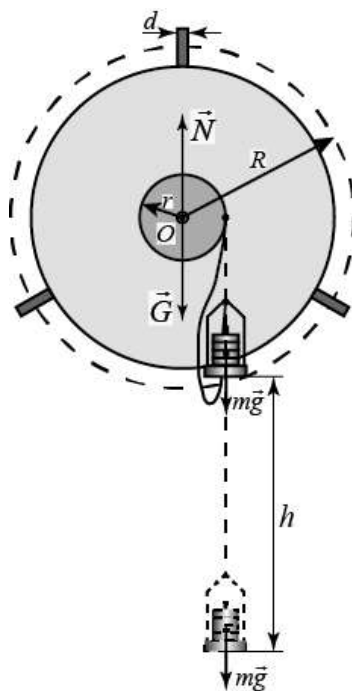


# LUCRARE DE LABORATOR

## Studiul legii conservării momentului cinetic și determinarea momentului de inerție al volantului

Îndrumar de laborator la fizică



Chișinău  
2016

**UNIVERSITATEA TEHNICĂ A MOLDOVEI  
FACULTATEA INGINERIE ȘI MANAGEMENT ÎN  
ELECTRONICĂ ȘI TELECOMUNICAȚII**

**CATEDRA FIZICĂ**

**Studiul legii conservării momentului  
cinetic și determinarea momentului  
de inerție al volantului**

**Lucrare de laborator la fizică**

**Indicații metodice**

**Chișinău  
Editura „Tehnica-UTM”  
2016**

Îndrumarul de laborator este elaborat în conformitate cu programele de studii la fizică pentru Universitatea Tehnică. Sunt formulate scopul și obiectivele lucrării și este prezentat succint materialul teoretic la tema studiată. De asemenea, sunt formulate întrebări de control, răspunsul la care necesită minimul de cunoștințe necesare pentru admiterea la efectuarea lucrării de laborator.

Îndrumarul este destinat studenților tuturor specialităților, cu studii la zi și cu frecvență redusă.

Autori: conf. univ., dr. A. Rusu  
lector superior S. Gutium  
lector superior C. Pîrțac  
lector superior A. Popovici

Recenzent – conf. univ., dr. S. Rusu

Redactor: E. Gheorghişteanu

-----  
Bun de tipar 13.12.16.

Hârtie ofset. Tipar RISO

Coli de tipar 1,0.

Formatul hârtiei 60x84 1/16.

Tirajul 55 ex.

Comanda nr.92  
-----

2004, U.T.M., Chișinău, bd. Ștefan cel Mare și Sfânt, 168.

Editura „Tehnica-UTM”

2068, Chișinău, str. Studenților, 9/9

© UTM, 2016

## Lucrarea de laborator Nr. 12c

### Studiul legii conservării momentului cinetic și determinarea momentului de inerție al volantului

**Scopul lucrării:** verificarea experimentală a legii conservării momentului cinetic și determinarea momentului de inerție al unui volant.

**Obiective:** în rezultatul efectuării acestei lucrări studenții trebuie să fie capabili:

- să definească noțiunea de corp absolut rigid, mișcarea de rotație, noțiunile de moment al forței, moment de inerție și moment cinetic (al impulsului);
- să formuleze și să explice principiul fundamental al dinamicii mișcării de rotație, inclusiv pe baza analogiei dintre mișcarea de translație și cea de rotație în jurul unei axe fixe;
- să formuleze legea conservării momentului cinetic și să explice în ce condiții aceasta este valabilă;
- să explice de ce și în ce condiții este valabilă legea conservării momentului cinetic în experiment;
- să explice cum se realizează experimentul;
- să deducă formula (17), reieșind din legea conservării momentului cinetic;
- să explice modul de verificare experimentală a relației (19);
- cu ajutorul softului propus să verifice experimental relațiile (19) și (21), construind graficele dependențelor studiate și determinând valorile constantei  $C$  și a termenului liber  $b$ , precum și momentul de inerție al volantului  $I$ ;
- cu ajutorul softului propus să calculeze erorile standard ale mărimilor  $C, b_1, I, b$ ;

- să tragă concluzii privind valabilitatea legii conservării momentului cinetic și privind valorile măsurate indirect ale momentelor de inerție;
- cu ajutorul softului propus să perfecțeze referatul la lucrarea de laborator.

**Materiale și accesorii:** Calculator, soft pentru procesarea datelor experimentale, cablu COM, cronometru electronic, 1 senzor, stativ cu volant fixat, taler cu fir, mase identice, șubler, riglă milimetrică.

**A se studia:** cap. 4 din [1].

## **Considerații teoretice și experimentale**

**Corpul, părțile componente ale căruia nu-și modifică pozițiile reciproce când este supus acțiunilor externe se numește corp absolut rigid sau pur și simplu rigid.**

**Se numește mișcare de rotație a unui corp rigid mișcarea, în decursul căreia punctele lui descriu cercuri, centrele cărora se află pe o dreaptă numită axă de rotație.**

Mișcarea de rotație a unui corp rigid în jurul unei axe fixe se produce în conformitate cu principiul fundamental al dinamicii mișcării de rotație:

$$\varepsilon = \frac{M}{I}. \quad (1)$$

**Accelerația unghiulară  $\varepsilon$  a unui corp la rotația sa în jurul unei axe fixe este direct proporțională cu momentul resultant  $M$  al tuturor forțelor ce acționează asupra corpului în raport cu această axă și invers proporțională cu momentul de inerție  $I$  al corpului în raport cu aceeași axă.**

Expresia (1) este analogică cu expresia principiului fundamental al dinamicii mișcării de translație:

$$\vec{a} = \frac{\vec{F}}{m}. \quad (2)$$

**Accelerația  $\vec{a}$  a unui corp în mișcarea sa de translație este direct proporțională cu rezultanta  $\vec{F}$  a tuturor forțelor (cauza mișcării de translație) ce acționează asupra corpului, invers proporțională cu masa corpului  $m$  (măsura inerției corpului la mișcarea de translație) și este orientată de-a lungul rezultantei  $\vec{F}$ .**

Astfel, se poate spune că în cazul mișcării de rotație mărimea analogică accelerației  $\vec{a}$  la mișcarea de translație este accelerația unghiulară  $\varepsilon$ , mărimea analogică forței  $\vec{F}$  este momentul forței  $M$  (cauza mișcării de rotație), iar

mărimea analogică masei este momentul de inerție (măsura inerției corpului la mișcarea de rotație). Momentul unei forțe  $\vec{F}$  față de o axă fixă de rotație se definește ca produsul dintre modulul acestei forțe  $F$  și brațul ei  $r_{\perp}$  (fig. 1):

$$M = F \cdot r_{\perp}. \quad (3)$$

**Momentul de inerție al unui punct material de masa  $m$  se definește ca produsul dintre masa lui și pătratul distanței  $r$  până la axa de rotație:**

$$I = mr^2. \quad (4)$$

Momentul de inerție al unui sistem din  $N$  puncte materiale se definește ca suma produselor maselor tuturor punctelor materiale  $m_i$  și pătratele distanțelor lor  $r_i$  până la axa de rotație:

$$I = \sum_{i=1}^N m_i r_i^2. \quad (5)$$

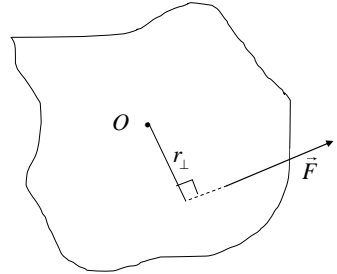


Fig. 1

În cazul când sistemul reprezintă un corp rigid se poate considera că masa lui este distribuită continuu pe tot volumul corpului. În acest caz formula (5) trece în [1]:

$$I = \int_{(V)} r^2 dm, \quad (6)$$

unde  $dm$  este masa unui element de volum, iar  $r$  este distanța acestuia până la axa de rotație,  $V$  fiind volumul corpului. Formula (6) permite calcularea momentelor de inerție ale diferitor corpuri de formă regulată. Astfel, pentru momentul de inerție al unui disc omogen de masa  $m$  și rază  $R$  în raport cu axa ce trece prin centrul lui de masă perpendicular planului discului, se obține formula [1]

$$I = \frac{mR^2}{2}. \quad (7)$$

Principiul fundamental al dinamicii mișcării de rotație a corpului în jurul unei axe fixe poate fi reprezentat și astfel [1]:

$$\frac{dL}{dt} = M, \quad (8)$$

unde  $L = I\omega$  este momentul cinetic (momentul impulsului) al corpului rigid ce se rotește în jurul axei fixe, iar  $M$  este momentul rezultat al tuturor forțelor externe ce acționează asupra rigidului în raport cu aceeași axă,  $\omega$  fiind viteza unghiulară a mișcării de rotație a corpului, iar  $I$  - momentul de inerție al rigidului în raport cu axa fixă. Într-adevăr, ținând seama că pentru un rigid momentul de inerție  $I$  nu variază pe parcursul mișcării, din (8) se obține

$$I \frac{d\omega}{dt} = M \Rightarrow I\varepsilon = M, \quad (9)$$

ceea ce coincide cu (1). Ecuația momentelor (8) poate fi scrisă prin analogie cu legea variației impulsului  $\vec{p} = m\vec{v}$  unui punct material sub acțiunea unor forțe cu rezultanta  $\vec{F}$ :

$$\frac{d\vec{p}}{dt} = \vec{F}. \quad (10)$$

Dacă în (10) se operează substituțiile formale  $\vec{p} \Rightarrow L$  și  $\vec{F} \Rightarrow M$ , atunci se obține (8). Însăși expresia  $L = I\omega$  pentru momentul cinetic al unui rigid se poate scrie, de asemenea, prin analogie cu expresia  $\vec{p} = m\vec{v}$ , în care se operează substituțiile formale  $\vec{p} \Rightarrow L$ ,  $m \Rightarrow I$  și  $\vec{v} \Rightarrow \omega$ .

Legea variației momentului cinetic (8) este valabilă și pentru un sistem de corpuri. În acest caz  $L$  reprezintă suma algebrică a momentelor cinetice a tuturor corpurilor sistemului în raport cu axa de rotație fixă, iar  $M$  - momentul rezultat al tuturor forțelor externe ce acționează asupra tuturor corpurilor sistemului în raport cu aceeași axă.

Dacă momentul rezultat al tuturor forțelor externe ce acționează asupra tuturor corpurilor sistemului în raport cu axa fixă de rotație este egal cu zero

$$(M = 0), \quad \text{atunci} \quad \frac{dL}{dt} = 0 \Rightarrow L = \text{const.}$$

Aceasta înseamnă că, **dacă momentul forțelor externe în raport cu oricare axă fixă este egal cu zero, atunci momentul cinetic al sistemului în raport această axă se menține constant pe parcursul timpului, oricare ar fi interacțiunile din interiorul sistemului.** Aceasta este legea conservării momentului cinetic în raport cu o axă fixă.

Pentru confirmarea experimentală a legii conservării momentului cinetic vom utiliza un volant fixat pe un stativ. Pe axa fixă a volantului  $OO$  (fig. 2 și 3) este îmbrăcată o roată de curea de rază  $r$  de care poate fi legat un fir la capătul căruia este suspendat

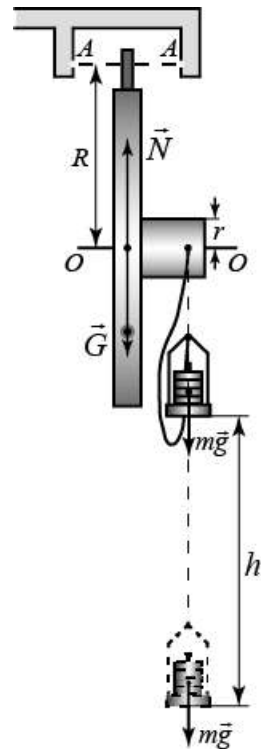


Fig. 2



un taler, care împreună cu masa greutăților plasate în el, are masa  $m$ . Talerul cu greutateți este ridicat la înălțimea  $h$  și eliberat. Căzând liber de la înălțimea  $h$  talerul întinde firul și pune în mișcare volantul. Când talerul cu greutateți întinde firul, apare interacțiunea dintre taler și volant prin intermediul firului. Despre caracterul acestei interacțiuni, care depinde de elasticitatea întotdeauna prezentă a firului, se știe puțin. Este clar numai că în rezultatul acestei interacțiuni crește viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și se micșorează viteza talerului. Firul se întinde până la momentul când aceste viteze se egalează. O astfel de interacțiune de foarte scurtă durată poate fi asemănată cu o ciocnire

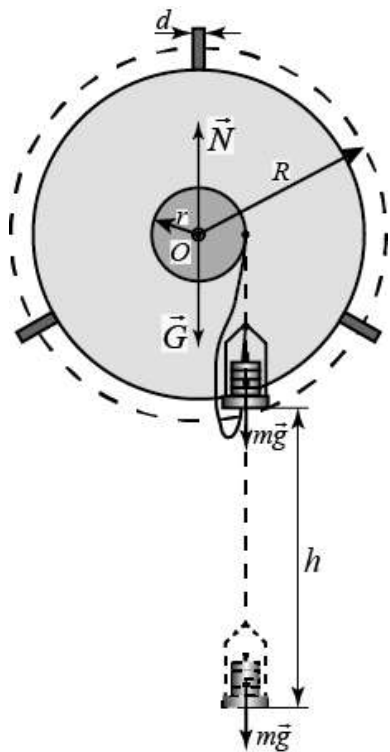


Fig. 3

absolut neelastică, întrucât anume la ciocnirea absolut neelastică a două corpuri, acestea se deformează până la momentul când vitezele lor devin egale. Este clar că legea conservării energiei mecanice, ca la orice ciocnire plastică, nu este aplicabilă. Dar, pentru sistemul taler-volant este valabilă legea conservării momentului cinetic. Aupra sistemului taler-volant acționează trei forțe exterioare: forța de greutate a talerului  $m\vec{g}$ , forța de greutate a volantului  $\vec{G}$  și forța de reacție a axei  $\vec{N}$ . Întrucât ultimele două forțe trec prin axa volantului, momentele acestora sunt egale cu zero. Momentul forței  $m\vec{g}$  egal cu  $mgr$  este cu mult mai mic decât momentul forțelor interne de interacțiune dintre volant și taler, dacă înălțimea de la care cade talerul nu este prea mică, și poate fi

neglijat în comparație cu momentul forțelor interne. Chiar și dacă momentul  $mgr$  al forței  $m\vec{g}$  nu este prea mic în comparație cu momentul forțelor interne, acesta nu poate schimba esențial starea sistemului pe parcursul interacțiunii talerului cu volantul, întrucât durata interacțiunii este extrem de mică.

Astfel în acest experiment trebuie să se respecte legea conservării momentului cinetic al sistemului taler-volant:

$$L_1 = L_2, \quad (11)$$

unde  $L_1$  și  $L_2$  sunt momentele cinetice ale sistemului taler-volant la începutul și, respectiv la momentul când viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și viteza talerului se egalează. Întrucât la începutul interacțiunii volantul era încă nemișcat, mărimea  $L_1$  reprezintă momentul cinetic al talerului în cădere față de axa de rotație a volantului:

$$L_1 = mv_1r,$$

unde  $v_1$  este viteza talerului după căderea de la înălțimea  $h$  exact înainte de începerea interacțiunii:  $v_1 = \sqrt{2gh}$ . Astfel,

$$L_1 = mv_1r = mr\sqrt{2gh}. \quad (12)$$

Mărimea  $L_2$  este egală cu suma momentului cinetic al talerului și cel al volantului, atunci când vitezele talerului și punctelor de pe suprafața roții de curea devin egale:

$$L_2 = mv_2r + I\omega, \quad (13)$$

unde viteza unghiulară  $\omega$  a volantului poate fi exprimată prin viteza punctelor de pe suprafața roții de curea  $v_2$  la momentul când aceasta se egalează cu viteza greutateii:  $\omega = v_2/r$ . Substituind în (13), obținem

$$L_2 = v_2 \left( mr + \frac{I}{r} \right). \quad (14)$$

Dar instalația experimentală nu permite determinarea vitezei  $v_2$ , ci a vitezei  $v$  a punctelor obturatorului înșurubat în obada volantului aflate la distanța  $R$  de la axa de rotație (fig. 3):  $v = d/t_1$ , unde  $d$  este diametrul obturatorului cilindric înșurubat în obada volantului (fig. 2,3), iar  $t_1$  este intervalul de timp în care acesta întretaie fascicolul senzorului. Întrucât vitezele unghiulare ale tuturor punctelor volantului sunt aceleași, se poate scrie că

$$\frac{v_2}{r} = \frac{v}{R} \Rightarrow v_2 = \frac{r}{R} v = \frac{r}{R} \frac{d}{t_1}. \quad (15)$$

Aici trebuie să observăm că măsurarea vitezei  $v = d/t_1$  nu se poate realiza la momentul când viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și viteza talerului se egalează, ci numai după ce talerul sare înapoi sub acțiunea forței de elasticitate a firului întins. Către momentul începerii măsurării vitezei greutatea transmite volantului un impuls dublu față de cel luat în seamă în relația (12). Din această cauză, la momentul măsurării intervalului de timp  $t_1$  momentul cinetic al volantului este dublu față de cel căpătat la momentul când viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și viteza talerului se egalează. Ținând seama de acest aspect și substituind (15) în (14), pentru momentul cinetic al sistemului taler-volant la momentul când viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și viteza talerului se egalează, obținem:

$$L_2 = \frac{1}{2} \frac{r}{R} \frac{d}{t_1} \left( mr + \frac{I}{r} \right) = \frac{d(mr^2 + I)}{2Rt_1} = \frac{dm \left( r^2 + \frac{I}{m} \right)}{2Rt_1}. \quad (16)$$

Substituind (12) și (16) în (11), obținem

$$r\sqrt{2gh} = \frac{d\left(r^2 + \frac{I}{m}\right)}{2Rt_1},$$

sau

$$t_1\sqrt{h} = \frac{d\left(r^2 + \frac{I}{m}\right)}{2rR\sqrt{2g}} = \text{const} = C \Rightarrow \sqrt{h} = \frac{C}{t_1} \quad (17)$$

pentru valori fixe ale razei roții de curea  $r$  și a masei talerului  $m$ . Dependența (17) poate fi privită ca o dependență liniară de tipul  $Y = pX$ , unde  $Y = \sqrt{h}$ ,  $X = 1/t_1$ ,  $p = C$ . Această dependență ar putea fi confirmată experimental, numai dacă la măsurarea înălțimii  $h$  nu s-ar comite nici o eroare sistematică. Condiția aceasta este mai dificil de asigurat, întrucât la căderea talerului întotdeauna se produce o anumită alungire a firului, alungire care introduce o anumită eroare sistematică la măsurarea înălțimii  $h$ . De aceea dependența (17) în experiment va avea aspectul

$$Y = pX + b_1, \quad (18)$$

unde termenul liber  $b_1$  se va considera diferit de zero  $b_1 \neq 0$  în pofida faptului că dependența teoretică indică  $b_1 = 0$ . Aceasta se face pentru a putea depista eventuale erori sistematice la măsurarea mărimii  $h$ , precum și pentru eliminarea influenței acestora asupra valorii pantei dreptei  $p = C$ . Astfel, constanta  $C$  din (17) reprezintă panta dreptei

$$\sqrt{h} = \frac{C}{t_1} + b_1, \quad (19)$$

(fig. 4) și poate fi determinată după metoda celor mai mici pătrate [2]. Pentru aceasta trebuie de realizat  $n_1 \geq 5$  serii a câte  $N \geq 1$  măsurări a intervalului de timp  $t_1$  pentru  $n_1 \geq 5$  valori ale înălțimii

$h$  de la care se eliberează talerul. Metoda permite, de asemenea, determinarea mărimii  $b_1$ , precum și a erorilor standard  $\Delta C$  și  $\Delta b_1$ . Dacă graficul construit după punctele experimentale într-adevăr reprezintă un segment de dreaptă, atunci se poate afirma că legea conservării momentului cinetic este valabilă în experiment în limitele anumitor erori, întrucât

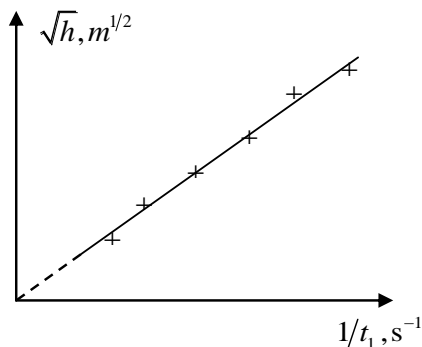


Fig. 4

relația (17) este echivalentă cu (11). Dacă  $\Delta b_1 \geq b_1$  pentru nivelul de încredere  $P^* = 0,999$ , atunci se poate afirma că dreapta (18) în limitele erorilor comise trece prin origine, după cum o cere dependența teoretică (17). În caz contrar va fi depistată o eroare sistematică la măsurarea mărimii  $Y = \sqrt{h}$  sau a mărimii  $X = 1/t_1$ . În experiment se comit și erori întâmplătoare, care, după cum se știe [2], sunt caracterizate de eroarea standard, care pentru mărimea  $X = 1/t_1$  este:

$$\Delta_s \bar{X} = \frac{\Delta_s X}{\sqrt{N}} = \sqrt{\frac{1}{N(N-1)} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2} \quad (20)$$

având nivelul de încredere  $P^* = 0,683$ . Trebuie menționat că atunci când  $N=1$ , sau când  $N$  este mic ( $N < 5$ ), calcularea erorii standard  $\Delta_s \bar{X}$  nu mai are sens.

Să analizăm acum de ce depinde constanta  $C$ . După cum se vede din (17), această constantă depinde de masa talerului  $m$ , de momentul de inerție al volantului  $I$ , de raza roții de curea  $r$  și de diametrul obturatorului  $d$ . Din aceste 4 mărimi numai masa talerului poate să varieze în acest experiment. Dependența dintre  $C$

și  $m$  este dată de relația (17), care poate fi transformată după cum urmează:

$$\frac{d\left(r^2 + \frac{I}{m}\right)}{2rR\sqrt{2g}} = C \Rightarrow \frac{2rRC\sqrt{2g}}{d} = r^2 + \frac{I}{m} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow r\left(\frac{2RC\sqrt{2g}}{d} - r\right) = \frac{I}{m} \quad (21)$$

Aceasta este o dependență liniară de tipul (18), unde

$$Y = r\left(\frac{2RC\sqrt{2g}}{d} - r\right),$$

$$X = \frac{1}{m}, \quad p = I, \quad \text{iar } b$$

trebuie să fie egal cu zero, dacă nu se comite nici o eroare sistematică la măsurarea vreuneia din mărimile  $C, r, R$  sau  $m$ .

Întrucât acest aspect nu

poate fi cunoscut anticipat, vom considera  $b \neq 0$ . Astfel, construind după punctele experimentale graficul dependenței (21) (fig. 5) și determinând panta acestei drepte, vom determina momentul de inerție al volanului. Pentru aceasta trebuie să repetăm experiența pentru  $n \geq 5$  valori diferite ale masei talerului  $m$ :  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_n$  și să obținem  $n$  valori ale constantei  $C$ , adică a pantei dreptei (19):  $C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$ . Numai după aceasta se poate construi graficul dependenței (21) și după metoda celor mai mici pătrate se poate determina panta acestei drepte, adică momentul de inerție al volanului, precum și termenul liber  $b$ . De asemenea, utilizând aceeași metodă, se pot determina erorile standard ale pantei dreptei  $\Delta I$  și ale termenului liber  $\Delta b$ . Dacă  $\Delta b \geq b$  pentru nivelul de

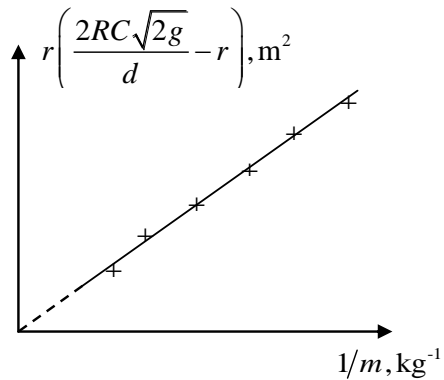


Fig. 5

încredere  $P^* = 0,999$ , atunci se poate afirma că dreapta (21) trece prin origine, după cum o cere dependența teoretică. În caz contrar va fi depistată o eroare sistematică la măsurarea mărimii

$$Y = r \left( \frac{2RC\sqrt{2g}}{d} - r \right) \text{ sau a mărimii } X = 1/m.$$

Trebuie de menționat că vom putea avea o convingere definitivă privind valabilitatea legii conservării momentului cinetic în experiment, doar atunci când valoarea momentului de inerție obținut va coincide cu valoarea obținută în baza altor experimente, de exemplu, în lucrarea Nr. 4c.

Instalația de măsurare permite înșurubarea pe axa volantului a unor corpuri atât de formă regulată, cât și de formă neregulată. Repetând seriile de măsurări pentru  $n \geq 5$  valori diferite ale masei talerului  $m$  și cunoscând momentul de inerție al volantului, se poate determina momentul de inerție al corpului de formă regulată, de exemplu, a unui disc, sau a unui corp de formă neregulată. Dacă corpul are forma unui disc de masa  $m$  și raza  $R$ , atunci rezultatul obținut poate fi comparat cu cel teoretic calculat cu ajutorul formulei (7).

## Fișa de lucru

1. Selectați un număr  $n_1 \geq 5$  de subserii de măsurări cărora le corespunde  $n_1 \geq 5$  valori ale înălțimii  $h$  de la care va fi eliberat talerul; selectați, de asemenea, numărul de serii  $n \geq 5$  cărora le corespunde  $n \geq 5$  valori ale masei talerului  $m$ .
2. Accesați programul pentru efectuarea lucrării de laborator și introduceți numărul de serii  $n_1 \geq 5$ , numărul de măsurări (repetări)  $N$  din cadrul fiecărei serii. Valoarea acestui număr poate fi selectată din intervalul  $1 \leq N \leq 10$  în dependență de timpul aflat la dispoziție pentru efectuarea lucrării de laborator (la indicația profesorului). Introduceți, de asemenea, valoarea numărului de serii  $n \geq 5$ , precum și valorile înălțimii  $h$  și a

- masei talerului  $m$ . Conectați cronometrul electronic la portul "COM" al calculatorului și porniți-l.
3. Stabiliți volantul astfel încât punctul în care este legat firul pe roata de curea să se afle pe orizontala ce trece prin axa de rotație, iar obturatorul volantului să se afle puțin mai jos de fascicolul senzorului.
  4. Accesați butonul "**Start**", apoi eliberați talerul de la înălțimea selectată. Accesați butonul "**Citirea intervalelor**" și transferați intervalul măsurat de timp  $t_1$  la calculator.
  5. Accesați butonul "**Următoarea măsurare**" și repetați p. 4 încă de  $N - 1$  ori. La terminarea subseriei de măsurări se va calcula valoarea medie a intervalului de timp  $t_1$  și eroarea standard a mărimii  $X = 1/t_1$  după formula (20). Calculul erorii standard se va realiza numai dacă  $N \geq 5$ .
  6. Repetați pp. 4 și 5 încă de  $n_1 - 1$  ori pentru alte  $n_1 - 1$  valori ale înălțimii  $h$ .
  7. La terminarea primei serii de măsurări ( $n = 1$ ) ce corespunde primei valori a masei talerului  $m_1$  din cele  $n \geq 5$  selectate la început, se va construi graficul dependenței mărimii  $Y = \sqrt{h}$  de mărimea  $X = 1/t_1$  și se va determina după metoda celor mai mici pătrate valoarea  $C_1$  a constantei  $C$ . De asemenea, se vor calcula valoarea constantei  $b_1$ , precum și erorile standard  $\Delta C_1$  și  $\Delta b_1$ . Stabiliți, dacă  $\Delta b_1 \geq b_1$  pentru nivelul de încredere  $P^* = 0,999$ . Trageți concluzii.
  8. Adăugați pe taler o greutate suplimentară, introduceți valoarea nouă a masei talerului  $m_2$  și repetați toate subseriile din pp. 4-7, determinând valoarea  $C_2$  a constantei  $C$ .
  9. Repetați p. 8 încă de  $n-2$  ori, determinând și celelalte valori ale constantei  $C$ , precum și convingându-va că dependența (19) este liniară.
  10. La accesarea butonului „**Următoarea măsurare**” după ultima măsurare din ultima subserie de măsurări se va activa butonul



„**Continuare**”. Accesându-l veți ajunge la fereastra „**Prelucrarea datelor experimentale**”. Accesând butonul „**Procesarea datelor**” din această pagină, construiți graficul dependenței (21), calculați panta dreptei  $p = I$  și valoarea termenului liber  $b$ .

11. Accesând butonul „**Calculul erorilor**” calculați erorile standard ale pantei dreptei  $\Delta I$  și ale termenului liber  $\Delta b$ . Verificați, dacă  $\Delta b \geq b$  pentru nivelul de încredere  $P^* = 0,999$ . Trageți concluzii.
12. Introduceți rezultatul final pentru momentul de inerție al volantului și comparați-l cu valoarea obținută în lucrarea 4c;
13. Accesând butonul „**Concluzii**”, deschideți fereastra „**Concluzii**” și formulați-le.
14. Accesând butonul "**Referat**", porniți programul de perfectare a referatului. După perfectarea lui, salvați-l.
15. Repetați (la dorință și cu acordul profesorului) lucrarea cu volantul pe axa căruia este înșurubat un disc omogen cu masa și raza cunoscute. Determinați momentul de inerție al discului și comparați-l cu momentul de inerție calculat după formula (7).
16. Repetați (la dorință și cu acordul profesorului) lucrarea cu volantul pe axa căruia este înșurubat un corp de formă neregulată. Determinați momentul de inerție al acestuia.

## Întrebări de control

1. Ce se numește corp absolut rigid, mișcare de rotație, moment al forței, moment de inerție și moment cinetic (al impulsului)?
2. Formulați și explicați principiul fundamental al dinamicii mișcării de rotație în jurul unei axe fixe.
3. Formulați și explicați legea conservării momentului cinetic. În ce condiții ea este valabilă?
4. Explicați esența experimentului.
5. Explicați de ce în experiment trebuie să fie valabilă legea conservării momentului cinetic?

6. Deduceți relația (17), reieșind din legea conservării momentului cinetic.
7. Cum se verifică experimental relația (19)?
8. De ce în relația (19) se consideră  $b_1 \neq 0$ ?
9. Ce concluzie ați trage dacă graficul dependenței (19) ar fi un segment de dreaptă?
10. Ce concluzie ați trage dacă segmentul de dreaptă nu ar trece prin originea de coordonate?
11. După ce formulă se calculează eroarea standard comisă la măsurarea mărimii  $X = 1/t_1$ . Cărui nivel de încredere îi corespunde? Pentru ce valori ale numărului de măsurări  $N$  se recomandă calcularea ei?
12. Deduceți relația (21), reieșind din relația (17).
13. De ce în relația (21) se consideră  $b \neq 0$ ?
14. Ce concluzie ați trage dacă graficul dependenței (21) ar reprezenta un segment de dreaptă?
15. Cum cu ajutorul datelor experimentale colectate se determină momentul de inerție al volantului?
16. Cum se poate verifica în experiment formula teoretică pentru momentul de inerție al unui disc omogen față de axa perpendiculară planului discului și care trece prin centrul lui de masă?

### Bibliografie

1. A. Rusu, S. Rusu. Ciclu de prelegeri. **I. Bazele mecanicii clasice**. Chișinău, Edit. "Tehnica-UTM", 2014, 130 p.
2. A. Rusu, S. Rusu, C. Pîrțac. Prelucrarea datelor experimentale. Îndrumar de laborator la fizică. Chișinău, Secția Redactare și Editare a U.T.M., 2012.