

§ 13. ДЕФОРМАЦІЯ ТІЛА. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА

1 Якщо зігнути гілку дерева або розтягнути гумовий джгут, то неважко побачити, що тіла «чинять опір», — з'являється сила, яка протидіє зовнішній дії. Які фізичні явища стоять за цим? Від чого залежать сили, що при цьому виникають? Для чого конструктори та машинобудівники їх так ретельно вивчають? Які тіла називають пластичними, а які крихкими? Про все це ви дізнаєтесь у наступному параграфі.

1 Спостерігаємо деформацію тіл

Ви вже знаєте: якщо на тіло діє сила, воно починає змінювати швидкість свого руху. Але є ще один *наслідок дії сили на тіло* — це *деформація*, тобто зміна форми тіла (рис. 13.1).

Деформація тіл під впливом зовнішніх сил відбувається буквально на кожному кроці: стаємо на дошку, яка перекинута з одного берега струмка на другий, — дошка *прогинається*, затуємо викруткою шуруп — відбувається *кручення* викрутки, налаштуємо гітару — *розтягуємо* струни (рис. 13.2).

2 Досліджуємо природу сили пружності

У тілі *в разі деформації обов'язково виникає сила, що протидіє зовнішньому впливу*, який деформує тіло. Цю силу називають *силою пружності* (рис. 13.3).

Силу пружності позначають символом $F_{\text{пруж}}$. Сила пружності напрямлена в бік, протилежний напрямку зміщення частин тіла під час деформації (рис. 13.4).

Коли ми ставимо на опору якесь тіло, то внаслідок притягання до Землі тіло її деформує. Наприклад, коли людина сідає на лаву, то лава прогинається. Деформація опори викликає появу сили пружності, що напрямлена перпендикулярно до поверхні опори. У цьому випадку силу пружності називають *силою нормальної реакції опори**.

Якою ж є природа сили пружності?

* Слово «нормальний» застосовується тому, що йдеться про напрямок уздовж так званої *нормалі* — прямої, яка перпендикулярна до поверхні опори.

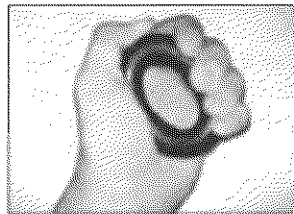


Рис. 13.1. У результаті дії руки еспандер змінює свою форму — деформується

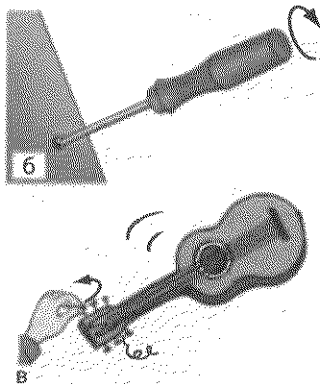
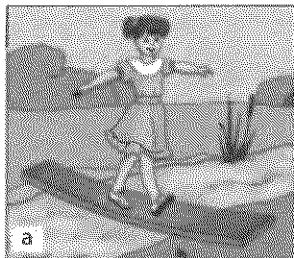


Рис. 13.2. Існують різні види деформації: вигин (а); кручення (б); розтягнення (в) тощо

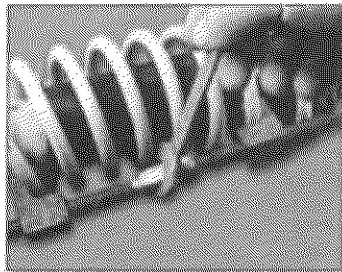


Рис. 13.3. Стискаючи пружину, ми деформуємо її. При цьому в пружині виникає сила пружності

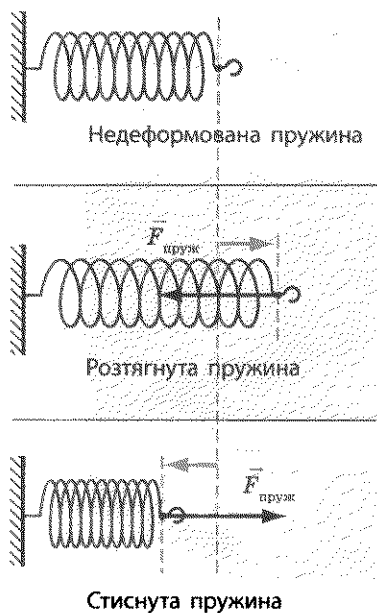


Рис. 13.4. У разі розтягування або стиснення пружини виникає сила пружності $F_{\text{пруж}}$, яка завжди діє в напрямку, протилежному напрямку зміщення частин тіла під час деформації

Відомо, що всі тіла складаються з частинок (атомів, молекул). У твердих тілах ці частинки займають певні положення рівноваги і взаємодіють так званими *міжмолекулярними силами*. Якщо частинки перебувають у положеннях рівноваги, то міжмолекулярні сили притягання та відштовхування зрівноважують одна одну.

У разі деформації тіла у взаємному розташуванні частинок виникають певні зміни. Якщо відстань між частинками зростає, то міжмолекулярні сили відштовхування стають слабкішими, ніж сили притягання. Якщо ж частинки наближаються одна до одної, то міжмолекулярні сили відштовхування стають сильнішими, ніж сили притягання. Іншими словами, частинки «прагнуть» повернутися до положення рівноваги.

Сили, що виникають у разі зміни положення однієї частинки відносно інших, дуже малі. Однак, коли ми деформуємо тіло, змінюється взаємне розташування великої кількості частинок і додавання цих сил дає помітну рівнодійну, яка протидіє деформації тіла. Це і є сила пружності. Отже, *сила пружності — прояв дії міжмолекулярних сил*.

3 Відкриваємо закон Гука

Наукове дослідження процесу розтягування тіл було розпочато *Робертом Гуком* (рис. 13.5) у XVII ст. Для своїх дослідів Гук скористався струною, один кінець якої був жорстко закріплений. Ученому вдалося з'ясувати таке: якщо сила, прикладена до вільного кінця струни, є не дуже великою, то після припинення дії сили струна повертається у вихідний стан, тобто відновлює початкову довжину. Такі деформації отримали у фізиці назву *пружних*.

За умови певного збільшення сили, що розтягує струну, деформація перестає бути пружною, тобто після припинення дії сили струна не повертається до початкової довжини. Такі деформації отримали назву *пластичних*.

Вимірюючи, на скільки струна видовжується під впливом різних за значенням сил,

Гук виявив: у разі пружних деформацій видовження струни пропорційно прикладеній силі.

Гук також з'ясував: якщо струну замінити на інше тіло, наприклад пружину, і зовнішньою силою розтягувати (стискати) його, то в разі пружних деформацій зміна довжини тіла пропорційна прикладеній силі.

Таким чином, Гук визначив залежність сили пружності від видовження або зменшення довжини тіл. Цю залежність назвали **законом Гука**.

У разі пружних деформацій тіла виникає сила пружності, яка прямо пропорційна зміні довжини тіла і діє у напрямку, протилежному напрямку зміщення частин тіла під час деформації:

$$F_{\text{пруж}} = kx,$$

де $F_{\text{пруж}}$ — сила пружності; k — коефіцієнт пропорційності, який називають *жорсткістю тіла*; x — відстань, на яку розтягується або стискається тіло під час деформації. Оскільки сила пружності прямо пропорційна зміні довжини тіла, графіком залежності $F_{\text{пруж}}(x)$ є пряма (рис. 13.6).

Із закону Гука можна отримати формулу для розрахунку жорсткості тіла: $k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x}$.

Одиницею жорсткості в СІ є **ньютон на метр (Н/м)**.

4 Учимся розв'язувати задачі

Задача. Сила 40 Н розтягує пружину на 8 см. Обчисліть силу, що розтягне пружину ще на 6 см. Деформацію пружини вважайте пружною.

Дано:

$$F_1 = 40 \text{ Н}$$

$$x_1 = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$$

$$\Delta x = x_2 - x_1 = 6 \text{ см} = 0,06 \text{ м}$$

$$F_2 = ?$$

Аналіз фізичної проблеми

Щоб розтягнути пружину, до неї потрібно прикласти силу. У разі розтягання пружини виникає сила пружності, яка за значенням дорівнює силі, що прикладена до пружини: $F_{\text{пруж}} = F$. За умовою деформація є пружною, тому можна застосувати закон Гука.

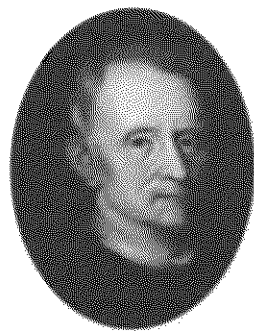


Рис. 13.5. Роберт Гук (1635–1703), видатний англійський природознавець, учений-енциклопедист

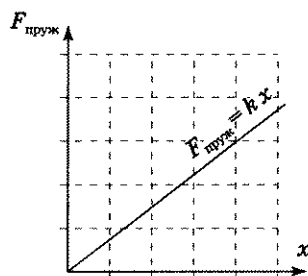


Рис. 13.6. Якщо деформації тіла є малими, то сила пружності $F_{\text{пруж}}$ прямо пропорційна видовженню (або стисканню) x тіла

Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результату

За законом Гука сила пружності прямо пропорційна деформації: $F_{\text{пруж}} = kx$. Тому $F_1 = kx_1$ і $F_2 = kx_2$.

$$\text{Звідси } \frac{F_2}{F_1} = \frac{kx_2}{kx_1} \Rightarrow \frac{F_2}{F_1} = \frac{x_2}{x_1} \Rightarrow F_2 = \frac{F_1 \cdot x_2}{x_1}.$$

Оскільки $\Delta x = x_2 - x_1$, то $x_2 = x_1 + \Delta x$, отже, отримуємо:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot (x_1 + \Delta x)}{x_1}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[F_2] = \frac{\text{Н} \cdot (\text{м} + \text{м})}{\text{м}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{Н}.$$

Знайдемо значення шуканої величини:

$$\{F_2\} = \frac{40 \cdot (8 + 6)}{8} = 70; \quad F_2 = 70 \text{ Н}.$$

Проаналізуємо результат: у разі видовження пружини на 8 см сила пружності дорівнює 40 Н; під час видовження довжини пружини ще на 6 см сила пружності збільшилась на 30 Н — це правдоподібний результат.

Відповідь: сила, що додатково розтягнула пружину на 6 см, дорівнює 70 Н.

5

Знайомимося з механічними властивостями твердих тіл

Щоб споруджувати будинки, створювати надійні машини й механізми, виготовляти побутові прилади тощо, потрібно знати механічні властивості різноманітних матеріалів: бетону, металів, деревини, пластиків, скла... Конструктори повинні передбачити, як поводитимуться ті чи інші матеріали в умовах високих або низьких температур, ударних або постійних навантажень та ін. Відповідні дані отримують виключно експериментально. Для цього зразки матеріалів піддають навантаженням і досліджують зміни, що з ними відбуваються. Наприклад, за яких навантажень спостерігаються пружні деформації, за яких починаються пластичні, за яких навантажень зразки руйнуються.

Серед механічних властивостей твердих тіл найчастіше розглядають *пружність, пластичність та крихкість*.

Пружними матеріалами називають такі, у яких пружні деформації можуть бути досить великими. Пружні матеріали — це, наприклад, сталь та гума. Якщо видовжити сталевий стрижень на 1 % від початкової довжини, то він повернеться до первісного стану. Для гуми таке видовження може становити кілька десятків відсотків.

Пластилін, мокра глина, свинець, мідь практично не виявляють пружних властивостей. Під дією навіть малих навантажень у тілах, виготовлених із цих матеріалів, спостерігаються пластичні деформації. Такі матеріали називають *пластичними*.

Крихкими називають матеріали, тіла з яких навіть у разі малих деформацій руйнуються. Такими матеріалами є, наприклад, скло та фарфор, чавун і мармур.

Слід зазначити, що *ті самі матеріали в різних умовах можуть виявляти різні механічні властивості*. Так, за великих навантажень пружна сталь стає пластичною і зі сталевих листів можна штампувати різноманітні вироби. Пластичний свинець у разі охолодження стає пружним, а скло за температур від 500 до 700 °C стає пластичнішим, ніж пластилін за кімнатної температури.

! Підбиваємо підсумки

Деформацією тіла називають зміну його форми або об'єму.

Сила пружності є проявом дії міжмолекулярних сил.

У разі пружних деформацій тіл виникає сила пружності, яка прямо пропорційна зміні довжини тіла і діє в напрямку, протилежному напрямку зміщення частин тіла під час деформації:

$$F_{\text{пруж}} = kx.$$

Серед механічних властивостей твердих тіл частіше за все розглядають пружність, пластичність та крихкість.

? Контрольні запитання

1. Що таке деформація?
2. Які сили виникають у тілах під час їхньої деформації?
3. Чому виникає сила пружності?
4. Яка деформація називається пружною?
5. Пластичною?
6. Сформулюйте закон Гука.
7. Як досліджуються механічні властивості твердих тіл?
8. Наведіть ознаки пружних, пластичних, крихких матеріалів.

Вправа № 13

1. Хлопчик розтягує рукою пружину (рис. 1). Яка сила виникає при цьому в пружині? Зобразіть пружину в зошиті, на рисунку покажіть сили, що діють на кільце, за яке тримається хлопчик.
2. На стіл поставили важкий брусок. Що буде відбуватися зі стільницею? Куди буде напрямлена сила пружності стільниці? Зобразіть на рисунку сили, що діють на брусок.
3. Пружину жорсткістю 40 Н/м розтягують силою 2 Н. На скільки видовжиться пружина?
4. Жорсткість пружини становить 20 Н/м. Яку силу потрібно прикласти до пружини, щоб розтягнути її на 1 см?
5. У випадку стискання пружини на 7 см виникає сила пружності 2,8 кН. Яка сила виникає у разі стискання цієї пружини на 4,2 см?
6. Визначте масу тягарця, що висить на пружині жорсткістю 200 Н/м, якщо видовження пружини дорівнює 0,5 см.
- 7*. Знайдіть густину речовини, з якої виготовлено кубик (рис. 2). Ребро кубика дорівнює 4 см.

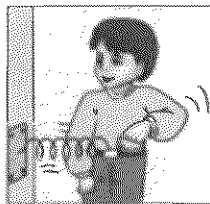


Рис. 1

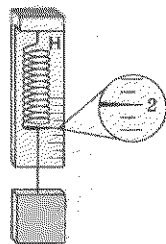


Рис. 2

? Експериментальне завдання

Визначте жорсткість пружини вашої авторучки. Для видовження пружини візьміть тіло відомої маси, наприклад монету в 50 копійок (її маса дорівнює 4,2 г).