

Лабораторна робота № 1.3

Визначення коефіцієнта тертя кочення за допомогою похилого маятника

Мета роботи : вивчити один з методів виміру коефіцієнта тертя кочення і дослідити залежність коефіцієнта тертя кочення від кута нахилу площини кочення.

Ідея досліду

Коефіцієнт тертя кочення визначається за згасанням коливань маятника – сталеві кулі на нитці (див. фото). Здійснюючи коливання, куля котиться по поверхні пластини, при цьому виникає сила тертя кочення.



Фото 1.

Теоретичне введення.

Якщо тягнути циліндр, що лежить на горизонтальній площині, за допомогою динамометра (рис. 1), то за показами динамометра ми побачимо, що потрібна дуже невелика сила тяги, щоб зрушити з місця циліндр і котити його рівномірно далі. Ця сила значно менше, ніж при ковзанні того ж циліндра, якби він не міг обертатися і ковзав би по столу.

Сила, що діє з боку столу на циліндр, що котиться по ньому, називається **силою тертя кочення**. За такої же сили тиску на стіл сила тертя кочення набагато менше сили тертя ковзання. Наприклад, при коченні сталевих коліс по сталевих рейках тертя кочення приблизно в 100 разів менше, ніж тертя ковзання. Тому в машинах прагнуть замінити тертя ковзання тертям кочення, застосовуючи так звані кулькові або роликові підшипники. На рис. 2 зображений один з таких підшипників.

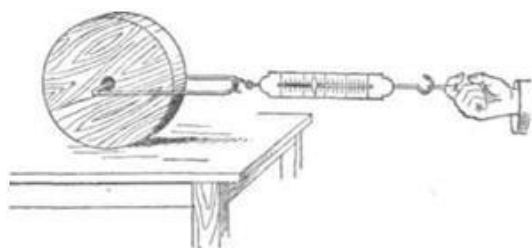


Рис. 1



Рис.2

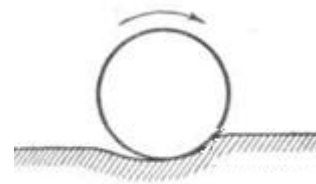


Рис.3.

Походження тертя кочення можна наочно уявити собі так. Коли куля або циліндр котиться по поверхні іншого тіла, вона трохи вдавлюється в поверхню цього тіла, а сама трохи стискається. Перед тілом, яке котиться, через стиснення матеріалу основи під навантаженням формується «валик».

Таким чином, тіло, що котиться, увесь час як би вкочується на гірку (рис. 3). В той же час відбувається відрив ділянок однієї поверхні від іншої, а сили зчеплення, що діють між цими поверхнями, перешкоджають цьому. Обидва ці явища і викликають сили тертя кочення. Чим твердіше поверхні, тим менше втискування і тим менше тертя кочення.

Точної теорії для обчислення сили тертя кочення до сих пір не існує. Закони, що зв'язують сили і непружні деформації, які змінюються з часом, вивчені недостатньо.

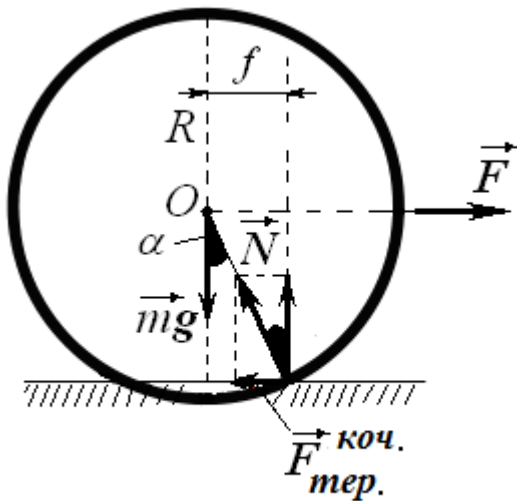


Рис. 4

Наведемо один з наближених виводів сили тертя кочення.

Нехай до осі кулі (циліндра), що рівномірно котиться по горизонтальній площині, прикладена постійна горизонтальна сила F у напрямі руху.

Позначимо через N силу дії площини на кулю (циліндр), що котиться. Оскільки ця сила гальмує рух циліндра, то точка прикладення її має знаходитися *попереду на деякій відстані* f від вертикалі, що проходить через центр.

Оскільки обертання циліндра є рівномірним і кутове прискорення його дорівнює нулю, то сума моментів усіх сил відносно точки O має дорівнювати нулю. Сила

тяжіння mg і зовнішня сила F за умовою проходять через вісь циліндра. Отже, і сила реакції опори N теж має проходити через точку O .

Розкладемо силу N на складові.

$N \sin \alpha$ - горизонтальна складова сили N - спрямована проти швидкості і є **силою тертя кочення** $F_{\text{тер.}}^{\text{коч.}}$.

$N \cos \alpha$ - вертикальна складова сили N - зрівноважує силу тяжіння mg циліндра і дорівнює їй за модулем

$$\begin{aligned} F &= F_{\text{тер.}}^{\text{коч.}} = N \sin \alpha; \\ mg &= N \cos \alpha. \end{aligned} \quad (1)$$

Відстань f - винесення точки прикладання сили N - практично є дуже малою в порівнянні з радіусом циліндра R . Іншими словами, кут α дуже малий. Тоді

$$\cos \alpha \approx 1, \sin \alpha \approx \text{tg } \alpha = f/R.$$

Тому (1) можна записати так

$$F_{\text{тер.}}^{\text{коч.}} = f \frac{mg}{R}. \quad (2)$$

Відстань f називається **коефіцієнтом тертя кочення**.

Сила тертя кочення залежить від сили, з якою колесо давить на опорну поверхню, і яка дорівнює силі тяжіння mg , і від радіуса колеса R . **Коефіцієнт**

тертя кочення f при цьому виявляється розмірною величиною і вимірюється в одиницях довжини.

Цим коефіцієнт тертя кочення відрізняється від коефіцієнта тертя ковзання, який є безрозмірною величиною.

Коефіцієнт тертя кочення f , як і тертя ковзання, залежить від матеріалу катка і тіла, шорсткості їх поверхонь, властивостей плівки між тілами та інш.

Досліди показують, що для сталі і інших металів величина f практично не залежить від швидкості кочення і радіуса циліндра (кулі), а залежить тільки від матеріалу циліндра (кулі) і площини.

Як приклад наведемо таблицю коефіцієнтів тертя кочення в мм для різних пар матеріалів.

Коефіцієнти тертя кочення f , мм..	
Сталеве колесо по сталі	0,01-0,5
Дерев'яне колесо по дереву	0,5-0,8
Сталеве колесо по дереву	1,5 – 2,5
Сталеве колесо по полімеру	2
Пневматична шина по асфальту	0,06-0,2
Дерев'яне колесо по сталі	0,3-0,4
Кульковий підшипник(підшипник кочення)	0,01-0,04
Роликовий підшипник (теж кочення)	0,025-0,1
Кулька твердої сталі по сталі	0,005-0,01

Опис установки і метод виміру



Фото 2.

Установка являє собою вертикальну стійку, у верхній точці якої закріплена нитка з підвішеною на ній металевою кулькою (фото 2). У процесі коливань кулька котиться поверхнею металевої пластинки, закріпленою на похилій площині..

Площину можна нахилити на різні кути β за допомогою механізму повороту. Відлік кута нахилу площини β здійснюється за спеціальною шкалою, укріпленою ззаду приладу.

На похилій площині укріплена шкала відліку кутів відхилення маятника від положення рівноваги до кута $\alpha = 11^\circ$.

У гнізді шкали відліку кута відхилення маятника поміщений досліджуваний зразок, коефіцієнт тертя якого при коченні по ньому сталевій кулі потрібно визначити. Зразок є прямокутною пластинкою. Вона має дві робочі поверхні з різною чистотою обробки.

Якщо відхилити кульку від положення рівноваги на кут α_0 , а потім відпустити, маятник почне здійснювати згасаючі коливання. Через деякий час, коли маятник здійснить n повних коливань, кут його відхилення від положення рівноваги прийме значення α_n (рис. 5).

Як показує розрахунок, коефіцієнт тертя кочення кулі радіуса R визначається за формулою

$$f = \frac{R(\alpha_n - \alpha_0)}{4n} \operatorname{tg} \beta. \quad (3)$$

Порядок виконання роботи

1. Помістити в гніздо шкали досліджуваний зразок - прямокутну металеву пластинку.

2. За допомогою викладача встановити кут нахилу поверхні зразка $\beta = 15^\circ$.

3. Відхилити маятник від положення рівноваги на кут $\alpha_0 = 10^\circ$. Підрахувати число повних коливань n до досягнення кута α_n , який вказує викладач. Виміри виконати три рази.

4. Потім відхилити маятник на кути $\alpha_0 = 8^\circ$ і $\alpha_0 = 6^\circ$ і повторити виміри.

5. За допомогою викладача змінити кут нахилу площини кочення на $\beta = 30^\circ$ і $\beta = 45^\circ$ і повторити усі виміри п.п. 1 - 4.

Дані дослідів занести в таблицю. Для кожного кута нахилу площини β підрахувати значення коефіцієнтів f_i за формулою (3). Радіус кулі R виміряти штангенциркулем.

6. Кінцевий результат записати у вигляді:

**Коефіцієнт тертя кочення
сталевій кулі радіусом $R =$ мм по сталі (в мм):**

$$\begin{aligned} f &= \langle f \rangle \pm \Delta f \quad (\text{для кута } \beta = 15^\circ); \\ f &= \langle f \rangle \pm \Delta f \quad (\text{для кута } \beta = 30^\circ); \\ f &= \langle f \rangle \pm \Delta f \quad (\text{для кута } \beta = 45^\circ). \end{aligned}$$

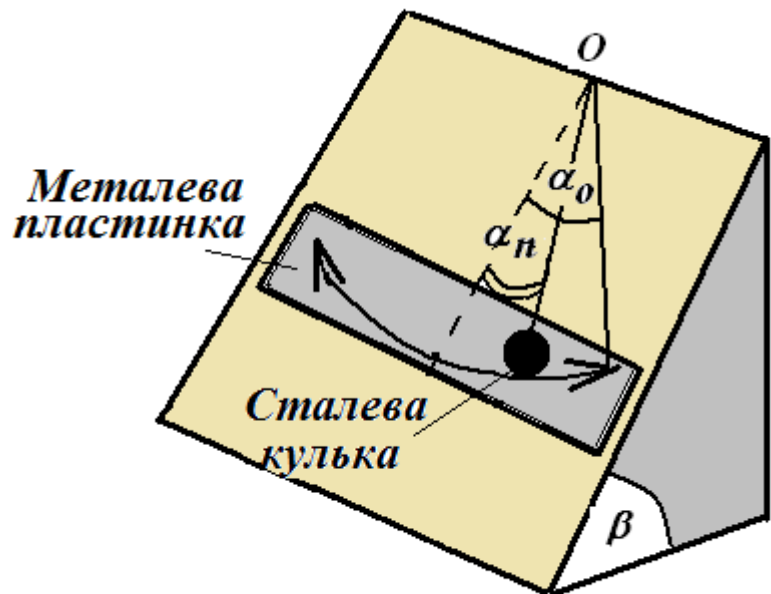


Рис. 5

Таблиця

β , градус	α_0 , градус	α_0 , радіан	α_n , градус	α_n , радіан	n	f_i , мм	$\langle f \rangle$, мм	$f_i - \langle f \rangle$, мм	Δf , мм
15	6								
	6								
	6								
	8								
	8								
	8								
	10								
	10								
	10								

Така сама таблиця укладається для кутів $\beta = 30^\circ$ і $\beta = 45^\circ$.

Контрольні питання

1. Поясніть втрати механічної енергії під час кочення кулі по поверхні деякого тіла.
2. Проаналізуйте робочу формулу для коефіцієнта тертя кочення. Від яких параметрів залежить цей коефіцієнт?
3. Поясніть різницю між коефіцієнтами тертя ковзання та кочення.
4. Які параметри коливань вимірюються?
5. Чи зміниться значення коефіцієнта тертя кочення, якщо збільшити масу кульки?
6. Чи зміниться значення коефіцієнта тертя кочення, якщо пластина, по якій котиться кулька, має більш грубу поверхню?
7. Чи зміниться значення коефіцієнта тертя кочення, якщо кульку замінити на іншу того ж розміру, але виготовлену з іншого матеріалу?

Література

1. І. М. Кучерук та ін. Загальний курс фізики. Т.1. К. 1999.
2. І.П.Гаркуша, В.П.Курінний. Фізика. Навч. посібник у 7 частинах. Ч.1 Механіка. Д. НГУ. 2011.