

Володимир СИРОТЮК

# Фізика 8



## ГУСТИНА РЕЧОВИНИ

Відношення маси однорідного зразка певної речовини до його об'єму називають *густиною* цієї речовини. Густина речовини дорівнює масі цієї речовини в одиниці об'єму

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$m = \rho V$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$\rho$  — густина речовини,  $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;  $m$  — маса тіла, кг;  $V$  — об'єм тіла,  $\text{м}^3$

## ГУСТИНА ТВЕРДИХ ТІЛ

(при температурі 20 °С, якщо не вказано іншу температуру)

| Речовина       | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | Речовина       | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ |
|----------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| Золото         | 19300                                           | Граніт         | 2600                                            |
| Свинець        | 11300                                           | Мармур         | 2700                                            |
| Срібло         | 10500                                           | Скло           | 2500                                            |
| Мідь           | 8900                                            | Бетон          | 2200                                            |
| Нікель         | 8900                                            | Цегла          | 1600                                            |
| Латунь         | 8500                                            | Пісок (сухий)  | 1500                                            |
| Залізо, сталь  | 7800                                            | Лід (при 0 °С) | 900                                             |
| Олово          | 7300                                            | Парафін        | 900                                             |
| Цинк           | 7140                                            | Дуб (сухий)    | 800                                             |
| Чавун          | 7000                                            | Ялина (суха)   | 600                                             |
| Купорос мідний | 3600                                            | Сосна (суха)   | 400                                             |
| Алюміній       | 2700                                            | Корок          | 240                                             |

## ГУСТИНА РІДИН

(при температурі 0 °С і тиску 760 мм рт. ст.)

| Речовина        | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | Речовина       | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ |
|-----------------|-------------------------------------------------|----------------|-------------------------------------------------|
| Ртуть           | 13600                                           | Вода чиста     | 1000                                            |
| Сірчана кислота | 1800                                            | Олива машинна  | 900                                             |
| Мед             | 1345                                            | Нафта          | 800                                             |
| Гліцерин        | 1260                                            | Гас            | 800                                             |
| Оцтова кислота  | 1049                                            | Спирт етиловий | 800                                             |
| Вода морська    | 1030                                            | Ацетон         | 790                                             |
| Молоко цільне   | 1028                                            | Бензин         | 710                                             |

## ГУСТИНА ГАЗІВ

(при температурі 0 °С і тиску 760 мм рт. ст.)

| Речовина | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ | Речовина      | Густина $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ |
|----------|-------------------------------------------------|---------------|-------------------------------------------------|
| Кисень   | 1,43                                            | Природний газ | 0,80                                            |
| Повітря  | 1,29                                            | Гелій         | 0,18                                            |
| Азот     | 1,25                                            | Водень        | 0,09                                            |



## ПРЕФІКСИ ТА МНОЖНИКИ ДЛЯ УТВОРЕННЯ ДЕСЯТКОВИХ КРАТНИХ І ЧАСТИННИХ ОДИНИЦЬ

| Пре-<br>фікс | Позначення       |                 | Множник                                     | Найменування<br>множника |
|--------------|------------------|-----------------|---------------------------------------------|--------------------------|
|              | україн-<br>ською | міжна-<br>родне |                                             |                          |
| Екса         | Е                | E               | $1\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{18}$ | Квінтильйон              |
| Пета         | П                | P               | $1\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{15}$      | Квадрильйон              |
| Тера         | Т                | T               | $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$           | Трильйон                 |
| Гіга         | Г                | G               | $1\,000\,000\,000 = 10^9$                   | Мільярд                  |
| Мега         | М                | M               | $1\,000\,000 = 10^6$                        | Мільйон                  |
| Кіло         | к                | k               | $1\,000 = 10^3$                             | Тисяча                   |
| Гекто        | г                | h               | $100 = 10^2$                                | Сто                      |
| Дека         | да               | da              | $10 = 10^1$                                 | Десять                   |
| Деци         | д                | d               | $0,1 = 10^{-1}$                             | Одна десята              |
| Санти        | с                | c               | $0,01 = 10^{-2}$                            | Одна сота                |
| Мілі         | м                | m               | $0,001 = 10^{-3}$                           | Одна тисячна             |
| Мікро        | мк               | μ               | $0,000001 = 10^{-6}$                        | Одна мільйонна           |
| Нано         | н                | n               | $0,000000001 = 10^{-9}$                     | Одна мільярдна           |
| Пико         | п                | p               | $0,000000000001 = 10^{-12}$                 | Одна трильйонна          |

## ОДИНИЦІ, ВЖИВАНІ У ВЕЛИКОБРИТАНІЇ (ВБ) ТА США, ВИРАЖЕНІ В ОДИНИЦЯХ СІ

| Одиниця                | В одиницях СІ | Одиниця                | В одиницях СІ |
|------------------------|---------------|------------------------|---------------|
| <i>Одиниці довжини</i> |               | <i>Одиниці ємності</i> |               |
| Миля                   | ≈ 1,609 км    | Барель нефтяний (США)  | ≈ 159 л       |
| Морська миля           | 1,852 км      | Галон (ВБ)             | ≈ 4,5 л       |
| Кабельтов              | 185,2 м       | Пінта (ВБ)             | ≈ 0,5683 л    |
| Ярд                    | 91,44 см      | <i>Одиниці маси</i>    |               |
| Фут                    | 30,48 см      | Фунт (торговельний)    | ≈ 453,6 г     |
| Дюйм                   | 25,4 мм       | Унція                  | ≈ 28,35 г     |
| Велика лінія           | 2,54 мм       | Драхма (ВБ)            | ≈ 1,77 г      |
| Мала лінія             | ≈ 2,12 мм     | Гран                   | ≈ 64,8 мг     |



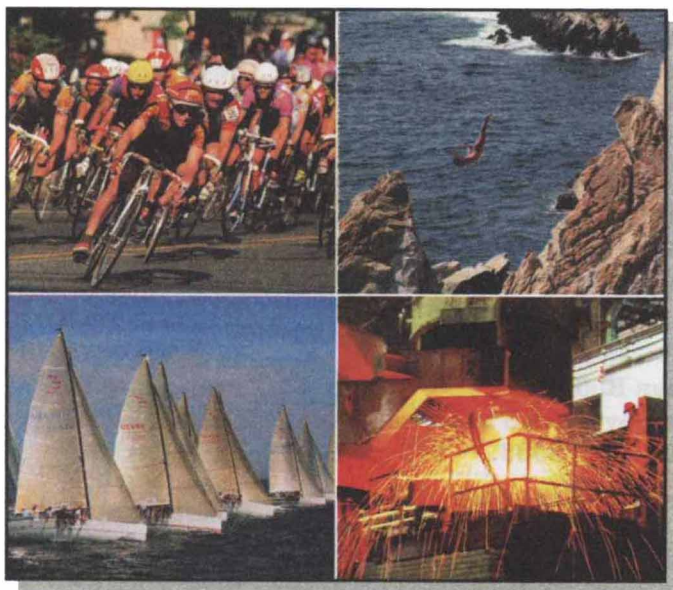


В. Д. СИРОТЮК

# Фізика

**Підручник для 8 класу  
загальноосвітніх навчальних закладів**

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*



*Підручник — переможець  
Всеукраїнського конкурсу підручників  
для 12-річної школи  
Міністерства освіти і науки України в 2008 р.*

**Київ  
«Зодіак-ЕКО»  
2008**

ББК 22.3я721

С40

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(Наказ Міністерства освіти і науки України  
від 17.03.2007 р., протокол № 179)*

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Відповідальні за підготовку до видання підручника:

**О. В. Хоменко**, головний спеціаліст Міністерства освіти і науки України;

**І. А. Юрчук**, методист вищої категорії Інституту інноваційних технологій і змісту освіти Міністерства освіти і науки України

## **ТВОРЧА ГРУПА РОЗРОБНИКІВ ПІДРУЧНИКА**

**Юрій КУЗНЕЦОВ** — керівник проекту, розробник концепції: структури і дизайну;

**Володимир СИРОТЮК** — автор тексту і методичного апарату;

**Олег КОСТЕНКО** — заступник керівника проекту;

**Костянтин ДМИТРЕНКО** — редактор-організатор;

**Андрій ВІКСЕНКО** — розробник макета, художнього оформлення, художник обкладинки;

**Олена ГУЛА** — комп'ютерний дизайн, верстка;

**Валентина МАКСИМОВСЬКА** — організатор виробничого процесу;

**Галина КУЗНЕЦОВА** — економічний супровід проекту;

**Роман КОСТЕНКО** — маркетингові дослідження підручника;

**Андрій КУЗНЕЦОВ** — моніторинг апробації підручника

**С40 Сиротюк В. Д.**

**Фізика : підруч. для 8 класу загальноосвіт. навч. закл. / В. Д. Сиротюк. — К. : Зодіак-ЕКО, 2008. — 240 с. : іл.**

**ISBN 978-966-7090-60-9**

ББК 22.3я721

© Видавництво «Зодіак-ЕКО». Усі права захищено. Будь-яка частина, елемент, ідея, композиційний підхід цього видання не можуть бути скопійованими чи відтвореними в будь-якій формі та будь-якими засобами — ні електронними, ні фотомеханічними, зокрема, ксерокопіюванням, записом чи комп'ютерним архівуванням, — без письмового дозволу видавця.

© В. Д. Сиротюк, 2008

© Видавництво «Зодіак-ЕКО», 2008

© Художнє оформлення. А. М. Віксенко, 2008

© Концепції: структури, дизайну, художнього оформлення — Ю. В. Кузнецов, 2008

**ISBN 978-966-7090-60-9**



## ЗМІСТ

|            |   |
|------------|---|
| Юні друзі! | 6 |
|------------|---|

### **Розділ 1. МЕХАНІЧНИЙ РУХ**

|                                                                                                                    |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| § 1. Механічний рух                                                                                                | 8  |
| § 2. Відносність руху                                                                                              | 9  |
| § 3. Поступальний рух. Траєкторія. Шлях                                                                            | 10 |
| § 4. Рівномірний і нерівномірний рух                                                                               | 11 |
| § 5. Швидкість руху та одиниці швидкості                                                                           | 12 |
| § 6. Середня швидкість нерівномірного руху                                                                         | 14 |
| § 7. Графічне зображення рівномірного руху тіла                                                                    | 16 |
| Лабораторна робота № 1. Вимірювання швидкості руху тіла                                                            | 18 |
| Задачі та вправи                                                                                                   | 19 |
| § 8. Обертальний рух тіла. Період обертання                                                                        | 23 |
| Лабораторна робота № 2. Виготовлення механічного стробоскопа та дослідження за його допомогою періодичних процесів | 25 |
| § 9. Коливальний рух. Амплітуда, період і частота коливань                                                         | 26 |
| Лабораторна робота № 3. Дослідження коливань маятника                                                              | 29 |
| Задачі та вправи                                                                                                   | 29 |
| § 10. Звук. Характеристики звуку                                                                                   | 31 |
| Лабораторна робота № 4. Вивчення характеристик звуку                                                               | 34 |
| § 11. Швидкість поширення звуку                                                                                    | 35 |
| § 12. Інфразвук та ультразвук                                                                                      | 38 |
| § 13. Вплив звуків на живі організми                                                                               | 41 |
| Задачі та вправи                                                                                                   | 43 |
| Історична довідка                                                                                                  | 46 |
| Перевірте свої знання                                                                                              |    |
| Контрольні запитання                                                                                               | 46 |
| Що я знаю і вмію робити                                                                                            | 47 |
| Тестові завдання                                                                                                   | 48 |

### **Розділ 2. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ**

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| § 14. Взаємодія тіл                                      | 52 |
| § 15. Інерція                                            | 53 |
| § 16. Маса тіла                                          | 55 |
| Задачі та вправи                                         | 58 |
| § 17. Сила                                               | 60 |
| § 18. Сила тяжіння                                       | 61 |
| § 19. Сила пружності. Закон Гука. Вага тіла. Невагомість | 64 |
| Задачі та вправи                                         | 67 |
| § 20. Динамометри. Вимірювання сили                      | 70 |
| Лабораторна робота № 5. Конструювання динамометра        | 71 |

|                                                                                              |     |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Лабораторна робота № 6. Вимірювання сил за допомогою динамометра. Вимірювання ваги тіл ..... | 72  |
| § 21. Сила тертя. Коефіцієнт тертя ковзання .....                                            | 73  |
| Лабораторна робота № 7. Вимірювання коефіцієнта тертя ковзання .....                         | 77  |
| § 22. Рівнодійна сила. Рух тіла під дією кількох сил.....                                    | 78  |
| Задачі та вправи.....                                                                        | 79  |
| § 23. Тиск і сила тиску. Одиниці тиску .....                                                 | 81  |
| Задачі та вправи.....                                                                        | 84  |
| § 24. Тиск рідин і газів. Закон Паскаля.....                                                 | 85  |
| Задачі та вправи.....                                                                        | 89  |
| § 25. Гідравлічні машини.....                                                                | 91  |
| § 26. Сполучені посудини.....                                                                | 93  |
| § 27. Атмосферний тиск. Вимірювання атмосферного тиску .....                                 | 97  |
| § 28. Манометри .....                                                                        | 101 |
| § 29. Рідинні насоси .....                                                                   | 103 |
| Задачі та вправи .....                                                                       | 104 |
| § 30. Виштовхувальна сила .....                                                              | 108 |
| § 31. Умови плавання тіл .....                                                               | 111 |
| § 32. Гідростатичне зважування .....                                                         | 116 |
| Лабораторна робота № 8. Вимірювання густини речовини методом гідростатичного зважування..... | 117 |
| Задачі та вправи .....                                                                       | 118 |
| Історична довідка .....                                                                      | 121 |
| Перевірте свої знання                                                                        |     |
| Контрольні запитання .....                                                                   | 124 |
| Що я знаю і вмю робити.....                                                                  | 124 |
| Тестові завдання.....                                                                        | 126 |

## Розділ 3. РОБОТА І ЕНЕРГІЯ



|                                                                |     |
|----------------------------------------------------------------|-----|
| § 33. Механічна робота. Одиниці роботи.....                    | 130 |
| § 34. Потужність. Одиниці потужності.....                      | 131 |
| Задачі та вправи .....                                         | 132 |
| § 35. Кінетична і потенціальна енергії .....                   | 134 |
| § 36. Закон збереження механічної енергії .....                | 138 |
| Задачі та вправи .....                                         | 140 |
| § 37. Машини і механізми .....                                 | 143 |
| § 38. Прості механізми.....                                    | 145 |
| § 39. Умова рівноваги важеля. Момент сили .....                | 148 |
| Лабораторна робота № 9. З'ясування умов рівноваги важеля ..... | 150 |
| § 40. «Золоте правило» механіки.....                           | 151 |
| § 41. Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізмів .....           | 152 |
| Лабораторна робота 10. Визначення ККД похилої площини.....     | 153 |
| Задачі та вправи .....                                         | 154 |
| Історична довідка .....                                        | 157 |
| Перевірте свої знання                                          |     |
| Контрольні запитання .....                                     | 159 |
| Що я знаю і вмю робити .....                                   | 159 |
| Тестові завдання.....                                          | 160 |

## Розділ 4. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ. ТЕПЛОВІ МАШИНИ

|                                                                                                      |     |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| § 42. Тепловий рух. Температура тіла. Вимірювання температури .....                                  | 164 |
| Лабораторна робота № 11. Вимірювання температури різними<br>термометрами .....                       | 167 |
| § 43. Внутрішня енергія та способи її зміни. Теплообмін .....                                        | 169 |
| § 44. Види теплообміну .....                                                                         | 172 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 177 |
| § 45. Кількість теплоти. Питома теплоємність речовини .....                                          | 180 |
| § 46. Тепловий баланс .....                                                                          | 185 |
| Лабораторна робота № 12. Вивчення теплового балансу,<br>при змішуванні води різної температури ..... | 186 |
| Лабораторна робота № 13. Визначення питомої теплоємності<br>речовини .....                           | 187 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 188 |
| § 47. Плавлення і кристалізація твердих тіл.<br>Питома теплота плавлення .....                       | 190 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 195 |
| § 48. Випаровування і конденсація рідин.<br>Питома теплота пароутворення .....                       | 196 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 200 |
| § 49. Згоряння палива. Питома теплота згоряння палива .....                                          | 202 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 205 |
| § 50. Теплові двигуни. Екологічні проблеми використання<br>теплових двигунів .....                   | 208 |
| § 51. Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах .....                                | 214 |
| § 52. Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника .....                                                 | 215 |
| Лабораторна робота № 14. Визначення коефіцієнта<br>корисної дії (ККД) нагрівника .....               | 216 |
| Задачі та вправи .....                                                                               | 216 |
| Історична довідка .....                                                                              | 219 |
| Перевірте свої знання .....                                                                          | 221 |
| Контрольні запитання .....                                                                           | 221 |
| Що я знаю і вмію робити .....                                                                        | 221 |
| Тестові завдання .....                                                                               | 222 |

### Допоміжні матеріали

|                                                         |     |
|---------------------------------------------------------|-----|
| Фізичні задачі навколо нас .....                        | 225 |
| Словник фізичних термінів .....                         | 229 |
| Відповіді до задач і вправ .....                        | 232 |
| Відповіді до розділу «Що я знаю і вмію робити» .....    | 234 |
| Відповіді до розділу «Фізичні задачі навколо нас» ..... | 234 |
| Предметно-іменний покажчик .....                        | 237 |



## ЮНІ ДРУЗІ!

Ви щойно відкрили книжку, з якою працюватимете протягом навчального року. Сподіваємося, що вона задовольнить вашу природну цікавість до всього багатства явищ у навколишньому світі.

Вивчаючи фізику в 7 класі, ви, звичайно, дізналися багато нового і цікавого про закономірності навколишнього світу, природні явища, про те, як результати фізичних досліджень застосовують у техніці й побуті, переконалися в необхідності уважної, вдумливої та систематичної роботи з підручником. Ви навчилися працювати з фізичними приладами, виконувати досліди і проводити спостереження.

У підручнику, який ви тримаєте в руках, розглядаються основні закономірності механічних і теплових явищ. Теоретичний матеріал допоможе вам зрозуміти і пояснити ці явища. Звертайте увагу на слова, виділені *курсивом*. Це фізичні терміни, які треба запам'ятати. Правила, означення або важливі фізичні закони надруковано **жирним шрифтом**. Їх необхідно пам'ятати і вміти застосовувати.

Підручник містить багато ілюстрацій, у ньому розглядаються **досліди**, які ви можете виконати самостійно або з допомогою вчителя, наведено **спостереження**, які допоможуть глибше зрозуміти фізичний смисл явищ, що вивчаються. «**Історична довідка**» у кінці кожного параграфу, без сумніву, розширить ваш кругозір.

У рубриці «Розв'язуємо задачі» наведено зразки розв'язань найважливіших видів задач і вправ. Підручник містить задачі, вправи і запитання різних рівнів складності: **А** – на **закріплення** і **Б** – **творчого характеру**.

Перевірити свої знання з кожної теми вам допоможуть «Контрольні запитання», «Тестові завдання» і завдання «Що я знаю і вмію робити», які розміщено наприкінці кожного розділу. «Фізичні задачі навколо нас» навчать вас застосовувати набуті знання на практиці.

Виконані вами **лабораторні роботи** збагатять вас поглибленим розумінням закономірностей фізичних явищ та уміннями ставити досліди і користуватися вимірювальними приладами.

Тим, хто хоче знати більше, стане в пригоді інформація, вміщена в рубриці «Це цікаво знати».

Якщо ви забули якийсь фізичний термін, скористайтесь «Словником фізичних термінів», що міститься в кінці підручника.

Виконуючи спостереження і досліди з фізики, будьте уважними, дотримуйтеся правил техніки безпеки.

Щасливої вам дороги до знань!



# МЕХАНІЧНИЙ РУХ

- Механічний рух
- Відносність руху
- Поступальний рух
- Траєкторія
- Шлях
- Рівномірний і нерівномірний рух
- Швидкість руху тіла
- Обертальний рух тіла
- Період обертання
- Коливальний рух
- Амплітуда, період і частота коливань
- Маятники
- Математичний маятник
- Звук
- Характеристики звуку
- Швидкість поширення звуку
- Інфразвук та ультразвук
- Вплив звуків на живі організми





## §1 МЕХАНІЧНИЙ РУХ

Одним із найпростіших фізичних явищ є механічний рух тіл. Ми бачимо, що тіла, які нас оточують, рухаються або перебувають у спокої. Рухаються люди, літають птахи і літаки, плавають риби тощо. Нерухомими є дерева, будинки, стовпи ліній електропередачі. Яким чином ми визначаємо щоразу, рухається тіло чи ні, особливо, коли воно далеко від нас і ми, наприклад, не чуємо робочого шуму двигуна автомобіля і не бачимо, чи обертаються його колеса?

• **Спостереження.** Простежимо за положенням автомобіля на дорозі відносно якогось нерухомого предмета, наприклад, дерева на узбіччі. Якщо відстань автомобіля від нього з часом змінюється, то доходимо висновку, що автомобіль рухається. Якщо змін у положенні автомобіля відносно дерева немає, то говоримо, що автомобіль не рухається, тобто перебуває у спокої.

Так само визначаємо, рухається чи перебуває у спокої поїзд, пароплав або будь-яке тіло.

▶ **Зміну положення тіла з часом відносно інших тіл називають механічним рухом.**

Прикладами механічного руху є рух планет навколо Сонця, хмар у небі, води в річках та океанах, різних частин машин і верстатів, людей, тварин, політ птахів.

А яку роль відіграють розміри тіла під час опису його руху? В деяких випадках без уточнення розмірів тіла та його частин обійтися неможливо. Наприклад, коли автомобіль заїжджає в гараж, то розміри гаража і автомобіля для водія матимуть найбільше значення. Але є багато таких ситуацій, коли розмірами тіла нехтують. Якщо, наприклад, згаданий автомобіль рухається з Києва до Полтави і потрібно розрахувати час його руху, то нам однаково, які його розміри.

Якщо розміри тіла набагато менші за відстань, яку воно проходить під час руху, то для спрощення дослідження цього руху розмірами тіла можна знехтувати, тобто замінити реальне протяжне тіло на його фізичну модель — матеріальну точку. Матеріальна точка — це об'єкт без розмірів подібно до геометричної точки, який має масу досліджуваного тіла.

Надалі залежно від умов руху досліджуваного тіла вважатимемо його або матеріальною точкою, або таким, що складається із сукупності матеріальних точок.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають механічним рухом?
2. Наведіть приклади механічних рухів.
3. У яких випадках тіло можна розглядати як матеріальну точку?
4. Чи можна вважати матеріальною точкою земну кулю?



## §2 ВІДНОСНІСТЬ РУХУ

Ви вже знаєте, що механічний рух — це зміна положення тіла з часом відносно інших тіл. Човен, наприклад, рухається відносно берега річки або озера, автомобіль — відносно дороги, людина — відносно дерев або будинків, різець токарного верстата — відносно основи верстата, космічний корабель — відносно Землі або інших планет.

**Рух тіл завжди відносний. Усі тіла природи перебувають у русі, тому будь-який рух або спокій є відносним, тобто стан тіла залежить від того, відносно якого тіла цей стан розглядають.**

• **Спостереження 1.** Уявімо пасажирів, який їде у вагоні поїзда. Що можна сказати про механічний стан пасажирів? Його сусід по вагону скаже, що він нерухомий, тому що сидить на місці, а подорожній, повз якого рухається поїзд, запевняє, що пасажир рухається повз нього. І справді, кожен з них правий: сусід по вагону розглядає положення пасажирів відносно предметів у вагоні, а подорожній — відносно залізничного полотна або відносно Землі, або відносно себе.

У зв'язку з тим, що обидва спостерігачі розглядали положення пасажирів відносно різних предметів, то вони й дійшли різних висновків.

• **Спостереження 2.** Пасажир сидить у закритому вагоні, де він бачить тільки його стіни і закриті вікна. Чи зможе він сказати, в якому стані перебуває вагон? Якщо вагон буде повільно рухатися без поштовхів, поворотів і гуркоту, то неможливо визначити, рухається вагон чи ні. Треба підійти до вікна і подивитися, чи змінюється з часом положення вагона відносно будівель або інших нерухомих предметів уздовж залізничного полотна, тільки після цього можна сказати, рухається вагон чи стоїть на місці.

• **Спостереження 3.** Ви сидите в пасажирському вагоні під час зупинки. Поряд стоїть сусідній поїзд, який затуляє від вас станційні споруди. Кожен може пригадати, що коли раптом вікна сусіднього поїзда почнуть «пропливати» повз вас, у першу мить здається, що це рушив ваш вагон. Тільки з часом, коли побачите, що вокзал стоїть на місці, усвідомлюєте свою помилку і пішов сусідній поїзд.

Ця помилка природна, причина її полягає у відносності руху і спокою: відносно Землі ваш вагон перебуває у спокої, сусідній поїзд — рухається, якщо ж вважати, що він перебуває у спокої, то через зміну відносного положення здається, що рушив ваш вагон.

Таким чином, щоб визначити, рухається тіло чи ні, ми повинні вказати, відносно якого тіла розглядаємо рух.

**Тіло, відносно якого розглядають рух, називають тілом відліку.**

Тіла відліку обирають довільно. Під час вивчення різних рухів за тіло відліку прийматимемо Землю, пароплав, будинок, поїзд або будь-яке інше тіло, нерухоме відносно Землі, наприклад, стіл фізичного кабінету, на якому виконуватимемо досліди.

Отже, щоб говорити про те, рухається тіло (наприклад, вантажний автомобіль) чи перебуває у стані спокою, потрібно спочатку вибрати тіло відліку, а потім подивитися, чи змінюється відносно нього положення тіла, що розглядається.

Властивості механічного руху, зокрема відносність руху і спокою, вивчав знаменитий італійський учений Галілео Галілей.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають відносним?
2. Яке тіло називають тілом відліку?
3. Як визначити, рухається тіло чи перебуває у стані спокою?
4. Хто перебуває в русі: пасажир, який їде в автобусі, чи людина, яка стоїть на автобусній зупинці?
5. Що насправді рухається: Земля навколо Сонця чи Сонце — навколо Землі?

## §3

### ПОСТУПАЛЬНИЙ РУХ. ТРАЄКТОРІЯ. ШЛЯХ

У природі, техніці, побуті існує багато видів механічного руху тіл. Найпростішим з них є поступальний.

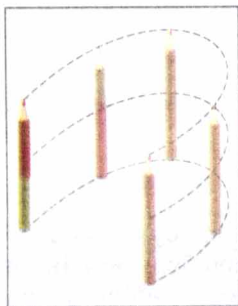
Рух автомобіля на прямолінійній ділянці дороги, рух поршня у циліндрі двигуна автомобіля, рух шухляди, яку ми витягуємо зі стола, є прикладами поступального руху. Під час поступального руху будь-який виділений напрям у тілі, що рухається, наприклад, планка у висувній шухляді, залишається паралельним своєму вихідному положенню. На малюнку 1 показано поступальний рух олівця — бачимо, що у різні моменти руху олівці паралельні.

Якщо безперервно фіксувати у просторі положення певної матеріальної точки рухомого тіла, то отримаємо лінію, яку називають траєкторією руху.

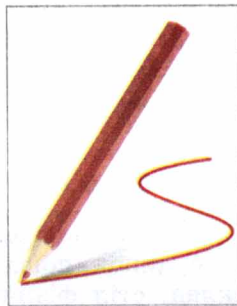


**Траєкторія — це уявна лінія, яку описує матеріальна точка під час руху.**

На малюнку 1 показано траєкторії трьох точок олівця під час поступального руху — бачимо, що всі вони мають однакові форму і довжину. Тому щоб вивчити поступальний рух тіла, достатньо вивчити рух однієї з його точок.



Мал. 1



Мал. 2

Коли матеріальна точка рухається уздовж прямої, то такий рух називають **прямолінійним**, а якщо траєкторія точки крива, — **криволінійним**.

Часто траєкторію тіла можна спостерігати наочно — олівець під час малювання залишає слід на папері — траєкторію руху кінчика грифеля (мал. 2). Траєкторію польоту літака ми визначаємо по сліду, який він залишає в небі (мал.3).

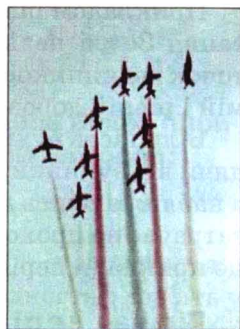


Форма траєкторії залежить від вибору тіла відліку. Наприклад, відносно Землі траєкторія руху Місяця є колом, а відносно Сонця — лінією складної форми.

У подальшому, якщо не вказано інші тіла відліку, розглядатимемо рух тіл відносно Землі.

Коли тіло рухається своєю траєкторією, то довжина пройденої її ділянки з часом збільшується.

**Довжину траєкторії, яку описує тіло під час руху протягом певного інтервалу часу, називають шляхом.**



Мал. 3

Шлях позначають малою латинською літерою  $l^*$ . Одиницею шляху в СІ є **один метр (1 м)**.

На практиці користуються також іншими одиницями шляху:

$$1 \text{ м} = 100 \text{ см} = 1000 \text{ мм};$$

$$1 \text{ км} = 1000 \text{ м} = 100\,000 \text{ см} = 1\,000\,000 \text{ мм};$$

$$1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}.$$

$$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м};$$



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають поступальним? Наведіть приклади поступального руху.
2. Що таке траєкторія?
3. Що таке шлях? Які одиниці шляху ви знаєте?

## §4 РІВНОМІРНИЙ І НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ

Якщо тіло за першу секунду пройшло шлях 5 м, за другу — знову 5 м, за третю — 5 м і т. д., тобто за кожну будь-яку секунду тіло проходить однаковий шлях, то такий рух є рівномірним.

**◆ Дослід.** Візьмемо скляну трубку завдовжки 1 м і діаметром 1 см (мал. 4). Закриємо її з обох боків пробками, попередньо наливши в неї води так, щоб у ній залишилася повітряна бульбашка. Тепер встановимо трубку вертикально або з нахилом так, щоб у початковий момент повітряна бульбашка була розташована у нижньому кінці трубки. Бульбашка почне повільно спливати, і буде зручно спостерігати за характером її руху. В результаті досліду переконуємося, що бульбашка повітря проходитьиме однакові відрізки шляху за однакові інтервали часу. Отже, рух бульбашки є рівномірним.



Мал. 4

**Рівномірним рухом називають такий рух, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу проходить однаковий шлях.**

\* У науковій і навчальній літературі шлях ще позначають малою латинською літерою  $s$ .

Прикладом рівномірного руху є рух точки земної поверхні під час обертання Землі навколо своєї осі. За рівномірний рух можна прийняти рух точок годинникових стрілок, рівномірно може рухатися автомобіль по прямій і рівній дорозі.

Більшість рухів у природі є нерівномірними. Наприклад, автобус, відходячи від зупинки, за однакові інтервали часу проходить все більший шлях, а наближаючись до зупинки, — навпаки. Бігун, беручи участь у змаганнях, затрачає на проходження однакових кіл різний час. Рух автобуса і бігуна — це приклади нерівномірного руху.

**Під час нерівномірного руху тіло за однакові інтервали часу проходить неоднакові шляхи.**



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають рівномірним? Наведіть приклади руху, близького до рівномірного.
2. Який рух називають нерівномірним? Наведіть приклади нерівномірного руху.

## §5

## ШВИДКІСТЬ РУХУ ТА ОДИНИЦІ ШВИДКОСТІ

Човен, що рівномірно рухається по морю, обганяють дельфіни, які теж пливають рівномірно. Чим різняться ці рівномірні рухи: човна і дельфінів? Їх відмінність полягає у тому, що дельфіни рухаються швидше від човна. Літак рухається швидше, ніж поїзд, але повільніше, ніж штучний супутник Землі. А це означає, що протягом того самого інтервалу часу дельфіни пропливають більший шлях, ніж човен, літак пролітає більший шлях, ніж проходить поїзд, а супутник — більший шлях, ніж літак.

Рухи човна, дельфінів, поїзда, літака і супутника різняться їхньою **швидкістю**. Кажуть, що те тіло, яке за одиницю часу проходить більший шлях, рухається з більшою швидкістю.

**Швидкість рівномірного руху тіла — це фізична величина, яка показує, який шлях проходить тіло за одиницю часу.**

Наприклад, якщо за кожну годину автомобіль проїжджає 60 км, а літак пролітає 600 км, то говорять, що швидкість руху автомобіля дорівнює 60 км за годину, а швидкість руху літака — 600 км за годину.

Швидкість руху тіла позначають малою латинською літерою  $v$ . Одиницею швидкості в СІ є один метр за секунду ( $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ).

**$1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  — це швидкість руху тіла, під час якого воно за 1 с проходить шлях 1 м.**

Застосовують ще такі одиниці швидкості руху тіла:



$$1 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,01 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{км}}{\text{с}} = 1000 \frac{\text{м}}{\text{с}}; 1 \frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Щоб визначити швидкість рівномірного руху тіла, треба шлях, пройдений тілом за певний інтервал часу, поділити на цей інтервал:

$$v = \frac{l}{t},$$

де  $v$  — швидкість руху тіла;  $l$  — шлях, пройдений тілом;  $t$  — час руху тіла.

На відміну від інших фізичних величин, значення швидкостей лежать у визначених межах: від 0 (коли тіло перебуває у спокої) до швидкості поширення світла у безповітряному просторі, яка дорівнює  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Швидкість звичайної ходи людини дорівнює  $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Під час бігу на довгі дистанції людина розвиває швидкість до  $7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а на короткі — до  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Велосипедист може їхати зі швидкістю  $14 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . У воді плавець рухається зі швидкістю  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

Ці значення швидкостей незначні порівняно зі швидкістю представників тваринного світу. Якби ноги спортсмена-бігуна рухалися так само швидко, як ноги мурашки, то він розвинув би швидкість до  $1500 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Найбільша швидкість руху людини втричі менша за швидкість руху гепарда. У воді людина плаває у 18 разів повільніше, ніж найшвидший житель океану — меч-риба. Голубий кит, маса якого дорівнює 130 т, може розвивати у воді швидкість до  $37 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Для порівняння вкажемо, що моторний човен може рухатися зі швидкістю  $30 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ .

Проте людина створила транспортні засоби, які розвивають значні швидкості. Гепард вже не може змагатися з легковим автомобілем, поїздом чи мотоциклом. Спеціальні гоночні автомобілі розвивають швидкість до  $284 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  ( $1022,4 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ). Вертольоти і літаки значно випереджають золотистого орла — найшвидшого з птахів. Космічним ракетам, які летять до інших планет, надають швидкостей від 10 до  $17 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ .

Швидкість руху тіла характеризується не тільки числовим значенням, а й напрямом. Наприклад, щоб дізнатися, де буде за 5 год подорожі турист, який вийшов з Києва, треба знати не тільки з якою швидкістю він рухається, а й в якому напрямі (напрямі швидкості).

Величини, які залежать від напрямку в просторі, називають **векторними величинами**, або **векторами**.

**Швидкість руху тіла є векторною величиною.**



Мал. 5

На малюнках вектор швидкості зображають стрілкою, напрям якої збігається з напрямом швидкості, а довжина дорівнює числовому значенню швидкості у певному масштабі (мал. 5).

Знаючи швидкість рівномірного руху тіла, можна визначити шлях, який воно проходить за певний час. Нехай, наприклад, велосипедист рухається зі швидкістю  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Це означає, що за кожну секунду він проїжджає 5 м. Оскільки рух велосипедиста рівномірний, то він за 10 с подолає шлях у 10 разів більший, тобто  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  помножимо на 10 с і отримаємо 50 м.

**Щоб визначити шлях, який проходить тіло під час рівномірного руху, треба швидкість руху тіла помножити на час його руху:**

$$l = vt.$$

Знаючи шлях і швидкість рівномірного руху тіла, можемо визначити час його руху. Наприклад, за який час плавець перепливе озеро завширшки 200 м, якщо він пливе зі швидкістю  $2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?

За 1 с він пропливає 2 м. Щоб визначити, скільки секунд він затратить на те, щоб пропливти 200 м, треба дізнатися, скільки разів у 200 м міститься 2 м. Для цього 200 поділимо на 2 і отримаємо 100. Час, за який плавець пропливе озеро, дорівнює 100 с, або 1 хв 40 с.

**Щоб визначити час руху тіла, треба пройдений тілом шлях поділити на швидкість руху тіла:**

$$t = \frac{l}{v}.$$

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Американська ящірка бігає по воді, як по твердій землі зі швидкістю  $11 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Якби це могла зробити людина, то її ступні за розмірами нагадували б розкриті парасольки, а за секунду вона мала б робити 20 кроків.
- В Австралії щороку проводяться змагання, в яких беруть участь незвичайні бігуни — земляні черв'яки — найшвидші безногі бігуни (повзуни), які рухаються зі швидкістю  $15 \frac{\text{м}}{\text{год}}$ .
- Жук-скакун має гарний зір, але під час бігу зі швидкістю  $8 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  він нічого не бачить. Якби він мав розміри людини, то 100 м пробігав би за 0,5 с.
- Акула плаває у 10 разів швидше, ніж людина-спортсмен, досягаючи швидкості  $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . А креветка-богомол наносить удар клешнею зі швидкістю дрібнокаліберної кулі (удар триває 0,005 с).
- У підручниках з ботаніки ви знайдете багато цікавих відомостей. Наприклад, що швидкість руху води у стовбурі хвойних рослин досягає 0,5 —  $1,0 \frac{\text{см}}{\text{год}}$ , а в листяних набагато більше — до  $40 \frac{\text{см}}{\text{год}}$ . Швидкість ця залежить від багатьох зовнішніх чинників і передусім — від температури навколишнього середовища.



**ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. Чим відрізняються один від одного рівномірні рухи плавця, гепарда, орла і літака?
2. Що показує швидкість рівномірного руху тіла?
3. Як визначити швидкість, знаючи пройдений шлях і час руху тіла?
4. Назвіть одиниці швидкості руху тіла.
5. Швидкість руху тіла є векторною величиною. Що це означає?

**\$6**
**СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ**

Якщо тіло рухається нерівномірно, то за однакові інтервали часу воно проходить неоднакові шляхи. З цього можемо зробити висновок, що швидкість руху тіла за кожний інтервал часу змінюється.

Значення швидкостей руху в живій і неживій природі лежать у широкому інтервалі, деякі з них наведено у таблиці 1.

Таблиця 1

**Швидкості руху в природі,  $\frac{м}{с}$** 

|        |        |                           |             |
|--------|--------|---------------------------|-------------|
| Равлик | 0,0014 | Звук у повітрі (при 0 °C) | 331         |
| Муха   | 5      | Місяць навколо Землі      | 1 000       |
| Шпак   | 20     | Земля навколо Сонця       | 30 000      |
| Страус | 22     | Світло у вакуумі          | 300 000 000 |

Не всі вказані в табл. 1 рухи є рівномірними. Лише звук і світло за певних умов поширюються зі сталою швидкістю. Швидкості решти тіл змінюються під час руху. Тому для них вказано середні або найбільш досяжні значення.

Отже, під час нерівномірного руху тіла його швидкість може значно змінюватися у різних точках траєкторії, але для спрощення часто користуються середньою швидкістю нерівномірного руху на певній ділянці шляху або за певний час руху, умовно покладаючи його рівномірним.

**Середня швидкість руху тіла, визначається відношенням пройденого ним шляху до повного часу руху:**

$$v_c = \frac{l}{t},$$

де  $v_c$  — середня швидкість руху тіла;  $l$  — весь пройдений тілом шлях;  $t$  — повний час руху тіла.

Звичайно, отримані при цьому значення середньої швидкості можуть не збігатися зі швидкістю руху тіла на окремих ділянках траєкторії. Під час нерівномірного руху тіло на одних ділянках має меншу швидкість, на інших — більшу. Наприклад, літак, починаючи зліт, збільшує свою швидкість, потім летить з певною сталою швидкістю, перед посадкою зменшує швидкість руху.

## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

Якщо рухатися рівномірно по прямій (швидкість вказано в дужках), то подорож до Місяця тривала б:

- пішки ( $5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ) — 8 років 280 днів;
- на велосипеді ( $30 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ) — 1 рік 163 дні;
- на автомобілі ( $100 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ) — 160 днів;
- на космічному кораблі ( $28\,000 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ) — 13 год 43 хв.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яку швидкість руху тіла мають на увазі, коли говорять, що швидкість руху літака дорівнює  $700 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ?
2. Як визначити середню швидкість нерівномірного руху тіла?
3. Як визначити пройдений тілом шлях, знаючи швидкість і час його руху?
4. Як визначити час руху тіла, знаючи пройдений ним шлях і швидкість руху?

## §7

### ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ РІВНОМІРНОГО РУХУ ТІЛА

Як відомо, всі тіла природи перебувають у механічному русі. Вони можуть рухатися рівномірно або нерівномірно по безлічі різних тракторій, які можуть бути дуже складними. Розглядатимемо далі найпростіший для дослідження і опису вид механічного руху тіл — **прямолінійний рівномірний рух**.

Прямолінійний рух — це такий рух, під час якого траєкторією тіла є пряма лінія. Прикладом прямолінійного руху може бути рух автомобіля на ділянці шосе, де немає підйомів, спусків і поворотів.

**Прямолінійним рівномірним рухом називають такий рух, під час якого тіло за будь-які рівні інтервали часу проходить однакові шляхи по прямолінійній траєкторії.**

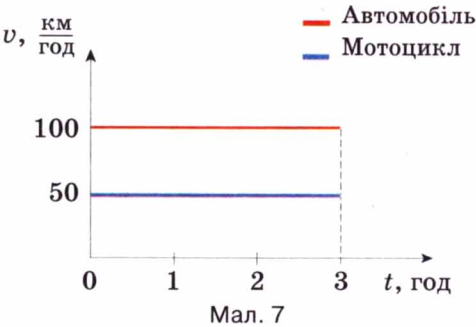
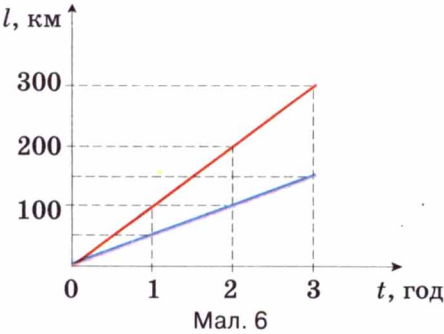
Прямолінійний рівномірний рух тіла дуже зручно представляти і вивчати у вигляді графіків залежності пройденого тілом шляху від часу його руху (графік руху) і залежності швидкості тіла від часу його руху (графік швидкості).

Розглянемо **приклад**. Нехай автомобіль рухається з Києва до Одеси зі швидкістю  $100 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а мотоцикліст — зі швидкістю  $50 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Для того, щоб побудувати графік залежності пройденого автомобілем шляху від часу руху, потрібно скористатися формулою  $t = vt$  і скласти таку таблицю (с. 17).



| Час,<br>$t$ , год | Шлях, $l$ , км |          |
|-------------------|----------------|----------|
|                   | Автомобіль     | Мотоцикл |
| 0                 | 0              | 0        |
| 1                 | 100            | 50       |
| 2                 | 200            | 100      |
| 3                 | 300            | 150      |

Далі на вертикальній осі відкладаємо у масштабі значення шляху  $l$ , а на горизонтальній осі — відповідні їм значення часу руху  $t$ , наносимо точки на площину і будуємо графіки руху (мал. 6).



Як видно з малюнка, графік залежності пройденого тілом шляху від часу, або **графік руху** — це пряма лінія, яка проходить через початок координат і напрямлена під кутом до осі часу, причому кут нахилу до осі часу тим менший, чим менша швидкість руху тіла. Швидкість руху автомобіля більша за швидкість руху мотоцикліста, тому кут нахилу графіка руху автомобіля до осі часу більший.

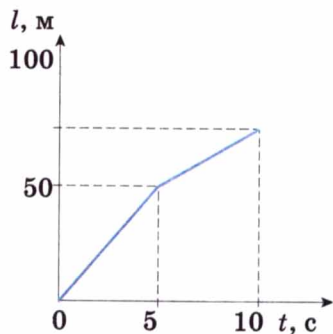
Щоб побудувати графік залежності швидкості руху тіла від часу руху або **графік швидкості**, потрібно на верткальній осі відкласти значення швидкості  $v$ , а на горизонтальній осі — відповідне значення часу руху  $t$ , нанести точки на площину і провести через них суцільну лінію. Для автомобіля і мотоцикліста отримаємо дві прямі лінії, паралельні осі часу (мал. 7). Це наочно показує, що рівномірний рух є рухом зі сталою (незмінною з часом), швидкістю.

Тепер розглянемо інший випадок. Нехай велосипедист рухався 5 с зі швидкістю  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а наступних 5 с — зі швидкістю  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Побудуємо графіки залежності пройденого велосипедистом шляху і швидкості його руху від часу руху. Побудову виконуємо, як і в попередньому прикладі, склавши таблицю:

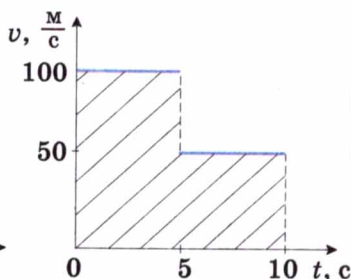
| Час, $t$ , с  | 0 | 5  | 10 |
|---------------|---|----|----|
| Шлях, $l$ , м | 0 | 50 | 75 |

З графіка руху (мал. 8) видно, що на п'ятій секунді велосипедист зменшив швидкість руху, тому і нахил прямої зменшився. Графіком такого руху є ламана.

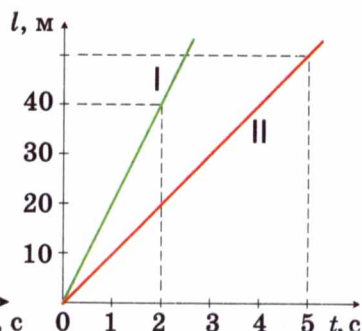
Графік залежності швидкості руху від часу (мал. 9) має вигляд ступін-



Мал. 8



Мал. 9



Мал. 10

частої лінії — «сходинок», яка утвердилася також через зменшення удвічі швидкості руху велосипедиста на п'ятій секунді.

Розглянемо заштриховану фігуру під графіком швидкості: вона складається з двох прямокутників. Виявляється, що, визначаючи площу цих прямокутників через добуток їх висоти і довжини, ми множимо швидкість руху велосипедиста на час його руху і визначаємо пройдений ним шлях на обох ділянках:

$$l = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} + 5 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 5 \text{ с} = 75 \text{ м.}$$

З розрахунків видно, що результат збігається з даними в таблиці.

З наведених прикладів випливає, що за графіками руху і швидкості можна цілком визначити вид, швидкість, час і шлях руху тіла.

Розглядаючи графіки руху, наведені на малюнку 10, робимо висновок, що це графіки прямолінійного рівномірного руху двох тіл I і II, причому швидкість тіла I більша за швидкість тіла II. За графіком визначаємо, що швидкість руху тіла I дорівнює  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а тіла II —  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як зобразити рівномірний рух тіла?
2. Що можна визначити за допомогою графіка залежності швидкості руху тіла від часу?
3. Охарактеризуйте рухи тіл I і II, користуючись графіками на мал. 10.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1

### ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХУ ТІЛА

- **Мета роботи:** навчитися вимірювати швидкість руху тіла.
- **Прилади і матеріали:** вимірювальний циліндр, гумова пробка, пластилін, дистильована вода, секундомір.



## Хід роботи

1. З пластиліну виготовте кульку, діаметр якої майже дорівнюватиме внутрішньому діаметру вимірювального циліндра.
2. Помістіть кульку у вимірювальний циліндр і налейте в нього до самого верху дистильованої води. Щільно закрийте циліндр гумовою пробкою (див. малюнок 11).
3. Переверніть вимірювальний циліндр, кулька буде повільно опускатися. За поділками на циліндрі зафіксуйте положення кульки в певні моменти часу, які ви виміряєте секундоміром. Отримані результати запишіть у таблицю.
4. Визначте швидкість руху кульки. Укажіть, який це рух.
5. Змініть нахил циліндра. Виміряйте швидкість руху кульки в цих випадках. Укажіть, як рухається кулька.
6. Зробіть висновки.



Мал. 11

Додаткове завдання. Побудуйте графіки руху кульки для різних положень циліндра.

| Номер дослідів | Вимірювана величина |         |                                    |
|----------------|---------------------|---------|------------------------------------|
|                | $l$ , см            | $t$ , с | $v$ , $\frac{\text{см}}{\text{с}}$ |
| 1              |                     |         |                                    |
| 2              |                     |         |                                    |
| 3              |                     |         |                                    |

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## ➤ Розв'язуємо разом

1. Якщо велосипедист за перші 5 хв проїхав 5 км, а за наступні 10 хв — 10 км, то чи можна вважати такий рух рівномірним?

Відповідь: так, тому що велосипедист рухався з однаковою швидкістю —  $1 \frac{\text{км}}{\text{хв}}$ .

2. Легковий автомобіль долає відстань 144 км за 2 год. Визначити швидкість руху автомобіля, вважаючи його рух рівномірним.

Дано:

$$l = 144 \text{ км}$$

$$t = 2 \text{ год}$$

$$v = ?$$

Розв'язання.

Для обчислення швидкості руху автомобіля

використаємо формулу:  $v = \frac{l}{t}$ .

$$v = \frac{144 \text{ км}}{2 \text{ год}} = 72 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Щоб знайти швидкість у метрах за секунду, виразимо шлях у метрах, а час — у секундах:  
 $144 \text{ км} = 144\,000 \text{ м}; 2 \text{ год} = 7200 \text{ с}.$

$$\text{Тоді } v = \frac{144\,000 \text{ м}}{7200 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: швидкість руху автомобіля дорівнює  $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , або  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

### Рівень А

#### 1. Доповніть речення:

- Зміна положення тіла відносно інших тіл з часом називається ... рухом.
- Тіло, відносно якого розглядається рух, називається ... відліку.
- ... рухом називається такий рух, під час якого тіло за будь-які ... інтервали часу проходить однакові шляхи.

#### 2. З наведених речень виберіть ті, які є прикладами механічного руху:

ластівка ловить комах у повітрі; світиться електрична лампа; вітер підняв угору аркуш паперу; пожовтіло листя дерев; заснула дитина.

#### 3. Пасажир сидить у вагоні, що рухається. Відносно яких тіл пасажир перебуває у спокої: а) вагона; б) Землі; в) коліс вагона; г) інших пасажирів, які сидять нерухомо у вагоні?

#### 4. Човен пливе по річці. Чому в тумані, коли не видно берегів, не можна вказати напрямку руху човна?

#### 5. Рухається чи перебуває в стані спокою автомобіль, зображений на малюнку 12?



Мал. 12

#### 6. Для транспортування зерна в сховищах, вугілля і руди — в шахтах і в багатьох інших випадках використовують стрічкові транспортери. В якому стані перебуває вугілля відносно стрічки транспортера? Відносно котків? Яка траєкторія руху окремих шматків вугілля?

#### 7. Яку траєкторію описує підводний човен, що рухається по поверхні моря (мал. 13)?



Мал. 13

#### 8. Які рухи можна вважати рівномірними, а які — нерівномірними: рух ескалатора метро; рух літака по смузі аеродрому; рух електропоїзда від станції і на перегоні; рух автомобіля по шосе; падіння крапель дощу?

#### 9. Автомобіль за 1 год проходить 60 км, за 30 хв — 30 км, за 15 хв — 15 км. Як рухається автомобіль?

#### 10. Земля рухається навколо Сонця зі швидкістю $108\,000 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Виразіть цю швидкість у метрах за секунду.



11. На прямолінійній ділянці шляху товарний поїзд рухається зі швидкістю  $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а пасажирський —  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Чи однаково рухаються поїзди?
12. Кальмар (мал. 14) рухається подібно до ракети, з силою викидаючи воду, яку він набирає через рот, і тому його переміщення в товщі води досить швидке. Яку швидкість розвиває кальмар, якщо за 10 с він пропливає 160 м?
13. З якою середньою швидкістю рухався автомобіль, якщо за 20 хв він проїхав по вулицях міста 12 км? Чому в даному разі говоримо про середню швидкість автомобіля?
14. Яка ціна поділки шкали спідометра — приладу для вимірювання швидкості руху автомобіля, зображеного на малюнку 15? Яку швидкість руху він фіксує?



Мал. 14



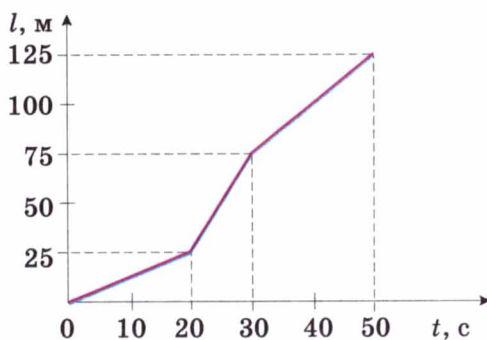
Мал. 15

**Рівень Б**

15. У книжці «В зоряні світи» В. Бережного так описано вихід астронавта з космічного корабля для ремонту антени: «Диво дивне! Йому здалося, що ракета висить на одному місці, висить зовсім не порушно!.. Ну, як же це так — ракета мчить зі швидкістю 12 кілометрів за секунду — тільки подумати! — а руху непомітно». Чому астронавт не помічав руху ракети? В якому стані відносно ракети перебував астронавт?
16. На столі у вагоні поїзда, який рухається, лежить книжка. У русі чи в спокої перебуває книжка відносно: а) стола; б) рейок; в) моста через річку? Як зміняться відповіді на запитання, якщо поїзд стоятиме на станції?
17. Яка траєкторія руху кульки, випущеної з руки? Яка траєкторія цієї кульки, кинutoї вертикально вгору?
18. Які з наведених рухів прямолінійні, а які — криволінійні: рух маятника годинника; рух ящика по дошці, поставлений під кутом до горизонту; рух вантажу по стрічці транспортера; рух поршня автомобільного двигуна; рух Землі навколо Сонця; рух космічного корабля, що летить у напрямку до Марса?
19. Який вигляд має траєкторія руху кінця стрілки годинника?
20. Трубка завдовжки 100 см наповнена водою. У ній може вільно рухатися бульбашка повітря. Швидкість руху бульбашки залежить від нахилу трубки. В одному випадку бульбашка проходить 10 см за 1 с, 20 см — за 2 с, 40 см — за 4 с, 60 см — за 6 с; у другому — 8 см за 2 с, 20 см — за 5 с, 85 см — за 25 с. В якому випадку рух бульбашки є рівномірним?
21. Автобус, рухаючись рівномірно, проїхав 4,5 км за 5 хв, а легковий автомобіль — 300 м за 10 с. Який транспорт рухався швидше?
22. Визначте власну середню швидкість під час ходьби. Для цього пройдіть спокійним кроком 60 або 100 м і зафіксуйте час ходьби.



Мал. 16



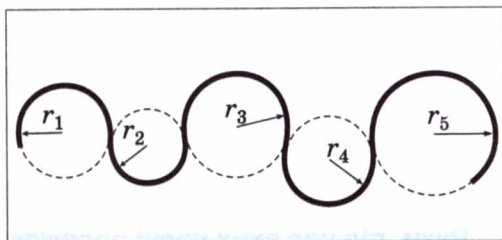
Мал. 17

23. У 1985 році на літаку «Вояджер» (мал. 16) вперше було здійснено політ навколо Землі без посадки і дозаправки паливом. Літак подолав відстань з крейсерською швидкістю  $126 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Протягом якого часу літак перебував у повітрі?
24. Перший космонавт Юрій Гагарін облетів Землю на космічному кораблі «Восток» за 89 хв і 6 с із середньою швидкістю  $7,8 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Який шлях подолав космічний корабель під час польоту?
25. Знаючи середню довжину кроку, визначте швидкість вашого руху. Для цього підрахуйте, скільки кроків зробите протягом 1 хв.
26. Під час руху автомобіля стрілка спідометра займає постійне положення на позначці «45» його шкали. Як рухається автомобіль у цьому випадку? В яких одиницях вимірює спідометр швидкість руху автомобіля?
27. Швидкість руху Землі навколо Сонця дорівнює  $30 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Який шлях пройде Земля за один урок (45 хв)?
28. Радіосигнали поширюються зі швидкістю  $300\,000 \frac{\text{км}}{\text{с}}$ . Через який час спостерігач на Землі прийме радіосигнал, який він послав на Місяць і який відбився від нього, якщо відстань до Місяця дорівнює 384 400 км?
29. Зі Львова у напрямку Києва виїхав вантажний автомобіль зі швидкістю  $90 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а легковий —  $120 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Побудувати графіки залежності пройденого ними шляху і швидкості руху від часу, якщо вони рухалися протягом 5 год.
30. За графіком руху тіла (малюнок 17) визначте:
  - 1) час руху тіла; 2) шлях, який пройшло тіло; 3) швидкість руху тіла на кожній з ділянок.
 Побудуйте графік залежності швидкості руху тіла від часу руху.



## §8 ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ ТІЛА. ПЕРІОД ОБЕРТАННЯ

До цього часу ми вивчали прямо-лінійний рух тіл, хоча в природі й техніці часто відбуваються складніші рухи тіл — криволінійні, коли траєкторією тіла є крива лінія. Будь-яку криву лінію завжди можна представити як сукупність дуг кіл різних радіусів (мал. 18). Тому, вивчивши рух матеріальної точки по колу, зможемо у подальшому вивчати і будь-які інші криволінійні рухи. Крім того, з усіх можливих криволінійних рухів у техніці широко застосовується обертальний рух деталей машин і механізмів, наприклад, обертання шестерень машин і верстатів, деталей, оброблюваних на токарних верстатах, валів двигунів, коліс машин, фрез, свердел тощо. Будь-яка точка цих деталей рухається по колу. Ці дві особливості й зумовили обов'язкове вивчення руху по колу, а саме — рівномірний рух тіла по колу.

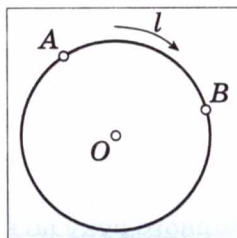


Мал. 18

**Рух матеріальної точки по коловій траєкторії зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямком, називають рівномірним рухом по колу.**

Припустимо, що тіло рівномірно рухається по колу з точки  $A$  в точку  $B$  (мал. 19). Тоді пройдений ним шлях — це довжина дуги  $l$ , а значення швидкості визначимо за формулою:

$$v = \frac{l}{t},$$

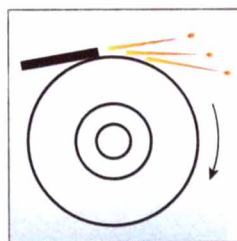


Мал. 19

де  $v$  — швидкість руху тіла по колу;  $l$  — пройдений тілом шлях (довжина дуги);  $t$  — час руху тіла.

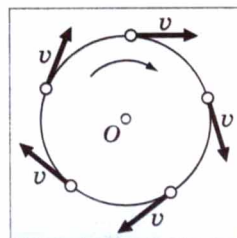
Напрямок швидкості найпростіше визначити на досліді.

♦ **Дослід 1.** До точильного круга, що обертається, торкнемося залізним стержнем. Побачимо, що іскри з-під стержня летять по дотичній до кола цього круга (мал. 20). Результат буде таким самим у будь-якому місці круга. Але кожна іскра — це розжарена частинка, яка відірвалася від круга і летить з такою самою швидкістю, яку вона мала в останній момент рух разом з кругом.

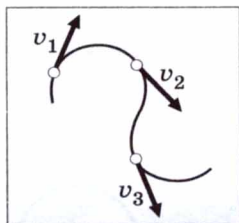


Мал. 20

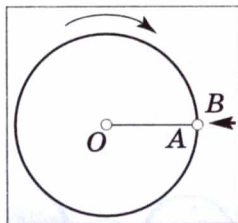
Отже, швидкість матеріальної точки під час руху по колу напрямлена по дотичній до неї у будь-якій точці кола (мал. 21), а з урахуванням представлення кривої на малюнку 18 цей висновок можна поширити на будь-які криволінійні рухи (мал. 22).



Мал. 21



Мал. 22



Мал. 23

♦ **Дослід 2.** Закріпимо на горизонтальній осі  $O$  фанерний диск (мал. 23), на якому проведено радіус  $OA$ . Поряд з точкою  $A$  поставимо покажчик  $B$  і будемо повільно і рівномірно обертати диск. Побачимо, що точка  $A$  з кожним обертом диска знов з'являється навпроти покажчика  $B$ ,

тобто здійснює рух, який повторюється через певний інтервал часу.

► **Рухи, під час яких певні положення матеріальної точки повторюються через однакові інтервали часу, називають періодичними рухами.**

Рівномірний рух по колу — це періодичний рух. Періодичний рух характеризують такими величинами, як **період обертання** і **частота обертання**.

► **Період обертання — це інтервал часу, протягом якого матеріальна точка здійснює один оберт під час рівномірного руху по колу.**

Позначається період обертання літерою  $T$ .

Якщо літерою  $N$  позначити кількість обертів, яке здійснює матеріальна точка під час рівномірного руху по колу за час  $t$ , то період обертання визначається формулою

$$T = \frac{t}{N}.$$

Одиницею періоду обертання в СІ є одна секунда (1 с).

Якщо період обертання дорівнює 1 с, то матеріальна точка під час рівномірного руху по колу здійснює один оберт за 1 с.

► **Частота обертання визначається числом обертів, яке матеріальна точка здійснює за одиницю часу під час рівномірного руху по колу.**

Позначається частота обертання малою латинською літерою  $n^*$ .

Щоб визначити частоту обертання матеріальної точки, треба кількість обертів  $N$ , які вона здійснила за час  $t$ , поділити на цей час:

$$n = \frac{N}{t}.$$

Порівнюючи формули для визначення періоду обертання  $T$  і частоти обертання  $n$ , бачимо, що ці величини пов'язані обернено пропорційною залежністю, тобто:

$$n = \frac{1}{T}.$$

З цієї формули видно, що для визначення одиниці частоти обертання треба одиницю поділити на одиницю періоду обертання, тобто на секунду.

\* У науковій і навчальній літературі частоту обертання ще позначають малою грецькою літерою  $\nu$  (ню).



Одиницею частоти обертання в СІ є **одиниця, поділена на секунду** ( $1 \frac{1}{\text{с}}$ ).  $1 \frac{1}{\text{с}}$  — це частота обертання, під час якого за 1 с матеріальна точка здійснює 1 повний оберт, рухаючись рівномірно по колу. У техніці таку одиницю інколи називають **одним обертом за секунду** ( $1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ ), часто застосовують таку одиницю, як **один оберт за хвилину** ( $1 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ ).



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають рівномірним рухом по колу?
2. Як напрямлена швидкість тіла під час рівномірного руху по колу?
3. Який рух називають періодичним? Якими величинами його характеризують?
4. Що називають періодом обертання? Яка одиниця періоду обертання в СІ?
5. Що показує частота обертання? Яка її одиниця в СІ?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2

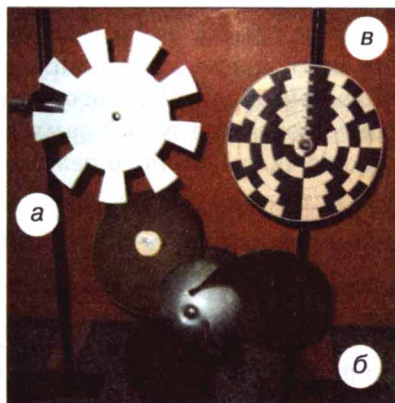
### ВИГОТОВЛЕННЯ МЕХАНІЧНОГО СТРОБОСКОПА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЗА ЙОГО ДОПОМОГОЮ ПЕРІОДИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

- **Мета роботи:** виготовити механічний стробоскоп і дослідити періодичні процеси.
- **Прилади і матеріали:** дерев'яний стержень, кнопка, аркуш цупкого картону, ножиці, олівець, циркуль, стробоскопічний диск на валу мікродвигуна і вентилятор з позначкою (одні на клас).

#### Хід роботи

**Стробоскоп** — прилад, за допомогою якого досліджують періодичні процеси.

1. Виготовте найпростіший стробоскоп, показаний на мал. 24, а.
2. Обертаючи стробоскоп, спостерігайте через його прорізи за обертанням вентилятора з позначкою на лопаті (мал. 24, б). Опишіть спостережувану картину. Коли вентилятор здаватиметься нерухомим? Коли його спостережуване обертання буде за годинниковою стрілкою? проти годинникової стрілки?
3. Дослідіть обертання стробоскопічного диска (мал. 24, в). Опишіть спостережуване явище. За частотою обертання мікродвигуна оцініть максимальну частоту обертання виготовленого стробоскопа.
4. Поясніть стробоскопічні ефекти, які ви спостерігали.



Мал. 24

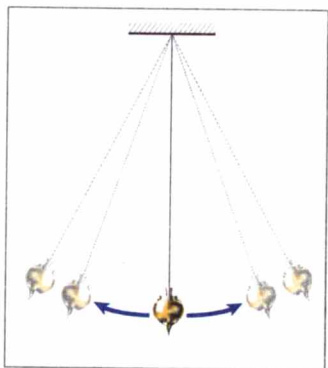
## §9

КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. АМПЛІТУДА,  
ПЕРІОД І ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ

Коливальний рух (коливання) — один з найпоширеніших процесів у природі й техніці.

• **Спостереження.** Під дією вітру коливаються висотні будинки і високочастотні лінії електропередачі, здійснюють коливання маятник заведеного годинника, автомобіль на ресорах під час руху. Землетруси — це коливання земної кори, припливи і відливи — коливання рівня води морів та океанів, зумовлені притяганням Місяця, биття пульсу — результат періодичних скорочень серцевих м'язів людини.

Коливальні явища вивчає спеціальний розділ фізики — теорія коливань. Знання про коливальні процеси потрібні судно- і літакобудівникам, фахівцям промисловості й транспорту, конструкторам радіотехнічної і звукової апаратури та ін.



Мал. 25

◆ **Дослід 1.** Для спостереження та вивчення коливань, а також для застосування у різноманітних приладах використовують маятники. Найпростіший маятник — це кулька, підвішена на нитці до якоїсь опори. Якщо кульку відхилити від вихідного положення рівноваги і відпустити, то вона почне рухатися зліва направо, справа наліво доти, доки коливання не припиняться (мал. 25). У фізиці маятник подібної будови називають **математичним маятником**.

*Які ж найхарактерніші ознаки коливальних рухів?* Проведений дослід дає змогу дійти висновку, що під час коливань певні стани руху тіла повторюються або майже повторюється. Зробивши одне повне коливання, тобто пройшовши шлях від крайнього лівого положення до крайнього правого і назад, тіло, підвішене на нитці, й надалі повторюватиме такий самий рух. Ми вже знаємо, якщо рух тіла повторюється з часом, то його називають періодичним.

Повторюються рухи поршня у двигуні автомобіля, човнів — на хвилях, стержня відбійного молотка, сита сортувальної установки. Все це приклади механічних коливань.

▶ **Механічні коливання** — це такий рух, під час якого положення і швидкість руху тіла точно або приблизно повторюються через певні інтервали часу.

Повторюються рухи поршня у двигуні автомобіля, човнів — на хвилях, стержня відбійного молотка, сита сортувальної установки. Все це приклади механічних коливань.

Математичний маятник складається з кількох тіл, які взаємодіють між собою: Земля і кулька, кулька і нитка, нитка і опора в точці підвісу. Якщо дією інших тіл на маятник можна знехтувати, то кажуть, що тіла у складі маятника утворюють коливальну систему. Якщо вивести коливальну систему із стану рівноваги — відхилити кульку із вихідного поло-



ження і відпустити, то далі коливання будуть продовжуватися без зовнішнього втручання за рахунок взаємодії між тілами системи.

▶ **Коливання, які відбуваються в коливальній системі за рахунок взаємодії між тілами, що її утворюють, називають вільними.**

Розглянуті нами коливання кульки на нитці є прикладом вільних коливань.

А який вигляд мають коливання і якими фізичними величинами вони характеризуються?

◆ **Дослід 2.** Візьмемо маятник, у якого замість кульки підвішено тягарець з наскрізним отвором. За допомогою такого пристрою можна записувати коливання (мал. 26). Установимо в отвір тягарця фломастер, виведемо тягарець із положення рівноваги і відпустимо. Маятник здійснює коливання, а фломастер, торкаючись листа картону, який ми рівномірно протягуємо під час коливань, залишає на ньому слід.

У результаті дослідів отримуємо графік коливань маятника у вигляді накресленої лінії (мал. 27), тобто залежність відхилення маятника від часу. Згодом докладно вивчатимемо цю важливу хвилясту лінію, яку називають **синусоїдою**.

Як видно з малюнка 27, маятник у певний момент відхиляється від положення рівноваги на деяку максимальну відстань. Це відхилення маятника назвали **амплітудою коливань**.

▶ **Амплітуда коливань — це найбільше відхилення тіла від положення рівноваги.**

Амплітуду коливань позначають літерою  $A$ . Її одиницею в СІ є **один метр (1 м)**. Значення амплітуди залежить тільки від того, на яку відстань тіло було відведене від положення рівноваги перед початком коливань.

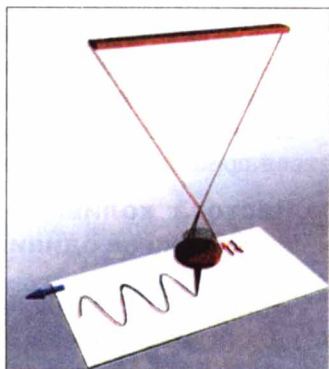
Маятник виконує одне повне коливання за певний час. Тривалість одного повного коливання називають **періодом коливань**.

▶ **Період коливань — це найменший інтервал часу, через який певний стан руху тіла повністю повторюється.**

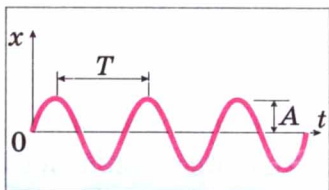
Період коливань позначають літерою  $T$ . Його одиницею в СІ є **одна секунда (1 с)**.

Якщо за час  $t$  відбулося  $N$  повних коливань, то, щоб визначити період  $T$ , треба  $t$  поділити на  $N$ , тобто:

$$T = \frac{t}{N}.$$

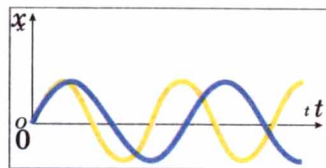


Мал. 26



Мал. 27

♦ **Дослід 3.** Візьмемо маятник, як у досліді 2, але підвісимо тягарець на нитку більшої довжини. Потім так само запишемо графік коливань нового маятника і порівняємо його з графіком у досліді 2. Побачимо, що чим більша довжина маятника, тим більший період його коливань (мал. 28).



Мал. 28

**Період коливань маятника залежить від його довжини. Чим довший маятник, тим більший період його коливань.**

Якщо виконати досліді з пружинним маятником, який складається з пружини і підвішеного до нього тіла, то виявиться, що чим більша маса підвішеного до пружини тіла, тим більший період коливань пружинного маятника.

Коливання характеризуються також частотою коливань, яка позначається грецькою літерою  $\nu$  (ню).

**Частота коливань визначається числом коливань, виконаних системою за одиницю часу.**

Якщо за час  $t$  відбулося  $N$  коливань, то, щоб визначити частоту  $\nu$ , треба  $N$  поділити на  $t$ , тобто:

$$\nu = \frac{N}{T}, \text{ або } \nu = \frac{1}{T}.$$

Частота і період коливань зв'язані обернено пропорційною залежністю, тому:

$$T = \frac{1}{\nu},$$

де  $T$  — період коливань;  $\nu$  — частота коливань.

Одиницею частоти в СІ є **один герц (1 Гц)**.  $1 \text{ Гц} = 1 \frac{1}{\text{с}}$ . Вона названа так на честь відомого німецького фізика **Генріха Герца**. Якщо частота коливань  $\nu = 1 \text{ Гц}$ , то це означає, що відбувається одне коливання за секунду. Приблизно з такою частотою б'ється людське серце. Якщо  $\nu = 50 \text{ Гц}$ , то відбуваються 50 коливань за секунду.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Дослідження показали, що серце миші робить 600 ударів за хвилину, а кита — 15 ударів за хвилину. Проте обидва серця скорочуються за час життя тварини близько по 750 млн разів. Учені вважають, що тривалість життя всіх ссавців (крім людини), виміряна кількістю ударів серця, приблизно однакова.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке коливання? Наведіть приклади механічних коливань.
2. Що називають періодом коливань?
3. Як практично визначити період коливання?
4. Що показує частота коливань?
5. Який зв'язок існує між періодом і частотою коливань?



ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 3

ДОСЛІДЖЕННЯ КОЛИВАНЬ МАЯТНИКА

- **Мета роботи:** визначити дослідним шляхом від яких умов залежить період коливань маятника.
- **Прилади і матеріали:** кульки різної маси, нитки, секундомір, штатив.

Хід роботи

1. Підвісьте кульку на нитку завдовжки 30–40 см. Відхиліть її від положення рівноваги. Підрахуйте кількість коливань кульки і час, протягом якого ці коливання відбувалися. Визначте період коливань маятника. Результати запишіть у таблицю.
2. До цієї самої нитки підвісьте кульку іншої маси. Повторіть попередній дослід. Результати запишіть у таблицю. Зробіть висновок.
3. Змініть довжину нитки і виконайте попередні досліди. Результати запишіть у таблицю. Зробіть висновки.
4. Перевірте, чи зміниться період коливань маятника, якщо кульку відхиляти на різні кути.

| Номер досліду | Довжина нитки, $l$ , см | Маса кульки, $m$ , г | Кількість коливань, $N$ | Час коливань, $t$ , с | Період коливань, $T$ , с |
|---------------|-------------------------|----------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| 1             | $l_1 =$                 | $m_1 =$              |                         |                       |                          |
| 2             |                         | $m_2 =$              |                         |                       |                          |
| 3             | $l_2 =$                 | $m_1 =$              |                         |                       |                          |
| 4             |                         | $m_2 =$              |                         |                       |                          |

ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

➤ Розв’язуємо разом

Якщо під час обертань шліфувального круга точки на його ободі мають швидкість руху  $95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , то виникає небезпека розривання круга. Чи можна цей круг радіусом 20 см обертати з частотою  $100 \frac{1}{\text{с}}$ ?

Дано:

$v_p = 95 \frac{\text{м}}{\text{с}}$   
 $r = 20 \text{ см} = 0,20 \text{ м}$

Розв’язання.

З початкових даних  $v_p$  — значення швидкості, при якій виникає небезпека розривання круга;

$$n = 100 \frac{1}{\text{с}}$$

$$v = ?$$

$v$  — значення швидкості, яку матимуть точки на ободі круга.

Ця швидкість руху дорівнює:  $v = \frac{l}{t}$ .

Для одного обороту шлях  $l = 2\pi r$ , де  $\pi = 3,14$ ;  
 $t = T$ , а  $v = \frac{2\pi r}{T}$ ,  $n = \frac{l}{T}$ , тоді  $v = 2\pi r n$ .

Підставивши значення, отримаємо:

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,20 \text{ м} \cdot 100 \frac{1}{\text{с}} = 125,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Відповідь: отримане значення швидкості більше за те, при якому виникає небезпека розриву. Отже, шліфувальний круг не можна обертати з частотою  $100 \frac{1}{\text{с}}$ .

### Рівень А

31. Період обертання круга дорівнює 14 с. Як ви це розумієте?
32. Частота обертання тіла дорівнює  $10 \frac{1}{\text{с}}$ . Що це означає?
33. По якій траєкторії полетить камінь, що обертається на нитці, якщо нитка раптово обірветься?
34. Визначте період обертання вала токарного верстата, якщо його частота обертання дорівнює  $125 \frac{1}{\text{с}}$ .
35. Визначте швидкість обертання точки земної поверхні, спричиненої добовим обертанням Землі, якщо радіус Землі дорівнює 6400 км. Точка розміщується на екваторі.
36. Період коливань зубила пневматичного молотка дорівнює 0,02 с. Яка частота коливань зубила?

### Рівень Б

37. Шків діаметром 16 см робить 300 обертів за 3 хв. Визначте частоту обертання шківів і яка швидкість рівномірного руху точок обода цього шківів?
38. Визначте радіус колеса, що рівномірно обертається, якщо швидкість точок обода колеса дорівнює  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а частота обертання колеса —  $4 \frac{1}{\text{с}}$ .
39. З якою швидкістю відносно Землі рухаються нижня точка велосипедного колеса, центр колеса і верхня його точка, якщо велосипед рухається зі швидкістю  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?
40. Визначте швидкість рівномірного руху кінця секундної стрілки свого годинника. Яка частота обертання цієї стрілки?
41. Охарактеризуйте фізичні величини «період обертання», «частота обертання».



## § 10 ЗВУК. ХАРАКТЕРИСТИКИ ЗВУКУ

Ми живемо у світі звуків: чуємо голоси людей, спів птахів, звучання музичних інструментів, шум лісу, грім під час грози тощо.

*Що таке звук? Як він виникає? Чим одні звуки відрізняються від інших?*

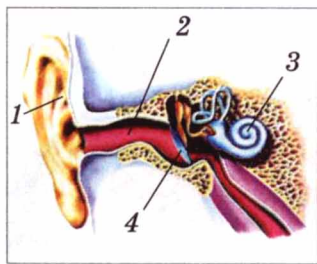
Розділ фізики, в якому вивчають звукові явища, називають **акустикою**.

За допомогою ока, яке сприймає світло, ми можемо спостерігати хвилі на поверхні води як послідовні пагорби і западини, що рухаються. Хвилі, які поширюються в газі або всередині рідини чи твердого тіла, людина за певних умов сприймає за допомогою вуха. Вухо людини — прекрасний приймач звукових коливань (мал. 29). Воно складається з трьох частин: зовнішнього, середнього і внутрішнього вуха. Елементами зовнішнього вуха є вушна раковина 1 і зовнішній слуховий прохід 2. Вони слугують для того, щоб направити звукові хвилі до барабанної перетинки 4. Барабанна перетинка і сполучені з нею три слухові кісточки — це середнє вухо. Вони передають звукові коливання до елемента внутрішнього вуха: через перетинку овального вікна — рідині, що заповнює завитку 3. Тут звукові коливання за допомогою слухових рецепторів перетворюються на послідовність нервових імпульсів, які передаються в мозок слуховим нервом.

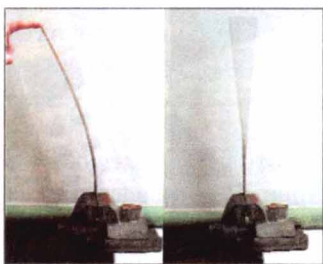
♦ **Дослід 1.** Закріпимо довгу сталеву лінійку в лещатах або щільно притиснимо її до краю столу. Відхиляючи вільний кінець лінійки від положення рівноваги, примусимо її коливатися (мал. 30). Якщо лінійка досить довга, ми нічого не почуємо. Вкоротимо кінець лінійки, що виступає, лінійка почне «звучати».

Сталева лінійка, що коливається, стискає шар повітря, яке прилягає до одного з його боків, і одночасно створює розрідження з другого боку (мал. 31). Ці стиснення і розрідження чергуються у часі і поширюються в обидва боки у вигляді **звукової хвилі** подібно до того, як розходяться хвилі на водній поверхні озера від місця, де впав камінь. Звукова хвиля досягає нашого вуха і спричиняє коливання барабанної перетинки 4 в середньому вусі.

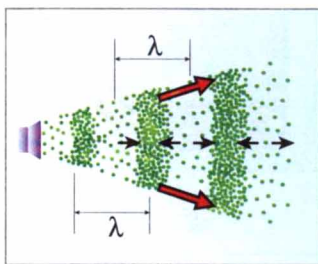
Людське вухо сприймає у вигляді звуку коливання, частота яких лежить в межах від 16–17 до 20 000 Гц. Такі коливання називають звуковими, або акустичними. В попередньому досліді ми спостерігали, що чим коротший кінець лінійки, тим більша частота коливань. Тому ми і починали чути звук, вкоротивши кінець лінійки.



Мал. 29



Мал. 30



Мал. 31

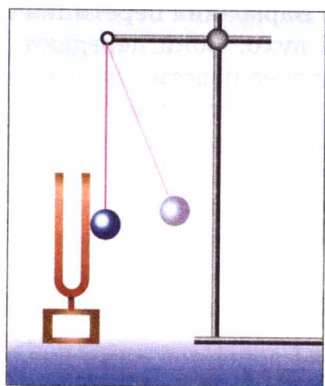
**Будь-яке тверде, рідке або газоподібне тіло, що здійснює коливання із звуковою частотою, створює в навколишньому середовищі звукову хвилю.**



Мал. 32

Звуки, які ми щоденно чуємо, дуже різноманітні. Вони поділяються на музичні звуки і шуми. До перших належить спів, звучання натягнутих струн скрипки (мал. 32), гітари або віолончелі, духових або інших музичних інструментів, свист тощо. Шуми виникають під час грози, створюються двигунами, що працюють, листям, що шелестить. За допомогою органів мови люди можуть відтворювати музичні звуки і, звичайно, створювати шум.

*Але чим з погляду фізики відрізняються музичні звуки від шуму і чому такими несхожими між собою можуть бути музичні звуки?*



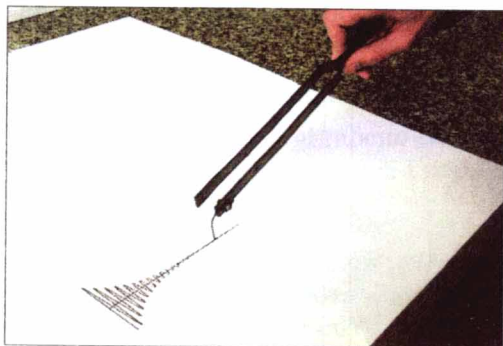
Мал. 33

◆ **Дослід 2.** Візьмемо камертон (від німецького: *кам* — гребінь) і вдаримо кулькою по одній з його ніжок (мал. 33). Ми почуємо музичний звук «ля» частотою 440 Гц. Поступово внаслідок згасання коливань ніжок звук слабшає. Отже, звукова хвиля збуджується ніжками камертона, які здійснюють коливання. Характер цих коливань можна визначити, якщо прикріпити до ніжки камертона грифель олівця і, збудивши коливання камертона, рівномірно провести ним по поверхні аркуша паперу. На папері з'явиться хвиляста лінія (мал. 34), подібна до вже знайомої нам синусоїди. У цьому разі говорять, що ніжки камертона здійснюють гармонічні коливання.

**Звук, створений тілом, яке гармонічно коливається, називають музичним тоном або тоном.**

Музичні тони різняться на слух гучністю і висотою.

Гучність звуку залежить від амплітуди коливань. Чим сильніший удар



Мал. 34



Мал. 35



молоточка по камертону, тим голосніше він звучить, оскільки сильний удар є причиною виникнення коливань більшої амплітуди.

**Гучність звуку залежить від амплітуди коливань у звуковій хвилі.**

Про звуки різної гучності говорять, що один голосніший за інший не в стільки разів, а на стільки одиниць.

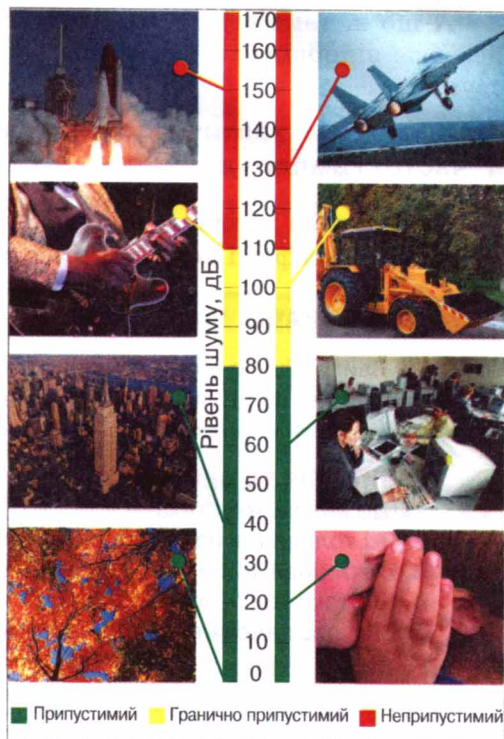
Одиницею гучності в СІ є один децибел (1 дБ). Вона названа на честь американського вченого Александра Грейама Белла — винахідника телефону і слухових апаратів для глухих.

Гучність звуку вимірюють спеціальним приладом — сонометром (мал. 35).

Гучність шелестіння листя становить 10 дБ, шепоту — 20 дБ, вуличного шуму — 70 дБ тощо (мал. 36).

Чутливість вуха залежить від частоти звуку. Звукові коливання однакових амплітуд здаються неоднаково гучними, якщо їх частоти різні. Людське вухо найбільш чутливе до коливань частотою близько 3500 Гц.

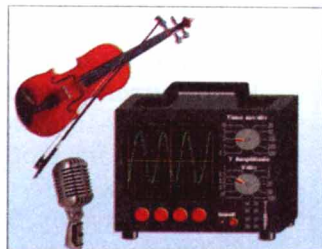
◆ **Дослід 3.** Візьмемо кілька камертонів різних розмірів. По черзі примусимо їх звучати і щоразу грифелем, прикріпленим до ніжки камертона, проведитимемо уздовж аркуша паперу. Порівнюючи отримані результати, побачимо, що чим вище звук камертона, тим менший період коливань і, відповідно, тим більша частота коливань ніжок камертона.



Мал. 36



Мал. 37, а



Мал. 37, б

**Висота звуку залежить від частоти коливань.**

Те саме можна спостерігати на прикладі струни, що коливається. Натягуючи струну гітари або скрипки, ми збільшуємо частоту коливань, висота звуку зростає.

Звукові коливання, які створюються камертонами (наприклад, у камертона «ля» частота коливань — 440 Гц) або музичними інструментами, можна спостерігати за допомогою комп'ютера або осцилографа (мал. 37 а, б).

А що ж таке шум? Шум відрізняється від музичного тону тим, що йому не відповідає якась певна частота коливань і, отже, певна висота звуку.

**Шум — це хаотична суміш багатьох звукових коливань різних частот і амплітуд.**

Який вигляд мають ці коливання, також можна побачити, використувавши мікрофон і комп'ютер або осцилограф.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Найгучнішою у світі твариною є голубий кит. Він може видавати звуки гучністю 188 дБ, які чути на відстані до 850 км від кита.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що вивчає акустика?
2. Які коливання називають звуковими, або акустичними?
3. Які основні види звуків ви знаєте?
4. Що таке тон? Що таке шум?
5. Від чого залежать гучність і висота звуку?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ВИВЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЗВУКУ

- **Мета роботи:** на дослідах ознайомитися з характеристиками звуку.
- **Прилади і матеріали:** довга дерев'яна палка, столова ложка, нитки, скляна банка місткістю 3 л, механічний годинник, гумовий шнур, штатив, кусок картону (цупкий папір, листівка), скляна пляшка, посудина з водою.

#### Хід роботи

1. Візьміть столову ложку і прив'яжіть до неї нитку завдовжки 70—80 см так, щоб вузол був посередині нитки, а кінці її залишалися вільними. Кінці ниток для зручності змотайте у невеличкі мотки, вкладіть у вуха і утримуйте притиснутими пальцями. Трохи нахилившись, розгойдайте ложку так, щоб вона вдарилася об край столу. Зробіть висновок на основі своїх відчуттів.
2. Візьміть скляну банку місткістю 3 л. На дно покладіть механічний годинник. Поставте банку на стіл так, щоб вуха були нижче отвору. Візьміть кусок картону або фанери, розмістіть його над отвором і, змінюючи нахил листа відносно отвору і вух, зробіть висновок на основі своїх відчуттів.



3. Візьміть гумовий шнур і, закріпивши його до штатива, пальцем вдаряйте як по струні, змінюючи натяг шнура. Зробіть висновки на основі своїх відчуттів.
4. Підготуйте гребінці з різною густотою зубчиків. Куском цупкого паперу або листівки проводьте по зубчиках гребінців. Зробіть висновки на основі своїх відчуттів.
5. Обережно вдаряйте ложкою по порожній пляшці. Поступово заповнюйте пляшку водою, постукуючи по ній. Зробіть висновки на основі своїх відчуттів.

## §11 ШВИДКІСТЬ ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ

Звукові хвилі подібно до всіх інших хвиль поширюються з певною швидкістю.

• **Спостереження 1.** Кожен помічав, що на поверхні води в озері від місця падіння каменя з певною швидкістю розходяться хвилі у вигляді горбиків і западин, а через якийсь час вони досягають берега і набігають на нього. Що ж таке хвиля?

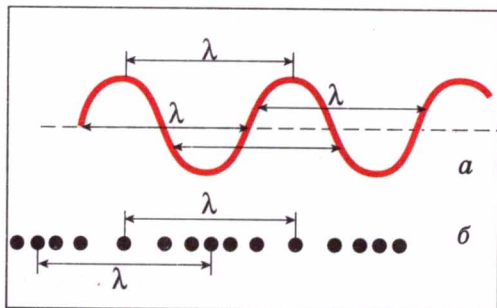
Удар каменя збуджує коливання частинок води, які передаються сусіднім ділянкам рідини, які у свою чергу починають коливатися, і так далі.

▶ **Механічною хвилею називають поширення коливань у пружному середовищі.**

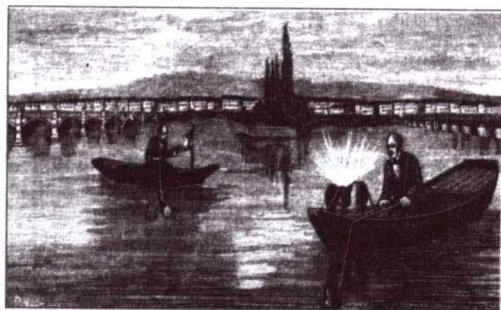
За час, що дорівнює періоду коливань  $T$ , горбик хвилі, рухаючись із швидкістю  $v$ , пройде шлях, який позначають грецькою літерою  $\lambda$  і називають довжиною хвилі, тобто

$$\lambda = vT.$$

▶ **Довжина хвилі — це відстань, на яку поширюється будь-який стан коливання (горбик, западина) за час, що дорівнює періоду коливання.**



Мал. 38



Мал. 39

На воді довжину хвилі досить легко виміряти: вона дорівнює відстані між сусідніми горбиками або сусідніми западинами (мал. 38, а). Щоб визначити швидкість поширення хвилі  $v$ , треба довжину хвилі  $\lambda$  поділити на період коливань  $T$  (або помножити на частоту  $\nu$ , оскільки  $\nu = \frac{1}{T}$ ):

$$v = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu.$$

• **Спостереження 2.** Ви, напевно, помічали, що спалах блискавки передуює удару грому. Якщо гроза далеко, то запізнення грому може досягати десятків секунд. Це запізнення зумовлене тим, що звуковій хвилі потрібний час, щоб дістатися вуха від місця спалаху блискавки.

**Звукова хвиля** — це поширення шарів згущеного і розрідженого повітря, які чергуються в просторі і спричинені коливаннями джерела, наприклад, ніжок камертона. На мал. 38, б видно, що довжина хвилі  $\lambda$  в цьому разі дорівнює відстані між сусідніми ділянками згущень або розріджень повітря. Так само, як у випадку хвиль на воді, швидкість звукової хвилі можна визначити за формулою:

$$v_{\text{зв}} = \frac{\lambda}{T} = \lambda \nu,$$

де  $v_{\text{зв}}$  — швидкість поширення звукової хвилі в середовищі;  $\lambda$  — довжина хвилі;  $T$  — період коливань;  $\nu$  — частота коливань.

Швидкість звуку залежить від середовища, в якому він поширюється. За допомогою дослідів Д. Ф. Араго, Проні і Ж. Гей-Люссак у 1822 р. встановили, що у повітрі при температурі  $10^\circ\text{C}$  швидкість поширення звукових хвиль дорівнює  $337,2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Знаючи швидкість поширення звуку, можна за наведеними формулами визначити довжини хвиль у повітрі, що відповідають межах чутності людського вуха:

для  $\nu_{\text{н}} = 20 \text{ Гц}$  довжина хвилі  $\lambda_{\text{н}} \approx 17 \text{ м}$ ;

для  $\nu_{\text{в}} = 20\,000 \text{ Гц}$  довжина хвилі  $\lambda_{\text{в}} \approx 1,7 \text{ см}$ .

У воді швидкість поширення звуку більша, ніж у повітрі. Вперше її виміряли у 1827 р. на Женевському озері в Швейцарії. На одному човні запалювали порох і синхронно вдарили в підводний дзвін (мал. 39). Другий човен був на відстані 14 км від першого. Звук уловлювали за допомогою опущеного у воду рупора. За різницею часу між спалахом світла і надходженням звукового сигналу визначили швидкість поширення звуку. При температурі  $8^\circ\text{C}$  швидкість поширення звуку у воді дорівнює  $1435 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

У твердих тілах швидкість поширення звуку ще більша, ніж у рідинах. У таблиці 2 наведено значення швидкості поширення звукових хвиль у різних середовищах.



Швидкість поширення звуку в різних середовищах

Таблиця 2

| Тверде тіло | $v, \frac{м}{с}$ | Рідина<br>(при 20 °С) | $v, \frac{м}{с}$ | Газ<br>(при 0 °С) | $v, \frac{м}{с}$ |
|-------------|------------------|-----------------------|------------------|-------------------|------------------|
| Алюміній    | 6260             | Ацетон                | 1192             | Азот              | 334              |
| Залізо      | 5850             | Бензин                | 1170             | Водень            | 1284             |
| Лід         | 3980             | Вода                  | 1460             | Повітря           | 331              |
| Гума        | 1040             | Вода морська          | 1451             | Гелій             | 965              |
| Скло        | 5990             | Гліцерин              | 1923             | Кисень            | 316              |
| Фарфор      | 5340             | Ртуть                 | 1451             | Метан             | 429              |
| Ебоніт      | 2405             | Спирт                 | 1180             | Вуглекислий газ   | 259              |

У таблиці 2 вказано значення швидкості поширення звуку в різних середовищах при певній температурі, адже швидкість поширення звуку в середовищі залежить від її температури.

Наприклад, швидкість поширення звуку в рідинах (за винятком води) з підвищенням температури зменшується, а в газах швидкість поширення звуку при незмінному тиску з підвищенням температури збільшується.

Сучасна техніка дає змогу виміряти швидкість поширення звуку з високою точністю (мал. 40).

**Швидкість поширення звуку в середовищі залежить від його температури.**

◆ **Дослід.** Розмістимо джерело звуку під ковпаком повітряного насоса (мал. 41), і почнемо откачувати з нього повітря. У міру того, як кількість повітря під ковпаком зменшується, звук слабшає, а потім взагалі зникає.

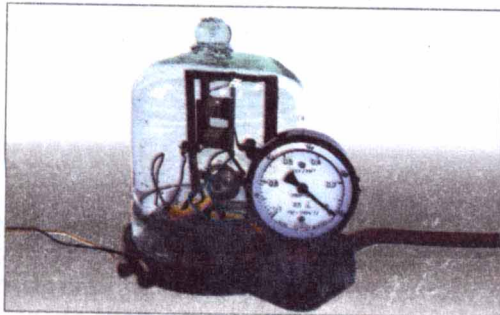
Такий дослід уперше виконав у 1660 р. Роберт Бойль, показавши, що у безповітряному просторі, який зветься **вакуумом**, звук зовсім не поширюється. Тим самим він довів необхідність середовища для існування звукових хвиль.

Є матеріали, які погано проводять звук, оскільки коливання в них швидко затухають. Наприклад, пористі панелі, пінопласт використовують для звукоізоляції, тобто для захисту приміщень від проникнення в них сторонніх звуків.

Якщо звукова хвиля поширюється в якому-небудь середовищі, то рано чи пізно вона дійде до межі цього середовища, за яким починається інше



Мал. 40



Мал. 41

середовище. Це інше середовище складається з інших частинок, і швидкість поширення звуку в ньому інша. На такій межі спостерігається відбивання звукової хвилі подібно до відбивання світла на межі повітря і дзеркала.

Чому відбивається звукова хвиля? Відбувається це тому, що коливання звукової хвилі передаються частинкам іншого середовища. Ці частинки самі стають джерелами нової (вторинної) звукової хвилі. Вторинна хвиля поширюється не тільки в другому середовищі, а й у першому, звідки надійшла первинна хвиля. Це і є відбита хвиля.

З відбиванням звуку пов'язане відоме всім явище — луна. Воно полягає в тому, що звук від джерела доходить до деякої перешкоди (а перешкодою і є друге, відмінне від повітря, середовище — стіна будинку, край лісу тощо) відбивається від її поверхні й повертається до місця, де виникли звукові коливання.

Якщо первинний звук і звук відбитий до слухача не одночасно, то він чує звук двічі. Бувають випадки, коли звук відбивається кілька разів, тоді і почути його можна кілька разів (наприклад, гуркіт грому).

Явище відбивання звукових хвиль від перешкод використовують для визначення відстаней до різних предметів і їх місцезнаходження. Припустимо, що в певний момент часу джерело звуку створює звукові коливання. Звук поширюється, і, зустрівши перешкоду, відбивається від неї. Якщо біля джерела звуку розмістити ще і приймач, то через певний інтервал часу він може зафіксувати відбитий звук. Вимірявши цей інтервал часу і знаючи швидкість поширення звуку в даному середовищі, визначають відстань до перешкоди, враховуючи, що звук двічі проходить шукану відстань (до перешкоди і зворотно) за формулою:

$$l = \frac{v_{\text{зв}} t}{2}.$$

де  $l$  — відстань до перешкоди;  $v_{\text{зв}}$  — швидкість поширення звуку в середовищі;  $t$  — інтервал часу, за який звук дійшов від джерела до перешкоди і повернувся до приймача звуку.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Як можна визначити швидкість поширення звукових хвиль?
2. Від чого залежить швидкість поширення звукових хвиль?
3. Користуючись таблицею 2, визначте, в якій речовині швидкість поширення звуку найменша; найбільша.
4. Що таке луна?
5. Як визначити відстань до перешкоди за допомогою звуку?

## § 12

## ІНФРАЗВУК ТА УЛЬТРАЗВУК

Ви вже знаєте, що коливання частотою від 16 до 20 000 Гц сприймає людське вухо, і тому їх називають звуковими.

Коливання з частотами меншими від найнижчої звукової називають **інфразвуком** (від латинського слова *інфра* — нижче, під).



**Інфразвукові коливання (інфразвук) — це коливання, частота яких менша за 16 Гц — найнижчу частоту звукових коливань.**

Людське вухо інфразвук не сприймає. Він виникає під час штормів, гроз, землетрусів. Людський організм у цілому відчуває на собі шкідливу дію інфразвуку, людина дуже страждає від морської і повітряної хвороб, які спричиняються захитуванням в інфразвуковому діапазоні коливань. Медичні дослідження впливу на людину тривалої дії інфразвуку від спеціальних генераторів свідчать, що вона може призвести до непоправних наслідків.

Інфразвук слабо поглинається середовищем і може поширюватися на великі відстані. Інфразвук використовують у приладах, які називають **сейсмографами**. Вони призначені для прогнозування землетрусів, вивчення будови Землі, розвідування корисних копалин (мал. 42).

Коливання з частотами, більшими ніж найвищий звук, називають **ультразвуком** (від латинського слова *ультра* — далі, більше, над).

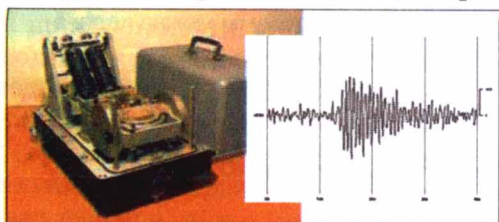
**Ультразвукові коливання (ультразвук) — це коливання, частота яких більша за 20000 Гц — найвищу частоту звукових коливань.**

Ультразвукові коливання застосовують для обробки твердих і надтвердих матеріалів. До оброблюваних деталей подається суміш води з дрібним порошком — абразивом, частинки якого під дією ультразвукового випромінювача коливаються з великою частотою, бомбардуючи оброблювану поверхню, завдяки чому в ній можна робити отвори складної форми. Так одержують зображення на камінні, металах, порцеляні тощо.

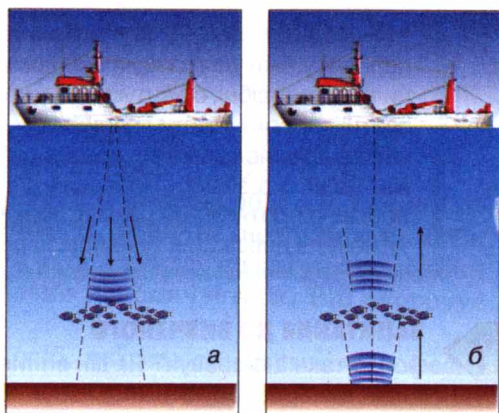
Ми вже знаємо, що за допомогою звукової луни можна визначити відстань до перешкоди, на практиці також треба знати, в якому напрямі вона розташована. Звичайний звук для цього непридатний, оскільки він поширюється в усіх напрямках від джерела, тому й відбиті сигнали надходять з різних боків.

З метою визначення місцезнаходження об'єктів методом луни використовують не звичайний звук, а ультразвук. Він має значно вищу частоту коливань, ніж звук, тобто дуже малу довжину хвилі, що дає змогу сформулювати вузькі ультразвукові пучки, подібні до світлових, визначити відстань до об'єкта і напрям на нього.

Цей принцип покладено в основу дії **ехолота** і **ехолокатора** — приладів для вимірювання глибини морів, океанів або пошуку різних предметів під водою. На судах встановлюють ультразвукові випромінювачі, що періо-



Мал. 42



Мал. 43



Мал. 44

дично посиляють імпульси у напрямі дна (мал. 43, а). Відбиті коливання приймаються (мал. 43, б) і на екрані комп'ютера з'являється рельєф дна. Коли на шляху ультразвуку трапляється, наприклад, косяк риби, він також відображається на екрані.

Для багатьох технічних цілей потрібні суміші рідин, які не змішуються у звичайних умовах (наприклад, ртуть і вода). Але якщо колбу з водою і ртуттю опромінювати протягом певного часу ультразвуком, то утворюється стійка суміш, яка може зберігатися тривалий час. На промислових підприємствах за допомогою ультразвукових коливань змішують воду і масло.

Учені встановили, що найпростіші живі істоти швидко гинуть під дією ультразвуку. Цю властивість використовують для стерилізації води, молока та інших харчових продуктів. Ультразвук є причиною паралічу і загибелі холонокровних тварин — риб, жаб, пуголовків.

У медицині ультразвук використовують з лікувальною (мал. 44, а) і діагностичною метою (мал. 44, б).

### ► ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- На острові Ява росте королівська примула, яка відрізняється від усіх інших примул тим, що цвіте лише перед виверженням вулкана, чим і попереджає людей про небезпеку, яка насувається.
- Понад 80 років тому французький учений Поль Ланжевен одержав патент на перший у світі ультразвуковий локатор. Але природа випередила його. Кажани та китоподібні, орієнтуючись у просторі, діють як живі ехолотари, тому що здатні випромінювати і сприймати ультразвук у широкому діапазоні. Дельфін чітко відрізняє скелю від косяка риб. У Новій Зеландії, серед багатьох островів, де важко знайти морський шлях, один з дельфінів виконував обов'язки лоцмана протягом 30 років. Собаки чують ультразвук, тому їм можна подавати нечутні для людей команди за допомогою спеціальних свищиків.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке інфразвук? Як він впливає на людський організм?
2. Де використовують інфразвук?
3. Що таке ультразвук? Наведіть приклади застосування ультразвуку.



## **§ 13** ВПЛИВ ЗВУКІВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

Серед фізичних чинників, які негативно позначаються на здоров'ї людини, найвпливовішим є звуковий шум. Вона сприймає його як неприємні, небажані звуки, що заважають нормально працювати, одержувати потрібну інформацію, відпочивати. Вчені встановили, що шум навіть малої інтенсивності призводить до зниження працездатності, гостроти слуху, зміни функціональних можливостей кори головного мозку, серцево-судинної та центральної нервової систем. Шум діє на людину збуджуючим чином, спричиняючи виділення в кров великої кількості гормонів, що викликає почуття страху, небезпеки, агресії тощо.

Шум — складне фізичне явище: він утворюється внаслідок накладання коливань найрізноманітніших частот і, отже, складається зі звуків різної висоти. Він є однією з форм фізичного (хвильового) забруднення навколишнього середовища, адаптація організмів до якого практично неможлива. Тому шум належить до серйозних забруднювачів, які мають бути під контролем на основі спеціальних законів з боку держави.

Правову основу захисту населення від шуму становлять Державні закони України «Про забезпечення санітарного і епідемічного благополуччя населення», «Про охорону природного навколишнього середовища», «Про охорону атмосферного повітря», «Про екологічну експертизу» тощо.

Боротьба із шумом полягає у створенні шумовловлюючих екранів, поглинаючих фільтрів, безшумних механізмів, у зміні технології виробництва та динаміки транспортних потоків. Навіть озеленення території знижує вуличний шум на 25 % і більше.

Рівень шуму, його сила (інтенсивність) вимірюється в децибелах (дБ). Інтенсивність усіх звуків діапазону слухового сприйняття виражають у відносних одиницях від 0 до 130 дБ (больового порогу). Вимірюють шум спеціальною апаратурою — шумомірами.

Допустимі межі сили звуку в різних умовах становлять 45—85 дБ. У разі постійного шуму до 70 дБ виникає розлад ендокринної та нервової систем, при 90 дБ порушується слух, при 120 дБ з'являється фізичний біль, який стає нестерпним.

Рекомендовані діапазони шумів усередині приміщень різного призначення такі:

- для сну, відпочинку — 30—40 дБ;
- для розумової праці — 40—50 дБ;
- для лабораторних досліджень, роботи з ЕОМ тощо — 50—60 дБ;
- для виробничих цехів, гаражів, магазинів тощо — 50—70 дБ.

Джерелами шумів є всі види транспорту, промислові об'єкти, гучномовні пристрої, ліфти, телевізори, радіоприймачі, музичні інструменти, юрби людей і окремі особи (табл. 3). Надмірний шум впливає на організм людини подібно до отрути, яка в організмі повільно накопичується. Він скорочує тривалість життя на 8—12 років.

Медичні дослідження свідчать, що в осіб, які мають «шумні» професії, шлункові захворювання (гастрити, виразки тощо) трапляються в чотири рази частіше, ніж в інших. Серед них також набагато більше глухих. Від

тривалого сильного шуму продуктивність розумової праці знижується на 60 %, фізичної — на 30 %.

Виявилось, що молодь до 27 років витримує набагато інтенсивніший шум, ніж люди, вік яких перевищує 40—50 років. Але з часом, як свідчить статистика, всі молоді люди, які захоплювалися гучною музикою (на концертах і вдома), після 30 років мають uszkodжений слух, ураження нервової системи та інші хвороби.

Таблиця 3

### Вплив на здоров'я людини шуму різної інтенсивності

| Джерело шуму                             | Інтенсивність звуку, дБ | Вплив на організм                                            |
|------------------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------------------------|
| Поріг чутності                           | 0                       |                                                              |
| Шелест листя                             | 10                      |                                                              |
| Тихий шепіт на відстані 1 м              | 15                      |                                                              |
| Спокійний сад                            | 20                      |                                                              |
| Цокання годинника                        | 30                      | Не заважає сну                                               |
| Місто вночі, міська квартира             | 35                      | Допустима санітарна норма                                    |
| Притишена розмова                        | 40                      |                                                              |
| Шум води з-під крана                     | 45                      | Ефективна розумова праця                                     |
| Шум друкарської машинки                  | 50                      |                                                              |
| Звук гучномовця                          | 55                      |                                                              |
| Шум легкового автомобіля на відстані 1 м | 60                      | Зниження працездатності                                      |
| Голосна розмова                          | 65                      |                                                              |
| Шум трамваю, вуличний рух                | 70                      | Шкідливо для психіки, вегетативної нервової системи; аритмія |
| Друкарське бюро                          | 75                      |                                                              |
| Крик на відстані 1 м; мопед              | 80                      |                                                              |
| Пральна машина, мотоцикл з глушником     | 85                      | Пошкодження слуху, розлад ендокринної та нервової систем     |
| Фортисимо оркестру                       | 100                     | Агресія, виразкова хвороба, гіпертонія                       |
| Автомобільна сирена, шум гелікоптера     | 110                     |                                                              |
| Рок-концерт                              | 115                     |                                                              |
| Відбійний молоток (на відстані 1 м)      | 120                     | Пряме пошкодження клітин мозку                               |
| Гарматний постріл                        | 125                     |                                                              |
| Літак на старті                          | 130                     | Больовий поріг                                               |
| Старт ракети                             | 150                     |                                                              |



Спостереження фахівців свідчать, що в концертних залах, де виступають сучасні рок-ансамблі, в перших рядах інтенсивність звуку досягає 118—120 дБ, в останніх — 100—110 дБ. Лікарі вважають, що після кожного такого концерту близько 10 % слухачів дістають необоротні пошкодження внутрішнього вуха (нервових закінчень), які не відновлюються. Встановлено дуже інтенсивний вплив музики на вегетативну нервову систему людини, серце, кровообіг, органи дихання.

Позитивний вплив гармонійної спокійної лагідної музики був відомий з давніх-давен. Існує так звана музична терапія, коли різні оздоровчі процедури супроводжуються ніжними монотонними наспівами, спокійним дзюркотанням води, лагідним шумом морських хвиль, пташиним співом, спокійною симфонічною музикою.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке шум? Наведіть приклади шумів.
2. Як впливає шум на здоров'я людини?
3. Які звуки позитивно впливають на нервову систему людини?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### > Розв'язуємо разом

1. Чи почуємо вибух, що стався на Місяці?

Відповідь: ні, тому що на Місяці немає атмосфери. Звук у безповітряному середовищі не поширюється.

2. Випишіть назви музичних інструментів за зростанням висоти тону (число в дужках показує кількість коливань за секунду — частоту коливань): скрипка (640 Гц), віолончель (216 Гц), контрабас (196 Гц), альт (415 Гц).

Відповідь: контрабас (196 Гц), віолончель (216 Гц), альт (415 Гц), скрипка (640 Гц).

3. Луну від викрику хлопчика перед лісом ми почули через 2 с після викрику. На якій відстані від лісу був хлопчик?

Дано: Розв'язання.

$t = 2 \text{ с}$  Використаємо формулу:  $l = \frac{v_{\text{зв}} t}{2}$ .

$v_{\text{зв}} = 331 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  Підставимо значення:  $l = \frac{331 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2 \text{ с}}{2} = 331 \text{ м}$ .

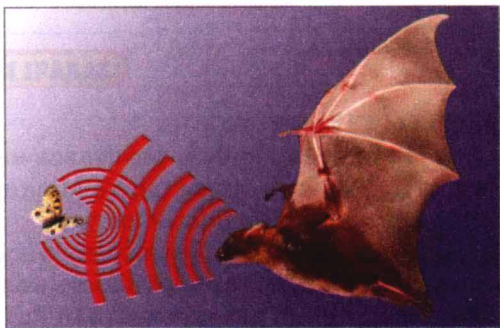
$l = ?$

Відповідь:  $l = 331 \text{ м}$ .

### Рівень А

42. Поясніть, як утворюються звуки в скрипці, роялі, трубі, барабані? Як музикант може змінити характер цих звуків?
43. Чи будь-яке тіло може бути джерелом звуку?
44. Чому дзюрчать струмки?
45. Як перевіряють наявність тріщин у колесах вагонів, скляному або порцеляновому посуді?

46. Оглядачі поїздів на залізничних станціях, перевіряючи стан коліс вагонів, удіряють по ободу колеса молоточком. Для чого вони це роблять? На що звертає увагу оглядач у момент удару молоточком по ободу колеса?
47. Людина може чути звуки, які поширюються від джерел, що роблять не менш як 16 і не більш, як 20 000 коливань за 1 с. Визначте період цих коливань.
48. Хто швидше махає крильцями — джміль чи комар?
49. Чому грім завжди чуємо після того, як побачимо блискавку? На якій відстані від спостерігача виникла блискавка, якщо звук від неї він почув через 10 с?
50. Чому, приклавши вухо до залізничної рейки, можна почути стукіт коліс поїзда, що перебуває на великій відстані?
51. Поясніть, чому погано чути, коли вуха закриті ватою.
52. Чому в читальних залах підлоги завжди застеляють м'якими доріжками?
53. Чому шум, що створює поїзд, стає особливо оглушливим, коли він входить у тунель?
54. Де легше визначити місце розташування джерела звуку: на рівній місцевості чи в горах, в полі чи в селі?
55. Чи може людина чути інфразвуки? Чому?
56. До яких звуків належать коливання частотою 9 Гц? Який період цих коливань?
57. Чому кажани (мал. 45) навіть у повній темряві не налітають на перешкоди?
58. Глибина проникнення ультразвуку частотою 1 МГц у сталевий виливок становить 6 м. Який час потрібний для цього?



Мал. 45

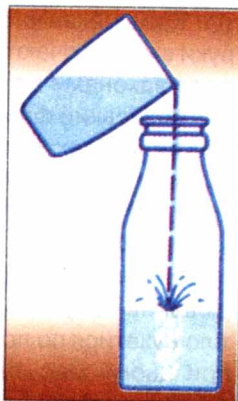
### Рівень Б

59. Для виявлення в автомобільному двигуні несправності автомеханік прикладає вухо до кінця якого-небудь металевого стержня, другий кінець якого торкається тих чи інших частин працюючого двигуна. Для чого він це робить?
60. Поясніть, чому люди, які піднялися високо в гори, повинні голосніше говорити, щоб чути один одного?
61. Для чого слабчущі люди прикладають до вуха рупор? Про дефекти якого органу чуття людини йдеться в задачі? Пригадайте, яка його будова.
62. За 1 с муха робить 330 помахів крилами, а метелик — 2. Від коливання чийх крил — мухи чи метелика — чутно звук? Який період коливань крил мухи і метелика?
63. Скільки часу звук поширюється від стола вчителя до останньої партії?
64. Відстань між двома залізничними станціями дорівнює 16,6 км. За



який час поширюється звук від однієї станції до іншої повітрям; рейками? Температура повітря  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Швидкість поширення звуку в сталі дорівнює  $5500\frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

65. Для чого стіни і стелю приміщень радіо- і телестудій покривають матеріалами, які добре поглинають звук?
66. Грім — це звук, що виникає під час блискавки. Чому ми чуємо грім довгий час навіть тоді, коли виникає блискавка, що триває дуже короткий час?
67. Цівка води під час наповнення пляшки (мал. 46) спричиняє шум, в якому можна вловити деякий тон. У міру заповнення пляшки тон змінюється. Вищим чи нижчим стає тон? Чому це відбувається?
68. Послухайте, як дзвонить будильник у кімнаті і на вулиці. Поясніть відмінність.
69. Рибальське морське судно, що пливе вночі або в туманну погоду поблизу берегів з високими скелями, час від часу дає короткі гудки. Для чого це робиться?
70. Чому в невеликій кімнаті не чути луни? Чому в лісі важко орієнтуватися по голосу?
71. Спеціалісти-бджоларі по звуку визначають, чи летять бджоли по мед чи з медом. Як вони про це дізнаються?
72. Часто рівень заповнення закритих цистерн, баків і бочок визначають по звуку. Чому по-різному прослуховується звук під час ударів у місцях, заповнених і не заповнених рідиною?
73. Гарна музична мелодія сприятливо діє на організм людини, він звільняється від втоми, відпочиває. Звуки, що створюють під час роботи двигуни, шкідливі й з ними ведуть боротьбу, встановлюють глушники. Чому?
74. Як пояснити, що коти або інші тварини перед землетрусом покидають будівлі, а кити та дельфіни запливають далеко в море?
75. Користуючись ехолотом — приладом для вимірювання глибини моря за допомогою відбивання звуку, визначили, що від подачі звукового сигналу до прийняття відбитого пройшло 3 с. Яка глибина моря, якщо швидкість поширення звуку у воді дорівнює  $1450\frac{\text{м}}{\text{с}}$ ?
76. Чому на кораблях установлюють не звукові, а ультразвукові гідролокатори (див. мал. 43)?
77. За допомогою ультразвуку проводиться дезінсекція зерна. Чим пояснити дію ультразвуку на комах? Чому багато комах гине під дією на них ультразвуку?



Мал. 46

## ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Понад дві тисячі років тому Арістотель писав: «Оскільки природа є початком руху та зміни, а предметом нашого дослідження є природа, то не можна залишити нез'ясованим, що таке рух, бо незнання руху призведе до незнання природи». Під рухом Арістотель розумів зміни, що відбуваються з тілом, тобто зміни місця чи положення тіла відносно інших тіл. Складніший рух, за словами філософа, включає у себе попередній, менш складніший. Наведемо приклади до цих висловлювань Арістотеля. Найпростішим є механічний рух, тобто зміна із часом положення тіла відносно інших тіл. Крім механічного руху існують складніші рухи: теплові, електричні, атомні. І ці рухи вже включають у себе найпростіші рухи (частинки при тепловому русі рухаються за законами механіки).

Італійський фізик і астроном Галілео Галілей (1564—1642) виконав ґрунтовні дослідження механічного руху. Галілей сформулював принцип відносності для рівномірного прямолінійного руху. Вчений, вивчаючи вільне падіння тіл, доходить висновку, що тіло падає на Землю із постійно зростаючою швидкістю. Але потрібні були експерименти для підтвердження цих лише поки що теоретичних гіпотез.

Під час вивчення вільного падіння тіл Галілей зіткнувся зі складною задачею вимірювання часу. Галілей придумав спосіб сповільнення процесу падіння, змушуючи тіло рухатися по похилій площині з невеликим нахилом. Галілей знав теоретично, що при цьому має змінюватися лише масштаб руху, і провів такий експеримент. У відрізок твердої деревини він прорізав строго прямолінійний жолоб із добре відполірованими стінками. Установивши його під кутом до горизонту, Галілей скочував вниз бронзову кулю. Вимірював час проходження кулею відрізків шляху різної довжини. Оскільки точного годинника у ті часи ще не було, то Галілей зважував воду, яка витікала із великого резервуара крізь тонку трубку за час переміщення кулі від однієї точки жолоба до другої. Він установив, що час точно дорівнює квадрату кореню із пройденої відстані відповідно до гіпотези про падіння тіл із зростаючою швидкістю.

## ПЕРЕВІРТЕ СВОЇ ЗНАННЯ

### Контрольні запитання

1. Які види механічного руху ви знаєте? У чому полягає їх відмінність?
2. Відомо, що в густому тумані легко заблудитися, бо не видно предметів, відносно яких ми рухаємося. Чому ж тоді в лісі, де багато дерев, теж легко заблудитися?
3. Чим можуть відрізнятися рівномірні прямолінійні рухи двох тіл, якщо тіла пройшли однакові відстані?
4. Як визначити середню швидкість руху тіла, що скочується з похилої площини? Які величини ви при цьому повинні визначити практично і якими приладами?
5. Наведіть приклади криволінійних рухів, зокрема рухів тіл по колу.



6. Чи всі тіла можуть коливатися?
7. Назвіть величини, які характеризують коливні процеси.
8. Як пов'язані між собою швидкість поширення звуку, довжина і частота звукової хвилі?
9. У яких середовищах швидкість поширення звуку більша, ніж в інших?
10. У яких середовищах виникають інфразвукові коливання?
11. У яких середовищах не поширюється ультразвук?
12. Які ви знаєте способи захисту приміщень від шумів?

### Що я знаю і вмію робити

**Я знаю, які є одиниці шляху, часу, швидкості руху тіла.**

1. Замість крапок вставте пропущені числа:

1 км = ... м; 1 см = ... м; 1 м = ... мм; 100 м = ... см = ... мм;

1 год = ... с; 30 с = ... год; 15 хв = ... с; 3 год = ... хв = ... с;

$18 \frac{\text{км}}{\text{год}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}; 20 \frac{\text{м}}{\text{с}} = \dots \frac{\text{км}}{\text{год}}; 20 \frac{\text{см}}{\text{год}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}; 9 \frac{\text{км}}{\text{с}} = \dots \frac{\text{м}}{\text{с}}.$

**Я вмію описувати і будувати графіки рівномірного руху тіла.**

2. Два мотоциклісти перебували спочатку в одному пункті і почали рухатися в одному напрямку по прямолінійній траєкторії. Графіки швидкостей подано на малюнку 47.

1. Яка швидкість руху кожного мотоцикліста о 1 год? 2 год? 3 год? 4 год? 5 год?

2. У якого мотоцикліста швидкість була найбільшою? найменшою? Коли це було?

3. Який з мотоциклістів не рухався? Коли це було?

4. Який шлях пройде кожен мотоцикліст за 1, 2, 3, 4 і 5 год?

5. Накресліть графіки залежності пройденого мотоциклістами шляху від часу руху.

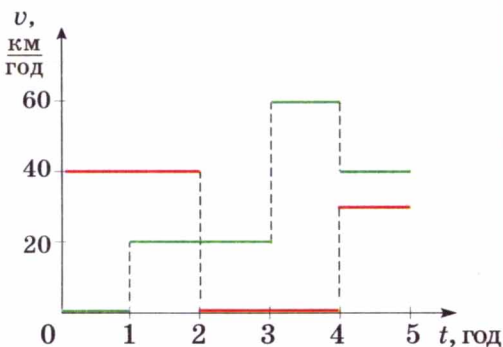
6. Яка середня швидкість руху кожного мотоцикліста за весь час руху.

**Я знаю, як визначити фізичні величини.**

3. Визначте глибину шахти, в яку кинули кульку, якщо звук від удару кульки об дно шахти можна почути через 6 с. Швидкість поширення звуку вважати рівною  $340 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
4. Період коливань зубила пневматичного молотка дорівнює 0,02 с. Яка частота коливань зубила?
5. На якій відстані знаходиться перешкода, якщо звук до джерела випромінювання повернувся через 5 с?

**Я знаю, де на практиці застосовуються фізичні явища.**

7. Як працює сейсмограф?
8. Де застосовуються ультразвукові коливання?



Мал. 47

9. Чому при перевірці коліс вагонів на стоянці поїзда їх постукують молотком?

**Я вмію виконувати досліди.**

10. Виконайте такий дослід: покладіть металеву масштабну лінійку завдовжки 40—50 см одним кінцем на край стола і притисніть її зверху дерев'яним брусочком або книжкою. За вільний кінець відтягніть лінійку вниз або вгору і відпустіть. Повторюйте дослід, зменшуючи довжину вільної частини лінійки доти, поки почуєте її гудіння. Коли швидше коливалась лінійка — коли вона була довшою чи коротшою? Коли було чути звук — при меншій чи більшій кількості коливань? Як називають відстань, на яку найбільше змістився кінець лінійки під час коливань?

**Я вмію конструювати.**

11. Придумайте прилад для вимірювання шляху під час криволінійного руху тіла.

**Я вмію виконувати лабораторні роботи.**

12. Виконуючи лабораторну роботу, учень визначив, що маятник здійснив 50 коливань за 45 с. Який період коливань маятника?

### Тестові завдання

#### Варіант I

1. Які з перелічених частин велосипеда, що спускається з гори, перебувають в русі відносно його рами?  
А. Педалі під час їх обертання.  
Б. Педалі під час «вільного ходу» велосипеда.  
В. Осі коліс.  
Г. Ланцюг під час обертання педалей.
2. Відносно яких тіл пасажир, котрий сидить у рухомому вагоні, перебуває у спокої?  
А. Вагона.  
Б. Землі.  
В. Інших пасажирів, які сидять у вагоні.  
Г. Коліс вагона.
3. Пасажирський поїзд за кожні півгодини проходив відстань 60 км, за 15 хв — 30 км, за 1 хв — 2 км. Який це рух?  
А. Рівномірний.  
Б. Нерівномірний.  
В. Криволінійний.  
Г. Рух по колу.
4. Один літак летить зі швидкістю  $540 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а другий —  $130 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . У якого літака швидкість руху більша?  
А. У першого.  
Б. У другого.  
В. Однакова.



5. Автомобіль проїхав відстань 2 км зі швидкістю  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , а потім 4,5 км — зі швидкістю  $15 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Яка середня швидкість руху автомобіля на всій ділянці шляху?
- А.  $17 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Б.  $16,35 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . В.  $16,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Г.  $16,00 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .
6. Тіло робить за 5 с 20 обертів. Який період обертання тіла?
- А. 0,20 с. Б. 4 с. В. 0,25 с. Г. 100 с.
7. Чи залежить період коливань маятника від довжини нитки?
- А. Залежить.  
Б. Не залежить.  
В. Залежить тільки у певних випадках.
8. Один маятник має довжину 2 м, а другий — 4 м. Період коливань якого маятника більший?
- А. Першого. Б. Другого. В. Однакові.
9. Хто частіше маше крильцями під час польоту: комар чи муха?
- А. Муха. Б. Комар. В. Однаково.
10. На камертоні є напис «440». Який період коливань ніжок камертона?
- А. 0,0030 с. Б. 400 с. В. 0,00227 с.  
Г. Правильної відповіді тут немає.
11. Під час грози людина почула грім через 15 с після спалаху блискавки. На якій відстані від людини відбувся розряд?
- А. 5000 м. Б. 4965 м. В. 15 000 м. Г. Правильної відповіді тут немає.
12. Літак на старті створює шум 130 дБ. Як людина сприймає це?
- А. Виникають приємні відчуття.  
Б. Виникають больові відчуття.  
В. Ніяк.

### Варіант II

1. Яблуко, що лежить на столі вагона рухомого поїзда, рухається відносно...
- А. Пасажира, який йде по вагону.  
Б. Тепловоза.  
В. Землі.  
Г. Пасажира, який сидить у вагоні.
2. Яке з перелічених тіл перебуває в спокої відносно Землі в даний момент часу?
- А. Гусениці трактора, що стикаються із Землею під час його руху.  
Б. Верхні частини гусениць рухомого трактора.  
В. Сонце.  
Г. Осі велосипедних коліс під час руху.
3. Автомобіль за півгодини пройшов 30 км, причому за перші 15 хв — 20 км, а за наступні — 10 км. Який це рух?
- А. Рівномірний. Б. Нерівномірний. В. Криволінійний. Г. Рух по колу.
4. Один автомобіль рухається зі швидкістю  $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а другий —  $25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . В якого з автомобілів швидкість руху більша?
- А. У першого. Б. У другого. В. Однакова.

5. Спідометр автомобіля впродовж 0,2 год показував швидкість  $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , а потім впродовж 0,1 год —  $80 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  і знову впродовж 0,2 год —  $40 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Визначити середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху.  
А.  $60 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Б.  $62 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . В.  $59,5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Г. Правильної відповіді тут немає.
6. Яка частота обертання тіла, якщо воно за 10 с робить 100 обертів?  
А. 100 Гц. Б. 10 Гц. В. 1 Гц.  
Г. Правильної відповіді тут немає.
7. Чи залежить період коливань маятника від частоти коливань?  
А. Залежить.  
Б. Не залежить.  
В. Залежить тільки у певних випадках.
8. Один маятник коливається з частотою 5 Гц, а другий — 2 Гц. Який із маятників довший?  
А. Перший. Б. Однакові. В. Другий.
9. Бджола вилетіла на збір пилку. Чи змінюватиметься частота коливань її крилець під час цієї роботи.  
А. Не змінюватиметься. Б. Зменшиться. В. Збільшиться.
10. Період коливань ніжок камертона дорівнює 0,002 с. Яка його частота?  
А. 500 Гц. Б. 440 Гц. В. 450 Гц. Г. Правильної відповіді тут немає.
11. Виміряючи глибину моря під кораблем за допомогою ехолота, визначили, що час між моментом відправки і прийомом сигналу дорівнює 0,6 с. Яка глибина моря під кораблем?  
А. 435,3 м. Б. 870,6 м. В. 600 м. Г. Правильної відповіді тут немає.
12. Легковий автомобіль на відстані 1 м створює шум 60 дБ. До чого це призводить?  
А. Доброго настрою. Б. Зниження працездатності. В. Ні до чого.





# ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ

- Взаємодія тіл. Інерція
- Маса тіла
- Сила та одиниці сили
- Сила пружності
- Закон Гука
- Динамометри
- Сила тяжіння
- Вага тіла. Невагомість
- Вимірювання сил
- Сила тертя
- Коефіцієнт тертя ковзання
- Тиск і сила тиску
- Тиск рідин і газів
- Закон Паскаля
- Гідравлічні машини
- Сполучені посудини
- Атмосферний тиск
- Манометри
- Рідинні насоси
- Виштовхувальна сила
- Умови плавання тіл
- Гідростатичне зважування



## \$14

**ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ**

У попередньому розділі ми розглянули рівномірний і нерівномірний рухи, кожен з яких за траєкторією може бути прямолінійним і криволінійним. Під час рівномірного прямолінійного руху тіло рухається зі сталою за значенням і напрямом швидкістю. Швидкість нерівномірного руху змінюється з часом. Розглянемо тепер явища, внаслідок яких тіло змінює власну швидкість руху або її напрям.

• **Спостереження.** Повсякденні спостереження підтверджують: для того, щоб тіло почало рухатися (тобто набуло швидкості), на нього має подіяти інше тіло. Наприклад, м'яч, що лежить на футбольному полі, почне рухатися тільки тоді, коли на нього налетить інший м'яч або по ньому вдарять ногою (мал. 48). Але якщо на м'яч не діють інші тіла, то він сам собою не змінить власної швидкості, не почне рухатися відносно Землі.

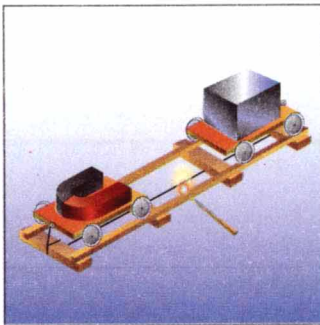
◆ **Дослід 1.** На один з двох візочків, що стоять на рейках, поклали магніт, а на другий — сталевий брусок (мал. 49). Нитка, що перекинута по низу рейок і причеплена позаду кожного з візочків, не дає їм змоги наблизитися один до одного. Якщо перепалимо нитку, то обидва візки починають рухатися назустріч, змінюючи свою швидкість від нуля до певного значення. Причиною зміни швидкості є те, що магніт і залізний брусок притягуються один до одного, тобто взаємодіють між собою.

◆ **Дослід 2.** Штовхнемо кульку, яка лежить на горизонтальному столі — вона почне рухатися рівномірно по прямолінійній траєкторії. Покладемо магніт попереду кульки на відстані від лінії її руху. Бачимо, що внаслідок взаємодії з магнітом сталева кулька не тільки збільшуватиме власну швидкість, а й повертатиме в бік магніту, тобто змінить напрям руху (мал. 50).

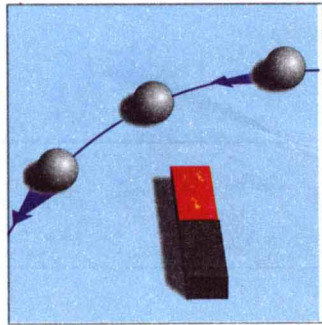
◆ **Дослід 3.** Один кінець пружини прикріпимо до іграшкового автомобіля (мал. 51), другий — до стояка на краю стола. Потягнемо за автомобіль у бік від стояка — внаслідок дії руки кінець пружини починає рухатися і вона розтягується. Якщо тепер відпустимо автомобіль, то розтягнута пружина почне стискатися і надасть йому руху в зворотному напрямі. На початку дослідів взаємодіяли між собою рука і автомобіль з пружиною, внаслідок чого вони змінювали швидкість, а пружина розтягувалася. Потім взаємодіяли між собою автомобіль і пружина, в результаті чого вони змінювали власну швидкість, а пружина стискала.



Мал. 48

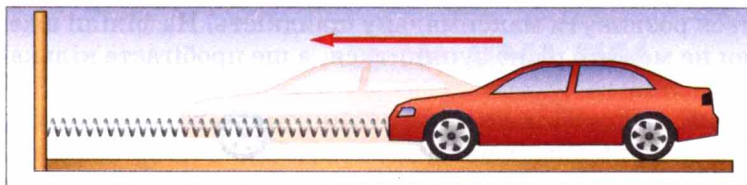


Мал. 49

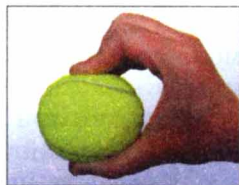


Мал. 50



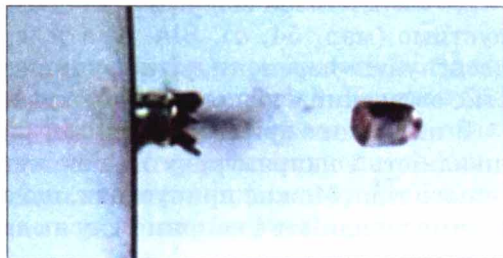


Мал. 51



Мал. 52

Під час взаємодії тіл може змінюватися швидкість руху не лише тіл у цілому, а й окремих їх частин. Це відбувається, наприклад, якщо ми стискаємо в руці тенісний м'яч (мал. 52). Внаслідок неоднакового переміщення окремих частин м'яч стискається і деформується (змінює свою форму). Також змінюють свою форму і пальці руки.



Мал. 53

На фотографії (мал. 53) показано, як куля пробиває сталевий лист. У цьому разі відбулася взаємодія кулі з листом, внаслідок чого вони деформувалися, а куля ще й змінила власну швидкість руху.

**Унаслідок взаємодії тіл вони змінюють швидкість і напрям свого руху, а також деформуються.**



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Наведіть приклади, які показують, що внаслідок взаємодії змінюється швидкість руху обох тіл.
2. Опишіть досліди, які показують, що тіла під час взаємодії деформуються.
3. Куля пробила дошку. Чи подіяла дошка на кулю? Чому?
4. На гладенькій льодяній доріжці ковзаняр кидає вперед чималу грудку льоду. Що при цьому відбуватиметься з ковзанярєм? Чому?

## § 15 ІНЕРЦІЯ

Повсякденний досвід підтверджує зроблений нами з попередніх дослідів висновок: швидкість і напрям руху тіла можуть змінюватися лише під час взаємодії його з іншим тілом.

Розглянемо випадки, коли тіло на початку спостереження вже перебуває в русі. Побачимо, що зменшення швидкості руху і зупинка тіла не можуть відбуватися самі собою, а спричиняються дією на нього іншого тіла.

• **Спостереження 1.** Ви, мабуть, неодноразово спостерігали, як пасажери, їдучи в транспорті, раптом нахилиються вперед під час гальмування або притискаються в бік на крутому повороті.

• **Спостереження 2.** Коли на уроці фізкультури ви пробігаєте дистан-

цію 60 м, то намагаєтеся розвинути максимальну швидкість. На фініші вже можна не бігти, але ви не можете різко зупинитися, а ще пробігаєте кілька метрів.

Так само, як і людина, автомобіль не може зупинитися миттєво, а рухається ще певний час, навіть при вимкненому двигуні або під час гальмування. Через те не можна перебігати вулицю перед автомобілем який наближається: водій не зможе його різко зупинити.

♦ **Дослід.** Візок з брусом на ньому поставимо на похилу площину і відпустимо (мал. 54, а). Він рухатиметься вниз, набираючи швидкість, але досягнувши перепони, різко зупиниться. Бачимо, що брусок, який не жорстко зв'язаний з візком, продовжуватиме свій рух далі (мал. 54, б).

З наведених прикладів бачимо, що всі тіла мають властивість зберігати швидкість і напрям руху і не можуть миттєво його змінити внаслідок дії іншого тіла. Можна припустити, що за відсутності зовнішньої дії тіло зберігатиме швидкість і напрям руху як завгодно довго.

Явище збереження швидкості руху тіла за відсутності дії на нього інших тіл називають інерцією.

Явище інерції відкрив італійський учений Галілео Галілей. На основі своїх дослідів і міркувань він стверджував: якщо на тіло не діють інші тіла, то воно або перебуває у спокої, або рухається прямолінійно і рівномірно. У цьому разі кажуть, що тіло рухається за інерцією.

**Інерція** — це латинське слово, яке означає «нерухомість», «бездіяльність».

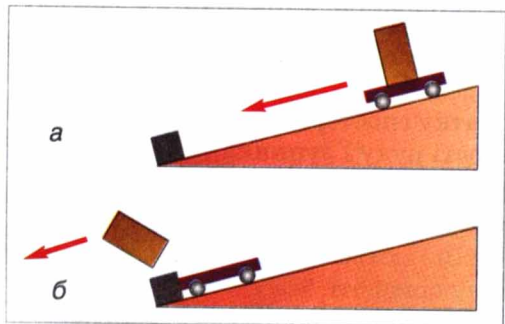
Явище інерції широко використовують у побуті й техніці. Наприклад, щоб насадити молоток на ручку (мал. 55), потрібно іншим молотком стукати по торцю ручки або торцем ручки — по масивному нерухомому предмету.

Прикладом руху за інерцією є також рух молекул газу — кожна молекула в інтервалі часу між двома послідовними зіткненнями з іншими молекулами рухається за інерцією.

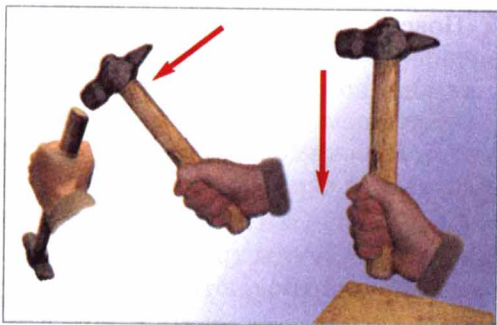


### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке інерція?
2. Хто відкрив явище інерції?
3. Як рухалося б тіло, якби зовсім не було опору рухові?
4. Чому не можна вмиг зупинити поїзд, автомобіль, мотоцикл, що рухаються?



Мал. 54



Мал. 55



## § 16 МАСА ТІЛА

• **Спостереження 1.** М'яч падає на поверхню Землі, а потім відскакує від неї — це приклад взаємодії двох тіл. Ми вже знаємо, що результатом взаємодії тіл є зміна їх швидкості і напрямку руху. М'яч після зіткнення відскакує майже з такою самою швидкістю, але в зворотному напрямі, у стані Землі практично не помітно ніяких змін, насправді вони є, але безкінечно малі.

У наведеному прикладі наочно видно, що результат взаємодії тіл для кожного з них є різним і залежить від властивостей цього тіла. Повсякденний досвід і спеціальні досліді свідчать, що внаслідок взаємодії різні тіла зазнають певної зміни швидкості за неоднакові інтервали часу: одні за більші, інші — за менші. Рух тіла, яке повільно змінює швидкість руху, більше нагадує рух за інерцією, тому кажуть, що воно більш **інертне**.

▶ **Інертність** — це властивість тіла, яка полягає у тому, що для зміни його швидкості під час взаємодії з будь-якими іншими тілами потрібний певний час.

Властивість інертності мають усі тіла.

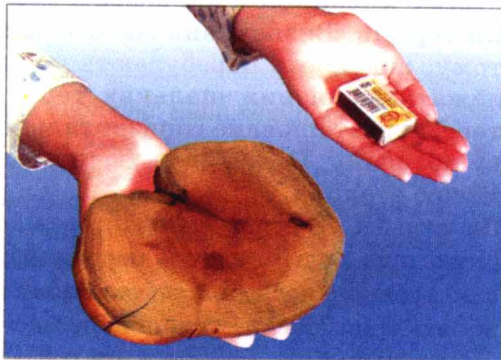
Кількісною мірою інертності тіла є **маса тіла**.

▶ **Маса тіла** — це фізична величина, яка характеризує інертність тіла. Чим більша маса тіла, тим більш воно інертне.

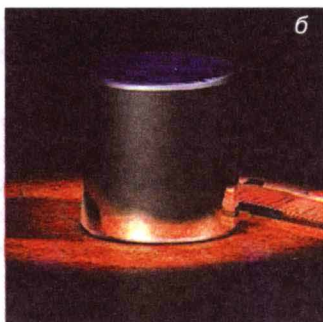
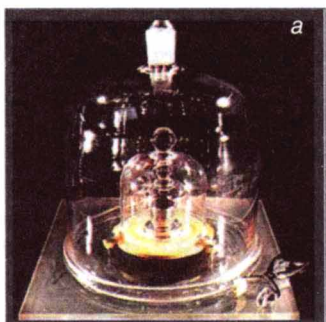
Існують різні методи визначення маси тіла. Всі вони базуються на використанні властивостей, які притаманні всім без винятку тілам, наприклад, на властивості інертності тіл. На практиці найзручнішим виявився метод вимірювання маси, пов'язаний з добре відомим явищем взаємодії усіх тіл із Землею.

• **Спостереження 2.** Ви, мабуть, неодноразово спостерігали, як падають краплі дощу, сніжинки, як осідають дрібі пилинки, як будь-яке тіло, підняте над Землею і випущене, стрімко летить до Землі. Всі ці явища пояснюються тим, що крапельки води, сніжинки, пилинки і всі інші фізичні тіла притягуються Землею, тобто взаємодіють з нею. Досліді показали, що значення цієї взаємодії тим більше, чим більша маса тіла.

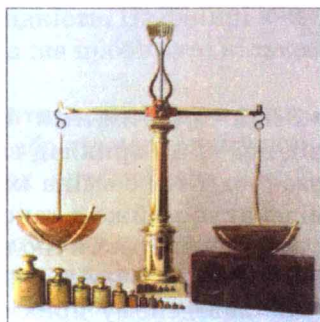
◆ **Дослід.** Візьмемо в одну руку сірникову коробку, а в другу шматок деревини (мал. 56). Більше навантаження відчуваємо в руці, яка тримає шматок деревини, тобто він є важчим за сірникову коробку. Отже, дерево має більшу масу, ніж коробка, оскільки сильніше притягується Землею.



Мал. 56



Мал. 57



Мал. 58

Якщо маси тіл близькі за значенням, якщо тіла дуже малі або завеликі, то порівняти їх масу на руках вже неможливо. Як можна виміряти масу тіла з достатньою точністю?

Для визначення маси тіла використовують спеціальні прилади, які називають **терезами**. В магазинах, аптеках, на пошті за допомогою терезів різних конструкцій, зважують продукти, ліки, посылки тощо.

Визначення маси тіла за допомогою терезів називають **зважуванням**.

Маса тіла позначається латинською літерою *m*. За одиницю маси в СІ прийнято один кілограм (1 кг).

Міжнародний зразок (еталон) (мал. 57, а) кілограма зберігається у Франції, в м. Севрі, що поблизу Парижа. Він виготовлений з платино-іридієвого сплаву і має форму циліндра діаметром і висотою 39 мм (мал. 57, б). За цим зразком з великою точністю виготовлено копії для всіх країн світу.

На практиці застосовують також кратні й частинні одиниці маси: тонну (т), грам (г), міліграм (мг):

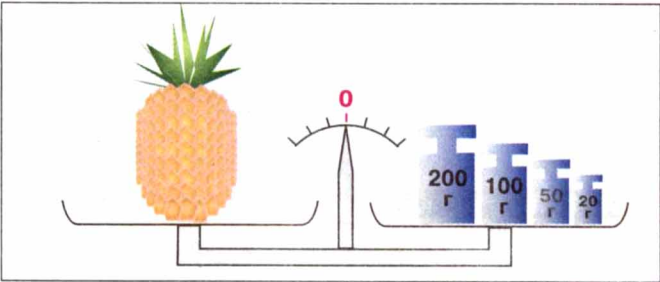
$$\begin{aligned} 1 \text{ т} &= 1000 \text{ кг}; 1 \text{ г} = 0,001 \text{ кг}; 1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг}; \\ 1 \text{ кг} &= 0,001 \text{ т}; 1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}; 1 \text{ кг} = 1\,000\,000 \text{ мг}. \end{aligned}$$

Основною частиною навчальних терезів (мал. 58) є стержень (коромисло терезів), який може вільно повертатися навколо осі, розміщеної посередині стержня (у наступному розділі ви дізнаєтеся, що такий пристрій є механізмом під назвою **важіль**). До його кінців підвішено шальки терезів. Визначення маси тіла за допомогою терезів ґрунтується на тому, що терези перебувають у рівновазі за умови, якщо маси тіл, що лежать на різних шальках терезів, однакові. При цьому коромисло терезів розташоване горизонтально, а стрілка приладу вказує на нульову позначку. Отже, зважуючи тіло на терезах, порівнюють його масу з масою еталона.

**Приклад.** На одну шальку терезів покладемо тіло, масу якого треба виміряти, а на другу — гирі, маси яких відомі (мал. 59). Гирі добираємо так, щоб встановилася рівновага. Визначаємо загальну масу гир, які врівноважують тіло. Маса тіла дорівнює масі гир, тобто 370 г. Записують це так:

$$m = 370 \text{ г} = 0,370 \text{ кг}.$$





Мал. 59



Мал. 60

Для зважування використовують спеціальний набір гир різної маси. На малюнку 50 зображено набір гир до навчальних терезів. У ньому є 9 гир масою 100, 50, 20, 20, 10, 5, 2, 2 і 1 г. За їх допомогою можна дібрати будь-яку масу від 1 до 210 г. Гирі, маса яких менша від 1 г, виготовляють з алюмінію у вигляді пластинок масою 500, 200, 200, 100, 50, 20, 20, 10 мг.

За допомогою спеціальних терезів можна вимірювати як великі, так і малі маси. В таблиці 4 наведено приклади маси тіл живої природи, а також маси тіл, створених людиною.

Таблиця 4

| Жива природа | Маса тіла | Тіла, створені людиною                    | Маса тіла |
|--------------|-----------|-------------------------------------------|-----------|
| Комар        | 7 мг      | Мікросхема                                | 900 мг    |
| Зернина      | 30 мг     | Перший супутник                           | 83 кг     |
| Людина       | 70 кг     | Автомобіль ЗАЗ «Таврія»                   | 710 кг    |
| Страус       | 100 г     | Трактор К-700                             | 11 т      |
| Зубр         | 1000 кг   | Електровоз                                | 200 т     |
| Слон         | 7 т       | Літак «Мрія» з космічним кораблем «Буран» | 560 т     |
| Кит          | 150 т     |                                           |           |

ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Крім системних існують й інші одиниці маси тіла. Наприклад, масу дорогоцінного каміння вимірюють у каратах: 1 карат = 0,2 г. У Київській Русі одиницею маси була 1 гривня, яка дорівнювала приблизно 410 г. Пізніше ця одиниця стала називатися фунтом: 1 фунт = 0,025 пуда = 32 лоти = 96 золотників = 9216 долей = 0,4 кг. Поширеною була й така одиниця маси, як пуд (близько 16 кг). Для зважування ліків використовуються грани: 1 гран = 0,6 г. За традицією ще застосовують унцію, значення якої залежно від галузі лежить у межах 28—31 г.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке маса тіла?
2. Як можна виміряти масу тіла?
3. Що таке зважування?
4. Які ви знаєте одиниці маси?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. На столі лежить книжка. Внаслідок взаємодії з якими тілами книжка перебуває в стані спокою?

Відповідь: книжка взаємодіє із Землею, а також зі столом.

2. Чому з розбігу можна стрибнути на більшу відстань, ніж без розбігу?

Відповідь: за рахунок інерції.

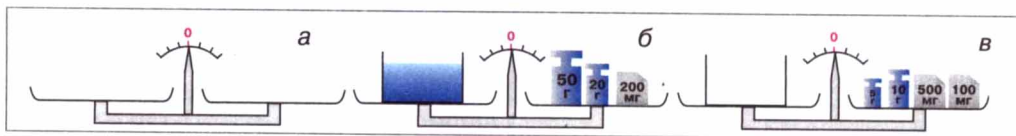
3. На малюнку 61, а, б, в зображено процес вимірювання маси води за допомогою терезів. Яка маса склянки з водою? Яка маса порожньої склянки? Яка маса води у склянці?

Відповідь:

а) терези було зрівноважено;

б) маса склянки з водою дорівнює  $70\text{ г } 200\text{ мг} = 70,2\text{ г} = 0,0702\text{ кг}$ ;

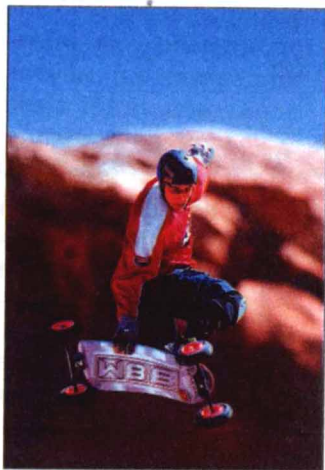
в) маса порожньої склянки —  $15\text{ г } 600\text{ мг} = 15,6\text{ г} = 0,0156\text{ кг}$ ; маса води в склянці —  $54\text{ г } 600\text{ мг} = 54,6\text{ г} = 0,0546\text{ кг}$



Мал. 61

#### Рівень А

78. Чи залишиться човен в стані спокою, якщо людина з нього стрибне на берег? Чому?
79. Ви забиваєте цвях у стіну. Які тіла взаємодіють при цьому?
80. Чому важко йти проти вітру? З якими фізичними тілами взаємодіє людина при цьому?
81. На гілці сидить пташка. Що станеться з гілкою в той момент, коли пташка злетить вгору?
82. При пострілі з рушниці відчувається удар у плече — віддача. Чим пояснюється це явище?
83. Чому більшість велосипедів мають привід гальма на заднє колесо, а не на переднє?
84. Прояв якого явища зображено на малюнку 62, де спортсмен летить уперед, відірвавшись від ґрунту?
85. Краплини води зриваються з гілок рослин, а з рук їх струшують. Яка відмінність між цими явищами?



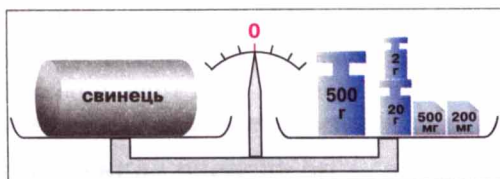
Мал. 62





Мал. 63

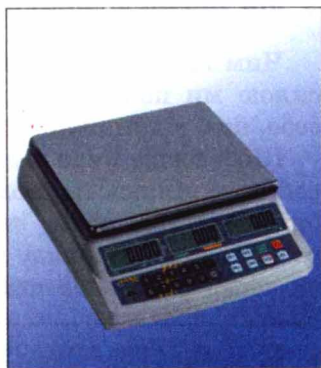
86. Пасажири автобуса відчули, що вони нахилиються ліворуч. Як рухався в цей момент автобус?
87. Чому може впасти людина, яка спіткнулася? У який бік?
88. Чому під час різкого гальмування автомобіля його передня частина опускається вниз?
89. Чому на поворотах шофер, мотоцикліст, велосипедист зменшують швидкість руху свого транспорту?
90. Яке значення маси притаманне кожній з істот, зображених на малюнку 63: 50 т, 4 т, 500 кг, 70 кг, 350 г, 13 г?
91. Визначте масу свинцевого циліндра (мал. 64).
92. Розгляньте шкалу настільних торговельних терезів у магазині, визначте ціну поділки шкали і поясніть, чому на терезах дозволяється зважувати продукти масою, не меншою за 50 г?



Мал. 64

### Рівень Б

93. Чому, сидячи в човні й впираючись ногами в сидіння, не можна зрушити човен з місця? Чи взаємодіють при цьому людина і човен?
94. Для зменшення ударів під час їзди кузови автомобілів установлюють на ресорах. Що відбувається з ресорами, якщо навантажити автомобіль або якщо він їде по вибоїнах?
95. Виконайте такий дослід: у вагоні поїзда (в автобусі чи автомобілі), який рухається рівномірно, підкиньте вгору яблуко. Чи впаде воно назад у руки? Поясніть результати дослідів.
96. Заець, рятуючись від собаки, який женеться за ним, робить різкі стрибки вбік, коли собака вже от-от ухопить його зубами. Чому собаці важко зловити зайця, хоч і бігає собака швидше?
97. Виконайте такий дослід: покладіть на край стола аркуш паперу. Зверху на нього покладіть кілька книжок так, щоб частина аркуша виступала. Що буде з книжками, якщо аркуш паперу ви будете тягнути повільно? потягнути ривком? Повторіть дослід, поклавши на



Мал. 65

папір один зошит, кілька монет. Чи однаковий результат досліду в кожному випадку? Відповіді запишіть у зошит.

98. Як за допомогою терезів можна визначити, скільки приблизно цвяхів знаходиться у ящику, якщо їхня загальна маса дорівнює 15 кг (без ящика)?
99. Рекомендовані та цінні листи і бандеролі на пошті зважують за допомогою спеціальних терезів (мал. 65) з точністю до 1 г. Поштові марки наклеюють на лист після його зважування. Чи є необхідність у повторному зважуванні листів, якщо маса марок коливається від 20 до 150 мг?
100. Визначте масу води, яку вбирає серветка, використовуючи посудину з водою і терези.
101. Визначте довжину мідного дроту в мотку, не розмотуючи його, користуючись тільки терезами.
102. Чому при наближенні до пристані на теплоході вимикають двигуни? Чи можна явище інерції використовувати для економії палива? Яким чином?

## § 17 СИЛА

Для вивчення будь-якого природного явища використовують різні фізичні величини. Для того, щоб описати якісно і кількісно взаємодію тіл, вводять фізичну величину, яку називають силою.

**Сила** — це фізична величина, яка є мірою взаємодії тіл і є причиною зміни швидкостей тіл або їхніх частин.

• **Спостереження.** Якщо ми розглядаємо, наприклад, взаємодію руки з волейбольним м'ячем, то ми говоримо: «М'яч діє з силою на руку або рука діє з силою на м'яч».

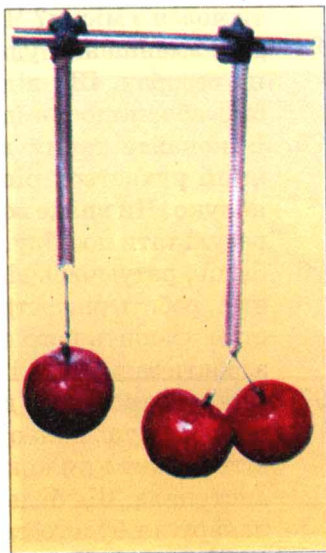
♦ **Дослід.** Підвісимо на пружину яблуко (мал. 66). Пружина видовжиться. Якщо на неї підвісити два яблука, то вона видовжиться більше. Отже, два яблука діють на пружину з більшою силою, ніж одне.

**Результат дії одного тіла на інше залежить від значення прикладеної сили.**

Чим щільніше зачинені двері, тим з більшою силою ми повинні їх штовхати або тягнути на себе, щоб відчинити.

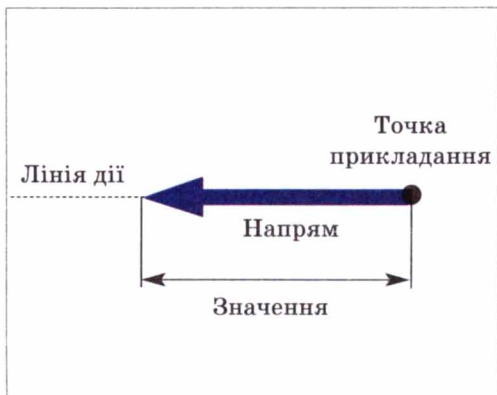
Щоб легше було відкривати двері, ручку дверей прикріплюють якомога далі від петель. Спробуйте їх відкрити, штовхаючи у точці, яка розміщується поблизу петель. Ви переконаєтесь, що це зробити набагато важче, ніж за допомогою ручки.

**Результат дії одного тіла на інше залежить від точки прикладання сили.**



Мал. 66





Мал. 67



Мал. 68

Для одержання певного результату дії, наприклад, розтягнути або стиснути пружину, двері зачинити або відчинити, потрібно прикладати сили у різних напрямках.

▶ **Дія одного тіла на інше залежить від напрямку дії сили.**

Графічно силу зображають у вигляді відрізка прямої зі стрілкою на кінці (мал. 67).

Початок відрізка суміщають із точкою прикладання сили. Довжина відрізка у певному масштабі дорівнює значенню сили. Стрілка показує напрям сили.

Величини, які, крім числового значення, характеризуються ще й напрямом у просторі, називають **векторними** (від латинського слова *вектор* — ведучий, несучий).

Силу позначають латинською літерою  $F$ .

На мал. 68 спортсменка приготувалася стріляти з лука. У цьому разі її рука діє на тятиву з силою  $F$ , напрямленою вправо, а тятива діє на руку з такою самою за значенням силою, напрямленою вліво. Отже, значення сил однакові, але напрями їх протилежні.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке сила?
2. Від чого залежить дія одного тіла на інше?
3. Як зображають силу на малюнках? Як її позначають?

## § 18

### СИЛА ТЯЖІННЯ

*Чому всі підкинуті вгору тіла падають на Землю? Чому на санчатах легко з'їжджати згори, а вгору їх треба тягнути?*

Підкиньте вгору м'яч. Піднявшись на деяку висоту, він почне рухатися вниз і впаде на Землю. Парашутист, який вистрибує з літака, падає вниз навіть тоді, коли парашут розкритий. Після появи дощової хмари на Землю

падає рясний дощ. Як би ми не стрибали вгору, завжди опускаємося на Землю.

**Усі тіла, що перебувають на Землі або поблизу, взаємодіють з нею: Земля притягує тіла, а вони притягують Землю.**

Оскільки у Землі дуже велика маса, то внаслідок взаємодії швидкості і положення помітно змінюють саме тіла, а Земля практично залишається на місці.

**Силу, з якою Земля притягує до себе будь-яке тіло, називають силою тяжіння.**

Від чого залежить сила тяжіння?

На підставі досліду з яблуками, виконаного нами раніше, можемо зробити висновок, що на два яблука, які підвішено на пружині, діє більша сила тяжіння, ніж на одне, бо маса двох яблук більша за масу одного. Чим більша маса тіла, тим більша сила тяжіння діє на нього.

Силу тяжіння позначають  $F_{\text{тяж}}$ .

Одиницею сили тяжіння, як і будь-якої іншої сили, в СІ є один ньютон (1 Н). Ця одиниця названа на честь англійського вченого Ісаака Ньютона, який вперше сформулював основні закони руху тіл і закони тяжіння.

**1 ньютон (1 Н) дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло масою приблизно 102 г.**

Тоді на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 9,81 Н, тобто  $F_{\text{тяж}} = 9,81 \text{ Н}$ .

Як, користуючись одиницею сили 1 Н, визначити силу тяжіння, що діє на тіло будь-якої маси?

Оскільки на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 9,81 Н, то на тіло масою  $m$  діятиме сила тяжіння в  $m$  разів більша.

Щоб визначити силу тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , яка діє на тіло, треба сталу для даної місцевості величину  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$  помножити на масу тіла  $m$ , виражену в кілограмах:

$$F_{\text{тяж}} = gm.$$

Але притягання існує не тільки між Землею і тілами, які розміщуються на ній або поблизу неї. Усі тіла притягуються одне до одного. Наприклад, притягуються між собою Земля і Місяць, Сонце і Земля та інші планети, кораблі в морі, предмети в кімнаті. Внаслідок притягання Землі до Місяця на Землі виникають припливи і відпливи (мал. 69). Вода в океанах піднімається двічі на добу на декілька метрів.

Завдяки силі тяжіння атмосфера утримується біля Землі, річки течуть згори донизу, Місяць утримується біля Землі, планети рухаються по орбітах навколо Сонця.



Мал. 69



## Явище притягання всіх тіл Всесвіту одне до одного називають всесвітнім тяжінням.

Ісаак Ньютон довів, що сила притягання між тілами тим більша, чим більші маси цих тіл і чим менша відстань між тілами.

Якби сила тяжіння на Землі раптово зникла, то всі неукріплені на її поверхні тіла за будь-якого малого поштовху порозліталися б у всі боки в космічному просторі.

А який напрям має сила тяжіння?

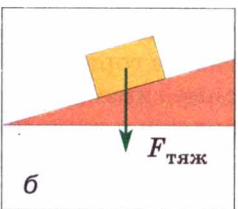
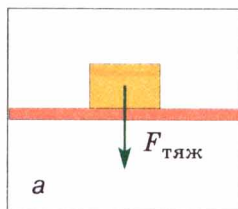
◆ **Дослід.** Якщо взяти висок або підвісити на нитці будь-який предмет (мал. 70), то побачимо, що нитка з тягарцем унаслідок дії на нього сили тяжіння завжди напрямлена до Землі уздовж прямої, яку називають вертикаллю.

Виконавши цей дослід у всіх точках Землі, вчені переконалися, що сила тяжіння завжди напрямлена до центра Землі.

Силу тяжіння зображають у вигляді вертикальної стрілки, напрямленої вниз і прикладеної до певної точки тіла (мал. 71 а, б).



Мал. 70



Мал. 71

## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Крім планет з їх супутниками навколо Сонця рухаються маленькі планети, які ще називають астероїдами. Найбільша з них — Церера — має статус карликової планети і за радіусом майже в 20 разів, а за масою в 7500 разів менша від Землі. Сила тяжіння на ній така мала, що людина, відштовхнувшись від поверхні планети, могла полетіти з неї. Четверта в полі астероїдів планета — Веста — має масу в 60 000 разів меншу від маси Землі.
- Ось як описує засновник теорії космонавтики К. Е. Ціолковський в оповіданні «Шлях до зірок» умови перебування людини на цьому астероїді: «На Землі я можу вільно нести ще одну людину такої самої ваги, як я. На Весті так само легко можу нести в 30 разів більше. На Землі я можу підстрибнути на 50 см. На Весті таке саме зусилля дає стрибок на 30 м. Це висота десятиповерхового будинку або величезної сосни. Там легко перестрибувати через рівчак і ями завширшки з чималу річку. Можна перестрибнути через 15-метрові дерева і будинок. І це без розгону».



## ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що є причиною падіння всіх тіл на Землю?
2. Яку силу називають силою тяжіння?
3. За якою формулою визначають силу тяжіння?
4. Що відбудеться з прикладеною до тіла силою тяжіння, якщо його масу збільшити вдвічі?
5. Який напрям має сила тяжіння?

## § 19 СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

Ми вже знаємо, що на всі тіла, які розміщуються на Землі або поблизу неї, діє сила тяжіння. Ця сила є причиною того, що тіла, позбавлені опору або підвісів, наприклад, краплі дощу, кинутий угору камінь, листя, що відірвалося від гілки дерева, падають на Землю.

◆ **Дослід 1.** Покладемо на дві опори сталеву пластинку. Вона перебуватиме в горизонтальному положенні (мал. 72, а). Коли на середину її поставимо гирю, то під дією сили тяжіння гиря разом зі сталеною пластиною буде рухатися вниз доти, доки не зупиниться (мал. 72, б). Чому припинився рух гирі й сталеної пластини?

Припинення руху можна пояснити тим, що, крім сили тяжіння, яка діє на гирю і напрямлена вертикально вниз, згодом на неї почала діяти ще одна сила, напрямлена вгору.

*Звідки виникла ця друга сила?*

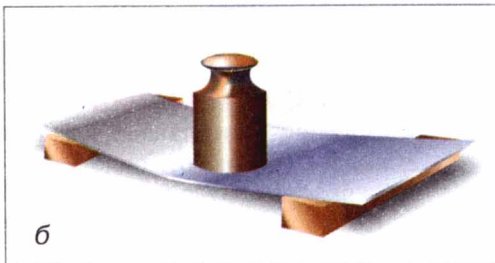
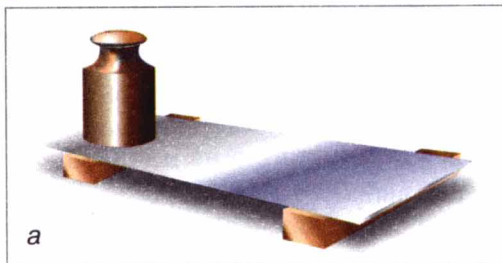
Зміну форми або розмірів тіла називають **деформацією**. Внаслідок руху тіла вниз сталова пластина прогинається — деформується. В результаті цього виникає сила, з якою пластина діє на гирю, що стоїть на ній. Ця сила напрямлена вгору, тобто в бік, протилежний силі тяжіння. Цю силу назвали **силою пружності**. Коли сила пружності за значенням зрівняється із силою тяжіння, опора і тіло зупиняться.

**Сила пружності — це сила, що виникає внаслідок деформації тіла і напрямлена протилежно напрямку переміщення частинок тіла під час деформації.**

Одним із видів деформації є згин. Чим більше згинається опора, тим більшою є сила пружності, яка діє з боку цієї опори на тіло. Перед тим, як тіло (гирю) поклали на сталеву пластинку, ця сила була відсутня. Під час переміщення гирі, яка все більше і більше прогинала пластинку, зростала і сила пружності.

Властивості пружних тіл (пружин) дуже детально вивчив понад 300 років тому англійський природодослідник **Роберт Гук**. Його досліді дали змогу встановити закон, який було названо його іменем — **закон Гука**, а саме:

**Сила пружності прямо пропорційна деформації (видовженню) тіла (пружини) і напрямлена протилежно напрямку переміщення частинок тіла під час деформації.**



Мал. 72



Якщо видовження тіла, тобто зміну його довжини, позначити через  $x$  (мал. 73, б), а силу пружності — через  $F_{\text{пр}}$ , то закону Гука можна надати такого математичного вигляду:

$$F_{\text{пр}} = kx,$$

де  $k$  — коефіцієнт пропорційності, який називають **жорсткістю тіла**. У кожного тіла своє значення жорсткості.

Чим більша жорсткість тіла (пружини, дроту, стержня тощо), тим менше воно змінює власну довжину під дією даної сили.

Одиницею жорсткості в СІ є **один ньютон на метр** ( $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ ).

Закон Гука дає змогу порівнювати між собою тіла з різною масою, тобто зважувати їх. Чим більшої маси тіло підвішуємо до пружини, тим більше вона розтягується. На цьому принципі побудовано прилад для вимірювання сили — **динамометр**.

♦ **Дослід 2.** Поставимо тіло на опору (мал. 73, а). Унаслідок взаємодії деформується не лише опора, а й саме тіло, яке притягується Землею. Деформоване тіло тисне на опору з силою, яку називають **вагою тіла  $P$** . Якщо тіло підвісити до пружини, то воно деформується саме і при цьому розтягує пружину, в результаті чого виникає сила пружності (мал. 73, б). Тіло діє на підвіс із силою, яку називають **вагою тіла  $P$** .

▶ **Вага тіла** — це сила, з якою тіло внаслідок притягання до Землі діє на горизонтальну опору або підвіс.

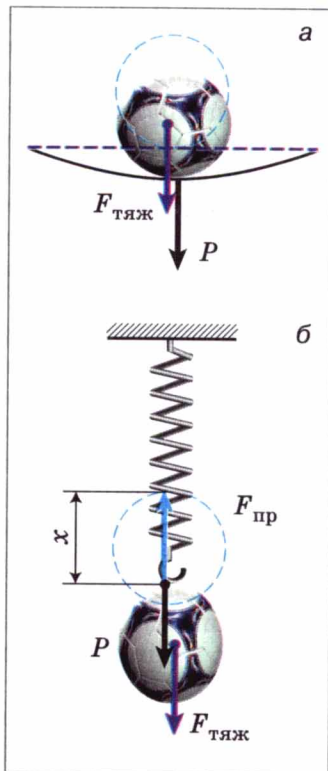
Не слід плутати силу тяжіння з вагою тіла. Сила тяжіння діє на саме тіло з боку Землі, а вага цього тіла — це сила пружності, що діє на опору або підвіс.

Якщо горизонтальна опора чи підвіс з тілом перебувають у стані спокою або рухаються прямолінійно і рівномерно, то вага тіла дорівнює силі тяжіння і визначається за формулою:

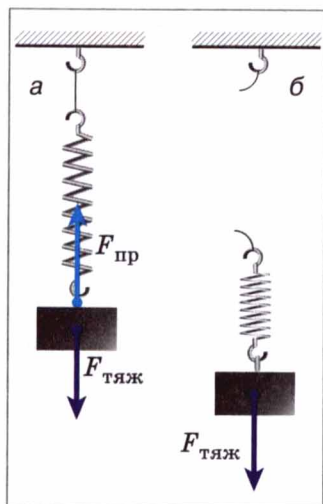
$$P = gm,$$

де  $P$  — вага тіла;  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $m$  — маса тіла.

Іноколи плутають вагу тіла з його масою — це помилка. По-перше, це різні фізичні величини з яких вага — напрямлена величина, вектор, а маса визначається лише числовим значенням. Вони характеризують різні властивості тіл і мають різні одиниці: для ваги — **ньютон**, для маси — **кілограм**. По-друге, кожне тіло завжди має певну незмінну масу, а вага тіла може змінюватися, якщо опора або підвіс нерівномірно рухається. У цьому разі вага тіла може збільшуватися або зменшуватися порівняно з вагою тіла на нерухо-



Мал. 73



Мал. 74

мій опорі і навіть зникати, тобто дорівнювати нулю (стан **невагомості**). Наприклад, піднімаючи вантажі за допомогою підйомного крана, потрібно враховувати, що під час різких ривків вага вантажу зростає, і трос може розірватися. Стоячи на платформі медичних терезів, ми помічаємо, що їх показання змінюються, якщо під час зважування присідати або рухати руками.

Вага тіла діє на будь-яку опору: підлогу, по якій ми ходимо, стілець, на якому ми сидимо, канат, за який ми вхопилися. Призначення опори — обмежувати рух тіла під дією сили тяжіння, звідси і її назва.

Починаючи з 4 жовтня 1957 р., коли космічна ракета вивела на орбіту перший штучний супутник Землі, почалася ера освоєння людиною космічного простору. Людина побувала на Місяці, готується експедиція на Марс. Ми часто чуємо по

радіо і телебаченню, читаємо в газетах і журналах, що космонавти під час польоту в космічному кораблі по орбіті навколо Землі перебувають в особливому стані, який називають **невагомістю**.

*Що це за стан і чи можна його спостерігати на Землі?*

◆ **Дослід 3.** Верхній кінець пружини за допомогою нитки прикріпимо до нерухомої опори, а до нижнього підвісимо тягарець (мал. 74, а). Під дією сили тяжіння він починає рухатися вниз. Пружина розтягуватиметься доти, доки сила пружності, що виникає в ній, не зрівноважить силу тяжіння.

Переріжемо або перепалимо нитку, яка утримує тіло з пружиною. Пружина і тіло починають вільно падати, при цьому розтяг у пружини зникає, а це й означає, що тіло втратило вагу і не діє на підвіс (мал. 74, б). Сила тяжіння при цьому нікуди не зникла і змушує тіло падати на Землю.

Так само, якщо швидкості падіння тіла і опори (підвіса) однакові, то воно не діє на них, і його вага дорівнює нулю.

Якщо штучний супутник або космічна станція обертається навколо Землі, то космонавти і всі предмети всередині них рухаються з однаковою швидкістю відносно Землі. Внаслідок цього тіла, що розміщуються на підставках, не діють на них, підвішені до пружин тіла не розтягують їх, розлита з посудини вода плаває у вигляді великої краплі, маятникові годинники перестають працювати, космонавти без жодних зусиль пересуваються, «літаючи» або «плаваючи» в кораблі.

Якби сила тяжіння раптово зникла, то космічний корабель внаслідок інерції віддалявся б від Землі у космічний простір по прямій лінії.

У стані невагомості перебуває будь-яке тіло під час вільного, тобто безопірного падіння. Якщо за звичайних умов не брати до уваги опір повітря, то в невагомості перебуває спортсмен, який стрибає з вишки у басейн або виконує вправи на батуті; кожен з нас короткочасно перебуває у стані невагомості під час бігу, коли обидві ноги відриваються від Землі.



## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- У давні часи пружні властивості деяких матеріалів (зокрема, такого дерева, як тис) дали змогу нашим пращурам винайти лук — ручну зброю, призначену для метання стріл за допомогою сили пружності натягнутої тятиви.
- Винайдений приблизно 12 тис. років тому, лук упродовж багатьох століть був основною зброєю майже всіх племен і народів світу. До винайдення вогнепальної зброї лук був найбільш ефективним бойовим засобом. Англійські лучники могли пускати до 14 стріл за хвилину, що під час масового використання луків у бою створювало цілу хмару стріл. Наприклад, кількість стріл, випущених у битві при Азенкурі (під час Столітньої війни), становила приблизно 6 мільйонів!
- Широке застосування цієї грізної зброї в середні віки викликало обґрунтований протест з боку певних кіл суспільства. У 1139 р. Латеранський (церковний) собор, який зібрався у Римі, заборонив застосування цієї зброї проти християн. Однак боротьба за «лучне роззброєння» не мала успіху, і лук як бойову зброю продовжували використовувати люди ще протягом 500 років.
- У наш час стрільба з лука є лише одним із видів спорту.



## ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Яку силу називають силою пружності? Коли вона виникає?
2. Як формулюється закон Гука?
3. Що таке жорсткість тіла?
4. Що таке вага? Як її визначають? Чи завжди вона є сталою?
5. Що таке невагомість? Де її можна спостерігати?

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

### Розв'язуємо разом

1. Назвіть сили, які діють на тягар, підвішений до кінця спіральної пружини.

Відповідь: на тягар діє сила тяжіння, яка напрямлена вертикально вниз, і сила пружності, яка напрямлена протилежно видовженню пружини.

2. Яка вага космічного апарата масою 383 кг на поверхні планети Марс?

На Марсі  $g = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

Дано:

$$m = 383 \text{ кг}$$

$$g = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$P = ?$

Розв'язання.

Щоб визначити вагу космічного апарата, використаємо формулу:  $P = gm$ .

$$P = 3,9 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 383 \text{ кг} = 1493,7 \text{ Н.}$$

Відповідь:  $P = 1493,7 \text{ Н.}$

3. Космонавту в умовах невагомості треба займатися фізичними вправами. Чи знадобляться йому гантелі?

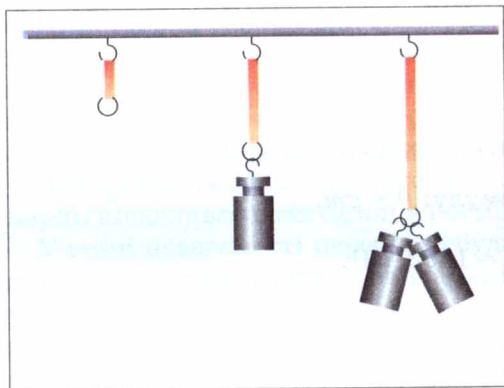
**Відповідь:** звичайні вправи на підйом ваги у стані невагомості втрачають сенс, але вправи на подолання інертності гантелей (махи, повороти, розведення рук тощо) виконувати цілком можливо. Проте гантелі як зайвий вантаж скоріше замінять на еспандер.

### Рівень А

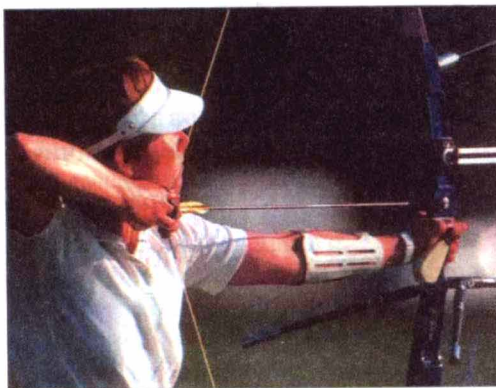
103. Назвіть силу, яка завжди діє на тіло однаково у будь-якому місці на Землі.
104. Чому випущений з рук предмет падає на Землю? Яка сила діє на нього?
105. Яка сила спричиняє падіння на Землю граду, що утворився в хмарах? Які фізичні тіла взаємодіють у цьому випадку?
106. Чому великі вантажі, які піднімають за допомогою мостових кранів, переміщують повільно?
107. Які сили діють на листя під час листопаду?
108. Які сили діють на вантаж, коли він спускається на парашуті? Які тіла тут взаємодіють?
109. Маса одного молотка дорівнює 1,4 кг, а другого — 875 г. На який молоток діє більша сила тяжіння і в скільки разів?
110. Поясніть результати досліду (мал. 75).
111. За рахунок яких сил стріла летить на певну відстань (мал. 76)?
112. Чи мають вагу рідини й гази?
113. Яка вага людини на поверхні Землі, якщо маса людини дорівнює 76 кг?
114. Чому дорівнює вага води масою 10 кг?
115. Тіло важить 750 Н. Яка маса тіла?
116. У магазині купили 1 кг хліба, 400 г масла, 1 кг 600 г ковбаси і 2 кг цукру. Визначте загальну вагу покупки.
117. Який стіл має більшу масу: вагою 95 Н чи 0,095 кН?
118. Чи завжди вага тіла дорівнює силі тяжіння, яка діє на це тіло?
119. Чи завжди тіло має вагу?

### Рівень Б

120. Коли підняли важку колоду з м'якого ґрунту, то на ньому залишилася вм'ятина. Під дією якої сили у ґрунті утворилася вм'ятина?
121. Виконайте такий дослід: покладіть жменю землі в скляну банку, налейте води і ретельно перемішайте суміш паличкою. Спостерігайте



Мал. 75

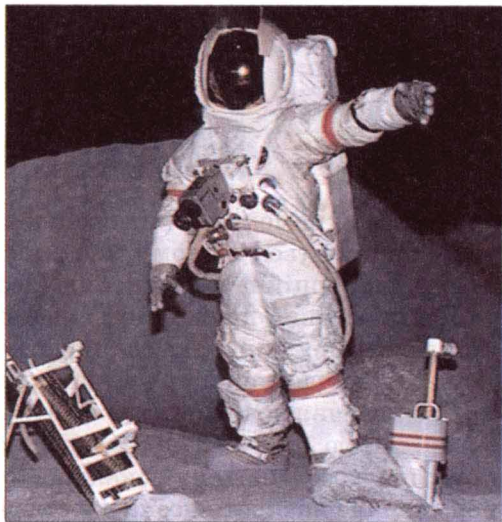


Мал. 76

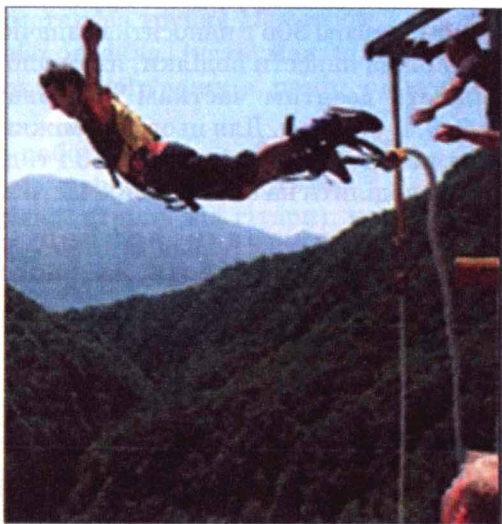


за рухом частинок землі у воді. Потім дайте суміші відстоятися. Які частинки землі випадуть в осад першими? Чи довго вода буде каламутною? Як пояснити це явище?

122. Розгляньте пружини амортизаторів мотоцикла, автомобіля, трактора. Чим вони відрізняються між собою?
123. Нейл Армстронг — перша людина, яка ступила 20 липня 1969 р. на поверхню Місяця (мал. 77). Визначте вагу астронавта на Місяці, якщо його вага на Землі дорівнювала 745 Н. Слід врахувати, що  $g_m = 1,6 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .
124. Останнім часом можна спостерігати, як сміливці виконують карколомний трюк — стрибок у прірву на канаті (мал. 78). В якому стані перебуває людина в перші секунди стрибка? Яку властивість повинен мати канат, щоб людина не загинула?
125. На скільки видовжиться пружина жорсткістю  $200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , якщо до неї підвісили тіло масою 5 кг?
126. Яка вага води об'ємом  $250 \text{ см}^3$ ?
127. Вага порожнього відра 15 Н. Якою буде вага цього відра, якщо у нього налити 12 л води?
128. Перший штучний супутник Землі, запущений у 1957 р., на космодромі мав вагу 820 Н. Один з космічних апаратів «Протон-1» мав масу 12,2 т. У скільки разів маса «Протона-1» перевищувала масу першого супутника?
129. На Землі хлопчик вільно може підняти тіло, вага якого 60 Н. Якої маси тіло він міг би підняти на Місяці, прикладаючи таке саме зусилля? Сила притягання тіл Місяцем у 6 разів менша, ніж Землею.
130. Яка фізична величина — маса будівельних матеріалів чи їх вага — має головніше значення під час розрахунку і побудови мостів та інших споруд?
131. Яка з фізичних величин — маса тіла чи його вага — становить найбільший інтерес: для мисливця, який купує свинцевий шріт, чи для спортсмена, який вибирає у спортивному магазині гантелі?



Мал. 77



Мал. 78

132. У перші секунди піднімання у швидкісному ліфті висотного будинку людина відчуває, що її притискає до підлоги, а на початку опускання навпаки, вона відчуває деяке полегшення. Однакові чи різні в ці моменти: а) маса людини; б) сила тяжіння, яка діє на тіло людини; в) вага людини?
133. Для занять акробатикою застосовують батут — пружну сітку, укріплену в горизонтальному положенні. Спортсмен-акробат може виконати на батуті багаторазові стрибки на значно більшу висоту, ніж без батута. Чи змінюється під час стрибків сила тяжіння, яка діє на тіло спортсмена? Чи змінюється вага спортсмена? Коли сила тяжіння, яка діє на спортсмена, менша за силу пружності, що виникає з боку сітки? В якому випадку сила тяжіння, яка діє на спортсмена, дорівнює силі пружності, що виникає з боку сітки?
134. Чи притягуються Землею штучні супутники Землі і предмети, які перебувають у стані невагомості в космічному кораблі?

## § 20 ДИНАМОМЕТРИ. ВИМІРЮВАННЯ СИЛИ

Будова динамометра (від грецьких слів *динаміс* — сила; *метрео* — вимірюю) ґрунтується на тому, що сила пружності пружини за законом Гука прямо пропорційна видовженню (деформації) пружини.

Найпростіший пружинний динамометр виготовляють так. На дощечці закріплюють пружину, яка закінчується внизу стержнем з гачком (мал. 79, а). До верхньої частини стержня прикріплюють показчик. На дощечці помічають положення показчика — це нульовий штрих. Потім до гачка підвішують важок масою 102 г. На цей тягарець діє сила тяжіння 1 Н. Під дією сили 1 Н пружина розтягнеться, показчик опуститься вниз. Помічають його нове положення і навпроти позначки ставлять цифру 1 (мал. 79, б). Потім підвішують важки масою 204 г і ставлять позначку 2, яка означає, що при такому положенні сила пружності пружини дорівнює 2 Н (мал. 79, в). За допомогою важків масою 306 г наносять позначку 3 (мал. 79, г) і т. д.

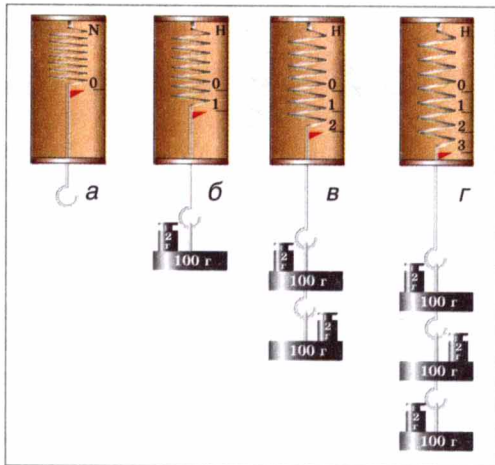
Можна нанести поділki, які відповідають десятим часткам ньютонa: 0,2; 0,4; 0,6 і т. д. Для цього проміжки між позначками 0 і 1, 1 і 2, 2 і 3 і т. д. треба поділити на 5 однакових частин.

**Проградувати прилад — це означає нанести на нього шкалу з поділками.**

Проградуйована таким чином пружина і буде найпростішим динамометром.

Для вимірювання сили використовують такі динамометри (мал. 80):

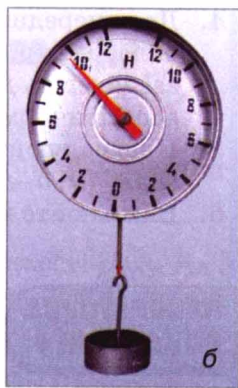
а — шкільний лабораторний



Мал. 79

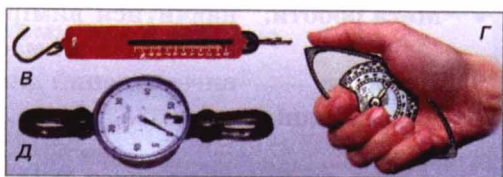


динамометр; *б* — шкільний демонстраційний динамометр; *в* — пружинні терези; *г* — медичний динамометр-силомір, який призначений для вимірювання сили м'язів руки людини; *д* — динамометр-тягомір. Основною частиною такого динамометра є пружні сталеві ресори. Цей прилад використовують для вимірювання сили тяги автомобілів, тракторів тощо.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які прилади призначені для вимірювання сили?
2. Як можна виготовити найпростіший динамометр?
3. Для чого використовують силомір? Динамометр-тягомір? Яка ціна поділки шкали динамометра на малюнку 80, б?



Мал. 80

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### КОНСТРУЮВАННЯ ДИНАМОМЕТРА

- **Мета роботи:** виготовити пружинний динамометр.
- **Прилади і матеріали:** сталева дротина, металева трубка діаметром 1 см, шматки фанери або оргскла, інструменти для обробки деревини або оргскла, набір важків, папір, олівець.

#### Хід роботи

Найпростіший пружинний динамометр виготовляють так.

1. Беруть сталеву дротину (наприклад, струну від гітари), нагрівають її на полум'ї газової плити до червоного кольору. Після охолодження дротина стає м'якою.
2. Дротину вирівнюють. Потім беруть металеву трубку діаметром 1 см і на неї намотують дротину дуже щільними рядами доти, доки не одержимо спіраль завдовжки 4 см.
3. Спіраль стискають і закріплюють так, щоб вона не розкручувалась, і поміщають у полум'я. Коли вона набуде червоного кольору, її опускають у холодну воду. Спіраль загартується і набуде пружності й жорсткості. Кінці спіралі знову розігрівають і охолоджують.

4. До попередньо виготовленого каркаса динамометра з деревини або орг-скла прикріплюють виготовлену пружину (каркас потрібно зробити заздалегідь до лабораторної роботи, наприклад, у шкільній майстерні або фізичному кабінеті).
5. Проградуєте шкалу динамометра, використовуючи набір важків (мал. 79, а-г).
6. Намалюйте в зошиті отриману вами шкалу динамометра.

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### ВИМІРЮВАННЯ СИЛ ЗА ДОПОМОГОЮ ДИНАМОМЕТРА. ВИМІРЮВАННЯ ВАГИ ТІЛ

- **Мета роботи:** навчитися вимірювати динамометром сили, які діють на тіла, вагу і масу тіла.
- **Прилади і матеріали:** виготовлений динамометр, різні тіла.

#### Хід роботи

1. Визначте ціну поділки шкали виготовленого вами динамометра. Ціна поділки шкали динамометра становить ... Н.
2. Виміряйте динамометром силу тяжіння, яка діє на підвішені до нього тіла, визначте їх вагу і масу. Результати занесіть у табл. 1.

Таблиця 1

| № досліду | Назва тіла | Сила тяжіння,<br>яка діє на<br>тіло, $F_{\text{тяж}}$ , Н | Вага тіла,<br>$P$ , Н | Маса тіла,<br>$m$ , кг |
|-----------|------------|-----------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1         |            |                                                           |                       |                        |
| 2         |            |                                                           |                       |                        |
| 3         |            |                                                           |                       |                        |

3. Виміряйте видовження пружини динамометра  $x$  під час прикладання сили 1 Н, 2 Н, 3 Н і 4 Н. Результати вимірювань занесіть у табл. 2.

Таблиця 2

| $F_{\text{пр}}, \text{ Н}$ | 0 | 1 | 2 | 3 | 4 |
|----------------------------|---|---|---|---|---|
| $x, \text{ см}$            |   |   |   |   |   |

4. За даними таблиці 2 побудуйте графік залежності сили пружності від видовження пружини  $F_{\text{пр}}(x)$ . Зробіть висновки.



## § 21 СИЛА ТЕРТЯ. КОЕФІЦІЄНТ ТЕРТЯ КОВЗАННЯ

• **Спостереження.** Автомобіль, вимкнувши двигун, через певний час зупиняється. Шайба, рухаючись по льоду, також згодом зупиниться. Зупиняється і велосипед, якщо припинити крутити педалі.

*Що ж є причиною зменшення швидкості руху тіл?*

З раніше вивченого ви знаєте, що причиною зміни швидкості руху тіл є дія одного тіла на інше. Отже, в розглядуваних випадках на кожне рухоме тіло діяла сила. Тіла зупинилися, тому що на них діяла сила, яка напрямлена протилежно їх руху і називається **силою тертя**  $F_{\text{тер}}$ .

**Сила тертя виникає під час взаємодії між твердими тілами в місцях їх дотику і перешкоджає їх відносному переміщенню.**

Однією з причин виникнення сили тертя є шорсткість стичних поверхонь тіл. Навіть гладенькі на вигляд поверхні тіл мають нерівності, горбики і подряпини. На малюнку 81 ці нерівності зображено у збільшеному вигляді. Коли одне тіло ковзає по поверхні іншого, ці нерівності зачіплюються одна за одну, що створює силу, яка заважає рухові.

Друга причина тертя — взаємне притягання молекул стичних поверхонь тіл. Якщо поверхні тіл дуже добре відполіровано, то їх молекули розміщуються так близько одна до одної, що помітно починає проявлятися притягання між ними.

Розрізняють кілька видів тертя залежно від того, як взаємодіють тертьові тіла: **тертя спокою, тертя ковзання, тертя кочення**.

♦ **Дослід 1.** Покладемо брусок на похилу дошку. Брусок перебуває в стані спокою. Що утримує його від зісковзування вниз? Тертя спокою забезпечує зчеплення бруска і дошки.

♦ **Дослід 2.** Притисніть свою руку до зошита, що лежить на столі, і пересуньте його. Зошит буде рухатися відносно стола, але перебуває у спокої відносно вашої долоні. За допомогою чого ви примусили цей зошит рухатися? За допомогою тертя спокою зошита об руку.

Тертя спокою переміщує вантажі, що розміщуються на рухомій стрічці транспортера, запобігає розв'язуванню шнурків, утримує шурупи і цвяхи в дошці тощо.



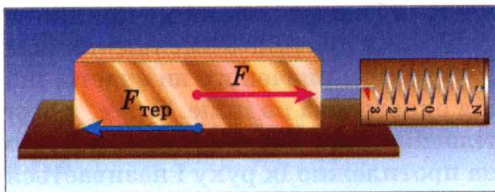
Мал. 81

Якщо тіло ковзає по іншому, то тертя, що виникає при цьому, називають **тертям ковзання**. Таке тертя виникає під час руху саней або лиж по снігу, підшов по землі.

Якщо одне тіло котиться по іншому, то говорять про **тертя кочення**. Під час кочення коліс вагона, автомобіля, воза, під час перекочування бочок по землі проявляється тертя кочення.

*А від чого залежить сила тертя?*

◆ **Дослід 3.** Прикріпимо до бруска динамометр і будемо тягнути його, надаючи бруску рівномірного руху (мал. 82). При цьому динамометр буде показувати силу, з якою ми тягнемо брусок, а отже, і силу тертя, яка виникає під час руху бруска по поверхні стола. Покладемо на брусок тягарці й повторимо дослід. Динамометр зафіксує більшу силу тертя.



Мал. 82

► **Чим більша сила притискає тіло до поверхні, тим більша сила тертя виникає при цьому.**

Виконаємо попередній дослід, але тіло будемо рухати по поверхні скла, по бетону. З'ясуємо, що сила тертя залежить від якості поверхні, по якій рухається тіло.

► **Сила тертя залежить від матеріалу і якості обробки поверхні, по якій рухається тіло.**

Силу тертя ковзання визначають за формулою:

$$F_{\text{тер}} = \mu N,$$

де  $F_{\text{тер}}$  — сила тертя ковзання;  $N$  — сила реакції опори, що за значенням дорівнює силі тиску тіла на поверхню ковзання;  $\mu$  — коефіцієнт тертя ковзання. Якщо поверхня ковзання горизонтальна то сила тиску на неї дорівнює вазі тіла, тобто  $N = P = mg$ , а  $F_{\text{тер}} = \mu gm$ , де  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $m$  — маса тіла.

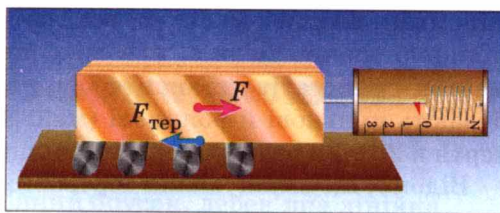
У таблиці 5 вказано коефіцієнти тертя ковзання для деяких матеріалів.

Таблиця 5

| Матеріали                                 | Коефіцієнт тертя |
|-------------------------------------------|------------------|
| Сталь по сталі                            | 0,17             |
| Залізо по залізу                          | 0,30             |
| Залізо по чавуну і бронзі                 | 0,18             |
| Дуб по дубу при паралельних волокнах      | 0,40             |
| Дуб по дубу при перпендикулярних волокнах | 0,20             |
| Сталь по льоду                            | 0,02             |
| Сталь по твердому ґрунті                  | 0,20 – 0,40      |
| Дерево по льоду                           | 0,035            |



◆ **Дослід.** Покладемо дерев'яний брусок на круглій олівці (мал. 83). Потягнемо брусок динамометром, олівці за рахунок тертя між ними і бруском з дошкою почнуть обертатися, а брусок — рухатися. Сила тертя кочення буде меншою за силу тертя ковзання.



Мал. 83

▶ **При однакових навантаженнях сила тертя кочення завжди менша за силу тертя ковзання.**

Якщо розглянете швацьку голку, то відразу помітите, що вона відполірована до блиску. Для чого потрібне таке полірування? А чи легко шити заіржавілою голкою? Тут ви безпосередньо відчуваєте, яку роль відіграє в побуті тертя.

У природі й техніці тертя може бути і корисним, і шкідливим. Коли воно корисне, його намагаються збільшити, а коли шкідливе — зменшити.

Через тертя зношуються механізми і машини, стираються підшви взуття і шини автомобілів, ускладнюється пересування різних вантажів.

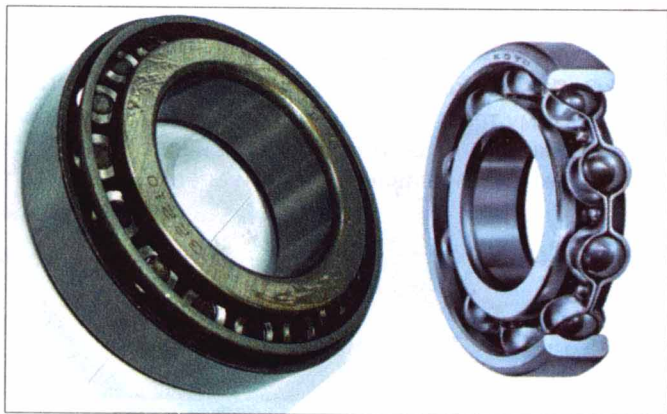
Але уявіть на хвилину, що тертя зникло. Тоді рухомий автомобіль не зміг би зупинитися, а нерухомий — зрушити з місця; пішоходи впали б на дорогу і не змогли б піднятися; тканини розпалися б на нитки, тому що нитки в них утримуються тертям; ви навіть не змогли б перегорнути сторінки цього підручника.

Ви, мабуть, неодноразово помічали, що на автомобільних шинах є рельєфні малюнки (так звані протектори), які розміщені вздовж і впоперек шини (мал. 84). Вони зроблені для збільшення тертя, тобто сили зчеплення коліс з полотном дороги. Поперечні смуги збільшують зчеплення колеса з полотном дороги, а поздовжні смуги, а також виступи, розташовані під кутом, перешкоджають зміщенню, зісковзуванню автомобіля вбік.

В усіх машинах внаслідок тертя нагріваються і спрацьовуються рухомі частини. Щоб зменшити тертя, стичні поверхні роблять гладенькими і



Мал. 84



Мал. 85

між ними вводять мастило, оскільки тертя між поверхнею твердого тіла і рідиною значно менше, ніж між поверхнями твердих тіл. Обертові вали машин і верстатів установлюють на підшипниках. Підшипники кочення бувають кулькові й роликові (мал. 85). Вони дають змогу зменшити силу тертя в 20—30 разів порівняно з підшипниками ковзання.

Відомо, що змащування тертьових поверхонь значно зменшує тертя між ними. Чому ж важче утримувати топориче сокири сухою рукою, ніж вологою? Виявляється, що при змащуванні дерева дрібні волокна на його поверхні набрякають, тому тертя між рукою і топоричем збільшується, що й допомагає утримувати сокиру в руках.

• **Спостереження.** Коли ви намагаєтеся бігти у воді басейну, річки або озера, то відчуваєте великий опір з боку води і не можете швидко бігти.

Переносячи легкі великі предмети у вітряну погоду, ви відчуваєте такий опір з боку вітру, що вам дуже важко йти.

Коли у безвітряну погоду ви стоїте біля дороги і повз вас проїжджає великий вантажний автомобіль на великій швидкості, то ви обов'язково відчуваєте вітер, що супроводжує рух автомобіля. Сила цього вітру тим більша, чим більша швидкість автомобіля.

 **Сили тертя, які виникають під час руху тіл у рідині або газі, називаються силами опору середовища.**

Сила опору залежить від форми тіла. Ракетам, літакам, підводним човнам, кораблям і автомобілям надають обтічної форми, тобто форми, за якої сила опору найменша.

◆ **Дослід.** Візьмемо два вимірювальних циліндри, наповнимо один з них водою, а другий — олією або машинним маслом. Кинемо одночасно в них однакові металеві кульки. В результаті досліду побачимо, що кулька у воді впаде на дно швидше, ніж у маслі, тобто сила опору руху кульки в маслі більша, ніж у воді.

Човни, кораблі не можуть розвинути такої швидкості, яку розвивають літаки, тому що сила опору руху у воді набагато більша, ніж у повітрі.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які є види тертя?
2. Які причини виникнення тертя?
3. Як визначається сила тертя ковзання?
4. Чому тертя може бути і корисним, і шкідливим?
5. Якими способами можна зменшити силу тертя?
6. Які сили називають силами опору?



**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 7**
**ВИМІРЮВАННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ**

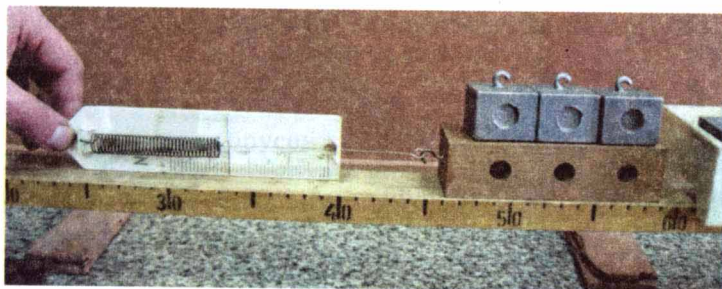
- **Мета роботи:** на дослідах визначити коефіцієнт тертя ковзання.
- **Прилади і матеріали:** динамометр, дерев'яний брусок, дерев'яна лінійка, набір важків.

**Хід роботи**

1. Визначте динамометром масу бруска і одного важка.
2. Покладіть брусок на горизонтально розміщену дерев'яну лінійку. На брусок поставте важок.
3. Прикріпіть до бруска з важком динамометр і тягніть його вздовж лінійки зі сталою швидкістю (мал. 86). Занесіть показання динамометра у таблицю.

| № досліду | Маса бруска з важками, $m$ , кг | Сила тертя, $F_{\text{тер}}$ , Н | Сила реакції опори, $N = mg$ , Н | Коефіцієнт тертя ковзання, $\mu = \frac{F_{\text{тер}}}{N} = \frac{F_{\text{тер}}}{mg}$ |
|-----------|---------------------------------|----------------------------------|----------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| 1         |                                 |                                  |                                  |                                                                                         |
| 2         |                                 |                                  |                                  |                                                                                         |
| 3         |                                 |                                  |                                  |                                                                                         |

4. До першого важка додайте другий, а потім — третій, щоразу зважуючи брусок і важки та вимірюючи силу тертя. Для кожного досліду визначте силу реакції опори, значення якої в умовах кожного досліду дорівнює вазі бруска і важків, за формулою  $N = mg$ . Результати вимірювань і розрахунків запишіть у таблицю.
5. Визначте коефіцієнт тертя ковзання для кожного випадку за формулою  $\mu = \frac{F_{\text{тер}}}{N} = \frac{F_{\text{тер}}}{mg}$ .
6. За результатами вимірювань і розрахунків побудуйте графік залежності сили тертя від сили реакції опори і, користуючись ним, визначте середнє значення коефіцієнта тертя ковзання  $\mu_c$ . Зробіть висновки.



Мал. 86

## § 22 РІВНОДІЙНА СИЛА. РУХ ТІЛА ПІД ДІЄЮ КІЛЬКОХ СИЛ

Звичайно на будь-яке рухоме тіло діє не одне, а одразу кілька оточуючих тіл. Наприклад, коли тягнемо брусок по лійці, то брусок взаємодіє і з рукою (сила тяги) і з Землею (сила тяжіння), і з поверхнею лійки (сила тертя ковзання, сила реакції опори). У цьому разі спільну дію на тіло кількох сил можна замінити **рівнодійною силою**.

**Силу, яка справляє на тіло таку саму дію, як і кілька окремих сил, одночасно прикладених до нього, називають рівнодійною силою.**

Рівнодійну силу визначають залежно від напрямів і значень окремих складових сил.

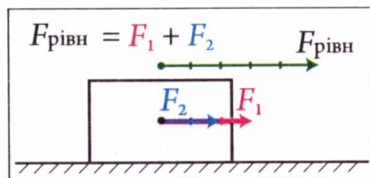
Якщо до тіла прикладено дві сили  $F_1$  та  $F_2$ , які напрямлені вздовж однієї прямої в один бік, то їх рівнодійна  $F_{\text{рівн}}$  дорівнює сумі цих сил (мал. 87):

$$F_{\text{рівн}} = F_1 + F_2.$$

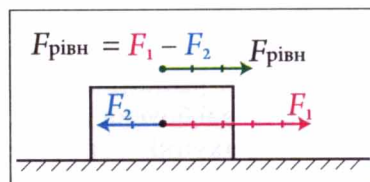
Напрямок рівнодійної сили в цьому разі збігається з напрямом прикладених сил.

Якщо до тіла прикладено дві сили  $F_1$  та  $F_2$ , які напрямлені вздовж однієї прямої, але в різні боки, то коли  $F_1$  більша за  $F_2$ , то їх рівнодійна  $F_{\text{рівн}}$  дорівнює різниці цих сил, а її напрямок збігається з напрямом більшої за значенням прикладеної сили  $F_1$  (мал. 88):

$$F_{\text{рівн}} = F_1 - F_2.$$



Мал. 87

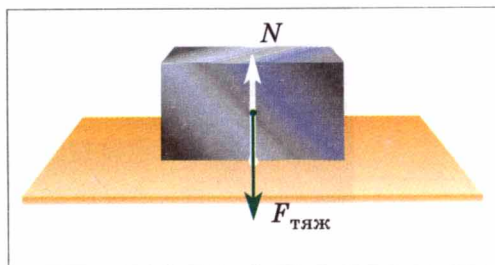


Мал. 88

Якщо в цьому разі  $F_1 = F_2$ , то їх рівнодійна дорівнює нулю. Тому тіло, яке було в спокої, таким і залишиться, а таке, що рухалося, продовжуватиме рухатися прямолінійно і рівномірно з початковою швидкістю. При цьому кажуть, що прикладені до тіла протилежно напрямлені вздовж однієї прямої і однакові за значенням сили **зрівноважують**, або **компенсують** одна одну.

Яким чином рухатиметься тіло, якщо на нього одразу діятимуть кілька сил?

♦ **Дослід 1.** Покладемо брусок на стіл (мал. 89). На нього діють дві сили: сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = mg$  і сила реакції опори  $N = mg$ . Ці сили однакові за значенням, але протилежні за напрямом, тому їх рівнодійна, або результуюча сила дорівнює нулю. Брусок перебуває у спокої.



Мал. 89



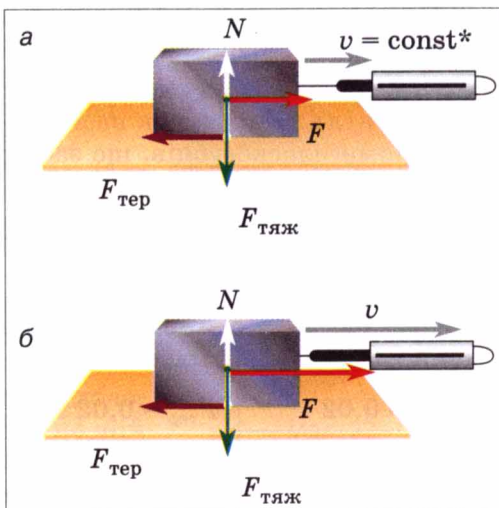
◆ **Дослід 2.** Будемо тягти брусок за допомогою нитки або динамометра по поверхні стола (мал. 90, а). У цьому разі на тіло діятимуть такі сили: сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , сила реакції опори  $N$ , сила тяги  $F$  і сила тертя  $F_{\text{тер}}$ .

Якщо  $N = F_{\text{тяж}}$  і  $F = F_{\text{тер}}$ , то тіло буде рухатися рівномірно, тобто швидкість тіла не змінюватиметься з часом.

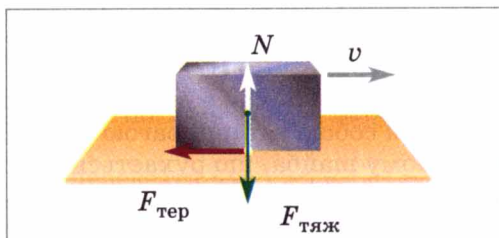
Якщо  $N = F_{\text{тяж}}$ , а сила тяги  $F$  буде більша за силу тертя  $F_{\text{тер}}$ , то тіло буде рухатися так, що швидкість його збільшуватиметься з часом, тобто тіло рухатиметься нерівномірно (мал. 90, б).

◆ **Дослід 3.** Штовхнемо брусок так, щоб він рухався по поверхні стола. На нього діятимуть сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , сила реакції опори  $N$  і сила тертя  $F_{\text{тер}}$ . Оскільки  $N = F_{\text{тяж}}$ , то вони компенсують одна одну, і впливати на рух бруска буде тільки сила тертя  $F_{\text{тер}}$  (мал. 91). Оскільки сила тертя завжди напрямлена проти руху, то брусок з часом зупиниться, що і спостерігаємо на досліді.

Залежно від того, якою за значенням буде рівнодійна сила, тіло може перебувати в стані спокою, рухатися рівномірно або нерівномірно.



Мал. 90



Мал. 91



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають рівнодійною силою?
2. Як може рухатися тіло під дією кількох сил?
3. Коли тіло перебуває в спокої або рухається рівномірно?
4. Чому тіло рухається нерівномірно?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### ► Розв'язуємо разом

1. Чи можна зважити брусок вагою 8 Н, якщо маємо тільки два однакових динамометри, розрахованих на вимірювання сили 4 Н?

Відповідь: можна. Треба укріпити обидва динамометри поряд на одному рівні, а брусок підвісити одразу до обох гачків. За умови повного розтягу пружин динамометрів до бруска будуть прикладені дві сили пружності

\* У природничих науках сталі величини символічно позначають словом *const* (від латинського *constans* — сталий, незмінний)

по 4 Н кожна уздовж однієї прямої, напрямлені вгору. Їх рівнодійна дорівнюватиме 8 Н і врівноважить силу тяжіння, що діє на брусок.

2. Яке призначення насічок на робочих поверхнях плоскогубців?

Відповідь: за рахунок насічок зростає тертя між деталлю і робочими поверхнями плоскогубців, що забезпечує надійніше утримання деталі під час роботи.

3. Сталеве тіло масою 50 кг тягнуть по льоду. Яка сила тертя виникає при цьому?

Дано:

$m = 50 \text{ кг}$

$g = 9,81 \text{ Н}$

$\mu = 0,02$

Розв'язання.

Для визначення сили тертя скористаємося формулою:

$$F_{\text{тер}} = \mu N = \mu g m.$$

$$F_{\text{тер}} = 0,02 \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 50 \text{ кг} = 9,81 \text{ Н}.$$

$F_{\text{тер}} = ?$

Відповідь:  $F_{\text{тер}} = 9,81 \text{ Н}$ .

### Рівень А

135. Двоє учнів канатом тягнуть до берега човен. Один з них прикладає силу рівну 120 Н, а другий — 100 Н. Яка сила діє на човен?
136. Яку силу покаже динамометр, до якого ниткою прикріплено зв'язані між собою тягарці вагою 10 Н, 20 Н і 40 Н?
137. Чому шайба, що рухається по гладенькій льодовій поверхні, зрештою зупиняється?
138. Чому лижник, який стрімко спустився з гори, їде далі по рівній горизонтальній поверхні снігового поля з усе меншою швидкістю?
139. Чому вода в річках біля берегів і дна тече трохи повільніше, ніж посеред річки?
140. Розгляньте уважно, як зіткана з ниток яка-небудь легка тканина, наприклад марля або ситець. Що сталося б з тканиною, якби не було тертя?
141. Чому борошно або крупи, коли їх висипати зі склянки на стіл, утворюють купку конічної форми, а вода розтікається тонким шаром?
142. Чому недосвідчений ковзаняр падає назад, з'їжджаючи зі снігової доріжки на гладенький лід ковзанки, а, повертаючись з льоду на доріжку, падає вперед?
143. Сила тертя кочення менша від сили тертя ковзання. Чому ж взимку їздять саньми, а не возом?
144. Колеса підводи, яка рухається дорогою, іноді не обертаються. За яких умов це може бути?
145. Для чого взимку на колеса автомобілів надівають ланцюги?
146. Для чого електровози і тепловози обладнано пісочницями, з яких пісок тоненькими цівками сиплеться на рейки?
147. Для чого гімнасти у спортивному залі натирають взуття каніфоллю, руки — порошком, що добре вбирає вологу (спалена магнезія), а футболісти взувають бутси із шипами?
148. Навіщо воротар футбольної команди під час гри користується спеціальни-



ми рукавицями, особливо в дощову погоду? Яку вимогу повинні задовольняти такі рукавиці?

149. На мал. 92 зображений коник-стрибунець. Яке призначення зубців на його лапках?
150. Яка сила тертя діє під час руху залізного тіла масою 2 кг по залізній поверхні?

### Рівень Б

151. Як можна двома динамометрами виміряти силу 80 Н, якщо кожний з них розрахований на 50 Н?
152. Виконайте такий дослід: покладіть на долоню монету і спробуйте, проводячи по ній щіткою для одягу, змести її з долоні. Як пояснити явище, яке ви спостерігаєте?
153. Для чого на головці і у верхній частині цвяха роблять насічки?
154. Краплі дощу легко скочуються з похилої поверхні покрівлі, а сніг на дахах збирається товстим шаром. Як пояснити це явище?
155. Чому розведеною пилкою легше пиляти, ніж нерозведеною? Чи однаково розводять пилки для розпилювання сухого та вологого дерева?
156. Чому навантажений автомобіль буксує на поганій дорозі менше, ніж порожній?
157. Вантажний автомобіль з причепом має перевезти важкий верстат. Що краще завантажити: кузов автомобіля чи причеп? Чому?
158. Для чого під час ожеледиці доріжки посипають піском?
159. Чому ковзани і санки добре ковзають по льоду? Чому в сильні морози це ковзання погіршується?
160. Чому, коли важко зняти каблучку, користуються мильною водою?
161. Людина посковзнулася, наступивши на сухі горошини. Як це пояснити?
162. Укажіть, в яких місцях велосипеда є кулькові підшипники.
163. Для чого шурупи перед закручуванням у тверді породи дерев змащують милом?



Мал. 92

## § 23 ТИСК І СИЛА ТИСКУ. ОДИНИЦІ ТИСКУ

Ви вже знаєте, що дію одного тіла на інше характеризують прикладеною до нього силою. *Від чого залежить результат дії цієї сили на тіло?*

• **Спостереження 1.** З власного досвіду ви знаєте, що дуже важко йти по глибокому пухкому снігу, оскільки ноги глибоко провалюються в ньому, а на лижах пересуватися набагато легше, тому що просідання снігової поверхні в цьому разі значно менше. Обидва рази ви дієте на сніг з однаковою силою, але площа поверхні, на яку вона розподіляється у випадку лиж значно більша, ніж у випадку взуття, тому і деформація снігу виявляється різною. Стоячи на лижах, ви тиснете на кожен одиницю площі поверхні снігу з силою, меншою у стільки разів, у скільки площа поверхні лиж більша за площу підшв взуття.

•**Спостереження 2.** Легковий автомобіль, на відміну від гусеничного трактора або болотохода, не може проїхати по болотистій місцевості, хоча його вага набагато менша від ваги трактора. Розглянувши колеса легкового автомобіля і гусениці трактора, ви пересвідчитесь у тому, що площа поверхні гусениць набагато більша, ніж коліс.

**Результат дії сили на поверхню залежить не тільки від її значення, а й від площі тієї поверхні, перпендикулярно до якої вона діє.**

Переконаємося у цьому за допомогою дослідів.

♦**Дослід 1.** Заповнимо скляну посудину піском. На пісок поставимо столик ніжками вгору і на нього — гирю масою 2 кг. Результат: столик майже не вгрузає в пісок (мал. 93, а).

Поставимо столик ніжками на пісок і на нього — знов гирю масою 2 кг. Результат: ніжки стола вгрузнуть у пісок (мал. 93, б).

Візьмемо столик із загостреними ніжками. Поставимо його ніжками на пісок, поклавши зверху ту саму гирю масою 2 кг. Результат: загострені ніжки повністю вгрузли в пісок (мал. 93, в).

Дослід свідчить, що чим менша площа опори столика, тим глибше він вгрузає в пісок під дією тієї самої сили.

♦**Дослід 2.** Візьмемо два столики. Площа поверхні ніжок одного столика вдвічі більша, ніж другого. Покладемо на столики вантаж, причому на столик з більшою площею поверхні ніжок покладемо вдвічі більший вантаж. Результат дії сили буде однаковий.

У розглянутих прикладах значення мала сила, що діє перпендикулярно до поверхні тіла. Таку силу називають **силою тиску**.

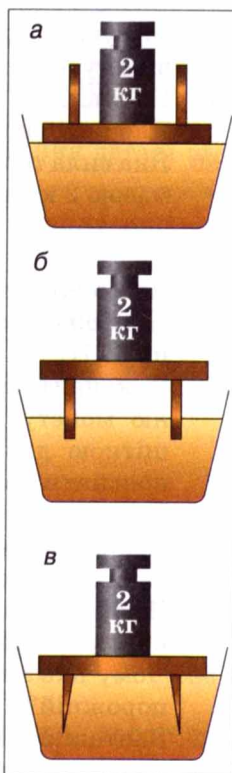
**Величину, що визначається відношенням значення сили тиску до площі поверхні, на яку вона діє, називають т и с к о м .**

Тиск позначають малою латинською літерою  $p$ . Отже, щоб визначити тиск  $p$ , треба силу  $F$ , яка діє перпендикулярно до поверхні, поділити на площу цієї поверхні  $S$ , тобто:

$$\text{Тиск} = \frac{\text{Сила тиску}}{\text{Площа}}, \text{ або } p = \frac{F}{S}.$$

Одиницею тиску є **один паскаль (1 Па)**, яку названо на честь французького вченого Блеза Паскаля. Тиск 1 Па створює сила тиску 1 Н, що діє на поверхню площею 1 м<sup>2</sup>, тобто  $1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

На практиці ще використовують кратні одиниці тиску: гектопаскаль (гПа), кілопаскаль (кПа):



Мал. 93



$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}; 1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}.$$

Знаючи тиск, можна визначити силу тиску, яка діє на поверхню тіла. Тиск показує, яка сила тиску діє на одиницю площі, тому ця сила тиску дорівнює добутку тиску і площі поверхні:

$$F = pS.$$

Усім добре відомо, що під час шиття голкою швачки користуються наперстком. Голку роблять дуже гострою, щоб помірною силою пальців створювати великий тиск на тканину і проколювати її. Але під час натискання пальця на голку вона з такою самою силою тисне на палець. Кінець голки з боку вушка роблять притупленим, але під час роботи тиск на шкіру пальця може бути дуже великим, достатнім, щоб її поранити. Міцний металевий наперсток надійно захищає палець.

*Чому подушка м'яка? Чому зручно лежати на перині або на надувному матраці, а лежати на дошках або твердій поверхні незручно? Виявляється, враження м'якості або твердості залежить не від властивості матеріалу, а від значення тиску на поверхню тіла. Зробимо невеликі розрахунки.*

Будемо вважати, що маса дорослої людини дорівнює 60 кг, що відповідає вазі приблизно 600 Н, а поверхня тіла — приблизно 2 м<sup>2</sup>. Якщо людина лежить у ліжку на перині, яка прогинається і ніби охоплює тіло, з нею стикається приблизно чверть усієї поверхні її тіла, тобто 0,5 м<sup>2</sup>. За підрахунком такі дані відповідають тиску 1200 Па. А якщо людина ляже на тверду поверхню, то площа стикання становитиме близько 0,01 м<sup>2</sup>. Це відповідає тиску 60 000 Па, тобто тиск тіла на тверду поверхню збільшиться у 50 разів, звідси і незручності.

У різноманітних галузях сучасної техніки доводиться розв'язувати завдання щодо одержання високих тисків, зниження тиску або збереження його в заданих умовах. Проблема тиску відіграє важливу роль на транспорті. Залізниці й дороги мають надійно витримувати тиск різних транспортних засобів. Цього досягають, зменшуючи вагу транспортних засобів і збільшуючи їх площу опори. Колеса легкового автомобіля чинять на дорогу тиск близько 300 кПа. Щоб зменшити тиск на дорогу вантажних автомобілів, їх роблять багатовісними, з колесами великого діаметра, використовують гусениці. Так, тиск, що створює трактор Т-130, вага якого сотні тисяч ньютонів, дорівнює 27 кПа. Це в 1,5 раза більше від тиску, який чинить на дорогу людина вагою 600 Н.

За допомогою надзвичайно тонкого інструменту — жала — оса створює тиск, сумірний із тиском під час вибуху (33 000 000 000 Па).

## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- В Арктиці й Антарктиці на наукових станціях користуються такими транспортними засобами, як снігоходи «Пінгвін» і «Харків'янка». Снігохід «Харків'янка» має дизельний двигун потужністю 736 кВт і запас пального на 1500 км. При масі 35 т він має гусениці завширшки 1 м, що дає йому змогу долати снігову цілину, льодові тороси, круті схили. Снігохід має утеплену кабінку площею 25 м<sup>2</sup> з потужною опалювальною системою, спеціальною герметичною обшивкою, що дає змогу працювати в ньому навіть при морозах нижче від

–70 °С. У кабіні є спальні місця, радіорубка, робоча кімната, кухня, сушарка, гардероб, санвузол. Розміри снігоходу такі: довжина — 8,5 м, ширина — 3,5 м, висота — 4,2 м. Максимальна швидкість його руху дорівнює  $30 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . У задній частині снігохода розміщено лебідку для самовитягування і трос завдовжки 100 м. Снігохід може тягнути за собою причіп масою 70 т. Провалюючись в ополонку, снігохід не тоне, він сам за допомогою гусениць може вийти на лід.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чому по снігу легше рухатися на лижах, ніж без них?
2. Чому гусеничний трактор не грузне у во́гкому ґрунті, а легковий автомобіль грузне?
3. Що називають тиском? Як визначають тиск?
4. Як можна визначити силу тиску?
5. Як можна збільшити тиск? Зменшити тиск?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### > Розв'язуємо разом

1. З якою метою під голівку болта і гайку підкладають широкі металеві кільця — шайби, особливо, коли скріплюють дерев'яні деталі (мал. 94)?

Відповідь: щоб уникнути пошкоджень деталей, зменшують на них тиск за рахунок збільшення площі поверхні дотику.

2. Доросла людина, яка має площу підшов'язтця  $450 \text{ см}^2$ , тисне на підлогу із силою  $700 \text{ Н}$ . Визначте тиск людини на підлогу.

Дано:

$$F = 700 \text{ Н}$$

$$S = 450 \text{ см}^2 =$$

$$= 0,0450 \text{ м}^2$$

$$p = ?$$

Розв'язання.

Визначимо тиск людини на підлогу за формулою

$$p = \frac{F}{S};$$

$$p = \frac{700 \text{ Н}}{0,0450 \text{ м}^2} = 15\,556 \text{ Па}.$$

Відповідь: тиск людини на підлогу дорівнює  $15\,556 \text{ Па}$ .



Мал. 94

### Рівень А

164. Чому тупим ножем важко застругувати олівець? Чому важко працювати затупленими інструментами під час обробки дерева?
165. Під натиском пальця кнопка порівняно легко входить у дерев'яну стіну. Чому цього не можна зробити із цвяхом? Яким чином діють у цьому разі?
166. З якою метою під залізничні рейки підкладають шпали та металеві підкладки?
167. Для чого загинають верхній край лопати, на який натискають ногою?



168. Одне відро з водою має на дужці дерев'яну ручку, а друге — ні. Під час піднімання якого з відер створюватиметься більший тиск на руку?
169. Під час шиття сила тиску дорівнює 2 Н, а тиск голки на тканину дорівнює 200 000 000 Па. Чому дорівнює площа дотику голки?
170. Яке із наведених нижче значень тиску є найбільшим, а яке найменшим:  $6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ ,  $60 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ , 600 Па?
171. Тиск вовка на пухкий сніг дорівнює 12 000 Па, а тиск зайця — 1200 Па. Кому легше рухатися по снігу?
172. Тиск штормового вітру на перешкоду досягає 100 Па. Визначте силу, з якою вітер тисне на стіну будинку площею 24 м<sup>2</sup>.
173. Як створити тиск 50 000 Па, діючи силою лише 1000 Н?

**Рівень Б**

174. Людина провалилася під лід. Як треба діяти, спираючись на знання про тиск, щоб врятувати її?
175. Чому дорівнює тиск на рейки чотиривісного вагона масою 60 т, якщо площа стикання одного колеса з рейкою 10 см<sup>2</sup>?
176. Як людина, що стоїть на підлозі, може дуже швидко подвоїти тиск на підлогу, не навантажуючи себе ніякими додатковими вантажами?
177. Площа ступні людини — 180 см<sup>2</sup>. Який тиск створює людина масою 70 кг, якщо вона стоїть на обох ногах? На одній нозі?
178. Тиск на кінчику жала бджоли в момент укусу дорівнює приблизно 3 200 000 000 Па. У скільки разів цей тиск більший за тиск людини на підлогу? (Дивіться умову попередньої задачі).
179. Ейфелева вежа в Парижі масою 9 000 т створює тиск на ґрунт 200 000 Па. Чому дорівнює площа опори вежі?
180. Який тиск створюватиме цеглина розміром  $26 \times 13 \times 6,5$  см і масою 3,5 кг, коли спиратиметься на різні грані?
181. Коток, який ущільнює покриття під час будівництва доріг, створює тиск 400 000 Па. Площа опори котка — 0,12 м<sup>2</sup>. Яка маса цього котка?
182. Чому фундамент будинку ширший, ніж стіни?
183. Як впливає важка техніка на щільність ґрунту? Як це відображається на процесах розвитку рослин? До яких наслідків це призводить?
184. У комара (мал. 95), звичайно, сила комарина. Яким же чином комар проколює шкіру слона, корови?



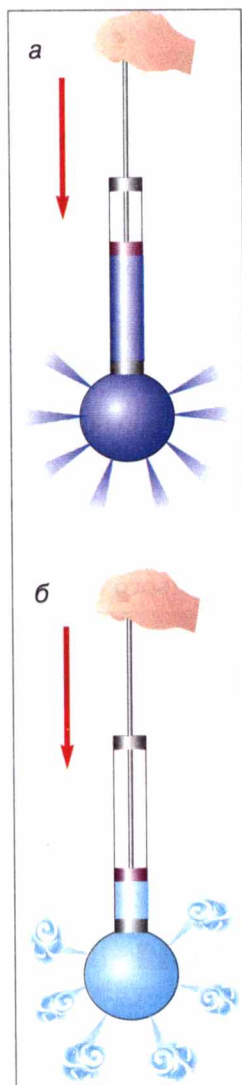
Мал. 95

**§ 24****ТИСК РІДИН І ГАЗІВ. ЗАКОН ПАСКАЛЯ**

◆ **Дослід 1.** Візьмемо три циліндричні посудини: в одну покладемо дерев'яний брусок, у другу насиплемо якихось крупів або піску, а в третю наллємо води (мал. 96).



Мал. 96



Мал. 97

Дерев'яний брусок унаслідок дії на нього сили тяжіння тиснутиме лише на дно посудини.

Горох тиснутиме не тільки на дно, а й на стінки посудини в усіх точках дотику горошин. Кожна горошина всередині стиснена з усіх боків сусідніми горошинами і внаслідок дії сил пружності сама буде тиснути в усі боки на горошини. Ці сили тиску будуть тим більші, чим глибше лежить горошина, тобто чим більший шар гороху тисне на неї зверху.

Вода, налита у посудину, через велику рухливість молекул тиснутиме на дно та стінки посудини. Кожна частинка всередині води буде стиснута з усіх боків сусідніми частинками і внаслідок пружності буде з такою самою силою тиснути на сусідні частинки. Ці сили будуть тим більші, чим глибше буде розміщуватися частинка.

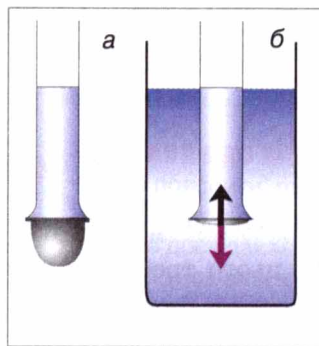
На мал. 97, а зображено кулю, яку називають кулею Паскаля. Вона має в різних місцях поверхні вузькі отвори. До неї приєднано трубку-циліндр, у якій вставлено поршень. Якщо набрати води в кулю і натиснути на поршень, то побачимо, що струмені води крізь отвори б'ють у всі боки з однаковою силою.

Це пояснюється тим, що поршень тисне на поверхню рідини в трубці. Частинки води передають тиск поршня іншим частинкам, що лежать глибше. Таким способом тиск поршня передається на всі частинки води в кулі. Внаслідок цього частина води виштовхується з кулі у вигляді струменів, що витікають з усіх отворів.

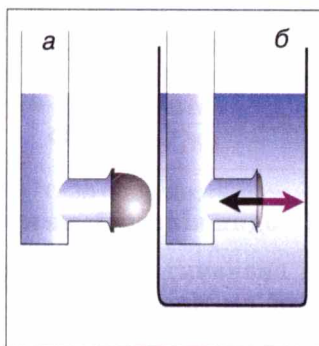
Якщо кулю заповнити димом, то з усіх отворів кулі почнуть виходити струмені диму (мал. 97, б). Це підтверджує, що і газу передають тиск, який чиниться на них, у всі боки однаково.

**Тиск, створюваний на рідину або газ зовнішніми силами, передається рідиною або газом однаково у всіх напрямках.**

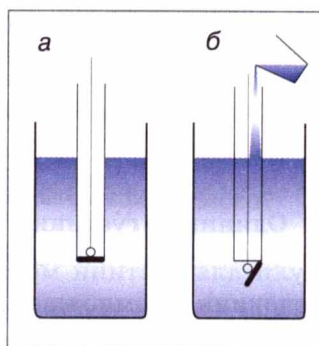




Мал. 98



Мал. 99



Мал. 100

Це твердження називають **законом Паскаля**.

На законі Паскаля ґрунтується дія шприца: тиск пальця лікаря на поршень шприца передається без змін рідині, що міститься в ньому, і ліки виходять через голку шприца.

◆ **Дослід 2.** У скляну трубку, нижній отвір якої закритий тонкою гумовою плівкою, наллємо воду (мал. 98, а). Дно трубки прогинається. Отже, на дно діє сила тиску води. Чим більше наливаємо води, тим більше прогинається плівка. Але щоразу після того, як гумове дно прогнулося, вода в трубці перебуває в рівновазі, бо крім сили тяжіння на воду діє сила пружності гумової плівки.

Опустимо трубку з гумовим дном, у яку налито воду, в ширшу посудину з водою. Бачимо, що в міру опускання трубки вниз гумова плівка поступово випрямляється (мал. 98, б). Повне випрямлення плівки показує, що тиск на неї згори і знизу однаковий. Отже, в рідині існує тиск, спрямований знизу вгору, і на цій глибині він дорівнює тиску згори вниз.

Якщо виконати дослід з трубкою, в якій гумова плівка закриває боковий отвір, як це показано на малюнку 99, а, б, то ми переконаємося, що бічний тиск рідини на гумову плівку також буде однаковим з обох боків.

◆ **Дослід 3.** Посудину, дно якої може відпадати, опускаємо в банку з водою (мал. 100, а). Дно при цьому щільно притискається до краю посудини тиском води знизу вгору. Потім у посудину обережно наллємо води. Коли рівень води в ній збігається з рівнем води в банці, дно відривається від посудини (мал. 100, б). У момент відривання на дно тисне зверху стовп рідини в посудині, а знизу — стовп води, що є в банці. Ці тиски однакові за значенням, проте дно відривається від посудини під дією на нього сили тяжіння.

Відповідно до закону Паскаля, тиск усередині рідини на тому самому рівні однаковий в усіх напрямках. Тиск збільшується з глибиною.

Тиск рідин, зумовлений силою тяжіння, називають **гідростатичним**.

*А як розрахувати тиск рідини на дно і стінки посудини?*

Відповісти на це запитання нам допоможуть знання про властивість речовини, яку ви вивчали в 7 класі. Пригадаємо, що **густина речовини**

визначається відношенням маси цієї речовини до її об'єму. Щоб визначити густину речовини  $\rho$ , треба масу тіла  $m$  поділити на його об'єм  $V$ , тобто:

$$\text{Густина} = \frac{\text{Маса}}{\text{Об'єм}}, \text{ або } \rho = \frac{m}{V}.$$

Одиницею густини в СІ є один кілограм на кубічний метр ( $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ). Із формули для густини можна визначити масу тіла. Для цього треба густину речовини  $\rho$  помножити на об'єм тіла  $V$ , тобто:

$$m = \rho V.$$

Тепер повернемося до мал. 98 у досліді 2. Розрахуємо тиск, який створює стовпчик рідини висотою  $h$  на дно циліндричної посудини. Ми вже знаємо, що тиск  $p$  дорівнює відношенню сили тиску  $F$  до площі поверхні  $S$ , на яку вона діє:

$$p = \frac{F}{S}.$$

У нашій задачі сила тиску дорівнює вазі рідини  $P$ :

$$P = gm,$$

де  $m$  — маса рідини, яку можемо визначити через густину рідини  $\rho$  і об'єм рідини  $V$ :

$$m = \rho V.$$

Об'єм циліндричного стовпа рідини  $V$  дорівнює добуткові площі дна посудини  $S$  і висоти рівня рідини над дном  $h$ :  $V = Sh$ .

З урахуванням цих співвідношень формула для тиску набуде остаточного вигляду:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{gm}{S} = \frac{g\rho V}{S} = \frac{g\rho Sh}{S} = g\rho h.$$

Бачимо, що гідростатичний тиск на будь-якій глибині всередині рідини залежить тільки від її густини  $\rho$  і висоти рівня  $h$ ; він дорівнює добутку цих величин і сталої  $g$ :

$$p = g\rho h.$$

Гідростатичний тиск рідини не залежить ні від форми посудини, ні від маси рідини у посудині, ні від площі її дна. Згідно із законом Паскаля цей тиск на одному рівні рідини однаково діє і на дно і на стінки посудини.

## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- У 1648 р. Блез Паскаль провів цікавий дослід. Він устаткував у закриту дерев'яну бочку, наповнену водою, вузьку трубку і, піднявшись на балкон другого поверху, влив у цю трубку кварту ( $\approx 0,9 \text{ дм}^3$ ) води. Через малу



товщину трубки вода в ній піднялася на значну висоту, і тиск в бочці збільшився настільки, що кріплення бочки не витримали, і вона тріснула.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чим пояснити, що рідини і гази передають тиск в усіх напрямках однаково?
2. У чому полягає закон Паскаля?
3. Як на дослідах можна продемонструвати передавання тиску в рідинах і газах?
4. Який тиск називають гідростатичним?
5. Від чого залежить тиск на дно посудини?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### > Розв'язуємо разом

1. Чим пояснити, що відра у формі зрізаного конуса дуже поширені (мал. 101), хоч вони менш стійкі й з них під час перенесення більше розхлюпується води порівняно з відрами циліндричної форми і такої самої висоти? Крім того, конусоподібні відра незручно нести, бо доводиться широко розставляти руки.

Відповідь: виявляється, в більшості випадків відра виходять з ладу через те, що в них випадає дно. Отже, міцність дна визначає довговічність відра. У відрі конічної форми площа дна менша, ніж у відрі циліндричної форми тієї самої місткості, а тому сила тиску на дно менша. Ця єдина перевага конічних відер спокутує всі інші їхні недоліки.

2. Найбільша глибина, на якій вчені з корабля «Витязь» виловили рибу, дорівнює 7200 м. Який тиск створює вода на цій глибині?



Мал. 101

Дано:

$$h = 7200 \text{ м}$$

$$\rho = 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$p = ?$

Розв'язання.

Тиск, який створює морська вода на глибині, визначимо за формулою:  $p = g\rho h$ .

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$p = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 7200 \text{ м} = 72\,750\,960 \text{ Па} = 72\,751 \text{ кПа} = 72,75 \text{ МПа}.$$

Відповідь:  $p = 72,75 \text{ МПа}$ .

#### Рівень А

185. Тонкостінну доверху наповнену водою пляшку намагаються щільно закрити корком. Що може статися при цьому і чому?
186. Чому вибух під водою нищить живі істоти, які там живуть?

187. Чому водолази на великих глибинах користуються скафандрами, що виготовлені з крапих сортів сталі?
188. На якому поверсі будинку вода з кранів витікає під більшим тиском: нижньому чи верхньому?
189. Навіщо труби для подання води на велику висоту роблять з міцного матеріалу і з товстими стінками?
190. Обчисліть тиск рідини густиною  $1800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  на дно циліндричної посудини, якщо висота рідини у ній дорівнює 10 см.
191. Який тиск створює гас на дно бочки, висота якої 1,2 м?
192. Для намівання піску на будівельні майданчики використовують земснаряд, насос якого створює тиск 785 кПа. На яку висоту він може подавати пульпу (суміш води і піску), якщо її густина дорівнює  $1080 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ?
193. Чому стінки внутрішніх органів глибоководних риб, швидко витягнутих на поверхню, виявляються розірваними?

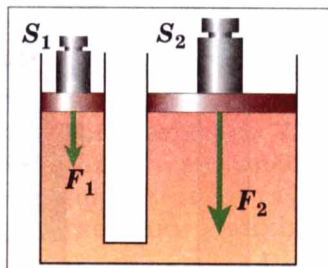
**Рівень Б**

194. Під час пострілу в круто зварене яйце в ньому утворюється отвір. Чому ж під час пострілу в сире яйце воно розлітається в усіх напрямках?
195. Чому при стискуванні тюрника із зубною пастою вона виходить через отвір? Що станеться, якщо, закривши отвір, стискувати тюрник?
196. В одну із трьох однакових мензурок до однієї висоти налито воду, в другу — гас, у третю — ртуть. В якій мензурці тиск на дно буде найбільшим, а в якій — найменшим?
197. У циліндричну посудину, частково заповнену водою, опустили дерев'яний брусок. Чи зміниться тиск води на дно посуду?
198. Чи буде однаковим час, потрібний для наповнення окропом з крана самовара склянки у випадках, якщо самовар повністю заповнений водою або якщо з нього вже витікають рештки води?
199. Виконайте такий дослід: наповніть склянку по вінця водою, виконайте відповідні вимірювання і визначте тиск води на дно склянки. Який тиск на дно склянки створювала б налита до такої самої висоти ртуть?
200. Молоко вилили з пляшки в каструлю. Які із зазначених нижче фізичних величин змінили своє значення, а які — не змінили: маса молока, сила тяжіння, вага молока, об'єм молока, сила тиску, тиск?
201. Для спостереження рослинного і тваринного світу морів або океанів використовують товстостінні металеві кулі з ілюмінаторами — батисфери. Який тиск створює вода на поверхню батисфери на глибині 1 км? З якою силою тисне на цій глибині вода на батисферу, якщо площа її поверхні дорівнює  $1,1 \text{ м}^2$ , а густина морської води —  $1030 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ?
202. У посудині містяться один над одним три шари рідин, які не змішуються: вода, олія, ртуть. Висота кожного шару дорівнює 5 см. Виконайте пояснювальний малюнок і зазначте на ньому порядок розміщення шарів. Визначте тиск на дно посудини.



## § 25 ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ

Закон Паскаля лежить в основі будови і дії **гідравлічних машин**. Гідравлічні машини (від грецького слова *гідравлікос* — водяний) — це машини, для роботи яких використовується рідина. Подібно до інших простих машин і механізмів, які ви вивчатимете у наступному розділі, призначення гідравлічної машини — це перетворення значення сили та напрямку її дії. Головною частиною гідравлічної машини є дві циліндричні посудини різного діаметра, сполучені між собою трубкою (мал. 102). Всередині посудин вільно переміщуються добре припасовані до стінок поршні. Посудини під поршнями звичайно заповнюють машинним маслом.



Мал. 102

На обох поршнях стоять гири; бачимо, що на більшому правому поршні гиря має значно більшу вагу, ніж на лівому малому. Тому сила тиску  $F_2$  на рідину, що створює правий поршень, значно більша за силу тиску  $F_1$ , що створює лівий поршень. З'ясуємо, за якої умови поршні залишатимуться в рівновазі, тобто будуть нерухомими.

Тиск під малим поршнем  $p_1$  визначатиметься відношенням сили тиску  $F_1$  до площі поршня  $S_1$ :

$$p_1 = \frac{F_1}{S_1}.$$

Так само тиск  $p_2$  під великим поршнем дорівнюватиме відповідно:

$$p_2 = \frac{F_2}{S_2}.$$

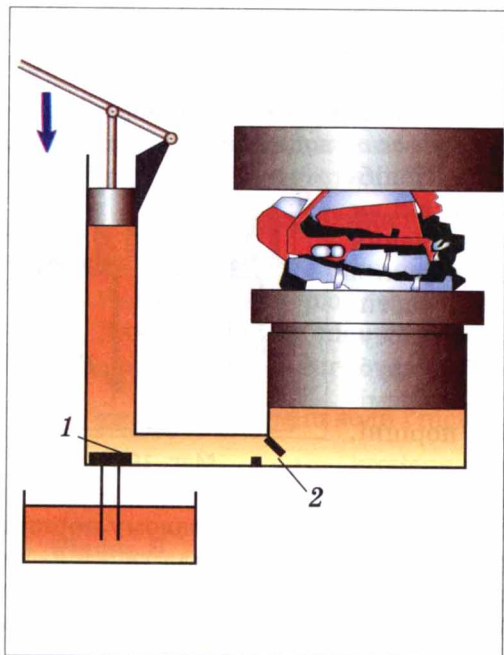
За умови рівноваги рідина в машині має перебувати в спокої, тобто не перетікати з одного циліндра в інший. Це можливо тільки тоді, коли тиск рідини зліва дорівнюватиме тиску рідини справа, тобто:

$$p_1 = p_2, \text{ або } \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

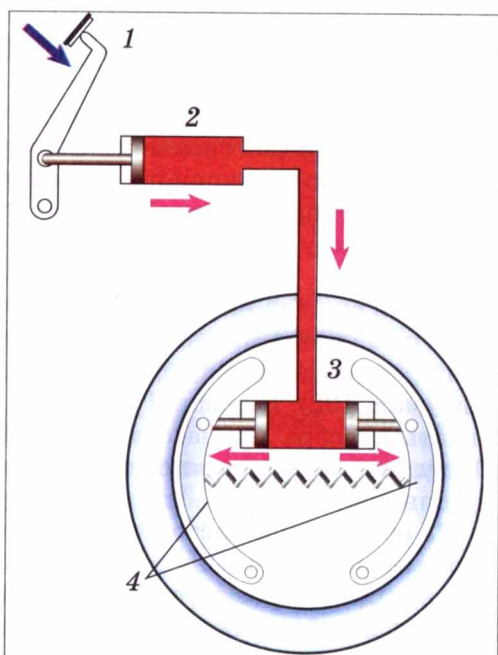
Користуючись властивістю пропорції, цьому співвідношенню можна надати такого вигляду:

$$\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}.$$

Звідси випливає, що в стані рівноваги сила тиску  $F_2$  під великим поршнем у стільки саме разів більша за силу тиску  $F_1$  під малим поршнем, у скільки площа великого поршня  $S_2$  більша за площу малого  $S_1$ . Це означає, що, діючи малою силою на малий поршень, можна врівноважити велику силу на великому поршні, наприклад утримати або підняти важкий вантаж.



Мал. 103



Мал. 104

Бачимо, що гідравлічна машина дає змогу збільшити силу і змінити напрям її дії.

**Гідравлічна машина дає виграш у силі у стільки разів, у скільки площа її великого поршня більша за площу малого.**

Гідравлічну машину, призначену для пресування (стискування) пористих тіл (в середині яких є порожнечі), називають **гідравлічним пресом**. Тіло, яке треба спресувати, кладуть на платформу, що розміщується на великому поршні (мал.103). Коли поршень піднімається, тіло впирається в нерухому верхню платформу і стискається.

З малої посудини у велику масло перекачується повторними рухами малого поршня. Коли він піднімається вгору, то під поршень засмоктується масло з посудини. При цьому клапан 1 відкривається, а клапан 2 закривається під дією тиску масла. Під час опускання малого поршня, навпаки, клапан 1 закривається, а відкривається клапан 2, і рідина переходить у велику посудину.

Наприклад, якщо площа малого поршня  $S_1 = 5 \text{ см}^2$ , а площа великого поршня  $S_2 = 500 \text{ см}^2$ , то виграш у силі становитиме 100 разів. Установивши цей дивний факт, Паскаль написав, що за допомогою винайденої ним машини «одна людина, яка натискає на малий поршень, зрівноважить силу ста людей, які натискають на поршень, в сто разів більший, і тим самим подолає силу дев'яносто дев'яти людей».

Уперше гідравлічні преси почали застосовуватися на практиці в кінці XVIII — на початку XIX ст. Гідравлічні преси використовують під час виго-



товлення сталевих валів і кузовів машин, залізничних коліс, різноманітних металевих і пластмасових виробів. Для видавлювання соку з винограду, олії — із соняшникового насіння, виготовлення халви також використовують преси.

Сучасні гідравлічні преси можуть створювати тиск до 41 700 МПа.

В автомобілях використовують гідравлічні гальма. Схему будови такого гідравлічного гальма показано на мал. 104. Якщо водій тисне на педаль 1, то поршень у циліндрі 2 створює тиск на рідину, яка заповнює циліндр 2, трубку і гальмівні циліндри 3. Цей тиск згідно із законом Паскаля передається без зміни рідиною на поршні гальмівних циліндрів 3. Поршні під дією сили тиску розходяться і притискають гальмівні колодки 4 до гальмівних барабанів — колеса автомобіля гальмуються, автомобіль зменшує швидкість і зупиняється. Якщо водій припиняє тиснути на педаль, то пружина стискається і повертає гальмівні колодки у вихідне положення.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

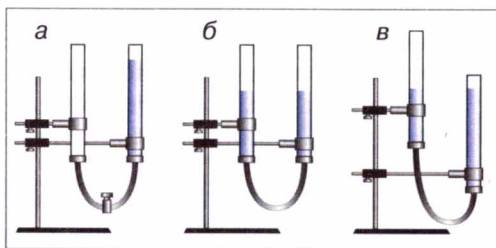
1. Що таке гідравлічна машина?
2. Для чого використовують гідравлічний прес?
3. Який виграш у силі дає гідравлічний прес?
4. Як працюють гідравлічні гальма?

## § 26 СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ

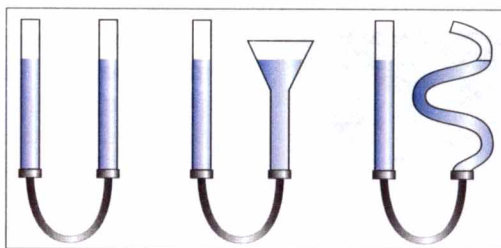
• **Спостереження.** На столі стоїть наповнений прозорий чайник. Що треба зробити, щоб налити чай у чашку?

Можна побачити, що чайник і носик — посудини, сполучені між собою отвором у нижній частині, тому рідина заповнює їх і перебуває на одному рівні, а верхній отвір носика розташований вище рівня рідини у повному чайнику. Якщо чайник нахилити у бік носика, то його отвір опуститься нижче рівня рідини, і вона витікатиме з чайника в чашку.

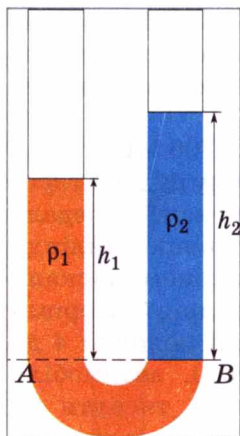
♦ **Дослід.** Візьмемо дві скляні трубки, з'єднаємо їх гумовою трубкою, яку перекриємо затискачем, і наллємо в одну із трубок води (мал. 105, а). Коли затискач заберемо, то побачимо, що рідина в трубках розмістилася на однаковому рівні (мал. 105, б). Піднімемо одну із трубок — рівень рідини у трубках не зміниться (мал. 105, в).



Мал. 105



Мал. 106



Мал. 107

**З'єднані між собою посудини, в яких рідина може вільно перетікати з однієї посудини в іншу, називають сполученими посудинами.**

Замінюватимемо одну із трубок сполучених посудин трубками іншого діаметра та іншої форми (мал. 106). У результаті досліду переконаємося, що вільні поверхні нерухомої однорідної рідини у сполучених посудинах будь-якої форми перебувають на однаковому рівні. Звідси випливає закон сполучених посудин.

**У сполучених посудинах вільні поверхні однорідної рідини встановлюються на одному рівні.**

Для пояснення цього закону розглянемо малі об'єми рідини у ділянці поперечного перерізу внизу з'єднувальної трубки. У стані рівноваги ці об'єми перебувають у спокої, що означає рівність сил тиску, які діють на них справа і зліва від перерізу. Оскільки площа перерізу одна й та сама для лівого і правого стовпів рідини, то й створювані ними гідростатичні тиски мають бути однаковими, а разом з ними за законом Паскаля — й висота обох стовпів, тобто  $h_1 = h_2$ .

Якщо в одну із сполучених посудин налити, наприклад, воду густиною  $\rho_1$ , а в другу — гас густиною  $\rho_2$ , то вільні поверхні цих рідин установаються на різних рівнях, причому рівень гасу буде вищий, ніж рівень води (мал. 107). Оскільки рідини в рівновазі перебувають у спокої, то згідно з законом Паскаля можна стверджувати, що тиск, який створюється лівим і правим стовпами рідини, наприклад, на рівні розділу рідин  $AB$ , однаковий, тобто:

$$p_1 = p_2.$$

Звідси за допомогою формули гідростатичного тиску одержимо співвідношення:

$$g\rho_1 h_1 = g\rho_2 h_2,$$

або після скорочення на  $g$ :

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2.$$

З цієї рівності випливає пропорція:

$$\frac{h_1}{h_2} = \frac{\rho_2}{\rho_1}.$$



Мал. 108

Бачимо, що висоти різнорідних рідин, відлічувані від рівня поверхні їх стикання, у сполучених посудинах обернено пропорційні їхнім густинам. Для встановлення рівноваги висота стовпа легшої рідини має бути більшою.

Прикладами сполучених посудин є: лійка, яку використовують для поливання рослин (мал. 108); водомірне скло парового котла — для визначення рівня води в



котлі; водяний рівень — для проведення горизонтальної лінії на горбистій місцевості.

За законами сполучених посудин працюють артезіанські колодязі або свердловини (мал. 109). Свердловину роблять у найнижчому місці водяного шару, і вода піднімається на поверхню, б'ючи фонтаном.

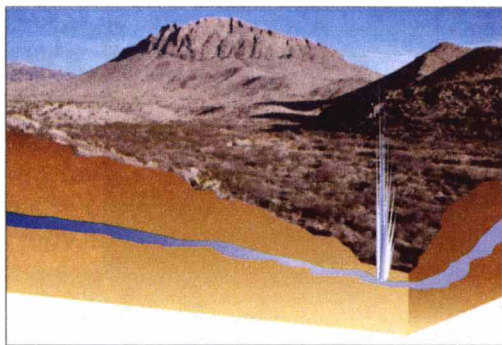
Водонапірна мережа є розгалуженою системою сполучених посудин. Щоб вода витікала в найвищому місці водонапірної мережі, треба водонапірну башту розміщувати не нижче від цього місця.

Розглянемо, як працює водопровід (мал. 110).

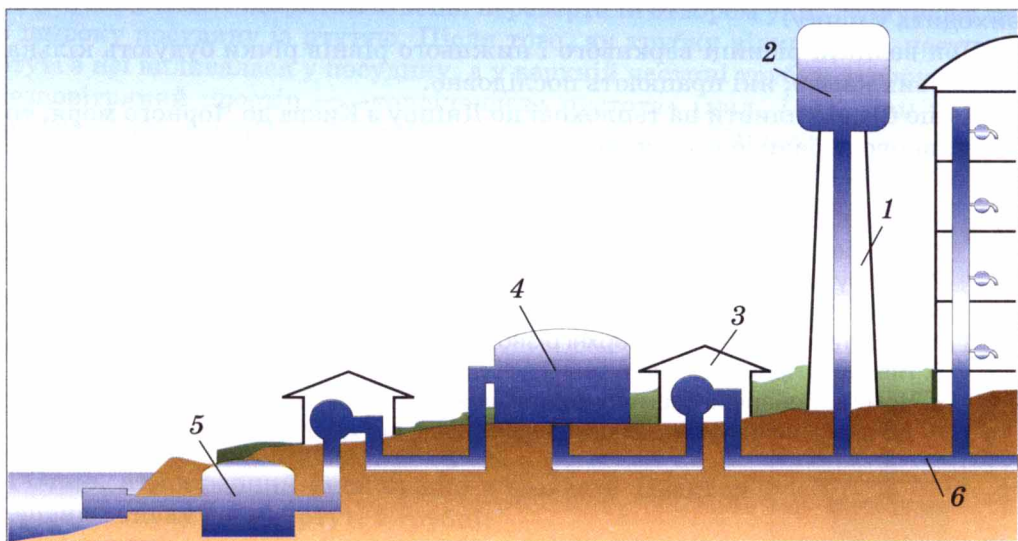
На водонапірній башті 1 встановлюють великий бак 2 для води. За допомогою потужних насосів 3 з водойми (річки, озера) або свердловини воду закачують для очищення у відстійник 5, потім подають для фільтрування у резервуар 4, а далі — у магістраль і у водонапірну башту. До магістралі 6 приєднано водопровідні труби окремих будинків. Щоб вода в них взимку не замерзала, їх ізолюють і укладають під землю. У кожному будинку в квартирах на трубах встановлюють водяні крани. Коли відкривається кран, вода починає виливатися, тому що рівень рідини у башті вищий, ніж у квартирі.

Прикладом сполучених посудин є шлюзи.

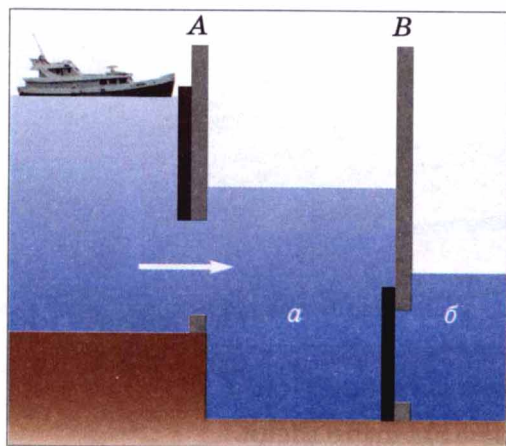
**Шлюзи** (від латинського *шлеузе* — утримую, відокремлюю) — це гідротехнічна споруда для переведення суден на річці або каналі з одного рівня на інший.



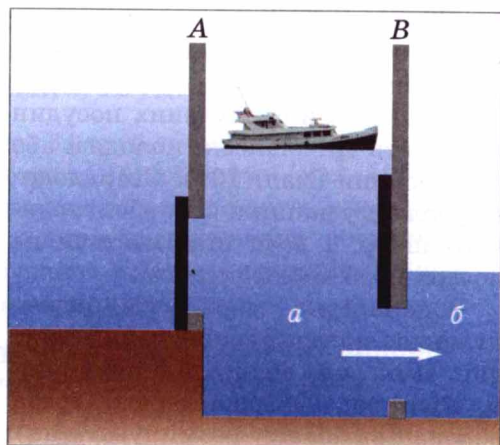
Мал. 109



Мал. 110



Мал. 111



Мал. 112

Шлюзи є одним із яскравих прикладів застосування сполучених посудин у техніці. Будь-який шлюз складається із шлюзової камери, яка має верхні і нижні ворота. Камера сполучена з річкою або каналом широкими трубами, які закривають висувними щитами. На малюнках 111—112 зображено схему роботи шлюзу, коли корабель пливе за течією річки.

Коли корабель підходить до шлюзу, ворота А шлюзу закриті (мал. 111). Відкривають щит труби, яка сполучає верхню частину річки з камерою. Вода з річки поступово перетікає в камеру а. Коли рівень води у камері а зрівняється з рівнем її у верхній частині річки, верхні ворота А відкривають, і корабель входить у камеру а. Після цього верхні ворота закривають (мал. 112) і відкривають щит труби, яка сполучає камеру а з нижньою частиною річки б. Камера шлюзу а поступово звільняється від води до рівня її в нижній частині річки б. Потім відкривають нижні ворота В, і корабель виходить у річку.

При великій різниці верхнього і нижнього рівнів річки будують кілька шлюзових камер, які працюють послідовно.

Якщо будете плувти на теплоході по Дніпру з Києва до Чорного моря, то обов'язково побачите такі шлюзи.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які посудини називаються сполученими?
2. У чому полягає закон сполучених посудин?
3. Як установлюються поверхні однорідної рідини у сполучених посудинах?
4. Як установлюються поверхні різнорідних рідин у сполучених посудинах?
5. Наведіть приклади сполучених посудин.
6. Чому водонапірні башти будують завжди на найвищих місцях і піднімають їх до рівня, який лежить вище за всі будівлі, що живляться від неї водою?



## § 27 АТМОСФЕРНИЙ ТИСК. ВИМІРЮВАННЯ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ

Нашу планету Земля оточує потужна газова оболонка, яку називають **атмосферою** (від грецьких слів *атмос* — пара і *сфера* — куля).

Дослідження навколоземного простору за допомогою штучних супутників Землі показали, що її атмосфера займає тисячу і більше кілометрів у висоту. Різкої межі вона не має. Її верхні шари дуже розріджені і поступово переходять у безповітряний міжпланетний простір (вакуум). Зі зменшенням висоти густина повітря зростає. Майже 80 % всієї маси повітряної оболонки Землі зосереджено в межах 15 км над Землею.

Дослідами встановлено, що при температурі 0 °C маса 1 м<sup>3</sup> повітря на рівні моря дорівнює 1,29 кг. На повітряні шари діє сила тяжіння, тому верхні шари тиснуть на середні, а середні — на нижні. Найбільшого тиску, зумовленого вагою всієї атмосфери, зазнають поверхня Землі, а також усі тіла, які на ній розміщуються.

**Тиск, який створює атмосфера на всі тіла, що в ній перебувають, а також на земну поверхню, називають атмосферним тиском.**

З'ясуємо, наскільки великий цей тиск.

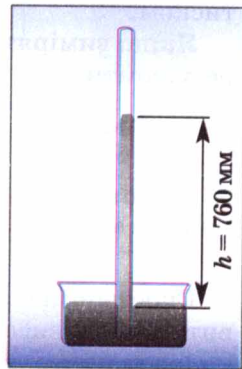
Формула гідростатичного тиску  $p = \rho gh$  для розрахунку атмосферного тиску не підходить, тому що атмосферне повітря не має постійної густини (вона на різних висотах різна) і не має певної висоти (атмосфера не має різкої межі).

Як виміряти тиск атмосфери, вперше здогадався італійський учений Е. Торрічеллі. Запропонований ним дослід був здійснений в 1643 р. учнем Г. Галілея В. Вавіані. В цьому досліді була використана запаяна з одного кінця скляна трубка завдовжки близько 1 м. Її заповнювали ртуттю, а потім, закривши відкритий кінець, перевертали отвором униз і занурювали в широку посудину із ртуттю. Після того, як трубку відкривали, частина ртуті з неї виливалася у посудину, а у верхній частині трубки утворювався безповітряний простір — «торрічеллева пустота» (мал. 113). При цьому висота стовпа ртуті в трубці дорівнювала приблизно 760 мм.

Результати цього досліді Торрічеллі пояснив так: «До цього часу, — писав він, — існувала думка, ніби сила, яка не дає змоги ртуті, проти її природної властивості, падати вниз, міститься всередині верхньої частини трубки, тобто — або в пустоті, або в розрідженій речовині. Однак я стверджую, що ця сила — зовнішня і що сила береться звовні. На поверхню рідини, яка знаходиться в посудині, діють своєю важкістю 50 миль повітря. Що ж дивного, якщо ртуть... піднімається настільки, щоб урівноважити важкість зовнішнього повітря».

Отже, атмосферний тиск згідно з законом Паскаля дорівнює тиску стовпа ртуті в трубці:

$$P_{\text{атм}} = P_{\text{ртуті}}.$$



Мал. 113

Коли б ці тиски не дорівнювали один одному, то ртуть не перебувала б у рівновазі: при збільшенні тиску ртуті вона виливалася б з трубки в посудину, а при зменшенні — піднімалася б по трубці вгору.

Отже, **тиск атмосфери можна виміряти висотою відповідного ртутного стовпа**. Його висоту звичайно вимірюють у міліметрах.

Якщо, наприклад, говорять, що в деякому місці атмосферний тиск дорівнює 760 мм рт. ст., то це означає, що повітря в цьому місці створює такий самий тиск, що й вертикальний стовп ртуті висотою 760 мм.

Щоб визначити цей тиск у паскалях, скористаємося формулою гідростатичного тиску:  $p = \rho gh$ . Підставляючи в цю формулу значення  $\rho = 13\,595,10 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$

(густина ртуті при 0 °C),  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$  і  $h = 760 \text{ мм} = 0,76 \text{ м}$  (висота стовпа ртуті), отримаємо таке значення нормального атмосферного тиску:  $p = 101\,325 \text{ Па}$ .

**Тиск атмосфери, що дорівнює тиску стовпа ртуті висотою 760 мм при температурі 0 °C, називають нормальним атмосферним тиском.**

Одиницями атмосферного тиску є 1 мм рт. ст., один паскаль (1 Па) і один гектопаскаль (1 гПа), між ними є такі співвідношення:

$$\begin{aligned} 1 \text{ мм рт. ст.} &= 133,3 \text{ Па} = 1,33 \text{ гПа}; \\ 760 \text{ мм рт. ст.} &= 101\,325 \text{ Па} \approx 1013 \text{ гПа}; \end{aligned}$$

Про досліди Торрічеллі довідався французький учений Блез Паскаль. Він повторив їх з різними рідинами (маслом, вином і водою). Стовп води, який урівноважував тиск атмосфери, виявився набагато вищим за стовп ртуті.

Однак Паскаль вважав, що для остаточного доведення факту існування атмосферного тиску потрібний ще один вирішальний дослід. Розглянемо його.

Паскаль виконав дослід Торрічеллі один раз біля підніжжя гори, а вдруге — на її вершині. Результати здивували всіх присутніх. Тиск повітря на вершині гори був майже на 100 мм рт. ст. менший, ніж біля підніжжя. Цим було доведено, що ртуть у трубці справді підтримується атмосферним тиском.

Якщо виміряти атмосферний тиск на різних висотах, то отримаємо такі результати.

| Тиск,<br>мм рт. ст.           | 760 | 674 | 596 | 526 | 462 | 405 |
|-------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| Висота над<br>рівнем моря, км | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   |

Спостерігаючи щоденно за висотою ртутного стовпа в трубці, можна виявити, що ця висота змінюється: то збільшується, то зменшується.

Існуванням атмосферного тиску можна пояснити багато явищ. На



малюнку 114 зображено скляну трубку, всередині якої є поршень, що щільно прилягає до стінок трубки. Кінець трубки опущено у воду.

Якщо піднімати поршень, то за ним підійматиметься і вода. Між поршнем і водою внаслідок піднімання поршня утворюється безповітряний простір, у якому немає тиску атмосфери. У цей простір під тиском зовнішнього повітря і входить за поршнем вода. Це явище використовують у роботі шприца, водяного насоса.

♦ **Дослід 1.** Візьмемо циліндричну посудину, закриту пробкою, через яку пропущено трубку з краном. Викачаємо з неї повітря, закриємо кран, трубку зануримо у воду і відкриємо кран. Тиск у посудині буде менший, ніж атмосферний, тому під дією атмосферного тиску вода буде бити фонтаном (мал. 115).

♦ **Дослід 2.** Візьмемо склянку, наллємо в неї води і накриємо листком паперу, розміри якого трохи більші за діаметр склянки. Тримавши склянку за нижню частину, притиснемо папір до склянки долонею і перекинемо склянку догори дном, як це показано на малюнку 116. Вода буде триматися в перекинутій склянці. Чому? Тому що тиск атмосферного повітря на папір більший, ніж тиск води на нього.

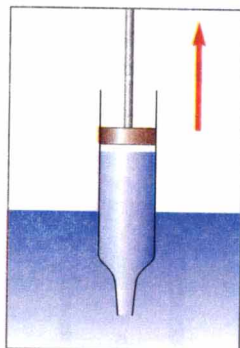
• **Спостереження.** Вплив атмосферного тиску проявляється дуже помітно під час ходьби по в'язкому ґрунті (засмоктувальна дія болота). Під час піднімання ноги під нею утворюється розріджений простір, і внаслідок присмоктування нога тягне за собою важке трясовиння (наче поршень рідину у насосі).

Завдяки тиску атмосферного повітря працюють присоски для кріплення предметів на гладеньких плоских поверхнях. Якщо витиснути повітря з-під присоски, то вона буде притиснута силою тиску атмосфери, і щоб її відірвати, потрібно прикласти надзвичайно великі зусилля (мал. 117).

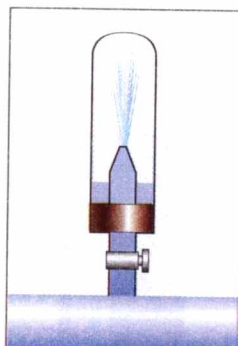
Якщо виконаєте прості обчислення, то впевнитесь, що сила тиску атмосферного повітря на поверхню звичайного зошита дорівнює 3000 Н. Тоді чому ж ви так легко можете підняти зошит? Справа в тому, що сили тиску повітря зверху і знизу зошита врівноважуються, і при підніманні вам доведеться долати лише вагу самого зошита.

Для вимірювання атмосферного тиску використовують **ртутний барометр, барометр-анероїд і барограф.**

Якщо до трубки, подібно до тієї, яку використовував у своєму досліді Торрічеллі, прикріпити шкалу, то дістанемо найпростіший прилад для вимірювання атмосферного тиску — ртутний барометр (від грецьких слів *барос* — вага, тяжкість; *метрео* — вимірюю) (мал. 118 на с. 100).



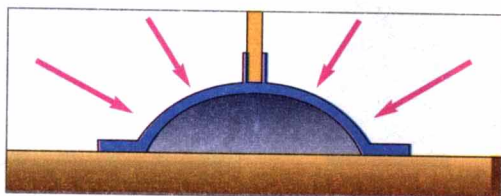
Мал. 114



Мал. 115



Мал. 116

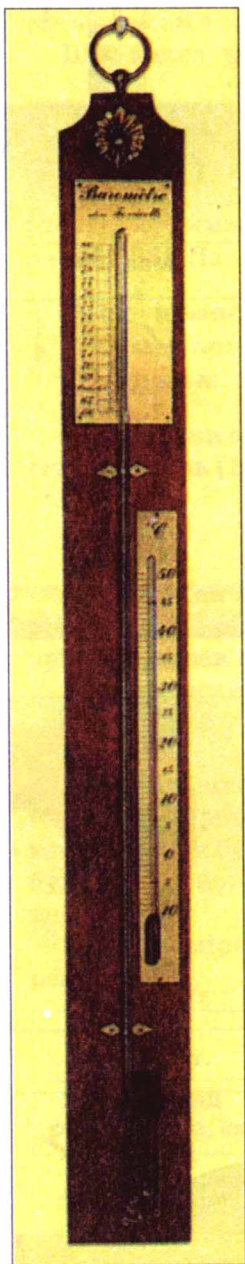


Мал. 117

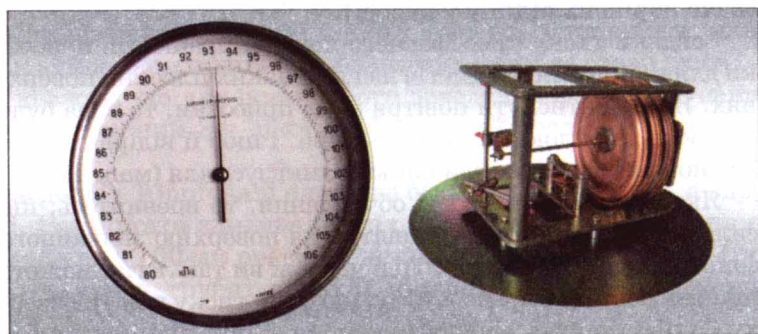
Барометр-анероїд (від грецьких слів: *барос*, *метрео*, *анероїд*) зображений на малюнку 119. Основною частиною приладу є круглі гофровані металеві коробочки, які з'єднані між собою. В середині коробок створено розрідження (тиск у коробках менший, ніж атмосферний). Із збільшенням атмосферного тиску коробки стискаються і тягнуть прикріплену до них пружину. Переміщення кінця пружини через спеціальні пристрої передається стрілці, яка рухається по шкалі. На шкалі нанесено поділки і значення атмосферного тиску. Наприклад, якщо стрілка зупиняється навпроти позначки 750, то говорять, що атмосферний тиск дорівнює 750 мм рт. ст. При зменшенні тиску коробочки піднімаються, і пружина послаблюється, а стрілка рухається у бік зменшення значень тиску.

Барометр-анероїд є одним із основних приладів, який використовують метеорологи для прогнозування погоди на найближчі дні, тому що зміна погоди пов'язана зі зміною атмосферного тиску.

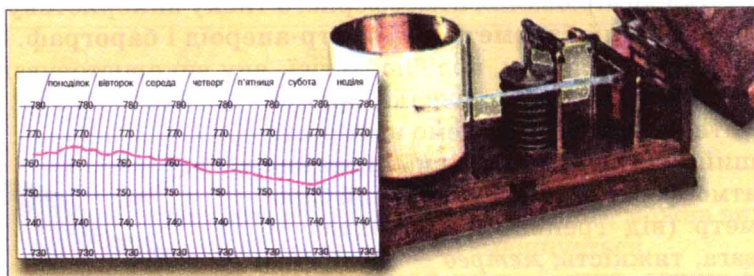
Для автоматичного і безперервного записування змін атмосферного тиску використовують барограф (від грецьких слів *барос*, *графо* — пишу). Крім металевих гофрованих коробочок у цьому приладі є механізм для руху паперової стрічки, на якій нанесено сітку значень тиску і дні тижня (мал. 120). За такими стрічками можна з'ясувати, як змінювався атмосферний тиск протягом будь-якого тижня.



Мал. 118



Мал. 119

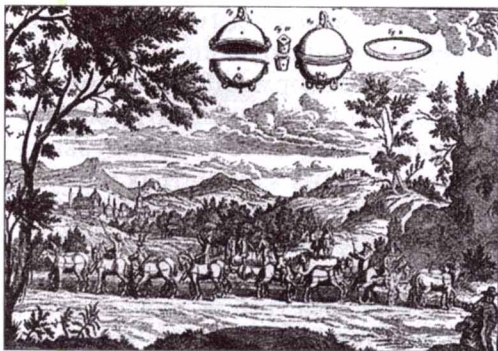


Мал. 120



## ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Висновок про існування атмосферного тиску незалежно від Е. Торрічеллі зробив німецький фізик Отто фон Геріке (1602—1686). Відкачуючи повітря з тонкостінної металевої кулі, від побачив, що куля сплющилася. Аналізуючи причини сплюснення кулі, він зрозумів, що воно відбулося під дією тиску навколишнього середовища.
- Відкривши атмосферний тиск, Геріке побудував біля фасаду свого будинку в м. Магдебурзі водяний барометр, в якому на поверхні рідини



Мал. 121

- плавала фігурка людини, яка вказувала на поділки, нанесені на склі.
- У 1654 р. Геріке, бажаючи переконати всіх в існуванні атмосферного тиску, виконав знаменитий дослід з «магдебурзькими півкулями». На демонстрації досліду були присутні члени Регенсбурзького рейхстагу та імператор Фердинанд III. В їх присутності з порожнини між двома складеними разом металевими півкулями викачали повітря. При цьому сили атмосферного тиску так міцно притиснули ці півкулі одну до одної, що їх не змогли роз'єднати вісім пар коней (мал. 121).
- У природі є понад 400 рослин-барометрів. Квітковий барометр можна знайти і на городі. Це маленька гілляста травиця-мокрець. По її дрібних білих квітках можна завбачити погоду протягом цілого літа: якщо вранці віночки не розкриваються, вдень буде дощ.
- Лев Толстой писав, що павук робить павутину відповідно до погоди, яка є і яка буде. Дивлячись на павутину, можна дізнатись, яка буде погода: якщо павук сидить, забувшись всередину павутини, і не виходить — це на дощ. Якщо він виходить з гнізда і робить нові павутини — це на ясну погоду.

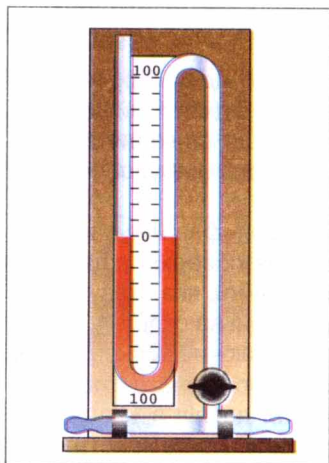


## ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Внаслідок чого створюється атмосферний тиск?
2. Що доводить дослід Торрічеллі?
3. Що означає запис: «Атмосферний тиск дорівнює 780 мм рт. ст.»?
4. Який тиск називають нормальним атмосферним тиском? Чому він дорівнює?
5. Як змінюється атмосферний тиск при збільшенні висоти над Землею? Чому?
6. Наведіть приклади існування атмосферного тиску.
7. Які прилади використовують для вимірювання атмосферного тиску?

## § 28 МАНОМЕТРИ

Як ви знаєте, барометри слугують для вимірювання атмосферного тиску. Якщо ж потрібно визначити який-небудь інший тиск, що створює рідина або газ, то застосовують прилади, які називають **манометрами**.



Мал. 122

**Манометри — це вимірювальні прилади, які призначені для вимірювання тиску або різниці тисків.**

Манометри (від грецьких слів *манос* — рідкий; *метрео* — вимірюю) бувають рідинні й деформаційні.

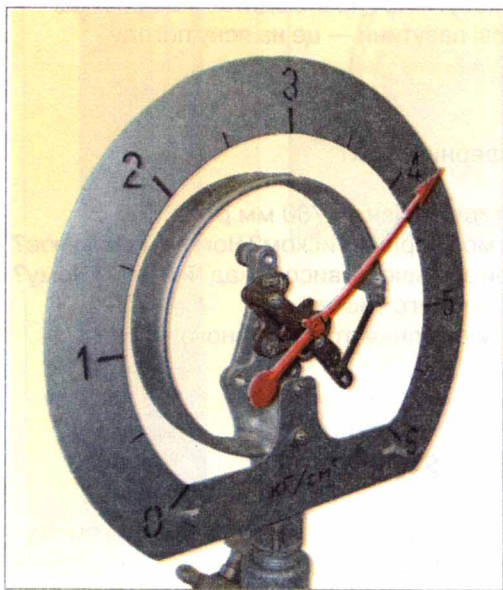
Манометри для вимірювання тиску заповнюють ртуттю. Ними вимірюють тиск у межах від 100 до 160 мм рт. ст. Манометри, за допомогою яких вимірюють різницю тисків у межах від 10 до 100 мм рт. ст., заповнюють водою або іншою рідиною (мал. 122).

Найпоширенішими є деформаційні манометри. Загальний вигляд одного з них показано на малюнку 123. Він був винайдений в 1848 р. французьким вченим Е. Бурдоном. У таких манометрах вимірюваний тиск або різниця тисків визначається за деформацією пружного чутливого елемента.

Чутливим елементом може бути трубчаста пружина. Такі манометри називають трубчасто-пружинними. Пружина — це металева трубка, яка закрита з одного кінця, а другий кінець приєднується до середовища, тиск в якому потрібно виміряти. При збільшенні тиску всередині трубки вона почне розгинатися. Цей рух трубки через спеціальні пристрої буде передаватися до стрілки, яка фіксуватиме на шкалі манометра значення тиску.

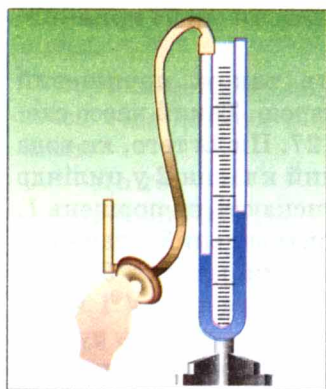
На малюнку 124 зображений рідинний U-подібний манометр. Він складається зі скляної трубки, яка має форму латинської букви U і в яку налита рідина (вода або спирт). За допомогою гнучкої трубки одне із колін манометра з'єднують з круглою плоскою коробочкою, затягнутою гумовою плівкою.

Якщо тиск у лівому і правому колінах однаковий, то рідина встановлюється на одному рівні. Якщо натиснути на плівку, то рівень рідини в коліні манометра, з'єднаному з коробочкою, знизиться, а в іншому — на стільки само підвищиться. Пояснюється це тим, що при натисканні на плівку тиск повітря в коробочці підвищується. Цей надлишковий тиск передається рідині у відповідному коліні, і її рівень знижується. Зниження рівня в цьому коліні буде відбуватися до тих пір, доки надлишкова сила тиску не зрівноважиться вагою надлишкового стовпа рідини в другому коліні манометра. Тому за різницею висот стовпів рідини в манометрі можна бачити, наскільки тиск на плівку відрізняється від атмосферного.

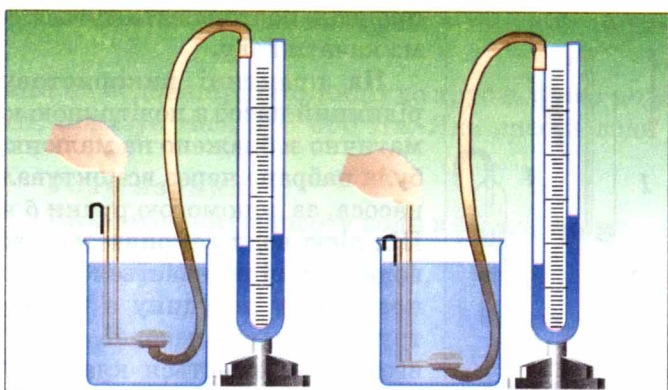


Мал. 123





Мал. 124



Мал. 125

◆ **Дослід.** У посудину з рідиною (мал. 125) будемо опускати манометричну коробочку U-подібного манометра. Ми бачимо, що чим глибше опускаємо коробочку манометра, тим більша різниця висот рідини всередині приладу.

Так і має бути: зі збільшенням глибини занурення гідростатичний тиск рідини зростає.

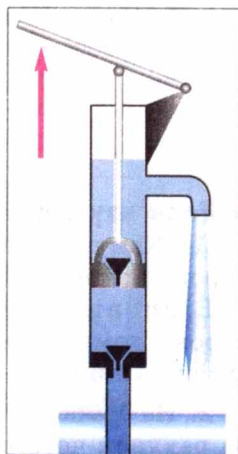


### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

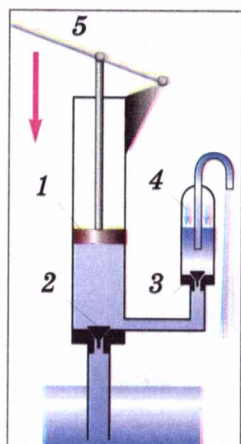
1. Як називаються прилади для вимірювання тисків, більших або менших за атмосферний?
2. Які бувають манометри?
3. Чим відрізняється трубчасто-пружинний манометр від рідинного?
4. Що показує дослід, зображений на малюнку 125?

## § 29 РІДИННІ НАСОСИ

Поршневий рідинний насос, схема якого зображена на малюнку 126, складається з циліндра і поршня, що вільно рухається в циліндрі, щільно прилягаючи до його стінок. У нижній частині циліндра і в поршні є клапани, які відкриваються тільки вгору. Якщо поршень рухається вгору, то вода під дією атмосферного тиску входить у трубу, піднімає нижній клапан і рухається за поршнем. Під час руху поршня вниз вода тисне на нижній клапан, і він при цьому закривається. Водночас під тиском води відкривається клапан всередині поршня, і вода переходить у простір над поршнем. Під час наступного руху поршня вгору разом з ним піднімається вода, що є над поршнем, і виливається у відповідну трубу. Одночасно за поршнем піднімається нова порція води, яка під час наступного опускання поршня буде вже над ним. Такі



Мал. 126



Мал. 127

процеси повторюватимуться доти, доки ми не припинимо качати воду.

На практиці використовують також поршковий рідинний насос з повітряною камерою. Такий насос схематично зображено на малюнку 127. Після того, як вода була набрана через всмоктувальний клапан 2 у циліндр насоса, за допомогою ручки 5 натискають на поршень 1. Під дією води закривається всмоктувальний клапан 2, водночас відкривається нагнітальний клапан 3, вода поступає в посудину з повітряною камерою 4 і через трубу виходить назовні. Якщо ручку починають рухати вгору, закривається клапан 3 і відкривається клапан 2 — вода поступає в циліндр. Далі процеси повторюються доти, доки не накачали води стільки, скільки потрібно.

А на яку висоту або з якої глибини можна підняти воду за допомогою таких насосів? Ви вже знаєте, що густина ртуті в 13,6 раза більша, ніж води. Ртуть у трубці піднімається на 760 мм. Тоді вода підніметься на висоту, що в 13,6 разів більша: вона становитиме 10 336 мм. Отже, поршковими рідинними насосами можна качати воду лише з глибини до 10 м.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Серце людини є дивним насосом, який працює впродовж життя людини. Воно перекачує за одну хвилину 6 л крові, за добу — 8600 л, за 1 рік — близько 3 млн л, а за 70 років життя — близько 220 млн літрів. Якби серце не переганяло кров по замкнутій системі, а накачувало в який-небудь резервуар, то можна було б заповнити басейн довжиною 100 м, шириною 100 м і глибиною 22 м.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які типи поршкових рідинних насосів ви знаєте?
2. Які їх будова і принцип дії?
3. На яку максимальну висоту можна підняти воду поршковим рідинним насосом?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. Кому легше витягувати ногу з багнюки: корові чи коню? Чому?

Відповідь: легше витягувати ногу з багнюки корові, тому що в неї, на відміну від коня, роздвоєне копито.

2. На малюнку 128 зображена морська зірка. За рахунок чого вона може легко зачіплятися до морського дна або інших предметів?



Мал. 128



Відповідь: за рахунок великої кількості присосок у нижній частині зірки.

3. Манометр, приєднаний на водонапірній станції до труби, якою подається вода до бака в башті, показує тиск 303 000 Па. Яка висота води в башті?

Дано:

$$p = 303\,000 \text{ Па}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$h = ?$

Розв'язання.

Щоб визначити висоту води в башті, скористаємося формулою  $p = g \rho h$ ,

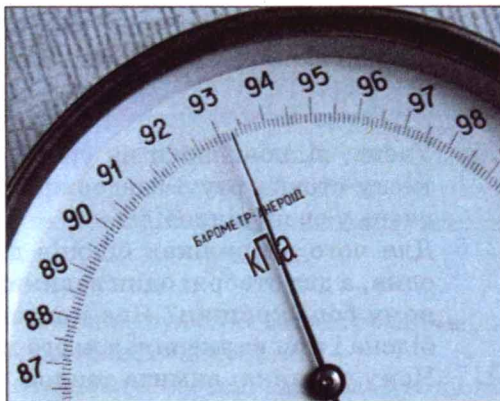
з якої визначимо  $h = \frac{p}{g \rho}$ .

$$h = \frac{303\,000 \text{ Па}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 30,88 \text{ м}$$

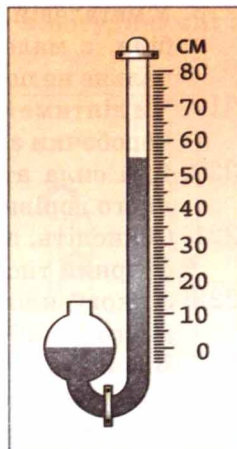
Відповідь: висота води у водонапірній башті дорівнює 30,88 м.

### Рівень А

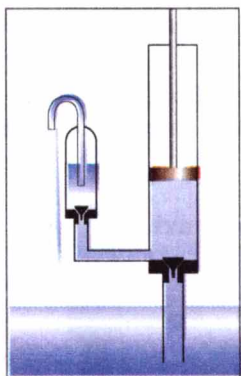
203. Якщо пляшку, наповнену водою, занурити шийкою в посудину з водою, то вода з неї не виливатиметься. Чому?
204. Чому під час виливання води з пляшки ми чуємо булькання?
205. Чому важко пити з перехиленої пляшки, якщо щільно обхопити її шийку губами?
206. Підраховано, що на поверхню тіла дорослої людини (маса 60 кг, зріст 160 см), яка дорівнює  $1,6 \text{ м}^2$ , діє сила 160 000 Н, що зумовлена атмосферним тиском. Яким же чином організм витримує такі великі навантаження?
207. Чому під час підйому літака на велику висоту пасажирів починають відчувати біль у вухах?
208. Площа поверхні першого супутника Землі дорівнювала  $8820 \text{ см}^2$ . Якою була сила тиску на його поверхню на висоті 300 км, якщо тиск повітря там дорівнює приблизно  $0,00006 \text{ Па}$ ?
209. Який атмосферний тиск показує барометр-анероїд (мал. 129)?
210. Який тиск показує ртутний барометр (мал. 130)? Виразіть цей тиск у паскалях.
211. На малюнку 131 схематично зображено будову поршневого рідинного насоса з повітряною камерою. Опишіть, як працює цей насос.



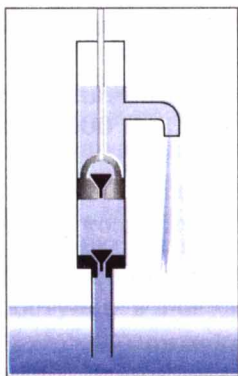
Мал. 129



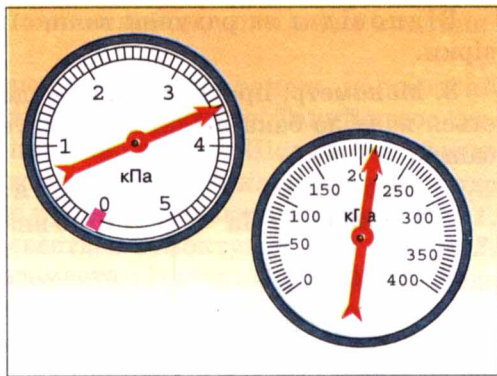
Мал. 130



Мал. 131



Мал. 132



Мал. 133

212. Піднімається чи опускається поршень рідинного насоса, зображеного в розрізі на малюнку 132?
213. Які прилади зображено на малюнку 133? Яку фізичну величину вони вимірюють? Зніміть показання кожного з цих приладів.
214. Як потрібно користуватися піпетками для переливання невеликої кількості рідини? Поясніть дію цих піпеток.

### Рівень Б

215. Учень, відповідаючи на уроці, сказав: «Атмосферний тиск дорівнює тиску стовпа ртуті завдовжки 760 мм». Яких помилок припустився учень у своїй відповіді?
216. Для чого в кришках бідонів для мастильних матеріалів роблять не один, а два отвори: один великий, а другий — менший — на протилежному боці кришки? Яке призначення малого отвору при наповненні бідона і при виливанні з нього мастил?
217. Чому склянка, вимита теплою водою і перекинута на покритий поліетиленовою скатертиною стіл, щільно прилягає до неї і трохи втягує її всередину?
218. У металевій кришці, що закриває верхній отвір паливного бака автомобіля, є маленький отвір. Якщо цей отвір випадково засмітиться, то пальне не потече по нижній трубці до двигуна. Чому?
219. Чи діятиме барометр-анероїд, якщо в стінці його металевої гофрованої коробочки з'явиться тріщина?
220. Яка сила атмосферного тиску діє на тіло людини, площа поверхні якого дорівнює приблизно  $1,6 \text{ м}^2$ ?
221. Обчисліть, з якою силою тисне повітря на долоню вашої руки. Атмосферний тиск виміряйте барометром-анероїдом.
222. З якою силою тисне атмосфера на поверхню сторінки зошита, розміри якого  $16 \times 20 \text{ см}$  при атмосферному тиску  $100\,000 \text{ Па}$ ?
223. Визначте атмосферний тиск на рівні моря і на горі (мал. 134, а); на поверхні Землі та на станції метрополітену (мал. 134, б). Як пояснити різницю в показаннях барометрів-анероїдів?
224. На малюнку 135 зображено запис атмосферного тиску барографом



протягом тижня. Користуючись цим графіком, з'ясуйте: а) який найбільший тиск був і в який день? б) який найменший тиск був і в який день? в) який тиск був опівдні в четвер? г) на скільки мм рт. ст. тиск був більший у вівторок, ніж у п'ятницю?

225. У кінці першої половини XVII ст. у Флоренції — багатому на той час торговому місті Італії — збудували всмоктувальні насоси, щоб піднімати воду на велику висоту, але вода піднімалася тільки на висоту до 10 м. Чому?

226. Який насос використовують у гідравлічних пресах: всмоктувальний чи нагнітальний?

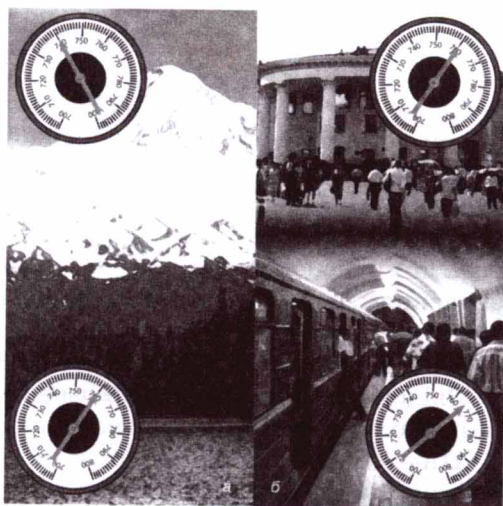
227. Чому рідина, яку качають всмоктувальним насосом, тече переривчастим струменем?

228. Розгляньте будову та дію пожежного насоса, зображеного на малюнку 136. Скільки тут насосів? Які вони: всмоктувальні чи нагнітальні? Яке призначення повітря, закритого в камері? Чи можна було б кидати струмінь води цим насосом на значну відстань без повітряної «подушки»?

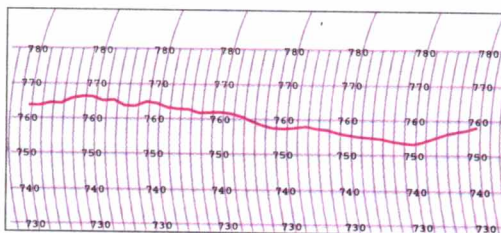
229. Який тиск створює поршень нагнітального насоса, що подає воду на висоту 15 м? Атмосферний тиск нормальний.

230. Яким із двох насосів (мал. 137) можна підняти воду на висоту 30 м?

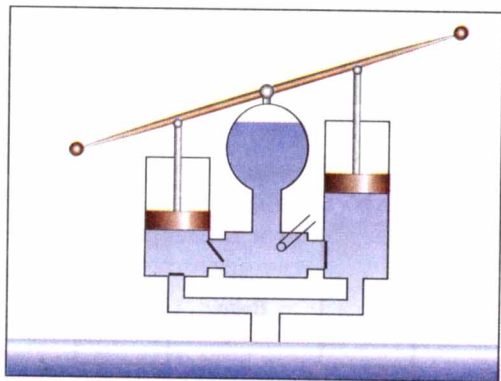
231. Чому гумові трубки, що з'єднують повітряні насоси з посудинами, з яких викачують повітря, мають товсті стінки?



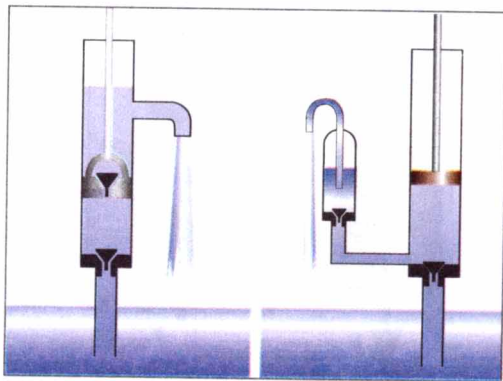
Мал. 134



Мал. 135



Мал. 136



Мал. 137

## § 30

## ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА

• **Спостереження.** Чому важко занурити м'яч у воду, і чому, як тільки ми його відпустимо, він вистрибує з води? Чому в морі легше плавати, ніж в озері? Чому у воді ми можемо підняти камінь, а в повітрі — ні?

◆ **Дослід 1.** Підвісимо до пружини тіло (мал. 138). У зв'язку з тим, що на тіло діє сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , пружина розтягнеться. Тіло перебуватиме в рівновазі, тому що сила тяжіння і сила пружності  $F_{\text{пр}}$ , які діють на тіло, рівні за значенням, але протилежні за напрямом. Зануримо це тіло у воду. Видовження пружини зменшиться. Маса тіла не змінювалась, відтак, сила тяжіння, яка діє на тіло, також не змінилася. Отже, зменшилася сила пружності.

Звідси можна зробити висновок, що з боку води на тіло діє сила, яка його виштовхує з води. Цю силу називають **виштовхувальною силою**.

Цим самим можна пояснити, чому ми під водою можемо легко підняти камінь, який з великим зусиллям утримуємо в повітрі. Якщо занурити м'яч під воду, то він вистрибне з води.

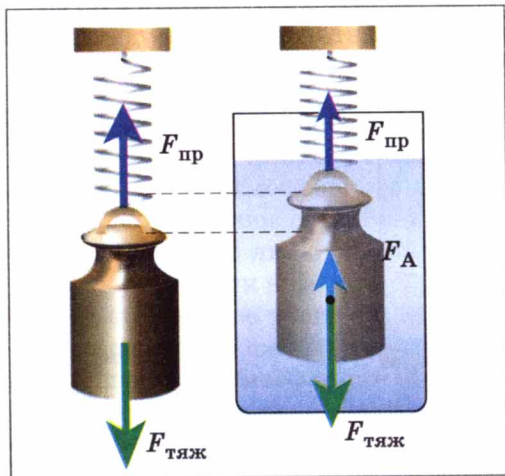
Гази багато в чому подібні до рідин. На тіла, розміщені в газах, також діє виштовхувальна сила. Саме під дією цієї сили повітряні кулі, метеорологічні зонди, дитячі кульки, наповнені воднем, піднімаються вгору.

*А від чого залежить виштовхувальна сила?*

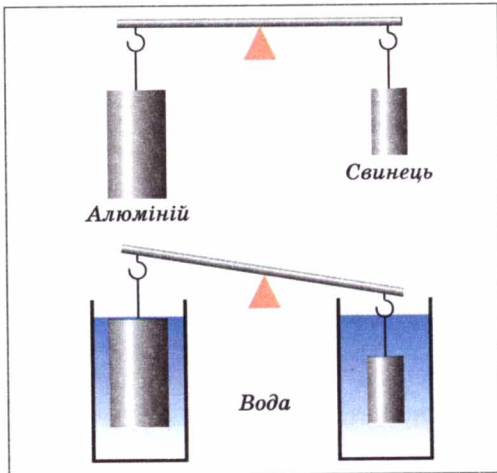
◆ **Дослід 2.** Два тіла різного об'єму, але однакової маси, зануримо повністю в одну й ту ж рідину (воду). Ми бачимо, що тіло більшого об'єму виштовхується з рідини (води) з більшою силою (мал. 139).

▶ **Виштовхувальна сила залежить від об'єму зануреного в рідину тіла. Чим більший об'єм тіла, тим більша виштовхувальна сила діє на нього.**

◆ **Дослід 3.** Зануримо повністю два тіла однакового об'єму і маси в різні рідини, наприклад, воду і гас (мал. 140). Порушення рівноваги в цьому разі свідчить, що у воді на тіло діє більша виштовхувальна сила, це можна пов'язати з тим, що густина води більша, ніж густина гасу.



Мал. 138

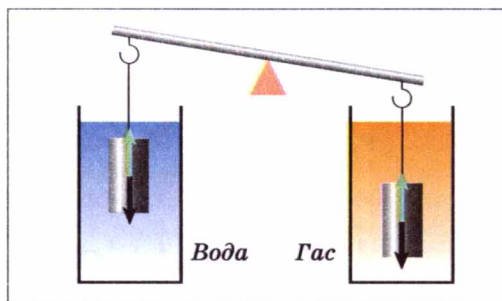


Мал. 139



**Виштовхувальна сила залежить від густини рідини, в яку занурене тіло. Чим більша густина рідини, тим більша виштовхувальна сила діє на занурене у неї тіло.**

Узагальнюючи результати спостережень і дослідів можна зробити такий висновок.



Мал. 140

**На тіло, занурене в рідину (газ), діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини (газу), витиснутої цим тілом.**

Це твердження називають **законом Архімеда**, давньогрецького вченого, який його відкрив і, за легендою, успішно застосував для розв'язання практичної задачі: визначив, чи міститься в золотій короні царя Гієрона домішка срібла. Силу, що виштовхує тіло з рідини або газу, називають ще **архімедовою силою**.

На основі закону Архімеда можна одразу написати формулу для обчислення виштовхувальної сили, але, щоб краще зрозуміти, внаслідок чого вона виникає, виконаємо прості розрахунки. Для цього розглянемо тіло у формі прямокутного бруска, зануреного в рідину таким чином, що його верхня і нижня грані розташовані паралельно поверхні рідини (мал. 141). Подивимося, яким буде результат дії сил тиску на поверхню цього тіла.

Відповідно до закону Паскаля горизонтальні сили  $F_3$  і  $F_4$ , що діють на симетричні бічні грані бруска, попарно рівні за значенням і протилежно напрямлені. Вони не виштовхують брусок вгору, а тільки стискають його з боків. Розглянемо сили гідростатичного тиску на верхню і нижню грані бруска.

Нехай верхня грань площею  $S$  розташована на глибині  $h_1$ , тоді сила тиску  $F_1$  на неї дорівнюватиме:

$$F_1 = g\rho_p h_1 S,$$

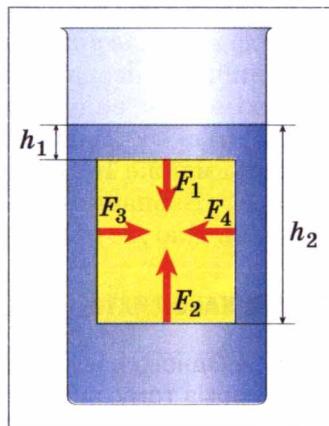
де  $\rho_p$  — густина рідини.

Нижня грань бруска площею  $S$  розташована на більшій глибині  $h_2$ , тому сила тиску  $F_2$  на неї буде також більшою за  $F_1$ :

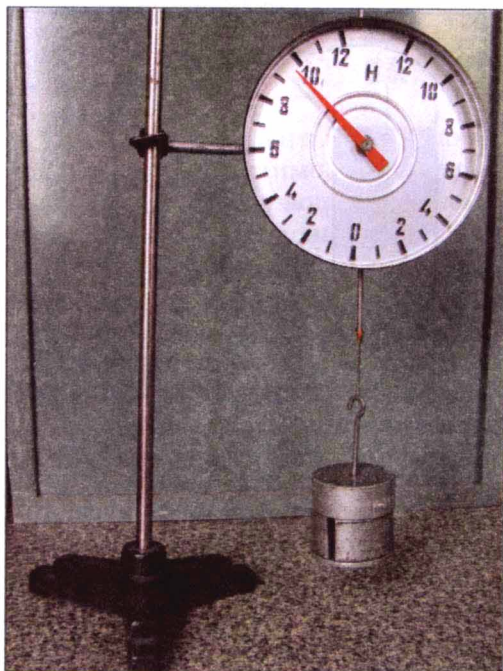
$$F_2 = g\rho_p h_2 S.$$

Обидві сили тиску  $F_1$  і  $F_2$  діють уздовж вертикалі, їхня рівнодійна і буде силою Архімеда  $F_A$ , яка напрямлена вгору в бік більшої сили  $F_2$ , а її значення дорівнюватиме різниці сил  $F_2$  і  $F_1$ :

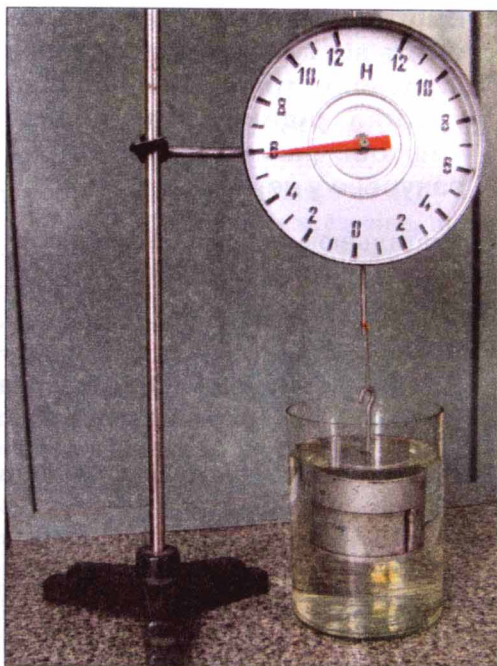
$$F_A = F_2 - F_1 = g\rho_p h_2 S - g\rho_p h_1 S = g\rho_p S(h_2 - h_1).$$



Мал. 141



Мал. 142



Мал. 143

Оскільки різниця  $h_2 - h_1$  є висотою бруска, то добуток  $S(h_2 - h_1)$  дорівнює об'єму тіла  $V_T$  і ми остаточно одержуємо формулу, яка є математичним виразом закону Архімеда:

$$F_A = g\rho_p V_T.$$

Дійсно, оскільки рідина не стискається, то об'єм витиснутої тілом рідини дорівнює об'єму цього тіла і добуток  $\rho_p V_T$  дорівнює масі рідини  $m_p$  в об'ємі тіла  $V_T$ . У свою чергу, добуток  $m_p g$  є вагою цієї рідини.

Із наведеного розрахунку наочно видно, що виштовхувальна (архімедова) сила виникає внаслідок того, що значення гідростатичного тиску на різних глибинах неоднакові й зростають з глибиною.

Архімедову силу можна визначити експериментально.

♦ **Дослід 4.** Підвісимо тіло до динамометра (мал. 142). На тіло діє сила тяжіння майже 10 Н. Зануримо тіло у рідину (мал. 143). Динамометр показує 6 Н. Визначимо різницю показань динамометра. Вона дорівнює 4 Н. Отже, на тіло діє сила Архімеда, яка дорівнює 4 Н.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Одного разу в імператора Цао-Цао, який правив у Китаї понад 2000 років тому, виникла думка зважити слона. Як не метушилися сановники, ніхто з них не міг нічого придумати, адже ніде не було таких гігант-



ських терезів, щоб на них можна було зважити слона. Коли всі сановники визнали свою безпорадність, прийшов чоловік на ім'я Чао Чун і сказав, що він може зважити слона. Він попросив: «Накажіть поставити слона у великий човен, після чого позначте рівень занурення човна у воду, потім зніміть слона, а човна завантажте камінням так, щоб він занурився до позначки. Вага каміння дорівнюватиме вазі слона». Талановитий самородок, який на багато років випередив великого Архімеда, дістав за свою пропозицію «щедру» винагороду — прихильний кивок імператора Цао-Цао.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які відомі вам з життя явища вказують на існування виштовхувальної сили?
2. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
3. Від чого залежить виштовхувальна сила?
4. Як можна виміряти силу Архімеда?
5. Чи буде діяти сила Архімеда на тіло, яке щільно прилягає до дна?

## § 31 УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

Ви вже знаєте, що на занурене в рідину тіло діють дві сили: сила тяжіння  $F_{\text{тяж}} = gt$ , напрямлена вертикально вниз, і архімедова сила  $F_A = g\rho_p V_t$ , направлена вертикально вгору.

Під дією цих сил тіло рухатиметься в бік більшої сили. При цьому можливі такі випадки:

1. Якщо сила тяжіння менша за архімедову силу ( $F_{\text{тяж}} < F_A$ ), то тіло спливатиме (мал. 144, а). На поверхні воно буде плавати, частково занурившись на глибину, якої достатньо для виникнення архімедової сили, що врівноважує вагу тіла.

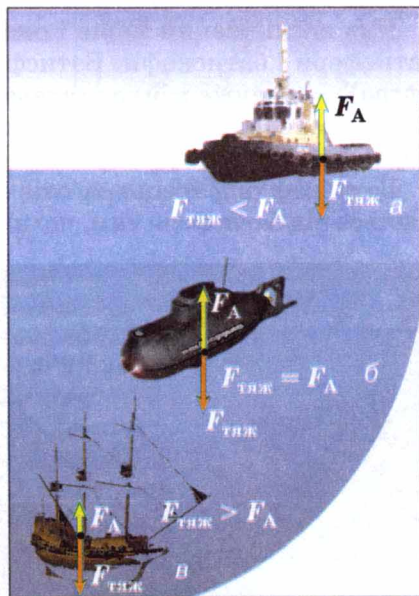
2. Якщо сила тяжіння дорівнює архімедовій силі ( $F_{\text{тяж}} = F_A$ ), то тіло буде в рівновазі в будь-якому місці рідини (мал. 144, б).

3. Якщо сила тяжіння більша за архімедову силу ( $F_{\text{тяж}} > F_A$ ), то тіло потоне (мал. 144, в).

Розглянуті умови плавання тіл кожного разу визначаються співвідношенням між густинами рідини і зануреного тіла.

1. Якщо густина тіла менша, ніж густина рідини ( $\rho_t < \rho_p$ ), то тіло буде плавати на поверхні, частково занурившись у воду.

2. Якщо густина тіла дорівнює густині рідини ( $\rho_t = \rho_p$ ), то спостерігатиметься стан **байдужої** (індиферентної) **рівноваги**, коли тіло може зависнути



Мал. 144



Мал. 145

на будь-якій глибині (у водоймах це становить небезпеку для судноплавства через можливе зіткнення).

3. Якщо густина тіла більша, ніж густина рідини ( $\rho_t > \rho_p$ ), то тіло буде тонути.

Підводний човен, опустившись на мулисте дно, іноді ледь-ледь може відірватися від нього. Таке присмоктування човна до дна виникає тоді, коли човен притискується до ґрунту так, що між ним і ґрунтом немає води. Отже, вода не тисне на його нижню частину, тобто не виникає виштовхувальної сили.

Для виконання підводних робіт використовують водолазні костюми (мал. 145). Вони мають масу до і більше 50 кг, тому що їх підошви роблять свинцевими, щоб збільшити вагу водолаза і надати йому більшої стійкості під час роботи у воді.

*Як же може водолаз пересуватися в такому важкому костюмі? Завдяки значному об'єму костюма виштовхувальна сила води зрівноважує майже всю його вагу, тому водолаз має можливість вільно пересуватися у воді.*

Користуючись аквалангом, який винайшов відомий дослідник морських глибин французький учений Жак-Ів Кусто, людина може довго перебувати у воді і вільно плавати (мал. 146).

Для дослідження морів і океанів на великих глибинах використовують батисфери і батискафи. Батисфера (від грецьких слів *батис* — глибокий і *сфера*) — це дуже міцна сталева куля з ілюмінаторами (вікнами) з товстого скла. Всередині кулі перебувають дослідники, які підтримують зв'язок із кораблем. Батисферу опускають на сталевому тросі.

Батискаф (від грецьких слів *батис* — глибокий; *скафос* — судно) відрізняється від батисфери тим, що він не утримується на тросі, а має власний дви-



Мал. 146



Мал. 147



гун і може вільно переміщатися на великих глибинах (до 11 км) у будь-яких напрямках (мал. 147).

Тіло, яке має меншу густину, ніж деякі рідини, по-різному заглиблюється в них. Це явище використовують у ареометрах (від грецьких слів *арайос* — рідкий і *метрео* — міряю) — приладах для вимірювання густини рідини за глибиною їх занурення. Будь-який ареометр є скляним поплавком у вигляді трубки з поділками і тягарем унизу (мал. 148, а). Він занурюється в рідину тим глибше, чим менша густина рідини. У нижній частині ареометра може бути термометр для вимірювання температури досліджуваної рідини.

Ареометри мають ще й іншу назву; їх називають денсиметрами (від латинських слів *денсус* — густий і *метрео* — міряю). Денсиметрами можна виміряти густини рідин від  $0,7$  до  $2,0 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . На малюнку 148, б показано денсиметри різних видів:

1 — денсиметр для вимірювання густини рідин, які мають меншу густину, ніж вода. Межі вимірювання:  $800\text{—}1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

2 — денсиметр для вимірювання густини рідин, які мають густину більшу, ніж вода. Межі вимірювання:  $1000\text{—}1200 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

3 — денсиметр для вимірювання густини рідин,

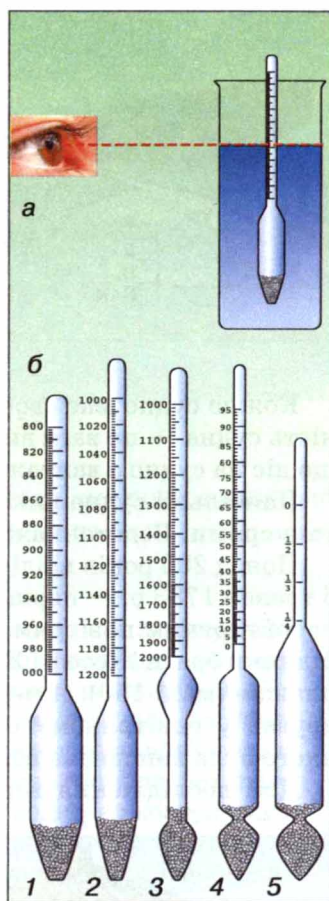
які мають густину більшу, ніж вода. Межі вимірювання:  $1000\text{—}2000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ;

4 — спиртометр. Межі вимірювання:  $0\text{—}95\%$ ;

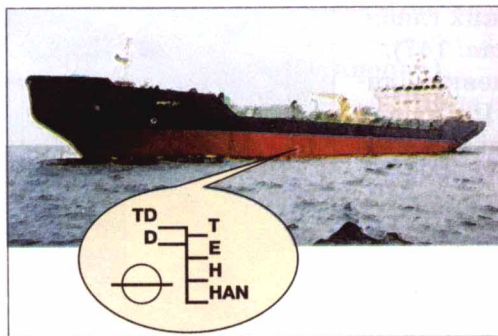
5 — лактометр. Має мітки: «Чисте молоко», « $\frac{1}{4}$  води», « $\frac{1}{3}$  води», « $\frac{1}{2}$  води».

Тіло, яке плаває, своєю підводною частиною витискує воду. Вага цієї води дорівнює силі тяжіння, що діє на це тіло. Це справедливо й для будь-якого судна. Вага води, яку витискує підводна частина судна, дорівнює силі тяжіння, що діє на судно з вантажем.

Всі судна занурюються у воду на певну глибину, яку називають **осадкою**. Найбільш допустиму осадку позначають на корпусі судна червоною лінією, яку називають **ватерлінією** (від голландського слова *ватер* — вода). Крім ватерлінії на суднах роблять інші позначки, які визначають рівень занурення судна в різних морях і океанах та залежно від пори року (мал. 149). Це пов'язано з тим, що густина води в різних місцях Світового океану різна, окрім того, вона ще залежить і від температури води (влітку густина менша, ніж узимку).



Мал. 148



**TD** — тропічна тепла вода;  
**D** — тепла вода;  
**T** — тропічна солонна вода;  
**E** — літня солонна вода;  
**H** — зимова холодна вода;  
**HAN** — зимова Північна Атлантика

Мал. 149

Кожне судно має свою **водотоннажність**, або **тоннажність**. Водотоннажність судна — це вага витиснутої судном води, яка дорівнює силі тяжіння, що діє на судно з вантажем, при його зануренні у воду.

Найбільші судна використовують для перевезення нафти, їх називають **танкерами**. Водотоннажність таких суден сягає до 5 000 000 000 Н.

Понад 200 років відділяють нас від перших повітряних польотів людини. 5 травня 1783 р. — перша прилюдна демонстрація польоту оболонки, наповненої гарячим повітрям. 21 листопада цього самого року французькі винахідники брати Жозеф і Етьєнн Монгольф'є здійснили перший політ повітроплавців (мал. 150). А через 10 днів французький фізик Жак Шарль помандрував у повітряному океані на аеростаті власної конструкції, оболонка якого була наповнена воднем. Цей аеростат став прообразом дирижаблів.

Для дослідження верхніх шарів атмосфери на метеорологічних станціях запускають невеликі, діаметром 1—2 м, повітряні кулі-зонди (мал. 151). Вони піднімаються на висоту до 35—40 км. До них підвішують прилади, які посилають по радіо сигнали про висоту польоту, тиск, температуру повітря. За напрямком і швидкістю польоту кулі можна визначати напрям і силу вітру на різних висотах. Відомості, які отримують з таких зондів, дуже важливі для прогнозування погоди.

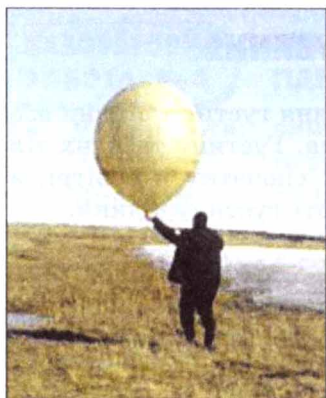
На малюнку 152 зображений керований літальний апарат, легший за повітря, — дирижабль. Цьому апарату надають руху гвинти, які обертаються двигунами. Великим недоліком апаратів такого типу є те, що їх оболонка наповнюється воднем, а цей газ вогненебезпечний.

Повітряні кулі, стратостати,



Мал. 150





Мал. 151



Мал. 152

дирижаблі, зонди піднімаються вгору за рахунок того, що вони наповнені газами, які легші за повітря, і на них діє виштовхувальна сила.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

• У червні 1893 р. канадський пароплав «Порція» робив рейс з порту Сент-Джон (Ньюфаундленд) у Нью-Брансуїк. Повз судно пропливали величезні льодові гори — айсберги. Пасажири захотіли краще роздивитися айсберг й умовили капітана наблизитися до одного з них. «Порція» застопорила машини за 70 м від айсберга. Довжина плавучої гори дорівнювала майже 250 м, а висота — 60 м. Несподівано льодова громада, що іскрилася на сонці, швидко відійшла від пароплава, і водночас корпус судна зазнав різкого поштовху. Здивовані матроси і пасажери побачили, що пароплав лежить на величезній крижині і з кожною секундою піднімається все вище і вище над поверхнею води.

Стався неймовірний випадок! Відомо, що час від часу айсберги перевертаються. Пароплав був підхоплений щілиною в підводній частині айсберга і залишався на вершині льодової гори впродовж кількох хвилин. Потім айсберг хитнувся і знову зайняв попереднє положення, а судно благополучно опинилося у воді. А втім, не зовсім благополучно: в його обшивці утворилася щілина, і «Порція» ледве дісталася найближчого порту.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Сформулюйте умови плавання тіл.
2. В якому випадку тіло плаває, частково виступаючи над поверхнею рідини?
3. В якій із рідин плаватиме лід: у гасі, воді або спирті?
4. Для чого використовують денсиметри (ареометри)?
5. Чому тоне корабель, який отримав пробоїну?
6. Що таке осадка? Ватерлінія? Водотоннажність судна?
7. Хто вперше здійснив політ на повітряній кулі?
8. Назвіть повітряні літальні апарати.

### § 32

## ГІДРОСТАТИЧНЕ ЗВАЖУВАННЯ

Гідростатичне зважування – це метод вимірювання густини рідини або твердого тіла, який ґрунтується на законі Архімеда. Густина твердих тіл визначають методом подвійного зважування тіла: спочатку в повітрі, а потім у рідині, густина якої відома. Якщо визначають густину рідини, то в ній зважують тіло відомої маси та об'єму.

Якщо досліджуване суцільне тверде тіло тоне у воді, то для виконання завдання потрібний лише лабораторний динамометр (або рівноплечі терези) і посудина з водою. Спочатку визначають вагу  $P$  досліджуваного тіла у повітрі:  $P = mg = \rho Vg$ , де  $\rho$  — невідома густина досліджуваного тіла, а  $m$  і  $V$  позначають відповідно його масу і об'єм.

Потім тверде тіло занурюють у посудину з рідиною, густина якої  $\rho_0$  відома (у разі використання дистильованої або чистої води

$\rho_0 = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ) і визначають вагу тіла  $P_1$  в рідині, яка за законом Архімеда менша від ваги тіла у повітрі на значення сили Архімеда  $F_A = g\rho_0 V$ ,  $P_1 = P - F_A$ , звідки  $F_A = P - P_1$  або  $g\rho_0 V = P - P_1$ .

Із цієї формули можна визначити густину рідини, якщо вона невідома, а об'єм тіла відомий:

$$\rho_0 = \frac{P - P_1}{gV}.$$

Об'єм рідини, витиснутої тілом, дорівнює об'єму тіла, але оскільки

$P = \rho Vg$ , то  $V = \frac{P}{\rho g}$ . Підставимо це у вираз для архімедової сили, одержимо

$\frac{\rho_0 P}{\rho} = P - P_1$ , звідки і випливає шукана формула для визначення густини речовини твердого тіла:

$$\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}.$$



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке гідростатичне зважування?
2. Як можна виміряти густину твердого тіла?
3. Як можна виміряти густину рідини?
4. Які прилади використовуються для вимірювання густини твердого тіла? Рідини?



**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 8**
**ВИМІРЮВАННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ МЕТОДОМ  
ГІДРОСТАТИЧНОГО ЗВАЖУВАННЯ**

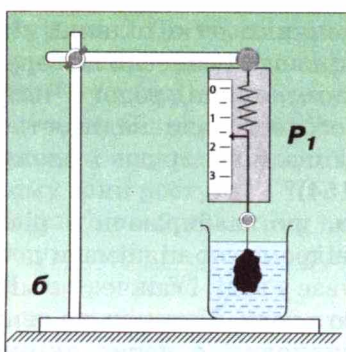
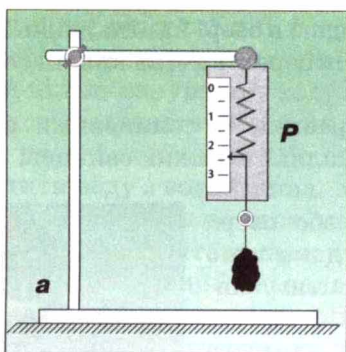
- **Мета роботи:** виміряти густину твердого тіла методом гідростатичного зважування.
- **Прилади і матеріали:** динамометр, штатив з муфтою і лапкою, тверде тіло з прив'язаною нитяною петлею, густину якого треба визначити, посудина з чистою водою.

**Хід роботи**

1. Повторіть за підручником матеріал § 32 про гідростатичне зважування.
2. Закріпіть динамометр на штативі й підвісьте до нього на нитці тіло. Визначте за показанням динамометра і запишіть у таблицю значення ваги тіла у повітрі  $P$  ( $P = \rho Vg$ ) (мал. 153, а).
3. Підставте склянку з водою й опускайте муфту з лапкою та динамометром доти, поки все тіло не зануриться у воду (мал. 153, б). Визначте за показанням динамометра і запишіть у таблицю значення ваги тіла у воді  $P_1$ . Різниця між вагою тіла в повітрі й воді дорівнює виштовхувальній силі  $F_A$  ( $F_A = P - P_1$ ;  $F_A = g\rho_0 V$ ).
4. Обчисліть густину твердого тіла  $\rho$  за формулою  $\rho = \rho_0 \frac{P}{P - P_1}$  і її

значення запишіть у таблицю. Густина чистої води  $= 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

5. Користуючись таблицею «Густина твердих тіл», визначте, з якої речовини виготовлене тіло.
6. Зробіть висновки.



Мал. 153

| Вага тіла у повітрі $P$ , Н | Вага тіла у воді $P_1$ , Н | Густина речовини<br>твердого тіла $\rho$ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ |
|-----------------------------|----------------------------|---------------------------------------------------------------------------|
|                             |                            |                                                                           |

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## &gt; Розв'язуємо разом

1. Купаючись у річці з мулким дном, можна помітити, що ноги більше грузнуть у мул на мілких місцях, ніж на глибоких. Поясніть чому.

Відповідь: тому що на глибоких місцях діє більша виштовхувальна сила.

2. Визначте, яка архімедова сила діє на тіло об'ємом  $5 \text{ м}^3$ , занурене повністю у воду?

Дано:

$$V = 5 \text{ м}^3$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$F_A = 49,05 \text{ кН}$$

$$F_A = ?$$

Розв'язання.

За формулою  $F_A = g\rho V_T$  визначаємо архімедову силу:

$$F_A = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 5 \text{ м}^3 = 49\,050 \text{ Н}.$$

Відповідь:  $F_A = 49,05 \text{ кН}$ .

3. Чи потрібно враховувати завантаженість судна при переході його з моря в річку? Довантажувати чи розвантажувати потрібно судно, щоб воно було занурене по ватерлінію?

Відповідь: при переході судна з моря в річку потрібно враховувати завантаженість судна, тому що густина води зменшується. Судно потрібно розвантажувати.

## Рівень А

232. Чому по кам'янистому дну річки не так боляче ходити босими ногами, як по кам'янистому берегу?
233. Два хлопчики легко підняли під водою в озері камінь, піднесли його до поверхні води і винесли на берег. На березі камінь виявився їм набагато важчим, ніж під водою. Чому?
234. Для чого водолази надівають черевики із свинцевими підшвами, а іноді ще й на груди і спину чіпляють важкі свинцеві пластинки (мал. 154)?
235. Відомо, що, набираючи з річки або озера воду, відро легко піднімати доти, доки воно перебуває у воді, і важче — в міру витягування його з води. Поясніть це явище.
236. Чи однаковим є натяг якорного ланцюга корабля, якщо якор висить у повітрі чи перебуває у товщі води?
237. Яка виштовхувальна сила діє на тіло об'ємом  $2 \text{ м}^3$ , що повністю занурене у воду; в гас?
238. Який об'єм має тіло, занурене повністю у воду, якщо на нього діє виштовхувальна сила  $40 \text{ Н}$ ?



Мал. 154





Мал. 155



Мал. 156

239. В яку рідину повністю занурили тіло, якщо його об'єм дорівнює  $200 \text{ см}^3$  і на нього діє виштовхувальна сила  $160 \text{ Н}$ ?
240. Спливе чи потоне: виливок свинцю у ртуті; дубовий брусок у бензині; кусок льоду в гасі; олія у воді?
241. Чому жир у супі збирається на поверхні?
242. Чому порожня пляшка плаває на поверхні води, а наповнена водою — тоне?
243. Чи відповідає законам фізики такий опис: «... Ми не могли потонути. Тут можна витягнутись на воді на всю довжину, лежачи на спині і склавши руки на грудях, причому більша частина тіла буде залишатись над водою (мал. 155). При цьому можна зовсім підняти голову...»?
244. Тримаран — це широкий човен, який плаває на трьох великих поплавках (мал. 156). У чому перевага човна такого типу?
245. Судно важить  $100\,000\,000 \text{ Н}$ . Скільки води воно витискує?
246. Манометр, установлений на батискафі, показує, що тиск води дорівнює  $9,8 \text{ МПа}$ . На якій глибині перебуває батискаф?

## Рівень Б

247. Чи залежить виштовхувальна сила, що діє на повністю занурене у рідину тіло, від глибини його занурення? До терезів підвішено два однакові алюмінієві тіла. Чи порушиться рівновага терезів, якщо обидва ці тіла занурити у воду? Одне — у воду, а друге — у гас?
248. Більшість водоростей має тонку гнучку стеблину. Чому їм не потрібні міцні, тверді стеблини? Що станеться з водяними рослинами, якщо випустити воду з водоймища, в якому вони ростуть?
249. Чому виштовхувальна сила, що діє на тіло в будь-якому газі, у багато разів менша за виштовхувальну силу, що діє на те саме тіло в рідині?
250. Для чого призначений плавальний міхур у риб?
251. Визначте шляхом досліду, більшою чи меншою за густину води є густина учнівської гумки.
252. Почистіть картоплину. Кусок її покладіть у воду. Насипайте у воду сіль (розмішуючи її) доти, доки картоплина не спливе. Як пояснити це явище?
253. Виконайте такий дослід: у нижню частину стеаринової свічки встроїть цвях так, щоб свічка плавала у воді вертикально. Запаліть свічку. Як довго горітиме свічка, плаваючи у воді?
254. Як найпростішим способом відокремити вершки від молока? Що

важче: склянка молока чи склянка вершків?

255. Існує такий спосіб очищення зерна від різних домішок: у розчин кухонної солі (20 %) висипають, наприклад, жито, засмічене насінням бур'янів. Насіння бур'янів спливає на поверхню розчину, а зерно тоне. Як це пояснити?

256. Чи потоне у воді сталевий ключ в умовах невагомості, наприклад на борту орбітальної станції, всередині якої підтримується нормальний тиск повітря? Чи діє закон Паскаля в умовах невагомості?

257. В якому молоці — незбираному чи збираному — лактометр занурюється глибше?

258. Які прилади зображено на малюнку 157? Для чого вони призначені? Чому шкали в цих приладів неоднакові?

259. Як за допомогою олівця або лінійки зробити прилад для порівняння густини рідин, що містяться в двох різних посудинах?

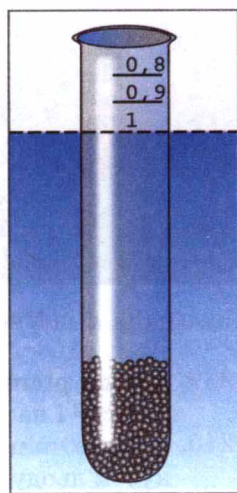
260. Виготуйте модель денсиметра з пробірки (мал. 158). Для цього візьміть пробірку і покладіть у неї стільки кусочків свинцю, (сталевих кульок або цвяхів) щоб пробірка трималась на воді вертикально. Відмітьте напилком межу (рівень води) між підводною і надводною частинами пробірки. Виконайте те саме, занурюючи пробірку в інші рідини.

261. Якщо на занурене в рідину тіло діє стала сила  $F_A = g\rho_p V_T$ , то яким чином підводний човен (мал. 159) занурюється в море на велику глибину, а потім спливає?

262. Іноді підводний човен, який опустився на мулисте дно, не може піднятися, незважаючи на те, що відсіки його спорожніли. Інколи доводиться робити холостий постріл з мінного апарата, щоб зірвати човен з місця. Чому?



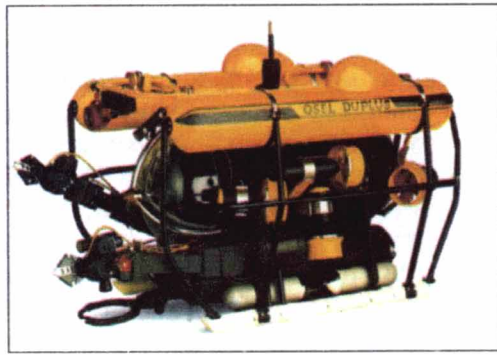
Мал. 157



Мал. 158



Мал. 159



Мал. 160

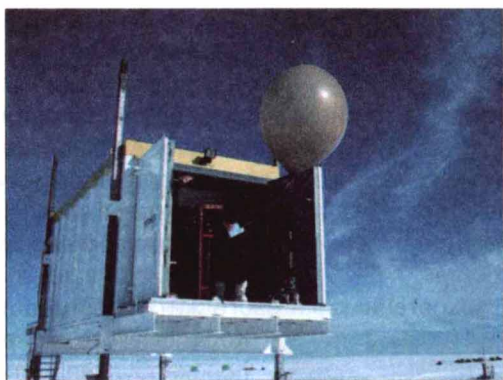


263. Підводний апарат (мал. 160), призначений для дослідження морського дна і підводного світу, може занурюватися на глибину до 6000 м. Розрахуйте тиск морської води на цій глибині.

264. Легкі гумові кулі, наповнені воднем, можуть швидко підніматися вгору. Чому ці кулі піднімаються? Чому на певній висоті вони лопаються?

265. Чи змінюється підймальна сила аеростата зі збільшенням висоти його підйому? Чому вона дорівнюватиме, якщо об'єм аеростата дорівнює  $20\,000\text{ м}^3$  і він наповнений воднем? Висота підйому 2 км.

266. Кулю-зонд (мал. 161), об'ємом  $10\text{ м}^3$ , перед запуском у верхні шари атмосфери наповнили гелієм. Яка виштовхувальна сила діятиме на кулю-зонд? Чи буде вона змінюватися з висотою?



Мал. 161

### ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

**Гук Роберт** (18.07.1635 — 03.08.1703) в історію науки увійшов як автор закону залежності сили пружності від деформації тіла й коефіцієнта пружності. Йому також належать чимало праць з оптики, теплоти, небесної механіки, зокрема встановлення точок танення льоду та кипіння води; сталості точок кипіння і плавлення для всіх тіл; клітинної будови організмів; удосконалення мікроскопа; становлення фізичної оптики; а також висновки про те, що сила всесвітнього тяжіння обернено пропорційна квадрату відстані між тілами.

Бурхливий темперамент Гука був джерелом його винаходів. У 1684 р. він представив Королівському товариству першу в світі систему оптичного телеграфу. В 1666 р. у Лондоні сталася велика пожежа, і Роберт Гук став архітектором. Перебудова міста включала навіть проектування мостів через Темзу, каналу, церкви, шпиталів Бедламу і Христа, торговельних приміщень.

Відома участь Гука у будівництві Гринвіцької обсерваторії. Це тривало майже тридцять років.

**Ньютон Ісаак** (05.01.1643 — 31.03.1727). Майбутній учений народився у Вульсторпі (графстві Лінкольн) у сім'ї дрібного фермера. З дитинства захоплювався механічними моделями, будував маленькі водяні млини, робив самопали, сонячні годинники (в одному з музеїв Англії зберігся циферблат годинника понад 350-річної давнини). У 1658 р. провів перший фізичний дослід: намагаючись визначити швидкість вітру, він виміряв довжину стрибка за вітром і проти вітру.



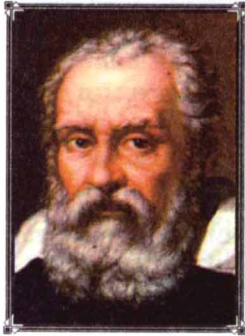
Гук Роберт



Ньютон Ісаак

Предметом дослідження Ньютона були механічні, гравітаційні, оптичні явища. Ньютон сформулював основні закони класичної механіки, відкрив закон всесвітнього тяжіння, явище розкладання білого світла на кольорові складові, розвинув теорію світла, розглядаючи його як потік рухливих світлових частинок, розробив (незалежно від Г. Лейбніца) основні розділи вищої математики. Узагальнивши результати досліджень з механіки своїх попередників і результати власних досліджень, створив фундаментальну працю «Математичні начала натуральної філософії», видану 1687 року. На надгробній плиті вченого викарбовано тригранну призму, яка розкладає біле світло у спектр.

В останні роки свого життя обіймав посаду наглядача, а пізніше — директора Королівського монетного двору, де досяг чималих успіхів у перекарбуванні монет.



Галілео Галілей

**Вимірювання атмосферного тиску. Галілео Галілей** (15.02.1564 — 08.01.1642) першим довів, що повітря має вагу. Він зважував скляну кулю. Потім накачував у неї повітря і знову зважував. Різницю між отриманими результатами вчений правильно пов'язав із вагою повітря, яке накачали в кулю. Але Галілей ніяк не міг пояснити іншого досліду. Чому у всмоктувальному насосі із підведеною трубкою висотою 12 м вода піднімається лише до 10 м? І скільки далі б не качали, то вода вище не піднімалася!



Еванджеліста Торрічеллі

Учень Галілея **Еванджеліста Торрічеллі** (15.10.1608 — 25.10.1647) дійшов до висновку, що рідину «змушує» підніматися не сила наших легенів, а тиск повітря на її поверхню. У 1643 р. він провів експеримент із ртуттю, густина якої у 13,6 раза більша, ніж густина води. Торрічеллі розрахував, що стовп ртуті висотою у 760 мм створить такий самий тиск, як і 10-метровий стовп води.

У 1648 р. французький математик і фізик **Блез Паскаль** (19.06.1623 — 19.08.1662) провів досліди із трубкою на схилі гори. Для цього під його керівництвом було проведено серію експериментів з барометром при підніманні на вершину гори Пюї-де-Дон (її висота близько 1300 м). Із збільшенням висоти зменшувалася кількість повітря над головою, а тому і тиск повітря ставав меншим порівняно із тиском над рівнем моря. Чим більше вгору йшов Паскаль, тим нижче опускався стовпчик ртуті у його трубці. На основі цих експериментів було вперше доведено, що із висотою атмосферний тиск знижується.



Блез Паскаль

**Винайдення гідралічного преса.** Незалежно від С. Стевіна закони гідростатики відкрив Г. Галілей. Учений вважав, що рідина складається із маленьких кульок подібно до частинок твердого тіла. Ці частинки зазнають дії сили тяжіння, але вони досить рухливі. Галілей доходить цікавого висновку: якщо рідина міститься у закритій пляшці і одна частина поверхні зазнає певного тиску (за допомогою пробки), то цей тиск поширюється в рідині так, що вся інша частина поверхні такого самого розміру зазнаватиме точно такого тиску. Звідси випливає, що

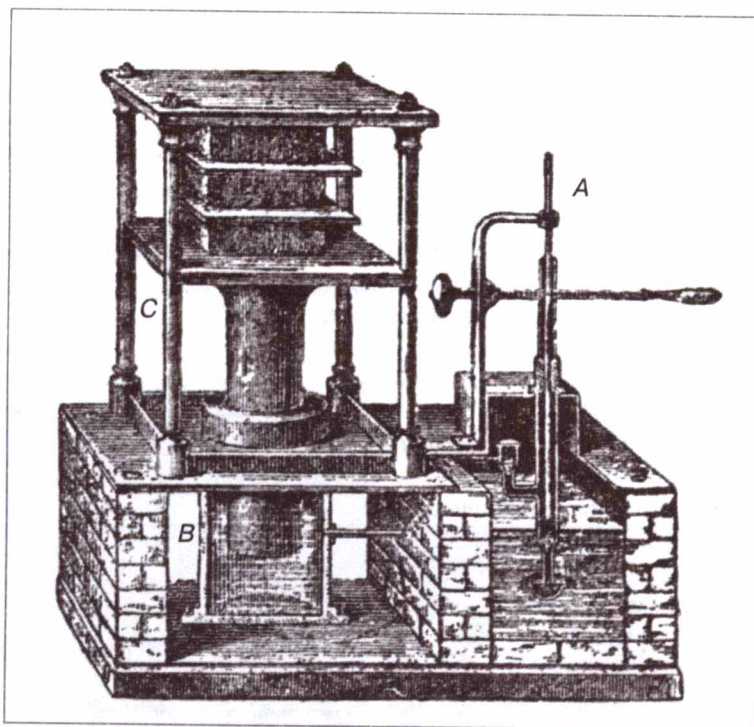


тиск, що зазнає поверхня пляшки, відноситься до тиску на пробку, як площа поверхні пляшки відноситься до поперечного перерізу пробки. Тому пляшку, що наповнена водою, легко розбити одним ударом по пробці. Якщо під пробкою є повітря, то воно послаблює удар. Усі ці результати Галілей використав для конструювання гідравлічного преса, на який у 1594 р. отримав патент терміном на 20 років.

Але гідравлічний прес Галілея не знайшов будь-якого суттєвого застосування. І лише через 200 (!) років англійський механік **Джозеф Брама** (1749 — 1814) у Лондоні отримав патент на прес, що був призначений для пресування сіна і бавовни. Тому гідравлічний прес зазвичай називають пресом Брама. У вузькому циліндрі *A* із міцними стінками рухається за допомогою важеля поршень. Цей циліндр з'єднаний вузькою трубкою із іншим, широким циліндром *B*, у якому рухається товстий циліндричний поршень *C* (мал. 162).



Джозеф Брама



Мал. 162

## Контрольні запитання

1. Що відбувається під час взаємодії двох тіл?
2. Як ураховують явище інерції під час скидання з літака парашутиста в заданий пункт?
3. Що таке маса тіла?
4. Що характеризує сила?
5. Чому м'яч, кинутий вертикально вгору, падає на Землю? Які сили при цьому діють?
6. У чому полягає різниця між вагою тіла і силою тяжіння, яка на нього діє?
7. Сила тертя кочення менша від сили тертя ковзання. Чому ж взимку їздять саньми, а не возом?
8. Що таке тиск і сила тиску?
9. Від чого залежить гідростатичний тиск?
10. Яка властивість атмосферного тиску?
11. У чому полягає особливість рідинних насосів?
12. Чи діє архімедова сила в умовах невагомості?

## Що я знаю і вмію робити

## Я вмію визначати масу і вагу тіл.

1. Кит довжиною 33 м має вагу 1 500 000 Н, що відповідає вазі 30 слонів. Визначити масу кита і вагу слона.

## Я знаю, в яких випадках діють ті чи інші сили.

2. Чим пояснити наведені нижче явища: а) наявністю інерції; б) дією сили тяжіння; в) дією сили пружності; г) існуванням ваги; д) невагомістю?

А. Людина, яка спіткнулася, падає вперед.

Б. Місяць обертається навколо Землі.

В. Кладка через струмок прогинається, коли на неї стати.

Г. Космонавти «плавають» у космічному кораблі.

Д. Пружина, до якої підвісили вантаж, розтягується.

3. Під дією якої сили відбуваються зазначені явища: а) земного тяжіння; б) пружності; в) тертя?

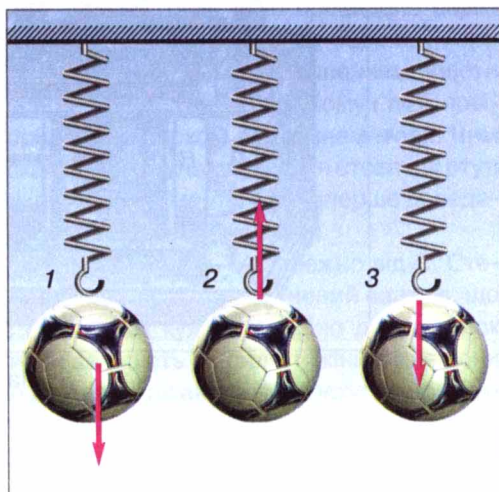
А. Яблуко падає з яблуні.

Б. Припиняється рух автомобіля після вимкнення двигуна.

В. М'яч змінює напрям швидкості при ударі в штангу.

## Я знаю, як на малюнках зображують сили.

4. У якому випадку (мал. 163 )



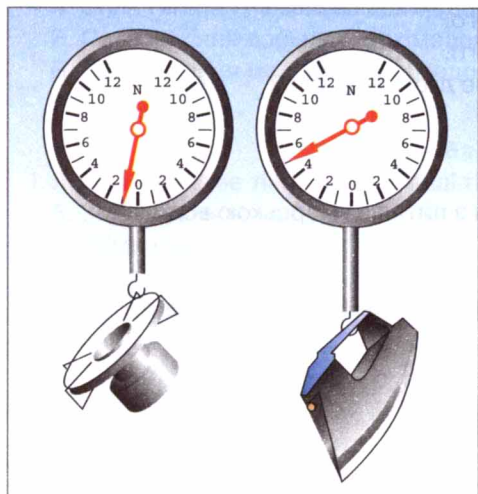
Мал. 163



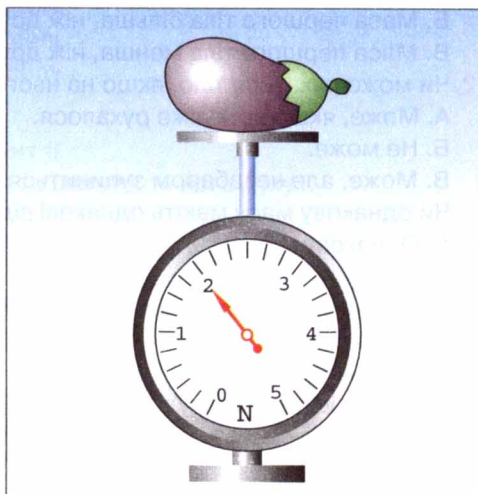
зображено: а) вагу тіла; б) силу тяжіння; в) силу пружності?

**Я знаю, які є прилади для вимірювання сил, і вмію ними користуватися.**

5. Які прилади зображено на малюнку 164? Визначте масу і вагу зображених предметів.
6. За малюнком 165 визначте силу тяжіння, яка діє на баклажан, і вагу баклажана. Зобразіть це графічно. Яка маса баклажана?



Мал. 164



Мал. 165

**Я вмію визначати значення сил.**

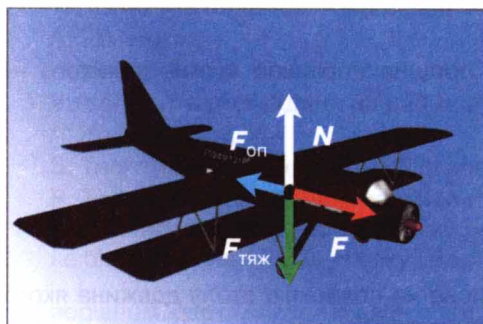
7. Яка сила тяжіння діє на тіло масою 1 кг 300 г?
8. Парашутист, маса якого 70 кг, рівномірно рухається. Чому дорівнює сила опору повітря, яка діє на парашутиста?

**Я знаю як додавати сили.**

9. Як рухається аероплан (мал. 166)?

**Я знаю, які тіла плавають, а які — тонуть.**

10. Поясніть результати дослідів (мал. 167).
11. Чому залізний циліндр тоне у воді, а лід — плаває?
12. Лід плаває на воді. Чи буде він плавати у бензині?



Мал. 166



Мал. 167

**Тестові завдання****Варіант I**

1. Якщо два тіла взаємодіють між собою і перше з них після взаємодії зазнає більшої зміни швидкості руху, то говорять, що ...  
А. Маса цих тіл однакові.  
Б. Маса першого тіла більша, ніж другого.  
В. Маса першого тіла менша, ніж другого.
2. Чи може рухатися тіло, якщо на нього не діють інші тіла?  
А. Може, якщо воно вже рухалося.  
Б. Не може.  
В. Може, але незабаром зупиниться.
3. Чи однакову масу мають однакові відра з питною і морською водою?  
А. Однакову.  
Б. Різну.
4. Чи зміниться сила тяжіння, що діє на мідну деталь, якщо її розплавити?  
А. Зміниться.  
Б. Не зміниться.
5. Чому дорівнює вага кулі масою 2 кг?  
А. 19,6 Н.  
Б. 29,4 Н.  
В. 21 Н.  
Г. 18 Н.
6. Які з указаних причин впливають на значення сили тертя?  
А. Природа поверхонь, які труться.  
Б. Сили, які притискають поверхні, які труться, одну до одної.  
В. Шорсткість поверхонь тіл.
7. Які величини потрібно знати, щоб розрахувати тиск на дно посудини?  
А. Висоту стовпа і густину рідини.  
Б. Силу тиску на дно і площу дна.  
В. Вагу рідини і її об'єм.
8. Якому тиску в паскалях відповідає 1 мм рт. ст.?  
А. 1013 Па.  
Б. 133,3 Па.  
В. 133,3 гПа.  
Г. 10,13 Па.
9. У гідравлічному пресі площа малого поршня дорівнює  $4 \text{ см}^2$ , великого —  $400 \text{ см}^2$ .  
Який виграш у силі дає цей прес?  
А. 100.  
Б. 400.  
В. 10.  
Г. 16 000
10. Чому дорівнює сила, з якою повітря тисне на поверхню столу довжина якого 1,2 м, ширина — 60 см? Атмосферний тиск нормальний.  
А. 13 888 Н.                      Б. 7,2 кН.                      В. 7 200 кН.                      Г. 72 кН.



11. Чи зміниться значення архімедової сили, яка діє на підводний човен, якщо він з моря зайде в дельту ріки?
- А. Не зміниться.
  - Б. Збільшиться.
  - В. Зменшиться.
12. Тіло плаває всередині рідини, якщо...
- А. Сила тяжіння більша за архімедову силу.
  - Б. Сила тяжіння дорівнює архімедовій силі.
  - В. Сила тяжіння менша за архімедову силу.

### Варіант II

1. Якщо на рухоме тіло не діють інші тіла, то швидкість його руху...
- А. Зменшується.
  - Б. Збільшується.
  - В. Не змінюється.
2. У відро вагою 19,6 Н налили 10 л води. Якою стала загальна маса відра з водою?
- А. 29,6 кг.
  - Б. 117,6 кг.
  - В. 12 кг.
  - Г. 20,6 кг.
3. Чи може тіло рухатися, якщо сила тяги і сила тертя рівні між собою?
- А. Тіло обов'язково перебуватиме у спокої.
  - Б. Тіло може рухатися рівномірно.
  - В. Може, але швидкість тіла буде зменшуватися.
4. Яка сила тяжіння діє на тіло масою 3 кг?
- А. 30 Н.
  - Б. 29,43 Н.
  - В. 31 Н.
  - Г. 29 Н.
5. Визначте жорсткість пружини динамометра, до якого підвісили тіло масою 100 г, і вона видовжилася на 1 см?
- А.  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
  - Б.  $102 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
  - В.  $98,1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
  - Г.  $97 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
6. Чи залежить сила тертя від площі поверхні тіл, які труться?
- А. Залежить.
  - Б. Не залежить.
7. Чи залежить тиск рідини на дно посудини від площі її дна?
- А. Не залежить.
  - Б. Тиск тим більший, чим більша площа.
  - В. Тиск тим менший, чим менша площа.
8. При нормальному атмосферному тиску вода за поршнем насоса піднімається не більш, ніж на 10,3 м. На яку висоту за одних і тих самих умов піднімається за поршнем нафта? Густина нафти дорівнює  $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
- А. 10,3 м.
  - Б. 12,9 м.
  - В. 11,3 м.
  - Г. 8 м.

9. Визначте висоту рівня води у водонапірній башті, якщо манометр, установлений біля її основи, показує тиск 22 кПа.
- А. 2,2 м.
  - Б. 10,3 м.
  - В. 12 м.
  - Г. 22 м.
10. У воду кидають дві однакові закриті пляшки — з водою і порожню. Чи однакова архімедова сила діятиме на них, якщо вони будуть під водою?
- А. Більша на порожню пляшку.
  - Б. Більша на пляшку з водою.
  - В. Однакова.
11. Тіло вагою 20 Н при зануренні у воду витискує об'єм води, який важить 15 Н. Чи потоне тіло?
- А. Потоне.
  - Б. Буде плавати всередині рідини.
  - В. Буде плавати на поверхні рідини.
12. Пробірку помістили в мензурку з водою. Рівень води при цьому підвищився від поділки 100 до 120 мл. Скільки важить пробірка, яка плаває у воді?
- А. 2 Н.
  - Б. 0,2 Н.
  - В. 0,02 Н.
  - Г. Правильної відповіді немає.





# РОБОТА І ЕНЕРГІЯ

- Механічна робота і потужність
- Кінетична і потенціальна енергії
- Закон збереження енергії
- Прості механізми
- Умова рівноваги важеля
- «Золоте правило» механіки



### § 33 МЕХАНІЧНА РОБОТА. ОДИНИЦІ РОБОТИ

У повсякденному житті слово «робота» вживається дуже часто. Роботою називають будь-яку корисну працю робітника, вченого, учня.

У фізиці поняття роботи значно вужче. Насамперед розглядають механічну роботу.

**Механічна робота виконується під час переміщення тіла під дією прикладеної до нього сили.**

Розглянемо приклади механічної роботи.

Автомобіль тягне з певною силою причеп і переміщує його на деяку відстань, при цьому виконується механічна робота.

Робітник піднімає пакунки (мал. 168) і складає їх. Він виконує механічну роботу.

Шайба рухається по льоду, під дією сили тертя вона через певний час зупиняється. В цьому разі також виконується механічна робота.

Розглянемо, від чого залежить значення механічної роботи.

Для того, щоб підняти вантаж масою 1 кг на висоту 1 м, потрібно прикласти силу 9,8 Н. При цьому виконується механічна робота. А для того, щоб підняти тіло масою 10 кг на таку саму висоту, потрібно прикласти силу, в 10 разів більшу. Виконана робота в цьому разі буде в 10 разів більшою.

Якщо піднімати тіло масою 1 кг не на 1 м, а, наприклад, на 10 м, то робота, виконана під час піднімання вантажу на 10 м, буде в 10 разів більшою за роботу, яку виконали під час піднімання тіла на 1 м.

**Отже, механічна робота прямо пропорційна прикладеній до тіла силі й відстані, на яку це тіло переміщується.**

Щоб визначити виконану механічну роботу, треба значення сили помножити на шлях, пройдений тілом у напрямі дії сили, тобто:

$$\text{Механічна робота} = \text{Сила} \times \text{Шлях},$$

або

$$A = Fl,$$

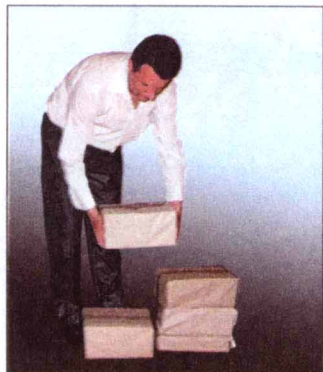
де  $A$  — механічна робота;  $F$  — сила;  $l$  — шлях, пройдений тілом у напрямі дії сили.

Одиницею роботи в СІ є один джоуль (1 Дж).

**1 джоуль — це робота, яку виконує сила 1 Н, переміщуючи тіло на 1 м у напрямі дії сили:  
1 Дж = 1 Н × 1 м = 1 Н · м.**

Ця одиниця названа на честь англійського фізика Джеймса Джоуля. Одиницями механічної роботи є також кілоджоулі і мегаджоулі:

$$1 \text{ кДж} = 1000 \text{ Дж};$$



Мал. 168



$$1 \text{ МДж} = 1\,000\,000 \text{ Дж.}$$

Розглянемо випадки, коли механічна робота не виконується.

Ми хочемо пересунути важку шафу, діємо на неї із силою, але не можемо зрушити її з місця (тобто  $l = 0$ ) — робота не виконується.

Якщо тіло рухається за інерцією (тобто  $F = 0$ ), то робота також не виконується.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИБЧЕНОГО

1. Яку роботу називають механічною?
2. Наведіть приклади, коли тіла виконують механічну роботу.
3. Як визначають механічну роботу?
4. Назвіть одиниці механічної роботи.
5. У яких випадках робота не виконується?

## § 34

## ПОТУЖНІСТЬ. ОДИНИЦІ ПОТУЖНОСТІ

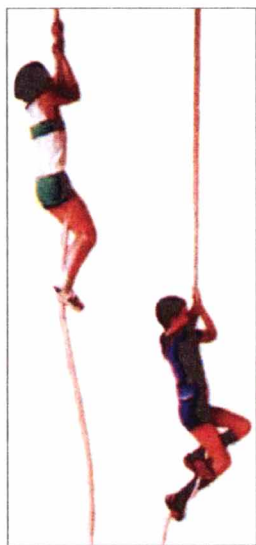
Розглянемо такі приклади виконання механічної роботи.

Двом учням однакової маси потрібно піднятися по канату вгору на одну й ту саму висоту (мал. 169), тобто виконати однакову механічну роботу. Один з них може виконати це швидше.

Підйомний кран на будівництві за кілька хвилин піднімає за задану висоту, наприклад, 400 цеглин. Якби цю роботу виконував робітник, переносючи цеглу вручну, то він затратив би на це весь робочий день.

Гектар землі сильним конем можна виорати за 10—12 год, а трактор з багатолемішним плугом цю роботу виконує за 40—50 хв.

У цих прикладах один з учнів виконує ту саму роботу швидше, ніж інший, підйомний кран — швидше, ніж робітник, а трактор — швидше, ніж кінь. Швидкість виконання роботи характеризують фізичною величиною, яку називають **потужністю**.



Мал. 169

**Потужність — це фізична величина, яка визначається відношенням виконаної роботи до затраченого часу.**

Щоб визначити потужність, треба роботу поділити на час її виконання:

$$\text{Потужність} = \frac{\text{Робота}}{\text{Час}}, \text{ або } N = \frac{A}{t},$$

де  $N$  — потужність;  $A$  — механічна робота;  $t$  — час.

Одиницею потужності в СІ є **один ват (1 Вт)**. Її названо на честь англійського винахідника парової машини Джеймса Уатта.

**1 ват — це потужність, при якій за 1 с виконується робота 1 Дж:**

$$1 \text{ ват} = \frac{1 \text{ джоуль}}{1 \text{ секунда}}, \text{ або } 1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}.$$

Використовують також інші одиниці потужності: кіловат і мегават:

$$\begin{aligned} 1 \text{ кВт} &= 1000 \text{ Вт}; \\ 1 \text{ МВт} &= 1\,000\,000 \text{ Вт}. \end{aligned}$$

Знаючи потужність двигуна  $N$ , можна визначити роботу  $A$ , яку виконує цей двигун протягом певного інтервалу часу  $t$ , за формулою:

$$A = Nt.$$

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Потужність серця у спокої у різних людей лежить у межах 0,7 — 1,8 Вт, тобто вона сумірна з потужністю електричного дзвінка. Під час навантаження вона може зростати у 2 — 6 разів, у тренуваних людей — навіть у 10 разів. Довгий час людина здатна працювати із середньою потужністю 75 Вт, а короткочасно, наприклад, під час бігу — до 600 Вт.
- Хвіст голубого кита має горизонтальні лопаті. Він розвиває потужність 368 кВт. Ця потужність тільки в 2 рази менша за потужність двигуна літака Ан-2 і в 7 разів більша за потужність двигуна трактора ДТ-75.
- Тепловоз має потужність 4400 кВт, а ракета-носіє «Протон» — понад 44 000 МВт.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке потужність?
2. За якою формулою визначають потужність?
3. Які є одиниці потужності?
4. Як можна визначити механічну роботу, знаючи потужність двигуна і час, протягом якого він працював?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. Яку роботу виконує трактор, який перетягує причеп із силою 15 000 Н на відстань 300 м?

Дано:

$$F = 15\,000 \text{ Н}$$

$$l = 300 \text{ м}$$

$A = ?$

Розв'язання.

За формулою  $A = Fl$  визначаємо роботу, яку виконує трактор:

$$A = 15\,000 \text{ Н} \cdot 300 \text{ м} = 4\,500\,000 \text{ Дж}.$$

$$A = 4500 \text{ кДж} = 4,5 \text{ МДж}.$$



Відповідь: трактор виконує роботу, яка дорівнює 4500 кДж, або 4,5 МДж.

2. Яку роботу потрібно виконати, щоб підняти мішок цукру масою 50 кг на другий поверх висотою 3 м?

Дано:

$$m = 50 \text{ кг}$$

$$H = 3 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$A = ?$

Розв'язання.

Роботу для піднімання тіла на певну висоту визначаємо за формулою:

$$A = FH. \text{ Якщо сила тяжіння } F = mg,$$

$$\text{тоді } A = mgH.$$

$$A = 50 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 3 \text{ м} = 1500 \text{ Дж.}$$

$$A = 1500 \text{ Дж.}$$

Відповідь: щоб підняти мішок цукру на другий поверх, потрібно виконати роботу, яка дорівнює 1500 Дж.

3. Визначити потужність двигуна, якщо він за 10 хв виконав роботу 7200 кДж.

Дано:

$$A = 7200 \text{ кДж} =$$

$$= 7\,200\,000 \text{ Дж}$$

$$t = 10 \text{ хв} = 600 \text{ с}$$

$N = ?$

Розв'язання.

За формулою  $N = \frac{A}{t}$  визначаємо

потужність двигуна:

$$N = \frac{7\,200\,000 \text{ Дж}}{600 \text{ с}} = 12\,000 \text{ Вт} = 12 \text{ кВт.}$$

Відповідь: потужність двигуна дорівнює 12 кВт.

### Рівень А

267. Які сили виконують роботу у випадках:

а) падіння каменя на Землю;

б) зупинки автомобіля після вимкнення його двигуна;

в) піднімання штанги спортсменом;

г) піднімання повітряної кулі.

268. Піднімаючи який з вантажів, виконує підйомник меншу роботу (мал. 170)? У скільки разів?

269. Ящик пересувають по підлозі на відстань 5 м. Сила тертя дорівнює 100 Н. Яку роботу виконують при цьому?

270. Людина масою 70 кг піднімається вгору на висоту 5 м. Яку роботу вона виконує?

271. Під час піднімання тіла масою 20 кг виконана механічна робота 80 Дж. На яку висоту підняли тіло?

272. Потужність автомобіля і трактора майже однакова, а рухаються вони з різними швидкостями. Чому? Сила тяги більша в тракторі чи в автомобілі?



Мал. 170

273. Літак, побудований у 1882 р. інженером Олександром Можайським, мав два парових двигуни загальною потужністю 22 кВт. Визначте, яку роботу виконували ці двигуни за 0,5 год.

### Рівень Б

274. Електрокар тягне візок із швидкістю  $3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ , долаючи силу опору 400 Н. Яку роботу виконує двигун електрокара за 8 хв?
275. Ліфт, піднімаючи на шостий поверх 6 людей, виконав роботу 84 000 Дж. Маса однієї людини — 70 кг. На якій висоті розташований шостий поверх?
276. Хлопчик, маса якого — 30 кг, за 20 с піднявся сходами на висоту 10 м. Яку потужність розвинув хлопчик?
277. Підйомний кран працював 10 хв. За цей час він виконав роботу 20 МДж. Яку потужність розвинув підйомний кран?
278. Визначте потужність, що її розвиває трактор, якщо він, рухаючись рівномірно зі швидкістю  $3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ , долає силу опору 42 500 Н.
279. На гирю настінного маятникового годинника діє сила тяжіння 8 Н. Яка потужність годинникового механізму, якщо за 24 год гиря опускається на 120 см?
280. Підйомний кран рівномірно піднімає вантаж на висоту 10 м за 20 с. Яку потужність розвиває кран, якщо на вантаж діє сила тяжіння 5000 Н?

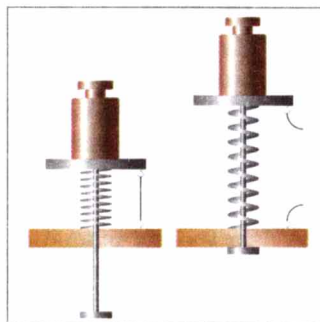
## § 35 КІНЕТИЧНА І ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЇ

Для роботи двигунів, які надають руху автомобілям, тракторам, тепловозам, літакам, потрібне паливо, яке є джерелом енергії. Електродвигуни надають руху верстату завдяки електроенергії. За рахунок енергії води, яка падає з висоти, обертаються гідротурбіни, які з'єднані з електричними машинами, що виробляють електричний струм. Людині для того, щоб існувати і працювати, також потрібне джерело енергії. Говорять, що для того, щоб виконувати будь-яку роботу, необхідна енергія. *Що ж таке енергія?*

◆ **Дослід 1.** Підніmemo над Землею м'яч. Поки він перебуває у стані спокою, механічна робота не виконується. Відпустимо його. Під дією сили тяжіння м'яч падає на Землю з певної висоти. Під час падіння м'яча виконується механічна робота.

◆ **Дослід 2.** Стиснемо пружину, зафіксуємо її ниткою і поставимо на пружину гирю (мал. 171). Перепалимо нитку, пружина розпрямиться і підніме гирю на деяку висоту. Пружина виконала механічну роботу.

◆ **Дослід 3.** На візку закріпимо стержень з блоком на кінці (мал. 172). Через блок перекине-



Мал. 171



мо нитку, один кінець якої намотано на вісь візка, а на другому висить тягарець. Відпустимо тягарець, під дією сили тяжіння він опускатиметься вниз і надасть руху візку. **Тягарець виконав механічну роботу.**

◆ **Дослід 4.** Сталева кулька *A*, яка скотилася з похилої площини (мал. 173), також виконала механічну роботу: вона перемістила циліндр *B* на деяку відстань.

Якщо тіло або кілька тіл під час взаємодії виконують механічну роботу, то кажуть, що вони мають механічну енергію, або енергію.

М'яч, піднятий над Землею, стиснена пружина, рухома сталева кулька мають енергію.

**Енергія — фізична величина, що характеризує здатність тіл виконувати роботу.**

Енергія (від грецького слова *енергія* — діяльність) позначається літерою *E*. Одиницею енергії, а також і роботи в СІ є один джоуль (1 Дж).

З наведених дослідів видно, що тіло виконує роботу тоді, коли переходить з одного стану в інший: піднятий над Землею тягарець опускається, стиснута пружина розпрямляється, рухома кулька зупиняється. Енергія тіла при цьому змінюється (зменшується), а виконана тілом механічна робота дорівнює зміні його механічної енергії.

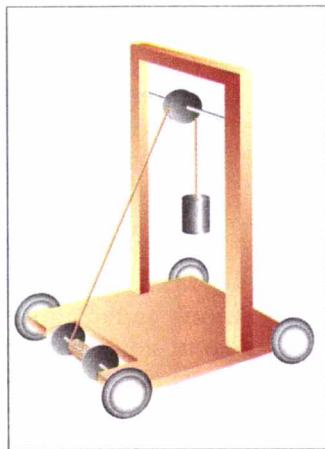
Розрізняють два види механічної енергії — потенціальну і кінетичну.

**Потенціальна енергія** (від латинського слова *потенціал* — можливість) — це енергія, яка визначається взаємним положенням тіл, що взаємодіють, або частин того самого тіла.

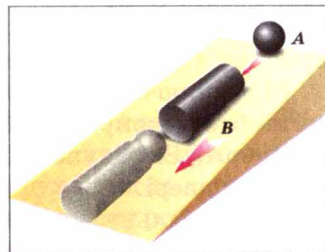
Оскільки будь-яке тіло і Земля притягують одне одного, тобто взаємодіють, то потенціальна енергія тіла, піднятого над Землею, залежатиме від висоти підняття *h*. Чим більша висота підйому тіла, тим більша його потенціальна енергія.

Дослідами встановлено, що потенціальна енергія тіла залежить не тільки від висоти, на яку воно підняте, а й від маси тіла. Якщо тіла піднято на однакову висоту, то тіло, яке має більшу масу, матиме й більшу потенціальну енергію.

Під час падіння піднятого тіла на поверхню Землі сила тяжіння виконала роботу, яка відповідає зміні потенціальної енергії тіла від її значення на висоті *h* до значення на поверхні Землі. Якщо для зручності покласти, що потенціальна енергія тіла на поверхні Землі дорівнює нулю, то потенціальна енергія піднятого тіла дорівнюватиме виконаній під час падіння роботі:



Мал. 172



Мал. 173

$$E_{\text{п}} = A = F_{\text{тяж}} h = mgh .$$

Отже, потенціальну енергію тіла, піднятого на деяку висоту будемо визначати за формулою:

$$E_{\text{п}} = mgh ,$$

де  $E_{\text{п}}$  — потенціальна енергія піднятого тіла;  $m$  — маса тіла;  $g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ ;  $h$  — висота, на яку підняли тіло.

Великий запас потенціальної енергії має вода гірських або рівнинних річок, коли вона піднята греблями. Падаючи з висоти вниз, вода виконує роботу: надає рух турбінам гідроелектростанцій. В Україні на Дніпрі побудовано кілька гідроелектростанцій, в яких використовують енергію води для вироблення електроенергії. На малюнку 174 зображено переріз такої станції. Вода з вищого рівня падає вниз і обертає колесо гідротурбіни. Вал турбіни з'єднано з електричною машиною, яка виробляє електричний струм.

Потенціальну енергію мають літак, який летить високо в небі; дощові краплі у хмарі; молот копра під час забивання паль.

Відчиняючи двері з пружиною, ми розтягуємо її, долаючи силу пружності, тобто виконуємо роботу. Внаслідок цього пружина набуває потенціальної енергії. За рахунок цієї енергії пружина, скорочуючись, виконує роботу — зачиняє двері.

Потенціальну енергію пружин використовують у годинниках, різноманітних заводних іграшках. В автомобілях, вагонах пружини амортизаторів і буферів, деформуючись, зменшують поштовхи.

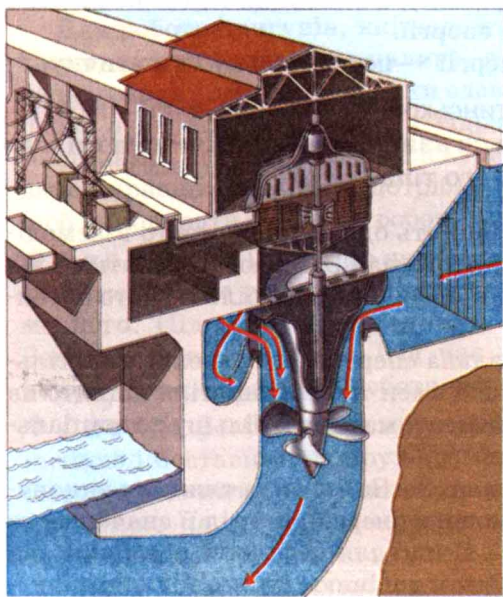
Потенціальна енергія пружини залежить від її **видовження** (зміни довжини під час стискання або розтягування) і **жорсткості** (залежить від кон-

струкції пружини і пружності матеріалу, з якого вона виготовлена). Чим більше видовження (деформація) пружини, та чим більша її жорсткість, тим більшої потенціальної енергії вона набуває під час деформації. Така залежність властива будь-якому пружно деформованому тілу.

Потенціальну енергію пружно деформованого тіла визначають за формулою:

$$E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2} ,$$

де  $E_{\text{п}}$  — потенціальна енергія пружно деформованого тіла (пружини);  $k$  — жорсткість тіла (одиниця жорсткості —  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ );  $x$  — видовження (деформація) тіла (пружини).



Мал. 174





Мал. 175

Але тіла можуть мати енергію не тільки тому, що вони займають певне положення або деформуються, а й тому, що вони знаходяться в русі.

**Кінетична енергія** (від грецького слова *кінетікос* — той, що надає руху) — це енергія, яку має тіло внаслідок власного руху.

Кінетичну енергію має вітер, її використовують для надання руху вітряним двигунам. Рухомі маси повітря чинять тиск на похилі площини крил вітряних двигунів і змушують їх обертатися. Обертальний рух крил за допомогою системи передач передається механізмам, які виконують певну роботу.

Вітряні двигуни відомі з давніх-давен. На малюнку 175, а зображено вітряк, в якому за рахунок енергії вітру мелють зерно. Сучасні досить потужні вітряні двигуни (мал. 175, б) використовують для того, щоб виробляти електроенергію, піднімати зі свердловин воду і подавати її у водонапірні башти. Такі вітродвигуни побудовано у Криму і Закарпатті, тому що там найчастіше дмуть вітри.

Рухома вода або нагріта пара, обертаючи турбіни електростанції, втрачає частину своєї кінетичної енергії і виконує роботу. Літак, який летить високо в небі, крім потенціальної енергії має кінетичну енергію.

Якщо тіло перебуває у стані спокою, тобто його швидкість відносно Землі дорівнює нулю, то і його кінетична енергія відносно Землі дорівнюватиме нулю.

Дослідами встановлено, що чим більші маса тіла і швидкість, з якою воно рухається, тим більша його кінетична енергія. Виявлена залежність математично виражається такою формулою:

$$E_k = \frac{mv^2}{2},$$

де  $E_k$  — кінетична енергія тіла;  $m$  — маса тіла;  $v$  — швидкість руху тіла.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають енергією?
2. Яку енергію називають потенціальною? Кінетичною?
3. Від чого залежить потенціальна енергія піднятого над Землею тіла?
4. Як визначають потенціальну енергію пружно деформованого тіла?
5. Як визначають кінетичну енергію тіла?

## § 36 ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

З розглянутих прикладів випливає, що усі тіла в природі мають або потенціальну, або кінетичну енергію. Але в більшості випадків тіло (наприклад, літак у польоті) має одночасно і потенціальну, і кінетичну енергії.

Суму потенціальної і кінетичної енергій тіла називають **повною механічною енергією**.

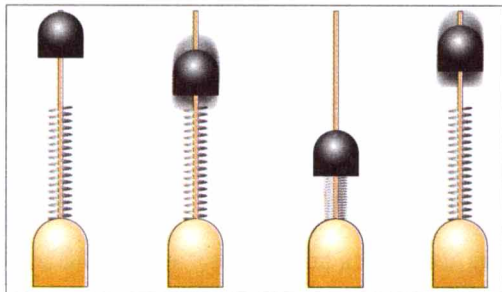
У природі, техніці й побуті можна спостерігати взаємний перехід потенціальної і кінетичної енергій тіл.

◆ **Дослід 1.** Розглянемо прилад з важком і пружиною (мал. 176), з'ясуємо, які зміни енергії цих тіл відбуватимуться під час його дії. Коли ми підніmemo важок масою  $m$  на висоту  $h$  над пружиною, то надамо йому запас повної механічної енергії  $E$  потенціального виду:  $E = E_{п1} = mgh$ . Під час падіння важка його потенціальна енергія зменшується, але зростає швидкість  $v$ , а разом з нею і кінетична енергія  $E_k = \frac{mv^2}{2}$ . На рівні пружини вся потенціальна енергія перетвориться на кінетичну, а за її рахунок пружина стиснеться і набуде потенціальної енергії  $E_{п2} = \frac{kx^2}{2}$ . При цьому кінетична енергія важка зміниться на потенціальну енергію пружно деформованого тіла (пругини). Коли згодом пружина розпрямиться і надасть важку швидкості  $v$ , її потенціальна енергія знову зміниться на кінетичну енергію важка, за рахунок якої він підніметься на висоту  $h$ . Далі процес мав би повторюватися нескінченно, при цьому значення запасу повної механічної енергії важка і пружини було б сталим і в будь-який момент руху дорівнювало сумі всіх видів енергії:

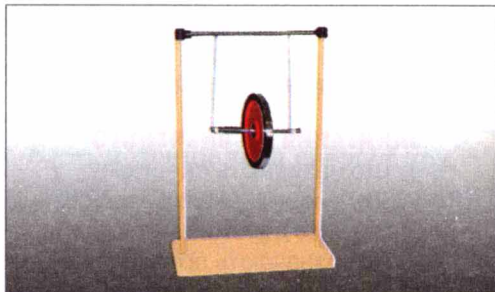
$$E = E_{п1} + E_{п2} + E_k = \text{const}.$$

Насправді рух затухатиме і згодом припиниться, оскільки вихідний запас енергії затратиться на подолання сил тертя і опору повітря.

◆ **Дослід 2.** Зміну потенціальної і кінетичної енергій можна спостерігати також за допомогою приладу, який називається маятником Максвелл (мал. 177).



Мал. 176



Мал. 177



Якщо накрутити на вісь нитку, то диск приладу підніметься на деяку висоту  $h$  і матиме запас повної механічної енергії потенціального виду  $E = E_{\text{п}} = mgh$ . Якщо диск відпустити, то він, обертаючись, почне падати. Під час падіння потенціальна енергія диска зменшується, але водночас зростає його кінетична енергія, тобто відбувається зміна потенціальної та кінетичної енергій. У кінці падіння диск набуває такої кінетичної енергії

$E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ , якої досить для того, щоб він знову піднявся майже до попередньої висоти. Якби не було втрат енергії на виконання роботи проти сил опору, то рух маятника повторювався б нескінченно, а його повна механічна енергія мала б стале значення і в будь-якій точці дорівнювала сумі потенціальної і кінетичної енергій диска:

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}}.$$

На основі численних досліджень руху і взаємодії тіл, подібних до розглянутих нами прикладів, було встановлено дуже важливий закон збереження механічної енергії.

**Якщо ізольовані від зовнішнього впливу тіла взаємодіють між собою силами тяжіння і пружності, то їхня повна механічна енергія залишається незмінною під час руху, тобто завжди справджується співвідношення:**

$$E = E_{\text{п}} + E_{\text{к}} = \text{const}.$$

**При цьому енергія не створюється з нічого і не зникає, а тільки переходить з потенціальної у кінетичну енергію і навпаки.**

На практиці будь-який рух тіл відбувається за наявності більшого чи меншого опору середовища.

Для прикладу розглянемо рух вантажу, що опускається на парашути (мал. 178). До розкриття парашута вантаж рухається вниз, збільшуючи власну швидкість падіння. Потенціальна енергія вантажу зменшується, за рахунок чого зростає кінетична енергія і виконується робота проти сил опору повітря. Після розкриття парашута різко зростає опір повітря і зменшуються швидкість падіння, а разом — і кінетична енергія вантажу.

Зменшення швидкості падіння вантажу відбувається до певного значення, досягнувши якого він починає рухатися вниз зі сталою швидкістю. Кінетична енергія вантажу при цьому також є сталою, потенціальна ж енергія весь час зменшується разом з висотою.



Мал. 178

Повна механічна енергія вантажу в найвищому положенні  $E_1$  дорівнює його потенціальній енергії у цій точці, тобто  $E_1 = E_{\text{п}} = mgh$ ; повна механічна енергія вантажу в момент приземлення  $E_2$  дорівнює його кінетичній енергії у цей момент, тобто  $E_2 = E_{\text{к}} = \frac{mv^2}{2}$ . Робота проти сил опору повітря під час падіння вантажу була виконана за рахунок зменшення його повної механічної енергії і визначається формулою:

$$A = E_1 - E_2.$$

Отже, завжди при наявності опору середовища механічна робота рухомого тіла виконується за рахунок зменшення його повної механічної енергії.

Так само відбувається, коли під час руху діють сили тертя між твердими тілами. Наприклад, під час підходу поїзда до станції двигун тепловоза не працює, робота проти сил тертя виконується за рахунок зменшення кінетичної енергії поїзда, швидкість якого при цьому зменшується.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Наведіть приклади, коли тіла мають потенціальну і кінетичну енергії.
2. У чому полягає закон збереження механічної енергії?
3. У яких випадках закон збереження механічної енергії не виконується?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### ➤ Розв'язуємо разом

1. Яке з наведених на малюнку 179 тіл має найбільшу потенціальну енергію? Найменшу? Обчисліть їх, якщо всі тіла підняті на висоту 2 м.

Відповідь: усі тіла перебувають на однаковій висоті, тому найбільшу потенціальну енергію має тіло 2, маса якого 5 кг, а найменшу — тіло 4, маса якого 2 кг.

Щоб обчислити значення цих енергій, скористаємося формулою:

$$E_{\text{п}} = mgh.$$

$$E_{\text{п}2} = 5 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ м} = 98,10 \text{ Дж},$$

$$E_{\text{п}4} = 2 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 2 \text{ м} = 39,24 \text{ Дж}.$$

2. Тіло масою 10 кг підняли на висоту 10 м і відпустили. Яку кінетичну енергію воно матиме на висоті 5 м? Опором повітря знехтувати.

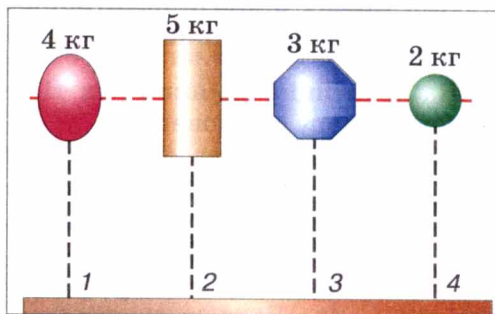
Дано:

$m = 10 \text{ кг}$

$h = 10 \text{ м}$

Розв'язання.

Тіло певної маси, підняте на деяку висоту, має потенціальну енергію  $E_{\text{п}} = mgh$ .



Мал. 179



$$h_1 = 5 \text{ м}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$E_{\text{к1}} = ?$$

Якщо тіло падає, то воно на певній висоті  $h_1$  матиме потенціальну енергію  $E_{\text{п1}} = mgh_1$  і кінетичну енергію  $E_{\text{к1}}$ .

Використовуючи закон збереження енергії, запишемо:  
 $E_{\text{п}} = E_{\text{п1}} + E_{\text{к1}}$ .

$$\text{Тоді } E_{\text{к1}} = E_{\text{п}} - E_{\text{п1}} = mgh - mgh_1 = mg(h - h_1).$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$E_{\text{к1}} = 10 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot (10 \text{ м} - 5 \text{ м}) = 490,5 \text{ Дж}.$$

Відповідь:  $E_{\text{к1}} = 490,5 \text{ Дж}$ .

### Рівень А

281. Доповніть речення:

Під час падіння м'яча вертикально вниз збільшується його ... енергія і ... потенціальна енергія.

Енергія — ... величина, яка характеризує здатність тіла виконувати ..., одиницею енергії є ...

282. Замість крапок впишіть назви фізичних величин або їх одиниць:

швидкість руху тіла — ...;

... — 1 Н;

... — 1 Дж;

енергія — ...

283. Визначте, які види механічної енергії (кінетичну, потенціальну, кінетичну і потенціальну) мають тіла (або не мають механічної енергії):

а) їде поїзд;

б) летить літак;

в) стиснута пружина;

г) підвішена до стелі люстра;

д) м'яч лежить на футбольному полі (м'яч вважати матеріальною точкою).

284. За рахунок чого ми забиваємо цвях у дерево молотком?

285. Тіла масою 5 кг і 3 кг рухаються з однаковими швидкостями. Яке із них має більшу кінетичну енергію?

286. Поясніть, які зміни енергії відбуваються у таких випадках:

а) під час падіння води у водоспаді (мал. 180);

б) під час підкидання м'яча вертикально вгору;

в) під час закручування пружини рухомого візка (мал. 181);

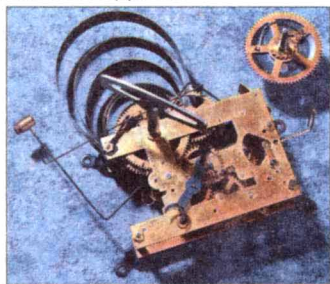
г) на прикладі пружини дверей.

287. Поясніть, навіщо вагони поїзда обладнано буферами.

288. З якою метою крихкі речі перед перевезенням пакують у солому чи вату?



Мал. 180

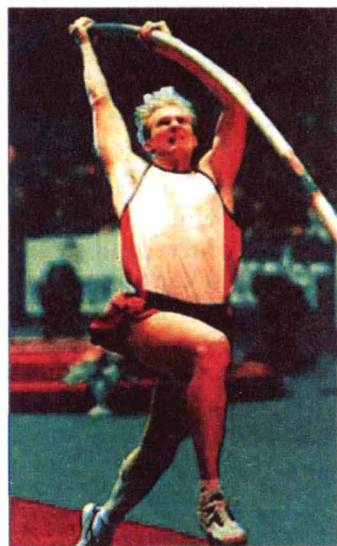


Мал. 181

289. Яку потенціальну енергію має тіло масою 3 кг, підняте на висоту 10 м?
290. Визначити масу тіла, піднятого на висоту 5 м, якщо його потенціальна енергія дорівнює 981 Дж.
291. Яку потенціальну енергію має пружина, якщо її стиснули на 8 см? Жорсткість пружини  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .
292. Велосипедист масою 70 кг рухається зі швидкістю  $36 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Яка кінетична енергія велосипедиста?

### Рівень Б

293. Чи можуть два тіла різної маси мати однакову кінетичну енергію? За якої умови?
294. У якого автомобіля мають бути «потужніші» гальма: легкового чи вантажного? Чому?
295. Чому гумовий м'яч підскакує, якщо кинути його на підлогу? Які зміни енергії відбуваються при цьому?
296. Запас якої енергії має пружина заведеного ручного механічного годинника? Що означає «завести пружину годинника»?
297. Чому дрова рубають не малою, а масивною сокирою? За рахунок якої енергії руйнується деревина?
298. Чому на дорогах легковим автомобілям дозволено їхати з більшою швидкістю, ніж вантажним?
299. Український спортсмен Сергій Бубка, виконуючи стрибки із жердиною (мал. 182), подолав висоту 6 м 20 см. За рахунок якої енергії він піднявся на таку висоту? Які зміни енергії відбувалися під час стрибка?
300. Для акробатичних стрибків, стрибків у воду, стрибків під час виконання деяких гімнастичних вправ застосовують трамплін, який є пружною дошкою, закріпленою з одного кінця. Поясніть принцип дії трампліна і згадайте, які зміни енергії відбуваються при цьому.
301. За рахунок якої енергії санки спускаються зі снігової гори? Які зміни енергії відбуваються при цьому? Які види енергії мають санки на середині спуску?
302. Вітер, що дме з великою силою на відкритому місці, значно послаблюється, якщо на його шляху є ліс, і всередині лісу зовсім стихає. На що витрачається при цьому кінетична енергія, яку має рухоме повітря? Як використовують це явище для боротьби із суховіями в степових районах?
303. Яка річка — гірська чи рівнинна — має більші енергетичні ресурси? З яким застережен-



Мал. 182



ням потрібно дати відповідь на це запитання?

304. Перегороджуючи річку греблею (мал. 183) під час спорудження гідроелектростанції, розв'язують три проблеми. Які? Поясніть. Яка роль греблі?
305. Тіло масою 20 кг впало з даху будинку висотою 25 м. Визначте потенціальну і кінетичну енергії тіла на висоті 10 м.
306. Які види енергії має вантаж



Мал. 183

масою 2 т у кузові автомобіля, що мчить по дорозі зі швидкістю  $72 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ? Висота кузова — 1,2 м. Визначте їх.

## § 37

## МАШИНИ І МЕХАНІЗМИ

Знаряддя, яке тримає людина під час виконання роботи, повторює ті рухи, які виконує рука. Наприклад, розбиваючи шкаралупу горіха, молоток так само піднімається і опускається, як і кулак. Такі рухи не завжди мають достатню точність і швидкість. Удари молотком, клинком або вістрям не завжди потрапляють на одне й те саме місце оброблюваного тіла. У процесі шиття легкою голкою з ниткою доводиться піднімати в багато разів важчу руку, виконуючи при цьому зайву роботу.

Потреба зменшити роботу на некорисні рухи, збільшити швидкість і точність дії знаряддя праці зумовила необхідність утримувати це знаряддя не просто рукою, а закріплювати його у спеціальних пристроях, які виконували б цілком точні й швидкі рухи. Так, очевидно, виникла потреба людини в **машинах і механізмах**. Наприклад, швачка за одну хвилину виконує близько 50 стібків, а сконструйована для цієї самої операції швейна машина з механічним приводом робить 1500 однакових стібків за одну хвилину.

У перекладі зі старогрецької слово «механізм» означає знаряддя, пристрій. В епоху розквіту грецького театру (500 р. до н. е.) за допомогою спеціальних пристроїв піднімали й опускали на сцені акторів, які зображали богів. Ці пристрої називали «механе», звідси, мабуть, і походить термін «механізм» та ін.

Коли людині під час виконання роботи потрібно перемістити якесь тіло відносно інших тіл або змінити напрям його руху, вона використовує спеціальні пристрої, які називаються механізмами.

Як свідчить історія, людина почала використовувати один з перших механізмів — лук — ще за 12 тис. років до нової ери. Багато механізмів використовуються в сучасній техніці і побуті, зокрема колесо, шестерні, петлі, клин тощо.

**Механізм** — це пристрій, що передає рух або перетворює один вид руху в інший.



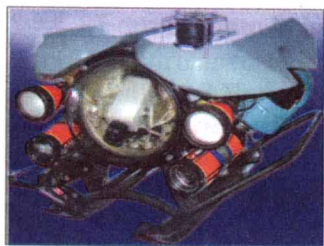
Мал. 184



Мал. 185



Мал. 186



Мал. 187



Мал. 188

Слово «машина» почали широко вживати лише з XVIII ст. Ними почали називати пристрої, які було винайдено інженерами для виконання основних виробничих операцій (роботи). Людина лише керувала такими пристроями-машинами. Якщо, наприклад, людина копає землю лопатою (засобом праці), екскаватор (машина) (мал. 184) виконує цю саму дію своїм ковшем. Метал вантажить електромагнітний кран (мал. 185), кранівник тільки керує цим процесом.

Машинами є також велосипед (мал. 186), який людина використовує для пересування, батискаф — підводний апарат (мал. 187) для дослідження морських глибин, космічний корабель (мал. 188), без якого було б неможливе освоєння космічного простору.

Щоб виконати роботу, в кожній машині є відповідний **робочий орган**: в екскаватора — ківш, підйомного крана — електромагніт, велосипеда — ведуче колесо.

Робочому органу машини треба надавати руху, затрачаючи енергію: у велосипеда — м'язових зусиль ніг людини, в екскаватора і космічного корабля — енергію згоряння палива, в електромагнітного крана — електричну енергію. Отже, в кожній машині має бути пристрій, в якому той чи інший вид енергії перетворюється в механічний рух. Такий пристрій називають **двигуном**.

Механічний рух від двигуна до робочого органу машини передається різними механізмами (наприклад, шестернями, ланцюгами), які називають **передавальними**.

Отже, в кожній машині є три основні частини — **робочий орган, передавальний механізм і двигун**. Наявність цих трьох частин відрізняє машину від будь-якого іншого технічного пристрою.



▶ **Машина** — це механізм або поєднання механізмів для перетворення енергії з одного виду в інший.

Нині все ширше і ширше використовуються не окремі машини, а системи машин автоматичної дії.

### ❓ ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають механізмом? Машиною?
2. Укажіть, що із перелічених назв є машиною, а що — механізмом: колесо, автомобіль, лук, екскаватор, клин, літак, петля, ракета.
3. Назвіть механізми, які використовуються в автомобілі.

## § 38 ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ

Тисячоліття тому назад люди виконували всі роботи за допомогою сили своїх м'язів. З часом вони винайшли різні механізми, щоб полегшити свою працю. Люди переконалися в тому, що набагато легше пересувати вантажі, перекочуючи їх на котках. На основі цього вони винайшли колесо (мал. 189).

Уявіть, що вам потрібно підняти, наприклад, ящик, який наповнений інструментами і важить набагато більше, ніж ви (мал. 190). Як це зробити?

Мабуть, треба знайти міцну жердину або металеву рейку, нижнім кінцем спертися в ґрунт під ящиком і підняти його, скориставшись механізмом, який називається **важелем**.

▶ **Важіль** — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої опори.

Блоки допомагають піднімати та опускати вантажі.

▶ **Блок** — це колесо з жолобом, закріплене в обоймі (мал. 191).

Через жолоб блока пропускають мотузку, трос або ланцюг.

♦ **Дослід 1.** До нитки прикріпимо вантаж. Нитку перекинемо через блок. Вільний кінець нитки прикріпимо до динамометра. Під час піднімання та опускання вантажу вісь блока не рухається. Динамометр показує значення сили, з якою ми піднімаємо вантаж (мал. 192).



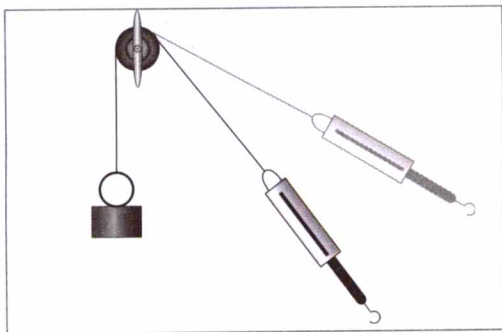
Мал. 189



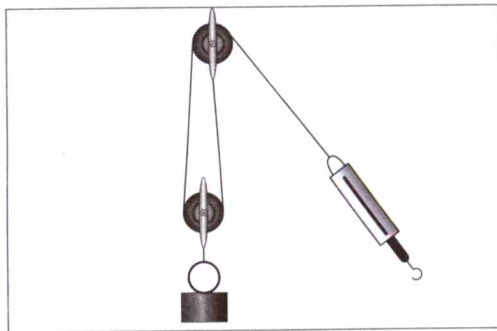
Мал. 190



Мал. 191



Мал. 192



Мал. 193

**Нерухомий блок** — це блок, вісь якого під час піднімання або опускання вантажів нерухома.

Змінюючи положення динамометра, звертаємо увагу на те, що показання динамометра залишаються сталими. Підвісимо вантаж до гачка динамометра. Показання динамометра будуть ті самі.

♦ **Дослід 2.** Один кінець нитки закріпимо, наприклад, до штатива, а другий — до динамометра (мал. 193). На нитці підвісуємо блок з вантажем. Піднімаючи або опускаючи вантаж, ми бачимо, що разом з ним рухається і блок. Отже, цей блок рухомий. Окрім цього, показання динамометра удвічі менші, ніж вага вантажу.

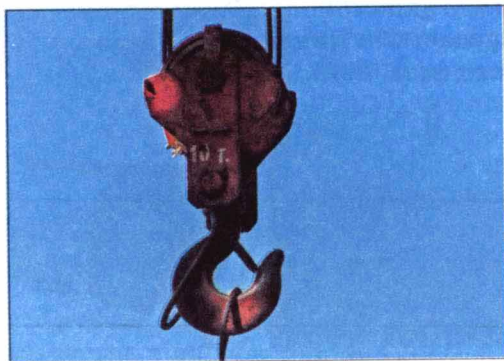
▶ **Рухомий блок** — це блок, вісь якого піднімається або опускається разом з вантажем. Рухомий блок дає вигравш у силі в два рази.

Рухомий блок ви завжди можете побачити в будь-якому підйомному крані. Він з'єднаний з гаком крана (мал. 194).

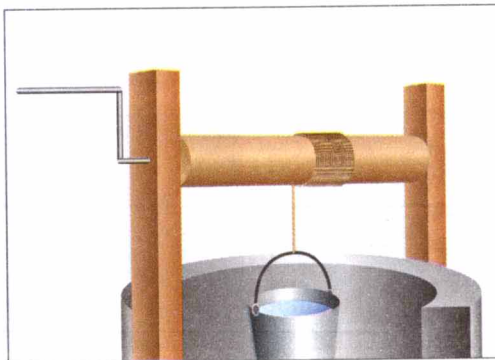
**Коловорот** — це різновид важеля. Він призначений для одержання вигравшу в силі.

Коловорот можна побачити в будь-якому селі біля криниці (мал. 195). За допомогою коловорота навіть дитина може витягти з криниці відро води.

У багатьох випадках замість того, щоб піднімати вантаж на деяку висоту, його вкочують або пересувають та ту саму висоту за допомогою **похилої площини**.

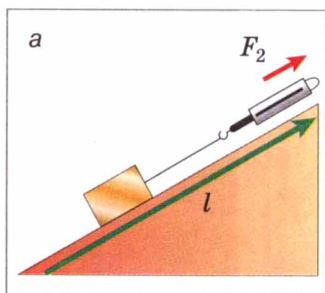


Мал. 194

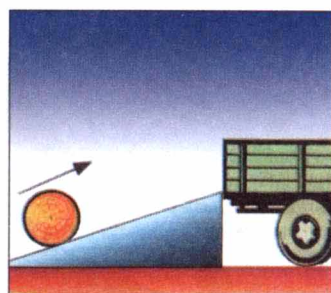
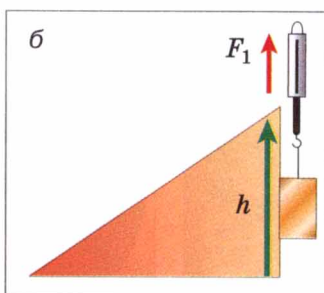


Мал. 195





Мал. 196



Мал. 197

Піднімаючи вантаж уздовж похилої площини, дістаємо вигравш у силі в стільки разів, у скільки разів довжина схилу площини більша за її висоту (мал. 196, а, б).

Похила площина (мал. 197) полегшує підйом вантажів. Хоча йти по ній доводиться довше, але зусиль треба затратити набагато менше, ніж піднімати вантаж вертикально вгору.

Гвинтова драбина (мал. 198) є також похилою площиною, що обвиває вісь, подібно до різьби гвинта. По гвинтовій драбині підніматися легше, ніж по вертикальній, але доводиться долати більшу відстань.

**Гвинт** (мал. 199), як і гвинтова драбина, — також похила площина. Гвинти використовуються для скріплення деталей.

**Клин** — різновид похилої площини.

Клин становить основну частину колючих, різальних, стругальних інструментів: голки, ножа, ножиць, сокири, стамески, рубанка, лемеша плуга.

**Шестерні** (мал. 200) — це зубчасті колеса. Їх використовують для регулювання швидкості обертання. Одна шестерня може обертати сусідню з більшою або меншою швидкістю. Наприклад, шестерня, яка має 5 зубів, обертається вдвічі швидше, ніж шестерня з 10 зубами. В цьому можна переконатися, спостерігаючи за роботою механічного міксера.

Згадані пристрої змінюють силу і використовуються для виконання механічної роботи.

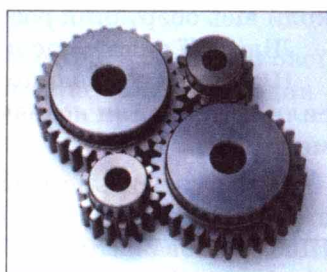
**Пристрої, призначені для змінення сили, називають простими механізмами.**



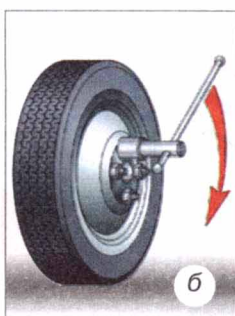
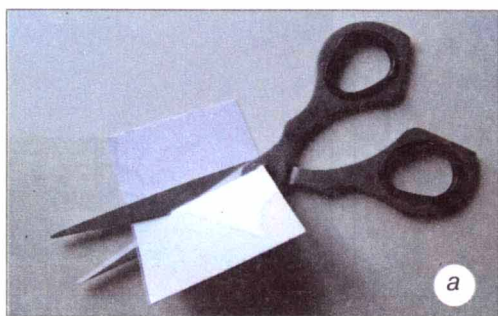
Мал. 198



Мал. 199



Мал. 200



Мал. 201

Без простих механізмів ми не можемо обійтися жодного дня (мал. 201, а, б, в).



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Назвіть прості механізми, які людина використовує у своїй діяльності.
2. Що таке важіль?
3. Чим відрізняється рухомий блок від нерухомого?
4. Для чого використовують похилу площину?
5. Назвіть різновиди похилої площини.
6. Який вигравш у силі дає рухомий блок? Похила площина?

## § 39

### УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ. МОМЕНТ СИЛИ

Як уже зазначалося, важіль — тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої опори. Його застосовують для зміни напрямку і значення сили, наприклад, для зрівноваження великої сили малою. Важіль має такі характеристики (мал. 202).

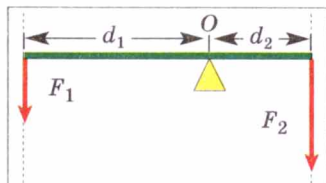
**Точка прикладання сили** — це точка, в якій на важіль діє інше тіло.

**Вісь обертання** — пряма, що проходить через нерухому точку опори важеля  $O$ , і навколо якої він може вільно обертатися. Розглянемо випадок, коли вісь обертання розташована між точками прикладання сил  $F_1$  і  $F_2$ .

**Лінія дії сили** — це пряма, уздовж якої напрямлена сила.

**Плече сили** — найкоротша відстань від осі обертання тіла  $O$  до лінії дії сили. Плече сили позначається літерою  $d$ . Одиницею плеча сили в СІ є один метр (1 м).

◆ **Дослід.** Візьмемо важіль, подібний до зображеного на мал. 203. На відстані 10 см від осі обертання підвісимо до нього 6 важків, кожен масою 100 г. Щоб зрівноважити важіль двома такими самими важками, нам доведеться їх підвісити з іншого боку важеля, але на відстані 30 см.

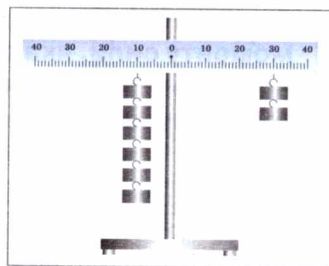


Мал. 202



Отже, для того щоб важіль перебував у рівновазі, потрібно до довшого плеча прикласти силу в стільки разів меншу, у скільки разів його довжина більша за довжину коротшого плеча. Таке **правило важеля** описують формулою обернено пропорційної залежності:

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1},$$



Мал. 203

де  $F_1$  і  $F_2$  — сили, які діють на важіль;  $d_1$  і  $d_2$  — плечі відповідних сил. Тому правило (умову) рівноваги важеля можна сформулювати так.

**Важіль перебуває в рівновазі тоді, коли значення сил, які діють на нього, обернено пропорційні плечам цих сил.**

З того часу як Архімед установив правило важеля, воно проіснувало в первозданному вигляді майже 1900 років. І лише в 1687 р. французький вчений П. Варіньйон надав йому більш загальної форми, скориставшись поняттям моменту сили.

**Момент сили  $M$  — це фізична величина, значення якої визначається добутком модуля сили  $F$ , що обертає тіло, та її плеча  $d$ :**

$$M = Fd.$$

Одиницею моменту сили в СІ є **один ньютон-метр ( $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ )**, який дорівнює моменту сили  $1 \text{ Н}$ , прикладеної до плеча  $1 \text{ м}$ .

Доведемо, що важіль перебуває в рівновазі під дією двох сил, якщо значення моменту  $M_1$  сили, яка обертає важіль проти руху годинника, дорівнює значенню моменту  $M_2$  сили, яка обертає його за рухом стрілки годинника, тобто:

$$M_1 = M_2.$$

Із правила важеля  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1}$  на основі властивості пропорції впливає рівність:

$$F_1 d_1 = F_2 d_2.$$

Але  $F_1 d_1 = M_1$  — момент сили, яка повертає важіль проти годинникової стрілки (мал. 202),  $F_2 d_2 = M_2$  — момент сили, яка повертає важіль за годинниковою стрілкою. Таким чином:

$$M_1 = M_2,$$

що і потрібно було довести. Отже, правило (умову) рівноваги важеля можна ще сформулювати так.

**Важіль перебуває в рівновазі під дією двох сил, якщо значення моменту сили, яка обертає важіль проти руху годинникової стрілки, дорівнює значенню моменту сили, яка обертає його за рухом годинникової стрілки.**

Момент сили — важлива фізична величина, вона характеризує дію сили, показує, що вона залежить і від модуля сили, і від її плеча. Наприклад, ми знаємо, що дія сили на двері залежить і від модуля сили, і від того, де прикладена сила: двері тим легше повернути, чим далі від осі обертання прикладена сила, яка на них діє; гайку легше викрутити довгим гайковим ключем, ніж коротким; відро тим легше витягти з колодязя, чим довша ручка коловороту.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Назвіть основні характеристики важеля.
2. Що таке плече сили?
3. Що таке момент сили?
4. Від чого залежить момент сили?
5. Сформулюйте правило (умову) рівноваги важеля.

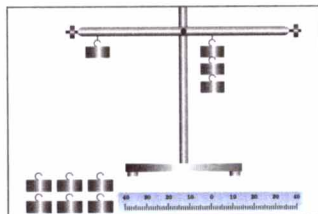
## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

### З'ЯСУВАННЯ УМОВ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

- **Мета роботи:** на дослідах перевірити, при якому співвідношенні сил і їх плечей важіль перебуває в рівновазі. Перевірити правило моментів.
- **Прилади і матеріали:** важіль на штативі, набір важків, динамометр, лінійка з міліметровими поділками.

#### Хід роботи

1. Зрівноважте важіль, обертаючи гайки на його кінцях так, щоб він розмістився горизонтально (мал. 204)
2. Підвісьте два важки на лівій частині важеля на відстані 10 см від осі обертання. Дослідом установіть, на якій відстані справа від осі обертання треба підвісити 1) один важок; 2) два важки; 3) три важки; 4) чотири важки.
3. Вважаючи, що кожний тягарець важить 1 Н, запишіть дані і результати вимірювань у таблицю:
4. Обчисліть відношення сил і відношення плечей для кожного з дослідів. Зробіть висновки.



Мал. 204



| № досліду | $F_1$ , Н | $d_1$ , м | $F_2$ , Н | $d_2$ , м | $\frac{F_1}{F_2}$ | $\frac{d_2}{d_1}$ |
|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-------------------|-------------------|
| 1         |           |           |           |           |                   |                   |
| 2         |           |           |           |           |                   |                   |
| 3         |           |           |           |           |                   |                   |
| 4         |           |           |           |           |                   |                   |

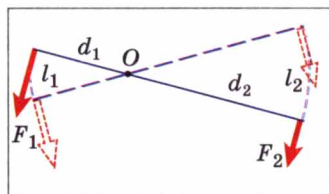
5. Перевірте правило моментів сил. Зробіть висновки.
6. Підвісьте три важки справа від осі обертання важеля на відстані 6 см. За допомогою динамометра визначте силу, яку треба прикласти на відстані 15 см від осі обертання справа від важків, щоб важіль був у рівновазі. Як напрямлені в цьому випадку сили, що діють на важіль? Виконайте малюнок. Обчисліть відношення значень сил і плечей для цього випадку і зробіть висновки.

## § 40 «ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО» МЕХАНІКИ

Розглянуті нами прості механізми застосовують під час виконання роботи в тих випадках, коли треба меншою силою зрівноважити більшу.

Тоді перед нами постає питання: *Прості механізми дають вигравш у силі, а чи дають вони вигравш у роботі?*

Зрівноважимо важіль, приклавши до нього дві різні за значенням сили  $F_1$  і  $F_2$ . Надамо важілю руху. При цьому виявиться, що за той самий час точка прикладання меншої сили  $F_2$  проходить більший шлях  $l_2$ , а точка прикладання більшої сили  $F_1$  — менший шлях  $l_1$ . Вимірявши ці шляхи  $l_2$  і  $l_1$  і порівнявши їх з плечами сил  $d_2$  і  $d_1$ , переконуємося, що відношення шляхів дорівнює відношенню відповідних плечей (мал. 205), тобто:  $\frac{d_2}{d_1} = \frac{l_2}{l_1}$ . Бачимо, що тепер у правилі важеля можна замінити відношення плечей сил на відношення шляхів



Мал. 205

точок прикладання сил, тоді одержимо:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ . Із властивості пропорції випливає:

$$F_1 l_1 = F_2 l_2.$$

За означенням механічної роботи:  $F_1 l_1 = A_1$ , а  $F_2 l_2 = A_2$ , тобто  $A_1 = A_2$ , звідси робимо такий висновок.

**Важіль виграшу в роботі не дає.**

Це стосується й інших простих механізмів.

**Жодний з простих механізмів не дає виграшу в роботі: у скільки разів виграємо в силі, в стільки саме разів програємо у відстані.**

Це правило назвали «золотим правилом» механіки.



#### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Чи дають прості механізми виграш у силі? У роботі?
2. У чому полягає «золоте правило» механіки?

### § 41

## КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ (ККД) МЕХАНІЗМІВ

Під час дії машин і механізмів завжди крім необхідної роботи доводиться виконувати додаткову роботу на подолання тертя в рухомих частинах, а також на переміщення цих частин. Наприклад, застосовуючи рухомий блок, доводиться додатково виконувати роботу, щоб підняти сам блок, віршовку й подолати силу тертя в осі блока. Тому повна робота, яка виконується прикладеною силою, завжди більша за корисну роботу.

Який би механізм ми не взяли, корисна робота, виконана за його допомогою, завжди становить лише частину повної роботи.

**Відношення корисної роботи до повної (затраченої) роботи називається коефіцієнтом корисної дії (ККД) механізму.**

Визначимо, наприклад, ККД похилої площини, застосувавши «золоте правило» механіки (мал. 194).

Робота, яка виконується під час піднімання тіла вгору по вертикалі, визначається добутком сили тяжіння  $F_1$ , яка діє на тіло, і висоти похилої площини  $h$ :  $A_1 = F_1 h$ .

На таку саму висоту  $h$  можна підняти тіло, рівномірно переміщуючи його вздовж похилої площини довжиною  $l$ , прикладаючи до тіла силу  $F_2$ . Виконана при цьому робота визначається за формулою:  $A_2 = F_2 l$ .

Згідно із «золотим правилом» механіки, якщо немає тертя, обидві згадані вище роботи дорівнюють одна одній:  $A_1 = A_2$  або  $F_1 h = F_2 l$ .

При наявності тертя робота  $A_2$  завжди більша за роботу  $A_1$ :  $A_2 > A_1$ .

$A_2$  дорівнює повній роботі,  $A_1$  — корисній роботі. ККД позначають грецькою літерою  $\eta$  (ета) і виражають у відсотках (%). Відношення корисної роботи до повної роботи, визначає ККД похилої площини:

$$\eta = \frac{A_1}{A_2} 100\%$$



Так само розраховують ККД будь-якої машини і механізму.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке коефіцієнт корисної дії механізму?
2. Як визначають коефіцієнт корисної дії механізму?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10

### ВИЗНАЧЕННЯ ККД ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ

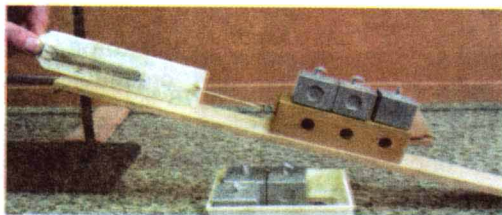
- **Мета роботи:** переконатися на дослідах у тому, що корисна робота, виконана за допомогою похилої площини, менша від повної і визначити коефіцієнт корисної дії похилої площини.
- **Прилади і матеріали:** дошка, штатив з муфтою і лапкою, дерев'яний брусок, міра кравецька (рулетка) або лінійка з міліметровими поділками.

#### Хід роботи

1. Установіть дошку похило, як показано на малюнку 206.
2. Виміряйте висоту  $h$  і довжину  $l$  похилої площини. Результати вимірювань занесіть у таблицю.

| № досліду | $h$ , м | $F_1$ , Н | $A_1 = F_1 h$ , Дж | $l$ , м | $F_2$ , Н | $A_2 = F_2 l$ , Дж | $\eta = \frac{A_1}{A_2} 100 \%$ |
|-----------|---------|-----------|--------------------|---------|-----------|--------------------|---------------------------------|
| 1         |         |           |                    |         |           |                    |                                 |
| 2         |         |           |                    |         |           |                    |                                 |
| 3         |         |           |                    |         |           |                    |                                 |

3. Динамометром виміряйте силу тяжіння  $F_1$ , яка діє на брусок.
4. За формулою  $A_1 = F_1 h$  обчисліть корисну роботу.
5. Зачепивши брусок динамометром, рівномірно пересувайте брусок угору похилою площиною. Виміряйте силу тяги  $F_2$ .
6. Обчисліть роботу, яку треба виконати, щоб підняти брусок на висоту  $h$  похилою площиною довжиною  $l$ , використавши формулу  $A_2 = F_2 l$ .
7. За формулою  $\eta = \frac{A_1}{A_2} 100 \%$  обчисліть ККД похилої площини. Результати занесіть у таблицю.
8. Скориставшись «золотим правилом» механіки, визначте, який виграш у силі дає похила площина, якщо не враховувати тертя.
9. Змініть висоту похилої площини і для неї визначте корисну і повну роботу, а також ККД похилої площини.



Мал. 206

## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## ➤ Розв'язуємо разом

1. Розгляньте ножиці для різання листового металу і гострогубці для перерізання проводів (мал. 207). Чому в них ручки набагато довші, ніж леза?

Відповідь: ручки і леза інструментів діють як плечі важеля. Помірні зусилля руки, прикладені до довгих ручок, забезпечують на коротких лезах потрібні для різання металу сили.

2. Що покаже динамометр, якщо важіль перебуває у рівновазі (мал. 208)? Маса гирі дорівнює 3 кг. Масою важеля нехтуємо.

Відповідь: гиря масою 3 кг підвішена на відстані 5 поділок від осі обертання. Динамометр закріплений на відстані 15 поділок від осі обертання. Відповідно до правила моментів сил:  $M_1 = M_2$ , або  $F_1 d_1 = F_2 d_2$ . Оскільки динамометр діє на плече, втричі довше від плеча з підвішеною гирею, то він покаже значення сили 10 Н, що втричі менше за вагу гирі 30 Н.

3. На коротке плече важеля підвісили вантаж масою 100 кг. Щоб підняти його, до довшого плеча приклали силу 250 Н. Вантаж підняли на висоту 8 см, при цьому точка прикладання діючої сили опустилася на 40 см. Визначте ККД важеля.

Дано:

$$m = 100 \text{ кг}$$

$$g = 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F = 250 \text{ Н};$$

$$h_1 = 8 \text{ см} = 0,08 \text{ м}$$

$$h_2 = 40 \text{ см} = 0,4 \text{ м}$$

$\eta$  — ?

Розв'язання.

Для визначення ККД важеля використаємо

$$\text{формулу: } \eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{з}}} 100 \text{ \%}.$$

$$\text{Корисна робота: } A_{\text{к}} = mgh_1.$$

$$\text{Затрачена робота: } A_{\text{з}} = Fh_2.$$

$$\text{Тоді } \eta = \frac{mgh_1}{Fh_2} 100 \text{ \%}.$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$\eta = \frac{100 \text{ кг} \cdot 9,81 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,08 \text{ м}}{250 \text{ Н} \cdot 0,4 \text{ м}} \cdot 100 \text{ \%} = 78 \text{ \%}.$$

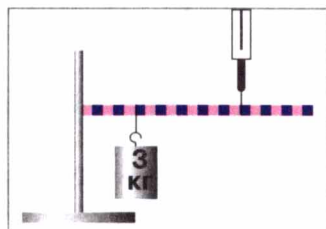
Відповідь:  $\eta = 78 \text{ \%}$ .

У цьому випадку також виконується «золоте правило». Частина корисної роботи (78 %) витрачається на подолання тертя на осі важеля, а також на переміщення самого важеля.

ККД будь-якого механізму завжди менший від 100 %. Створюючи механізми, конструктори прагнуть збільшити їхній ККД. Для цього вони зменшують тертя в осях механізмів і їх масу.



Мал. 207



Мал. 208



**Рівень А**

307. Виберіть з наведених прикладів тіла, які виконують роботу: а) штангіст тримає над головою штангу; б) домогосподарка тримає в руках сумку; в) дівчинка їде на санках з гори; г) учень сидить за столом і розв'язує задачу; д) робітник складає деталі в ящик; е) трактор оре землю.
308. Хлопчик підняв вантаж на висоту 50 см, приклавши силу 60 Н. Яку роботу він виконав?
309. Ящик під дією сили 40 Н перемістили на відстань 120 см. Визначте виконану при цьому роботу.
310. Вода, вага якої 45 кН, подається за допомогою насоса на висоту 5 м за 5 хв. Яка потужність насоса?
311. Екскаватор піднімає ківш на висоту 2,5 м за 10 с. Маса ковша разом з вантажем 2000 кг. Визначте потужність двигуна, що розвивається під час піднімання навантаженого ковша.
312. На скільки збільшиться потенціальна енергія тіла масою 1 кг, якщо його підняли на висоту 15 м?
313. Який вид енергії використовується під час гальмування електропоїздів за допомогою стиснутого повітря? Як вона нагромаджується?
314. Потенціальна енергія залежить від маси тіла і висоти, на яку його піднято. Придумайте досліди, якими це можна продемонструвати.
315. Кінетична енергія залежить від маси тіла і швидкості їх руху. Придумайте досліди, якими це можна продемонструвати.
316. Чому сірник легко розламати посередині і важче відламати маленький шматок від нього?
317. Чому, розрізаючи товстий папір або картон, розміщуємо їх ближче до осі ножиць (див. мал. 201, а)?
318. Підмітаючи підлогу, щітку тримають двома руками. Яка рука більше працює?
319. Олівець або ручка є важелем. Де розміщується точка опори під час писання?
320. Поясніть дію весла як важеля (мал.209).
321. З якою метою всі підйомні крани обладнують противагами?
322. Чому легше відкручувати (закручувати) гайки ключем (див. мал. 201, б)?
323. Як знайти середину бруска, не вимірюючи його довжини?
324. Якщо, користуючись нерухомим блоком, ми не маємо виграшу в силі, то з якою метою його застосовують?
325. Яку силу треба прикласти, щоб за допомогою нерухомого блока підняти вантаж вагою 400 Н?
326. Яку силу треба прикласти, щоб за допомогою рухомого блока підняти вантаж вагою 720 Н?
327. Чому легше котити бочку на машину похилою дошкою, а не підіймати її?
328. Чому дорога в горах має багато поворотів?



Мал. 209

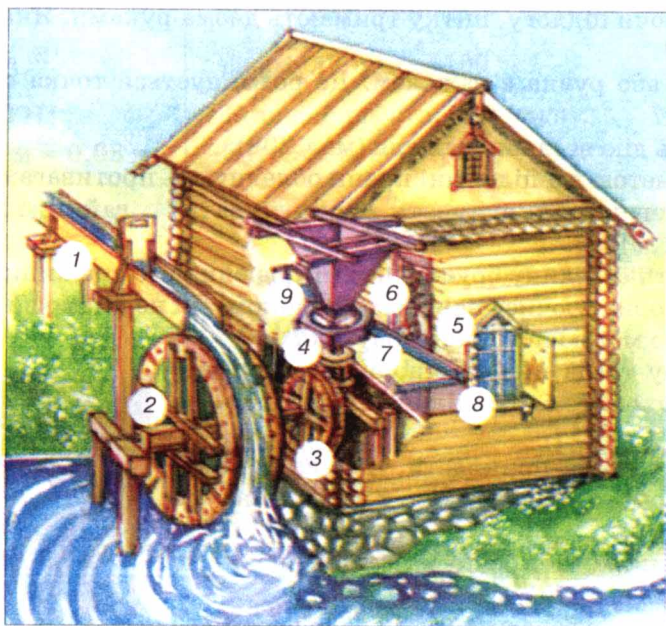
329. Роздивіться гвинт для металу (саморіз) і гвинт для дерева (шуруп). Чим зумовлена різниця між ними?



Мал. 210

### Рівень Б

330. Чи правильне твердження: «Виконуючи роботу, тіло (або система тіл) переходить з одного стану енергії в інший»?
331. В якому випадку виконується більша робота: при переміщенні тіла на відстань 8 м під дією сили 25 Н, чи при переміщенні тіла на відстань 20 м під дією сили 5 Н?
332. Визначте потужність машини, яка піднімає молот масою 200 кг на висоту 0,75 м 120 разів за одну хвилину.
333. Парашутист спускається на парашуті. За рахунок якої енергії рухається парашутист? Які при цьому відбуваються зміни енергії?
334. Якими способами можна збільшити кінетичну і потенціальну енергії тіл?
335. Чи однакову потенціальну енергію матимуть цеглини, покладені на різні грані?
336. Ломом піднімають вантаж так, що точка опори проходить якраз посередині лома. Який виграш у силі при цьому дістанемо?
337. На малюнку 210 зображена установка, призначена для піднімання і опускання вантажів. Укажіть, який із блоків рухомий, а який — нерухомий. Намалюйте сили, що діють на рухомий блок і вантаж. Яку силу потрібно прикласти, щоб підняти вантаж? Як зміниться відповідь у задачі, якщо використати не один рухомий блок, а два або чотири?



Мал. 211



338. У яких слюсарних і столярних інструментах використовують властивості клина? Запишіть назви цих інструментів і вкажіть, яка частина інструменту є клином.
339. Розгляньте руль, педаль і передачу велосипеда (мал. 186). В якому із цих механізмів досягають виграшу в силі, а в якому — в швидкості? Дайте пояснення.
340. Машини поєднують у собі цілу низку простих механізмів. Найдіть їх в екскаваторі (мал. 184), який застосовується для земельних робіт.
341. З давніх-давен людина для своїх потреб використовувала водяні млини (мал. 211: 1 — жолоб; 2 — водяне колесо; 3 — сухе колесо; 4 — цівкове колесо; 5 — підлога; 6 — кожух жорен; 7 — жорна; 8 — жолоб для борошна; 9 — пристрій для дозування зерна). Які прості механізми використовуються у млині? Які зміни механічної енергії відбуваються під час роботи млина? У чому використовується ця зміна енергії?
342. Хлопчик везе санки вгору, прикладаючи силу 600 Н. Довжина гори — 60 м, висота — 12 м, вага санок з вантажем — 3600 Н. Визначте ККД гори.
343. Висота похилої площини — 1,2 м, а довжина — 10,8 м. Щоб підняти по цій площині вантаж масою 180 кг, потрібна сила 250 Н. Визначте ККД похилої площини.

## ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

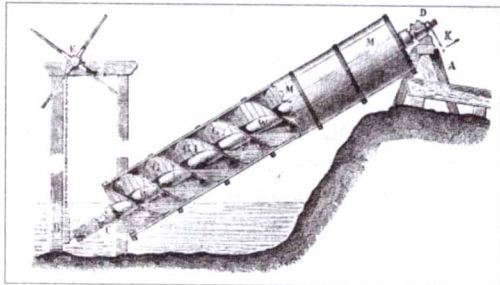
### 3 ЖИТТЯ ВЧЕНИХ

Одним із найвеличніших механіків світу був знаменитий Архімед (близько 287—212 рр. до н. е.). Ще навчаючись в Александрії (Єгипет), свої чудові наукові знання Архімед застосовував для конструювання багатьох машин. Зокрема, вчений винайшов нескінченний гвинт та водопідйомну машину, названу Архімедовим гвинтом (мал. 212).

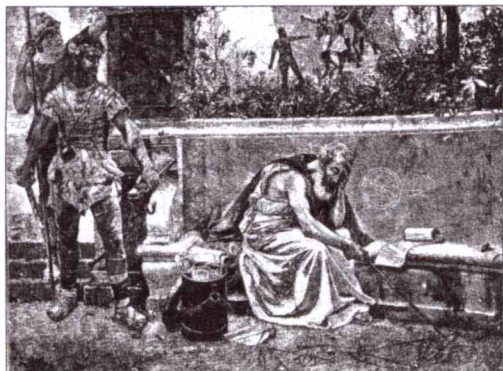
Водопідйомна машина Архімеда — це циліндрична труба завдовжки 4—6 м, відкрита з обох боків. По осі труби розміщений вал із гвинтовою поверхнею. Один кінець гвинта розташовували в тому місці, куди мала підніматися вода, другий кінець опускали у рідину.

Під час обертання гвинта вода піднімалася вздовж трубки і виливалася із верхнього отвору. Отже, дія гвинта базується фактично на принципі похилої площини. Гвинт Архімеда має перевагу над поршневим насосом, оскільки давав змогу здійснювати підйом забрудненої гілками води. Цим винаходом Архімеда ми користуємося і донині у звичайних кухонних м'ясорубках.

Після повернення до Греції знаменитий учений жив у рідному місті Сіракузах на о. Сицилія в Середземному морі. За легендою, Архімед, захоплений своїми дослідженнями, одного разу заявив цареві Сіракуз Гідрону, що міг би пере-



Мал. 212



Мал. 213

вернути Землю, якби він мав точку опори. Здивований цар запропонував Архімедові показати йому, як за допомогою малої сили можна піднімати великі вантажі. Архімед погодився і наказав витягнути на берег царську вантажну трієру, посадити на неї увесь екіпаж і завантажити корабель. Розмістившись на певній відстані, Архімед, рухаючи рукою блок, що був сполучений із системою механізмів, розпочав тягнути до себе корабель так тихо та рівно, немов останній плів по воді. Захоплений побаченням, цар Гідрон, запропонував Архімедові

сконструювати для нього військові машини, які можна було б використовувати для оборони Сіракуз. На той час Сіракузи брали участь у Другій Пунічній, або Аннібаловій війні, де однією воюючою стороною були римляни, а другою — карфагеняни. У цю війну було втягнуто багато народів Західного Середземномор'я (іспанців, галлів, греків, македонців). Один із визначних полководців світу — Ганнібал здійснив важкий військовий похід із Іспанії через Альпи до Італії, де йому вдалося розгромити три римські армії. У відповідь римляни у 213 р. до н. е. розпочали осаду грецького міста Сіракузи.

Без сумніву, Архімеда можна назвати родоначальником і статики. Він уперше запропонував теорію важеля, і, зокрема, сформулював закон важеля: «Вимірювані величини ваг перебувають у рівновазі, якщо відстані від точок їх прикладання до точки опори обернено пропорційні цим вагам». Роботи Архімеда дали змогу створити наукову теорію вчення про важелі.

Для захисту рідного міста Архімед винайшов ряд військових машин: катапульти, що викидали на велику відстань каміння різної величини; «журавлині дзьоби», які спускалися на канатах і захоплювали носи ворожих кораблів, розгойдуючи та піднімаючи останні. Елементами усіх цих конструкцій були блоки, гвинти, зубчасті колеса, пружини і водяні двигуни.

Коли римські війська оточили Сіракузи, 75-річний Архімед очолив оборону рідного міста. Сконструйовані ним механізми вразили уяву сучасників. Великі втрати, яких зазнавали римські війська від «залізних лап» і металевих машин Архімеда, призвели, за словами Плутарха, до того, що «римляни стали такі боязкі, що коли помічали, як над стіною рухається канат або колода, то кричали: «Ось, ось воно» — і, думаючи, що Архімед хоче направити на них яку-небудь машину, стрімко тікали».

Кілька місяців тривала облога Сіракуз, і лише завдячуючи зрадникам, які відкрили ворота, римляни нарешті змогли увірватися в місто. «Немало прикладів мерзенної злості і мерзенної жадоби можна було б пригадати, — пише Тіт Лівій (I ст. до н. е.) про пограбування Сіракуз, — але найбільш значний між ними — вбивство Архімеда. Серед дикого сум'яття, під крики і тупі озвірілих солдат, Архімед спокійно роздумував, розглядаючи накреслені на піску фігури, і якийсь грабіжник заколов його мечем, навіть не підозрюючи, хто це» (мал.213).



### Контрольні запитання

1. У яких випадках можна сказати, що тіло має енергію?
2. Від яких величин залежить потенціальна енергія піднятого над Землею тіла?
3. Від яких величин залежить потенціальна енергія пружно деформованого тіла?
4. Від яких величин залежить кінетична енергія тіла?
5. Які зміни енергії відбуваються під час падіння води з греблі?
6. Для яких фізичних величин одиницею в СІ є 1 джоуль?
7. Що таке машина і механізм? Чим вони різняться між собою? Наведіть приклади використання простих механізмів на будівельному майданчику.
8. Про що свідчить правило рівноваги важеля або правило моментів сил?
9. У чому програвать, користуючись важелем, рухомих блоком, похилою площиною, які дають вигравать у сили?
10. У чому полягає «золоте правило» механіки?
11. Чому при застосуванні механізмів для піднімання вантажів і подолання інших опорів корисна робота не дорівнює повній (затраченій)?
12. Що таке коефіцієнт корисної дії (ККД)? Чи може він бути більшим за одиницю?

### Що я знаю і вмію робити

**Я знаю, які є одиниці фізичних величин.**

1. Замість крапок вставте відповідні значення фізичних величин:

$$15 \text{ Дж} = \dots \text{ Н} \cdot \text{ м}; \quad 145 \text{ Вт} = \dots \text{ кВт}; \quad 1 \text{ кВт} = \dots \frac{\text{Дж}}{\text{с}}; \quad 120 \frac{\text{кДж}}{\text{с}} = \dots \text{ Вт};$$

$$12 \text{ МВт} = \dots \text{ Вт} = \dots \frac{\text{Дж}}{\text{с}}; \quad 32 \text{ МДж} = \dots \text{ кДж} = \dots \text{ Дж} = \dots \text{ Вт} \cdot \text{ с}.$$

**Я вмію визначати механічну роботу, яку виконує тіло, і потужність механізму.**

2. Два хлопчики масою 40 кг кожний піднялися на вершину гори висотою 50 м. Один піднімався прямо вгору, а другий ішов вгору по спіралі. Який з хлопчиків виконав більшу роботу? Обчисліть її.
3. Обчисліть «у ватах» потужність серця спортсмена під час змагань, знаючи, що при одному скороченні воно здійснює роботу 16 Дж і за одну хвилину робить 240 скорочень.
4. Вітрові електростанції є екологічно чистими і дешевими. Потужність вітродвигуна, зображеного на малюнку 214, дорівнює 2 500 000 Вт. Яку роботу може виконати такий двигун за 1 добу?

**Я знаю, які є види енергії.**

5. За рахунок якої енергії: іде годинник, рухається снаряд у стволі гармати, піднімається ракета, тече вода в річці, обертаються крила вітряної електростанції?

**Я вмію визначати енергію тіла.**

6. Пружину жорсткістю  $200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  стиснули на 5 см за допомогою тіла масою 200 г. Якої потенціальної



Мал. 214

енергії надали пружині? Якої найбільшої швидкості набуде тіло, коли пружина розпрямиться? Якою буде кінетична енергія цього тіла?

**Я знаю, які є прості механізми.**

7. Які частини тіл живих організмів можна розглядати як прості механізми?

**Я вмію визначати, який виграш у силі дають прості механізми.**

8. Визначте виграш у силі під час використання ножиць.  
9. Який виграш у силі можна отримати за допомогою важеля завдовжки 2 м, якщо вісь обертання розташована на відстані 20 см від вантажу?  
10. Який виграш у силі можна отримати за допомогою системи блоків, яка складається з трьох рухомих і трьох нерухомих блоків?

**Я знаю умову рівноваги важеля.**

11. До коромисла терезів підвісили два циліндри однакової маси: свинцевий і алюмінієвий. Терези перебувають у рівновазі. Чи порушиться рівновага, якщо обидва циліндри опустити у воду? У гас?

**Я вмію визначати ККД простого механізму.**

12. У нагнітальному водяному насосі ручка під дією сили 15 Н переміщується на відстань 40 см за один рух поршня. Поршень насоса створює опір 50 Н і піднімається на висоту 10 см. Визначте ККД насоса.

### Тестові завдання

#### Варіант I

1. В яких з перелічених випадків виконується механічна робота?  
А. Сталева кулька котиться по горизонтальному столу.  
Б. Цегла лежить на Землі.  
В. Кран піднімає вантаж.  
Г. Вантаж висить на нитці.
2. Повітряний потік підняв яструба масою 400 г на висоту 70 м. Яку роботу виконала сила, що підняла птаха?  
А. 280 Дж.  
Б. 28 Дж.  
В. 2,8 Дж.  
Г. 300 Дж.
3. Яку потужність розвиває людина, яка за 15 с піднімає відро води вагою 120 Н з колодязя глибиною 20 м?  
А. 160 Вт.  
Б. 90 Вт.  
В. 360 Вт.  
Г. 120 Вт.
4. Яку роботу може виконати двигун мопеда потужністю 600 Вт за 5 хв?  
А. 180 кДж.  
Б. 3000 Дж.  
В. 1800 Дж.  
Г. Правильної відповіді немає.



5. Якої маси тіло підняли на висоту 10 м над Землею, якщо його потенціальна енергія дорівнює 1200 Дж?  
А. 120 кг. Б. 1,2 кг. В. 12 кг. Г. 1200 кг.
6. Якої потенціальної енергії надали пружині жорсткістю  $100 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ , якщо її розтягнули на 10 см?  
А. 10 Дж. Б. 1 Дж. В. 0,1 Дж. Г. 0,5 Дж.
7. Автомобіль масою 2 т рухається зі швидкістю  $20 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Яка його кінетична енергія?  
А. 80 кДж. Б. 800 кДж. В. 40 кДж. Г. 400 кДж.
8. Яку силу треба прикласти до важеля завдовжки 2 м, щоб підняти камінь масою 100 кг, якщо точка опори розташована на відстані 40 см від каменя?  
А. 25 Н. Б. 250 Н. В. 2500 Н. Г. Правильної відповіді немає.
9. Який вантаж можна підняти, використавши рухомий і нерухомий блоки і приклавши силу 200 Н?  
А. 20 кг. Б. 200 кг. В. 100 кг. Г. 40 кг.
10. Який з простих механізмів належить до похилої площини?  
А. Блок. Б. Клин. В. Важіль. Г. Немає таких.
11. Яку корисну роботу треба виконати, щоб підняти на висоту 2 м похилою площиною бочку масою 200 кг?  
А. 200 Дж. Б. 400 Дж. В. 4000 Дж. Г. 40 кДж.
12. Висота похилої площини дорівнює 1 м, а довжина — 10 м. Щоб підняти цією площиною вантаж масою 150 кг, потрібна сила 250 Н. Визначте ККД похилої площини.  
А. 56 %. Б. 60 %. В. 75 %. Г. Правильної відповіді немає.

### Варіант II

1. В яких з перелічених випадків виконується механічна робота?  
А. Сталева кулька, випущена з рук, падає на Землю.  
Б. На столі стоїть гиря.  
В. По гладенькій горизонтальній поверхні скла котиться металева кулька.  
Г. Людина, яка стоїть на місці, тримає на плечах мішок з цукром.
2. Робітник за допомогою рухомого блока підняв вантаж на висоту 1 м, приклавши до вільного кінця мотузки силу 160 Н. Яку роботу він виконав?  
А. 80 Дж. Б. 160 Дж. В. 240 Дж. Г. 320 Дж.
3. Яку потужність розвиває трактор, рівномірно рухаючись на першій швидкості ( $v = 3,6 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ), якщо сила тяги трактора дорівнює 12 кН?  
А. 12 кВт. Б. 43,2 кВт. В. 120 кВт. Г. 1,2 кВт.
4. Яку роботу виконує людське серце потужністю 1 Вт за 10 хв?  
А. 1,6 Дж.  
Б. 0,0016 Дж.  
В. 0,016 Дж.  
Г. Правильної відповіді немає.
5. На яку висоту підняли тіло масою 2 кг над Землею, якщо його потенціальна енергія дорівнює 600 Дж?  
А. 300 м. Б. 30 м. В. 3 м. Г. 3000 м.

6. Пружину жорсткістю  $40 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$  стиснули на 5 см. Яка її потенціальна енергія?  
А. 2 Дж.      Б. 1 Дж.      В. 0,05 Дж.      Г. 0,9 Дж.
7. Трактор масою 10 т рухається зі швидкістю  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Яка його кінетична енергія?  
А. 250 кДж.      Б. 25 кДж.      В. 12,5 кДж.      Г. 125 кДж.
8. Яку силу треба прикласти до лома завдовжки 1,2 м, щоб підняти бетонний блок масою 250 кг, якщо точка опори розташована на відстані 20 см від блоку?  
А. 200 Н.      Б. 2500 Н.      В. 1000 Н.      Г. Правильної відповіді немає.
9. Який вантаж можна підняти, використавши рухомий і два нерухомих блоки і приклавши силу 100 Н?  
А. 20 кг.      Б. 10 кг.      В. 100 кг.      Г. 40 кг.
10. Який з простих механізмів належить до важеля?  
А. Блок.      Б. Кли.      В. Гвинт.
11. Яку корисну роботу треба виконати, щоб підняти на висоту 3 м похилою площиною колоду масою 400 кг?  
А. 1200 Дж.      Б. 12 кДж.      В. 4000 Дж.      Г. 120 кДж.
12. Висота похилої дороги дорівнює 10 м, а довжина — 100 м. Щоб підняти по цій площині автомобіль масою 1 000 кг, потрібно прикласти силу 2 500 Н. Визначте ККД похилої дороги.  
А. 50 %.      Б. 60 %.      В. 40 %.      Г. Правильної відповіді немає.



# КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ. ТЕПЛОВІ МАШИНИ

- Тепловий стан тіл
- Вимірювання температури
- Внутрішня енергія та способи її зміни
- Види теплообміну
- Кількість теплоти
- Питома теплоємність речовини
- Плавлення і кристалізація твердих тіл
- Питома теплота плавлення
- Випаровування і конденсація рідин
- Питома теплота пароутворення
- Згоряння палива
- Питома теплота згоряння палива
- Теплові двигуни
- Закон збереження енергії в механічних і теплових процесах



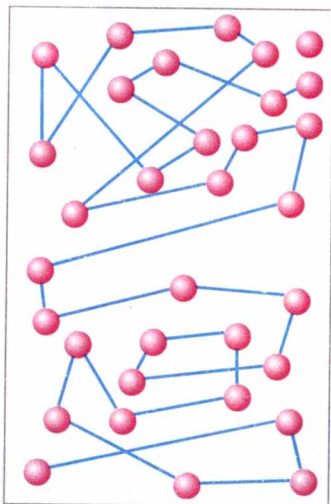
## § 42 ТЕПЛОВИЙ РУХ. ТЕМПЕРАТУРА ТІЛА. ВИМІРЮВАННЯ ТЕМПЕРАТУРИ

З уроків фізики у 7 класі ви знаєте, що тіла складаються з молекул. Молекули перебувають у безперервному хаотичному (безладному) русі й взаємодіють між собою. Кожна окрема молекула здійснює механічний рух, подібний до того, що ми вивчали до цього часу. Рухаючись з великою швидкістю, вона зіштовхується з іншими молекулами й при цьому змінює напрям руху. З мал. 215 видно, що траєкторією окремої молекули є складна ламана лінія, але можна визначити пройдений молекулою шлях і швидкість її руху. Спостерігати такий рух, навіть озброєним оком, неможливо через надзвичайно малі розміри частинок, що рухаються. Тільки у спеціальних складних дослідах можна бачити наявний результат механічного руху груп молекул.

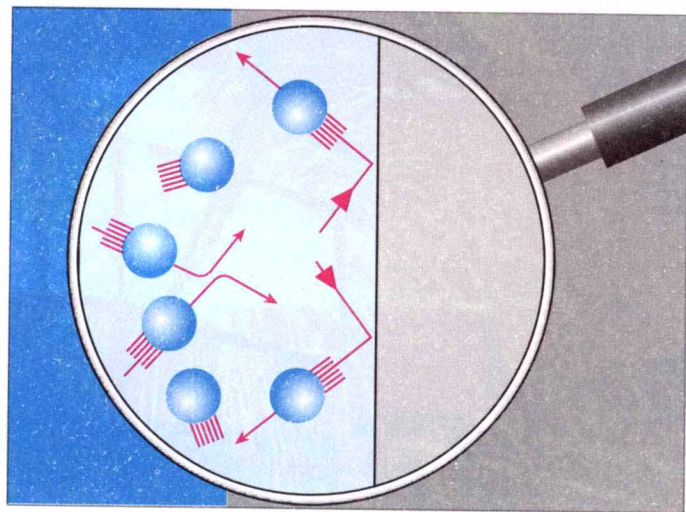
Дослідження руху молекул методами механіки ще більше ускладнюється через надзвичайно велику кількість рухливих частинок у звичних тілах. Практично неможливо простежити за всіма «учасниками» руху: мільярди мільярдів маленьких частинок рухаються з великими швидкостями в різних напрямках, зіштовхуються одна з одною та зі стінками посудини, змінюють власні швидкості руху (мал. 216). Отже, можливості вивчення руху молекул засобами механіки дуже обмежені.

*Яким способом все ж таки можна дослідити механічні характеристики рухомих молекул у тілах: оцінити швидкості молекул, шляхи, які вони проходять між зіткненнями, тощо?*

Виявляється, що результатом безладного механічного руху молекул є не тільки переміщення їх у просторі, а й **тепловий стан** тіла, ступінь його нагрітості. Чим швидше рухаються молекули, тим вища температура тіла і навпаки: якщо підвищується температура тіла, то й збільшується швидкість руху молекул. Тому хаотичний рух величезних кількостей молекул



Мал. 215



Мал. 216



вивчають методами фізики теплових явищ, а сам такий рух називають **тепловим**.

**Тепловий рух — це безладний рух молекул і атомів, який визначає температуру тіла.**

У свою чергу, знання про будову речовини та тепловий рух дають змогу пояснити різні теплові явища.

Припустимо, що є дві посудини, в яких містяться гази молекул різної маси, наприклад, в одній — кисень, а в іншій — азот. Досліди свідчать, що за однакової температури молекули обох речовин мають однакові середні кінетичні енергії, а значення середніх швидкостей молекул виявляються різними.

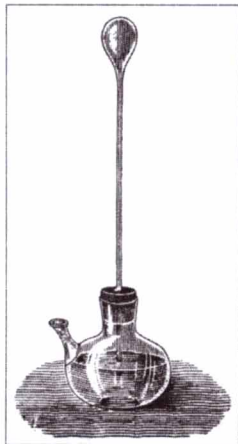
Таким чином, доходимо висновку, що **температура тіла — це фізична характеристика теплового стану речовини, з якої складається тіло, ступінь нагрітості тіла, і вона визначається середньою кінетичною енергією хаотичного руху частинок речовини.**

Кілька століть тому наукою ще не була визнана теорія молекулярної і атомної будови речовини, тому уявлення про температуру тіла виникло не в зв'язку з рухом молекул і атомів у ньому, а від порівняння відчуття тепла або холоду, хоча вони неточні і часто суб'єктивні. Для об'єктивних вимірювань температури під час контакту з досліджувальним середовищем було створено спеціальні прилади — **термометри**. Дія термометрів ґрунтується на різних фізичних явищах, які залежать від температури: тепловому розширенні рідин, газів, твердих тіл, зміні з температурою електричних властивостей речовини тощо. Найчастіше використовують рідинні термометри, за допомогою яких можна вимірювати температуру в широких межах.

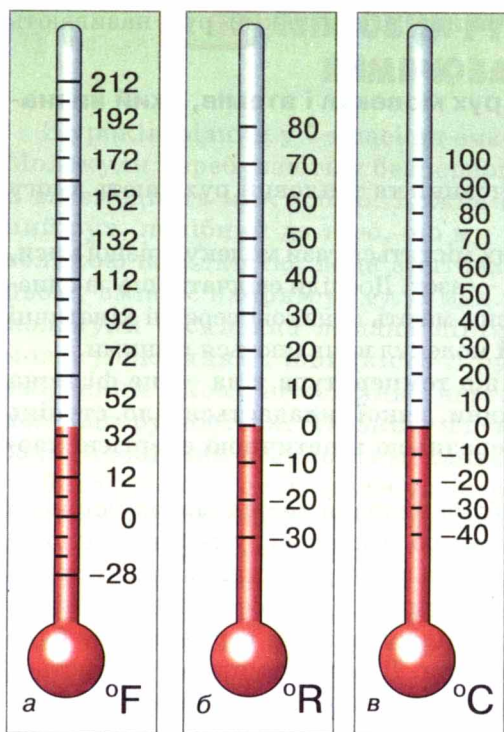
Досліди свідчать: при контакті двох тіл, з яких одне гаряче, а інше холодне, їхні температури з часом вирівнюються, тобто гаряче тіло охолоне, а холодне — нагріється. Установлення **теплової рівноваги** між кількома тілами означає, що їх температури стають однаковими і надалі вже не різнитимуться. З молекулярної точки зору це означає, що в стані теплової рівноваги в усіх тілах, що контактують, кінетична енергія безладного руху частинок речовини однакова.

Звідси випливає, що під час **вимірювання температури** рідинним термометром слід дотримувати таких **правил**: *треба помістити колбу термометра в те середовище, температуру якого вимірюють; зачекати певний час, поки стовпчик рідини в трубці термометра зупиниться, тобто поки не встановиться тепла рівновага між колбою і середовищем; не виймаючи термометр із середовища, визначити за шкалою значення його температури.*

У 1597 р. Г. Галілей сконструював прилад-прототип термометра, який назвав термоскопом. **Термоскоп Галілея** (рис. 217) складався із тонкої скляної трубки з невеличкою колбою на верхньому кінці. Відкритий нижній кінець трубки опускали в посудину із водою, яка заповнювала і частину трубки. Коли повітря у колбі нагрівалося чи охолоджувалося, то стовпчик води у трубці опускався чи піднімався.



Мал. 217



Мал. 218

Оскільки висота стовпчика залежала як від температури, так і від атмосферного тиску, тому вимірювати температуру термоскопом було неможливо, проте він давав змогу порівнювати температуру різних тіл в один і той самий час і в одному й тому самому місці. Вже тоді лікар і анатом Санкторіус з Падуанського університету, не знаючи про термоскоп Галілея, сконструював власний подібний термометр і застосовував його для вимірювання температури тіла людини.

Перший сучасний термометр (мал. 218, а) був описаний у 1724 р. **Габріелем Фаренгейтом**, складувом із Голландії.

Сучасників вченого дивувало, що показання різних спиртових термометрів, виготовлених Фаренгейтом, узгоджувалися між собою. Секрет Фаренгейта полягав у тому, що він охайно наносив поділки на шкалу, використовуючи для цього декілька

опорних точок. За  $0^{\circ}\text{F}$  — першу фіксовану точку — Фаренгейт прийняв температуру плавлення суміші льоду, води і нашатирю (амоній хлориду  $\text{NH}_4\text{Cl}$ ). Другу точку —  $32^{\circ}\text{F}$  — він отримав, занурюючи термометр у суміш води і льоду. Свою шкалу Фаренгейт перевіряв, вимірюючи нормальну температуру тіла людини. Нова точка потрапляла на  $96^{\circ}\text{F}$ . Пізніше він увів ще й четверту опорну точку — точку кипіння води за нормальних умов. Вона припадала на позначку  $212^{\circ}\text{F}$ . Різні термометри Фаренгейта можна було звіряти один з одним, порівнюючи їх показання в різних сталих точках шкали. Тому вони прославилися своєю точністю. Шкалою Фаренгейта дотепер користуються в Англії і в США.

У Франції у практику ввійшла **шкала Реомюра** (мал. 218, б) (близько 1740 р.), побудована на точках замерзання води ( $0^{\circ}\text{R}$ ) та її кипіння ( $80^{\circ}\text{R}$ ). Р. Реомюр на підставі вимірювань вивів, що вода розширяється між цими двома точками на 80 тисячних свого об'єму (правильне значення 0,084). Спиртові термометри Реомюра згодом було замінено **ртутними термометрами Делюка** (1740 р.), оскільки коефіцієнт розширення ртуті меншою мірою змінювався з температурою, порівняно зі спиртом.

Сучасна температурна шкала (мал. 218, в) була запропонована в 1742 р. шведським фізиком А. Цельсієм (1701—1744), який у своїх ртутних термометрах запровадив 100-градусну шкалу. Йому не подобалися від'ємні значення температур, і він визнав за потрібне перевернути стару шкалу і помістити  $0^{\circ}\text{C}$  у точку кипіння води, а  $100^{\circ}\text{C}$  — у точку її замерзання. Але



«перевернута» шкала не набула популярності і незабаром на пропозицію шведського натураліста К. Ліннея повернулися до звичного розміщення опорних температур. До початку XIX ст. термометр стає звичним фізичним приладом.

На сьогодні прийнято, що одиниця температури  $1^{\circ}\text{C}$  (один градус Цельсія) — це одна сота частина інтервалу між температурами плавлення льоду і кипіння дистильованої води при нормальному атмосферному тиску (101 325 Па).

### ▶ ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- На Землі є багато спекотних і холодних місць. У Долині смерті (Каліфорнія, США) зафіксована спека  $+56,7^{\circ}\text{C}$ , але рекорд належить пустелі Сахара (Африка) —  $+63^{\circ}\text{C}$  у тіні. Найхолоднішими місцями у Північній півкулі є Якутія і Гренландія, де температура досягає  $-70^{\circ}\text{C}$ . Але найхолодніше місце на нашій планеті — це Антарктида. В її глибинних районах зафіксована температура  $-94,5^{\circ}\text{C}$ . На такому морозі метал стає крихким, газ перетворюється на густу желеподібну масу і не спалахує навіть при контакті з полум'ям.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Який рух називають тепловим?
2. Чим тепловий рух відрізняється від механічного?
3. Що таке теплова рівновага?
4. Назвіть авторів різних конструкцій термометрів.
5. Які правила вимірювання температури середовища термометром?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 11

### ВИМІРЮВАННЯ TEMПЕРАТУРИ РІЗНИМИ ТЕРМОМЕТРАМИ

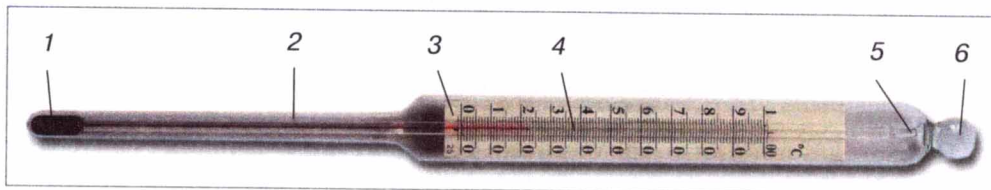
- **Мета роботи:** ознайомитися з будовою рідинного і біметалевого термометрів, навчитися вимірювати температуру середовища за допомогою цих термометрів.
- **Прилади і матеріали:** рідинний термометр, біметалевий термометр, посудина з водою.

### Хід роботи

1. Ознайомтеся з будовою рідинного термометра.

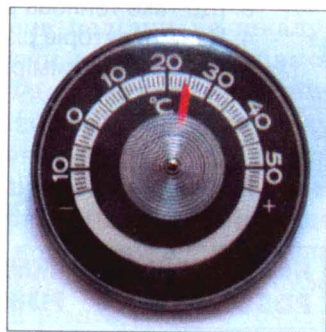
Будь-який рідинний термометр (мал. 219) складається з таких частин:

- 1 — резервуар, у якому містяться рідина (ртуть, спирт);
- 2 — скляна трубка, в якій міститься шкала і капілярна трубка;



Мал. 219

- 3 — шкала термометра;  
 4 — капілярна трубка, в якій рідина розширюється під час підвищення температури і стискається під час її зниження;  
 5 — запобіжний резервуар, щоб термометр не вийшов з ладу при надмірному розширенні рідини;  
 6 — кільце або скляна головка для підвішування термометра (є тільки в термометрів певних типів).
2. Визначте ціну поділки шкали термометра.  
*Ціна поділки шкали відповідає ... °C.*
  3. Укажіть межі вимірювання термометра.  
*Термометром можна виміряти температуру від ... до ... °C*
  4. Яку температуру показує термометр?  
*Термометр показує ... °C.*
  5. Виміряйте температуру води у посудині.  
*Температура води в посудині ... °C.*
  6. Ознайомтеся з будовою біметалевого термометра (мал. 220).  
 Біметалевий термометр складається з біметалевої спіралі, один кінець якої закріплений до корпусу термометра, а другий — до стрілки, яка вказує на шкалі термометра значення температури навколишнього середовища. Коли температура середовища змінюється, біметалева пластинка згинається або розгинається і надає руху стрілці. Біметалеві термометри менш точні, ніж рідинні.
  7. Визначте ціну поділки шкали біметалевого термометра.  
*Ціна поділки шкали відповідає ... °C.*
  8. Які межі вимірювання термометра?  
*Термометром можна вимірювати температуру від ... до ... °C.*
  9. Яку температуру показує термометр?  
*Термометр показує ... °C.*



Мал. 220



## § 43 ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ ТА СПОСОБИ ЇЇ ЗМІНИ. ТЕПЛООБМІН

Тане сніг, плавляться метали, випаровується вода, нагрівається рідина в посудині — все це теплові явища. Під час теплових явищ змінюються температура і стан тіла: лід перетворюється на воду, вода — на пару та навпаки. Щоб розплавити олово, потрібно спочатку його нагріти до температури плавлення, а потім плавити, безупинно надаючи йому енергії. *А які фізичні величини характеризують тепловий стан речовини і дають змогу пояснювати теплові явища?*

Вам вже відомі поняття механічної енергії, види механічної енергії — потенціальна й кінетична. Наприклад м'яч, піднятий над Землю, стиснута або розтягнута пружина мають потенціальну енергію. Кожне рухоме тіло має кінетичну енергію: краплі дощу, які падають на Землю; автомобіль, що рухається по дорозі; птах, який летить. Ви також знаєте, що потенціальна й кінетична енергії тіла можуть змінюватися, що під час їх зміни виконується механічна робота.

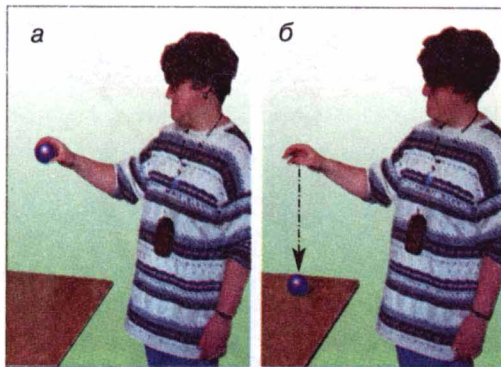
◆ **Дослід.** Підніmemo пластилінову кулю над столом і відпустимо її. Під дією сили тяжіння куля впаде на стіл та прилипне до нього.

Проаналізуємо, як змінювалася механічна енергія кулі при цьому. Куля, піднята над столом, мала потенціальну енергію, її кінетична енергія дорівнювала нулю, тому що вона була нерухома (мал. 221, а). Коли кулю відпустили, то під час падіння її потенціальна енергія зменшувалася, бо зменшувалася висота кулі над столом, а кінетична енергія збільшувалася, бо збільшувалася швидкість руху кулі. Перед торканням кулі до поверхні стола її потенціальна енергія відносно неї дорівнювала нулю, а значення кінетичної енергії дорівнювало значенню потенціальної енергії кулі до початку падіння (мал. 221, б). Коли куля впала на стіл, то вона зупинилася, тобто її кінетична енергія також стала дорівнювати нулю. Отже, механічна енергія кулі відносно стола в цьому положенні дорівнює нулю.

*Куди ж «зникла» механічна енергія кулі?*

Можна припустити, що таке «зникнення» механічної енергії пов'язане з якимись іншими, ніж механічний рух, змінами у стані тіл. Дійсно, якщо за допомогою дуже чутливого термометра виміряти температури кулі та поверхні стола до падіння кулі і після нього, то виявиться, що їх температури підвищилися. Отже, відбулися зміни в тепловому стані тіл під час взаємодії — збільшилася середня швидкість їх молекул.

Зміна енергії теплового руху молекул тіл відбулася за рахунок зміни кінетичної енергії їхнього руху внаслідок зміни середньої швидкості молекул та зміни потенціальної енергії їхньої взаємодії, яка стала іншою через деформацію кулі.



Мал. 221

**Енергію руху та взаємодії частинок, з яких складається тіло, називають внутрішньою енергією тіла.**

Отже, під час удару кулі об стіл відбулася зміна механічної енергії кулі на внутрішню енергію.

Внутрішня енергія тіла залежить від його температури. Підвищується температура тіла — збільшується його внутрішня енергія та навпаки.

Внутрішня енергія тіла не залежить ні від механічного руху тіла, ні від положення цього тіла відносно інших тіл.

Отже, внутрішня енергія тіла, зокрема, пов'язана зі швидкістю руху його частинок. Вона змінюється, якщо змінюється середня швидкість руху частинок, з яких складається тіло. *А яким чином можна збільшити або зменшити цю швидкість, тобто змінити внутрішню енергію тіла?*

• **Спостереження 1.** Вам, напевно, доводилося накачувати насосом велосипедну шину або м'яч (мал. 222, а, б), і ви спостерігали, що насос при цьому нагрівався. Збільшення внутрішньої енергії повітря та насоса сталося за рахунок виконання роботи силою, що стискала повітря.

Якщо ви зігнете та розігнете кілька разів дротину з м'якого металу (мал. 223), то виявите, що місце згинання нагрілося.

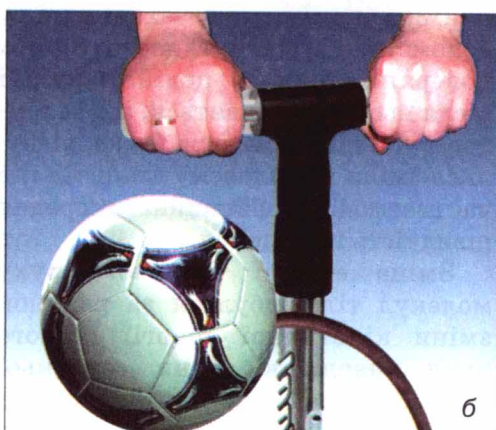
Якщо ви вдарите кілька разів молотком по шматку свинцю (мал. 224), то цей шматок також нагріється.

Коли у вас на морозі мерзнуть руки, то ви їх грієте, потираючи одна об одну.

В усіх випадках внутрішня енергія тіл збільшується за рахунок виконання роботи над ними.

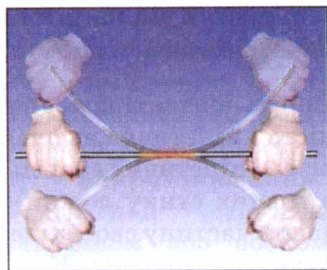
**Внутрішню енергію тіла можна збільшити, виконуючи над ним роботу.**

◆ **Дослід.** У товстостінній скляній посудині, щільно закритій пробкою, міститься водяна пара. Через спеціальний отвір будемо накачувати в неї повітря. Через деякий час корок вискочить з посудини (мал. 225). У той момент, коли пробка вискакує, в посудині виникає туман



Мал. 222



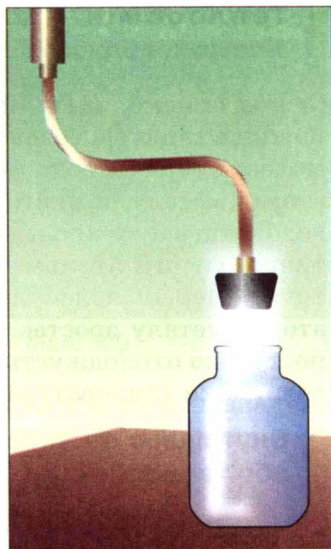


Мал. 223



Мал. 224

(водяна пара перетворилася на рідину), поява якого означає, що повітря в посудині стало холоднішим. Отже, внутрішня енергія повітря в посудині зменшилася. Пояснюється це тим, що стиснуте повітря, яке виштовхнуло пробку, тим самим виконало роботу.



Мал. 225

**Якщо роботу виконує саме тіло, то його внутрішня енергія зменшується.**

Внутрішню енергію тіла можна змінити й іншим способом, без виконання роботи.

• **Спостереження 2.** Каструля з водою, що стоїть на гарячій плиті (мал. 226); металева ложка, поміщена в склянку з гарячою водою; батарея водяного опалення, по якій проходить гаряча вода; камін, у якому розпалено вогонь (мал. 227); Земля, яку освітлює Сонце (мал. 228), — усі вони нагріваються.

У всіх наведених прикладах температура тіл підвищується. Отже, внутрішня енергія їх збільшується.

Можна спостерігати й охолодження тіл, коли, наприклад, гарячу ложку помістити в холодну воду, чайник, що закипів, зняти з плити.

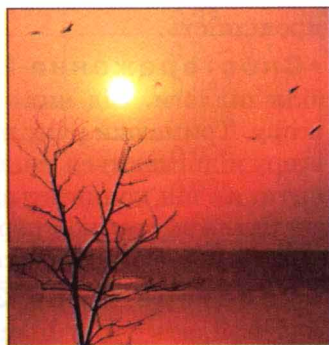
У наведених прикладах відбувалася зміна внутрішньої енергії тіл, але механічна робота при цьому не виконувалася. Такий процес зміни внутрішньої енергії тіл називається **теплообміном**, або **теплопередачею**.



Мал. 226



Мал. 227



Мал. 228

**Теплообмін** — це процес передачі внутрішньої енергії від нагрітого тіла до холодного без виконання ними або над ними механічної роботи.

Розглянемо, яким чином відбувається теплообмін при контакті холодної ложки з гарячою водою. Напочатку середня швидкість і кінетична енергія молекул гарячої води перевищують середню швидкість і кінетичну енергію атомів металу, з якого виготовлена ложка. Але в місцях стику ложки з водою під час зіткнень швидкі молекули води передають частину своєї кінетичної енергії атомам металу, і вони починають рухатися швидше. Кінетична енергія молекул води при цьому зменшується, а кінетична енергія атомів металу зростає. Разом з енергією змінюється і температура: вода поступово охолоджується, а ложка — нагрівається. Цей процес триватиме доти, доки температура води і ложки не стане однаковою.

**Внутрішню енергію тіла можна змінити шляхом виконання роботи або теплообміну.**



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Які види механічної енергії ви знаєте?
2. Яку енергію називають внутрішньою енергією тіла?
3. Від чого залежить внутрішня енергія тіла?
4. Як можна змінити внутрішню енергію тіла?
5. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла шляхом виконання роботи.
6. Що таке теплообмін?
7. Наведіть приклади зміни внутрішньої енергії тіла шляхом теплообміну.

## § 44

## ВИДИ ТЕПЛОБМІНУ

Теплообмін може здійснюватися різними способами.

**• Спостереження 1.** Якщо доторкнутися до предметів, виготовлених з металів, дерева, пластмаси, то металеві предмети здаються холоднішими від дерев'яних, хоча їхня температура однакова, наприклад, кімнатна. Ми в цьому разі відчуваємо прохолоду, тому що металеві предмети краще проводять тепло і швидше відбирають його від руки, тобто мають високу **теплопровідність**.

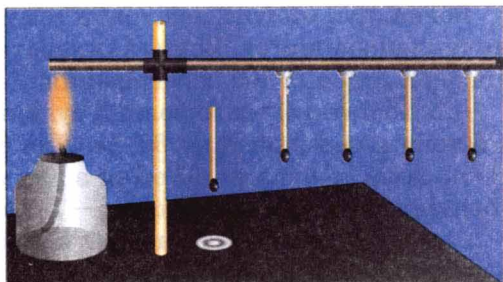
**• Спостереження 2.** Батарей водяного опалення розміщують під вікном біля підлоги. Від них унизу холодне повітря нагрівається й піднімається вгору. Тримавши руку над запаленою свічкою, ви відчуєте, як від її полум'я вгору піднімаються теплі потоки повітря. Підвісивши папірець, можна побачити, як він коливається від цього руху. У цих прикладах теплообмін здійснюється за рахунок перенесення повітря або рідини. Такий процес передачі тепла називають **конвекцією** (від латинського *конвекція* — перенесення).

**• Спостереження 3.** Життя на Землі може існувати тому, що вона має придатну для цього температуру за рахунок тепла, що отримує зі світлом від Сонця. Земля і Сонце розташовані на великій відстані



(150 млн кілометрів), у просторі між ними немає повітря. У цьому разі передача тепла відбувається за рахунок ще одного виду теплообміну — **випромінювання**.

◆ **Дослід 1.** До мідного стержня парафіном або воском приклеїмо декілька сірників (мал. 229). Один кінець стержня нагріватимемо в полум'ї спиртівки або газового пальника. Під час нагрівання парафін



Мал. 229

почне плавитися, і сірники будуть відпадати від стержня. Спочатку відпадуть ті сірники, які розміщені ближче до полум'я, а потім по черзі — всі інші.

**Передачу тепла від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла внаслідок теплового руху частинок тіла називають теплопровідністю. При цьому відбувається передача енергії, а переносу речовини немає.**

◆ **Дослід 2.** У посудину, в якій нагрівається вода, вставимо алюмінієвий, дерев'яний, пластмасовий та скляний стержні (мал. 230). Покладемо зверху на них парафінові кульки. Спочатку розплавиться кулька на алюмінієвому стержні, потім — на скляному. На дерев'яному та пластмасовому стержнях парафін не розплавиться.



Мал. 230

**Різні речовини мають різну теплопровідність.**

При кімнатній температурі теплопровідність різних тіл різна (табл. 6).

Таблиця 6

**Теплопровідність деяких речовин порівнянно з теплопровідністю скла**

| Речовина         | Теплопровідність | Речовина       | Теплопровідність |
|------------------|------------------|----------------|------------------|
| Мідь             | 330              | Вода           | 0,5              |
| Алюміній         | 270              | Гіпс           | 0,4              |
| Латунь           | 105              | Бетон          | 0,23             |
| Залізо           | 60               | Деревина       | 0,2 — 0,1        |
| Нержавіюча сталь | 15               | Пінобетон      | 0,043            |
| Вапняк           | 1,5              | Пінополістирол | 0,036            |
| Скло             | 1,0              | Корок          | 0,036            |
| Цегла суцільна   | 0,6              | Скловата       | 0,035            |
| Цегла порожниста | 0,5              | Сухе повітря   | 0,022            |

Добрими провідниками тепла є метали, особливо срібло, золото, мідь. Поганими провідниками тепла є вода, цегла, бетон, лід. Наприклад, теплопровідність бетону в 210 разів гірша за теплопровідність алюмінію. Корок, пінопласт, повітря мають дуже низьку теплопровідність. Такі речовини називають **теплоізоляторами**.

Вовна, пух містять повітря, й тому мають погану теплопровідність. Вони захищають тіло тварин від охолодження або перегрівання.

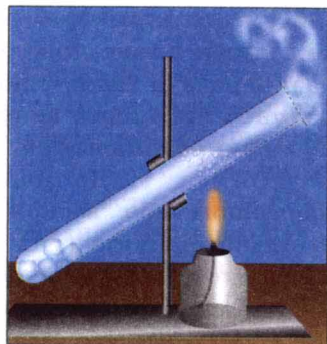
Для достатньої теплоізоляції будинка його стіни з бетону мають товщину 30 см. Для забезпечення такої самої теплоізоляції стіни з алюмінію мали б товщину 63 м, а стіни із корку — 1,2 см.

◆ **Дослід 3.** Якщо нагрівати воду у верхній частині пробірки (мал. 231), то вона в цьому місці закипить, а внизу можуть залишитися, навіть шматочки льоду.

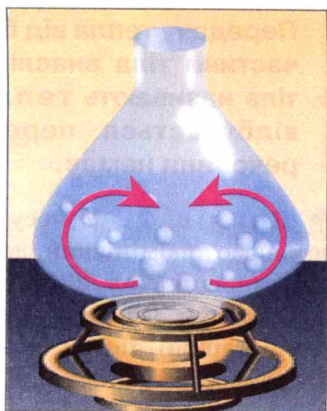
Це свідчить про те, що вода — поганий провідник тепла. Якщо ж нагрівати посудину з водою знизу, то вся вода прогріється й закипить (мал. 232), тому що відбуватиметься переміщення верхніх холодних і нижніх нагрітих шарів води. Таке переміщення рідини називають **конвекцією**.

▶ **Конвекція** — процес перенесення енергії струменями рідини або газу.

◆ **Дослід 4.** Запалимо свічку, розмістимо над полум'ям вирізану з паперу «змійку» (мал. 233). Повітря біля полум'я свічки буде нагріватися і розширюватися. Густина розширеного повітря менша від густини холодного, тому шар теплого повітря піднімається вгору. Його місце одразу заступає сусідній шар холодного повітря, він нагрівається і в свою чергу починає рухатися вгору й т. д.



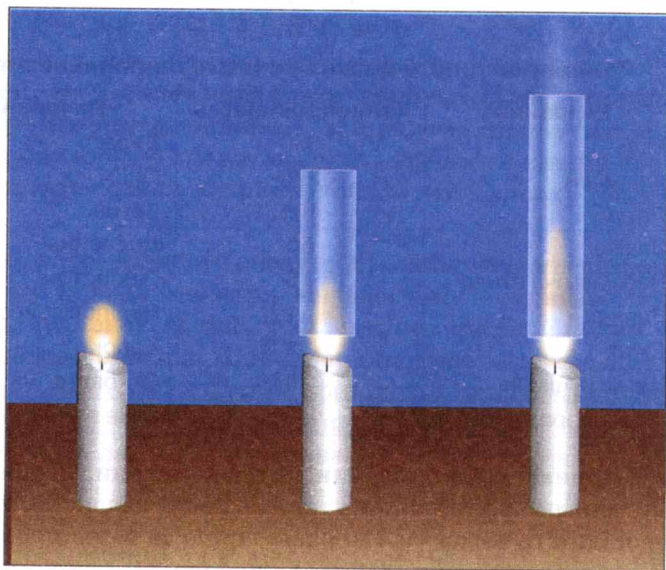
Мал. 230



Мал. 232



Мал. 233



Мал. 234



Під дією струменів нагрітого повітря паперова «змійка» обертається.

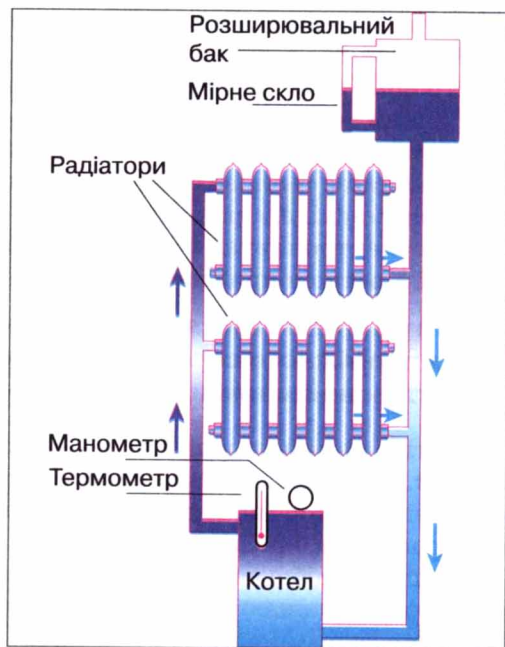
**Явищем конвекції можна пояснити виникнення вітрів у природі.**

• **Спостереження 4.** Запалимо свічку. Коли над нею розмістимо спочатку нижчий, а потім — вищий скляний циліндр, відкритий з обох боків (мал. 234), то помітимо, що полум'я свічки буде видовжуватися. Такий циліндр — це маленька димова труба, яка створює тягу повітря. Чим вища труба, тим краща тяга.

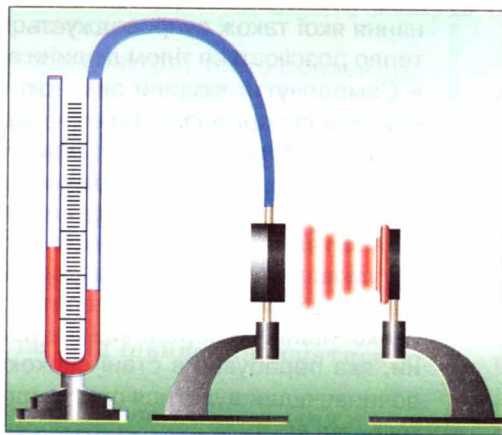
У сучасних будинках установлюють водяне опалення. Вода, нагріта в котлі (мал. 235), піднімається по трубах угору і віддає тепло радіаторам опалення. Внаслідок конвекції нагрівається повітря в будинках, при цьому охолоджуються радіатори та вода в них. Охолоджена вода опускається вниз до котла, де знову нагрівається. Щоб уся вода, яка є в системі водяного опалення, нагрівалася, котли або інші нагрівальні установки розміщують у будинку якомога нижче.

• **Спостереження 5.** Сидячи біля багаття, ми відчуваємо від нього тепло. Отже, відбувається теплообмін, але не через теплопровідність, бо повітря, яке є між полум'ям багаття і нами, — теплоізолятор. Конвекцією в цьому разі теплообмін теж пояснити не можна, бо ми перебуваємо не над багаттям, а поряд з ним, і потоки холодного повітря йдуть до багаття з нашого боку. Тут маємо справу ще з одним видом теплообміну, який називають **випромінюванням**, про яке ми вже згадували, коли обговорювали нагрівання Землі світлом від Сонця крізь безповітряний простір. Звідси випливає, що для теплообміну випромінюванням непотрібне будь-яке проміжне середовище між тілом і нагрівником.

◆ **Дослід 5.** Візьмемо теплоприймач (круглу коробочку, один бік якої дзеркальний, а другий — покритий чорною фарбою (мал. 236), з'єднаємо його за допомогою гумової трубки з манометром. Розмістимо на деякій відстані від теплоприймача ввімкнену електроплитку. Невдовзі манометр покаже, що тиск повітря у



Мал. 235



Мал. 236

коробочці теплоприймача збільшився за рахунок його нагрівання від стінки коробочки, температура якої підвищилася внаслідок теплообміну з електроплиткою. Усі оточуючі нас тіла і ми самі за будь-якої температури є джерелами теплового випромінювання, яке за своєю природою і властивостями подібне до світла і радіохвиль. Чим вища температура тіла, тим потужнішим є теплове випромінювання від нього. Ми не бачимо його оком, але сприймаємо шкірою, як жар, що йде від джерела. У нашому досліді розжарена електроплитка і була потужним джерелом теплового проміння, яке й сприйняв теплоприймач.

**Випромінювання — це вид теплообміну, який може відбуватися без проміжного середовища між тілами і зумовлений випусканням і поглинанням ними теплового проміння.**

Усі тіла не тільки випускають, а й поглинають теплове проміння. Щоб дослідити, як впливають властивості тіла на його здатність поглинати теплове проміння, повторимо наш дослід двічі: спочатку повернемо теплоприймач до електроплитки блискучою поверхнею, а потім — темною.

Досліди, подібні нашим, показали, що **тіла з темною поверхнею краще випромінюють і поглинають теплове проміння. Тіла, які мають світлу та блискучу поверхню, випромінюють і поглинають енергію гірше, ніж темні.**

Тепер можна відповісти на запитання, *для чого одні предмети фарбують темними фарбами, а інші — роблять блискучими?* Наприклад, чайник з блискучою поверхнею довше зберігає воду теплою, тому що така поверхня менше випромінює тепла, ніж темна. Вагони-холодильники фарбують у світлий колір, щоб вони не нагрівалися на сонці. Влітку ми звичайно носимо світлий одяг, а взимку — темний.

### **ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ**

- Середня температура тіла людини  $36,6^{\circ}\text{C}$  підтримується організмом за різноманітних умов життя і діяльності людини. У тканинах і органах її тіла безперервно відбуваються процеси окиснення, що супроводжуються виділенням теплоти. Більша частина енергії, яка отримується від перетравлення харчових продуктів, затрачається на механічну роботу, виконання якої також супроводжується виділенням тепла в організмі. Все це тепло розсіюється тілом людини в навколишнє середовище.
- Самопочуття людини значною мірою залежить від кількості теплоти, яку втрачає організм. Залежно від призначення приміщення, виду виконуваної роботи і вологості повітря нормальною для людини може бути температура навколишнього середовища від  $11$  до  $23^{\circ}\text{C}$ . Низькі температури прискорюють процеси вироблення теплоти в організмі. Підвищення температури викликає посилення потовиділення, яке є засобом регулювання температури організму. Однак організм людини здатний підтримувати власну температуру сталою тільки при зміні температури навколишнього середовища в невеликих межах. Наприклад, для людини, яка перебуває в стані спокою, у вологому повітрі температура тіла починає підвищуватися при температурі повітря вище від  $30^{\circ}\text{C}$ , а в сухому — від  $40^{\circ}\text{C}$ .
- Особливо чутливий організм людини до інтенсивності випромінювання.



Негативно впливає на нього випромінювання гарячих предметів. Великий вплив на самопочуття людини має температура поверхонь приміщень, з якими тіло людини обмінюється теплом внаслідок випромінювання. Зміна температури стін від 20 до 10 °C супроводжується збільшенням випромінювання тіла людини на 30 %.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке теплопровідність?
2. Що таке конвекція?
3. Що таке випромінювання?
4. Які явища природи пояснюються конвекцією?
5. Яку роль відіграє випромінювання в житті людини?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. В якому стані внутрішня енергія 1 кг води більша: в твердому, рідкому чи газоподібному?

Відповідь: внутрішня енергія 1 кг води в газоподібному стані більша, ніж у рідкому, а в твердому — менша, ніж у рідкому стані.

2. Як пояснити, що пожежник у спеціальному одязі спокійно стоїть у вогні і не відчуває його (мал. 237)?

Відповідь: тканина спецодягу виготовлена з матеріалів, які мають дуже низьку теплопровідність. Крім того, спецодяг має сріблястий колір і відбиває теплове проміння.

3. Поясніть, чому птахи з великими крилами (орли, шуліки) можуть триматися на одній висоті, не махаючи крилами.

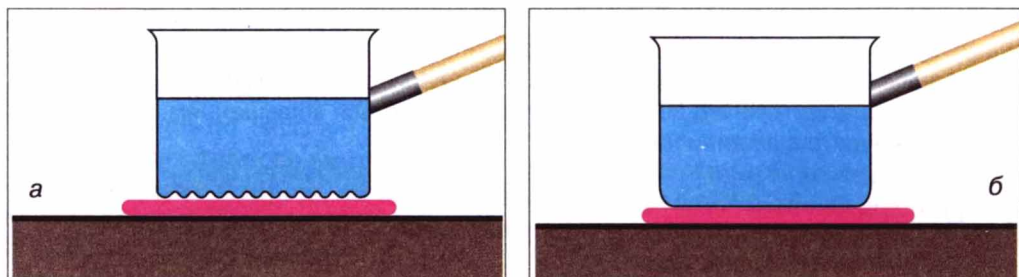
Відповідь: за рахунок висхідних потоків повітря, тобто конвекції.



Мал. 237

### Рівень А

344. Холодна і гаряча вода складається з однакових молекул. Чи однакова внутрішня енергія холодної і гарячої води однакової маси? Чому?
345. Чи змінилася внутрішня енергія чайної чашки, коли її переставили зі столу на полицю серванта?
346. Під час обробки матеріалів інструменти верстатів (різці, свердла, фрези) сильно нагріваються. Чому?
347. Чому, виконуючи вправи на канаті, не слід швидко опускатися, охопивши його руками?
348. Поясніть такі факти: а) борошно, яке сиплеться з-під каменя в млині, гаряче; б) кулькові підшипники машин нагріваються під час роботи менше, ніж підшипники ковзання.

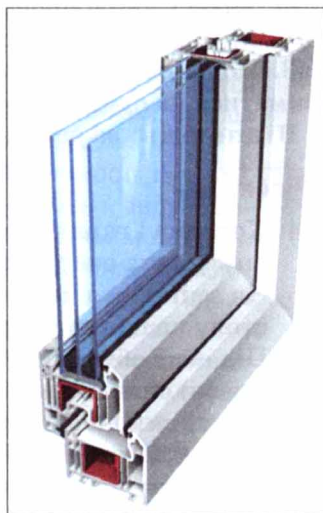


Мал. 238

349. Під час огляду космічного корабля після його повернення на Землю виявилось, що найбільше оплавилася і обгоріла поверхня того боку, яким корабель увійшов у земну атмосферу. Дайте пояснення.
350. Чому, коли варять варення, то намагаються користуватися дерев'яною ложкою, а не металевою?
351. З якою метою між димарем і дошками стелі кладуть шар азбесту?
352. Цегла здається на дотик теплішою за мрамур при тій самій температурі. Який матеріал має кращі теплоізоляційні властивості?
353. У якій з посудин швидше нагріється вода (мал. 238, а, б)?
354. З якою метою у вікна вставляють подвійне або потрійне скло (мал. 239)?
355. Чому в холодильних камерах м'ясокомбінатів або молокозаводів труби з охолоджувальною рідиною розміщують вгорі, біля стелі?
356. Чому в льоху прохолодно навіть у спеку?
357. З якою метою в стінах приміщень роблять вертикальні труби-колодязі, сполучені отворами з кімнатами? Де розміщуються ці отвори?
358. Чому холодильні установки, вагони-холодильники фарбують у світлий колір?
359. В якій сукні влітку менш спекотно: в білій чи темній? Поясніть, чому.
360. Чому зіпсувався медичний термометр, залишений через недогляд на підвіконні сонячного дня?
361. Влітку повітря в будинку нагрівається за рахунок тепла, що надходить крізь стіни, відчинені вікна і скло, яке пропускає сонячні промені. Про які види теплообміну йдеться в кожному випадку?

### Рівень Б

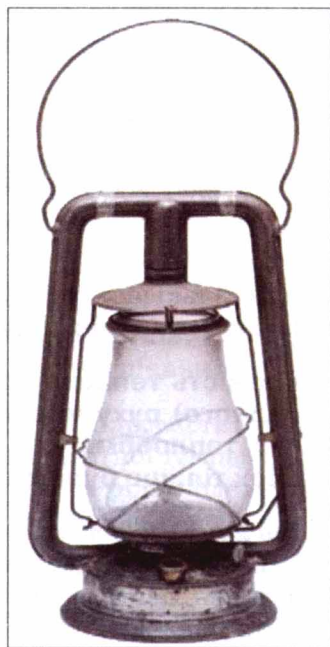
362. Чому погано розведена пилка нагрівається більше, ніж з нормальним розведенням зубів?
363. Після розрізання слюсарною ножівкою металевої деталі спостерігається нагрівання деталі і полотна ножівки. Внаслідок чого сталися такі зміни?



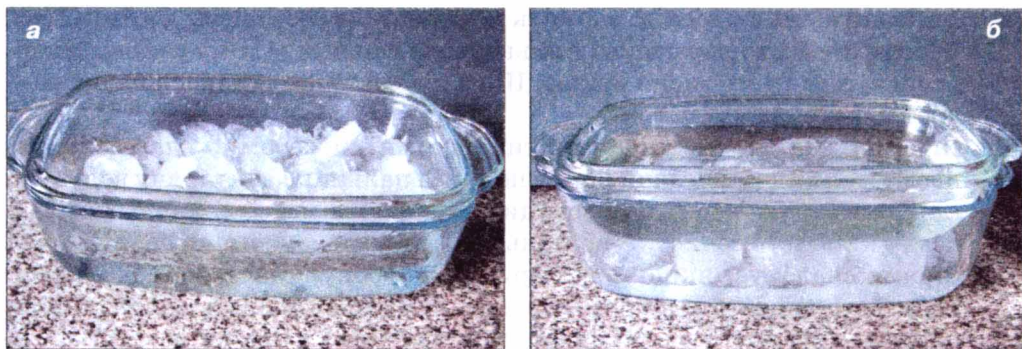
Мал. 239



364. Виконайте такий дослід: візьміть м'яку залізну або мідну дrottину діаметром 3—4 мм, перегніть її кілька разів в одному і тому самому місці і торкніться цього місця рукою. Що відчуєте? Чому сталася ця зміна з дrottиною?
365. Шматок свинцю можна нагріти різними способами: вдаряючи по ньому молотком, вносячи його у полум'я пальника або гарячу воду. Чи можна стверджувати, що в усіх цих випадках шматок свинцю отримав певну кількість теплоти; що збільшилася його внутрішня енергія?
366. Сірник спалахує, якщо його терти об коробку. Він також спалахує, коли його вносять у полум'я свічки. У чому спільність і відмінність причин, які зумовлюють спалахування сірника в цих випадках?
367. Чому покришки автомобільних коліс виготовляють з гуми, яка не розм'якшується й не втрачає міцності навіть при 100 °C і вищій температурі?
368. Як можна зігріти змерзлі руки, не використовуючи нагрітих предметів або теплих рукавичок?
369. Деяку масу води в одному випадку нагріли на 35 °C, а в другому — охолодили на 10 °C. Збільшилась чи зменшилась внутрішня енергія води в кожному випадку?
370. Виконайте такий дослід: опустіть алюмінієву і залізну ложки в гарячу воду. Яка з них швидше нагріється? Яка з них має кращу теплопровідність?
371. Чому шматки заліза і дерева на морозі здаються неоднаково холодними, а влітку в спекотний день бетонний стовп огорожі й залізна огорожа — неоднаково нагрітими?
372. Чому щільний вологий ґрунт має значно більшу теплопровідність, ніж сухий і розпушений? Що треба зробити, щоб прискорити прогрівання ґрунту на більшу глибину? З якою метою коткують ґрунт?
373. Чому радіатори водяного опалення в кімнаті встановлюють внизу і обов'язково біля вікна? Що було б, якби ці радіатори розмістили біля протилежної до вікна стіни?
374. Коли довільне змішування холодної і гарячої води відбуватиметься швидше: якщо в гарячу воду наливати холодну, чи в холодну наливати повільно гарячу в тій самій пропорції? Відповідь поясніть, перевірте на досліді, використовуючи при цьому термометр.
375. В якому димарі краще утворюється тяга: цегляному чи металевому, якщо вони мають однакові внутрішній діаметр і висоту?
376. Для чого у газових лампах використовують високе скло (мал. 240)?
377. Пасажири літака, який пролітає через проток, відчувають невелике струшування



Мал. 240



Мал. 241

- («бовтанку») в ті моменти, коли літак пролітає якраз над берегами протоки; а над водою літак летить рівно. Дайте пояснення.
378. На мал. 241, *a* в нижній посудині міститься вода, а у верхній — лід. На мал. 241, *б* — навпаки. В якій посудині (зліва чи справа) швидше охолоне рідина?
379. Сталевар, спостерігаючи крізь темні окуляри за процесом сталеваріння, часто додатково загороджує обличчя рукою. Чому він це робить?
380. В одному з двох однакових рідинних термометрів резервуар зачорнили, а після цього обидва термометри помістили в холодильник. Який термометр швидше покаже зниження температури і чому?
381. Земна атмосфера внаслідок своєї прозорості дуже слабо поглинає сонячного проміння й через це не нагрівається. Чому ж улітку буває спекотно навіть у тіні?
382. Чи зміниться висота польоту повітряної кулі, якщо вона в літній день опиниться в тіні від хмари?

### § 45

## КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ

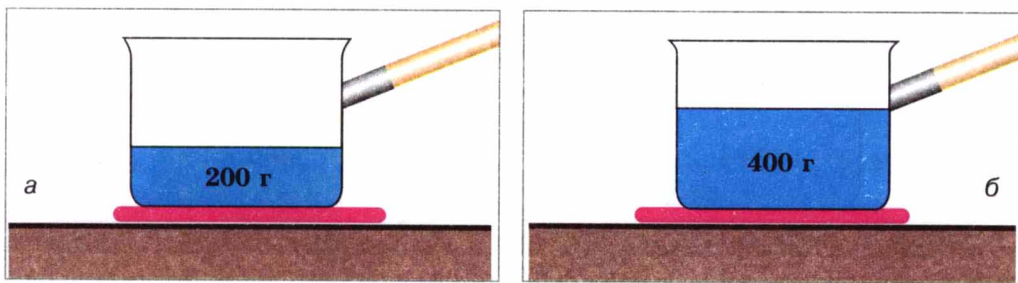
Для кількісного опису властивостей теплообміну застосовують спеціальні фізичні величини, однією з яких є **кількість теплоти**.

**Кількість теплоти показує, яка кінетична енергія хаотичного (безладного) руху молекул передалася від одного тіла до другого під час теплообміну, в результаті чого змінилася внутрішня енергія обох тіл, що були в тепловому контакті.**

*Від яких умов теплообміну залежить кількість теплоти?*

Усім вам, мабуть, доводилося нагрівати воду, і ви добре знаєте, що для нагрівання чайника, заповненого до краю водою, потрібна більша кількість теплоти, ніж для того самого чайника, наповненого до половини. Звідси випливає, що чим більша маса тіла, тим більшу кількість теплоти потрібно затратити, щоб змінити його температуру на одну й ту саму кількість градусів.





Мал. 242

◆ **Дослід 1.** На однакові нагрівники поставимо однакові посудини, в одній з яких налито 200 г води (мал. 242, *a*), а в другій — 400 г (мал. 242, *б*). Виміряємо початкову температуру води — вона однакова в обох посудинах. Нагріваючи воду до певної температури, побачимо, що посудину з водою масою 400 г потрібно гріти вдвічі довше, ніж посудину з водою масою 200 г, тобто їй слід надати удвічі більшої кількості теплоти. Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, залежить від маси цього тіла.

► **Чим більша маса тіла, тим більшу кількість теплоти треба надати йому, щоб нагріти до певної температури.**

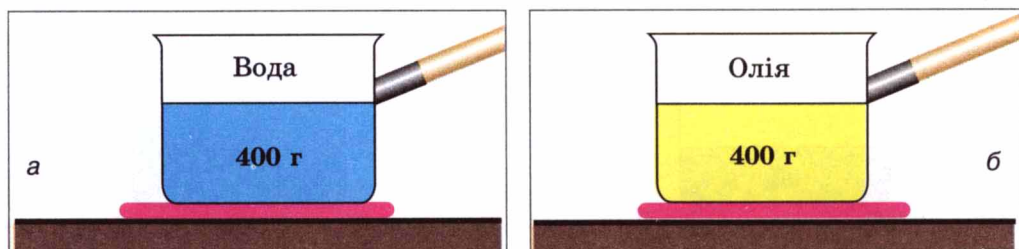
У той самий час, тіло, яке охолоджується, передає навколишньому середовищу тим більше кількості теплоти, чим більша його маса. Наприклад, якщо залишити остигати посудини з попереднього дослідів, то посудина, в якій маса води дорівнює 400 г, набуде кімнатної температури за час, удвічі більший, ніж та, в якій води 200 г, а відтак поверне і вдвічі більшу кількість теплоти.

◆ **Дослід 2.** Поставимо тепер посудину з водою кімнатної температури на нагрівник і нагріємо воду, наприклад, на 10 °С. Процес нагрівання триватиме деякий час, за який тілу буде передано певну кількість теплоти. Якщо ми вирішимо підняти температуру води ще на 10 °С, то процес нагрівання треба буде продовжити, і він триватиме такий самий час, який знадобився в першій частині дослідів. Зрозуміло, що при цьому воді буде передано додатково таку саму кількість теплоти, що й раніше. Отже, чим більша різниця кінцевої і початкової температур тіла під час нагрівання, тим більшої кількості теплоти він вимагає.

► **Чим більша різниця кінцевої і початкової температур тіла, тим більшу кількість теплоти йому буде передано під час нагрівання.**

◆ **Дослід 3.** Візьмемо дві однакові посудини, перша з яких містить 400 г води (мал. 243, *a*), а друга — 400 г олії (мал. 243, *б*) кімнатної температури і поставимо їх на однакові нагрівники. Отже, маси обох рідин однакові і нагріватимемо їх до одної температури, наприклад, до 40 °С.

Спостерігаючи за показаннями термометрів, занурених у кожну з рідин, побачимо, що олія набуде заданої температури першою. Щоб температура води зрівнялася з температурою олії, нагрівання води треба продовжити і надати їй додаткової кількості теплоти.



Мал. 243

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла до певної температури, залежить від того, з якої речовини складається тіло.

◆ **Дослід 4.** Нагріємо залізне та алюмінієве тіла однакової маси до певної температури, наприклад до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$  (мал. 244). Зануримо кожне з тіл в окремі посудини з рівною кількістю води кімнатної температури в кожній. Через певний час побачимо, що вода, в яку помістили алюмінієве тіло, нагрілася більше, ніж вода, в яку поклали залізне тіло.

Тіла з різних речовин однакової маси і температури, охолоджуючись, виділяють різну кількість теплоти.

Кількість теплоти — це теплова енергія, яку одержує або втрачає тіло під час теплообміну. Вона залежить від речовини, з якої складається тіло, маси цього тіла та різниці його кінцевої і початкової температур.

Кількість теплоти позначають великою латинською літерою  $Q$ .

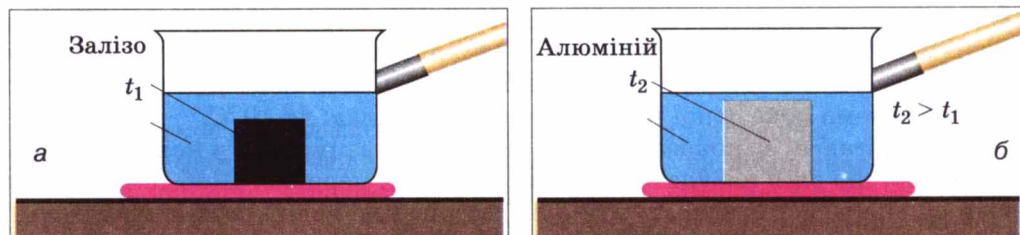
Одиницею кількості теплоти, як і енергії, є один джоуль ( $1\text{ Дж}$ ).

Використовують також кратні одиниці кількості теплоти: один кілоджоуль ( $1\text{ кДж}$ ) і один мегаджоуль ( $1\text{ МДж}$ ).

$$1\text{ кДж} = 1000\text{ Дж}; 1\text{ МДж} = 1\,000\,000\text{ Дж}.$$

Щоб підвищити температуру води масою  $1\text{ кг}$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , треба надати їй кількість теплоти, що дорівнює  $4200\text{ Дж}$ ; якщо нагрівати  $1\text{ кг}$  золота на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , то потрібна лише кількість теплоти, яка дорівнює  $130\text{ Дж}$ . Отже, кожна речовина масою  $1\text{ кг}$  для нагрівання на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  потребує певної кількості теплоти. Під час охолодження цих речовин масою  $1\text{ кг}$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , виділятимуться такі самі кількості теплоти.

Фізичну величину, що показує, яка кількість теплоти потрібна для зміни температури речовини масою  $1\text{ кг}$  на  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , називають питомою теплоємністю речовини.



Мал. 244



Питому теплоємність речовини позначають малою латинською літерою *c*. Одиницею питомої теплоємності речовини є один джоуль, поділений на один кілограм і один градус Цельсія ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).

У таблиці 7 наведено значення питомої теплоємності для багатьох речовин, що використовуються у промисловості й побуті.

Таблиця 7

Питома теплоємність речовин

| Речовина | $c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ | Речовина | $c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ |
|----------|-------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------|
| Вода     | 4 200                                                 | Сталь    | 500                                                   |
| Спирт    | 2 500                                                 | Залізо   | 460                                                   |
| Ефір     | 2 350                                                 | Нікель   | 460                                                   |
| Гас      | 2 100                                                 | Мідь     | 380                                                   |
| Лід      | 2 100                                                 | Латунь   | 380                                                   |
| Повітря  | 1 000                                                 | Цинк     | 380                                                   |
| Алюміній | 920                                                   | Срібло   | 250                                                   |
| Пісок    | 880                                                   | Олово    | 250                                                   |
| Цегла    | 880                                                   | Свинець  | 140                                                   |
| Скло     | 840                                                   | Ртуть    | 130                                                   |
| Чавун    | 540                                                   | Золото   | 130                                                   |

Що означає вираз «питома теплоємність срібла дорівнює  $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ »?

Цей вираз означає, що для нагрівання 1 кг срібла на 1 °C потрібно затрати кількість теплоти, яка дорівнює 250 Дж, або під час охолодження 1 кг срібла на 1 °C виділяється кількість теплоти, яка дорівнює 250 Дж.

Аналізуючи табл. 7, бачимо, що вода має дуже велику питому теплоємність. Тому вода в морях і океанах, нагріваючись улітку, вбирає велику кількість теплоти, і в місцях поблизу великих водойм улітку не буває так жарко, як у місцях, віддалених від води. Взимку вода охолоджується й віддає значну кількість теплоти, через те зима в цих місцях не така люта. Завдяки великій питомій теплоємності воду широко використовують у системах водяного опалення, для охолодження двигунів.

Раніше з результатів дослідів було зроблено висновок, що для нагрівання будь-якого тіла потрібно затратити певну кількість теплоти, яка пропорційна масі тіла, різниці його кінцевої і початкової температур та залежить від роду речовини, з якої воно виготовлене.

А як обчислити кількість теплоти, коли задано певні значення всіх цих величин?

Наприклад, треба обчислити, яку кількість теплоти одержала під час нагрівання мідна деталь масою 5 кг, якщо її температура збільшилася з 20 до 520 °C.

У табл. 7 знаходимо значення питомої теплоємності міді: вона дорів-

нює  $380 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Це означає, що для нагрівання міді масою 1 кг на  $1^\circ\text{C}$  потрібно 380 Дж. А для нагрівання міді масою 5 кг на  $1^\circ\text{C}$  потрібна в 5 разів більша кількість теплоти, тобто  $380 \text{ Дж} \cdot 5 = 1900 \text{ Дж}$ . Для нагрівання міді масою 5 кг на  $500^\circ\text{C}$  потрібна ще в 500 разів більша кількість теплоти, тобто  $1900 \text{ Дж} \cdot 500 = 950\,000 \text{ Дж} = 950 \text{ кДж}$ .

**Щоб обчислити кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, або кількість теплоти, яку виділяє тіло під час охолодження, треба питому теплоємність речовини помножити на масу тіла і на різницю кінцевої і початкової температур тіла.**

Математично це правило записують у вигляді такої формули:

$$Q = cm(t_2 - t_1),$$

де  $Q$  — кількість теплоти;  $c$  — питома теплоємність речовини;  $m$  — маса тіла;  $t_1$  — початкова температура тіла;  $t_2$  — кінцева температура тіла.

**Щоб визначити масу тіла, яке нагрівається або охолоджується, потрібно кількість теплоти поділити на питому теплоємність речовини й на різницю кінцевої і початкової температур тіла:**

$$m = \frac{Q}{c(t_2 - t_1)}.$$

**Щоб визначити питому теплоємність речовини, з якої виготовлене тіло, потрібно кількість теплоти поділити на масу тіла й на різницю його кінцевої і початкової температур:**

$$c = \frac{Q}{m(t_2 - t_1)}.$$

**Щоб визначити, на скільки градусів змінилася температура тіла, потрібно кількість теплоти поділити на питому теплоємність речовини й на масу тіла:**

$$(t_2 - t_1) = \frac{Q}{cm}.$$

## ▶ ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Одиницею кількості теплоти з давніх-давен була особлива одиниця — **калорія** (від латинського слова *калор* — тепло, жар).
- Калорія (кал) — це кількість теплоти, яку треба передати 1 г води для нагрівання її на  $1^\circ\text{C}$ . Можна сказати також, що калорія — це кількість теплоти, яку втрачає 1 г води, охолоджуючись на  $1^\circ\text{C}$ .



- Користуються також більшою одиницею кількості теплоти — **кілокалорією** (це можна побачити в написах на консервах):

$$1 \text{ ккал} = 1000 \text{ кал};$$

$$1 \text{ кал} = 4,19 \text{ Дж}.$$



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке кількість теплоти?
2. Від яких фізичних величин залежить кількість теплоти, потрібна для нагрівання тіла?
3. Назвіть одиниці кількості теплоти.
4. Що таке питома теплоємність речовини? Що вона показує?

## § 46 ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

Тіла з різними температурами обмінюються між собою теплотою. Тіла, більш нагріті, віддають частину своєї енергії тілам, менш нагрітим, доти, доки в них всіх не зрівняється температура.

**Кількість теплоти, яку віддають всі тіла, що охолоджуються, дорівнює кількості теплоти, одержаної всіма тілами, що нагріваються (за умови, що при цьому не відбувається перетворення тепла в інші види енергії).**

Завжди під час розрахунків, що стосуються обміну енергією між тілами, треба врахувати всю ту кількість теплоти, яку в теплових явищах, що розглядаються, віддають тіла, і ту кількість теплоти, яку одержують інші тіла, що беруть участь у тих самих явищах: обидві ці кількості теплоти мають бути рівні між собою.

Застосуємо це твердження до змішування двох рідин різної температури.

Позначимо масу більш холодної рідини через  $m_1$ , її питому теплоємність —  $c_1$  і її температуру —  $t_1$ . Ті самі величини для більш нагрітої рідини відповідно будуть:  $m_2$ ,  $c_2$ ,  $t_2$ .

Якщо обидві рідини змішати в одній посудині (для спрощення задачі вважатимемо, що вона виготовлена з речовини, яка є повним теплоізолятором і не бере участі в теплообміні), то молекули гарячої рідини будуть віддавати енергію молекулам холодної рідини доти, доки температура суміші рідин не набуде певного проміжного значення. Позначимо остаточну температуру суміші великою грецькою літерою  $\Theta$  (тета). Тоді:

кількість теплоти, яку віддала рідина, що охолоджується, визначатиметься такою формулою:

$$Q_2 = c_2 m_2 (t_2 - \Theta),$$

а кількість теплоти, одержаної рідиною, що нагрівається, такою:

$$Q_2 = c_1 m_1 (\Theta - t_1) .$$

Оскільки кількість теплоти, відданої рідиною, що охолоджується, дорівнює кількості теплоти, одержаної рідиною, що нагрівається тобто ( $Q_2 = Q_1$ ), можемо прирівняти праві частини цих виразів. Одержимо таку рівність:

$$c_2 m_2 (t_2 - \Theta) = c_1 m_1 (\Theta - t_1) .$$

Це рівняння називають **рівнянням теплового балансу**. Свого часу для випадку води його вивів петербурзький академік Георг Ріхман.

З рівняння теплового балансу можна, якщо решта величин відомі, визначити масу одної з речовин, що беруть участь у змішуванні, або її початкову температуру чи температуру суміші, а також значення невідомої питомої теплоємності.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що показує рівняння теплового балансу?
2. Що треба знати, щоб обчислити кількість теплоти, яку одержує тіло під час нагрівання, або яка виділяється під час охолодження тіла?
3. Який висновок можна зробити з досліду на змішування холодної і гарячої рідини? Чому на практиці ці енергії не дорівнюють одна одній?

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12

### ВИВЧЕННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ ПРИ ЗМІШУВАННІ ВОДИ РІЗНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ

- **Мета роботи:** визначити кількість теплоти, яку віддала гаряча вода під час теплообміну, й кількість теплоти, яку одержала холодна вода. Пояснити результати.
- **Прилади і матеріали:** калориметр, вимірювальний циліндр або мензурка, термометр, склянка з холодною водою, посудина з гарячою водою.

**Калориметр** (мал. 245) — прилад, який складається з двох посудин: внутрішня — з алюмінію, зовнішня може бути з пластмаси. Простір між посудинами заповнений повітрям і контакт між їх поверхнями практично відсутній. Така будова приладу зменшує теплообмін речовини у внутрішній посудині із зовнішнім середовищем.



Мал. 245

### Хід роботи

1. Виміряйте масу внутрішньої посудини калориметра  $m_k$ .



2. Налийте у склянку  $m_x = 100$  г холодної води, а в калориметр —  $m_r = 100$  г гарячої води. Виміряйте термометром температури  $t_x$  холодної та  $t_r$  гарячої води. Результати занесіть у таблицю.
3. Холодну воду вилийте в калориметр з гарячою водою, помішайте (обережно) термометром утворену суміш і виміряйте її температуру  $t_c$ .

Таблиця

| Маса калориметра, $m_k$ , кг | Маса гарячої води, $m_r$ , кг | Маса холодної води, $m_x$ , кг | Температура гарячої води, $t_r$ , °C | Температура холодної води, $t_x$ , °C | Температура суміші, $t_c$ , °C | Кількість теплоти, одержаної холодною водою $Q_1$ , Дж | Кількість теплоти, відданої гарячою водою $Q_2$ , Дж | Кількість теплоти, одержаної калориметром $Q_3$ , Дж |
|------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|------------------------------------------------------|
|                              |                               |                                |                                      |                                       |                                |                                                        |                                                      |                                                      |

4. Визначте за формулою  $Q_1 = cm_x(t_c - t_x)$  кількість теплоти, яку одержала холодна вода від гарячої.
5. Визначте за формулою  $Q_2 = cm_r(t_r - t_c)$  кількість теплоти, яку віддала гаряча вода холодній ( $c = 4\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
6. Визначте за формулою  $Q_3 = c_k m_k(t_c - t_x)$  кількість теплоти, яку одержала від гарячої води внутрішня посудина калориметра ( $c_k = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
7. Перевірте рівняння теплового балансу:  $Q_2 = Q_1 + Q_3$ . Порівняйте одержані результати, зробіть висновки.  
На рівнянні теплового балансу ґрунтується визначення питомої теплоємності речовини.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 13

ВИЗНАЧЕННЯ ПИТОМОЇ ТЕПЛОЄМНОСТІ РЕЧОВИНИ

- **Мета роботи:** використовуючи рівняння теплового балансу, визначити питому теплоємність твердого тіла.
- **Прилади і матеріали:** склянка з водою, калориметр, терези (динамометр), набір важків, металевий циліндр на нитці, посудина з гарячою водою, термометр.

Хід роботи

1. Виміряйте масу внутрішньої посудини калориметра  $m_k$ .
2. Налийте в калориметр води  $m_x = 100 \div 150$  г кімнатної температури. Виміряйте її температуру  $t_x$ . Результати занесіть у таблицю.
3. Нагрійте циліндр у посудині з гарячою водою. Виміряйте її температуру (ця температура й буде початковою температурою циліндра  $t_r$ ). Потім опустіть його в калориметр з водою.

- Виміряйте температуру  $t_c$  води в калориметрі після опускання циліндра.
- Визначте за формулою  $Q_1 = c m_x (t_c - t_x)$  кількість теплоти, яку одержала холодна вода від гарячого тіла ( $c = 4\,200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
- Визначте за формулою  $Q_2 = c_T m_T (t_T - t_c)$  кількість теплоти, яку віддало гаряче тіло холодній воді.
- Визначте за формулою  $Q_3 = c_K m_K (t_c - t_x)$  кількість теплоти, яку отримала від гарячої води внутрішня посудина калориметра ( $c_K = 920 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ ).
- Використавши рівняння теплового балансу  $Q_2 = Q_1 + Q_3$ , тобто:

$$c_T m_T (t_T - t_c) = c m_x (t_c - t_x) + c_K m_K (t_c - t_x),$$

визначте питому теплоємність твердого тіла (циліндра):

$$c_T = \frac{c m_x (t_c - t_x) + c_K m_K (t_c - t_x)}{m_T (t_T - t_c)}.$$

Отримане значення питомої теплоємності порівняйте з її табличним значенням і визначте, який це метал.

| Маса калориметра<br>$m_K$ , кг | Маса холодної води<br>$m_x$ , кг | Початкова температура тіла<br>$t_T$ , $^\circ\text{C}$ | Температура холодної води<br>$t_x$ , $^\circ\text{C}$ | Температура нагрітої тілом води<br>$t_c$ , $^\circ\text{C}$ | Кількість теплоти, одержаної холодною водою<br>$Q_1$ , Дж | Кількість теплоти, відданої гарячим тілом воді<br>$Q_2$ , Дж | Кількість теплоти, одержаної калориметром<br>$Q_3$ , Дж | Питома теплоємність речовини тіла<br>$c_T$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ |
|--------------------------------|----------------------------------|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                |                                  |                                                        |                                                       |                                                             |                                                           |                                                              |                                                         |                                                                                                 |

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### > Розв'язуємо разом

1. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг води нагріти від 20 до 100  $^\circ\text{C}$ ?

Дано:

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ } ^\circ\text{C}$$

Розв'язання.

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, визначається за формулою:

$$Q = c m (t_2 - t_1).$$



$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$Q = ?$

Відповідь:  $Q = 672 \text{ кДж}$ .

$$Q = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 2 \text{ кг} \cdot (100 ^\circ\text{C} - 20 ^\circ\text{C}) = 672\,000 \text{ Дж} = 672 \text{ кДж}.$$

2. Яка кількість теплоти виділиться під час охолодження 3 кг свинцю від 320 до 20 °С?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 320 ^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 20 ^\circ\text{C}$$

$$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

$Q = ?$

Розв'язання.

Кількість теплоти, яка потрібна для нагрівання тіла, визначається за формулою

$$Q = cm(t_2 - t_1).$$

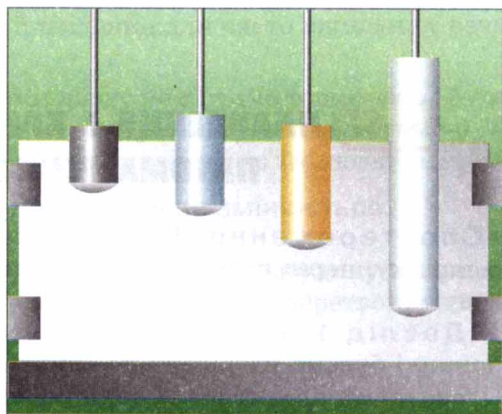
$$Q = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot 3 \text{ кг} \cdot (20 ^\circ\text{C} - 320 ^\circ\text{C}) = -126\,000 \text{ Дж} = -126 \text{ кДж}.$$

Знак «-» означає, що енергія виділилася під час охолодження тіла.

Відповідь:  $Q = -126 \text{ кДж}$ .

### Рівень А

383. Чотири циліндри — алюмінієвий, латунний, залізний і свинцевий, що мають однакову масу, нагріли у воді до однакової температури і одночасно поставили на парафінову пластинку (мал. 246). Чи однакову кількість теплоти віддали ці циліндри парафіну? Чи однакова кількість теплоти потрібна для нагрівання 1 кг кожної з цих речовин на 1 °С?
384. В одну пробірку налили воду, в другу — таку саму масу олії такої самої температури. Яка з цих рідин швидше нагріватиметься, якщо занурити їх у гарячу воду? Чи однакова кількість теплоти потрібна для їх нагрівання до температури гарячої води?
385. У дві посудини з однаковою кількістю води, температура якої 20 °С, опускають нагріті до 100 °С однакової маси шматки заліза і міді. В якій посудині температура води буде вищою і чому?
386. У склянку перед наливанням окропу кладуть чайну ложку. З якою метою це роблять і яка ложка — алюмінієва чи срібна однакової маси — більш придатна для цього?
387. Сталеві деталі, нагріті у спеціальних печах до температури 800 °С, гартують, занурюючи їх у воду або масло. В якій з цих рідин деталь швидше охолоджується і чому?
388. Чому вода є найкращою рідиною для: а) водяного опалення будинків; б) для охолодження двигунів автомобілів і тракто-



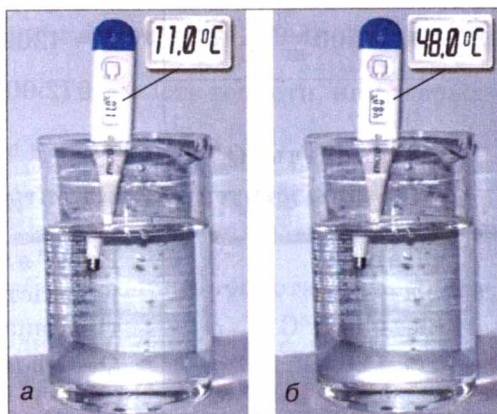
Мал. 246

рів; в) охолодження нагрітих металевих деталей; г) медичних грілок; д) гасіння пожежі?

389. Чому стержні паяльників виготовляють з червоної міді, а не використовують для цього залізо?

390. Яку кількість теплоти потрібно надати 1 кг води, щоб підвищити її температуру від 20 до 100 °С?

391. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб нагріти на плиті алюмінієву сковороду масою 500 г від 20 до 220 °С?



Мал. 247

### Рівень Б

392. Яку кількість теплоти віддасть під час гартування сталева деталь, нагріта до температури 800 °С? Маса деталі дорівнює 2 кг, а вода нагрівається до температури 50 °С.

393. На електроплитці нагріли 2 л води (мал. 247, а, б). Яку кількість теплоти одержала вода?

394. У радіатори водяного опалення надходить вода температурою 80 °С і виходить з них температурою 60 °С. Яку кількість теплоти віддає за добу вода, якщо за 1 год через радіатори протікають 120 л води?

395. Температура молока під час доїння корів дорівнює 37 °С. Для транспортування його охолоджують до температури 4 °С. Яка кількість теплоти виділяється при цьому, якщо середній удій на фермі дорівнює 800 кг? Питома теплоємність молока —  $3900 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$ . Скільки води можна нагріти за рахунок виділеного тепла від 0 °С до 30 °С, щоб використати її для обігрівання приміщення ферми?

396. Яку масу води можна нагріти на 10 °С наданням 1 кДж теплоти?

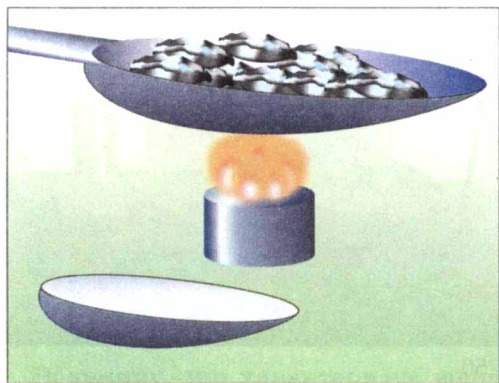
## § 47

### ПЛАВЛЕННЯ І КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ

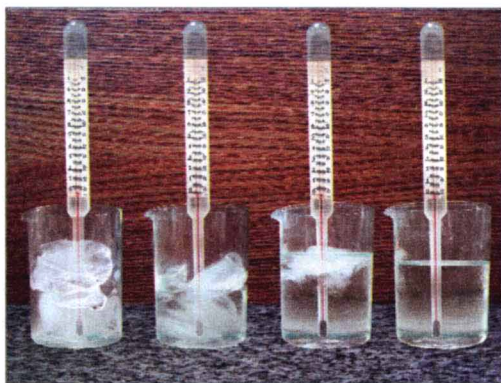
• **Спостереження.** Виймемо з морозильної камери лід, покладемо його в тарілку; через певний час він почне танути і повністю перетвориться на воду.

◆ **Дослід 1.** Візьмемо кусочки олова або свинцю, помістимо їх у сталеву ложку і будемо нагрівати на спиртівці або газовому пальнику (мал. 248). Олово почне плавитися і повністю перейде в рідкий стан. Приймемо ложку з рідким оловом з полум'я пальника. Олово почне кристалізуватися і пов-





Мал. 248



Мал. 249

ністю перетвориться на тверде тіло, яке матиме форму ложки.

Отже, нагріваючи тіла, їх можна перевести з твердого стану в рідкий, і, навпаки, охолоджуючи — з рідкого стану в твердий.

**Процес переходу речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням. Процес переходу речовини з рідкого стану в твердий називають кристалізацією (твердненням).**

Взимку, восени, навесні, коли температура повітря може бути  $0^{\circ}\text{C}$ , тануть сніг і лід, але водночас замерзає вода. При  $0^{\circ}\text{C}$  сніг і лід тануть (плавляться), а вода замерзає (твердне).

На Півночі, в Антарктиді, де температура повітря може опускатися нижче  $-40^{\circ}\text{C}$ , не можна користуватися ртутним термометром, бо ртуть твердне при температурі  $-39^{\circ}\text{C}$ . Там використовують спиртові термометри, тому що спирт замерзає при температурі  $-114^{\circ}\text{C}$ .

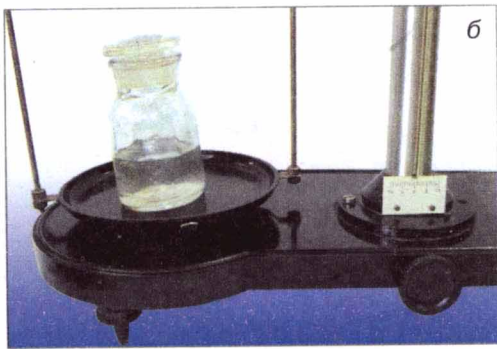
Кожна речовина плавиться або кристалізується за певної температури. Температуру, за якої речовина плавиться, називають **температурою плавлення**, а за якої твердне, — **температурою кристалізації**. З досвіду відомо, що речовини тверднуть при тій самій температурі, при якій плавляться. Під час плавлення тіла **поглинають** теплоту, а під час твердження — теплоту **виділяють**. Значення температури плавлення для часто вживаних речовин подано у таблиці 8 на с. 193.

◆ **Дослід 2.** У посудину з грудочками льоду помістимо термометр і будемо її підігрівати (мал. 249). Лід танутиме, а термометр показуватиме  $0^{\circ}\text{C}$ . Поки весь лід не розтане, температура ( $0^{\circ}\text{C}$ ) у посудині не змінюватиметься.

▶ **Під час плавлення речовини температура її не змінюється.**

◆ **Дослід 3.** Поставимо на шальку терезів закриту посудину з льодом, зрівноважимо терези (мал. 250, а). Через якийсь час лід перетвориться на воду. Рівновага терезів не порушиться (мал. 250, б).

▶ **Під час переходу речовини з одного стану в інший її маса не змінюється.**



Мал. 250

◆ **Дослід 4.** Наллємо в посудину води і щільно її закриємо. Помістимо посудину з водою в холодильну камеру. Коли вода замерзне, пляшка трісне, тому що об'єм льоду більший, ніж води (мал. 251).

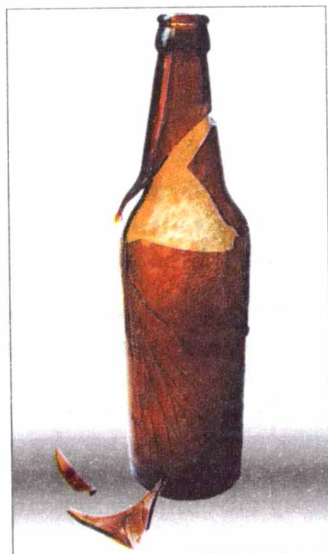
▶ Під час переходу речовини з одного стану в інший змінюється її густина, а, отже, і об'єм даної маси речовини.

Тепер з'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб розплавити кристалічне тіло при температурі плавлення або яка виділяється під час його кристалізації.

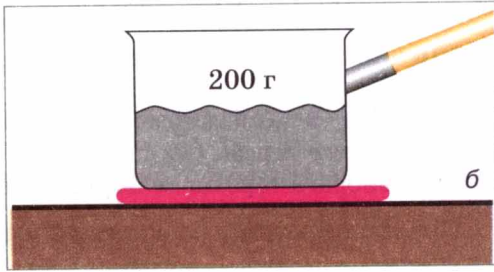
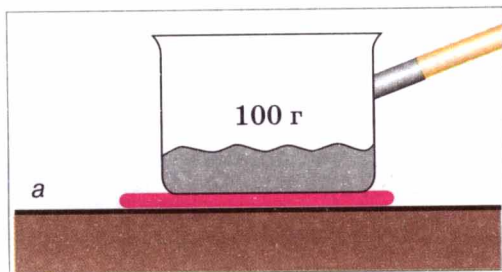
◆ **Дослід 5.** В одній посудині будемо плавити 100 г свинцю (мал. 252, а), а в другій — 200 г (мал. 252, б). Якщо нагрівники однакові, то побачимо, що для плавлення 200 г свинцю треба затратити більшу кількість теплоти, ніж для 100 г.

▶ Кількість теплоти, яка потрібна для плавлення тіла, залежить від його маси.

◆ **Дослід 6.** На однакових нагрівниках в одній посудині будемо плавити 100 г свинцю (мал. 253, а), а в другій — 100 г олова (мал. 253, б). У результаті дослідів побачимо, що для плавлення олова потрібно затратити більшу кількість теплоти, ніж для плавлення свинцю.

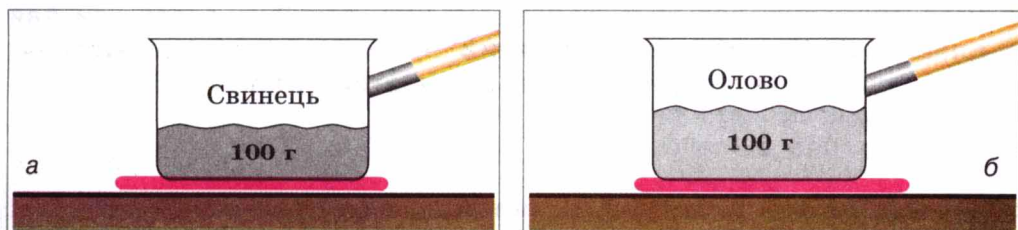


Мал. 251



Мал. 252





Мал. 253

Кількість теплоти, яка потрібна для плавлення тіла, залежить від роду речовини, з якої виготовлене тіло.

Величину, що характеризує енергетичні затрати на плавлення певної речовини, назвали **питомою теплою плавлення речовини**. Її позначають малою грецькою літерою  $\lambda$  (лямбда). Одиницею питомої теплоти плавлення речовини в СІ є один джоуль на кілограм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ).

Питому теплоту плавлення речовини визначають за допомогою дослідів. Було встановлено, що питома теплота плавлення льоду дорівнює  $340\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$  ( $3,4 \cdot 10^5 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ). Це означає, що для перетворення бруска льоду масою 1 кг за температури плавлення  $0^\circ\text{C}$  на воду потрібно затратити 340 000 Дж енергії. Під час зворотного процесу — кристалізації — така сама кількість теплоти виділиться.

**Питома теплота плавлення речовини** — фізична величина, що показує, яку кількість теплоти потрібно надати тілу масою 1 кг, щоб перетворити його на рідину при температурі плавлення.

З дослідів визначено питому теплоту плавлення для кожної речовини, значення якої для часто вживаних речовин подано у таблиці 8.

Таблиця 8

**Питома теплота плавлення речовин**  
(при температурі плавлення і нормальному атмосферному тиску)

| Речовина | Питома теплота плавлення, $\lambda$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ | Температура плавлення (кристалізації), $^\circ\text{C}$ | Речовина     | Питома теплота плавлення, $\lambda$ , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ | Температура плавлення (кристалізації), $^\circ\text{C}$ |
|----------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|--------------|---------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------|
| Алюміній | 393 000                                                             | 660                                                     | Сталь, чавун | 85 000 — 140 000                                                    | 1100 — 1500                                             |
| Лід      | 332 400                                                             | 0                                                       | Золото       | 67 000                                                              | 1064                                                    |
| Залізо   | 270 000                                                             | 1535                                                    | Водень       | 58 600                                                              | – 259                                                   |
| Мідь     | 213 000                                                             | 1085                                                    | Олово        | 59 000                                                              | 232                                                     |
| Вольфрам | 185 000                                                             | 3387                                                    | Свинець      | 24 300                                                              | 327                                                     |
| Спирт    | 105 000                                                             | – 98                                                    | Кисень       | 13 800                                                              | – 218                                                   |
| Срібло   | 87 300                                                              | 962                                                     | Ртуть        | 11 700                                                              | – 39                                                    |

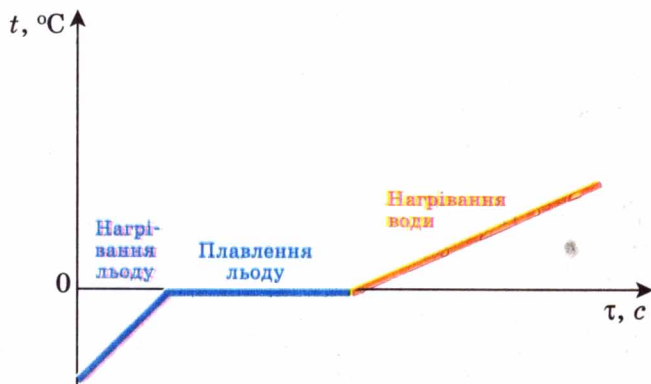
Щоб обчислити кількість теплоти  $Q$ , яку потрібно затратити для плавлення тіла масою  $m$ , узятото при температурі плавлення, треба питому теплоту плавлення  $\lambda$  помножити на масу тіла:

$$Q = \lambda m,$$

де  $Q$  — кількість теплоти;  $\lambda$  — питома теплота плавлення речовини;  $m$  — маса тіла.

Кількість теплоти, яка виділяється під час тверднення тіла масою  $m$ , також визначають за цією формулою.

Процеси нагрівання і кристалізації можна зобразити графічно. По осі  $Oy$  відкладаємо значення температури речовини, а по осі  $Ox$  — час нагрівання і плавлення речовини. Наприклад, на мал. 254 графічно зображено процеси нагрівання і плавлення льоду та нагрівання води. Графік нагрівання і плавлення речовини складається із трьох ділянок: для нагрівання льоду — це пряма лінія з певним кутом нахилу, який залежить від значення питомої теплоємності речовини: чим більше її значення, тим менший нахил, температура льоду зростає прямо пропорційно часу нагрівання; для плавлення льоду — це горизонтальна лінія, температура суміші води і льоду залишається сталою і дорівнює температурі плавлення льоду доти, доки весь лід не розтане; для нагрівання утвореної води — пряма лінія, кут нахилу якої визначається питомою теплоємністю води. Її значення більше, ніж для льоду, тому і нахил менший, температура води зростає прямо пропорційно часу.



Мал. 254



#### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке плавлення?
2. Що називають кристалізацією?
3. Як змінюється температура тіла під час плавлення і кристалізації?
4. Як змінюється маса тіла під час переходу його з твердого стану в рідкий і навпаки?
5. Від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити, для розплавлення кристалічного тіла або яка виділяється під час його кристалізації?
6. Що таке питома теплота плавлення речовини?



## ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

## &gt; Розв'яжемо разом

1. Користуючись таблицею 8, з'ясуйте, в якому стані знаходяться метали: срібло, золото, мідь, алюміній, вольфрам, сталь при температурі  $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Відповідь: срібло, алюміній — у рідкому стані; золото, мідь, вольфрам, сталь — у твердому стані.

2. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб розплавити  $1\text{ кг}$  свинцю, взятого при температурі  $27\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

Дано:

$$m = 1\text{ кг}$$

$$t = 27\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_{\text{пл}} = 327\text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$c = 130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$\lambda = 24\,300 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$Q = ?$

Розв'язання.

Для того, щоб розплавити свинець, його потрібно нагріти до температури плавлення, а потім розплавити. Кількість теплоти, яку потрібно затратити на нагрівання свинцю, визначаємо за формулою:  $Q_1 = cm(t_{\text{пл}} - t)$ .

Кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб розплавити свинець, визначаємо за формулою:  $Q_2 = \lambda m$ . Тоді кількість теплоти, затрачену на нагрівання і плавлення свинцю, визначимо так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_{\text{пл}} - t) + \lambda m = m(c(t_{\text{пл}} - t) + \lambda).$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$Q = 1\text{ кг} \left( 130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} (327\text{ }^{\circ}\text{C} - 27\text{ }^{\circ}\text{C}) + 24\,300 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \right) = 63\,300\text{ Дж} = 63,3\text{ кДж}.$$

Відповідь:  $Q = 63\,300\text{ Дж} = 63,3\text{ кДж}$ .

## Рівень А

397. У воді плаває лід (температура води і льоду однакова —  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ). Один учень стверджує, що вода замерзне, а другий — що лід розтане. Розв'яжіть суперечку.
398. Чому олово можна розплавити в полум'ї свічки, а залізо — ні?
399. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб розплавити  $2\text{ кг}$  срібла, взятого при температурі плавлення?
400. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб розтопити  $10\text{ кг}$  льоду, взятого при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ? Поясніть розв'язок?
401. Яку масу золота можна розплавити, затративши  $125\text{ кДж}$  теплоти?
402. Яка кількість теплоти виділиться під час замерзання води масою  $5\text{ кг}$  при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?

## Рівень Б

403. Весною, коли температура повітря набагато вища за  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , лід ще тривалий час не тане і, навпаки, восени, коли температура повітря нижча за  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ , вода не відразу замерзає. Чому?
404. Чи можна розплавленим металом заморозити воду?

405. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб розплавити 2 кг олова, взятого при температурі  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
406. Яку кількість теплоти треба затратити, щоб повністю розплавити свинцеву штабу масою 4 кг, взяту при температурі  $7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ?
407. Алюмінієву штабу, що має масу 5 кг, взято при температурі  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Чи можна повністю розплавити таку штабу, надавши їй 500 кДж енергії?
408. Для якої речовини зображено на графіку (мал. 255) процеси нагрівання і плавлення?



Мал. 255

## § 48

## ВИПАРОВУВАННЯ І КОНДЕНСАЦІЯ РІДИН. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРООУТВОРЕННЯ

• **Спостереження 1.** Влітку, після того як пройде дощ, калюжі швидко висихають; увечері, коли повітря стає холоднішим, випадає роса. Якщо залишити на вогні посудину з водою, то через деякий час води в посудині не залишиться, тому що вона википить. Отже, **рідини можуть випаровуватися, тобто переходити у газоподібний стан.** Легко переконатися, що чим вища температура, тим інтенсивніше відбувається цей процес. Так, улітку калюжі висихають швидше, ніж навесні або восени.

▶ **Процес переходу рідини в пару (в газоподібний стан) називають пароутворенням.**

Є два способи переходу рідини у газоподібний стан: випаровування і кипіння.

▶ **Випаровування — це пароутворення, яке відбувається з вільної поверхні рідини.**

Випаровування відбувається за будь-якої температури, але швидкість його залежить від кількох причин. Щоб переконатися у цьому, виконаємо такі досліди.

◆ **Дослід 1.** На папір капнемо ефіру, води, спирту, олії. Спочатку випарується ефір, потім — спирт, вода, а олія висихатиме кілька днів.

▶ **Швидкість випаровування залежить від виду рідини.**

◆ **Дослід 2.** Наллємо однакову кількість води у склянку і широку тарілку. Вода спочатку випарується з тарілки, а потім — зі склянки.



Швидкість випаровування залежить від площі поверхні рідини.

◆ **Дослід 3.** Одну тарілку з водою поставимо на столі в кімнаті, а другу — на батарею водяного опалення або інше тепле місце. Вода спочатку випарується в тій тарілці, яка стоїть у теплішому місці.

Швидкість випаровування залежить від температури рідини.

• **Спостереження 2.** Випрану білизну розвішують для просушування. У суху вітряну теплу погоду білизна висушується набагато швидше, ніж у тиху або прохолодну погоду.

Швидкість випаровування залежить від наявності потоків повітря і його вологості.

Отже, знаючи причини, від яких залежить швидкість випаровування, ми можемо пояснити тепер, для чого, наприклад, переливають чай зі склянки в блюдце, дмуть на гарячий борщ чи кашу, користуються віялом при високій температурі повітря.

За певної температури (**температури кипіння**) рідини починають інтенсивно випаровуватися не лише з поверхні, а й зсередини, з утворенням бульбашок. Це явище називають **кипінням** (мал. 256).

Кипіння — це інтенсивне пароутворення не тільки з вільної поверхні рідини, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, які при цьому виникають.

Значення температури кипіння рідин залежить від атмосферного тиску. У таблиці 9 на с. 199 подано значення температури кипіння деяких рідин при нормальному атмосферному тиску: вода кипить при температурі  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ , ацетон — при  $56\text{ }^{\circ}\text{C}$ , рідкий кисень — при мінус  $183\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

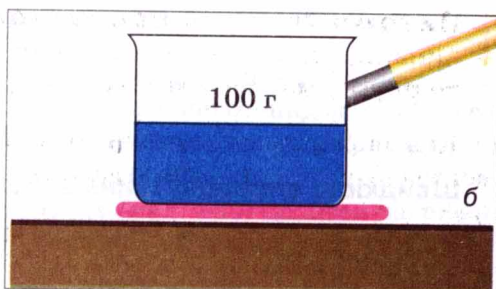
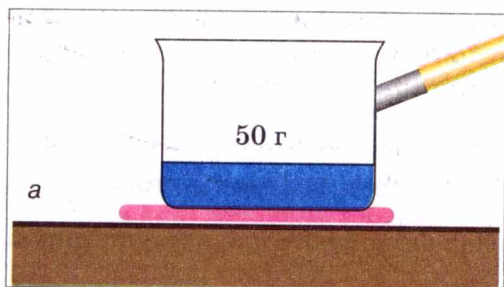
З дослідів відомо, що з охолодженням газів до певної температури (**температури конденсації**) вони починають зріджуватися і стають рідинами. Встановлено, що це відбувається за такої самої температури, за якої відповідна рідина кипить. Це зворотні процеси, як і у разі переходу води в лід, напрям переходу залежить від конкретних фізичних умов: якщо рідина набуває теплоти, то кипить і переходить у газоподібний стан; якщо газ віддає теплоту, то він зріджується, тобто конденсується. Наприклад, аміак конденсується при температурі  $-33,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ , рідкий кисень — при  $-183\text{ }^{\circ}\text{C}$ , зріджене повітря — при  $-195\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

У повітрі є багато водяної пари. Коли повітря охолоджується, пара переходить у рідкий стан: утворюються хмари, туман, роса.

Тепер з'ясуємо від чого залежить кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб випарувати рідину при температурі кипіння або яка виділяється під час її конденсації.



Мал. 256



Мал. 257

♦ **Дослід 4.** Поставимо на плиту дві посудини, в одну з яких наллємо 50 г води (мал. 257, а), а в другу — 100 г води (нагрівники та посудини однакові) (мал. 257, б). Доведемо воду до кипіння й будемо випаровувати. Спочатку випарується вода в посудині, де було 50 г, а потім — у посудині з 100 г води.

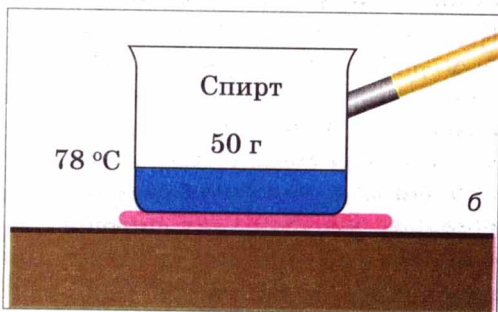
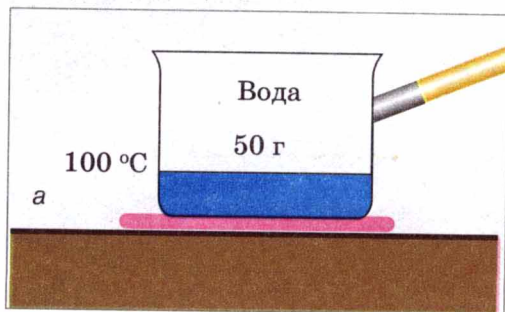
► **Кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини при температурі кипіння, залежить від маси рідини.**

♦ **Дослід 5.** На однакові нагрівники поставимо посудини, в одній з яких 50 г води (мал. 258, а), а в другій — 50 г спирту (мал. 258, б). Доведемо ці речовини до кипіння (спирт закипає при 78 °С, а вода — при 100 °С) та будемо їх випаровувати. Результати досліду показують, що спочатку випарується спирт, а потім — вода.

► **Кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини при температурі кипіння, залежить від роду речовини.**

Величину, що характеризує енергетичні витрати на випаровування певної рідини масою 1 кг, називають **питомою теплотою пароутворення**. Її позначають великою латинською літерою  $L$ . Одиницею питомої теплоти пароутворення речовини в СІ є один джоуль на кілограм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ).

Питому теплоту пароутворення речовини визначають за допомогою дослідів. Установлено, що питома теплота пароутворення води при 100 °С дорівнює  $2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ . Інакше кажучи, для перетворення води масою 1 кг на пару при 100 °С потрібно 2 300 000 Дж енергії. Під час зворотного процесу — конденсації — така сама кількість теплоти виділиться.



Мал. 258



**Питома теплота пароутворення речовини** — фізична величина, що визначає, яка кількість теплоти потрібна, щоб перетворити рідину масою 1 кг на пару при температурі кипіння.

Кожна рідина має свою питому теплоту пароутворення. Значення питомої теплоти пароутворення деяких рідин наведено у таблиці 9.

Таблиця 9

**Питома теплота пароутворення речовин**  
(при температурі кипіння і нормальному атмосферному тиску)

| Речовина | Питома теплота пароутворення<br>$L, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ | Температура кипіння (конденсації),<br>$^{\circ}\text{C}$ | Речовина | Питома теплота пароутворення,<br>$L, \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ | Температура кипіння (конденсації),<br>$^{\circ}\text{C}$ |
|----------|------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|----------|-------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|
| Вода     | 2 300 000                                                        | 100                                                      | Ртуть    | 300 000                                                           | 357                                                      |
| Ацетон   | 521 000                                                          | 57                                                       | Кисень   | 213 000                                                           | – 183                                                    |
| Спирт    | 900 000                                                          | 78                                                       | Скипидар | 161 000                                                           | 287                                                      |

**Щоб обчислити кількість теплоти  $Q$ , яка потрібна для випаровування рідини масою  $m$ , узятій при температурі кипіння, треба питому теплоту пароутворення речовини  $L$  помножити на масу рідини:**

$$Q = Lm,$$

де  $Q$  — кількість теплоти;  $L$  — питома теплота пароутворення речовини;  $m$  — маса рідини.

Кількість теплоти, яка виділяється під час конденсації пари масою  $m$ , визначається також за цією формулою.

Процеси нагрівання і випаровування можна зобразити графічно. По осі  $O_y$  відкладаємо значення температури рідини, а по осі  $O_x$  — час нагрівання і випаровування рідини. Наприклад, на мал. 259 графічно зображені процеси нагрівання і випаровування води кипінням. Графік нагрівання і випаровування рідини складається з трьох ділянок: для нагрівання рідини — це пряма лінія з певним кутом нахилу, який залежить від значення питомої теплоємності рідини; для кипіння рідини — це горизонтальна лінія, температура рідини залишається сталою і дорівнює температурі кипіння рідини доти, доки вся  $t, ^{\circ}\text{C}$  рідина випарується; для нагрівання утвореної пари — пряма лінія, кут нахилу якої визначається питомою теплоємністю пари, її значення відрізняється, від такого для рідини, тому і нахил інший; температура пари зростає прямо пропорційно часу.



Мал. 259



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке пароутворення?
2. Що називають конденсацією?
3. Що таке кипіння?
4. Від чого залежить кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини або яка виділяється під час конденсації пари?
5. Що показує питома теплота пароутворення рідини? Назвіть її одиницю?
6. Як підрахувати кількість теплоти, яка потрібна для випаровування рідини при температурі кипіння цієї рідини?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. Чому жирний суп довго не охолоджується навіть тоді, коли його налили в тарілку?

Відповідь: жир дуже повільно випаровується порівняно з водою, тому тонкий шар жиру на поверхні супу затримує випаровування води, у зв'язку з цим охолодження супу сповільнюється.

2. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб перетворити 3 кг спирту на пару, взятого при температурі 18 °С?

Дано:

$$m = 3 \text{ кг};$$

$$c = 2400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}}$$

$$t = 18 ^\circ\text{С}$$

$$t_k = 78 ^\circ\text{С}$$

$$L = 900\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$Q = ?$

Розв'язання.

Для того, щоб перетворити спирт на пару, потрібно спочатку його нагріти до температури кипіння, а потім випарувати.

Кількість теплоти, яку потрібно затратити на нагрівання спирту, визначаємо за формулою:

$$Q_1 = cm(t_k - t).$$

Кількість теплоти, яку потрібно затратити, щоб випарувати спирт, визначаємо за формулою:  $Q_2 = Lm$ .

Тоді кількість теплоти, затрачену на нагрівання і випаровування спирту, визначимо так:

$$Q = Q_1 + Q_2 = cm(t_k - t) + Lm = m(c(t_k - t) + L).$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$Q = 3 \text{ кг} \left( 2400 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{С}} (78 ^\circ\text{С} - 18 ^\circ\text{С}) + 900\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \right) = 1\,044\,000 \text{ Дж} = 1044 \text{ кДж} = 1,044 \text{ МДж}.$$

Відповідь:  $Q = 1,044 \text{ МДж}$ .

#### Рівень А

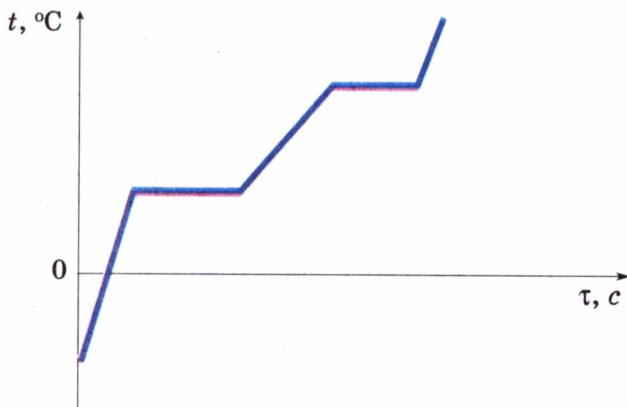
409. Як пояснити, що випаровування рідин відбувається при будь-якій температурі?
410. Перебуваючи в поході, турист налив у посудину води з холодного джерела і побачив, що посудина ззовні вкрилася крапельками рідини. Поясніть це явище.



411. Для чого овочі і фрукти, призначені для сушіння, розрізають на тонкі шматочки?
412. Чому на лісових дорогах калюжі висихають довше, ніж на польових?
413. Яка кількість теплоти потрібна для перетворення 150 г води при  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  у пару?
414. Яка кількість теплоти виділиться під час конденсації 10 кг водяної пари?

**Рівень Б**

415. Відомо, що надмірне випаровування води з ґрунту призводить до його висихання і зниження врожайності. Проте без випаровування неможливо уявити розвиток рослин. Чому?
416. Холодну воду налили в пляшку, у флягу, на яку наділи брезентовий чохол, і у випалений глиняний глечик. Випалена глина має пористу будову. В якій посудині вода через деякий час буде найхолоднішою? Найтеплішою?
417. Рослини, що ростуть у місцях з вологим кліматом, мають широке листя, а в місцях із сухим кліматом листя в рослин вузьке і розміщене вертикально. Чим це зумовлено?
418. Дистильовану воду масою 5 кг, взяту при температурі  $20\text{ }^{\circ}\text{C}$ , треба спочатку нагріти до температури кипіння, а потім перетворити в пару. Яка кількість теплоти потрібна для цього?  
В якому з цих двох випадків виділиться більша кількість теплоти:  
1) при охолодженні 5 кг води від  $100$  до  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;  
2) при конденсації 5 кг пари без зміни температури?
419. Яку кількість теплоти потрібно затратити, щоб 2 кг льоду, взятого при температурі  $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ , перетворити повністю у пару?
420. Опишіть процеси, зображені на графіку (мал. 260).



Мал. 260

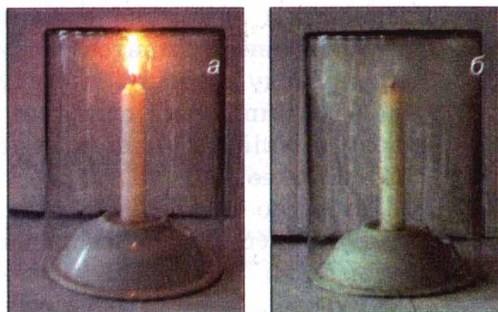
## § 49 ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. ПИТОМА ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА

Основним джерелом енергії для забезпечення руху залізничних локомотивів, автомобілів і тракторів, літаків тощо є різні види палива. В промисловості, на транспорті та в побуті використовують такі види палива: вугілля, горючі сланці, нафту, бензин, дизельне паливо, природний газ тощо.

З'ясуємо, за яких умов відбувається повне згоряння палива і які його наслідки.

♦ **Дослід 1.** Запалимо свічку. Вона буде горіти. Накриємо її скляною посудиною (мал. 261, а). Через певний час свічка згасає (мал. 261, б). Чому?

♦ **Процес горіння відбувається при наявності повітря.**



Мал. 261

♦ **Дослід 2.** Циліндр з поршнем з'єднуємо із скляною кулею. На поршень ставимо гирю. Нагріваємо кулю, спалюючи сухе паливо. Повітря, яке нагрівається в кулі, розширюється і виштовхує поршень, піднімаючи гирю, тобто виконує роботу.

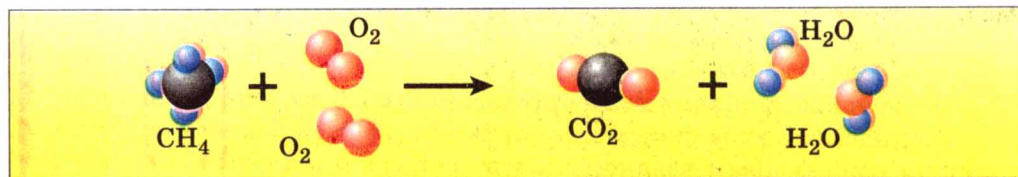
♦ **Під час спалювання палива виділяється енергія, за рахунок якої виконується робота.**

Вугілля, нафта, мазут, дерево містять вуглець (табл. 10). Під час горіння молекули вуглецю сполучаються з молекулами кисню, який міститься в повітрі. Кожна молекула вуглецю взаємодіє з двома молекулами кисню, утворюючи при цьому молекулу вуглекислого газу. При утворенні цієї молекули виділяється енергія.

♦ **Під час повного згоряння вуглецю утворюється вуглекислий газ і виділяється енергія:**



Горіння пов'язане з руйнуванням одних молекул і утворенням інших, наприклад, під час горіння метану утворюються вуглекислий газ і вода (мал. 262) з виділенням енергії:



Мал. 262



Під час горіння зміна внутрішньої енергії речовини відбувається не шляхом теплообміну чи виконання роботи тілом або над тілом, а в результаті термохімічних явищ реакцій з участю палива. При цьому енергія руху молекул продуктів згоряння, а отже, і їхня температура буде більшою, ніж у молекул палива.

Горіння палива — це процес сполучення молекул палива з молекулами кисню, який супроводжується виділенням певної кількості теплоти і утворенням нових речовин (табл. 10).

Таблиця 10

## Основні характеристики певних видів палива

| Паливо                 | Склад палива у відсотках складників                                                                                                     | Температура розгоряння палива (у присутності повітря і при контакті з полум'ям), °C | Об'єм повітря, потрібний для спалювання 1 кг палива, м <sup>3</sup> | Об'єм суміші, утворюваної після повного згоряння 1 кг палива, м <sup>3</sup> | Об'єм води, який можна нагріти до температури кипіння теплою, що виділяється при повному згорянні 1 кг палива, л |
|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Дерево сухе</b>     | Органічні речовини — 83, у тому числі:<br>Вуглець — 50<br>Кисень — 43<br>Водень — 6<br>Азот — 1<br>Мінеральні речовини — 2<br>Вода — 15 | 300                                                                                 | 3,5                                                                 | 4<br>(вуглекислий газ, водяна пара, азот)                                    | 40                                                                                                               |
| <b>Кам'яне вугілля</b> | Вуглець — 78<br>Водень — 5<br>Кисень — 6,4<br>Азот — 1,4<br>Сірка — 0,7<br>Шлак — 7,3<br>Волога — 1,2<br>Вуглець — 95                   | 600                                                                                 | 9                                                                   | 9,5<br>(вуглекислий газ, водяна пара, азот, оксид Сульфур (IV))              | 100                                                                                                              |
| <b>Антрацит</b>        |                                                                                                                                         |                                                                                     |                                                                     |                                                                              |                                                                                                                  |
| <b>Мазут</b>           | Вуглець — 82–86<br>Водень — 11–14<br>Сірка — до 0,5                                                                                     | 55                                                                                  | 11                                                                  | 11,5<br>(вуглекислий газ, водяна пара, азот, оксид Сульфур (IV))             | 125                                                                                                              |

♦ **Дослід 3.** Дві однакові склянки наповнимо водою однакової маси. Під однією склянкою запалимо одну таблетку сухого палива, а під другою — дві таблетки. Температуру води в склянках вимірюємо за допомогою термометрів. Після повного згоряння сухого палива температура води у другій склянці виявляється вищою, ніж у першій.

**Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння палива, залежить від маси палива.**

Під час конструювання і виготовлення теплових двигунів завжди треба знати, яка кількість теплоти потрібна для роботи певного двигуна, а отже визначати вид палива. Для визначення потрібної кількості палива треба знати, яка кількість теплоти виділяється при повному його згорянні. Щоб порівнювати, який вид палива під час його повного згоряння виділяє більше теплоти, ввели таку фізичну величину, як **питома теплота згоряння палива**.

**Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння 1 кг палива, називають питомою теплотою згоряння палива.**

Питому теплоту згоряння палива позначають малою латинською літерою  $q$ . Одиницею питомої теплоти згоряння палива в СІ є один джоуль на кілограм ( $1 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ ). На практиці здебільшого застосовують кратну величину — один мегаджоуль на кілограм ( $1 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ ).

$$1 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} = 1\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}.$$

**Питома теплота згоряння палива — це фізична величина, що є енергетичною характеристикою різних видів палива**

Її значення для поширених видів палива наведено у таблиці 11.

Таблиця 11

Питома теплота згоряння палива

| Паливо          | $q$ ,<br>$\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ | Паливо          | $q$ ,<br>$\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ | Паливо            | $q$ ,<br>$\frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$ |
|-----------------|-----------------------------------------|-----------------|-----------------------------------------|-------------------|-----------------------------------------|
| Деревне вугілля | 34,0                                    | Бензин          | 46,0                                    | Водень            | 120,0                                   |
| Антрацит        | 30,0                                    | Гас             | 46,0                                    | Метан             | 50,0                                    |
| Кам'яне вугілля | 27,0                                    | Нафта           | 44,0                                    | Ацетилен          | 48,1                                    |
| Буре вугілля    | 17,0                                    | Дизельне паливо | 42,7                                    | Природний газ     | 44,0                                    |
| Торф            | 14,0                                    | Мазут           | 41,0                                    | Пропан            | 42,4                                    |
| Тротил          | 15,0                                    | Етер            | 34,0                                    | Аміак             | 18,4                                    |
| Дрова сухі      | 11,0                                    | Спирт етиловий  | 27,0                                    | Карбон (II) оксид | 10,1                                    |
| Дрова сирі      | 8,0                                     | Спирт           | 25,0                                    |                   |                                         |
| Порох           | 3,8                                     | Спирт метиловий | 19,5                                    |                   |                                         |
| Умовне паливо   | 30,0                                    |                 |                                         |                   |                                         |



Слід зауважити, що наведені у таблиці дані відповідають кількості теплоти, що виділяється при повному згорянні палива.

Щоб підрахувати, яка кількість теплоти виділиться під час повного згорання 5 кг гасу, треба міркувати так. Під час згорання 1 кг гасу виділяється 46 МДж теплоти. Коли згорить 5 кг гасу, кількість виділеної теплоти буде в 5 разів більша, а саме:  $46 \text{ МДж} \cdot 5 = 230 \text{ МДж}$ .

**Щоб визначити кількість теплоти, яка виділяється внаслідок повного згорання даної маси певного виду палива, треба питому теплоту згорання цього виду палива помножити на масу палива:**

$$Q = qm,$$

де  $Q$  — кількості теплоти, що виділяється під час повного згорання палива;  
 $q$  — питома теплота згорання палива;  $m$  — маса палива.

### ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

• Під час неповного згорання вуглецю, що міститься в паливі, в печах або котлах, у двигунах внутрішнього згорання, виділяється оксид вуглецю (чадний газ):  $C + O_2 = 2CO$ . Ця сполука — сильна отрута! Вона не має кольору, запаху (у чистому вигляді), трохи легший за повітря, погано розчиняється у воді, має дуже низьку температуру кипіння ( $-191,5^\circ\text{C}$ ). Чадний газ краще, ніж кисень, сполучається з гемоглобіном крові. Виникає кисневе голодування, що супроводжується головним болем, непритомністю. Якщо в повітрі приміщення міститься 0,4 % чадного газу, то внаслідок сильного отруєння настає смерть. З метою надання першої допомоги потерпілому потрібно винести на свіже повітря і зробити штучне дихання. Потерпілому рекомендується обережно вдихати розчин аміаку.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що називають питомою теплотою згорання палива?
2. Які види палива мають найбільшу питому теплоту згорання? Найменшу?
3. Якими способами досягають повного згорання палива?

### ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ

#### Розв'язуємо разом

1. Кожне паливо у присутності повітря і в контакт з вогнем загоряється за певної температури: наприклад, мазут — при  $55^\circ\text{C}$ ; суха деревина — при  $300^\circ\text{C}$ ; кам'яне вугілля — при  $600^\circ\text{C}$ . Чи можна зразу засипати в котел кам'яне вугілля?

Відповідь: не можна, кам'яне вугілля не загориться, тому що в котлі не досягнуто відповідної температури.

2. Яку кількість води можна нагріти від  $0^\circ\text{C}$  до  $100^\circ\text{C}$ , спаливши 1 кг водню?

Дано:

$$t_1 = 0 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

$$q = 120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_{\text{в}} = ?$$

Розв'язання.

Кількість теплоти, яка виділяється за повного згоряння палива, визначаємо за формулою:

$$Q = qm.$$

Кількість теплоти, яку потрібно затратити для нагрівання води, визначаємо за формулою:

$$Q = cm_{\text{в}}(t_2 - t_1).$$

Вважаємо, що вся енергія, яка виділилася під час спалювання водню, піде на нагрівання води.

$$\text{Тоді: } qm = cm_{\text{в}}(t_2 - t_1).$$

$$\text{Звідси } m_{\text{в}} = \frac{qm}{c(t_2 - t_1)}.$$

Підставивши значення величин, отримаємо:

$$m_{\text{в}} = \frac{120\,000\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^{\circ}\text{C}} \cdot 100 \text{ }^{\circ}\text{C}} = 285,7 \text{ кг}.$$

Відповідь:  $m_{\text{в}} = 285,7 \text{ кг}$ .

### Рівень А

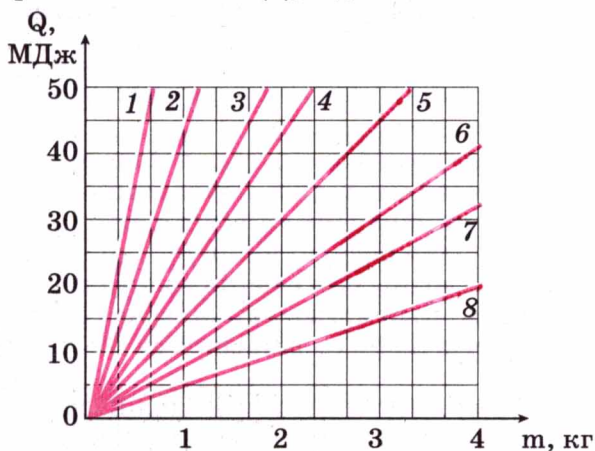
421. Назвіть усі відомі вам види палива.
422. Які види палива використовують для опалювання в Україні?
423. Що означає запис: «теплота згоряння антрациту  $3 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ , сухих дров —  $1 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$ »?
424. Чи однакову кількість дров, кам'яного вугілля, торфу треба спалити в грубці, щоб нагріти повітря кімнати до однієї і тієї самої температури?
425. Чому під час спалювання сирих дров виділяється менша кількість теплоти, ніж сухих?
426. У котлі спалили 12 кг кам'яного вугілля. Яка кількість теплоти при цьому виділилась?

### Рівень Б

427. Спалюють 2 кг кам'яного вугілля, яке містить 90 % чистого вуглецю. Визначте масу вуглекислого газу, який при цьому виділяється, якщо під час спалювання 12 г чистого вуглецю виділяється 44 г вуглекислого газу.
428. Вуглекислий газ складається з двох хімічних елементів: Карбону (27,2 %) і Оксигену (72,8 %). Визначте, яка маса кисню міститься в 50 г вуглекислого газу, яка маса вуглецю міститься в 25 г вуглекислого газу? Які маси вуглецю і кисню треба сполучити, щоб отримати 200 г вуглекислого газу?



429. Розміри кімнати: довжина — 4 м, ширина — 2,8 м, висота — 2,5 м. Яка маса сухої деревини може повністю згоріти, використавши весь кисень, що міститься в повітрі кімнати. Повне спалювання 10 кг сухої деревини потребує 7 м<sup>3</sup> кисню. За нормального атмосферного тиску об'єм кисню становить 0,2 об'єму повітря в кімнаті.
430. Яка кількість теплоти виділиться під час повного згорання 15 кг деревного вугілля? 7 кг спирту? Порівняйте ці кількості теплоти. Зробіть висновки.
431. На скільки градусів можна було б нагріти 2 кг води під час повного спалювання 10 г спирту, якби уся виділена енергія пішла на нагрівання води?
432. За графіком залежності (мал. 263) кількості теплоти, яка виділяється під час повного згорання метану (1), бензину (2), антрациту (3), бурого вугілля (4), сухого торфу (5), горючих сланців (6), свіжої деревини (7) і твердого ракетного палива (8), від маси палива визначте:



Мал. 263

- а) кількість теплоти, яка виділяється під час повного згорання 2 кг сухого торфу;
- б) питому теплоту згорання бензину;
- в) яке паливо має найбільшу питому теплоту згорання; найменшу;
- г) скільки деревини треба спалити, щоб виділилося 20 МДж енергії;
- д) яку масу горючих сланців треба спалити, щоб одержати таку саму кількість теплоти, як і в результаті повного згорання 0,5 кг бензину;
- е) скільки антрациту треба спалити, щоб нагріти цинкове відро з водою від 0 °С до 100 °С. Маса відра — 1 кг, об'єм — 10 л.

## § 50 ТЕПЛОВІ ДВИГУНИ. ЕКОЛОГІЧНІ ПРОБЛЕМИ ВИКОРИСТАННЯ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

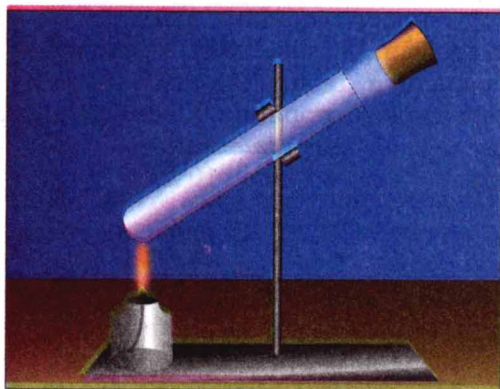
Теплові машини було створено на початку XVIII ст., в період бурхливого розвитку текстильної та металургійної галузей промисловості. Парову водопідйомну установку побудували англійці Т. Ньюкомен і Коулі в 1712 р. У Росії паровий двигун створив І. Ползунов у 1765 р., а в 1784 р. в Англії Д. Уатт одержав патент на універсальний паровий двигун. Створення парових машин, двигунів внутрішнього згоряння започаткувало розвиток автомобільного транспорту і літакобудування. Газова турбіна дала поштовх перебудові в авіації, літаки з поршневими двигунами було замінено реактивними та турбореактивними лайнерами, швидкість яких наближається або більша за швидкість звуку ( $330 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 1188 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ). За допомогою реактивних двигунів здійснено одвічну мрію людства — вихід у космічний простір. На електростанціях парові турбіни надають руху електричним генераторам, які виробляють електричний струм.

Усі теплові машини, незалежно від їх будови й призначення, поділяють на два види: **теплові двигуни та холодильні установки.**

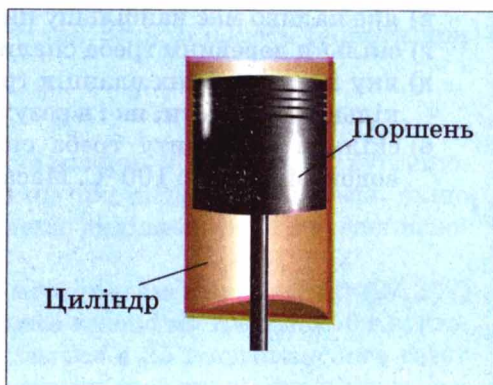
◆ **Дослід.** Наллемо у пробірку трохи води, потім щільно закриємо її пробкою (мал. 264) і нагріємо воду до кипіння. Під тиском пари пробка вилетить і злетить вгору. У цьому разі енергія палива перейшла у внутрішню енергію пари, а пара, розширюючись, виконала роботу — підняла пробку. Внутрішня енергія пари перетворилася на кінетичну енергію пробки.

Якщо замінити пробірку міцним металевим циліндром, а пробку — припасованим поршнем, який може рухатися в циліндрі (мал. 265), то отримаємо найпростіший тепловий двигун, в якому внутрішня енергія палива перетворюється на механічну енергію поршня.

Тепловими двигунами називають машини, в яких внутрішня енергія палива перетворюється на механічну енергію.



Мал. 264



Мал. 265



До теплових двигунів належать: **парова машина, двигун внутрішнього згоряння (карбюраторний, дизельний), парова та газова турбіни, реактивний двигун.**

В усіх цих двигунах внутрішня енергія палива спочатку переходить у внутрішню енергію газу або пари. Розширюючись, газ виконує роботу й при цьому охолоджується — частина його внутрішньої енергії перетворюється на механічну енергію.

**Двигун внутрішнього згоряння.** Така назва походить від того, що паливо згоряє в циліндрі, всередині самого двигуна.

Перший поршневий двигун внутрішнього згоряння (ДВЗ) був створений у 1860 р. французьким інженером Е. Ленуаром. Перевага такого двигуна над іншими тепловими двигунами полягає в тому, що він має порівняно малі розміри та масу. Це дало змогу використовувати його на транспорті (автомобіль, трактор, тепловоз), в авіації, на кораблях (дизель-електрохід, катер, підводний човен).

Двигуни внутрішнього згоряння працюють на рідкому паливі (бензині, гасі, нафті) або на горючому газі.

На мал. 266 показано розріз найпростішого ДВЗ.

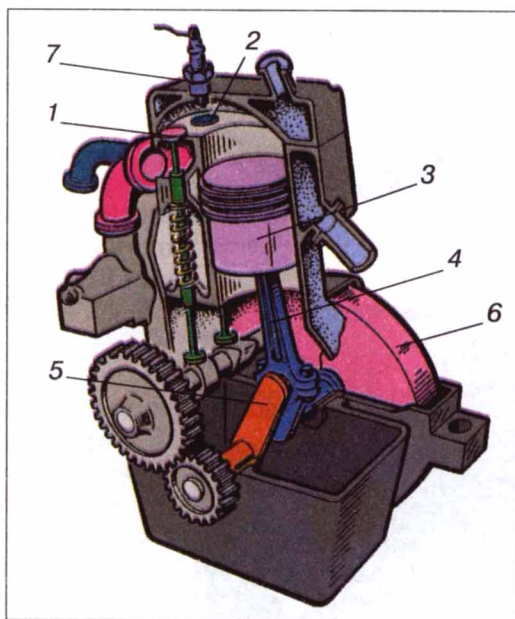
Двигун складається з циліндра, в якому переміщується поршень 3, з'єднаний за допомогою шатуна 4 з колінчастим валом 5. На валу закріплений важкий маховик 6, який призначений для зменшення нерівномірності обертання вала.

У верхній частині циліндра є два клапани 1 і 2, які під час роботи двигуна автоматично відкриваються і закриваються в потрібні моменти. Через клапан 1 у циліндр надходить суміш, яка запалюється за допомогою свічки 7, а через клапан 2 виходять відпрацьовані гази.

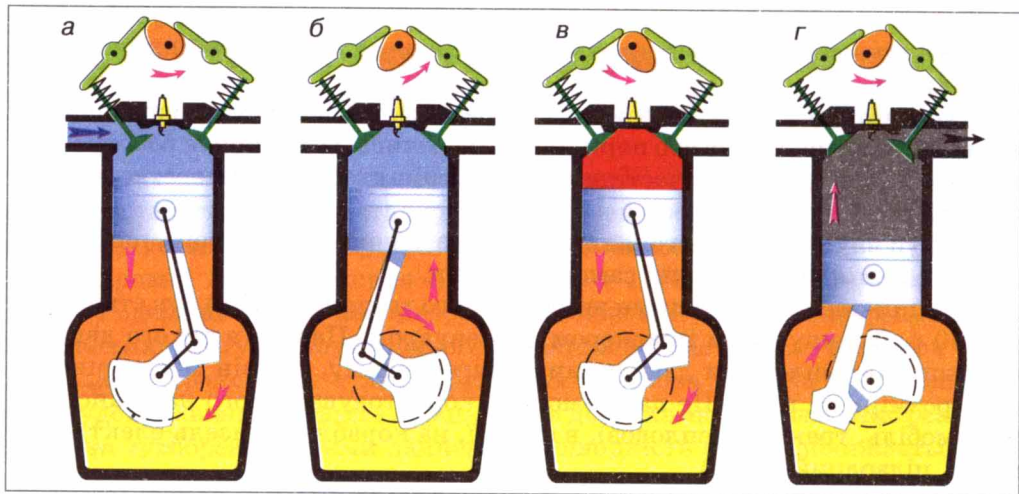
Кожний хід поршня вгору або вниз називається **тактом**. Розглянемо процеси, які відбуваються протягом кожного такту.

Нехай поршень рухається вниз з крайнього верхнього положення (мал. 267, а), та впускний клапан 1 відкритий. Під час опускання поршня через цей клапан у камеру згоряння всмоктується горюча суміш — пара бензину з повітрям. У кінці такту клапан 1 закривається. Такий такт називається **впуском**.

Поршень починає підніматися вгору, стискаючи горючу суміш (мал. 267, б). Цей такт називається **стиском**. Незадовго до того як поршень дійде до верхнього крайнього положення, у свічці 7 проскакує іскра, горюча суміш спалахує.



Мал. 266



Мал. 267

Третій такт двигуна (мал. 267, в) називається **робочим ходом**. Під час згоряння суміші температура газів у циліндрі досягає  $1600\text{--}1800\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а тиск —  $10\,000\,000\text{ Па}$ . Ці гази з великою силою тиснуть на поршень, який опускається вниз і за допомогою шатуна 4 і кривошипного механізму надають рух колінчастому валу.

У кінці робочого ходу, коли поршень приходить у крайнє нижнє положення, відкривається випускний клапан 2 (мал. 267, г). Починається четвертий такт — **випуск**. Поршень, піднімаючись угору, виштовхує відпрацьовані гази в атмосферу.

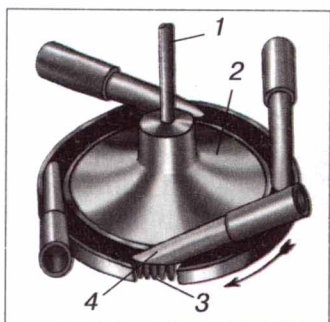
Отже, робота чотиритактного двигуна складається з чотирьох процесів (тактів): **впуску, стиску, робочого ходу і випуску**.

В автомобілях найчастіше використовують чотирициліндрові двигуни внутрішнього згоряння. Робота циліндрів у ньому узгоджується так, що в кожному з них по черзі здійснюється робочий хід і колінчастий вал весь час одержує енергію від кожного з поршнів.

Є також і восьмициліндрові двигуни. Вони краще забезпечують рівномірність обертання вала й мають велику потужність.

**Парова турбіна.** Це тепловий двигун, в якому пара, нагріта до високої температури, перебуває під високим тиском і обертає його вал без допомоги поршня, шатуна і колінчастого вала.

На мал. 268 наведено схему найпростішої парової турбіни. На вал 1 насаджено диск 2, по ободу якого закріплено лопатки 3. Біля лопаток розміщено труби, які називають соплами 4. Пара, яка



Мал. 268



Мал. 269



утворюється у котлі, надходить до сопел, виривається струменями, які з великою силою діють на лопатки і надають обертального руху диску турбіни.

У сучасних парових турбінах застосовують не один, а багато дисків, насаджених на спільний вал (мал. 269). Пара послідовно проходить через лопатки всіх дисків, віддаючи кожному з них частину своєї енергії.

Парові турбіни є незамінними тепловими двигунами на теплових та атомних електростанціях.

Першу парову турбіну, практичного застосування виготовив у 1889 р. К. Лавал.

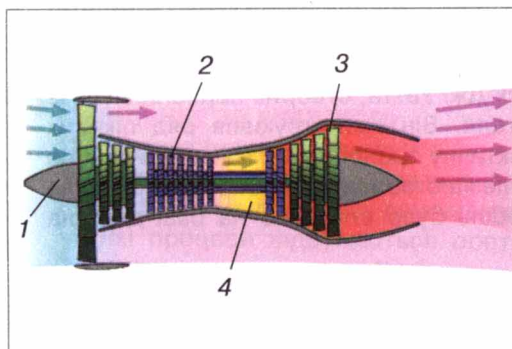
**Газова турбіна та реактивні двигуни.** Переваги парової турбіни та двигуна внутрішнього згоряння поєднано в газовій турбіні, в якій внутрішня енергія газу перетворюється на кінетичну енергію вала.

У камеру згоряння 4 (мал. 270) газової турбіни за допомогою компресора 2 подається стиснене повітря при температурі приблизно  $200^{\circ}\text{C}$  і впорскується рідке паливо (газ) під високим тиском. Під час горіння палива повітря і продукти згоряння нагріваються до температури  $1500\text{--}2200^{\circ}\text{C}$ . Газ, який рухається з великою швидкістю, направляєється на лопатки турбіни 3. Переходячи від одного диска турбіни до іншого, газ віддає свою внутрішню енергію, приводячи турбіну в рух. Отримувана механічна енергія використовується для обертання, наприклад, гвинта літака 1 або електричного генератора.

У ракетах паливо згоряє в камері згоряння (мал. 271). Утворені гази з великою силою тиснуть на стінки камери. З одного боку камери є сопло, через яке продукти згоряння вириваються в навколишнє середовище. Ракета, відштовхуючись від струменя газу, що витікає, набуває руху в протилежному напрямі. Такі двигуни називають **реактивними**. У реактивному двигуні внутрішня енергія палива перетворюється на кінетичну енергію рухомої ракети.

Уперше можливість і необхідність використання ракетних двигунів для запуску літальних апаратів у космічний простір обґрунтував у 1903 р. К. Ціолковський.

У своєму житті ви постійно маєте справу з різноманітними двигунами. Вони надають руху автомобілям і літакам, тракторам, кораблям і залізничним локомотивам. За допомогою теплових машин на електростанціях виробляється електричний струм.



Мал. 270



Мал. 271

Робота теплових машин пов'язана з використанням різних видів палива. Топки теплових електростанцій, двигуни внутрішнього згоряння автомобілів (мал. 272), літаків та інших машин викидають в атмосферу шкідливі для людини, тварин і рослин речовини (чадний газ, вуглекислий газ, оксиди Нітрогену, Сульфуру тощо). Ці речовини сполучаються з атмосферною вологою й утворюють кислоти. Це стає причиною випадання кислотних дощів, у результаті чого знищуються хвойні ліси, гине риба, знижується врожайність зернових культур і цукрового буряка.



Мал. 272

Збільшення кількості автомашин, особливо в містах, призводить до надмірного забруднення атмосфери вихлопними газами двигунів внутрішнього згоряння. Щоб зменшити ці викиди, проводять регулювання двигунів для повного згоряння палива та зменшення вмісту чадного газу, впроваджують двигуни, в яких використовуюється чистіше паливо.

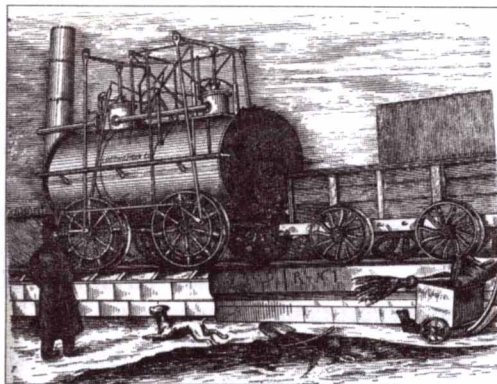
Застосування парових турбін на електростанціях вимагає багато води та великих площ, які займають водойми для охолодження відпрацьованої пари. Для економії площі та водних ресурсів доцільно будувати комплекси електростанцій, які мають замкнену систему водопостачання.

Найефективніший спосіб боротьби із забрудненням середовища — заміна двигунів внутрішнього згоряння електричними двигунами, використання енергії Землі, Сонця, вітру.

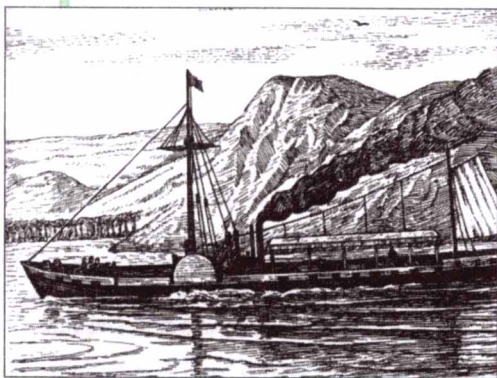
### ► ЦЕ ЦІКАВО ЗНАТИ

- Думка про використання пари для потреб транспорту виникла ще у XVII ст. Конструктори спочатку намагалися прилаштувати парові двигуни до звичайних візків. У 1763 р. французький інженер Коньо сконструював перший паровий візок. Ця машина працювала всього 12—15 хв. Пізніше **Жорж Коньо** конструює більш досконалий візок, але коли той пустили по вулицях Парижа, то виявилось, що ним неможливо керувати. У 1787 р. американець **Еванс** сконструював паровий візок, але він теж був непридатний до практичного використання. У кінці 80-х років XVIII ст. **Уільям Мердок**, учень та помічник Дж. Уатта, створив паровий візок із двигуном конструкції свого вчителя. Він сконструював ряд цікавих моделей візків, але створити практичну транспортну машину йому не вдалося. Слід зазначити, що проблема створення парового автомобіля так і не була розв'язана, автомобіль було створено на базі двигуна внутрішнього згоряння.
- Багато винахідників в ту епоху намагалися сконструювати локомотив, який рухався б по рейках. Першим до ідеї застосування парових локомотивів на спеціальних рейкових шляхах найшов шотландський інженер та механік **Річард Тревітік**. У 1803 р. він сконструював паровоз для рейко-





Мал. 273



Мал. 274

вого шляху, а наступного року провів його випробування. У 1814 р. сконструював та випробував свій перший паровоз **Джордж Стефенсон**. Його конструкція і розв'язала проблему створення парового залізничного транспорту (мал. 273).

- Пароплав, як і паровоз, має теж цікаву історію створення. Ще на початку XVIII ст. **Дені Папен** сконструював човен, який рухався за допомогою парового двигуна. Але через недосконалість останнього човен рухався досить повільно. У 1736 р. англієць **Джонатан Кольз** безуспішно намагався застосувати на суднах парову машину **Т. Ньюкомена**.

- Більш вдалі спроби розпочалися із винайденням двигуна **Дж. Уатта**. Так, у 1781 р. француз **Жоффруа** сконструював пароплав, який за допомогою парового двигуна міг цілу годину плисти проти течії. Через чотири роки американець **Фітч** побудував човен, у якому паровий двигун надавав руху веслу. Однак випробування цього пароплава були невдалими.

- Перший практично придатний пароплав сконструював ірландський інженер та механік **Роберт Фультон**, який, як і **Стефенсон**, був винахідником-самоукою.

Свій перший ще недосконалий пароплав **Фультон** випробував у 1803 р. на р. Сені у Парижі. Дослід вдався: судно протягом 1,5 год плівло по Сені, розвиваючи швидкість  $5 \frac{\text{км}}{\text{год}}$  за течією. У 1807 р. Фультон сконструював колісний пароплав «Клермонт», на якому встановив парову машину подвійної дії **Уатта**. Довжина цього пароплава дорівнювала 43 м, потужність двигуна — 20 кінських сил, тоннаж — 15 т (мал. 274).



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке тепловий двигун?
2. Які види теплових двигунів ви знаєте?
3. Який двигун називають двигуном внутрішнього згорання?
4. Які процеси відбуваються протягом чотирьох тактів роботи двигуна внутрішнього згорання?
5. Яка будова парової турбіни? Як вона працює? Яке її призначення?
6. Поясніть, як працюють газова турбіна та реактивний двигун.
7. Які шкідливі речовини викидають в атмосферу теплові машини? До яких наслідків це призводить?

## **§ 51 ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ЕНЕРГІЇ В МЕХАНІЧНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСАХ**

Під час падіння тіла, піднятого над Землею, його потенціальна енергія зменшується, а кінетична — збільшується. Під час падіння свинцевої або пластилінової кульки на свинцеву плиту чи підлогу механічна енергія кульки зменшується до нуля, але збільшується внутрішня енергія кульки та плити або підлоги. У двигуні внутрішнього згоряння автомобіля або трактора за рахунок внутрішньої енергії палива збільшується механічна енергія рухомих частин двигуна.

**▶ Механічна та внутрішня енергії тіл можуть перетворюватися одна в одну.**

Колеса водяної турбіни обертаються за рахунок кінетичної енергії води, а крила вітряного двигуна — за рахунок кінетичної енергії вітру. Під час теплообміну внутрішня енергія одного тіла змінюється за рахунок зміни внутрішньої енергії іншого тіла (наприклад, внутрішня енергія води збільшується за рахунок зменшення внутрішньої енергії нагрітого шматка заліза, кинутого у воду).

Розглядаючи приклад змішування гарячої та холодної води, виконавши відповідні підрахунки, ми побачили, що кількість теплоти, яку віддала гаряча вода, дорівнює кількості теплоти, яку одержала холодна вода. Виконана вами лабораторна робота «Вивчення теплового балансу при змішуванні води різної температури» підтвердила б цей висновок, якби ви виконували її в умовах, які не допустили б передачі тепла до інших тіл, крім холодної води, або врахували б усі кількості теплоти, які було передано всім тілам.

**▶ Під час теплообміну в системі контактуючих тіл кількість теплоти зберігається.**

Спостереження й досліди привели до відкриття закону збереження та зміни енергії.

**▶ Енергія не зникає і не створюється з нічого. Вона тільки перетворюється з одного виду на інший, при цьому повне значення її зберігається.**

Додаткова енергія може виникнути в тілі тільки внаслідок його взаємодії з іншим тілом. Енергія рухомих води океанських течій або вітру виникає за рахунок енергії Сонця; потенціальна та кінетична енергії ракети — за рахунок внутрішньої енергії палива, витраченого на її запуск і політ; повітря в кімнаті нагрівається, тобто його внутрішня енергія збільшується за рахунок енергії, яку воно дістало від радіатора опалення або печі.

Закон збереження та зміни енергії — один з основних законів природи. Цей закон завжди слід ураховувати в науці й техніці, за його допомогою можна пояснити багато явищ природи.



### **ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО**

1. У чому полягає закон збереження енергії в механічних і теплових процесах?
2. Наведіть приклади перетворення енергії одного виду на інший.
3. За рахунок чого рухається автомобіль по дорозі, ракета — в космічному просторі, човен — на воді?



## § 52 КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ (ККД) НАГРІВНИКА

Для оцінки будь-якого нагрівника дуже важливо знати, яку частину енергії, що виділяється під час згоряння палива (або роботи електронагрівника), він перетворює в корисну роботу. Чим ця частина енергії більша, тим нагрівник є більш економічним.

Для характеристики економічності різних нагрівників вводять поняття коефіцієнта корисної дії (ККД) нагрівника.

**Відношення тієї частини енергії, яка витрачається на виконання корисної роботи нагрівника, до всієї енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива (або під час роботи електричного нагрівника), називають коефіцієнтом корисної дії (ККД) нагрівника.**

ККД позначається малою грецькою літерою  $\eta$  (ета) і звичайно виражається у відсотках (%).

$$\eta = \frac{A_{\text{к}}}{Q},$$

де  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії нагрівника;  $A_{\text{к}}$  — виконана корисна робота;  $Q$  — повна теплова енергія, що виділилася нагрівником.

Визначимо, наприклад, ККД спиртівки, газового пальника або іншого нагрівника.

Під час спалювання певної маси палива виділяється енергія, яку визначимо за формулою:  $Q_2 = qm_{\text{п}}$ .

Ця енергія йде, наприклад, на нагрівання тіла, тобто на виконання корисної роботи:  $A_{\text{к}} = Q_1 = cm(t_2 - t_1)$ .

Визначимо ККД за формулою:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100 \% = \frac{cm(t_2 - t_1)}{qm_{\text{п}}} \cdot 100 \%.$$

Якщо використовуємо електричний нагрівник певної потужності, то енергія, яка виділяється під час його роботи, визначається за формулою:  $Q_2 = P\tau$ , де  $P$  — потужність електричного нагрівника;  $\tau$  — час роботи нагрівника.

Тоді ККД нагрівника визначатиметься так:

$$\eta = \frac{Q_1}{Q_2} \cdot 100 \% = \frac{cm(t_2 - t_1)}{P\tau} \cdot 100 \%.$$

ККД нагрівника завжди менший від одиниці, тобто менший від 100 %.



### ЗАПИТАННЯ ДО ВИВЧЕНОГО

1. Що таке коефіцієнт корисної дії нагрівника?
2. Як визначають коефіцієнт корисної дії нагрівника?

**ЛАБОРАТОРНА  
РОБОТА № 14**
**ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА КОРИСНОЇ ДІЇ (ККД)  
НАГРІВНИКА**

- **Мета роботи:** переконатися на дослідах в тому, що корисна робота, затрачена на нагрівання рідини, менша від повної енергії виділеної при повному згорянні палива і визначити коефіцієнт корисної дії нагрівника.
- **Прилади і матеріали:** спиртівка (сухе паливо), штатив з муфтою і лапкою, посудина з водою або іншою рідиною, термометр, терези, набір важків (динамометр).

**Хід роботи**

1. Визначте за допомогою терезів (динамометра) масу спиртівки з паливом  $m_1$ . Цей і всі наступні результати занесіть у таблицю.

| $m_1$ , кг | $m_2$ , кг | $\Delta m$ , кг | $m$ , кг | $\frac{c, \text{ Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ | $\frac{q, \text{ Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ | $t_1$ , $^\circ\text{C}$ | $t_k$ , $^\circ\text{C}$ | $\eta$ , % |
|------------|------------|-----------------|----------|--------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|------------|
|            |            |                 |          |                                                        |                                                        |                          |                          |            |

2. Посудину з водою закріпіть у штативі. Під посудиною розмістіть спиртівку.
3. Виміряйте термометром температуру води в посудині  $t_1$ .
4. Запаліть спиртівку. Нагрійте воду масою  $m = 100$  г до температури кипіння  $t_k$ .
5. Погасіть спиртівку. Знову визначте масу спиртівки з паливом  $m_2$ .
6. Визначте масу використаного палива  $\Delta m = m_1 - m_2$ .
7. За таблицею 11 (с. 204) визначте питому теплоту згоряння палива  $q$ .
8. За формулою  $\eta = \frac{cm(t_k - t_1)}{\Delta m q} \cdot 100\%$  визначте ККД спиртівки.
9. Зробіть висновки.

**ЗАДАЧІ ТА ВПРАВИ**
**➤ Розв'язуємо разом**

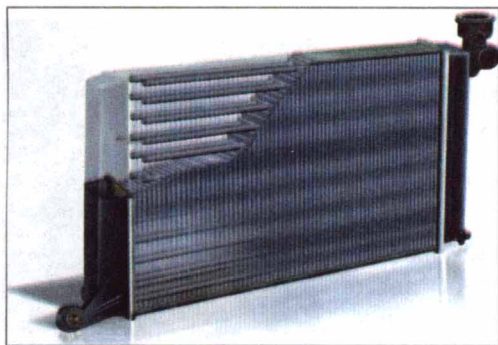
1. Чому радіатор є системою багатьох тонких трубок, а не суцільним резервуаром (мал. 275)?

Відповідь: щоб забезпечити достатнє тепловідведення від двигуна автомобіля за рахунок збільшення площі теплообміну.

2. В якому тепловому двигуні струмінь пари чи газу, нагрітий до високої температури, обертає вал двигуна без допомоги поршня, шатуна і колінчастого вала?

Відповідь: у паровій турбіні.





Мал. 275



Мал. 276

## Рівень А

433. Як працюють і чим відрізняються один від одного численні теплові двигуни в сучасній промисловості?
434. Чому трубки радіатора автомобільного або тракторного двигуна виготовляють з латуні або алюмінію?
435. Чому під час роботи двигунів внутрішнього згоряння температура води в радіаторах підвищується?
436. З якою метою трубки радіатора обдувають швидким потоком повітря за допомогою вентилятора, причому вентилятор засмоктує повітря всередину капота двигуна, а не видуває його з-під капота через радіатор?
437. Чому в систему охолодження двигуна внутрішнього згоряння треба заливати чисту воду?
438. Навіщо наливається вода в сорочку двигуна? Чому саме вода?
439. Чому в мотоциклетних та авіаційних двигунах охолодження повітряне? Як забезпечується добре охолодження цих двигунів?
440. Які особливості двигунів внутрішнього згоряння сприяють їх широкому застосуванню на транспорті, у промисловому і сільському господарстві?
441. Як називається тепловий двигун, у циліндрі якого періодично згоряє паливна суміш?
442. Скільки робочих ходів відбувається в чотирициліндровому двигуні за один оберт колінчастого вала?
443. Який вид механічної енергії водяної пари використовується в парових турбінах?
444. Чому парові турбіни розвивають велику швидкість обертання вала?
445. Автомобіль (мал. 276), на якому встановлено потужний двигун, розвиває під час змагань швидкість  $1000 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ . Яку відстань проїде автомобіль за 5 с, рухаючись рівномірно?
446. Тролейбус загальмував і зупинився. Які зміни енергії відбулися при цьому?
447. Частими ударами молотка можна розігріти шматок металу. На що затрачається при цьому механічна енергія?

448. Назвіть, яка енергія зменшується, а яка — відповідно — зростає під час: а) роботи теплового двигуна; б) нагрівання води в котлі; в) їзди на велосипеді; г) руху автомобіля з вимкненим двигуном.

### Рівень Б

449. Під час сильного перегрівання двигуна внутрішнього згоряння можливе так зване заклинювання поршнів — збільшення розмірів, при яких неможливий їхній рух. Що є причиною такого заклинювання?
450. Чому потужність двигуна при наявності глушника зменшується?
451. Чому в паровій турбіні температура відпрацьованої пари нижча, ніж температура пари, що надходить на лопаті турбіни?
452. В якому тепловому двигуні енергія палива безпосередньо перетворюється на механічну енергію рухомого апарата?
453. Під час спалювання палива в камері згоряння реактивного двигуна утворюються гази, які під високим тиском і з великою швидкістю витікають через отвір (сопло) у задній стінці камери. Які тіла взаємодіють при цьому? Яка причина руху ракети? Чи відбувався б рух реактивного двигуна, якщо камера згоряння не мала б отвору?
454. Космічні ракети значну частину свого шляху рухаються за межами земної атмосфери. Поясніть, чому рух ракет можливий в безповітряному просторі (мал. 277).
455. Скількох людей позбавляє кисню автомобіль, що протягом 4 год рухається із швидкістю  $80 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ? Добову норму кисню однієї людини він споживає на ділянці шляху 2,5 км.
456. Сучасний реактивний лайнер за 1 год польоту спалює 8 т кисню. На скільки біднішим на кисень стане повітря, якщо такий літак пролетить відстань 2550 км зі швидкістю  $850 \frac{\text{км}}{\text{год}}$ ?
457. Роздивіться уважно побутовий холодильник (мал. 278) і дайте відповіді на запитання.
- Чому холодильники фарбують у білий або інший світлий колір?
  - Чому морозильна камера розміщена у верхній його частині?
  - Чому простір між зовнішньою і внутрішньою



Мал. 277



Мал. 278



ньою стінками холодильника заповнений пінопластом — пористим матеріалом, який погано проводить тепло?

г) Для чого використовується система трубок, яка розміщена на задній стінці холодильника?

458. Осі машин і механізмів під час роботи нагріваються. Яка причина цього нагрівання і які способи усунення її? Які зміни енергії відбуваються при цьому?
459. Існує такий спосіб зварювання деяких деталей: на токарному верстаті одну деталь закріплюють у задній бабці верстата, а другу, притискаючи до першої, швидко обертають разом з його шпинделем. Коли місце дотику деталей нагрівається до плавлення, деталі стискають і зварюють. Поясніть, які зміни енергії відбуваються при цьому.
460. Заточуючи на точилі зубило, доводиться кілька разів занурювати його у воду. Для чого це роблять? Які зміни енергії відбуваються при цьому?

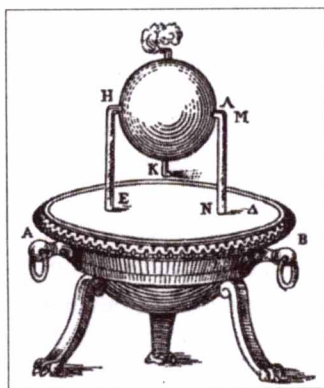
### ІСТОРИЧНА ДОВІДКА

Перший тепловий двигун — еоліпіл, був сконструйований давньогрецьким ученим Героном Александрійським, що жив у I ст. (мал. 279).

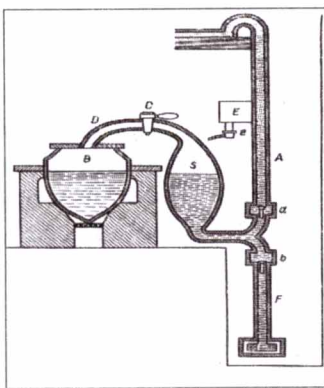
Цей прилад був металевою кулею з двома зігнутими трубками. У кулю наливали воду і розводили під нею вогонь. Коли утворена пара виходила із трубок, то куля починала обертатися.

До середини XVIII ст. вся робота виконувалася лише силою м'язів людини або свійських тварин, а також природними силами вітру та води, що падає. Історія винайдення працюючої парової машини досить довга. Одним із найперших парових насосів, які призначалися для відкачування води із шахт, був насос, сконструйований у кінці XVII ст. англійцем **Севері** (мал. 280).

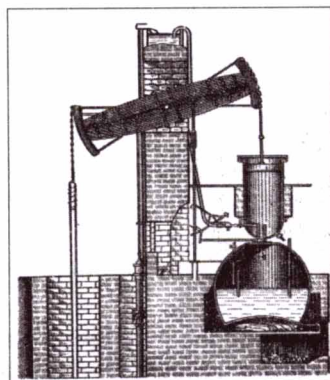
Принцип роботи насоса Севері полягає у такому. Із котла *B* пара через трубку *D* і кран *C* надходить у резервуар *S* і витискає із нього воду через клапан *a* і трубку *A*. Після цього резервуар *S* відключають від котла і охолоджували водою. Пара конденсувалася в резервуарі, в результаті чого по трубці *F* вода всмоктувалася і через клапан



Мал. 279



Мал. 280



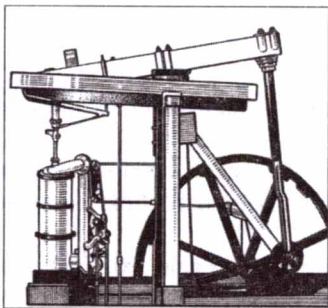
Мал. 281

б надходила у резервуар S, звідки вона знову витискувалася парою по трубці А. Паровий насос Севері поширився на початку XVIII ст., удосконалені його варіанти застосовувалися на шахтах аж до середини XIX століття.

Більш досконалу парову машину (так звану атмосферну машину) сконструював у 1705 р. англійський коваль Т. Ньюкомен.

Машина Ньюкомена (мал. 281) вже мала основні деталі парової машини — циліндр і поршень. Ця машина працювала таким чином. У циліндр із поршнем через трубку із краном надходила пара із парового котла і своїм тиском піднімала поршень у верхнє положення. Потім кран перекривався, відділяючи тим самим циліндр і паровий котел. У циліндр через другий кран, який тепер відкривався, вприскувалася холодна вода. Пара конденсувалася, і під дією атмосферного тиску поршень опускався вниз. Потім процес повторювався. Таким чином, плече коромисла, з'єднане із поршнем, то піднімалося, то опускалося. У той час друге плече коромисла надавало руху насосу, який відкачував воду.

Машини Севері і Ньюкомена мали два істотні недоліки: по-перше, машина виконувала роботу лише під час руху поршня у одному напрямку, а, по-друге, потрібно було весь час закривати та відкривати крани, тобто машина працювала не автоматично.



Мал. 282

У 1765 р. англійський винахідник Джеймс Уатт (1765—1769) сконструював парову машину (мал. 282), яка мала один циліндр із поршнем. Пара впускалася позмінно то з одного боку поршня, то з другого, що досягалося застосуванням спеціального механізму.

Відомий цікавий випадок із машиною Уатта. Одного разу власник невеличкої шахти домовився із Д. Уаттом про те, що винахідник поставить свою парову машину для відкачування води із шахти. До цього часу таку роботу на шахті виконували коні.

— Ваша машина повинна за годину викачувати води не менше, ніж мій кінь, — сказав власник.

— Добре, — погодився Уатт. — Якщо так, то потужність Вашого коня приймемо за одиницю.

У день випробувань кінь упав від втоми. Відтоді в техніці існує така одиниця потужності — *кінська сила*. Уатт виміряв цю одиницю потужності, встановивши, що за 1 хв звичайний кінь піднімає вантаж масою 60 кг на висоту 67,5 м. Ім'я Уатта увіковічено у назві одиниці потужності — один ват.



## Контрольні запитання

1. Як можна змінити внутрішню енергію тіла?
2. Чому теплопровідність пухкого снігу менша, ніж злеглого?
3. В який час доби вітер дме в море, а в який — на сушу?
4. Чому скафандри космонавтів та астронавтів мають сріблясто-білий колір?
5. Потрібно нагріти 1 кг води і 1 кг олії на 1 °C. На що потрібно затратити більше енергії?
6. В якому стані перебуває срібло при температурі 900 °C?
7. Чи можна отримати золоту пару?
8. Чому в набоях використовують порох, а не інші горючі речовини?
9. Яке паливо є найбільш енергетичним?
10. Який двигун є ефективнішим: дизельний чи карбюраторний?
11. Які зміни енергії відбуваються в реактивному двигуні?
12. Якими способами можна збільшити ККД двигуна?

## Що я знаю і вмію робити

### Я знаю, як можна змінити внутрішню енергію тіла.

1. Назвіть спосіб зміни внутрішньої енергії тіла у таких випадках: а) внутрішня енергія тіла збільшується, якщо виконується робота над тілом; б) процес, при якому відбуваються зміни внутрішньої енергії, а робота не виконується; в) внутрішня енергія тіла зменшується, коли тіло виконує роботу.
2. 1 кг води і 1 кг заліза нагріли на 1 °C. На скільки змінилася їхня внутрішня енергія і як цю зміну пояснити з точки зору молекулярної будови речовини?

### Я вмію визначати, яку кількість теплоти потрібно затратити для того, щоб нагріти, розплавити і випарувати тіло або яка виділяється при повному згорянні палива.

3. Яку кількість теплоти потрібна для нагрівання чавунної підшви праски від 20 до 320 °C, якщо її маса дорівнює 2 кг?
4. Чи можна розплавити 12 кг олова, затративши 120 000 кДж енергії?
5. Яку енергію потрібно затратити, щоб випарувати при температурі кипіння 3 кг води, взятої при температурі 20 °C?
6. Чи вистачить 100 г бензину, щоб довести до кипіння 0,5 кг води, взятої при 20 °C? ККД нагрівника дорівнює 25 %.

### Я вмію будувати графіки.

7. В алюмінієвому чайнику нагрівають воду. Побудуйте схематичні графіки залежності кількості теплоти від часу нагрівання а) чайника; б) води.

### Я знаю, які є види теплових двигунів.

8. Чим відрізняється двигун внутрішнього згорання від реактивного?

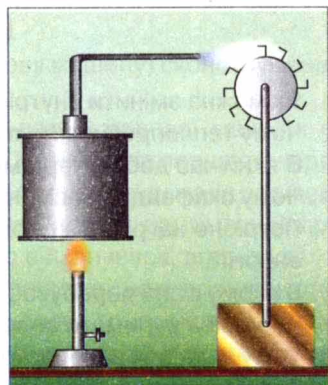
### Я вмію виконувати досліди.

9. Налийте у велику каструлю води і доведіть її до кипіння. Помістіть у неї меншу каструлю з холодною водою. Чи закипить вода в малій каструлі? Обґрунтуйте результат.

10. У воду при температурі  $0^{\circ}\text{C}$  вкиньте лід, температура якого така сама, як і води. Чи зміниться температура води? Чому?

**Я знаю, як відбуваються зміни енергії.**

11. Поясніть, чому колесо турбинки обертається (мал. 283).  
12. Які зміни енергії відбуваються в газовій турбіні?



Мал. 283

### Тестові завдання

#### Варіант I

- Який рух називають тепловим?
  - Упорядкований рух частинок, з яких складаються тіла.
  - Безладний рух частинок, з яких складаються тіла.
  - Прямолінійний рух тіла.
  - Нерівномірний рух тіл.
- Залізничні рейки або інші металеві балки виготовляють способом прокату. Для цього розігрітий до білого розжарення сталевий виливок пропускають між котками-вальцями, на поверхні яких є канавки відповідно до форми рейки, і він, деформуючись, набирає потрібної форми. Сталевий виливок пропускають крізь вальці по кілька разів, не нагріваючи його додатково. За рахунок чого підтримується потрібна температура сталі під час прокату?
  - За рахунок виконуваної механічної роботи.
  - За рахунок внутрішньої енергії.
  - За рахунок теплопровідності.
  - Правильної відповіді немає.
- Чому глибокий пухкий сніг захищає озимину від вимерзання?
  - Тому що він має високу теплопровідність.
  - Тому що він має низьку теплопровідність.
  - У пухкому снігу є багато повітря, яке погано проводить тепло.
  - Правильної відповіді немає.
- Чи змінюється температура тіла, якщо воно більше тепла поглинає, ніж випромінює?
  - Тіло нагрівається.
  - Тіло охолоджується.
  - Температура тіла не змінюється.
  - Правильної відповіді немає.
- Кількістю теплоти називають внутрішню енергію, яку...
  - тіло отримує від іншого під час теплообміну.
  - має тіло.
  - тіло отримує або втрачає під час теплообміну.
  - отримує тіло під час виконання над ним роботи.
- Свинець плавиться при температурі  $327^{\circ}\text{C}$ . Що можна сказати про температуру кристалізації (тверднення) свинцю?
  - Вона також дорівнює  $327^{\circ}\text{C}$ .
  - Вона нижча від температури плавлення.
  - Вона вища температури плавлення.
  - Правильної відповіді немає.
- Випаровування відбувається...
  - тільки за температури кипіння.
  - за будь-якої температури.



- в) за певної температури для кожної рідини.  
г) при високих температурах.
8. Внаслідок повного згоряння сухих дров виділилось 50 000 кДж енергії. Скільки дров згоріло?  
А. 50 кг. Б 0,5 кг. В. 5 кг. Г. 500 кг.
9. Горюча суміш, яка надходить в циліндр двигуна автомобіля, складається з...  
А. ...різних видів рідкого палива. Б. ...суміші гасу з повітрям. В. ...повітря і парів бензину. Г. ...масла і бензину.
10. Кулька, піднята на деяку висоту, падає в пісок і застряє в ньому. Зміни якого виду енергії при цьому відбуваються?  
А. Потенціальної і кінетичної.  
Б. Потенціальної і внутрішньої.  
В. Кінетичної і внутрішньої.  
Г. Потенціальної, кінетичної і внутрішньої.
11. Під час удару молотом об ковадло виконана робота 15 Дж. Яку кількість внутрішньої енергії отримало ковадло?  
А. Менш ніж 15 Дж. Б. 15 Дж. В. Більш ніж 15 Дж. Г. Правильної відповіді немає.
12. Маємо газовий пальник і спиртівку. Який з двох нагрівників має більший ККД?  
А. Спиртівка. Б. Газовий пальник. В. Однаковий. Г. Правильної відповіді немає.

### Варіант II

1. Чи змінюється внутрішня енергія води в морі з настанням ночі?  
А. Збільшується.  
Б. Зменшується.  
В. Не змінюється.  
Г. Правильної відповіді немає.
2. Під час деформації тіла змінилось тільки взаємне розташування молекул. Чи змінилися при цьому температура тіла і його внутрішня енергія?  
А. Температура тіла збільшилася, а внутрішня енергія не змінилася. Б. Температура і внутрішня енергія тіла не змінилися.  
В. Температура тіла не змінилася, а внутрішня енергія збільшилася. Г. Правильної відповіді немає.
3. Сидячи біля багаття, ми зігріваємося, відчуваємо, як передається тепло від багаття до нашого тіла. З яким видом теплообміну ми маємо справу?  
А. Теплопровідністю.  
Б. Конвекцією.  
В. Випромінюванням.  
Г. Теплопровідністю і випромінюванням.
4. Чи можна передбачити, який напрям матиме вітер біля моря в спекотний літній день?  
А. Не можна.  
Б. З моря на сушу.  
В. З суші на море.  
Г. Правильної відповіді немає.

5. Кількість теплоти, яка витрачається на нагрівання тіла, залежить від...
- а) маси, об'єму і роду речовини.
  - б) значення зміни температури, густини і роду речовини.
  - в) роду речовини, його маси і значення зміни температури.
  - г) маси тіла, його густини і значення зміни температури.
6. На поверхні Місяця в місячну ніч температура опускається до  $-170^{\circ}\text{C}$ . Чи придатні для вимірювання температури на Місяці ртутний і спиртовий термометри?
- А. Не придатний жоден з них.
  - Б. Придатний тільки спиртовий.
  - В. Придатний тільки ртутний.
  - Г. Правильної відповіді немає.
7. Чи випаровується вода у відкритій посудині при  $0^{\circ}\text{C}$ ?
- А. Випаровується.
- Випаровування відбувається за будь-якої температури.
- Б. Не випаровується, тому що при  $0^{\circ}\text{C}$  вода замерзає.
  - В. Не випаровується, тому що утворення пари відбувається під час кипіння.
  - Г. Правильної відповіді немає.
8. Спалили  $0,2\text{ кг}$  водню. Яку кількість води можна нагріти від  $0$  до  $100^{\circ}\text{C}$ ?
- А.  $65\text{ кг}$ .
  - Б.  $70\text{ кг}$ .
  - В.  $40\text{ кг}$ .
  - Г.  $57\text{ кг}$ .
9. Двигун внутрішнього згоряння працює на...
- а) нафті; б) кам'яному вугіллі; в) бензині; г) газі.
10. Які зміни енергії відбуваються під час падіння метеорита?
- А. Потенціальної і кінетичної.
  - Б. Потенціальної і внутрішньої.
  - В. Кінетичної і внутрішньої.
  - Г. Потенціальної, кінетичної і внутрішньої.
11. Під час гальмування поїзда була виконана робота  $150\,000\text{ кДж}$ . Яка кількість теплоти виділилася в гальмах?
- А. Менша за  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - Б. Більша за  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - В.  $150\,000\text{ кДж}$ .
  - Г. Правильної відповіді немає.
12. На практиці використовують установки, в яких застосовують водень і природний газ. Яка з установок має більший ККД?
- А. Що працює на водні.
  - Б. Що працює на природному газі.
  - В. Однакові.
  - Г. Правильної відповіді немає.



## ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ НАВКОЛО НАС

1. Льотчик посадив спортивний літак на дах вантажного автомобіля. За яких фізичних умов це можливо?
2. На гвинт нагвинчується гайка. Яка траєкторія руху центра гайки?
3. Яку форму мають траєкторії руху дітей, які крутяться на каруселі?
4. Якого виду рухи здійснюють різні частини швейної машини?
5. Пасажир розповідає: «Наш автобус рухався з малою швидкістю. Я глянув у вікно і побачив, як повз мене промайнули передні двері, вікна і задні двері іншого автобуса. Чому це наш автобус дав задній хід, запитав я подумки, але, поглянувши у бік тротуару, впевнився, що автобус їде вперед». Поясніть причину такого враження. На основі чого пасажир зробив висновок, що його автобус їхав уперед?
6. Мотоцикліст рухається в напрямку вітру зі швидкістю  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . Чи відчуватиме він вітер, швидкість якого така сама?
7. Чому важко розколоти горіх на м'якій опорі й легко — на твердій?
8. Чому краплини дощу під час різкого струшування злітають з одягу?
9. Існує два способи розколювання поліна. У першому випадку по поліну вдаряють швидкорухомою сокирою. У другому — легким ударом заганяють сокиру в поліно, а потім, піднявши сокиру з насадженим поліном, б'ють обухом об колоду. Поясніть явища, які при цьому спостерігаються.
10. Будівельник, тримаючи на долоні цеглу, вдаряє по ній молотком. Чому він не відчуває болю в руці від удару молотка?
11. Вершник швидко скаче на коні. Що відбудеться з вершником, якщо кінь спотикнеться?
12. Посеред басейну плаває м'яч. Щоб наблизити його до краю басейна, хлопчик палкою створює хвилі. Чи досягне він мети у такий спосіб? Відповідь обґрунтуйте.
13. Чи можна користуватися маятниковим годинником у стані невагомості?
14. Чому у порожній кімнаті добре чути навіть шепіт?
15. У хорі іноді другі голоси чути краще, ніж перші, хоч висота тону їх нижча. Поясніть, чому так.
16. Чому, спостерігаючи на відстані за роботою теслі, спочатку бачимо удар сокири по дереву, а потім чуємо звук удару?
17. Чи може виникнути луна в степу?
18. Чому вода завжди тече з вищого рівня до нижчого?
19. Чому краплі дощу падають до Землі швидше, ніж дрібні крапельки туману?
20. Під час виготовлення гирі в ній висвердлюють невелике заглиблення, в яке запресовують свинцеву або мідну пробку. Для чого це роблять?
21. Чи змінюється густина повітря в кабіні космічного корабля або станції в стані невагомості?
22. Запропонуйте спосіб вимірювання сили, з якою іграшковий автомобіль тягне по столу дерев'яний брусок.
23. Чому крейда залишає слід на класній дошці?
24. Чому металеві сідці (драбини, підніжки трамваю, вагона поїзда) не гладкі, а мають рельєфні виступи?
25. Чому кусок господарського мила легше розрізати міцною ниткою, ніж ножем?
26. Чому медичні голки полірують до дзеркального блиску?
27. Чому важко тримати в руках живу рибу?
28. На автомобілі з причепом потрібно перевезти масивний вантаж. Де його краще помістити: в кузові автомобіля чи причепі? Чому?
29. Члени екіпажу космічного корабля «Аполлон-12» Ч. Конрад і А. Бін розповідали, що

по Місяцю легко ходити, але вони часто втрачали рівновагу, тому що навіть при незначному нахилі вперед можна було впасти. Поясніть це явище.

30. Чому приємніше класти голову на подушку, ніж на похилу дерев'яну дошку?
31. Чому буря, яка валить живі дерева влітку, не може звалити висохле дерево, що стоїть поряд?
32. До людини, під якою розколовся лід, підходити не можна. Для її врятування кидають канат, кладуть драбину або довгу дошку. Поясніть, чому в такий спосіб можна врятувати людину.
33. Для чого заточують долота, пилки та інші різальні інструменти?
34. Під час роботи новим напилком доводиться прикладати більші зусилля, ніж при користуванні старим. Чому ж все-таки користуються новим напилком?
35. Поясніть, як наждачний папір шліфує металеві предмети.
36. Чому лимонад або мінеральна вода в закритій пляшці «спокійні», а якщо відкрити пляшку, то відразу починають «кипіти»?
37. Яким простим способом можна видалити вм'ятину в м'ячі для настільного тенісу?
38. У нафтовій промисловості для відкачування нафти на поверхню застосовується стиснене повітря, яке компресорами нагнітається у поверхневий простір нафтоносного шару. Дія якого фізичного закону проявляється при цьому?
39. Чи діятиме гідравлічний прес на Місяці так само, як і на Землі?
40. Чому вода з ванни витікає швидше, якщо в неї занурюється людина?
41. Чому плавець, який занурився на велику глибину, відчуває біль у вухах?
42. Чому чайник з коротким носиком є незручним?
43. Чому іноді на верхніх поверхах будинку вода не витікає з кранів водонапірної мережі, тоді як вона витікає з кранів на нижніх поверхах?
44. Чому людині доводиться прикладати значні зусилля, щоб витягнути ногу з болотистого ґрунту, а парнокопиті тварини легко з цим справляються?
45. Чому вода з перекинутої пляшки виливається ривками, з бульканням, а з гумової медичної грілки — рівною суцільною цівкою?
46. Чому в ртутному барометрі чашка набагато ширша від трубки?
47. Чи можна вважати медичний шприц насосом?
48. Яка будова клапанів, які дають змогу нагнітати повітря насосом у велосипедну шину, і де вони розміщені?
49. Для дії всмоктувального водяного або повітряного насоса потрібне менше зусилля, ніж для нагнітального. Чому?
50. Собака-рятувальник легко пересуває людину, яка тоне, у воді, однак на березі вона не може зрушити її з місця. Чому?
51. Для підводних човнів установлюється глибина, нижче від якої вони не повинні опуститися. Чим пояснюється таке обмеження?
52. Які висновки можна зробити про значення архімедової сили, виконуючи відповідні досліди на Місяці, де сила тяжіння у 6 разів менша, ніж на Землі?
53. Чи підтверджується дія закону Паскаля і архімедової сили на штучних супутниках Землі?
54. Людина лежить нерухомо на воді на спині й робить глибокі вдих і видих. Як змінюється при цьому положення тіла людини відносно поверхні води? Чому?
55. Чи може рятувальний круг утримати будь-яку кількість людей, які за нього вхопилися?
56. Як змінився б рівень води в океані, коли розтанули б усі айсберги?
57. Чому молоко опускається на дно склянки, коли його доливають у чай?
58. Чому не можна гасити гас, що горить, заливаючи його водою?
59. Лактометром визначають густину молока. В якому молоці: з більшим чи меншим умістом жиру — лактометр зануриться глибше? Чому?
60. Чи можна користуватися земними ареометрами на Місяці?
61. Водень і гелій під дією сили тяжіння мають опускатися вниз. Але наповнені ними літальні апарати (дирижаблі, зонди, аеростати) піднімаються вгору. Як пояснити таку суперечність?



62. Чи можна на Місяці для пересування астронавтів використовувати повітряні кулі?
63. Чи виконує кінь механічну роботу, збільшуючи швидкість руху воза?
64. Чому корабель з вантажем рухається повільніше, ніж без вантажу? Потужність двигунів в обох випадках однакова.
65. Чому плечі коромисла терезів ніколи не роблять короткими?
66. Як відомо, нерухомий блок виграшу в силі не дає. Однак під час перевірки динамометром виявляється, що сила, яка втримує вантаж на нерухомому блоці, трохи менша за силу тяжіння, що діє на вантаж, а під час рівномірного підйому більша за неї. Як це пояснити?
67. Чому в підйомних будівельних кранах гаки, на яких переносяться вантажі, закріплені не на кінці троса, а на обоймі рухомого блока?
68. Здійснювати стрибок у висоту легше «перекатом», ніж «прямо». Чому?
69. Автомобіль спускається з гори з вимкненим двигуном. За рахунок якої енергії рухається при цьому автомобіль?
70. За допомогою понтонів піднімають з дна моря корабель, що затонув. За рахунок якої енергії відбувається цей підйом?
71. За рахунок якої енергії піднімається аеростат або зонд для дослідження верхніх шарів атмосфери?
72. Водію треба переїхати на автомобілі калюжу з болотистим дном. Він вирішив розігнати автомобіль і на великій швидкості подолати її. Чи правильно він зробив?
73. Чому в вантажних автомобілів мають бути гальма потужніші, ніж у легкових?
74. Гімнаст спочатку стрибає на гнучку дошку — трамплін, а потім — вгору. Чому в цьому разі стрибок виходить вищим, ніж стрибок без трампліна?
75. Чому іноді автомобіль не може заїхати на гору, якщо він біля підніжжя не розгониться (не набуде відповідної швидкості)?
76. Який вітер, зимовий чи літній, при одній і тій самій швидкості має більшу потужність?
77. Чому при недостатньому змащенні виходять з ладу шатунні й корінні підшипники трактора?
78. Чим пояснюється значне нагрівання коліс автомобіля під час довготривалої поїздки?
79. Механізатори під час збирання врожаю уважно стежать, щоб соломка не накручувалася на вали комбайна. Чому?
80. Коли автомобіль більше затрачає пального: під час поїздки без зупинок чи із зупинками?
81. Чому зовнішні частини надзвукових літаків доводиться охолоджувати за допомогою спеціальних апаратів?
82. Коли космічний корабель більше нагрівається: під час запуску чи — посадки на Землю?
83. В якій посудині — мідній чи чавунній — частіше підгорають продукти під час їх приготування? Чому?
84. Чому металева чашка з чаєм обпікає губи, а порцелянова чашка з чаєм ні?
85. При якій температурі і дерево, і метал — здаватимуться на дотик однаково нагрітими?
86. Який ґрунт прогріється сонячним промінням швидше: вологий чи сухий?
87. Яке призначення товстого шару підшкірного жиру в китів, тюленів та інших тварин, що живуть у полярних водах?
88. Людина не відчуває прохолоди в повітрі при температурі 20 °С, а у воді відчуває її при температурі 25 °С. Чому?
89. В якому разі швидше охолоне чайник з окропом: якщо він стоїть на льоду чи якщо лід поклав на кришку чайника?
90. Чому тонка поліетиленова плівка захищає рослини від нічних заморозків?
91. Чому листя осики «тріпоче» навіть за безвітряної погоди?
92. Чому труба, по якій вода повертається в котел водяного опалення, підводиться до нього знизу, а не зверху?

93. Чи економічно виготовляти радіатори парового опалення добре відполірованими чи краще їх фабували в чорний колір?
94. Чому у холодну погоду деякі тварини сплять, згорнувшись у клубочок?
95. Чому термоси виготовлять круглого, а не квадратного перерізу?
96. Земля безперервно випромінює енергію в космічний простір. Чому ж Земля не замерзає?
97. Як скористатися для вимірювання температури повітря термометром, на шкалі якого збереглися тільки дві поділки: 20 і 40 °C?
98. Клімат островів помірніший і рівніший, ніж клімат великих материків. Чому?
99. Чому в пустелях удень спекотно, а вночі температура повітря падає нижче 0 °C?
100. Які переваги має ртуть перед іншими рідинами (спирт, ефір), що дають змогу застосовувати її у термометрах?
101. Чому внутрішні посудини калориметрів виготовляють з тонкої латуні або алюмінію, а не зі скла?
102. Чому сіль, яку кинули на розжарене вугілля, тріщить?
103. Як найпростіше визначити, яке із двох тіл твердіше?
104. Чи розплавиться невеликий кусочок олова, якщо його кинути в тигель з розплавленим свинцем?
105. Де ноги у взутті замерзають більше: на засніженому тротуарі чи на тому самому тротуарі, але посипаному сіллю?
106. Чому морський лід, що утворюється із солоної води, в подальшому стає майже зовсім прісним?
107. Чому мокрі пальці взимку примерзають до металевих предметів і не примерзають до дерев'яних?
108. Як пояснити, що на початку осені в річках та озерах вода не замерзає, хоча температура повітря на кілька градусів нижча від 0 °C?
109. Чому теплого зимового дня лижі залишають на свіжому снігу лижню?
110. Чи прискориться танення льоду в теплій кімнаті, якщо накрити його шубою?
111. Чому під час сильних морозів для відновлення гладкості льоду ковзанку поливають гарячою водою?
112. Чим пояснити, що під час сильних морозів у лісі тріщать дерева?
113. Для осушення боліт у субтропіках саджають евкаліпти. Куди дівається вода, яку вони поглинають?
114. Чому глина, мучне тісто під час нагрівання не стають м'якими, а твердіють?
115. Що охолоджується швидше в однакових умовах: жирний суп чи чай?
116. Щоб молоко не скисло в спекотний день, посудину слід помістити у воду і накрити серветкою, краї якої занурено у воду. На чому ґрунтується цей спосіб зберігання молока?
117. Чому в сухому повітрі людина витримує температуру, що перевищує 100 °C?
118. Чому влітку на лузі після заходу Сонця туман спочатку з'являється в низинах?
119. Для чого в кришці чайника роблять дірочку?
120. Чим пояснити, що тривалість варіння картоплі, починаючи з моменту закипання, не залежить від потужності нагрівника?
121. Чому питома теплота згорання палива сирих дров менша, ніж сухих тієї самої породи?
122. Чому ми сильно дмемо на полум'я сірника, свічки, коли хочемо їх погасити?
123. Розжарене вугілля, покладене на металеву пластинку, швидко гасне, а на дерев'яній дошці продовжує тліти. Чому?
124. На дні й кришці консервних банок штампують концентричні кола (гофри). З якою метою це роблять?
125. В якому випадку газ у циліндрі двигуна має більшу внутрішню енергію: після проскакування іскри чи в кінці робочого ходу?



## СЛОВНИК ФІЗИЧНИХ ТЕРМІНІВ

### А

**Аеростат** — апарат для повітроплавання, легший за повітря, наповнюється воднем або гелієм.

**Ареометр** — прилад для вимірювання густини рідини за глибиною його занурення в неї.

**Амплітуда коливань  $A$**  — це найбільше відхилення тіла від положення рівноваги. Одиницею амплітуди коливань в СІ є один метр (1 м).

**Атмосфера Землі** — повітряне середовище навколо Землі, яке обертається разом із Землею як єдине ціле.

### Б

**Барограф** — прилад для автоматичного безперервного запису змін атмосферного тиску.

**Барометр** — прилад для вимірювання атмосферного тиску.

**Барометр-анероїд** — безрідинний прилад для вимірювання атмосферного тиску.

**Батискаф** — глибоководний самохідний апарат для проведення досліджень у морях і океанах.

**Батисфера** — міцна сталева камера, обладнана спеціальною апаратурою для спостережень під водою; опускається з корабля на сталевому тросі.

**Блок** — простий механізм у формі колеса із жолобом, через який перекинута ланцюг, трос або мотузку.

### В

**Вага тіла  $P$**  — сила, з якою тіло внаслідок притягання до Землі діє на опору або підвіс.

**Ватерлінія** — лінія перетину корпусом судна поверхні води; показує межу занурення у воду навантаженого судна.

**Взаємодія** — взаємний вплив тіл або частинок, який зумовлює зміну стану їхнього руху. В механіці кількісною характеристикою взаємодії є сила і потенціальна енергія.

**Випромінювання** — вид теплообміну, який не потребує проміжного середовища між тілами і зумовлений випусканням і поглинанням ними теплового проміння.

**Внутрішня енергія тіла** — енергія руху та взаємодії частинок, з яких складається тіло. Внутрішню енергію тіла можна змінити шляхом виконання роботи або теплообміну.

### Г

**Гвинт** — простий механізм, різновид похилої площини.

**Гучність звуку** — фізична величина, яка є мірою сили слухового відчуття, що спричиняється звуком.

### Д

**Двигуни теплові** — машини, в яких внутрішня енергія палива перетворюється в механічну енергію. До теплових двигунів належать: парова машина, двигун внутрішнього згоряння (карбюраторний, дизельний), парова та газова турбіни, реактивний двигун.

**Деформація** — фізичне явище зміни форми або розмірів твердого тіла під дією зовнішніх сил, зміни температури тощо.

**Динамометр** — прилад для вимірювання сил.

### Е

**Енергія  $E$**  — фізична величина, що визначає здатність тіл виконувати роботу. Одиницею енергії в СІ є один джоуль (1 Дж).

**Енергія кінетична  $E_k$**  — фізична величина, яка характеризує енергію руху механічної системи; залежить від швидкостей руху і мас тіл, які входять до цієї системи.

**Енергія потенціальна  $E_p$**  — енергія, яка визначається взаємодією тіл, що залежить від взаємного розташування тіл або частин того самого тіла.

**Енергії збереження закон.** Енергія не зникає та не створюється з нічого. Вона тільки перетворюється з одного виду в інший, при цьому повне значення її зберігається.

### З

**Зважування тіла** — процес визначення маси або ваги тіла за допомогою терезів.

**Інерція** — явище збереження швидкості руху тіла за відсутності дії на нього інших тіл.

**Калориметр** — прилад для вимірювання кількості теплоти, яка виділяється або поглинається під час якого-небудь фізичного процесу.

**Кипіння** — інтенсивне випаровування рідини не тільки з її вільної поверхні, а й з усього об'єму всередину бульбашок пари, які при цьому виникають.

**Кількість теплоти  $Q$**  — міра внутрішньої енергії, переданої під час теплообміну від одного тіла до іншого без виконання роботи. Вона залежить від речовини, з якої складається тіло, від маси цього тіла та від різниці його кінцевої і початкової температур. Одиницею кількості теплоти, як і енергії, є один джоуль (1 Дж).

**Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізму  $\eta$**  показує, яка частина енергії, що підводить-ся до механізму, йде на виконання ним корисної роботи.

**Коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника  $\eta$**  — відношення тієї частини енергії, яка затрачається на виконання корисної роботи нагрівника, до всієї енергії, що виділяється внаслідок згоряння палива або під час роботи електричного нагрівника.

**Коливання** — рухи тіл, які точно або приблизно повторюються через певні інтервали часу.

**Коливання інфразвукові (інфразвук)** — коливання, частота яких менша за найнижчу частоту звукових коливань — 16 Гц.

**Коливання ультразвукові (ультразвук)** — коливання, частота яких більша за найвищу частоту звукових коливань — 20 000 Гц.

**Конвекція** — процес перенесення енергії струменями рідини або газу.

**Конденсація пари** — фізичний процес переходу речовини з газоподібного стану (при температурі конденсації) у рідкий внаслідок її охолодження.

**Кристалізація** — фізичний процес переходу речовини з рідкого стану (при температурі кристалізації) у твердий внаслідок її охолодження.

**Манометри** — вимірювальні прилади, які призначені для вимірювання тиску або різниці тисків.

**Маса тіла  $m$**  — фізична величина, яка характеризує інертність тіла. Одиницею маси в СІ є один кілограм (1 кг).

**Машина** — механізм або поєднання механізмів для перетворення енергії з одного виду в інший. У кожній машині є три основні частини — робочий орган, передавальний механізм і двигун. Наявність цих трьох частин відрізняє машину від будь-якого іншого технічного пристрою.

**Механічна робота  $A$**  — робота, яка виконується під час переміщення тіла під дією прикладеної до нього сили. Вона прямо пропорційна прикладеній до тіла силі і відстані, на яку це тіло переміщується в напрямі дії цієї сили. Одиницею роботи в СІ є один джоуль (1 Дж).

**Механічний рух** — зміна положення тіла з часом відносно інших тіл.

**Плавлення** — фізичний процес переходу речовини з кристалічного (твердого) стану (при температурі плавлення) в рідкий, який супроводжується поглинанням енергії.

**Плече сили** — найкоротша відстань від осі обертання тіла до лінії дії сили.

**Пароутворення** — фізичний процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний, для здійснення якого речовині потрібно надати певної кількості теплоти.

**Паскаля закон.** Тиск, створюваний на рідину або газ зовнішніми силами, передається рідиною або газом однаково в усіх напрямках.

**Період коливань  $T$**  — найменший інтервал часу, через який рух тіла повністю повторюється. Одиницею періоду коливань в СІ є одна секунда (1 с).

**Період обертання  $T$**  — інтервал часу, протягом якого матеріальна точка здійснює один оберт під час рівномірного руху по колу. Одиницею періоду обертання в СІ є одна секунда (1 с).

**Потужність  $N$**  — фізична величина, яка визначається відношенням виконаної роботи до



затраченого часу. Одиницею потужності в СІ є один ват (1 Вт).

**Прес гідравлічний** — це гідравлічна машина, призначена для пресування (стискування) пористих тіл (всередині яких є пустоти).

**Прості механізми** — пристрої, призначені для перетворення сили. Жодний з простих механізмів не дає виграшу в роботі: у скільки разів виграємо в силі, в стільки само разів програємо у відстані. Це правило назвали «золотим правилом» механіки.

**Р**

**Рух відносний** — рух тіл відносно інших тіл. Всі тіла природи перебувають у русі, тому всякий рух або спокій є відносним, тобто стан тіла залежить від того, відносно якого тіла цей стан розглядають.

**Рух рівномірний** — рух, під час якого тіло за будь-які однакові інтервали часу проходить однаковий шлях.

**Рух рівномірний по колу** — рух по колу зі швидкістю, сталою за значенням, але змінною за напрямом.

**Рух тепловий** — безладний рух молекул і атомів, який визначає температуру тіла.

**С**

**Сила  $F$**  — фізична величина, яка є мірою взаємодії тіл і є причиною зміни їх швидкостей. Характеризується напрямом у просторі, значенням і точкою прикладання.

**Сила Архімеда  $F_A$**  — сила, яка діє на занурене у рідину або газ тіло, напрямлена вертикально вгору, залежить від густини рідини або газу і об'єму зануреного тіла.

**Сила пружності  $F_{\text{пр}}$**  — сила, що виникає під час деформації тіла і напрямлена протилежно напрямку деформації.

**Сила тертя  $F_{\text{тер}}$**  — сила, яка виникає під час взаємодії між твердими тілами в місцях їх дотику і перешкоджає їх відносному переміщенню.

**Сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$**  — сила, з якою Земля притягує до себе тіла. Одиницею сили тяжіння, як і будь-якої іншої сили, в СІ є один ньютон (1 Н).

**Спідометр** — прилад для вимірювання швидкості руху транспортних засобів.

**Сполучені посудини** — з'єднані між собою посудини, в яких рідина може вільно перетікати з однієї посудини в іншу.

**Т**

**Температура тіла** — фізична величина, що характеризує інтенсивність теплового руху молекул тіла і пропорційна середній кінетичній енергії поступального руху молекул тіла.

**Теплообмін** — процес зміни внутрішньої енергії тіл без виконання роботи над ними та без виконання роботи самими тілами.

**Теплопровідність** — передача тепла від більш нагрітої до менш нагрітої частини тіла внаслідок теплового руху та взаємодії частинок тіла.

**Термометр** — прилад для вимірювання температури шляхом його контакту з досліджуванним середовищем.

**Тиск  $p$**  — величина, яка визначається відношенням значення сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні. Одиницею тиску є один паскаль (1 Па).

**Тиск гідростатичний  $p$**  — тиск рідин, зумовлений силою тяжіння.

**Тиск нормальний атмосферний  $p$**  — тиск атмосфери, що дорівнює тиску стовпа ртуті висотою 760 мм при температурі 0 °С. Одиницями атмосферного тиску є 1 мм рт. ст., один паскаль (1 Па) і один гектопаскаль (1 гПа).

**Тіло відліку** — тіло, відносно якого розглядається рух.

**Траєкторія** — це уявна лінія, яку описує тіло під час руху.

**Ч**

**Частота коливань  $n$**  — число коливань за одиницю часу. Одиницею частоти коливань в СІ є один герц ( $1 \text{ Гц} = 1 \frac{1}{\text{с}}$ ).

**Частота обертання  $n$**  — число обертів, які здійснює матеріальна точка під час рівномір-

ного руху по колу за одиницю часу. Одиницею частоти обертання в СІ є одиниця, поділена на секунду ( $1 \frac{1}{\text{с}}$ ).

### Ш

**Швидкість рівномірного руху тіла  $v$**  — фізична величина, яка визначається відношенням шляху, що пройшло тіло, до часу, протягом якого воно рухалося. Одиницею швидкості в СІ є один метр за секунду ( $1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ).

**Шлюз** — гідротехнічна споруда для переведення суден на річці або каналі з одного рівня на інший.

**Шлях** — довжина траєкторії, яку описує тіло під час руху протягом певного інтервалу часу. Одиницею шляху в СІ є один метр (1 м).

## ВІДПОВІДІ ДО ЗАДАЧ І ВПРАВ

2. Приклади механічного руху тіл: ластівка ловить комах у повітрі; вітер підняв угору аркуш паперу. 4. Не можна вибрати тіло відліку. 6. У спокої. Рухається. Пряма лінія. 9. Рівномірно прямолінійно. 11. Однаково. 12.  $16 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 13.  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 16. а) У спокої; б) у русі; в) у русі. У спокої відносно всіх тіл. 19. Кола. 21. Легковий автомобіль рухався вдвічі швидше. 23. 320 год. 24.  $41\,698\,800 \text{ м} = 41\,698,8 \text{ км}$ . 27. 81 000 км. 28. 2,56 с. 30. 1) 50 с; 2) 1000 м; 3)  $1,25 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 33. По прямій лінії. 34. 0,008 с. 35.  $74 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 36. 50 Гц. 37.  $1,7 \frac{1}{\text{с}}$ ;  $0,84 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 38. 0,40 м. 39.  $0 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ;  $10 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ . 44. Дзюрчання струмків зумовлене звуком, що виникає під час лопання повітряних бульбашок у воді. 45. По них стукають металевим предметом (молотком, ложкою). 47. 0,0625 с; 0,00005 с. 48. Комар. 49. 3310 м = 3,13 км. 51. Вата поглинає звук. 53. Тому що звук відбивається від стін тунелю. 56. Інфразвуків; 0,11 с. 60. Тому що повітря розріджене. 62. Мухи; 0,003 с; 0,5 с. 64. 50 с; 3 с. 65. Для поглинання звуків, що доходять до стін, і знищення шуму. 66. Ми чуємо грім довгий час, тому що звук, який виник під час блискавки, відбивається від хмар. 70. Ми не чуємо відбитого звуку. Внаслідок багаторазового відбивання звуку від дерев важко визначити напрям до джерела звуку. 74. Вони сприймають інфразвукові коливання. 75. 2 175 м = 2,175 км. 78. Човен рухатиметься від берега внаслідок взаємодії з людиною. 80. Коли людина йде проти вітру, то відчуває опір. Людина взаємодіє з вітром і Землею. 82. Взаємодією рушниць і кулі під час пострілу. 84. Явища інерції. 86. Автобус повернув управо. 89. Щоб автомобіль, мотоцикл, велосипед не занесло на повороті. 91.  $522 \text{ г} + 700 \text{ мг} = 0,5227 \text{ кг}$ . 92. Тому що ціна поділки шкали торговельних терезів становить 50 г. 94. Ресори розгинаються. 96. Тому що собака має більшу масу, і вона більш інертна. 98. Треба зважити, наприклад, 10 цвяхів. Знаючи масу всіх цвяхів і 10 цвяхів, можна визначити їхню кількість. 99. Немає необхідності. 101. Потрібно зважити 1 м дротини, потім — моток дроту. Щоб знати довжину дроту в мотку, потрібно масу всього дроту поділити на масу 1 м дроту. 103. Сила тяжіння. 105. Сила тяжіння. Град — повітря — Земля. 106. Щоб не було перевантаження, яке може призвести до розриву тросів. 109. На молоток масою 1,4 кг; в 1,6 раза. 111. За рахунок сили пружності і сили тяжіння. 113. 745,56 Н. 114. 98,1 Н. 115. 76,45 кг. 116. 49,05 Н. 117. Однакову. 118. Не завжди. 120. Під дією сили тяжіння. 122. Жорсткістю. 123. 121,5 Н. 125. 24,5 см. 126. 2,45 Н. 127. 133 Н. 128. У 146 разів. 129. 37 кг. 130. Вага. 132. а) Однакові; б) однакові; в) різні. 134. Притягуються. 135. 220 Н. 136. 70 Н. 137. Тому що на шайбу діє сила тертя ковзання. 140. Тканина розпалася б на нитки. 142. Це пов'язано з тим, що ковзаняр переходить з однієї поверхні на іншу, на



яких діють різні сили тертя ковзання. **144.** Коли сила тертя на вісі колеса більша, ніж сила тертя ковзання. **145.** Щоб поліпшити зчеплення колеса з дорогою, тобто збільшити силу тертя кочення. **150.** 6 Н. **151.** Потрібно прикласти силу до двох динамометрів одночасно. **154.** Це пов'язано із силою тертя. **158.** Щоб збільшити силу тертя. **160.** Зменшується сила тертя. **163.** Щоб зменшити силу тертя під час закручування шурупів. **164.** Для створення тиску, при якому руйнується дерево, на більшу площу леза треба діяти з більшою силою. **166.** Щоб зменшити тиск локомотива на рейки. **168.** На відір без дерев'яної ручки. **169.**  $1 \text{ мм}^2$ . **170.** Найбільше –  $60 \frac{\text{кН}}{\text{см}^2}$ , найменше –  $6 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ . **171.** Зайцю.

**172.** 2 400 Н. **173.** Потрібно, щоб площа, на яку діє сила, дорівнювала  $0,02 \text{ м}^2 = 200 \text{ см}^2$ . **175.** 73,575 МПа. **177.** 19,075 кПа; 38,150 кПа. **178.** У 167 759 разів. **179.** 450 м<sup>2</sup>. **180.** 1 кН; 2 кН; 4 кН. **181.** 4 893 кг. **184.** За рахунок малої площі жала. **185.** Під час різкого зростання тиску всередині рідини може тріснути пляшка. **187.** Тому що на великих глибинах — високий тиск, який може зашкодити здоров'ю водолаза. **190.** 1 765,8 Па. **191.** 9 417,6 Па. **192.** 74 м. **194.** У сирому яйці діє закон Паскаля. **196.** Найбільший – у посудині зі ртуттю, найменший – у посудині з гасом. **198.** Якщо самовар повний, то склянка наповниться окропом швидше. **200.** Не змінилися – маса молока, сила тяжіння, вага молока, об'єм молока, сила тиску; змінився тиск. **201.** 10 104 300 Па; 11 114 730 Н. **202.** 7 602,75 Па. **203.** За рахунок атмосферного тиску. **207.** Тому що відбувається різке зменшення атмосферного тиску. **208.**  $0,0000529 \text{ Н} = 52,9 \text{ мкН}$ . **216.** Для того щоб мастило могло виливатися з бідона. Якби не було малого отвору, то під дією атмосферного тиску мастило не виливалося б і ми не могли наповнити ним бідон. **219.** Не діятиме. **220.** 162 120 Па. **222.** 3200 Н. **226.** Нагнітальний. **229.** 248 475 Па. **231.** Щоб трубки не сплющувалися. **232.** Тому що на ноги діє виштовхувальна сила, напрямлена вертикально вгору. **234.** Щоб легше було занурюватися у воді на певну глибину. **236.** Коли якір перебуває у воді, то натяг ланцюга менший. **237.** 19 620 Н; 15 696 Н. **238.**  $4,08 \text{ дм}^2$ .

**239.**  $800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  (гас). **240.** Виливок свинцю спливе у ртуті; дубовий брусок потоне у бензині; кусок льоду потоне у гасі; олія плаватиме на поверхні води. **245.** 10 000 т. **246.** 970 м. **247.** Ні. Ні, порушиться. **249.** Тому що густина газів набагато менша за густину рідин. **254.** Поставити молоко у холодне місце. Важча склянка молока. **256.** Ні. **262.** Тому що на підводний човен не діє сила Архімеда. **263.** 60,6 МПа. **265.** 253 кН. **266.** 126,5 Н. **267.** а) Сила тяжіння; б) сила тертя; в) сила, яку прикладає спортсмен; г) сила Архімеда. **268.** Вантаж масою 200 кг; у 2,5 раза. **269.** 500 Дж. **270.** 3434 Дж. **271.** 41 см. **273.** 39,6 МДж. **274.** 576 кДж. **275.** 20 м. **276.** 147 Вт. **277.** 33 кВт. **278.** 42 500 Вт. **279.** 0,1 мВт. **280.** 2,5 кВт. **284.** За рахунок потенціальної енергії молотка. **285.** Тіло масою 5 кг. **289.** 294,3 Дж. **290.** 20 кг. **291.** 0,32 Дж. **292.** 3,5 кДж. **293.** Можуть, якщо вони рухатимуться з різними швидкостями. **296.** Потенціальної енергії. Означає надати пружині потенціальної енергії. **297.** За рахунок потенціальної енергії сокири. **305.** 1962 Дж; 2943 Дж. **306.** Потенціальну – 24 кДж; кінетичну – 400 кДж. **308.** 30 Дж. **309.** 48 Дж. **310.** 750 Вт. **311.** 5 кВт. **312.** 147 Дж. **316.** Легше розламати сірник посередині, тому що діє більше плече сили. **321.** Для забезпечення стійкості підйомного крана під час піднімання вантажів. **323.** Зрівноважити як важіль. **325.** 400 Н. **326.** 360 Н. **329.** Різниця у різі. **331.** При переміщенні тіла на відстань 8 м під дією сили 25 Н. **332.** 736 Вт. **335.** Неоднакову. **336.** Ніякого. **342.** 83 %. **343.** 78 %. **344.** Внутрішня енергія гарячої води більша, тому що температура її вища. **345.** Ні. **347.** Можна обпекти руки. **350.** Щоб енергія від варення не забирався металевою ложкою. **352.** Цегла. **365.** Ні. Так. **369.** У першому випадку внутрішня енергія збільшилася, а в другому – зменшилася. **375.** Цегляному. **376.** Для збільшення тяги. **382.** Зміниться. **383.** Ні. Для нагрівання на  $1 \text{ }^\circ\text{C}$  1 кг алюмінію потрібно 920 Дж, 1 кг заліза – 460 Дж, 1 кг латуні – 380 Дж, 1 кг свинцю – 140 Дж. **388.** Тому що вода має найбільшу питому теплоємність. **390.** 336 кДж. **391.** 92 кДж. **392.** 750 кДж. **394.** 241,92 МДж. **395.** 96,72 МДж; 767,6 кг. **396.** 24 г.

**398.** Тому що олово має низьку температуру плавлення – 232 °С. **399.** 174,6 кДж. **400.** 3324 кДж. **401.** 1,87 кг. **402.** 1662 кДж. **404.** Можна. **405.** 234 кДж. **406.** 276,4 кДж. **407.** Ні. **408.** Для срібла. **411.** Щоб збільшити поверхню висихання. **413.** 345 кДж. **414.** 23 МДж. **418.** 13,18 МДж; при конденсації 5 кг пари. **419.** 6,147 МДж. **425.** Тому що частина енергії йде на випаровування води. **426.** 324 МДж. **427.** 6,6 кг. **428.** 36,4 г; 6,8 г; 54,5 г вуглецю і 145,6 г кисню. **429.** 8 кг. **430.** 510 МДж; 175 МДж. **432.** а) 28 МДж; б) 46 МДж/кг; в) метан; тверде ракетне паливо; г) 1,8 кг; д) 1 кг; е) 0,14 кг. **435.** Під час роботи двигун нагрівається, і вода забирає від нього енергію, охолоджуючи його. **438.** Для охолодження двигуна. Вода має найбільшу питому теплоємність серед рідин. **441.** Двигун внутрішнього згорання. **442.** 4. **443.** Кінетичну енергію пари. **445.** 1389 м. **447.** На зміну внутрішньої енергії шматка металу. **451.** Частина енергії пари витратилася на обертання лопатей турбіни. **454.** Для роботи реактивного двигуна не потрібне повітря. **455.** 128 осіб. **456.** На 24 т.

## ВІДПОВІДІ ДО РОЗДІЛУ «ЩО Я ЗНАЮ І ВМІЮ РОБИТИ»

**Розділ 1.** **3.** 2040 м. **4.** 50 Гц. **5.** 850 м. **9.** Щоб перевірити цілісність бандажа колеса. **12.** 0,9 с.

**Розділ 2.** **1.** 153 т; 50 кН. **3.** А. Силою земного тяжіння. Б. Силою тертя. В. Силою пружності. **4.** 1. Силу тяжіння. 2. Силу пружності. 3. Вагу тіла. **5.** Динамометри; 100 г; 500 г; 1 Н; 5 Н. **6.** 2 Н; 2 Н; 200 г. **7.** 12,8 Н. **8.** 687 Н. **9.** Нерівномірно, бо  $F > F_{\text{оп}}$ . **11.** Тому що густина залізного циліндра більша, ніж густина води, а льоду – менша. **12.** Ні, він потоне.

**Розділ 3.** **2.** Хлопчики виконали однакову роботу – 19 620 Дж. **3.** 64 Вт. **4.** 216 ГДж. **6.** 0,25 Дж; 1,58 м/с; 9,25 Дж. **9.** У 4 рази. **10.** У 6 разів. **11.** Порушиться. **12.** 83 %.

**Розділ 4.** **2.** Внутрішня енергія 1 кг води збільшилася на 4 200 Дж, а 1 кг заліза – на 460 Дж. **3.** 324 кДж. **4.** Можна. **5.** 7 908 кДж. **6.** Вистачить. **9.** Ні. **10.** Не зміниться, поки лід не розтане.

## ВІДПОВІДІ ДО РОЗДІЛУ «ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ НАВКОЛО НАС»

**1.** Якщо літак відносно автомобіля нерухомий, тобто якщо літак рухається майже горизонтально з тією самою швидкістю відносно Землі, що й автомобіль. **2.** Пряма лінія. **3.** Кола. **4.** Поступальний та обертальний. **5.** Тому що інший автобус рухався з більшою швидкістю. **6.** Ні. **7.** У випадку м'якої опори сила удару в основному йде на зміну швидкості руху горіха — спочатку він набуває швидкості, а потім, заглибившись в опору, втрачає її. Шкаралупа майже не змінює своєї форми і тому не руйнується. Якщо горіх розміщується на твердій опорі, то цього не відбувається, і він розколюється. **8.** За рахунок інертності крапель води. **9.** У тому випадку, коли розколюють дрова, вдаряючи по поліну сокирою, вона, продовжуючи рух внаслідок інертності, входить глибоко в нерухоме поліно. Якщо ж ударяють обухом сокири, частково заглибленої в поліно, об колодку, на якій розколюють дрова, сокира зупиняється, а поліно продовжує рух внаслідок інертності і розколюється. **10.** Внаслідок інертності цегла за час удару не встигає помітно змінити свою швидкість руху і не тисне на руку будівельника, тому він не відчуває болю. **11.** Під час зупинки коня, рухаючись за інерцією, вершник упаде вперед через голову коня.



**13.** Ні. **15.** Сила звуку залежить від значення амплітуди коливань тіла. **16.** Тому, що звук поширюється набагато повільніше, ніж світло. **17.** Ні. **18.** Завдяки силі тяжіння. **19.** Тому що вони мають більшу масу. **20.** Для забезпечення точної маси гирі під час її перевірки. **21.** Ні. **23.** За рахунок сили тертя. **24.** Щоб збільшити силу тертя ковзання підшв взуття об східці. **25.** Під час розрізання ниткою виникає значно менша сила тертя, ніж під час розрізання ножем. **26.** Для зменшення сили тертя голки об шкіру під час уколу. **27.** Тіло риби покрите слизом, який зменшує силу тертя, і вона вислизує з рук. **28.** У кузові автомобіля для збільшення сили тертя спокою, тобто зчеплення коліс з дорожнім полотном. **29.** Стійкість ходьби людини визначається силою тертя між підшвою взуття і ґрунтом. Оскільки сила тяжіння на Місяці у 6 разів менша, ніж на Землі, то там під час ходьби виникала менша сила тертя. **30.** Голова на подушку створює менший тиск, ніж на дошку. **31.** Живі дерева мають більшу площу опори при тому самому тиску, ніж сухі дерева. **32.** Збільшується площа опори, і лід не провалюється. **33.** Для зменшення площі різального інструменту. **34.** Новий напилок глибше заходить у метал, за рахунок чого зростає швидкість обробки деталі. **36.** У напоях розчинений вуглекислий газ під більшим тиском, ніж атмосферний. Якщо пляшку відкрити, газ всередині розширюється, внаслідок чого рідина «кипить». **37.** Нагріти м'яч у гарячій воді. **38.** Закон Паскаля. **39.** Буде діяти. **40.** Тому що збільшується висота води у ванні. **41.** Тому що збільшується тиск на барабанні перетинки у вухах. **42.** Якщо чайник до краю наповнений, то при незначному нахилі з нього виливається вода. **43.** Тому що рівень води у водонапірній вежі нижчий за рівень розміщення кранів на верхніх поверхах будинку. **44.** Тому що повітря просочується між роздвоєнням копита, внаслідок чого не виникає різниці тисків над і під копитом. **45.** Коли вода витікає з пляшки, повітря в ній розширюється, тиск його падає і стає меншим за атмосферний. Внаслідок цього зовнішнє повітря бульбашками проривається крізь рідину в пляшку. Виникає «булькання». Стінки гумової грілки еластичні. Під час витікання води вони стискаються. Тиск повітря всередині грілки такий самий, як і зовні. Тому вода витікає суцільною цівкою. **46.** Щоб збільшити точність приладу. **47.** Не можна. **48.** Одним клапаном є поршень, другим — ніпель у шині. **49.** Під час роботи всмоктувального насоса, що розміщується зверху колодязя, підйом води здійснюється під дією сили атмосферного тиску; в нагнітальному насосі, що розміщується на дні колодязя, підйом води здійснюється під дією сили м'язів людини. **50.** У воді на людину діє виштовхувальна сила. **51.** Тому що існує межа міцності конструкції човна, а отже, й межа глибини його занурення. **52.** Значення одне й те саме. **53.** Закон Паскаля діє, сила Архімеда відсутня. **54.** Під час вдиху людина спливає, під час видиху занурюється глибше у воду, тому що змінюється об'єм грудної клітки. **55.** Ні. **56.** Підвищився б. **57.** Тому що молоко має більшу густину. **58.** Гас буде спливати у воді і продовжуватиме горіти. **59.** Густина жирнішого молока менша, в ньому лактометр зануриться глибше. **60.** Можна. **61.** Рух водню і гелію вверх зумовлений аеростатичним тиском повітря, що витісняє ці гази. **62.** Ні. **63.** Виконує. **64.** Зі збільшенням навантаження корабель глибше занурюється у воду. Це підвищує силу опору води руху корабля, що призводить до втрати ним швидкості. **65.** Для збільшення чутливості терезів. **66.** Дією сили тертя. **67.** Таке кріплення дає можливість зменшити натяг троса вдвічі. **68.** У стрибку «перекатом» спортсмен не так високо піднімає тіло над планкою, як у стрибку «прямо», тому виконує меншу роботу. **69.** За рахунок різниці потенціальної енергії автомобіля на вершині і біля підніжжя гори. **70.** За рахунок потенціальної енергії стисненого повітря. **71.** За рахунок потенціальної енергії, яку набув аеростат під час наповнення газом. **72.** Правильно. **73.** При однакових швидкостях тіло, яке має більшу масу, має і більшу кінетичну енергію. **74.** За рахунок потенціальної енергії пружно деформованого тіла. **75.** Якщо автомобіль розганяється, то до механічної енергії двигунів додається раніше набута кінетична енергія самого автомобіля. **76.** Зимовий. **77.** При недостатньому змащенні підшипників у результаті тертя механічна енергія перетворюється у внутрішню. Температура бабіта піднімається до точки плавлення, і він плавиться. **78.** Колеса автомобіля нагріваються і за рахунок роботи сили тертя під час часткового проковзування їх по полотну дороги, і за рахунок робо-

ти деформації шин під час кочення. **79.** Під час тертя солома може розігрітися і спалахнути, що призведе до пожежі. **80.** Із зупинками. **81.** Тому що вони втратили б свою міцність внаслідок нагрівання під час тертя об повітря. **82.** Під час посадки. **83.** У мідній, тому що теплопровідність міді більша, ніж чавуну. **84.** Алюміній має більшу теплопровідність, ніж порцеляна. **85.** При температурі тіла людини. **86.** Вологий. **87.** Жир має низьку теплопровідність і захищає організм тварини від надмірного охолодження в полярних водах. **88.** Вода має набагато більшу теплопровідність, ніж повітря, тому у воді тіло людини охолоджується швидше. **89.** Коли лід покласти на кришку чайника. **90.** Плівка затримує повітря певної температури біля рослин. **91.** За рахунок вертикальних висхідних потоків повітря. **92.** Щоб забезпечити природну циркуляцію води в системі водяного опалення. **93.** Краще фарбувати в чорний колір. **94.** Щоб зменшити поверхню випромінювання тепла з тіла. **95.** Круглий термос має меншу поверхню, тому він меншою мірою поглинає і віддає теплоту. **96.** Разом із процесом випромінювання енергії в космос відбувається і процес поглинання енергії Сонця. **99.** Пісок має малу питому теплоємність, тому швидко нагрівається і охолоджується. **100.** Мала питома теплоємність, велика теплопровідність, не змочує скло, порівняно легко одержати в чистому вигляді, висока температура кипіння, нижча порівняно з водою, точка тверднення. **102.** Вода всередині солі, перетворюючись у пару, розриває кристали. **103.** Нанести подряпину одним тілом на поверхні іншого. **104.** Розплавиться. **105.** На тротуарі, посипаному сіллю. **106.** Під час морозу сіль у вигляді розчину покидає лід. **107.** Метал має більшу теплопровідність, ніж дерево, тому він відводить від тонкої плівки води тепло настільки швидко, що вона охолоджується нижче від точки плавлення і замерзає. **108.** Великою питомою теплоємністю води. **109.** Під час тертя лиж об сніг він плавиться, а потім знову твердне. **110.** Ні. **111.** Гаряча вода «розплавляє» тонкий шар льоду, не так швидко замерзає, встигає розтектися, і поверхня льоду стає гладенькою. **112.** Вода, замерзаючи під час сильних морозів, розриває волокна деревини. **113.** Випаровується з поверхні листя дерев. **114.** Внаслідок випаровування води. **115.** Чай. **116.** Постійне випаровування води із серветки спричиняє охолодження молока. **117.** У сухому повітрі піт випаровується і охолоджує тіло людини. **118.** У низинах температура повітря нижча, ніж на підвищенні. **119.** Для виходу пари. Без дірочки у кришці пара може витіснити воду через носик чайника. **120.** Потужність нагрівника не впливає на температуру кипіння води, в якій вариться картопля. **121.** Деяку кількість теплоти необхідно затратити на випаровування води, яка міститься в сирих дровах. **122.** Потік повітря зриває полум'я зі свічки і сірника, охолоджує горючі речовини. **123.** Тому що метал набагато швидше забирає енергію від вугілля, ніж дерево. **124.** Щоб їх не «роздувало» під час нагрівання. **125.** Після проскакування іскри.



## ПРЕДМЕТНО-ІМЕННИЙ ПОКАЖЧИК

**А**кваланг 112  
Акустика 31  
Амплітуда коливань 27  
Ареометр 113

**Б**арограф 99, 100  
Барометр ртутний 99, 100  
— анероїд 99, 100  
Батискаф 112  
Батисфера 112  
Белл Грейам 33  
Блок нерухомий 145  
— рухомий 146  
Бойль Роберт 37

**В**ага тіла 65  
Важіль 145, 149  
Ват 132  
Ватерлінія 113  
Векторна величина 13  
Взаємодія тіл 52–53  
Випаровування 196  
Випромінювання 175, 176  
Висота звуку 33  
Відносність руху 9  
Водотоннажність 114  
Вухо 31

**Г**алілей Галілео 10, 54, 122  
Гальма гідралічні 93  
Гвинт 147  
Геріке Отто 101  
Герц 28  
Герц Генріх 28  
Графік руху 17  
— швидкості 17  
Гук Роберт 64, 121  
гучність звуку 33

**Д**вигун внутрішнього згоряння 209  
— реактивний 211  
— тепловий 208  
Денсиметр 113  
Децибел 33, 41  
Джоуль 130  
Джоуль Джеймс 130  
Динамометр 70–71

Дирижабль 114, 115  
Довжина хвилі 35

**Е**нергія 135  
— внутрішня 170  
— кінетична 137  
— потенціальна 135, 136  
Ехолот 39

**З**акон Архімеда 109  
— Гука 65  
— збереження енергії в механічних і теплових процесах 214  
— — механічної енергії 138, 139  
— Паскаля 86, 87  
— сполучних посудин 94  
Зважування гідростатичне 116  
Згоряння палива 202  
«Золоте правило» механіки 151, 152

**І**нерція 54

**К**амертон 32  
Кипіння 197  
Кількість теплоти 180, 182  
Клин 147  
Коефіцієнт корисної дії (ККД) механізмів 152  
— — — нагрівника 215  
Колівання вільні 27  
— звукові 33  
— інфразвукові 39  
— механічні 26  
— ультразвукові 39  
Коловорот 146  
Конвекція 174  
Кристалізація речовини 191  
Кусто Жак-Ів 112

**Л**уна 38

**М**анометр 102, 103  
Матеріальна точка 8  
Машина 144, 145  
Машина гідралічні 91, 92  
Метр 11  
Механізм 143  
Момент сили 149

**Н**асос рідинний 103, 104

Невагомість 66

Ньютон 62

Ньютон Ісаак 121

**П**ароутворення 196

Паскаль 82

Паскаль Блез 122

Період коливань 27, 28

— обертання 24

Питома теплоємність речовини 182

— теплота згоряння палива 204

— — пароутворення речовини 199

— — плавлення речовини 193

Плавлення речовини 191

Потужність 131

Похила площа 146, 147

Правило важеля 152

Прес гідравлічний 92

Прості механізми 147

**Р**івняння теплового балансу 186

Робота механічна 130

Рух коливальний 26

— механічний 8

— нерівномірний 12

— обертальний 23

— по колу 23

— поступальний 10

— прямолінійний рівномірний 11, 16

— тепловий 165

Рухи періодичні 24

**С**ила 60

— виштовхувальна 108, 109

— опору 76

— пружності 64, 65

— рівнодійна 78, 79

— тертя 73

— тиску 82

— тяжіння 62

Спідометр 21

Сполучні посудини 93, 94

Стробоскоп 25

**Т**емпература кипіння 197

— конденсації 197

— кристалізації 191

— плавлення 191

— тіла 165

Тепловий баланс 185

Теплообмін 172

Теплопровідність 173

Термометр 165, 168

Термоскоп Галілея 165

Тертя ковзання 73, 75

— кочення 73, 75

— спокою 73, 75

Тиск 82

— атмосферний 97, 98

— гідростатичний 87

Тіло відліку 9

Тон музичний 32

Торрічеллі Еванджеліста 122

Траєкторія 10

Турбіна газова 211

— парова 210

Тяжіння всесвітнє 63

**У**атт Джеймс 213, 220

Умова рівноваги важеля 150

— плавання тіл 111, 112

**Ф**аренгейт Габріель 166

**Х**виля звукова 31, 32, 36

**Ч**астота коливань 28

— обертання 24

**Ш**видкість поширення звуку 37, 38

— рівномірного руху тіла 12, 13, 15

— середня 15

Шестерня 147

Шкала Реомюра 166

— Цельсія 166, 167

Шлюзи 95

Шлях 11

Шум 34, 41–43

Шумомір 41



Навчальне видання

**СИРОТЮК Володимир Дмитрович**

# Фізика

Підручник для 8 класу загальноосвітніх навчальних закладів

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

**Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено**

Редактор *К. Дмитренко*

Макет, художнє оформлення *А. Віксенко*

Технічний редактор *Л. Аленіна*

Коректори *Н. Савіна, І. Соколов*

Комп'ютерний дизайн, верстка *О. Гула*

Малюнки *О. Гула, В. Хайдурова*

Фотографії *В. Сиротюк, А. Віксенко,*

*К. Дмитренко, Г. Милиневський, О. Гула, А. Маковнєв*

Джерела ілюстрацій

*Collection J.-P. Durandau «Sciences Physiques» 5<sup>e</sup>,*

*Fernand Nathan «Eveil aux sciences physiques» 5<sup>e</sup>,*

*Collection Daniel Secretan «Sciences Physiques» 3<sup>e</sup>,*

*Roger Caratini «La physique et la chimie»,*

*журнал «За рулем» №9'2003*

Підписано до друку 27.06.2008. Формат 70×100<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Папір офсет. Друк офсет.

Гарнітури Шкільна, Прагматика. Умов.-друк. арк. 19,5 + 0,33 форзац.

Обл.-вид. арк. 19,8 + 0,4 форзац.

Наклад 137 600 прим. (ІІ з-д 90 001 — 137 600). Зам. № 33/05

**Видавництво «Зодіак-ЕКО»**

Свідоцтво про реєстрацію ДК № 155 від 22.08.2000 р.

01004, Київ, вул. Басейна, 1/2

Видрукувано ТОВ «ТОРНАДО»

61045, м. Харків, вул. Отакара Яроша, 18

## ЛАТИНСЬКИЙ АЛФАВІТ

| Буква | Назва<br>букви | Буква | Назва<br>букви |
|-------|----------------|-------|----------------|
| A a   | а              | N n   | ен             |
| B b   | бе             | O o   | о              |
| C c   | це             | P p   | пе             |
| D d   | де             | Q q   | ку             |
| E e   | е              | R r   | ер             |
| F f   | еф             | S s   | ес             |
| G g   | ге (же)        | T t   | те             |
| H h   | ха (аш)        | U u   | у              |
| I i   | і              | V v   | ве             |
| J j   | йот (жі)       | W w   | дубль-ве       |
| K k   | ка             | X x   | ікс            |
| L l   | ель            | Y y   | ігрек          |
| M m   | ем             | Z z   | зет            |

## ГРЕЦЬКИЙ АЛФАВІТ

| Буква | Назва<br>букви | Буква | Назва<br>букви |
|-------|----------------|-------|----------------|
| A α   | альфа          | N ν   | ню (ні)        |
| B β   | бета           | Ξ ξ   | ксі            |
| Γ γ   | гамма          | O o   | омікрон        |
| Δ δ   | дельта         | Π π   | пі             |
| E ε   | епсilon        | Ρ ρ   | ро             |
| Z ζ   | дзета          | Σ σ   | сигма          |
| Η η   | ета            | Τ τ   | тау            |
| Θ θ   | тета           | Υ υ   | іпсилон        |
| I ι   | йота           | Φ φ   | фі             |
| K κ   | каппа          | Χ χ   | хі             |
| Λ λ   | ламбда         | Ψ ψ   | псі            |
| M μ   | мі (мю)        | Ω ω   | омега          |



## ТАБЛИЦЯ МНОЖЕННЯ ПІФАГОРА

| ×  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  |
|----|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|
| 1  | 1  | 2  | 3  | 4  | 5  | 6  | 7  | 8  | 9   | 10  | 11  | 12  |
| 2  | 2  | 4  | 6  | 8  | 10 | 12 | 14 | 16 | 18  | 20  | 22  | 24  |
| 3  | 3  | 6  | 9  | 12 | 15 | 18 | 21 | 24 | 27  | 30  | 33  | 36  |
| 4  | 4  | 8  | 12 | 16 | 20 | 24 | 28 | 32 | 36  | 40  | 44  | 48  |
| 5  | 5  | 10 | 15 | 20 | 25 | 30 | 35 | 40 | 45  | 50  | 55  | 60  |
| 6  | 6  | 12 | 18 | 24 | 30 | 36 | 42 | 48 | 54  | 60  | 66  | 72  |
| 7  | 7  | 14 | 21 | 28 | 35 | 42 | 49 | 56 | 63  | 70  | 77  | 84  |
| 8  | 8  | 16 | 24 | 32 | 40 | 48 | 56 | 64 | 72  | 80  | 88  | 96  |
| 9  | 9  | 18 | 27 | 36 | 45 | 54 | 63 | 72 | 81  | 90  | 99  | 108 |
| 10 | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 70 | 80 | 90  | 100 | 110 | 120 |
| 11 | 11 | 22 | 33 | 44 | 55 | 66 | 77 | 88 | 99  | 110 | 121 | 132 |
| 12 | 12 | 24 | 36 | 48 | 60 | 72 | 84 | 96 | 108 | 120 | 132 | 144 |

## КВАДРАТИ І КУБИ НАТУРАЛЬНИХ ЧИСЕЛ ДО 30

| n  | n <sup>2</sup> | n <sup>3</sup> | n  | n <sup>2</sup> | n <sup>3</sup> | n  | n <sup>2</sup> | n <sup>3</sup> |
|----|----------------|----------------|----|----------------|----------------|----|----------------|----------------|
| 1  | 1              | 1              | 11 | 121            | 1331           | 21 | 441            | 9 261          |
| 2  | 4              | 8              | 12 | 144            | 1728           | 22 | 484            | 10648          |
| 3  | 9              | 27             | 13 | 169            | 2197           | 23 | 529            | 12 167         |
| 4  | 16             | 64             | 14 | 196            | 2744           | 24 | 576            | 13 824         |
| 5  | 25             | 125            | 15 | 225            | 3375           | 25 | 625            | 15 625         |
| 6  | 36             | 216            | 16 | 256            | 4096           | 26 | 676            | 17 576         |
| 7  | 49             | 343            | 17 | 289            | 4913           | 27 | 729            | 19 683         |
| 8  | 64             | 512            | 18 | 324            | 5832           | 28 | 784            | 21 952         |
| 9  | 81             | 729            | 19 | 361            | 6859           | 29 | 841            | 24 389         |
| 10 | 100            | 1000           | 20 | 400            | 8000           | 30 | 900            | 27 000         |

## Відомості про стан підручника

| № | Прізвище та ім'я учня | Навчальний рік | Стан підручника |              | Оцінка |
|---|-----------------------|----------------|-----------------|--------------|--------|
|   |                       |                | на початку року | в кінці року |        |
| 1 |                       |                |                 |              |        |
| 2 |                       |                |                 |              |        |
| 3 |                       |                |                 |              |        |
| 4 |                       |                |                 |              |        |
| 5 |                       |                |                 |              |        |

**Сиротюк В. Д.**

**С40**      Фізика : підруч. для 8 класу загальноосвіт. навч. закл. / В. Д. Сиротюк. – К. : Зодіак-ЕКО, 2008. — 240 с. : іл.

**ISBN 978-966-7090-60-9**

**ББК 22.3я72**