

## Talabalar o'zlashtirishini baholash

*Talabaning kurs davomida oladigan baho taqsimoti:*

**Laboratoriya mashg'ulot topshiriqlari 4 ta jami 12% (har biri uchun 3%)**

*Laboratoriya topshirig'ini baholash - 3%*

*Laboratoriya ishi tavsifi yozilganligi – 0,5%*

*Ishga ruxsat olish – 0,5%*

*Ishni bajarilganligi va hisoblash*

*(o'qituvchi imzosining tasdig'i bilan) - 1%*

*Laboratoriya ishi bo'yicha nazorat savollariga javob berish - 1%*

### 1.1-laboratoriya ishi

## ATVUD MASHINASIDA KINEMATIKA VA DINAMIKA QONUNLARINI O'RGANISH

**Kerakli asbob va jihozlar:** Atvud mashinasi, qo'shimcha yukchalar, sekundomer.

### Ishning maqsadi

Talaba ishni bajarish mobaynida «tezlik», «tezlanish», «massa», «kuch», «impuls» kabi fizik kattaliklarning ma'nosini, Nyutonning uchta qonunining mazmunini bilishi hamda bog'langan yuklar tizimi harakatini ifodalovchi oddiy o'lchashlarni bajarib, ushbu harakatlarni tavsiflashda kinematika va dinamika qonunlarini tadbiq eta olishi kerak.

### Asosiy nazariy ma'lumotlar

Jismlarning yoki jism qismlarining bir-biriga nisbatan ko'chishiga **mexanik harakat** deyiladi. Jismlarning mexanik harakatini o'rganishda mutlaq (absolyut) qattiq jism va moddiy nuqta tushunchalaridan keng foydalaniladi. Ixtiyoriy ikki nuqtasi orasidagi masofa doimo o'zgarishsiz qoladigan jism **mutlaq qattiq jism** deyiladi. **Moddiy nuqta** deb esa o'lchamlari va shakli qaralayotgan masofaga nisbatan hisobga olinmasa ham bo'ladigan jismga aytiladi.

Jism **ilgarilama harakat** qilganda uning ikkita nuqtasini birlashtiruvchi to'g'ri chiziq o'z-o'ziga parallelligicha qoladi. Moddiy nuqtaning mexanik harakati davomida bosib o'tgan nuqtalarining geometrik o'rni **harakat trayektoriyasi** deyiladi. Harakat trayektoriyasi-ning uzunligi **bosib o'tilgan yo'lni** beradi. Moddiy nuqtaning

boshlang'ich va oxirgi vaziyatlarini tutashtiruvchi, yo'nalishga ega bo'lgan to'g'ri chiziq kesmasiga **moddiy nuqtaning ko'chishi** deyiladi. Ko'chish vektor kattalik, yo'l esa skalyar kattalikdir.

Jismlarning tezligi vaqt davomida o'zgarib tursa, bunday harakat **o'zgaruvchan harakat** deyiladi. Bunda tezlanish

$$a = \frac{g - g_0}{t}$$

ifoda orqali aniqlanadi.  $a$  tezlanish bilan harakatlanayotgan jismning  $t$  vaqtdan keyingi tezligi va bosib o'tgan yo'li tekis tezlanuvchan harakatda

$$g = g_0 + at, \quad S = g_0 t + \frac{at^2}{2}$$

tekis sekinlanuvchan harakatda esa

$$g = g_0 - at, \quad S = g_0 t - \frac{at^2}{2}$$

ifodalar orqali topiladi.

Tekis tezlanuvchan harakatda tezlik vektorining yo'nalishi bilan tezlanish vektorining yo'nalishi bir xil, sekinlanuvchan harakatda esa qarama-qarshi bo'ladi.

To'g'ri chiziqli tekis tezlanuvchan harakatda koordinataning vaqt bo'yicha o'zgarishini ifodalovchi tenglamaga **harakat tenglamasi** deyiladi:

$$x = x_0 + g_0 t + \frac{at^2}{2}$$

Jism tezligining qiymati va yo'nalishi bu jismga boshqa jismlarning ko'rsatadigan ta'siri natijasida o'zgaradi. Jism tezligining o'zgarishiga, ya'ni tezlanish olishiga yoki uning deformatsiyalanishiga sababchi bo'lgan ta'sirni tavsiflovchi kattalikka **kuch** deyiladi. Jismning olgan tezlanishi unga ta'sir etuvchi kuchga to'g'ri, jismning massasiga esa teskari proporsionaldir. Bu xulosa **Nyutonning ikkinchi qonunini** ifodalaydi:

$$\vec{F} = m \cdot \vec{a}; \quad \vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}$$

Nyutonning ikkinchi qonuni faqat inersial sanoq sistemalari uchun o'rinalidir. Ushbu qonunni jismning impulsi ( $\vec{P} = m \vec{g}$ ) orqali quyidagicha yozish mumkin:

$$\frac{d}{dt}(m \vec{g}) = \vec{F} \quad \text{yoki} \quad \frac{d\vec{P}}{dt} = \vec{F}$$

Bu Nyutonning ikkinchi qonunining umumiyyoq ko‘rinishdagi ifodasi bo‘lib, quyidagicha ta’riflanadi: moddiy nuqta impulsining o‘zgarish tezligi unga ta’sir etayotgan kuchga teng.

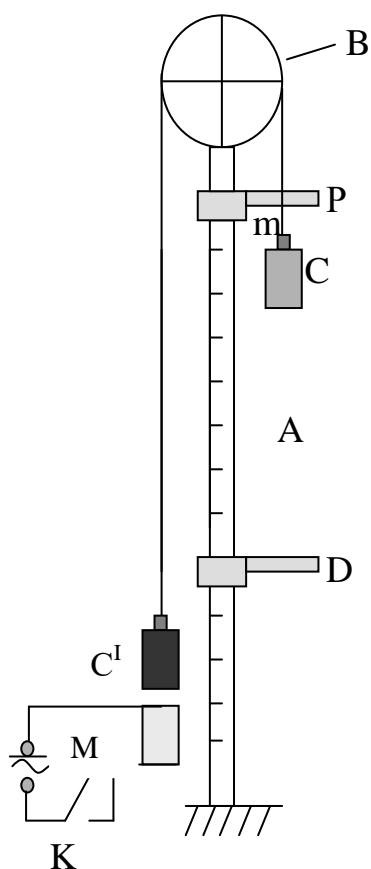
Agar jismga bir nechta kuch ta’sir qilayotgan bo‘lsa, unda Nyutonning ikkinchi qonunining matematik ifodasini quyidagi ko‘rinishda yozish mumkin:

$$m\vec{a} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + \dots + \vec{F}_n = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i = \vec{F}$$

$\vec{F}$  - jismga ta’sir etayotgan hamma kuchlarning natijalovchisidir. U jismga qo‘yilgan barcha kuchlarning vektor yig‘indisiga teng.

### Qurilmaning tavsifi va o‘lchash usuli

Qurilma - Atvud mashinasi (1-rasm) vertikal holatda o‘rnatilgan **A** sterjendan iborat bo‘lib, bu sterjenda santimetrlarga bo‘lingan shkala mavjud. Sterjenning yuqori qismiga kam ishqalanish bilan aylana oladigan yengil **B** blok mahkamlangan. Blok orqali uchlariga bir xil massali **C** va **C<sup>I</sup>** yuk osilgan ingichka ip o‘tkazib qo‘yilgan. **C<sup>I</sup>** yukni **M** elektromagnit ushlab tura oladi. **C** yuk bemaol o‘tishi uchun halqasimon **P** platforma va



1-rasm.

pastki **D** platforma **A** sterjenga o‘rnatiladi. Ishni bajarishda bir-biridan farq qiluvchi  $m_1$  va  $m_2$  massali yukchalar va sekundomer kerak bo‘ladi.

Agar **C** yuk ustiga og‘ir yukchani, **C<sup>I</sup>** yuk ustiga yengil yukchani qo‘yib, elektromagnit bilan ushlab turib, keyin qo‘yib yuborilsa, ta’sir etuvchi kuchlar o‘zgarmas bo‘lgani uchun, sistema tekis tezlanuvchan harakat qiladi. Tekis harakatni kuzatish uchun yukchalarni faqat **C** yuk ustiga qo‘yish kerak. Shunda yukchalarni halqasimon **P** platforma ushlab qolib, **D** platformaga urilguncha sistema tekis harakat qiladi. Agar yengil yukcha **C<sup>I</sup>** yuk ustiga qo‘yilsa, **C** yuk ustidagi yukchani halqasimon **P** platforma ushlab qoladi va harakat tekis sekinlanuvchan bo‘ladi.

Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan moddiy nuqtaning tezlanishi barcha ta’sir

etuvchi kuchlarning vektor yig'indisiga to'g'ri proporsional, massaga esa teskari proporsionaldir.

Yukchalar ilgariylanma harakat qilgani uchun ularni moddiy nuqta deb hisoblash mumkin. Agar **B** blok vaznsiz holatda deb faraz qilinsa, ipning tarangligi o'ng va chap tomonda bir xil bo'ladi.

### Ishni bajarish tartibi

#### 1-vazifa. Jism tinch holatdan boshlab tekis tezlanuvchan harakat qilgandagi yo'l qonunini tekshirish

1. C yukning ustiga  $m_1$  massali yukcha qo'yilib **M** elektromagnit zanjiri tok manbaiga ulanadi va **C** yukni pastga tushirib **M** magnitga tortiladi. **D** platforma **C** yukning pastki qismidan biron masofada joylashtiriladi. Halqasimon platformani yukdan balandroqda o'rnatiladi.

2. Elektromagnit toki o'chirilib, shu ondayoq sekundomer ishga tushiriladi. **C** yuk **D** platformaga urilganda sekundomer to'xtatiladi. Tajriba 5 marta bajariladi. O'lchash natijalari 1-jadvalga yozilib, o'rtacha vaqt hisoblanadi.

3. **D** platforma 10-20 sm ga suriladi va platformadan **C** yukning pastki qismigacha bo'lgan masofa o'lchanadi. Yuqoridagi tajriba o'sha yukchalar bilan 5 marta bajariladi va o'rtacha vaqt hisoblanadi.

Tajriba uch xil  $S_1, S_2, S_3$  masofalar uchun bajariladi.

1-jadval

№	$S_1 = m$			$S_2 = m$			$S_3 = m$			$\bar{a} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 a_i$ $m/s^2$	$\varepsilon$
	$t_{1i}, s$	$\langle t_1 \rangle, s$	$a_1, m/s^2$	$t_{2i}, s$	$\langle t_2 \rangle, s$	$a_2, m/s^2$	$t_{3i}, s$	$\langle t_3 \rangle, s$	$a_3, m/s^2$		
1.											
2.											
3.											
4.											
5.											

4. Tajriba bir xil yukchalar bilan o'tkazilganda tizimning tezlanishi ham (deyarli) bir xil bo'ladi

$$a = \frac{2S_1}{\langle t_1 \rangle^2} = \frac{2S_2}{\langle t_2 \rangle^2} = \frac{2S_3}{\langle t_3 \rangle^2};$$

5. Tekis tezlanuvchan harakatda yo'l qonunini tekshirish aniqligini baholash uchun, har xil o'tilgan yo'llarda tezlanishni topishdagi nisbiy xatolikni hisoblash kerak

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta a \rangle}{\langle a \rangle} \cdot 100\%,$$

bu yerda

$$\langle \Delta a \rangle = \frac{1}{3} \left\{ |\langle a \rangle - a_1| + |\langle a \rangle - a_2| + |\langle a \rangle - a_3| \right\}$$

**Hisob-kitob uchun joy**

$$a = \frac{2S_1}{\langle t_1 \rangle^2} = \frac{2S_2}{\langle t_2 \rangle^2} = \frac{2S_3}{\langle t_3 \rangle^2};$$

**Bu formuladan alohida  $a_1, a_2$  va  $a_3$  lar topiladi.**

$$\langle \Delta a \rangle = \frac{1}{3} \left\{ |\langle a \rangle - a_1| + |\langle a \rangle - a_2| + |\langle a \rangle - a_3| \right\}$$

$$\varepsilon = \frac{\langle \Delta a \rangle}{\langle a \rangle} \cdot 100\%$$

### 3-vazifa. Nyutonning 2-qonunini tekshirish

Atvud mashinasida qo‘shimcha yukchani **C** yukdan **C<sup>I</sup>** yukka olib qo‘yib, tizimning massasini o‘zgartirmay harakatlanuvchi kuchni o‘zgartirish mumkin. Dinamikaning asosiy qonunini tekshirishda ikkita qo‘shimcha yukcha kerak bo‘ladi.

1. **C** yukning pastki asosidan **S<sub>1</sub>** masofada yaxlit platforma o‘rnatiladi.

2. O‘ngdagi **C** yuk ustiga ikkita **m<sub>1</sub>** va **m<sub>2</sub>** yukchalar qo‘yiladi va elektromagnitni tok manbaiga ulab, tizimni boshlang‘ich holatda ushlab turiladi.

3. Elektromagnit tokdan uziladi va bir vaqtning o‘zida sekundomer ishga tushiriladi. **D** platformaga **C** yuk urilganda sekundomer to‘xtatiladi. **t** vaqt 5 marta o‘lchanadi.

$$\text{Bu hol uchun,} \quad S = \frac{at^2}{2}$$

(1)

$$\text{va} \quad m_t a_1 = (m_1 + m_2)g = F_1;$$

(2)

bu yerda

$$m_t = 2m + m_1 + m_2.$$

O‘lchangan vaqt (**t<sub>i</sub>**) ning qiymatlari, vaqtning o‘rtacha qiymatining kvadrati  $\langle t_i \rangle^2$  va **S<sub>1</sub>** masofa 3-jadvalga yoziladi.

4.  $S_1'$  va  $S_1''$  qiymatlar uchun 1,2,3 - qismlar qaytariladi va 3-jadvalga yoziladi.

5. Chapdagi  $C^I$  yuk ustiga yengil yukcha ( $m_1 < m_2$ ) va o'ngdagi  $C$  yuk ustiga esa og'ir yukcha qo'yilgan hol uchun tajriba qaytariladi. Bu hol uchun

$$S_2 = \frac{a_2 t_2^2}{2}, \quad (3)$$

$$m_1 a_2 = F_1 = (m_1 - m_2)g. \quad (4)$$

Olingan natijalar 3-jadvalning o'ng tomoniga yoziladi va o'rtacha vaqt  $\langle t_2 \rangle$  aniqlanadi hamda  $\langle t_2 \rangle^2$  hisoblanadi.

6. (1) va (3) dan

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} \quad (5)$$

(2) va (4) dan esa

$$\frac{a_1}{a_2} = \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} \quad (6)$$

hosil qilinadi.

Agar tajribada o'lchangan kattaliklar (5) va (6) formulalarning o'ng tomonlari tengligini isbotlasa, u holda formulaning chap tomonlari ham tengligi isbotlanadi. Demak, tajriba asosida aniqlangan tezlanishlar nisbati (5) Nyutonning ikkinchi qonuniga asosan hisoblangan (2,4) tezlanishlar nisbatiga teng ekanligi tekshiriladi.

Shuning uchun, tajriba natijalari bo'yicha  $\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$  nisbat topiladi.

Bu amal 3-6 ta turli kombinatsiyalarda bajariladi. Ularning barchasi taxminan o'zaro teng bo'lishi hamda  $\frac{F_1}{F_2}$  nisbatga yaqin bo'lishi kerak.

$S_1''$  va  $S_2''$  uchun ham shu tartibda bajariladi.

Quyidagi nisbat aniqlanadi:

$$\varepsilon = \frac{\left( \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} - \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} \right)}{\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}} \quad (7)$$

va ularning o'rtacha qiymati topiladi:

$$\langle \varepsilon \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i \cdot 100\% .$$

Hisoblashlarni soddalashtirish uchun tajribani  $S_1 = S_2$ ,  $S'_1 = S'_2$ ,  $S''_1 = S''_2$  qiymatlarda o'tkazish mumkin, ya'ni bunda 3 - qismdan keyin 5 - qism bajariladi va h.k. Masofalar albatta har xil bo'lishi mumkin, unda (5) va (7) formulalar qisqarmaydi.

3-jadval

$m_1 = \quad \text{kg}, \quad m_2 = \quad \text{kg}$									
№	$F_1 = (m_1 + m_2)g$			$F_2 = (m_1 - m_2)g$			$\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2}$	$\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$	$\varepsilon$
	$S_1$	$t_1$	$< t_1 >^2$	$S_2$	$t_2$	$< t_2 >^2$			
1.									
2.									
3.									
4.									
5.									

### Hisob-kitob uchun joy

$$\frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} =$$

$$\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}$$

$$\varepsilon = \frac{\left( \frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2} - \frac{S_1 < t_2 >^2}{S_2 < t_1 >^2} \right)}{\frac{m_1 + m_2}{m_1 - m_2}}$$

## NAZORAT SAVOLLARI

1. Qattiq jismning ilgarilanma harakati deb qanday harakatga aytiladi? Moddiy nuqta nima? Qachon qattiq jismning ilgarilanma harakatini moddiy nuqtaning harakati deb qarash mumkin?
2. Trayektoriya, ko'chish, tezlik va tezlanish nima?
3. Kuch, kuch impulsi, kuch momenti nima? Teng ta'sir etuvchi kuch nima? Nyutonning 3 ta qonunini ta'riflang.
4. Massa deb nimaga aytiladi? Moddiy nuqtaning impulsi qanday kattalik? Dinamikaning asosiy qonuni qanday tushuntiriladi?
5. Inersial sanoq tizimini tushuntiring.
6. Atvud mashinasining tuzilishini so'zlab bering. Unda yukning tekis, tekis tezlanuvchan va tekis sekinlanuvchan harakati qanday kuzatiladi.
7. Atvud mashinasida tekis tezlanuvchan harakatning yo'l qonuni qanday tekshiriladi?
8. Atvud mashinasida tekis tezlanuvchan harakatning tezlik qonuni qanday tekshiriladi?
9. Nyutonning ikkinchi qonunini Atvud mashinasi yordamida qanday tekshirish mumkin?



## 1.2 - laboratoriya ishi

### JISMLARNING INERSIYA MOMENTLARINI DINAMIK USUL BILAN ANIQLASH

**Kerakli asbob va jihozlar:** Blokli va elektromagnitli asosga mahkamlangan aylanuvchi gorizontol stolchadan iborat qurilma, stolcha ustiga oʻrnatish uchun massa markazi orqali teshilgan  $m_0$  massali ikkita silindr, shtangensirkul, masshtabli chizgʻich, elektrosekundomer.

#### Ishning maqsadi

Talaba ishni bajarish mobaynida aylanma harakat uchun kinematika va dinamika qonunlarini, bu qonunlardagi kattaliklarning maʼnosini bilishi hamda mexanik tizimlar uchun energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib, jismlarning inersiya momentlarini tajriba orqali aniqlay olishi kerak. Bu ishda energiyaning saqlanish qonunidan foydalanib, dinamik usul bilan silindrning inersiya momenti aniqlanadi.

#### Asosiy nazariy maʼlumotlar

Jismlarning *aylanma harakati* deb shunday harakatga aytiladiki, bunda jismning barcha nuqtalari markazlari bir toʻgʻri chiziqda yotadigan aylanalar chizadi, bu toʻgʻri chiziq *aylanish oʻqi* deyiladi.

Aylanma harakatni tavsiflash uchun quyidagi tushunchalar kiritiladi:

1. Aylanish davri  $T$  - bir marta toʻla aylanish uchun ketgan vaqt.
2. Aylanish chastotasi  $\nu$  - vaqt birligidagi aylanishlar soni

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

3. Radius vektorning burilish burchagi

$$d\varphi = \frac{ds_{yoy}}{r}.$$

4. Burchak tezlik

$$\omega = \frac{d\varphi}{dt}. \quad (2)$$

Burchak tezlanish

$$\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (3)$$

Aylanma harakat uchun kiritilgan bu kattaliklarning qulayligi shundaki, ular jismning barcha nuqtalari uchun bir xildir.

Aylanma va chiziqli harakatni tavsiflovchi kattaliklar orasida quyidagi bog‘lanish mavjud.

Chiziqli siljish

$$dS = r d\varphi, \quad (4)$$

bu yerda  $r$  - aylanish radiusi.

Chiziqli tezlik

$$g = \omega \cdot r. \quad (5)$$

Tangensial tezlanish

$$a_t = \beta \cdot r. \quad (6)$$

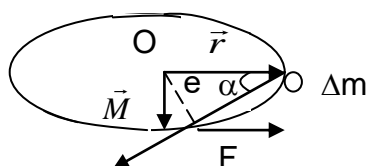
Normal tezlanish

$$a_n = \omega^2 r. \quad (7)$$

Burchak tezlikning o‘zgarishi kuch momentining ta’siriga bog‘liq. **Kuch momenti** son jihatdan kuchning yelkaga ko‘paytmasiga teng:

$$|\vec{M}| = F \cdot l.$$

**Kuch yelkasi** deb (O) aylanish markazidan  $\vec{F}$  kuch ta’sir qilayotgan chiziqqa bo‘lgan eng qisqa masofaga aytiladi (1-rasm). Kuch yelkasi ( $l$ ) ni radius-vektor ( $\vec{r}$ ) orqali ifodalasak:



1 – rasm.

$$l = r \cdot \sin \alpha$$

bundan:

$$|\vec{M}| = F \cdot r \cdot \sin \alpha.$$

Vektor ko‘rinishda yozsak

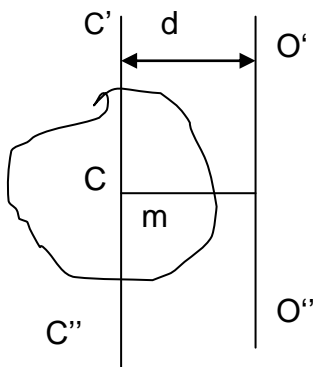
$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}] \quad (8)$$

Kuch momenti vektori ( $\vec{M}$ )ning yo‘nalishi ( $\vec{r}$ ) va ( $\vec{F}$ ) ning yo‘nalishlari bilan o‘ng parma qoidasi asosida bog‘langan.  $\Delta m$  massali moddiy nuqta uchun Nyutonning ikkinchi qonuni tenglamasini yozib, chiziqli va aylanma harakat kattaliklari orasidagi bog‘lanishdan foydalansak, quyidagi ifodani olamiz:

$$M = \Delta m r^2 \beta = I \beta. \quad (9)$$

Bu yerda  $I = \Delta m r^2$  skalyar kattalik bo‘lib, moddiy nuqtaning aylanish o‘qiga nisbatan **inersiya momenti** deyiladi.

Jismning barcha nuqtalarining aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momentlari yig‘indisi



2 – rasm.

$$I = \sum I_i = \sum \Delta m_i r_i^2 \quad (10)$$

qattiq jismning inersiya momenti deyiladi.

(9) formulani vektor ko‘rinishida quyidagicha yozish mumkin

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\beta}. \quad (11)$$

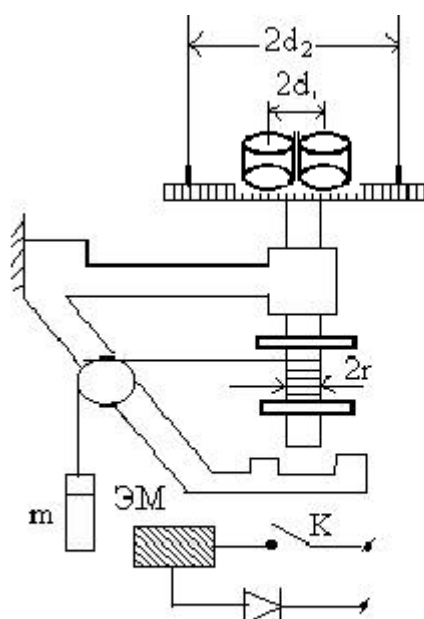
Jismga qo‘yilgan barcha kuchlarning aylanish o‘qiga nisbatan natijalovchi kuch momenti jismning shu o‘qqa nisbatan inersiya momentini burchak tezlanishga ko‘paytmasiga teng. Bu aylanma harakat uchun ***dinamikaning asosiy qonuni (Nyutonning ikkinchi qonuni)*** ta’rifi hisoblanadi. Bundan inersiya momenti jismning inertlik o‘lchovi ekanligi kelib chiqadi, ya’ni aylanma harakatda massa rolini o‘ynaydi. Inersiya momenti jism massasining aylanish o‘qiga nisbatan qanday taqsimlanganligiga bog‘liq. O‘qdan uzoqda joylashgan nuqtalarning  $I = \sum \Delta m_i r_i^2$  yig‘indiga qo‘shgan hissasi o‘qqa yaqin joylashgan nuqtalarga nisbatan kattaroq bo‘ladi. Jism inersiya momentining qiymati jismning shakliga, o‘lchamlariga, massasiga va aylanish o‘qiga nisbatan qanday joylashganligiga bog‘liq.

Og‘irlik markazidan o‘tmagan o‘qqa nisbatan jismning inersiya momenti (2-rasm) ***Shteyner teoremasi*** orqali aniqlanadi: jismning og‘irlik markazidan o‘tmagan istalgan aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti shu o‘qqa parallel bo‘lgan, og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti va jism massasi bilan og‘irlik markazidan aylanish o‘qigacha bo‘lgan masofa (o‘qlar orasidagi masofa) kvadratining ko‘paytmasi yig‘indisiga teng:

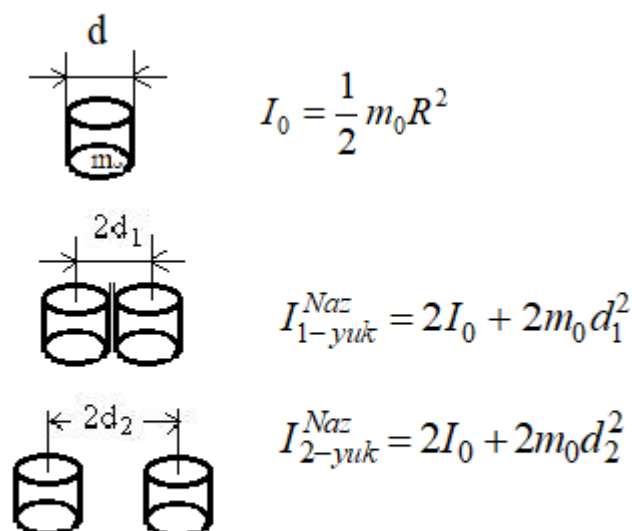
$$I_{O'O''} = I_{C'C''} + md^2. \quad (12)$$

### **Qurilmaning tavsifi va o‘lchash usuli**

Bu ishda ikkita bir xil silindr shaklidagi qattiq jismlarning inersiya momentlarini aniqlash uchun vertikal o‘q atrofida erkin aylana oladigan gorizontol aylana stolchadan foydalaniladi (3-rasm).



3 – rasm.



4 – rasm.

Stolchaga shkif mahkamlangan bo‘lib, unga ip o‘ralgan va bu ip kronshteynga mahkamlangan blok orqali o‘tkazilib, uchiga yuk osilgan. Dastlab yuk eng yuqori holatda elektromagnit yordamida tutib turiladi. Elektromagnit o‘chirilganda yuk ipni tortib pastga tusha boshlaydi va stolchani unda joylashgan silindr shaklidagi jismlar bilan birga aylantiradi.

Energiyaning saqlanish qonuniga asosan, dastlabki holatda yuqoriga ko‘tarilgan yukning potensial energiyasiga teng bo‘lgan tizimning to‘liq mexanik energiyasi yukning ilgarilanma harakati kinetik energiyasiga, stolchani aylantirish kinetik energiyasiga va ishqalanish kuchlariga qarshi ish bajarishga sarflanadi.

Podshipniklardagi ishqalanish kuchlariga qarshi bajariladigan ishga sarflanuvchi mexanik energiyani hisoblash qiyin bo‘lganligi uchun tajriba har xil  $m_1$  va  $m_2$  yuklarda olib boriladi. Bu esa ishqalanishga qarshi bajarilgan ishlarni hisobga olmaslikka imkon beradi, chunki bu ishlarning qiymati o‘zgarmaydi:

$$m_1 gh = \frac{m_1 \vartheta_1^2}{2} + \frac{I \omega_1^2}{2} + A_{ishq}, \quad m_2 gh = \frac{m_2 \vartheta_2^2}{2} + \frac{I \omega_2^2}{2} + A_{ishq} \quad (13)$$

Bu yerda  $I$  - aylanayotgan tizim inersiya momenti,  $\vartheta_1, \vartheta_2$  - yuklarning chiziqli tezligi,  $\omega_1, \omega_2$  - yuklar pastga tushib platformaga urilgan paytda stolchani aylantirish burchak tezliklari.

Yuk tinch holatdan (boshlang‘ich tezlik nolga teng) tekis tezlanuvchan ilgarilanma harakat qilgan hol uchun kinematika formulalaridan foydalansak:

$$g = at, \quad h = \frac{at^2}{2} = \frac{g \cdot t}{2}, \quad g = \frac{2h}{t}.$$

Chiziqli va burchak tezliklarni ( $\omega = \frac{g}{t}$ ) bevosita o'lchash imkoniyati bo'lgan  $h$  va  $t$  orqali ifodalash mumkin:

$$g_1 = \frac{2h}{t_1}, \quad g_2 = \frac{2h}{t_2}, \quad \omega_1 = \frac{2h}{t_1 r}, \quad \omega_2 = \frac{2h}{t_2 r},$$

bu yerda  $r$  - shkif radiusi.

Bu almashtirishlarni hisobga olgan holda (13) ni quyidagicha yozish mumkin:

$$m_1 gh = \frac{m_1 \cdot 2h^2}{t_1^2} + \frac{I \cdot 2h^2}{t_1^2 r^2} + A_{ishq} \quad (14)$$

$$m_2 gh = \frac{m_2 \cdot 2h^2}{t_2^2} + \frac{I \cdot 2h^2}{t_2^2 r^2} + A_{ishq} \quad (15)$$

(15) dan (14) ni ayirsak

$$(m_2 - m_1)g = I \frac{2h}{r^2} \left( \frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right) + 2h \left( \frac{m_2}{t_2^2} - \frac{m_1}{t_1^2} \right) \quad (16)$$

(16) dan inersiya momenti uchun quyidagi ifoda kelib chiqadi:

$$I = \frac{(m_2 - m_1)gr^2 t_1^2 t_2^2}{2h(t_1^2 - t_2^2)} - \frac{r^2(m_2 t_1^2 - m_1 t_2^2)}{t_1^2 - t_2^2} \quad (17)$$

bu yerda  $I$  - aylanayotgan stolchaning va stol ustidagi barcha jismlarning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentlari.

Ikkita bir xil silindr shaklidagi jismlarning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentlarini aniqlash uchun ustiga silindrlar qo'yilgan stolchani aylantirib tajriba o'tkazish kerak (4-rasm). Silindrlar stolchaga ikki xil holatda mahkamlanadi va har bir holat uchun (17) formula bo'yicha aylanayotgan tizimning  $I_1$  va  $I_2$  inersiya momentlari hisoblanadi. Bo'sh stolchani aylantirib tajriba o'tkaziladi va (17) formula bo'yicha stolchaning  $I_s$  inersiya momenti topilib, butun tizimning inersiya momentidan ayriladi

$$I_{1-yuk} = I_1 - I_s, \quad (18)$$

$$I_{2-yuk} = I_2 - I_s, \quad (19)$$

bu yerda  $I_{1-yuk}$  va  $I_{2-yuk}$  - silindrlarni stolcha markaziga yaqin va uzoq joylashtirilgan holatlardagi inersiya momentlari.

## Ishni bajarish tartibi

1. Shtangensirkul yordamida shkifning diametri o'lchanadi va radiusi hisoblanib, 1-jadvalga yoziladi.
2.  $m_1$  yukning massasi o'lchanadi yoki qurilmadagi jadvaldan aniqlanadi.  $m_1$  yukning ustiga qo'yiladigan qo'shimcha yukcha massasi  $\Delta m$  o'lchanadi va  $m_2 = m_1 + \Delta m$  topiladi.
3. Yukni elektromagnit tutib turadigan holatgacha ko'tariladi va elektromagnit ulanadi.
4. Elektromagnit tutib turgan yukning pastki qismidan yuk kelib uriladigan platformagacha bo'lgan  $h$  balandlik o'lchanadi.
5. Elektromagnit o'chiriladi va shu ondayoq sekundomer ishga tushiriladi. Stolcha bo'sh bo'lgan holatda  $m_1$  yukning  $t_1$  tushish vaqti o'lchanadi. Tajriba 3 marta bajariladi.  $\langle t_1 \rangle$  o'rtacha vaqt topiladi. Natijalar 1-jadvalga yoziladi.
6. Pastga tushadigan yukka qo'shimcha yukcha qo'yiladi. 5-qismdagi o'lchashlar takrorlanadi. Yukning qo'shimcha yukcha bilan birgalikda ushish uchun ketgan o'rtacha vaqti  $\langle t_2 \rangle$  topiladi. Natijalar 1-jadvalga yoziladi.
7. Silindrlarni stolchaning markaziga yaqin holatda o'rnatiladi, 5- va 6- qismlardagi o'lchashlar takrorlanib,  $m_1$ ,  $m_2$  yuklarning o'rtacha tushish vaqti  $\langle t_1' \rangle$ ,  $\langle t_2' \rangle$  aniqlanadi va natijalar 1-jadvalga yoziladi.
8. Silindrni stolcha chetiga yaqin holatda o'rnatiladi. 5- va 6-qismlardagi o'lchashlar takrorlanib,  $m_1$ ,  $m_2$  yuklarning o'rtacha tushish vaqti  $\langle t_1'' \rangle$ ,  $\langle t_2'' \rangle$  topiladi va natijalar 1-jadvalga yoziladi.
9. Shtangensirkul yordamida silindrning diametri o'lchanadi.
10. Silindrni stolcha markazi va chetiga yaqin holatda o'rnatish uchun mo'ljallangan o'qchalar orasidagi  $2d_1$  va  $2d_2$  masofalar o'lchanadi hamda  $d_1$ ,  $d_2$  qiymatlar 2-jadvalga yoziladi.
11. Silindrning bittasi tarozida tortiladi va uning  $m_0$  massasi 2-jadvalga yoziladi.

## O'lchash natijalarini hisoblashga doir uslubiy ko'rsatmalar

1. (17) formulaga  $\langle t_1 \rangle$  va  $\langle t_2 \rangle$  ning qiymatlarini qo'yib bo'sh stolchaning inersiya momenti  $I_s$  topiladi.

2. (17) formulaga  $\langle t_1' \rangle$ ,  $\langle t_2' \rangle$  ning qiymatlarini qo'yib, silindrlar markazga yaqin holatda o'rnatilganda stolchaning inersiya momenti  $I_1$  topiladi.

3. Silindrlar markazga yaqin holatda o'rnatilganda stolchaning inersiya momenti  $I_1$  dan (18) formula bo'yicha bo'sh stolchaning inersiya momentini ayirib, markazga yaqin o'qchalarda o'rnatilgan silindrlarning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti aniqlanadi.

4. (17) formulaga  $\langle t_1'' \rangle$ ,  $\langle t_2'' \rangle$  ning qiymatlarini qo'yib, silindrlar chetki o'qchalarda o'rnatilgan holat uchun stolchaning inersiya momenti  $I_2$  topiladi.

5. Silindrlar chetki o'qchalarda o'rnatilgan holatda stolchaning inersiya momenti  $I_2$  dan (19) formula bo'yicha bo'sh stolchaning inersiya momentini ayirib, chetki o'qchalarda o'rnatilgan silindrlarning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti aniqlanadi.

6. Inersiya momentining nazariy qiymati formuladan keltirib chiqariladi. Unga binoan bitta silindrlarning og'irlik markazidan o'tuvchi o'qqa nisbatan inersiya momenti

$$I_0 = \frac{1}{2} m_0 R^2$$

ga teng.

Shteyner teoremasi yordamida qurilmaning aylanish o'qiga nisbatan silindrlarning inersiya momentini topish mumkin:

$$I_{1-yuk}^{Naz} = 2I_0 + 2m_0 d_1^2, \quad I_{2-yuk}^{Naz} = 2I_0 + 2m_0 d_2^2.$$

7. Inersiya momentlarining tajriba orqali va nazariy aniqlangan qiymatlari solishtiriladi

$$\Delta_1 = |I_{1-yuk}^{Naz} - I_{1-yuk}|, \quad \Delta_2 = |I_{2-yuk}^{Naz} - I_{2-yuk}|.$$

8. Inersiya momentini aniqlashdagi nisbiy xatoliklar topiladi:

$$\varepsilon_1 = \frac{|I_{1-yuk}^{Naz} - I_{1-yuk}|}{I_{1-yuk}^{Naz}}, \quad \varepsilon_2 = \frac{|I_{2-yuk}^{Naz} - I_{2-yuk}|}{I_{2-yuk}^{Naz}}.$$

1 – jadval

№	$r, m$	$h, m$	$m_1, kg$	$m_2, kg$	Bo'sh stol			Stolcha markazida			Stolcha chetida		
					$t_{1,s}$	$t_{2,s}$	$I_S$	$t_1^I, s$	$t_2^I, s$	$I_1$	$t_1^{II}, s$	$t_2^{II}, s$	$I_2$
1.													
2.													
3.													

2 – jadval

$m_0, kg$	$R, m$	$d_1, m$	$d_2, m$	$I_0$	$I_{1-yuk}^{Naz}$	$I_{2-yuk}^{Naz}$

Hisob-kitob uchun joy

$$I = \frac{(m_2 - m_1)gr^2t_1^2t_2^2}{2h(t_1^2 - t_2^2)} - \frac{r^2(m_2t_1^2 - m_1t_2^2)}{t_1^2 - t_2^2}$$

Bu formuladan  $I_S$ ,  $I_1$  va  $I_2$  inersiya momentlari topiladi.

$$I_0 = \frac{1}{2}m_0R^2$$

$$I_{1-yuk} = I_1 - I_S,$$

$$I_{2-yuk} = I_2 - I_S,$$

$$I_{1-yuk}^{Naz} = 2I_0 + 2m_0d_1^2$$

$$I_{2-yuk}^{Naz} = 2I_0 + 2m_0d_2^2$$

$$\Delta_1 = \left| I_{1-yuk}^{Naz} - I_{1-yuk} \right|$$

$$\Delta_2 = \left| I_{2-yuk}^{Naz} - I_{2-yuk} \right|$$

$$\varepsilon_1 = \frac{\left| I_{1-yuk}^{Naz} - I_{1-yuk} \right|}{I_{1-yuk}^{Naz}} =$$

$$\varepsilon_2 = \frac{\left| I_{2-yuk}^{Naz} - I_{2-yuk} \right|}{I_{2-yuk}^{Naz}} =$$



## NAZORAT SAVOLLARI

1. Jismning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentini aniqlash usulini tushuntiring.
2. Yuk-stolcha-platforma tizimi uchun energiyaning saqlanish qonuni qanday yoziladi?
3. Aylanma harakatni tavsiflovchi kattaliklar - burchak tezlik, burchak tezlanishni ta'riflang. Chiziqli va aylanma harakat kinematikasini tavsiflovchi kattaliklar o'zaro qanday bog'langan?
4. Aylanma harakat dinamikasining asosiy kattaliklari - jismning kuch momenti, inersiya momenti, impuls momentining ma'nosini tushuntiring.
5. Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonunini ta'riflang. Ilgarilanma harakat bilan solishtiring.
6. Aylantiruvchi momentning ishi qanday aniqlanadi? Qattiq jism aylanma harakatining kinetik energiyasi nimaga teng?
7. Jismlarning inersiya momentlarini nazariy va tajriba orqali aniqlash usullarini tushuntiring.

## 1.3 - laboratoriya ishi

### OBERBEK MAYATNIGIDA JISMLARNING INERSIYA MOMENTLARINI ANIQLASH

**Kerakli asbob va jihozlar:** Oberbek mayatnigi, mayatnikni harakatga keltiruvchi  $m$  massali yuk, inersiya momentlari topilishi kerak bo'lgan  $m_0$  massali to'rtta silindirsimon yuklar, shtangensirkul, masshtabli chizg'ich, elektrosekundomer.

#### Ishning maqsadi

Talaba ishini bajarish mobaynida quyidagi nazariy va amaliy bilimlarga ega bo'lishi kerak: aylanma harakat uchun kinematika va dinamika qonunlarini tushuntirib bera olishi, bu qonunlardagi kattaliklarning ma'nosini bilishi, jismlarning inersiya momentlarini tajriba orqali aniqlay olishi, bog'langan va aylanayotgan jismlarning harakat tenglamalarini tuzishi va o'lchash aniqligini baholab bera olishi kerak.

Bu ishda ilgarilanma va aylanma harakat uchun dinamika qonunlaridan foydalanib, jismlarning inersiya momenti aniqlanadi.

#### Topshiriq

1. Qattiq jismlarning inersiya momentlarini aniqlashning ushbu ishda qo'llaniladigan usulini o'rganish.
2. Tajriba qurilmasi- Oberbek mayatnigi tuzilishi bilan tanishish.
3. Oberbek mayatnigidagi jismlarning inersiya momentini ikki usulda - tajriba orqali va nazariy aniqlash.
4. Tajriba natijalarini nazariy usulda topilgan natijalar bilan solishtirish orqali o'lchash aniqligini baholash.
5. Inersiya momentlarini o'lchashda olingan natijalarni tahlil qilish.

#### Asosiy nazariy ma'lumotlar

Jismlarning *aylanma harakati* deb shunday harakatga aytiladiki, bunda jismning barcha nuqtalari markazlari bir to'g'ri chiziqda yotadigan aylanalar chizadi, bu to'g'ri chiziq *aylanish o'qi* deyiladi.

Aylanma harakatni tavsiflash uchun quyidagi tushunchalar kiritiladi:

1. Aylanish davri  $T$  - bir marta to'la aylanish uchun ketgan vaqt.
2. Aylanish chastotasi  $\nu$  - vaqt birligidagi aylanishlar soni

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

3. Radius vektorning burilish burchagi  $d\varphi = \frac{ds_{yoy}}{r}$ .

4. Burchak tezlik  $\omega = \frac{d\varphi}{dt}$ . (2)

5. Burchak tezlanish  $\beta = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2}$ . (3)

Aylanma harakat uchun kiritilgan bu kattaliklarning qulayligi shundaki, ular jismning barcha nuqtalari uchun bir xildir.

Aylanma va chiziqli harakatni tavsiflovchi kattaliklar orasida quyidagi bog'lanish mavjud.

Chiziqli siljish  $dS = r d\varphi$ , (4)

bu yerda,  $r$  - aylanish radiusi.

Chiziqli tezlik  $v = \omega \cdot r$ . (5)

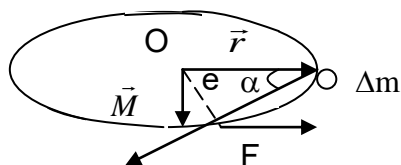
Tangensial tezlanish  $a_t = \beta \cdot r$ . (6)

Normal tezlanish  $a_n = \omega^2 r$ . (7)

Burchak tezlikning o'zgarishi kuch momentining ta'siriga bog'liq.

**Kuch momenti** son jihatdan kuchning yelkaga ko'paytmasiga teng:

$$|\vec{M}| = F \cdot l.$$



1 – rasm.

**Kuch yelkasi** deb (O) aylanish markazidan  $\vec{F}$  kuch ta'sir qilayotgan chiziqqacha bo'lgan eng qisqa masofaga

aytiladi (1-rasm).

Kuch yelkasi ( $l$ ) ni radius-vektor ( $\vec{r}$ ) orqali ifodalasak:

$$l = r \cdot \sin \alpha$$

Bundan,

$$|\vec{M}| = F \cdot r \cdot \sin \alpha.$$

Vektor ko'rinishda yozsak,

$$\vec{M} = [\vec{r}, \vec{F}]. \quad (8)$$

Kuch momenti vektori ( $\vec{M}$ )ning yo'nalishi ( $\vec{r}$ ) va ( $\vec{F}$ ) ning yo'nalishlari bilan o'ng vint qoidasi asosida bog'langan.  $\Delta m$  massali moddiy nuqta uchun Nyutonning ikkinchi qonuni tenglamasini yozib,

chiziqli va aylanma harakat kattaliklari orasidagi bog‘lanishdan foydalansak, quyidagi ifodaga ega bo‘lamiz:

$$M = \Delta m r^2 \beta = I \beta, \quad (9)$$

bu yerda,  $I = \Delta m r^2$  skalyar kattalik bo‘lib, moddiy nuqtaning aylanish o‘qiga nisbatan **inersiya momenti** deyiladi.

Jismning barcha nuqtalarining aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momentlari yig‘indisi

$$I = \sum I_i = \sum \Delta m_i r_i^2 \quad (10)$$

qattiq jismning inersiya momenti deyiladi.

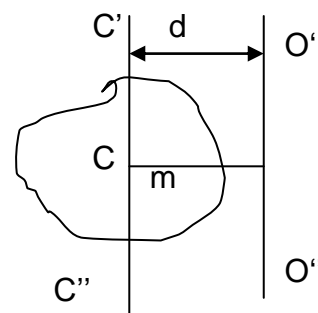
(9) formulani vektor ko‘rinishida yozish mumkin

$$\vec{M} = I \cdot \vec{\beta}. \quad (11)$$

Jismga qo‘yilgan barcha kuchlarning aylanish o‘qiga nisbatan natijalovchi kuch momenti jismning shu o‘qqa nisbatan inersiya momentini burchak tezlanishga ko‘paytmasiga teng. Bu aylanma harakat uchun **dinamikaning asosiy qonuni** (Nyutonning ikkinchi qonuni) ta‘rifi hisoblanadi. Bundan inersiya momenti jismning inertlik o‘lchovi ekanligi kelib chiqadi, ya‘ni aylanma harakatda massa rolini o‘ynaydi. Inersiya momenti jism massasining aylanish o‘qiga nisbatan qanday taqsimlanganligiga bog‘liq. O‘qdan uzoqda joylashgan nuqtalarning  $I = \sum \Delta m_i r_i^2$  yig‘indiga qo‘shgan hissasi o‘qqa yaqin joylashgan nuqtalarga nisbatan kattaroq bo‘ladi. Jism inersiya momentining qiymati jismning shakliga, o‘lchamlariga, massasiga va aylanish o‘qiga nisbatan qanday joylashganligiga bog‘liq.

Og‘irlik markazidan o‘tmagan o‘qqa nisbatan jismning inersiya momenti (2-rasm) **Shteyner teoremasi** orqali aniqlanadi: jismning og‘irlik markazidan o‘tmagan istalgan aylanish o‘qiga nisbatan inersiya momenti shu o‘qqa parallel bo‘lgan, og‘irlik markazidan o‘tuvchi o‘qqa nisbatan inersiya momenti va jism massasi bilan og‘irlik markazidan aylanish o‘qigacha masofa (o‘qlar orasidagi masofa) kvadratining ko‘paytmasi yig‘indisiga teng

$$I_{O'O''} = I_{C'C''} + m d^2. \quad (12)$$



2 – rasm.

## Qurilmaning tuzilishi va o'lchash usuli

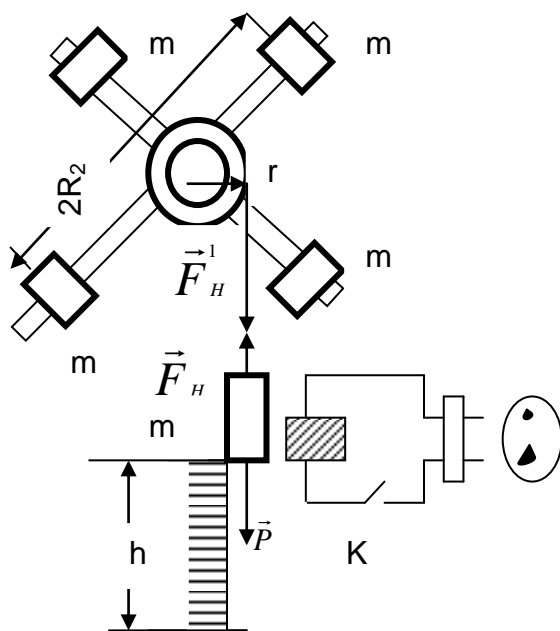
Oberbek mayatnigi gorizontaal o'q atrofida aylana oladigan shkivga xoch shaklida (biri ikkinchisidan  $90^\circ$  farq bilan) mahkamlangan to'rtta bir xil sterjendan tashkil topgan. 3-rasm.

Shkivga ip o'rab, ipning uchiga yuk osib qo'yilgan. Sterjenlarga har biri  $m_0$  massali to'rtta yuk simmetrik ravishda o'rnatilgan bo'lib, aylanish o'qidan yuklarning markazigacha bo'lgan  $R$  masofa yuklar-

ning chiziqli o'lchamlaridan ancha katta.  $R$  masofani o'zgartirish orqali yuklarning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momentlarini o'zgartirish mumkin.

Shkivga o'ralgan ipni yuk pastga tortishi natijasida sterjenlar aylanma harakat qiladi.

Tizim yukning ilgarilanma va sterjenlarning aylanma harakatini o'z ichiga olganligi sababli, dinamikaning ilgarilanma va aylanma harakatlar uchun asosiy qonunini qo'llab, yuk va sterjenlarning harakat



3-rasm.

tenglamasini tuzish va yechish kerak

$$\begin{cases} m\vec{a} = m\vec{g} + \vec{F}_t \\ I\vec{\beta} = [\vec{r}_1 \vec{F}_t] + \vec{M}_{ishq} \end{cases} \quad (13)$$

bu yerda  $m$  - ipga osilgan yukning massasi,  $\vec{F}_t$  - ipning taranglik kuchi,  $\vec{M}_{ishq}$  - ishqalanish kuchi momenti,  $\vec{\beta}$  - burchak tezlanish,  $I$  - aylanayotgan tizimning aylanish o'qiga nisbatan inersiya momenti,  $\vec{a}$  - yuklarning ilgarilanma harakati tezlanishi bo'lib, u ip ingichka, cho'zilmaydigan bo'lganda shkiv sirtidagi nuqtalarning tangensial (urinma) tezlanishiga mos keladi.

Yuk pastga tushayotganda burchak tezlanish vektori va shkivga qo'yilgan ipning taranglik kuchi momenti yo'nalishi ishqalanish kuchi

momentining yo‘nalishiga qarama-qarshi bo‘ladi. Yo‘nalishlarni hisobga olib, (13) ni skalyar ko‘rinishda quyidagicha yozish mumkin

$$\begin{aligned} ma &= mg - F_t \\ I\beta &= F_t r - M_{ishq} \end{aligned} \quad (14)$$

Yukning va shkiv sirtidagi nuqtalarning tezlanishi tekis tezlanuvchan harakat uchun yo‘l qonunidan aniqlanadi

$$a = a_\tau = \frac{2h}{t^2},$$

burchak tezlanish esa, tangensial va burchak tezlanishlar orasidagi bo‘lanishdan topiladi

$$\beta = \frac{a_t}{r} = \frac{2h}{t^2 r}.$$

Ishqalanish kuchi momentini hisobga olmaslik uchun tajribani ipga turli  $m_1$  va  $m_2$  yuklarni osib bajariladi, bu esa taranglik kuchi, aylantiruvchi moment va tezlanishning qiymatlarini o‘zgartiradi

$$I\beta_1 = M_1 - M_{ishq} \quad (15)$$

$$I\beta_2 = M_2 - M_{ishq} \quad (16)$$

(16) dan (15) ni ayirib, quyidagi ifodani hosil qilamiz

$$I(\beta_2 - \beta_1) = M_2 - M_1, \quad (17)$$

bunda  $\beta_1 = \frac{2h}{t_1^2 r}$ ;  $\beta_2 = \frac{2h}{t_2^2 r}$  almashtirishlarni bajarsak:

$$M_1 = F_{t1} r = m_1(g - a_1)r = m_1 \left( g - \frac{2h}{t_1^2} \right) r,$$

$$M_2 = F_{t2} r = m_2(g - a_2)r = m_2 \left( g - \frac{2h}{t_2^2} \right) r$$

bu ifodalarni (17)ga qo‘yib, quyidagi formulani olamiz

$$I = \frac{\left[ m_2 \left( g - \frac{2h}{t_2^2} \right) - m_1 \left( g - \frac{2h}{t_1^2} \right) \right] r}{\frac{2h}{r} \left( \frac{1}{t_2^2} - \frac{1}{t_1^2} \right)}. \quad (18)$$

### Ishni bajarish tartibi

1. Shtangensirkul yordamida shkivning radiusi  $r = \frac{d}{2}$  o‘lchanadi va 1-jadvalga yoziladi.

2. Ipga osilgan yukning massasi  $m_1$  aniqlanadi.
3. Aylantiruvchi momentni o'zgartirish uchun  $m_1$  yuk ustiga qo'yiladigan qo'shimcha yukchaning  $\Delta m$  massasi aniqlanadi va  $m_2 = m_1 + \Delta m$  qiymat 1-jadvalga yoziladi.
4. Yuklar sterjenlarning chetiga mahkamlanadi. Ipni shkivga o'rab, yuk yuqoriga ko'tariladi va elektromagnitni ulab, yukni shu holatda tutib turiladi.
5. Yukning pastki qismidan yuk kelib uriladigan platformagacha bo'lgan  $h$  masofa o'lchanadi.
6. Elektromagnit o'chirilib, shu ondayoq sekundomer ishga tushiriladi va yukning tushish vaqti  $t_1$  o'lchanib, 1-jadvalga yoziladi. Tajriba 3 marta takrorlanib, yukning o'rtacha tushish vaqti  $\langle t_1 \rangle$  topiladi.
7. Tushayotgan yukka qo'shimcha yukcha qo'shib, 6-bandda bajarilgan ishlar 3 marta takrorlanadi. O'lchangan  $t_2$  vaqt 1-jadvalga yoziladi va uning o'rtacha qiymati  $\langle t_2 \rangle$  topiladi.
8. Yuklar sterjenning o'rtasiga mahkamlanadi. 6 va 7 bandlarda bajarilgan ishlar yana takrorlanadi. Yukning tushish vaqtlari  $t_1''$  va  $t_2''$  1-jadvalga yoziladi hamda o'rtacha tushish vaqti  $\langle t_1'' \rangle$ ,  $\langle t_2'' \rangle$  topiladi.
9. Sterjenga mahkamlangan yuklarning  $m_0$  massasi hamda sterjenning  $m_s$  massasi o'lchanadi (yoki aniqlanadi) va 2-jadvalga yoziladi.
10. Yuklarning aylanish radiuslari  $R_1$  va  $R_2$  hamda sterjenning uzunligi  $l$  o'lchanadi va 2-jadvalga yoziladi (bunda simmetrik joylashgan yuklarning markazlari orasidagi  $2R_1$  va  $2R_2$  masofalarni va sterjenlar uchlari orasidagi  $2l$  masofani o'lchash maqsadga muvofiqdir).

### **O'lchash natijalarini hisoblashga doir uslubiy ko'rsatmalar**

1. Yuklarning  $\langle t_1 \rangle$  va  $\langle t_2 \rangle$  o'rtacha tushish vaqtlarini (18) formulaga qo'yib, yuklar sterjenlarning chetiga mahkamlangan holat uchun tizimning inersiya momenti  $I_1$  topiladi.
2. Yuklarning  $\langle t_1'' \rangle$  va  $\langle t_2'' \rangle$  o'rtacha tushish vaqtlarini (18) formulaga qo'yib, yuklar sterjenlarning o'rtasiga mahkamlangan holat uchun tizimning inersiya momenti  $I_2$  topiladi.

3. Quyidagi formulalardan foydalanib inersiya momentining nazariy qiymati hisoblanadi:

$$I_1^N = 4m_0 R_1^2 \quad \text{va} \quad I_2^N = 4m_0 R_2^2$$

4. Yuklar inersiya momentlarining tajribada va nazariy yo‘l bilan topilgan qiymatlari solishtiriladi:

$$\Delta_1 = |I_1^N - I_1|, \quad \Delta_2 = |I_2^N - I_2|.$$

5. Inersiya momentini aniqlashdagi nisbiy xatolik topiladi:

$$\varepsilon_1 = \left| \frac{I_1^N - I_1}{I_1^N} \right| \cdot 100\%, \quad \varepsilon_2 = \left| \frac{I_2^N - I_2}{I_2^N} \right| \cdot 100\%.$$

1- jadval

№	$r$	$h$	$m_1$	$m_2$	Yuklar sterjen chetida			Yuklar sterjen o‘rtasida		
					$t_1$	$t_2$	$I_1$	$t_1''$	$t_2''$	$I_2$
1.										
2.										
3.										

2-jadval

$m_0$	$4m_0$	$l$	$R_1$	$R_2$	$I_1^N$	$I_2^N$	$\varepsilon_1$	$\varepsilon_2$



## NAZORAT SAVOLLARI

1. Aylanma harakatni tavsiflovchi kattaliklar - burchak tezlik, burchak tezlanishni ta'riflang. Chiziqli va aylanma harakat kinematikasini tavsiflovchi kattaliklar o'zaro qanday bog'langan?

2. Aylanma harakat dinamikasining asosiy kattaliklari - jismning kuch momenti, inersiya momenti, impul's momentining ma'nosini tushuntiring.

3. Aylanma harakat dinamikasining asosiy qonunini ta'riflang. Ilgarilanma harakat bilan solishtiring.

4. Ilgarilanma va aylanma harakat qilayotgan jismlarning harakat tenglamalarini tuzishda dinamika qonunlarining qo'llanilishini tushuntiring.

5. Ushbu ishda qo'llangan yuklarning inersiya momentlarini aniqlash usulini tushuntiring.

6. Oberbek mayatnigining burchak tezlanishi kattaligi nimaga bog'liq va u tajriba davomida qanday o'zgaradi? Tajribada aylantiruvchi moment va inersiya momenti qanday o'zgartiriladi?

## 1.4 - laboratoriya ishi

### TUSHAYOTGAN SHARCHANING KINETIK VA POTENSIAL ENERGIYALARINI ANIQLASH

**Kerakli asbob va jihozlar:** Grimzel qurilmasi, po‘lat sharcha, masshtabli chizg‘ich, ko‘chiruvchi qora qog‘oz, toza oq qog‘oz, elektromagnit.

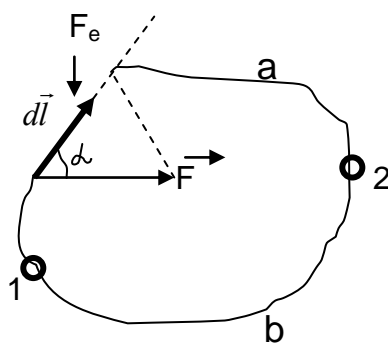
#### Ishning maqsadi

Laboratoriya ishini bajarish davomida talaba “energiya” va “ish” fizikaviy tushunchalarining ma’nosini tushunishi hamda energiyaning saqlanish qonuni mazmunini anglab olishi kerak.

Tushayotgan sharcha misolida mexanik jarayonlarda energiyaning bir turdan boshqa turga o‘tishini tahlil qila olishi kerak.

#### Asosiy nazariy ma’lumotlar

Materiyaning barcha shakldagi harakatlarining universal o‘lchovi



1 – rasm.

energiyadir. U mexanik tizimning holat funksiyasi bo‘lib, tizimning oxirgi konfiguratsiyalari va tezliklarning oxirgi qiymatlari bilan aniqlanadi  $W = f(x, y, z, \vartheta_x, \vartheta_y, \vartheta_z)$ . Energiyaning o‘zgarishi jismlarning o‘zaro ta’siri jarayonida, ya’ni ish bajarish jarayonida sodir bo‘ladi. Demak, energiya shunday fizikaviy kattalikki, uning o‘zgarishi ishga tengdir va u jismning ish bajarish

qobiliyatini ifodalaydi.

$\vec{F}$  kuchning  $\vec{dl}$  kichik siljishdagi ta’siri (1-rasm) elementar ish deb ataluvchi,  $\vec{F}$  ning  $\vec{dl}$  ga skalyar ko‘paytmasiga teng bo‘lgan kattalik bilan xarakterlanadi.

$$\delta A = (\vec{F}, \vec{dl}) = F dl \cos \alpha = F_l dl. \quad (1)$$

Butun  $l$  yo‘l bo‘yicha  $\vec{F}$  kuch tomonidan bajarilgan ish yo‘lning alohida kichik bo‘laklarida bajarilgan elementar ishlar yig‘indisiga teng bo‘ladi

$$A = \int_l F_l dl. \quad (2)$$

Agar jismni 1-nuqtadan 2-nuqtaga ko‘chirishda  $\vec{F}$  kuch tomonidan bajarilgan  $A_{12}$  ish ko‘chirish qaysi trayektoriya bo‘yicha amalga oshirilganligiga bog‘liq bo‘lmay, faqat jismning boshlang‘ich va oxirgi vaziyatlari (tizimning boshlang‘ich va oxirgi konfiguratsiyalari) bilan aniqlansa, jismga ta’sir etayotgan  $\vec{F}$  kuch **konservativ kuch** deyiladi.

$$A_{1-2} = A_{1-a-2} = A_{1-b-2} \quad (3)$$

Jism harakati yo‘nalishini teskari tomonga o‘zgartirish konservativ kuch bajargan ishning ishorasi o‘zgarishiga olib keladi. Shuning uchun jism yopiq trayektoriya bo‘yicha harakatlenganda konservativ kuch bajargan ish nolga teng bo‘ladi:

$$\oint_l F_l dl = 0. \quad (4)$$

(3) va (4) dan ko‘rinadiki, konservativ kuchlar bajargan ish tizimning konfiguratsiyaga bog‘liq bo‘ladi. Tizimning konfiguratsiyasi bilan bog‘liq ish zahirasi tizimning potensial energiyasini ifodalaydi. Potensial energiya faqat uning koordinatalari funksiyasi hisoblanadi. Konservativ kuchlar bajargan ish tizimning potensial energiyasini kamaytiradi

$$A_{1-2} = W_{p1} - W_{p2} = -\Delta W_p \quad (5)$$

Konservativ kuchlarga misol qilib, butun olam tortishish kuchi, elastik kuchlar, elektrostatik o‘zaro ta’sir kuchlarini ko‘rsatish mumkin. (3) va (4) shartlarni qoniqtirmaydigan kuchlar **nokonservativ kuchlar** deyiladi. Nokonservativ kuchlarning xususiy holi sifatida dissipativ kuchlarni ko‘rsatish mumkin. Bu kuchlar ta’sirida mexanik energiya boshqa turdagi (masalan, issiqlik) harakatiga aylanadi.

Agar jismga bir vaqtning o‘zida bir necha  $\vec{F}_1, \vec{F}_2, \dots, \vec{F}_n$ , kuchlar ta’sir etsa,  $d\vec{l}$  siljishda barcha kuchlar bajargan ishlarning algebraik yig‘indisi, shunday siljishda kuchning teng ta’sir etuvchisi bajaradigan ishga teng bo‘ladi.  $dl = g dt$  ekanligini hisobga olgan holda, Nyutonning 2-qonunini  $F = m \frac{d^2 g}{dt^2}$  qo‘llab, teng ta’sir etuvchi kuch bajargan ishni topamiz:

$$A = \int_{g_1}^{g_2} m \frac{dg}{dt} dt = \int_{g_2}^{g_1} m dg = \frac{mg_2^2}{2} - \frac{mg_1^2}{2}. \quad (6)$$

(6) dan ko‘rinadiki, teng ta’sir etuvchi kuch ishi quyidagi kattalikni oshib borishiga olib keladi

$$W_k = \frac{mg^2}{2} \quad (7)$$

bu kattalik jism o‘zining mexanik harakati hisobiga bajarishi mumkin bo‘lgan ishni ifodalaydi va u **jismning kinetik energiyasi** deyiladi. Potensial va kinetik energiyalar yig‘indisi jismlar tizimining **to‘liq mexanik energiyasi** deyiladi.

Mexanik tizimni tashkil etuvchi jismlar bir-biri bilan yoki tizimga tegishli bo‘lmagan boshqa jismlar bilan ta’sirlashishi mumkin. Shunga binoan, tizimdagi jismlarga ta’sir etuvchi kuchlarni ichki (tizimdagi jismlarning o‘zaro ta’sirlashuvi) va tashqi (tizimga tegishli bo‘lmagan jismlar ta’sirlashuvi) kuchlarga ajratiladi. Ichki kuchlar har doim konservativ bo‘ladi, tashqi kuchlar esa konservativ ham, dissipativ ham bo‘lishi mumkin.

Teng ta’sir etuvchi kuchlar bajargan ish tizimning kinetik energiyasini o‘zgartiradi, ichki va tashqi konservativ kuchlar ishi tizimning umumiy potensial energiyasini o‘zgartiradi, dissipativ kuchlar ishi esa tizimning to‘liq mexanik energiyasini o‘zgartiradi. Bu o‘zgarishlar bir-biri bilan quyidagicha bog‘langan

$$dW_k = -dW_{pi} - dW_{pt} + dA_{nk} \quad (8)$$

yoki,

$$d(W_k + W_{pi} + W_{pt}) = dA_{nk} \quad (9)$$

Agar tizimda faqat konservativ kuchlar ta’sir qilsa,  $dA_{nk} = 0$  va

$$W_k + W_{pi} + W_{pt} = W_k + W_p = const \quad (10)$$

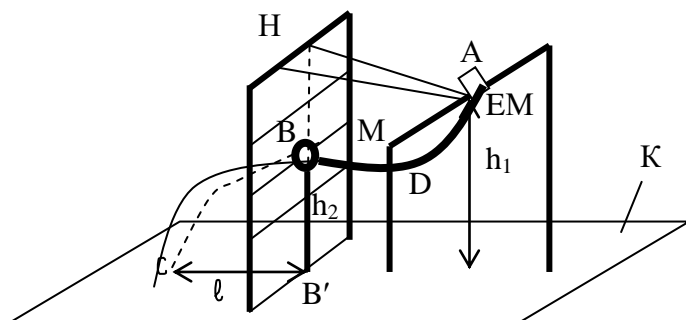
bo‘ladi.

Agar jismlar tizimiga faqat konservativ kuchlar ta’sir etayotgan bo‘lsa, bu tizimning to‘liq mexanik energiyasi o‘zgarmas bo‘lib qoladi (mexanik energiyaning saqlanish qonuni).

Agar tizimga nokonservativ kuchlar ta’sir etayotgan bo‘lsa, tizimning mexanik energiyasi kamayadi: energiyaning dissipatsiyasi (sochilishi) ro‘y beradi, lekin ekvivalent miqdorda boshqa turdagi energiyalar hosil bo‘ladi. Energiya hech qachon yo‘qolmaydi va qayta hosil bo‘lmaydi, u faqat bir turdan ikkinchi turga aylanadi (energiya saqlanishining umumiy qonuni)

## Qurilmaning tuzilishi va o'lash usuli

Qurilmaning sxemasi (Grimzel qurilmasi) 2-rasmda ko'rsatilgan. Gorizontaal taxtaga vertikal ustunlar o'rnatilgan. (H) ustunlarga yengil



2 – rasm.

bifilyar osmada mis halqa biriktirilgan bo'lib, u bo'sh qo'yilganda (vertikal holatda) halqaning teshigi (H) ustunlarga ko'ndalang mahkamlangan (M) plastina teshigiga to'g'ri keladi. Ustunlarga yoysimon metal tarnov (D) o'rnatilgan bo'lib, tarnov bo'ylab (EM) elektromagnit harakatlanadi. Elektromagnit toki (K) kalit

bilan o'chiriladi va yoqiladi. Osmo halqa va metall sharchani moddiy nuqta deb hisoblash mumkin.

Agar sharchali halqani elektromagnitga tekkuncha siljitsak (A holatga), elektromagnit sharchani shu holatda tutib turadi. Elektromagnit toki o'chirilganda sharcha ABC trayektoriya bo'ylab harakatga keladi. AB oraliqda sharcha aylana yoyi bo'ylab, BC oraliqda esa parabola bo'ylab harakatlanadi. Elektromagnitni yoysimon tarnov bo'ylab surib, sharchaning  $h_1$  ko'tarilish balandligini o'zgartirish mumkin.

A nuqtada sharcha quyidagi potensial energiyaga ega bo'ladi

$$W_{p1} = mgh_1. \quad (11)$$

B nuqtada sharchaning potensial energiyasi

$$W_{p2} = mgh_2. \quad (12)$$

AB yo'lda sharchaning potensial energiyasi kamayadi

$$\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = mg(h_1 - h_2). \quad (13)$$

Shu vaqtning o'zida sharcha quyidagi kinetik energiyaga ega bo'ladi

$$W_k = \frac{m g^2}{2}, \quad (14)$$

$g$  - sharchaning B nuqtadagi tezligi.

Bu ishda havoning qarshilik kuchi sharchaning og'irlik kuchidan juda kichik bo'lganligi uchun havoning qarshilik kuchi e'tiborga olinmaydi. Sharchaning harakatini ikkita harakatning, ya'ni gorizontal yo'nalishda  $g$  tezlik bilan tekis harakat va vertikal yo'nalishda  $g$  tezlanish bilan tekis tezlanuvchan harakat yig'indisi deb qarash mumkin. (B) nuqtada tezlikning vertikal tashkil etuvchisi nolga teng. Unda BC trayektoriya bo'ylab sharchaning harakat vaqti sharchaning BB' vertikal bo'ylab erkin tushish vaqtiga tengdir, ya'ni

$$t = \sqrt{\frac{2h_2}{g}}. \quad (15)$$

Sharchaning gorizontal yo'nalishdagi siljishi  $l$  va harakat vaqti  $t$  ni aniqlab, tezlikning gorizontal tashkil etuvchisini hisoblash mumkin. U o'zgarmas bo'lib, sharchaning tezligiga teng

$$g = \frac{l}{t} = \frac{l}{\sqrt{\frac{2h_2}{g}}} \quad (16)$$

Sharcha ko'chirma qog'oz qoplangan oq qog'oz ustiga tushib, iz qoldiradi. Bunda chizg'ich bilan gorizontal ko'chish  $l = B'C$  osongina o'lchanadi.

Tezlikning topilgan qiymatini (14) formulaga qo'yib, sharchaning B nuqtadagi kinetik energiyasi hisoblanadi.

$$W_k = \frac{mg\langle l \rangle^2}{4h_2}. \quad (17)$$

Energiyaning saqlanish qonuniga binoan sharchaning B nuqtadagi kinetik energiyasining qiymati sharchani A nuqtadan B nuqtaga ko'chirganda potensial energiyasining kamayishiga teng bo'lishi kerak

$$\frac{m g^2}{2} = mg(h_1 - h_2), \quad (18)$$

yoki (17) ni hisobga olgan holda,

$$\frac{mg\langle l \rangle^2}{4h_2} = mg(h_1 - h_2). \quad (19)$$

### **Ishni bajarish tartibi va o'lchash natijalarini hisoblashga doir uslubiy ko'rsatmalar**

1. Sharchaning massasi  $m$  va  $h_2$  balandlik o'lchanadi. Olingan natijalar 1-jadvalning yuqori qismiga yoziladi.

2. A nuqtaga sharchali halqa keltirilib, elektromagnit yoqiladi, sharcha ko'tarilgan  $h_1$  balandlik o'lchanadi.

3. Qurilma stoliga oq qog'oz qo'yilib, ko'chirma qog'oz bilan qoplanadi. **K** kalit orqali elektromagnit o'chiriladi. Chizg'ich bilan  $l_i = B'C_i$  masofa o'lchanadi va qog'ozda qolgan sharchaning izi belgilanadi. Qog'ozni biroz surib, yana ko'chirma qog'oz qoplanadi.

4. Tajriba 5 marta qaytariladi. Muayyan  $h_1$  balandlikdan sharchaning uchib tushish uzunligining o'rtacha arifmetik qiymati  $\langle l \rangle$  topiladi.

5. 2, 3, 4 qismlar  $h_1$  ning boshqa qiymatlari uchun takrorlanadi.  $h_1$  balandlik 5 marta o'zgartiriladi.

6. Sharchaning **B** nuqtadagi  $W_k$  kinetik energiyasi (17) formula bo'yicha va  $\Delta W_p$  potensial energiyaning kamayishi (13) formula bo'yicha hisoblanadi.

7. Usulning aniqligini baholash uchun quyidagi nisbat hisoblanadi:

$$\varepsilon = \frac{|\Delta W_p - W_k|}{\Delta W_p}. \quad (20)$$

8. O'lchash natijalari va hisoblashlar jadvalga yoziladi.

9. Olingan natijalar asosida grafik chiziladi. "x" o'qiga  $\Delta W_p$ , "y" o'qiga  $W_k$  qiymatlari joylashtiriladi. (18) ga asosan nazariy chiziq o'qlarga nisbatan  $45^\circ$  burchak ostida o'tuvchi to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'lishi kerak. Nazariy chiziq qismr bilan, tajriba grafigi uzluksiz chiziq bilan chiziladi.

$m = \quad kg$						$h_2 = \quad m$		
№	$h_1, m$	$l_1, m$	$l_2, m$	$l_3, m$	$\langle l \rangle, m$	$W_k, J$	$\Delta W_p, J$	$\varepsilon$
1.								
2.								
3.								

**Hisob-kitob uchun joy**

$$W_k = \frac{mg\langle l \rangle^2}{4h_2}$$

$$\Delta W_p = W_{p1} - W_{p2} = mg(h_1 - h_2)$$

$$\varepsilon = \frac{|\Delta W_p - W_k|}{\Delta W_p} =$$

**Hisob-kitob ishlaridan keyin daftaringizga grafik chizasiz.**

Olingan natijalar asosida grafik chiziladi. "x" o'qiga  $\Delta W_p$ , "y" o'qiga  $W_k$  qiymatlari joylashtiriladi. (18) ga asosan nazariy chiziq o'qlarga nisbatan  $45^\circ$  burchak ostida o'tuvchi to'g'ri chiziq ko'rinishida bo'lishi kerak.

## NAZORAT SAVOLLARI

1. Kinetik energiya nima va u qanday hisoblanadi? Qanday kuchning bajargan ishi kinetik energiya o'zgarishiga teng bo'ladi?
2. Potensial energiya nimani tavsiflaydi? Qanday kuchlarning bajargan ishi potensial energiyaning o'zgarishi bilan bog'liq?
3. Mexanik energiya nima? Mexanikada energiyaning saqlanish qonuni qanday ifodalanadi? Qanday sharoitlarda u bajariladi?
4. Qanday kuchlar dissipativ kuchlar deb ataladi? Energiyaning umumiy saqlanish qonuni qanday ifodalanadi?
5. Qurilma sxemasini tushuntiring. Nima uchun sharcha dumalab harakatlanmay halqa bilan birga harakatlanadi?
6. Kinetik energiyani hisoblash formulasini keltirib chiqaring.
7. Tushayotgan sharchaning potensial energiyasi o'zgarishi qanday hisoblanadi?