

**ЯРИЦЬКА Л.І., БАЛИЦЬКА В.О.**

# **ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ**

**Частина 1**

**ЛЬВІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
БЕЗПЕКИ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

**ЯРИЦЬКА Л.І., БАЛИЦЬКА В.О.**

# **ФІЗИЧНИЙ ПРАКТИКУМ**

**Навчальний посібник**

**Частина 1**

**Механіка. Молекулярна фізика**

**ЛЬВІВ 2017**

Л.І. Ярицька, В.О. Балицька. Практикум до виконання лабораторних робіт з фізики. – Л.: ЛДУ БЖД, 2017, 236 с.

Рецензенти: Шпотюк О.Й. – заступник генерального директора з наукової роботи НВП «Карат», доктор фізико-математичних наук, професор;

Дзюба Л.Ф. – доцент ЛДУ БЖД, кандидат технічних наук, доцент.

У навчальному посібнику подано 16 інструкцій до виконання лабораторних робіт з фізики з розділів “Механіка” та “Молекулярна фізика”. Матеріал посібника відповідає вимогам державних стандартів освіти та програмі навчальної дисципліни “Фізика”.

Для студентів і курсантів Львівського державного університету безпеки життєдіяльності та інших вищих навчальних закладів інженерно-технічного спрямування.

## ВСТУП

У практикум до виконання лабораторних робіт включено лабораторні роботи з механіки і молекулярної фізики. Детально розглянуто питання фізичного експерименту та розроблення навиків правильного вимірювання фізичних величин. Підбір лабораторних робіт здійснено так, щоб експериментатор міг спостерігати та відтворити більшість фізичних явищ, перевіривши на досліді фізичні закономірності й отримані з них наслідки. Перш за все, в лабораторних роботах показані процеси, що є визначальними для того чи іншого розділу фізики. Всі лабораторні роботи розраховані на виконання протягом одного заняття.

Практикум до виконання лабораторних робіт з фізики (містить опис 16 лабораторних робіт) складено відповідно до навчальної програми “Фізика”. У ньому наведена вся інформація, необхідна курсанту (студенту) для підготовки і виконання лабораторної роботи, зокрема: назва лабораторної роботи, мета, опис приладів і матеріалів, що використовуються в даній лабораторній роботі, теоретичні відомості та виведення робочої формули, опис вимірювального пристрою, перелік теоретичних питань, які курсант (студент) повинен вивчити під час самопідготовки, докладна інструкція для виконання

експерименту та математичної обробки отриманих результатів. На початку наведено зразок форми звіту про виконану роботу. Курсант (студент) повинен опрацювати самостійно відповідні розділи доступних підручників. Крім підручників, посібників, для самопідготовки можна використовувати також конспект лекцій та літературу, яку запропонував лектор.

## **МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ВИКОНАННЯ РОБОТИ ТА ОФОРМЛЕННЯ ЗВІТУ**

Лабораторні роботи є першим кроком наукового експерименту, що передбачає використання теоретичних знань в експериментальних дослідженнях і практичній роботі та підтверджує їх достовірність. До виконання лабораторної роботи слід приступати після засвоєння необхідного теоретичного матеріалу та ознайомлення з лабораторною установкою.

Лабораторні роботи виконуються бригадами по 4-5 чол., що зумовлено як зручністю такої роботи, так і вимогами техніки безпеки. До початку виконання лабораторних робіт всі курсанти (студенти) проходять вступний, а під час роботи з кожною лабораторною установкою – поточний інструктаж з

техніки безпеки. До виконання лабораторної роботи допускаються курсанти (студенти), що мають належним чином оформлену заготовку звіту (номер і назва лабораторної роботи, мета роботи, обладнання, короткі теоретичні відомості, схема лабораторної установки, заготовки звітних таблиць). Курсантам (студентам), згідно з контрольними питаннями, рекомендується захищати свої лабораторні роботи до або в процесі їх виконання. За наявності допуску курсанти (студенти) виконують лабораторні роботи відповідно до інструкцій. Результати вимірювань курсанти (студенти) заносять у звітну таблицю та надають для перевірки викладачеві. Рекомендується узгоджувати результати вимірювань та їх обробку з викладачем кілька разів протягом виконання роботи, що значно підвищить ефективність роботи курсантів (студентів) та позбавить їх необхідності повторних розрахунків чи вимірювань. Обробка результатів вимірювань полягає у розрахунку шуканої величини та оцінці похибок вимірювань. Розрахунки бажано виконувати в одиницях СІ. Графіки будують безпосередньо на листках звіту, або на міліметровому папері та вклеюють у звіт. Лінія, що виражає залежність величин, повинна бути плавною, а відхилення експериментальних точок по обидва боки від неї – приблизно однаковими. Звіт слід закінчувати короткими висновками. При

оцінюванні враховуються робота курсанта (студента) в лабораторії, якість звіту, відповіді на контрольні запитання та вчасність здачі робіт.

Перед виконанням лабораторної роботи необхідно:

1. Уважно прочитати опис лабораторної роботи.
2. Ознайомитися з приладами та матеріалами, які використовуються для виконання роботи, і після дозволу викладача приступити до встановлення приладів або до збирання вимірювального пристрою відповідно до опису. Іноді робота проводиться на стандартній установці.

3. Провести експеримент. Зробити вимірювання та розрахунки. Ця частина роботи є найбільш відповідальною, тому її потрібно проводити дуже ретельно, згідно з методичними вказівками, поданими у розділі “Порядок виконання роботи” методичної розробки. Всі результати вимірювань заносять до таблиць, що наведені в кінці роботи.

4. Опрацювати результати вимірювань: обчислити величину, що вимірюється, і за відповідними формулами дати оцінку похибок вимірювань.

Оформляти звіти необхідно аркушах формату А4.

На наступних сторінках потрібно висвітлити:

- мету роботи;
- завдання;

- перелік обладнання;
- рисунок вимірювального пристрою і опис його роботи;
- робочі формули з розшифруванням величин, які входять до неї;
- робочі таблиці;
- формули для обчислення похибок;
- кінцевий результат;
- висновки.



# ЗРАЗОК

## титульної сторінки оформлення звіту

**Львівський державний університет  
безпеки життєдіяльності**

Кафедра термодинаміки і фізики

**ЗВІТ**

про виконання лабораторної роботи № \_\_\_\_

“ \_\_\_\_\_ (назва роботи) \_\_\_\_\_ ”

Виконав курсант

(студент) \_\_\_\_\_

Взвод (група) \_\_\_\_\_

Викладач: \_\_\_\_\_

Львів –

## ВИМІРЮВАННЯ ФІЗИЧНИХ ВЕЛИЧИН

Дослідження фізичних явищ пов'язане з вимірюванням фізичних величин (маса, енергія, густина, сила струму тощо), кожна з яких характеризує окрему властивість матерії. Фізична величина виражає собою властивість, яка в якісному відношенні є загальною для багатьох фізичних об'єктів, але в кількісному – індивідуальною для кожного об'єкта. Для оцінки фізичної величини в певних одиницях вимірювань використовують значення цієї величини. Розрізняють істинне і дійсне значення фізичної величини.

*Істинне значення* фізичної величини є ідеальним відбиттям властивостей даного об'єкта, тобто абсолютною істиною, до якої ми наближаємося у процесі пізнання. *Дійсне значення* фізичної величини ми знаходимо експериментально і за певних умов воно може задовольняти нас як істинне.

*Вимірюванням* називають знаходження значення фізичної величини дослідним шляхом за допомогою засобів вимірювання. До останніх належать міри (наприклад, важки, лінійка з міліметровими поділками), вимірювальні прилади і установки.

*Фізична величина* – це властивість, якісно загальна для багатьох фізичних об'єктів, але кількісно індивідуальна для

кожного об'єкта. Фізичними величинами є довжина, маса, час, швидкість тощо. Кількісну оцінку фізичної величини називають *розміром фізичної величини*. Значення фізичної величини – це оцінка фізичної величини у вигляді деякого числа прийнятих для неї одиниць. Саме число, яке входить у значення фізичної величини, називають чисельним значенням фізичної величини. Отже, вимірювання фізичної величини – це експериментальний процес, упродовж якого шляхом порівняння визначають у скільки разів фізична величина більша або менша від однорідної величини, прийнятої за одиницю. Вимірювання складається із спостережень і математичної обробки їхніх результатів.

Спостереження під час вимірювання – експериментальна операція, в результаті якої отримують одне значення з групи значень величин, які підлягають сумісній обробці для отримання результату вимірювання.

Серед фізичних величин є такі, які можна виміряти безпосередньо за допомогою вимірювальних приладів, наприклад: довжина, час, маса, температура, сила струму, напруга тощо. Виконані безпосередньо вимірювання називають *прямими*. Однак частіше доводиться визначати величини, які виміряти безпосередньо неможливо (густина речовини, коефіцієнт тертя, питома теплоємність речовини, внутрішній

опір джерела струму тощо). Для таких фізичних величин потрібно відшукати функціональну залежність від величин, вимірюваних безпосередньо. Такі вимірювання називають *непрямими*. До названих видів вимірювань належать і сукупні вимірювання, які виконують при одночасному дослідженні однойменних фізичних величин (наприклад при калібруванні гир).

Фізика належить до точних природничих наук, однак фізичні вимірювання не дають нам абсолютно точних значень фізичних величин. Недосконалість вимірювальних приладів і методів вимірювання, а також людських органів чуття, вплив середовища вносять певну неточність (похибку) у процес вимірювання, і одержані результати є наближеними значенням вимірюваних фізичних величин. Точність фізики як природничої науки полягає в тому, що для кожного конкретного випадку можна точно вказати межі, в яких буде перебувати вимірювана величина. На процес вимірювання впливають різні фактори, що призводять до появи похибок, тобто до відхилення результатів вимірювання від істинного значення фізичної величини.

## Види похибок

Похибки вимірювань можуть виникати з різних причин. За характером зміни похибки поділяють на промахи, систематичні похибки та випадкові похибки.

*Промахи* – це грубі помилки вимірювань, які значно перевершують похибку, очікувану за даних умов. Промахи виникають в результаті недбалості або неуважності експериментатора. Наприклад, відлік вимірюваної величини випадково проведено без необхідних приладів, невірно прочитана цифра на шкалі тощо. Промахи належать до очевидних помилок, які потрібно усунути і виконати повторні вимірювання.

*Систематичні похибки* виникають при дії сталих факторів, які призводять до систематичного зниження або перевищення значень вимірюваних величин. Джерелом цих похибок може бути як неточність вибраного методу вимірювання (наприклад, при визначенні ваги тіла терезами систематично не враховується виштовхувальна сила повітря, що діє на нього), так і похибки засобів вимірювання (наприклад, зсув шкали вимірювального приладу чи порушення умов його експлуатації), а також систематичні спотворення досліджувального об'єкта тощо. Систематичні

похибки потрібно своєчасно виявляти, зводити до мінімуму й усувати з результатів вимірювань.

*Випадкові похибки* вимірювань виникають як результат сукупної дії багатьох факторів об'єктивного і суб'єктивного характеру: випадкові зміни в оточуючому середовищі (зміни напрямків повітряних течій і температури повітря, зміни напруги в електричній мережі та освітлення установки, коливання ґрунту тощо), недосконалість людських органів чуття, швидкість реакції дослідника при зніманні відліків тощо. Все це призводить до того, що багаторазові вимірювання однієї і тієї ж величини дають дещо різні значення. Уникнути випадкових похибок при вимірюваннях фізичних величин неможливо, але потрібно домагатися їх зменшення.

Унаслідок того, що випадкові похибки підлягають закономірностям теорії імовірності, їх можна завжди обчислити і досить точно визначити межі істинного значення вимірюваної фізичної величини.

### **Правила обчислення похибок**

Нехай, потрібно виміряти фізичну величину, істинне значення якої  $X$  невідоме, а результат  $n$ -ої кількості прямих вимірювань цієї величини дає значення:  $x_1, x_2, \dots, x_n$ .

Абсолютною похибкою вимірювання називають величину:

$$\Delta X = X - x_i,$$

тобто різницю між істинним і дійсним значеннями вимірюваної величини.

Оскільки  $X$  невідоме, то й абсолютна похибка  $\Delta X$  також залишається невідомою. Проте, виявляється, що при великій кількості вимірювань з одержаних значень  $x_1, x_2, \dots, x_n$  найближчим до істинного  $X$  є середнє арифметичне  $X_{\text{сер}}$  значення результатів вимірювання, яке знаходять так:

$$X_{\text{сер}} = \frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

Тоді абсолютну похибку кожного вимірювання визначають так:

$$\begin{aligned} \Delta X_1 &= |X_{\text{сер}} - x_1|; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta X_n &= |X_{\text{сер}} - x_n|. \end{aligned}$$

Похибку результату вимірювання характеризує величина, яку називають середнім квадратичним відхиленням середнього арифметичного (оцінка середнього квадратичного відхилення середнього арифметичного) і визначають так:

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta X_i^2}{n(n-1)}}.$$

Тоді випадкову похибку вимірювання визначають так:

$$\Delta X = t_c \Delta S,$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента (беруть із таблиці, знаючи кількість вимірювань і визначивши довірчу ймовірність – відносну кількість відхилень, величина яких за модулем не перевищує середню абсолютну похибку). Остаточний результат записують у вигляді:

$$X = X_{\text{сеп}} + \Delta X,$$

а відносна похибка вимірювань:  $E = \frac{\Delta X}{X_{\text{сеп}}} \cdot 100\%$ .



# **MEXAHUKA**

# Лабораторна робота № 1

## ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ МАТЕРІАЛУ ТІЛ ПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

### *Мета роботи*

Ознайомитись з будовою та правилами вимірювання лінійних розмірів тіл штангенциркулем і мікрометром, виміряти лінійні розміри циліндра і паралелепіпеда, обчислити густину матеріалу тіла.

### *Прилади і матеріали*

Штангенциркуль, мікрометр, аналітична вага з набором важків, тіло правильної геометричної форми (паралелепіпед, циліндр).

### *Теоретичні відомості*

Густину матеріалу тіл обчислюють за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса тіла,  $V$  – об'єм.

Ураховуючи, що об'єм паралелепіпеда:

$$V = abc, \quad (2)$$

де  $a$ ,  $b$ ,  $c$ , – довжина сторін паралелепіпеда, для густини

паралелепіпеда формула (1) набуде вигляду:

$$\rho = \frac{m}{abc}. \quad (3)$$

Об'єм циліндра обчислюють за формулою:

$$V = \frac{\pi d^2 h}{4}, \quad (4)$$

де  $d$  – діаметр циліндра,  $h$  – висота.

Тоді густину циліндра можна обчислити, враховуючи (1) і (4), за формулою:

$$\rho = \frac{4m}{\pi d^2 h}. \quad (5)$$

Формули (3) і (5) є робочими формулами даної лабораторної роботи.

### ***Опис вимірюваних приладів***

Для визначення лінійних розмірів найчастіше використовують масштабну лінійку з міліметровими позначками, за допомогою якої можна визначити лінійні розміри тіла з точністю до  $\pm 0,5$  мм. Для забезпечення вищої точності вимірювання (до 0,1 мм та до 0,05 мм) використовують штангенциркуль і мікрометр.

Найважливішими конструктивними елементами цих приладів є ноніус і мікрометричний гвинт.

*Штангенциркуль* (рис.1) складається з металевої масштабної лінійки (1), на якій нанесено поділки в міліметрах, нерухомого (2) та рухомого (3) виступів. В обоймі (4) рухомого виступу (3) є вікно, на зрізі якого нанесена шкала ноніуса (5).

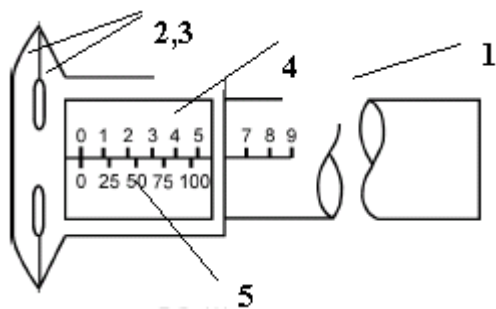


Рис. 1. Зовнішній вигляд штангенциркуля

Ноніусом штангенциркуля називають допоміжну лінійку, яку застосовують разом із масштабною лінійкою для відлічування десятих, двадцятих або п'ятдесятих часток міліметра. Якщо ноніус призначений для вимірювання десятих часток міліметра, то на ньому віддаль 9 мм або 19 мм поділяють на 10 однакових частин (рис. 2). Тут відстань між поділками становить 0,9 або 1,9 мм. Отже різниця між однією поділкою лінійки і поділкою ноніуса становить 0,1 мм. Це число називають точністю ноніуса і в цьому випадку точність становить 0,1мм.

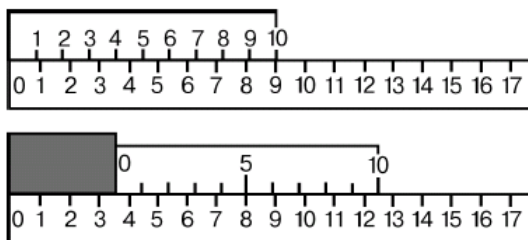


Рис. 2. Шкала ноніуса

Для визначення лінійного розміру тіла фіксують цілу кількість поділок масштабної лінійки (її вказує положення нульової позначки шкали ноніуса). Для визначення часток міліметра знаходять на шкалі ноніуса ту позначку, яка найкраще збігається з будь-якою поділкою основної лінійки, і лінійний розмір тіла визначають за формулою:

$$L = (m + 0,1 \cdot k) \text{ мм}, \quad (6)$$

де  $m$  – кількість поділок масштабної лінійки,  $k$  – номер позначки ноніусної шкали, яка найкраще збігається з будь-якою поділкою масштабної лінійки.

Вимірювання за допомогою штангенциркуля виконують у такій послідовності:

1. Вставляють вимірювану деталь між нерухомими (2) та рухомими (3) виступами, переміщуючи при цьому обійму (4) з ноніусом так, щоб деталь була легко затиснута між виступами.

2. За основною шкалою визначають ціле число міліметрів. Воно дорівнює кількості поділок основної шкали, які розміщені зліва від нульового штриха ноніуса. Наприклад, якщо „0” шкали ноніуса міститься між  $m$  та  $m+1$  поділкою міліметрової масштабної шкали, то ціле число міліметрів становить  $m$ .

3. Визначають число часток міліметра  $\Delta L$ . Згідно з формулою (6), воно дорівнює добутку точності ноніуса  $\Delta\alpha$  (0,1 мм) на номер  $k$  тієї поділки ноніуса, що найточніше збігається зі штрихом основної шкали:

$$\Delta L = 0,05k \text{ мм.} \quad (7)$$

4. Точність ноніуса  $\Delta\alpha$  визначають, знаючи число поділок ноніуса та ціну поділки основної шкали  $\Delta\alpha = l/n$  мм.

5. Вимірювану довжину  $L$  визначають як суму цілих і дробових частин міліметра, використовуючи формулу (6).

*Мікрометр* (рис. 3) складається зі сталеві скоби (1), на одному кінці якої розташована опорна п'ята (2), а на іншому – циліндрична трубка (3). В середині трубки по різьбі переміщується мікрометричний гвинт із кроком 0,5 мм, що має вимірювальну поверхню (4). До гвинта прикріплений барабан (5), вздовж краю якого нанесено кругову шкалу, що має 50 однакових поділок. Уздовж внутрішньої трубки (3) нанесена риска, по обидва боки від якої є дві міліметрові шкали,

зміщенні одна відносно одної на 0,5 мм. При одному повному оберті зріз барабана і, відповідно, вимірювальна поверхня (4) переміщуються на 0,5 мм. Ціна поділки шкали барабана мікрометричного гвинта становить 0,01 мм.

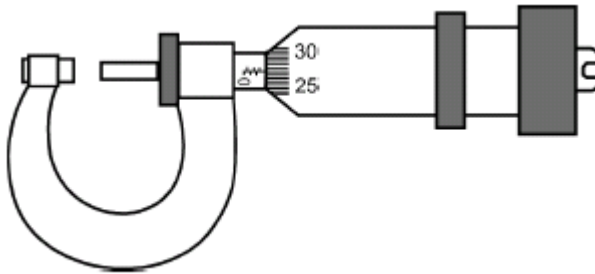


Рис. 3. Зовнішній вигляд мікрометра

Вимірювання за допомогою мікрометра виконують у такій послідовності:

1. Один кінець предмета прикладають до опорної п'яти, за допомогою спеціального пристрою (тріскачки) повертають гвинт доти, доки він не торкнеться до іншого кінця предмета (при цьому чути характерний тріск).
2. Визначають число цілих і півцілих міліметрів, які відсікає край барабана.
3. Визначають число сотих часток міліметра. Для цього число, що стоїть навпроти поздовжньої риски, множать на 0,01.

4. Отримані значення цілих, півцілих і сотих часток міліметра додають, отримуючи вимірювальну довжину предмета.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Виміряти лінійні розміри тіла штангенциркулем або мікрометром.
2. На аналітичній вазі визначити масу тіла.
3. Обчислити середні значення лінійних розмірів тіла та їхні маси.
4. Повторити пп. 1-3 не менше 5 разів для паралелепіпеда і циліндра.
5. За формулами (3) і (5) визначити густину матеріалу, з якого виготовлено тіло, в кожному з п'яти випадків.
6. Обчислити середнє арифметичне значення густини матеріалу для паралелепіпеда і циліндра неправильної геометричної форми за формулою (8):

$$\rho_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i \quad (8)$$

7. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення густини (9):



$$\Delta\rho_1 = \left| \rho_{\text{сер}} - \rho_1 \right|;$$

.....; (9)

$$\Delta\rho_n = \left| \rho_{\text{сер}} - \rho_n \right|.$$

9. Обчислити середнє квадратичне відхилення результату визначення густини матеріалу за формулою (10):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta\rho_i^2}{n(n-1)}}. \quad (10)$$

10. Обчислити абсолютну похибку визначення густини матеріалу тіла за формулою (11):

$$\Delta\rho = t_c \Delta S, \quad (11)$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента.

11. Результат записати у вигляді:

$$\rho = \rho_{\text{сер}} + \Delta\rho. \quad (12)$$

12. Визначити відносну похибка вимірювань за формулою (13):

$$E = \frac{\Delta\rho}{\rho_{\text{сер}}} \cdot 100\%. \quad (13)$$

13. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітних таблиць.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для циліндра**

№	$d$ , см	$h$ , см	$m$ , г	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta S$ ,	$\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$E$ , %
1								
2								
3								
4								
5								
Сер.	-	-	-		-			

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для паралелепіпеда**

№	$a$ , см	$b$ , см	$c$ , см	$m$ , г	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\Delta S$ ,	$\Delta\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$E$ , %
1									
2									
3									
4									
5									
Сер.	-	-	-	-		-			

***Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи***

1. Що означає виміряти фізичну величину?
2. Які вимірювання називають прямими, непрямими?
3. З чого складається вимірювання?
4. Що називають істинним значенням фізичної величини?
5. Як визначають коефіцієнт Стюдента?
6. Як визначити потрібну довірчу ймовірність?
7. Як визначають середнє квадратичне відхилення визначення фізичної величини?
8. Що називають абсолютною похибкою вимірювання фізичної величини?
9. Що називають відносною похибкою вимірювання фізичної величини?
10. Види похибок. Як визначити відносну похибку обчислення об'єму циліндра, якщо його лінійні розміри виміряні лише один раз?
11. Які одиниці вимірювання густини в СІ?
12. Будова та принцип вимірювання штангенциркулем.
13. З якою точністю вимірює штангенциркуль?
14. З якою точністю вимірює мікрометр?
15. Будова мікрометра.
16. Що називають дійсним значенням фізичної величини?

### *Тестові завдання для захисту лабораторної роботи*

1. Які похибки називають систематичними?

- 1) спричинені непередбаченими причинами;
- 2) спричинені однією і тією ж причиною;
- 3) очевидні помилкові вимірювання.

2. Які похибки називаються випадковими?

- 1) очевидно помилкові вимірювання;
- 2) спричинені однією і тією ж причиною;
- 3) спричинені непередбаченими причинами.

2. Визначте абсолютну похибку непрямого вимірювання, якщо

$$A = x_1 - 5x_2 :$$

- 1)  $\Delta A = \Delta x_1 + 5\Delta x_2$ ;
- 2)  $\Delta A = \Delta x_1 - 5\Delta x_2$ ;
- 3)  $\Delta A = \Delta x_1 + \Delta x_2$ ;
- 4)  $\Delta A = \Delta x_1 - \Delta x_2$ .

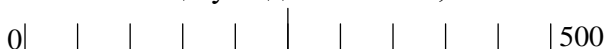
3. Визначте точність вимірювання довжини штангенциркулем з міліметровою лінійкою і ноніусом, який має 10 поділок:

- 1) 1 0,1 мм;
- 2) 0,05 мм;
- 3) 0,5 мм;
- 4) 0,01 мм.

4. Визначте різницю між довжиною поділки міліметрової шкали і довжиною поділки ноніуса штангенциркуля, який має 120 поділок:

- 1) 0,1 мм;
- 2) 0,05 мм;
- 3) 0,5 мм;
- 4) 0,01 мм.

5. Визначте ціну поділки шкали, показаної на рисунку:



- 1) 1;
- 2) 10;
- 3) 20;
- 4) 50.

7. Яка остання цифра є вірною в результаті  $1324,13 \pm 16,7$  ?

- 1) 1;
- 2) 3;
- 3) 0;
- 4) 5.

6. Швидкість світла в вакуумі становить  $299193+1$  км/с. Визначте скільки значущих цифр має число  $300000$  км/с, яке є її приблизним значенням.

- 1) 1;
- 2) 3;
- 3) 6;
- 4) 5.

7. Чисельне значення прискорення вільного падіння  $9,81\text{м/с}^2$  є приблизним. Вказати величину граничної похибки для нього:

- 1) 0,1;
- 2) 0,01;
- 3) 0,05;
- 4) 0,001.

8. Записати результат додавання чисел  $1,250$  і  $5,3$ , у яких всі цифри значущі:

- 1) 6,55;
- 2) 6,550;
- 3) 6,3;
- 4) 6,6.

9. Записати результат ділення двох чисел 125,0 на 5,00, у яких всі цифри значущі:

- 1) 25,0;
- 2) 25;
- 3) 250;
- 4) 25,00.

10. Результат множення, ділення, піднесення до степеня чи знаходження кореня включає стільки значущих цифр, скільки їх є:

- 1) в найменшому вихідному числі;
- 2) у вихідному числі з мінімальною кількістю цифр;
- 3) у вихідному числі з максимальною кількістю цифр;
- 4) у вихідному числі з мінімальною кількістю значущих цифр.

11. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1 мікрон (1 мкм) з одиницею довжини в СІ:

- 1)  $1 \text{ мкм} = 10^{-2} \text{ м}$ ;
- 2)  $1 \text{ мкм} = 10^{-6} \text{ м}$ ;
- 3)  $1 \text{ мкм} = 10^{-8} \text{ м}$ ;
- 4)  $1 \text{ мкм} = 10^{-10} \text{ м}$ .

12. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1 мм з одиницею довжини в СІ:

- 1)  $1 \text{ мм} = 10^{-2} \text{ м}$ ;
- 2)  $1 \text{ мм} = 10^{-6} \text{ м}$ ;
- 3)  $1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м}$ ;
- 4)  $1 \text{ мм} = 10^{-10} \text{ м}$ .

13. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання 1 нм з одиницею довжини в СІ:

- 1)  $1 \text{ нм} = 10^{-2} \text{ м}$ ;
- 2)  $1 \text{ нм} = 10^{-6} \text{ м}$ ;
- 3)  $1 \text{ нм} = 10^{-9} \text{ м}$ ;
- 4)  $1 \text{ нм} = 10^{-10} \text{ м}$ .

14. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1пм з одиницею довжини в СІ:

1)  $1 \text{ мм} = 10^{-12} \text{ м};$

2)  $1 \text{ мм} = 10^{-6} \text{ м};$

3)  $1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м};$

4)  $1 \text{ мм} = 10^{-10} \text{ м}.$

15. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1мм з одиницею довжини в СІ:

1)  $1 \text{ мм} = 10^{-2} \text{ м};$

2)  $1 \text{ мм} = 10^6 \text{ м};$

3)  $1 \text{ мм} = 10^{-3} \text{ м};$

4)  $1 \text{ мм} = 10^{-10} \text{ м}.$

16. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1 Å з одиницею довжини в СІ:

1)  $1 \text{ Å} = 10^2 \text{ м};$

2)  $1 \text{ Å} = 10^{-6} \text{ м};$

3)  $1 \text{ Å} = 10^{-3} \text{ м};$

4)  $1 \text{ Å} = 10^{-10} \text{ м}.$

## Лабораторна робота № 2

# ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ МАТЕРІАЛУ ТІЛ НЕПРАВИЛЬНОЇ ГЕОМЕТРИЧНОЇ ФОРМИ

### *Мета роботи*

Навчитися визначити густину матеріалу тіл неправильної геометричної форми.

### *Прилади і матеріали*

Прозорий мірний циліндр з водою, штангенциркуль, аналітична вага з набором важків, тіло неправильної геометричної форми.

### *Теоретичні відомості*

Густина тіл обчислюється за формулою:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса тіла,  $V$  – об'єм.

Враховуючи, що об'єм тіла дорівнює об'єму, витісненої ним води в мірному циліндрі, можна записати:

$$V = S\Delta h = S(h_2 - h_1) = \frac{\pi D^2}{4} \Delta h, \quad (2)$$



де  $S$  – площа основи циліндра,  $h_1$ ,  $h_2$  – початковий і кінцеві висоти рівнів води у циліндрі (до і після занурення тіла відповідно),  $\Delta h$  – різниця рівнів,  $D$  – діаметр циліндра.

Підставивши (2) в (1), одержимо робочу формулу для визначення густини тіл неправильної геометричної форми:

$$\rho = \frac{4m}{\pi D^2 (h_2 - h_1)}. \quad (3)$$

### **Опис обладнання**

В роботі використовується мірний циліндр, що має міліметрову шкалу на зовнішній поверхні. Циліндр заповнюють водою приблизно до середини його висоти (рис. 1). При зануренні тіла неправильної форми у воду, рівень води в циліндрі буде підніматися на висоту  $\Delta h$ , що вимірюється спостерігачем за шкалою.

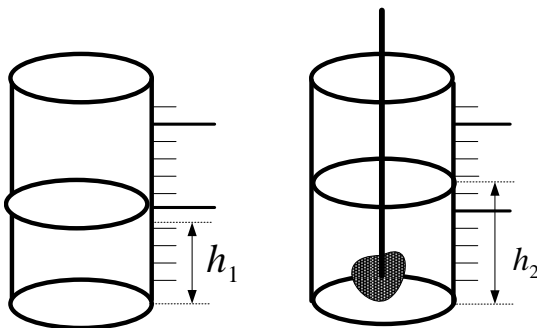


Рис. 1. Обладнання для визначення густини тіл неправильної геометричної форми

### *Порядок виконання роботи*

1. Визначити масу досліджуваного тіла за допомогою терезів.
2. Штангенциркулем виміряти внутрішній діаметр мірного циліндра.
3. За шкалою на циліндрі зафіксувати початковий рівень води.
4. Опустити прив'язане до нитки досліджуване тіло на дно мірного циліндра і зафіксувати кінцевий рівень води.
5. Визначити висоту підняття води  $\Delta h$  в циліндрі відносно початкового рівня.
6. Повторити пп. 2-5 не менше 5 разів (внутрішній діаметр циліндра слід вимірювати в різних його поперечних перерізах).
7. За формулою (3) визначити густину матеріалу, з якого виготовлено тіло, в кожному з п'яти випадків.
8. Обчислити середнє арифметичне значення густини матеріалу неправильної геометричної форми за формулою (4):

$$\rho_{\text{сеп}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \rho_i. \quad (4)$$

9. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення густини за формулою (5):

$$\begin{aligned} \Delta\rho_1 &= \left| \rho_{\text{сеп}} - \rho_1 \right|; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta\rho_n &= \left| \rho_{\text{сеп}} - \rho_n \right|. \end{aligned} \quad (5)$$

10. Обчислити середнє квадратичне відхилення визначення густини тіла неправильної геометричної форми за формулою (6):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta \rho_i^2}{n(n-1)}} . \quad (6)$$

11. Обчислити абсолютну похибку визначення густини матеріалу тіла за формулою (7):

$$\Delta \rho = t_c \Delta S , \quad (7)$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента.

12. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень**

№	$m$ , кг	$D$ , м	$h_1$ , м	$h_2$ , м	$\Delta h$ , м	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta \rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\Delta S$ ,	$\Delta \rho$ , г/см <sup>3</sup>	$E$ , %
1										
2										
3										
4										
5										

Сер.	-	-	-	-	-					
------	---	---	---	---	---	--	--	--	--	--

***Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи***

1. Яка одиниця довжини є основною в СІ?
2. Які одиниці вимірювання площі в СІ?
3. Які одиниці вимірювання об'єму в СІ?
4. Які одиниці вимірювання густини матеріалу в СІ?
5. З якою точністю визначена густина матеріалу в даній роботі?
6. Які типи похибок Ви знаєте?
7. З чим пов'язана точність вимірювання?
8. Дайте визначення фізичної величини.
9. Що називають чисельним значенням фізичної величини?
10. Які вимірювання називаю посередніми?
11. Які вимірювання називаю сукупними?
12. Які вимірювання називаю сумісними?
13. Дайте визначення похибки вимірювань.
14. Чи можна усунути систематичні похибки?
15. Які події називають випадковими?

### *Тестові завдання для захисту лабораторної роботи*

1. Густина матеріалу твердого тіла неправильної геометричної форми обчислюють за формулою:

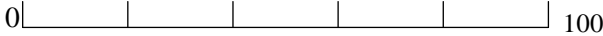
$$1) \rho = \frac{\pi d^2 m}{V};$$

$$2) \rho = \frac{\pi r^2 m}{V};$$

$$3) \rho = \frac{m}{\pi d^2 h};$$

$$4) \rho = \frac{m}{V}.$$

2. Визначте ціну поділки шкали, показаної на рисунку:



- 1) 1;
- 2) 100;
- 3) 20;
- 4) 25.

3. Число 24 має такі двоцифрові кратні:

- 1) 24, 48;
- 2) 24, 48, 72, 96;
- 3) 48, 72, 96;
- 4) 96.

4. Чи можна утворити парне п'ятицифрове число з усіх парних цифр?

- 1) не завжди;
- 2) можна тільки у деяких випадках;
- 3) ніколи неможна;
- 4) завжди можна.

5. Які спільні дільники мають числа 26 і 39:

- 1) 1, 13;
- 2) 26, 1;
- 3) 39, 26;
- 4) 13.

6. Яка остання цифра є вірною в результаті  $1423,33 \pm 1$ , 22?

- 1) 4;
- 2) 3;
- 3) 2;
- 4) 5.

7. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $\text{м}^3$  з одиницею вимірювання  $\text{мкм}^3$ :

- 1)  $1 \text{ м}^3 = 10^2 \text{ мкм}^3$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ мкм}^3$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^3 = 10^{18} \text{ мкм}^3$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^3 = 10^{10} \text{ мкм}^3$ .

8. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання довжини 1 м з одиницею вимірювання 1 мм:

- 1)  $1 \text{ м} = 10^{-2} \text{ мм}$ ;
- 2)  $1 \text{ м} = 10^{-6} \text{ мм}$ ;
- 3)  $1 \text{ м} = 10^{-3} \text{ мм}$ ;
- 4)  $1 \text{ м} = 10^{-10} \text{ мм}$ .

9. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ м}^2$  з одиницею вимірювання  $1 \text{ нм}^2$ :

- 1)  $1 \text{ м}^2 = 10^2 \text{ нм}^2$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^2 = 10^6 \text{ нм}^2$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^2 = 10^9 \text{ нм}^2$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^2 = 10^{18} \text{ нм}^2$ .

10. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ м}^2$  з одиницею вимірювання  $1 \text{ пм}^2$ :

- 1)  $1 \text{ м}^2 = 10^{24} \text{ пм}^2$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^2 = 10^{12} \text{ пм}^2$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^2 = 10^3 \text{ пм}^2$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^2 = 10^{10} \text{ пм}^2$ .

11. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ м}^2$  з  $1 \text{ мм}^2$ :

- 1)  $1 \text{ м}^2 = 10^{12} \text{ мм}^2$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^2 = 10^6 \text{ мм}^2$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^2 = 10^3 \text{ мм}^2$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^2 = 10^{10} \text{ мм}^2$ .

12. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ м}^3$  з одиницею вимірювання  $1 \text{ мм}^3$ :

- 1)  $1 \text{ м}^3 = 10^2 \text{ мм}^3$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^3 = 10^6 \text{ мм}^3$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^3 = 10^9 \text{ мм}^3$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^3 = 10^2 \text{ мм}^3$ .

13. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ г/см}^3$  з одиницею вимірювання  $1 \text{ кг/м}^3$ :

- 1)  $1 \text{ г/см}^3 = 10^2 \text{ кг/м}^3$ ;
- 2)  $1 \text{ г/см}^3 = 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ ;
- 3)  $1 \text{ г/см}^3 = 10^3 \text{ кг/м}^3$ ;
- 4)  $1 \text{ г/см}^3 = 10^{-2} \text{ кг/м}^3$ .

14. Вкажіть зв'язок одиниці вимірювання  $1 \text{ м}^3$  з одиницею вимірювання  $1 \text{ л}$ :

- 1)  $1 \text{ м}^3 = 10^2 \text{ л}$ ;
- 2)  $1 \text{ м}^3 = 10^{-3} \text{ л}$ ;
- 3)  $1 \text{ м}^3 = 10^3 \text{ л}$ ;
- 4)  $1 \text{ м}^3 = 10^{-2} \text{ л}$ .

## **Лабораторна робота № 3**

# **ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ ТІЛ ПІД ЧАС РУХУ ПО ПОХИЛІЙ ПЛОЩИНІ**

### *Мета роботи*

Визначити коефіцієнти тертя тіл, виготовлених з різних матеріалів, під час руху вздовж похилої площини.

### *Обладнання*

Похила площина, транспорир, тіла з різних матеріалів, метрова лінійка, секундомір.

### *Теоретичні відомості*

На тіло, що розміщене на похилій площині (рис 1), діють такі сили: сила ваги, спрямована вертикально вниз, сила реакції опори, спрямована перпендикулярно до площини, на якій розміщене тіло, і сила тертя, що спрямована вздовж поверхні площини проти руху тіла.



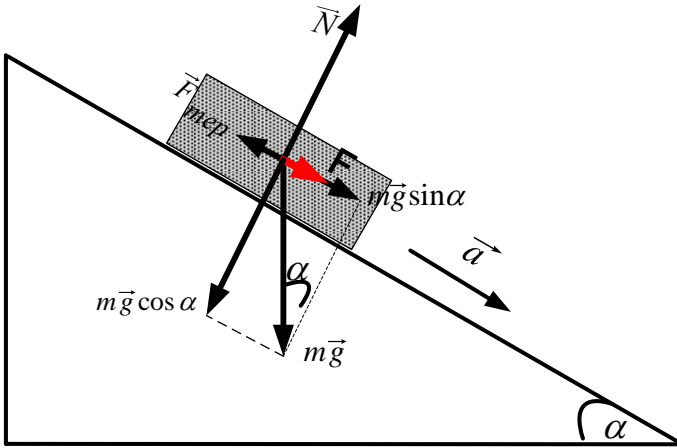


Рис. 1. Тіло на похилій площині

Розглянемо два випадки.

1. Тіло перебуває в стані спокою, або рухається рівномірно.

Якщо тіло перебуває в стані спокою, або рухається рівномірно, то згідно з першим законом Ньютона, векторна сума всіх сил, прикладених до тіла, дорівнює нулю. В напрямку руху на діло діє проекція сили тяжіння на цей напрям та сила тертя, а в напрямку, перпендикулярному до напрямку руху – проекція сили тяжіння на цей напрям та сила реакції опори. Аналітично це записують так (див. рис. 1):

$$mg \sin \alpha_{\text{сп}} = F_{\text{тер}}, \quad (1)$$

$$mg \cos \alpha_{\text{сп}} = N, \quad (2)$$

де  $\alpha_{\text{сп}}$  – кут нахилу площини до горизонту, за якого тіло перебуває у стані спокою або рухається рівномірно. Відомо, що сила тертя визначається так:

$$F_{\text{тер}} = kN, \quad (3)$$

де  $k$  – коефіцієнт тертя.

Підставивши (3) в (1) та поділивши (1) на (2), отримаємо:

$$\text{tg} \alpha_{\text{сп}} = k. \quad (4)$$

## 2. Тіло рухається рівноприскорено.

Якщо тіло, що перебуває на похилій площині, рухається рівноприскорено, то згідно з другим законом Ньютона, рівняння його руху записують так:

$$ma = mg \sin \alpha - F_{\text{тер}}, \quad (5)$$

де  $\alpha$  – кут нахилу площини до горизонту, за якого тіло рухається рівноприскорено.

Оскільки перпендикулярно до площини тіло не рухається, то:

$$mg \cos \alpha = N. \quad (6)$$

Підставивши (3) і (6) в (5), отримаємо рівняння для визначення коефіцієнта тертя під час руху тіла вздовж похилої площини:

$$ma = mg \sin \alpha - kmg \cos \alpha \Rightarrow k = \frac{a - g \sin \alpha}{g \cos \alpha}. \quad (7)$$

Шлях  $l$  тіла за рівноприскореного руху визначають так:

$$l = \frac{at^2}{2} \Rightarrow a = \frac{2l}{t^2}, \quad (8)$$

де  $t$  – час руху тіла, то робоча формула для визначення коефіцієнта тертя має вигляд:

$$a = \frac{\frac{2l}{t^2} - g \sin \alpha}{g \cos \alpha} = \frac{2l - gt^2 \sin \alpha}{gt^2 \cos \alpha}. \quad (9)$$

### ***Опис вимірювального обладнання***

Установка для визначення коефіцієнта тертя тіла під час руху вздовж похилої площини складається з двох металевих горизонтальних брусів завдовжки 80 см кожний, які розміщені один на одному і скріплені між собою одним кінцем. Зовнішня поверхня верхнього бруса добре відшліфована, тому тіло, поставлене на цю поверхню, може легко ковзати вниз вздовж бруса. Піднімаючи другий вільний кінець верхнього бруса, можна змінювати кут нахилу похилої площини та фіксувати потрібне положення за допомогою тумблера. До горизонтальної частини похилої площини з боку з'єднання брусів жорстко прикріплений транспортер, який визначає кут нахилу площини. Для визначення коефіцієнта тертя ковзання використовують

комплект тіл з гладкими поверхнями у формі паралелепіпедів розмірами 40x20x8 мм кожний, виготовлених з різних матеріалів (алюміній, дерево, сталь, ебоніт). Довжину пройденого шляху досліджуваного тіла вздовж похилої площини вимірюють лінійкою, а час проходження фіксують секундоміром.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Підняти верхній брус похилої площини на невеликий кут ( $8^0$ - $10^0$ ) і покласти досліджуване тіло на верхній край похилої площини.
2. Повільно збільшувати кут нахилу площини, поки тіло почне рівномірно рухатися вниз вздовж площини. Для полегшення переходу тіла в стан руху рекомендується постукувати по площині або злегка підштовхувати тіло. Виміряти транспортиром граничний кут нахилу площини  $\alpha_{сп}$ , за якого починається рівномірний рух тіла.
3. Встановити похилу площину під довільним кутом  $\alpha > \alpha_{сп}$ , розмістивши тіло (виготовлене з алюмінію) біля верхнього краю похилої площини. Відпустити тіло, яке почне рухатися рівноприскорено вздовж похилої площини до основи площини і за допомогою секундоміра виміряти тривалість руху  $t$  тіла до основи.
4. Виміряти довжину похилої площини  $l$ .

5. П.п. 3-4 повторити п'ять разів, змінюючи кут нахилу похилої площини до горизонту.

6. Для кожного з п'яти випадків за формулою (9) обчислити коефіцієнт тертя.

7. Обчислити середнє арифметичне значення коефіцієнту тертя за формулою (10):

$$k_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i . \quad (10)$$

8. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення коефіцієнта тертя за формулою (11):

$$\begin{aligned} \Delta k_1 &= \left| k_{\text{сер}} - k_1 \right| ; \\ &\dots\dots\dots ; \\ \Delta k_n &= \left| k_{\text{сер}} - k_n \right| . \end{aligned} \quad (11)$$

9. Обчислити середнє значення абсолютної похибки результатів визначення коефіцієнта тертя за формулою (12):

$$\Delta k_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \Delta k_i . \quad (12)$$

10. Обчислити середнє квадратичне відхилення визначення коефіцієнта тертя за формулою (13):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta k_i^2}{n(n-1)}} . \quad (13)$$

11. Обчислити абсолютну похибку визначення коефіцієнта тертя за формулою (14):

$$\Delta k = t_c \Delta S, \quad (14)$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента.

12. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

13. П.п. 1-12 повторити для тіл, виготовлених з дерева, сталі та ебоніту.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для тіла,  
виготовленого з алюмінію**

№	$\alpha$ , град	$l$ , м	$t$ , с	$k$	$\Delta k_i$	$\Delta S$ ,	$\Delta k$ ,	$E$ , %
1								
2								
3								
4								
5								
Сер.	-	-	-					

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для тіла,  
виготовленого з дерева**

<i>N</i> <sub>0</sub>	$\alpha$ , град	<i>l</i> , м	<i>t</i> , с	<i>k</i>	$\Delta k_i$	$\Delta S$ ,	$\Delta k$ ,	<i>E</i> , %
1								
2								
3								
4								
5								
Сер.	-	-	-					

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для тіла,  
виготовленого зі сталі**

<i>N</i> <sub>0</sub>	$\alpha$ , град	<i>l</i> , м	<i>t</i> , с	<i>k</i>	$\Delta k_i$	$\Delta S$ ,	$\Delta k$ ,	<i>E</i> , %
1								
2								
3								
4								
5								

Сер.	-	-	-					
------	---	---	---	--	--	--	--	--

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень для тіла,  
виготовленого з ебоніту**

№	$\alpha$ , град	$l$ , м	$t$ , с	$k$	$\Delta k_i$	$\Delta S$ ,	$\Delta k$ ,	$E$ , %
1								
2								
3								
4								
5								
Сер.	-	-	-					

**Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи**

1. Сформулювати визначення сили.
2. Які одиниці вимірювання сили в СІ?
3. Сформулювати перший закон Ньютона.
4. Сформулювати другий закон Ньютона.
5. Сформулювати третій закон Ньютона.
6. Які сили Ви знаєте?
7. Від чого залежить коефіцієнт тертя?



8. Чи залежить коефіцієнт тертя від площі поверхні контакту двох тіл, між якими відбувається тертя?
9. Які сили діють на тіло, що розміщене на похилій площині?
10. За якої умови тіло, розміщене на похилій площині, буде перебувати в стані спокою?
11. Яка умова початку руху тіла по похилій площині?
12. За якої умови тіло, що знаходиться на похилій площині, буде рухатися рівноприскорено?
13. Від чого залежить прискорення руху тіла по похилій площині? Вивести формулу.
14. В яких простих механізмах використовують похилу площину?

***Тестові завдання для захисту лабораторної роботи***

1. Які сили діють на тіло, розміщене на похилій площині?
  - 1) сила тертя, сила тяжіння;
  - 2) сила тертя, сила тяжіння, сила реакції опори;
  - 3) сила тертя, проекція сили тяжіння на напрям руху;
  - 4) сила тертя, проекція сили тяжіння на напрям руху, сила реакції опори.
2. За якою формулою визначають силу тяжіння?
  - 1)  $F = mg$ ;

2)  $F = \frac{mv^2}{2}$ ;

3)  $F = kN$ ;

4)  $F = ma$ .

3. За якою формулою визначають силу тертя?

1)  $F = mg$ ;

2)  $F = ma$ ;

3)  $F = kN$ ;

4)  $F = \frac{mv^2}{2}$ .

4. Як напрямлена сила тяжіння?

1) перпендикулярно до площини вниз;

2) перпендикулярно до площини вверх;

3) в напрямку площини, вздовж якої рухається тіло;

4) вертикально вниз до центра Землі.

5. Як напрямлена сила тертя?

1) перпендикулярно до площини вверх;

2) в напрямку площини, вздовж якої рухається тіло;

3) перпендикулярно до площини вниз;

4) в напрямку, протилежному до руху тіла вздовж площини.

6. Як напрямлена сила, з якою тіло тисне на похилу площину?

- 1) перпендикулярно до площини вниз;
- 2) перпендикулярно до площини вверх;
- 3) в напрямку площини, вздовж якої рухається тіло;
- 4) в напрямку, протилежному до руху тіла.

7. Яка сила рухає тіло вздовж похилої площини вниз?

- 1) сила тяжіння;
- 2) сила реакції опори;
- 3) результуюча сили тяжіння і сили реакції опори;
- 4) результуюча всіх сили, що діють на тіло.

8. Яка умова рівноваги тіла на похилій площині (див. рис. 1)?

- 1)  $\vec{F} = \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;
- 2)  $\vec{F} > \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;
- 3)  $\vec{F} < \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;
- 4)  $\vec{F} \leq \vec{F}_{\text{тер.}}$  .

9. Яка умова рівномірного руху тіла вздовж похилої площини вниз (під дією власної ваги) (див. рис. 1)?

- 1)  $\vec{F} = \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

2)  $\vec{F} > \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

3)  $\vec{F} < \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

4)  $\vec{F} \leq \vec{F}_{\text{тер.}}$  .

10. Яка умова рівноприскореного руху тіла вздовж похилої площини вниз (під дією власної ваги) (див. рис. 1)?

1)  $\vec{F} < \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

2)  $\vec{F} = \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

3)  $\vec{F} > \vec{F}_{\text{тер.}}$  ;

4)  $\vec{F} \leq \vec{F}_{\text{тер.}}$  .

11. Від чого залежить коефіцієнт тертя?

1) від кута нахилу площини;

2) від матеріалу тіл, між якими виникає тертя;

3) від прискорення, з яким рухається тіло;

4) від площі поверхні контакту двох тіл, між якими виникає тертя.

12. Від чого залежить прискорення, з яким рухається тіло?

1) від величини сили, що діє на тіло;

2) від точки прикладання сили;

3) від напрямку дії сили;

4) від величини, точки прикладання та напрямку дії сили.

13. Чому дорівнює сила тертя на похилій площині?

1)  $F = kmg \cos \alpha$  ;

2)  $F = mg \sin \alpha$  ;

3)  $F = kmg$  ;

4)  $F = mg \cos \alpha$  .

14. Чому дорівнює сила тертя на горизонтальній площині?

1)  $F = kmg \tan \alpha$  ;

2)  $F = mg \sin \alpha$  ;

3)  $F = kmg$  ;

4)  $F = mg \cos \alpha$  .

## Лабораторна робота № 4

### ВИЗНАЧЕННЯ ПРИСКОРЕННЯ ВІЛЬНОГО ПАДІННЯ ЗА ДОПОМОГОЮ МАТЕМАТИЧНОГО МАЯТНИКА

#### *Мета роботи*

Експериментально визначити прискорення вільного падіння на основі малих коливань математичного маятника.

#### *Прилади і матеріали*

Математичний маятник, вимірювальна лінійка, штангенциркуль, секундомір.

#### *Теоретичні відомості*

Математичний маятник – кулька, підвішена на довгій, невагомій і нерозтяжній нитці (рис.1).

Коливання математичного маятника відбувається в заданій площині під дією повертаючої сили. Коли маятник перебуває у стані рівноваги, сила тяжіння врівноважується силою пружності нитки (рис.1). Якщо маятник відхилити на деякий кут  $\alpha$ , то виникає повертаюча сила  $\vec{F}$ , під дією якої маятник коливається.

Рівняння руху маятника згідно з другим законом Ньютона

записують так:

$$ma = F = mgsin\alpha, \quad (1)$$

де  $a$  – прискорення маятника,  $\alpha$  – кут відхилення маятника від положення рівноваги.

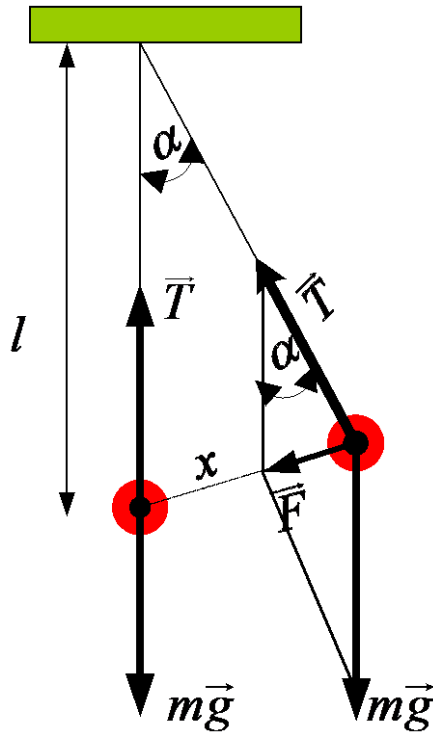


Рис. 1. Математичний маятник

Так як кут відхилення маятника від положення рівноваги

малий, то:

$$\sin\alpha = \frac{x}{l}, \quad (2)$$

де  $x$  – зміщення маятника від положення рівноваги.

Підставивши (2) в (1), отримаємо:

$$ma = mg \frac{x}{l}. \quad (3)$$

Відповідно до визначення, прискорення – є другою похідною від переміщення по часу, тому рівняння (3) можна переписати так:

$$m \frac{d^2x}{dt^2} = mg \frac{x}{l}. \quad (4)$$

Розв'язком диференціального рівняння (4) є вираз (5) (у цьому можна переконатися методом підстановки, попередньо взявши другу похідну від (5)):

$$x = A \sin(\omega t + \varphi), \quad (5)$$

де

$$\omega = \sqrt{\frac{g}{l}}. \quad (6)$$

У рівнянні (6)  $\omega$  – циклічна частота коливань маятника,  $l$  – його довжина. Період коливань математичного маятника:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}}. \quad (7)$$



З рівняння (7) визначають прискорення вільного падіння:

$$g = \frac{4\pi^2 l}{T^2}. \quad (8)$$

Довжина математичного маятника складається з довжини нерозтяжної нитки (вимірюється лінійкою)  $l_1$  і половини діаметра кульки  $d$  (вимірюється штангенциркулем):

$$l = l_1 + \frac{d}{2}. \quad (9)$$

Період коливань математичного маятника  $T$  визначають шляхом вимірювання секундоміром часу  $t$  для  $n$  повних коливань, а саме:

$$T = \frac{t}{n}. \quad (10)$$

Підставивши (9) і (10) в (8), отримаємо робочу формулу для визначення прискорення вільного падіння:

$$g = \frac{4\pi^2 \left( l_1 + \frac{d}{2} \right) n^2}{t^2}. \quad (11)$$

### ***Порядок виконання роботи***

1. Штангенциркулем виміряти діаметр  $d$  кульки і за допомогою лінійки виміряти максимальну довжину нитки –  $l_1$ .

2. Надати маятнику коливального руху, відхиливши його від положення рівноваги на невеликий кут  $\alpha = 3-5^\circ$ . Секундоміром визначити час  $t$  за який маятник зробить  $n=100$  повних коливань.
3. Повторити 5 разів пп. 1-2, вкорочуючи кожний раз довжину нитки на 1-2 см.
4. За формулою (10) обчислити значення прискорення вільного падіння в кожному з п'яти випадків.
5. Обчислити середнє арифметичне значення прискорення вільного падіння за формулою (12):

$$g_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n g_i. \quad (12)$$

9. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення прискорення вільного падіння за формулою (13):

$$\begin{aligned} \Delta g_1 &= \left| g_{\text{сер}} - g_1 \right|; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta g_n &= \left| g_{\text{сер}} - g_n \right|. \end{aligned} \quad (13)$$

10. Обчислити середнє квадратичне відхилення результату визначення прискорення вільного падіння за формулою (14):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta g_i^2}{n(n-1)}} . \quad (14)$$

11. Обчислити абсолютну похибку визначення прискорення вільного падіння за формулою (15):

$$\Delta g = t_c \Delta S , \quad (15)$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стьюдента.

12. Остаточний результат записати у вигляді:

$$g = g_{\text{ср}} + \Delta g . \quad (16)$$

13. Обчислити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta g}{g_{\text{ср}}} \cdot 100\% . \quad (17)$$

14. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень**

$N\textcircled{2}$ $n/n$	$d$ , м	$l_1$ , м	$T$ , с	$n$	$g$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta g_i$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta S$ , м/с <sup>2</sup>	$\Delta g$ , м/с <sup>2</sup>	$E$ , %
1									
2									
3									

4									
5									
Сер.	-	-	-	-		-			

***Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи***

1. Дайте визначення математичного маятника.
2. Які рухи називають періодичними?
3. Як визначають період коливань математичного маятника?
4. Які коливання називаю гармонійними?
5. Як визначаю період, частота, фаза, зміщення та амплітуда коливання?
6. В яких одиницях вимірюють кутову швидкість в СІ?
7. Яке співвідношення між радіанами і градусами?
8. Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо довжину нитки зменшити в 4 рази?
9. Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо його вагу зменшити у 2 рази?
10. Записати рівняння гармонійних коливань.
11. Що називають прискоренням вільного падіння? Назвіть способи його дослідного визначення.
12. Що таке найбільше відхилення кульки від положення рівноваги?

13. Чи залежить період коливань математичного маятника від амплітуди коливань?

***Тестові завдання для захисту лабораторної роботи***

1. Математичним маятником називають:

- 1) тверде тіло, підвішене на пружині;
- 2) матеріальну точку масою  $m$ , підвішену на пружині;
- 3) матеріальну точку масою  $m$ , підвішену на нерозтяжній невагомій нитці;
- 4) тверде тіло, яке під дією сили тяжіння виконує коливання відносно горизонтальної осі, що не проходить через його центр мас.

2. Пружинним маятником називають:

- 1) тверде тіло, підвішене на нерозтяжній невагомій нитці;
- 2) матеріальну точку, підвішену на пружині;
- 3) тверде тіло, підвішене на пружині;
- 4) тверде тіло, яке під дією сили тяжіння виконує коливання відносно горизонтальної осі, що не проходить через його центр мас.

3. Фізичним маятником називають:

- 1) тверде тіло, яке під дією сили тяжіння здійснює коливання відносно горизонтальної осі, що не проходить через його центр мас;
- 2) тверде тіло, підвішене на пружині;
- 3) матеріальну точку масою  $m$ , підвішену на нерозтяжній невагомій нитці;
- 4) матеріальну точку масою  $m$ , підвішену на пружині.

4. Період математичного маятника визначають за формулою:

1)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ;

2)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{k}}$ ;

3)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{l}{g}}$ ;

4)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{g}}$ .

5. Період пружинного маятника визначають за формулою:

1)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{m}{k}}$ ;

2)  $T = 2\pi\sqrt{\frac{I_0}{mgl}}$ ;

$$3) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

$$4) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g}}.$$

6. Період фізичного маятника визначають за формулою:

$$1) T = 2\pi \sqrt{\frac{l}{g}};$$

$$2) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{g}}.$$

$$3) T = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}};$$

$$4) T = 2\pi \sqrt{\frac{I_0}{mgl}}.$$

7. Які коливання називаю вільними?

1) коливання під впливом зовнішньої сили;

2) коливання під дією сили тяжіння;

3) коливання, що описуються законом синуса або косинуса;

4) коливання, які виконують за рахунок початкової енергії без подальших зовнішніх впливів на коливну систему.

8. Гармонічними коливаннями називають:

1) коливання, амплітуда яких з часом зменшується;

- 2) коливання, які описують часі законом синуса або косинуса;
- 3) процеси, які характеризують певною повторюваністю у часі;
- 4) коливання, які відбуваються тільки за рахунок початкової енергії без подальших зовнішніх впливів на коливну систему.

9. Періодом гармонічних коливань називають:

- 1) кількість коливань за весь час коливного процесу;
- 2) кількість коливань за одиницю часу;
- 3) час, протягом якого виконується одне повне коливання;
- 4) максимальне відхилення тіла від положення рівноваги.

10. Амплітудою гармонічних коливань називають:

- 1) відхилення тіла від положення рівноваги в момент часу  $t$ ;
- 2) відхилення тіла в початковий момент часу;
- 3) максимальне відхилення тіла від положення рівноваги;
- 4) мінімальне відхилення тіла від положення рівноваги.

11. Циклічну частоту визначають за формулою:

- 1)  $\nu = \frac{1}{T}$ ;
- 2)  $\omega = \frac{1}{T}$ ;
- 3)  $\omega = \frac{2\pi}{T}$ ;



4)  $\omega = 2\pi T$ .

12. Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо його довжину зменшити у 2 рази?

- 1) збільшиться в 2 рази;
- 2) зменшиться в 2 рази;
- 3) зменшиться в 4 рази;
- 4) зменшиться в  $\sqrt{2}$  разів.

14. Як зміниться період коливань математичного маятника, якщо його довжину збільшити у 9 разів?

- 1) збільшиться в 9 разів;
- 2) зменшиться в  $\sqrt{3}$  разів;
- 3) зменшиться в 3 рази;
- 4) збільшиться в 3 рази.

15. Як потрібно змінити довжину математичного маятника, щоб період коливань збільшився в 4 рази?

- збільшити в 4 рази;
- збільшити в 16 разів;
- збільшити в 2 рази;
- зменшити в 16 разів.

16. Як потрібно змінити довжину математичного маятника, щоб період коливань зменшився в 3 рази?

- 1) зменшити в 9 разів;
- 2) збільшити в 16 разів;
- 3) збільшити в 2 рази;
- 4) зменшити в 16 разів.

## Лабораторна робота № 5

# ДОСЛІДЖЕННЯ ОБЕРТАЛЬНОГО РУХУ ЗА ДОПОМОГОЮ МАЯТНИКА ОБЕРБЕКА

### *Мета роботи*

Вивчити обертальний рух за допомогою маятника Обербека. Визначити момент інерції маятника Обербека.

### *Прилади і матеріали*

Маятник Обербека, секундомір, вимірні лінійка, штангенциркуль, технічні терези з набором важків.

### *Теоретичні відомості*

До основних динамічних характеристик обертального руху належать: момент інерції маси, момент сили, момент імпульсу.

Момент інерції маси – властивість тіла, яка характеризує міру його інертності за обертального руху навколо осі. Момент інерції матеріальної точки масою  $m$  яка обертається навколо осі  $Oz$ , розміщеної на віддалі  $R$  від неї, визначають так:

$$J = mR^2 . \quad (1)$$

Якщо механічна система складається з  $i$ -ої кількості

матеріальних точок з масами  $m_1, m_2, m_3, \dots, m_i$ , то момент інерції цієї системи визначають так:

$$J = \sum_{i=1}^n m_i R_i^2, \quad (2)$$

де  $R_i$  – віддаль  $i$ -ої матеріальної точки масою  $m_i$  до осі обертання.

Для тіла з неперервно розподіленою у деякому об'ємі простору масою (коли механічну систему неможливо розділити на точки) момент інерції визначають так:

$$J = \int R^2 dm, \quad (3)$$

де  $R$  – віддаль елемента тіла масою  $dm$  до осі обертання, або:

$$J = \rho \int R^2 dV, \quad (4)$$

де  $\rho$  – густина матеріалу тіла.

Моментом сили  $\vec{M}$  відносно нерухомої точки називають векторний добуток двох векторів: радіус-вектора  $\vec{R}$ , проведеного з нерухомої точки обертання в точку прикладання сили, та вектора сили  $\vec{F}$  (рис. 1):

$$\vec{M} = [\vec{R} \times \vec{F}]. \quad (5)$$

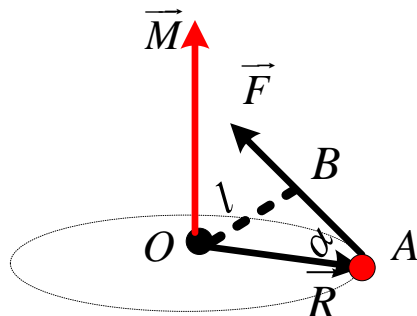


Рис. 1. Вектор  $\vec{M}$  – момент сили  $\vec{F}$  відносно нерухомої точки О (вектори  $\vec{R}$  і  $\vec{F}$  розміщені в горизонтальній площині)

Напрямок вектора моменту сили визначається за правилом векторного добутку. Скалярну величину моменту сили згідно з правилом визначення модуля векторного добутку записують так:

$$|\vec{M}| = |\vec{R}||\vec{F}| \sin \alpha = Fl, \quad (6)$$

де  $l$  – плече сили  $\vec{F}$  (на рис. 1 довжина перпендикуляра  $OB$ , проведеного з нерухомої точки обертання на напрям сили),  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{R}$  і  $\vec{F}$ .

Моментом імпульсу  $\vec{L}$  називають векторний добуток двох векторів: радіус-вектора  $\vec{R}$ , проведеного з точки обертання в точку прикладання імпульсу, та вектора імпульсу  $\vec{p}$  (рис. 2):

$$\vec{L} = [\vec{R} \times \vec{p}] = [\vec{R} \times m\vec{v}] = m[\vec{R} \times \vec{v}], \quad (7)$$

де  $m$ ,  $\vec{v}$  – маса і швидкість матеріальної точки.

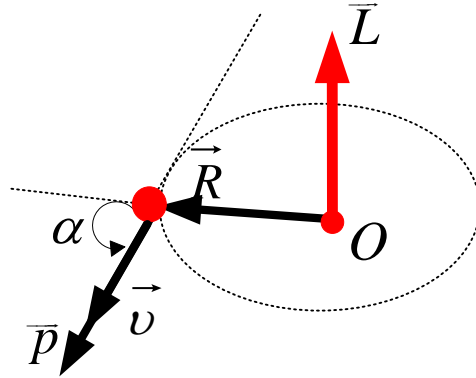


Рис. 2. Момент імпульсу  $\vec{L}$  (перпендикуляр до горизонтальної площини, в якій знаходяться вектори  $\vec{R}$  і  $\vec{p}$ ) відносно точки  $O$

Скалярна величина моменту імпульсу дорівнює добутку модуля кількості руху (імпульсу) на проекцію радіус-вектора  $\vec{R}$  на напрям, перпендикулярний до вектора швидкості (рис. 2):

$$|\vec{L}| = |\vec{R}| |\vec{p}| \sin \alpha = mvl, \quad (8)$$

де  $\alpha$  – кут між векторами  $\vec{v}$  і  $\vec{R}$ .

Якщо тіло обертається, то виразивши лінійну швидкість точки через кутову швидкість, отримаємо у скалярній формі:

$$L = mRv = mR^2\omega = J\omega. \quad (9)$$

Продиференціювавши праву та ліву частини рівняння (9), отримаємо:

$$\frac{dL}{dt} = J \frac{d\omega}{dt} = J\varepsilon, \quad (10)$$

де  $\varepsilon$  – кутове прискорення тіла.

Використовуючи 2-й закон Ньютона можна довести, що:

$$\frac{dL}{dt} = \frac{d(pR)}{dt} = FR = M. \quad (11)$$

Прирівнявши праві частини рівнянь (10 і (11), отримаємо основний закон динаміки обертального руху: якщо тіло обертається під дією певної сили, то момент сили відносно осі обертання дорівнює добутку моменту інерції тіла відносно цієї осі на кутове прискорення тіла:

$$\vec{M} = J\vec{\varepsilon}. \quad (12)$$

### ***Опис установки***

Основною частиною установки є маятник Обербека (рис 3). Він складається з вала (1), на якому запресований шків радіусом  $R$  та чотири стержні (2) у вигляді хрестовини. На стержнях можна закріплювати додаткові вантажі однакової маси. Маятнику надають обертального руху вантажем (3), підвішеним на нитці, інший кінець якої намотують на шків. Висоту опускання вантажу визначають за шкалою (4), а час опускання – лічильником часу (механічним,

електромеханічним чи електронним секундоміром), який вмикається і вимикається автоматично або вручну.

Обертальний момент від сили натягу нитки:

$$\vec{M} = R\vec{T} \quad , \quad (13)$$

де  $R$  – радіус шківів, на який намотана нитка;  $\vec{T}$  – сила натягу нитки.

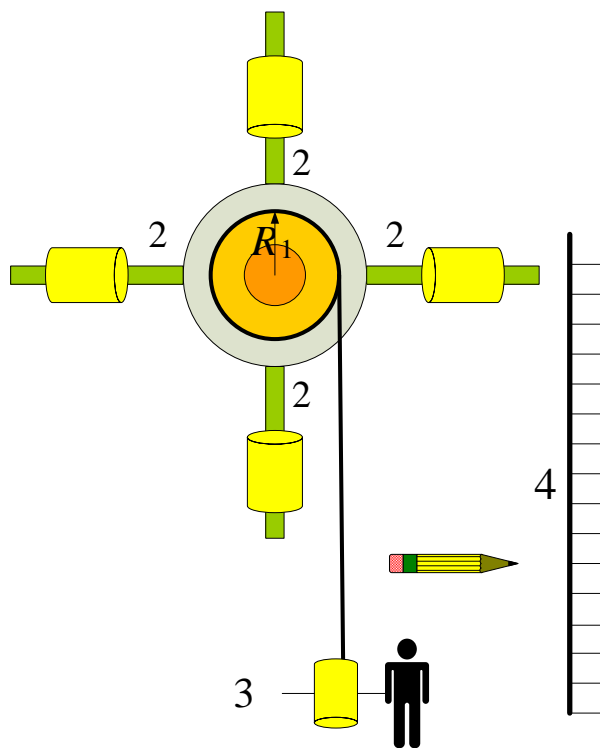


Рис. 1. Маятник Обербека

Порівнявши рівняння (12) і (13), можна записати:



$$\vec{J}\varepsilon = R\vec{T} \Rightarrow J = \frac{R\vec{T}}{\varepsilon}. \quad (14)$$

З рис. 3 видно, що на вантаж масою  $m$ , що рухається поступально вниз, діють дві сили – вага і сила натягу нитки. Тому рівняння руху вантажу на підставі другого закону Ньютона має вигляд:

$$m\vec{a} = m\vec{g} - \vec{T} \Rightarrow \vec{T} = m(\vec{g} - \vec{a}), \quad (15)$$

де  $a$  – прискорення вантажу,  $g$  – прискорення вільного падіння.

Кутове прискорення визначаємо з рівності:

$$\vec{a} = \varepsilon R \Rightarrow \varepsilon = \frac{\vec{a}}{R}. \quad (16)$$

Підставивши (16) і (15) в (14), отримаємо:

$$J = \frac{mR^2(g - a)}{a}. \quad (17)$$

Прискорення вантажу, що рухається вниз поступально, визначаємо за формулою:

$$a = \frac{2h}{t^2}, \quad (18)$$

де  $h$  – висота, на яку опустився вантаж за час  $t$ .

Підставивши (18) в (17), одержимо робочу формулу:

$$J = \frac{mR^2(gt^2 - 2h)}{2h}. \quad (19)$$

### **Порядок виконання роботи**

1. Виміряти лінійкою по шкалі відстань, на яку опускається вантаж.
2. Вимірявши штангенциркулем діаметр шківів, визначити його радіус –  $R$ .
2. Визначити на технічних терезах маси вантажів  $m_1, m_2, m_3, m_4$  і  $m_5$ .
3. Закріпити чотири додаткові вантажі на відстані  $l$  від осі хрестовини. За цих умов маятник повинен перебувати у стані байдужої рівноваги.
4. Закріпити на нитці, яка намотана на шків, вантаж масою  $m_1$ . Виміряти час опускання вантажу на фіксовану висоту  $h$ .
5. За формулою (19) обчислити момент інерції хрестовини маятника.
6. Пп. 4-5 повторити для вантажів масами  $m_2, m_3, m_4$  і  $m_5$ .
7. За формулою (20) обчислити середнє арифметичне значення моменту інерції маятника:

$$J_{\text{сеп}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i. \quad (20)$$

8. Обчислити абсолютну похибку кожного результату

визначення моменту інерції маятника (21):

$$\begin{aligned} \Delta J_1 &= \left| J_{\text{сер}} - J_1 \right|; \\ &\dots\dots\dots; \\ \Delta J_n &= \left| J_{\text{сер}} - J_n \right|. \end{aligned} \tag{21}$$

9. Обчислити середнє квадратичне відхилення середнього квадратичного значення моменту інерції за формулою (22):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta J_i^2}{n(n-1)}}. \tag{22}$$

10. Обчислити абсолютну похибку визначення моменту інерції маятника за формулою (23):

$$\Delta J = t_c \Delta S, \tag{23}$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стюдента.

11. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень**

№	$h,$ м	$R,$ м	$m,$ кг	$t,$ с	$J,$ кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J_i,$ кг·м <sup>2</sup>	$\Delta S,$ кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J,$ кг·м <sup>2</sup>	$E,$ %
1									
2									

3									
4									
5									
Сер.	-	-	-	-					

12. Остаточний результат записати у вигляді:

$$J = J_{\text{сер}} + \Delta J . \quad (24)$$

15. За формулою (27) обчислити відносну похибку визначення моменту інерції маятника Обербека:

$$E = \frac{\Delta J}{J_{\text{сер}}} \cdot 100\% . \quad (25)$$

***Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи***

1. Що називають моментом інерції матеріальної точки?
2. Що називають моментом інерції системи матеріальних точок?
3. Що називають моментом інерції твердого тіла?
4. Які одиниці вимірювання моменту інерції?
5. Як визначають момент інерції довгого стержня, що обертається навколо осі, що проходить перпендикулярно до нього через його центр мас?
6. Як визначають момент інерції диска, що обертається навколо

осі, що проходить перпендикулярно до нього через його центр мас?

7. Як визначають момент інерції кулі, що обертається довкола осі, що проходить через її центр мас?

8. Як визначають момент інерції циліндра, що обертається навколо осі, що проходить перпендикулярно до нього через цент мас?

9. Сформулюйте теорему Штейнера.

10. Як визначають момент сили та його напрям?

11. Як визначають плече сили?

12. Як визначають момент імпульсу та його напрям?

13. Сформулюйте і запишіть основний закон обертального руху.

14. Запишіть другий закон Ньютона для випадку опускання тягаря.

15. Виведіть формулу для визначення моменту інерції маятника.

16. Як знайти напрямок вектора моменту сили?

17. Як можна змінити момент сили, що діє на маятник Обербека?

**Тестові завдання для захисту лабораторної роботи**

1. Яка з наведених формул відповідає узагальненому виразу основного закону обертального руху?

1)  $\frac{d\vec{L}}{dt} = \sum_{i=1}^n M_i$ ;

2)  $\frac{d(\vec{\omega})}{dt} = \vec{M}$ ;

3)  $I \frac{d\vec{\omega}}{dt} = \vec{M}$ ;

4)  $\frac{d(I\omega)}{dt} = 0$ .

2. Визначте модуль моменту сили, якщо довжина радіус-вектора становить 2 м, величина сили 2 Н, а кут між ними –  $30^\circ$ .

1) 2 Нм;

2) 4 Нм;

3) 5 Нм;

4) 6 Нм.

3. За якого кута між радіус-вектором та вектором сили модуль моменту сили максимальний?

1)  $0^\circ$ ;

2)  $30^\circ$ ;

- 3)  $60^{\circ}$ ;
- 4)  $90^{\circ}$ .

4. За якого кута між радіус-вектором та вектором сили модуль моменту сили мінімальний?

- 1)  $0^{\circ}$ ;
- 2)  $30^{\circ}$ ;
- 3)  $60^{\circ}$ ;
- 4)  $90^{\circ}$ .

5. Який з наведених виразів описує кінетичну енергію тіла, яке обертається навколо нерухомої осі?

- 1)  $mgh$ ;
- 2)  $\frac{mv^2}{2}$ ;
- 3)  $\frac{kx^2}{2}$ ;
- 4)  $\frac{I\omega^2}{2}$ .

6. Який з параметрів обертального руху відповідає швидкості у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;

- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;
- 4) кутова швидкість.

7. Який з параметрів обертального руху відповідає прискоренню у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;
- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;
- 4) кутова швидкість.

8. Який з параметрів обертального руху відповідає силі у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;
- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;
- 4) момент імпульсу.

9. Який з параметрів обертального руху відповідає масі у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;
- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;



4) момент імпульсу.

10. Визначте момент інерції тіла, яке обертається відносно нерухомої осі під дією моменту  $5 \text{ Н}\cdot\text{м}$  з кутовою швидкістю  $\omega = (5t + 2) \text{ с}^{-1}$ .

1)  $50 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

2)  $5 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

3)  $2 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ ;

4)  $1 \text{ кг}\cdot\text{м}^2$ .

11. За обертального руху деякого тіла закон зміни кута повороту  $\varphi$  від часу  $t$  описаний формулою  $\varphi = t^2 + 3t + 2$ . Обчисліть модуль моменту сили, що прикладається до тіла, якщо момент інерції становить  $1 \text{ кг}\cdot\text{м}$ .

1)  $2 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;

2)  $4 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;

3)  $5 \text{ Н}\cdot\text{м}$ ;

4)  $8 \text{ Н}\cdot\text{м}$ .

## **Лабораторна робота № 6**

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ ДВОЛАНКОВОЇ СИСТЕМИ ВІД ЇЇ ГЕОМЕТРИЧНИХ РОЗМІРІВ**

### ***Мета роботи***

Дослідити залежність моменту інерції дволанкової системи від її геометричних розмірів.

### ***Прилади і матеріали***

Дволанкова система, технічна вага з набором важків, вимірювальна лінійна, секундомір, транспортир.

### ***Теоретичні відомості***

Дволанкова система (рис.1) складається з двох металевих планок 2, на яких висвердлені відповідні отвори 4. Планки можна жорстко з'єднати гвинтом 1 у різних точках (будь-які отвори на металевих планках) під довільним кутом.

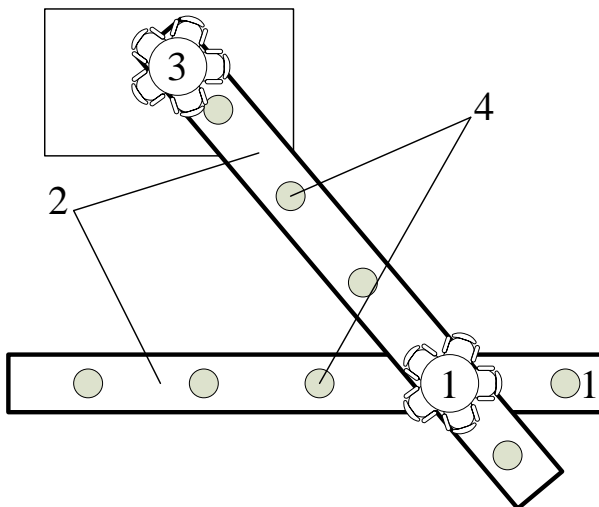


Рис. 1. Дволанкова система

Якщо таку систему підвісити на горизонтальну вісь у точці 3, яка не проходить через її центр мас, і вивести з рівноваги, то вона буде коливатися як фізичний маятник.

Період коливань фізичного маятника визначається за формулою:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{J}{mgd}}, \quad (1)$$

де  $J$  – момент інерції маятника,  $m$  – маса маятника,  $g$  – прискорення вільного падіння,  $d$  – віддаль від центра мас маятника до осі підвісу (обертання).

З формули (1) можна вивести робочу формулу для

визначення моменту інерції фізичного маятника:

$$J = \frac{T^2 mgd}{4\pi^2} . \quad (2)$$

### ***Порядок виконання роботи***

1. Визначити масу дволанкової системи  $m$ .
2. З'єднати ланки (довільно) так, щоб кут  $\alpha$  між ними становив  $0^0$ . Визначити положення центра мас такої системи.
3. Підвісити систему на горизонтальну вісь. Визначити віддаль  $d$  від положення центра мас до осі обертання.
4. Надати системі коливального руху. Секундоміром визначити час  $t$ , протягом якого система зробить  $n$  повних коливань. Визначити період коливань за формулою (3):

$$T = \frac{t}{n} . \quad (3)$$

5. Обчислити момент інерції системи, використовуючи формулу (2).
6. Пп. 1-5 повторити 5 разів.
7. За формулою (4) обчислити середнє арифметичне значення моменту інерції маятника:

$$J_{\text{сер}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i . \quad (4)$$



2										
3										
4										
5										
Сер.	-	-	-	-	-		-			

12. Остаточний результат записати у вигляді:

$$J = J_{\text{сер}} + \Delta J . \quad (8)$$

13. За формулою (9) обчислити відносну похибку результату визначення моменту інерції системи:

$$E = \frac{\Delta J}{J_{\text{сер}}} \cdot 100\% . \quad (9)$$

14. З'єднати ланки так, щоб кут між ними становив  $180^{\circ}$ .

15. Визначити положення центра мас системи.

16. Повторити пп.3-13.

### ***Таблиця результатів вимірювань та обчислень***

№	$m$ , кг	$d$ , м	$t$ , с	$N$	$T$ , с	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J_b$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta S$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J$ , кг·м <sup>2</sup>	$E$ , %
1										
2										

3										
4										
5										
Сер.	-	-	-	-	-		-			

17. З'єднати ланки так, щоб кут між ними становив  $45^0$ .

18. Визначити положення центра мас такої системи, зробивши наступну побудову (рис.2):

- визначити положення центр мас першої ланки (т.  $A^1$ );
- визначити положення центра мас другої ланки (т.  $B^1$ );
- з'єднати центри мас (пряма  $A^1B^1$ );
- з точки  $A^1$  в довільному напрямку (на рис. 2 вертикальний напрямком) провести відрізок, довжина якого пропорційна до маси другої ланки  $m_2$  ( $A^1A^{11}$ ), а з точки  $B^1$  паралельно до прямої  $A^1A^{11}$  відрізок  $B^1B^{11}$  довжина якого пропорційна до маси першої ланки  $m_1$ . З'єднати т.  $A^{11}$  і  $B^{11}$ . Точка  $O$  (перетин прямих  $A^1B^1$  та  $A^{11}B^{11}$ ) – центр мас дволанкової системи при вибраному з'єднанні.

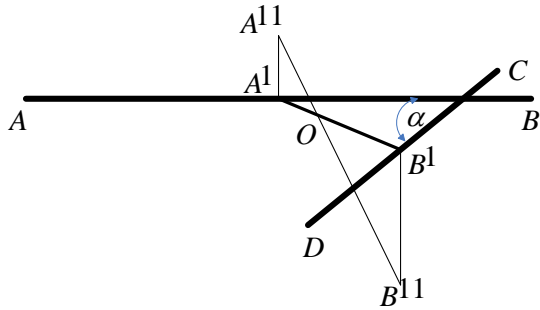


Рис. 2. Визначення положення центра мас дволанкової системи, з'єднаної під кутом  $\alpha$

19. Повторити пп.3-13.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень**

№	$m$ , кг	$d$ , м	$t$ , с	$N$	$T$ , с	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J_i$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta S$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J$ , кг·м <sup>2</sup>	$E$ , %
1										
2										
3										
4										
5										
Сер.	-	-	-	-	-		-			



**Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи**

1. Як визначають радіус-вектор матеріальної точки?
2. Запишіть радіус-вектор точки з координатами (3, -4, 5).
3. Знайдіть довжину радіус-вектора точки з координатами (3, -4, 5).
4. Як визначають центр мас системи матеріальних точок?
5. Запишіть радіус-вектор центра мас двох матеріальних точок з координатами (-2, 2, 7) і (2, 3, 4).
6. Як залежить моментом інерції матеріальної точки від її маси?
7. Від яких величин залежить період коливань фізичного маятника?
8. Яке тіло можна вважати фізичним маятником?
9. Чи можна вважати стержень, який обертається навколо горизонтальної осі, що проходить через його середину, вважати фізичним маятником?
10. Від чого залежить період коливань фізичного маятника?

**Тестові завдання для захисту лабораторної роботи**

1. Центром мас системи матеріальних точок називають:
  - 1) точку, в якій зібралась би уся маса системи матеріальних точок;
  - 2) їхній геометричний центр;

- 3) точку, до якої прикладена сила тяжіння;
- 4) точку, до якої прикладена сила тертя.

2. Центр мас двох матеріальних точок визначають так:

$$1) \vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2};$$

$$2) \vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 - m_2 \vec{r}_2}{m_1 + m_2};$$

$$3) \vec{r}_c = \frac{m_2 \vec{r}_1 + m_1 \vec{r}_2}{m_1 + m_2};$$

$$4) \vec{r}_c = \frac{m_1 \vec{r}_1 + m_2 \vec{r}_2}{m_1 - m_2}.$$

3. Центр мас системи матеріальних точок визначають так:

$$1) \vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

$$2) \vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

$$3) \vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i};$$

$$4) \vec{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \vec{r}_i}{\sum_{i=1}^n m_i}.$$

4. Визначте положення центра мас механічної системи, що складається з двох тіл масами 25 кг і 45 кг, розташованих на віддалі 1 м.

- 1) на віддалі 0,64 м від першого тіла;
- 2) на віддалі 0,5 м від першого тіла;
- 3) на віддалі 0,3 м від другого тіла;
- 4) на віддалі 0,2 м від першого тіла.

5. Визначте положення центра мас механічної системи, що складається з двох тіл масами 20 кг і 140 кг, розташованих на віддалі 3 м.

- 1) на віддалі 1,6 м від першого тіла;
- 2) на віддалі 2,75 м від першого тіла;
- 3) на віддалі 1,5 м від другого тіла;
- 4) на віддалі 2 м від першого тіла.

6. Визначте положення центра мас трьох тіл масами 10 кг, 20 кг і 30 кг, що розміщені у вершинах рівностороннього трикутника. Сторона трикутника становить 3 м.

1) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 2\vec{i} + 0,87\vec{j};$$

2) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 3\vec{i} + 0,2\vec{j};$$

3) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,6\vec{i} + 0,2\vec{j};$$

4) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,3\vec{i} + 0,2\vec{j}.$$

7. Визначте положення центра мас трьох тіл масами 20 кг, 10 кг і 5 кг, що розміщені у вершинах рівностороннього трикутника. Сторона трикутника становить 2 м.

1) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,57\vec{i} + 0,5\vec{j};$$

2) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,57\vec{i} + 0,02\vec{j};$$

3) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,57\vec{i} + 0,2\vec{j};$$

4) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 0,3\vec{i} + 0,02\vec{j}.$$

8. Визначте довжину вектора центра мас трьох тіл масами 20 кг, 10 кг і 5 кг, що розміщені у вершинах рівностороннього трикутника. Сторона трикутника становить 2 м.

- 1) 0,76 м;
- 2) 1 м;
- 3) 1, 5 м;
- 4) 0,5 м.

9. Механічна система складається з трьох тіл масами 1 кг, 2 кг і 3 кг, які розміщені у такому ж порядку вздовж дуги кола радіусом 1 м через однакові інтервали  $\pi/6$ . Вважаючи, що центр кола є початком координат, а вісь  $Ox$  проходить через перше тіло, визначте координати центра мас такої системи.

- 1) (0,7; 0,6);
- 2) (0,8; 0,6);
- 3) (1,7; 0,6)
- 4) (0,7; 0,3).

10. Визначте положення центра мас чотирьох тіл масами 20 кг, 10 кг, 5 кг і 3 кг, що розміщені у вершинах квадрата зі стороною 1 м.

1) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 0,2\vec{i} + 0,39\vec{j}$ ;

2) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 0,57\vec{i} + 0,4\vec{j}$ ;

3) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 0,6\vec{i} + 0,2\vec{j}$ ;

4) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 0,1\vec{i} + 0,02\vec{j}$ .

11. Визначте положення центра мас чотирьох тіл масами 5 кг, 10 кг, 20 кг і 30 кг, що розміщені у вершинах квадрата зі стороною 2 м.

1) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 1,54\vec{i} + 0,92\vec{j}$ ;

2) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 1,57\vec{i} + 0,4\vec{j}$ ;

3) положення центра мас визначається радіус-вектором:  $\vec{r}_c = 0,6\vec{i} + \vec{j}$ ;

4) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 2\vec{i} + 0,02\vec{j}.$$

12. Визначте положення центра мас чотирьох тіл з однаковими масами по 10 кг, що розміщені у вершинах квадрата зі стороною 4 м.

1) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 2\vec{i} + 2\vec{j};$$

2) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 4\vec{i} + 4\vec{j};$$

3) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = \vec{i} + \vec{j};$$

4) положення центра мас визначається радіус-вектором:

$$\vec{r}_c = 2\vec{i} + 2\vec{j}.$$

## Лабораторна робота № 7

### ВИЗНАЧЕННЯ МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ КУЛІ

#### *Мета роботи*

Визначити момент інерції кулі. Експериментально дослідити залежність моменту інерції кулі від її радіуса.

#### *Прилади і матеріали*

Установка для визначення моменту інерції кулі, технічна вага з набором важків, вимірювальна лінійна, штангенциркуль.

#### *Теоретичні відомості*

Для визначення моменту інерції кулі використовують закон збереження і перетворення механічної енергії. Якщо куля скочується з деякої висоти  $H$ , то її потенціальна енергія перетворюється в кінетичну енергію поступального і обертального рухів (рис.1).



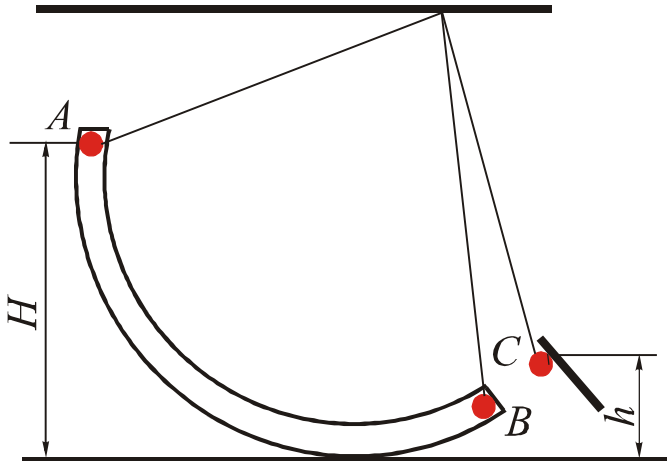


Рис. 1. До виведення робочої формули для визначення моменту інерції кулі

У такому випадку можна записати:

$$mgH = \frac{mv^2}{2} + \frac{J\omega^2}{2}, \quad (1)$$

де  $m$  – маса кулі;  $g$  – прискорення вільного падіння;  $v$  – лінійна швидкість кулі в точці B;  $\omega$  – кутова швидкість кулі;  $J$  – момент інерції кулі. З формули (1):

$$J = \frac{2mgH - mv^2}{\omega^2}. \quad (2)$$

Між лінійною і кутовою швидкостями існує проста залежність:

$$v = \omega R . \quad (3)$$

де  $R$  – радіус жолоба.

Якщо куля котиться від точки  $A$  до точки  $B$  (рис. 1) по вигнутому жолобу, а в точці  $B$  відривається від нього, то далі вона продовжує рухатися за рахунок кінетичної енергії і піднімається на висоту  $h$ . Тому можна записати:

$$\frac{mv^2}{2} = mgh \Rightarrow v^2 = 2gh . \quad (4)$$

Тоді з рівняння (3):

$$\omega^2 = \frac{v^2}{R^2} = \frac{2gh}{R^2} . \quad (5)$$

Підставивши (4) і (5) в (2), отримаємо робочу формулу:

$$J = \frac{mR^2(H - h)}{h} . \quad (6)$$

### ***Опис лабораторної установки***

Схема лабораторної установки зображена на рис. 2.

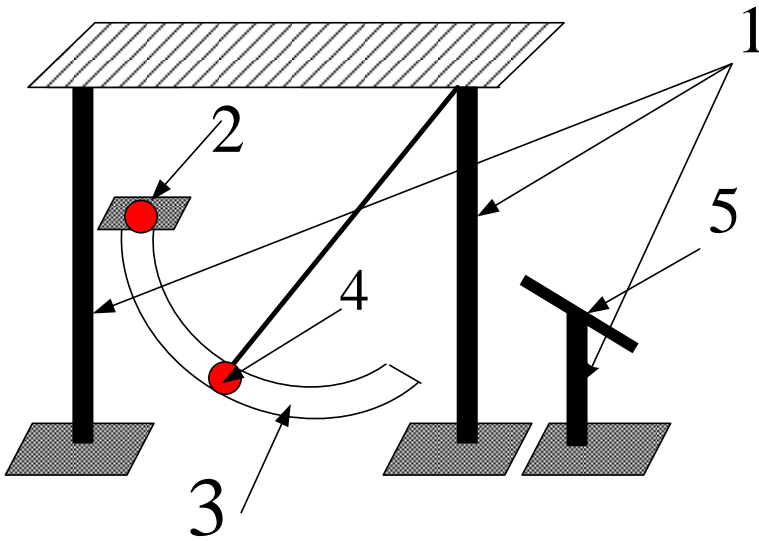


Рис. 2. Схема установки для визначення моменту інерції кулі

Установка для визначення моменту інерції кулі складається з трьох штативів (1), два з яких жорстко зв'язані між собою. Між цими штативами закріплена пластмасовий жолоб (3), зігнутий у вигляді дуги. На першому зліва штативі закріплена пластинка (2), яка фіксує положення кулі в крайньому верхньому положенні (т. А на рис. 1). На другому штативі закріплюють мотузку на якій висить куля (4), що обертається в жолобі. В лапках третього штатива (крайній справа) закріплюють планку (5), що фіксує відхилення кулі після скочування з жолоба.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Кулю підвести впритул з пластиною на крайньому лівому штативі.
2. Виміряти висоту, на якій розміщена куля.
3. Відпустити кулю. Якщо куля після відриву від жолоба не досягне планки на крайньому правому штативі, то її слід зсунути трохи вліво (переміщуючи штатив) і знову пустити кулю з т. *A*. Кулю скочувати до тих пір, поки не знайдете таке положення планки за якого куля буде ледве її торкатися. Це дасть найбільше значення відхилення від положення рівноваги за рахунок поступального руху кулі.
4. Виміряти значення висоти, на якій знаходиться планка.
5. Штангенциркулем виміряти діаметр кулі.
6. П.п. 1-5 повторити 5 разів змінюючи максимальну висоту на якій знаходиться куля (положення т. *A*).
7. Для кожного з п'яти випадків обчислити значення моменту інерції кулі, використовуючи рівняння (6).
8. Обчислити середнє арифметичне значення моменту інерції кулі за формулою (7):

$$J_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n J_i. \quad (7)$$

5. Обчислити абсолютну похибку кожного результату визначення моменту інерції системи за формулою (8):

$$\Delta J_1 = \left| J_{\text{сер}} - J_1 \right|;$$

.....;

$$\Delta J_n = \left| J_{\text{сер}} - J_n \right|.$$
(8)

10. Обчислити середнє квадратичне відхилення середнього квадратичного значення моменту інерції за формулою (9):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta J_i^2}{n(n-1)}}.$$
(9)

11. Обчислити абсолютну похибку визначення моменту інерції системи за формулою (7):

$$\Delta J = t_c \Delta S,$$
(7)

де  $t_c$  – коефіцієнт Стьюдента.

12. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітної таблиці.

**Таблиця результатів вимірювань та обчислень**

№	$H$ , м,	$h$ , м	$D$ , м	$N$	$J$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J_i$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta S$ , кг·м <sup>2</sup>	$\Delta J$ , кг·м <sup>2</sup>	$E$ , %
1									
2									
3									
4									

5									
Сер.	-	-	-	-		-			

13. Остаточний результат записати у вигляді:

$$J = J_{\text{сер}} + \Delta J.$$

14. Обчислити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta J}{J_{\text{сер}}} \cdot 100\% .$$

**Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи**

1. Дайте визначення механічної енергії.
2. Дайте визначення кінетичної енергії.
3. Як кінетична енергія тіла залежить від його швидкості?
4. Чи залежить кінетична енергія від положення тіла у просторі?
5. Дайте визначення потенціальної енергії.
6. Чи залежить потенціальна енергія тіла від його швидкості?
7. Чи залежить потенціальна енергія тіла від висоти підняття його над поверхнею землі?
8. Сформулюйте закон збереження механічної енергії.
9. Чи залежить механічна енергія від вибору системи

відліку?

10. Які одиниці вимірювання енергії в СІ?
11. Як називають енергію, зумовлену конфігурацією тіла?
12. Як визначають момент інерції тіла?
13. Як визначають кінетичну енергію обертального руху?
14. Яка залежність між лінійною і кутовою швидкостями?
15. В який момент часу кінетична енергія тіла, кинутого вертикально вгору, досягає максимального значення?
16. В який момент часу потенціальна енергія тіла, кинутого вертикально вгору, досягає максимального значення?

### ***Тестові завдання для захисту лабораторної роботи***

1. Потенціальну енергію тіла визначають за формулою:

1)  $E = mgh$ ;

2)  $E = \frac{mv^2}{2}$ ;

3)  $E = \frac{m\omega^2}{2}$ ;

4)  $E = \frac{J\omega^2}{2}$ .

2. Кінетичну енергію поступального руху тіла визначають за формулою:

1)  $E = mgh$ ;

2)  $E = \frac{mv^2}{2}$ ;

3)  $E = \frac{m\omega^2}{2}$ ;

4)  $E = \frac{J\omega^2}{2}$ ;

3. Кінетичну енергію обертального руху тіла визначають за формулою:

1)  $E = mgh$ ;

2)  $E = \frac{mv^2}{2}$ ;

3)  $E = \frac{m\omega^2}{2}$ ;

4)  $E = \frac{J\omega^2}{2}$ .

3. Закон збереження механічної системи виконується:

1) тільки за наявності консервативних сил;

2) за наявності консервативних і дисипативних сил;

3) тільки за наявності дисипативних сил;



4) у будь-якому випадку.

4. Зв'язок між лінійною і кутовою швидкостями такий:

1)  $v = R\omega$ ;

2)  $v = \varepsilon\omega$ ;

3)  $v = \omega/R$ ;;

4)  $v = R^2\omega$ .

5. Який із наведених виразів описує кінетичну енергію тіла, яке обертається навколо нерухомої осі?

1)  $mgh$ ;

2)  $\frac{mv^2}{2}$ ;

3)  $\frac{kx^2}{2}$ ;

4)  $\frac{I\omega^2}{2}$ .

6. Який з параметрів обертального руху відповідає швидкості у випадку поступального руху?

1) кутове прискорення;

2) момент інерції;

3) момент сили;

4) кутова швидкість.

7. Який з параметрів обертального руху відповідає силі у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;
- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;
- 4) момент імпульсу.

8. Який з параметрів обертального руху відповідає масі у випадку поступального руху?

- 1) кутове прискорення;
- 2) момент інерції;
- 3) момент сили;
- 4) момент імпульсу.

9. Знайти момент інерції кулі масою 2 кг і радіусом 5 см відносно осі, що збігається з її діаметром.

- 1)  $2 \cdot 10^{-3} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- 2)  $2 \cdot 10^{-2} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- 3)  $2 \cdot 10^{-4} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ ;
- 4)  $2 \cdot 10^{-5} \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ .

10. Визначте момент інерції кулі, яка обертається відносно нерухомої осі під дією моменту сили 3 Н·м з кутовою швидкістю  $\omega = (t + 2) \text{ c}^{-1}$ .

- 1) 3 кг·м<sup>2</sup>;
- 2) 2 кг·м<sup>2</sup>;
- 3) 4 кг·м<sup>2</sup>;
- 4) 8 кг·м<sup>2</sup>.

11. Знайдіть момент інерції кулі масою 5 кг, що обертається навколо осі, що знаходиться на віддалі 1 м від неї. Радіус кулі становить 2 м.

- 1) 7 кг·м<sup>2</sup>;
- 2) 2 кг·м<sup>2</sup>;
- 3) 6 кг·м<sup>2</sup>;
- 4) 8 кг·м<sup>2</sup>.

## **Лабораторна робота № 8**

# **ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНОГО УДАРУ КУЛІ ДО ВЕРТИКАЛЬНОЇ ПЛИТИ**

### *Мета роботи*

Дослідити пружний удар кулі до вертикальної плити.

### *Прилади і матеріали*

Вертикальна плита, кулі, виготовлені з різного матеріалу (сталь і пластмаса), нитка, кутомір.

### *Опис лабораторної установки*

Схема лабораторної установки зображена на рис. 1. Масивна металева плита 2 міцно закріплена на горизонтальній підставці 1. Сталева 3 і пластмасова 4 кульки підвішені так, що вони ледве дотискаються до плити. Кути відхилення кульок від положення рівноваги вимірюють за допомогою шкали кутоміра 5.

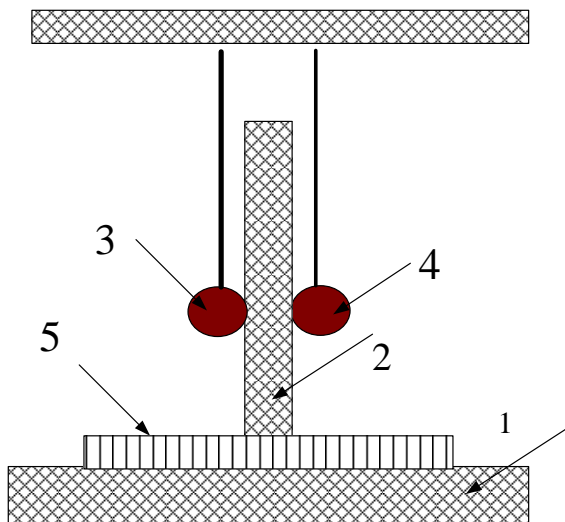


Рис. 1. Схема установки для дослідження пружного удару

### *Короткі теоретичні відомості*

*Ударом* називають процес короткочасної взаємодії тіл унаслідок їх зіткнення. При пружному ударі тіла спочатку деформуються, а потім їхні форми відновлюються. Мірою пружності удару є коефіцієнт відновлення, який визначають так:

$$\varepsilon = \frac{v_n}{v_{\partial}}, \quad (1)$$

де  $v_n$ ,  $v_{\partial}$  – нормальні складові швидкості кульки після і до удару. Для всіх реальних тіл швидкість після удару менша, ніж

до удару, тому коефіцієнт пружності менший за одиницю. Це означає, що форма кульки повністю не відновлюється.

Застосовуючи закони збереження енергії і імпульсу, рівняння (1) можна переписати відповідно так:

$$\varepsilon = \frac{\sin \frac{\alpha'}{2}}{\sin \frac{\alpha}{2}}, \quad (2)$$

де  $\alpha$  та  $\alpha'$  – початковий та кінцевий граничні кути відхилення кульки від положення рівноваги.

### ***Порядок виконання роботи***

1. Відхилити сталеву кульку на деякий початковий кут  $\alpha$  в межах шкали кутоміру та відпустити її.
2. Після удару кульки до плити, визначити за шкалою кутоміра максимальний кут її відбивання  $\alpha'$ .
3. За формулою (2) обчислити коефіцієнт відновлення.
4. Повторити 5 разів пп. 2-3.
5. Обчислити середнє арифметичне значення коефіцієнта відновлення за формулою (3):

$$\varepsilon_{\text{ср}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \varepsilon_i. \quad (3)$$

6. Обчислити середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного за формулою (4):

$$\Delta S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n \Delta \varepsilon_i^2}{n(n-1)}}, \quad (4)$$

де  $n$  – кількість вимірювань.

7. Обчислити абсолютну похибку визначення коефіцієнту втрат (5):

$$\Delta \varepsilon = t_c \Delta S, \quad (5)$$

де  $t_c$  – коефіцієнт Стьюдента.

8. Остаточний результат записати у вигляді:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{сеп}} + \Delta \varepsilon. \quad (6)$$

9. Обчислити відносну похибку обчислень:

$$E = \frac{\Delta \varepsilon}{\varepsilon_{\text{сеп}}} \cdot 100\%. \quad (7)$$

10. Пп. 1-9 повторити для пластмасової кульки.

11. Результати вимірювань та розрахунків занести до звітних таблиць.

### ***Таблиці результатів вимірювань та обчислень***

#### ***Сталева кулька***

№	$\alpha$ , град	$\alpha'$ , град	$\varepsilon$	$\Delta \varepsilon_i$	$\Delta S$	$\Delta \varepsilon$	$E$ , %

1							
2							
3							
4							
5							
Сер.	-	-		-			

***Пластмасова кулька***

№	$\alpha$ , град	$\alpha'$ , град	$\varepsilon$	$\Delta\varepsilon_i$	$\Delta S$	$\Delta\varepsilon$	$E$ , %
1							
2							
3							
4							
5							
Сер.	-	-		-			

***Контрольні питання для допуску до виконання  
лабораторної роботи***

1. Що називають ударом двох тіл?
2. Що називають абсолютно пружним ударом?



3. Які закони виконуються за абсолютно пружного удару?
4. Чи виконується закон збереження енергії за абсолютно пружного удару?
5. Що називають непружним ударом?
6. Які закони виконуються за абсолютно непружного удару?
7. Сформулюйте закон збереження імпульсу.
8. Як визначають коефіцієнт відновлення?
8. Запишіть формули для визначення швидкості двох куль після абсолютно непружного удару.

### ***Тестові завдання для захисту лабораторної роботи***

1. Дайте правильне визначення удару:
  - 1) удар – це зіткнення двох тіл, за якого впродовж малого інтервалу часу (тривалість удару) імпульси точок дістають скінченні прирости;
  - 2) удар – це зіткнення двох тіл, в результаті якого тіла змінюють свої швидкості;
  - 3) удар – це зіткнення двох тіл, після якого тіла рухаються як одне ціле;
  - 4) удар – це зіткнення двох тіл, після якого тіла мають однакові швидкості.
2. Пружний і непружний удар розрізняють в залежності від:

- 1) типу деформації, яка відбувається під час удару;
- 2) типу взаємодії, яка відбувається під час удару;
- 3) типу деформації і взаємодії, що відбуваються під час удару;
- 4) типу самого удару.

3. Абсолютно пружний удар – це удар, за якого:

- 1) взаємодіючі тіла не деформуються, а сумарна кінетична енергія не змінюється;
- 2) взаємодіючі тіла деформуються, а сумарна кінетична енергія не змінюється;
- 3) взаємодіючі тіла не деформуються, а сумарна кінетична енергія змінюється;
- 4) взаємодіючі тіла не деформуються і виконується закон збереження імпульсу.

4. Абсолютно непружний удар – це удар, за якого:

- 1) взаємодіючі тіла не деформуються, а сумарна кінетична енергія не змінюється;
- 2) взаємодіючі тіла деформуються, а сумарна кінетична енергія не змінюється;
- 3) взаємодіючі тіла не деформуються, а сумарна кінетична енергія змінюється;
- 4) взаємодіючі тіла деформуються і виконується закон

збереження імпульсу.

5. Швидкості тіл після абсолютно пружного удару визначають так:

$$1) u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2};$$

$$2) 1) u_1 = \frac{(m_1 + m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2};$$

$$3) 1) u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 + 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad u_2 = \frac{(m_2 + m_1)v_2 + 2m_1v_1}{m_1 + m_2};$$

$$4) u_1 = \frac{(m_1 - m_2)v_1 - 2m_2v_2}{m_1 + m_2}, \quad u_2 = \frac{(m_2 - m_1)v_2 - 2m_1v_1}{m_1 + m_2}.$$

6. Швидкості тіл після абсолютно непружного удару визначають так:

$$1) u = \frac{m_1u_1 + m_2v_2}{m_1 + m_2};$$

$$2) u = \frac{m_1u_1 - m_2v_2}{m_1 + m_2};$$

$$3) u = \frac{m_1u_1 + m_2v_2}{m_1 - m_2};$$

$$4) u = \frac{m_1u_1 - m_2v_2}{m_1 - m_2}.$$

7. Тіло масою 5 кг, що рухається горизонтально зі швидкістю 2 м/с, потрапляє в кулю масою 3 кг і застрягає в ній. Визначте швидкість після удару.

- 1) 1,25 м/с;
- 2) 2 м/с;
- 3) 25 м/с;
- 4) 2,5 м/с.

8. Два тіла масами 10 і 20 кг, відповідно, рухаються у двох взаємно-перпендикулярних напрямках зі швидкостями 100 м/с і 40 м/с. Визначіть швидкість тіл унаслідок абсолютно непружного удару.

- 1) 41 м/с;
- 2) 20 м/с;
- 3) 25 м/с;
- 4) 60 м/с.

9. Два тіла масами 10 і 20 кг, відповідно, рухаються у двох взаємно-перпендикулярних напрямках зі швидкостями 100 м/с і 40 м/с. Визначіть кут між напрямом швидкості тіл унаслідок абсолютно непружного удару і напрямом руху першого тіла.

- 1)  $39^{\circ}$ ;
- 2)  $30^{\circ}$ ;

3)  $60^\circ$ ;

4)  $45^\circ$ .

10. Два тіла масами 10 і 20 кг, відповідно, рухаються у однакових напрямках із швидкостями 100 і 40 м/с. Знайдіть швидкості цих тіл внаслідок абсолютно пружного удару.

1) 20 м/с, 80 м/с;

2) 30 м/с, 90 м/с;

3) 15 м/с, 80 м/с;

4) 20 м/с, 60 м/с.