

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ "ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА"
Кафедра загальної фізики

Лабораторія механіки й молекуляр-
ної фізики

ЗВІТ

До лабораторної роботи № 5

Назва роботи: *“Вивчення основного рівняння динаміки обертального руху твердого тіла”*

Виконав:

Коваленко Д.М.
студент групи ПЗ-16
інституту ІКНІ

Лектор:

доцент кафедри фізики
Рибак О.В.

Керівник лабораторних занять:

доцент кафедри фізики
Рибак О.В.

Дата виконання:

24.03.2022

Мета роботи

Експериментально перевірити основні рівняння динаміки обертального руху.

Прилади та матеріали

Маятник Обербека, секундомір, різноватки (тіла рівної маси), штангенциркуль, міліметрова лінійка.

Теоретичні відомості

Момент інерції J_z [кг·м²]

$$J_z = \sum_{i=1}^n m_i r_i^2, \text{ де } m_i - \text{маса } i\text{-ї частинки тіла}$$

r_i - відстань частинки від осі Oz

$$J_z = \int_m r^2 dm = \left| \rho = \frac{m}{V} \right| = \rho \int_V r^2 dV$$

$$J = \frac{1}{2} m R^2$$

Теорема Штейнера

Момент інерції тіла J_z відносно довільної осі дорівнює сумі моменту інерції J_c відносно осі, паралельної даній, що проходить через центр мас тіла і добутку маси тіла m на квадрат відстані між осями.

$$J_z = J_c + m d^2$$

Момент сили

Момент сили відносно нерухомого центра O називається векторна величина, що дорівнює добутку радіус-вектора \vec{r}' , проведеного з точки O до точки прикладання сили, на вектор сили \vec{F}' .

$$M' = [\vec{r}' \vec{F}'], \quad M = \sum F \sin \alpha = F \ell$$

Основний закон динаміки обертального руху твердого тіла

$$\frac{dL'}{dt} = M' \Rightarrow \frac{dL'_z}{dt} = M_z \Rightarrow \frac{d(J_z \omega)}{dt} = J_z \frac{d\omega}{dt} = J_z \varepsilon$$

$$\boxed{J_z \varepsilon = M_z}$$

Момент сили відносно осі обертання дорівнює добутку моменту інерції тіла відносно цієї осі на набуте тілом кутове прискорення.

Інша система закриття

$$\frac{dL'}{dt} = 0, \quad L' = \text{const}$$

Момент імпульсу замкненої системи постійний у часі.

Таблиці результатів вимірювань і розрахунків

ТАБЛИЦЯ 1

N	$h, \text{мм}$	$\Delta h, \text{мм}$	$d, \text{мм}$	$\Delta d, \text{мм}$	$R, \text{мм}$	$\Delta R, \text{мм}$
1	915	0,05	38,2	0,025	19,1	0,025
2	915	0,05	38,2	0,025	19,1	0,025
3	915	0,05	38,2	0,025	19,1	0,025
сер	915	0,05	38,2	0,025	19,1	0,025

ТАБЛИЦЯ 2(1)

N	$m = 0,227 \text{ кг}$		$m = 0,311 \text{ кг}$		$m = 0,395 \text{ кг}$	
	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$
1	13,16	0,03	11,30	0,32	9,28	0,14
2	12,68	0,45	11,82	0,20	9,77	0,35
3	13,56	0,43	11,73	0,11	9,22	0,20
сер	13,13	0,30	11,62	0,21	9,42	0,23

ТАБЛИЦЯ 3(1)

$m, \text{кг}$	$E, \text{с}^{-2}$	$M, \text{Н·м}$	$\Delta E, \text{с}^{-2}$	$M_T, \text{Н·м}$
0,227	0,5555	0,0425	0,0263	0,015
0,311	0,7100	0,0582	0,0268	0,015
0,395	1,0790	0,0739	0,0541	0,015

ТАБЛИЦЯ 2(2)

N	$m = 0,227 \text{ кг}$		$m = 0,311 \text{ кг}$		$m = 0,395 \text{ кг}$	
	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$
1	8,19	0,12	7,06	0,08	6,11	0,11
2	7,93	0,14	6,88	0,10	5,83	0,17
3	8,09	0,02	7,01	0,03	6,06	0,06
сер	8,07	0,09	6,98	0,07	6	0,11

ТАБЛИЦЯ 3(2)

$m, \text{кг}$	$E, \text{с}^{-2}$	$M, \text{Н·м}$	$\Delta E, \text{с}^{-2}$	$M_T, \text{Н·м}$
0,227	1,4712	0,0424	0,0360	0,002
0,311	1,847	0,0580	0,0414	0,002
0,395	2,6614	0,0736	0,1042	0,002

ТАБЛИЦЯ 2(3)

N	$m = 0,227 \text{ кг}$		$m = 0,311 \text{ кг}$		$m = 0,395 \text{ кг}$	
	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$	$t, \text{с}$	$\Delta t, \text{с}$
1	5,8	0,05	5	0,07	4,48	0,03
2	5,85	0	5,25	0,18	4,53	0,08
3	5,9	0,05	4,95	0,12	4,35	0,10
сер	5,85	0,03	5,07	0,12	4,45	0,07

ТАБЛИЦЯ 3(3)

$m, \text{кг}$	$E, \text{с}^{-2}$	$M, \text{Н}\cdot\text{м}$	$\Delta E, \text{с}^{-2}$	$M_T, \text{Н}\cdot\text{м}$
0,227	2,7997	0,0423	0,0357	0,005
0,311	3,7323	0,0578	0,1852	0,005
0,395	4,8311	0,0733	0,1561	0,005

ТАБЛИЦЯ 4(1) $m = 0,227 \text{ кг}$

розміщення циліндрів	$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$E, \text{с}^{-2}$	$1/J, \text{кг}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$
	0,0135	2,7997	74,0976
	0,0282	1,4712	35,5138
	0,0519	0,5555	19,2510

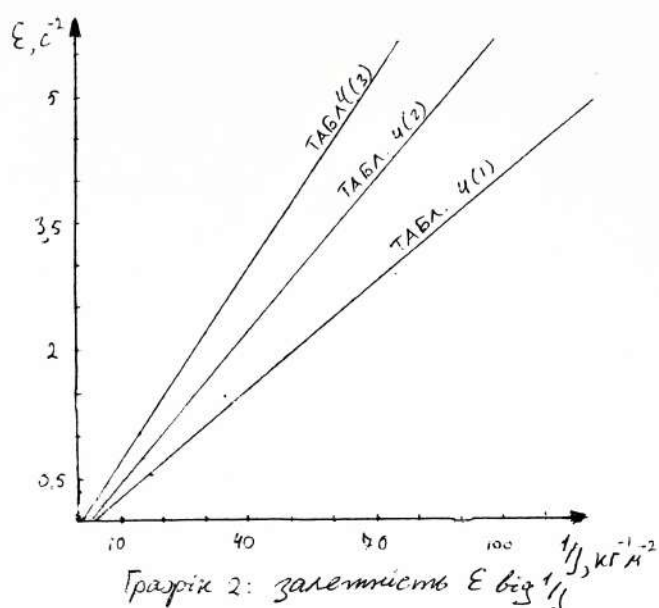
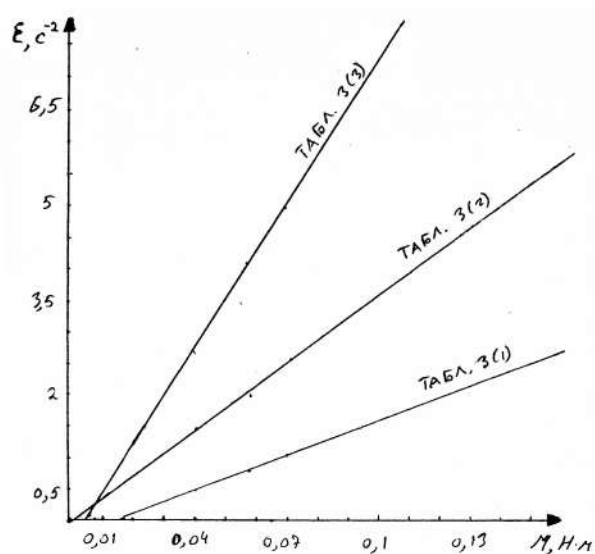
ТАБЛИЦЯ 4(2) $m = 0,311 \text{ кг}$

розміщення циліндрів	$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$E, \text{с}^{-2}$	$1/J, \text{кг}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$
	0,0149	3,7323	67,1180
	0,0291	1,9647	34,3133
	0,0632	0,7100	15,8183

ТАБЛИЦЯ 4(3) $m = 0,395 \text{ кг}$

розміщення циліндрів	$J, \text{кг}\cdot\text{м}^2$	$E, \text{с}^{-2}$	$1/J, \text{кг}^{-1}\cdot\text{м}^{-2}$
	0,0146	4,8311	68,4335
	0,0280	2,6614	35,7019
	0,0574	1,0790	17,4124

Графіки



Робочі формули

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{2h}{t^2 R}, \\ M &= FR = m\left(g - \frac{2h}{t^2}\right)R = m(g - \xi R)R, \\ \Delta \xi &= \left(\frac{\Delta h}{h} + \frac{\Delta R}{R} + 2 \frac{\Delta t}{t}\right)\xi, \\ M - M_T &= J\xi, \\ J &= \frac{M - M_T}{\xi},\end{aligned}$$

Обчислення шуканих величин за робочими формулами

$$\begin{aligned}\xi &= \frac{2 \cdot 915 \cdot 10^{-3}}{(13,13)^2 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3}} = 0,5555 \text{ (с}^{-2}\text{)} \\ M &= 0,227(9,8 - 0,5555 \cdot 19,1 \cdot 10^{-3}) \cdot 19,1 \cdot 10^{-3} = 0,0425 \text{ (Н.м)} \\ J &= \frac{0,0423 - 0,005}{2,999 - 0,0357} = 0,0135 \text{ (кг.м}^2\text{)}\end{aligned}$$

Обчислення похибок

$$\Delta \xi = \left(\frac{0,05 \cdot 10^{-3}}{915 \cdot 10^{-3}} + \frac{0,025 \cdot 10^{-3}}{19,1 \cdot 10^{-3}} + 2 \cdot \frac{0,30}{13,13}\right) \cdot 0,5555 = 0,0263 \text{ (с}^{-2}\text{)}$$

Висновок

На лабораторній роботі з експериментально перевірили основне рівняння динаміки обертального руху. Обчислили кутове прискорення, момент сили, момент інерції, похибки вимірювань та побудували графіки залежності кутового прискорення від моменту сили та залежності кутового прискорення від зворотного обертеного до моменту інерції.