

## Визначення коефіцієнта тертя ковзання

**Мета роботи:** визначення коефіцієнта тертя ковзання.

**Прилади й принадлежности:** лабораторна установка, латунний брусок, що має дві грані, вкриті різними матеріалами, аркуш паперу, олівець, вимірювальна лінійка.

### Теоретичний вступ. Сили тертя

Сила тертя виникає при дотиканні двох тіл, вона перешкоджає їх відносному руху. Причиною виникнення тертя є електромагнітна взаємодія молекул у поверхневих областях.

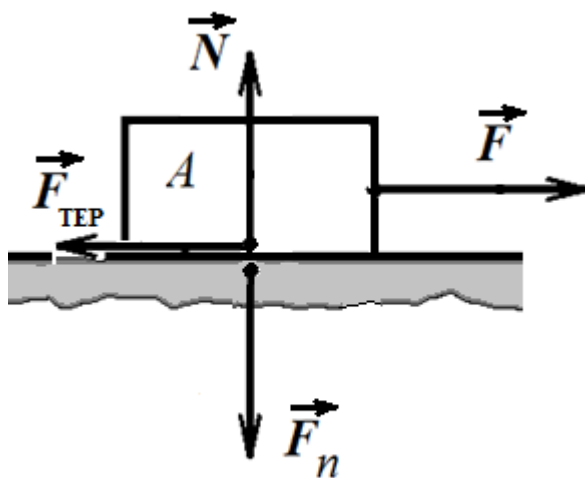


Рис. 1

Нехай тіло  $A$  (наприклад, брусок) лежить на плоскій поверхні іншого тіла - нерухомій опорі.

Брусок притискується до опори з силою  $F_n$ , напрямленою за нормаллю до поверхні тіл, що стикаються, і прикладеною до опори. Цю силу називають **силою нормального тиску**. Вона може бути зумовленою притяганням бруска до Землі або іншими причинами.

Згідно з третім законом Ньютона на брусок діє сила, що є рівною за модулем  $F_n$  і напрямленою вгору. Вона називається **силою реакції опори** і позначається через  $N$  (див. рис. 1).

Подіємо на брусок  $A$  зовнішньою горизонтальною силою  $F$ , безперервно збільшуючи її. Спочатку брусок буде залишатися нерухомим. Це означає, що зовнішня сила  $F$  урівноважується деякою силою  $F_{\text{тер}}$ , спрямованою за дотичною до поверхонь, що труться, протилежною силі  $F$  і також прикладеною до тіла  $A$ .

Тертя, яке може існувати між тілами, які не рухаються один відносно одного, називається **тертям спокою**.

Поки зовнішня сила менше деякого максимального значення  $F_{\text{max}}$ , відносно ковзання тіл не виникає, тому що сила тертя спокою «автоматично» приймає значення, яке компенсує дію зовнішньої сили.

Коли модуль зовнішньої сили перевищить значення  $F_{\text{max}}$ ,  $F > F_{\text{max}}$ , брусок почне ковзати вздовж опори. При цьому сила тертя стрибком зменшується до величини сили, що називається силою тертя ковзання.

Сила тертя між тілами, що рухаються одне відносно одного, називається силою **тертя ковзання**. Модуль сили тертя ковзання залежить від швидкості відносного руху і приблизно дорівнює  $F_{\text{max}}$ .

Основні емпіричні закони сухого тертя отримали французькі фізики Г. Амонтон і Ш. Кулон. Було встановлено, що максимальна сила тертя спокою практично не залежить від площі дотику тіл, які труться, і є **пропорційною модулю сили нормального тиску**  $F_n$ , яка притискає поверхні одну до одної

$$F_{max} = \mu_0 F_n. \quad (1)$$

Тут  $\mu_0$  - коефіцієнт тертя спокою, що залежить від властивостей дотичних поверхонь.

Аналогічна залежність має місце і для **сили тертя ковзання**

$$F_{тер} = \mu F_n, \quad (2)$$

тут  $\mu$  - коефіцієнт тертя ковзання.

Коефіцієнти пропорційності в формулах (1) і (2) - коефіцієнти тертя спокою  $\mu_0$  і ковзання  $\mu$  - є безрозмірними величинами. Вони практично ніколи не збігаються один з одним (таблиця 1).

Таблиця 1.

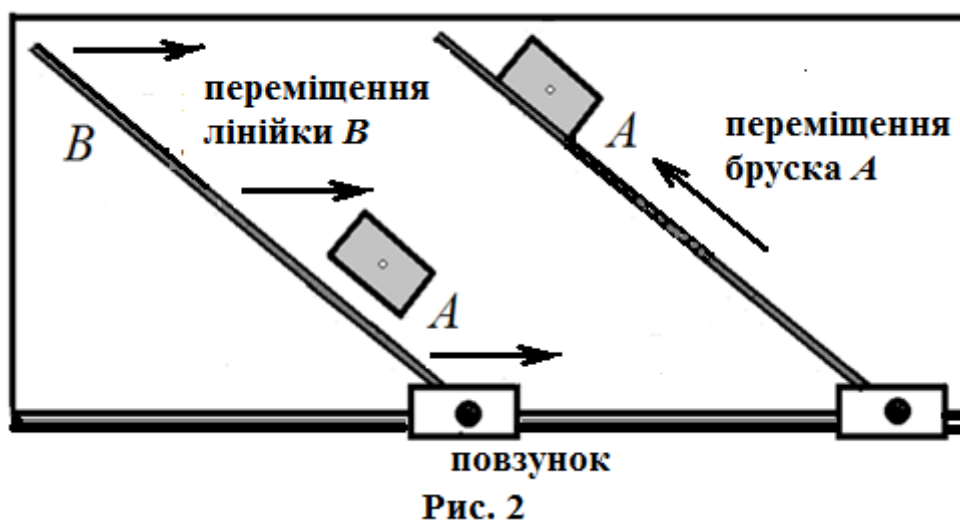
1-й матеріал	сталь	сталь	сталь	метал	гума	гума	дерево	лід	гума
2-й матеріал	лід	сталь	пластмаса	дерево	сухий асфальт	вологий асфальт	дерево	лід	лід
$\mu_0$ спокою		0,5-0,8			0,95 - 1			0,05-0,1	0,3
$\mu$ ковзання	0,015	0,15-0,18	0,3	0,5	0,5 - 0,8	0,25 - 0,75	0,65	0,028	0,15 - 0,25

За третім законом Ньютона модуль сили нормального тиску (рис. 1) дорівнює модулю сили нормальної реакції опори  $N$ . Тому частіше записують

$$F_{тер} = \mu N. \quad (3)$$

### Опис установки і теорія методу

Основою установки служить горизонтальна дошка, по краю якої, як по спрямовуючій, може переміщатися **повзунок** із закріпленою на ньому під певним кутом лінійкою. Лінійка  $B$ , яка поставлена на ребро, може переміщатися поступально по горизонтальній поверхні дошки (рис. 2, вид зверху).



На дошку кладеться невеликий латунний брусок  $A$ , який має форму прямокутного паралелепіпеда. Брусок лежить основою на горизонтальній поверхні дошки, а бічною гранню впирається в лінійку так, щоб стикалися поверхні лінійки і бруска.

При переміщенні повзунка вправо лінійка тисне на брусок, прагнучи відсунути його. При цьому брусок починає ковзати по лінійці вгору (рис. 2).

Якби брусок ковзав по лінійці без тертя, він відсовувався б по нормалі до лінійки під дією її тиску. Однак між лінійкою і бічною стороною бруска виникає сила тертя ковзання.

В результаті цього траєкторія бруска становить деякий кут  $\alpha$  з нормаллю до лінійки (рис.3, 4).

На рис. 3 зображені сили, що діють на брусок, притиснутий до лінійки. Брусок третрється об лінійку і об горизонтальну поверхню дошки, на якій він лежить. Тому виникають дві сили тертя:

$F_{\text{тер}}^{\text{лін}}$  - сила тертя ковзання між бруском  $A$  і лінійкою  $B$ . Ця сила спрямована протилежно швидкості бруска відносно лінійки (тобто спрямована вздовж лінійки «вниз»).

$F_{\text{тер}}^{\text{дош}}$  - сила тертя ковзання між бруском і горизонтальною поверхнею дошки, по якій рухається брусок разом з лінійкою. Ця сила спрямована в бік, протилежний швидкості бруска відносно дошки, під кутом  $(90 - \alpha)$  до лінійки (тобто спрямована «назад»).

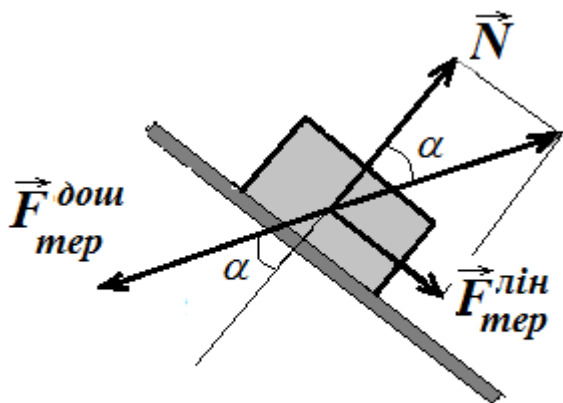


Рис. 3.

Позначимо через  $N$  силу нормального тиску лінійки на брусок.

Якщо брусок рухається рівномірно, то сума всіх сил, що діють на брусок, дорівнює нулю.

Оскільки

$$F_{\text{тер}}^{\text{лін}} = \mu N$$

то коефіцієнт тертя ковзання бруска об лінійку

$$\mu = \frac{F_{\text{тер}}^{\text{лін}}}{N}$$

З рис. 3 можна бачити, що

$$\frac{F_{\text{тер}}^{\text{лін}}}{N} = \text{tg} \alpha$$

Визначимо  $\text{tg} \alpha$ , для чого перемістимо лінійку разом з бруском зліва направо на відстань  $CD$  (рис. 4).

При цьому центр мас бруска переміститься з точки  $M$  в точку  $M_1$ . Якщо  $MM_2$  означає напрям нормалі до лінійки, то

$$\text{tg} \alpha = \frac{M_1 M_2}{MM_2}$$

Остаточно маємо робочу формулу для визначення коефіцієнта тертя ковзання

$$\mu = \operatorname{tg} \alpha = \frac{M_1 M_2}{MM_2}. \quad (4)$$

У центрі бруска є отвір. Вставивши олівець в цей отвір, можна відмітити положення бруска на початку руху (точка  $M$ ) і в кінці руху (точка  $M_1$ ) (рис. 4).

Одна бічна грань бруска з латунною, а до іншої приклеєний шар гуми.

Лінійка виготовлена з дюралю. Таким чином, коли лінійка штовхає брусок, і він починає ковзати вздовж лінійки, виникає сила тертя або між **дюралем і латунню**, або між **дюралем і гумою** - в залежності від того, яка грань бруска ковзає по лінійці.

Побудувавши на досліді кут  $\alpha$ , який траєкторія бруска становить з нормаллю до лінійки, знайдемо коефіцієнт тертя ковзання  $\mu$  даної сторони бруска по лінійці (тобто по дюралю).

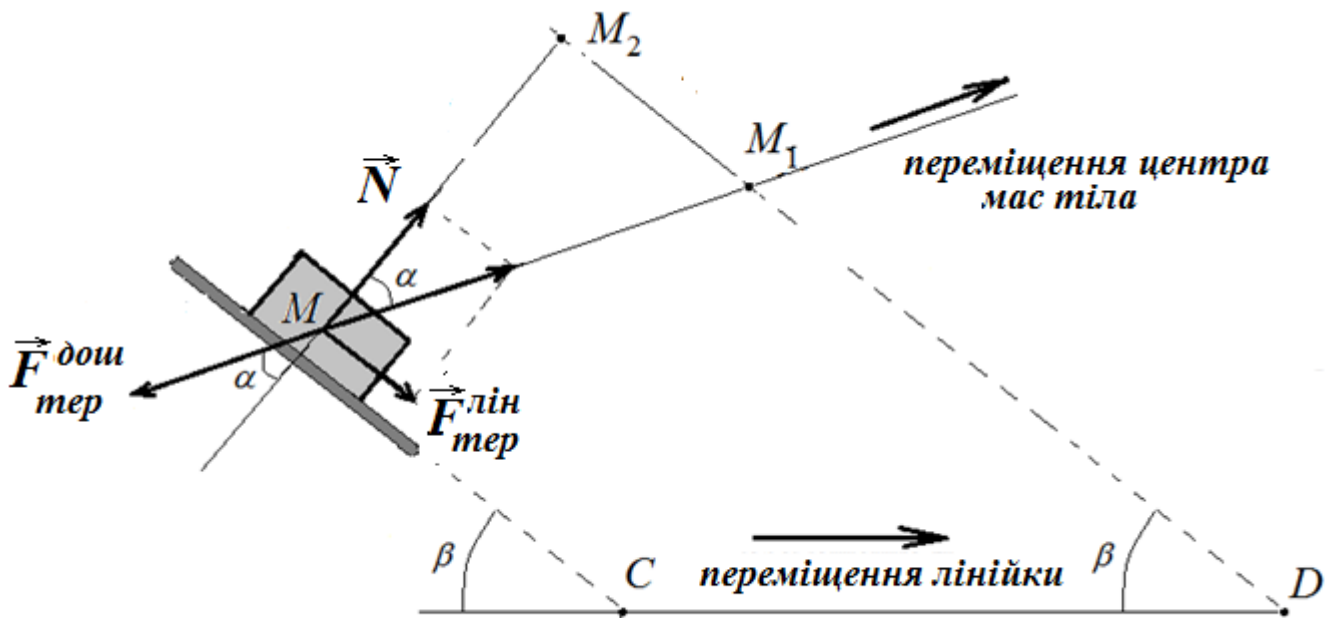


Рис. 4.

### Порядок виконання роботи

1. На площину дошки лабораторної установки покласти і закріпити аркуш паперу, притиснути його лінійкою до дошки. Переконавшись в тому, що повзунок може вільно переміщатися вліво і вправо вздовж спрямовуючої.

2. Встановити лінійку так, щоб вона становила приблизно кут  $\beta = 45^\circ$  зі спрямовуючою.

3. На папір впритул до поверхні лінійки покласти брусок (наприклад, дотичними поверхнями є дюраль і латунь) і притримуючи лівою рукою брусок і лінійку, відмітити олівцем на аркуші через отвір початкове положення центра бруска (положення  $M$ ).

4. Притискуючи повзунок до направляючої, плавно і рівномірно перемістити повзунок вправо до упору.

5. Обережно, не зрушуючи брусок, відзначити нове положення тіла  $M_1$ .

6. Прибрати брусок і через отриману точку  $M_1$  провести пряму, паралельну лінійці.

7. Вийняти аркуш паперу. З початкової точки  $M$  опустити перпендикуляр  $MM_2$  на отриману пряму. З'єднати точки  $M$  і  $M_1$  прямою лінією  $MM_1$ .

Виміряти відстані  $M_2M_1$  і  $MM_2$ , за допомогою вимірювальної лінійки. Результати записати в таблицю 2. Визначити коефіцієнт тертя ковзання для даної пари матеріалів за формулою (4).

8. Змінивши початкове положення бруска відносно дошки, виконати дослід не менше п'яти разів. Знайти середнє значення коефіцієнта тертя ковзання для даної пари матеріалів дюраль-латунь.

9. Переконайтеся у відсутності впливу сили тертя бруска об дошку на величину коефіцієнта сили тертя поверхонь (дюраль-латунь) бруска і лінійки. Для цього, для даної пари матеріалів провести вимірювання коефіцієнта тертя, поклавши на брусок додатковий вантаж (200 г).

Результати вимірювань записати в таблицю 2.

Таблиця 2.

Пара матеріалів	№ досліду	Маса додаткового вантажу, кг	$\beta$	$M_2M_1$	$MM_2$	$\mu = \frac{M_1M_2}{MM_2}$	$\langle \mu \rangle$
дюраль-латунь	1	-	45°				
	2						
	3						
	4						
	5						
	1	0,2					
	2						
	3						
	4						
	5						

Знайти середнє значення коефіцієнта сили тертя ковзання пари матеріалів дюраль-латунь. Порівняти коефіцієнти тертя ковзання, отримані в пунктах 8 і 9. Зробити висновок.

10. Переконайтеся в тому, що кут  $\beta$  нахилу лінійки до ребра дошки не впливає на коефіцієнт тертя ковзання для пари матеріалів дюраль-латунь. Для цього, змінити кут нахилу лінійки до ребра дошки. Вибрати  $\beta = 50^\circ$ . Виконати послідовно вправи 1 - 9. Знайти середні коефіцієнти сил тертя для випадків:

$\beta = 50^\circ$ , брусок без вантажу;

$\beta = 50^\circ$ , брусок з вантажем.

11. Порівняти отримані результати з результатами для цієї ж пари матеріалів (дюраль-латунь), отриманими для  $\beta = 45^\circ$ .

12. Перевернути брусок іншою стороною так, щоб дотичними поверхнями стали гумка і дюраль. Для цієї пари матеріалів провести дослідження, аналогічні проведеним для пари матеріалів дюраль-латунь. Дані занести в таблицю 3, аналогічну таблиці 2.

### *Контрольні питання*

1. Які існують види тертя? Чим супроводжується тертя?
2. Яка фундаментальне взаємодія визначає виникнення сил тертя?
3. Куди спрямована сила тертя спокою і чому вона дорівнює?
4. У чому полягає закон Амонтона-Кулона? Що таке коефіцієнт тертя?
5. Як визначається коефіцієнт тертя в даній роботі? Між якими поверхнями визначається коефіцієнт тертя ковзання?
6. Чи впливає тертя бруска об дошку на результат досліду?
7. Яка роль сил тертя в природі?

### *Література*

1. Кучерук І.М. та ін. Загальний курс фізики. Навч. посібник Т.1. Механіка. Молекулярна фізика і термодинаміка. – К.:Техніка.,1999 – 536 с.
2. В. М. Барановський, П. В. Бережний, І. Т. Горбачук та ін. Загальна фізика: Лабораторний практикум.: Навч. посібник. За заг. ред. І. Т. Горбачука. – К. Вища школа., 1992 – 509с.
3. І.П.Гаркуша, В.П.Курінний. Фізика. Навч. посібник у 7 частинах.Ч.1 Механіка. Д. НГУ. 2011.