

Қазақстан Республикасының білім және ғылым  
министрлігі

С. Торайғыров атындағы Павлодар мемлекеттік  
университеті

Физика, математика және ақпараттық  
технологиялар факультеті

Жалпы және теориялық физика кафедрасы

# **МЕХАНИКА**

**Зертханалық жұмыстарды орындауға  
методикалық нұсқаулар**

**1 бөлім**

Павлодар

УДК 531(07)

ББК 22.2я7

М 55

**С. Торайғыров атындағы ПМУ ғылыми кеңесі  
±сынған**

**Рецензент:**

Физика, математика ғылымдарының кандидаты,  
доцент Биболов Ш.К.

**Құрастырушылар:** Маралбаева М.Б., Досумбеков К.Р.,  
Искакова А.Б.

М55 Механика: зертханалық жұмыстарды орындауға  
методикалық нұсқаулар. Б. 1. - Павлодар, 2006. -  
32 б.

Методикалық нұсқауда «Физика» пәні бойынша  
зертханалық жұмыстарды орындауға ±сыныстар  
келтіріледі, жұмыстың мақсаттары қырсетілген.

Методикалық нұсқау техникалық және технология  
мамандықтары мен оларды дайындау бағытының  
типтік оқу бағдарламасына негізделіп жасалынған.  
Қазақстан Республикасының білім және ғылым  
министрлігінің №541 бұйрығымен 2002 ж. 10  
шілдесінен бекітіліп, іске асырылды.

УДК 531(07)

© Маралбаева М.Б., Досумбеков К.Р., Искакова А.Б., 2006  
© С. Торайғыров атындағы Павлодар Мемлекеттік  
Университеті, 2006

### **Кіріспе**

Методикалық нұсқауда жалпы физика курсының «Механика» бөлімі бойынша ЖОО-ң физика-математика, инженерлі-техникалық және жаратылыстану-ғылымдары мамандықтары бойынша оқитын студенттерге зертханалық сабақтарды дайындауы үшін арналған. Методикалық нұсқау студенттерді физикалық аспаптармен тереңірек танысуы, сонымен қатар нақты өлшеулердің негізгі әдістерін игеруіне көмектеседі. Бұл оқулыққа 10 зертханалық жұмыс енгізілген, олардың әрқайсысы қысқаша теориялық кіріспеден, зертханалық қондырғылардың схемаларынан, өлшеулерді жүргізу әдістерінен тұрады. Зертханалық жұмыстардың сипаттамасынан кейін қажет әдебиеттер тізімі келтірілген.

Осы оқу құралын пайдалану студенттердің «Физика» пәні бойынша білім деңгейін, сонымен қоса әдістемелік жабдықтау мен зертханалық сабақтарды жақсартуда көп көмегін тигізеді.

## **№10 Зертханалық жұмыс. Өлшеулер нәтижелерінің кейбір әдістері**

### **Кіріспе**

Физика курсына оқығанда зертханалық жұмысты нақты есептерді эксперименттік түрде шешу үшін физика заңдарын қолдануға үйрену;

құрылғының және аспаптардың жұмыс істеу принциптерін зерттеу;

өлшеулер нәтижелерін өңдеу мен оларды талдауға үйрену;

физикалық эксперименттің негізгі техникаларын игеру үшін орындайды.

Әрбір зертханалық жұмыс физикалық шамаларды өлшеуге байланысты. Физикалық шамаларды өлшеу бірлік ретінде алынған басқа немесе біртекті шамалармен салыстырумен байланысты.

Өлшеулер тура және жанама болып екіге бөлінеді.

**Тура өлшеулер** - бұл ізделінді шаманы бірлік ретінде алынған шамамен тікелей салыстыру процесі. Мысалы, ұзындықты штангенциркульмен, температураны - термометрмен өлшеу және т.б.

**Жанама өлшеулер** - бұл тура өлшеулер барысында алынған мәндерге математикалық операциялар қолдану нәтижесінде ізделінді шаманы алу. Мысалы, цилиндрдің көлемін

$$V = \frac{\pi D^2 h}{4} \quad (1)$$

цилиндрлік өткізгіштің кедергісін

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (2)$$

формулалары арқылы есептеу.

Өлшеулерді жүргізе отырып, біз ізделінді шаманың нақты мәнін ала алмаймыз, өйткені абсолютті нақты құралдар мен өлшеулер әдістері жоқ. Физикалық шамалардың кез келген өлшеулері ізделінді шаманың ең ықтимал мәні бар болатын интервалды ғана беруі мүмкін. Осы интервал сенімділік интервалы деп аталады. **Сенімділік интервалы** – бұл ізделінді шаманың ең ықтимал шын мәні бар болатын сандық өстегі кесінді.

Өлшеулердің дәлдігін бағалаудың қажет екендігін келесі мысал арқылы көрсетуге болады: айталық катушканың кедергісі температураға тәуелді ме, жоқ па екендігін тексерейік. Өлшеулер келесі нәтижені берді

$$t_1 = 10^{\circ}\text{C}$$

$$R_1 = 200,025 \text{ Ом}$$

$$t_2 = 20^{\circ}\text{C}$$

$$R_2 = 200,034 \text{ Ом}$$

Егер өлшеулердің нақтылығы белгісіз болса, осындай берілген шамалар арқылы эксперименттің қорытындысын жасауға болмайды. Өлшеулердің қателігі  $\Delta R = 0,001$  Ом болғанда, кедергі температураға тәуелді, яғни  $R_2 > R_1$ ;  $\Delta R = 0,01$  Ом болғанда – температурадан тәуелсіз, яғни  $R_1 \approx R_2$ .

Физикалық шамаларды өлшегенде пайда болған қателіктерді, осы қателіктердің пайда болуына әсер

еткен себептерге байланысты үш типке бөлуге болады: ақаулар, жүйелік және кездейсоқ.

**Ақау** деп күтуге болатын мәннен ауытқыған және дұрыс есептелмеген, есептеуде қате кеткен және өлшеу барысында зерттеуші жіберген қателіктерді айтады.

**Жүйелік** деп бір шаманы қайта-қайта өлшегенде тұрақты немесе бірқалыпты өзгеріп тұратын қателіктерді айтады. Осындай қателіктер іске жарамсыз құралдар, зерттеу әдістерінің нақты болмауы, экспериментатор жіберген қателіктер, т.б. салдарынан пайда болады.

**Кездейсоқ** деп бір-біріне тәуелсіз бірнеше факторлардың бақылауға келмейтін (қоршаған ортадағы температураның өзгеріп тұруы, атмосфералық қысым және т.б.) іс-әрекет нәтижесінде пайда болатын қателікті айтады. Кездейсоқ қателіктер бірнеше өлшеулердің нәтижесін арнайы өңдеу арқылы ескеріледі.

Өлшеулер саны неғұрлым көп болса, соғұрлым сенімділік интервалы мен абсолютті қателік аз болады. Өлшеулер санының  $(\langle \alpha \rangle - \Delta \alpha)$ ,  $(\langle \alpha \rangle + \Delta \alpha)$  сенімділік интервалы мен абсолютті қателікке тигізетін әсері Стьюдент коэффициенті бойынша анықталады (11.1-кесте).

### $t_{\alpha}(n)$ Стьюдент коэффициенттері

10.1 кесте

n	2	3	4	5	6	7	8	9	10
t(n)	4,3	3,18	2,78	2,57	2,45	2,3	2,3	2,2	
						6	1	6	

Өлшеулер нәтижесін өңдеу барысында жасалынатын іс-әрекеттердің реті.

### Тура өлшеулер

1) а шамасының өлшеу нәтижелерін 11.2 кестеге жазады;

11.2 кесте

$\alpha = 0,95$	$t_{\alpha}(3) = 4,30$
-----------------	------------------------

$a$	$(\langle a \rangle - a_i)^2$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a}$	
$ \langle a \rangle - a_i $				
$a_1$	$ \langle a \rangle - a_1 $	$(\langle a \rangle - a_1)^2$		
$a_2$	$ \langle a \rangle - a_2 $	$(\langle a \rangle - a_2)^2$		
$a_3$	$ \langle a \rangle - a_3 $	$(\langle a \rangle - a_3)^2$		
$\langle a \rangle$	-	$\sum_{i=1}^3 (\langle a \rangle - a_i)^2$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{\langle a \rangle}$

2)

$$\langle a \rangle = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n a_i \quad (3)$$

шаманың орташа мәнін есептейді, мұндағы  $n$  - өлшеулер саны,  $a_i$  - жеке өлшеулер саны.

3) өлшенген  $\langle a \rangle$  шаманың орташа мәнінің  $a_i$  жеке өлшеулерден ауытқуын  $|\langle a \rangle - a_i|$  абсолюттік мәні бойынша есептеу;

4) осы ауытқулардың квадраттарының қосындысын;

5)

$$\sum_{i=1}^n (\langle a \rangle - a_i)^2 \quad (4)$$

формуласымен есептеу керек

$$\Delta a = t_2(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle a \rangle - a_i)^2}{n(n-1)}} \quad (5)$$

мұндағы  $t(n)$  -  $n$ -өлшеулер үшін Стюдент коэффициенті.

Алынған өлшеулердің нақтылығын анықтау үшін салыстырмалы қателікті

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \quad (6)$$

анықтау керек.

Егер екі әртүрлі физикалық шамаларды өлшеу барысында бірдей абсолют қателік жіберілген болса, онда нақтылау салыстырмалы қателігі ең аз шама дәлірек өлшенген болып шығады. Мысалы, Павлодардан Москваға дейінгі және Павлодардан Ақсуға дейінгі қашықтықты өлшеуде қателік 1 км болды. Москваға дейінгі арақашықтық дұрыс өлшенген болып шықты. Соңғы нәтижені

$$a = \langle a \rangle \pm \Delta a \quad (7)$$

түрінде жазады.

Осы өрнек  $a$  шамасының шын мәні

$$\langle a \rangle - \Delta a < a < \langle a \rangle + \Delta a \quad (8)$$

интервалында орналасқандығын көрсетеді.

**Ескерту.** Егер бірнеше өлшеулер нәтижесінде бірдей сандық мән  $a_1 = a_2 = a_3$  алынған болса, онда абсолют қателік ретінде өлшеуіш құралдың  $\Delta a$  қателігі алынады.

Өлшеуіш құралдың абсолют қателігі құралдың дәлдік класы немесе оған тең келетін екінші құралдың шкаласының ең кіші бөлігі бойынша алынады. Егер (2) өрнек бойынша  $\Delta a \leq \epsilon$  болады, онда абсолют қателік

$$\Delta a = \sqrt{t^2(n) \frac{\sum_{i=1}^n (\langle a \rangle - a_i)^2}{n(n-1)} + \left[ \frac{t(\infty)\epsilon}{3} \right]^2} \quad (9)$$

формуласы бойынша есептелінеді.

## Жанама өлшеулер

Ізделінді шаманың орташа мәнінің жанама өлшеу дәлдігінің жеке өлшеу нәтижесімен бағалау.

Бұл өңдеу әдісі тура өлшеу нәтижесі әртүрлі болғанда қолданылады. Тура өлшеу нәтижесі әртүрлі болуы әртүрлі объектіге байланысты. Мысалы, сұйықтықтың тұтқырлық коэффициентін Стокс әдісі бойынша өлшегенде зерттелініп отырған сұйықтықтағы әртүрлі шарлардың қозғалыс уақыты өлшенеді. Шарлардың диаметрлері мен сұйықтықта қозғалу әртүрлі болады, өйткені олар әртүрлі шарларға тиісті. Әр тәжірибе үшін есептелініп алынған сұйықтықтың тұтқырлық коэффициенті кездейсоқ қателіктерге байланысты болады.

Айталық  $a$  шамасы тура өлшеуде алынған нәтижелермен  $a = \frac{b}{c}$  формуласы арқылы байланысқан.

1)  $b$  және  $c$  өлшеулерінің нәтижелерін 10.3 кестеге жазу керек.

### 10.3 кесте

$\alpha = 0,95 \quad t_{\alpha}(3) = 4,30$							
№	$b$	$c$	$a = \frac{b}{c}$	$ \langle a \rangle - a_i $	$(\langle a \rangle - a_i)^2$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a}$
1	$b_1$	$c_1$	$a_1 = b_1 / c_1$	$ \langle a \rangle - a_1 $	$(\langle a \rangle - a_1)^2$		
2	$b_2$	$c_2$	$a_2 = b_2 / c_2$	$ \langle a \rangle - a_2 $	$(\langle a \rangle - a_2)^2$		
3	$b_3$	$c_3$	$a_3 = b_3 / c_3$	$ \langle a \rangle - a_3 $	$(\langle a \rangle - a_3)^2$		
Орт	-	-	$\langle a \rangle$	-	$\sum (\langle a \rangle - a_i)^2$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{\langle a \rangle}$

2) әр тәжірибе үшін ізделінді  $a$  шаманың мәнін есептеп, 11.3 кестеге жазады;

3) алынған нәтижелердің өңдеуін тура өлшеулер үшін жасалынған 2-6 пунктеріне сәйкес орындайды.

Жанама өлшеулердің дәлдігін тура өлшеулердің қателіктері бойынша бағалау.

Айталық ізделінді  $a$  шамасы тура өлшеуде алынған  $b$  және  $c$  шамаларымен байланыс формуласы  $a = \frac{b}{c}$

болсын.  $v$  және  $c$  өлшеулерінің нәтижесі тек кездейсоқ қателіктер арқылы алынады. Өлшеулер нәтижесін 4 кестеге жазады, тура өлшеулер үшін сенімділік интервалы мен орташа мәндерін және тура өлшеулердің орташа мәндері бойынша  $a$  ізделінді шаманың орташа мәнін есептеу керек.

10.4 кесте

		$\alpha = 0,95$			$t_{\alpha}(3) = 4,30$					
$\langle v \rangle$	$ \langle v \rangle - v_i $	$(\langle v \rangle - v_i)^2$	$\Delta v$	$c$	$ \langle c \rangle - c_i $	$(\langle c \rangle - c_i)^2$	$\Delta c$	$a$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{a}$
$\langle c \rangle$										
$c_1$										
$\langle v \rangle$										
$v$										
$\langle c \rangle$										
$\langle c \rangle$										
$\langle c \rangle$										
$c_2$										
$c_3$										
$\langle v \rangle$										
$\langle v \rangle$										
$\langle v \rangle$	-	$\sum (\langle v \rangle - v_i)$	$\frac{\Delta v}{\langle v \rangle}$	-	$\sum (\langle c \rangle - c_i)$	$\Delta c$	$\langle a \rangle$	$\Delta a$	$\frac{\Delta a}{\langle a \rangle}$	
$v_1$										
$v_2$										
$v_3$										

Ізделінді шаманың сенімділік интервалын екі әдіспен есептеуге болады:

1) тура өлшеулердің  $v$  және  $c$  нәтижелерінен  $a$  шамасының функционалдық тәуелділігін дифференциалдау;

$$a = f(v, c) \quad da = \frac{\partial f}{\partial v} dv + \frac{\partial f}{\partial c} dc \quad (10)$$

Ықтималдықтар теориясы бойынша бұл формулада дифференциалдарды өсімшелермен ( $\Delta b$  және  $\Delta c$  абсолют қателік) алмастыруды және абсолют ізделінді шаманы төмендегі формула бойынша есептеуге рұқсат етеді

$$\Delta a = \sqrt{\left(\frac{\partial f}{\partial b} \Delta b\right)^2 + \left(\frac{\partial f}{\partial c} \Delta c\right)^2} \quad \varepsilon = \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} \quad (11)$$

2)  $a$  шамасын  $b$  және  $c$  нәтижелері бойынша логарифмдеу және дифференциалдау.

$$a = \frac{b}{c} \quad \ln a = \ln b - \ln c \quad \frac{da}{a} = \frac{db}{b} - \frac{dc}{c} \quad (12)$$

Дифференциалды таңбасы «+» болатын өсімшелермен алмастырады, өйткені ең үлкен мүмкін болатын қателікті табу қажет

$$\varepsilon = \frac{\Delta a}{\langle a \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta b}{\langle b \rangle}\right)^2 + \left(\frac{\Delta c}{\langle c \rangle}\right)^2} \quad \Delta a = \varepsilon \langle a \rangle \quad (13)$$

Соңғы нәтижені  $a = \langle a \rangle \pm \Delta a$  түрінде жазады.

### Жуықтап есептеу әдістері

Өлшеулерді орындай отырып олардың дәлдігі аспаптардың дәлдігіне жақындатуға ұмтылу керек. Өлшеулер нәтижелеріне математикалық өңдеу жасағанда, тура өлшеулердің дәлдігімен көрсетілген дәлдікке дейін есептеудің ешқандай мағынасы жоқ.

1) сандарды дөңгелектеу ережесі

$$3,4652 \approx 3,465 \approx 3,46 \approx 3,5 \approx 4$$

2) жуықтап алынған сандарды қосқанда немесе бір-бірінен алғанда қай санда ең аз ондық таңба бар, соншама ондық таңбасын нәтижеде сақтау керек

$$23,2 + 0,442 + 7,247 \approx 23,2 + 0,44 + 7,25 \approx 30,9$$

3) жуықтап алынған сандарды көбейткенде, бөлгенде, дәрежеге шығарғанда, түбір алғанда, логарифмдегенде нәтижесін осы сандардың үтірден кейінгі цифрлер (нөлден басқа цифрлер) саны ең аз сан бойынша алынады

$$30,9 \cdot 1,8364 \approx 30,9 \cdot 1,84 = 56,856 \approx 56,9$$

$$11,38^2 = 129,5044 \approx 129,5$$

4) кестелік шамаларды дәл өлшенбеген шамадан бір цифрге артық болатындай дөңгелектеу керек. Сонымен қатар олардың қателіктерін ескермеуге болады. Мысалы, дөңгелектің  $S = \frac{\pi D^2}{4}$ ,  $\pi = 3,141! \dots$  болсын.

Диаметрді микрометрмен өлшегенде мынадай нәтиже алынды:  $D = 20,51$  мм (төрт мәнді цифрлер).  $\pi$  бұл жағдайда бес мәнді цифрге дейін дөңгелектейді ( $\pi = 3,141!$ ).

Өлшеулердің абсолют қателіктерінен бір мәнді цифрлер қалдырады. Шамаларды өлшегенде алынған нәтижені абсолют қателікте бар болатын ретке дейін дөңгелектейді

$$\langle V \rangle = 20,3151 \text{ м}^3 = 20,3 \text{ м}^3 \quad (14)$$

$$\Delta V = 0,153 = 0,2 \text{ м}^3 \quad (15)$$

$$V = (20,3 \pm 0,2) \text{ м}^3 \quad (16)$$

Аралық нәтижелерді есептегенде жоғарыда көрсетілген цифрлерден бір цифрге артық алу керек. Соңғы нәтижені жазғанда сол цифрді алып тастайды.

Жоғарыда көрсетілген ережелер эксперименттік есептерді уақытты үнемдеуге және ең тиімді нәтижені алуда көп көмегін тигізеді.

### Бақылау сұрақтары

1. Физикалық шаманы өлшеу дегенді қалай түсінуге болады?
2. Қандай өлшеулер тура, жанама деп аталынады?
3. Өлшеулер қателігі нешеге бөлінеді?

## № 11 Зертханалық жұмыс. Дұрыс геометриялық формалы дененің көлемін анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** штангенциркуль мен микрометрдің көмегімен сызықты шамаларды өлшеуді; техникалық таразымен өлшеуді; абсолютті және салыстырмалы қателіктерді есептеуді үйрену.

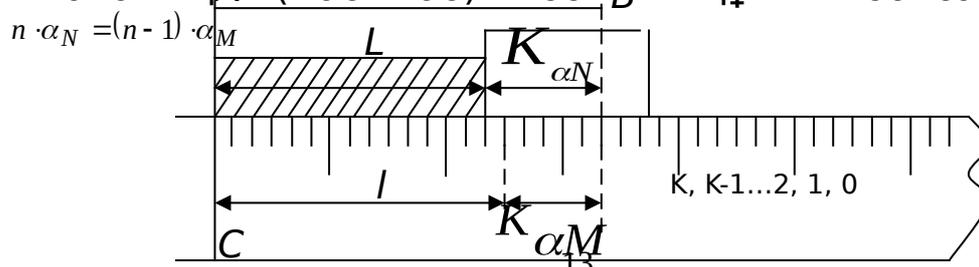
**Құрал-жабдықтар:** штангенциркуль, микрометр, зерттелетін дене.

### Теориялық кіріспе

Қандай да бір дененің ұзындығын миллиметрлік масштабпен өлшей отырып, біз тек бүтін миллиметрді көрсететін цифрларға сене саламыз. Миллиметрдің ондық бөлігіне қатысты, көз мөлшермен өлшеу жүргізген кезде максималды қателік шкаланың бір бөлігінің жартысынан көбірек болады. Сөйтіп, егер шкала миллиметрлерге бөлінген болса, онда оның максималды қателігі 0,5 мм болады, ал егер шкала жарты миллиметрге бөлінген болса, онда оның максимал қателігі 0,25 мм болады. Миллиметрдің ондық бөлігіне дейінгі дәлдікпен сызықтық өлшемдерді алу үшін нониусты қолданады.

**Сызықтық нониус** – негізгі шкала бойымен жылжи алатын, 10, 20, 25 немесе 50 бөліктен тұратын шағын сызғыш. Көрсетілген бөліктер шкаланың бір бөлігінің ұзындығы нониустың  $n$  бөлігіне тең болатындай етіп жүргізіледі (11.1 сурет).

Егер  $\alpha_N$  және  $\alpha_M$  – сәйкесінше нониуспен негізгі шкаланың  $A$  (масштаб) бөлік құны болса, онда



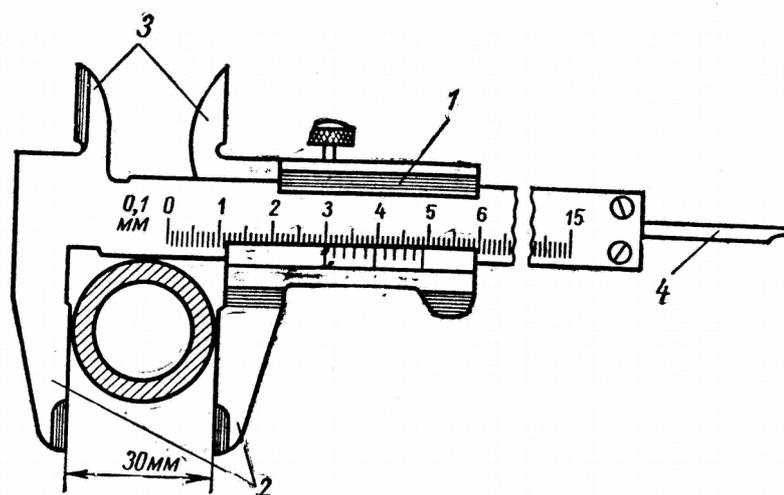
11.1 сурет

$\alpha_M - \alpha_N$  айырымы нониустың дәлдігі деп аталады.

Егер, мысалы, негізгі шкала миллиметрлерге бөлінген болса, және нониуста бөліктер болмаса, онда оның дәлдігі 0,1 мм болады

$$\alpha_M - \alpha_N = \frac{\alpha_M}{n} = \frac{1\text{мм}}{10} = 0,1\text{мм} \quad (1)$$

Тәжірибеде нониусты қолдану қиынға соқпайды. Ұсынылып отырған жұмыста детальдардың сызықтық өлшемдерін өлшеу үшін келесі өлшеу құралдары қолданылады: штангенциркуль және микрометр. Штангенциркуль 25-30 см-ден аспайтын ұзындықтарды өлшеуге арналған. Оның дәлдігі 0,1-ден 0,02 мм-ге дейін болады (дәлдігі нониуста көрсетіледі)



11.2 сурет

Қозғала алатын бөлік нониус (1) пен бекітуші винттан (5) құралады. Құралдың нөлдік көрсету кезінде

нониустың нөлі негізгі шкаланың нөлімен сәйкес келеді. Өлшенетін денені нониус пен негізгі шкаланың аяқтарының (2) арасына орналастырады. Нониустың аяғын жылжыту арқылы денені жайлап қысады да, нониустың қалпын винтпен бекітеді.

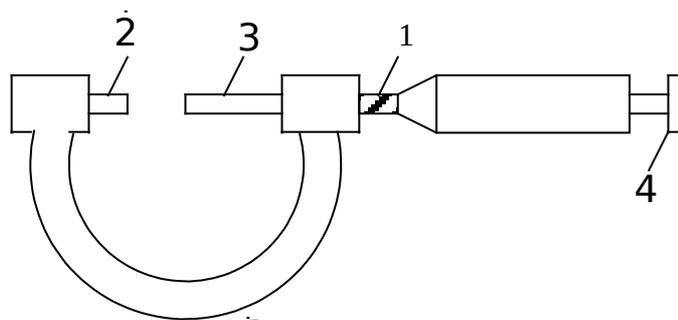
Дененің алып тұрған толық бөліктің санын  $l$  анықтап, нониустың қандай бөлігі  $K$  негізгі шкаланың қандайда бір бөлігіне сәйкес немесе жақын орналасқандығын байқайды.

11.2 суретте  $l=10\text{мм}$ ,  $K=4\text{мм}$ ;  $K$ -ны нониустың дәлдігіне  $0,1$  көбейтіп  $l$ -ға қосу арқылы дененің ұзындығын анықтайды

$$\alpha = l \cdot \alpha_M + K(\alpha_M - \alpha_N), \text{ яғни } \alpha = 10\text{мм} + 4 \cdot 0,1\text{мм} = 10,4\text{мм} \quad (2)$$

Ішкі өлшемдерді, мысалы, цилиндрдің ішкі диаметрін, өлшеу үшін (3) сыртқы қырлары тегіс аяқтар қолданылады. Штангенциркуль әдетте (4) сызғышпен қамтылады, ол тереңдікті өлшеу үшін қажет болады.

Аса дәл өлшеу жүргізу үшін микрометр қолданылады (11.3 сурет).



11.3 сурет

Микрометр стерженьмен доғадан (11.3 сурет) тұрады. Дененің өлшемдерін алған кезде, оны (2) стержень мен қозғалмалы винттің (3) арасына орналастырылады. Винт (4) трещетканы бұрау арқылы қозғалысқа келеді. Трещетканың көмегімен винттің денемен жанасқанын аңғарады. Осымен қатар (1) барабанның корпусы айналады да, стерженьге қатысты ілгерімелі қозғалады. Есеп горизонталь және

барабанның шкаласы бойынша жүргізіледі. Горизонталь шкала стержень бойымен жүргізілген түзу сызықтың екі жағында да болады. Әр шкаланың бөлік құны 1 мм. Жоғарғы шкала төменгіге қатысты 0,5 мм-ге ығысқан. Бұл бізге өлшеуді 0,5 мм дәлдікпен жүргізуге мүмкіндік береді. Ал миллиметрдің жүздік бөлігі барабанның шкаласы бойынша есептеледі. Алдымен оның бөлік құнын анықтайық

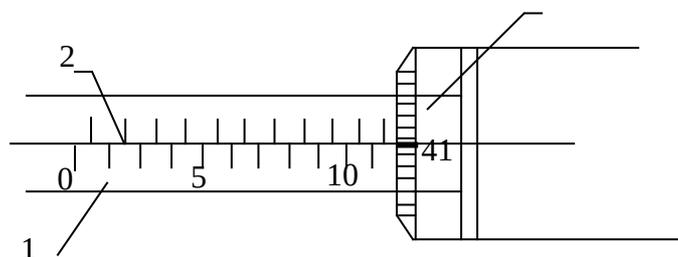
$$\alpha = \frac{h}{n} \quad (3)$$

мұндағы

$h$  – микровинттің қадамы. Ол барабанның бір толық айналым жасағанда винт қанша бөлікке ілгерімелі қозғалғандығын көрсетеді.

$n$  – барабандағы бөліктер саны.

Барабандағы шкала микрометрдің нониусы болып табылады. Жүздік бөлік саны стержень бойындағы сызыққа сәйкес келген цифрмен анықталады. Дененің өлшемдерін алу үшін горизонталь шкала бойыша алынған шамаға барабан шкаласында алынған шаманы қосу керек (11.4 сурет).



11.4 сурет

Мысалы, 4 суретте төменгі горизонталь шкала бойынша бүтін миллиметрдің санына (1), жоғары шкала бойынша 0,5 мм-ді қосамыз, ал жүздік бөлігіне барабаннан 41 бөлікті аламыз. Сонан соң 41-ді барабан шкаласының дәлдігіне ( $a=0,01\text{мм}$ ) көбейтеміз.

Сөйтіп, дененің ұзындығы немесе диаметрі мынаған тең екен

$$11\text{мм} + 0,5\text{мм} + 0,41 = 11,91\text{мм} \quad (4)$$

Өлшеудің алдында құралды тексеріп алу қажет. Яғни, нөлдік көрсету кезінде барабанның қыры горизонталь шкаланың нөліне сәйкес келе ме, жоқ па? Егер де дәл келмесе, онда өлшеу жүргізгенде оны ескеру қажет.

### Жұмыс формуласы және қателіктер формуласы

Жұмыста цилиндр тәрізді дене зерттеледі. Оның көлемі  $V = h\pi r^2$  формуламен анықталады. Жұмыста диаметр өлшенетіндіктен бұл формуланы былай жазамыз  $V = \frac{\pi D^2}{4} \cdot h$ , мұндағы  $D$  - цилиндр диаметрі,  $h$  - цилиндр биіктігі.

Салыстырмалы қателік

$$\varepsilon_v = \frac{\Delta \bar{V}}{\bar{V}} = \frac{\Delta \pi}{\pi} + \frac{2\Delta D}{D} + \frac{\Delta h}{h} \quad (5)$$

Абсолютті қателік

$$\Delta \bar{V} = \varepsilon \cdot \bar{V} \quad (6)$$

Өлшеу нәтижесі

$$V = (\bar{V} \pm \Delta \bar{V}) \text{ см}^3 \quad (7)$$

### Жұмысты орындау тәртібі:

- 1) цилиндрдің биіктігін штангенциркульдің көмегімен 3 жерден өлшейді.  $\Delta h$  - абсолют қателік;
- 2) микрометрдің көмегімен 3 жерден диаметрді өлшейді.  $\Delta D$  - табады;
- 3) нәтижелерді кестеге енгізеді.

11.1 кесте

$n$	$h$	$\bar{h} - h_i$	$(\bar{h} - h_i)^2$	$t(\frac{1}{n})$	$\Delta h$	$D$	$D - D_i$	$(D - D_i)^2$	$\Delta D$	$<v$	$>$	$\Delta v$	

										$\varepsilon_v = \frac{1}{4}$	
1											
2											
3											
Ор											

### Бақылау сұрақтары

1. Нониус не үшін қажет?
2. Нониустың дәлдігін қалай анықтайды?
3. Бөлік саны 50-ге тең барабанның бөлік құны?
4. Қандай өлшеулер тура және жанама деп аталады?
5. Тура өлшеу кезінде абсолют қателікті қалай анықтайды?
6. Тура немесе жанама өлшеулерді жүргізгенде салыстырмалы қателікті қалай анықтайды?

### № 12 Зертханалық жұмыс. Өткізгіштердің кедергісін оның геометриялық өлшемдері бойынша анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** денелердің сызықты өлшемдерін штангенциркуль мен микрометр көмегімен өлшеуді және өлшеудің нәтижелерін өңдеуді үйрену.

### Теориялық кіріспе

Денелердің сызықты өлшемдерін берілген дәлдікпен өлшеу көптеген экспериментальдық есептерді шешуге қажетті.

Осы жұмыста өткізгіштің кедергісін, оның сызықты өлшемдері бойынша, келесі формуламен анықталады

$$R = \rho \frac{l}{S} \quad (1)$$

мұндағы

$R$  - өткізгіштің еркін зарядтарының реттелген қозғалысының жылдамдығын азайту, яғни өткізгіштегі ток күшін шектеу қасиетін сипаттайтын өткізгіштің кедергісі;

$\rho$  - сан-мәні бойынша ұзындығы 1 м және көлденең қимасының ауданы 1 м<sup>2</sup> -қа тең өткізгіштің кедергісіне сәйкес келетін, сол заттан жасалған, өткізгіштің меншікті кедергісі (БХЖ-де меншікті кедергі Ом·м-мен өлшенеді);

$l$  - өткізгіштің ұзындығы;

$S$  - өткізгіштің көлденең қимасының ауданы.

Егер өткізгіш цилиндр тәріздес формаға (қалыпқа) ие болса, онда кедергіні келесі формула арқылы анықтауға болады

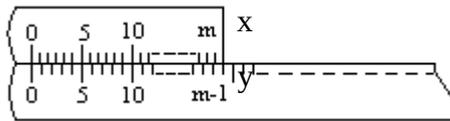
$$R = \frac{4\rho l}{\pi D^2}, \text{ себебі } S = \frac{\pi D^2}{4} \quad (2)$$

мұндағы  $D$  - өткізгіштің диаметрі.

Жұмыс өткізгіштің ұзындығы мен диаметрін өлшеуден құралады. Сызықты өлшеулердің дәлдігі сызықты нониусты және микрометрлік бұранданы қолдану кезінде артады.

**Сызықты нониус** өлшеудің дәлдігін 10-20 есе арттыруға мүмкіндік туғызатын, қалыпты масштабқа толықтыруды нониус деп атайды. Сызықты нониус дегеніміз масштаб деп аталатын үлкен сызғыштың бойымен қозғала (жылжи) алатын бөліктері бар кішкене сызғыш. Әдетте, нониустағы бөліктен нониустың бір бөлігі  $\frac{m-1}{m} = 1 - \frac{1}{m}$  масштаб бөлігін құрайтындай етіп (жасалады) сызылады, мұндағы  $m$  - нониустың бөліктер саны. Сондықтан, нониусты қолданып, масштабтың ең кіші бөлігіне дейінгі дәлдікпен өлшеулерді жүргізуге болады.

Айталық нониустың көршілес штрихтарының арақашықтығы -  $l$ , ал масштабтың көршілес штрихтарының арақашықтығы  $u$  болсын (12.1 сурет).



1 сурет

Онда

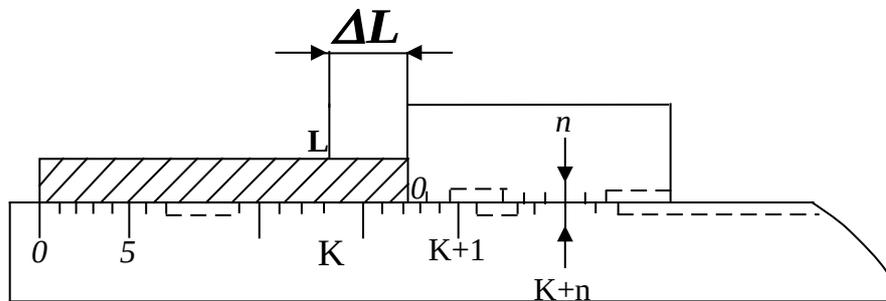
$$x = y - \frac{y}{m} \text{ және } mx = (m - 1)y \quad (3)$$

болады.

$\Delta x = y - x = \frac{y}{m}$  шамасы нониустың дәлдігі деп аталады.

Ол нониустың максималды қателігін анықтайды. Масштабтың жеткілікті кіші бөліктерінде нониустың бір бөлігі масштаб бөлігінің біреуіне сәйкес келеді. Нониус бойынша өлшеу көздің осы сәйкестікті белгілеу (анықтау) қабілетіне негізделген.

Сызықты нониус көмегімен өлшеу үрдісін (процесін) қарастырайық (12.2 сурет).



12.2 сурет

айталық,  $L$  - өлшенетін кесіндінің ұзындығы болсын. Кесіндінің бір басына негізгі масштабтың нөлдік бөлігін келтірейік. Ал екінші ұшы осы масштабтың  $K$ -сыншы және  $(K+1)$ -ші бөліктерінің аралығында болсын делік. Онда

$$L = Ky + \Delta L \quad (4)$$

деп жазуға болады, мұндағы  $\Delta L$  - масштабтың  $K$ -сыншы бөлігінің, әзірше, белгісіз үлесі (доля).

Енді, нониустың нөлі кесіндінің соңына сәйкес келетіндей етіп нониусты орнатамыз. Нониустың бөліктері масштаб бөліктеріне тең болмағандықтан, міндетті түрде, масштабтың  $(K+1)$ -ші бөлігіне неғұрлым жақын орналасқан бөлік табылады. 12.2 суретте көрсетілгендей

$$\Delta L = ny - nx = n(y - x) = n\Delta x \quad (5)$$

және, солай болғандықтан

$$L = Ky + n\frac{y}{m} \quad (6)$$

Нәтижені келесі түрде тұжырымдауға болады: нониустың көмегімен өлшенетін кесіндінің ұзындығы масштабтың толық бөліктерінің санына масштабтың әлдебір бөлігімен нониустың сәйкес келетін бөлігінің нөмірін нониустың дәлдігіне көбейтіп қосқанға тең болады.

**Микрометрлік бұранда** бұл бұранданың бүкіл ұзындығына қадамы (бұранданы бір айналымға бұрғанда оның ұшының қозғалысының шамасы) тұрақты болатын бұранда. Өлшеулерді жүргізу мақсатында микрометрлік бұранды дабыл не дағыра (барабан) деп аталатын бөліктері бар ерекше баспен (бүркеншекпен, орысша головка) жабдықталған. Егер дағырада бірқалыпты  $n$  бөлік белгіленсе, онда бір бөлікке бұру кезінде бұранда ілгерілмелі  $\frac{h}{n}$  мм-ге ығысады.  $\frac{h}{n}$  шамасы микрометрлік бұранданың дәлдігі болып табылады. Дағырдың бір айналымнан аз бұрылысы кезіндегі ығысуы бұранданың  $\frac{h}{n}$  дәлдігін дағырдың бұрылған бөлігінің санына көбейту арқылы анықталады.

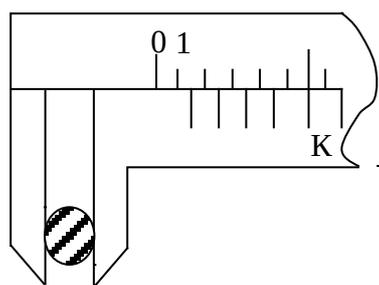
Микрометрлік бұрандалы аспаппен өлшенген денелердің өлшемдерінің өлшеу дәлдігі 0,01-0,005 мм. Микрометрлік бұрандалар микрометрлерді құрастырғанда қолданылады.

### Зертханалық қондырғы және өлшеу әдісі

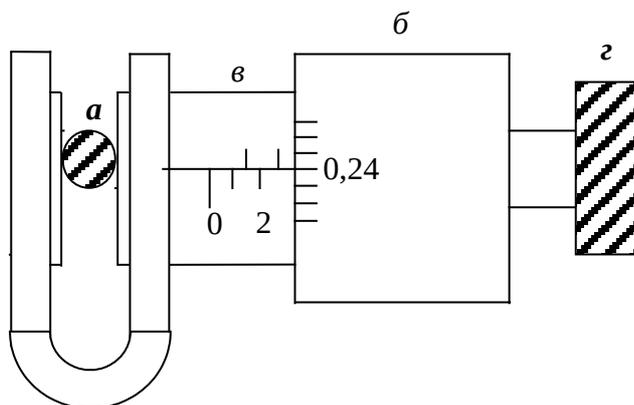
**Штангенциркуль** - біреуі сызғышпен бекітілген, ал екіншісі сызғыш бойымен еркін қозғала алатын екі аяғы бар металл сызғыштан тұратын өлшеу құралы (12.3 сурет). Қысқыш бұрандалы жабдықталған қозғалмалы аяғында нониус орнатылған. Аспаптың нөлдік көрсеткіші кезінде нониус нөлі негізгі шкала - масштаб нөліне сәйкес келеді. Өлшенетін объект штангенциркульдің қозғалмайтын және нониус-бұрандамен бекітіледі.

Негізгі шкала бойынша денемен алынатын бүтін бөліктердің санын анықтап, негізгі шкаланың қандайда бір бөлігіне неғұрлым жақын орналасқан нониустың бөлігінің нөмірін белгілеп алып, (3) формула бойынша объектінің өлшемдерін анықтайды.

12.3 суретте келтірілген мысалдағы дененің өлшемі, көрсетулерге қарағанда мынаған тең  $L=I+K$ .



12.3 сурет



12.4 сурет

**Микрометр** - шомбал металды құлақ (массивная металлическая скоба) (12.4 сурет). Ол келесілерден құралады: қозғалмайтын тірек «а», микрометрлік бұранда «б»; сызықты шкала «в», ол жоғарғы және

төменгі болып бөлінеді, сонымен бірге жоғарғы бөліктер төменгі бөліктерді қақ ортасына бөледі.

12.4 суретте дағырында 50 бөлігі бар бұрандасының қадамы 0,5 мм болатын микрометр көрсетілген. Дағырдан солға қарай 2 толық және 0,5 бөлік анық көрініп тұр, сондықтан, объекттің өлшемі келесідей болады

$$2 \text{ мм} + 0,5 \text{ мм} + 0,24 \text{ мм} = 2,74 \text{ мм} \quad (7)$$

Өлшеніп отырған денені бірқалыпты қыспау қателердің басты көз болып табылады. Осы қателікті жою үшін микрометр қатты қысуды болдырмайтын тетікпен жабдықталған. Мұндай тетіктердің жұмысы бұранда стержені мен бұранданы бұратын «г» бас (головка), арасындағы үйкеліске негізделген. Қысылған кезде әлсін шертуден кейін «г» өзі ғана бос сатыры естіледі де айнала береді. Осы кезде дағырға тиісуге болмайды.

### **Жұмысты орындау тәртібі:**

- 1) өткізгіштің  $l$  ұзындығын штангенциркульмен,  $D$  диаметрін микрометрмен кем дегенде бес рет өлшейді;
- 2) осы шамалардың арифметикалық орташаларын есептейді

$$\langle l \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n l_i}{n} \quad \langle D \rangle = \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{n} \quad (8)$$

3) өлшеулердің  $n$  санына  $\alpha = 0,95$  сенімділікте  $t(n)$  Стьюдент коэффициентін қолдана отырып  $\Delta l$  және  $\Delta D$  абсолют қателіктерді келесі формулалар бойынша анықтайды

$$\Delta D = t(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle D \rangle - D_i)^2}{n(n-1)}} \quad \text{және} \quad \Delta l = t(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle l \rangle - l_i)^2}{n(n-1)}} \quad (9)$$

4) өткізгіштің кедергісінің орташа мәнін есептейді  
 $\langle R \rangle = \frac{4\rho\langle l \rangle}{\pi\langle D \rangle^2}$  және  $\rho$ -дің сандық мәндерін ең дәл емес көбейткіштің санынан бір цифрға көп болатындай етіп дөңгелектейді.

5) тікелей өлшеулердің қателіктері бойынша кедергінің салыстырмалы  $\varepsilon$  және абсолют  $\Delta R$  қателіктерін есептейді

$$\Delta R = \varepsilon \langle R \rangle \quad \text{және} \quad \varepsilon = \frac{\Delta R}{\langle R \rangle} = \sqrt{\left(\frac{\Delta l}{\langle l \rangle}\right)^2 + 2 \left(\frac{\Delta D}{\langle D \rangle}\right)^2} \quad (10)$$

6) өлшеулер мен есептеулердің нәтижелерін төмендегі кестеге енгізеді

$l_i, \text{ м}$ $(\langle l \rangle - l_i)$ м	$\Delta l, \text{ м}$	$D_i, \text{ м}$	$(\langle D \rangle - D_i)$ м	$\Delta D, \text{ м}$	$\langle R \rangle, \text{ Ом}$	$\Delta R$	$\varepsilon, \%$	

7) соңғы нәтижені төмендегідей сенімділік интервалы түрінде.

$$R = (\langle R \rangle \pm \Delta R) \text{ Ом} \quad (11)$$

	20°C температура кезіндегі меншікті кедергі 10 <sup>-8</sup> Ом·м
Алюминий	2,53812
Мыс	1,72353
Жез	7,21581

### Бақылау сұрақтары

1. Масштаб дегеніміз не? Олар немен ерекшеленеді?
2. Штангенциркульдің құрылысы мен не үшін қолданылатын айтып бер.
3. Микрометр туралы түсінік бер.
4. Егер штангенциркуль де, микрометр де бар болса, қандай аспапты қолдану керек? Жауапты негізде.
5. Өткізгіштің геометриялық өлшемдері бойынша кедергісін анықтауға болатын жұмыс формуласын қорытып шығар.

### **Қауіпсіздік шаралары**

Жұмысты орындау барысында қауіпсіздік техникасының және өрт қауіпсіздігінің жалпы талаптарын сақтау қажетті.

### **№13 Зертханалық жұмыс. Баллистикалық маятниктің көмегімен оқтың ұшу жылдамдығын анықтау**

**Жұмыстың мақсаты:** оқтың ұшу жылдамдығын өлшеу үшін сақталу заңдарын қолдану.

### **Теориялық кіріспе**

Берілген жұмыста келесі заңдар қолданылады:

**Импульстің сақталу заңы** - тұйық жүйедегі денелердің импульсі тұрақты болып қалады.

$$\sum_{i=1}^n \vec{P}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const \quad (1)$$

мұндағы  $P_i$  - импульс,  $m_i$  - масса,  $v_i$  -  $i$ -ші дененің жылдамдығы, немесе тұйық жүйедегі денелердің әрекеттескенге дейінгі импульстар

қосындысы әрекеттескеннен кейінгі импульстар қосындысына тең.

**Жүйе тұйық** деп аталады, егер оған сыртқы күштер әсер етпесе немесе олардың қосындысы нөлге тең болса.

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (2)$$

**Толық механикалық энергияның сақталу заңы:** тұйық жүйедегі денелердің толық механикалық энергиясы өзгеріссіз болып қалады, егер арасында тек қана консервативті күштер әсер ететін болса. Толық механикалық энергия кинетикалық және потенциалдық энергияларының қосындысынан тұрады.

Дененің **кинетикалық энергиясы** - оның механикалық қозғалысының мөлшері болып табылады және дененің берілген қозғалысын іске асыру үшін орындалатын жұмыспен анықталады  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ .

Жүйенің потенциалдық энергиясы денелердің өзара орналасуымен және олардың арасындағы өзара әрекеттесу сипаттамасымен анықталады. Егер дененің орын ауыстыруы кезіндегі күштермен орындалатын жұмыс траектория формасынан тәуелсіз, тек қана бастапқы және соңғы орынға тәуелді болса, онда мұндай өріс потенциалды, ал күштер консервативті деп аталады (мысалы, тартылыс күштері)  $E_n = mgh$ .

Егер орындалатын жұмыс дененің бір нүктеден екінші нүктеге қозғалыс траекториясынан тәуелді болса, онда мұндай күштер диссипативті деп аталады (мысалы, үйкеліс күштері).

### **Лабораториялық қондырғы және өлшеу әдістері**

Баллистикалық маятник болып ұзын жіптерге ілінген, массасы “М” цилиндр тәрізді дене болып табылады (сурет). Цилиндр түбінде көрсеткіш орнатылған, цилиндрге оқ түскеннен кейін, ол горизонталь шкала бойымен S қашықтыққа ауытқиды. Егер маятник массасы M оқ массасынан m көп үлкен

болса, онда маятник инерттілігі үлкен, яғни “маятник-оқ” жүйесін тұйық деп санауға болады және оған сақталу заңдарын қолдануға болады.

Маятник пен оқтың әсерлесуі серпімсіз болады, сондықтан импульстің сақталу заңы келесі түрде жазылады

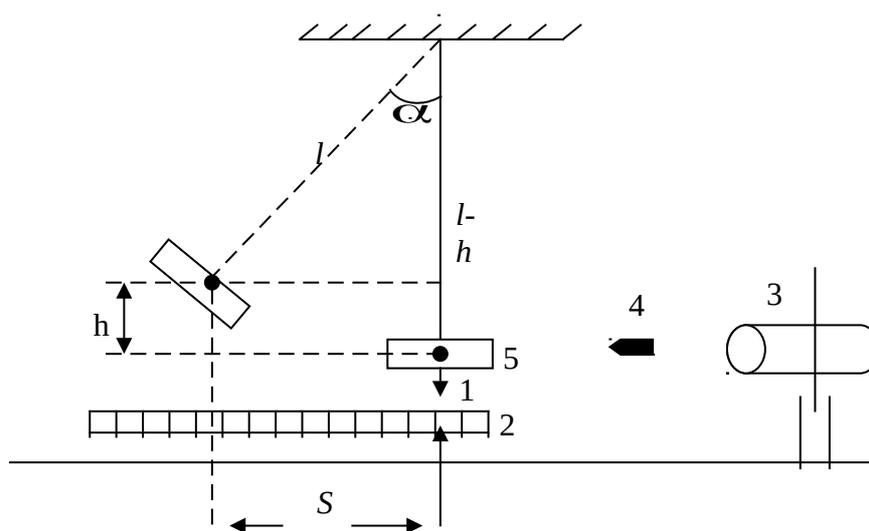
$$mV = (M + m)V' \quad (3)$$

мұндағы  $V$  - әсерлескенге дейінгі оқтың жылдамдығы,  $V'$  - әсерлескеннен кейінгі жүйенің жылдамдығы. (2) теңдеуінен оқ жылдамдығы

$$V = \frac{M + m}{m} V' \quad (4)$$

1 - маятник орнының көрсеткіші; 2 - горизонталь шкала; 3 - серіппелі пистолет; 4 - оқ; 5 - баллистикалық маятниктің цилиндрі.

Әсерлескеннен кейін цилиндр және оқ  $\alpha$  бұрышқа ауытқиды, ал олардың ауырлық орталығы  $h$  биіктікке көтеріледі (сур). Цилиндр максималды ауытқыған кезде оның жылдамдығы нөлге дейін кемиді де кинетикалық энергия потенциалдық энергияға ауысады.



13.1 сурет

$$\frac{(M+m)V^2}{2} = (M+m)gh \Rightarrow v' = \sqrt{2gh} \quad (5)$$

$h$  және  $S$  арасындағы қатынасты табамыз. Суреттен көрініп тұрғандай

$$h = l - l \cos \alpha = l(1 - \cos \alpha) = 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (6)$$

мұндағы  $l$  - жіп ұзындығы.

Кіші бұрыштар үшін  $\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{\alpha}{2}$ . Онда (5) келесі түрде болады

$$h = \frac{l\alpha^2}{2} \quad (7)$$

бірақ  $l\alpha = S$ , сондықтан

$$h = \frac{S^2}{2l} \quad (8)$$

(4) және (7) (3)-ке қойсақ, оқтың жылдамдығын анықтайтын жұмыс формуласын табамыз

$$v = \frac{M+m}{m} \cdot \langle S \rangle \sqrt{\frac{g}{l}} \quad (9)$$

мұндағы  $v$  - оқтың жылдамдығы, м/с;  $m$  - оқтың массасы, кг;  $M$  - цилиндр массасы, кг;  $l$  - жіптің ұзындығы (қондырғыда көрсетілген);  $\langle S \rangle$  - тепе-теңдік күйден цилиндрдің орташа ауытқуы (горизонталь шкала бойымен анықталады);  $g$  - еркін түсу үдеуі, 9,8 м/с<sup>2</sup>.

Қателіктер формулалары

$$\Delta S = t_{\alpha}(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle S \rangle - S_i)^2}{n(n-1)}} \quad (10)$$

мұндағы  $\Delta S$  - цилиндр ауытқуының абсолют қателігі;  $t_{\alpha}(n)$  -Стюдент коэффициенті (кестеден алынады);  $n$  - өлшеулер саны;  $\langle S \rangle$  - орташа ауытқу;  $S_i$  - еке ауытқудың шамасы.

$$\varepsilon = \frac{\Delta m + \Delta M}{m + M} + \frac{\Delta m}{m} + \frac{\Delta S}{\langle S \rangle} + \frac{1}{2} \cdot \frac{\Delta l}{l} \quad (11)$$

мұндағы  $\Delta m, \Delta M, \Delta l$ - сәйкесінше оқтың, цилиндрдің және жіптің абсолют қателіктері (қондырғыда көрсетілген);  $\varepsilon$  - салыстырмалы қателік

$$\varepsilon = \frac{\Delta v}{\langle v \rangle} \rightarrow \Delta v = \langle v \rangle \cdot \varepsilon \quad (12)$$

мұндағы  $\Delta v$  - оқ жылдамдығының абсолют қателігі.

### Жұмыстың орындалу тәртібі:

1) қондырғының жұмысқа дайын екенін тексеру, яғни маятниктің және серіппелі пистолеттің симметрия осі горизонталь бойымен бағытталған және сәйкес келуі керек. Соқтығыс орталық және серпімсіз болуы керек (оқ цилиндрден шығып кетпеуі керек);

2) көрсеткішті горизонталь шкаланың нөліне сәйкес болуы керек;

3) серіппелі пистолеттен цилиндрге оқ атып, ауытқуды белгілеу керек. Бір қашықтықтан сол оқпен 5-7 рет тәжірибені қайталау керек;

4) жұмыс формуласының көмегімен оқтың ұшу жылдамдығын анықтау керек;

5) қателіктер формулалары арқылы өлшемдердің және өлшеулердің абсолют және салыстырмалы қателіктерін анықтау керек;

6) нәтижелерді кестеге енгізу керек.

$m$	$\Delta m$	$M$	$\Delta M$	$l$	$\Delta l$	$S_i$	$\langle S \rangle - S_i$	$(\langle S \rangle - S_i)^2$	$\Delta S$	$\langle v \rangle$ м	$\Delta v$	$\frac{\Delta v}{v}$
кг	кг	кг	кг	м	м	м	м	м <sup>2</sup>	м	м/с	м/с	


Соңғы нәтижені келесі түрде жазу керек

$$v = (\langle v \rangle \pm \Delta v), \frac{m}{c} \quad (13)$$

### Бақылау сұрақтары

1. Импульстің және механикалық энергияның сақталу заңдарын түсіндіріңдер.
2. Тұйық жүйеге анықтама беріңдер.
3. Қандай энергия кинетикалық деп аталады? Потенциалдық?
4. Қандай өрістер потенциалды деп аталады?
5. Қандай күштер консервативті деп аталады?
6. Жұмыс формуласын қорытындылаңдар.

### №14 Зертханалық жұмыс. Обербек маятнігінің инерция моментін динамикалық әдіс арқылы анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңын күрделі қалыптағы дененің инерция моментін анықтауға қолдану

#### Теориялық кіріспе

**Қатты дененің айналмалы қозғалысы** дегеніміз қозғалыс кезінде оның барлық нүктелері айналыс осі деп аталатын қозғалмайтын түзуге перпендикуляр шеңбер сызатын қозғалыс. Айналмалы қозғалыс кезінде дененің әр түрлі нүктелері әр түрлі радиусты шеңбер бойымен қозғалып, бірдей уақыт аралығында әр түрлі

жол жүреді. Осы қозғалысты сипаттау үшін келесі шамалар еңгізіледі:

1) Бұрыштық орын ауыстыру векторы (бұрылу бұрышы) -  $d\varphi$ ;

2) Бұрыштық жылдамдық векторы  $\vec{\omega} = \frac{d\varphi}{dt}$ . Бұл бұрыштық орын ауыстырудың уақыт бойынша бірінші туындысы. Бұрыштық жылдамдық  $\omega$  векторының бағыты вектордың соңынан қарағанда дененің айналысы сағат тіліне қарсы болып, ось бойымен бағытталады (1 сурет).

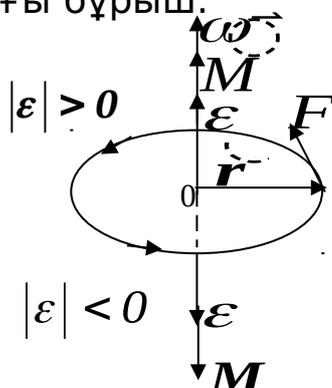
3) Бұрыштық үдеу  $\varepsilon$ . Ол бұрыштық жылдамдық векторының уақыт бойынша бірінші туындысы немесе бұрыштық орын ауыстырудың уақыт бойынша екінші туындысы

$$\vec{\varepsilon} = \frac{d\omega}{dt} = \frac{d^2\varphi}{dt^2} \quad (1)$$

Бұрыштық үдеу векторы бұрыштық жылдамдық сияқты бағытталған, егер қозғалыс үдемелі болса,  $\varepsilon > 0$ , кемімелі болған жағдайда  $\varepsilon < 0$  (1 сурет).

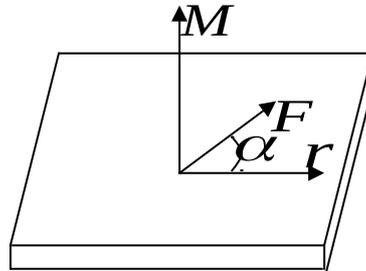
4) Айналыстың момент векторы  $M$  немесе күш моменті қозғалмайтын оське қатысты күштің айналыстың эффектін сипаттайды. Ол айналу осінен күш түскен нүктеге жүргізілген  $r$  радиус-вектормен айналу жазықтығында жатқан күш векторының құраушысының векторлық көбейтіндісіне тең.

Вектордың модулі  $|M| = |r| \cdot |F| \cdot \sin \alpha$ , мұндағы  $\alpha$  бұрышы  $r$  мен  $F$  арасындағы бұрыш.



## 14.1 сурет

$|M| = |r| \cdot |F| \cdot \sin \alpha$  модулінің векторы, мұндағы  $\alpha$  -  $r$  және  $F$  векторлары арасындағы бұрыш.



## 14.2

### сурет

5) Инерция моменті  $J$ . Дененің немесе денелер жүйесінің қозғалмайтын оське қатысты инерция моменті сол остен айналуына байланысты инерттілік шамасы болып табылады. Ол өске қатысты массаның үлесуіне тәуелді скаляр шама. Материялық нүкте үшін  $J = mr^2$ , мұндағы  $m$ -нүктенің массасы,  $r$ -нүктеден айналу өсіне дейін қашықтық. Қатты дененің айналу өсіне қатысты инерция моменті деп материялық нүктелер жиынының массасының қарастырылып отырған өске дейінгі қашықтықтың квадратының көбейтіндісіне тең болатын физикалық шаманы айтады

$$J = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \quad (2)$$

мұндағы  $N$  - материялық нүктелер саны.

Массалардың үздіксіз үлестірілген жағдайында бұл қосынды келесі интегралға келеді:

$$J = \int r^2 dm \quad (3)$$

мұнда дененің барлық көлемі бойынша интегралданады. Осы жағдайда  $r$  шамасы  $x, y, z$  координаттарымен нүктенің орналасу функциясы болады, ал  $dm$  - элемент массасы.

Инерция моменті массаға ұқсас. Егер  $J=const$  болса, оны қозғалмайтын өске қатысты айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңынан табуға болады

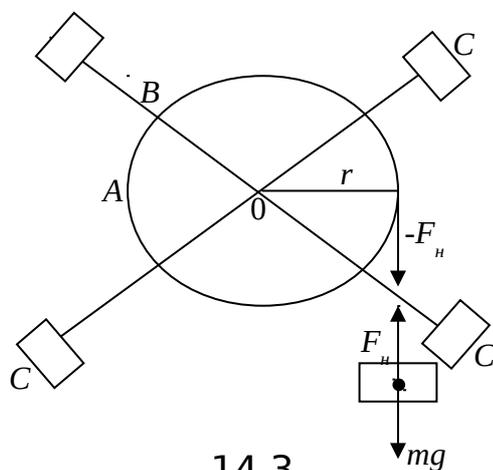
$$J = \frac{M}{\varepsilon} \quad (4)$$

мұндағы  $\varepsilon$  – бұрыштық үдеу.

### Қондырғы мен өлшеу әдісінің сипаттамасы

Обербек маятнигі (3 сурет) радиусы  $r$ ,  $O$  - оське бекітілген  $A$  шкивтен, оған өзара тік бұрыш ( $90^\circ$ ) жасай орналасқан төрт шабақтан және төрт бірдей цилиндр тәріздес, өське бірдей қашықтықта шабаққа орнатуға болатын жүктен тұрады.

$A$ -шкив;  $B$ -шабақ;  $C$ - шабақ бойымен еркін орнын ауыстыра алатын жүктер;  $O$ - айналу осі.



14.3  
сурет

Шабаққа айналу өсінен әр түрлі қашықтықта бекітіле алатын бірдей жүктер орналастырылады. Радиусы  $r$  шкивке бір қалыпты үдемелі қозғалысқа келтіретін бос ұшында салмағы  $mg$  жүк байланған жіп

оралған.  $J = \frac{M}{\varepsilon}$  инерция моментін анықтау үшін  $M$  айналу моменті мен  $\varepsilon$  бұрыштық үдеуді табу керек. Жіптің  $F_H$  керілу күші шкивке қатысты жанама болғандықтан

$$M = F_H \cdot r = \frac{F_H \cdot D}{2} \quad (5)$$

мұндағы  $D$  - шкив диаметрі.

Керілу күшін анықтау үшін вертикаль түсіп келе жатқан жүктің қозғалысын қарастырамыз. Оның  $a$  үдеуі екі күштің әсерінің нәтижесі болады (сур.2),  $mg$  - ауырлық күші және  $F_H$  - керілу күші, яғни  $ma = mg - F_H$ , мұндағы  $m$  - қозғалыстағы жүктің массасы. Осыдан  $F_H = mg - ma$ , онда

$$M = \frac{D}{2} m(g - a) \quad (6)$$

Айналыстағы шкивке қатысты  $a$  үдеуі жанама болады. Оның модулі бұрыштық үдеумен  $\varepsilon = \frac{a_r}{r}$  түрінде байланысқан немесе  $\varepsilon = \frac{2a_t}{D}$ , мұндағы  $a_t$  - жанама (тангенциал) үдеу.  $m$  жүктің  $h$  жолдағы бастапқы жылдамдығысыз бірқалыпты қозғалысының уақытын өлшеп, қозғалыс теңдеуі  $h = \frac{at^2}{2}$  екенін біліп,  $a = \frac{2h}{t^2}$  үдеуді табамыз.

Онда 
$$\varepsilon = \frac{4h}{Dt^2} \quad (7)$$

$M$ ,  $a$ ,  $\varepsilon$  мәндерін (3)-ке қойып, ықшамдаулардан кейін жұмыс формуласын аламыз

$$J = \frac{m(\frac{gt^2}{2} - 1)D^2}{4} \quad (8)$$

мұндағы  $J$  - инерция моменті;  $кг \cdot м^2$   
 $m$  - жүктің массасы,  $кг$ ;

$g$  - еркін түсу үдеуі,  $9,81 \text{ м/с}^2$ ;  
 $t$  - жүктін қозғалыс уақыты,  $\text{с}$ ;  
 $h$  - жүктін  $t$  уақытта өтетін қашықтығы,  $\text{м}$ ;  
 $D$  - жіп оратылған шкивтің диаметрі,  $\text{м}$ .  
 Қателіктер формуласы

$$\Delta J = t(n) \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle J \rangle - J_i)^2}{n(n-1)}} \quad \varepsilon = \frac{\Delta J}{\langle J \rangle} \quad (9)$$

мұндағы  $\Delta J$  - инерция моментінің абсолют қателігі,  
 яғни сенімділік интервалының,  $\text{кг} \cdot \text{м}^2$ ;  
 $\varepsilon$  - салыстырмалы қателік;  
 $t(n)$  -  $3^\times$  өлшеулер үшін Стюдент коэффициенті  
 4,3-ке тең;  
 $\langle J \rangle$  - инерция моментінің орташа мәні;  
 $J_i$  - жеке өлшеулердің инерция моменті;  
 $n$  - өлшеулер саны.

### Жұмысты орындау тәртібі

- 1) Айналу моментін тудыратын жүктін массасын кестеге еңгізу.
- 2) Шкивтің  $D$  диаметрін өлшеу.
- 3) Жүкті белгілі бір  $h$  биіктікке көтеру.
- 4) Жүктін  $h$  биіктігі бойымен қозғалысының уақытын өлшеу.
- 5) 4-ші пункті үш рет қайталау.
- 6) Нәтижелерді кестеге енгізу.

$m$ , кг	$t$ , с	$D$ ,м	$h$ ,м	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$(\langle J \rangle - J_i)^2$ (кг·м <sup>2</sup> ) <sup>2</sup>	$\Delta J$ , кг·м <sup>2</sup>	$\varepsilon$ , %

Соңғы нәтижені келесі түрде жазу керек

$$J = (\langle J \rangle \pm \Delta J), \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (10)$$

## Бақылау сұрақтары

1. Қатты дененің қандай қозғалысын айналмалы деп атаймыз?
2. Бұрыштық жылдамдықпен бұрыштық үдеуге анықтама беру, олардың бағыттарын көрсету.
3. Айналмалы қозғалыс үшін динамиканың екінші заңын жазып, оған кіретін шамаларға сипаттама беру.
4. Жұмыс формуласын қорытып шығару.

№ 15 Зертханалық жұмыс. Стокс әдісі арқылы сұйықтықтың ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** Динамика заңдарын дененің тұтқыр ортадағы қозғалысына, ішкі үйкеліс коэффициентін тәжірибелі түрде анықтау үшін қолдану.

**Құрал жабдықтар:** Зерттелетін сұйықпен толтырылған цилиндр пішінді шыны ыдыс, металл шариктер, секундомер, микрометр, масштабты сызғыш.

## Теориялық кіріспе

Ішкі үйкеліс құбылысы ортада қозғалысқа перпендикуляр бағытта жылдамдық градиенті болғанда пайда болады.  $F_{\text{үй}}$  ішкі үйкеліс күші келесі формула бойынша анықталады

$$F_{\text{үй}} = -\eta \frac{dv}{dx} S \quad (1)$$

мұндағы  $\eta$  - ішкі үйкеліс коэффициенті;  $S$  - қабаттардың түйісу ауданы;  $\frac{dv}{dx}$  - жылдамдық градиенті, сан жағынан бірлік ұзындыққа келетін жылдамдық өзгерісі. (1) тендеуден

$$\eta = \frac{F}{\frac{dv}{dx} S} \quad (2)$$

аламыз, яғни ішкі үйкеліс коэффициенті сан жағынан сұйықтың екі қабатының арасында түйісу ауданы бірге және жылдамдық градиенті бірге тең болғанда пайда болатын ішкі үйкеліс күшіне тең болады. Бірліктер жүйесінде (СИ)  $\eta$  - паскаль-секундпен ( $Па \cdot c$ ) өлшенеді. Ішкі үйкеліс коэффициенті түрлі тәсілдермен анықтала алады. Олардың біреуі - Стокс тәсілі - тұтқыр сұйықта шариктің қалыптасқан қозғалысының жылдамдығын өлшеуге негізделген. Демек, шарик сұйықтың жұқа қабатымен қапталады, ол шарик жылдамдығымен қозғалады. Ішкі үйкеліс күші әр түрлі жылдамдықтармен қозғалатын сұйықтың қабаттары арасында пайда болады. Стокс, ішкі үйкеліс күшінің шамасы шарик өлшемдерінен, оның қозғалыс жылдамдығынан және ішкі үйкеліс коэффициентінен тәуелді болады деп тұжырымдады

$$F = 6\pi\eta \cdot r \cdot v \quad (3)$$

мұндағы  $r$  - шардың радиусы,  
 $v$  - шардың қозғалу жылдамдығы.

Осы күштен басқа шарикқа келесі күштер әсер етеді:

ауырлық күші

$$|\vec{P}| = m|\vec{g}| = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_w \cdot g \quad (4)$$

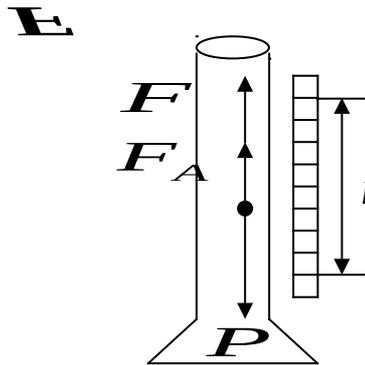
мұндағы  $\rho_w$  - шардың тығыздығы;  $\frac{4}{3}\pi r^3$  - шардың көлемі;

және жоғары қарай бағытталған, ығыстырушы (Архимед) күші  
 (1 сурет)

$$|\vec{F}_A| = \frac{4}{3}\pi r^3 \rho_{жс} \cdot g \quad (5)$$

мұндағы  $\rho_c$  - сұйықтықтың тығыздығы;  
кедергі күші

$$|F| = 6\pi\eta \cdot r \cdot v \quad (6)$$



15.1 сурет

Қозғалыс теңдеуін мына түрде жазуға болады

$$ma = P + F_A + F \quad (7)$$

қозғалыстың басында жылдамдық өскен сайын үйкеліс күші де өседі. Үйкеліс күші өскенде үдеу кемиді де, шар бірқалыпты қозғала бастайды

Демек,  $|a| = 0$ , яғни  $v = const$ .

$t$  с уақытта шар бірқалыпты қозғалатын болса және осы уақытта  $l$  жолды жүрген болса, онда

$$v = \frac{l}{t} \quad (8)$$

$$r = \frac{d}{2} \quad (9)$$

ескеріп, мұндағы  $d$  – шардың диаметрі,  $r$  – шардың радиусы және (3) - (9) теңдеулерін біріктіріп шеше отырып

$$\eta = \frac{(P_u - P_{жс})gd^2t}{18l} \quad (10)$$

жұмыстық формуласын аламыз, мұндағы  $g$  – еркін құлау үдеуі.

Қателік формулалары

$$\Delta\eta = t(n) \sqrt{\frac{\sum (\langle \eta \rangle - \eta_i)^2}{n(n-1)}}, \quad \varepsilon = \frac{\Delta\eta}{\langle \eta \rangle} \cdot 100\% \quad (11)$$

мұндағы

- $\Delta\eta$  – абсолют қателік;
- $\varepsilon$  – салыстырмалы қателік;
- $n$  – өлшеулер саны.

### Лабораториялық қондырғы

Тұтқырлық коэффициентін анықтауға арналған құрал зерттелінетін сұйықтыққа толтырылған шыны цилиндрден тұрады.

#### Жұмысты орындау тәртібі:

- 1) Көмекші шарды сұйықтыққа түсіре отырып, визуалды түрде осы шар бірқалыпты қозғалатын / бөлігін анықтау керек.
- 2) Микрометр көмегімен бес шардың диаметрін өлшеңіз.
- 3) Шарларды бірінен соң бірін сұйықтыққа түсіре отырып, / қашықтықты өту  $t$  уақытын өлшеңіз.
- 4) Алынған өлшеулер мен мәндерді кестеге жазыңыз.

$d$	$\rho_{жс}$	$\rho_u$	$t$	$l$	$\eta$	$\langle \eta \rangle - \eta_i$	$\Delta\eta$	$\frac{\Delta\eta}{\langle \eta \rangle} \%$	
М	кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup>	с	М	кг/м <sup>3</sup>	кг/м <sup>3</sup> ·с	кг/м <sup>3</sup> ·с	%	

						$\langle \eta \rangle - \eta_i$			
						$(\text{кг} / \text{м} \cdot \text{с})$			

Нәтижені сенімділік интервалы түрінде жазыңыз

$$\eta = (\langle \eta \rangle \pm \Delta \eta)$$

### Бақылау сұрақтары

1. Нақты сұйықтардың қасиеті - тұтқырлығы, туралы айтыңыздар.
2. Сұйықта қозғалып жатқан шарикқа қандай күштер әсер етеді? Әрбір күшке сипаттама беріңіздер. Олар қалай бағытталған?
3. Шарик қозғалысы кезінде неліктен үйкеліс сұйық қабаттарының арасында болады?
4. Шарик үшін қозғалыс теңдеуін жазыңыздар. Неге осында шариктің тек қана бірқалыпты қозғалысын ескеру қажет.
5. Жұмыс формуласын қорытып шығарыңыз.

**№ 16 Зертханалық жұмыс. Энергияның және импульстің сақталу заңдарын тексеруде денелердің соқтығысуын мысал ретінде қарастыру**

**Жұмыстың мақсаты:** механикалық өзара әсерлесудің сипатын қорытындылау мақсатында энергия мен импульстің қайта қалыпқа келу кезіндегі коэффициентін зерттеу.

### Теориялық кіріспе

Бұл жұмыста - механиканың екі негізгі сақталу заңы қолданылады:

**Импульстің сақталу заңы:** денелердің тұйық жүйесінің импульсі тұрақты болады, яғни уақыт өтуіне байланысты өзгермейді

$$\sum_{i=1}^n \vec{P}_i = \sum_{i=1}^n m_i \vec{v}_i = const \quad (1)$$

мұндағы  $m_i$  -  $i$ -ші дененің массасы;

$v_i$  -  $i$ -ші дененің жылдамдығы.

Немесе денелердің тұйық жүйесінде өзара әсерлесуге дейінгі импульстердің қосындысы әсерлесуден кейінгі импульстердің қосындысына тең болады.

Импульстердің сақталу заңы тек тұйық жүйеде ғана орындалады. Егер де жүйеге сыртқы күштер әсер етпесе немесе ол күштердің қосындысы нольге тең болса, онда жүйе «тұйық» деп аталады

$$\sum_{i=1}^n \vec{F}_i = 0 \quad (2)$$

Импульстің сақталу заңы кеңістіктің біртектілігімен байланысты, яғни қозғалыстың заңдары мен физикалық қасиеттері инерциалдық санақ жүйесінде координата басын таңдаудан тәуелсіз.

**Толық механикалық энергияның сақталу заңы:** денелердің тұйық жүйелерінің арасында тек консервативті күштер ғана әсер етсе, бұл жүйенің толық механикалық энергиясы өзгермейді. Толық механикалық энергия – механикалық қозғалыстың және өзара әсерлесудің энергиясы, ол кинетикалық және потенциалдық энергиялардың қосындысынан тұрады.

$$E = E_k + E_n = const$$

(3)

Энергияның сақталу заңы уақыттың біртектілігімен байланысты.

Дененің **кинетикалық энергиясы** деп – механикалық қозғалыстың энергиясын айтады. Ал ол денені қозғалысқа келтіру үшін жасалынатын жұмыспен анықталынады.

$$E_k = \frac{mv^2}{2} \quad (4)$$

мұндағы  $v$  - дененің жылдамдығы.

Жүйенің **потенциалдық энергиясы** денелердің өзара орналасуымен және олардың арасындағы өзара әсерлесу сипатымен анықталады. Күштердің өзара әсерлесуі нәтижесінде істелінетін жұмыс дене орын ауыстырғандағы траекторияның формасына тәуелсіз болады да, бұл жұмыс бастапқы және соңғы қалыпқа тәуелді болады, мұндай өріс потенциалды деп аталады да, күш консервативті деп аталады (мысалы, тартылыс күші).

Егер күш арқылы істелінген жұмыс дененің бір нүктеден екінші нүктеге қозғалған кездегі траекториясына тәуелді болса, күш диссипативті деп аталынады (мысалы, үйкеліс күші).

Физикалық есептерді шығарған кезде энергияның және импульстің сақталу заңдарын қолдануда мысал ретінде соқтығысу, яғни қысқа уақыт арасындағы абсолют серпімді және серпімсіз денелердің өзара әсерлесуін қарастыруға болады. Денелер соқтығысқан кезде ішкі күш пайда болатындықтан, сыртқы күшті елемеуге де болады. Бұл соқтығысатын денелерді тұйық жүйе ретінде қарастыруға болады және оған сақталу заңын қолданады.

Біздің жұмыста тек абсолют серпімді және серпімсіз орталық соқтығысулар қарастырылады.

**Абсолют серпімді соқтығысу** деп біріне бірі соқтығысқан екі дененің серпімді деформацияға ұшырауын, яғни серпімді күштің салдарынан денелердің бастапқы күйіне қайтып келуін айтамыз.

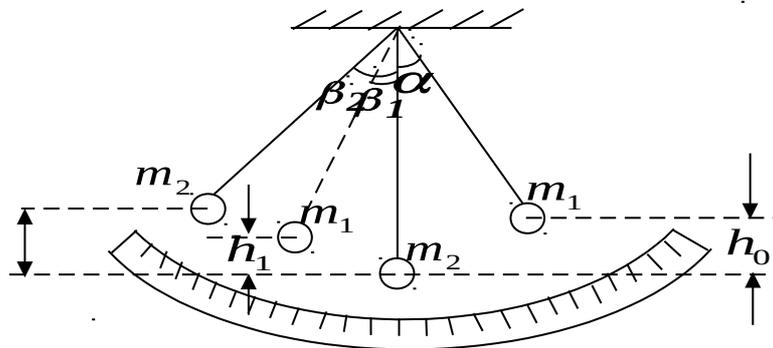
**Абсолют серпімсіз соқтығысу** деп соқтығысқан екі дененің кинетикалық энергиясының біртіндеп немесе толығымен ішкі энергияға айналуын, яғни серпімсіз деформациялануын айтады.

Серпімсіз соқтығысу нәтижесінде механикалық энергия жойылады да, серпімсіз өзара әсерлескен денелердің соқтығысу импульсі өзгермейді.

## **Зертханалық қондырғы және өлшеу әдістері**

Қондырғы ілінген шарлар түріндегі екі маятниктен тұрады

(1 сурет).



16.1 сурет

Массасы  $m_1$  шар оң жақта электромагнитпен ұсталып тұрады. Жіберген кезде ол  $m_2$  тыныштықта тұрған шармен соқтығысады. Бірінші соқтығысудан кейін шарлардың  $\beta_1$  және  $\beta_2$  ауытқу бұрыштарын шкала бойынша санаймыз. Шарлардың соқтығысуға дейінгі  $v_1, v_2$  және соқтығысудан кейінгі  $v_1', v_2'$  жылдамдықтарын шар қозғалысын бастаған  $h_0$  және екі шардың соғылуынан кейінгі көтерілген  $h_1$  және  $h_2$  биіктіктерін біле отырып есептеуге болады. Кедергі күшін игеруге жұмсалған энергияны есептемей, энергияның сақталу заңынан мынаны аламыз

$$m_1 g h_0 = \frac{m_1 v_1^2}{2} \Rightarrow v_1 = \sqrt{2gh_0} \quad (5)$$

$$v_1' = \sqrt{2gh_1} \quad (6)$$

$$v_2' = \sqrt{2gh_2} \quad (7)$$

Қондырғыда шарлардың  $\alpha, \beta_1, \beta_2$  ауытқу бұрыштарын өлшемейтіндіктен, ауытқу бұрышы мен жылдамдықтың арасындағы байланысты табуға болады

$$h_0 = l - l \cdot \cos \alpha = l(1 - \cos \alpha) = 2l \cdot \sin^2 \frac{\alpha}{2} \quad (8)$$

$$h_1 = l - l \cdot \cos \beta_1 = l(1 - \cos \beta_1) = 2l \cdot \sin^2 \frac{\beta_1}{2} \quad (9)$$

$$h_2 = l - l \cdot \cos \beta_2 = l(1 - \cos \beta_2) = 2l \cdot \sin^2 \frac{\beta_2}{2} \quad (10)$$

(5) өрнекке (6) және (7) өрнектерді қойсақ

$$v_1' = \sqrt{2g \cdot 2l \sin^2 \frac{\alpha}{2}} = 2 \sin \frac{\alpha}{2} \sqrt{gl} \quad v_1' = 2 \sin \frac{\beta_1}{2} \sqrt{gl} \quad v_2' = 2 \sin \frac{\beta_2}{2} \sqrt{gl} \quad (11)$$

Ауытқулар аз болған жағдайда бұрыштың синусының орнына сол бұрыштың өз мәнін қоюға болады:

$$\sin \frac{\alpha}{2} \approx \frac{\alpha}{2} \quad \sin \frac{\beta_1}{2} \approx \frac{\beta_1}{2} \quad \sin \frac{\beta_2}{2} \approx \frac{\beta_2}{2}$$

онда (11) өрнек мына түрге келеді

$$v_1 = \alpha \sqrt{gl} \quad v_1' = \beta_1 \sqrt{gl} \quad v_2' = \beta_2 \sqrt{gl} \quad (12)$$

Импульстің сақталу заңын тексеру үшін импульстің қайта қалыпқа келу коэффициентін есептейді

$$K_{\text{умн.}} = \frac{\sum_{i=1}^n |\vec{P}_i|}{\sum_{i=1}^n |\vec{P}_0|} = \frac{P}{P_0} \quad (13)$$

мұндағы  $\sum_{i=1}^n |\vec{P}_i|$  - денелердің соқтығысудан кейінгі импульсі,

$\sum_{i=1}^n |\vec{P}_0|$  - денелердің соқтығысуға дейінгі импульсі.

Серпінді соқтығысу үшін

$$\sum_{i=1}^n |\vec{P}| = m_1 v_1' + m_2 v_2' = \sqrt{gl} (m_1 \beta_1 + m_2 \beta_2) \quad (14)$$

Екінші дене тыныштықта тұрғандықтан ( $v_2 = 0$ ), онда

$$\sum_{i=1}^n |\vec{P}_0| = m_1 v_1 = m_1 \alpha \sqrt{gl} \quad (15)$$

Бұдан серпімді соқтығысу үшін импульстің қайтадан қалыпқа келу коэффициенті  $K_{имп}$  мынаған тең болады

$$K_{имп} = \frac{m_1 \beta_1 + m_2 \beta_2}{m_1 \alpha} \quad (16)$$

Серпімсіз өзара әсерлесу үшін импульстің қайтадан қалыпқа келу коэффициентінің өрнегі дәл осылай анықталады. Егер соқтығысқаннан кейін екі шар да бірдей  $\beta$  бұрышқа ауытқитындығын есепке алсақ, онда

$$K_{имп} = \frac{(m_1 + m_2) \beta}{m_1 \alpha} \quad (17)$$

Механикалық энергияның шашырауы энергияның қайтадан қалыпқа келу коэффициентімен сипатталады  $K_{эн} = W/W_0$ . Ол денелердің соқтығысқаннан кейінгі кинетикалық энергиясының қосындысының  $W$  соқтығысуға дейінгі кинетикалық энергиясының қосындысына  $W_0$  қатынасымен анықталады. Серпімді соқтығысу үшін

$$K_{эн} = \frac{\frac{m_1 v_1^2}{2} + \frac{m_2 v_2^2}{2}}{\frac{m_1 v_1^2}{2}} = \frac{m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2}{m_1 v_1^2} \quad (18)$$

(16) өрнекті пайдаланып мынаны аламыз

$$K_{эн} = \frac{m_1 \beta_1^2 + m_2 \beta_2^2}{m_1 \alpha^2} \quad (19)$$

Серпімсіз соқтығысу үшін бұл коэффициент шарлар өзара әсерлескеннен кейін бірге қозғалып  $\beta$

бұрышқа ауытқыған кезде мына формуламен есептеледі

$$K_{эн} = \frac{(m_1 + m_3)\beta^2}{m_1\alpha^2} \quad (20)$$

### Жұмысты орындау тәртібі:

1) Шарлар центрі электромагнит орналасқан доға жазықтығының бір горизонтальда орналасуын тексеру.

2) Шарлар нөмеріне сәйкес кестеден екі болат және бір пластилин шарлардың массаларын  $m_1, m_2, m_3$  жазып алу.

3) Серпімді өзара әсерлесуді бақылау үшін  $m_1 > m_2$  екі болат шарды алу.

4) Электромагнит тізбегін тұйықтап, массасы  $m_1$  шарды тепе - теңдік қалпынан  $\alpha$  бұрышқа ауытқыту.

5) Электромагниттің тізбегін шарлардың бірінші центрлі соқтығысуларынан кейін сәйкесінше  $\beta_1$  және  $\beta_2$  бұрыштарын өлшеу.

6) 4-5 операцияларын 5 рет қайталау. Берілгендерді 1 кестеге енгізу.

7) Серпімсіз өзара әсерлесуді бақылау үшін массасы  $m_1$  болат шар мен массасы  $m_3$  пластилин шарды алады. 4-5 операцияларын кем дегенде бес рет қайталау. Берілгендерді 2 кестеге енгізу.

8) (12) және (16) формулалармен серпімді және серпімсіз соқтығысулардың импульстарының және энергияларының қайтадан қалыпқа келу коэффициенттерін есептеп табу.

16.1 кесте

$m_1$ кг	$m_2$ г	$\alpha$ , град	$\beta_1$ , град	$\beta_2$ , град	$K_1$	$K_{ум} - K$	$\Delta K_u$	$\frac{\Delta K_{ум}}{\langle K_{ум} \rangle}$	$K_{эн}$	$K_{эн} - K$	$\Delta K$	$\frac{\Delta K_{эн}}{\langle K_{эн} \rangle}$

16.2 кесте

$m_1$ кг	$m_3$ г	$\alpha$ , град	$\beta$ , град	$K_{ум}$	$K_{ум} - K$	$\Delta K_{ум}$	$\frac{\Delta K_{ум}}{\langle K_{ум} \rangle}$	$K_{эн}$	$K_{эн} - K$	$\Delta K_{эн}$	$\frac{\Delta K_{эн}}{\langle K_{эн} \rangle}$

		Д	Д								

9) Соңғы нәтижені мына түрде жазу  
 А) серпімді өзара әсерлесу

$$K_{\text{имп}} = \langle K_{\text{имп}} \rangle \pm \Delta K_{\text{имп}} \quad K_{\text{эн}} = \langle K_{\text{эн}} \rangle \pm \Delta K_{\text{эн}} \quad (21)$$

Б) серпімсіз өзара әсерлесу

$$K_{\text{имп}} = \langle K_{\text{имп}} \rangle \pm \Delta K_{\text{имп}} \quad K_{\text{эн}} = \langle K_{\text{эн}} \rangle \pm \Delta K_{\text{эн}} \quad (22)$$

### Бақылау сұрақтары

1. Механикалық энергия мен импульстың сақталу заңдарын тұжырымдап бер.
2. Тұйық жүйенің анықтамасы.
3. Қандай энергия кинетикалық деп аталады? Қандай потенциалдық деп аталады?
4. Қандай өрістер потенциалдық өрістер деп аталады?
5. Қандай күштер консервативті және диссипативті деп аталады?
6. Қандай соқтығысуларды абсолют серпімді және абсолют серпімсіз деп атайды?
7. Жұмыс формуласын қорытып шығар.

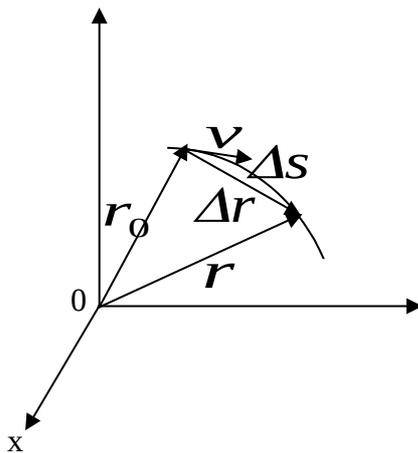
№ 17 Зертханалық жұмыс. Еркін түсу үдеуін Атвуд машинасының көмегімен анықтау

**Жұмыстың мақсаты:** Ілгерілемелі қозғалыстың кинетика және динамика заңдарын зерттеу. Еркін түсу үдеуін тәжірибелі сынақ түрінде анықтау.

**Құрал - жабдықтар:** Тәжірибелі сынаққа арналған қондырғы-Атвуд машинасы, қосымша жүктер жиынтығы.

## Теориялық кіріспе

**Механикалық қозғалыс** - қозғалыстың ең қарапайым түрі. **Механикалық қозғалыс** деп уақыт өтуіне байланысты материалдық нүктенің (бұдан былай оны дене деп атайтын боламыз) басқа денелермен салыстырғандағы орын ауыстыруын атайды. Қозғалысты салыстырмалы түрде қарастырған дене - санақ денесі деп аталады. Санақ денесімен, координат жүйесімен және сағатпен байланысты жүйені санақ жүйесі деп атайды.



17.1 сурет

Дене қозғалғанда уақыт өтуіне байланысты оның координаталары өзгереді. Кеңістікте орналасуы жалпы түрде мына теңдеумен жазылады

$$r = r(t) \quad (1)$$

(1) теңдеу қозғалыстың **векторлық кинематикалық теңдеуі** деп аталады.

Оған декарттық координат жүйесінде мына түрде болатын үш скаляр теңдеу пара - пар

$$\begin{aligned} x &= x(t) & y &= y(t) & z &= z(t) \\ & & & & & (2) \end{aligned}$$

(2) теңдеу қозғалыстың параметрлі түрдегі кинематикалық теңдеуі. Кинематикалық шамаларға келесі шамалар жатады

- 1) **Траектория** - кеңістікте қозғалатын дененің сызатын сызығы;
- 2) **Орын ауыстыру векторы**  $\Delta r$  - орын ауыстырудың бастапқы және соңғы нүктесін қосатын вектор

$$\Delta r = r - r_0 \quad (3)$$

мұндағы  $r$  және  $r_0$  - дененің соңғы және бастапқы орнын анықтайтын радиус-векторлар;

- 3) **Жол**  $\Delta s$  - дененің санақ басталған мезеттегі траекториясының бөлігінің ұзындығы;

- 4) **Жылдамдық**  $v$  - қозғалыстың шапшаңдығын және бағытын сипаттайтын физикалық векторлық шама;

**Лездік жылдамдық** деп (траекторияның берілген нүктесіндегі жылдамдығы)  $r$  радиус вектордың уақыт бойынша алынған 1-ші ретті туындысына тең шаманы айтады.

$$\vec{v} = \frac{dr}{dt} \quad (4)$$

Лездік жылдамдықтың сандық мәні келесі қатынаспен анықталады

$$v = |\vec{v}| = \frac{ds}{dt} \quad (5)$$

Яғни ол жолдың уақыт бойынша алынған 1-ші ретті туындысына тең. Лездік жылдамдық векторы материалдық нүкте қозғалысының траекториясына жанама бойымен бағытталады (1 сурет).

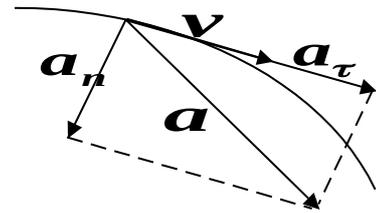
- 5) **Үдеу**  $a$  - жылдамдықтың уақыт бойынша шамасы мен бағытының өзгеру шапшаңдығын

сипаттайды.  $a$  үдеу векторы екі- **тангентиаль**  $a_t$  және **нормаль**  $a_n$  үдеулердің қосындысына тең (2 сурет).

$$a = a_t + a_n \quad (6)$$

Үдеудің сандық мәні мына формуламен анықталады

$$a = \sqrt{a_t^2 + a_n^2} \quad (7)$$



17.2 сурет

Үдеу векторы  $a$  траекторияның белгілі нүктесінде  $v$  жылдамдық векторының бағытымен сәйкес келеді, яғни осы нүктедегі траекторияға жанама бойымен бағытталады. Үдеудің нормаль құраушысы берілген нүктенің траекториясына түсірілген нормаль бойымен, яғни траекторияның қисықтың радиусы бойымен центрге қарай бағытталады. Ол **жылдамдықтың бағыты бойынша өзгеруін** сипаттап мына формуламен анықталады

$$a_n = \frac{v^2}{r} \quad (8)$$

Үдеудің тангенциаль құраушысы **жылдамдық шамасының өзгеру** шапшаңдығын анықтайды және жылдамдықтың уақыт бойынша алынған туындысына тең болады

$$a_r = \frac{dv}{dt} \quad (9)$$

Бірқалыпты түзу сызықты қозғалыс кезінде  $a_n = 0, a_r = a = \text{const}$  болады да, үдеу мына формуламен анықталады

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t} = \frac{v - v_0}{t - t_0} \quad (10)$$

Егер  $t_0 = 0$ , онда  $v = v_0 \pm at$ . Бұл жағдайда жол шамасы мына формуламен анықталады:

$$s = v_0 t \pm \frac{at^2}{2} \quad (11)$$

«+» - таңбасы бірқалыпты үдемелі, ал «-» - таңбасы бірқалыпты кемімелі қозғалыс үшін. Ілгерілемелі қозғалыстың динамика заңдарын Ньютон тұжырымдады.

**Ньютоның I заңы.** Кез келген дене өзінің тыныштықтағы қалпын немесе бірқалыпты түзу сызықты қозғалысын басқа денелер әрекеті оны осы күйінен шығарғанша сақтайды. Денелердің алғашқы қалпын (тыныштық күйін немесе бірқалыптылығын) сақтау қабілеті **инерттілік** деп аталады. Инерттіліктің өлшемі скаляр шама - ол дененің **массасы**.

Денелердің бір-біріне әсер етуінің өлшемі болып - **күш** шамасы алынады. Күш - әсер ету бағытымен бағыттас болатын вектор.

**Ньютоның II заңы.** Күштің әсерінен дененің алатын үдеуі сол күшке тура пропорционал, ал дененің массасына кері пропорционал.

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m} \quad F = ma \quad (12)$$

Егер денеге бір мезгілде бірнеше тәуелсіз күштер әсер ететін болса, онда тәуелсіздік принципі бойынша Ньютоның 2-ші заңындағы күш олардың геометриялық қосындысына тең болады

$$\vec{F} = \sum_{i=1}^n \vec{F}_i \quad (13)$$

**Ньютонаң III заңы.** Екі дененің өзара әсерлесу күштері шамалары бойынша тең, ал бағыттары бойынша қарама - қарсы

$$F_{12} = - F_{21} \quad (14)$$

Бұл күштер әртүрлі денелерге түсірілген.

Механикада **электромагниттік гравитациялық өзара әсерлесуге** негізделген күштер қолданылады

1) Тартылыс күші

$$F = G \frac{m_1 \cdot m_2}{r^2} \quad (15)$$

мұндағы  $m_1$  және  $m_2$  - денелердің массасы,  $r$  - олардың арасындағы қашықтық,  $G = 6,67 \cdot 10^{-11} \frac{H \cdot M^2}{K^2}$  - гравитациялық тұрақты;

2) Жер бетіне жақын тұрғандағы ауырлық күші

$$P = mg \quad (16)$$

мұндағы  $g = 9,8 \frac{M}{C^2}$  - еркін түсу үдеуі;

3) Үйкеліс күші

$$F_{mp} = \mu F_n \quad (17)$$

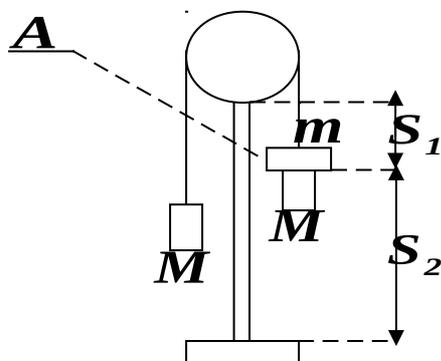
мұндағы  $\mu$  - үйкеліс коэффициенті,  $F_n$  - нормаль қысым күші;

4) Серпімділік күші

$$F_{yup} = - kx \quad (18)$$

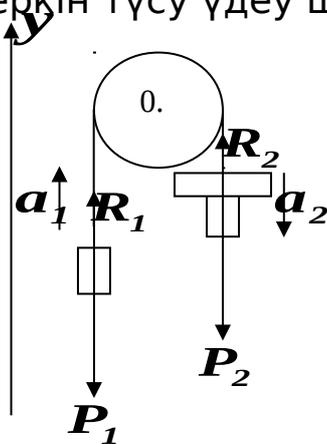
мұндағы  $k$  - қатаңдық коэффициенті,  $x$  - дененің серпімді деформациясының шамасы.

## Әдістің сипаттамасы



17.3 сурет

Бұл жұмыста қолданылатын зертханалық қондырғы (Атвуд машинасы) ілгерілемелі қозғалыстың бірқалыпты және бірқалыпты айнымалы қозғалысын бақылап, зерттеуге арналған. Жұмыстың нақты мақсаты – ауадағы еркін түсу үдеу шамасын анықтау.



17.4 сурет

3 суретте еленбейтін аз кедергімен айнала алуы үшін подшипник арқылы бекітілген жеңіл блок арқылы екі ұшына массалары  $M$  бірдей жүктер ілінген жіп асыра тасталған. Сондықтан жүйе тепе – теңдік қалыпта тұрады. Егер жүктердің біреуіне  $m$  массасы аз қосымша жүкті қойсақ, онда жүктер әлдебір  $a$  үдеумен қозғалып  $S_1$  жол жүреді. Қосымша жүк  $A$  сақинасында қалып

қояды да, жүктер әрі қарай **бірқалыпты** қозғалып  $S_2$  жол жүргеннен соң тоқтайды. Қосымша жүк **қалып қойғаннан соң**, оң жақтағы жүк негізіне жанасқан кезде, қондырғыға орнатылған секундомерге белгі беріліп, тұрақты жылдамдықпен  $S_2$  жолды жүруге кеткен  $t$  уақыт жазып алынады. Жүктер мен қосымша жүктердің массаларын және  $S_1$ ,  $S_2$  жолдарды,  $t$  уақытты біле отырып  $g$  еркін түсу үдеуін есептеуге болады. 4-суретте оң және сол жақтағы жүктерге олардың бірқалыпты үдемелі қозғалыстары кезінде әсер ететін күштер көрсетілген:  $P_1 = Mg$  және  $P_2 = (M + m)g$  – ауырлық күштері;  $R_1$  және  $R_2$  – жіптің реакция күші. Егер жіпті созылмайтын деп есептесек, онда жүктердің үдеулері бірдей болады:  $a_1 = a_2 = a$ . Блоктың және жіптің массаларын жүктің массасымен салыстырғанда елемей, тепе – теңдік және реакция күшін  $R_1 = R_2 = R$  анықтай аламыз. Онда жүктердің динамикалық теңдеуі (Ньютонның 2-заңы бойынша) скаляр түрде мынадай болады

$$R - Mg = Ma \quad (19)$$

$$-(M + m)g + R = -(M + m)a \quad (20)$$

(18) және (19) теңдеулер у осінің таңдап алынған бағытына сәйкес жазылған. (18) және (19) теңдеулердің оң және сол жақтарын түрлендіріп, мынаны аламыз

$$\begin{aligned} (M + m)g - Mg &= (M + m)a + Ma \\ mg &= (2M + m)a \end{aligned} \quad (21)$$

Бұдан

$$g = \frac{2M + m}{m} \cdot a \quad (22)$$

Оң жақтағы жүк  $S_1$  жолды  $a$  үдеуге  $t$  уақытта бастапқы жылдамдықсыз жүріп өтеді. Сондықтан,

$$S_1 = \frac{at^2}{2} \quad (23)$$

(21) теңдіктің оң жағындағы бөлшектің алымын да, бөлімін де  $a$  үдеуге көбейтіп, мынаны аламыз

$$S_1 = \frac{a^2 t^2}{2a} = \frac{v^2}{2a} \quad (24)$$

мұндағы  $v$  – қосымша жүктердің қалып қойған кезіндегі жүйенің жылдамдығы. (22) теңдеуден

$$a = \frac{v^2}{2S_1} \quad (25)$$

өрнегі алынады.

Жүйе  $v$  жылдамдықпен бірқалыпты қозғала отырып  $S_2$  жолды, секундомермен анықталған  $t$  уақытта жүріп өтеді. Бұдан

$$v = \frac{S_2}{t} \quad (26)$$

Онда (23) және (24) теңдеулерден мынаны аламыз

$$a = \frac{S_2}{2S_1 t^2} \quad (27)$$

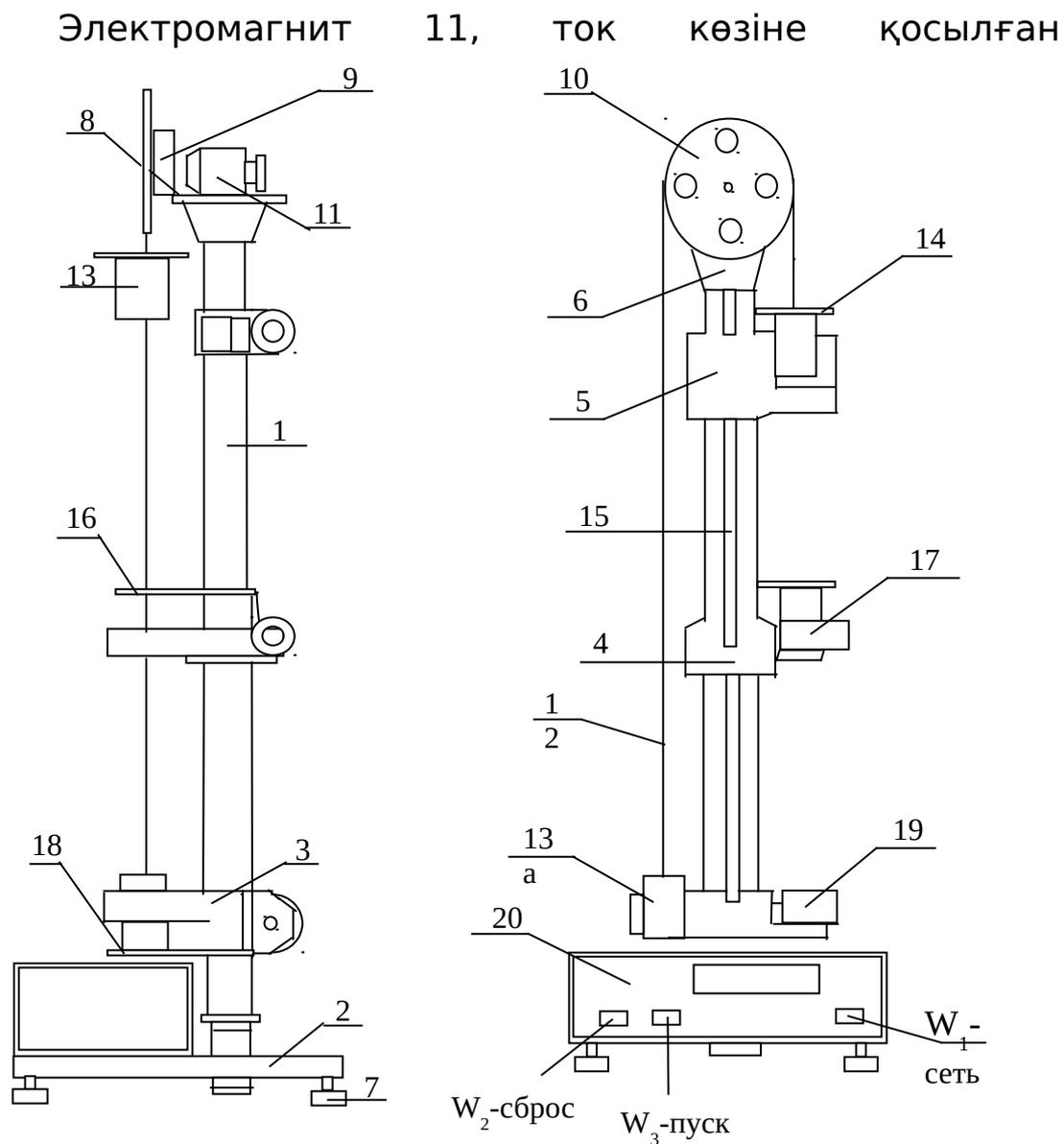
(25) теңдікті (20) теңдікке қойып **есептеу формуласын** аламыз

$$g = \frac{2M + m}{m} \cdot \frac{S_2^2}{2S_1 t^2} \quad (28)$$

## **Қондырғының сипаттамасы**

Қондырғының жалпы түрі 5-суретте көрсетілген. Құралдың табанына 2 бекітілген вертикаль колоннада 1 үш кронштейн бар: төменгі қозғалмайтын 3 және екі қозғалатын - ортаңғы 4 және жоғарғы 5. Құралдың табанын түзетуді оның реттелетін аяқтарымен жүзеге асыруға болады.

Колоннаның жоғарғы бөлігіне втулка 6 бекітілген. Оған жоғарғы дискінің 8 көмегімен подшипниктің тұзағы 9, блок 10 және электромагнит 11 бекітілген. Блок арқылы ұштарына жүктер 13 және 13а бекітілген жіп 12 өтеді.



17.5  
сурет

Колонна бойымен жоғарғы және ортаңғы кронштейндерді  $s_1$  бірқалыпты үдемелі және  $s_2$  бірқалыпты жол ұзындықтарын орната отырып қозғалтуға және кез келген қалыптағы орнын белгілеуге болады. Жол ұзындықтарын колоннаны 15 миллиметрлік сызғыш бойынша анықтауға болады. Колоннадағы бүкіл кронштейндердің орындарын көрсететін белгілері бар. Ал жоғарғы кронштейнде оң жақтағы жүктің төменгі қыры қозғалысының басына

сәйкес келетін сызық бар. Ортаңғы кронштейнде төмен қарай қозғалған үлкен жүктен қосымша жүкті 14 алып қалатын кронштейн 16 және фотоэлектрлік датчик 17 бекітілген. Қосымша жүк қалып қойған кезде, фотоэлемент электронды миллисекундомерге берілетін электрлік импульсті қалыптастырады. Осылайша үлкен жүктердің бірқалыпты қозғалысының басталуы белгіленіп алынады. Фотоэлементтің оптикалық осі (оның корпусындағы сызық) ортаңғы кронштейннің орнынының көрсеткішінің дейгейде болады.

Колоннаның табанына, жүктер қозғалыстарының соңында соғылатын резиналы амортизаторлы екі кронштейн 18 бекітілген. Төменгі кронштейнде 3 тағы бір кронштейн күйінің көрсеткішімен сәйкес келетін оптикалық ості фотоэлектрлік датчик 19 бекітілген. Өмен қарай қозғалған жүктің төменгі қыры фотоэлемент осімен қилысқан кезде электрлік белгі қалыптасады да, ол миллисекундомерге беріледі.

Миллисекундомер 20, құралдың табанына бекітілген. Оның уақытты өлшеу диапазоны – 99,999 с. Оның алдыңғы панелінде үш клавиша бар:

$W_1$  – миллисекундомерді электр тізбегіне қосатын;

$W_2$  - «сброс»;

$W_3$  - «пуск».

Миллисекундомердің артқы панелінде фотоэлектрлік датчик және электромагнитті қосатын ұяшық және 220В тоққа қосатын вилкалы шнур бар.

### **Қауіпсіздік ережесі**

220-280В кернеулі қондырғылармен жұмыс істеу қауіпсіздігі туралы жалпы ережелерге сәйкес болады.

### **Жұмысты орындау тәртібі:**

1) Жұмыс орнында қондырғының сызбасын және сипаттамасын қолдана отырып оның құрылысымен және жұмыс істеу принципімен танысу.

2) 3 әртүрлі массалары  $m_i$  қосымша жүктер және екі бірдей  $M$  массалы жүктер бар екендігін тексеру. Жүктердің  $M$  массаларын және қосымша жүктердің  $m_i$  массаларын 1- кестеге енгізу.

17.1 кесте

$S_1$ М	$S_2$ М	$M$ КГ	$m_i$ КГ	$t_i, c$	$g_i,$ М/С <sup>2</sup>	$(\langle g \rangle - g_i)^2$	$\Delta g$ М/С <sup>2</sup>	$\varepsilon, \%$

3) Қондырғыны 220В ток көзіне қосып,  $W_1$  клавишаны басу. 4 және 5 қозғалмалы кронштейндерді өзгерте отырып жүктердің  $S_1$  бірқалыпты үдемелі және  $S_2$  бірқалыпты қозғалыстағы жолдарының мәнін таңдап алу. Кронштейннің таңдап алынған жағдайын белгілеп алу,  $S_1$  және  $S_2$  мәндерді 1- кестеге жазу.

4) Оң жақтағы жүкке  $m_1$  массалы қосымша жүкті қою. Жүктер қозғалысқа келуі үшін, магнитті  $W_3$  клавишасын басу арқылы өшіру. Оң жақтағы жүктің төменгі кронштейнмен 18 соқтығысуынан кейін, оның бірқалыпты қозғалыстағы уақытын 1- кестеге енгізу.  $W_2$  – «сброс» клавишасын басу.

5) Массасы  $m_2$  және  $m_3$  қосымша жүктерді қолданып 4 пункттегі операцияны 2 рет қайталап. Уақытты 1- кестеге енгізу.

6) (26) есептеу формуласымен еркін түсу үдеуінің  $g_i$  үш мәнін анықтап, мұндағы  $i = 1,2,3$  1-кестеге жазу.  $\langle g \rangle$  орташа мәнін табу.

7) Стюдент формуласымен  $\Delta g = t_{\alpha}(n) \cdot \sqrt{\frac{\sum(\langle g \rangle - g_i)^2}{n(n-1)}}$  өлшеулердің абсолют қателігін есептеу.  $\alpha = 0,95$  ықтималдығымен  $n=3$  болғанда  $t_{\alpha}(n)$  мәнін кестеден аламыз.

9) Соңғы нәтижені мына сенімділік интервалы түрінде жаз

$$g = \langle g \rangle \pm \Delta g \quad (29)$$

10) Төмендегі формуламен салыстырмалы қателікті есептей отырып, өлшеудің дәлдігін анықта

$$\varepsilon = \frac{\Delta g}{\langle g \rangle} \cdot 100\% \quad (30)$$

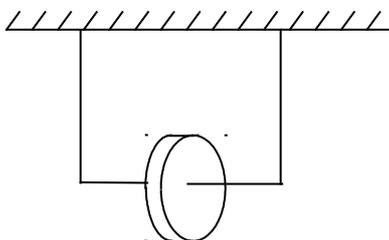
## Бақылау сұрақтары

1. Механикалық қозғалыс дегеніміз не?
2. Кеңістіктегі орындарды қандай теңдеулермен сипаттауға болады?
3. Негізгі кинематикалық шамаларға анықтама бер (траектория, жол, орын ауыстыру, үдеу)
4. Ньютон заңдары.
5. Механикада қандай күштер бар?
6. Еркін түсу үдеуін анықтау үшін жұмыс формуласын қорытып шығар.
7. Өлшеу әдісін баяндау.

### № 18 зертханалық жұмыс. Максвелл маятнигі

**Жұмыстың мақсаты:** Инерция моментің анықтау мысалында айналмалы қозғалатың динамика және энергияның сақтау заңдарын оқу.

**Құралдар:** металл сакиналармен жабдықталған FRM – 03 Максвелл маятнигі, штангенциркуль (1 сурет).



18.1

сурет

Осіне екі қабат жіппен оратылған диск төмен қарай түседі және төмен қарай айналмалы – айнымалы қозғалыс басталады, содан кейін жоғары қарай. Тәжірибе барысында энергияның бір түрден екінші түрге өзгеруін оңай байқауға болады. Маятник жоғарғы нүктеде қозғалыста емес және оның толық энергиясы потенциалды энергияға тең. Төмен түсіру кезінде дисктің осіне жіптің жанасу нүктесінің айналасында әр кезеңде айнала отырып, диск жоғарырақ бұрыштық жылдамдыққа ие болады.

Сәйкесінше, дисктің айналмалы қозғалысының кинематикалық энергиясы да оседі. Төменгі нүктеде бұл энергия максимумға жетеді, ал потенциалды энергия нөлге тең болады. Кинетикалық энергия арқасында диск көтеріле бастайды. Осында көтерілу биіктігі бастапқыға тең емес: энергияның бөлігі энергияның басқа түріне ауысады.

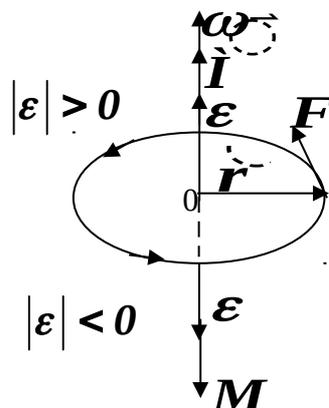
Массасы тұрақты дененің қозғалмайтын осьтегі айналысы мына теңдеумен өрнектеледі

$$\vec{M} = J \frac{d\omega}{dt} = I\epsilon \quad (1)$$

мұндағы  $M$  - денеге әсер ететін күш моменті;

$J$  - дененің инерция моменті;

$\epsilon$  - бұрыштық жылдамды.



1 сурет

Кейбір оське қатысты күш моменті деп қысқа қашықтық бойынша айналу осімен күш қосымшасы нүктесіне жүргізілген радиус-вектордың айналу жазықтығында жатқан күш векторы құрамасына вектордың көбейтіндісін айтады. Күш моменті - айналу осі бойымен бағытталған аксиал вектор. Күш моменті векторының бағыты бұранда ережесімен анықталады, сондықтан да, егер вектордың соңынан қараса, онда дененің қозғалысы сағат тіліне қарсы болады

$$M = |r \cdot F| \quad (2)$$

Вектордың модулі  $|M| = |r| \cdot |F| \cdot \sin \alpha$ , мұндағы  $\alpha$  –  $r$  және  $F$  арасындағы бұрыш.

Айналу осіне қатысты қатты дененің инерция моменті жүйенің материалдық нүктелер массаларың қарастырылатын оське дейінгі арақашықтық квадратына көбейтіндісінің қосындысына тең физикалық шама:

$$J = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2 \quad (3)$$

(1) теңдеу Ньютоның 2-заңының тура салдары болып табылады және Максвелл маятнінің қозғалысың сипаттау үшін өте қолайлы (квазисерпімді күштерді ескермегенде). Тәжірибелік жағдайда күш моменті маятнінің ауырлық күшінің және жіптер жұбынан болады. Бұл жердегі үйкеліс күшін әлсіз деп алып, тыныштық күйден ( $v_0 = 0$ ) берілген қашықтыққа дейінгі маятнінің жүру уақытын өлшей отыра, жүктің  $a$  үдеуің есептеуге болады

$$\vec{a} = \frac{2h}{t^2} \quad (4)$$

немесе

$$\vec{v} = \frac{dh}{dt} \quad \vec{a} = \frac{dv}{dt} = \frac{d}{dt}(\omega R) = \frac{d\omega}{dt} R = \varepsilon R \quad (5)$$

осьтің  $r$  радиусын және жіптің тартылу күші  $T$  -ні қолдана отырып

$$M = |r \times T| \quad (6)$$

табамыз. Бұдан маятник қозғалысының тендеуі анықталады

$$mg + T = ma \quad (7)$$

мұндағы  $m$  – маятниктің толық массасы.

(1) – (5) теңдеулерді ескере отырып, күш моменті үшін мына теңдеулерді жазуға болады

$$\vec{M} = m\vec{r}(\vec{g} + \vec{a}) = m \left[ \vec{g} + \frac{2h}{t^2} \vec{r} \right] \quad (8)$$

Кейбір оське қатысты кез келген қатты дененің инерция моменті былай анықталады

$$J = \int_V r^2 dm \Rightarrow \int_V r^2 dv \quad (9)$$

мұндағы  $\rho$  – заттың тығыздығы;

$r$  – масса элементінің айналу өсінен қашықтығы.

Айналу осіне қатысты массалардың үлесуімен симметриялық біртекті денелер үшін келесі формула орындалады

$$J = cmr^2 \quad (10)$$

мұндағы  $c$  – дененің геометриясымен анықталатын пропорционалдық коэффициенті.

(1) – (6) формулалар негізінде мынаны табамыз

$$J = \frac{M}{\varepsilon} = m \left[ g - \frac{2h}{t^2} r / \frac{2h}{rt^2} \right] = \frac{mr^2 t^2}{2h} \left[ g - \frac{2h}{t^2} \right] = mr^2 \left[ \frac{gt^2}{2h} - 1 \right] = \frac{md^2}{4} \left[ \frac{gt^2}{2h} - 1 \right]$$

ЯҒНИ

$$J_i = \frac{md^2}{4} \left[ \frac{gt_i^2}{2h_i} - 1 \right] \quad (11)$$

Қауыпсіздік шаралары

Жұмысқа сәйкес жалпы электр құралдарын қолданғанда ҚТ және ӨТ ережелерін сақтау.

Жұмыс кезінде басқа жаққа көңіл аудармай маятник қозғалысын бақылау, сонымен қоса үзіліс болмау үшін жіптің дұрыстығын бақылау.

### **Жұмысты орындау тәртібі**

- 1) FRM-03 құралымен танысу.
- 2) Құралдың төменгі кронштейннің датчикпен жылжытып, қажетті қалыпта бекіту.
- 3) Маятник ролигіне сақинаның біреуін кигізу және сонына дейін қысу керек.
- 5) Маятниктің толық түскен кезінде сақинаның шеті фотодатчиктің оптикалық осін 2-3 мм. болатындай маятник жіптерінің ұзындықтарын жөндеу.
- 6) Маятниктің осіне жіптерді бірқалыпты орау керек және сақинамен төменгі жағы өлшеуіш шкаладағы нольмен сәйкес келетіндей жоғары қалыпта бекіту, “ПУСК” клавишасын басу.
- 7) Маятник құралы және оның осі құрал негізіне қатан параллель болуы үшін түзету жүргізу.
- 8) Жіптің тартылуын тексеру. Қажет жағдайда маятниктің қозғалысының бағытын 5 бұрышқа бұрып босатуға болады.
- 9) “СБРОС” клавишасын басу, содаң соң “ПУСК” клавишасын басу.
- 10) Маятниктің түсу уақытын жазу.
- 11) Осы тәжірибені басқа да сақиналармен кемінде 5 рет қайталау.
- 12) Маятниктің жіптерінің ұзындығын ( $h$ ), маятник осінің ( $d_0$ ) және жіптердің ( $d_n$ ) диаметрінің мәнін өлшеу. Барлық берілгендерді кестеге енгізу.
- 13)

$$d = d_0 + 2d_n \quad (12)$$

$$m = m_0 + m_p + m_k \quad (13)$$

формулалары арқылы есептеу,  
мұндағы  $m_0$  - маятник өсінің массасы;  
 $m_p$  - роликтің массасы (негіздің);  
 $m_k$  - сақинаның массасы.

(10),(11)-ды (9)- ға қойып, маятниктер инерция моменттерін табу. Нәтижені келесі түрде жазу

$$J = \langle J \rangle \pm \Delta J \quad (14)$$

мұндағы  $\Delta J$  - абсолют қателік, ол төмендегі формула арқылы есептеледі

$$\Delta J = t_{\alpha}(n) \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{(\langle J \rangle - J_i)^2}{n(n-1)}} \quad (15)$$

14) Маятник үшін  $J$ -дің эксперименттік мәндерін мына өрнекпен тексеруге болады

$$J_m = \frac{c}{4} (m_k d_k^2 + m_p d_p^2 + m_o d_o^2) \quad (16)$$

мұндағы  $c = \frac{1}{2}$ ,  $d_k$  - сақинаның диаметрі,  $d_p$  - роликтің диаметрі.

1 кесте

$h_i$ м	$d_o$ м	$d_n$ м	$m_o$ кг	$m_p$ кг	$m_k$ кг	$t_i$ с	$J_i$ кг.м	$(\langle J \rangle - J_i)$ кг.м <sup>2</sup>	$\Delta J$ кг.м <sup>2</sup>	$\varepsilon$ %	$J_r$ кг.м

### Бақылау сұрақтары

1. Максвелл маятнигі дегеніміз не?
2. Дененің инерция моменті деп нені атайды?
3. Күш моменті дегеніміз не? Оның инерция моментімен байланысы.
4. Әр-түрлі денелердің инерция моменттерін қандай әдістермен анықтауға болады?
5. Максвелл маятнигі үшін дененің энергияның сақталу заңын қалай өрнектеуге болады?

## №19 Зертханалық жұмыс. Гироскоптың қозғалысын зерттеу

**Жұмыстың мақсаты:** Айналмалы қозғалыс динамикасының заңдарын және гироскоптың негізгі қасиеттерін зерттеу.

Сыртқы күштердің әсеріндегі гироскоптың қозғалысын эксперимент жүзінде зерттеу:  $\Omega = \Omega(r)$  және  $\Omega = \Omega(\omega)$  тәуелділікті анықтау.

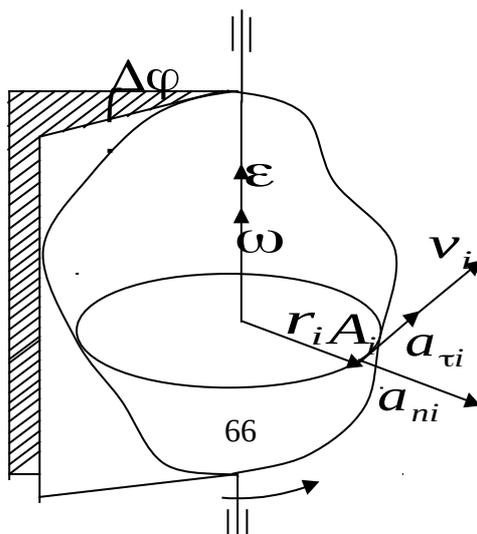
**Құрал жабдықтар:** ГРМ-10 “Гироскоп” эксперименталдық қондырғысы.

### Теориялық кіріспе

1) Қатты дененің айналмалы қозғалысы.

Қатты дененің қозғалысын суреттегенде механиканың көптеген есептерінде, оның қозғалысы кезіндегі пайда болатын деформацияны ескермейді де, қозғалыс процесінде арақашықтықтары өзгермейтін, материялық нүктелер жүйесі деп қарастырады. Мұндай дене **абсолют қатты дене** деп аталады.

2) **Ось айналысындағы айналмалы қозғалыс** деп қандай да бір нүктелері барлық уақытта қозғалыссыз болып қалатын қатты дененің қозғалысын айтады. Осы нүктелер арқылы өтетін түзу **айналу осі** деп аталады. Дененің қалған барлық нүктелері, айналмалы қозғалыс кезінде айналу осіне және осы осіне жататын орталықтарға перпендикуляр жазықтықтарда шеңбер сызады. Дененің айналмалы қозғалысының кинематикалық сипаттамалары



## 1 сурет

$\Delta\varphi$  - бұрыштық ығысу;

$\varepsilon$  - бұрыштық үдеу;

$v_i$  - дененің  $i$ -ші нүктесінің сызықты жылдамдығы;

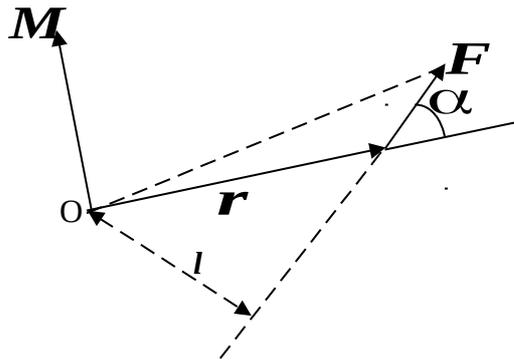
$a_{\tau_i}$  - дененің  $i$ -ші нүктесінің тангенциал үдеуі;

$a_{ni}$  - дененің  $i$ -ші нүктесінің нормаль үдеуі;

$\omega$  - бұрыштық жылдамдық.

**3) О нүктесінің айналысындағы айналмалы қозғалыс** деп дененің қандай да бір нүктесі қозғалмай, ал қалған нүктелерінің барлығы центрі  $O$  нүктесінде болатын сфераның бетімен қозғалғандағы қатты дененің қозғалысын айтады. Дененің осындай айналмалы қозғалысы кезіндегі кез келген оның элементарлы орын ауыстыруы,  $O$  нүктесі арқылы өтетін айналудың лездік осі деп аталатын, әлдебір ось айналасында элементарлы бұрылу болып табылады. Бұл осінің қозғалмайтын остен ерекшелігі оның уақыт өтісімен үздіксіз бағытын өзгертуінде. Нәтижесінде, дененің айналмалы қозғалысы бағытын үздіксіз өзгертетін лездік остер айналысындағы элементар бұрылулардың сериясынан тұрады.

4) Мұндай айналмалы қозғалыстың мысалы ретінде гироскоптың қозғалысы қарастырылады. Айналмалы қозғалыстың динамикалық сипаттамалары:



2 сурет

$M = |rF|$  - қозғалмайтын  $O$  нүктесіне қатысты күш моменті;

$M = rF \sin \alpha = Fl$  - күш моментінің модулі;

$r \sin \alpha = l$  - күш иіні;

$\vec{L} = \sum_{i=1}^n [r_i \vec{P}_i]$  - қозғалмайтын  $O$  нүктесіне қатысты

механикалық жүйенің импульс моменті, мұндағы

$L_i = [r_i, m\vec{v}_i] = [r_i p_i]$  -  $O$  нүктесіне қатысты материялық нүктенің импульс моменті;

$I_z = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2$  - дененің айналу осіне ( $Z$  осі) қатысты дененің (материялық нүктелер жүйесі) инерция моменті;

$L_z = I_z \omega_z$  - айналу осіне,  $Z$  осі, қатысты дененің импульс моменті;

$L = I\omega$  - айналу осіне қатысты векторлық түрдегі импульс моменті;

$W_k = I\omega^2 / 2$  - кинетикалық энергия.

### 1) Заңдар

Айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі заңы (моменттер теңдеуі). Механикалық жүйенің қозғалмайтын нүктеге қатысты импульс моментінен уақыт бойынша алынған туындысы жүйеге әсер ететін барлық күштердің сол нүктеге қатысты күш моментіне тең

$$dL / dt = M^{\text{внешн.}} \quad (1)$$

мұндағы  $\vec{M}^{\text{внешн}} = \sum_{i=1}^n \vec{M}_i^{\text{внешн}}$  - сыртқы күштердің басты моменті.

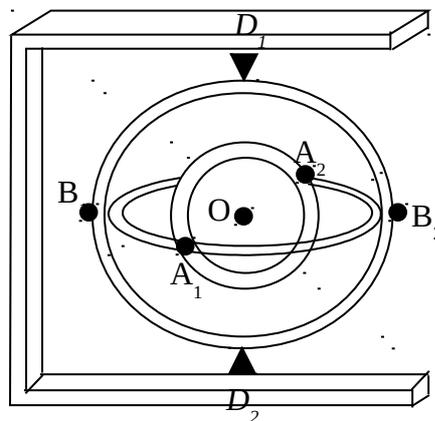
Қозғалмайтын  $Z$  осінің айналасында айналатын қатты дене үшін

$$dL_z / dt = M_z^{\text{внешн}} \quad (2)$$

мұндағы  $M_z^{\text{внешн}}$  - сыртқы күштердің басты моментінің  $Z$  осіне проекциясы.

**Импульс моментінің сақталу заңы:** тұйық жүйенің тыныштықтағы нүктеге қатысты импульс моменті уақыт осімен тұрақты болып қалады, яғни  $M^{\text{внешн}} = 0$  болғанда

$$dL / dt = 0 \Rightarrow L = \text{const} \quad (3)$$

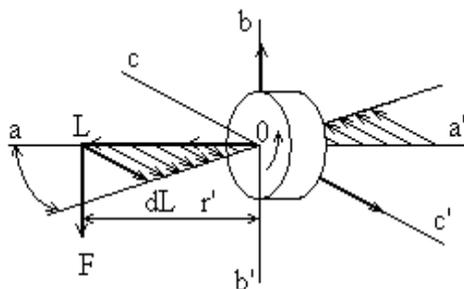


3 сурет

Ендеше, тұйық жүйенің кез келген қозғалмайтын оске қатысты импульс моменті де тұрақты болып қалады.  $M^{внеш} = 0$  болған кездегі қатты дене тұйық жүйе болып табылады. Олай болса, бекітілген ось үшін  $L = I\omega = const$ .

## 1 Гироскоп

**Гироскоп** деп кеңістікте осінің қалпын өзгерте алатын, жылдам айналатын, симметриялы қатты денені айтады. **Ілгек орталығы** деп аталатын, қозғалмайтын әлдебір  $O$  нүктесінің айналасында кез келген бағытта бұрылыс жасай алатындай етіп бекітілген гироскоп үш еркіндік дәрежеге ие болады (3 сурет).



4 сурет

Егер гироскоптың массалар орталығы (ауырлық орталығы) ілгек орталығымен сәйкес келсе, онда гироскоп **теңгерілген** деп аталады. Осы жағдайда ілгек орталығына қатысты гироскоптың барлық бөліктерінің ауырлық күштерінің қорытқы моменті нөлге тең болады, яғни теңгерілген гироскоп тұйық жүйе болып табылады. Оған **импульс моментінің сақталу заңы орындалады**  $L = const$  өйткені

$$M^{внеш} = dL / dt = 0 \quad (4)$$

Осыдан гироскоптың **бірінші қасиеті шығады:** оның осі әлемдік кеңістікте хабарланған бастапқы бағытын (себебі  $L = I\omega$  импульс моменті айналу осі бойымен бағытталған) сақтауға тырысады. Мысалы, бастапқыда ол қандай да бір жұлдызға бағытталған болса, онда гироскопты кез келген орынға ауыстырған кезде де ол жермен байланысқан остерге қатысты бағдарын өзгерте отырып, сол жұлдызға қарай бағытын сақтайды.

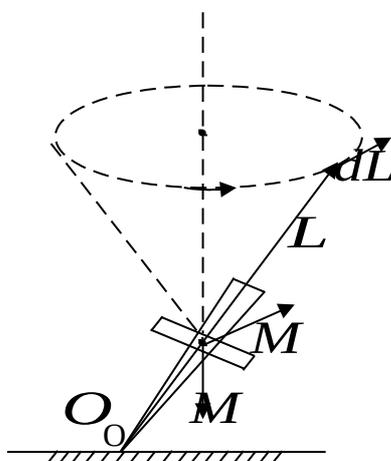
**Гироскоптың екінші қасиеті** - оның осін қозғалысқа келтіруге тырысатын, яғни ілгек орталығына қатысты айналдырушы момент туғызатын,  $F$  сыртқы күш оске әсер ете бастағанда байқалады. Оның осінің соңына түсірілген  $F$  күштің әсерінен ол күштің әсер еткен бағытына қарай, керісінше осы күшке перпендикуляр бағытта ауытқиды (4 сурет). Нәтижесінде гироскоп  $z'$  осінің айналасында тұрақты  $\Omega$  бұрыштық жылдамдықпен айнала бастайды. Бұл айналмалы қозғалыс динамикасының негізгі теңдеуінен  $dL/dt = M^{\text{внешн}}$  шығады, мұндағы  $L = I\omega$  -  $z'$  гироскоп осіне параллель вектор;  $\omega$  - бұрыштық жылдамдық векторы.

$M = [rF]$  - вертикаль жазықтықта оске әсер ететін  $F$  сыртқы күш моменті.  $L$  векторы  $dt$  уақытта  $dL = M^{\text{внешн}} \cdot dt$  сонымен қатар ( $dL_{\perp} = M^{\text{внешн}}$ ) өсімше алады, ол бұл осы уақытта гироскоп  $z'$  осі бойынша  $d\theta$  бұрышқа бұрылады деген сөз. Егер сыртқы күштер моменті жеткілікті аз болса,  $L$  векторын модулі бойынша тұрақты деп есептеуге болады.  $L$  тек бағыты бойынша ғана өзгереді. Сондықтан, (4 сурет)  $|dL| = |L| \cdot d\theta$ , яғни гироскоп  $z'$  осі бойынша  $\Omega = d\theta/dt$  бұрыштық жылдамдықпен айнала бастайды.

Сыртқы күштердің жеткілікті аз моменті дегенді нақтылайық.  $L$  векторы модулі бойынша өзгермеу үшін, яғни  $L = I\omega = \text{const}$ , оның шамасы  $\omega$ -ның мәнімен ғана анықталу керектігі, олай болса, бұрыштық жылдамдық  $\Omega$ , екендігі айқын. Осылайша, сыртқы күштер моменті гироскоп  $z'$  осі бойынша,  $z'$  осіне қарағанда аса баяу айналатындай мәнге ие болу керек.

$z'$  осі бойынша  $L$ -дың айналуын **прецессия**, ал  $\Omega$  -

**прецессия жылдамдығы** деп айтады. Мысалы, (5 сурет) балалар ойыншығының – юла осінің прецессиясы.



5 сурет

Прецессиямен қатар гироскоптың осі **нутация** деп аталатын кішкене (көзге байқалмайтын), остің орташа бағатының маңайында, шапшаң тербелістерді жасай алады. Нутация сыртқы күштердің қысқа мерзімді әсері кезінде (соққы кезінде) туындайды. Осы кезде моменттердің теңдеуі бойынша импульс моментінің кішкене өзгерісі пайда болады

$$\overline{\Delta L} = M^{\text{внеш}} \cdot \Delta t \quad (5)$$

(кішкене, себебі  $\Delta t$  аз).

$L$  өзгермейді деуге боларлық, ендеше, гироскоптың бағытының өзгерісі де өте аз болуы керек. Кенет соққыдан кейін гироскоптың осі алысқа кетпейді, керісінше, кішкене дірілдеп орнында қала береді. өте жылдам айналатын гироскоптарда нутация өте аз, және оларды мүлде ескермеуге болады. Гироскоптардың қасиеттеріне жаңа техникада кеңінен қолданылатын түрлі құрылғылар мен приборлар негізделген. Осылайша, навигация ақиқат (географиялық) меридиананың бағытын анықтайтын **гироскоп** қолданылады.

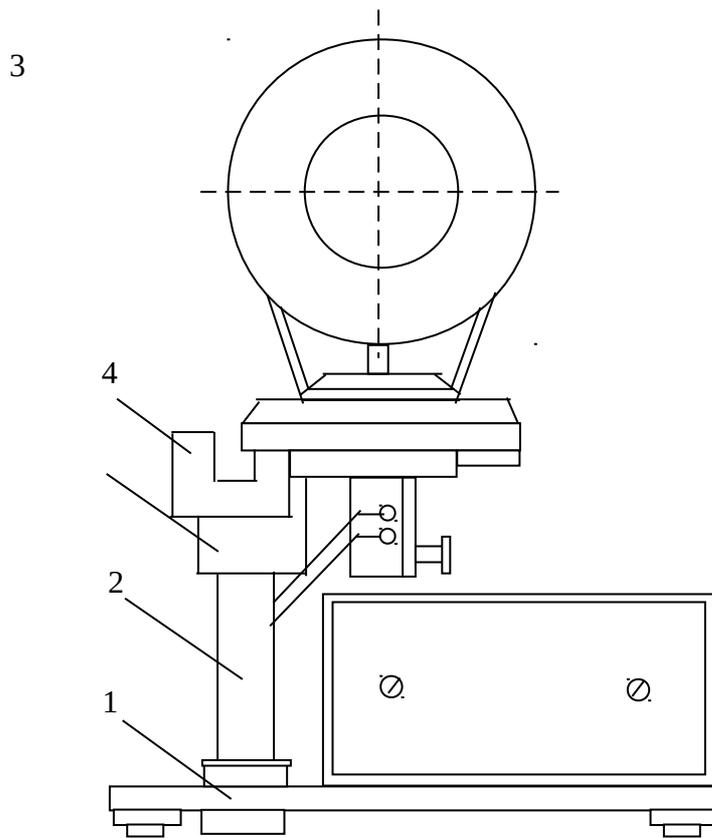
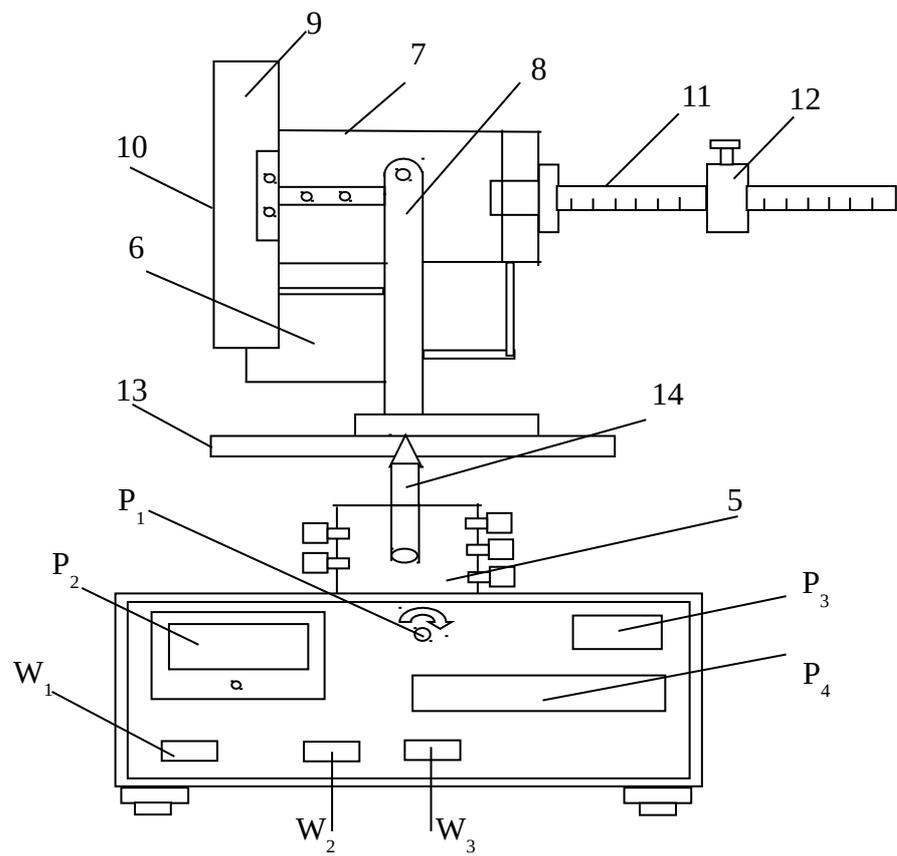
**Гировертикаль** – ақиқат жазықтықтың бағытын анықтайтын прибор (бортты качка бұрышын, ұшу

аппаратының тангаж бұрышын), **гироскоптар** – жердің жасанды серіктерінің бұрыштарын анықтайды; автопилоттар және автоматты түрде ұшу аппараттарының немесе корабль курсына басқаратын **гиростабилизаторлар** – объектінің немесе жеке құралдар мен құрылғыларын стабилизациялауға, сонымен қатар объектілердің ауытқу бұрышын анықтауға қолданылады. Олар ұшақтардың, судналардың, торпедалардың, ракеталардың қозғалысын автоматты түрде басқаруға және т.б. қолданылады.

### **Қондырғыны бейнелеп түсіндіру**

Осы жұмыста гироскоп ретінде б-суретте көрсетілгендей (10) осіне қаптамаға енгізілген салмақты болат маховик (9) орнатылған асинхронды электроқозғағыштың (7) роторы қолданылады. Қозғалтқыштың қарама-қарсы жағындағы статорда бөліктері бар (11) стержень және стерженнің бойымен қозғала алатын (12) қарсы салмақ орнатылған. Қозғалтқыш (8) тіркеу кронштейнге орнатылған. Қозғалтқыш осы тіреу кронштейнге қатысты горизонталь ось бойынша шектелген бұрылыс ала алды. Ал тіреу кронштейн гироскоппен бірге, (1) негізге бекітілген, (2) вертикалды колонкаға орнатылған. Негіз биіктіктері реттелетін аяқтармен жабдықталған.

Гироскоп вертикаль осі бойынша да айнала алады. Осы мақсатта гироскоптың вертикаль осі тіреу подшипниктеріне (5) бекітілген.



6 сурет

Маховик пен вертикаль ось, бірге жарық көзі және гироскоптың вертикаль осі бойынша  $\theta$  бұрылу бұрышын,  $\omega$  айналу жылдамдығын өлшеу үшін (4) және (6) фотоэлементтер болып қызмет ететін, периферия бойынша бірқалыпты кесілген жерлері бар арнайы дискілермен жабдықталған. Фотоэлектрлік датчиктерінен электр сигналдары өлшеу және басқару (15) блогына келіп түседі.

Блоктың (15) алдыңғы панелінде келесі басқару элементтері мен тіркеуіш приборлар орналасқан:

$W_1$  (сеть) – желісті ажыратқыш клавиша. Оның көмегімен кернеу көзін қосып, ажырату жүзеге асырылады;

$W_2$  (сброс) – жаңа өлшеулерге мүмкіндік беретін, блок сұлбасындағы сигналдарды өлшеумен генерациясын жоятын клавиша;

$W_3$  (стоп) – есеп процесінің соңына сигналдың генерациясын жоятын клавиша;

$P_1$  – жылдамдық реттеуші – потенциометр тұтқасы. Оны оңға бұрғанда электрқозғағыш іске қосылады, ал бұрауды ары қарай жалғастырғанда ротордың айналым саны өзгереді;

$P_2$  – тахометр шкаласы – ротордың  $\nu$  айн/мин\* $10^3$  айналым санын өлшеу үшін қолданылатын прибордың шкаласы;

$P_3$  – гироскоптың вертикаль ось бойынша  $\theta$  бұрылу бұрышының градусық көрсетушісі;

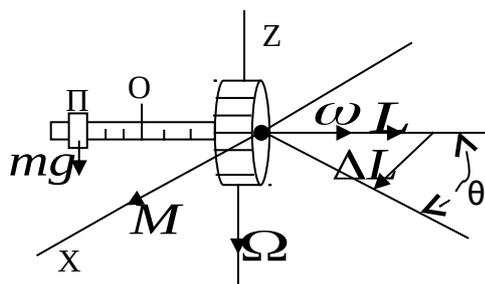
$P_4$  – секундомер шкаласы, онымен өлшенетін уақат диапазоны 1 – 99,999с.

$W_1$  клавишасының басылған кезіндегі желістің қосылуы  $P_3$  және  $P_4$ , құралдарының ноль цифрын көрсетіп тұрған индикаторларының және фотоэлектрлік датчиктердің шамдарының жануымен тіркеледі.

### **Қауіпсіздік техникасы**

Жұмыс кезінде кернеуі 250В-тан аспайтын құрылғыларға тағайындалған қауіпсіздік техникасының ережелерін сақтау керек.

## Зерттеу әдістері және тапсырмалар



7 сурет

Ұсынылып отырған зертханалық қондырғы импульс моментінің сақталу заңының дұрыстығына көз жеткізуге, гироскоптың прецессиясын бақылауға және гироскоптың айналу жылдамдығы мен сыртқы күш моментінің прецессия жылдамдығына әсерін зерттеуге мүмкіндік береді.

7-суретте маховикпен бірге  $\omega$  жылдамдықпен айналатын электродвигательдің роторы және  $\Gamma$  қарсы салмағы бар горизонтальды стержень көрсетілген.

Қарсы салмақты стержень бойымен жылжыта отырып, гироскопты балансирлеуге болады, яғни ротордың осін горизонталь етіп қоюға болады (Y осі бойымен).

Бұл теңгерілген гироскоптың қалпы болады ( $L = \text{const}$ ). Бұған жүктің үстінен жайлап ұру арқылы көз жеткізуге болады. Сонымен қатар, гироскоптың осі вертикаль жазықтықта айналмау керек. Осы кездегі жүктің орнын белгілейік (суретте O нүктесі).

Жүкті O нүктесінен  $r$  қашықтыққа оңға не солға жылжыту арқылы тепе-теңдікті бұзамыз - сыртқы айналдырушы момент туғызамыз

$$M = [\vec{r} m \vec{g}] \quad (6)$$

мұндағы  $m$  - жүк массасы

$\Omega$  - бұрыштық прецессияны есептеу формуласы

$$M = d\vec{L}/dt \Rightarrow d\vec{L} = M dt \quad (7)$$

$|M|$  мәні аз болғанда -  $|L| = \text{const}$  . Онда  $dL = |L|d\theta$  , ал

$$M = dL/dt = |L|d\theta/dt = |L|\Omega$$

(8)

Осыдан

$$\Omega = \frac{|M|}{|L|} = \frac{mgr}{J_y \omega}$$

(9)

мұндағы  $I_y$  - айналу осіне қатысты маховик пен ротордың инерция моменті.

(2) өрнектен прецессияның  $\Omega$  бұрыштық жылдамдығы гироскоптың  $|L|$  импульс моментінің абсолютті мәніне тура пропорционалдығы шығады

$$|L| = I_y \omega$$

(10)

Стерженьдегі жүктің орны мен электродвигателінің жылдамдығын өзгерте отырып, осы қорытынды эксперименттік жолмен дәлелдеуге болады.  $M = mgr$  шамасы мен  $\Omega$  прецессия бұрыштық жылдамдығын есептеп, (1) формуласынан гироскоптың импульс моментінің шамасын өлшеуге болады

$$L = mgr / \Omega$$

(11)

(3) формуласынан маховикпен бірге двигатель роторының инерция моменті анықталынады

$$I_y = L / \omega$$

(12)

### **Жұмысты орындау тәртібі**

1) Қондырғыны ток көзіне қоспай тұрып, гироскоптың  $Y$  және  $Z$  өстері бойымен айналатындығын тексеру керек. Панельдегі өлшеуіш құралдар, батырмалар мен реттегіш құралдардың не үшін қолданылатындығын тексеріңіз.

2) Реттегіш винттердің көмегімен стойканы вертикаль бағытқа қойыңыз.  $\Pi$  жүкті білік шкаласының бойымен жылжыта отырып, оны вертикаль өске перпендикуляр етіп орнатыңыз.

3) Қондырғыны ток көзіне қосыңыз. P1-ді оңға қарай жылжыта отырып, электр моторын қосыңыз да қосқышты баяу жылжытып, айналу жиілігін  $(5-6) \cdot 10^3$  айн/мин дейін жеткізіңіз.

4)  $\Pi$  жүктің үстінен ақырын соғып гироскоптың тепе-теңдік күйге келгендігіне көз жеткізіңіз.  $\Pi$  тұрған орынды гироскоптың тепе-тең күйде болған жағдайында белгілеп алыңыз (жазып алыңыз).

1 тапсырма.  $\omega = \omega(\nu)$  тәуелділігін өлшеу

5)  $\Pi$  қарама-қарсы жүкті (противовес) шкала бойынша O нүктесінен  $r=2-3$  см қашықтыққа солға қарай жылжытыңыз.  $r$ -ді сол күйінде сақтап және  $10^3$  интервалды өткен сайын айналу жиілігін  $\nu=6 \cdot 10^3$  айн/мин бастап өзгертіп отыра,  $\theta$  прецессия бұрышын белгілеңіз де  $\omega_i$  және  $\Omega_i$  шамаларын анықтаңыз. Алынған мәндерді 1-кестеге енгізіңіз.

1 кесте

$\nu$ об/мин	$\omega_i = \frac{2\pi\nu}{60}$ $c^{-1}$	$\theta$ град.	$t_i$ с	$\Omega_i = \frac{\theta^0 \pi}{180^0 t}$ $c^{-1}$

6) Алынған мәндер бойынша  $\omega = \omega(\nu)$  графигін салыңыз. (1) формула арқылы алынған  $\omega = \omega(\nu)$  тәуелділікті салыстырыңыз.

## 2 тапсырма. $\omega = \omega(r)$ тәуелділігін өлшеу

1)  $\omega$  мәні белгілеп алып,  $r$ -ді өзгерте отырып (2 см-ден бастап 0,5-1,5 см аралық сайын өсу бағытында),  $\omega = \omega(r)$  тәуелділігін зерттеңіз. Әрқайсысы үшін (2) формула бойынша гироскоптың импульс моментін

анықтаңыз. Алынған өлшеулер мен есептеулерді 2 кестеге енгізіңіз.

2 кесте

$r_i$ м	$\theta$ град Д	$t_i$ с	$\Omega_i = \frac{\theta^0 \cdot \pi}{180^0 \cdot t_i}$ с <sup>-1</sup>	$L_i = \frac{mgr_i}{\Omega_i}$ кг·м <sup>2</sup>	$(\langle L \rangle - L_i)^2$	$\Delta L$	$\varepsilon$	$I$ кг·м <sup>2</sup>

2)  $\Delta L = t_\alpha(n) r$  графигін салыңыз.

$$\Delta L = t_\alpha(n) \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\langle L \rangle - L_i)^2}{n(n-1)}} \quad \text{және} \quad \varepsilon = \Delta L / \langle L \rangle \quad (13)$$

формулалары бойынша абсолют және салыстырмалы қателіктерді анықтаңыз.

2)  $\langle L \rangle$ -ді пайдаланып (3) формуламен  $I$  гироскоп. инерция моментін анықта

Есептеу формулалары 
$$\Omega = \frac{|M|}{|L|} = \frac{mgr}{J_y \omega} \quad (14)$$

$$L = mgr / \Omega \quad (15)$$

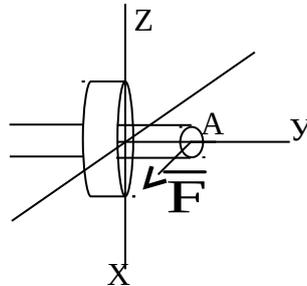
$$I_y = \langle L \rangle / \Omega \quad (16)$$

### Бақылау сұрақтары

1. Материялық нүктелер үшін динамиканың негізгі заңын (моменттер теңдеуі) қорытып шығар.
2. Импульс моментінің сақталу заңын дәлелдеңіз.
3. Гироскоп деп нені айтады? Тепе-теңдік күйдегі гироскоп дегеніміз не?

4.  $\Omega$  гироскоптың прецессия жиілігі үшін (2) формуласын есептеп шығарыңыз.

5.  $y$  өсін жылдам айналып тұрған гироскоп бар болсын.  $A$  нүктесіне  $X$  өсі бойымен  $F$  әсер етеді. Осы кезде гироскоптың өсі жоғары көтеріледі. Гироскоптың  $\varpi$  бұрыштық айналу жиілігінің бағытын көрсетіңіз.



8 сурет

### Әдебиет

1 Трофимова Т.И. Курс физики. учебное пособие для вузов.

- 7-е изд. : - М. : 2003. - 542 с.

2 Детлаф А.А., Яворский, Б.М. Курс физики. учебное пособие для вузов /А.А. Детлаф., Б.М. Яворский: - М. : Высшая школа, 1989. - 607 с.

3 Савельев И.В. Курс общей физики. - М. : 1989. - 350 с.

4 Кортнев А.В. и др. Практикум по физике: Учебное пособие для вузов. - М. : 1965. - 509 с.

5 Иверонова В.И. Физический практикум. Механика и молекулярная физика.- 2-е изд. : - М. : 1967. - 280 с.



4	Баллистикалық маятниктің көмегімен оқтың ұшу жылдамдығын анықтау.....	22
5	Обербек маятнігінің инерция моментін динамикалық әдіспен анықтау .....	27
6	Стокс әдісі арқылы сұйықтықтың ішкі үйкеліс коэффициентін анықтау.....	32
7	Энергияның және импульстің сақталу заңдарын тексеруде денелердің соқтығысуын мысал ретінде қарастыру.....	35
8	Еркін түсу үдеуін Ативуд машинасының көмегімен анықтау.....	42
9	маятнігі.....	Максвелл 52
10	Гироскоптың зерттеу.....	қозғалысын 57
	Әдебиеттер.....	70

