

Тема 6. Закон Гука. Сила пружності.

Взаємодія тіл може викликати не тільки зміну їхніх швидкостей, а й деформації. Сила, що при цьому виникає, називається **силою пружності**.

Англійський природодослідник, учений та експериментатор Роберт Гук відкрив закон, який було названо його ім'ям.

Деформація пружних тіл (їхнє видовження та скорочення) прямо пропорційна силі, яка їх розтягує чи стискає, а сила пружності дорівнює:

$$\vec{F}_{\text{пр}} = -k\vec{x},$$

де k – коефіцієнт пропорційності, який називається **жорсткістю**, характеризує здатність тіла протидіяти деформації; x – **абсолютна деформація** (лінійне видовження чи стиснення тіла, зміщення кінця тіла).

Одиниця жорсткості в СІ – ньютон на метр (Н/м).

Знак « \rightarrow » показує, що сила пружності завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку зміщення.

$$x = \Delta l = l - l_0,$$

де l – довжина деформованого тіла, l_0 – початкова довжина тіла, Δl – **видовження** тіла.

Відносне видовження тіла ε – це фізична величина, яка дорівнює відношенню видовження Δl до початкової довжини тіла l_0 :

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0}, \quad \text{або} \quad \varepsilon = \frac{\Delta l}{l_0} \cdot 100\%.$$

Механічна напруга σ – це фізична величина, яка характеризує деформоване тіло і дорівнює відношенню модуля сили пружності $F_{\text{пр}}$ до площі S поперечного перерізу тіла:

$$\sigma = \frac{F_{\text{пр}}}{S}$$

(тут ми розглядаємо тільки тіла з однаковою площею поперечного перерізу, наприклад, стрижні).

Одиниця механічної напруги в СІ – паскаль (1 Па = 1 Н/м²).

У випадку малих пружних деформацій розтягнення та стиснення механічна напруга прямо пропорційна відносному видовженню ε :

$$\sigma = E|\varepsilon|,$$

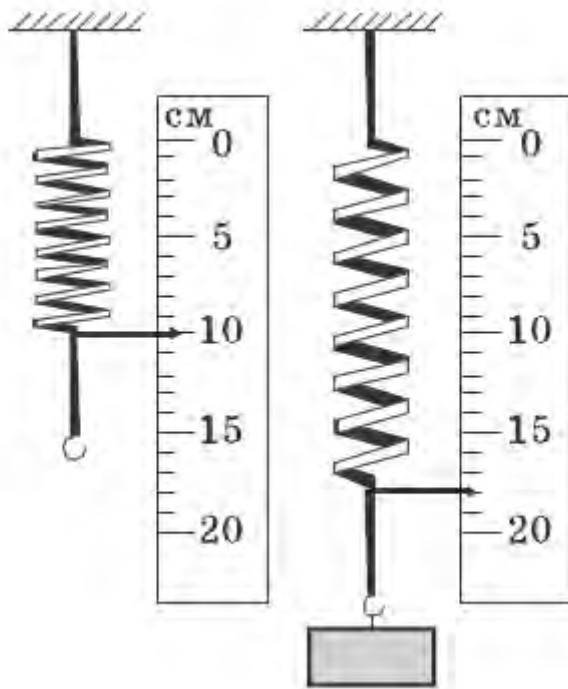
де E – модуль Юнга (модуль пружності).

Остання формула являє собою ще одне формулювання закону Гука.

Відносне видовження ε – величина, яка не має розмірності, тому *одиниця модуля Юнга в СІ – паскаль* (як і одиниця механічної напруги). Модуль Юнга характеризує пружні властивості матеріалу, його визначають експериментально і фіксують у таблицях.

Природа сил пружності – **електромагнітна**. Якщо тіло не деформоване, то сили притягання частинок (атомів, молекул, йонів) дорівнюють силам відштовхування. У разі деформації взаємне розташування частинок змінюється. Якщо відстань між ними збільшується, то електромагнітні сили притягання стають більшими, ніж сили відштовхування, і в результаті атоми (молекули, йони) притягуються одне до одного. Якщо відстань між частинками зменшується, то більшими стають електромагнітні сили відштовхування. Інакше кажучи, частинки «прагнуть» повернутися до стану рівноваги. Таким чином, *сила пружності – прояв електромагнітної взаємодії частинок речовини*.

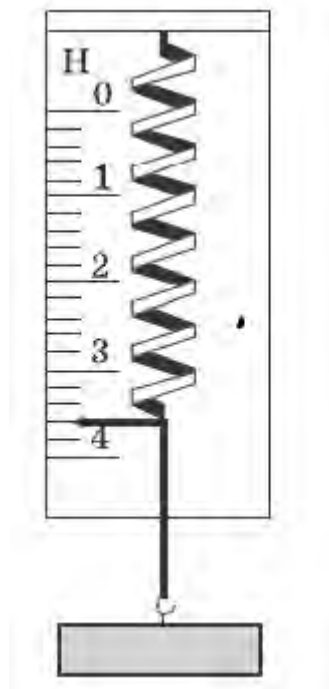
Приклад 1. Під час визначення жорсткості пружини до неї підвісили тіло масою 400 г (див. рисунок). Якою виявилась жорсткість пружини після обчислень? Вважайте, що $g=10$ м/с².



$$F_{\text{пр}} = F_{\text{тяж}}, kx = mg, k = mg/x = 0,4 \cdot 10 / 0,08 = 50 \text{ (Н/м)}.$$

Відповідь: 50 Н/м.

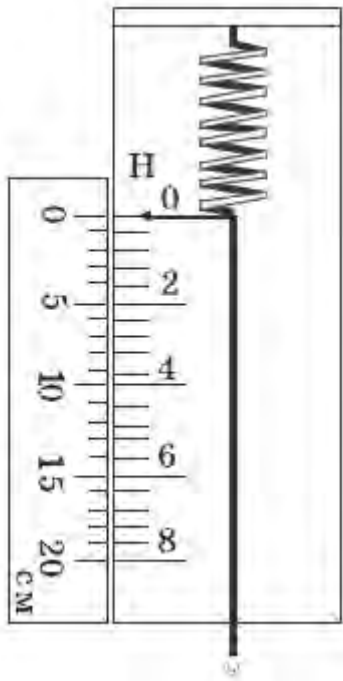
Приклад 2. Якою є маса вантажу, підвішеного до пружини динамометра? Вважайте, що $g = 10 \text{ м/с}^2$.



$$F_{\text{тяж}} = mg = 3,6 \text{ Н}, m = 3,6 / 10 = 0,36 \text{ кг}.$$

Відповідь: 0,36 кг.

Приклад 3. Під час підготовки до лабораторної роботи учень отримав завдання за допомогою лінійки визначити жорсткість пружини динамометра. Якою виявилась жорсткість пружини після обчислень?



$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{пр}} = kx, \quad 8 = k \cdot 0,2, \quad k = 8 / 0,2 = 40 \text{ (Н/м)}$$

Відповідь: 40 Н/м.

Приклад 4. Тіло масою 2 кг висить на пружині жорсткістю 40 Н/м. Знайти видовження пружини. Прийняти $g = 10 \text{ м/с}^2$.

$$kx = mg, \quad x = mg/k = 2 \cdot 10 / 40 = 0,5 \text{ (м)}$$

Відповідь: 0,5 м.

Приклад 5. Пружини жорсткостями 30 Н/м і 60 Н/м з'єднали послідовно. Якою є загальна жорсткість такого з'єднання?

$$x = F/k$$

$$F_1 = F_2 = F, \quad x = x_1 + x_2, \quad F/k = F_1/k_1 + F_2/k_2, \quad 1/k = 1/k_1 + 1/k_2,$$

$$1/k = 1/30 + 1/60 = 1/20, \quad k = 20 \text{ Н/м}$$

Відповідь: 20 Н/м.

Приклад 6. Дві однакові пружини жорсткостями 30 Н/м кожна з'єднали паралельно. Якою є загальна жорсткість такого з'єднання, якщо вантаж причепили до обох пружин одночасно?

$$x_1 = x_2 = x, F_1 + F_2 = F, kx = k_1x_1 + k_2x_2, k = k_1 + k_2 = 30 + 30 = 60 \text{ (Н/м)}.$$

Відповідь: 60 Н/м.

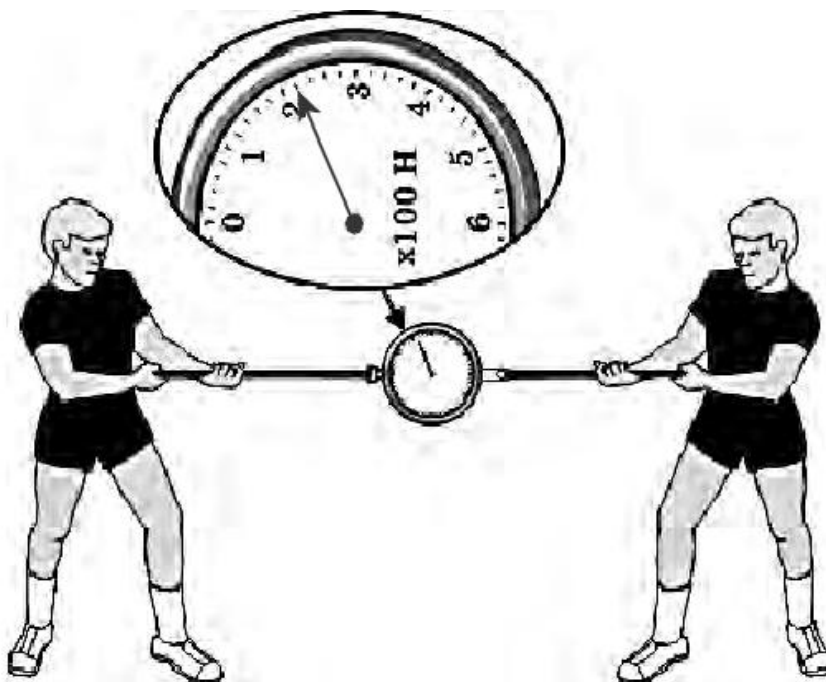
Приклад 7.

Установіть відповідність між характером руху тіла та напрямом рівнодійної сил, що діють на тіло.

1 Прямолінійний рівномірний рух	А Рівнодійна сил, що діють на тіло, збігається за напрямом зі швидкістю
2 Прямолінійний рівноприскорений рух зі збільшенням швидкості	Б Рівнодійна сил, що діють на тіло, напрямлена перпендикулярно швидкості
3 Криволінійний нерівномірний рух	В Рівнодійна сил, що діють на тіло, протилежна за напрямом до швидкості
4 Рівномірний рух по колу	Г Рівнодійна сил, що діють на тіло, напрямлена під гострим кутом до швидкості
	Д Рівнодійна сил, що діють на тіло, дорівнює нулю

Відповідь: 1 – Д, 2 – А, 3 – Г, 4 – Б.

Приклад 8. Два хлопці кожен тягнуть на себе мотузки, які прив'язані до динамометра. Визначте силу, яку кожен із хлопців прикладає до мотузки.



Відповідь: 220 Н.

Сила тертя

У ході будь-якого руху тіло обов'язково контактує з мікро- або макротілами навколо (поверхнею іншого тіла, частинками рідини або газу, всередині яких рухається тіло, тощо). Під час такого контакту виникають сили, що сповільнюють рух тіла, – ці сили називають *силами тертя*.

Сила тертя $\vec{F}_{\text{тер}}$ – це сила, яка виникає під час руху або спроби руху одного тіла по поверхні іншого чи під час руху тіла всередині рідкого чи газоподібного середовища.

Сила тертя завжди напрямлена вздовж поверхні дотичних тіл протилежно швидкості їхнього відносного переміщення.

Тертя між поверхнею твердого тіла та навколишнім рідким або газоподібним середовищем, у якому це тіло рухається, називають *опором середовища* або *рідким (в'язким) тертям*. Тертя між поверхнями двох дотичних твердих тіл називають *сухим тертям*. Розрізняють три види сухого тертя: *тертя спокою, тертя ковзання, тертя кочення*.

Причиною виникнення сил тертя є *сили пружності*, які виникають внаслідок деформації нерівностей на поверхнях тіл, та *сили міжмолекулярного притягання* частинок двох тіл. Тому *природа сили тертя – електромагнітна*.

Сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тер спокою}}$ – це сила, яка з'являється між дотичними поверхнями тіл і перешкоджає виникненню руху одного тіла по поверхні іншого.

Сила тертя спокою завжди дорівнює за модулем і протилежна за напрямком зовнішній силі, яка діє вздовж поверхні зіткнення тіл і намагається зрушити тіло з місця:

$$\vec{F}_{\text{тер спокою}} = -\vec{F}_{\text{зовн}}$$

Саме сила тертя спокою є тією *рушійною силою*, завдяки якій пересуваються люди, тварини, транспорт.

Після того, як зовнішня сила, що діє на тіло, зрівнюється із максимальною силою тертя спокою, тіло починає ковзання, – у цьому випадку говорять про *силу тертя ковзання*.

Сила тертя ковзання $\vec{F}_{\text{тер ковз}}$ – це сила, яка виникає під час відносного руху (ковзання) одного тіла по поверхні іншого.

Сила тертя ковзання завжди напрямлена вздовж поверхні дотику тіл у бік, протилежний напрямку відносної швидкості руху тіл.

Експериментально встановлено, що *сила тертя ковзання залежить від властивостей дотичних поверхонь тіл і прямо пропорційна силі нормальної реакції опори \vec{N}* . Цю залежність можна записати у вигляді:

$$F_{\text{тер ковз}} = \mu N,$$

де μ – *коефіцієнт тертя ковзання*, який залежить, зокрема, від матеріалів, з яких виготовлені дотичні тіла, і якості обробки їхніх поверхонь.

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

Слід зазначити: 1) *сила тертя спокою і сила тертя ковзання не залежать від площі дотичних поверхонь*, тому, наприклад, заточування ковзанів не збільшує силу тертя; 2) *сила тертя ковзання трохи менша за максимальну силу тертя спокою*, тому тіло зрушує з місця ривком, а масивні предмети важче зрушити з місця, ніж потім тягти.

Силу тертя ковзання можна зменшити, змастивши дотичні поверхні. Тверде змащення змінює якість поверхні, а рідке – віддаляє дотичні поверхні одну від одної, в результаті чого *сухе тертя замінюється рідким*, значно слабшим.

Тертя істотно зменшиться, якщо між дотичними поверхнями розташувати тверді котки. Дослід показує, що за однакових умов *сила тертя ковзання в десятки разів більша за силу тертя кочення*.

Домашнє завдання.

Закон Гука. Сила пружності. №№ 60, 61, 73.