

Міністерство освіти і науки України
Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені
Ігоря Сікорського»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра інформатики та програмної інженерії

Звіт

з лабораторної роботи № 2.1 з дисципліни
«Ігрова фізика»

**„ ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ
МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА”**

Виконав(ла)

ІП-15 Мешков Андрій Ігорович
(шифр, прізвище, ім'я, по батькові)

Перевірив

Скирта Юрій Борисович
(прізвище, ім'я, по батькові)

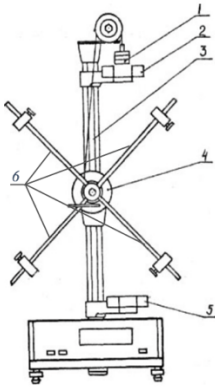
Київ 2022

Лабораторна робота № 2.1

ВИВЧЕННЯ ЗАКОНІВ ДИНАМІКИ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

Теорія методу та опис експериментальної установки

Маятник Обербека — це різновид простого маятника, який має дуже малий період коливань, зазвичай порядку кількох секунд. Простий маятник складається з маси, або боба, підвішеного до фіксованої точки на нитці або стрижні. Коли маятник зміщується з положення спокою та відпускається, він буде коливатися вперед і назад через силу тяжіння, що діє на масу.



Маятник Обербека розроблений таким чином, щоб мати дуже короткий період коливань, як правило, кілька секунд, завдяки використанню дуже короткої довжини маятника та невеликої маси боба. Це дозволяє використовувати його як високоточний пристрій для вимірювання часу, оскільки період коливань є дуже послідовним і стабільним. Його також використовували в дослідженнях для вивчення властивостей маятників та їх поведінки за різних умов.

Рух маятника визначається моментом сили натягу нитки M і моментом сил тертя M_T , що дозволяє записати рівняння обертового руху у вигляді:

$$I\beta = M - M_T, (1)$$

$$\text{де } \beta = a/r, a = 2h / t^2, I = k = \tan \varphi = \Delta M / \Delta \beta,$$

Підставивши прискорення формула β буде:

$$\beta = 2h / (r \cdot t^2) (2)$$

Момент сили натягу нитки будемо знаходити за формулою:

$$M = m(g - a) r = m(g - 2h / t^2) r (3)$$

Порядок виконання роботи

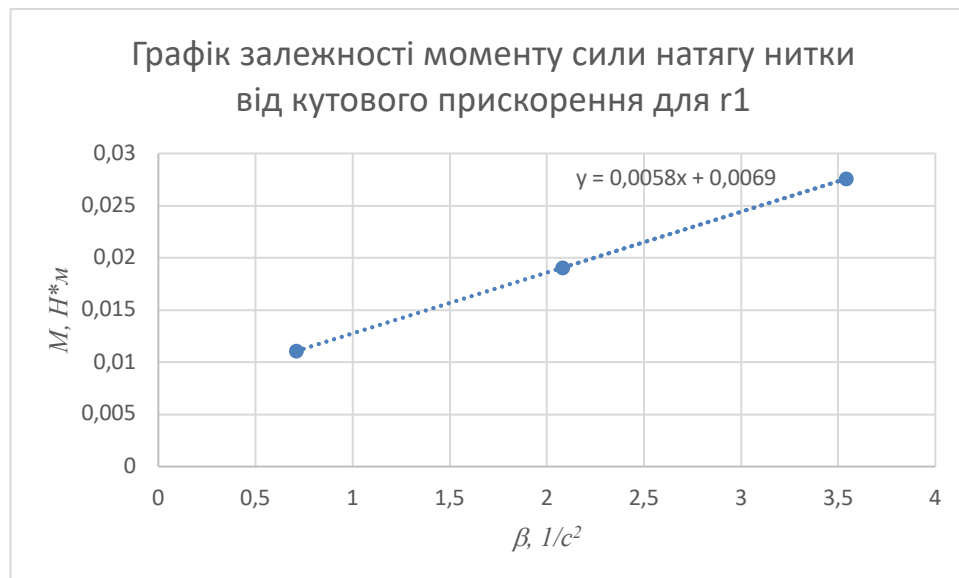
1. Занесемо початкові дані до таблиць, результати вимірів за допомогою установки, визначимо значення кутового прискорення та моменту сили натягу нитки, користуючись формулами (1), (2) і (3).

$r = r_1 = 0,021 \text{ (м)}$						
№	$h, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$t_1, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$	$\beta, 1/\text{с}^2$	$M, \text{ Н*м}$
1	0,4	0,0538	7,26	7,334	0,708	0,01107
			7,459			
			7,284			
2	0,4	0,0928	4,253	4,280	2,080	0,01903
			4,221			
			4,366			
3	0,4	0,1349	3,253	3,281	3,540	0,02758
			3,274			
			3,315			

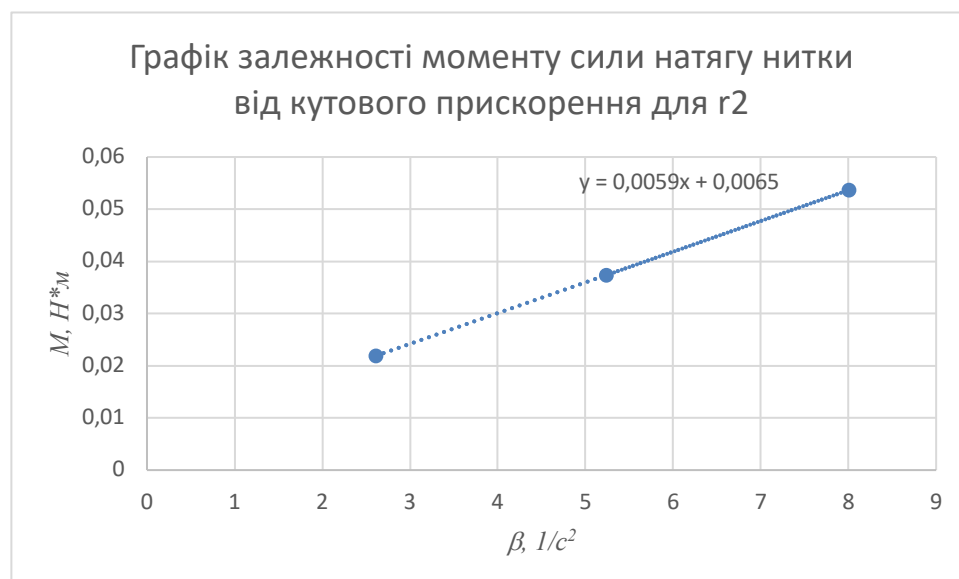
$r = r_2 = 0,042 \text{ (м)}$						
№	$h, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$t_1, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$	$\beta, 1/\text{с}^2$	$M, \text{ Н*м}$
1	0,4	0,0538	2,691	2,701	2,612	0,02192
			2,742			
			2,669			
2	0,4	0,0928	1,899	1,906	5,243	0,03738
			1,937			
			1,882			
3	0,4	0,1349	1,545	1,542	8,007	0,05368
			1,55			
			1,532			

$r = r_1 = 0,021 \text{ (м)} - \text{більший момент інерції}$						
№	$h, \text{ м}$	$m, \text{ кг}$	$t_1, \text{ с}$	$\langle t \rangle, \text{ с}$	$\beta, 1/\text{с}^2$	$M, \text{ Н*м}$
1	0,4	0,0538	3,593	3,600	2,939	0,01101
			3,641			
			3,566			
2	0,4	0,0928	2,425	2,426	6,471	0,01885
			2,415			
			2,439			
3	0,4	0,1349	1,954	1,944	10,077	0,02719
			1,929			
			1,95			

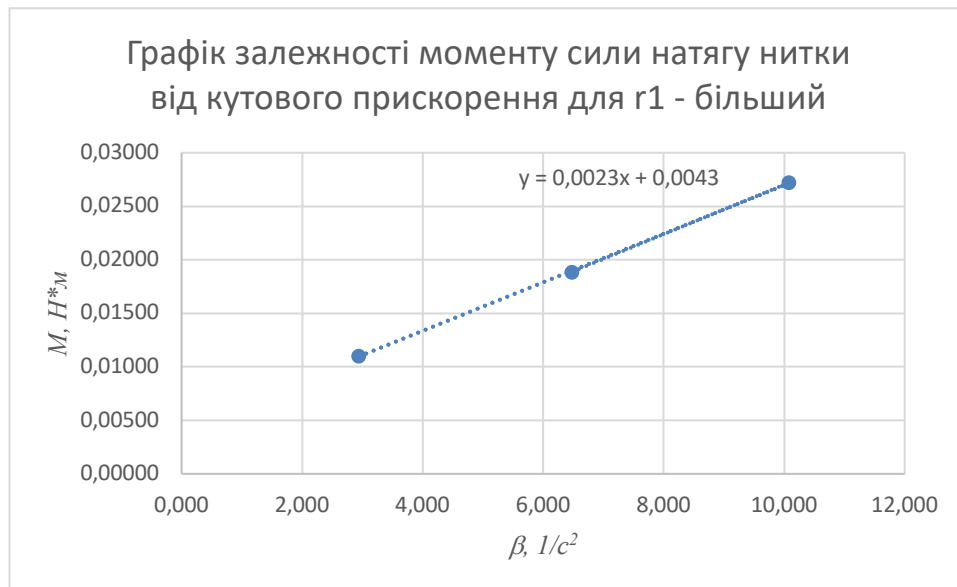
2. Використовуючи отримані результати, побудуємо графіки залежності моменту сили натягу нитки від кутового прискорення $M(\beta)$ для значень радіусів шківів, користуючись яким знайдемо момент сил тертя та момент інерції системи I відповідно до формули (1).



Рівняння графіку:
 $y = 0,0058x + 0,0069$
 В залежності $M(\beta)$, як:
 $M = I\beta + M_T$ Тоді
 знайдемо I та M_T :
 $I = 0,0058 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
 $M_T = 0,0069 \text{ Н} \cdot \text{м}$



Рівняння графіку:
 $y = 0,0058x + 0,0069$
 В залежності $M(\beta)$, як:
 $M = I\beta + M_T$ Тоді
 знайдемо I та M_T :
 $I = 0,0059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
 $M_T = 0,0065 \text{ Н} \cdot \text{м}$



Рівняння графіку:
 $y = 0,0023x + 0,0043$
 В залежності $M(\beta)$, як:
 $M = I\beta + M_T$ Тоді
 знайдемо I та M_T :
 $I = 0,0023 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$
 $M_T = 0,0043 \text{ Н} \cdot \text{м}$

3. Для оцінки відхилення вибіркового середнього $\langle x \rangle$ від істинного значення вимірюваної величини, де x в нас під час підрахунку похибки буде замість t , щоб не переплутати з коефіцієнтом Стюдента, вводиться середня квадратична похибка середнього $S_{\langle x \rangle}$, яка обчислюється за формулою:

$$S_{\langle x \rangle} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n \Delta x_i^2} = \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2} \quad (4)$$

Позначимо через β_1 і β_2 інтервал значень, до якого із заданою ймовірністю довіри α потрапляє вимірювана величина x .

$$\beta_1 = \langle x \rangle - \Delta x_{\text{випадкове}} \quad (5)$$

$$\beta_2 = \langle x \rangle + \Delta x_{\text{випадкове}} \quad (6)$$

де $\Delta x_{\text{випадкове}}$ – напівширина інтервалу довіри, що визначається за формулою:

$$\Delta x_{\text{випадкове}} = t_{\alpha, n} \cdot S_{\langle x \rangle} \quad (7)$$

де $t_{\alpha, n}$ – коефіцієнт Стюдента, який залежить від імовірності довіри α та числа вимірів n . По умові $\alpha = 0,9$. Використавши дані у формулах (5), (6), (7), можемо записати:

$$\langle x \rangle - t_{\alpha, n} \cdot S_{\langle x \rangle} \leq x \leq \langle x \rangle + t_{\alpha, n} \cdot S_{\langle x \rangle} \quad (8)$$

Кінцевою формулою буде:

$$x = \langle x \rangle \pm t_{\alpha, n} \cdot \sqrt{\frac{1}{n(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \langle x \rangle)^2} \quad (9)$$

Обрахуємо похибку для першого виміру, коли $r_1 = 0,021$ (м).

N_0	t_i, c	$\langle t \rangle, c$	Δt_i
1	7,26	7,334	-0,074
	7,459		0,125
	7,284		-0,05
2	4,253	4,28	-0,027
	4,221		-0,059
	4,366		0,086
3	3,253	3,281	-0,028
	3,274		-0,007
	3,315		0,034

З формули (4) обрахуємо Δx_i для подальших обрахунків.

За допомогою формули (9) знайдемо ширину інтервалу, в якому шукана величина x буде знаходитись з імовірністю 90%. Приймаючи до уваги, що коефіцієнт Стюдента $t_{\alpha, n} = t_{0,9, 3} = 2,92$.

$$x_1 = 7,334 \pm 2,92 * \sqrt{\frac{1}{6}((-0,074)^2 + (0,125)^2 + (-0,05)^2)}$$

$$x_1 = 7,334 \pm 0,1831$$

$$x_2 = 4,28 \pm 2,92 * \sqrt{\frac{1}{6}((-0,027)^2 + (-0,059)^2 + (0,086)^2)}$$

$$x_2 = 4,28 \pm 0,1284$$

$$x_3 = 3,281 \pm 2,92 * \sqrt{\frac{1}{6}((-0,028)^2 + (-0,007)^2 + (0,034)^2)}$$

$$x_3 = 3,281 \pm 0,053$$

Отже, для першого дослідження похибка:

$$t_1 = 7,334 \pm 0,1831$$

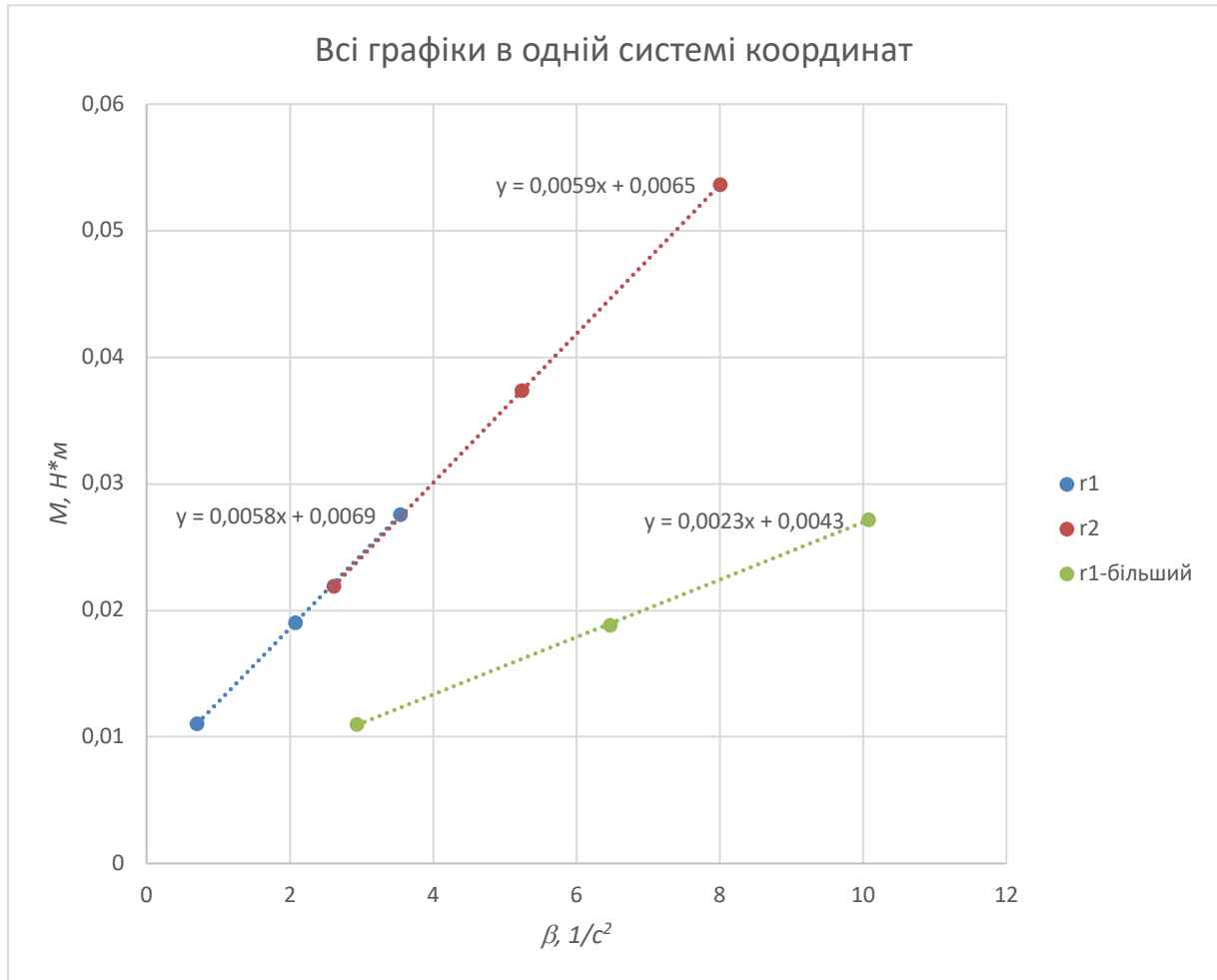
Для другого:

$$t_2 = 4,28 \pm 0,1284$$

Для третього:

$$t_3 = 3,281 \pm 0,053$$

4. Спільний графік.



Контрольні запитання

2. Записати основний закон динаміки обертального руху.

$$I \frac{d\omega}{dt} = I\beta = M$$
$$\frac{d(J\omega)}{dt} = \frac{dL}{dt} = M$$

Закон звучить так: якщо на тіло з закріпленою точкою діють моменти сил, то швидкість зміни моменту імпульсу цього тіла відносно деякої точки дорівнює сумі моментів усіх зовнішніх сил відносно цієї точки, які діють на це тіло.

3. Сформулювати і записати закон збереження моменту імпульсу для системи матеріальних точок.

Відомо, що в ньютонівській механіці, закон збереження імпульсу системи матеріальних точок справедливий для замкнених систем.

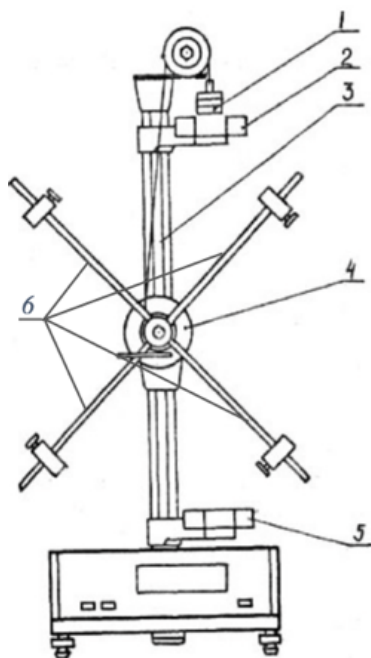
Сам закон можна сформулювати: момент імпульсу системи матеріальних точок (тіла, системи тіл) щодо деякої осі постійний, якщо геометрична сума моментів всіх

зовнішніх сил, що діють на систему, щодо тієї ж осі, дорівнює 0. Можемо записати загальну формулу для замкненої системи:

$$\sum_{i=1}^n \bar{I}_i \bar{B}_i = \text{const}$$

4. Розказати про призначення та конструкцію маятника Обербека.

Маятник Обербека — це різновид простого маятника, який має дуже малий період коливань, зазвичай порядку кількох секунд. Простий маятник складається з маси, або боба, підвешеного до фіксованої точки на нитці або стрижні. Коли маятник зміщується з положення спокою та відпускається, він буде коливатися вперед і назад через силу тяжіння, що діє на масу.



Маятник Обербека (рис. 1) складається з:

1. Тягарця
- 2.Верхнього фотодатчику
3. Стояку
- 4.Двох шківів різних радіусів
- 5.Нижнього фотодатчику
- 6.Чотири стержні під прямим кутом один до одного

Маятник Обербека розроблений таким чином, щоб мати дуже короткий період коливань, як правило, кілька секунд, завдяки використанню дуже короткої довжини маятника та невеликої маси боба. Це дозволяє використовувати його як високоточний пристрій для вимірювання часу, оскільки період коливань є дуже послідовним і стабільним. Його також використовували в дослідженнях для вивчення властивостей маятників та їх поведінки за різних умов.

7. Як експериментально перевірити основний закон динаміки обертального руху?

Одним із способів експериментальної перевірки основних законів динаміки обертального руху є використання апарата обертального руху, наприклад обертового маятника або обертового диска. Ці типи приладів дозволяють прикладати крутний момент до об'єкта та вимірювати отримане кутове прискорення. Вимірюючи кутове положення та кутову швидкість об'єкта під час його обертання, ви можете порівняти свої вимірювання з передбаченнями рівнянь обертального руху та визначити, чи справедливі вони для даної системи.

Інші методи експериментальної перевірки основних законів динаміки обертального руху включають використання крутильного маятника, який вимірює крутний момент і

кутове зміщення об'єкта під час його обертання, або використання ротаційного осцилографа, який вимірює кутову швидкість і прискорення об'єкта під час його обертання. обертається.

8. Як експериментально визначити момент інерції та момент сил тертя маятника Оберемка?

Щоб експериментально визначити момент інерції та момент сил тертя маятника Оберемка, потрібно провести ряд досліджень, потім обчислити значення кутового прискорення β та моменту сили натягу нитки M . Використовуючи отримані результати, побудувати графік залежності моменту сили натягу нитки від кутового прискорення $M(\beta)$, користуючись яким знайти момент сил тертя та момент інерції системи I .

Висновок: під час виконання лабораторної роботи, ми дізналися та вивчили закони динаміки обертального руху за допомогою маятника Обербека. Вивели, як отримати прискорення тягарця. Дізналися, як експериментально визначати момент інерції та момент сил тертя, також вивели, як обрахувати це теоретично. Провели ряд досліджень, побудували для них графіки, порівняли їх, і обрахували похибку.