**Національний університет «Львівська політехніка»**

**Кафедра загальної фізики**

**ЗВІТ**

**про виконання лабораторної роботи № 5**

**Назва роботи «**вивчення основного рівняння динаміки обертального руху твердого тіла**»**

**Виконав:** Марущак А.С.

**студент групи ПЗ-15**

**інституту ІКНІ**

**Лектор:** доцент Рибак О.В

**Керівник лабораторних занять:**

Ільчук Г.А.

**Львів - 2022**

**Мета роботи:** Експериментально перевірити основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.

**Прилади та матеріали:** Маятник Обербека, секундомір, різноважки (тіла різної маси), штанґенциркуль, міліметрова лінійка.

**Короткі теоретичні відомості:**

На відміну від поступального руху, де мірою інертності тіла є тільки його маса, у випадку обертального руху інертність тіла визначається як масою тіла так і розподілом маси відносно осі обертання. Тому для кількісної характеристики інертності тіл при їх обертальному русі вводиться фізична величина – момент інерції.

Моментом інерції тіла відносно деякої нерухомої осі OZ є величина, що визначається рівністю.

,

де – маса і-ї частинки тіла, яке умовно “розбивається” на N частинок, настільки малих, що для кожної з них можна однозначно вказати i r – відстань частинки від осі OZ

Важливим поняттям динаміки обертального руху є фізична величина, що називається моментом сили. Моментом сили відносно нерухомого центра О називається векторна величина , що дорівнює векторному добутку радіуса - вектора , проведеного з точки О до точки прикладання сили, на вектор сили .

Вектор напрямлений перпендикулярно до площини, у якій лежать вектори і , таким чином, що з його кінця найкоротший поворот від вектора до вектора видно проти напряму руху годинникової стрілки.

Модуль моменту сили можна подати у вигляді:

де - плече сили відносно точки О (довжина перпендикуляра, опущеного з точки О на лінію дії сили).

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

Останнє рівняння нам і необхідно перевірити.

**Контрольні запитання:**

1. **Що називається моментом інерції тіла?**

Момент інерції тіла – фізична величина, що характеризує інертність тіла при обретальному русі і чисельно дорівнює сумі добутків елементарних мас, на які можна розбити тіло, на квадрат відстані до них від осі обертання.

1. **Записати і пояснити основне рівняння динаміки обертального руху твердого тіла.**

Основне рівняння динаміки обертального руху: (Момент сили, що викликає обертання, чисельно дорівнює добутку моменту інерції на кутове прискорення).

1. **Що називається моментом сили відносно осі обертання?**

Моментом сили відносно нерухомого центра О називається векторна величина , що дорівнює векторному добутку радіуса - вектора , проведеного з точки О до точки прикладання сили, на вектор сили : .

1. **Що називається плечем сили?**

- плече сили відносно точки О (довжина перпендикуляра, опущеного з точки О на лінію дії сили).

1. **У чому полягає суть перевірки основного рівняння динаміки в даній лабараторній роботі?**

Перевірка рівняння полягає у підтверджені прямої пропорційності кутового прискорення від моменту сили та оберненої пропорційності від моменту інерції.

1. **Як визначається момент інерції у даній роботі?**

У даній роботі момент інерції визначається як величина, обернена до кутового коефіцієнту прямої-графіка функції

1. **Вивести формулу, що описує обертальний момент, діючий на маятник Обербека.**

За 2м законом Ньютона:

Оскільки , a , то маємо

**Задані величини:**

кг

**Робочі формули:**

Хід роботи

**Завдання 1. Експериментальна перевірка залежності кутового прискорення маятника Обербека від моменту зовнішніх сил.**

1. Тричі виміряємо висоту опускання тіла h, і результати записуємо у табл. 1.
2. Три рази виміряємо діаметр шківа d, результати записуємо у табл. 1

**Табл 1**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | h, мм | h, мм | d, мм | d, мм | R, мм | R, мм |
| 1 | 915 |  | 38.2 |  | | |
| 2 | 915 | 38.2 |
| 3 | 915 | 38.2 |
| Середнє | 915 | 0.05 | 38.2 | 0.025 | 19.1 | 0.025 |

1. Закріпляємо циліндри на мінімальній відстані від осі обертання.
2. Три рази виміряти час опускання основного вантажу; результати записати у табл. 2.
3. Дії, вказані в п. 4, повторюємо ще двічі для більших мас m. Для цього на основний вантаж, прикріплений до нитки, треба накласти спочатку одну, а потім дві різноважки.
4. Перевівши результати вимірювань всіх величин в одиниці СІ, за формулами розраховуємо величини M i ε (для трьох значень мас m) Записуємо одержані значення в табл. 3.
5. Будуємо графіки залежності ε від М.
6. Обчислюємо похибки вимірювання кутового прискорення за формулою.
7. Відкладаємо в масштабі, вибраному для ε , відрізки ±Δ ε навколо відповідних експериментальних точок ґрафіку
8. Проводимо через експериментальні точки ґрафіку найбільш оптимальним способом пряму та знаходимо числове значення моменту сил тертя як точку перетину прямої з віссю моментів сил. Записати це значення в табл. 3.
9. Переміщаємо циліндри на середину кожного з чотирьох стрижнів, фіксуємо їх і виконуємо дії, вказані в пп. 3–10.
10. Зафіксовуємо циліндри в крайніх положеннях і ще раз повторюємо дії, вказані в пп. 3–10.

Табл 2(1) 

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | m=0.220кг | | m=0.303кг | | m=0.386кг | |
| t, c | t, c | t, c | t, c | t, c | t, c |
| 1 | 5.8 | 0.05 | 5.0 | 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 | 0.1 |
| Середнє | 5.85 | 0.03 | 5.07 | 0.12 | 4.45 | 0.07 |

Табл 3(1) 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| m,кг | , | , Н\*м | , | , Н\*м |
| 0.220 | 2.8 | 0.041 | 0.031 |  |
| 0.303 | 3.73 | 0.056 | 0.18 |  |
| 0.386 | 4.84 | 0.072 | 0.156 |  |

Табл 2(2) 

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | m=0.220кг | | m=0.303кг | | m=0.386кг | |
| t, c | t, c | t, c | t, c | t, c | t, c |
| 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 |
| Середнє | 8.07 | 0.09 | 6.98 | 0.07 | 6 | 0.11 |

Табл 3(2) 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| m,кг | , | , Н\*м | , | , Н\*м |
| 0.220 | 1.47 | 0.041 | 0.035 | 0.004 |
| 0.303 | 1.97 | 0.057 | 0.042 | 0.004 |
| 0.386 | 2.66 | 0.072 | 0.128 | 0.004 |

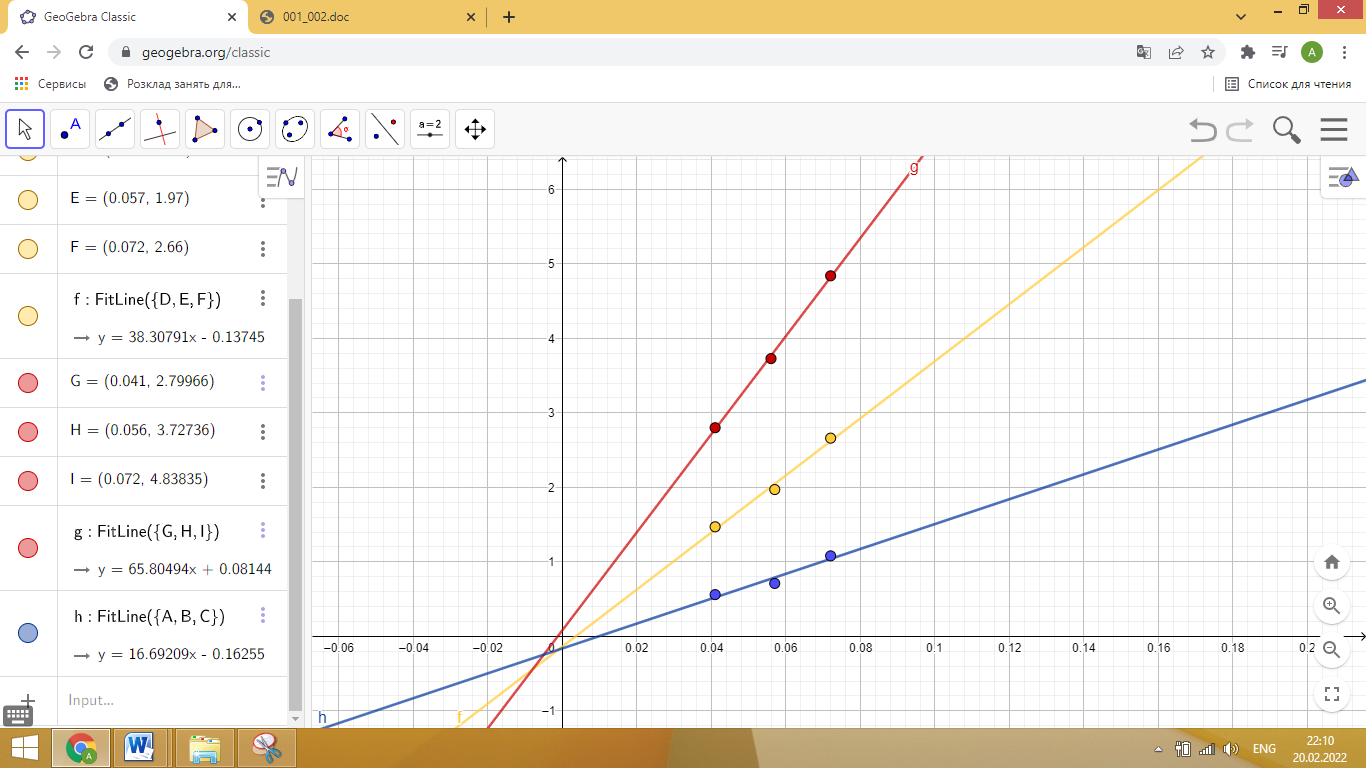
Табл 2(3) 

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Номер | m=0.220кг | | m=0.303кг | | m=0.386кг | |
| t, c | t, c | t, c | t, c | t, c | t, c |
| 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 |
| Середнє | 13.13 | 0.303 | 11.62 | 0.21 | 9.42 | 0.23 |

Табл 3(3) 

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| m,кг | , | , Н\*м | , | , Н\*м |
| 0.220 | 0.56 | 0.041 | 0.027 | 0.01 |
| 0.303 | 0.71 | 0.057 | 0.027 | 0.01 |
| 0.386 | 1.08 | 0.072 | 0.054 | 0.01 |

Графіки:



Синій колір – циліндри знаходяться на максимальній відстані від центру.

Жовтий – циліндри на середній відстані.

Червоний – циліндри найближче до центру.

**Завдання 2. Експериментальна перевірка залежності кутового прискорення ε від моменту інерції J маятника Обербека при постійному моменті сил**

1. Обчислити моменти інерції маятника Обербека при різних положеннях циліндрів на стрижнях як відношення приростів DМ до Dε ґрафіків ε =f (М), побудованих у завданні 1.

2. Для фіксованого значення моменту сили М1 виписати значення кутового прискорення ε з трьох попередніх таблиць. Хоча теоретично момент сили залежить від кутового прискорення, однак в наших експериментах величина ε дуже мала і момент сили практично дорівнює: М = mgR.

3. Побудувати ґрафік залежності кутового прискорення ε від величини, оберненої до його моменту інерції. Виконати аналогічні побудови для двох інших моментів сил М2 і М3.

Табл 4(1): m = 0.220кг, M = 0.041 Н\*м

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розміщення циліндрів |  |  |  |
|  | 0.015 | 2.8 | 65.8 |
|  | 0.026 | 1.47 | 38.31 |
|  | 0.06 | 0.56 | 16.69 |

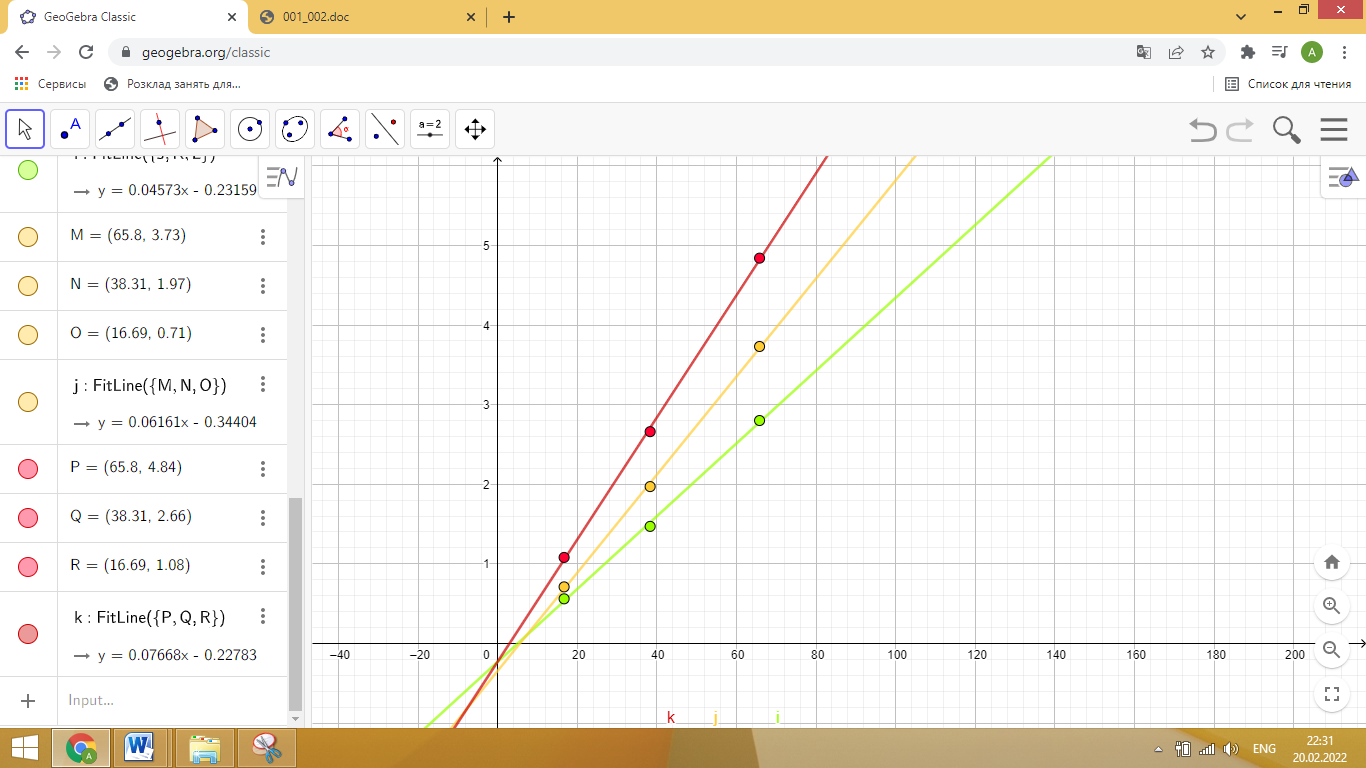
Табл 4(2): m = 0.303кг, M = 0.057 Н\*м

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розміщення циліндрів |  |  |  |
|  | 0.015 | 3.73 | 65.8 |
|  | 0.026 | 1.97 | 38.31 |
|  | 0.06 | 0.71 | 16.69 |

Табл 4(3): m = 0.386кг, M = 0.072 Н\*м

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Розміщення циліндрів |  |  |  |
|  | 0.015 | 4.84 | 65.8 |
|  | 0.026 | 2.66 | 38.31 |
|  | 0.06 | 1.08 | 16.69 |

Графіки:



Зелений колір – 0.220кг

Жовтий колір – 0.303кг

Червоний колір – 0.386кг

**Обчислення**

**Табл 3.1:**

**Табл 3.2:**

**Табл 3.3:**

**Табл 4:**

**Найближча позиція циліндрів:**

**Середня позиція циліндрів:**

**Найвіддаленіша позиція циліндрів:**

**Аналіз результатів:**

Як можемо бачити з графіків, величина кутового прискорення лінійно залежить від моменту прикладеної сили. Якщо ми врахуємо момент сили тертя, то ця залежність перетвориться на пряму пропорційність. З наступних графіків видно, що величина кутового прискорення також лінійно збільшується з ростом величини 1/J і при більш точних розрахунках мова могла б йти навіть про пряму пропорційність. Отже, величина кутового прискорення обернено пропорційна до J. Звідси висновок, що формула , яку можна переписати у вигляді , вірна, що і необхідно було перевірити.

**Висновок:**

Виконавши цю лабаратону роботу ми на практиці навчились використовувати знання про момент сили та інерції, закріпили знання кінематики обертального руху. З їх допомогою, ми експериментально перевірили основне рівняння динаміки обертального руху і довели, що воно вірне.