

Învățarea prin Cercetare a Legii Conservării Momentului CINETIC

Rusu Al., Gutium S., Popovici A.
Universitatea Tehnică a Moldovei
Chișinău, Moldova
fizica.rusu@gmail.com

Abstract — This article presents a laboratory experiment that proves the angular momentum law of conservation in physics. The method consists of identifying the linear relationships between measured physical quantities, which are equivalent with the law of conservation of angular momentum during the interaction between a flywheel, with a body linked to it via an elastic thread. The measurement of the time intervals is performed using a computer interfaced electronic timer with accuracy of 0.0001 s, and the data is processed using the Least-Squares Method. The proposed method allows to prove the law of conservation of angular momentum through experiment, as well as determine the moment of inertia of the flywheel.

Index Terms—electronic timer, flywheel, angular momentum, moment of inertia.

I. INTRODUCERE

Studierea prin cercetare a diferitor procese și legi fizice permite studenților să le înțeleagă și să le însușească mai profund, întrucât această metodă facilitează analiza pe viu a limitelor de aplicabilitate ale acestora. Pe lângă acest aspect este de remarcat și însușirea motivată a metodelor de cercetare experimentală în fizică cu impact substanțial în tehnică. În calitate de exemplu, propunem o metodă de verificare experimentală la lucrările de laborator a legii conservării momentului cinetic pentru un volant care se rotește în jurul unei axe OO, fixate pe un stativ (fig. 1). Pentru măsurarea intervalelor de timp necesare se utilizează un cronometru digital interfațat calculatorului, care permite măsurarea cu precizia de 0,0001 s a unui număr de până la 99 intervale consecutive de timp, utilizând unul sau doi senzori [1].

II. CONSIDERAȚII TEORETICE ȘI EXPERIMENTALE

Pe roată de curea de rază r a volantului este fixat capătul unui fir, de celălalt capăt al căruia este suspendat un taler, care împreună cu greutatea plasată pe el, are masa m . Talerul cu greutatea este ridicat la înălțimea h și eliberat. Căzând liber de la înălțimea h talerul întinde firul și pune în mișcare volantul. Când talerul cu greutatea întinde firul, apare interacțiunea dintre taler și volant prin intermediul firului. Despre caracterul acestei interacțiuni, care depinde de elasticitatea întotdeauna prezentă a firului, nu se știe nimic. 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 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. Asupra 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, momentul lor este egal cu zero. Momentul forței $m\vec{g}$ egal cu mgr , în cazul dacă înălțimea de la care cade talerul nu este prea mică, este cu mult mai mic decât momentul forțelor interne de interacțiune dintre volant și taler, și poate fi neglijat în comparație cu momentul forțelor interne.

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

$$L_1 = L_2, \quad (1)$$

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,

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

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: $L_2 = mv_2r + I\omega$, unde viteza unghiulară ω a volantului poate fi exprimată prin viteza punctelor de pe suprafața roții de curea v_2 : $\omega = v_2/r$. Astfel,

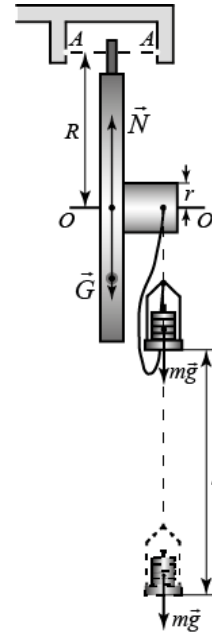


Fig. 1

$$L_2 = v_2(mr + I/r). \quad (3)$$

v_2 se exprimă prin viteza v a punctelor obturatorului înșurubat în obada volantului, aflate la distanța R de la axa de rotație (fig. 1): $v_2 = \frac{r}{R}v = \frac{r}{R} \frac{d}{t_1}$, unde d este diametrul

obturatorului cilindric înșurubat în volant, iar t_1 este intervalul de timp în care acesta întretaie fasciculul senzorului. Aici trebuie să menționăm 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. Se produce o interacțiune elastică asemănătoare ciocnirii elastice a unui corp de impulsul \vec{p} cu un perete imobil în urma căreia peretelui i se transmite un impuls egal cu $2p$. Exact la fel și sistemul taler-volant, după ce talerul sare, posedă un moment cinetic de două ori mai mare decât cel determinat de relația (3). Ținând seama de acest aspect, pentru momentul cinetic al sistemului taler-volant, la momentul când viteza punctelor de pe suprafața roții de curea și viteza talerului se egalează, obținem:

$$L_2 = \frac{dm(r^2 + I/m)}{2Rt_1} \quad (4)$$

Substituind (2) și (4) în (1), obținem

$$t_1 \sqrt{h} = \frac{d(r^2 + I/m)}{2rR\sqrt{2g}} = \text{const} = C \quad (5)$$

pentru valori fixe ale mărimilor r și m . Dependența (5) poate fi privită ca o dependență liniară de tipul

$$Y = p_0 X + b_0 \quad (6)$$

unde $Y = \sqrt{h}$, $X = 1/t_1$, $p_0 = C$, iar termenul liber b_0 se va considera diferit de zero $b_0 \neq 0$ în pofida faptului că dependența teoretică indică $b_0 = 0$. Aceasta se face pentru a putea depista eventuale erori sistematice la măsurarea mărimilor h și t_1 , precum și pentru eliminarea influenței acestora asupra valorii pantei dreptei C . Valoarea pantei poate fi determinată prin metoda celor mai mici pătrate [1,2], dacă se realizează $n \geq 5$ serii din câte $N \geq 7$ măsurări a intervalului de timp t_1 pentru $n \geq 5$ valori ale înălțimii h de la care se eliberează talerul. Dacă se realizează aceste $n \geq 5$ serii de măsurări pentru $n_1 \geq 5$ valori ale masei talerului, atunci se obține o familie de drepte cu diferite pante C , dependente de masa talerului. În fig.2 este reprezentată o astfel de familie, obținută pentru 7 valori ale masei talerului, indicate în fig. 2. Din figură se vede că dependența (6) pentru fiecare masă fixă a talerului într-adevăr reprezintă un segment de dreaptă, ceea ce confirmă veridicitatea legii conservării momentului cinetic în această experiență, întrucât relațiile (5) și (6) sunt echivalente relației (1). Din fig. 2 se vede că dreptele (6), construite după punctele experimentale, nu trec prin origine, depistându-se anumite erori sistematice comise, mai ales, din cauza alungirii firului elastic sub acțiunea forței

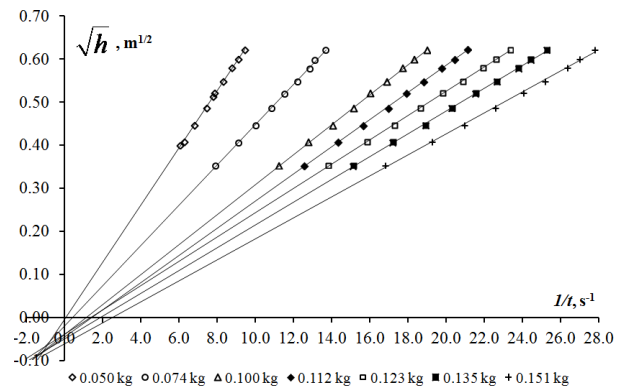


Fig. 2

de greutate a talerului. Dependența (5) a pantei dreptei (6) de masa talerului permite determinarea momentului de inerție I al volantului, întrucât relația

$$r \left(\frac{2RC\sqrt{2g}}{d} - r \right) = \frac{I}{m} \quad (7)$$

ce rezultă din (5) poate fi privită ca o funcție liniară de tipul (6), panta căreia coincide cu acest moment de inerție (fig. 3). Nici în acest caz dreapta construită nu trece exact prin origine, observându-se prezența unei erori

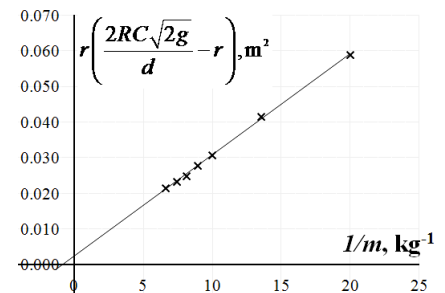


Fig. 3

sistematice, eroare care nu influențează valoarea momentului de inerție $I = (2,80 \pm 0,02) \cdot 10^{-3} \text{ kg} \cdot \text{m}^2$. Această valoare practic coincide cu cea obținută pentru același volant la verificarea legii a doua a lui Newton pentru mișcarea de rotație [3].

III. CONCLUZII

Învățarea prin cercetare permite însușirea mai profundă de către studenți a legilor fizice, întrucât această metodă facilitează studierea limitelor de aplicabilitate ale acestora, stimulând pe această cale gândirea fizică.

REFERINȚE

- [1] A. Rusu, C. Pîrțac, S. Rusu. Trusa de mecanică asistată de calculator. Procesarea datelor. Fizica și tehnologii moderne. V 6, Nr. 3-4 (23-24), 2008, p. 10-21.
- [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.
- [3] A. Rusu, S. Rusu, C. Pîrțac. Lucrări de laborator la mecanică asistate de calculator. Îndrumar de laborator la fizică. Chișinău, Secția Redactare și Editare a U.T.M., 2012.