

§ 14. ТЕРТЯ. СИЛА ТЕРТЯ

?! Тертя в житті людини відіграє надзвичайно важливу роль. З одного боку, тертя не дає розігнатися до надрекордних швидкостей велосипедистам та плавцям, воно спричиняє знос деталей автомобілів та механізмів. З іншого боку, тертя підштовпує нас об асфальт, надає нам можливість ходити, завдяки тертю наш одяг не розповзається по швах, не розв'язуються шнурки, ми не зісковзуємо зі стільця від найменшого руху. Як бачимо, тертя приносить як незручності, так і користь. А чи завжди є тертя? Як воно виникає і як можна передбачити його дію?

1 Знайомимось із силою тертя спокою

Якщо людина спробує пересунути дуже важке тіло, наприклад велику шафу, і не зможе зрушити її з місця, то це означає, що сила м'язів людини зрівноважується силою тертя між підлогою і ніжками шафи. У таких випадках говорять про *тертя спокою* (рис. 14.1).

Сила тертя спокою — це сила, яка виникає в разі спроби зрушити з місця нерухоме тіло і перешкоджає появі руху.

Сила тертя спокою позначається символом $F_{\text{тертя сп}}$ і завжди напрямлена в бік, протилежний тому, у який би рухалось тіло, якби тертя не було. Сила тертя спокою прикладена вздовж поверхні, якою тіло стикається з іншим тілом, і завжди дорівнює силі, що намагається зрушити тіло з місця (рис. 14.2).

У разі збільшення сили, що прикладена до тіла і намагається зрушити його з місця, збільшуватиметься й сила тертя спокою. Коли зовнішня сила, що діє на тіло, набуде певного значення і тіло зрушить із місця, сила тертя спокою стане максимальною. Максимальна сила тертя спокою позначається символом $F_{\text{тертя сп. max}}$.

Тепер ми бачимо, що сила тертя спокою не може перевищувати певного максимального значення: $0 < F_{\text{тертя сп}} \leq F_{\text{тертя сп. max}}$.

Існування сили тертя спокою має дуже велике значення, і прикладів її корисної дії можна навести безліч. Сила тертя спокою дозволяє рухатись автомобілям, адже завдяки їй колеса не ковзають. Завдяки силі тертя спокою пальці рук утримують ручки та олівці, а на болтах тримаються гайки. У техніці, на транспорті, у побуті досить часто вживають заходів, щоб одне тіло не рухалось відносно

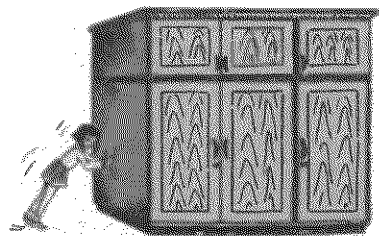


Рис. 14.1. Не вдається зрушити шафу з місця, хоча людина докладє чималі зусилля: заважає сила тертя спокою

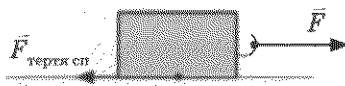


Рис. 14.2. Сила F , якою тягнуть тіло, намагаючись зрушити його з місця, і сила тертя спокою $F_{\text{тертя сп}}$, що виникає при цьому, зрівноважують одна одну — тіло перебуває в стані спокою

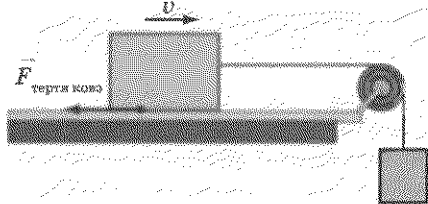


Рис. 14.3. Сила тертя ковзання прикладена вздовж поверхні стикання тіла та опори і завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху

іншого. Наприклад, для збільшення максимальної сили тертя спокою підозов об лід тротуари під час ожеледиці посипають піском.

2 Знайомимось із силою тертя ковзання

Коли зовнішня сила, що діє на тіло, зрівнюється з максимальною силою тертя спокою, тіло починає рухатися — сила тертя спокою переходить у *силу тертя ковзання*.

Сила тертя ковзання — це сила, яка виникає в разі ковзання одного тіла по поверхні іншого.

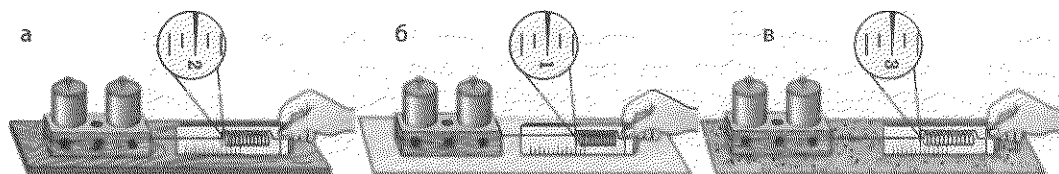
Сила тертя ковзання позначається символом $F_{\text{тертя ковз}}$ і завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху тіла, до якого вона прикладена (рис. 14.3). Сила тертя ковзання трохи менша за максимальну силу тертя спокою. Саме тому в момент зрушення з місця тіло починає рухатися ривком, а масивні предмети зрушити з місця важче, ніж потім рухати їх.

3 З'ясуємо, від чого залежить сила тертя ковзання

Прикріпимо до дерев'яного бруска гачок динамометра. Будемо *рівномірно* тягти брусок по горизонтальній поверхні дерев'яної дошки (рис. 14.4, а). На брусок у горизонтальному напрямку діятимуть сила пружності пружини динамометра та сила тертя ковзання. Сила пружності пружини динамометра зрівноважує силу тертя ковзання. Тобто динамометр показує значення сили тертя ковзання дерева по дереву.

Якщо перевернути брусок на іншу грань (у нашому випадку — на меншу) і повторити дослід, то динамометр буде показувати те саме значення сили тертя ковзання. Це означає, що *сила тертя ковзання не залежить від площі стичних поверхонь*.

Рис. 14.4. У ході ковзання того самого тіла по різних поверхнях виникає різна сила тертя ковзання: дерев'яний брусок ковзає по дерев'яній дошці (а); склу (б); наждаковому паперу (в)



Замінімо дошку на лист скла і знову будемо рівномірно тягти брусок за допомогою динамометра (рис. 14.4, б). Дослід продемонструє, що сила тертя ковзання дерева по склу менша за силу тертя ковзання дерева по дереву. Якщо ж тягти дерев'яний брусок по наждаковому паперу, то побачимо, що сила тертя ковзання дерева по наждаковому паперу буде більшою, ніж сила тертя ковзання дерева по дереву (рис. 14.4, в). Отже, *сила тертя ковзання залежить від властивостей стичних поверхонь тіл.*

Зміниться сила тертя ковзання і тоді, коли ми покладемо на тіло додатковий вантаж, збільшивши таким чином силу нормальної реакції опори (рис. 14.5). У таких випадках сила тертя ковзання зростає. Численні досліди доводять, що *сила тертя ковзання збільшується пропорційно силі нормальної реакції опори*. Цю залежність можна записати так:

$$F_{\text{тертя кова}} = \mu N,$$

де $F_{\text{тертя кова}}$ — сила тертя ковзання; μ — коефіцієнт тертя ковзання, N — сила нормальної реакції опори*. Оскільки сила тертя ковзання та сила нормальної реакції опори мають однакові одиниці, коефіцієнт тертя ковзання є величиною без одиниць.

Коефіцієнт тертя ковзання визначається, зокрема, матеріалами, з яких виготовлено тіла, що стикаються, якістю обробки їхніх поверхонь.

Коефіцієнти тертя ковзання визначають експериментально. Зазвичай таблиці значень коефіцієнтів тертя ковзання містять орієнтовні середні значення для пар матеріалів:

Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання	Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання
Сталь по льоду	0,02	Папір (картон) по дереву	0,40
Сталь по сталі	0,20	Шкіра по чавуну	0,56
Дерево по дереву	0,25	Гума по бетону	0,75

4 З'ясуємо причини виникнення та способи зменшення сили тертя. Поверхні твердих тіл найчастіше мають подряпини, нерівності, бувають шорсткими. Під час руху або спробі руху нерівності чіпляються одна за одну та деформуються або зовсім зминаються.

* $N = mg$, якщо на горизонтальній поверхні на тіло у вертикальному напрямку не діють ніякі сили, крім сили тяжіння і сили нормальної реакції опори.

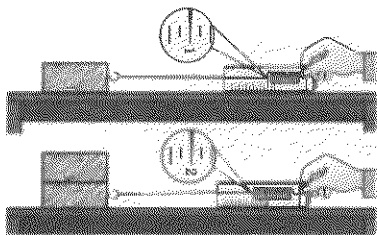


Рис. 14.5. Сила тертя ковзання зростає, якщо збільшити силу, що притискає тіло до поверхні стола

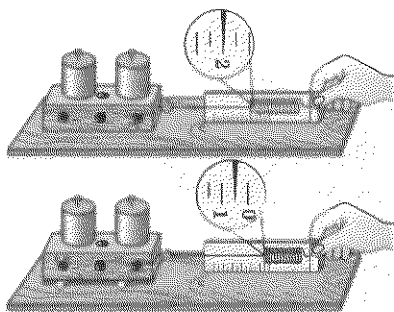


Рис. 14.6. Якщо підкласти круглі олівці під дерев'яний брусок, то пересувати його по столу стане значно легше

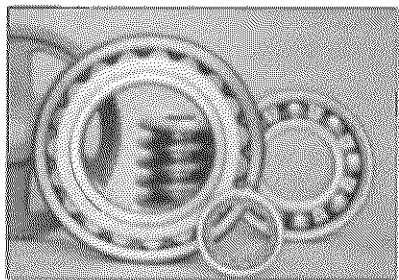


Рис. 14.7. Заміна ковзання на кочення приводить до зменшення сили тертя, і це використовують у кулькових та роликових підшипниках

У результаті виникає сила, що протидіє силі, яка або намагається зрушити тіло з місця, або рухає його. Тобто причиною виникнення сили тертя є *наявність нерівностей* на поверхні тіл, які стикаються. Сила тертя, як і сила пружності, — прояв сил міжмолекулярної взаємодії.

Здавалося б, що для зменшення сили тертя треба добре відполірувати поверхні й таким чином звести до мінімуму розміри нерівностей. Однак, коли стикаються відполіровані поверхні, то вони щільно прилягають одна до одної, унаслідок чого значна кількість молекул стичних поверхонь опиняється на такій відстані одна від одної, що стає помітним міжмолекулярне притягання. Це й спричиняє зростання сили тертя. Отже, ще однією причиною виникнення сили тертя є *взаємне притягання молекул поверхонь тіл, що стикаються*.*

Силу тертя ковзання можна зменшити, якщо змастити поверхні. Мастило, переважно рідке, потрапивши між стичними поверхнями, віддалить їх одну від одної. Тобто стикатися будуть не поверхні тіл, а шари мастила, — отже, тертя ковзання (так зване *сухе тертя*) заміниться на рідке (в'язке) тертя, у разі якого сила тертя є істотно меншою.

5 Дізнаємося про силу тертя кочення

Давній досвід людства показує, що важку кам'яну брилу легше перекочувати на колодах, ніж просто тягти по землі. Зменшення тертя внаслідок розташування твердих котків між поверхнями, що ковзають одна по одній, широко відоме (рис. 14.6). Якщо одне тіло котиться вздовж поверхні іншого, то ми маємо справу з *тертям кочення*. Під час кочення виникає *сила тертя кочення*, яка зазвичай є набагато меншою, ніж сила тертя ковзання. У різноманітних машинах і механізмах для зменшення сили тертя застосовують підшипники (рис. 14.7).

* Докладне дослідження тертя та обґрунтування причин його виникнення є досить складними, і це виходить за межі шкільного курсу фізики.

Задача. Щоб рівномірно рухати книжку по столу, треба прикласти горизонтальну силу 2 Н. Чому дорівнює коефіцієнт тертя ковзання між книжкою та столом? Маса книжки становить 1 кг.

Дано:

$$F = 2 \text{ Н}$$

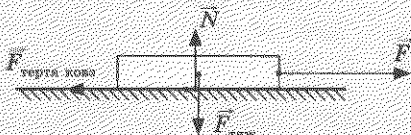
$$m = 1 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\mu = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

Зробимо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо всі сили, що діють на книжку: $F_{\text{тяж}}$ — сила тяжіння ($F_{\text{тяж}} = mg$); N — сила нормальної реакції опори; F — сила, під дією якої книжка рухається по поверхні стола; $F_{\text{тертя ковз}}$ — сила тертя ковзання.



Книжка рухається рівномірно, отже, усі сили, які діють на неї, попарно скомпенсовані: сила тертя ковзання компенсує силу, з якою книжку тягнуть по столу; сила тяжіння компенсується силою нормальної реакції опори. За цих умов і знайдемо шуканий коефіцієнт тертя.

Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів

Оскільки сили, що діють на книжку, попарно скомпенсовані, можна записати: $F = F_{\text{тертя ковз}}$, $N = mg$. Виходячи з того що $F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$, отримаємо $F = \mu mg$. Звідси $\mu = \frac{F}{mg}$.

Визначимо значення шуканої величини:

$$[\mu] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}}{\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 1; \quad \{\mu\} = \frac{2}{1 \cdot 10} = 0,2; \quad \mu = 0,2.$$

Проаналізуємо результат: коефіцієнт тертя 0,2 властивий такій парі, як дерево по дереву, отже, результат правдоподібний.

Відповідь: коефіцієнт тертя ковзання між книжкою та столом дорівнює 0,2.



Підбиваємо підсумки

Сила тертя спокою — це сила, яка виникає під час прикладання до тіла зовнішньої сили, що намагається зрушити тіло з місця.

Сила тертя ковзання — це сила, яка виникає під час ковзання одного тіла по поверхні іншого й прямо пропорційна силі нормальної реакції опори: $F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$.

Коефіцієнт тертя ковзання μ залежить від матеріалів, із яких виготовлено тіла, що стикаються, від якості обробки їхніх поверхонь, наявності між ними сторонніх речовин.

Для зменшення сили тертя ковзання поверхні тіл, зокрема, змащують мастилом.

Під час кочення одного тіла вздовж поверхні іншого виникає сила тертя кочення, яка зазвичай менша за силу тертя ковзання.



Контрольні запитання

1. Що заважає зрушити з місця велику шафу?
2. Куди напрямлена сила тертя спокою?
3. Навіщо взимку тротуари посипають піском?
4. Коли спостерігається сила тертя ковзання і від яких чинників вона залежить?
5. Чому в таблиці коефіцієнтів тертя ковзання надано пари матеріалів, а не кожний матеріал окремо?
6. Якою є природа сили тертя ковзання?
7. Як можна зменшити силу тертя ковзання?
8. Чому кругле тіло котити легше, ніж тягнути?



Вправа № 14

1. Чи діє сила тертя на книжку, яка лежить на горизонтальному столі?
2. Щоб відкрутити гайку, треба докласти зусиль. Чому гайка набагато легше відкручується, якщо її змочити гасом?
3. До бруска на поверхні стола за допомогою динамометра прикладають горизонтальну силу 3 Н. Брусок при цьому рухається рівномірно в напрямку дії сили. Чому дорівнює сила тертя, що діє на брусок з боку поверхні стола? Як поводитиме себе брусок і якою буде сила тертя, якщо динамометр показуватиме 2 Н?
4. Яким є коефіцієнт тертя ковзання між ящиком масою 10 кг та підлогою, якщо для рівномірного пересування ящика до нього потрібно прикладати горизонтальну силу 40 Н?
5. За допомогою динамометра брусок рівномірно тягнуть по столу. Динамометр показує силу тертя 5 Н. Якою є маса бруска, якщо коефіцієнт тертя між бруском та столом дорівнює 0,2?
6. Намагаючись зрушити з місця піаніно, до нього прикладають горизонтальну силу, що поступово збільшується. Піаніно почало рухатися, коли сила досягла 500 Н. Як змінювалася сила тертя між піаніно та підлогою? Що відбуватиметься, якщо силу збільшувати ще?



Експериментальне завдання

Покладіть на поверхню води порожню пластикову пляшку або інший предмет, що плаватиме. Візьміть смужку паперу і спробуйте нею штовхнути пляшку. Чи виникає в разі руху тіла в рідині сила тертя спокою?

ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

У липні 1937 р. Постановою Ради Народних Комісарів УРСР у місті Сталіно (зараз Донецьк) було відкрито Державний педагогічний інститут. Із часом навчальний заклад перетворився в **Донецький національний університет**, який став складовою частиною Донецького наукового центру НАН України та Міносвіти і науки України. Зараз в університеті навчається понад 25 тис. студентів, здійснюються наукові дослідження за 15 головними напрямками фундаментальних і прикладних наук.

Університет підтримує зв'язки з 26 університетами світу, є членом асоціації університетів Європи, двох міжнародних організацій (Євразійська та AIMOS), учасником кількох європейських наукових програм.