýär, ýagny haýal hereket edýän gatlagyň tizligi artýar, tiz hereket edýäniňki peselýär. Şunlukda gatlagyň jemleýji hereket mukdarynda hemişe üýtgäp durmaýar.

Içki sürtülmäniň döremeginiň tebigatyny aşakdaky ýaly düşündirmek bolar. Goý iki sany 1 we 2 tekizligiň arasynda suw ýa-da gaz gatlagy ýerleşen. Ýokardaky gatlak aşakdaky gatlagga seredeniňde 9 tizlik bilen hereket etsin (1-nji çyzgy).



süşme  
şeyle-de suwuklyk  
1-nji çyzgy.  
birliginiň

Suwuklyk biri-birinden  $\Delta l$  aralykda ýerleşen özara parallel juda ýuka gatlaklara bölünen diyip göz önüne getireliň. Suwuklyk gatlaklar gaty jisim bilen galtaşanda oňa ýelmeşýär. Aralyk gatlaklaryň tizlikleriniň dargadylýandygy

boýunça 1-nji çyzgyda görkezilen  $\frac{\Delta \mathcal{Q}}{\Delta l}$  ululyk

tizliginiň modulynyň tizlik wektoryna

gatlaklaryna perpendikulýar ugurda, uzynlyk



ugruna, çalt üýtgeýändigini görkezýär, özara galtaşýan gatlaklaryň dürli tizliginiň bolmagy netijesinde galtaşma üstüniň ugruna ol gatlaklaryň süýşmesine päsgelçilik döredýän, içki sürtülme güýji diýilýän güýç döreýär.

Şepbeşikligi kesgitlemekligiň ýönekeý usuly I. Nýuton tarapyndan hödürlenelipdir.

$$f = -\eta \left( \frac{d\vartheta}{dl} \right); \quad (1)$$

Bu ýerde  $f$  -üst gatlagyň birlik meýdanyna täsir edýän içki sürtülme güýji,  $\eta$ -dinamiki şepbeşiklik,  $\frac{\Delta\vartheta}{\Delta l}$  bolsa gradiýent tizlikdir. Minus (-) alamaty içki sürtülme güýjiniň tizligiň garşysyna ugrukdyrylandygyny görkezýär. Dinamiki şepbeşiklik  $\eta$  ol gatlagyň birlik üstüne täsir edýän tizlik gradiýenti bire deň bolandakydyr.

$S$  meýdança täsir edýän  $F$  güýç (geçýän molekulalaryň sany onuň  $S$  meýdançasyna baglydyr), gatlagyň  $S$  maydançasyna we tizligiň gradiýentine proporsionaldyr (oňa gatlagyň hereket mukdary hem baglydyr).

$$F = \eta \left( \frac{d\vartheta}{dS} \right) S;$$

HB - sistemasynda şepbeşikligiň ölçeg birligi  $P\alpha$  sek

$$[\eta] = \frac{kg}{msek} = Paskal \text{ sekunt}$$

Suwuklyklaryň sepbesiklik koefisiýenti gazlaryňkydan bir dereje ýokarydyr. Suwuklygyň şepbeşikligi onuň tebigatyna we temperaturasyna baglydyr. Temperaturanyň artmagy bilen suwuklygyň şepbeşikligi çalt peselýär. Bir näçe suwuklyklaryň temperaturasyny peseltseň onuň şepbeşikligi ulalýar we özuniň akyjylyk häsiýetini ýitirip amorf halyna geçýär.

## № 23 -nji tejribe işi

### Kapilyarly şepbeşiklik ölçýjide suwuklygyň sürtülme koeffisiýentini kesgitlemek.

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Suwuklygyň şepbesikligini kesgitlemek üçin abzal wizkozimetr.
2. Barlanyljak suwuklyk.
3. Sekundomer (wagt ölçýji).

#### Işň nazarýeti

Goý, tegelek kese-kesigi bolan inçejik turbajykdaky suwuň akmagy onuň uçlarynda  $P$  basyşyň dürli bolmagynyň netijesidir. Trubkanyň ujundaky suw gatlaklary biri-birine otnositellikde lominar akym boýunça (süýüşýär) diýip göz öňüne getireliň.

Wagt birliginde Turbajygyň kese-kesiginden akyp geçýän suwuklygyň  $V$  – göwrümi  $P$  basyşyň tapawudyna şeýle-de turbajygyň ölçegine we suwuklygyň içki sürtülme koeffisiýentine (şepbeşikligine) baglydyr.

Bu baglanyşyk Puazeýliň adyny göterýän deňlemäniň üsti bilen aňladylýar.

$$V = \frac{\pi r^4 P}{8 \eta l}; \quad (1)$$

Bu deňlemäniň (1) esasynda suwuklygyň içki surtülmesi üçin aşakdaky aňlatmany alarys

$$\eta = \frac{\pi r^4 P}{8 V l}; \quad (2)$$

Puazeýliň deňlemesi, otnositel şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemek üçin amatlydyr. Bir meňzeş  $V$  göwrümlü we bir meňzeş kapilyar ( $r$  we  $l$  birmeňzeş) turbajyklaryny alyp barlanyljak we etalon suwuklyklaryň  $t$  we  $t_0$  wagtda akyşy barlanylsa, onda etalon suwuklyk üçin şeýle alarys:

$$V = \frac{\pi r_o^4 P t_o}{8 \eta_o l}; \quad (3)$$

barlanyljak suwuklyk üçin

$$V = \frac{\pi r^4 P t}{8 \eta l}; \quad (4)$$

(3) we (4) deňlemeleri biri birine bölüp alarys.

$$1 = \frac{P t \eta_o}{P_o t_o \eta}; \quad \text{bu ýerde} \quad \frac{\eta}{\eta_o} = \frac{P_o t_o}{P t}; \quad (5)$$

Eger-de, bir meňzeş  $V$  göwrümlü suwuklyk agyrlık güýjüň täsiri netijesinde akýan bolsa, onda aşakdaky gatnaşygy alarys

$$\frac{P}{P_o} = \frac{\rho \cdot t}{\rho_o t_o};$$

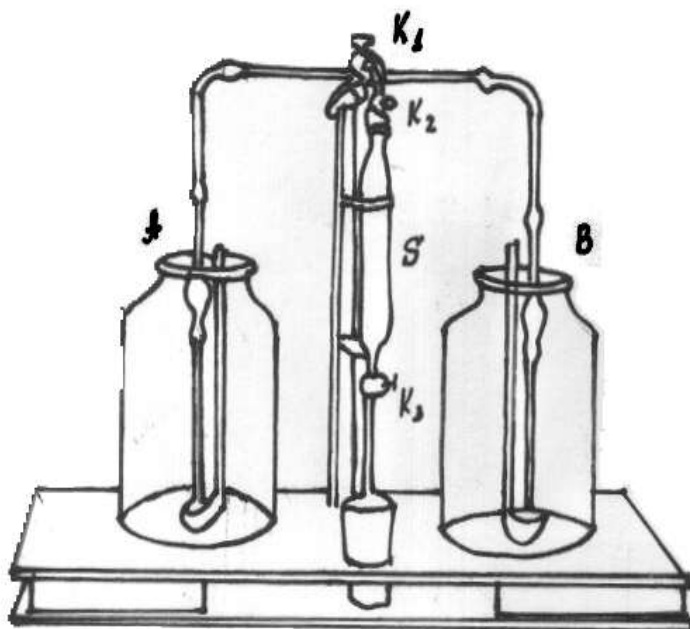
Bu ýerde,  $\rho$  we  $\rho_o$  barlanylýan we belli (etalon) suwuklyklaryň dykzlyklarydyr. (5) gatnaşygy şeýle görnüşde ýazalyň.

$$\eta = \eta_o \frac{\rho t}{\rho_o t_o};$$

$\eta_o$  – tablisadan tapylýar. Barlanyljak suwuklyk **spirit**. Etalon, suwuklyk **suw**.

### Enjamyň gurluşy

Şepbeşikligi  $\eta$  kesgitlemek üçin (1-nji çyzgy) A we B suwly gabyň içinde iki sany şepbeşiklik ölçeýji ýerleşdirilen.



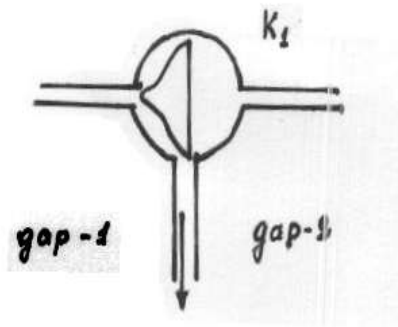
1-nji çyzgy.

## Enjamyň umumy görnüşi

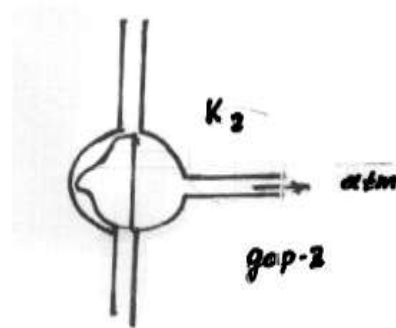
Tejribäniň geçirilýän pursatynda temperatura hemişelik bolmaly. Rezin turbasynyň üsti bilen şepbeşik ölçýjiler üç çykyntgyly  $K_1$  kran bilen birleşdirilýär. Üç çykyntgyly kranyň ortakysy  $K_2$  kрана çatylýar, soňky bolsa öz gezeginde suwly gap bilen birleşdirilen. Çepdäki şepbeşik ölçýjä suw guýulan, sagda-ka bolsa spirt. Suwly gabyň  $K_3$  krany bardyr.

### Işiň ýerine ýetirlişi

1.  $K_1$  krany (2-nji çyzgyda) görkezilişi ýaly açýarys. Şu ýagdaýda suw guýulan şepbeşiklik ölçýji işlär. Şol bir wagtda  $K_2$  kranyň atmosfera bilen gatnaşygy bolmaly däldir.



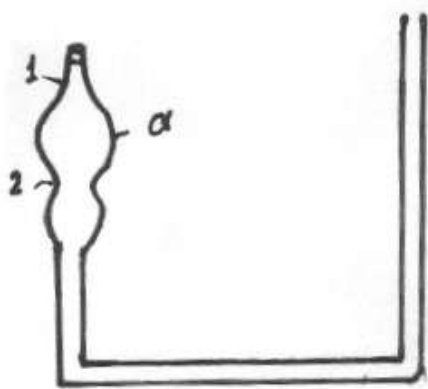
2-nji çyzgy



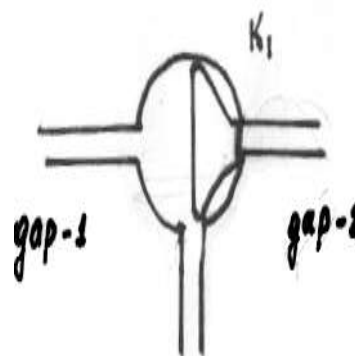
3-nji çyzgy

2).  $K_2$  krany açýarys (3-nji çyzgy) suw  $S$  gapdan stakana akyp başlanda suwuklyk şepbeşik ölçýjiniň ýokarky böleginden  $A$  bölege sorulyp başlanar. Suwuklyk 1-nji (4-nji çyzgy) bellikden ýokary galýança garaşmaly. Suwuklygyň  $a$  bölekden 1-den tä 2-ä akyp başlanyndan tä gutarýança sekundomeriň kömegi bilen wagtyňy ölçemeli. Şol pursat  $K_2$  kran atmosfera bilen birleşdirilmeli. Suwuklyk bolsa kapilýar trubka boýunça akar.

3). Şunuň ýaly edip spirtde-de geçirýäris. Onuň üçin  $K_1$  krany 5-nji çyzgyda görkezilişi ýaly goýmaly. Soňra 1-nji we 2-nji punktlary spirt üçin hem gaýtalaýarys we kapilýar turbajykdan spirtiň akyp geçýän  $t$  wagtyňy kesgitleýäris.



4-nji çyzgy



5-nji çyzgy

**Suwuň** we **spirtiň** deňşililikdäki  $\rho$  we  $\rho_0$  dykzlyklaryny, şeýle-de şepbeşiklik ölçýjiniň göwrümden köpelyär. Trubka boýunça akyp geýän suwuklygyň wagtyny bilip (6) deňlemäniň üsti bilen spirtiň şepbeşikligi kesgitleniler. Tejribäni azyndan 2 ýa-da 3 sapar gaýtalamaly. Tejribeden alynan bahalary bolsa tablisa ýazmaly.

Suwuň dykzlygy  $\rho_o = 998 \text{ kg/m}^2$

Spirtiň dykyslygy  $\rho = 790 \text{ kg/m}^2$

Suwuň şepbeşikligi  $\eta_0 = 1,1 \cdot 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{sek}$

Jedwel.

№	Suw		spirt		$\eta$ $(\frac{\text{kg}}{\text{m} \cdot \text{s}})$	$\eta_{ort}$	$\Delta\eta_{ort}$	$\eta_{hak}$	$\frac{\Delta\eta_{ort}}{\eta_{ort}} \cdot 100\%$
	$t_o$		$t$						
	(s)	$t_{o \text{ ort}}$		$t_{ort}$					
1									
2									
3									

$$\eta_{hak} = \eta_{ort} \pm \Delta\eta_{ort};$$

**Barlag üçin soraglar:**

1. Suwuklygyň şepbeşikligi (içki sürtülmesi) diýlip nämä aýdylyar?
2. Puazeýliň deňlemesini ýazmaly.

## № 24-nji tejribe işi

### Stoksyň usuly bilen suwuklygyň şepbeşikligini kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Içi suwuklykly silindrgörnüşli aýna gap.
2. Mikrometr, ştangensirkul.
3. Masştably lineýka.
4. Sekundomer.
5. (Metal) şarjagazlar.

#### Işň nazarýeti

Bir hilli suwuklykda hereket edýän gaty şara (1-nji çyzgyda görkezilen) güýçler täsir edýär: agyrlyk güýji  $\vec{P}$ , itekleýji Arhimediň güýji  $\vec{F}_{arh}$  we herekete garşylykly sürtülme güýji  $\vec{F}_{gar}$ . Agyrlyk güýji elmydama aşak ugrukdyrylandyr we şeýle kesgitlenilýär.

$$P = mg = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g;$$

Bu ýerde:  $m$ -massa,

$r$ - radius.

$\rho_s$  - saryň materialynyň dykzlygy.

$g$ -erkin gaçmagyň tizlenmesi.  $\left( g = 9,8 \frac{m}{s^2} \right)$ .

Itekleýji Arhimet güýji elmydama dik ýokary ugrukdyrylan. Bu güýç elmydama gysylyp çykarylan suwuklygyň agramyna deňdir.

$$F_{Arh} = \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g$$

Bu ýerde:  $r$  - şarjagazyň radiusy;

$\rho_s$  - suwuklygyň dykzlygy;

$g$ -erkin gaçmanyň tizlenmesi;  $\left( g = 9,8 \frac{m}{s^2} \right)$

Hereketdäki şara täsir edýän garşylyk güýç, onuň hereketiniň garşysyna ugrukdyrylandyr. Onuň ululygy suwuklygyň şepbeşikligine, gaçýan şaryň ölçegine we şaryň tizligine baglydyr. Şaryň üstünde gönümel galtaşýan suwuklyk gatlagy, şara ýelmeşip şaryň tizligine deň tizlik bilen hereket edýär. Indiki gatlagyň tizligi şara ýelmeşen gatlagyňkydan eýýam kiçidir. Şaryň üstünden suwuklyk gatlagy näçe. Şu ýagdaýda şaryň üstüniň suwuklyga sürtülmesine seretmezden diňe suwuklygyň

gatlaklarynyň otnositel süýşmesini gatlaklaryň biri biri bilen sürtülmesi diýip gürrüň etmek mümkin. Sebäbi şaryň üstüniň şeýle-de oňa ýakyn ýerleşn gatlagyň tizligi nola deň. Çäksiz suwuklygyň içinde hereket edýän togalak şara täsir edýän garşylyk güýji Stoksyň deňlemesinde berilendir:

$$F_{gar} = 6\pi \eta r \vartheta;$$

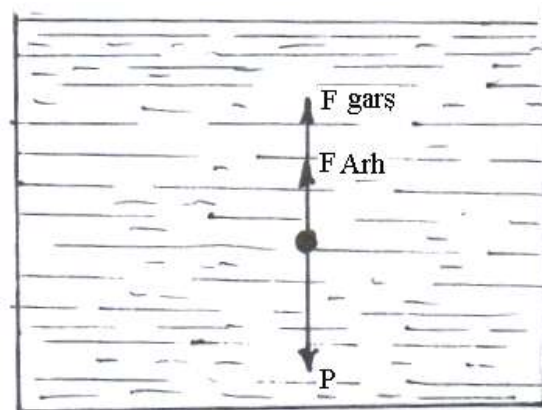
Bu ýerde:  $\eta$ - şepbesiklik koaffisiýenti,  
 $\vartheta$ -hereket edýän şaryň tizligi  
 $r$  - şaryň radiusy

Suwuklygyň içinde hereket edýän şaryň tizligi deň täsir ediji güýçleriň üsti bilen kesgitlenilip bilene

$$\vec{R} = \vec{P} + \vec{F}_{Arh} + \vec{F}_{gar}$$

Ähli güýçleriň ugry wertikal boýunça ugrukdyrylan 1-nji çyzgy. Şonuň üçin güýçleriň wektor deňlemesinden skalýar denlemesi görnüşe geçmek bolar (täsir edýän güýjiň ugryny hasaba alsaň).

$$R = P - F_{Arh} - F_{gar}$$



1-nji çyzgy.

Agyrlyk we Arhimed güýji geçiriljek tejribe üçin hemişelik ululyklar, Stoksyň garşylyk güýji bolsa şaryň gaçan tizligine baglydyr. Başda, suwuklygyň içinde şaryň başlangyç tizligi ujypsyzdyr, şeýle-de Stoks güýji hem kiçidir. Soňra şar deň tizlenýän hereket edýär.

Tizligiň ulalmagy bilen garşylyk güýji-de ösýär, netijede jemleýji  $\vec{R}$  güýç kiçelip şaryň tizlenmesi peselýär. Suwuklyk tizliginiň  $\vartheta_0$  käbir bahalarynda deň täsir ediji  $R$  nola deň, şeýle-de şaryň tizlenmesi hem nola deň bolar we şaryň ondan soňky hereketi deňölçeqli bolar. Şaryň hereketi durnukly bolýar, şonuň üçin:

$$R = P - F_{Arh} - F_{gar} = 0; \quad (1)$$

Glisirinde hereket edýän şar iş 5-6 sekund geçen soň durnukly herekete eýe bolar. (1) deňlemäni suwuklygyň şepbeşiklik koeffisiýenti kesgitlemegiň başlangyjy hokmünde ulanmak bolar.

$$\frac{4}{3} \pi r^3 \rho_s g - \frac{4}{3} \pi r^3 \rho_{suw} g - 6\pi \eta r g_o = 0;$$

$g_o$  - durnukly hereketdäki şaryň tizligi.

Ol deňlemeden:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_s - \rho_{suw}}{g_o};$$

Şaryň çäksiz suwuklykda gaçmagyny üpjün etmek bize iş ýüzünde bolmanlygy üçin, kä halatlarda gabyň ölçegine deňişli düzediş girizilýär. Eger-de, şar  $R$  radiusly silindriň okunyň ugruna gaçanda, onda silindriň diwarynyň bar bolanlygy sebäpli aşakadky formula getirilýär:

$$\eta = \frac{2}{9} g r^2 \frac{\rho_s - \rho_{suw}}{g_o \left( 1 + 2,4 \frac{r}{R} \right)}; \quad (2)$$

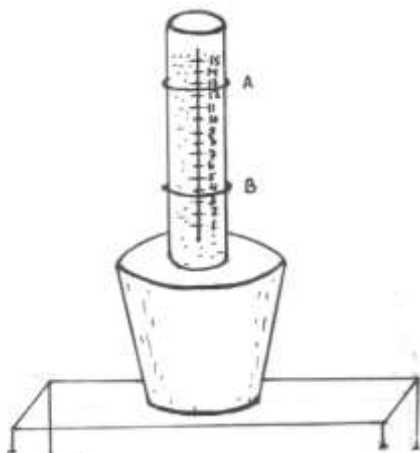
$R$ -silindr görnüşli aýna gabyň radiusy.

Deňlemäniň sag tarapyndaky ululyklarynyň ählisini ölçemek mümkin. Olar tablisadan alynýar.

### Işiň işleniş tertibi:

1. Mikrometr ýa-da ştangensirkul bilen şaryň diametrini ölçemeli;
2. Şaryň tizligini bilmek üçin silindrdäki A we B (2-nji çyzgy) bellikleriniň aralygynda şaryň geçen ýolunyň wagtyňy ölçemeli. Ony ölçemek üçin silindirdäki suwuklygyň derejesi A bellikden 4-5 *sm* ýokarda bolmaly. Diametri ölçenilen şary suwuklykly silindriň içine oklanylýar. Şar A bellige ýetende sekundomeri işletmeli, B bellige ýetende bolsa, saklamaly, şeýle edilip  $t$  wagt hasaplanylýar.





Soňra A we B aralygy lineýka bilen ölçäp, şaryň tizligi  $g = \frac{l}{t}$  hasaplanylýar.

Suwukluga oklanan baş sany şaryň gaçyş wagtyny kesgitlep, (2) deňlemäniň üsti bilen suwuklygyň şepbeşiklik koeffisiýentini kesgitlemeli, we onuň ortaça bahasyny almaly.  
3. Sepbeşiklik  $h$  koeffisiýenti hasaplanylanda goýberilýan ýalňyşlygy kesgitlemeli.

2-nji çyzgy

Ölçeg jedweli.

№	$R$ (m)	$l$ (m)	$t$ (s)	$\left(\frac{g}{m \cdot s}\right)$	$\left(\frac{\rho_{syr}}{m^3}\right)$	$\left(\frac{kg}{m^3}\right)$	$\eta$ (Pa·s)	$\eta_{ort}$	$\Delta\eta_{or}$	$\eta = \eta_{ort} \pm \eta_{or}$
1										
2										
3										

**Barlag üçin soraglar:**

1. Içki sürtülme diýilip nämä aýdylýar. Haýsy birlikde ölçenýär.
2. Stoksyň deňlemesini ýazyň.
3. Sywyklykda hereket edýän şara nähili güýçler täsir edýär.

## № 25-nji tejribe işi

### Howanyň molekulasyňyň erkin ylgawynyň uzynlygyny we effektiv diametrini kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Iki stakan
2. Sekundomer
3. Kapilýarly gap
4. Lineýka

#### Işň nazaryeti

Molekulýar-kinetik teoriýanyň esaslaryna görä gazyň molekulalary haotiki hereket edýärler, olaryň tizligi bolsa gazyň ýylylyk halyny kesgitleýär. Molekulalaryň tizlikleri juda uly, gazlarda bolýan prosesleriň ählisi, mysal üçin temperaturaň deňleşmesi, mgnowen bolmaly ýaly.

Emma, tejribe başga zady görkezýär. Muny şeýle düşündirmek bolar, ýagny molekula käbir ýoly göni geçýär, soňra başga molekulalar bilen çaknyşýar, indiki çaknyşyga çenli öz hereketiniň ugryny üýtgedýär. Molekulanyň iki urgusynyň aralygyndaky geçen ýolunyň uzynlygyna, onuň ylgawynyň uzynlygy diýilýär we  $\lambda$  bilen belgilenýär. Şeýlelikde, molekulanyň ähli geçen ýoly aýry-aýry göniçyzykly böleklerden düzülendir.

Molekulanyň ortaça ýylylyk tizligi ähli döwülýän ýolunyň uzynlygynyň şol ýoly geçmek üçin, gerek bolan wagtyňyň gatnaşygy bilen kesgitleniler, onda diffuziýa tizligi molekulanyň başlangyç we soňky nokatdaky aralygyndaky geçen ýolunyň şol ýola bolan gatnaşygyny kesgitlenilýär.

Molekulalaryň urulmazdan geçýän ýollarynyň uzynlygy, umuman aýdanyňda, juda dürli şonuň üçin bölekleyin geçilen ýoly almazdan molekulanyň urulmazdan geçip biljek orta ylgaw uzynlygyny almak gerek. Molekulanyň diametri barada gürrüň edilende onuň giňişlikde ýerleşiş diametrini göz önünde tutmaly däl. Bir näçe garaýyşlaryň görkezişine görä, molekulalaryň urgy wagtyndaky bir-birine galtaşmasy diýilýän, düşüňjaniň fiziki manysy ýokdyr, sebäbi molekulalar gatky metal şar däl. Olaryň merkezi bir-birine juda ýakyn aralyga ýakynlaşmagy mümkin ýagny molekulalaryň öz ara itekleşme güýji ýüze çykýança. Molekulalaryň merkezleriniň bir-birine has golaý ýakynlaşma aralygyna molekulanyň **effektiv diametri** diýilýär. Howa molekulasyňyň effektiv diametrini we erkin ylgawynyň orta uzynlygyny hasaplamak şu işiň maksadydyr.

Şepbeşiklik koefisiýentini Puazeýliň kanuny boýunça tapmak mümkin.

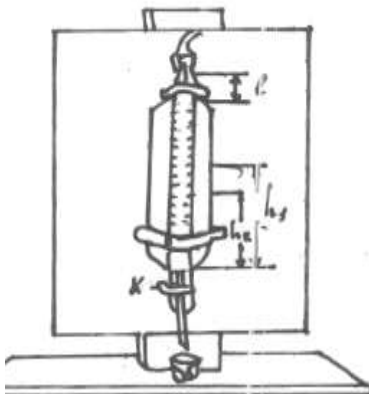
$$\eta = \frac{\pi \Delta P r^4 t}{8 l V};$$

Bu ýerde:  $r$  - kapilýaryň radiusy.

$\ell$  - kapilýaryň uzynlygy

$\Delta P$  – gazyň akysy bilen şertlendirilen kapilýaryň ahyrlarynda ýüze çykýan basyş tapawudy

$t$  –  $V$ -göwrümdäki gazyň kapilýaryň üsti bilen akys wagty,



Gap  $mm$ -lik şkaladan çykmazlyk şerti bilen suwdan doldurylýar. Eger-de,  $K$  krany açsak, onda kapilýardan suw akyp başlar, kapilýardan gaba howa sorylyp geçer

1-nji çyzgy. Kapilýardan ilki üznüksiz suw akymy akar ýeterlik howa sorulandan soňra suw damjalap başlar. Sebäbi kapilýar gaty inçejik bolany üçin, kapilýarda gaba howanyň sorulyşyga haýal bolar. Kapilýaryň üsti bilen sorulýan howanyň tizligini kapilýaryň ölçegi we onuň uçlarynda ýüze çykan basyşyň tapawudy bilen kesgitleýärler:

$$\Delta P = \frac{h_1 - h_2}{2};$$

1-nji çyzgy.

$h_1$  we  $h_2$  – tejribe geçirilmänkä we geçirilenden soňky gutydaky suwuň beýikligi.  $\Delta P$  –  $mm$ -lerde aňladylan suw sütüniniň basyşy (bu tapawudy  $N/m^2$ -de aňlatmaly).

Kapilýar turbajykdan akýan gazyň göwrümini, akyp çykýan suwuň göwrümi boýunça kesgitlep bolar. Şeýle-de, gazyň içki sürtülme koeffisiýentiniň gazyň molekulalarynyň erkin ylgaw ýoluna we molekulalaryň ortaça hereket tizliklerine başlangyjynyň kesgitli gatnaşygyny molekulýar kinetik teoriýasy subut etdi.

$$\eta = k\rho \langle \lambda \rangle \langle u \rangle; \quad (2)$$

bu ýerde :  $\rho$  - gazyň dykyzlygy

$\langle \lambda \rangle$  - gazyň ortaça ylgaw ýoly

$\langle u \rangle$  - olaryň hereketiniň ortaça (orta arifmetik) tizligi.

Koeffisiýent  $k$  erkinlik derejesiniň sanyna we Makwelliň tizlikler peýdalansygyny hasaba alýar. Howa üçin  $k = 0,5$ .

$$\eta = 0,5 \rho \langle \lambda \rangle \langle u \rangle; \quad (3)$$

Eger gazyň temperaturasy belli bolan ýagdaýy üçin içki sürtülme koeffisiýenti  $\eta$  bolsa, onda gazyň molekulalarynyň ortaça tizligini  $\langle u \rangle$  aşakdaky aňlatma bilen kesgitlener:

$$\langle u \rangle = \sqrt{\frac{8RT}{\pi \mu}}; \quad (4)$$

Bu ýerde:  $R$ - uniwersal gaz hemişeligi

$T$ - gazyň absolýut temperaturasy.

$\mu$  - gazyň molýar massasy.

Gazyň dykzlygy  $\rho$  gazyň içki sürtülmesiniň  $\eta$  kesgitlenilen şertindäki ýagdaý üçin alynýar we Mendeleyew – Klaýpeýronyň deňlemesiniň üsti bilen kesgitlenip biliner.

$$PV = \frac{m}{\mu} RT; \quad P = \frac{m}{\mu} \rho = \frac{P\mu}{RT}; \quad (5)$$

bu ýerde:

$P$ - atmosfera basyşy.

$m$  - gazyň massasy.

$V$ - gazyň göwrümi.

Ýokarda getirilen gatnaşyklary hasap etsek, onda molekulalaryň ortaça ylgawy üçin aşakdaky aňlatmany alarys.

$$\langle \lambda \rangle = \frac{\pi \Delta P r^4 t}{4 l V P} \sqrt{\frac{\pi RT}{8\mu}}; \quad (6)$$

$\Delta P$ ,  $r$ ,  $t$ ,  $l$ ,  $V$ ,  $P$ ,  $T$ - ululyklar tejribe üsti bilen kesgitlenýär.

$$\text{Howa üçin } \mu = 28,95 \frac{\text{kg}}{\text{kmol}}; \quad R = 8,31 \cdot 10^3 \frac{\text{J}}{\text{kmolK}};$$

$$\langle \lambda \rangle = \frac{1}{\pi \sqrt{2} \sigma^2 n_0} \quad (7);$$

(7) deňlemeden  $\langle \lambda \rangle$  belli bolan ýagdaýynda gaz molekulalarynyň **effektiw** diametrini kesgitlemek mümkin.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{2} \pi \langle \lambda \rangle n_0}}; \quad (8)$$

Deňlemedäki  $n_0$ - bir kub metrdäki gazyň molekulalarynyň sany (molekulalarynyň konsertrasiýasy). Ony aşakdaky deňlemeden kesgitläp bolar.

$$P_0 = n_0 k T_0; \quad n = n_0 \frac{P T_0}{P_0 T}; \quad (9)$$
$$P = n k T;$$

$n_0$ -normal şertde gazyň konsentrasiýasy (Loşmidiň sany  $2,69 \cdot 10^{25} \text{ 1/m}^3$ ).

$P_0$  we  $T_0$ - normal şertdäki temperatura we basyş.

$P$  we  $T$  - tejribä şertindäki temperatura we basyş.

### Işın ýerine ýetirilişi:

1. Gabyň kranyny açyň (1-nji çyzgyda) akýan suwy başga bir stakana ýygnaň.
2. Haçanda suwuň akyşy tertipli yzly-yzyna damjalap durnuklaşsa stakany aýyryp, ýerine mm bölimli stakany goýmaly we şol wagtyň özünde sekundomeri işletmelidiris, hem-de suwuň gapdaky başky beýikligini bellemeli.
3. Haçan-da stakana 40-50 *kub sm* suw ýygnaýylanda sekundomeri saklamaly we gapdaky suwuň beýikligini  $h_2$ -ni bellemeli.
4. Akyp çykýan suwuň göwrümini kesgitlemeli. Kapilýar turbajykdan gaba geçýän howanyň göwrümi biziň tapan suwmyzyň göwrümine deňdir.
5. Alynan hasaplama (6) –deňlemede goýup molekulanyň ortaça ylgaw ýoluny hasaplanylýar, şeýle-de (9) deňlemäni ulanyp (7) deňlemeden gazyň molekulasyňyň effektiv diametrini hasaplamaly. Ölçeği üç sapar geçirmeli.
6. Netijäniň ýalňyşyny hasaplamaly. Alynan netijeleri jedwele geçirmeli.

$$P_o = 10132 \text{ Pa};$$

$$T_o = 273 \text{ K};$$

Jedwel.

T №	$\frac{\Delta P}{\left(\frac{N}{m^2}\right)}$	$r$ (m)	$l$ (m)	$\frac{P}{\left(\frac{N}{m^2}\right)}$	$T$ (K)	$\lambda$ (m)	$\langle \Delta \lambda \rangle$ (m)	$V$ (m <sup>3</sup> )	$\langle \lambda_{hak} \rangle = \langle \lambda \rangle \pm \langle \Delta \lambda \rangle$	$\langle \sigma \rangle$
1.										
2.										
3.										

### Barlag üçin soraglar:

1. Molekulanyň ortaça ylgaw ýoly name?
2. Gazyň molekulasyňyň “effektiv” diametri diýip nämä aýdylýar?
3.  $\langle \lambda \rangle$  we  $\langle \sigma \rangle$  öz ara baglansygy haýsy gatnaşyk bilen kesgitlenilýär.

## 26 -njy tejribe işi

### Gaty jisimleriň uzynlygyna giňeltmek koeffisiýentini kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Sterženli nusgalar: polat, alýumin, aýna.
2. Üç sany aýna probirka.
3. Indikator.

#### Işň nazaryeti

Belli bolşy ýaly gaty jisim gyzdyrlanda giňelýär. Tejribäniň görkezişine görä gaty jisim giňelende onuň ähli ölçegi ulalýar. Mysal üçin metal plastinkasy gyzdyrlanda onuň uzynlygy ini we galyňlygy artýar. Eger-de jisimiň uzynlygy ininden we galyňlygyndan birnäçe esse uly bolsa, onda şeýle jisim gyzdyrlanda onuň diňe uzynlygyna giňelýändigini göz önünde tutulmaly. Şeýle ýagdaýda biz diňe uzynlygyna giňelýän jisimler bilen iş salyşýarys.

Eger-de jisim gyzdyrlanda onuň ölçeglerini kesgitleýän ululyklar absolýut bahasy boýunça biri-birinden tapawutlanýan bolsalar, onda biz jisimiň uzynlygyna giňelmegi bilen iş salyşman eýsem, berlen temperatura aralygynda giňelmegi bilen iş salyşýarys.

Temperaturanyň ýokarlanmagy kristallaryň atomlarynyň özara orta aralyklarynyň ulalmagyna getirýär. Kristallarda temperaturanyň ulanmagy ýylylyk hereketiniň energiýasynyň gözenekdäki atomyň ýylylyk yrgyldysynyň artmagyny, şeýlelik-de yrgyldylaryň amplitudasynyň ösmekligine getirýär. Garmoniki yrgyldynyň bolan ýagdaýynda atomlaryň yrgyldysynyň amplitudasynyň ulalmagy olaryň özara ortaça aralygynyň ulaldyp bilmegi atomlaryň aralygynda ýüze çykyp biler we özara täsir güýjüniň häsiýetine bagly. Uly aralyklarda atomlaryň arasynda dartýş güýji, aralyklarynyň azalmagy bilen ýüze çykýan güýç itekleşme güýjüne öwrülýär. Bu bolsa, atomlaryň arasyndaky orta aralygyň ulalmaklygyna getirer.

Gaty jisimiň ýylylykdan giňelmeginiň sebäbini kristallik gözenekdäki atomyň angarmoniki yrgyldysyndan gözlemeli. Ýylylyk giňelmesiniň mukdar ululygyny we göwrümine giňeltmek koeffisiýentleri häsiýetlendirýär, ol bolsa aşakdaky ýaly kesgitlenip bilner. Uzynlygy  $l$  deň bolan jisimiň temperaturasynyň  $\Delta T$  gradusa üýtgedende, ol öz uzynlygyny  $\Delta l$  üýtgeýär. Uzynlygyna giňeltmeklik koeffisiýenti

$$\beta = \frac{1}{l} \cdot \frac{\Delta l}{T}; \quad (1)$$

gatnaşykdan kesgitlenýär, ýagny uzynlygyna giňeltmek koeffisiýenti, jisimiň temperaturasy bir gradus gyzdyrylanda uzynlygynyň oňositel üýtgemesine deňdir.

Edil şunuň ýaly göwrümine giňeltmek koeffisiýenti

$$\alpha = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta T}; \quad (2)$$

gatnaşyk bilen kesgitlenilýär, ýagny koeffiseýent  $\alpha$  göwrümiň  $\frac{\Delta V}{V}$  otnositel üýtgemeginiň bir gradusa bolan gatnaşygyna deňdir.

Şu formulalardan görnüşi ýaly  $l_T$ –uzynlyk we  $V_T$ –göwrüm başlangyç temperaturadan  $\Delta T$ -e tapawutlanýan käbir temperaturalarda şeýle aňladylar ( $\Delta T$ -niň kiçi ýagdaýynda)

$$l_T = l_0(1 + \beta \Delta T); \quad \text{we} \quad V_T = V_0(1 + \alpha \Delta T); \quad (3)$$

Simmetri ýaly kub kristallar üçin  $\beta$ -koeffisiýent maddadan düzülen jisimiň tebigatyna bagly, ýöne ol ululyk noldan diýen uly däl. Ölçeg birligi  $[\beta] = K^{-1}$ . Berlen tejribe işiniň maksady uzynlygyna giňelmek koeffiseýentini  $\beta$  kesgitlemekdir.

Jisimiň islendik we nol temperaturadaky bahalaryny  $l_T$  we  $l_0$  bilip onuň uzamak koeffisiýentini (3)-nji formuladan taparys. Ýöne biziň tejribe şertimiz  $0^\circ C$ -de nusgamyzyň uzynlygyny kesgitlemäge mümkinçilik bermeýär. Şonuň üçin goý pikirimizde, biz turbajygyň  $0^\circ C$ -den öý temperaturasyna  $\Delta T$ -çenli gyzdyrýarys, soňra gaýtadan  $0^\circ C$ -den suwuň gaýnamak temperaturasyna  $\Delta T_g$  çenli gyzdyrýarys, diýeliň. Şeýle bolanda turbajygyň uzynlygyny deňlemeler boýunça kesitleniler:

$$l = l_0(1 + \beta \Delta T);$$

$$l_g = l_0(1 + \alpha \Delta T_g);$$

Soňky deňlemelerden  $l_0$  aýryp, deňlemäni  $\beta$ -ýa görä otnositellikde çözüp alarys:

$$\beta = \frac{l_g - l_0}{l_0 \Delta T_g - l_g \Delta T}; \quad (4)$$

Bu ýerde

$l_0$ –öý temperaturasynda turbajagazyň uzynlygy.

$l_g$ –suwuň gaýnama temperaturasynda turbajagazyň uzynlygy

$\Delta T$ –öý temperaturasyna çenli gyzdyrma ( $0^\circ C$ )

$\Delta T_g$ –suwuň gaýnama temperaturasyna çenli gyzdyrma.

Kä bir gaty jisimleriniň  $0^\circ$ -dan  $100^\circ C$  aralykdaky temperaturasy üçin  $\beta$ -iň bahalary

Demir– $0,0000121 K^{-1}$ .

Mis –  $0,00001778 K^{-1}$ .

Latun -  $0,0000139\ K^{-1}$ .

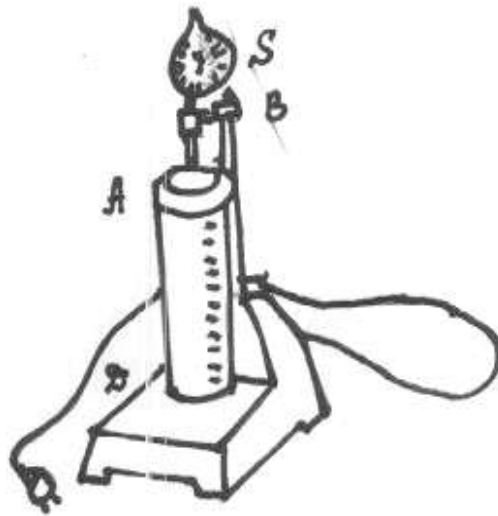
Polat –  $0,0000110\ K^{-1}$ .

Göwrümine giňelmeklik koeffisiýentiniň kesgitlenýän formulasy

$$\alpha = 3 \frac{l_g - l_0}{l_0 \Delta T_g - l_g \Delta T}; \quad (5)$$

### Enjamyň ýazgysy

Enjam A gyzdyryjydan ybarat bolup onuň ýokarsyndaky deşikden synagly (obrazesli) probirka oturdylýar. Gyzdyryjynyň depesinde öwrülýän kranşteýn "B" oturdylan, şoňa sünmäni ölçeýän indekator "S" oturdylan. Abzalyň panelinde indikator çyrasy "D" we knopkaly açar ýerleşdirilen 1-nji çyzgy.



1-nji çyzgy.

Enjamyň umumy görnüşi.

### Işiň ýerine ýetirlişi

Uzynlygyna giňelmekligi kesgitlemekde geçirilýän tejribe üçin hökmany:

1. Öý temperaturasyndaky probirkanyň 2/3 bölegine synag sterženlerine suw goýup synag edilýän sterženleri probirkanyň içine gezek-gezegine ýerleşdirmeli.
2. Sterženiň ahyry probirkanyň düýbüne deger ýaly etmeli.
3. Öwrülýän kranşteýna indikator berkitmeli we ony dördten bir öwrüme akydyp goýmaly.
4. Tejribe termometriniň kömegi bilen haýsy hem bolsa bir pribirkodaky suwuň temperaturasyny ölçmeli.



5. Barlanyljak sterženli probirkany abzalyň ýokarsyndaky deşikden gyzdyrja goýberilýär.
6. Indikatoryň ştogyny ýokary çekip probirkanyň üstünde dikeldip sterženiň soňunda ştoky goýmaly.
7. Indikatoryň peýkamynyň başdaky duran ýerini bilmeli (birinji tejribe geçirilende peýkamy nol ýagdaýynda goýsaňyz gowy bolar).
8. Ýokardaky sanalanlary ýerine ýetirip açaryň kömegi bilen enjamy tok çeşmesine birleşdirseň bolar. Şunda indikator çyra ýanmalydyr. Suw gaýnansoň probirkadaky nusga gaýnaýan suwuň temperaturasyna eýe bolar.  
Nusgalaryň uzynlygynyň artmagyny indikatoryň peýkamynyň başlangyç ýagdaýyndan gyşarmasy bilen bilip bolar. Hasap indikatoryň şkalasynyň bölümleriniň takykklamagyna çenli ýagny 5 mikrona çenli geçirmeli.
9. Işi dowam etmeklik we başga nusgalary (obrazeslery) tejribe geçirmeklik üçin:
  - a). Knopkaly açaryň kömegi bilen enjama gelyän togy kesmeli.
  - b). Indikatorly öwrülýän kranşteýni gyra süýşirip goýmaly.
  - w). Peçde gyzdyrylan probirkany enjamdan çykaryp ştatiwde ýerleşdirmeli.
  - d) 5-8-nji punktlary başga nusgalar üçin gaýtalamaly. Soüraky işler gyzan enjamda geçirilmelidigi onuň indiki geçiriljek tejribäniň netijesine täsir etmezligi üçin enjamy 30-40s saklap ýagny sowadyp soňra toga birikdirmeli.
10. Sterženiň başlangyç uzynlygyny ştangensirkul bilen ölçemeli.
11. Tejribeden  $\Delta l$  anyklap  $l_t = l_0 + \Delta l$  hasaplamaly (5) deňleme boýunça uzynlygyna giňelmek koeffisiýentini kesgitlemeli.
- 12.12. Alynan netijeleri jedwele geçirmeli.

Gözegçilik jedweli.

№	Mate- rialy	Öý tempe- raturasyn - da trubka -nyň uzyn - lygy $l_0$ (m)	Trubkan yň uzalmasy $\Delta l$ (m)	100°C-de trubkany ň uzalmasy $l_t$ (m)	Göwrümine giňelmeklik koeffisiýent i $\beta \left( \frac{1}{grad} \right)$	Uzynlygyn a giňelmeklik koeffisiýent i $\alpha$ (1/ grad)
1.	Demi r					
2.	Polat					
3.	Latu n					

## Barlag üçin soraglar:

1. Molekulýar-kinetik teoriýanyň esasynda ýylylyk giňelmegini düşündirmeli.
2. Uzynlygyna we göwrümine giňelmeklik koeffisiýentini kesgitleme bermeli.

## 27-nji we 28-nji tejribe işlerine

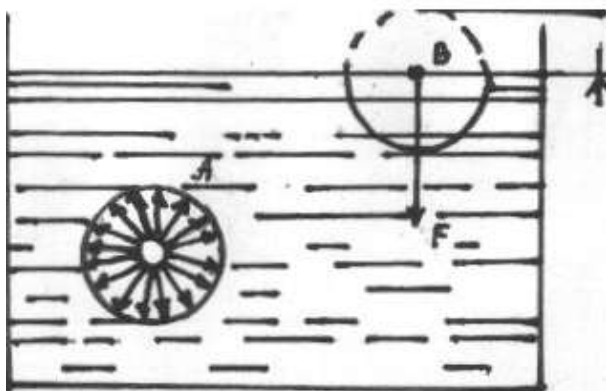
### Giriş

Suwuklygyň üsti başga sreda bilen galtaşan halýnda, mysal üçin, özüniň hususy bugy, başga bir suwuklyk, ýa-da gaty jisim bilen, has takygy özüniň ýerleşen gabynyň diwarlary bilen galtaşanda onda, suwuklygyň galan massasy bilen deňeşdirilende ol üst aýratyn bir şertde ýerleşýär.

Şu şertiň döremegi, suwuklygyň üst gatlagyndaky molekulalaryň suwuň aşagyndaky molekulalardan tapawutlylygy, olaryň dört tarapyňy hem şol suwuklygyň molekulalary bilen gurşalyp alynandygy bilen baglanşykly.

Belli boluşy ýaly, jisimleriň molekulalarynyň öz-aralarynda molekulýar ilişme güýji täsir edýär, bu bolsa molekulalaryň öz-ara aralyklarynyň ulalmagy, onyň ilişme güýji juda azalmagyna getirýär. Gazyň molekulalary iş ýüzünde biri-biri bilen özara täsir güýjünde däl. Suwuklykda bolsa molekulalar öz-ara dartýş güýji duýarlykdyr we ol molekulalaryň biri-birinden kesgitli aralyklarda saklanmaklygyna sebäp bolýar. Suwuklygyň her bir molekulasy ony gurşap alan beýleki molekulalar bilen çekişme güýji bilen oňa täsir edýär, güýjiň ululygy molekulalaryň aralyklarynyň ulalmagy bilen çalt kemelýär. Şeýlelikde, käbir aralykda molekulalara öz-ara täsir güýjini hasaba almasaňda bolar. Bu aralyga ( $10^{-9} m$ ) çemesinde molekulýar täsiriň  $r$  radiusy diýilýär,  $r$  radiusyly sfera molekulýar täsiriň sferasy diýilýär. Suwuklygyň içinde haýsy hem bolsa bir molekulany "A" (1-nji çyzgy) tapawutlandyralyň we onuň daşyndan sferiki radius geçireliň. Berlen molekula onuň töwereginde sferanyň içindäki molekulalaryň täsiriniň bar bolanlygyny hasaba almak ýeterlikdir.

Şu "A" molekula täsir edýän güýjiň, dürli tarapa ugrukdyrylandygy we ortaça kompensirlenenligi sebäpli şol "A" molekula täsir edýän molekulalaryň jemleýji güýji nula deňdir. Ýöne "B" molekula  $r$ -den kiçi aralykda ýerleşýänligi üçin oňa täsir edýän güýjiň ululugy başgaça bolar. Şu ýagdaý üçin sferadaky molekulýar täsiriň diňe az mukdary suwuklygyň içinde



ýerleşendir.

### 1-nji çyzgy

Suwuklygyň üstünde ýerleşen gazyň molekulalarynyň konsentrasiýasy, suwuň konsentrasiýasy bilen deňeşdireniňde azlygy üçin üst gatlagyň her bir molekulasyňa goýulan deň täsir ediji güýç,  $F$  nola deň däldir we ol suwuklygyň içine ugrukdyrylandyr. Ähli molekulalaryň üst gatlakdaky döredýän jemleýji suwuklyga basyş edýär, muňa molekulýar güýç diýilýär. Suwuklygyň düýbünde ýerleşen molekulalary ýokarky gatлага süýşürmek üçin, gatлага täsir edýän garşylykly güýjüň garşysyna iş etmeli bolýar.

Bu işi molekulalar tygşytlanan kinetik energiýasynyň hasabyna amal edilip biliner we ol energiýa molekulalaryň potensial energiýanyň ulalmagyna harçlanýar. Şonuň üçinem suwuklygyň üst gatlagyndaky molekulalaryň potensial energiýasy, suwuklygyň içindäki molekulalaryňkydan uludyr. Molekulalaryň üst gatlagyndaky molekulalaryň eýe bolýan goşmaça energiýasyna üst energiýa diýilýär, bu energiýa gatlagyň  $\Delta S$  meýdanyna proporsionaldyr.

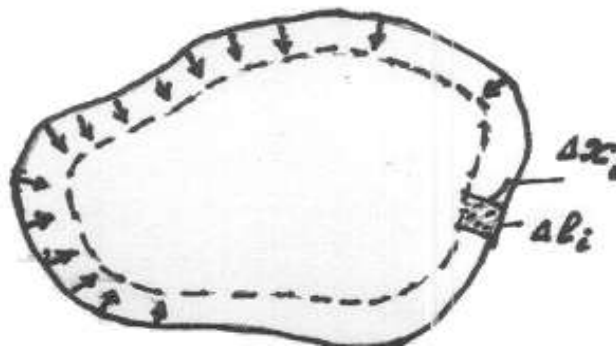
$$\Delta E = \alpha \Delta S; \quad (1)$$

Bu ýerde  $\alpha$  -üst dartylyş koeffisiýentidir. Ol birlik üst meýdanyndaky goşmaça energiýa bilen kesgitlenilýär.

Suwuklygyň üst gatlagyndaky bar bolan üst energiýa üsti kiçeltmäge ymtylýar. Uzynlygy  $l$  bolan ýapyk kontur bilen çäklenen suwuklyk üstüne seredeliň.

Üst dartylmak güýjiniň täsirinden olar üste galtaşma boýunça ugrukdyrylyp, täsiri ýüze çykarýan konturyň bölümine perpendikulýar ugrukdyrylandyr.

Suwuklygyň üst meýdany gysgalýar, seredilýän kontur (2-nji çyzgydaky) görkezilen punktir ýagdaýyna geçýär. Saýlanyp alynan bölegiň onuň bilen araçäkleşýän bölümlerine täsir edýän güýç iş edýär.



### 2-nji çyzgy.

Bu ýerde  $F$ -suwuklyk üstüniň konturynyň uzynlygna täsir edýän üst dartyň güýjüdir. (2-nji çyzgydan) görnüşi ýaly,

$$\sum_{i=1} \Delta l_i \Delta x_i = S;$$

$$A = FS; \quad (2)$$

Iş, üst energiýanyň azalmagynyň hasabyna edilýär.

Şeýlelikde:

$$A = \Delta E;$$

(1) we (2) deňlemeleri deňşdirenimizde görmek bolar,

$$\alpha = F;$$

diýmek üst dartyş koeffisiýenti  $\alpha$  bu üsti çäkleyän konturuň bir birlik uzynlygyna düşýän üst dartuw güýjine deňdir. Berlen ýagdaý üçin dartylyş koeffisiýentini halkara sistemasynda şeýle bolar  $1N/m$ .

Şeýlede üst dartyş koeffisiýentiniň ölçeg birligi (1) – deňleme boýunça  $1j/m^2$ .

Üst dartyş, haýsy suwuklykdygyna, hiline, halyna we temperaturasyna bagly. Temperaturanyň ulalmagy bilen ol azalýar. Şeýle-de üste täsir edýän aktiw jisimler (sabyn, ýagly kislota) hem üst dartyşy kemeltýär.

## **№ 27 – nji tejribe işi**

### **Halkanyň sowrulmak usuly bilen suwuklygyň üst dartyş koeffisiýentini kesgitlemek**

#### **Gerekli abzallar we esbaplar:**

1. Ýörüte enjam.
2. Dürli çekuw daşlary.
3. Suw.

#### **Işiň nazarýeti**

Eger-de suwuklyk üst gyrasy öllenme perimetri bilen çäklenen bolsa, onda üst dartyşma koeffisiýenti  $\alpha$ -ny öllenmek perimetriniň birlik uzynlygyna penpeldikulýar ugrukdyrylan güýç hökmünde garamak bolar şeýle-de ol güýç şu perimetre perpendikulýar ugrukdyrylandyr.

$$\alpha = \frac{F}{l};$$

Eger-de gorizonta ýerleşen halkanyň üstüni suwuklyk bilen erkin galtaşdyrsaň, soňra kranyň kömegi bilen suwuklygy ýuwaş-ýuwaşdan daşyna akdyryp azaltsak onda ilişme güýji halka täsir eder, hem-de halka bilen baglanşykly pružini sündürer. Eger-de pružynyň maýşgaklyk güýji suwuň ilişme

güýjinden uly bolsa, onda halka suwuklygyň üstünden gopar. Şundan görnüşi ýaly gopmanyň öň ýanyndaky pursat dartylan pružynyň süňme wagtyndaky maýşgaklyk güýji, üst daryş güýjine deňdir.

$$F = \alpha l;$$

Üstden gopma halkanyň daşky we içki perimetri boýunça bolýanlygy sebäpli konturyň gopma uzynlygy.

$$l = \pi(D_d - D_i);$$

deň. Bu ýerde:  $D_d$  we  $D_i$  - halkanyň içki we daşky diametri.

Şeýlelikde konturuň ähli uzynlygynyň üzülmeginiň täsir edýän üstdartyş güýji şeýle ýazylar.

$$F = F_1 + F_2 = \alpha \pi (D_d + D_i);$$

Şeýlelikde:

$$D_d = D_i + 2d;$$

Bu ýerde:

$d$  - halkanyň galyňlygy

onda

$$F = 2\pi (D_d + D_i - 2d) = 2\pi \alpha (D_d - d); \quad (1)$$

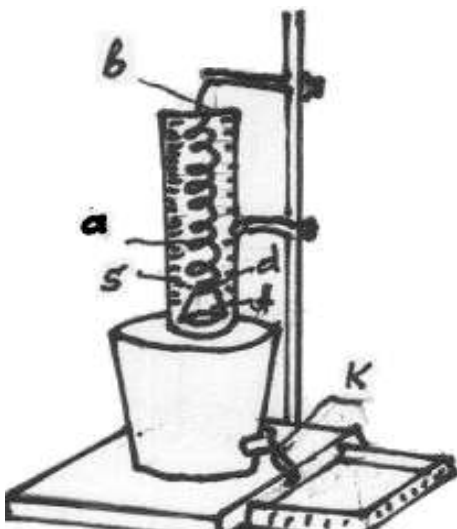
Halkanyň gopma pursadyndaky pružynda döreýän maýşgaklyk güýç berilen suwuklygyň üst dartyş güýjine  $F$  deň bolup biljek, pružyny şol uzynlyga getirjek ýüküň agramyna deňdir. Onuň mukdaryny dürli çekuw daşlarynyň kömegi bilen tapylýar. Barlanylýan suwuklyk üçin üst dartyş  $F$  we  $P$  özara deň bolanda üst dartyş koeffisiýentini (1) -nji deňlemenden aşakdaky ýaly bolar.

$$\alpha = \frac{F}{2\pi (D_d - d)}; \quad (2)$$

Tejribe üsti bilen güýjiň tapylmagy üst dartyş koeffisiýentini halkanyň gopma usulyny ulanyp kesgitlemekde esasy usuldyr.

### Işň ýerine ýetirilişi.

Iş üçin aşakda beýan ediljek gurluşy bolan terezi ulanylýar. (1-nji çyzgy).



Ştatiwe *a* we *b* pružyn berkidilen, ondan *d* görkeziji asylan, çekuwa daşyny goýmak üçin *s* okarajyk, ýerleşendir, şeýle-de *A* alýumyn halkadan ybaratdyr.

Suwuklygyň üstine halka doly galtaşýança ony aşak goýbermeli, we şkaladaky peýkamyň ýagdaýyny bellemeli, soňra *K* krany açyp suwy ýuwaş-ýuwaşdan gaba akdymaly we şkaladaky görkezijiniň süýşmesine syn etmeli. Kä bir wagt pursadynda pružyn juda köp süner, pružyn bilen baglanşykly halka suwuklygyň üstünden gopar, şol wagtyň özünde hem, şkaladaky görkezijiniň (peýkamyň) ýagdaýyny bellemeli.

Halkany sorujy kagyz bilen gowy süpürmeli soňra halkanyň suwuň üstünden üzülen ýagdaýynda şkaladaky görkezijiniň çyzyk sanyna deňleşýänçä *A* jamjagaz çekuwa daşlaryny goýmaly. Goýulan çekuwa daşlary halkanyň suwuklygyň üst perdejigini üzýän güýjini häsiýetlendirýär. Şu geçilen tejribäni üç sapa geçirip, soňra onuň ortaça bahasyny almaly. Suwuklygyň gözlenýän üst dartyş koeffisiýentini (2 - deňleme boýunça hasaplamaly.

Netijeleriň jedweli:

N <sub>o</sub>	D <sub>d</sub> (m)	d (m)	P (N)	$\alpha$ (N/m)	$\alpha_{ort}$ (N/m)	$\Delta\alpha$	$\Delta\alpha_{ort}$	$\alpha_{hak} = \alpha_{ort} \pm \alpha\Delta$ ort	$\frac{\Delta\alpha_{ort}}{\alpha_{ort}} \cdot 100\%$
1.									
2.									
3.									

### Barlag üçin soraglar:

- Üst dartyş diýilip näme aýdylýar? Molekulýar-kinetik teoriýanyň nukdaý nazarynda düşündirmeli.
- Puazýliniň deňlemesini ýazmaly.
- Üst dartyşy näme bagly?

## 28-nji tejribe işi

### Damja usulu bilen üst dartyş koeffisiýenti kesgitlemek

#### Gerekli abzallar we esbaplar:

1. Iki sany damjalaýjy (kapelnisa).
2. Üst dartyş koeffisiýenti belli we bellidäl suwuklyklar.

#### Işin nazaryeti

Suwuklygyň üst dartyş koeffisiýentiniň eksperiment üsti bilen bahasyny kesgitlejek bolsaň damjalaýjydan çykýan damjanyň emele geliş we üzüliş usuly ulanmak bilen gözegçilik etmeli. Damja kiçi bolan mahalynda ol döremeýär ony üst dartyş güýji saklaýar. Damjanyň agramy  $P$ , damjanyň boýunjagazynyň töweregi boýunça täsir edýän deňtäsirediji güýjine deň bolanda damja üzüler. Damjanyň üzülmeginiň öňi syrasynda turbajygyň ahyrynda  $a$ ,  $b$  aşadartylyş döreyär, we şol boýunça damjanyň üzülmegi bolup geçýär. Damjanyň boýunjagazynyň konturynyň uzynlygy, damjalaýjy trubkanyň töwereginiň uzynlygyna takmynan deň diýilip kabul edilýär,  $(l=2\pi r)$  (1-nji çyzgyda) damjanyň üzüljek pursatyndan görnüşi şekillendirilen. Üzüleme konturynyň uzynlyk birligine hasaplanan we perdäni böwürümüge gerek bolan güýjini häsiýetlendirýän üst dartyş koeffisiýentine deň bolanda kontur boýunça üst dartyş güjiniň ululygy şoňa deňdir.

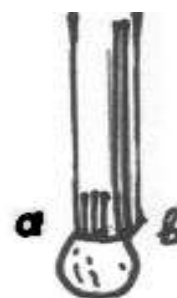
$$F = \alpha l = 2\pi r \alpha; \quad (1)$$

Ýolunmagyň (üzülmeginiň) ön ýanynda bu güýç damjanyň agramy  $P$  bilen deňagramlaşar. Bu ýerden alarys:

$$2\pi r \alpha = P; \quad (2)$$

(2)deňlemede  $P$  we  $r$  belli bolan ýagdaýynda üst dartyş koeffisienti  $\alpha$ -ny kesgitlep bolar.

$$\alpha = \frac{P}{2\pi r}; \quad (3)$$



1-nji çyzgy.

Damjanyň boýunjagazynyň radiusyny kesgitlemek kynlygy sebäpli, iş ýüzünde köp halatlarda üst dartyş koeffisiýenti näbelli bolan suwuklygyň üst dartyş koeffisiýenti näbelli, üst dartyş koeffisiýenti belli bolan suwuklyk bilen deňleşdirilip

kesgitlenilýär, mysal üçin suw. Şunuň üçinem indiki alynjak suwly trubkanyň boýunjagazynyň radiusy, beýleki trubkanyň boýunjagazynyň radiusy deň bolmaly. Bu diýildigi iki trubkadaky damjanyň dartylş radiusy bir meňzeş diýiligidir we ondan suwy damjaladyp goýbermeli.

Suw üçin hem şu (2) deňlemäni şeýle ýazyp bolar.

$$2\pi r\alpha_0 = P_0; \quad (4)$$

(2) deňlemäni (4)-nji deňlemä bölüp alarys:

$$\frac{P}{P_0} = \frac{2\pi r\alpha}{2\pi r\alpha_0} = \frac{\alpha}{\alpha_0}; \quad (5)$$

Damjalaryň agramlarynyň gatnaşygyny  $P/P_0$  analitiki terezi bilen ölçemek usuly bilen kesgitläp bolar. Ýöne muňa köp wagt harç etmek gerek bolýar, şonuň üçinem çekmekligiň deregine näbelli we belli suwuklyklaryň damjalarynyň kesgitli göwrümindäki sanyny hasaplamaly.

Goý  $n$ -barlanylýan suwuň damjasynyň,  $n_0$ -bolsa etelon (belli) suwuň damjasynyň  $V$ -göwründäki sany,  $\rho$ ,  $\rho_0$  suwuklyklaryň dykzyzlyklaryň gatnaşygydyr. Onda barlanylýan suwuklyklaryň her biriniň bir damjasynyň agramyny şeýle aňlatmak bolar.

$$P = mg = \frac{V}{n} \rho g; \quad (6)$$

Etalon suwuklyk üçin

$$P_0 = m_0 g = \frac{V}{n_0} \rho_0 g; \quad (7)$$

Bu ýerde  $m$  we  $m_0$  barlanyljak we belli suwuklygyň damjalaryň massasy,  $g$ -erkin gaçmagyň tizlemesi.

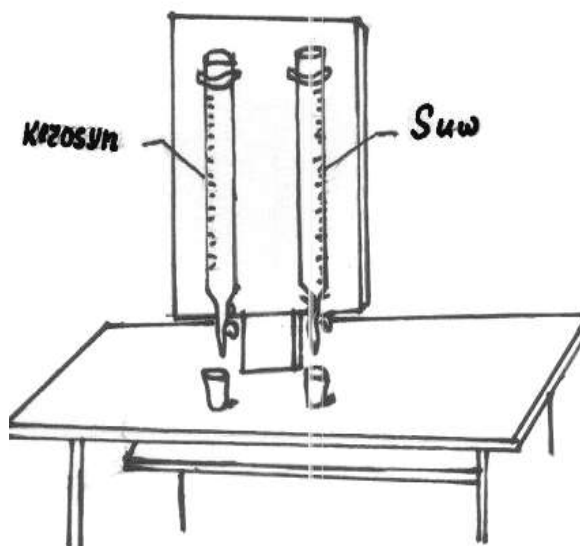
(6) we (7) deňlemelerden alarys.

$$\frac{P}{P_0} = \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}; \quad (8)$$

(8)-nji  $P/P_0$ -deňlemäni, (5)-nji aňlatma bölüp, üst dartýş koeffisiýentini kesgitläp bolar.

$$\alpha = \alpha_0 \frac{\rho n_0}{\rho_0 n}; \quad (9)$$





2-nji çyzgy

(9)-nji formuladan görnüşi ýaly damja usuly boýunça üst dartylyş koeffisiýenti kesgitlenilende barlanylýan we belli (etalon) suwuklyklaryň damjalarynyň sanyny, belli (etalon) suwuklygyň üst dartyş koeffisiýentini  $\alpha$ , şeýle-de barlanylýan we belli suwuklyklaryň dykzlygyny bilmek gerek.

### Işin ýerine ýetirlişi

Üst dartyş koeffisiýenti  $\alpha$ -ny kesgitlemek üçin ulanyljak enjamyň göwrümi görkezýän ştrihler çyzylan. Iki sany  $mm$ -lenen aýna turbajygy alynar. Olaryň birine üst dartyşy  $\alpha_0$  belli bolan suwuklyk doldurylan, (2-nji çyzgyda) beýlekisine bolsa, üst dartylyşy  $\alpha$  barlanyljak suwuklyk doldurylan.

Trupkalardaky suwuklyklaryň damjаланmasyny tertipli damar ýaly etmeli, ýagny damjalar gezek-gezeginde damar ýaly edip olaryň damjalarynyň sanyny  $n$  we  $n_0$  hasaplamaly. Tejribäni 3-4 sapar gaýtalap damjanyň sanlaryny  $n_{ort}$  we  $n_{0_{ort}}$  hasaplap olaryň ortaça bahasyny almaly, soňra barlanylýan suwuklygyň üst dartyş koeffisiýentini  $\alpha$  kesgitlemeli.

Barlanylýan suwuklyk bolup kerosyn alynýar, diýmek kerosiniň üst dartyş koeffisiýentini  $\alpha$ -ny kesgitlemeli. Hasaplama wagtyndaky goýberilýän ýalňyşlygy hasaplamaklyga degişli aňlatmany aşakdaky ýaly ýazýarys

$$\frac{\Delta \alpha_{ort}}{\alpha_{ort}} = \frac{\Delta n_{ort}}{n_{ort}} + \frac{\Delta n_{0_{ort}}}{n_{0_{ort}}};$$

(9) deňleme boýunça (tapylan) otnositel ýaňlyşlygy hasaplan soň onuň absolýut ýalňyşlygyny tapmak bolar.

$$\Delta\alpha_{ort} = \alpha_{ort} \left( \frac{\Delta n_{ort}}{n_{ort}} + \frac{\Delta n_{0ort}}{n_{0ort}} \right) \cdot 100 \ %;$$

Ölçenilýän ululygyň absolýut bahasyny jedwele ýazmaly.

Jedwel.

SUW					KEROSIN				
№	$\rho_o$ (kg/m <sup>3</sup> )	$n_o$	$n_{ort}$	$\alpha_o$ (N/m)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	$n$	$n_{or}$	$\Delta n_{or}$	$\alpha$
1.	998			$73 \cdot 10^{-3}$	780				
2.									
3.									

### Barlag üçin soraglar:

1. Üst dartyş diýilip näme aýdylýar? Molekulýar-kinetik teoriýanyň nukdaý nazarynda düşündirmeli.
2. Üst dartyş koeffisiýentini kesgitleýän deňlemäni ýazmaly.
3. Üst dartyş koeffisiýentiniň ölçeg birligi ulanyp ol nämä bagly.

### Astronomiki ululuklar

Ýeriň radiusy	-----	$6,378164 \cdot 10^6 m$
Ýeriň ortaça dykyzlygy	-----	$5,518 \cdot 10^3 kg/m^3$
Ýeriň massasy	-----	$6,975 \cdot 10^{24} kg$
Güniň radiysy	-----	$6,9599 \cdot 10^8 m$
Güniň massasy	-----	$1,989 \cdot 10^{30} kg$
Aýyň radiusy	-----	$1,737 \cdot 10^6 m$
Aýyň massasy	-----	$7,35 \cdot 10^{22} kg$
Aýa çenli ortaça aralyk	-----	$3,844 \cdot 10^6 m$

Güne çenli ortaça aralyk -----  $1,49598 \cdot 10^8 m$   
 Aýyň ýeriň daşyndan aýlanma periodi ----- 27gün 7sagat 43 min  
 Güniň ortaça dykyzlygy -----  $1,41 \cdot 10^3 kg/m^3$

### Birnäçe fiziki hemişelikleriň bahalary

Fiziki hemişelikler	Bellenilişi	San bahasy
Ýeriň radiusy	R	$6,37 \cdot 10^6 m$
Ýeriň massasy	M	$5,97 \cdot 10^{24} kg$
Erkin gaçmagyň normal tizlenmesi	G	$9,8 m/sek^2$
Grawitasion hemişelik	G	$6,67 \cdot 10^{-11} m^3/(kg \cdot sek^2)$
Awogadro hemişeligi	$N_A$	$6,02 \cdot 10^{23} mol$
Molaýar gaz henişeligi	R	$8,32 j/(mol \cdot K)$
Bosmanyň henişeligi	K	$1,38 \cdot 10^{-23} j/K$
Normal şertde mol gazyň göwrümi	$V_0$	$22,41 m^3/mol$
Loşmydyň hemişeligi	$N_L$	$2,68709 \cdot 10^{25} l/m^3$

### Birnäçe gaty jisimleriň maýyşgaklyk häsiýeti

Jisimler	Berklik çägi $NP\alpha$	Ýungyň moduly $GP\alpha$
Alýumin	110	69
Demir	294	196
Mis	245	118
Galaýy	20	15,7
Kümüş	290	74
Polat	785	276

**I . Birnäçe jisimleriň dykzlygy,  $103 \text{ kg/m}^3$**   
**( $P=1,01 \cdot 10^5 \text{ Pa}$ ;  $T=273\text{K}$ )**

**1. Gaty jisimler**

Alýumin .....	2,7	Mis.....	8,9
Agaç .....	0,8	Nikel.....	8,8
Demir .....	7,8	Gurşun.....	11,3
Kerpiç .....	1,8	Kümüş.....	10,5
Buz .....	0,9	Polat .....	7,8

**2 . Suwuklyklar**

Suw:		Ýag .....	0,9
deňiz.....	1,03	Simap.....	13,6
arassa .....	1	Spirt .....	0,8
Kerosin.....	0,8		

**3. Gazlar**

Wodorod .....	$0,089 \cdot 10^{-3}$	Geliý .....	$0,18 \cdot 10^{-3}$
Howa .....	$1,29 \cdot 10^{-3}$	Kislorod.....	$143 \cdot 10^{-3}$

**II. Öý temperaturasynda suwuklygyň üst dartyş koeffisiýenti,  $10^{-0} \text{ Pa N/m}$**

Analín .....	43	Sawunly ergin.....	4,0
Suw .....	7,4	Spirt .....	2,2
Kerosin.....	3,6	Simap .....	47,1

**III . Udel ýylylyk sygym,  $10^3 \text{ J/(kg. K)}$**

Azot .....	1,05	Latun .....	0,38
Alýumin .....	0,88	Mis .....	0,38
Suw .....	4,19	Buz .....	2,10
Wodorod.....	14,20	olowa.....	0,23
Howa .....	1,005	Gurşun.....	0,13
Demir .....	0,46	Spirt .....	2,42
Kislorod.....	0,92	Polat .....	0,46
		Uglokislo gazy...	0,83

#### IV . Gaty jisimleriň eremek temperaturasy, $K$

Alýumin .....	933	Mis.....	1356
Demir .....	1803	Galaýy.....	505
Latun .....	1173	Gurşun .....	600
Buz .....	273	Kümüş .....	1233

#### V . Gaty jisimleriň uzynlygyna giňelmeklik koeffisiýenti $10^{-5} K^{-1}$

Alýumin.....	2,40	Mis .....	1,70
Demir .....	1,20	Gurşun.....	2,90
Latun .....	1,90	Polat .....	1,10
		Aýna .....	0,90

#### VI . Suwuklyklaryň göwrümine giňelmeklik koeffisiýenti, $10^{-4} K^{-1}$

Suw .....	1,8	Simap .....	1,8
Kerosin.....	10,0	Kükürt kislotasy...	5,6
Neft .....	10,0	Spirt .....	11,0

#### Klasyky mehanikanyň fiziki esaslary.

Orta tizlik

$$\langle g \rangle = \frac{\Delta r}{\Delta t}$$

Pursatlanç tizlik

$$g = \frac{dr}{dt}$$

Orta tizlenme

$$\langle \alpha \rangle = \frac{\Delta g}{\Delta t}$$

Pursatlanç tizlenme

$$\alpha = \frac{\Delta g}{\Delta t}$$

Tangensial düzüjiniň tizlenmesi

$$\alpha_2 = \frac{\Delta g}{\Delta t}$$

Normal düzüjiniň tizlenmesi

$$\alpha_n = \frac{g^2}{R}$$

Doly tizlenme

$$\alpha = \alpha_\tau + \alpha_n; \quad \alpha = \sqrt{\alpha_\tau^2 + \alpha_n^2}$$

Deňüýtgeýän hereketiň deňlemesi.

$$\begin{cases} g - g_0 \pm \alpha t \\ S = g_0 t + \frac{\alpha t^2}{2} \end{cases}$$

Burçlaýyn tizlik

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}$$

Burçlaýyn tizlenme

$$\varepsilon = \frac{d\omega}{dt}$$

.....üýtgeýän aýlaw

$$\omega = \omega_0 \pm \alpha t$$

hereketiň deňlemesi

$$\varphi = \omega_0 t \pm \frac{\varepsilon t^2}{2}$$

Aýlaw hereketde, çyzyk tizligi

$$S = R\varphi; \quad g = R\omega$$

Bilen, burç ululyklarynyň baglanyşygy

$$\alpha_\tau = R\varepsilon; \quad \alpha_n = \omega^2 R$$

Hereketiň mukdary (impuls)

$$P = m g$$

Nýutonyň ikinji kanuny

$$F = m\alpha = \frac{dP}{dt}$$

Sürtülme we süýşme güýji

$$F_s = fN$$

Hereket mukdarynyň saklanma

$$P = \sum_{i=1}^n m_i g_i = \text{const}$$

Kanuny (ýapyk sistema üçin)

S ýolda ñýtgeýän güýjiň işi

$$A = \int_s F \cos \alpha ds$$

Pursatlanç kuwwat

$$N = \frac{dA}{dt}$$

Kinetik energiýa

$$T = \frac{m g^2}{2}$$

Ýeriň üstünden ýokary galdyrylan jisimiň potensial energiýasy

$$P = mgh$$

Maýyşgak jisimleriň potensial energiýasy

$$P = \frac{kx^2}{2}$$

**Gaty jisimleriň uzynlygyna giňelmeklik koeffisienti  $\alpha$ .**

Alýumin

$$22,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Latun

$$18,9 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Mis

$$16,7 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

Polat (demir)  
Ýöne aýna

$$11 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

$$8,5 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$$

## Molekulýar fizikanyň esaslary we termodinamika

Boýlyň – Mariottyň kanuny

$$T, m = \text{const.} \quad \text{bolanda} \quad PV = \text{const}$$

Geý – Lýussakyň kanuny

$$P, m = \text{const} \quad \text{boland}$$

$$V = V_0(1 + \alpha t)$$

$$P = P_0(1 + \alpha t)$$

Daltonyň kanuny

$$P = P_1 + P_2 + \dots + P_n$$

Islendik mol gaz üçin Klaypeýronyň -

$$PV = \frac{m}{M} RT = \nu RT$$

– Mendeleyewiň deňlemesi

Molekulýar kinetik - teoriýanyň esasy  
deňlemesi

$$PV = \frac{1}{3} N m_0 \langle g_{kw} \rangle^2 = \frac{2}{3} E$$

Molekulalaryň ortaça kwadrat tizligi

$$\langle g_{kw} \rangle = \sqrt{\frac{3kT}{m_0}} = \sqrt{\frac{3RT}{M}}$$

Molekulalaryň ortaça arifmetiki tizligi

$$\langle g \rangle = \sqrt{\frac{8kT}{\pi m_0}} = \sqrt{\frac{8RT}{\pi M}}$$

Molekulalaryň bolýjak ähtimallyk tizligi

$$g_{\dot{a}} = \sqrt{\frac{2kT}{m_0}} = \frac{\sqrt{2RT}}{M}$$

Barometrik formula

$$n = n_0 e^{-\frac{mgh}{RT}}$$

Molekulanyň erkin ýolynyň ortaça uzynlygy

$$\langle l \rangle = \frac{\langle g \rangle}{\langle z \rangle} = \frac{1}{\sqrt{2\pi d^2 n}}$$

Molekulalaryň 1 sekuntda ortaça urgy sany

$$\langle Z \rangle = \sqrt{2\pi d^2 n} \langle g \rangle$$

Furýeniň ýylylyk geçirijilik kanuny

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

Fukanyň diffuziýa kanuny

$$M = D \frac{d\rho}{dx} St$$

Içki sürtülme (şepbeşiklik) üçin Nýutonyň kanuny

$$F = \eta \frac{d\vartheta}{dx} S$$

Molekulalaryň ortaça kinetik energiýasy

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{2} kT$$

Erkin alnan massaly gazyň içki energiýasy

$$U = \nu \frac{i}{2} RT = \frac{m}{M} \frac{i}{2} RT$$

Termodinamikanyň brinji başlangyjy

$$dQ = dU + dA$$

Hemişelik göwrümde gazyň molýar ýylylyk sygymy

$$C_v = \frac{i}{2} R$$

Hemişelik basyşda gazyň molýar ýylylyk sygymy

$$C_p = \frac{i+2}{2} R$$

Gazyň göwrümi giňelende edýän işi

$$dA = PdV$$

Gaz izobara giňelende edýän işi

$$A = P(V_2 - V_1) = \frac{m}{M} R(T_2 - T_1)$$

Gaz izohora giňelende edýän işi

$$A = Q = \frac{m}{M} RT \ln \frac{V_2}{V_1} = \frac{m}{M} RT \ln \frac{P_1}{P_2}$$

Adibatiki prosesin deňlemesi (Puassonyň deňlemesi)

$$PV^{\gamma} = \text{const}, TV^{\gamma-1} = \text{const};$$

$$TP^{1-\gamma} = \text{const}$$

Gaz adiabatiki giňelende edýän işi

$$A = \frac{m}{M} C_v (T_1 - T_2) = \frac{P_1 V_1}{\gamma - 1} \left[ 1 - \left( \frac{V_1}{V_2} \right)^{\gamma-1} \right]$$



Aýlowly prosesde üçin termiki peýdaly täsir koeffisiýenti

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

Karnoň öwrüminde termiki p. t. k

$$\eta = \frac{T_1 - T_2}{T_1}$$

Mol real gaz üçin Wan – der – Waalsyň deňlemesi

$$P \left( \frac{q}{V_\mu^2} \right) (V - b) = RT$$

### **Mehanikanyň mazmuny.**

№ 1-nji tejribe işi: Atwudyň maşynynyň kömegi bilen kinimatikanyň kanunlaryny we Nýutonyň ikinji kanunynyň ýerine ýetirlişini barlamak.

№ 2 -nji tejribe işi: Maýyşgak we maýyşgak däl urgyda impulsyň saklanma kanunynyň ýerine ýetişini barlamak.

№ 3 -nji tejribe işi: Egilme defermasiýasynda Ýungyň modulyny kesgitlemek.

№ 4 -nji tejribe işi: Towlanma hereket edýän jisimiň inersiýa momentini kesgitlemek.

№ 5 -nji tejribe işi: Yrgyldama usuly boýunça tigiriň inersiýa momentini kesgitlemek.

№ 6 -nji tejribe işi: Makswelliň maýatniginiň kömegi bilen inersiýa momentini kesgitlemek.

№ 7 -nji tejribe işi: Haç görnüşli maýatnigiň kömegi bilen aýlanma hereket dinamikanyň esasy kanunyny barlamak.

№ 9 -nji tejribe işi: uniwersial maýatnigiň kömegi bilen erkin gaçmanyň tizlenmesini kesgitlemek.

№ 11 -nji tejribe işi: Yrgyldy sürtülme koeffisiýentini kesgitlemek.

## **Molekulýar fizika.**

№ 21-nji tejribe işi: Durujy tolkunynyň kömegi bilen sesiň howadaky tizligini kesgitlemek

№ 22 –nji tejribe işi : Kleman –Dzormanyň usuly boýunça gazyň udel ýylylyk sygymalarynyň gatnaşygyny kesgitlemek.

№ 23-nji tejribe işi: Kapilýarly şepbeşiklik ölçejide suwuklygyň sürtülme koeffisiýentini kesgitlemek.

№ 24 –nji tejribe işi : stoksyň usuly bilen suwuklygyň şepbeşikligini kesgitlemek.

№ 25 -nji tejribe işi: Howanyň molekulalarynyň erkin ylgowynyň uzynlygyny we effektiw diametrini kesgitlemek.

26-njy tejribe işi: Gaty jisimleriň uzynlygyna giňeltmek koeffisiýentini kesgitlemek.

27- tejribe işi: Halkanyň sowrulmak usuly bilen suwuklygyň üst dartyş koeffisiýentini kesgitlemek

№ 28 -nji tejribe işi: Damja usuly bilen üst dartyş koeffisiýentini kesgitlemek.

### **Peýdalanmaly edebiýatlar:**

1. Детлаф А.А. Яворский Б.М. „Курс физики“ 1989й. (rus dilinde).
2. Трофимова Т.И „Курс физики“ 1985й. (rus dilinde).
3. Савелев И.Б. „Курс общей физики“ I-том 1982й. (rus dilinde).
4. G. Kelow., Ýa. Kadyrow., A. Hojamgulyýew. „Fizika kursy“ (mehanika we molekulýar fizika) 2003 ý.