

Ф. Я. Божинова, І. Ю. Ненашев,  
М. М. Кірюхін

# ФІЗИКА

# 8

Підручник для загальноосвітніх  
навчальних закладів

Рекомендовано  
Міністерством освіти і науки України



Харків  
РАНОК-нт  
2008

УДК 371.388:53  
ББК 22.3я721  
Б76

Видано за державні кошти.  
Продаж заборонено

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 19.03.2008 р. № 205)

Працівники Міністерства освіти і науки України  
та Інституту інноваційних технологій і змісту освіти,  
які є відповідальними за підготовку до видання підручника:  
*О. В. Хоменко*, головний спеціаліст МОН України,  
*І. А. Юрчук*, методист вищої категорії  
Інституту інноваційних технологій і змісту освіти

Рецензенти:

*О. М. Габович*, доктор фіз.-мат. наук, провідний  
науковий співробітник Інституту фізики НАН України,  
*В. А. Одарич*, канд. фіз.-мат. наук, доцент КНУ ім. Т. Г. Шевченка

**Божина Ф. Я.**

Б76 Фізика. 8 клас: Підручник / Ф. Я. Божина, І. Ю. Ненашев, М. М. Кірюхін. — Х.: Ранок-НТ, 2008. — 256 с.: іл.

ISBN 978-966-315-001-7

Пропонований підручник є складовою частиною навчально-методичного комплексу «Фізика-8», що включає також методичні рекомендації для вчителя, збірник задач, зошит для лабораторних робіт та заліковий зошит для тематичного оцінювання.

Основна мета підручника — сприяти формуванню базових фізичних знань, показати їх необхідність для розуміння навколишнього світу.

УДК 371.388:53  
ББК 22.3я721

© Ф. Я. Божина, І. Ю. Ненашев,  
М. М. Кірюхін, 2008  
© В. В. Зюзюкін, О. В. Пуляєва, іл., 2008  
© ПП «Ранок-НТ», 2008


ISBN 978-966-315-001-7


## ДОРОГІ ДРУЗІ!


Цього навчального року триває ваша подорож світом фізики. На вас чекатиме багато цікавого, адже ви будете спостерігати явища природи, проводити фізичні експерименти й на кожному уроці робити власні маленькі відкриття. На цій дорозі зустрінуться не тільки добре відомі з курсу природознавства та математики поняття: «швидкість», «шлях», «сила», «робота», — а й багато нових, ще не відомих вам.


Жодна справжня подорож не буває легкою, але ж скільки нового ви дізнаєтеся про світ навколо! І головним помічником у цьому стане підручник, який ви тримаєте в руках.

Будьте уважними й наполегливими, вивчаючи зміст кожного параграфа. І тоді вам вдасться зрозуміти суть викладеного матеріалу і застосувати здобуті знання в повсякденному житті. Зверніть увагу, що кожний параграф завершується рубриками: «Підбиваємо підсумки», «Контрольні запитання», «Вправи», «Експериментальні завдання». Для чого вони потрібні і як ними користуватися?

 У рубриці «**Підбиваємо підсумки**» подано відомості про основні поняття та явища, з якими ви познайомились у параграфі,— ви ще раз маєте можливість звернути увагу на головне у вивченому матеріалі.

 «**Контрольні запитання**» допоможуть з'ясувати, чи зрозуміли ви матеріал, чи щось випустили. Якщо ви зможете відповісти на всі запитання, то все гаразд. Якщо ж на деякі запитання ви не знаєте відповіді, знову зверніться до тексту параграфа.

 Рубрика «**Вправи**» зробить вашу подорож у дивовижний світ фізики ще цікавішою й поповнить ваші знання. Завдання цієї рубрики під силу кожному, однак треба поміжкувати й виявити кмітливість. Завдання, позначені зірочкою (\*), — для тих, хто не зник зупинятися на досягнутому й хоче довідатися більше.

 Фізика — наука експериментальна, тому в підручнику на вас очікують **експериментальні завдання** (в кожному параграфі) та **лабораторні роботи**. Обов'язково виконайте їх — і ви почнете краще розуміти й любити фізику.

Матеріали, запропоновані наприкінці кожного розділу під рубриками «**Підбиваємо підсумки розділу**» і «**Завдання для самоперевірки**», будуть корисними під час повторення вивченого та підготовки до контрольних робіт.

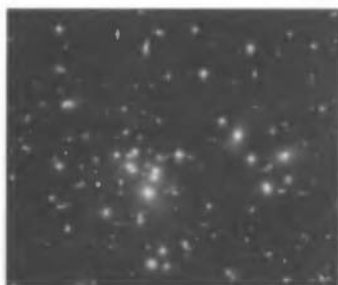
Для тих, хто хоче більше довідатися про розвиток фізичної науки й техніки в Україні та світі, знайдеться чимало цікавого й корисного в рубриках «**Фізика та техніка в Україні**» та «**Енциклопедична сторінка**».

**Цікавої подорожі світом фізики, нехай вам щастить!**

# РОЗДІЛ 1. МЕХАНІЧНИЙ РУХ

## § 1. МЕХАНІЧНИЙ РУХ. ВІДНОСНІСТЬ РУХУ. ТРАЄКТОРІЯ. ШЛЯХ, ЯКИЙ ПРОЙШЛО ТІЛО

**?!**  Усе наше життя ми стикаємося з рухом та спокоєм. Більшість тіл, які нас оточують, перебувають у русі: автомобілі, літаки, листя дерев, тварини, комахи тощо. З іншого боку, будинки, залізничні рейки, стовпи обабіч дороги тощо перебувають у спокої. Вивчивши наступний параграф, ви дізнаєтеся, що насправді всі тіла перебувають у постійному русі і що поняття спокою і руху є відносними.



**Рис. 1.1.** Усе у світі рухається: і величезні галактики, і тіла, що нас оточують, і мікроскопічні істоти

### **1** Знайомимось з механічним рухом

У 7-му класі ви дізналися про різноманітні фізичні явища. Одним із найпоширеніших фізичних явищ є рух (рис. 1.1). Рухаються з плином часу всі тіла: мільярди років, що існує всесвіт, розлітаються одна від одної галактики; Земля рухається навколо Сонця, здійснюючи один оберт за рік; за декілька годин літак перелітає з Києва до Парижа; у краплині води безліч мікробів щосекунди перестрибують з місця на місце; молекули та атоми речовин весь час перебувають у хаотичному русі і т. д.

Незважаючи на розмаїття прикладів руху, для них можна визначити спільні риси: по-перше, *зміна положення тіл відбувається з плином часу*; по-друге, *усі тіла, що рухаються, змінюють своє положення в просторі відносно інших тіл*.

**Механічний рух** — це явище зміни з плином часу положення тіла в просторі відносно інших тіл.

З'ясувати, рухається тіло чи перебуває в стані спокою, можна, якщо тільки розглядати положення цього тіла відносно інших тіл (рис. 1.2).

Тіло, відносно якого фіксується положення тіла, що рухається, називають *тілом відліку*. Вибір тіла відліку є довільним і визначається спостерігачем.

**2** Досліджуємо відносність руху  
Довільність вибору тіла відліку спричиняє те, що *стан руху і стан спокою є відносними*.

Уявімо пасажира, який, сидячи в кріслі вагона потяга, прямує до іншого міста. Відносно крісла й вагона пасажир не змінює свого положення з часом, тобто перебуває у стані спокою, а відносно дерев за вікном — рухається.

Читаючи ці рядки, ви, найімовірніше, сидите в класі за партою або вдома за столом. При цьому відносно парти чи стола ви перебуваєте в стані спокою; водночас разом з усім, що є на Землі, ви рухаєтесь відносно Сонця.

Відносність руху дає можливість «зупинити» автомобіль, що мчить дорогою. Для цього потрібний ще один автомобіль, який буде їхати поряд з першим, не відстаючи і не обганяючи його. У такому випадку автомобілі один відносно одного перебуватимуть у стані спокою. Згадайте, як каскадери пересідають з одного автомобіля, що мчиться, на інший: не треба ніякої зупинки! Той самий принцип використовується й під час перекачування пального з одного літака в інший прямо в повітрі, на великій висоті: треба тільки, щоб літаки не рухалися один відносно одного (рис. 1.3).

**3** Вивчаємо траєкторії руху  
Якщо провести по аркушу паперу олівцем, отримаємо лінію, в кожній точці якої поспідовно побував кінчик олівця (рис. 1.4). Ця лінія — *траєкторія руху* кінчика олівця.

**Траєкторія** — це лінія, яку описує в просторі точка, що рухається.

Форма траєкторії руху може бути будь-якою: дуга, парабола, пряма, ламана тощо. За формою траєкторії рух тіл поділяється на *прямолінійний* (рис. 1.5, а) та *криволінійний* (рис. 1.5, б).

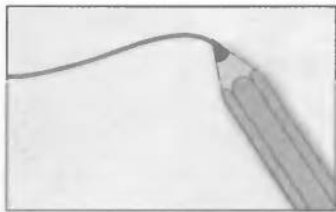
Зазвичай ми безпосередньо не бачимо траєкторії руху тіл, проте інколи бувають винятки. Так, у безхмарний день високо в небі помітний білий слід, що залишив літак. Цей слід є траєкторією руху літака. В інших випадках траєкторію руху можна «заготувати»



**Рис. 1.2.** Якщо уявити, що у всесвіті є тільки одне тіло,— наприклад, планета Земля,— то спроби визначити, чи рухається вона, втрачають сенс — це неможливо



**Рис. 1.3.** Літаки один відносно одного зупинилися, водночас відносно Землі вони рухаються з великою швидкістю



**Рис. 1.4.** На папері кінець олівця залишає лінію, по якій рухався



**Рис. 1.5.** Рух ракети в перші секунди після старту — приклад прямолінійного руху (а); рух трамвая на повороті — приклад криволінійного руху (б)

заздалегідь: наприклад, траєкторією руху потяга можна вважати рейки, по яких він прямує.

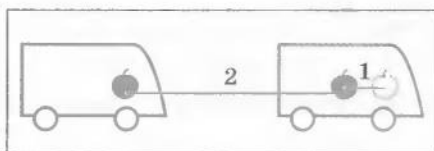
Траєкторія руху того самого тіла може бути різною, якщо спостерігати за його рухом відносно різних тіл відліку. Уявіть таку ситуацію. Їдучи в автобусі, хлопчик передав яблуко своєму сусіду. Для хлопчика, його сусіда та інших пасажирів траєкторія руху яблука — це відрізок прямої. Тілом відліку в цьому випадку є салон автобуса. Та за час, коли хлопчик передавав яблуко, воно разом з автобусом проїхало деяку ділянку шосе, тому для людини, що стоїть на узбіччі шосе, траєкторія руху яблука зовсім інша (рис. 1.6). Тілом відліку в такому разі може бути, наприклад, шосе.

Під час руху будь-якого тіла кожна його точка має свою траєкторію. На практиці дослідити траєкторії руху всіх точок тіла неможливо, проте в багатьох випадках розмірами тіла можна нехтувати. Коли ж це можна робити?

Якщо розміри тіла набагато менші за відстані, які воно долає, то в таких випадках ми говоримо, що вважатимемо тіло *матеріальною точкою*. Наприклад, розгляньмо автомобіль, коли він їде по трасі з Одеси до Києва, і цей же автомобіль, коли він паркується на автостоянці. У першому випадку, досліджуючи рух, можна знехтувати розмірами автомобіля, тобто тим, що під час подорожі його



**Рис. 1.6.** Траєкторія руху яблука для пасажирів автобуса — короткий відрізок прямої (на схемі — лінія 1), для спостерігача на узбіччі дороги ця траєкторія буде зовсім іншою (на схемі — лінія 2)



окремі точки рухалися по різних траекторіях, адже відстань, яку пройшов автомобіль, була набагато більшою, ніж його, скажімо, довжина. У другому випадку нехтувати розмірами автомобіля не можна — адже він може зіткнутися з іншими автомобілями на автостоянці.

Під час дослідження руху Землі навколо Сонця Землю можна вважати матеріальною точкою, а от якщо вчені працюють над проблемою запобігання падінню на Землю метеоритів, то зрозуміло, що розмірами Землі нехтувати не можна.

Далі, коли говоритимемо про рух тіла, то будемо вважати, що йдеться про рух матеріальної точки.



Рис. 1.7. Вимірювання довжини траекторії руху олівця

#### 4 Вимірюємо шлях

Повернемося до вищенаведеного прикладу з олівцем. Щоб знайти відстань, яку пройшов кінець олівця під час малювання, треба визначити довжину лінії, по якій він рухався, тобто довжину його траекторії (рис. 1.7). Це і буде *шлях*, який пройшов кінець олівця.

**Шлях** — це фізична величина, що дорівнює довжині траекторії.

Шлях позначають символом  $l$ .

*Одиницею довжини, а отже, шляху в СІ є метр (м).* Використовують також дольні та кратні одиниці шляху, наприклад *міліметр (мм), сантиметр (см), дециметр (дм), кілометр (км):*

$1 \text{ мм} = 0,001 \text{ м}$ ,  $1 \text{ см} = 0,01 \text{ м}$ ,  $1 \text{ дм} = 0,1 \text{ м}$ ;  $1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$ .

*Шлях, який пройшло тіло, буде різним відносно різних тіл відліку.* Згадаймо яблуко, яке хлопчик передавав своєму сусіду в автобусі: для хлопчика яблуко пройшло шлях близько півметра, а для людини на узбіччі дороги — декілька десятків метрів.

#### ! Підбиваємо підсумки

**Механічний рух** — це явище зміни з плином часу положення тіла в просторі відносно інших тіл.

Стани руху та спокою є відносними і залежать від вибору тіла відліку.

**Траекторія** — це лінія, яку описує в просторі точка, що рухається. За формою траекторії рух тіл поділяється на прямолінійний та криволінійний.

**Шлях** — це фізична величина, яка дорівнює довжині траекторії. Одиницею шляху в СІ є метр.

Форма та довжина траекторії залежать від вибору тіла відліку.



### Контрольні запитання

1. Що таке механічний рух? 2. Наведіть приклади на підтвердження відносності руху. 3. Що таке тіло відліку? 4. Що таке траєкторія руху? 5. Коли тіло можна вважати матеріальною точкою? Наведіть приклади. 6. Що таке пройдений тілом шлях? 7. Які одиниці шляху вам відомі? 8. Чи можуть форма та довжина траєкторії того самого тіла бути різними для різних спостерігачів? Поясніть свою відповідь.



### Вправа № 1

1. Дорогою їде автобус із пасажирами. Назвіть тіла, відносно яких водій перебуває в стані спокою, а відносно яких — рухається.
2. Чи можна вважати космічний корабель матеріальною точкою, коли він:  
а) здійснює переліт Земля — Марс; б) здійснює посадку на поверхню Марса?
3. З верхівки щогли вітрильника, що пливе вздовж берега, на тросі спускають прапор. Визначте форму траєкторії прапора відносно пасажирів вітрильника та відносно спостерігачів на березі.
4. Пасажир потяга пройшов вагоном у напрямку руху потяга від першого до четвертого купе. За цей час вагон проїхав відстань у 400 м. Який шлях подолав пасажир відносно потяга і відносно землі? Відстань між першим та четвертим купе становить 7,5 м.



### Експериментальне завдання

Виміряйте за допомогою мірної стрічки довжину вашого кроку. Потім виміряйте кроками довжину шкільного коридору і подайте її в метрах. Порівняйте отриманий результат з експериментальними даними однокласників. Зробіть висновки щодо точності вимірювань.

## § 2. ШВИДКІСТЬ РУХУ. ОДИНИЦІ ШВИДКОСТІ РУХУ



Під час репортажів про автомобільні перегони або в повідомленнях про погоду можна, наприклад, почути: «Швидкість автомобіля переможця перед фінішем сягнула 250 кілометрів за годину»; «Швидкість вітру сягатиме 25 метрів за секунду» тощо. Що це означає? Як порівняти ці швидкості? Відповіді на ці питання — у наступному параграфі.



### З'ясуємо, що таке швидкість рівномірного руху

Слово «швидкість» ми вживаємо змалку. Тому, коли чуємо, що швидкість автомобіля становить 20 метрів за секунду, то інтуїтивно розуміємо, що означають ці слова: якщо автомобіль буде рухатися з цією швидкістю 1 секунду, то він подолає відстань, яка дорівнює 20 метрів, а якщо 2 секунди, то подолана відстань складатиме 40 метрів.



При цьому ми вважаємо, що автомобіль рухається так, що за будь-які (малі або великі) рівні між собою проміжки часу він долає однакові шляхи. Такий рух називають *рівномірним*.

**Рівномірний рух** — це рух, при якому тіло за будь-які рівні проміжки часу проходить рівні шляхи.

Тепер визначимо швидкість рівномірного руху тіла.

**Швидкість рівномірного руху тіла** — це фізична величина, що дорівнює відношенню шляху  $l$ , який пройшло тіло, до часу  $t$ , протягом якого цей шлях було пройдено.

Швидкість руху позначають символом  $v$  і обчислюють за формулою

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

Одиницею швидкості руху в СІ є метр за секунду (м/с).

Якщо тіло, що рухається рівномірно, має швидкість 1 м/с, то воно кожної секунди долає 1 м.

Приладом для вимірювання швидкості руху слугує *спідометр* (рис. 2.1).

## 2 Знаходимо зв'язок між одиницями швидкості руху

Швидкість руху може бути подана не тільки в метрах за секунду, але й в інших одиницях: кілометри за годину (км/год), кілометри за секунду (км/с), сантиметри за секунду (см/с) тощо.

Для розв'язування задач слід навчитися переводити швидкість руху тіл з одних одиниць в інші. Наприклад, швидкість руху автомобіля подано в кілометрах за годину: 36 км/год. Щоб перевести її в метри за секунду, пригадаймо, що 1 год = 3600 с, а 1 км = 1000 м. Тоді:

$$36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 36 \cdot \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = \frac{36 \cdot 1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Отже, *числове значення швидкості руху тіла залежить від обраної одиниці швидкості.*

## 3 Переконаємося у відносності напрямку та значення швидкості руху

Знати, скільки долає тіло метрів за секунду або кілометрів за годину, не означає знати про швидкість руху цього тіла все. Швидкість руху має ще й напрямок: автомобіль може їхати в один бік або інший, футболіст може бігти полем як до воріт, так і до лави запасних тощо. На рисунках напрямок швидкості руху тіла позначають стрілкою (рис. 2.2). Поряд зі стрілкою розташовують



**Рис. 2.1.** Транспортні засоби (автомобіль, автобус, потяг, літак тощо) обладнані спідометрами — приладами, що слугують для вимірювання швидкості руху



**Рис. 2.2.** Напрямки швидкості руху тіл на рисунку позначають стрілками

символ швидкості зі стрілочкою над ним:  $\vec{v}$  (так у математиці позначають *вектори* — величини, що мають значення та напрямок).

*Напрямок швидкості руху тіла залежить від того, відносно якого тіла ми визначаємо швидкість.*

Наприклад, потяг, що прямує на південь, проїжджає повз станцію. У цей час пасажир першого вагона йде по коридору в напрямку другого вагона. Для провідника пасажир рухається на північ, а для людини на станції пасажир разом із поїздом рухається на південь (рис. 2.3).

*Значення швидкості руху тіла залежить від того, відносно якого тіла ми визначаємо швидкість.*

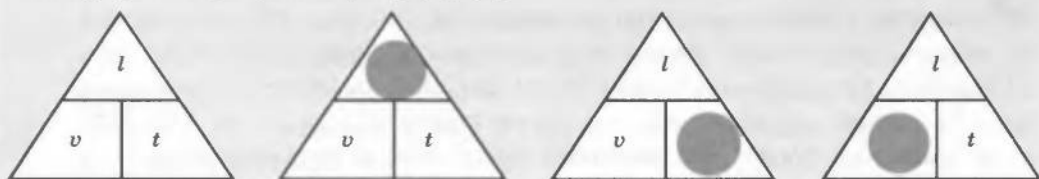
Якщо один автомобіль, який їде зі швидкістю 50 км/год, наздоганяє другий автомобіль, швидкість руху якого становить 40 км/год, то відстань між ними щогодини зменшується на  $50 - 40 = 10$  кілометрів. Це означає, що швидкість руху одного автомобіля відносно другого становить 10 км/год. Отже, коли тіла рухаються в одному напрямку, для обчислення відносної швидкості руху слід використовувати формулу  $v_{\text{відн}} = v_1 - v_2$ , де  $v_1$  — більша швидкість;  $v_2$  — менша швидкість ( $v_1 > v_2$ ).

Якщо автомобілі їдуть назустріч один одному із зазначеними швидкостями, то відстань між ними щогодини скорочується на  $50 + 40 = 90$  кілометрів. У цьому випадку швидкість руху одного автомобіля відносно іншого дорівнює 90 км/год і формула для обчислення відносної швидкості руху має вигляд  $v_{\text{відн}} = v_1 + v_2$ .



**Рис. 2.3.** Напрямок швидкості руху залежить від того, де перебуває спостерігач

**Рис. 2.4.** Закриваючи пальцем символ шуканої величини (позначення шляху, часу або швидкості руху), ми отримуємо потрібну формулу



**4** Учимся розв'язувати задачі

**Задача 1.** Судно йде зі сталою швидкістю 7,5 м/с. Який шлях пройде судно за 20 год?

Дано:

$$v = 7,5 \frac{\text{м}}{\text{с}} = 27 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$t = 20 \text{ год}$$

 $l = ?$ 

*Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі*

Для розрахунку шляху, який пройшло судно, скористаємось означенням швидкості руху:  $v = \frac{l}{t}$ .

Звідси можна отримати формулу для обчислення шляху:  $l = vt$  (див. також рис. 2.4). Доцільно перевести одиниці швидкості з метрів за секунду в кілометри за годину — так ми отримаємо значення шляху в кілометрах, що є природним для судна, яке рухалося 20 годин.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Скористаємось формулою для обчислення шляху:

$$l = vt.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[l] = \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot \text{год} = \text{км}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{l\} = 27 \cdot 20 = 540; \quad l = 540 \text{ км}$$

Проаналізуємо результат: одержане значення шляху, який має пройти судно, є правдоподібним.

*Відповідь:* судно за 20 год пройде 540 км.

**Задача 2.** Уздовж перону їде електричка зі швидкістю 8 км/год. По першому вагону електрички йде хлопчик. По другому вагону назустріч хлопчику йде його батько. З якими швидкостями відносно перону рухаються батько і хлопчик, якщо відносно електрички вони рухаються зі швидкостями 3 і 2 км/год відповідно?

Дано:

$$v_{\text{ел}} = 8 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_{\text{відн1}} = 3 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$v_{\text{відн2}} = 2 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

 $v_1 = ?$ 
 $v_2 = ?$ 

*Аналіз фізичної проблеми*

За умовою, хлопчик перебував у першому вагоні, батько — у другому і вони рухалися назустріч один одному. Це означає, що батько рухався в напрямку руху електрички, а хлопчик — у протилежному.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Швидкість руху батька відносно електрички ( $v_{\text{відн1}}$ ) — це різниця швидкостей руху батька відносно перону ( $v_1$ ) і руху електрички ( $v_{\text{ел}}$ ):  $v_{\text{відн1}} = v_1 - v_{\text{ел}}$ . Звідси отримуємо:  $v_1 = v_{\text{відн1}} + v_{\text{ел}}$ .

Для обчислення швидкості руху хлопчика відносно перону ( $v_2$ ) потрібно від швидкості руху електрички ( $v_{\text{ел}}$ ) відняти швидкість руху хлопчика відносно електрички ( $v_{\text{відн } 2}$ ):  $v_2 = v_{\text{ел}} - v_{\text{відн } 2}$ .

Визначимо числові значення шуканих величин:

$$\{v_{\text{відн } 1}\} = 8 + 3 = 11; \quad \{v_{\text{відн } 2}\} = 8 - 2 = 6.$$

$$v_{\text{відн } 1} = 11 \frac{\text{км}}{\text{год}}; \quad v_{\text{відн } 2} = 6 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Проаналізуємо результат: отримані значення відносних швидкостей руху батька і хлопчика є правдоподібними.

*Відповідь:* відносно перону батько рухається зі швидкістю 11 км/год, хлопчик — зі швидкістю 6 км/год.

### Підбиваємо підсумки

Рівномірний рух — це рух, під час якого тіло за будь-які рівні проміжки часу проходить рівні шляхи.

Швидкість рівномірного руху тіла — це фізична величина, що дорівнює відношенню шляху, який пройшло тіло, до часу, протягом якого цей шлях було пройдено:  $v = \frac{l}{t}$ .

Одиницею швидкості руху в СІ є метр за секунду (м/с).

Числове значення швидкості руху залежить від того, яку одиницю швидкості обрано.

Напрямок і значення швидкості руху тіла залежать від того, відносно якого тіла визначається швидкість руху.

### Контрольні запитання

1. Який рух називають рівномірним?
2. Що називають швидкістю рівномірного руху?
3. Як обчислити швидкість рівномірного руху тіла?
4. Назвіть одиниці швидкості руху.
5. Спідометри автомобілів проградуйовані в кілометрах за годину. Як перевести одиниці швидкості з кілометрів за годину в метри за секунду?
6. Від чого залежать напрямок та значення швидкості руху?
7. Як обчислити шлях, пройдений тілом, якщо відомі швидкість його руху та час руху?



### Вправа № 2

1. За 10 секунд тіло подолало 100 м, за наступні 10 секунд — ще 100 м. Чи можна стверджувати, що тіло рухається рівномірно?
2. Яка швидкість руху більша: 16 м/с чи 54 км/год?
3. Хлопчик, їдучи на велосипеді зі сталою швидкістю, подолав відстань від свого будинку до шкільного стадіону за 1,5 хв. На зворотний шлях він витратив 70 с. Куди хлопчик їхав швидше: до стадіону чи додому?
4. Автонавантажувач пересувається зі сталою швидкістю уздовж ряду контейнерів. Контейнери, кожний 12 м завдовжки, стоять один до одного впритул. З якою швидкістю їде автонавантажувач, якщо повз 5 контейнерів він проїжджає за 1 хв?
5. Швидкість руху літака становить 900 км/год. Скільки часу він витратить, щоб подолати 375 км?

6. Потяг за 10 хв пройшов 24 км. Який шлях він подолає, якщо буде рухатися з такою самою швидкістю протягом 1,5 год?
7. Уздовж дороги дме вітер зі швидкістю 5 м/с. По дорозі в протилежних напрямках їдуть два велосипедисти: перший їде зі швидкістю 18 км/год назустріч вітру, другий — зі швидкістю 24 км/год в напрямку вітру. Якою є швидкість вітру відносно велосипедистів?
- 8\*. Електричка їде зі швидкістю 20 м/с, назустріч їй по сусідній колії зі швидкістю 36 км/год їде потяг. Скільки часу потяг буде проїжджати повз пасажира електрички, якщо довжина потяга 900 м?

**9** **Експериментальне завдання**

На уроці фізкультури ви складаєте різні нормативи. Дізнайтеся про норматив із бігу та розрахуйте, з якою швидкістю потрібно пробігти дистанцію, щоб скласти норматив на 12 балів.



#### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут» (КПІ) — найбільший вищий навчальний заклад країни — було створено наприкінці XIX ст. Тоді на чотирьох відділеннях інституту навчалось усього 360 студентів. Сьогодні КПІ, якому в 1995 р. надано статус Національного технічного університету, налічує понад 40 тис. студентів, що здобувають знання на 19 факультетах. В інституті працюють 44 академі-

ки і члени-кореспонденти академії наук, 2500 професорів, доцентів і викладачів. Протягом XX ст. з інститутом були тісно пов'язані життя та діяльність усесвітньо відомих учених та інженерів: Д. І. Менделєєва, І. І. Сікорського, С. П. Корольова, С. П. Тимошенка, Є. О. Патона, Б. Є. Патона та багатьох інших.

## § 3. ВИДИ РУХІВ. СЕРЕДНЯ ШВИДКІСТЬ НЕРІВНОМІРНОГО РУХУ

**?!** Напевне вам доводилося їхати автобусом або потягом з одного міста до іншого. Згадайте: транспортний засіб час від часу гальмує, зупиняється, потім знову набирає швидкість тощо. Чи можна назвати такий рух рівномірним? Звичайно, ні. Як досліджувати такий рух, ви дізнаєтеся з наступного параграфа.

### **1** Розрізняємо рухи тіл

У повсякденному житті ми зазвичай маємо справу з *нерівномірним рухом*. Так, якщо виміряти відстані, які проходить рейсовий автобус, наприклад, кожної хвилини, то побачимо, що ці відстані будуть різними, отже, рух автобуса не є рівномірним (рис. 3.1).



**Рис. 3.1.** Автобус рухається нерівномірно, час від часу гальмуючи, зупиняючись та знову розганяючись



**Рис. 3.2.** Середня швидкість руху потяга — відношення відстані між станціями до всього часу руху

**Нерівномірний рух** — це рух, під час якого тіло за однакові проміжки часу проходить різні шляхи.

У процесі нерівномірного руху швидкість руху тіла з часом змінюється. Отже, можемо класифікувати *види механічного руху*:

- за формою траєкторії — *прямолінійний та криволінійний*;
- за залежністю швидкості руху від часу — *рівномірний та нерівномірний*.

## 2 Обчислюємо середню швидкість нерівномірного руху

Розглянемо приклад. Потяг пройшов 150 км (відстань між двома станціями) за 2,5 год. Якщо поділити 150 км на 2,5 год, отримаємо швидкість руху потяга — 60 км/год. Але потяг рухався нерівномірно, і тому ми отримали не швидкість рівномірного руху, а *середню швидкість руху* потяга (рис. 3.2).

*Щоб обчислити середню швидкість руху тіла, потрібно весь шлях, який пройшло тіло, поділити на весь час руху:*

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}$$

*Весь час руху — це сумарний час руху тіла і час, витрачений на можливі проміжні зупинки в ході цього руху.*

## 3 Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Хлопчик їхав на велосипеді півтори години зі швидкістю 20 км/год. Потім велосипед зламався і останній кілометр шляху хлопчик ішов пішки. Якою була середня швидкість руху хлопчика на всьому шляху, якщо пішки він ішов півгодини?

*Дано:*

$$t_1 = 1,5 \text{ год}$$

$$t_2 = 0,5 \text{ год}$$

$$v_1 = 20 \frac{\text{км}}{\text{год}}$$

$$l_2 = 1 \text{ км}$$

$$v_{\text{сеп}} \text{ — ?}$$

*Аналіз фізичної проблеми*

Рух хлопчика був нерівномірним: протягом 1,5 год він рухався зі швидкістю 20 км/год; протягом 0,5 год (1 км шляху) — з меншою швидкістю. Для обчислення середньої швидкості руху потрібно знайти весь шлях, який подолав хлопчик, і розділити його на весь час руху.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Скористаємося формулою для визначення середньої швидкості руху:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}. \quad (1)$$

Увесь шлях обчислимо за формулою  $l = l_1 + l_2$ , (2) де  $l_1 = v_1 t_1$  — шлях, подоланий на велосипеді;  $l_2$  — шлях, пройдений пішки.

$$\text{Час, витрачений на подорож: } t = t_1 + t_2. \quad (3)$$

Підставивши формули (2), (3) у формулу (1), отримаємо рівняння для обчислення середньої швидкості руху хлопчика:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{v_1 \cdot t_1 + l_2}{t_1 + t_2}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[v_{\text{сеп}}] = \frac{\left(\frac{\text{км}}{\text{год}}\right) \cdot \text{год} + \text{км}}{\text{год} + \text{год}} = \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{v_{\text{сеп}}\} = \frac{1,5 \cdot 20 + 1}{1,5 + 0,5} = \frac{31}{2} = 15,5; \quad v_{\text{сеп}} = 15,5 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Проаналізуємо результат: хлопець їхав на велосипеді зі швидкістю 20 км/год, ішов пішки зі швидкістю  $v_2 = l_2 / t_2 = 2$  (км/год); обчислена середня швидкість його руху є меншою за 20 км/год і більшою від 2 км/год. Результат є правдоподібним.

*Відповідь:* середня швидкість руху хлопчика становила 15,5 км/год.

## ! Підбиваємо підсумки

Нерівномірний рух — це рух, під час якого тіло за однакові проміжки часу проходить різні шляхи. Усі види механічного руху можна класифікувати: за формою траєкторії руху — на прямолінійний та криволінійний; за залежністю швидкості руху від часу — на рівномірний та нерівномірний.

Для обчислення середньої швидкості руху тіла потрібно весь шлях, який пройшло тіло, розділити на весь час руху:  $v_{\text{сеп}} = \frac{l}{t}$ .



### Контрольні запитання

1. Який рух називають нерівномірним? 2. Назвіть види механічного руху. Наведіть приклади. 3. Що таке середня швидкість нерівномірного руху тіла? Як її обчислити?



### Вправа № 3

- Автомобіль за 2 год проїхав 80 км і ще за 2 год — 160 км. Обчисліть середню швидкість руху автомобіля.
- Потяг за 1 год проїхав 60 км. Потім він проїхав ще 0,5 год зі швидкістю 90 км/год. З якою середньою швидкістю рухався потяг?

3. Хлопчик прямував пішки з міста до селища. Перші 4 км шляху він подолав за 1 год, а решту 4 км його підвіз на велосипеді друг, витративши на цей відрізок шляху 20 хв. З якою середньою швидкістю рухався хлопчик?



### Експериментальне завдання

Визначте середню швидкість, з якою ви зазвичай ідете від дому до школи.



#### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Інститут технічної механіки (Дніпропетровськ) розв'язує широке коло питань, пов'язаних з аеро- та гідродинамікою різних технічних об'єктів. До таких об'єктів передусім належать ракети-носії та космічні апарати. В інституті створено обладнання для випробувань та фізичні моделі процесів, що дозволяють прогнозувати поведінку ракетно-космічної техніки на всіх етапах польоту.

На рисунку показано результати моделювання ситуації, коли космічний апарат із великою швидкістю входить у верхні шари атмосфери. Це явище дуже схоже з тим, як швидкий катер розтинає воду. Вивчення форми та кольору «бурунів», що розходяться від космічного апарата, дозволяє вченим створювати удосконаліші конструкції.

Фундаментальні розробки фахівців інституту мають застосування не тільки у галузі ракетно-космічної техніки, але й у залізничному транспорті, машинобудуванні, теплоенергетиці тощо.

## § 4. ГРАФІКИ РУХУ ТІЛА



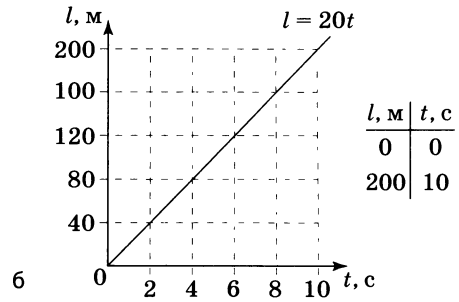
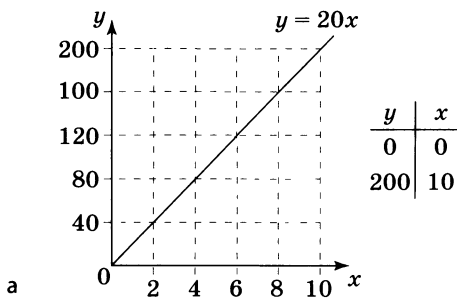
З курсу математики ви вже знайомі з поняттям графіка функції. Графік робить більш наочною залежність однієї величини від іншої. Використовують графіки й у фізиці. Як за допомогою графіка зобразити, наприклад, залежність шляху або швидкості від часу? Відповідь ви отримаєте з матеріалу цього параграфа.



Будуємо графіки залежності шляху від часу для рівномірного руху

З формули для розрахунку шляху рівномірного руху тіла  $l = vt$  випливає: якщо в декілька разів збільшити час руху, у стільки ж разів збільшиться шлях, пройдений тілом. Це — пряма пропорційна залежність, яка в математиці записується рівнянням  $y = kx$  і називається *лінійною функцією*. Нагадаємо, що для побудови графіка такої функції необхідно знайти значення  $y$  хоча б для двох





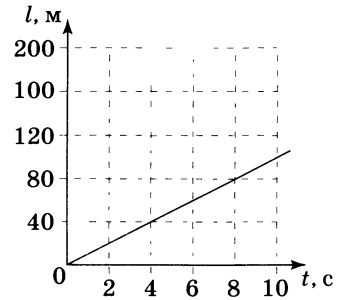
**Рис. 4.1.** а — графік функції  $y = 20x$ ; б — графік залежності шляху від часу для рівномірного руху тіла зі швидкістю 20 м/с:  $l = 20t$

довільно обраних значень  $x$  (наприклад, на рис. 4.1, а показано графік функції  $y = 20x$ ).

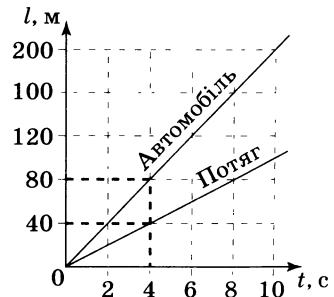
Нехай автомобіль рухається рівномірно зі швидкістю 20 м/с. Побудуємо графік  $l = 20t$  (рис. 4.1, б). Це буде графік залежності шляху від часу, або просто графік шляху для рівномірного руху автомобіля: за ним можна визначити, який шлях автомобіль подолав за будь-які проміжки часу. Графік шляху в разі рівномірного руху потяга, який за 8 секунд долає 80 м, матиме схожий вигляд (рис. 4.2). Узагалі: *графік шляху в разі рівномірного руху — це відрізок прямої*.

За графіками залежності шляхів від часу для тіл, що рухаються рівномірно, можна порівнювати швидкості рухів цих тіл. Зобразимо на одному рисунку (рис. 4.3) графіки залежності шляхів від часу для автомобіля та потяга, згаданих вище.

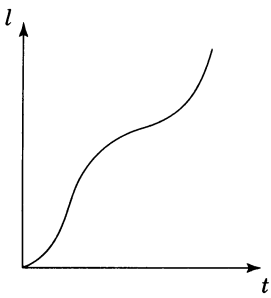
Ми бачимо, що за однаковий час, наприклад за 4 с, автомобіль подолав відстань 80 м, а потяг — усього 40 м, отже, швидкість руху автомобіля більша від швидкості руху потяга. Можемо зазначити: якщо на одному рисунку розмістити графіки шляхів тіл, що рухаються рівномірно, то *графік шляху тіла, яке рухається з більшою швидкістю, буде розташований над графіком шляху тіла, яке рухається з меншою швидкістю*.



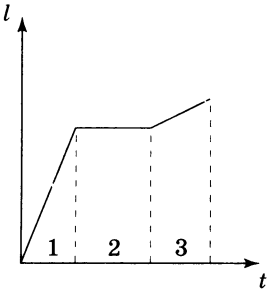
**Рис. 4.2.** Графік шляху потяга, який рухається зі сталою швидкістю 10 м/с



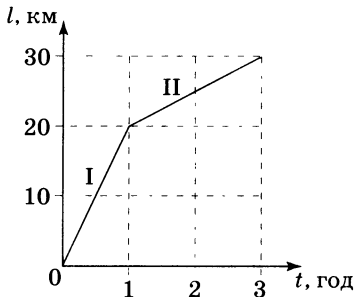
**Рис. 4.3.** Автомобіль рухається швидше за потяг — за той самий проміжок часу він проходить більший шлях



**Рис. 4.4.** Приклад графіка шляху для нерівномірного руху



**Рис. 4.5.** Нерівномірний рух може складатися з ділянок рівномірних рухів



**Рис. 4.6.** Ділянки I і II — ділянки рівномірного руху трактора

## 2 Будуємо графіки шляхів для нерівномірного руху

Графік шляху в разі нерівномірного руху будувати значно складніше. У загальному випадку він може мати вигляд кривої лінії (рис. 4.4). При цьому слід зазначити, що шлях не може зменшуватися, тому графік або піднімається, або залишається горизонтальним, але ніколи не опускається.

Коли нерівномірний рух тіла складається з ділянок, на яких тіло рухалось рівномірно, графік шляху має простіший вигляд. Як саме тіло рухалося на окремій ділянці шляху, можна визначити, проаналізувавши відповідну ділянку графіка. Так, тіло, графік руху якого зображено на рис. 4.5, спочатку рухалось досить швидко зі сталою швидкістю (проміжок часу 1), потім не рухалося зовсім (проміжок часу 2), потім відновило рух із постійною швидкістю (проміжок часу 3), але рух був повільнішим, ніж спочатку (на проміжку часу 1).

## 3 Знаходимо швидкість руху тіла за графіком шляху

За графіком шляху можна досить легко обчислити швидкість руху.

Так, на рис. 4.6 зображений графік шляху, подоланого трактором за 3 год. З графіка бачимо, що весь шлях складається з двох ділянок, на кожній з яких трактор рухався рівномірно, і що на ділянці I швидкість руху трактора була більшою, ніж на ділянці II.

За графіком довжина ділянки I становить 20 км і трактор пройшов її за 1 год, отже, швидкість його руху становила:

$$v_I = \frac{l_I}{t_I} = \frac{20 \text{ км}}{1 \text{ год}} = 20 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Ділянку II завдовжки 10 км (від позначки 20 км до позначки 30 км) трактор пройшов за 2 год (від позначки 1 год до позначки 3 год). Відповідно швидкість руху трактора на ділянці II становила:

$$v_{II} = \frac{l_{II}}{t_{II}} = \frac{10 \text{ км}}{2 \text{ год}} = 5 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Щоб знайти середню швидкість руху трактора, потрібно *весь шлях, який проїхав трактор (30 км), поділити на весь час руху (3 год)*. Отже, середня швидкість трактора становить:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{l_1 + l_2}{t_1 + t_2} = \frac{30 \text{ км}}{3 \text{ год}} = 10 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

**4** Будуємо графіки швидкостей руху та визначаємо шлях, який пройшло тіло

Побудуємо графік залежності швидкості руху від часу для тіла, що рівномірно рухається зі швидкістю 25 м/с. Оскільки швидкість руху тіла не змінюється, графік буде мати вигляд відрізка прямої, паралельної осі часу (рис. 4.7).

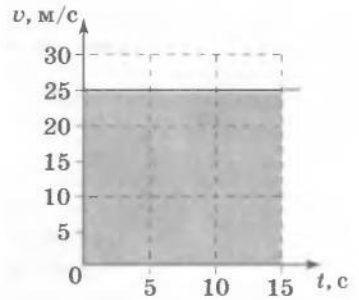
Обчислимо шлях, який пройшло тіло, наприклад, за 15 с:

$$l = v \cdot t = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 15 \text{ с} = 375 \text{ м}.$$

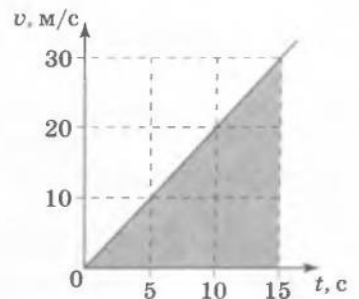
Цей шлях можна також обчислити в інший спосіб. Виділимо під графіком прямокутник зі сторонами, «обмеженими» позначками 25 м/с і 15 с. Обчислимо площу прямокутника:  $25 \times 15 = 375$ . Вона чисельно буде дорівнювати шляху, який пройшло тіло за 15 с зі швидкістю 25 м/с.

Таким чином, *числове значення шляху, який пройшло тіло під час рівномірного руху, дорівнює числовому значенню площі фігури під графіком швидкості*. Така властивість притаманна графікам швидкостей у разі *не тільки рівномірного, але й нерівномірного руху*.

На рис. 4.8 зображено графік швидкості руху тіла, швидкість якого рівномірно збільшується: протягом 15 с швидкість руху лінійно змінюється від 0 до 30 м/с. Щоб знайти шлях, який пройшло тіло, наприклад, за 15 с, потрібно обчислити площу заштрихованого трикутника. З рисунка бачимо, що цей трикутник становить половину прямокутника з «висотою» 30 м/с та «основою» 15 с, отже, його площа становить половину від площі зазначеного прямокутника. Таким чином, отримуємо числове значення площі трикутника:  $30 \cdot 15 : 2 = 225$  — і є числовим значенням шляху, що його пройшло тіло за 15 с, рухаючись зі швидкістю, яка протягом 15 с рівномірно змінювалася від 0 до 30 м/с. Отже, шлях, пройдений тілом за 15 с, дорівнює 225 м.



**Рис. 4.7.** Площа прямокутника під графіком швидкості тіла, що рухається рівномірно, чисельно дорівнює шляху цього тіла



**Рис. 4.8.** За графіком швидкості можна обчислити шлях, пройдений тілом під час нерівномірного руху

## ! Підбиваємо підсумки

Графік шляху для рівномірного руху — це відрізок прямої. Графік шляху для нерівномірного руху — це крива або ламана лінія.

За графіками шляхів для рівномірного руху тіл можна розраховувати значення швидкостей рухів, порівнювати їх.

Графік швидкості для рівномірного руху — це відрізок прямої, паралельної осі часу.

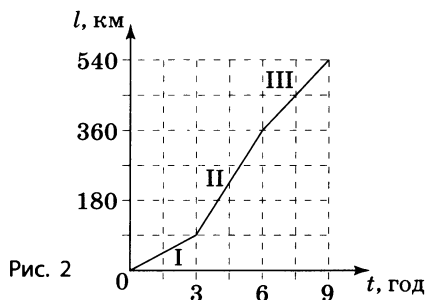
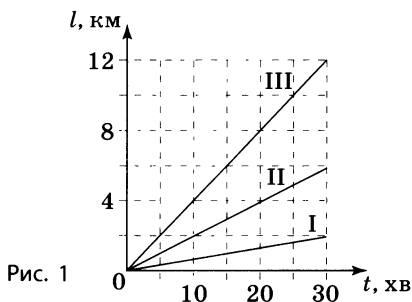
Числове значення шляху, який пройшло тіло, дорівнює площі фігури під графіком швидкості руху.

## ? Контрольні запитання

1. Який вигляд має графік залежності шляху від часу для рівномірного руху? для нерівномірного?
2. Як за графіками шляхів для двох тіл порівняти швидкості їхнього руху?
3. Чи може графік шляху з плином часу наблизитися до осі часу?
4. Який вигляд має графік швидкості руху в разі рівномірного руху?
5. Як за графіком швидкості руху обчислити пройдений тілом шлях?

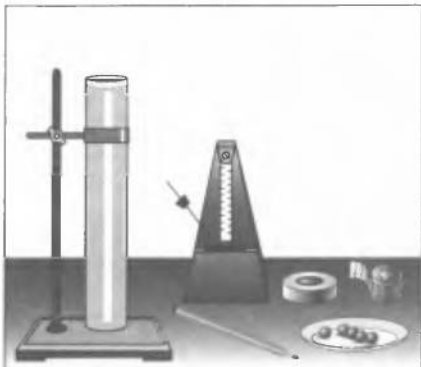
## ✎ Вправа № 4

1. Хлопець їхав на велосипеді 90 с зі швидкістю 5 м/с. Побудуйте графік шляху хлопця.
2. На рис. 1 зображені графіки шляхів для пішохода, велосипедиста й трактора, які рухаються зі швидкостями 4, 12 і 24 км/год відповідно. Який із зображених графіків якому тілу відповідає?
3. Пішохід ішов 1,5 год зі швидкістю 5 км/год. Побудуйте графік швидкості руху пішохода.
4. Автобус їхав 2 год зі швидкістю 60 км/год, а потім ще 1 год — зі швидкістю 80 км/год. Побудуйте графік шляху автобуса. Визначте середню швидкість його руху.
5. За графіком шляху потяга, що рухався нерівномірно (рис. 2), з'ясуйте: а) шлях, який проїхав потяг за 9 год; б) довжину кожної з ділянок, на яких потяг рухався рівномірно; в) швидкість руху потяга на цих ділянках; г) середню швидкість руху потяга за час спостереження.



## 🔗 Експериментальне завдання

Разом із другом проведіть такий дослід. Нехай ваш друг тягне рівномірно по столу аркуш паперу, а ви в цей час, рівномірно рухаючи олівець, спробуйте провести на аркуші лінію, яка є перпендикулярною до напрямку руху аркуша. Повторіть дослід, на цей раз рухаючи олівець нерівномірно. Порівняйте форму отриманих ліній. Зробіть висновок.



**Тема.** Вимірювання швидкості руху тіла.

**Мета:** навчитися визначати швидкість руху тіла.

**Обладнання:** скляний циліндр заввишки не менш ніж 50 см, посудина з водою, метроном (один на клас), штатив із муфтою та кільцем, кілька горошин, мірна стрічка, вузька смужка паперу, довжина якої дорівнює висоті скляного циліндра, скотч, олівець.



### Теоретичні відомості

Швидкість падіння тіла в рідині спочатку збільшується, а згодом, після проходження певної відстані, усталюється й далі є незмінною. Ця певна відстань залежить від властивостей рідини та тіла; зазначимо, що горошина діаметром 4–5 мм, до того як її швидкість у воді усталиться, пройде відстань, що дорівнює приблизно 10 см.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ



### Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
  - 1) Який рух називається рівномірним?
  - 2) Що таке швидкість рівномірного руху тіла? середня швидкість руху тіла? За якими формулами їх визначають? Які одиниці швидкості руху в СІ?
  - 3) Яким приладом можна виміряти пройдений шлях?
  - 4) Що таке метроном і як ним користуватися?
  - 5) Яких заходів безпеки необхідно дотримуватися під час роботи зі скляним циліндром?
2. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
3. Налаштуйте метроном на 60 ударів за хвилину.
4. Уздовж скляного циліндра закріпіть скотчем вузьку смужку паперу.
5. Поставте циліндр у кільце штатива, наповніть циліндр водою.
6. Відміряйте від верхнього краю води в циліндрі 10 см униз і зробіть відповідну позначку на паперовій смужці.



### Експеримент

1. Візьміть горошину в руку і розташуйте її безпосередньо над поверхнею води в циліндрі.
2. Одночасно з ударом метронома обережно відпустіть горошину.

3. Під удари метронома (тобто щосекунди) позначайте на смужці паперу, закріпленій на циліндрі, положення горошини, доки горошина не опуститься на дно циліндра.
4. Виміряйте відстані між сусідніми позначками. Зверніть увагу: кожна з відстаней дорівнюватиме шляху, що пройшла горошина на певній ділянці. Виміряйте також увесь шлях горошини від поверхні води до дна циліндра.
5. Результати вимірювань занесіть до таблиці.

Фізична величина	Ділянка					Увесь шлях	
	I	II	III	IV	V		
Шлях $l$ , м						$l_{\text{заг}}$ , м	
Час руху $t$ , с	1	1	1	1	1	$t_{\text{заг}}$ , с	
Швидкість $v$ , м/с						$v_{\text{сер}}$ , м/с	



### Опрацювання результатів експерименту

1. Переконайтеся, що відстані між позначками, розташованими нижче від позначки 10 см, є приблизно однаковими, тобто у тому, що горошина рухалася рівномірно.
2. Знаючи відстань між сусідніми позначками й час, за який горошина проходить цю відстань, визначте швидкість (або середню швидкість) горошини на кожній ділянці руху за

$$\text{формулою } v = \frac{l}{t}.$$

3. Визначте середню швидкість руху горошини на всьому

$$\text{шляху: } v_{\text{сер}} = \frac{l_{\text{заг}}}{t_{\text{заг}}}.$$

4. Результати обчислень занесіть до таблиці.



### Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізуйте результати експерименту. Зробіть висновок, у якому зазначте, які види руху ви сьогодні вивчали, які величини визначали, які результати одержали, які чинники вплинули на точність отриманих результатів.



### Творче завдання

Побудуйте графік залежності шляху, пройденого горошиною, від часу її руху. Для цього: обчисліть шлях, який пройшла горошина нижче від позначки 10 см за одну, дві й так далі секунди; одержані результати занесіть до таблиці; за даними таблиці побудуйте графік залежності  $l(t)$ .

Час $t$ , с	0	1	2	3	4	5
Шлях $l$ , м	0					

## § 5. ОБЕРТАЛЬНИЙ РУХ ТІЛА. ПЕРІОД ТА ЧАСТОТА ОБЕРТАННЯ. МІСЯЦЬ — ПРИРОДНИЙ СУПУТНИК ЗЕМЛІ

**?!** Обертальний рух є дуже поширеним: обертається, утворюючи вири, вода в річках та океанах, обертаються планети навколо зір, а зорі — одна навколо одної та навколо центра Галактики, обертаються стрілки годинників (рис. 5.1, 5.2), колеса автомобілів, гвинти літаків, лопаті гелікоптерів тощо. У цьому параграфі ми познайомимось з обертальним рухом із точки зору фізики.

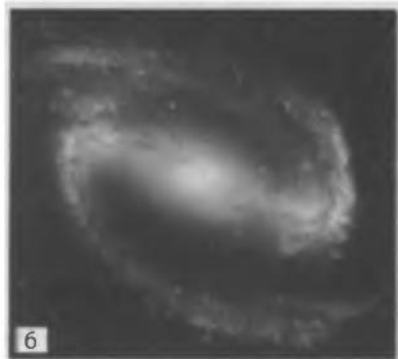
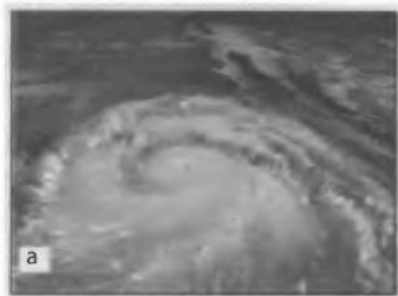
**1** Спостерігаємо обертальний рух. Розгляньмо рух стрілок годинника (див. рис. 5.2). Точки кожної стрілки рухаються по колах, центри яких розташовані на одній прямій — *осі обертання*. За певний час стрілки годинника здійснюють повний оберт, тобто повертаються навколо осі на  $360^\circ$ : годинникова — за 12 годин, хвилинна — за годину, а секундна — за хвилину, — а потім рух стрілок повторюється. Рух стрілок годинника є прикладом *обертального руху*.

Обертальний рух має характерні риси: по-перше, *траєкторії точок тіла*, що обертається, є *колами*; по-друге, під час обертального руху завжди присутня *вісь обертання*; по-третє, обертальний рух тіла *повторюється через певні проміжки часу*.

Найпростішим з обертальних рухів є *рівномірний обертальний рух*, тобто рух, під час якого точки тіла рухаються по колах і значення швидкості руху кожної точки тіла не змінюється з плином часу.

Приклади рівномірного обертального руху: обертання Землі навколо своєї осі; обертання барабана пральної машини під час віджимання білизни.

А от обертання обода колеса велосипеда відносно осі колеса частіше не є рівномірним: швидкість руху точок обода то збільшується, то зменшується залежно від швидкості руху велосипеда.



**Рис. 5.1.** Приклади обертального руху в природі: атмосферний циклон (а); рух зір навколо центра Галактики (б)



**Рис. 5.2.** Стрілки годинника здійснюють обертальний рух

## 2 Визначаємо період обертання

У процесі рівномірного обертання кожний повний оберт (тобто повернення в початкове положення) тіло здійснює за певний проміжок часу, який називають *періодом обертання* (рис. 5.3).

**Період обертання** — це фізична величина, яка дорівнює часу, за який тіло, що рівномірно обертається, здійснює один повний оберт.

Період обертання позначають символом  $T$ .

Одиницею періоду обертання в СІ є **секунда** (с).

Якщо період обертання тіла дорівнює 1 с, то це означає, що тіло за одну секунду здійснює один повний оберт.

Для визначення періоду обертання  $T$  слід підрахувати кількість повних обертів  $N$ , які зробить тіло, що обертається, за час  $t$ , а потім обчислити період обертання за формулою

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

## 3 З'ясуємо зв'язок між частотою та періодом обертання

У ході досліджування обертального руху буває так, що для його опису доцільно використовувати не період обертання, а *частоту обертання*.

**Частота обертання** — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості обертів за одиницю часу.

Позначають частоту обертання символом  $n$  і обчислюють за формулою

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

Одиниця частоти в СІ — **оберт за секунду** (об/с або 1/с) (див., наприклад, рис. 5.4). Із формул для визначення періоду та частоти обертання можна отримати залежність частоти від періоду обертання.

Оскільки  $T = \frac{t}{N}$ , а  $n = \frac{N}{t}$ , то зрозуміло, що

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

Зменшення періоду обертання приведе до пропорційного збільшення частоти обертання і навпаки.

## 4 Вивчаємо рух Місяця — природного супутника Землі

Одною з найважливіших причин, що спонукали людей вивчати Сонце та Місяць, була потреба у вимірюванні часу, тобто потреба в порівнянні тривалості перебігу природних чи штучних явищ із тривалістю будь-яких періодичних процесів. Такими



періодичними процесами для наших стародавніх предків були зміни, що можна спостерігати на небосхилі: схід і захід Сонця, зміна фаз Місяця, зміна вигляду зоряного неба. Ці зміни викликані обертанням — Землі навколо своєї осі та навколо Сонця, Місяця навколо Землі. Таким чином, *періодичність обертального руху надає можливість вимірювати час.*

Схід і захід Сонця, зумовлені обертанням Землі навколо своєї осі, привели до виникнення понять *дня та ночі*, а також природної одиниці часу — *добі*.

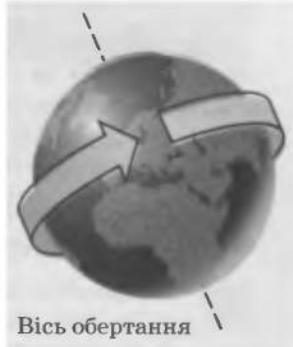
Понад 5000 років тому жерці стародавнього Вавилону за зміною фаз Місяця визначали такі відомі нам проміжки часу, як *місяць* і *тиждень*. Було помічено, що протягом 29,5 діб Місяць проходить повний цикл зміни фаз — молодика, першої чверті, повні, останньої чверті. Це зумовлене рухом Місяця навколо Землі. Значений цикл становив один місячний місяць (рис. 5.5). Жерці розділили місячний місяць на чотири майже рівні частини й отримали сім днів. Так виникло поняття тижня.

### ! Підбиваємо підсумки

Рівномірний обертальний рух — це рух, під час якого точки тіла рухаються по колах і значення швидкості руху кожної точки тіла не змінюється з плином часу.

Період обертання — це фізична величина, яка дорівнює часу, за який тіло, що рівномірно обертається, здійснює один повний оберт:  $T = t / N$ . Одиницею періоду обертання в СІ є секунда.

**Рис. 5.5.** У стародавні часи початок і кінець місяця визначали за фазами Місяця



**Рис. 5.3.** Період обертання Землі навколо своєї осі — 24 години



**Рис. 5.4.** Частота обертання вентиляторів сучасних процесорів становить 50–60 обертів за секунду

Частота обертання — це фізична величина, яка дорівнює кількості обертів за одиницю часу:  $n = N/t$ . Одиницею частоти обертання в СІ є оберт за секунду.

Період обертання  $T$  та частота обертання  $n$  пов'язані залежністю:  $n = 1/T$ .

Час, за який відбувається повна зміна фаз Місяця, називають місячним місяцем. Четверть місяця називають тижнем.

- ?** **Контрольні запитання**
1. Що таке рівномірний обертальний рух?
  2. Що таке період обертання і як його обчислюють?
  3. Що таке частота обертання?
  4. Як визначити частоту обертання, якщо відомий період обертання?
  5. Спостереження за яким процесом привело до появи таких одиниць вимірювання часу, як місяць і тиждень?

- ✎** **Вправа № 5**
1. За 18 секунд колесо автомобіля здійснило 24 оберти. Обчисліть період обертання колеса.
  2. Якою є частота обертання патрона електродриля, якщо за хвилину він здійснює 900 обертів?
  3. Лопаті вентилятора здійснюють один повний оберт за 0,2 с. Якою є частота їхнього обертання?
  4. Частота обертання колеса велосипеда під час змагань досягає 5 обертів за секунду. Яким є період обертання колеса?
  5. Кулер мікропроцесора персонального комп'ютера обертається з частотою 3600 об/хв. З яким періодом він обертається?

- 🔗** **Експериментальні завдання**
1. Обчисліть період і частоту обертання деталей деяких побутових приладів: колеса швацької машинки, барабана пральної машини, лопаті вентилятора кондиціонера тощо.
  2. Визначте швидкості рівномірного руху кінців секундної та хвилинної стрілок годинника. Пригадайте, що траєкторіями руху цих тіл є кола, а довжина кола обчислюється за формулою  $l = 2\pi R$ .



*М. П. Барабашов біля телескопа власної конструкції*

## ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Видатний український вчений-астроном **Микола Павлович Барабашов** (1894–1971) майже все своє життя (за винятком періоду Великої Вітчизняної війни) мешкав у Харкові. Світову відомість йому принесли дослідження Марса та Венери. Зокрема, М. П. Барабашов відкрив так звані «полярні шапки» на Марсі, виявив кристали льоду в атмосфері Венери.

Крім того, вчений зробив величезний внесок у дослідження Місяця. Ще задовго до перших космічних польотів до нього М. П. Барабашов висунув гіпотезу про склад гірських

порід на Місяці. Після досліджень, здійснених за допомогою роботів-місяцеходів, гіпотеза науковця була блискуче підтверджена. Крім вивчення складу поверхні Місяця вчений створив атлас зворотного боку цього природного супутника Землі.



**Тема.** Вимірювання частоти обертання тіл.

**Мета:** дослідити рівномірний обертальний рух колеса іграшкового автомобіля, визначити частоту та період його обертання.

**Обладнання:** іграшковий автомобіль із рухомими колесами, секундомір, крейда.

### ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

#### II Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
  - Який рух називають рівномірним обертальним?
  - За якою формулою обчислюють період рівномірного обертального руху тіла? його частоту? Якими є одиниці періоду та частоти обертання?
- За допомогою крейди зробіть позначку на одному з коліс автомобіля.

#### ▶ Експеримент

*Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.*

- Розташуйте автомобіль на столі. Повільно і якомога рівномірніше пересувайте автомобіль уздовж стола. При цьому колеса автомобіля здійснюватимуть обертальний рух у вертикальній площині відносно корпусу автомобіля.
- Виміряйте час  $t$ , за який колесо здійснить 10–15 повних обертів.
- Повторіть дослід ще раз, збільшивши швидкість руху автомобіля.

Номер дослідів	Час обертання $t$ , с	Кількість обертів $N$	Період обертання $T$ , с	Частота обертання $n$ , об/с
1	0,2с	1		$n = N/t$
2				

#### ▶ Опрацювання результатів експерименту

- Обчисліть період і частоту обертання колеса автомобіля для кожного з двох дослідів.
- Результати обчислень занесіть до таблиці.

## □ Аналіз результатів експерименту

Проаналізувавши експеримент, зробіть висновок, у якому значенні, який вид руху ви сьогодні вивчали, які величини обчислювали і які результати одержали. Порівняйте частоту й період обертання коліс за умови різної швидкості руху автомобіля.

## + Творче завдання

Замініть іграшковий автомобіль, з яким ви проводили експеримент, іншим — із колесами меншого або більшого діаметра. Експериментально з'ясуйте, як відрізнятимуться частоти обертання коліс цих двох автомобілів за умови однакової швидкості їхнього руху.

## § 6. КОЛИВАЛЬНИЙ РУХ. АМПЛІТУДА, ПЕРІОД І ЧАСТОТА КОЛИВАНЬ. МАЯТНИКИ. МАТЕМАТИЧНИЙ МАЯТНИК

?!

Жителі Стародавніх Месопотамії, Єгипту, Китаю, спостерігаючи за Сонцем та Місяцем, визначили одиниці часу: рік, місяць, добу та ін. Був створений сонячний годинник, потім з'явився водяний годинник. Проте справжня революція в конструкції годинників відбулась після з'ясування властивостей коливального руху. Яких саме — дізнаєтеся з цього параграфа.

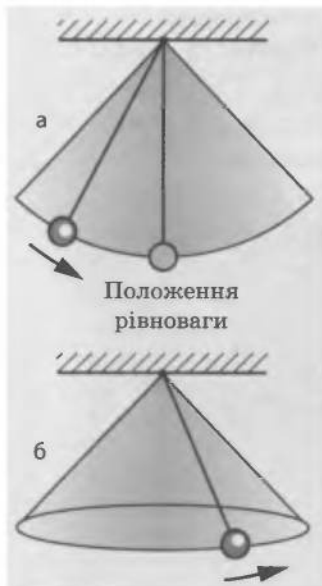


Рис. 6.1. Коливальний (а) та обертальний (б) рухи дуже схожі

### 1 Знайомимось з коливаннями

Якщо тягарець, підвішений на нитці, відхилити від положення рівноваги вбік, а потім відпустити, то тягарець буде рухатися від одного крайнього положення до другого, повторюючи свій рух через певний проміжок часу. Такий рух є прикладом *коливань*.

**Коливання** — це рухи, які повторюються через однакові проміжки часу.

Коливання мають важливу *спільну* рису з рівномірним обертальним рухом: *і обертання, і коливання періодично повторюються* (рис. 6.1).

### 2 Вивчаємо маятники

Ви напевне вже знайомі з метрономом — приладом для відмірювання проміжків часу (рис. 6.2). Пригадаймо, що в метрономі є металева ніжка з рухомим тягарцем, яка може здійснювати різні за частотою коливання відносно

свого нижнього кінця. Ця ніжка з тягарцем є прикладом маятника.

**Маятник** — це тверде тіло, яке здійснює коливання навколо нерухомої точки.

Маятники, які коливаються під впливом притягання до Землі, називають *фізичними маятниками* (рис. 6.3). Коливання таких маятників залежать від їх маси та геометричних розмірів.

Маятники, в яких тіло коливається під впливом пружини, називають *пружинними маятниками* (рис. 6.4). Коливання пружинного маятника залежать не від притягання Землі, а лише від властивостей пружини та маси підвішеного на ній тіла.

Маятники використовують у багатьох фізичних приладах. Особливо важливим є використання маятників у годинниках, адже періодичність коливань дає можливість здійснювати відлік часу.

### 3 Створюємо математичний маятник

Підвісимо на стрічці досить важкий предмет, наприклад книжку. Якщо відхилити книжку вбік, то вона почне коливатися — тобто ми отримали фізичний маятник. Детальне вивчення властивостей такого маятника є досить складним: вони визначаються розмірами книжки та довжиною стрічки, властивостями самої стрічки та іншими чинниками (рис. 6.5, а).

Щоб розміри тіла, що здійснює коливання, не впливали на властивості маятника, слід узяти нитку, довжина якої є досить великою порівняно з розмірами тіла. У такому випадку можна вважати тіло матеріальною точкою. При цьому нитка має бути легкою та тонкою, а щоб під час коливань тіло весь час було на незмінній відстані від точки підвісу, — нерозтяжною. Таким чином буде створена *фізична модель* — *математичний маятник*.

**Математичний маятник** — матеріальна точка на тонкій, невагомій і нерозтяжній нитці.



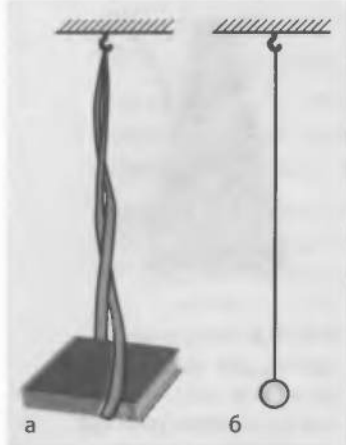
**Рис. 6.2.** Метроном — прилад для вимірювання проміжків часу — зазвичай використовують під час занять музикою



**Рис. 6.3.** Найпростіший приклад фізичного маятника



**Рис. 6.4.** Приклад пружинного маятника: якщо тіло, підвішене на пружині, злегка штовхнути вниз, воно почне коливатися



**Рис. 6.5.** Чи зручний для вивчення коливань «книжковий» маятник (а)? Напевно, ні: під час коливань стрічка натягатиметься нерівномірно і книжка буде розгойдуватися «зигзагами». Металева кулька на довгій суровій нитці (б) краще підходить для вивчення основних властивостей коливань



**Рис. 6.6.** На фото видно, на скільки маятник метронома відхиляється від положення рівноваги під час коливань

Наприклад, невелика металева кулька діаметром 1–2 см, яка підвішена на тонкій суровій нитці завдовжки 1–2 м, цілком може слугувати за маятник, на коливання якого не будуть впливати розміри тіла та властивості нитки (рис. 6.5, б). Дослідження коливань такого маятника ви проведете під час виконання лабораторної роботи № 3.

**4** Визначаємо, що таке амплітуда коливань. Неважко побачити, що є деяка *максимальна відстань*, на яку віддаляється від положення рівноваги тіло, що коливається (наприклад, тягарець на ніжці метронома) (рис. 6.6). Це — *амплітуда коливань*.

**Амплітуда коливань** — це фізична величина, що дорівнює максимальній відстані, на яку віддаляється тіло від положення рівноваги в ході коливань.

Амплітуду коливань позначають символом *A*. *Одиницею амплітуди коливань в СІ є метр (м)*.

За одне **повне коливання** тіло, яке коливається, проходить шлях, що дорівнює *чотирьом амплітудам* (рис. 6.7).

**5** Визначаємо, що таке період та частота коливань

Схожість обертального і коливального рухів дозволяє використовувати поняття періоду та частоти й для опису коливань.

**Період коливань** — це фізична величина, що дорівнює часу, за який відбувається одне повне коливання.

Як і період обертання, період коливань позначають символом *T* і обчислюють за формулою

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

**Частота коливань** — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості повних коливань, що здійснює тіло за одиницю часу.

Частоту коливань позначають символом  $\nu$  («ню») і обчислюють за формулою

$$\nu = \frac{N}{t}$$

Одиницею частоти коливань в СІ є **герц** (Гц); вона названа так на честь видатного німецького фізика *Генріха Герца* (рис. 6.8).

Якщо за одну секунду тіло робить одне повне коливання, то частота його коливань дорівнює 1 Гц. Тобто  $1 \text{ Гц} = 1 / \text{с}$ .

Частота  $\nu$  та період коливань  $T$  пов'язані між собою залежністю:

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

## 6 Розрізняємо затухаючі та незатухаючі коливання

Якщо будь-який маятник — фізичний, математичний або пружинний — вивести зі стану рівноваги, то він почне коливатися. Такі коливання називають *вільними*.

Якщо маятника не торкатися, то через деякий час амплітуда коливань тіла помітно зменшиться. Почекавши ще, станемо свідками того, що коливання зовсім припиняться.

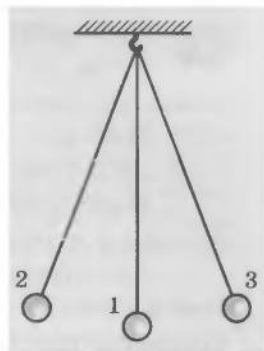
Коливання, амплітуда яких із часом зменшується, називають **затухаючими**.

Затухають із плином часу вільні коливання, наприклад, гойдалки, біла дзвоника, струн гітари. *Вільні коливання завжди є затухаючими*.

Якщо на тіло періодично впливати будь-яким іншим тілом, то коливання будуть *вимушеними* й продовжуватимуться весь час впливу, тобто не будуть затухати.

Коливання, амплітуда яких не змінюється з плином часу, називають **незатухаючими**.

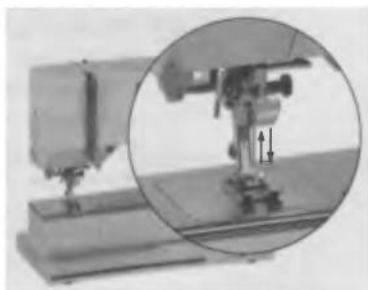
Наприклад, доки працює механізм швацької машинки, голка здійснює *вимушені незатухаючі* коливання (рис. 6.9).



**Рис. 6.7.** Рух тіла з положення 1 до положення 2, потім (через положення 1) до положення 3 і знову до положення 1 — це одне повне коливання



**Рис. 6.8.** Генріх Рудольф Герц (1857–1894) — німецький фізик, один із фундаторів електродинаміки



**Рис. 6.9.** Коливання голки швацької машинки — приклад вимушених незатухаючих коливань



## Підбиваємо підсумки

Рухи, які повторюються через однакові проміжки часу, називають коливаннями.

Маятник — це тверде тіло, яке здійснює коливання навколо нерухомої точки.

Математичний маятник — матеріальна точка на тонкій, невагомій і нерозтяжній нитці.

Амплітуда коливань — це фізична величина, що дорівнює максимальній відстані, на яку віддаляється тіло від положення рівноваги під час коливань.

Період коливань — це фізична величина, що дорівнює часу, за який відбувається одне повне коливання:  $T = t / N$ .

Частота коливань — це фізична величина, яка чисельно дорівнює кількості повних коливань, що здійснює тіло за одиницю часу:  $\nu = N / t$ .

Одиниці періоду та частоти коливань в СІ — відповідно секунда (с) та герц (Гц).

Частота та період коливань пов'язані між собою залежністю:  $\nu = 1 / T$ .

Розрізняють затухаючі та незатухаючі, вільні та вимушені коливання.



## Контрольні запитання

1. Дайте означення коливань.
2. Що таке маятник?
3. Який маятник називають фізичним?
4. До якого виду маятників належить тіло, підвішене на пружині?
5. Що таке математичний маятник?
6. Що таке амплітуда, період, частота коливань?
7. Як розрахувати період коливань? частоту коливань?
8. Яка існує залежність між частотою та періодом коливань?
9. Чим відрізняються затухаючі та незатухаючі коливання?



## Вправа № 6

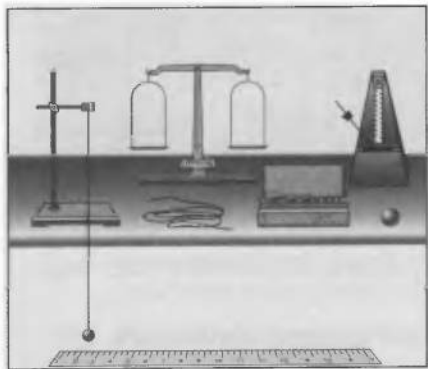
1. Наведіть приклади затухаючих та незатухаючих коливань, які не згадані в параграфі.
2. Під час коливання тіло рухається від крайнього лівого положення до крайнього правого. Відстань між цими двома положеннями становить 4 см. Якою є амплітуда коливань?
3. За хвилину маятник здійснив 30 коливань. Обчисліть період коливань.
4. Скільки коливань здійснить тіло за 2 хвилини, якщо частота його коливань становить 4 Гц?
5. Поплавок, що коливається на воді, піднімається й пірнає шість разів за 3 секунди. Знайдіть період і частоту коливань поплавка.
6. Період коливань тіла дорівнює 0,5 с. Обчисліть частоту коливань цього тіла.
7. Амплітуда коливань тіла на пружині дорівнює 10 см. Який шлях пройде тіло за половину періоду коливань? за два періоди?



## Експериментальне завдання

Дослідіть, як впливає на період коливань невеличкого тіла, підвішеного на довгій суровій нитці, амплітуда цих коливань.





**Тема.** Дослідження коливань маятника.

**Мета:** навчитися визначати амплітуду, період і частоту коливань маятника; переконатися на досліді, що частота й період коливань маятника не залежать від амплітуди його коливань та маси тягарця, проте залежать від довжини нитки.

**Обладнання:** дві невеличкі важкі металеві кульки різної маси, міцні нитки, що не розтягуються, лінійка завдовжки 1 м, штатив із муфтою та лапкою, метроном або секундомір, терези з важками.

### ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

#### ▮ Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання:
  - Що називають амплітудою коливань?
  - За якою формулою можна обчислити період коливань?
  - Що таке частота коливань і за допомогою яких формул її можна обчислити?
- Визначте ціну поділки шкали лінійки.
- Виміряйте за допомогою терезів маси кульок.
- Закріпіть кульки на нитках, довжина яких є трохи більшою від 1 м.
- Установіть на краю стола штатив. Біля верхнього кінця штатива закріпіть за допомогою муфти лапку й підвісьте до неї одну з кульок на нитці так, щоб довжина одержаного маятника становила 1 м.
- Пересуваючи муфту вздовж штатива, установіть її на такій висоті, щоб кулька опинилась на відстані 3–5 см від розташованої на підлозі лінійки.

#### ▶ Експеримент

- Дослідіть залежність періоду і частоти коливань маятника від його амплітуди. Для цього:
  - відхиливши маятник на відстань 2–3 см від положення рівноваги і відпустивши, виміряйте час, за який маятник виконає 20–30 коливань; визначте період і частоту коливань;
  - повторіть дослід, збільшивши амплітуду коливань до 5–6 см;

3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Номер досліджу	Довжина нитки $l$ , м	Амплітуда коливань $A$ , м	Число коливань $N$	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с	Частота коливань $\nu$ , Гц
1	1					
2	1					

2. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від його маси. Для цього:

- 1) перенесіть із табл. 1 до табл. 2 результати досліджу № 1;
- 2) повторіть дослід для кульки іншої маси, довжина нитки якої теж дорівнює 1 м, а амплітуда коливань становить 2–3 см;
- 3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 2.

Таблиця 2

Номер досліджу	Довжина нитки $l$ , м	Маса кульки $m$ , кг	Число коливань $N$	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с	Частота коливань $\nu$ , Гц
1	1					
3	1					

3. Дослідіть залежність періоду коливань маятника від довжини нитки. Для цього:

- 1) перенесіть із табл. 1 до табл. 3 результати досліджу № 1;
- 2) повторіть дослід, зменшивши довжину нитки першого маятника до 25 см; амплітуда коливань має становити 2–3 см;
- 3) результати вимірювань та обчислень занесіть до табл. 3.

Таблиця 3

Номер досліджу	Довжина нитки $l$ , м	Число коливань $N$	Час коливань $t$ , с	Період коливань $T$ , с	Частота коливань $\nu$ , Гц
1	1				
4	0,25				

### □ Аналіз результатів експерименту

Проаналізувавши результати, зробіть висновок, у якому зазначте: які величини ви навчилися вимірювати; які чинники вплинули на точність одержаних результатів; як період і частота коливань маятника залежать від амплітуди коливань, маси кульки, довжини нитки.

## § 7. ЗВУК. ПОШИРЕННЯ ЗВУКУ В РІЗНИХ СЕРЕДОВИЩАХ. ВІДБИВАННЯ ЗВУКУ

**?!** Ми живемо в океані звуків. Що являють собою звуки? Як вони утворюються? Чому неможливо почути гуркіт ракетних двигунів у космосі? Чому грім чути набагато пізніше за спалах блискавки? Для чого в студіях звукозапису стіни вкривають шаром звукопоглинальних матеріалів? Чому зачинене вікно досить суттєво послаблює вуличний гамір? Від чого залежить якість звуку в концертній залі? Спробуймо отримати відповіді на ці запитання в наступному параграфі.

### **1** Прислухаємося до звуку

Якщо на поверхню озера кинути камінець, то від місця, де він упаде у воду, в усі боки побіжать *хвилі*. Виникають вони тому, що в місці свого падіння камінець спричиняє коливання частинок води, які, в свою чергу, втягують у рух найближчі до них інші частинки, і т. д. Тобто *хвиля* — це коливання, які поширюються у просторі. Частинки середовища можуть коливатися як уперек напрямку поширення хвилі, так і вздовж. Відповідно розрізняють *поперечні* та *поздовжні* хвилі (рис. 7.1).

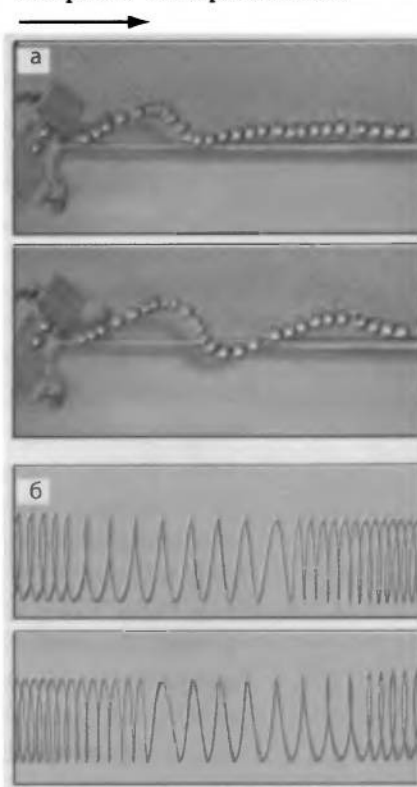
Хвилі на поверхні озера або хлібного поля можна побачити. Деякі хвилі невидимі, як-от, наприклад, *звукові*. Під час поширення звуку в повітрі рух одних молекул передається іншим. Утворюються почергові згущення і розрідження повітря — виникає *поздовжня звукова хвиля*, або *звук*.

### **2** З'ясовуємо умову поширення звуку

Поставимо на невеличку подушечку будильник і помістимо їх під ковпак повітряного насоса (рис. 7.2). Цокання годинника стане тихішим, але все одно чутним. Відкачавши повітря з-під ковпака за допомогою насоса, ми перестанемо чути цокання. Отже, щоб звук поширювався, потрібне *середовище*.

Середовище може бути різним — повітря, вода, навіть земля (пригадайте, як у кінострічках індіанці прикладають вухо до землі, щоб почути віддалені звуки). Таким чином, *звукові хвилі* — це *поздовжні хвилі*, які поширюються в газах, рідинах і твердих тілах.

Напрямок поширення хвилі



**Рис. 7.1.** Поперечні (а) та поздовжні (б) хвилі (модель)



**Рис. 7.2.** Будильник під ковпаком повітряного насоса

**3** Дізнаємося про швидкість поширення звуку в різних середовищах  
Властивості та стан різних середовищ є різними, тому і швидкість поширення звукових хвиль у них неоднакова.

Швидкість звуку в повітрі поблизу поверхні Землі за температури  $20^{\circ}\text{C}$  становить приблизно 340 м/с, тобто вона майже в мільйон разів менша за швидкість світла. Саме тому грім чути пізніше, ніж видно спалах блискавки (рис. 7.3).

Уперше швидкість поширення звуку в повітрі виміряв у 1636 р. французький учений *Марен Мерсенн* (1588–1648).

У рідинах звук поширюється швидше, ніж у повітрі, а у твердих тілах — ще швидше. Так, у воді звук поширюється зі швидкістю 1500 м/с, а в сталевій рейці — зі швидкістю понад 5000 м/с.

Швидкість звуку залежить від температури та інших характеристик середовища, в якому цей звук поширюється. Так, у повітрі та в інших газах швидкість звуку зростає, зокрема, зі зростанням температури.

**4** Дізнаємося про розсіювання та загасання звуку

У ході поширення звуку в середовищі відбувається поступове *розсіювання та загасання звуку, тобто зменшення гучності звуку*. Знання закономірностей розсіювання та загасання звуку є важливим для визначення межі дальності поширення звукового сигналу.

Так, на поширення звуку в атмосфері впливають температура й тиск повітря, сила й швидкість вітру (саме тому, наприклад, за напрямком вітру звук чути далі, ніж проти). В океанах на деяких глибинах утворюються певні умови для наддалекого поширення звуку (понад 5000 км) — у такому випадку говорять про *підводний звуковий канал*.

**5** Спостерігаємо відбивання звуку

На межі поділу різних середовищ звукова хвиля відбивається. Це спостерігається, якщо, наприклад, звукова хвиля, що поширюється в повітрі, падає на тверду поверхню або на поверхню рідини. Отже, звук практично не проникає ані з повітря у воду, ані з-під води назовні.

Якщо стати недалеко від скелі або поодинокого хмарочоса і плеснути в долоні чи гучно крикнути, то через невеликий час добре чути повторення звуку. Це — *луна* (рис. 7.4).

**Луна** — це звук, відбитий від віддаленої перешкоди.

Якщо відстань до перешкоди є досить великою, а звук коротким (удар, оплеск, скрик), ми чуємо чітко повторення звуку. Якщо звук є довгим, то луна змішується з первинним звуком і відбитий звук стає нерозбірливим.

Луна буває у великих кімнатах зі стінами, що добре відбивають звук, зустрічається вона і в природі — в горах або



**Рис. 7.3.** Якщо гроза від нас далеко, то гуркіт грому можна почути навіть через 10–20 секунд після спалаху блискавки



**Рис. 7.4.** Луна утворюється внаслідок відбиття звуку

в місцевостях, де є окремі скелясті стінки. Цікаво, що в одному з оповідань Марка Твена навіть ідеться про бізнесмена, який колекціонував луни — скуповував ділянки, де було чути найдивніші відлуння.

Явище відбивання звуку використовують, коли встановлюють шумозахисні екрани уздовж автомобільних трас та біля аеропортів. Дослідження того, як відбивається, розсіюється та загасає звук у газах, рідинах і твердих тілах, дозволяє отримати інформацію про внутрішню будову та фізичний стан цих середовищ, визначити розташування неоднорідностей усередині них.

### **!** Підбиваємо підсумки

Звукові хвилі — це поздовжні хвилі, що поширюються в газах, рідинах та твердих тілах.

Швидкість поширення звуку в рідинах вища за швидкість поширення звуку в газах, а в твердих тілах — вища, ніж у рідинах.

Відбивання звуку є причиною виникнення луни.

Дослідження розсіювання та загасання звуку в різних середовищах дозволяє отримати інформацію про будову та фізичний стан середовища.

### **?** Контрольні запитання

1. Який рух називають хвилею?
2. Що таке звук?
3. За яких умов звук може поширюватися в просторі?
4. У яких середовищах може поширюватися звук?
5. Від чого залежить швидкість звуку?
6. У якому середовищі швидкість звуку найменша, а в якому — найбільша?
7. Наслідком якого явища є луна?

### **✍** Вправа № 7

1. Якщо вдарити молотком по одному кінцю довгої металевої труби, то з другого кінця буде чути подвійний удар. Чому?
2. Чому музика й голоси співаків по-різному звучать у порожній залі і в залі, що заповнена публікою?
3. Швидкість кулі дорівнює 680 м/с. На скільки раніше куля влучить у мішень, яку розташовано на відстані 1360 м, ніж до мішені долине звук пострілу?

4. На відстані 85 м від хмарочоса, який побудовано зі скла та бетону, стоїть людина. З її рук на тротуар падає металевий предмет. Через який час після удару людина може почути луну?

### ❏ Експериментальне завдання

При нагоді виміряйте проміжок часу між спалахом блискавки і гуркотом грому або між ударом будівельного молота для забивання паль та звуком від цього удару. Обчисліть приблизну відстань від місця вашого перебування до блискавки або до молота.

## § 8. ДЖЕРЕЛА ТА ПРИЙМАЧІ ЗВУКУ. СПРИЙМАННЯ ЗВУКУ ЛЮДИНОЮ. ІНФРАЗВУК ТА УЛЬТРАЗВУК. ВПЛИВ ЗВУКІВ НА ЖИВІ ОРГАНІЗМИ

- ?! Чому гучномовець, із якого лунає гучна музика, коливається? Що відбувається в органах слуху людини, коли вона сприймає звук? Як у повній темряві кажани та дельфіни знаходять здобич? Чому людина, яка тривалий час перебуває поблизу працюючого виробничого обладнання, досить часто відчуває погіршення самопочуття? Що таке звукове забруднення? Спробуймо відповісти на ці запитання.

### 1 Знайомимося з джерелами та приймачами звуку

Якщо притиснути до краю стола металеву або дерев'яну лінійку так, щоб один її кінець був вільним, і смикнути за нього, то лінійка почне коливатися, а ми почуємо звук (рис. 8.1).

Джерелами звуку є різноманітні тіла, що коливаються. Так, джерелами звуку виступають мембрани навушників і струни музичних інструментів, дифузори гучномовців (рис. 8.2), крила комарів, частини машин та механізмів, повітря всередині органних труб, духових музичних інструментів, свистків тощо. Голосові апарати людини й тварин також є джерелами звуку.

У доквіллі звук виникає, наприклад, унаслідок обдування вітром проводів, труб, гребенів морських хвиль. Потужний звук виникає в разі вибухів, обвалів. Виробниче обладнання та транспортні засоби, коли працюють, також є джерелами звуку.

Для отримання дещо особливого звуку було створено *камертон*. Він являє собою металеву «рогатку», укріплену на скриньці, в якій відсутня одна стінка. Якщо спеціальним гумовим молоточком ударити по ніжках камертона, то він утворюватиме звук, який називають *музикальним* (рис. 8.3).



Рис. 8.1. Після того як кінець лінійки буде відпущений, лінійка почне коливатися і ми почуємо звук

У приймачах звуку здійснюється перетворення звуку на інші сигнали, завдяки чому звук можна сприймати та аналізувати. До приймачів звуку, зокрема, належать слухові апарати тварин та людини: в них звук перетворюється на нервові імпульси. У техніці для приймання звуку застосовують головним чином спеціальні перетворювачі, де звук зазвичай перетворюється на електричні коливання (рис. 8.4).

## 2 Дізнаємося про висоту тону та гучність звуку

Людина здатна сприймати звукові хвилі з частотою від 20 до 20 000 Гц (до 20 кГц). Більшість тварин здатні розрізняти звуки, частота яких є меншою за 20 Гц і більшою від 20 кГц.

Звуки різної частоти ми сприймаємо як звуки різного тону: чим більшою є частота звуку, тим вищий тон звуку і навпаки. Ми легко відрізняємо високий тон дзижчання комара від низького тону гудіння джмеля, звучання скрипки від контрабаса.

Дослідження звуків, які видає струна, що коливається, проводив ще давньогрецький учений Піфагор (VI в. до н. е). Він вивчав залежність висоти тону від довжини струни і з'ясував: чим коротша струна, тим вищим є тон.

Гучність звуку визначається амплітудою звукових хвиль. Чим більша амплітуда, тим звук є гучнішим, але гучність буде різною для звуків різних частот. Людське вухо досить погано сприймає звуки низьких (близько 20 Гц) та високих (близько 20 000 Гц) частот і значно краще — середніх частот (від 300 до 3000 Гц).

## 3 Розрізняємо інфразвук та ультразвук

Звукові хвилі, що мають частоту, меншу за 20 Гц, називаються інфразвуковими (від латин. *infra* — нижче, під).

Джерелами інфразвуку можуть бути, наприклад, потужне виробниче обладнання, залізничний та автомобільний транспорт, промислові кондиціонери, вентилятори. Крім того,



Рис. 8.2. У гучномовцях звук спричиняється коливанням дифузорів



Рис. 8.3. Ніжки камертона коливаються й тому випромінюють звук



Рис. 8.4. Мікрофон перетворює звукові імпульси на електричні коливання



**Рис. 8.5.** Ультразвуковий випромінювач, що відганає комах

коливання інфразвукових частот виникають у разі вибухів, обвалів, потужних поривів вітру в горах і під час шторму на морі.

Звукові хвилі, частота яких є вищою від 20 кГц, називаються *ультразвуковими* (від латин. *ultra* — понад, за межами, по той бік). Чутливі приймачі показали, що ультразвук наявний у шумі вітру та водоспадів, у звуках, які видають живі істоти.

#### **4** Знайомимось із впливом інфразвуку на живі організми

Інфразвук є дуже небезпечним для тварин та людини. Найнебезпечніший для людини інфразвук частотою 7–8 Гц.

Сучасні дослідження довели, що інфразвуки малої амплітуди діють на внутрішні органи людини, викликаючи симптоми морської хвороби; інфразвуки середньої амплітуди в разі тривалої дії можуть викликати засліплення, спричинити підвищену агресивність; інфразвуки великої амплітуди змушують внутрішні органи коливатись або вібрувати, що може призвести навіть до зупинки серця.

**5** Дізнаємося про використання ультразвуку  
З'ясувалося, що ультразвук сприймають багато комах (цвіркуни, цикади) (рис. 8.5). Сприйняття ультразвуку в діапазоні частот до 100 кГц — здатність багатьох гризунів; уловлюють такі коливання й собаки. Цікаво, що діти, на відміну від дорослих, також чують ультразвукові сигнали (рис. 8.6).

Існують живі істоти, які не тільки сприймають ультразвук, але й видають його з метою орієнтації в темряві або під час полювання (рис. 8.7). Так, кажани та дельфіни випромінюють ультразвук і сприймають його після відбиття від перешкод, завдяки чому вони навіть у повній темряві можуть знайти дорогу або спіймати здобич.

У клінічній практиці ультразвукова локація дозволяє діагностувати пухлини, сторонні тіла (шматочки дерева, скла тощо) у тканинах.



**Рис. 8.6.** Діти чують ультразвук, а дорослі — ні. Британські школярі встановили на свої стільникові телефони рингтони ультразвукового діапазону і на уроках обмінюються SMS — учитель цих сигналів не чує



**Рис. 8.7.** Дельфіни спілкуються та орієнтуються в темряві за допомогою ультразвуку



Ультразвук також застосовують для знезаражування хірургічних інструментів, лікарських речовин, рук хірургів тощо. Широко використовують різноманітні ультразвукові процедури медичного характеру, за допомогою ультразвуку почали проводити хірургічні операції.

Знайшов ультразвук застосування і в техніці — для виявлення дефектів усередині суцільних тіл, для зварювання деталей, очищення поверхонь від забруднень, для вимірювання глибин (рис. 8.8) та ін.

## **6** Застерігаємо про вплив шуму на здоров'я людини

Серед фізичних чинників, що негативно позначаються на здоров'ї людини, найвпливовішим є шум. Він сприймається як неприємні, небажані звуки, що заважають нормально працювати, сприймати потрібну інформацію, відпочивати. Учені встановили, що шум навіть малої інтенсивності призводить до зниження працездатності й гостроти слуху, зміни можливостей кори головного мозку, серцево-судинної та центральної нервової систем.

Правова основа захисту населення від шуму будується в Україні на декількох державних законах. Боротьба із шумом полягає у встановленні шумозахисних екранів, у використанні безшумних механізмів, у зміні технології виробництва та винесенні транспортних потоків у малолюдні місця. Наприклад, озеленення території знижує вуличний шум на 25 % і більше.

На відміну від шуму, спокійна, мелодійна музика здатна заспокоювати, підвищувати настрій, тонус, навіть лікувати.

## **!** Підбиваємо підсумки

Джерелом звуку є тіло, що коливається.

Коливання з частотами від 20 до 20 000 Гц людина сприймає як звук.

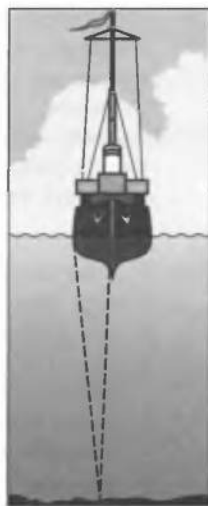
Чим більша частота звуку, тим вищим є тон.

Гучність звуку визначається амплітудою звукових коливань.

Звукові хвилі з частотою меншою, ніж 20 Гц, називають інфразвуковими.

Звукові хвилі, частота яких вища від 20 кГц, називають ультразвуковими.

Шум негативно впливає на людину, знижує її працездатність, може спричинити різні захворювання.



**Рис. 8.8.** За допомогою ультразвуку можна визначити глибину моря



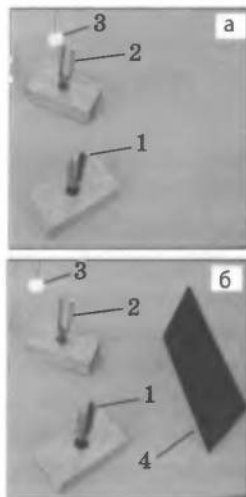
### Контрольні запитання

1. Наведіть приклади тіл, що є джерелами звуку. 2. Що таке камертон? 3. Які перетворення відбуваються зі звуком в органах слуху? 4. Що відбувається в приймачах звуку? 5. Коливання якого діапазону частот людина відчуває як звук? 6. Якою фізичною величиною визначається висота тону? 7. Яка фізична величина визначає гучність звуку? 8. Що таке інфразвук? Як він впливає на людей? 9. Як застосовують ультразвук живі істоти? 10. Чому слід боротись із шумом?



### Вправа № 8

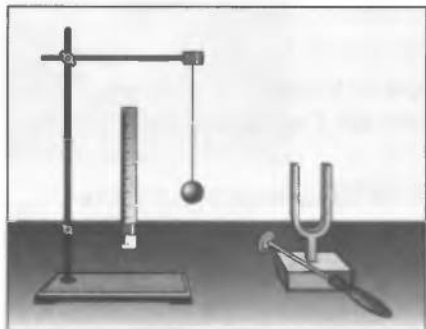
1. Чому метелика, який летить, не чути, а коли летить комар, чути дзиччання?
2. Чим відрізняються звуки сурми від звуків флейти?
3. Якщо постукає по дошці, то чути звук. Чому цей звук буде гучнішим, якщо вдарити сильніше?
4. Ніжки камертона коливаються з частотою 440 Гц. Чи сприймаємо ми ці коливання як звук?
5. Іноді дресирувальники тварин подають сигнали своїм вихованцям за допомогою свистків, звук яких людина не чує. Який секрет криється в цих свистках?
6. Яке явище демонструє дослід, поданий на рисунку? Назвіть пристрої, позначені цифрами, опишіть їх призначення у цьому досліді.
- 7\*. З якою точністю дельфін може визначати відстань до перешкоди своїм ультразвуковим локатором, якщо точність вимірювання ним часу становить 0,1 мс?



### Експериментальне завдання

Порівняйте своє самопочуття під час тривалого перебування в тихій кімнаті та біля автомобільної дороги з інтенсивним рухом машин. Зробіть висновок.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4



**Тема.** Вивчення характеристик звуку.

**Мета:** переконатися на досліді в тому, що джерелом звуку є тіло, яке коливається, а також у тому, що, чим більша частота коливань тіла, тим вищим є звук; експериментально довести, що гучність звуку визначається амплітудою коливань джерела звуку.

**Обладнання:** камертон, штатив, дві муфти, дві лапки, легка кулька (або намистинка) на нитці, лінійка завдовжки 30–40 см (краще сталева).

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

### ▮ Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, пригадайте відповіді на такі запитання:
  - 1) Що таке звук і що є його джерелом?
  - 2) Які джерела й приймачі звуку вам відомі?
  - 3) Які характеристики звуку ви знаєте?
2. Підвісьте кульку до лапки штатива на такій висоті, щоб кулька була розміщена трохи нижче, ніж верх ніжки камертона.
3. Міцно затисніть у лапці штатива кінець лінійки завдовжки 25–30 см.

### ▶ Експеримент

1. Використовуючи легку кульку, підвішену на нитці, як індикатор коливань, доведіть, що, видаючи звук, камертон коливається і що гучність звуку, який видає камертон, залежить від амплітуди коливань його ніжок.  
Опишіть свої дії та спостереження:

Дії	Спостереження

2. Переконайтеся, що висота звуку визначається частотою коливань тіла, яке є джерелом звуку. Для цього скористайтеся лінійкою, що затиснута в лапці штатива. Якщо таку лінійку вивести з положення рівноваги, то вона почне коливатися. При цьому чим менша довжина коливної частини, тим більшою є частота коливань. Отже:
  - 1) надайте коливань вільній частині лінійки, що була затиснута вами в лапці штатива; переконайтеся, що за такої довжини коливної частини лінійка не видає чутного звуку;
  - 2) зменшуючи довжину коливної частини лінійки, визначте, як змінюється висота тону звуку, який видає лінійка.

### ▣ Аналіз результатів експерименту

Зробіть висновок, у якому зазначте, які характеристики звуку ви вивчили й якою фізичною величиною визначається та чи інша характеристика звуку.

### + Творче завдання

Продумайте та запишіть план експерименту, що дасть змогу вивчити залежність висоти тону звуку від натягу струни. Яке обладнання вам для цього потрібне? Проведіть цей експеримент.

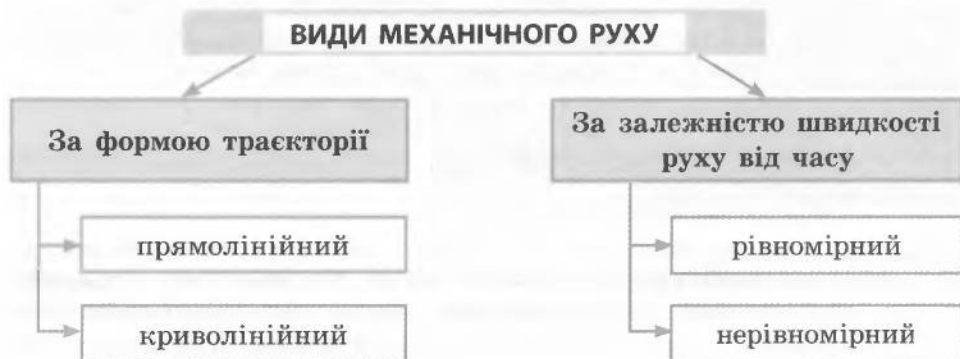
# ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 1 «МЕХАНІЧНИЙ РУХ»

У цьому розділі ви вивчили механічний рух та його характеристики, познайомилися з видами механічного руху: рухом по прямій, обертальним рухом, коливанням, хвилями (на прикладі звукових хвиль).

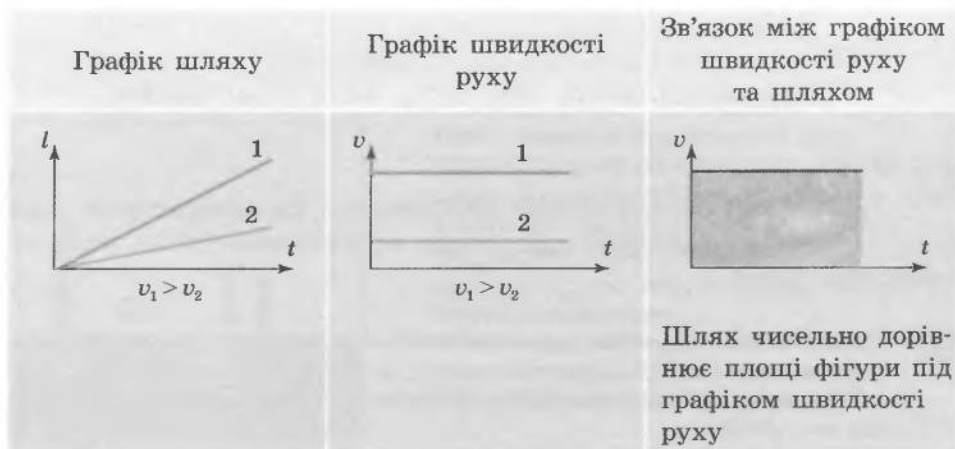
1. У розділі 1 ви одержали відповідь на запитання, що таке механічний рух.

■ **Механічний рух** — це зміна положення тіла у просторі відносно інших тіл із плином часу.

2. Ви навчилися розрізняти види механічного руху за формою траєкторії та залежністю швидкості руху від часу.



3. Ви навчилися досліджувати рівномірний рух за допомогою графіків шляху та швидкості руху.



#### 4. Ви детально дослідили певні механічні рухи.

Форма траєкторії	Шлях	Час	Швидкість руху
Прямолінійний рівномірний рух			
Пряма лінія	$l$	$t$	$v = \frac{l}{t}$
Прямолінійний нерівномірний рух			
Пряма лінія	$l = l_1 + l_2 + \dots + l_n$	$t = t_1 + t_2 + \dots + t_n$	$v_{\text{сеп}} = \frac{l_1 + l_2 + \dots + l_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$
Форма траєкторії	Період	Частота	Шлях за період
Обертальний рух			
Коло	$T = \frac{t}{N}, T = \frac{1}{n}$	$n = \frac{N}{t}, n = \frac{1}{T}$	$l = 2\pi R$ , де $R$ — радіус кола
Коливальний рух			
Відрізок прямої, дуга кола	$T = \frac{t}{N}, T = \frac{1}{\nu}$	$\nu = \frac{N}{t}, \nu = \frac{1}{T}$	$l = 4A$ , де $A$ — амплітуда коливань

#### 5. На прикладі звуку ви познайомилися з фізичними величинами, які використовують для характеристики хвиль.



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 1 «МЕХАНІЧНИЙ РУХ»

*Завдання 1—8 містять тільки одну правильну відповідь.*

- (1 бал)* Потяг, який прямує від однієї станції до іншої, перебуває у стані спокою відносно:

  - центра Землі;
  - пасажира, що сидить у кріслі вагона;
  - точок на ободі колеса;
  - рейок колії, по яких він рухається.
- (1 бал)* Середня швидкість руху — це фізична величина, що дорівнює:

  - добутку шляху і часу руху;
  - відношенню всього часу руху до всього шляху, який пододало тіло;
  - половині суми початкової та кінцевої швидкостей руху;
  - відношенню всього шляху, який пододало тіло, до всього часу руху.
- (1 бал)* Частота обертання тіла — це фізична величина, що чисельно дорівнює:

  - часу одного повного оберту;
  - кількості повних обертів за одиницю часу;
  - повній кількості обертів;
  - повному часу руху.
- (1 бал)* Період коливань математичного маятника:

  - залежить від довжини нитки;
  - залежить від маси маятника;
  - залежить від амплітуди коливань;
  - не залежить від земного тяжіння.
- (1 бал)* Людина може сприймати як звук хвилі з частотою:

а) від 2 до 20 Гц;	в) від 22 до 220 Гц;
б) від 220 до 2200 кГц;	г) від 320 до 3200 кГц.
- (2 бали)* Швидкісний потяг рухається зі швидкістю 40 м/с. Скільки триватиме подорож, якщо відстань між двома містами дорівнює 624 км?

а) 1 год 34 хв;	б) 4,2 год;	в) 4 год 20 хв;	г) 15,6 год.
-----------------	-------------	-----------------	--------------
- (2 бали)* Півгодини хлопчик їхав на велосипеді зі швидкістю 24 км/год, а потім йшов пішки 6 км зі швидкістю 4 км/год. Обчисліть середню швидкість руху хлопчика.

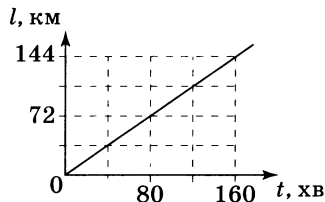
а) 9 км/год;	б) 14 км/год;	в) 20 км/год;	г) 28 км/год.
--------------	---------------	---------------	---------------

8. (2 бали) Чому дорівнює частота обертання секундної стрілки годинника?

- а)  $\frac{1}{60} \frac{1}{\text{с}}$ ;      б)  $1 \frac{1}{\text{с}}$ ;      в)  $60 \frac{1}{\text{с}}$ ;      г)  $3600 \frac{1}{\text{с}}$ .

9. (3 бали) Турист ішов гірською стежкою, рухаючись зі швидкістю 2 км/год, а потім повернувся до місця свого старту, рухаючись зі швидкістю 6 км/год. Якою була середня швидкість руху туриста на всьому шляху?

10. (3 бали) За графіком залежності шляху від часу для рівномірного руху (див. рисунок) визначте швидкість руху тіла. Відповідь подайте у км/год та м/с.

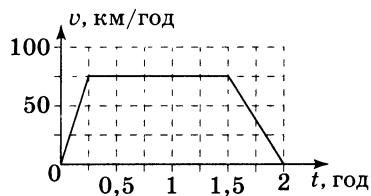


11. (3 бали) Скільки коливань здійснить маятник годинника, встановленого в кают-компанії судна, за час подорожі з Одеси до Керчі? Період коливань маятника дорівнює 1 с, відстань від Одеси до Керчі становить 250 км, судно рухається зі швидкістю 12,5 м/с.

12. (3 бали) Спостерігач почув звук артилерійського пострілу через 6 с після того, як побачив спалах від пострілу. На якій відстані від спостерігача розташована гармата?

13. (4 бали) Ракета полетіла до мішені зі швидкістю 680 м/с. Відстань від пускового пристрою до мішені становить 3,4 км. Через який час після старту ракети звук вибуху долетить до пускового пристрою?

14. (4 бали) На рисунку наведено графік залежності швидкості руху автомобіля від часу. Визначте максимальну швидкість руху автомобіля та весь шлях, що він проїхав.



15. (5 балів) Автомобіль проїхав 400 км. Відомо, що першу половину всього часу руху він їхав зі швидкістю 90 км/год; за другу половину часу подолав 175 км. Якою була швидкість руху автомобіля на другій ділянці шляху? Обчисліть середню швидкість руху автомобіля на всьому шляху. Вважайте рух автомобіля на обох ділянках рівномірними.

*Звірте ваші відповіді на завдання із наведеними в кінці підручника. Позначте питання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.*

# Космодром в океані

Практично всі технічні новинки, що з'явилися за останні сто років, створено за такою схемою: *етап 1* — *учені відкривають новий ефект (явище); етап 2* — *інженери-фахівці створюють пристрій (прилад), дія якого базується на використанні відкритого ефекту (явища).*

Таким чином, інженери-механіки працюють над створенням нових, удосконалених автомобілів та верстатів, інженери-оптики — фотоапаратів та телескопів, інженери-електрики — акумуляторів та електромоторів тощо. З деякими прикладами таких технічних новинок ви познайомилися в курсі фізики 7-го класу.

Прочитавши енциклопедичні сторінки в цьому підручнику, ви переконаєтеся в тому, що інженерові потрібні знання не тільки зі своєї спеціальності — він має широко застосовувати відомості з інших наукових галузей.

## Як найдалі кинути камінь, або Чому космодроми будують поблизу екватора

Більшість жителів Землі гадки не мають, як улаштовані ракети й космічні станції, але майже всім відомо, що космос — це дуже багато витрат. Знають про це й інженери — конструктори ракет. І щоб зменшити, наприклад, витрати на доправлення вантажів на орбіту, вони намагаються знаходити в тому числі всілякі нетрадиційні рішення. Наведемо приклад.

Пригадайте ваші ігри на дитячій каруселі: ви розганяєте карусель і застрибуєте на неї. При цьому найскладніше втримуватися на краю каруселі, що швидко обертається, — «невідома сила» намагається скинути вас. Саме цей фізичний ефект використовують спортсмени — *метальники молота*, розкручуючи металеве ядро на тросі (цікаво, що світовий рекорд у метанні молота приблизно в чотири рази більший, ніж у штовханні ядра, — близько 86 м і 22 м відповідно, при цьому маси обох снарядів є однаковими); на тому самому ґрунтується дія *праці* — спеціальної зброї давнини.

Конструктори ракет напевне добре знали фізику, адже вирішили «полегшити» старт космічного корабля, використовуючи як карусель Землю. І ось як. Відомо, що Земля обертається навколо

своїєї осі, при цьому зрозуміло, що найшвидше обертаються території навколо екватора. Запускаючи ракету з екватора, за інших однакових умов на орбіту можна закинути приблизно на 20 % більше корисного вантажу. Тому країни, які мають відповідні території (Французька Гвіана, Бразилія), будують сучасні космодроми поблизу екватора. А що ж робити тим країнам, що розташовані в середніх широтах, наприклад Україні?



Стартова платформа проекту «СІ-Лонч»



Понад 10 років тому чотири держави (Росія, Україна, Норвегія, США) об'єднали свої зусилля й реалізували грандіозний інженерний проект, що отримав назву «Сі-Лонч» (у перекладі з англійської — «морський старт»). Інженери вирішили: якщо країни не мають суходольної території на екваторі, слід здійснювати запуск ракет із морської поверхні. Як же цю ідею було реалізовано?

Зрозуміло, що для розміщення космодрому потрібна значна територія, практично цілий штучний острів. На щастя, подібні «острови» вже були створені, щоправда для інших цілей, — це плавучі платформи для видобутку нафти з дна морів. Свою платформу для проекту надала Норвегія — безумовний лідер у створенні таких споруд. Як ракета-носіє у проекті «Сі-Лонч» була використана українська ракета «Зеніт» — одна з найкращих у світі.

Працює плавучий космодром у такий спосіб. Незадовго до старту спеціальний буксир транспортує плавучу платформу до місця запуску (до речі, штаб-квартира спільної компанії розташована в Каліфорнії (США), звідки порівняно недалеко до екватора). Після підготування ракети весь персонал збирається на кораблі керування, що супроводжує платформу, а пуск здійснюється в автоматичному режимі. Таке вирішення дозволяє уникнути людських жертв у разі можливих негараздів.



*Корабель керування космодромом*

*Запуск ракети-носія «Зеніт»  
з морської платформи*



## § 9. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. ІНЕРЦІЯ

**?!**  Ви вже вмієте описувати різні види рухів тіл, розраховувати шлях та швидкість руху. Але чому швидкість руху тіла змінюється? Чому в одних випадках тіло рухається прямолінійною траєкторією, а в інших — криволінійною? Спробуємо отримати відповіді на ці запитання.



**Рис. 9.1.** Арістотель (384–322 до н. е.), давньогрецький філософ і вчений, зібрав і систематизував знання своїх попередників про природу



**Рис. 9.2.** Наш життєвий досвід показує: щоб візок рухався зі сталою швидкістю, його має тягнути, наприклад, кінь

### **1** Знайомимосся з ученими, які відкрили закони механіки

Понад 2500 років тому давньогрецький філософ *Арістотель* (рис. 9.1), розмірковуючи про причини руху тіл, дійшов розумного з точки зору здорового глузду, але неправильного з погляду фізики висновку: якщо на тіло нічого не діє, то воно має перебувати в стані спокою, а для підтримання прямолінійного рівномірного руху тіла потрібна постійна дія на нього інших тіл (рис. 9.2).

Такі міркування, на перший погляд, відповідають повсякденному досвіду. Але наприкінці XVI ст. видатний італійський учений *Галілео Галілей* (рис. 9.3) узяв їх під сумнів і встановив, що ідеї Арістотеля не можуть правильно пояснити характер руху тіл.

Подальше вивчення причин руху тіл дозволило *Ісаакові Ньютону* (рис. 9.4) відкрити закони, що започаткували **класичну механіку** — науку, яка вивчає закони механічного руху. Ці закони так і називають — **закони Ньютона**. Їх детальне вивчення очікує вас у 10-му класі.

### **2** З'ясуємо умову руху тіла зі сталою швидкістю

Здійснимо мислений експеримент\*. Уявіть учня 8 класу, який мчить довжелезною ковзанкою. Учня ніхто не штовхає і не тягне, отже, як підказує наш повсякденний досвід, врешті-решт він має зупинитися. Однак проміжок часу від

початку руху до зупинки буде різним — залежно від зовнішніх умов. Якщо, наприклад, лід нерівний або з намерзлим снігом, то учень проїде лише 2–3 м; якщо лід гладенький, не є межею і 20 м. Та якщо хлопець стане на ковзани, він може «пролетіти» й сотню метрів.

Розмірковуємо далі. Уявимо, що «гальмування» на ковзанці дорівнює нулю, а учень, як і раніше, не зазнає жодної дії ззовні. У цьому випадку уявний учень ковзатиме зі сталою швидкістю уявною ковзанкою як завгодно довго. При цьому дія Землі та дія ковзанки, яка не дає хлопцеві «провалитися», нікуди не зникають — вони зрівноважують, *компенсують* одна одну.

Тобто для підтримання *прямолінійного руху зі сталою швидкістю не потрібна постійна дія іншого тіла.*

Слід зазначити, що цього висновку вперше дійшов Галілей, який здійснював досліди (у тому числі мислені!) з кулькою та жолобом.

Тіло рухається прямолінійно рівномірно або перебуває в стані спокою лише тоді, коли на нього не діють інші тіла або дії інших тіл скомпенсовані.

Умова руху тіла зі сталою швидкістю відома в механіці як **закон інерції**.

### **3** Знайомимося з інерцією

Явище, при якому тіло рухається рівномірно прямолінійно, називають *інерцією* (від латин. *inertia* — нерухомість, бездіяльність).

**Інерція** — це явище зберігання швидкості (стану руху) тіла за відсутності або скомпенсованості дії на нього інших тіл.

У фізиці рух тіла за ідеальних умов (коли на тіло зовсім не діють інші тіла) називають *рухом за інерцією*.



**Рис. 9.3.** Галілео Галілей (1564–1642), італійський фізик і астроном, уперше ввів у науку експериментальний метод

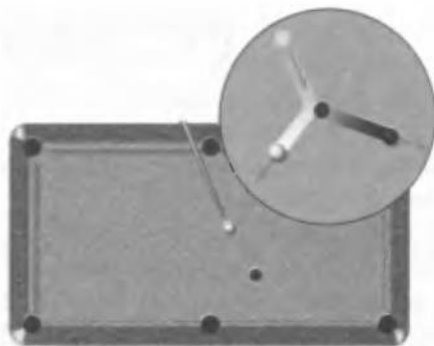


**Рис. 9.4.** Ісаак Ньютон (1643–1727), англійський фізик і математик, засновник класичної механіки

\* Експеримент, що проводиться у вигляді міркувань, у фізиці називають *мисленим експериментом*. У ході подальшого вивчення фізики ви ще зустрінетеся з мисленими експериментами. Вони дають змогу обґрунтовувати здогадки, що підтверджуються або спростовуються подальшими реальними експериментами.



**Рис. 9.5.** Ковзання шайби по льоду після удару ключкою — приклад руху за інерцією



**Рис. 9.6.** Прояв взаємодії тіл: більярдні кульки внаслідок зіткнення змінюють значення та напрямок швидкості свого руху

Однак у реальності неможливо створити умови, за яких на тіло відсутня дія інших тіл. Тому *в повсякденні рухом за інерцією вважають випадки, коли дія на тіло інших тіл досить слабка і до помітної зміни швидкості свого руху тіло проходить значний шлях.* Наприклад, ми називаємо рухом за інерцією ковзання шайби по льоду після удару ключкою (рис. 9.5), але не називаємо так ледь помітне просування цієї шайби в купі піску, в яку вона влучила.

#### **4** Спостерігаємо результат дії одного тіла на інше

А як буде рухатися тіло, на яке діє інше тіло, і ця дія не є скомпенсованою? Наприклад, як рухатиметься більярдна кулька, на яку налітає інша кулька і її удар нічим не компенсується? Як буде рухатися тягарець, що висить на нитці, якщо нитку перерізати і дія Землі не буде зрівноважена дією нитки? Що відбуватиметься, якщо, стоячи на ковзанах, ви відштовхнетеся від свого друга, який теж стоїть на ковзанах, і ваша дія не компенсується опором руху з боку льоду, оскільки лід гладенький? У цих та багатьох інших випадках *тіла змінюють значення та напрямок швидкості свого руху: більярдні кульки полетять у різні боки з різною швидкістю (рис. 9.6); тягарець почне падати з дедалі більшою швидкістю; ви почнете рухатися на ковзанах в один бік, а ваш друг — в інший.*

Отже, можна зробити висновок: *якщо дії на тіло інших тіл не скомпенсовані, то тіло змінює швидкість свого руху за значенням чи напрямком або одночасно за значенням та напрямком.*

#### **!** Підбиваємо підсумки

Умовою прямолінійного рівномірного руху тіла є відсутність дії на нього інших тіл або скомпенсованість цих дій. При цьому спостерігається явище інерції.

Якщо дії на тіло інших тіл не скомпенсовані, то тіло змінює швидкість свого руху за значенням чи напрямком або за значенням та напрямком одночасно.

- ?** **Контрольні запитання**
1. Наведіть приклади взаємодії тіл.
  2. Як рухається тіло, якщо на нього не діють інші тіла?
  3. Що таке інерція?
  4. За яких умов тіло рухається за інерцією?
  5. Що відбувається з тілом, коли дії на нього інших тіл не скомпенсовані?

- ✍** **Вправа № 9**
1. Повітряна бульбашка спливає в озері зі сталою швидкістю. Дії яких тіл на бульбашку є скомпенсованими?
  2. За яких умов ковзаняр під час змагань рухається рівномірно?
  3. Чи можна рух більярдної кульки після удару вважати рухом за інерцією? Поясніть свою думку.
  4. Як приклад руху за інерцією учень навів рух Місяця навколо Землі. Обґрунтуйте або спростуйте його відповідь.
  - 5\*. Людина, стоячи в практично нерухомому човні на озері, кинула в напрямку берега важкий рюкзак. Як поводитиметься човен? Поясніть свою відповідь.

- 🔍** **Експериментальне завдання**
- Спробуйте скласти на столі стосик тонких пластикових файлів. Файли складайте по одному. Потім такий самий стосик спробуйте скласти на поверхні, що має невеличкий кут нахилу. Прослідкуйте, як поводитимуться файли. Поясніть те, що відбувається.

## § 10. МАСА ЯК МІРА ІНЕРТНОСТІ ТІЛ. СИЛА

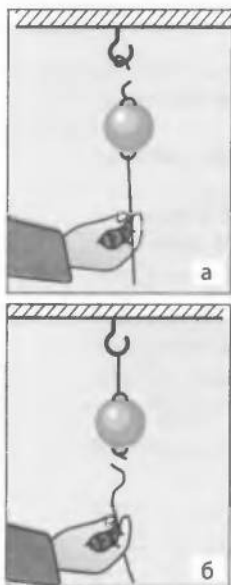
- ?!** Щоб схарактеризувати властивість швидко розганятися, рухатися, в побуті зазвичай уживають слова «моторний», «прудкий», «жвавий» тощо. А як порівняти «жвавість» кількох технічних засобів, наприклад легкових автомобілів? Для такого порівняння було введено спеціальну технічну характеристику — час розгону до швидкості 100 км/год. Автомобілі 50-х років ХХ ст. розганялися до цієї швидкості за 30–40 секунд, сучасним автомобілям потрібно 3–8 секунд. А чи можна цей час зменшити до нуля — ви дізнаєтеся з наступного параграфа.

**1** **Знайомимося з інертністю**

Для зміни швидкості руху будь-якого тіла обов'язково потрібен час. Так, примушуючи камінець розпочати рух, ми деякий час діємо на нього рукою; унаслідок дії порохівих газів куля набуває певної швидкості протягом усього часу, який вона рухається всередині дула рушниці; воротар зупиняє футбольний м'яч не миттєво, а витрачає на це деякий час. Кажуть, що всі тіла «чинять опір»



**Рис. 10.1.** Після того як візок зупинився, кубики продовжують рухатися



**Рис. 10.2.** Тіло підвішено на мотузці. Якщо повільно тягнути за мотузку, що прив'язана до тіла знизу, зрештою порветься верхня мотузка — адже на неї діють тіло та натягнута нижня мотузка (а). Якщо нижню мотузку різко смикнути вниз, то порветься тільки вона — інертне тіло не встигне за час ривка набути помітної швидкості й розірвати верхню мотузку (б)

зміні швидкості їхнього руху. У фізиці таку властивість тіл називають *інертністю*.

**Інертність** — властивість тіла, яка полягає в тому, що для певної зміни швидкості руху тіла потрібен певний час.

Інертні властивості тіла виявляються тільки тоді, коли ми змінюємо або намагаємося змінити швидкість його руху (рис. 10.1, 10.2).

## 2 Дізнаємося нове про масу

Швидкість руху одних тіл змінити легко, інших — набагато складніше. Так, для надання за допомогою весел швидкості легкій байдарці потрібно набагато менше часу, ніж для надання швидкості човну з вантажем.

Інертність тіл характеризується фізичною величиною — *масою*. Чим більшою є маса тіла, тим більше часу потрібно для зміни швидкості його руху на певне значення під впливом тієї самої дії.

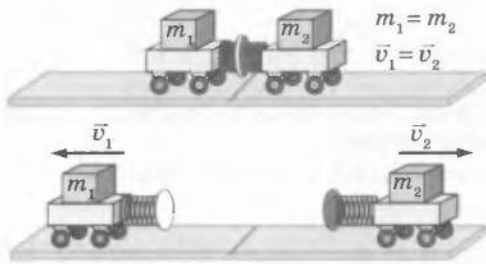
**Маса тіла** — фізична величина, яка є мірою інертності тіла.\*

Як ви вже знаєте з 7-го класу, для позначення маси використовують символ *m*. *Одиницею маси в СІ є кілограм (кг)*.

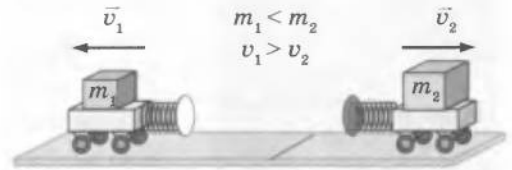
## 3 Знаходимо зв'язок між масами тіл, що взаємодіють, та зміною швидкостей їхнього руху

Поставимо на гладеньку горизонтальну поверхню два візки зі стиснутими пружинами. Розпрямляючись, пружини діятимуть на обидва візки, — візки відштовхнуться один від одного й почнуть рухатися.

\* З курсу фізики 7-го класу вам відомо, що *маса є мірою гравітаційних властивостей тіла*. Отже, водночас маса є мірою інертності та мірою гравітаційних властивостей тіла.



**Рис. 10.3.** Однакові візки через дію пружин набудуть однакові швидкості й пройдуть однакові відстані від начального положення



**Рис. 10.4.** Якщо візки різні за масою, то через дію пружин вони набудуть різні швидкості й пройдуть різні відстані від начального положення

Спостерігаючи за візками, можна помітити: якщо візки є однаковими за масою, то і швидкості вони набудуть однакою, а тому від'їдуть на однакову відстань від начального положення (рис. 10.3); якщо ж один із візків має більшу масу, то він набуде меншої швидкості й відповідно пройде меншу відстань від начального положення і навпаки (рис. 10.4).

Численні досліди переконливо свідчать: *у разі будь-якої взаємодії двох тіл відношення мас тіл дорівнює оберненому відношенню змін швидкостей їхніх рухів*. Якщо позначити маси візків  $m_1$  і  $m_2$ , а зміни швидкостей їхніх рухів відповідно  $\Delta v_1$  та  $\Delta v_2^*$ , отримаємо:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}$$

Одержане відношення дозволяє знайти відношення мас тіл, що взаємодіють, за вимірними за допомогою досліду змінами швидкостей рухів цих тіл. Якщо ж при цьому маса одного з тіл (наприклад,  $m_1$ ) відома, то можна визначити масу другого тіла ( $m_2$ ).

На перший погляд, порівняння мас тіл, що взаємодіють, є не дуже зручним способом вимірювання мас, але він єдиний у разі неможливості зважити тіло на терезах. У такий спосіб визначено маси Сонця та планет Сонячної системи, маси подвійних зір в астрофізиці, маси елементарних частинок у фізиці мікросвіту тощо.

#### **4** Пригадуємо, що таке сила

Із 5-го класу вам відомо, що для характеристики дії одного тіла на інше у фізиці застосовують відповідну фізичну величину — *силу*.

\* Символ  $\Delta$  (дельта) означає *зміну* фізичної величини, перед символом якої вона стоїть. Так,  $\Delta v_1 = v_1 - v_{01}$ ,  $\Delta v_2 = v_2 - v_{02}$ , де  $v_{01}$  та  $v_{02}$  — швидкості рухів візків до взаємодії, а  $v_1$  та  $v_2$  — швидкості їхніх рухів після взаємодії.



**Рис. 10.5.** Дорослий тенісист здатний змусити м'яч летіти зі швидкістю руху перегонового автомобіля (а); малюк не може сильно вдарити по м'ячу і тому лише трохи змінить швидкість його руху (б)

**Сила** — це фізична величина, що є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл).

Для позначення сили використовують символи  $F$  (від англ. *force* — сила).

Одиницею сили в СІ є **ньютон** (Н) (на честь Ісаака Ньютона).

$1\text{ Н}$  — це сила, яка, діючи на тіло масою  $1\text{ кг}$  протягом  $1\text{ с}$ , змінює швидкість його руху на  $1\text{ м/с}$ .

Ми вже зазначали, що причиною зміни швидкості руху тіла є дія на нього інших тіл. Мірою дії є сила. Тому у фізиці прийнято говорити, що причиною зміни швидкості руху тіла є сила. (Крім зміни швидкості руху дія сили на тіло спричиняє зміну його форми та об'єму — *деформацію*. Детальніше про це ви дізнаєтеся пізніше.)

Чим більша сила діє на тіло, тим помітніше буде змінюватися швидкість руху тіла (рис. 10.5).

Для того щоб тіла різної маси змінювали швидкості своїх рухів однаково, на них мають діяти різні сили (рис. 10.6).

### ! Підбиваємо підсумки

Маса тіла є мірою інертності тіла — власності, яка полягає в тому, що для певної зміни швидкості руху тіла потрібен певний час. Під час взаємодії двох тіл відношення їхніх мас дорівнює оберненому відношенню змін швидкостей їхніх рухів:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{\Delta v_2}{\Delta v_1}.$$

Порівняння змін швидкостей рухів тіл під час їхньої взаємодії дає можливість вимірювати маси тіл.

**Сила** — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл)



**Рис. 10.6.** Щоб важкий автомобіль (а) міг розігнатися так само швидко, як легкий мотоцикл (б), на автомобіль слід установити потужніший двигун



і спричиняє зміни швидкостей рухів тіл та деформації тіл. Сила позначається символом  $F$  та вимірюється в ньютонах.

- ?** **Контрольні запитання**
1. Дайте визначення інертності.
  2. Що є мірою інертності?
  3. Якою залежністю пов'язані відношення мас тіл, які взаємодіють, та відношення змін швидкостей їхніх рухів?
  4. У чому полягає метод вимірювання маси тіла під час його взаємодії з іншим тілом?
  5. Що таке сила?
  6. Яка одиниця сили в СІ?

- ✍** **Вправа № 10**
1. Чому під час ожеледиці перехід автомагістралі стає вкрай небезпечним?
  2. Коли автомобіль різко прискорюється, то водія та пасажира «втискає» в спинки крісел. Чому?
  3. Щоб об'їхати перешкоду, водій автобуса повернув праворуч. У який бік рухатимуться пасажири? Чому?
  4. Яку властивість крапель води ми використовуємо, струшуючи воду з мокрого плаща? Поясніть, що при цьому відбувається.
  5. У космічному просторі немає від чого відштовхнутись, але космічні ракети успішно там літають, змінюючи швидкість свого руху та переходячи з однієї орбіти на іншу. Від чого «відштовхуються» ракети, щоб змінити швидкість руху?
  6. З нерухомої іграшкової гармати зроблено постріл у горизонтальному напрямку ядром масою 10 г. Швидкість ядра становила 5 м/с. Якої швидкості руху набула гармата після пострілу, якщо її маса дорівнює 500 г?
  7. Із човна, що перебував у спокої, зіскочив хлопчик. Швидкість руху хлопчика становила 4 м/с. Яка маса хлопчика, якщо човен масою 180 кг набув швидкості руху 1 м/с?
  - 8\*. Снаряд феєрверка було пущено вертикально вгору. У верхній точці траєкторії, де снаряд на мить зупинився, він розірвався на дві частини масами 200 і 500 г. Якої швидкості руху набув другий уламок, якщо перший після вибуху рухався зі швидкістю 50 м/с?

- 🔍** **Експериментальні завдання**
1. Згадайте про чищення ковдр у два способи — вибивання пилу за допомогою палиці та витрушування різкими змахами — і здійсніть відповідний експеримент. Чим відрізняються ці два способи з точки зору фізики?
  2. Проведіть дослід із зіткненням двох однакових кульок, одна з яких лежить на столі, а друга на неї налітає. Як зміняться швидкості руху кульок?



### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Історія Львівського національного університету ім. І. Франка починається в XVII ст.: у 1661 р. польський король підписав диплом, що надавав єзуїтській колегії у Львові «гідність академії і титул університету».

За століття, що пройшли з того часу, університет став одним із найпрестижніших освітніх закладів України. Зараз тут навчається понад 12 тис. студентів; у складі

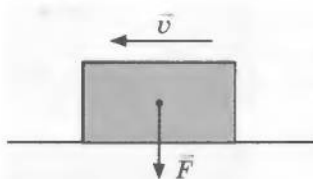
професорсько-викладацького колективу понад 150 докторів наук, професорів, близько 600 кандидатів наук, доцентів.

Налагоджено наукові зв'язки з університетами Росії, Угорщини, Німеччини, Франції, Австрії, Бельгії, Великої Британії, Канади, США та ін. Особливо тісними є контакти з польськими навчальними закладами та науковими установами.

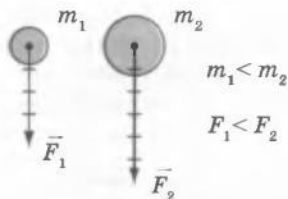
## § 11. ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СИЛ. ДОДАВАННЯ СИЛ



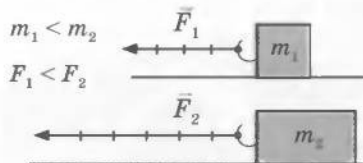
Якщо на тіло одночасно діятимуть дві сили, наприклад 5 та 3 Н, то можна отримати несподіваний результат: тіло буде поводити себе так, ніби на нього діє одна сила, значення якої може бути в межах від 2 до 8 Н. Чому? А чи може бути так, щоб ми додавали 10 до 10, а отримували 0? Відповіді дізнаємося з наступного параграфа.



**Рис. 11.1.** Стрілка, яка зображує силу, що діє на тіло з боку Землі, починається у центрі тіла (точці, куди сила прикладена) й спрямована в напрямку дії Землі



**Рис. 11.2.** Довжини стрілок, які зображують сили, що діють на тіла з боку Землі, у певному масштабі дорівнюють значенням сил



**Рис. 11.3.** У разі рівномірного руху по столу на тіло меншої маси діє менша сила

### 1 Зображуємо сили

Сила приводить до зміни швидкості руху тіла як за значенням, так і за напрямком, тому й характеризується сила має не тільки значенням, але й напрямком.

Ми вже зображували на рисунках швидкості руху тіл у вигляді стрілок (див. рис. 2.2). Відповідно стрілками ми будемо зображувати й сили, що діють на тіла, однак слід звернути увагу на певні відмінності.

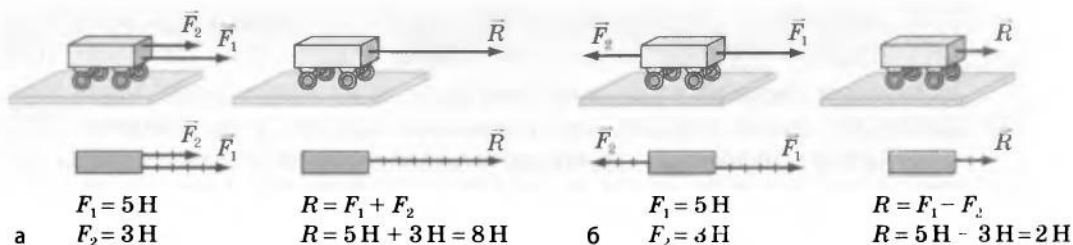
Стрілки, що зображують швидкості руху, розташовують поряд із тілами, а стрілки, якими графічно зображують сили, починають у точках, куди прикладені дані сили (ці точки так і називають — *точки прикладання сил*), і спрямовують у напрямку дії сил (рис. 11.1). Довжину стрілки зазвичай обирають такою, щоб вона в певному масштабі відповідала значенню сили. Так, на тіло більшої маси з боку Землі діє більша сила (рис. 11.2); для того щоб рівномірно тягнути по столу тіло меншої маси, до нього потрібно прикласти меншу силу (рис. 11.3).

### 2 Додаємо сили, що діють уздовж однієї прямої

На тіло може діяти не одна сила, а дві, три або більше. Як знайти результат спільної дії таких сил?

Кожна сила має напрямок, тому результат додавання тих самих сил може бути різним — залежно від їх напрямку. Розберемо на прикладах, як додавати дві сили, що діють в одному напрямку, і ті, що діють у протилежних напрямках.

Поставимо на стіл візок і прив'яжемо до нього дві нитки. Потягнемо за одну нитку із силою 5 Н, а за другу — у тому ж напрямку — із силою 3 Н. Візок почне рухатися, певним



**Рис. 11.4.** Схема експерименту, що дозволяє дізнатися, як додаються дві різні сили, що діють в одному напрямку (а) і що діють у протилежних напрямках (б)

чином збільшуючи швидкість свого руху. Збільшення швидкості руху візка буде таким самим, якщо на нього діятиме одна сила 8 Н. Силу 8 Н, якою у цьому випадку можна замінити дві сили 5 і 3 Н, називають *рівнодійною* двох сил і позначають символом  $R$  (рис. 11.4, а).

Силу, яка здійснює на тіло таку саму дію, як декілька одночасно діючих сил, називають **рівнодійною** цих сил.

Коли дві сили  $F_1$  і  $F_2$ , що діють на тіло, напрямлені в один бік, то вони додаються одна до одної. Рівнодійна  $R$  обчислюється за формулою  $R = F_1 + F_2$ , і її напрямок збігається з напрямком дії сил.

Якщо за дві нитки одночасно тягнути візок у протилежні боки, то сили будуть не «допомагати» одна одній розганяти візок, а навпаки — «заважати». У вищезазначеному випадку візок буде рухатися так, ніби на нього діє тільки одна сила 2 Н у тому напрямку, в якому діє сила 5 Н. Тобто тут рівнодійною двох сил 5 і 3 Н буде сила 2 Н (рис. 11.4, б).

Коли дві сили  $F_1$  і  $F_2$ , що діють на тіло, напрямлені в протилежні боки, то значення рівнодійної  $R$  дорівнює модулю різниці\* сил  $F_1$  і  $F_2$ , а її напрямок збігається з напрямком більшої із сил.

### 3 З'ясуємо умову зрівноваження сил

Якщо з однаковою силою потягнути нитки, що прив'язані до візка з протилежних боків, рівнодійна двох сил дорівнюватиме нулю, тобто сили зрівноважать одна одну, і причини для зміни швидкості руху тіла не буде.

Дві сили зрівноважать одна одну, якщо вони рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла.

\* Згадаємо: модуль різниці двох чисел можна отримати, якщо від більшого числа відняти менше.

Наприклад, щоб автомобіль рухався по горизонтальному прямолінійному відрізку шосе з постійною швидкістю, потрібно, щоб сила тяги його двигуна компенсувала силу опору руху (сила опору руху досить швидко зупинить автомобіль, якщо двигун буде вимкнено). Портфель перебуває в стані спокою в руці хлопця завдяки тому, що сила притягання Землі, яка діє на портфель, компенсується силою, яку прикладає до портфеля хлопець.

### **!** Підбиваємо підсумки

Якщо на тіло діє декілька сил, то їхню спільну дію завжди можна замінити дією однієї сили — рівнодійної.

Рівнодійною двох сил, що діють в одному напрямку, є сила, значення якої дорівнює сумі значень сил, а напрямком збігається з напрямком цих сил.

Рівнодійною двох сил, що діють у протилежних напрямках, є сила, значення якої дорівнює модулю різниці значень сил, а напрямком збігається з напрямком більшої сили.

Дві сили зрівноважують одна одну, якщо вони рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла.



### **Контрольні запитання**

1. Чому сила характеризується не тільки значенням, але й напрямком?
2. Як позначають силу на рисунках?
3. У якій точці починається стрілка, якою зображують силу, що діє на тіло?
4. Що таке рівнодійна сил, що діють на тіло?
5. Як знайти рівнодійну двох сил, які діють уздовж однієї прямої?
6. За яких умов дві сили зрівноважують одна одну?



### **Вправа № 11**

1. Людина діє на підлогу із силою 800 Н. Із якою силою людина діятиме на підлогу, якщо візьме в руки вантаж, що, в свою чергу, діє на людину із силою 200 Н? Відповідь поясніть за допомогою рисунка.
2. Два хлопчики тягнуть санки, прикладаючи горизонтальні сили 50 і 70 Н, напрямлені вздовж однієї прямої. Яким може бути значення рівнодійної цих сил?
3. Канат, який тягнуть у протилежні боки дві людини, перебуває в стані спокою. Одна людина тягне канат із силою 300 Н. Чому дорівнює сила, з якою тягне канат друга людина? Зобразіть на рисунку сили, що діють на канат. Чому дорівнює рівнодійна цих сил?
4. Чи може автомобіль рухатися дорогою, якщо рівнодійна всіх сил, прикладених до нього, напрямлена протилежно напрямку руху? Якщо так, то наведіть приклад.
5. На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої. Дві з цих сил мають значення 30 і 50 Н. Яке значення може мати третя сила, якщо рівнодійна трьох сил дорівнює 100 Н? Скільки розв'язків має ця задача? Виконайте в зошиті відповідні схематичні рисунки.



### **Експериментальне завдання**

Запропонуйте конструкцію моделі для демонстрації додавання сил, що діють уздовж однієї прямої, та виготовте її.

## § 12. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА. НЕВАГОМІСТЬ

?! Якщо взяти до рук, а потім відпустити, наприклад, олівець або портфель, то вони обов'язково впадуть. Прогинається лава, якщо сісти на неї, розтягується гумовий джгут, якщо до нього підвісити якийсь тіло. Із 7-го класу вам відомо, що це — прояв гравітаційної взаємодії Землі та всіх тіл, які розташовані поблизу неї. Однак репортажі з космічних станцій демонструють нам ніби «зникнення» земного тяжіння — космонавти і всі речі на борту станцій перебувають у стані невагомості. У цьому параграфі ви детальніше познайомитеся із земним тяжінням та дізнаєтеся про те, як спробувати відтворити невагомість.

### 1 Згадуємо про всесвітнє тяжіння

Земля притягує до себе всі тіла: Місяць, Сонце, людей, будинки тощо. І навпаки: всі тіла притягують до себе Землю. Більш того, завдяки гравітаційній взаємодії *всі тіла у всесвіті притягуються одне до одного* — це притягання називають *всесвітнім тяжінням*.

Невеличке яблуко, що висить на гілці, притягується до Землі й водночас притягує Землю до себе. Відірвавшись від гілки, яблуко не тільки саме буде падати, збільшуючи швидкість свого руху, але й змусить Землю рухатися йому назустріч. Через те що маса Землі набагато більша від маси яблука, швидкість руху, набута Землею внаслідок притягання до яблука, буде дуже малою і для нас непомітною, адже якщо ми спробуємо порівняти ці швидкості, то отримаємо число з 25 нулями!

### 2 Знайомимось із силою тяжіння

У фізиці силу гравітаційного притягання Землі, що діє на тіла поблизу неї, називають *силою тяжіння*. Зазначимо, що коли говорять «поблизу поверхні Землі», мають на увазі тіла, розташовані не далі ніж кілька кілометрів від поверхні Землі.

**Сила тяжіння** — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, що перебувають на її поверхні або поблизу неї.

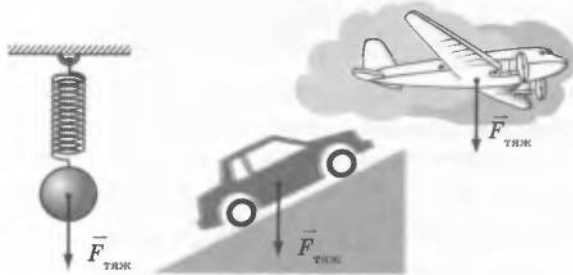
Силу тяжіння позначають символом  $F_{\text{тяж}}$ .

*Сила тяжіння прикладена до центра тіла, що притягується Землею, і напрямлена вертикально вниз, до центра Землі (рис. 12.1).*

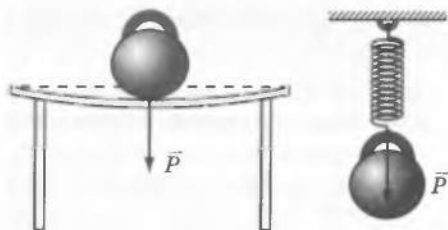
Численними дослідженнями доведено, що сила тяжіння, яка діє на тіло, пропорційна масі цього тіла. Залежність між силою тяжіння і масою тіла можна подати у вигляді формули

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

де  $F_{\text{тяж}}$  — сила тяжіння;  $m$  — маса тіла;  $g$  — коефіцієнт пропорційності, який у фізиці називають *прискоренням вільного падіння*.



**Рис. 12.1.** Сила тяжіння завжди напрямлена вертикально вниз (до центра Землі) і прикладена до центра тіла



**Рис. 12.2.** Тіла, розміщені на опорі або підвішені до підвісу, діють на них із силою, яку називають вагою тіла і яка прикладена до опорі або підвісу

Прискорення вільного падіння поблизу поверхні Землі становить  $9,8 \text{ Н/кг}$  (якщо не потрібна велика точність, то можна вважати, що  $g \approx 10 \text{ Н/кг}$ ). Незначно воно відрізняється на екваторі та полюсах, над океанами та покладами корисних копалин, змінюється в разі підняття вгору та спуска в шахту. Детальніше з тим, від чого залежить прискорення вільного падіння, ви познайомитесь у 10-му класі, під час вивчення закону всесвітнього тяжіння.

### 3 Дізнаємося, що фізики називають вагою тіла

Усі тіла через притягання до Землі стискають чи прогинають опору або розтягують підвіс. Для характеристики такої дії тіл у фізиці введено поняття *ваги тіла*.

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

Вагу тіла позначають символом  $P$ . *Одиницею ваги, так само як і будь-якої сили, є ньютон (Н).*

Якщо тіло перебуває в стані спокою або прямолінійного рівномірного руху, то його вага за значенням дорівнює силі тяжіння ( $P = mg$ ) і збігається з нею за напрямком.

На відміну від сили тяжіння, яка прикладена до тіла, *вага прикладена до опорі або підвісу* (рис. 12.2, 12.3). Вага тіла і сила тяжіння відрізняються і своєю природою: вага тіла у своїй основі є виявом дії *міжмолекулярних сил\**, а сила тяжіння має гравітаційну природу.

### 4 Звикаємо до невагомості

Усім є звичним термін «невагомість», проте його значення багато хто розуміє неправильно. Так, дехто вважає, що невагомість —

\* Про деякі вияви дії міжмолекулярних сил ви дізнаєтеся пізніше, коли досліджуватимете сили пружності й тертя.

це стан, який спостерігається лише в космосі, де немає повітря, або тільки на борту космічного корабля. Ще іноді можна почути, що в стані невагомості на тіло не діє сила тяжіння. Але це не так! Відсутність повітря сама по собі не спричиняє невагомості, а від гравітації взагалі не сховаєшся — у всесвіті немає жодного куточка, де б не діяли сили всесвітнього тяжіння.

Насправді *невагомість* — це відсутність ваги. Приберіть у тіла опору або підвіс — і воно опиниться в стані невагомості.

**Невагомість** — це такий стан тіла, коли воно не діє на підвіс чи опору.

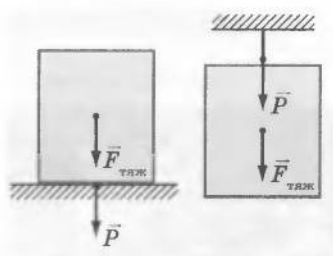
У стані невагомості на тіло діють лише гравітаційні сили і воно рухається тільки під дією цих сил. Таким чином, *умовою перебування тіла в стані невагомості є рух тіла під дією тільки гравітаційних сил*. Поблизу поверхні Землі це — сила тяжіння.

### 5 Спробуємо створити стан невагомості

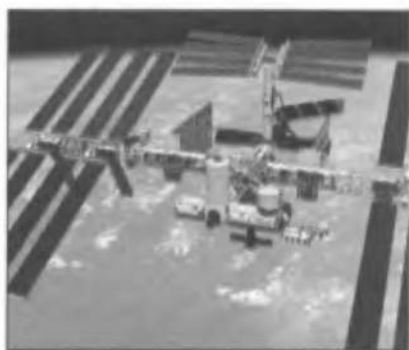
На короткий час невагомість легко створити вдома, на вулиці, у класі тощо. Підкиньте якесь тіло. У мить, коли тіло у верхній точці своєї траєкторії зупинилося, воно не рухається відносно повітря і на нього діє тільки сила тяжіння, — тіло перебуває в стані невагомості. У невагомості на мить опиняєтесь і ви, коли, наприклад, стрибаєте з дерева або підстрибуєте під час гри в баскетбол.

Постійно в стані невагомості перебувають космічні орбітальні станції і все, що в них є (рис. 12.4).

Для людини невагомість, як правило, супроводжується нудотою, порушенням роботи вестибулярного апарата\*, нервовими розладами (рис. 12.5).



**Рис. 12.3.** Вага тіла  $P$  прикладена з боку тіла до опори або підвісу, а сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  — з боку Землі до самого тіла



**Рис. 12.4.** Космічні орбітальні станції рухаються по орбіті навколо Землі під дією тільки всесвітньої сили тяжіння, тому ці станції і все, що в них є, перебувають у стані невагомості

\* *Вестибулярний апарат* — орган почуттів у людей та хребтових тварин, що сприймає зміни положення голови й тіла у просторі, а також напрямок руху. Цей орган відповідає, наприклад, за здатність людини навіть у темряві розрізняти, де верх, а де низ.



**Рис. 12.5.** Щоб тривалий час працювати на орбіті у стані невагомості, космонавти проходять спеціальну підготовку

## ! Підбиваємо підсумки

У всесвіті всі тіла притягаються одне до одного завдяки гравітаційній взаємодії. Це притягання називають всесвітнім тяжінням.

Сила тяжіння — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, розташовані на її поверхні або поблизу неї. Сила тяжіння обчислюється за формулою  $F_{\text{тяж}} = mg$  і напрямлена вертикально вниз, до центра Землі.

Вага тіла — це фізична величина, що дорівнює силі, з якою тіло діє на опору або підвіс через притягання до Землі. Вага позначається символом  $P$ .

Треба розрізняти силу тяжіння і вагу тіла: сила тяжіння прикладена до самого тіла, а вага — до його опори або підвісу. У стані спокою або рівномірного прямолінійного руху вага тіла дорівнює за значенням силі тяжіння ( $P = mg$ ) і має той самий напрямок.

Коли тіло не діє на опору чи підвіс, то воно перебуває в стані невагомості. Умовою перебування тіла в стані невагомості є рух тіла під дією тільки гравітаційних сил.



### Контрольні запитання

1. Чи діє на вас сила притягання до Місяця?
2. Чи притягує Землю автомобіль, який стоїть на автостоянці?
3. Що називають силою тяжіння і як її обчислити?
4. До чого прикладена і куди напрямлена сила тяжіння?
5. Що таке вага тіла?
6. Чому дорівнює вага тіла, якщо тіло перебуває в стані спокою або прямолінійного рівномірного руху?
7. Чим відрізняється вага тіла від сили тяжіння?
8. Що таке невагомість?
9. За яких умов тіло буде перебувати в невагомості?



### Вправа № 12

1. Визначте силу тяжіння, що діє на тіло масою 600 г.
2. Якою є маса тіла, якщо його вага дорівнює 600 Н?
3. Книжка лежить на столі. На яке тіло діє вага книжки? сила тяжіння? Зробіть рисунок, де зобразить силу тяжіння та вагу книжки.
4. У відро масою 1,5 кг налили 5,5 л води. Яку силу треба прикладати, щоб утримувати відро в руках? Зробіть пояснювальний рисунок, зобразивши сили, що діють на відро.
5. Яке з тіл перебуває в невагомості: а) комаха, що літає в кімнаті; б) порошок, що літає в повітрі; в) аквалангіст, що пірнає під шаром води; г) невеликий астероїд, що пролітає повз Землю?



## § 13. ДЕФОРМАЦІЯ ТІЛА. СИЛА ПРУЖНОСТІ. ЗАКОН ГУКА

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

### 1 Спостерігаємо деформацію тіл

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

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

### 2 Досліджуємо природу сили пружності

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

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

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

Якою ж є природа сили пружності?

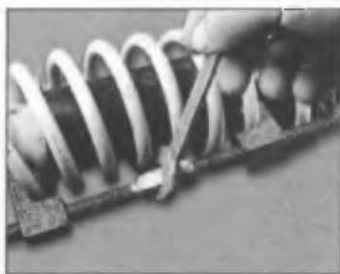
\* Слово «нормальний» застосовується тому, що йдеться про напрямок уздовж так званої *нормалі* — прямої, яка перпендикулярна до поверхні опори.



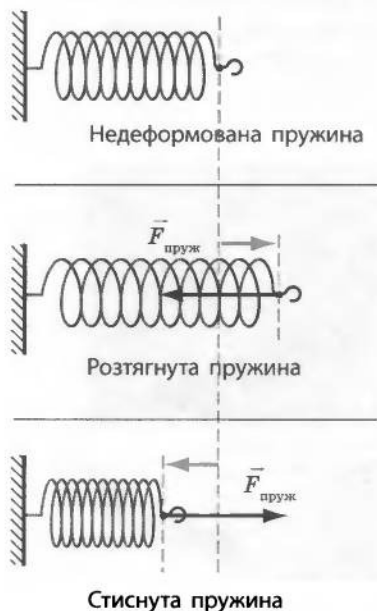
Рис. 13.1. У результаті дії руки еспандер змінює свою форму — деформується



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



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



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

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

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

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

### **3** Відкриваємо закон Гука

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

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

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

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

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

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

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

$$F_{\text{пруж}} = kx,$$

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

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

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

#### 4 Учимся розв'язувати задачі

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

Дано:

$$F_1 = 40 \text{ Н}$$

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

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

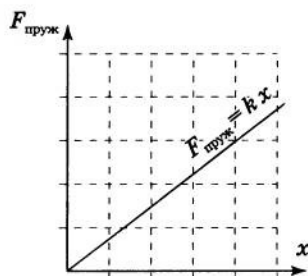
$$F_2 = ?$$

*Аналіз фізичної проблеми*

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



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



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

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

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

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

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

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

Перевіримо одиницю шуканої величини:

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

Знайдемо значення шуканої величини:

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

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

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

## **5** Знайомимося з механічними властивостями твердих тіл

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

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

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

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

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

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

### ! Підбиваємо підсумки

Деформацією тіла називають зміну його форми або об'єму.

Сила пружності є проявом дії міжмолекулярних сил.

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

$$F_{\text{пруж}} = kx.$$

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

### ? Контрольні запитання

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

### ✍ Вправа № 13

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



Рис. 1

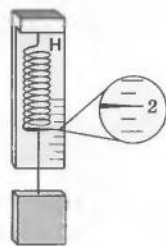
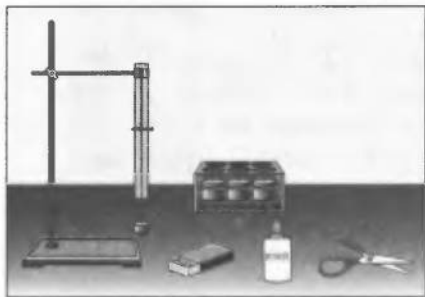


Рис. 2

### ? Експериментальне завдання

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



**Тема.** Виготовлення динамометра.

**Мета:** виготовити динамометр, який має шкалу із заданою ціною поділки.

**Обладнання:** штатив із муфтою та лапкою, дерев'яна лінійка, набір тягарців масою по 100 г, гумовий шнур діаметром 1–2 мм і завдовжки 10–12 см, учнівська лінійка з отвором, ножиці, клей, сірники, нитки, папір.



### Теоретичні відомості

Сила — це фізична величина, тому її можна вимірювати. Виміряти силу означає зрівноважити її відомою силою. Приладом для вимірювання сили є динамометр. Найпростіший лабораторний динамометр (рис. 1) являє собою дерев'яну або пластикову панель (1) із нанесеною шкалою. До невеличкого виступу (2) панелі одним кінцем прикріплено спіральну пружину (3), вільний кінець якої має покажчик (4) і дротяний повідець (5) із гачком на кінці. Принцип дії найпростішого динамометра ґрунтується на порівнянні вимірюваної сили із силою пружинності пружини динамометра.

Щоб виготовити динамометр самим, необхідно на дощечці (можна взяти учнівську лінійку), обклеєній білим папером, закріпити пружину, а потім проградувати одержаний прилад, тобто нанести на ньому шкалу. Замість пружини можна використати м'яку гумову стрічку або гумовий шнур.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ



### II Підготовка до експерименту

1. Приготуйте обладнання, необхідне для проведення лабораторної роботи.
2. Згадайте, за яких умов виконується закон Гука.



### Експеримент

1. Наклейте на один бік лінійки білий папір.
2. Складіть гумовий шнур удвоє, протягніть його крізь отвір і закріпіть за допомогою сірника так, щоб петля шнура звисала на чверть довжини лінійки вздовж заклеєного папером боку (рис. 2).

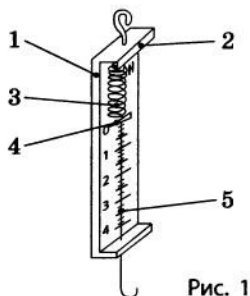


Рис. 1

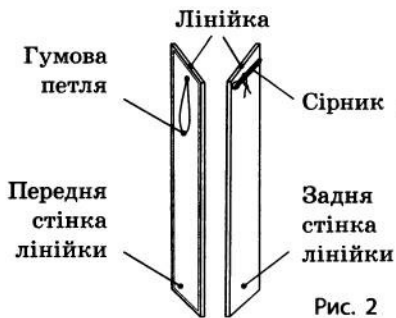


Рис. 2

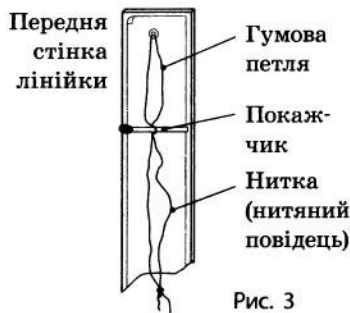


Рис. 3

3. На кінці петлі закріпіть покажчик динамометра у вигляді сірника та нитяний повідець (рис. 3).

4. Проградуйте отриманий прилад. Для цього:

1) Закріпіть прилад у лапці штатива. Підвісьте до повідця тягарець масою 100 г, позначте на папері положення покажчика горизонтальною рисою.

**Примітка.** На тягарець масою 100 г діє сила тяжіння, яка приблизно становить 1 Н. Якщо тягарець перебуває в спокої, сила тяжіння зрівноважується силою пружності, тому сила пружності також приблизно дорівнює 1 Н.

2) Послідовно підвісьте другий, третій і четвертий тягарці. У кожному випадку положення покажчика позначайте рисою (рис. 4).

3) Зніміть тягарці, позначте рисою нульове положення покажчика.

4) Зніміть динамометр зі штатива й на папері навпроти горизонтальних рисок проставте значення: 0, 1, 2, 3, 4 Н (рис. 5).

5. Схарактеризуйте одержаний динамометр, заповнивши перший рядок таблиці.

6. На одержаному динамометрі побудуйте шкалу з ціною поділки 0,1 Н (якщо відстань між рисками дуже мала, побудуйте шкалу з ціною поділки 0,2 Н).

7. Схарактеризуйте одержаний динамометр з новою шкалою ще раз, заповнивши другий рядок таблиці.

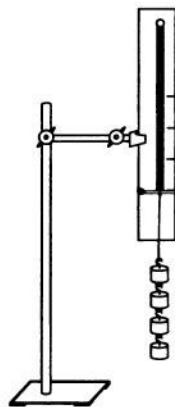


Рис. 4

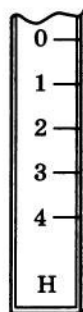


Рис. 5

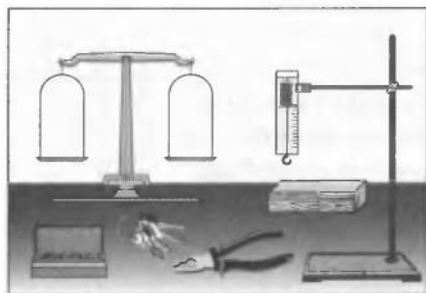
Назва приладу	Фізична величина, вимірювана приладом	Одиниця вимірюваної величини	Блок позначок шкали				
			Дві сусідні риси, позначені цифрами	Кількість поділок між сусідніми рисками	Ціна поділки шкали	Межі вимірювання	
						верхня	нижня

### □ Аналіз результатів експерименту

Зробіть висновок, у якому зазначте, як називається виготовлений вами прилад, на якому законі ґрунтується принцип його дії, де вам може знадобитися цей прилад і для чого потрібні навички, набуті в ході виконання роботи.

### + Творче завдання

Який вигляд мала б шкала виготовленого вами динамометра в разі використання половини гумової петлі? Проведіть дослід. Порівняйте отриману шкалу з одержаними під час виконання лабораторної роботи, зробіть висновок.



**Тема.** Вимірювання ваги тіл за допомогою динамометра.

**Мета:** навчитися вимірювати вагу тіла за допомогою динамометра.

**Обладнання:** динамометр, важільні терези з важками, штатив із муфтою та лапкою, набір різних тіл.

### ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

#### ▮ Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, пригадайте відповіді на такі запитання:
  - 1) Із яких основних частин складається динамометр?
  - 2) Де має розташовуватися покажчик ненавантаженого динамометра?
2. Визначте ціну поділки й межі вимірювання шкали динамометра.
3. Закріпіть динамометр у лапці штатива.
4. Зрівноважте терези.

#### ▶ Експеримент

1. Зважте на важільних терезах кілька тіл (кільце від штатива, тягарець тощо).
2. За формулою  $P = mg$  обчисліть вагу тіл ( $P_1$ ).
3. Визначте вагу цих тіл за допомогою динамометра ( $P_2$ ).
4. Результати вимірювань та обчислень занесіть до таблиці.

Номер дослідів	Тіло	Маса тіла $m$ , кг	Вага тіла, обчислена за формулою, $P_1$ , Н	Вага тіла, виміряна динамометром, $P_2$ , Н

#### ▣ Аналіз результатів експерименту

Порівняйте значення ваги тіла, одержані у два різні способи. Зробіть висновок, у якому зазначте, який спосіб вимірювання ваги тіла є точнішим, який є найбільш універсальним, які чинники вплинули на точність ваших вимірювань.

- + Творче завдання** \_\_\_\_\_
- Обміркуйте і запишіть план проведення експерименту, що надасть змогу визначити жорсткість пружини динамометра.



## § 14. ТЕРТЯ. СИЛА ТЕРТЯ

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

**1** Знайомимось із силою тертя спокою

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

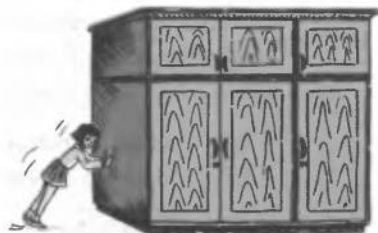
**Сила тертя спокою** — це сила, яка виникає в разі спроби зрушити з місця нерухоме тіло і перешкоджає появі руху.

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

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

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

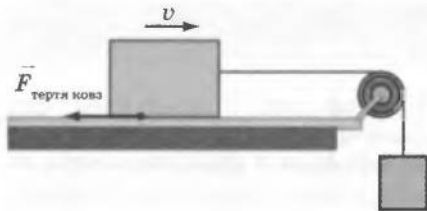
Існування сили тертя спокою має дуже велике значення, і прикладів її корисної дії можна навести безліч. Сила тертя спокою дозволяє рухатись автомобілям, адже завдяки їй колеса не ковзають. Завдяки силі тертя спокою пальці рук утримують ручки та олівці, а на болтах тримаються гайки. У техніці, на транспорті,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



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



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



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

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

## 2 Знайомимось із силою тертя ковзання

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

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

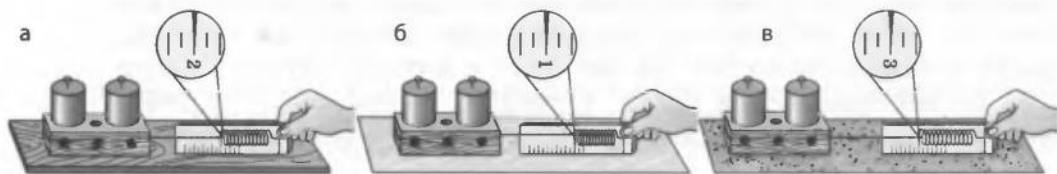
*Сила тертя ковзання позначається символом  $F_{\text{тертя ковз}}$  і завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху тіла, до якого вона прикладена (рис. 14.3). Сила тертя ковзання трохи менша за максимальну силу тертя спокою. Саме тому в момент зрушення з місця тіло починає рухатися ривком, а масивні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

## 3 З'ясуємо, від чого залежить сила тертя ковзання

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

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

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



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

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

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N,$$

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

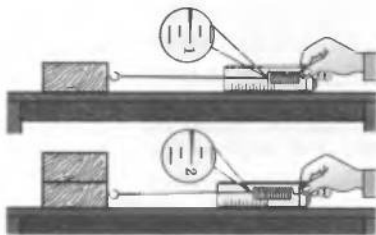
*Коефіцієнт тертя ковзання визначається, зокрема, матеріалами, з яких виготовлено тіла, що стикаються, якістю обробки їхніх поверхонь.*

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

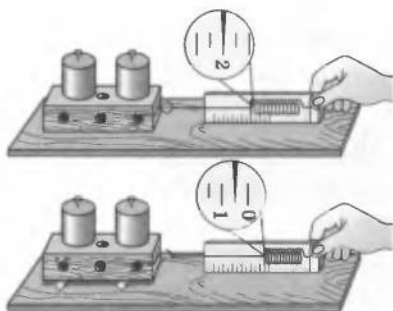
Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання	Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання
Сталь по льоду	0,02	Папір (картон) по дереву	0,40
Сталь по сталі	0,20	Шкіра по чавуну	0,56
Дерево по дереву	0,25	Гума по бетону	0,75

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

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



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



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



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

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

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

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

## 5 Дізнаємося про силу тертя кочення

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

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

## 6 Учимся розв'язувати задачі

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

Дано:

$$F = 2 \text{ Н}$$

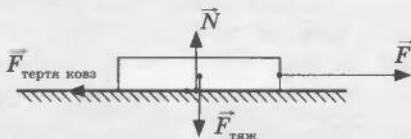
$$m = 1 \text{ кг}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$\mu = ?$$

*Аналіз фізичної проблеми*

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



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

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

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

Визначимо значення шуканої величини:

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

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

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

## ! Підбиваємо підсумки

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

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

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

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

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

### ? Контрольні запитання

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

### Вправа № 14

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

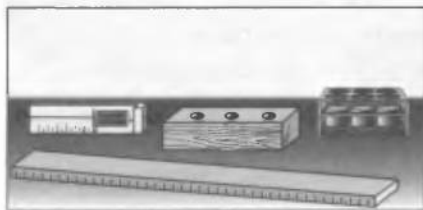
### Експериментальне завдання

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

## ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

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

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



**Тема.** Визначення коефіцієнта тертя ковзання.  
**Мета:** визначити коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву.  
**Обладнання:** дерев'яний брусок, дерев'яна лінійка, набір тягарців, динамометр.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

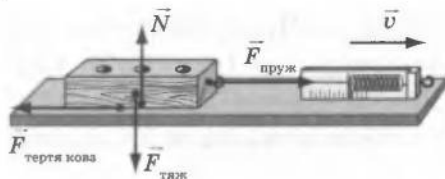
### II Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, пригадайте відповіді на такі запитання:
  - 1) У чому причина виникнення сили тертя?
  - 2) Від чого залежить і куди напрямлена сила тертя ковзання?
  - 3) За якою формулою обчислюють силу тертя ковзання?
2. Визначте ціну поділки шкали динамометра.

### ► Експеримент

*Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.*

1. Підвісьте брусок до динамометра; виміряйте вагу бруска, яка дорівнює силі реакції опори ( $N = F_{\text{тяж}}$ ,  $F_{\text{тяж}} = P$ , отже,  $N = P$ ).
2. Прикріпивши брусок до гачка динамометра, покладіть брусок широким боком на горизонтально розташовану лінійку і рівномірно переміщуйте вздовж лінійки (див. рисунок). Визначте силу тертя ковзання за показниками динамометра ( $F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{пруж}}$ ).
3. Повторіть експеримент ще тричі, поклавши на брусок спочатку один тягарець, потім водночас два, а потім водночас три тягарці ( $N = P_{\text{брус}} + P_{\text{тягар}}$ ).



### ► Опрацювання результатів експерименту

1. Обчисліть коефіцієнт тертя ковзання для кожного досліду за формулою  $\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}$ , результати занесіть до таблиці.

Номер досліду	Сила тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$ , Н	Сила реакції опори $N$ , Н	Коефіцієнт тертя ковзання $\mu$

## □ Аналіз результатів експерименту

Порівняйте одержані у всіх дослідах значення коефіцієнтів тертя ковзання між собою і з табличним значенням коефіцієнта тертя ковзання дерева по дереву (див. с. 75). Зробіть висновок.

### + Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту, який підтверджував би, що коефіцієнт тертя ковзання не залежить від площі стичних поверхонь. Здійсніть цей експеримент.

## § 15. МОМЕНТ СИЛИ. УМОВА РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ

?! Із давніх-давен для підняття важких каменів, пересування великої кам'яної брили тощо, тобто для виконання дій, які неможливо здійснити тільки силою м'язів, людина використовувала прості знаряддя праці. Ознайомившись із цим параграфом, ви зможете докладніше дізнатися про принцип дії одного з таких знарядь і назвати приклади його сучасного застосування.

### 1 Використовуємо важіль

Уже давно відомо, що, наприклад, важкий камінь підняти значно легше, якщо просунути під нього міцну дошку. Дошка відіграватиме роль *простого механізму* — *важеля*.

**Важіль** — тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі.

Важіль — найпростіший механізм, яким людина користувалася протягом тисяч років (рис. 15.1). Зображення важеля можна знайти на скелях і в папірусах давніх народів, на стінах стародавніх храмів Китаю, Індії тощо. Сьогодні приклади застосування важеля ми бачимо всюди (рис. 15.2). Найчастіше як важіль використовують довгий стрижень із закріпленою віссю обертання.



**Рис. 15.1.** Важіль використовували ще на будівництві єгипетських пірамід (а), а лопата (теж приклад важеля) — один із найдавніших інструментів, відомих людині (б)





**Рис. 15.2.** Важелі застосовують крізь: на дитячих майданчиках (а), у лабораторіях (б), центрах керування технологічними процесами (в), на будмайданчиках (г) тощо

## 2 З'ясуємо умову рівноваги важеля

З'ясуємо, за якої умови важіль перебуває в рівновазі. Для цього використаємо лабораторний важіль. За допомогою дротяних гачків до важеля можна підвішувати тягарці, а самі гачки пересувати. Пересуваючи гачки, змінюємо плечі сил, що діють на важіль.

**Плече сили** — це найменша відстань між віссю обертання та лінією, уздовж якої сила діє на важіль (рис. 15.3).

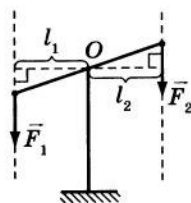
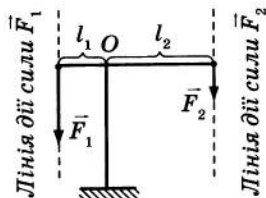
Підвісимо, наприклад, зліва від осі обертання на відстані  $l_1 = 30$  см тягарець вагою  $F_1 = 1$  Н. Справа від осі обертання підвісимо тягарці загальною вагою  $F_2 = 3$  Н і пересуватимемо цей гачок, доки важіль не зрівноважиться. Це відбудеться, коли тягарці загальною вагою 3 Н займуть положення на відстані  $l_2 = 10$  см від осі обертання (рис. 15.4). Знайдемо відношення:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{1}{3}$ ;  $\frac{l_2}{l_1} = \frac{10}{30} = \frac{1}{3}$ , тобто  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ . Численні досліди дозволяють зробити висновок, який називають **правилом важеля**:

Якщо на важіль діє пара сил, то він перебуває в рівновазі тоді, коли сили обернено пропорційні плечам цих сил:

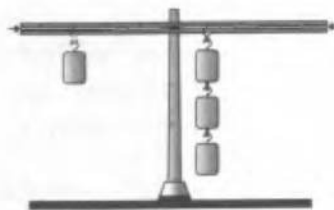
$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1},$$

де  $F_1$  і  $F_2$  — сили, що діють на важіль;  $l_1$  і  $l_2$  — плечі цих сил.

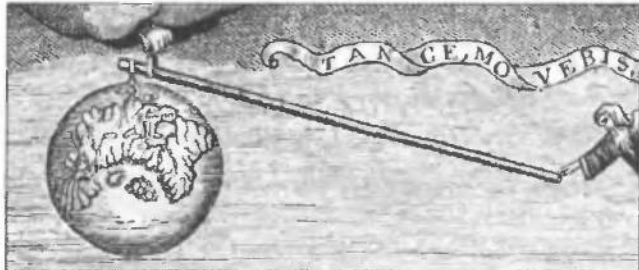
Зазвичай говорять, що за допомогою важеля можна отримати виграш у силі: наприклад, досить



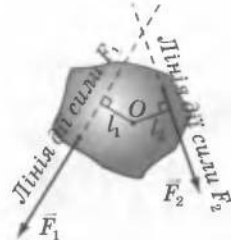
**Рис. 15.3.**  
O — вісь обертання;  
 $l_1$  — плече сили  $F_1$ ;  
 $l_2$  — плече сили  $F_2$



**Рис. 15.4.** Домогтися рівноваги важеля, до якого підвішено тягарці різної ваги, можна, якщо певним чином дібрати плечі сил



**Рис. 15.5.** Гравюра «Архімед важелем піднімає Землю» із книги П'єра Варіньйона про механіку (1787)



**Рис. 15.6.**  $O$  — вісь обертання;  $l_1$  — плече сили  $F_1$ ;  $l_2$  — плече сили  $F_2$

малу силу людських м'язів важіль «перетворює» на більшу силу, яка в змозі підняти порівняно важке тіло. Однак виграш у силі супроводжується програшем у відстані: плече меншої сили є більшим, і тому, коли людина за допомогою важеля піднімає важке тіло на невелику висоту, рука долає значну відстань.

Правило важеля встановив давньогрецький філософ Архімед. За легендою, саме йому належать слова: «Дайте мені точку опори — і я переверну Землю» (рис. 15.5).

### 3 Знайомимося з моментом сили

У фізиці для характеристики обертального ефекту сили під час її дії на тверде тіло введено фізичну величину *момент сили*.

**Момент сили** — фізична величина, яка дорівнює добутку сили, що діє на тіло, на плече сили.

Момент сили позначають символом  $M$  і обчислюють за формулою  $M = Fl$ , де  $F$  — сила, яка діє на тіло;  $l$  — плече цієї сили.

Одиницею моменту сили в СІ є **ньютон на метр** (Н·м). Сила 1 Н створює момент сили 1 Н·м, якщо її плече дорівнює 1 м.

У фізиці прийнято: якщо сила обертає або намагається обертати тіло проти ходу годинникової стрілки, то момент сили має додатне значення, а якщо за ходом годинникової стрілки — від'ємне значення. Так, на рис. 15.6 момент сили  $F_1$  має додатне значення, а момент сили  $F_2$  — від'ємне.

### 4 Відкриваємо правило моментів

Запишемо правило важеля  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$  інакше:  $F_1 l_1 = F_2 l_2$ .

Оскільки добуток сили  $F$  на плече сили  $l$  є моментом сили  $M$ , то  $M_1 = -M_2$  (знак «-» поставлено через те, що сила  $F_2$  намагається повернути тіло за ходом годинникової стрілки і тому її момент має від'ємне значення).

Рівність  $M_1 = -M_2$  можна переписати інакше:  $M_1 + M_2 = 0$ . Це рівняння називають *правилом моментів*.

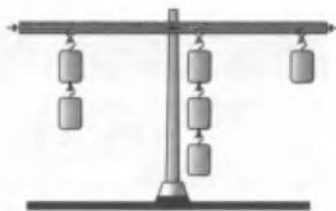
У випадках, коли на тверде тіло, що має вісь обертання, діють більш ніж дві сили, то правило моментів має вигляд:

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

Отже, *формулюємо правило моментів*:

Тіло перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, які на нього діють, дорівнює нулю.

Таким чином, коли на важіль діють, наприклад, три сили (рис. 15.7), умова його рівноваги матиме вигляд:  $M_1 + M_2 + M_3 = 0$ .



**Рис. 15.7.** Коли на важіль діють більш ніж дві сили, для з'ясування умови рівноваги доцільно використовувати правило моментів

**5** Учимося розв'язувати задачі  
**Задача.** Чому дорівнює маса тягарця 1 (рис. 15.8), якщо маса тягарця 2 становить 4 кг? Масу важеля не враховувати.



Рис. 15.8

Дано:  
 $m_2 = 4$  кг

$m_1$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

На рисунку зображено важіль, який перебуває у рівновазі. На важіль діє пара сил ( $F_1$  і  $F_2$ ). Із рисунка ж бачимо, чому відповідно дорівнюють плечі цих сил:  $l_1 = 5a$ ,  $l_2 = 3a$ , де  $a$  — довжина одиничного відрізка, з яких складається важіль.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Скористаємося умовою рівноваги важеля:  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{l_1}{l_2}$ .

Оскільки тягарці нерухомі, то  $F_1 = m_1 g$ ;  $F_2 = m_2 g$ .

Отже,  $\frac{m_2 g}{m_1 g} = \frac{l_1}{l_2} \Rightarrow \frac{m_2}{m_1} = \frac{l_1}{l_2}$ . Остаточного:  $m_1 = \frac{m_2 l_2}{l_1}$ .

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[m_1] = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\text{м}} = \text{кг}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{m_1\} = \frac{4 \cdot 3a}{5a} = \frac{12}{5} = 2,4; \quad m_1 = 2,4 \text{ кг}.$$

Проаналізуємо результат: до меншого плеча важеля підвішений тягарець масою 4 кг, а до більшого — тягарець масою 2,4 кг. Результат є правдоподібним.

*Відповідь:* маса тягарця 1 становить 2,4 кг.

## ! Підбиваємо підсумки

Важіль — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої осі.

Плече сили — найкоротша відстань від осі обертання до лінії дії сили.

Важіль перебуває в рівновазі, якщо сили  $F_1$  і  $F_2$ , що діють на його плечі  $l_1$  і  $l_2$ , обернено пропорційні довжині плечей:  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ .

Характеристикою обертальної дії сили є момент сили  $M$ , який дорівнює добутку сили  $F$ , що обертає тіло, на плече  $l$  сили:  $M = Fl$ .

Використовуючи правило моментів:  $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$ , — можна сформулювати правило важеля в загальному вигляді: важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, що діють на його плечі, дорівнює нулю.

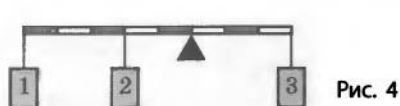
## ? Контрольні запитання

1. Що таке важіль?
2. Що називають плечем сили?
3. Сформулюйте умову рівноваги важеля.
4. Дайте визначення моменту сили.
5. У яких одиницях вимірюється момент сили?
6. У яких випадках момент сили має додатне значення? від'ємне?
7. У чому полягає правило моментів?

## ✍ Вправа № 15

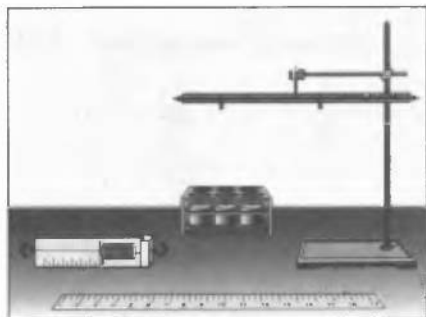
(У ході розв'язування задач цієї вправи масою стрижнів, на яких підвішено тіла, слід нехтувати.)

1. Вага тягарця 1 (рис. 1) становить 90 Н. Якою є маса тягарця 2?
2. Загальна маса тягарців (рис. 2) дорівнює 48 кг. Обчисліть масу кожного тягарця.
3. Обчисліть масу тягарця (рис. 3), якщо сила, що діє на правий кінець важеля, дорівнює 40 Н.
4. До кінців тонкого однорідного стрижня завдовжки 2 м підвішено вантажі масою 14 і 26 кг. На якій відстані від середини стрижня треба помістити опору, щоб він перебував у рівновазі?
5. Маса тягарця 1 дорівнює 10 кг, тягарця 2 — 5 кг (рис. 4). Якою є маса тягарця 3?



## ? Експериментальне завдання

За допомогою лінійки, олівця та нитки визначте відношення мас вашого мобільного телефону та мікрокалькулятора (або двох інших речей, які можуть бути у вашому портфелі).



**Тема.** З'ясування умови рівноваги важеля.

**Мета:** дослідним шляхом перевірити, яким має бути співвідношення сил і їхніх плечей, щоб важіль перебував у рівновазі.

**Обладнання:** важіль, штатив із муфтою та лапкою, набір тягарців масою по 100 г, динамометр, учнівська лінійка.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

### II Підготовка до експерименту

- Перед тим як виконувати роботу, пригадайте відповіді на такі запитання:
  - Що називають важелем і де застосовують важелі?
  - Що називають плечем сили?
  - Що таке момент сили?
- Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
- Закріпіть на лапці штатива важіль та зрівноважте його за допомогою регульовальних гайок.

### ► Експеримент

*Результати вимірювань одразу заносьте до таблиці.*

Номер до- сліду	За ходом годин- никової стрілки			Проти ходу годин- никової стрілки			$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	$M_1 + M_2,$ Н·м
	$F_1, \text{ Н}$	$l_1, \text{ м}$	$M_1,$ Н·м	$F_2, \text{ Н}$	$l_2, \text{ м}$	$M_2,$ Н·м			

- Підвісьте з одного боку від осі обертання важеля один тягарець, з другого боку — два тягарці.
- Пересуваючи тягарці, зрівноважте важіль (рис. 1).
- Виміряйте за допомогою лінійки плечі  $l_1$  і  $l_2$  відповідних сил  $F_1$  і  $F_2$ .
- Уважаючи, що вага одного тягарця дорівнює 1 Н, запишіть значення сил  $F_1$  та  $F_2$ .
- Повторіть дослід, підвісивши на одній половині важеля два, а на другій — три тягарці (рис. 2).

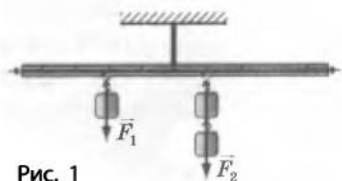


Рис. 1

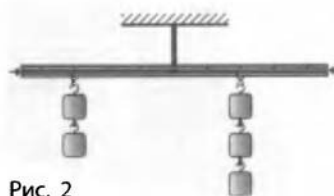


Рис. 2

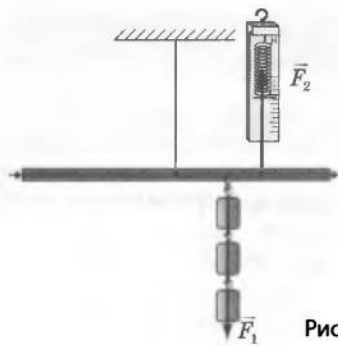


Рис. 3

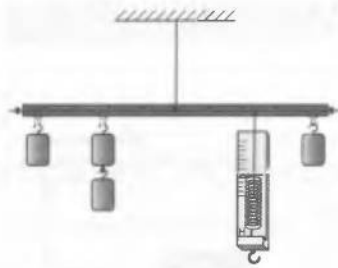


Рис. 4

6. Підвісьте праворуч від осі обертання на відстані 12 см три тягарці. Сила  $F_1$  дорівнюватиме загальній вазі цих тягарців. Визначте за допомогою динамометра, яку силу  $F_2$  потрібно прикласти в точці, що лежить на відстані 8 см правіше від точки підвішування тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі (рис. 3).

### ► Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного досліджу:

- 1) знайдіть відношення сил  $\frac{F_1}{F_2}$  та відношення плечей  $\frac{l_2}{l_1}$ ;
- 2) обчисліть момент  $M_1$  сили, що повертає важіль за годинниковою стрілкою, і момент  $M_2$  сили, що повертає важіль проти годинникової стрілки;
- 3) знайдіть суму моментів сил, що діють на важіль (нагадаємо, що момент сили, яка обертає важіль за годинниковою стрілкою, треба брати зі знаком «-»).

2. Закінчіть заповнення таблиці.

### □ Аналіз результатів експерименту

На підставі проведених дослідів порівняйте відношення сил, що діють на важіль, та відношення його плечей. Зробіть висновок, у якому сформулюйте умову рівноваги важеля, проаналізуйте, які чинники вплинули на точність ваших вимірювань.

### + Творче завдання

Зберіть пристрій, як показано на рис. 4. Виконайте необхідні вимірювання та обчисліть моменти сил, що діють на важіль. Знайдіть суму моментів. Зробіть висновок про умову рівноваги важеля в цьому експерименті.

## § 16. БЛОК

**?** Перший блок був винайдений, коли через колесо, що обертається навколо осі, невідомий стародавній механік перекинув мотузку і за допомогою цього пристрою став підіймати вантажі. За легендою, Архімед за допомогою декількох блоків зміг спустити на воду важке судно, що не могли зрушити з місця десяти коней. Зараз блоки є в багатьох машинах та механізмах. Чим пояснюється таке широке їх застосування?

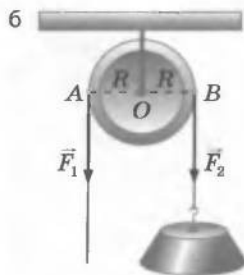
**1** З'ясуємо зв'язок нерухомого блока з важелем. Подивімося на рис. 16.1, на якому зображено колесо із жолобом. Вісь колеса закріплена нерухомо, саме колесо має можливість обертатися навколо цієї осі. Через жолоб перекинута мотузку. Перед нами приклад ще одного *простого механізму* — *нерухомий блок*. Важіль і нерухомий блок, на перший погляд, є зовсім різними механізмами. Проте насправді нерухомий блок є важелем з однаковими плечима (рис. 16.1, б). Дійсно, якщо до кінців мотузки, перекинutoї через блок, прикласти сили, то відповідно до умови рівноваги важеля отримуємо  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$ .

Плечі сил  $F_1$  і  $F_2$  дорівнюють радіусу  $R$  колеса. Тому з умови рівноваги  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{R} = 1$  випливає, що  $F_1 = F_2$ , тобто *нерухомий блок не дає виграшу в силі*. Однак ми бачимо, що *нерухомий блок дозволяє змінювати напрямок дії сили* (див., наприклад, рис. 16.2, 16.3).

**2** Досліджуємо рухомий блок. За допомогою спеціальної обойми причепимо вантаж до осі блока. Сам блок підвісимо на мотузку, один кінець якої закріпимо на стелі

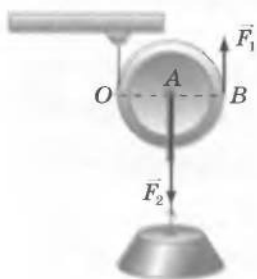
**Рис. 16.1.** Нерухомий блок можна розглядати як важіль з однаковими плечима. На схемі (б):  $R$  — радіус блока;  $OB$  — плече сили, що діє з боку тіла;  $AO$  — плече сили, з якою на блок діє людина

**Рис. 16.2.** Нерухомі блоки, які є в конструкції кар'єрних екскаваторів, дозволяють змінювати напрямок дії сил під будь-яким кутом



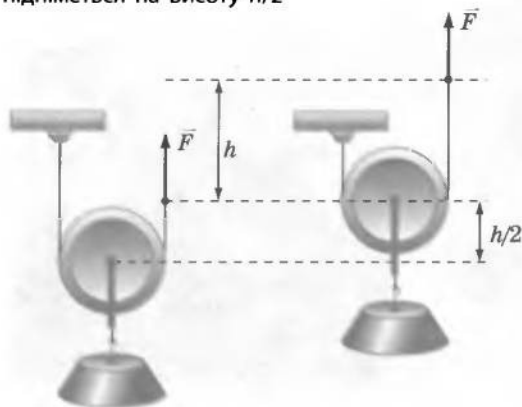


**Рис. 16.3.** Нерухомий блок у механізмі канатної дороги змінює напрямок дії сили натягу канату на протилежний



**Рис. 16.4.** Сили, які діють на рухомий блок

**Рис. 16.5.** Якщо підняти кінець мотузки на висоту  $h$ , то блок підніметься на висоту  $h/2$

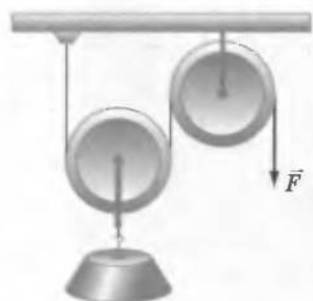


(рис. 16.4). Якщо піднімати вільний кінець мотузки, то за мотузкою буде підніматися і блок з вантажем. Таким чином, ми виготовили простий механізм, який називають *рухо- мим блоком*.

Рухомий блок можна розглядати як важіль, що обертається навколо точки  $O$  (див. рис. 16.4). Тоді плече сили  $F_2$ , лінія якої проходить через вісь колеса, дорівнює радіусу колеса  $OA$ ; плече сили  $F_1$ , прикладеної вздовж мотузки, дорівнює діаметру колеса  $OB$ , тобто двом його радіусам. Таким чином, рухомий блок є важелем з відношенням плечей  $1 : 2$ . Використавши умову рівноваги важеля  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}$  і врахувавши значення плечей сил  $F_1$  і  $F_2$ , отримуємо  $\frac{F_1}{F_2} = \frac{R}{2R}$ . Остаточно  $F_1 = \frac{F_2}{2}$ . Таким чином, *рухомий блок дає виграв у силі у 2 рази*. У *рухо- мому блоці виграв у силі супроводжується таким же програшем у відстані*: якщо підняти вільний кінець мотузки на висо- ту  $h$ , вантаж підніметься на висоту  $\frac{h}{2}$  (рис. 16.5).

Як правило, нерухомі та рухомі бло- ки використовують одночасно — у вигляді комбінацій (рис. 16.6).

**Рис. 16.6.** Для підняття вантажів незамінними є комбінації нерухомого та рухомого блоків





### 3 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** На рис. 16.7 зображено систему блоків. Скільки в цій системі рухомих блоків і скільки нерухомих? Якими є сили натягу  $F_a$  та  $F_b$  мотузок  $a$  та  $b$  відповідно, якщо маса вантажу становить 20 кг? Який вииграш у силі дає ця система блоків? На яку відстань  $h_A$  опуститься точка  $A$ , якщо вантаж підніметься на 10 см? Блоки вважайте невагомими, тертя відсутнім.

Дано:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$h = 10 \text{ см}$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$F_a \text{ — ?}$$

$$F_b \text{ — ?}$$

$$\frac{P}{F} \text{ — ?}$$

$$h_A \text{ — ?}$$

*Аналіз фізичної проблеми*

У задачі описано систему блоків, що, як видно з рисунка, складається з двох рухомих і одного нерухомого блоків. За умовою блоки невагомими, отже, натяг мотузок буде спричиняти тільки вага вантажу. Вантаж підвішений до рухомого блока, який дає вииграш у силі. Другий рухомий блок також дає вииграш у силі. Для визначення вииграшу в силі нам потрібно порівняти вагу  $P$  вантажу із силою  $F$ , яка прикладена до вільного кінця мотузки і під дією якої піднімається вантаж. Слід урахувати, що, вигравши в силі, ми в стільки ж разів програємо у відстані, на яку переміщується вантаж.

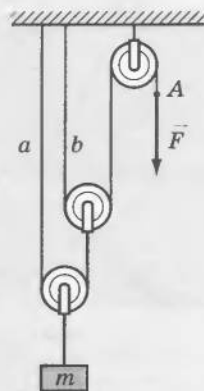


Рис. 16.7

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Вага вантажу може бути обчислена за формулою

$$P = mg.$$

Знайдемо вагу вантажу:

$$P = 20 \text{ кг} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 200 \text{ Н}.$$

Рухомий блок, до якого підвішений вантаж, дає вииграш у силі в 2 рази, отже, сила натягу мотузки  $a$  становить:

$$F_a = \frac{P}{2}; F_a = \frac{200 \text{ Н}}{2} = 100 \text{ Н}.$$

Рухомий блок, до якого підвішена мотузка  $b$ , також дає вииграш у силі в 2 рази, отже, сила натягу мотузки  $b$  становить:

$$F_b = \frac{F_a}{2}; F_b = 50 \text{ Н}.$$

Сила  $F$  є силою натягу мотузки  $b$ :  $F = F_b$ . Тому вииграш у силі становить:

$$\frac{P}{F} = \frac{200 \text{ Н}}{50 \text{ Н}} = 4.$$

У скільки разів ми виграли в силі, у стільки разів програли у відстані:  $h_A = 4h = 40$  см.

*Відповідь:* система блоків складається з двох рухомих та одного нерухомого блоків; сила натягу мотузки  $a$  становить 100 Н; сила натягу мотузки  $b$  становить 50 Н; виграш у силі дорівнює 4; точка  $A$  опуститься на 40 см.

### ! Підбиваємо підсумки

Нерухомий блок подібний до важеля з однаковими плечима і тому не дає виграшу в силі, проте дозволяє змінювати напрямок дії сили.

Рухомий блок подібний до важеля, у якого відношення плечей становить 1 : 2, і тому він дає виграш у силі в 2 рази. Але це супроводжується програшем у відстані в 2 рази.

Для більшої ефективності, як правило, використовують комбінації рухомого та нерухомого блоків.

### ? Контрольні запитання

1. Опишіть нерухомий блок.
2. Чому нерухомий блок не дає виграшу в силі?
3. Для чого використовують нерухомий блок?
4. Опишіть рухомий блок.
5. Який виграш у силі дає рухомий блок?
6. Що означає: рухомий блок дає програш у відстані в 2 рази?
7. Як за допомогою блоків отримати виграш у силі більш ніж у 2 рази?

### ✍ Вправа № 16

1. На скільки підніметься вантаж (рис. 1), якщо вільний кінець мотузки витягнути вгору на 10 см?
2. Вільний кінець мотузки тягнуть із силою  $F = 40$  Н (рис. 2). Якою є маса вантажу?

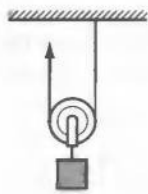


Рис. 1

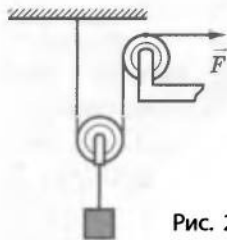


Рис. 2

3. Яку силу  $F$  треба прикласти (рис. 2), щоб підняти вантаж масою 50 кг? На скільки підніметься вантаж, якщо витягнути мотузку на 24 см?
4. Яку силу треба прикласти, щоб підняти вантаж масою 100 кг за допомогою рухомого і нерухомого блоків (див. рис. 16.6), якщо маса рухомого блока становить 2 кг? Тертя в осях відсутнє.
5. Вантаж (див. рис. 16.7) піднімається за допомогою одного нерухомого та двох рухомих блоків. Якою є маса вантажу і на скільки він підніметься, якщо під дією сили 75 Н вільний кінець мотузки опустити на 60 см?

## § 17. ТИСК І СИЛА ТИСКУ. ОДИНИЦІ ТИСКУ

**?!** Для чого з давніх часів мешканці Півночі для пересування по снігу використовують лижі? Чому влітку на м'якому асфальті жінка, взута в туфлі на шпильках, залишає більш помітні й глибокі сліди порівняно з чоловіком у взутті з широкою підшвою? Чому шила та леза ножів час від часу нагострюють? Чому цвях вістряє уперед входить у дошку легко, а головкою вперед — ні? Спробуємо отримати відповіді на ці запитання.

### 1 Спостерігаємо наслідки дії сили

Одним із наслідків дії сили є деформація тіл: чим більшою є сила, що діє на тіло, тим більшою буде деформація. Проте *деформація залежить не тільки від значення і напрямку дії сили, але й від площі, на яку діє сила*: натисніть на поверхню піску спочатку розкритою долонею, а потім пальцем — і ви переконаєтесь у цьому на власні очі (рис. 17.1).

Можна провести ще один дослід: дерев'яний паралелепіпед поставити на сніг спочатку на один бік, а потім на інший, більшої площі. У першому випадку брусок більше провалиться в сніг, ніж у другому (рис. 17.2), хоча сила, що діє на сніг з боку бруска, не змінилася.

### 2 Даємо означення тиску

Для характеристики залежності результату дії сили від площі поверхні, на яку діє ця сила, у фізиці використовують поняття тиску.

**Тиск** — це фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні.

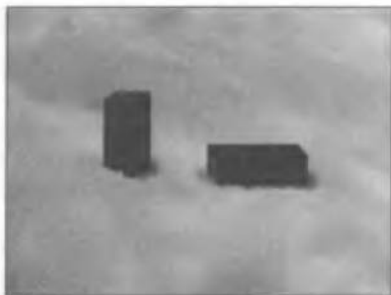
Тиск позначають символом  $p$  і обчислюють за формулою

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

де  $F$  — сила, що діє на поверхню (сила тиску);  $S$  — площа поверхні.



**Рис. 17.1.** Якщо на поверхню піску натиснути рукою, то слід, що залишиться, зокрема його глибина, залежатиме від того, як саме було натиснуто — долонею чи пальцем (за однакової сили тиску)



**Рис. 17.2.** Дерев'яний брусок провалюється в сніг сильніше, якщо поставлений на меншу грань



**Рис. 17.3.** Блез Паскаль (1623–1662) — французський учений, філософ, письменник. Мав дивовижно різнобічні інтереси, що, втім, було характерним для людей епохи Відродження

Одиницею тиску в СІ є паскаль ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ) (названо на честь французького вченого XVII ст. Блеза Паскаля (рис. 17.3)).

1 Па — це тиск, який створює сила в 1 Н, що діє перпендикулярно до поверхні площею в 1 м<sup>2</sup>.

1 Па — невеликий тиск, тому часто використовують кратні одиниці тиску: гектопаскаль (гПа), кілопаскаль (кПа), мегапаскаль (МПа).

1 гПа = 100 Па; 1 кПа = 1000 Па; 1 МПа = 1 000 000 Па.

Порівняти тиски, що створюються різними тілами, можна за допомогою таблиці:

Створення тиску	Тиск, кПа	Створення тиску	Тиск, кПа
Людина і підлога, на якій вона стоїть	20–30	Швацька голка і цупка тканина	До 100 000
Гусеничний трактор і ґрунт	40–50	Укус собаки	До 150 000
Колеса легкового автомобіля і дорога	200–300	Колеса залізничного вагона і рейки	300 000
Лопата і ґрунт	1000–2000	Укус комара	100 000 000

Тиск можна змінити, змінюючи площу поверхні, на яку діє сила тиску. Для збільшення тиску площу слід зменшувати (саме тому нагострюють інструменти — ножиці, шило тощо) (рис. 17.4). І навпаки: для зменшення тиску площу поверхні збільшують (рис. 17.5).

**Рис. 17.4.** Щоб прикладати менше зусиль під час роботи з деякими інструментами, їх нагострюють



**Рис. 17.5.** Людина провалилася в сніг, а всюдихід завдяки широким колесам залишився на його поверхні



### 3 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Суцільний сталевий куб створює на стіл тиск 7,8 кПа. Чому дорівнює довжина грані куба?

Дано:

$$p = 7,8 \text{ кПа} = 7800 \text{ Па}$$

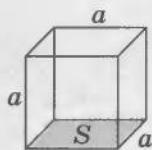
$$\rho = 7800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$a$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

З умови відомий тільки тиск, що створюється кубом. Проте ще зазначено, що куб сталевий. Тобто з довідкових таблиць можна дізнатися про густину матеріалу, з якого виготовлений куб. Густина пов'язана з масою тіла, маса визначає вагу тіла, а та, у свою чергу, — тиск. Ці відомості стануть у пригоді для розв'язання задачі.



*Пошук математичної моделі, розв'язання*

За означенням тиск  $p = \frac{F}{S}$ , де  $F = mg$  — вага куба;  $S = a^2$  — площа грані куба (у тому числі його основи) (див. рисунок). Оскільки  $m = \rho V$ , а  $V = a^3$ , то  $m = \rho a^3$ .

$$\text{Тоді } p = \frac{mg}{a^2} = \frac{\rho a^3 g}{a^2} = \rho a g.$$

$$\text{Звідси довжина ребра куба } a = \frac{p}{\rho g}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[a] = \frac{\text{Па}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}^2}}{\frac{\text{Н}}{\text{м}^3}} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \cdot \frac{\text{м}^3}{\text{Н}} = \text{м}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{a\} = \frac{7800}{7800 \cdot 10} = 0,1; \quad a = 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см}.$$

*Відповідь:* довжина грані сталевого куба дорівнює 10 см.

### ! Підбиваємо підсумки

Дія тіла на поверхню іншого тіла визначається не тільки силою, а й площею стичних поверхонь.

Тиск — це фізична величина, яка дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні.

Тиск позначають символом  $p$  та обчислюють за формулою  $p = \frac{F}{S}$ ; одиниця тиску в СІ — паскаль ( $\text{Па} = \text{Н}/\text{м}^2$ ).

### ? Контрольні запитання

1. Від чого, крім значення та напрямку, залежить результат дії сили?
2. Дайте означення тиску.
3. У яких одиницях вимірюється тиск?
4. Дайте означення паскаля.



### Вправа № 17

1. Тиск гусеничного трактора на ґрунт становить 45 кПа. Що це означає?
2. Людина, що сидить на дивані, створює на його поверхню певний тиск. Як зміниться тиск, якщо людина ляже на диван?
3. Чому комар своїм хоботком може створити тиск набагато більший, ніж тиск, що створює на підлогу людина, коли стоїть?
4. Чому для роботи в багnistій місцевості трактор на гусеницях зручніший, ніж трактор на колесах?
5. У скільки разів зміниться тиск, який створює вантажівка на поверхню дороги, якщо водій замінить вузькі шини колес на широкі? Площа контакту з дорогою широких шин у 1,5 разу більша, ніж площа контакту вузьких шин.
6. Ширина різального краю лопати становить 28 см, а його товщина дорівнює 0,25 мм. Який тиск створює лопата на ґрунт, якщо людина діє на лопату із силою 210 Н?
7. Хлопчик виїхав на лижах на снігову галявину. Сніговий покрив галявини витримує тиск 2 кПа. Ширина лиж дорівнює 10 см, довжина становить 1,5 м. Якою може бути максимальна маса хлопчика, щоб він не провалювався в сніг?



### Експериментальне завдання

З'ясуйте, у скільки разів зміниться тиск, створюваний вашим письмовим столом на підлогу, якщо його перевернути ніжками догори. Знайдіть відповідь на це запитання, не перевертаючи і не зважуючи стола.

## § 18. ТИСК ГАЗІВ ТА РІДИН. ЗАКОН ПАСКАЛЯ



Чому розтягується гумова плівка, з якої зроблена повітряна кулька, під час її надування? Відповідь зрозуміла: в кульку додають повітря. А чи можна повітряну кульку змусити збільшити об'єм без того, щоб її надувати? Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, в яку її налито, а й на бічні стінки? Як передається тиск усередині газів та рідин? Ці загадки тиску газів та рідин ми спробуємо розгадати в наступному параграфі.



Спостерігаємо прояви тиску газу

Покладемо злегка надуту зав'язану повітряну кульку під ковпак повітряного насоса (рис. 18.1, а). Якщо відкачувати повітря, то об'єм кульки почне збільшуватися (рис. 18.1, б). Спробуємо розібратися чому.

Вам уже відомо, що всі гази (так само, як і решта речовин) складаються з частинок (молекул або атомів), які хаотично та безперервно рухаються. Отже, якщо в герметичній посудині є газ, то його частинки під час руху «бомбардують» зсередини стінки посудини і тим самим створюють на них тиск (рис. 18.2). Зрозуміло, що

сила удару однієї частинки дуже мала, проте частинок у газі дуже багато і за секунду кількість їхніх ударів по поверхні стінок посудини становить число, яке має 25 нулів! Таким чином, загальна сила, з якою діє така велика кількість частинок, є значною.

Частинки газу рухаються хаотично, і тому тиск, який вони створюють, не залежить від напрямку їхнього руху, адже кількість частинок, що рухаються в будь-якому напрямку, в середньому є однаковою.

Повернемося, втім, до надувної кульки. Повітря (газ) усередині й ззовні кульки створює тиск відповідно на її внутрішню та зовнішню поверхні. Якщо ці тиски є однаковими, то сила тиску всередині й сила тиску ззовні кульки зрівноважують одна одну і гумова плівка не розтягується. А от якщо тиск усередині кульки стає більшим від зовнішнього тиску, то кулька збільшує свій об'єм. Коли ми надуваємо кульку, то збільшуємо тиск повітря всередині кульки; у досліді з повітряним насосом тиск повітря зменшувався ззовні. Саме тому в обох випадках кулька роздувалася.

## 2 Дізнаємося, від чого залежить тиск газів

Оскільки тиск газу створюється ударами його частинок, то збільшення кількості ударів на поверхню одиничної площі приведе до збільшення тиску газу. Кількість ударів частинок можна збільшити в різні способи.

Перший спосіб — *збільшити густину газу*, тобто додати газу всередину посудини. Якщо ми намагаємося збільшити густину сталої маси газу, то потрібно зменшити об'єм самої посудини (рис. 18.3).

Другий спосіб — *збільшити температуру газу*. Із курсу фізики 7-го класу вам відомо: чим більша температура газу, тим більшою буде швидкість руху його частинок. Їхні удари об стінки посудини стануть частішими, сила удару кожної частинки зростає, і, як наслідок, у посудині збільшиться тиск газу. Отже, тиск газу на стінки посудини, в якій він міститься, зростає в міру підвищення температури газу.

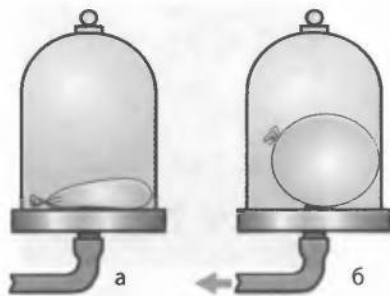


Рис. 18.1. Об'єм злегка надутої повітряної кульки (а) збільшується в разі зменшення зовнішнього тиску (б)

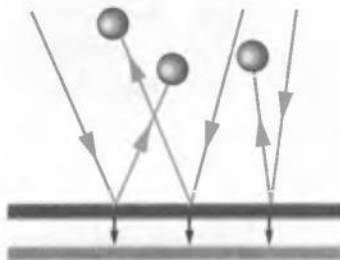


Рис. 18.2. Тиск газу на стінки посудини створюється численними ударами по них молекул газу

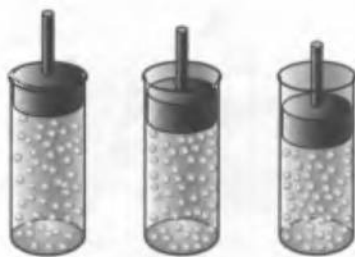
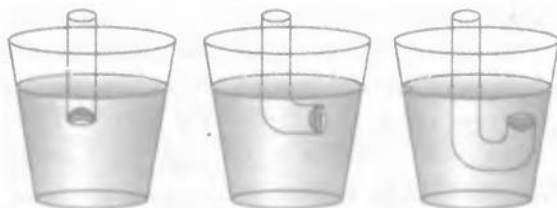


Рис. 18.3. Якщо за допомогою поршня зменшувати об'єм газу, то збільшуватимуться густина газу і кількість ударів його молекул на одиницю площі стінок посудини — тиск зростатиме



**Рис. 18.4.** Рідина створює тиск на бічну поверхню посудини



**Рис. 18.5.** За допомогою по-різному зігнутих трубок з однаковими за діаметром отворами, закритими гумовою плівкою, можна продемонструвати незалежність тиску рідини від напрямку

### **3** Досліджуємо тиск рідин

На відміну від твердого тіла, яке своєю вагою створює тиск тільки на поверхню, на якій воно розміщене, рідина створює тиск не тільки на дно, а й на бічні поверхні посудини, у якій міститься. Це є наслідком плинності рідин. Якщо в бічній поверхні посудини, яка заповнена рідиною, зробити отвори, то рідина поллється через них (рис. 18.4).



**Рис. 18.6.** Натиснемо на пакет із водою — він, найімовірніше, прорветься не в місці, де ми на нього натиснули, а в іншому: вода передасть додатковий тиск в усі боки

Наслідком плинності рідини є також те, що в будь-якій точці всередині рідини її тиск буде однаковим в усіх напрямках (як і в газах). Візьмемо декілька по-різному зігнутих скляних трубок однакового діаметра і закриємо їх нижні кінці гумовою плівкою. Опустимо кожену трубку в склянку з водою так, щоб отвори, закриті плівкою, по черзі побували всередині рідини в тому самому місці. Плівка в усіх трубках буде розтягуватися однаково — незалежно від того, як розташовані отвори (рис. 18.5). Це означає, що тиск усередині рідини в даній точці не залежить від напрямку: тиск однаковий в усі боки.

### **4** Відкриваємо закон Паскаля

Плинність рідини приводить до того, що рідина здатна передавати тиск по всьому об'єму посудини, в якій міститься. Наберемо в поліетиленовий пакет води (рис. 18.6, а) і зав'яжемо пакет. Натиснемо на нього — плівка натягнеться з усіх боків пакета. Ще сильніше натиснемо — пакет прорветься, і, найімовірніше, не в місці натискання, а в іншому (рис. 18.6, б). Аналогічний експеримент можна провести з повітрям або іншим газом.



Пояснює це явище **закон Паскаля**:

Тиск, створюваний на поверхню нерухомої рідини, передається рідиною однаково в усіх напрямках.

Майже те саме можна сказати й про газу (рис. 18.7).

### ! Підбиваємо підсумки

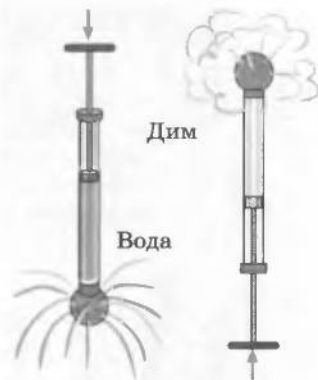
Газу створюють тиск на всі внутрішні поверхні посудини внаслідок численних ударів об ці поверхні частинок газу.

Тиск газу зростає в разі зростання густини або температури газу та зменшується в разі зменшення густини або температури.

Через плинність рідина створює тиск не тільки на дно, але й на бічні поверхні посудини.

Тиск, створюваний на поверхню нерухомої рідини, передається рідиною однаково в усіх напрямках (закон Паскаля).

Майже те саме можна сказати й про газу.



**Рис. 18.7.** Демонстрація дії закону Паскаля: якщо сильно штовхнути поршень, вода або дим почнуть виходити з отворів у кульці не тільки в напрямку руху поршня, але й в усі боки

### ? Контрольні запитання

1. Як можна довести на досліді, що газу створюють тиск на стінки посудини, у якій містяться?
2. У чому полягає причина існування тиску в газах?
3. Чому тиск газів зростає зі зростанням їхньої густини?
4. Як змінюється тиск газів у разі збільшення або зменшення температури газів? Відповідь поясніть.
5. Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, але й на її бічні поверхні?
6. Сформулюйте закон Паскаля.

### ✍ Вправа № 18

1. Щоб усунути вм'ятину на тенісній кульці, її можна на деякий час занурити в гарячу воду. Що витисне зсередини увім'яту поверхню кульки?
2. Які зміни відбудуться з поверхнею рідини в запаяній зверху трубці (див. рисунок), якщо трубку охолоджувати?
3. Чому не можна допускати зайвого нагрівання газових балонів (навіть із негорючим газом)?
4. У циліндрі під поршнем площею  $80 \text{ см}^2$  міститься вода. Який вантаж потрібно покласти на поршень, щоб тиск води на дно циліндра зріс на  $2 \text{ кПа}$ ?



### 🔗 Експериментальне завдання

Візьміть футбольний м'яч і злегка накачайте його. Потім покладіть м'яч на горизонтальну тверду поверхню, зверху притисніть легкою пласкою дошкою. На дошку поставте досить важкий тягар відомої маси. Визначте, на скільки при цьому тиск усередині м'яча буде більшим від тиску повітря ззовні.

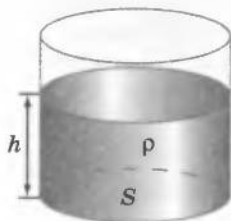
## § 19. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК РІДИНИ

?!

На рис. 19.1 зображений сучасник Блезя Паскаля, що стоїть на шкіряній подушці, заповненій водою. З подушкою з'єднана відкрита зверху трубка, яку дослідник тримає в руках. Чому дошка, на якій він стоїть, не стискає подушку повністю і не виганяє через трубку всю воду назовні? Відповіді на це та багато інших запитань ви знайдете в наступному параграфі.



**Рис. 19.1.** Сила тиску води в шкіряній подушці є достатньою, щоб утримувати вагу дорослої людини



**Рис. 19.2.** Тиск рідини залежить від висоти  $h$  рідини в посудині та густини рідини  $\rho$ ;  $S$  — площа дна посудини

### 1 Досліджуємо тиск рідин

Поставимо на стіл циліндричний стакан і наллємо в нього води (див. рис. 19.2). Вода діє на дно стакана і створює тиск. Причиною виникнення тиску води є притягання її до Землі.

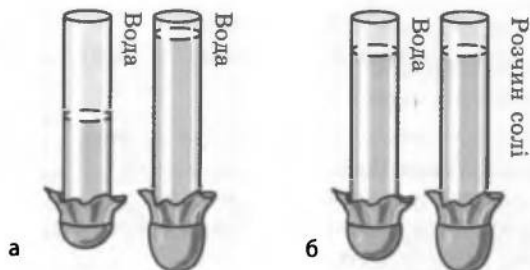
За означенням тиск  $p = \frac{F}{S}$  (1), де  $F$  — сила тиску,  $S$  — площа, на яку вона діє. У даному випадку сила, яка діє на дно стакана, — це вага рідини:  $F = P = mg$  (2). Масу рідини можна подати через об'єм та густину рідини:  $m = \rho V$ ; об'єм налитої в стакан рідини — через висоту стовпчика рідини та площу дна стакана:  $V = hS$ . Отже,  $m = \rho hS$  (3). Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), отримуємо рівність:  $p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho hSg}{S} = \rho gh$ .

Отже, маємо формулу для визначення тиску, що створює рідина на дно посудини:

$$p = \rho gh$$

Як бачимо, тиск рідини на дно посудини залежить тільки від густини рідини та висоти стовпчика рідини в посудині (рис. 19.2, 19.3).

Цей тиск називають *гідростатичним* (від грец. *hydro* — вода та *statos* — стоячий).



**Рис. 19.3.** Дослід, що доводить залежність тиску рідини від висоти її стовпчика та густини. За розтягненням гумової плівки видно: *а* — збільшення висоти стовпчика води спричиняє її більший тиск; *б* — рідина більшої густини створює більший тиск за однакової висоти стовпчиків

## 2 Спостерігаємо дію гідростатичного тиску

Залежність гідростатичного тиску певної рідини тільки від висоти її стовпчика вперше продемонстрував Блез Паскаль. Узявши бочку, до країв заповнену водою, дослідник герметично закрити її кришкою зі вставленою довгою тонкою трубкою. Забезпечивши герметичність з'єднання трубки й кришки, Паскаль налив у трубку лише одну склянку води. Вода заповнила всю трубку і створила на стінки та дно бочки додатковий тиск. Через те в бічних стінках бочки з'явилися щілини (рис. 19.4).

Із закону Паскаля та існування гідростатичного тиску випливає: *тиск усередині нерухокої однорідної рідини на одному рівні є однаковим*. Погляньте на рис. 19.5: здавалося б, що тиск води на дні підводної печери менший, ніж на дні відкритого моря. Проте якби це дійсно було так, внаслідок більшого тиску вода з моря ринула б до печери. Але цього не відбувається.

## 3 Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** На дні басейна розташований круглий отвір, закритий пробкою. Яку мінімальну силу потрібно прикласти до пробки, щоб витягти її з отвору? У басейн налито воду до висоти 2 м, радіус пробки — 5 см. Масу пробки та силу тертя між пробкою та отвором не враховувати.

Дано:

$$h = 2 \text{ м}$$

$$r = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$

$$\rho = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$g = 10 \text{ Н/кг}$$

$$F = ?$$

*Аналіз фізичної проблеми*

Пробку заважає витягти сила тиску води в басейні. Масу пробки та силу тертя враховувати не потрібно, тому мінімальна сила, яка знадобиться для витягування пробки з отвору, за значенням дорівнює силі тиску води на пробку:  $F = F_{\text{тиску}}$  (див. рисунок).

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Щоб знайти силу тиску води на пробку, скористаємося означенням тиску:  $p = \frac{F_{\text{тиску}}}{S} \Rightarrow F_{\text{тиску}} = pS$  (1);



Рис. 19.4. У 1648 р. Блез Паскаль склянкою води розірвав бочку

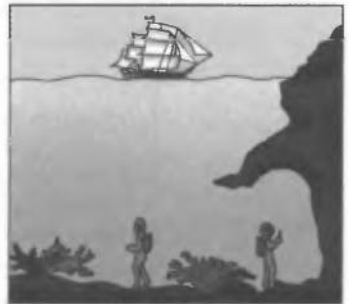
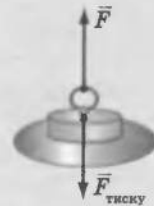


Рис. 19.5. Тиск води в печері дорівнює тиску води у відкритому морі



\* Рівнем називають будь-яку горизонтальну поверхню.

формулою гідростатичного тиску води:  $p = \rho gh$  (2);  
формулою площі круга:  $S = \pi r^2$  (3).

Підставивши у формулу (1) формули (2) і (3), отримаємо:  $F_{\text{тиску}} = \rho gh \cdot \pi r^2$ . Остаточо:  $F = \pi \rho g h r^2$ .

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[F] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \frac{\text{кг} \cdot \text{Н} \cdot \text{м}^3}{\text{м}^3 \cdot \text{кг}} = \text{Н}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{F\} = 3,14 \cdot 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot (0,05)^2 = 157; \quad F = 157 \text{ Н}.$$

*Відповідь:* слід прикласти силу 157 Н.

## ! Підбиваємо підсумки

Унаслідок притягання до Землі рідина створює тиск на дно посудини. Тиск  $p$  рідини на дно посудини називається гідростатичним і залежить тільки від густини  $\rho$  рідини та висоти  $h$  стовпчика рідини. Обчислюється гідростатичний тиск за формулою  $p = \rho gh$ .

Тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим.

## ? Контрольні запитання

1. Що спричиняє виникнення тиску рідини на дно посудини?
2. За якою формулою обчислюється гідростатичний тиск рідини?
3. Як змінюється тиск у рідині залежно від висоти стовпчика рідини? від густини рідини?
4. Опишіть дослід Б. Паскаля, за допомогою якого він продемонстрував залежність гідростатичного тиску певної рідини тільки від висоти її стовпчика.
5. Чому тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим?

## ✎ Управа № 19

1. Якщо занурити палець у склянку з водою, не торкаючись дна, чи зміниться сила тиску води на дно склянки? Якщо зміниться, то як?
2. Тиск води на дно посудини в точці А дорівнює 200 Па (рис. 1). Який тиск на дно створює вода в точках В, С?
3. На якій глибині тиск у машинному маслі становить 8 кПа?
4. Яких зусиль треба докласти, щоб відчинити люк підводного човна на глибині 50 м, якщо площа люка становить 0,2 м<sup>2</sup>?
5. У дві посудини налили рідину до одного рівня (рис. 2). Порівняйте тиски та сили тисків на дно посудин. Зробіть висновок.
6. Якою є маса дослідника (див. рис. 19.1), якщо площа стикання дошки, на якій він стоїть, і подушки дорівнює 800 см<sup>2</sup>, а вода в трубці встановилася на висоті 1 м?

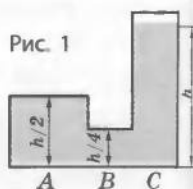
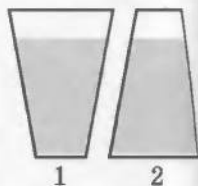


Рис. 2



## ? Експериментальне завдання

Занурте надуту повітрям гумову кульку у ванну з водою. Простежте за зміною об'єму кульки. Зробіть висновок. Визначте, на скільки змінився тиск повітря всередині кульки на максимальній глибині занурення.

## § 20. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК ТА ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ. БАРОМЕТРИ. ЗАЛЕЖНІСТЬ АТМОСФЕРНОГО ТИСКУ ВІД ВИСОТИ

**?!** Коли ми робимо, наприклад, ковток чаю, навряд чи розмірковуємо над фізикою цього процесу. Проте це, так само як і багато інших явищ, відбувається завдяки тиску повітря, що нас оточує. Відкриємо для себе деякі важливі властивості цього тиску і навчимося його вимірювати.

### **1** Переконаємося в існуванні атмосферного тиску та спостерігаємо його дію

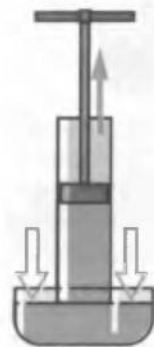
Повітря, що оточує Землю, притягується до Землі та створює тиск на її поверхню і всі тіла поблизу неї. Це — *атмосферний тиск*.

Атмосферний тиск зумовлює існування всмоктування — підняття рідини за поршнем (у насосах, шприцах, авторучках тощо) (рис. 20.1). Якщо почати піднімати ручку поршня, то атмосферний тиск, впливаючи на вільну поверхню рідини в посудині, нагнітатиме рідину по трубці вгору, у порожнечу під поршнем. Ззовні все виглядає так, начебто рідина піднімається за поршнем сама по собі.

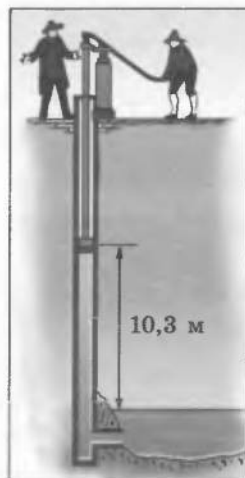
До речі, протягом тривалого часу це явище залишалося одним із доказів для відомого висновку Аристотеля, що «природа боїться порожнечі». Проте у середині XVII ст. в ході спорудження фонтанів у Флоренції зіткнулися з незрозумілим — виявилось, що вода, яка всмоктується насосами, не піднімається вище за 10,3 м (рис. 20.2). Галілео Галілей запропонував розібратися в цьому своїм учням — *Еванджелісті Торрічеллі та Вінченцо Вівіані*. Розв'язуючи цю проблему, Е. Торрічеллі (1608–1647) уперше довів існування атмосферного тиску.

### **2** Вимірюємо атмосферний тиск

Скляну трубку завдовжки близько метра, запаяну з одного кінця, Торрічеллі наповнив доверху ртуттю. Потім, щільно закривши отвір пальцем, перевернув трубку, опустив її в чашу із ртуттю і прибрав палець — частина рі-



**Рис. 20.1.** Рідина піднімається за поршнем, тому що на вільну поверхню рідини в чашці діє атмосферне повітря



**Рис. 20.2.** У 1638 р. не вдалося прикрасити сади Флоренції фонтанами, оскільки вода не піднімалася вище за 10,3 м



**Рис. 20.3.** Моделювання досліду Е. Торрічеллі: висота  $h$  ртуті в трубці завжди становить близько 760 мм



**Рис. 20.4.** Сучасний ртутний барометр

дини з трубки вилілася в чашу. У трубці залишився стовп ртуті приблизно 760 мм заввишки, а над ртуттю утворилася порожнина (рис. 20.3). Провівши численні досліди, Торрічеллі встановив: висота стовпа ртуті, що залишається в трубці, не залежить ані від довжини трубки, ані від її ширини. Висота трохи змінювалася тільки залежно від погоди.

Торрічеллі зумів також знайти відповідь на те, чим визначається така висота стовпчика ртуті. Однорідна рідина в трубці та чашці не рухається, і це означає, що тиск на поверхню ртуті з боку атмосфери та гідростатичний тиск стовпчика ртуті в трубці є однаковими. Тобто тиск стовпчика ртуті висотою 760 мм дорівнює атмосферному.

Удосконалена так звана трубка Торрічеллі з лінійкою є найпростішим *барометром* — приладом для вимірювання атмосферного тиску (рис. 20.4).

Тиск 760 мм рт. ст. називають *нормальним атмосферним тиском*. Подамо його в одиницях СІ — паскалях. Відомо, що гідростатичний тиск стовпчика ртуті обчислюють за формулою  $p = \rho gh$ ; густина ртуті становить  $\rho = 13\,600 \text{ кг/м}^3$ ;  $g = 9,8 \text{ Н/кг}$ ; висота стовпчика ртуті  $h = 0,76 \text{ м}$ . Отже:  $p = \rho gh = 13\,600 \text{ кг/м}^3 \times 9,8 \text{ Н/кг} \cdot 0,76 \text{ м} = 101\,325 \text{ Па} \approx 101 \text{ кПа}$ .

У фізиці та техніці також використовують позасистемну одиницю атмосферного тиску — *атмосферу (атм)*:  $1 \text{ атм} = 100 \text{ кПа}$ .

### 3 Вивчаємо конструкцію барометра anerоїда

Барометр Торрічеллі є досить точним приладом, але великий розмір, отруйні пари ртуті та скляна трубка роблять його незручним для повсякденного користування. Тому сьогодні частіше застосовують так звані *барометри-анероїди* (рис. 20.5, а).

Головна частина барометра-анероїда — легка і пружна порожня металева коробочка 1 (рис. 20.5, б) з гофрованою (ребристою) поверхнею. Повітря в коробці практично немає. До стінки коробочки прикріплена стрілка 2, насаджена на вісь 3. Кінець стрілки пересувається по шкалі 4, розміненій у міліметрах ртутного стовпа або паскалях. Усі деталі барометра поміщено всередину корпусу, спереду закритого склом.

Зміна атмосферного тиску приводить до зміни сили, що стискає стінки коробочки. Отже, змінюватиметься й вигин стінок. Вигин стінок коробочки передається стрілці й спричиняє її рух.

Барометри-анероїди зручніші у використанні, ніж ртутні прилади, вони легкі, компактні та безпечні.

#### 4 Виявляємо залежність атмосферного тиску від погоди та висоти

Спостерігаючи за барометром, можна легко виявити, що його показання змінюються в разі зміни погоди. Зазвичай атмосферний тиск перед негодою падає, а перед сонячною погодою зростає.

Проте показання барометра залежать не тільки від погоди, а й від висоти місця спостереження над рівнем моря. Чим вище підніматися вгору, тим меншим ставатиме атмосферний тиск. З'ясовано, що *поблизу поверхні Землі тиск змінюється так: через кожні 11 м висоти тиск зменшується приблизно на 1 мм рт. ст.*

Завдяки тому що атмосферний тиск залежить від висоти, барометр можна проградуювати таким чином, щоб за тиском повітря визначати висоту. Так був отриманий *альтиметр* — прилад для вимірювання висоти (рис. 20.6).

#### ! Підбиваємо підсумки

Тиск повітря на поверхню Землі та на всі тіла поблизу неї називають атмосферним тиском.

За нормальне значення атмосферного тиску умовно прийнято тиск у 760 мм рт. ст. (в СІ це дорівнює 101 325 Па, або приблизно 101 кПа =  $10^5$  Па) за температури 0 °С.

Точне вимірювання атмосферного тиску забезпечує ртутний барометр (барометр Торрічеллі). На практиці користуються барометрами-анероїдами завдяки їх зручності, невеликим розмірам та безпечності.

За допомогою барометрів можна прогнозувати зміну погоди та визначати висоту: атмосферний тиск зменшується з висотою, а також перед негодою.

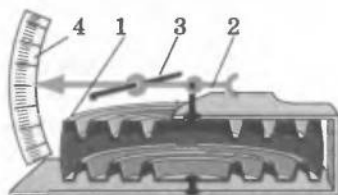


Рис. 20.5. Барометр-анероїд



Рис. 20.6. Альтиметр на приладній дошці літака (а); на руці парашутиста (б)



### Контрольні запитання

1. Чому існує атмосферний тиск? 2. Які факти свідчать про існування атмосферного тиску? 3. Опишіть будову та принцип дії ртутного барометра. 4. Що таке нормальний атмосферний тиск? 5. Опишіть конструкцію та принцип дії барометрів-анероїдів. 6. Які переваги барометрів-анероїдів зумовили їх широке використання? 7. Чому за допомогою барометрів можна передбачати погоду та вимірювати висоту?



### Вправа № 20

1. Чи діє на рибку в акваріумі атмосферний тиск? Чому?
2. Поясніть, чому зі збільшенням висоти над рівнем моря атмосферний тиск зменшується.
3. У 1654 р. Отто фон Геріке, фізик і бургомістр Магдебурга, провів дослід із металевими півкулями, усередині яких було створено штучне розрідження (рис. 1). Магдебурзькі півкулі (таку назву вони отримали у фізиці пізніше) не змогли відірвати одну від одної 16 коней (по 8 з кожного боку). Що зрівноважило дію коней і не дало роз'єднати півкулі?
4. Чому неможливо розрахувати атмосферний тиск за формулою  $p = \rho gh$ , де  $\rho$  — густина повітря, а  $h$  — висота атмосфери?
5. Подайте тиск 550 мм рт. ст. у кПа, а тиск 93 324 Па — у мм рт. ст.
6. На якій висоті розташований оглядовий майданчик телевізійної вежі, якщо атмосферний тиск біля підніжжя вежі становить 760 мм рт. ст., а на висоті майданчика — 740 мм рт. ст.?
- 7\*. Яку силу потрібно прикласти до магдебурзьких півкуль, щоб відірвати їх одну від одної? Діаметр півкуль становив 35,5 см, тиск усередині — 1/8 атмосферного тиску.



Рис. 1. Малюнок Гаспара Шотта «Магдебурзькі півкулі»

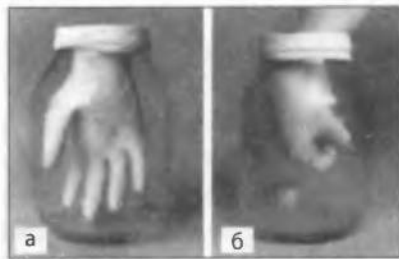


Рис. 2



### Експериментальні завдання

1. Надіньте на трилітрову скляну банку гумову рукавичку, як показано на рис. 2, а, скотчем загерметизуйте місце з'єднання рукавички і банки та всуньте руку в рукавичку (рис. 2, б). Тепер спробуйте витягти руку. Що заважає це зробити? Чи стане легше витягти руку, якщо рукавичку проколоти? Чому?
2. До краю заповніть склянку водою і накрийте її пластиковим файлом. Притискуючи файл до країв склянки рукою, переверніть склянку догори дном, а потім приберіть руку. Що втримує воду всередині склянки і притискує до країв склянки файл? Якої максимальної висоти склянку можна використовувати в цьому досліді?



## § 21. СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ. МАНОМЕТРИ

**?! Кожного дня ми користуємося водогоном. А чи знаєте ви, чому з крана біжить вода, коли ми його відкриваємо? Спробуємо дізнатися, як власне працює водогін, використовуючи властивості сполучених посудин, а також зробимо прилади для вимірювання різниці тисків.**

### **1** **Виготовляємо та досліджуємо сполучені посудини**

Якщо в праве коліно U-подібної трубки почати наливати воду, то вода перетікатиме в ліве коліно, і навпаки (рис. 21.1). Якщо нахилити U-подібну трубку, то вода почне витікати з коліна, яке внаслідок нахилу буде розташоване нижче. U-подібна трубка є прикладом сполучених посудин.

**Сполучені посудини** — це посудини, які з'єднані між собою і між якими може перетікати рідина.

Ми вже з'ясували, що в однорідній нерухомій рідині на одному рівні тиск є однаковим. Отже, якщо сполучені посудини відкриті в атмосферу (рис. 21.2, а), то висоти  $h_1$  і  $h_2$  стовпчиків однорідної рідини в них будуть однаковими. Доведемо це. На рівні  $AB$   $p_1 = p_2 \Rightarrow p_a + \rho gh_1 = p_a + \rho gh_2$ , тобто

$$\rho gh_1 = \rho gh_2 \Rightarrow h_1 = h_2.$$

А от якщо налити в праве та ліве коліна сполучених посудин рідини з різними густинами, наприклад воду і гас, результат буде іншим (рис. 21.2, б). За умовою рівноваги тиски стовпчиків цих рідин на рівні  $CD$  у посудинах є однаковими, тобто  $p_1 = p_2$ , або  $\rho_1 gh_1 = \rho_2 gh_2$ . Звідси

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

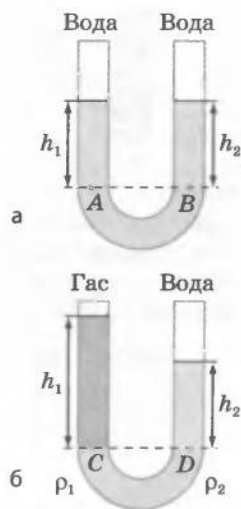
За умови рівноваги рідин різних густин у відкритих сполучених посудинах стовпчик рідини з меншою густиною буде вищим, ніж стовпчик рідини з більшою густиною. Відношення висот стовпчиків рідин обернено пропорційне до відношення їхніх густин.

### **2** **Виготовляємо відкритий рідинний манометр**

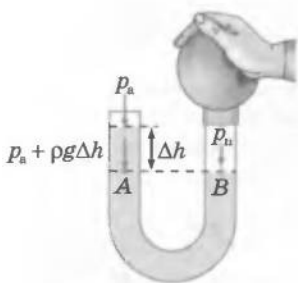
На праве коліно U-подібної трубки, у яку налито однорідну рідину, надінемо гумову грушу і злегка натиснемо на неї. Висота стовпчика рідини в правому коліні зменшиться, а в лівому збільшиться (рис. 21.3). На рівні  $AB$  тиск у рідині



**Рис. 21.1.** У разі наливання рідини в одне коліно U-подібної трубки вона перетікає в друге коліно



**Рис. 21.2.** У відкритих сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні (а); якщо рідини мають різні густини, то стовпчик із рідиною меншої густини буде більш високим (б)



**Рис. 21.3.** Різниця атмосферного тиску  $p_a$  і тиску повітря  $p_n$  компенсується тиском стовпчика рідини висотою  $\Delta h$

буде однаковим. У точці  $B$  це буде тиск повітря  $p_n$  в правому коліні, у точці  $A$  — атмосферний тиск  $p_a$  плюс тиск  $\rho g \Delta h$  стовпчика рідини  $\Delta h$ . Отже,  $p_n = p_a + \rho g \Delta h$ .

Тобто за допомогою U-подібної трубки, яка заповнена однорідною рідиною, та лінійки, що дозволяє виміряти різницю рівнів рідини в колінах трубки, можна визначити різницю між тиском повітря (або іншого газу) в посудині та атмосферним тиском:  $p_n - p_a = \rho g \Delta h$ .

Відповідний прилад має назву *відкритий рідинний манометр* (від грец. *tanos* — рідкий, нещільний та *metron* — міра, вимірювати) (рис. 21.4). Манометри широко застосовують у техніці, промисловості, на транспорті.



**Рис. 21.4.** U-подібна трубка, що наповнена рідиною і має шкалу, — відкритий рідинний манометр

**3** Замінюємо рідинний манометр на металевий  
Рідинний манометр не завжди є зручним у користуванні: його необхідно готувати до вимірювань — наливати рідину до потрібного рівня та проводити додаткові обчислення. Тому в техніці використовують *металеві деформаційні манометри* (рис. 21.5).

Основний елемент металевого деформаційного манометра — гнучка дугоподібна трубка, один кінець якої є запаєним. Другий кінець трубки сполучають з резервуаром, де вимірюють тиск. Принцип дії цих манометрів такий. Якщо тиск газу всередині трубки більший від атмосферного, то гнучка трубка розпрямляється і її рух передається до стрілки, що рухається вздовж шкали приладу. Після зменшення тиску газу до атмосферного трубка повертається у початкове (недеформоване) положення, а стрілка зупиняється на позначці 0.



**Рис. 21.5.** Металевий деформаційний манометр:  $a$  — загальний вигляд;  $b$  — конструкція: трубку 1 за допомогою передавального механізму 2 прикріплено до стрілки 3. Тиск визначають за шкалою 4

Шкала металевого манометра проградуїювана в паскалях або атмосферах.

#### 4 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** У праве коліно відкритої U-подібної трубки, у яку попередньо налита вода, наливають шар гасу завтовшки 12,5 см. Якою буде різниця рівнів води і гасу в правому та лівому колінах U-подібної трубки, коли рух рідин припиниться? Гас і вода не змішуються.

Дано:

$$h_{\text{гасу}} = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$\rho_{\text{гасу}} = 800 \text{ кг/м}^3$$

$\Delta h$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Коли в сполучені посудини налита вода, вона встановлюється на одному рівні в обох колінах (рис. 21.6, а). Якщо в праве коліно долити гас, то у другому коліні рівень води підніметься (рис. 21.6, б). В однорідній рідині, що перебуває в рівновазі, на одному горизонтальному рівні тиск є однаковим. Це буде виконуватися для будь-яких рівнів, що нижчі за рівень АВ, адже на цьому рівні і нижче в правому та лівому колінах U-подібної трубки буде однорідна рідина — вода.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Різниця висот стовпчиків гасу та води  $\Delta h = h_{\text{гасу}} - h_{\text{води}}$ .

Отже, потрібно знайти висоту стовпчика води. Скористаємося формулою гідростатичного тиску і знайдемо тиск рідин в точках А і В:  $p_A = \rho_{\text{води}} g h_{\text{води}}$ ;  $p_B = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}$ .

Оскільки посудини відкриті, то  $p_A = p_B$ . Тобто:

$$\rho_{\text{води}} g h_{\text{води}} = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}} \Rightarrow h_{\text{води}} = \frac{\rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}} g} = \frac{\rho_{\text{гасу}} h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}}}$$

$$\text{Перевіримо одиницю: } [h_{\text{води}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}.$$

Визначимо значення висоти стовпчика води:

$$\{h_{\text{води}}\} = \frac{800 \cdot 0,125}{1000} = 0,1; \quad h_{\text{води}} = 0,1 \text{ м} = 10 \text{ см};$$

$$\Delta h = 12,5 \text{ см} - 10 \text{ см} = 2,5 \text{ см}.$$

**Відповідь:** різниця рівнів води і гасу в правому та лівому колінах становить 2,5 см.

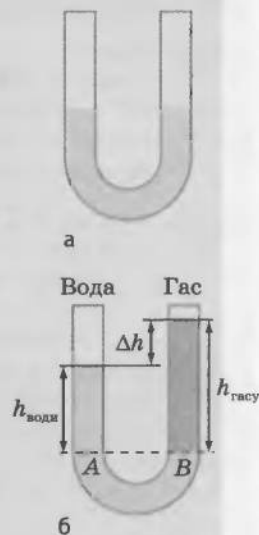


Рис. 21.6

## ! Підбиваємо підсумки

Сполученими посудинами називають посудини, які з'єднані між собою і між якими може перетікати рідина.

У відкритих сполучених посудинах різних форм та розмірів однорідна нерухома рідина встановлюється на одному рівні.

Відкриті рідинні манометри — це прилади для вимірювання тиску газів:  $p_r = p_a + \rho g \Delta h$ , де  $\Delta h$  — різниця рівнів рідини в колінах приладу;  $p_a$  — атмосферний тиск.

На практиці широке застосування знайшли металеві деформаційні манометри.

## ? Контрольні запитання

1. Якою є основна властивість сполучених посудин?
2. Як поведуть себе рідини різної густини, налиті в сполучені посудини?
3. Що таке манометр?
4. Як працює відкритий рідинний манометр?
5. Опишіть будову та принцип дії металевого деформаційного манометра.

## ✍ Вправа № 21

1. У рідинному манометрі міститься підфарбована вода (рис. 1). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. На скільки відрізняється тиск у посудині від атмосферного?
2. У рідинному манометрі міститься ртуть (рис. 2). Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу. Який тиск у посудині, якщо тиск атмосферного повітря дорівнює 100 кПа?

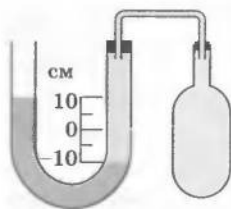


Рис. 1

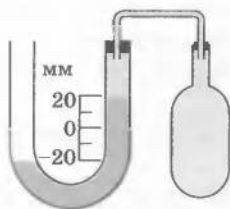


Рис. 2

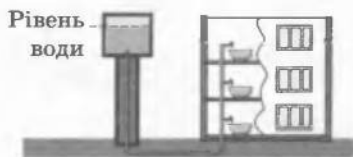


Рис. 3

3. У ліве коліно сполучених посудин налито гас, стовпчик якого має висоту 20 см. Якої висоти стовпчик води потрібно налити в праве коліно, щоб рідина перебувала в рівновазі?
4. Висота водонапірної вежі дорівнює 25 м (рис. 3). Яким буде тиск води у водогоні в квартирі на третьому поверсі будинку? Висота поверху становить 3 м, труби водогону в квартирі розташовані на висоті 1 м від підлоги.
5. У якій послідовності потрібно відкривати та закривати ворота трикамерного шлюзу (рис. 4), щоб провести судно проти течії?

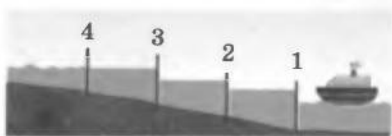


Рис. 4



Рис. 5



Рис. 6



### Експериментальні завдання

1. Виготовте вдома з корпусів одноразових шприців та шматків гумової трубки сполучені посудини (рис. 5). Визначте умову рівноваги в цих посудинах стовпчиків води та олії.
2. Скориставшись прозорою еластичною трубкою та лінійкою, виготовте манометр, що буде вимірювати різницю тисків в атмосфері та пляшці (рис. 6). Простежте зміну різниці тисків протягом дня; зробіть висновок.

### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

У 1930-х роках символом індустріалізації став **Дніпрогес**. Завершення будівництва цієї найбільшої на той час гідроелектростанції забезпечило енергією кілька заводів-гігантів, принесло електричне світло в тисячі будинків Запоріжжя, Кривого Рогу та інших міст України. Після того як дамба заввишки понад 50 м перегородила Дніпро, глибина річки значно збільшилася. Це забезпечило судноплавство у тій частині Дніпра, де були пороги. А щоб судна могли пливати далі, до Чорного моря, у конструкції греблі інженери передбачили спеціальний вузол — шлюз.



Шлюз являє собою систему послідовно розташованих «кімнат», які називають камерами. У кожній камері з двох сторін є «двері», але немає «даха». Розміри камер величезні — кожна з них здатна вмістити водночас кілька теплоходів. Працює шлюз у такий спосіб. Судно входить у першу камеру, її зовнішні двері за ним закриваються, і відбувається вирівнювання рівня води з другою камерою через систему сполучених труб (за принципом сполучених посудин). Потім відчиняються двері між першою і другою камерами — судно переходить у другу камеру і т. д.

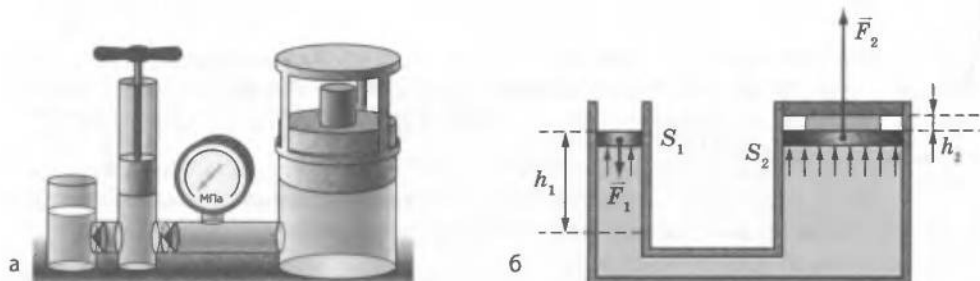
## § 22. ГІДРАВЛІЧНІ МАШИНИ. НАСОСИ



Чи може людина підняти слона без важеля, маючи тільки з'єднані між собою циліндри з поршнями та невелику кількість рідини? На перший погляд — ні. Але автолюбители за допомогою невеликого гідравлічного пристрою — гідравлічного домкрата — піднімають свій автомобіль для заміни колеса або для ремонту, а на заводах працюють гідравлічні преси, які штамнують деталі машин із металевих заготовок. Як можна прикласти меншу силу, а отримати більшу, ви дізнаєтеся з наступного параграфа.



**Використовуємо гідравлічний прес для отримання виграшу в силі**  
Гідравлічний прес (рис. 22.1, а) складається з двох сполучених циліндрів різного діаметра, які заповнено робочою рідиною



**Рис. 22.1.** Навчальна модель гідравлічного преса. Цей прес дозволяє одержати вигреш у силі: мала сила ( $F_1$ ) дозволяє стискати тіла з великою силою ( $F_2$ )

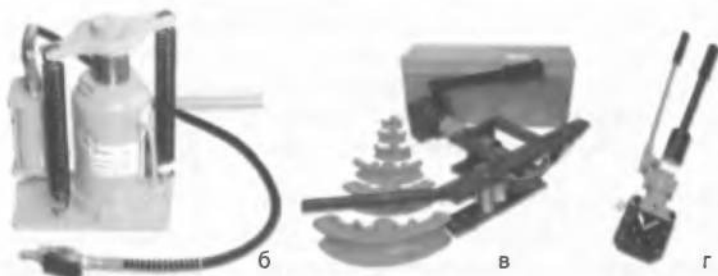
(частіше машинним маслом) і закрито рухомими поршнями. Якщо поршні будуть розташовані на одному рівні, то тиск рідини на поршні буде однаковим. Сила, з якою рідина діє на поршень, визначається тиском і площею поршня, тому на більший поршень діє більша сила, а на менший — менша.

Нехай  $F_1$  і  $F_2$  — сили, що діють на поршні преса;  $S_1$  і  $S_2$  — площі поверхонь поршнів (рис. 22.1, б). Тиск рідини на поршні однаковий:  $p_1 = p_2$ . При цьому  $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$ , а  $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$ , тобто  $\frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}$ . Таким чином,  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ . Сила, що діє з боку рідини на великий поршень, є більшою від сили, що діє з боку тієї самої рідини на малий поршень, у стільки разів, у скільки разів площа великого поршня більша від площі малого. Іншими словами, сила тиску рідини, що діє на поршень, пропорційна площі поршня.

Робота преса полягає у створенні на великому поршні більшої сили. Натискаючи на малий поршень, ми стискаємо масло в малому циліндрі й нагнітаємо його у великий циліндр. Тиск масла у великому циліндрі зростає, і поршень великого циліндра все сильніше стискає (тобто пресує) деталь. Гідравлічний прес дозволяє одержати значний вигреш у силі, який залежить від відношення площ поршнів.



**Рис. 22.2.** Гідравлічні інструменти: прес (а); домкрат (б); трубозгинальник (в); гідравлічні ножиці (г)



За таким принципом працюють й інші *гідралічні інструменти та пристрої* (рис. 22.2). Так, *гідралічний підйомник* дозволяє, приклавши невелику силу, підняти важкий автомобіль (рис. 22.3).

**2** Використовуємо насоси для відкачування води

Найпершими *гідралічними машинами*, які застосовувалися ще в стародавні часи, були *всмоктувальні та нагнітальні насоси*.

У *всмоктувальному насосі* (рис. 22.4) внаслідок підняття поршня тиск у резервуарі під поршнем зменшується і клапан *a* відкривається. Через цей відкритий клапан вода під впливом атмосферного тиску  $p_a$  підіймається в резервуар під поршнем. Коли поршень почне рухатися вниз, клапан *a* закриється, а клапан *b* відкриється і вода почне вилитися через кран насоса. У разі подальшого руху поршня вгору все повторюється. Максимальна висота, на яку можна підняти воду за допомогою *всмоктувального насоса*, визначається атмосферним тиском і становить 10,3 м (пригадайте, чому).

У *нагнітальному насосі* (рис. 22.5) під час першого руху поршня вгору тиск над поверхнею рідини над клапаном *a* і під клапаном *b* зменшується. Унаслідок цього клапан *a* відкривається, а клапан *b* — закривається. Під дією атмосферного тиску  $p_a$  вода піднімається за поршнем через відкритий клапан *a*. Потім, коли поршень почне рухатися вниз, через збільшення тиску під поршнем клапан *a* закриється, а клапан *b* відкриється. Поршень витисне



Рис. 22.3. Гідралічний підйомник — приклад гідралічної машини

Рис. 22.4. Принцип дії *всмоктувального насоса*: вода піднімається за поршнем за рахунок дії атмосферного тиску

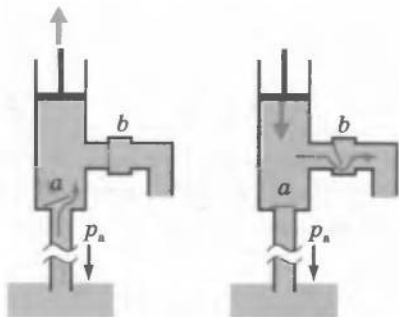
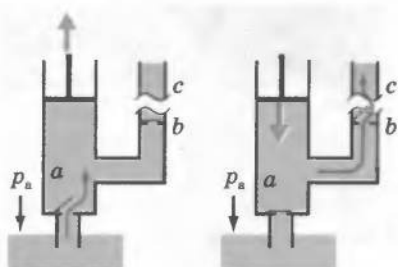


Рис. 22.5. У *нагнітальному насосі* *всмоктування води* під час кожного зворотного руху поршня змінюється на *нагнітання* води в трубу водогону



через клапан  $b$  воду до вертикальної труби  $c$ . Під час другого руху поршня вгору клапан  $b$  буде закритий і вода з вертикальної труби  $c$  не потраплятиме назад у насос.

### ! Підбиваємо підсумки

Властивості сполучених посудин покладено в основу дії гідравлічних машин та насосів. Рівновага сил у гідравлічних машинах

буде за умови, якщо  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ .

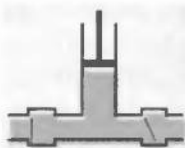
Насоси бувають всмоктувальні та нагнітальні. Неодмінними деталями насосів є поршень, циліндр та клапани, що пропускають рідину тільки в одному напрямку.

### ? Контрольні запитання

1. У чому полягає принцип дії гідравлічної машини?
2. Сформулюйте умову рівноваги поршнів гідравлічної машини.
3. Де застосовуються насоси?
4. Які види насосів ви знаєте?
5. Чим визначається висота підняття рідини у всмоктувальному насосі?

### ✍ Вправа № 22

1. Куди рухається поршень насоса (див. рисунок): угору чи вниз?
2. Яке зусилля розвиває гідравлічний прес, якщо до малого поршня прикладають силу 100 Н? Площі поршнів дорівнюють 2 см<sup>2</sup> і 2 дм<sup>2</sup>.
3. На більший поршень гідравлічної машини діє сила 4000 Н. Яка сила діє на менший поршень, якщо площі поршнів дорівнюють відповідно 400 см<sup>2</sup> і 10 см<sup>2</sup>?
4. Щоб за допомогою гідравлічної машини підняти контейнер вагою 3000 Н, до малого поршня прикладають силу 200 Н. Чому дорівнює площа великого поршня, якщо площа малого становить 4 см<sup>2</sup>?
- 5\*. Малий поршень гідравлічної машини опустився під дією сили 300 Н на 4 см, а великий піднявся на 1 см. Яка сила діяла на великий поршень?



### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна (ХНУ), заснований у листопаді 1804 р., — один із найстаріших університетів Східної Європи. Історія ХНУ є невід'ємною частиною інтелектуальної, культурної та духовної історії України. З Харківським університетом пов'язані імена таких усесвітньо відомих науковців та просвітителів, як П. П. Гулак-Артемівський, О. М. Ляпунов, М. І. Костомаров,

М. П. Барабашов, М. М. Бекетов, Д. І. Багалій, А. М. Краснов, М. В. Остроградський, В. А. Стеклов, О. О. Потебня, О. В. Погорелов та багато інших. Харківський університет — єдиний в Україні, де навчалися або працювали три лауреати Нобелівської премії — біолог І. І. Мечников, економіст Саймон Кузнець, фізик Л. Д. Ландау.



## § 23. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА. ЗАКОН АРХІМЕДА

**?! Чому м'яч, який занурили у воду й відпустили, вискакує над поверхнею води? Чому важкий камінь, який на суші не можна зрушити з місця, легко підняти під водою? Чи правда, що людина у воді перебуває в стані невагомості? Спробуємо розібратися!**

**1 Доводимо існування виштовхувальної сили**  
До коромисла терезів підвісимо дві однакові кулі. Оскільки маса куль є однаковою, терези зрівноважено (рис. 23.1, а). Підставимо під праву кулю порожню посудину (рис. 23.1, б). Наллємо в посудину води і побачимо, що рівновага коромисла порушиться (рис. 23.1, в): *на кулю у воді діє сила, напрямлена вгору.*

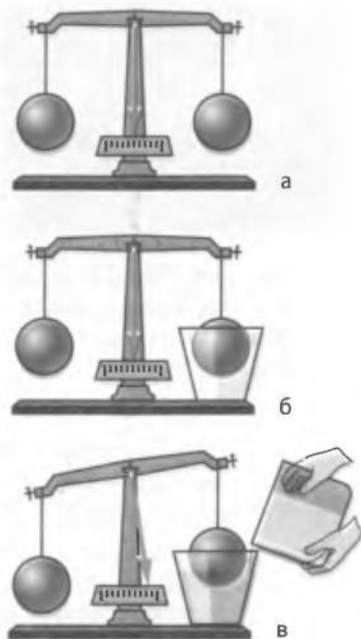
Звідки ж береться ця сила? Щоб розібратися, розглянемо занурений у рідину кубик. На нього з усіх боків діють сили гідростатичного тиску рідини (рис. 23.2).

Сили гідростатичного тиску  $F_3$  та  $F_4$ , що діють на бічні грані кубика по горизонталі, є рівними за значенням, але протилежними за напрямком: площі бічних граней однакові й грані розташовані на однаковій глибині. Такі сили врівноважують одна одну.

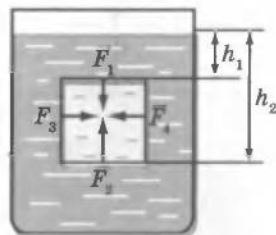
А от сили гідростатичного тиску  $F_1$  та  $F_2$ , що відповідно діють на верхню та нижню грані кубика, одна одну не зрівноважують. Розберемось детальніше.

На верхню грань кубика діє сила тиску  $F_1 = p_1 S$ , де  $p_1 = \rho g h_1$  ( $\rho$  — густина рідини), тобто  $F_1 = \rho g h_1 S$ . Аналогічно на нижню грань кубика діє сила тиску  $F_2 = \rho g h_2 S$ . Оскільки нижня грань перебуває на більшій глибині, ніж верхня ( $h_2 > h_1$ ), то сила тиску  $F_2$  більша за силу тиску  $F_1$ . Рівнодійна цих сил дорівнює модулю різниці сил  $F_2$  і  $F_1$  та напрямлена в бік дії більшої сили, тобто вертикально вгору. Отже, по вертикалі вгору на кубик, занурений у рідину, буде діяти сила, зумовлена різницею тисків на його нижню та верхню грані, — *виштовхувальна сила*:  $F_{\text{вишт}} = F_2 - F_1$ .

На тіло, розташоване в газі, також діє виштовхувальна сила, але вона значно менша, ніж виштовхувальна сила, що діє на тіло в



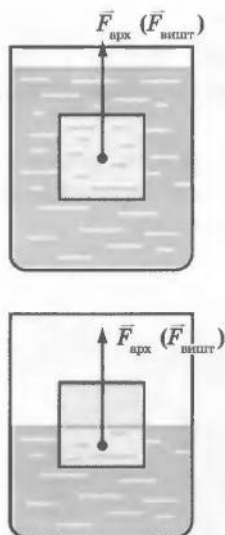
**Рис. 23.1.** На кулю у воді діє сила, напрямлена догори



**Рис. 23.2.** Сили тиску, що діють на бічні грані кубика, зрівноважені ( $F_3 = F_4$ ). А от сила тиску, яка діє на нижню грань, більша, ніж сила, що діє на верхню грань ( $F_2 > F_1$ )



**Рис. 23.3.** Айсберг плаває на поверхні води завдяки дії виштовхувальної (архімедової) сили



**Рис. 23.4.** На тіло, занурене в газ або повністю чи частково занурене в рідину, діє виштовхувальна сила, яку також називають архімедовою силою

рідині, тому що густина газу набагато менша за густину рідини.

Виштовхувальну силу, що діє на тіло в рідині або в газі, називають також *архімедовою силою* (на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше вказав на її існування та обчислив її значення) (рис. 23.3).

## 2 Розраховуємо архімедову силу

Обчислимо значення архімедової сили для кубика, зануреного в рідину (див. рис. 23.2). Оскільки  $F_{\text{арх}} = F_2 - F_1$ , а  $F_2 = \rho g h_2 S$  і  $F_1 = \rho g h_1 S$ , то отримаємо:  $F_{\text{арх}} = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g S (h_2 - h_1)$ .

Різниця глибин ( $h_2 - h_1$ ), на яких перебувають нижня та верхня грані кубика, є висотою  $h$  кубика. Тому  $F_{\text{арх}} = \rho g S h$ . Враховуючи, що добуток площі  $S$  основи кубика на його висоту  $h$  дорівнює об'єму  $V$  кубика ( $Sh = V$ ), остаточно отримуємо  $F_{\text{арх}} = \rho g V$ .

Легко побачити, що  $\rho V$  — це маса рідини в об'ємі кубика. Таким чином,  $F_{\text{арх}} = mg$ , де  $m$  — маса рідини в об'ємі кубика. Тобто *архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі кубика*.

Наші міркування ми проводили для кубика, який був повністю занурений у рідину. Але отриманий результат справджується для тіла будь-якої форми і для випадків, коли тіло занурене в рідину частково, — для розрахунків потрібно брати лише об'єм зануреної в рідину частини об'єму тіла. Крім того, результат справджується і для газів.

А тепер сформулюємо **закон Архімеда**:

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що напрямлена вертикально вгору і дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла:

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}}$$

де  $F_{\text{арх}}$  — архімедова сила;  $\rho$  — густина рідини або газу;  $V_{\text{зан}}$  — об'єм зануреної частини тіла.

Архімедова сила напрямлена вертикально вгору і прикладена до центра зануреної частини тіла (рис. 23.4).

### 3 Підтверджуємо закон Архімеда експериментально

Підтвердимо справедливість наших теоретичних міркувань. Для цього проведемо дослід зі спеціальним пристроєм — «відерком Архімеда». Пристрій складається з пружини зі стрілкою, відерка, тіла, відливної посудини, склянки.

Підвісимо пружину, відерко й тіло до штатива (рис. 23.5, а) і позначимо положення стрілки міткою. Потім у відливну посудину зануримо тіло — воно витіснить деякий об'єм води, яка зіллється в склянку (рис. 23.5, б). Унаслідок дії сили Архімеда пружина стиснеється і стрілка підніметься вище від мітки.

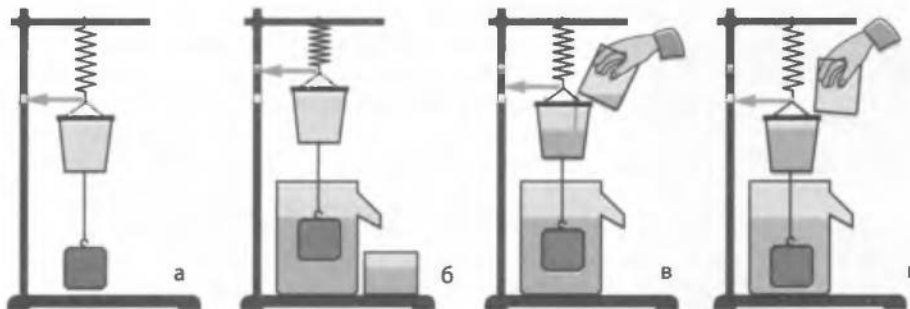
Почнемо переливати воду, витіснену тілом, зі склянки у відерко — пружина поступово буде розпрямлятися (рис. 23.5, в). Коли всю воду буде перелито (рис. 23.5, г), стрілка опуститься вниз і вкаже точно на мітку! Таким чином, вага води, яку витіснило занурене у воду тіло, зрівноважила архімедову силу. Тобто  $P_{\text{рід}} = F_{\text{арх}}$ . Отже, ми підтвердили справедливість закону Архімеда.

### 4 З'ясуємо, що ніякої втрати ваги тіла в рідині немає

Підвісимо до динамометра камінець на нитці. Динамометр показує вагу камінця. Підставимо склянку з водою так, щоб камінець був повністю занурений у воду. Показання динамометра зменшаться. Здається, що камінець «утратив» частину своєї ваги. Але ніякої втрати ваги тіла у рідині не відбувається: вага перерозподіляється між підвісом (ниткою) і опорою (рідиною). Навіть якщо архімедова сила, що діє на тіло, є достатньою, щоб утримати це тіло, і підвіс не буде розтягнутий, то тіло все одно не перебуває в невагомості, адже воно тисне на опору — рідину.

Однак треба зазначити: коли тіло плаває, його вага розподіляється на воду, що оточує всю поверхню тіла. Тому під час плавання у воді нам здається, що ми втратили вагу.

Рис. 23.5. Дослід із «відерком Архімеда» доводить: виштовхувальна сила дорівнює вазі витісненої тілом рідини



Такі комфортні умови підтримування важкого тіла привели до того, що внаслідок еволюції наймасивніші істоти на Землі живуть в океані. У наш час найбільшою твариною є кит, довжина якого може сягати 35 м.

Саме архімедова сила допомагає нам піднімати у воді важкі камені або інші предмети, адже частина ваги цих тіл у воді зрівноважується не силою наших рук, а архімедовою силою.

Однак бувають випадки, коли вода не допомагає підняти тіло, а навпаки — заважає. Це трапляється, коли тіло, наприклад досить великий камінь, лежить на дні й щільно до нього прилягає. Вода не може потрапити під нижню поверхню тіла і своїм тиском допомогти це тіло підняти. Для відриву тіла від дна слід подолати силу тяжіння, яка діє на тіло, а також силу тиску води на верхню поверхню тіла. (До речі, саме з цим ми стикаємося, коли намагаємося витягти пробку з наповненої водою ванни.) Слід зауважити, що зазначене явище може призвести й до трагедії: якщо підводний човен опуститься на глинисте дно і витіснить із-під себе воду, самотужки спливати він не зможе.

## 5 Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Яка архімедова сила діє на суцільний алюмінієвий брусок масою 540 г, якщо він повністю занурений у воду і не торкається дна та стінок посудини?

Дано:

$$m = 540 \text{ г} = 0,54 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$$F_{\text{арх}} = ?$$

*Аналіз фізичної проблеми*

На занурений у воду алюмінієвий брусок діє архімедова сила. Для її обчислення потрібно знати густину води та об'єм бруска. Для обчислення об'єму бруска потрібно знати густину алюмінію та скористатися визначенням густини тіла. Густини води та алюмінію знайдемо в таблиці.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Брусок є повністю зануреним у воду, тому об'єм води, витіснений бруском, дорівнює об'єму бруска  $V_6$ . Обчислимо архімедову силу за допомогою формули

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g V_6 \quad (1).$$

Об'єм бруска знайдемо з визначення густини:

$$\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_6} \Rightarrow V_6 = \frac{m}{\rho_{\text{ал}}} \quad (2).$$

Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g \frac{m}{\rho_{\text{ал}}} = \frac{\rho_{\text{води}} m g}{\rho_{\text{ал}}}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[F_{\text{арх}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{Н}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{F_{\text{арх}}\} = \frac{1000 \cdot 0,54 \cdot 10}{2700} = 2; F_{\text{арх}} = 2 \text{ Н}.$$

*Відповідь:* на алюмінієвий брусок діє архімедова сила 2 Н.

## ! Підбиваємо підсумки

На всі тіла, що перебувають у рідині або газі, діє виштовхувальна сила (архімедова сила). Причина її появи в тому, що гідростатичні тиски рідини або газу, які діють на верхню та нижню поверхні тіла, є різними.

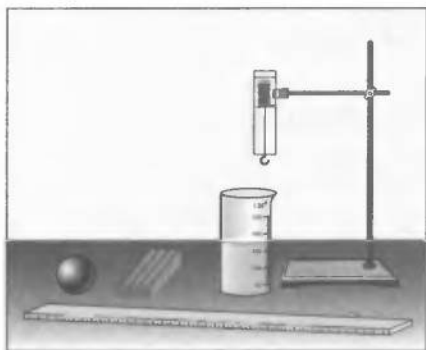
**Закон Архімеда:** на тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, що напрямлена вертикально вгору і дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла:  $F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}}$ .

## ? Контрольні запитання

1. Куди напрямлена сила, яка діє з боку рідини або газу на тіла, що в них занурені?
2. Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
3. Як ще називають виштовхувальну силу?
4. Сформулюйте закон Архімеда.
5. Чи втрачає вагу тіло, занурене в рідину або газ? Чому?
6. У яких випадках на тіло, занурене в рідину, не діє виштовхувальна сила? Чому?

## ✍ Вправа № 23

1. Щоб відірвати підводний човен від глинистого дна, водолази прокопують під ним тунелі. Для чого вони це роблять?
2. Сталева куля об'ємом 400 см<sup>3</sup> занурена в гас. Яка архімедова сила діє на кулю?
3. На кулю, повністю занурену у ртуть, діє архімедова сила 136 Н. Обчисліть об'єм кулі.
4. Алюмінієвий брусок масою 2,7 кг частково занурений у воду. При цьому на брусок діє архімедова сила 2,5 Н. Яка частина бруска є зануреною у воду?
5. Якими будуть показання динамометра, якщо підвішений до нього вантаж масою 1,6 кг та об'ємом 1000 см<sup>3</sup> занурити у воду?
6. Якщо підвішений до динамометра брусок занурюють у воду, то динамометр показує 34 Н, якщо в гас — динамометр показує 38 Н. Обчисліть масу та густину бруска. †
- 7\*. Чи виконуються на штучному супутнику Землі закон Паскаля і закон Архімеда?
- 8\*. На сталевому тросі, жорсткість якого становить 3 МН/м, рівномірно піднімають зі дна водойми затонулу статую об'ємом 0,5 м<sup>3</sup>. Знайдіть масу статуї, якщо видовження тросу дорівнює 3 мм. Опором води знехтувати.



**Тема.** Вимірювання маси тіла методом гідростатичного зважування.

**Мета:** ознайомитися з одним із методів визначення маси тіла; виміряти масу тіла методом гідростатичного зважування.

**Обладнання:** учнівська лінійка, пружина або динамометр із заклеєною папером шкалою, штатив із муфтою та лапкою, вимірювальний циліндр із водою, два тіла, кожне з яких тоне у воді (наприклад, шматок пластиліну, брелок, пластикова куля).



### Теоретичні відомості

Метод гідростатичного зважування зручний тим, що, маючи тільки мензурку, лінійку та пружину, можна досить точно визначити масу тіла.

Якщо досліджуване тіло тоне у воді, то для визначення його маси методом гідростатичного зважування тіло спочатку підвішують у повітрі на пружині й вимірюють подовження пружини (рис. 1). У цьому разі на тіло діють дві сили: сила тяжіння й сила пружності пружини. У ході вимірювання в повітрі дією архімедової сили можна знехтувати. Оскільки при цьому тіло перебуває в спокої, то сили, що діють на нього, є зрівноваженими ( $F_{\text{пруж}} = F_{\text{тяж}}$ ).

Як відомо,  $F_{\text{пруж}} = kx_1$  (де  $x_1$  — подовження пружини), а  $F_{\text{тяж}} = mg$ . Таким чином, дістанемо:  $kx_1 = mg$  (1).

Потім досліджуване тіло занурюють у вимірювальний циліндр із водою (рис. 2). У цьому разі крім сили тяжіння й сили пружності пружини на тіло діє архімедова сила. Оскільки при цьому тіло знову перебуває в спокої, то сили, що діють на тіло, зрівноважені ( $F_{\text{пруж}} + F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$ ).

Як відомо,  $F_{\text{арх}} = \rho gV$ , а  $F_{\text{пруж}} = kx_2$  (де  $x_2$  — подовження пружини). Таким чином, дістанемо:  $kx_2 + \rho gV = mg$ ;  $kx_2 = mg - \rho gV$  (2).

Поділивши рівняння (2) на рівняння (1) і виконавши необхідні перетворення, дістанемо остаточну формулу для визначення маси тіла:

$$m = \frac{\rho V x_1}{x_1 - x_2} \quad (3).$$

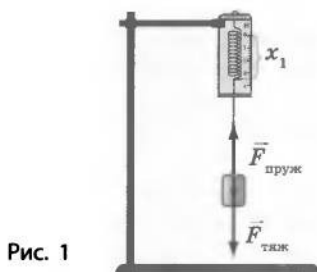


Рис. 1

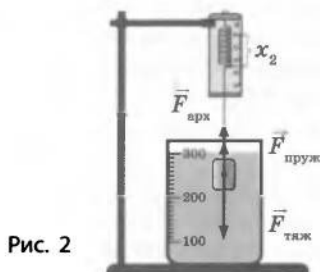


Рис. 2

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

### Підготовка до експерименту

1. Перш ніж почати виконувати роботу, уважно прочитайте теоретичні відомості. Пригадайте, за яких умов виконується закон Гука, якою є причина виникнення сили Архімеда.
2. Зберіть пристрій, як показано на рисунку, поданому на початку роботи.
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
4. Визначте об'єм  $V_1$  води у вимірювальному циліндрі.

### Експеримент

*Результати вимірювань одразу ж заносьте до таблиці.*

1. Позначте горизонтальною рискою положення покажчика динамометра, коли пружина не розтягнута.
2. Підвісьте одне з тіл до пружини динамометра, позначте положення покажчика. Виміряйте лінійкою подовження пружини  $x_1$ .
3. Помістіть під підвішене тіло вимірювальний циліндр із водою. Акуратно пересуваючи муфту штатива, повністю занурте досліджуване тіло у воду. Виміряйте подовження пружини  $x_2$  і рівень води  $V_2$  у вимірювальному циліндрі.
4. Повторіть дослід для іншого тіла.

### Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного тіла:
  - 1) визначте об'єм  $V$  ( $V = V_2 - V_1$ );
  - 2) скориставшись формулою (3), обчисліть масу.
2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Тіло	Об'єм			Подовження пружини		Маса тіла $m$ , кг
	води $V_1$ , см <sup>3</sup>	води і тіла $V_2$ , см <sup>3</sup>	тіла $V$ , см <sup>3</sup>	$x_1$ , м	$x_2$ , м	

### Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте результати. Зробіть висновок, де зазначте, яку фізичну величину і в який спосіб ви сьогодні вимірювали, які ще способи вимірювання цієї фізичної величини ви знаєте, у чому перевага опанованого методу, вимірювання якої величини дає найбільшу похибку результату.

**Творче завдання**  
Обміркуйте і запишіть план проведення експерименту з визначення маси тіла, яке не тоне у воді. Проведіть експеримент.

## § 24. УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

**?!**  У побуті для приготування розчину солі певної густини господарки користуються таким прийомом. Вони занурюють у розчин сире яйце: якщо густина розчину замала, то яйце тоне, якщо достатня — спливає. Так само під час консервації визначають і густину цукрового сиропу. А за яких загальних умов тіло буде плавати в рідині чи газі?

**1** Визначасмо умови плавання тіл

Ми, звісно, можемо навести скільки завгодно прикладів плавання тіл. Плавають судна і човни, дерев'яні іграшки і повітряні кульки, а також риби, дельфіни, інші істоти. А від чого залежить здатність тіла плавати?

Численні досліди свідчать:

1) тіло спливає в рідині або газі, якщо воно має густину меншу, ніж густина рідини або газу ( $\rho_T < \rho_{\text{рід}}$ );

2) тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо його густина дорівнює густині рідини або газу ( $\rho_T = \rho_{\text{рід}}$ );

3) тіло тоне в рідині або газі, якщо воно має густину більшу, ніж густина рідини або газу ( $\rho_T > \rho_{\text{рід}}$ ).

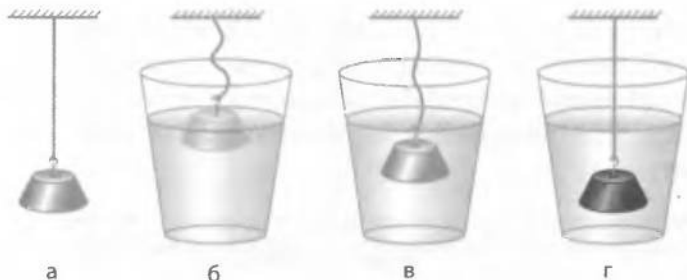
**2** Обґрунтовуємо умови плавання тіл

Спробуємо теоретично обґрунтувати умови плавання тіл.

Підвісимо на нитку тіло (рис. 24.1, а). Якщо тіло перебуває в рівновазі, то сила тяжіння, що на нього діє, зрівноважується силою натягу нитки. Почнемо опускати тіло в рідину. У міру опускання буде зростати архімедова сила, що діє на тіло. Сила натягу нитки зменшуватиметься.

Далі можуть бути такі три варіанти.

Тіло залишиться на поверхні рідини, занурившись у рідину частково; нитка перестане бути натягнутою (рис. 24.1, б). У цьому випадку архімедова сила повністю зрівноважує силу тяжіння:  $F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$ . Розрахуємо ці сили:  $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} V_{\text{зан}} g$ ;  $F_{\text{тяж}} = m_T g = \rho_T V_T g$ . Із рівності цих сил та з того, що об'єм зануреної частини тіла менший, ніж об'єм усього тіла ( $V_{\text{зан}} < V_T$ ), отримуємо  $\rho_T < \rho_{\text{рід}}$ . Якщо перерізати нитку, тіло залишиться плавати на поверхні рідини.



**Рис. 24.1.** Сила тяжіння, що діє на тіло, зрівноважена силою натягу нитки (а); архімедовою силою (б, в); силою натягу нитки та архімедовою силою (г)



Тіло зануриться в рідину повністю; нитка перестане бути натягнутою (рис. 24.1, в). У цьому випадку архімедова сила теж повністю зрівноважує силу тяжіння:  $F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$ . Зрозуміло, що у формулі для розрахунку архімедової сили треба використовувати об'єм не зануреної частини тіла, а всього тіла ( $V_{\text{зан}} = V_{\text{т}}$ ). Із рівності архімедової сили і сили тяжіння отримуємо  $\rho_{\text{рід}} = \rho_{\text{т}}$ . Якщо перерізати нитку, то тіло залишиться плавати в товщі рідини.

Тіло занурюється в рідину повністю; нитка залишається натягнутою (рис. 24.1, г). У цьому випадку сила тяжіння зрівноважується двома силами — силою натягу нитки й архімедовою силою:  $F_{\text{тяж}} = F_{\text{нат}} + F_{\text{арх}}$ . Тому сила тяжіння є більшою за архімедову силу:  $F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}$ . Із формул для розрахунку сили тяжіння ( $F_{\text{тяж}} = \rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g$ ) і архімедової сили, що діє на повністю занурене в рідину тіло ( $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} V_{\text{т}} g$ ), отримуємо  $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$ . Якщо в цьому випадку перерізати нитку, то тіло тонути і зрештою опуститься на дно посудини.

### 3 Спостерігаємо плавання тіл у живій природі

Тіла мешканців морів і річок містять у своєму складі багато води, тому їхня густина близька до густини води. Щоб керувати середньою густиною свого тіла, водні мешканці використовують різні «прийоми». Наведемо приклади.

У риб із плавальним міхуром таке керування відбувається за рахунок зміни об'єму міхура. Молюск наутилус (рис. 24.2), який живе у тропічних морях, може швидко спливати й знову опускатися на дно завдяки тому, що змінює об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі (адже цей молюск живе в закрученій спіраллю раковині).

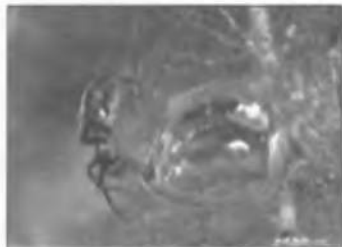
Поширений у Європі водяний павук (рис. 24.3) несе із собою в глибину повітряну оболонку на черевці — саме вона надає йому запасу плавучості й допомагає повернутися на поверхню.

### 4 Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Чи буде плавати у воді мідна куля масою 445 г, усередині якої є порожнина об'ємом 450 см<sup>3</sup>?



**Рис. 24.2.** Молюск наутилус плаває завдяки здатності змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі



**Рис. 24.3.** Повітряна оболонка на черевці дозволяє водяному павуку піднятися з глибини на поверхню

Дано:

$$m_{\text{кулі}} = 445 \text{ г}$$

$$V_{\text{порожни}} = 450 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{міді}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{кулі}} \text{ — ?}$$

### Аналіз фізичної проблеми

Щоб визначити, чи буде плавати куля у воді, потрібно знайти густину кулі та порівняти її з густиною води. Для обчислення густини кулі нам слід знати її об'єм, а він у цьому випадку складається з об'єму мідної оболонки та об'єму порожнини. Задачу доцільно розв'язувати в поданих одиницях.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

Обчислимо густину кулі:  $\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}}$ . (1)

Об'єм кулі  $V_{\text{кулі}} = V_{\text{міді}} + V_{\text{порожни}}$ .

Визначимо об'єм мідної оболонки:  $V_{\text{міді}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}}$ .

Тоді  $V_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожни}}$ . (2)

Підставимо формулу (2) у формулу (1) і отримаємо:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{\frac{m_{\text{кулі}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожни}}}$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[\rho_{\text{кулі}}] = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{\frac{\text{г}}{\text{см}^3} + \text{см}^3} = \frac{\frac{\text{г}}{\text{см}^3}}{\frac{\text{г} \cdot \text{см}^3}{\text{г}} + \text{см}^3} = \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Визначимо значення густини кулі:

$$\{\rho_{\text{кулі}}\} = \frac{445}{\frac{445}{8,9} + 450} = \frac{445}{500} = 0,89; \quad \rho_{\text{кулі}} = 0,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

*Відповідь:* густина кулі менша за густину води, тому куля буде плавати у воді.

### ! Підбиваємо підсумки

Тіло спливає в рідині або газі, якщо його густина менша за густину рідини або газу (якщо  $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$ ).

Тіло плаває в товщі рідини або газу, якщо його густина дорівнює густині рідини або газу (якщо  $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$ ).

Тіло тоне в рідині або газі, якщо його густина більша від густини рідини або газу (якщо  $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$ ).

### ? Контрольні запитання

1. Сформулюйте умову спливання тіла в рідині або газі.
2. За якої умови тіло буде тонути в рідині або газі?
3. Яку умову потрібно виконати, щоб тіло плавало в товщі рідини або газу?

## Вправа № 24

1. Чи буде свинцевий брусок плавати в ртуті? у воді?
2. У посудину налито ртуть, воду та гас (див. рисунок). Рідини не змішуються. У посудину опускають три кульки: сталеву, пінопластову та дубову. Як розташовуються шари рідин у посудині? Визначте за рисунком, де яка кулька. Відповідь поясніть.
3. Чи буде брусок масою 120 г і об'ємом 150 см<sup>3</sup> плавати у воді?
4. Тіло плаває в гасі, повністю занурившись. Якою є маса тіла, якщо його об'єм становить 250 см<sup>3</sup>?



## Експериментальні завдання

1. Дерев'яну лінійку спочатку занурте у високий стакан із чистою водою, а потім у високий стакан із розчином солі. За глибиною занурення лінійки визначте густину розчину солі.
2. Визначте густину сирого яйця за умови, що у вас є склянка з відомим об'ємом води, харчова сіль та чайна ложка, яка вміщує 7 г солі.
3. Зробіть «картезіанського водолаза» — фізичну іграшку, яку придумав Рене Декарт: у пластикову пляшку налейте воду і помістіть туди отвором униз невеличку мензурку (або маленьку склянку з-під ліків), частково заповнену водою (див. рисунок). Води в мензурці має бути стільки, щоб мензурка ледь торкалася поверхні води в пляшці. Закрийте пляшку пробкою і натисніть на бічні стінки пляшки. Прослідкуйте за поведінкою мензурки. Поясніть її.

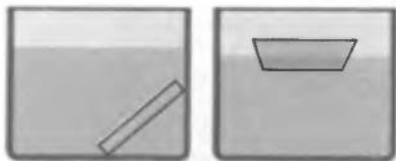


## § 25. СУДНОПЛАВСТВО ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

- ?** Сталь має густину, що більша від густини води, проте сталевий брусок у воді тоне, а сталеві судна плавають. А ще всі ми бачили, як важкі повітряні кулі здійснюються вгору і піднімають гондоли з пасажирами. Чому ж сталеві судна плавають у воді, а повітряні кулі називають апаратами, що легші за повітря? Отримати відповіді на ці запитання вам допоможуть знання про основи судноплавства та повітроплавання.

### **I** З'ясуємо, чому плавають судна

На перший погляд, сталь не є придатною для виготовлення плавучого засобу: густина сталі набагато більша від густини води, тому сталева пластинка у воді тоне. Але якщо з пластинки зробити човник і покласти його на поверхню води, він плаватиме (рис. 25.1). Чому? Справа в тому, що занурена частина човника витісняє води достатньо, щоб архімедова сила зрівноважила силу тяжіння, яка діє на човник. Іншими словами, середня густина човника за раху-



**Рис. 25.1.** Сталева пластинка тоне, а виготовлений з неї човник плаває

нок повітря в його середині стає набагато меншою, ніж густина води. Тому човник плаває на поверхні води, лише трохи занурюючись.

Ця властивість лежить в основі конструкції всіх плавучих суден. Їхня середня густина набагато менша за густину води, і тому вони плавають на її поверхні, занурюючись на відносно невелику частину свого об'єму.

## 2 З'ясовуємо характеристики плавання суден

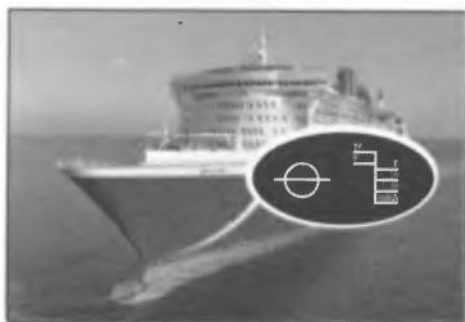
Коли нове судно спускають на воду, воно починає занурюватися в неї. Нижня частина судна починає витісняти воду, унаслідок чого виникає архімедова сила. Коли архімедова сила зрівноважує силу тяжіння, що діє на судно, воно перестає занурюватися. Глибина, на яку занурюється судно, називається *осадкою*.

Осадка судна буде змінюватися залежно від навантаження судна та від того, у річковій чи морській воді воно перебуває. Зрозуміло, що судно не можна перевантажувати. Найбільша осадка, за якої судно може безпечно плавати, зазначена на його корпусі спеціальною лінією — *ватерлінією* (рис. 25.2).

Коли судно повністю навантажене, то воно «сидить» у воді в рівень з ватерлінією. Значення архімедової сили за такої осадки називається *повною водотоннажністю* судна. Найбільші судна — танкери для нафти — мають водотоннажність до 5 млн кН,

тобто їхня маса з вантажем сягає 500 000 т. Якщо з повної водотоннажності виключити вагу самого судна, то ми отримаємо *максимальну вагу вантажу, який може прийняти на борт це судно*, тобто обчислимо *вантажопідйомність судна*.

Україна — морська держава, їй належить понад півтори тисячі кілометрів морського узбережжя. В країні є як морський, так і річковий флот, десятки портів, що мають велике економічне значення: Одеса, Керч, Бердянськ та інші; працюють десятки суднобудівних та судноремонтних заводів (у Миколаєві, Києві, Херсоні, Одесі тощо).



**Рис. 25.2.** Зазвичай корпус судна розфарбований так, що вище від ватерлінії корабель чорний або білий, а нижче — відповідно червоний або чорний. Біля самої ватерлінії обов'язково стоять позначки

### 3 Дізнаємося, як здійснилася мрія людини літати

Люди вже давно використовують повітряні кулі, що здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям або легким газом.

На повітряну кулю в повітрі діє виштовхувальна сила. Через те що *середня густина повітряної кулі менша за густину повітря, виштовхувальна сила більша за силу тяжіння, що діє на кулю. Різниця між виштовхувальною силою і силою тяжіння становить піднімальну силу повітряної кулі.*

Повітряні кулі використовують для метеорологічних та інших досліджень, проведення змагань та перевезення пасажирів, туристичних та пізнавальних подорожей.

Повітряні кулі, наповнені легким газом (переважно гелієм), називають аеростатами. Останнім часом набули поширення повітряні кулі, які наповнені гарячим повітрям,— сучасні монгольф'єри (рис. 25.3). Високу температуру повітря всередині кулі підтримують газові пальники, встановлені в горловині повітряної кулі.

Оскільки густина повітря зменшується з висотою, повітряні кулі не можуть піднятися на яку завгодно висоту. Вони піднімаються тільки до тієї висоти, де густина повітря дорівнює середній густині кулі.



**Рис. 25.3.** Повітряні кулі, які здіймаються завдяки заповненню оболонки гарячим повітрям, і зараз звуться монгольф'єрами

### 4 Учимося розв'язувати задачі

**Задача 1.** У річковому порту судно прийняло на борт 1000 т вантажу, через що осадка судна збільшилася на 0,2 м. Якою є площа перерізу судна на рівні ватерлінії?

Дано:

$$m_{\text{вант}} = 1000 \text{ т} = 10^6 \text{ кг}$$

$$h = 0,2 \text{ м}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$S$  — ?

Аналіз фізичної проблеми

Коли на судно помістили вантаж, воно збільшило осадку і додатково витіснило певний об'єм води.

Пошук математичної моделі, розв'язання

За законом Архімеда  $P_{\text{води}} = P_{\text{вант}}$ . Оскільки в цьому випадку  $P = mg$ , то  $P_{\text{води}} = m_{\text{води}}g$ ;  $P_{\text{вант}} = m_{\text{вант}}g$ . Тобто  $m_{\text{води}} = m_{\text{вант}}$ .

Із визначення густини  $\rho = \frac{m}{V}$  отримаємо об'єм додатково витісненої води:

$$V_{\text{води}} = \frac{m_{\text{води}}}{\rho_{\text{води}}} \Rightarrow V_{\text{води}} = \frac{m_{\text{вайт}}}{\rho_{\text{води}}}. \quad (1)$$

Площу перерізу  $S$  можна обчислити через формулу об'єму шару води:

$$V_{\text{води}} = hS \Rightarrow S = \frac{V_{\text{води}}}{h}. \quad (2)$$

Підставимо формулу (2) у формулу (1):

$$S = \frac{m_{\text{вайт}}}{\rho_{\text{води}} h}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[S] = \frac{\text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}} = \frac{\text{кг} \cdot \text{м}^2}{\text{кг}} = \text{м}^2.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{S\} = \frac{10^6}{1000 \cdot 0,2} = 50; \quad S = 50 \text{ м}^2.$$

*Відповідь:* площа перерізу судна на рівні ватерлінії дорівнює  $50 \text{ м}^2$ .

**Задача 2.** Повітряна куля на висоті 3 км припинила підніматися. Якою є густина повітря на цій висоті, якщо об'єм кулі становить  $600 \text{ м}^3$ , а маса оболонки кулі, газу всередині та гондоли разом дорівнює  $540 \text{ кг}$ ?

*Дано:*

$$V_{\text{кулі}} = 600 \text{ м}^3$$

$$m_{\text{кулі}} = 540 \text{ кг}$$

$\rho_{\text{повітря}} = ?$

*Аналіз фізичної проблеми*

Якщо повітряна куля припинила підніматися, то це означає, що густина кулі зрівнялася з густиною навколишнього повітря.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

$$\left. \begin{aligned} \rho_{\text{кулі}} &= \rho_{\text{повітря}} \\ \rho_{\text{кулі}} &= \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}} \end{aligned} \right\} \Rightarrow \rho_{\text{повітря}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}}.$$

Перевіримо одиницю:  $[\rho_{\text{повітря}}] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{\rho_{\text{повітря}}\} = \frac{540}{600} = 0,9; \quad \rho_{\text{повітря}} = 0,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

*Відповідь:* густина повітря на висоті 3 км становить  $0,9 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

- ?** **Контрольні запитання**
1. Що можна сказати про середню густину судна?
  2. Що таке осадка судна і якою лінією вона позначається на корпусі судна?
  3. Що таке повна водотоннажність? вантажопідйомність?
  4. Як змінюється осадка судна у разі зміни вантажу та густини води, у якій перебуває судно (наприклад, унаслідок переходу з моря в річку)?
  5. Що таке піднімальна сила повітряної кулі?
  6. Чим обмежена максимальна висота підняття повітряної кулі?

**✍** **Вправа № 25**

1. Чи буде змінюватися виштовхувальна сила, яка діє на судно, коли воно переходить із річки в море? Чи зміниться осадка судна?
2. Який максимальний вантаж можна перевезти на плоту, якщо маса плота дорівнює 100 кг, а об'єм становить 1 м<sup>3</sup>?
3. Повітряна кулька масою 100 г натягує нитку, на якій утримується, із силою 1 Н. Обчисліть архімедову силу, що діє на кульку.
4. Занурене в прісну воду судно витісняє воду об'ємом 15 000 м<sup>3</sup>. Чому дорівнює вага вантажу, якщо вага порожнього судна становить 5 000 000 Н?
5. Судно в річці витісняє воду об'ємом 20 000 м<sup>3</sup>. На скільки зміниться об'єм води, що витісняє судно, внаслідок переходу судна з річки до моря?
6. Об'єм оболонки повітряної кулі дорівнює 400 м<sup>3</sup>. Куля натягує трос, яким прикріплена до причальної щогли, із силою 800 Н. Після звільнення троса куля піднімається до деякої висоти. Якою є густина повітря на цій висоті?
- 7\*. Густина повітря поблизу поверхні Землі дорівнює 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Якою має бути густина теплого повітря всередині повітряної кулі, щоб куля здійнялася? Об'єм кулі становить 500 м<sup>3</sup>, маса оболонки й вантажу дорівнює 150 кг.

- ?** **Експериментальне завдання**
- Виготуйте з пластикової пляшки човник і запустіть його в плавання у ванні. За допомогою солі та чайної ложки визначте вантажопідйомність вашого човна.



**ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ**

**Миколаївське державне підприємство «Суднобудівний завод імені 61 комунара»** — одне з найпотужніших суднобудівних об'єднань України. Підприємство має можливість будувати та ремонтувати військові та цивільні кораблі.

Вражають розміри підприємства: його виробничі потужності розташовані в більш ніж 450 промислових будівлях. Будівництво корпусів суден

виконується на трьох стапельних місцях, конструкція та обладнання яких дозволяє водночас із будівництвом корпусу виконувати монтаж механізмів. Стапельні місця дозволяють будувати корпуси суден масою до 20 000 тонн (!).

Серед продукції заводу останніх років можна назвати рефрижераторні судна, військові корвети, швидкісні патрульні катери.

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 2 «ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ»

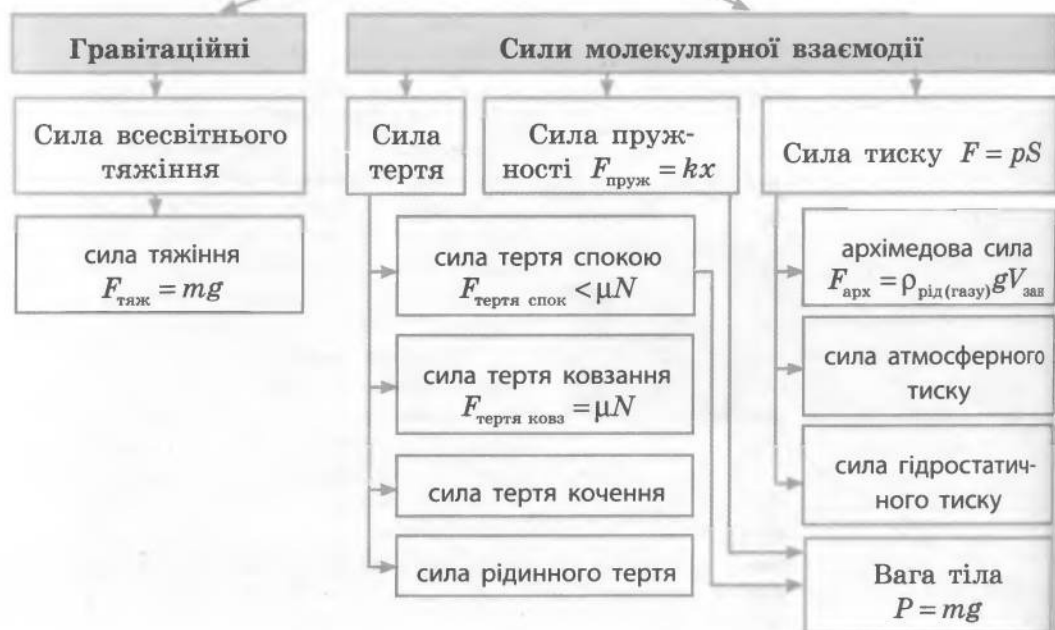
1. Вивчаючи цей розділ, ви дізналися про причини зміни швидкості руху тіл та причини зміни форми й об'єму тіл.

### ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ, ВИНИКНЕННЯ СИЛ



2. Ви ознайомилися з різними силами.

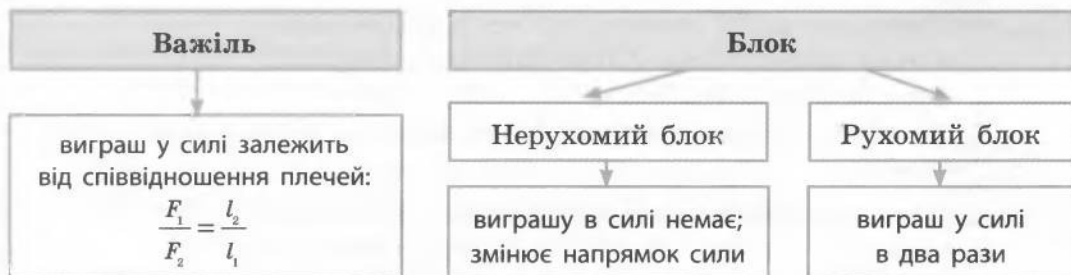
### СИЛИ



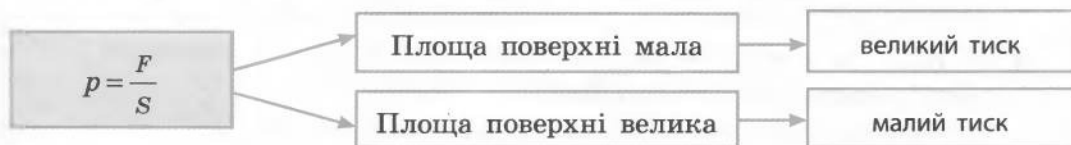


3. Ви з'ясували, що тіло перебуває в стані рівноваги, якщо:
- рівнодійна всіх сил, що діють на тіло, дорівнює нулю:  $R = 0$ ;
  - сума моментів сил, що діють на тіло, дорівнює нулю:  
 $M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$ .

4. Ви навчилися використовувати прості механізми — важіль та блок.



5. Ви пригадали, що результат дії одного тіла на інше залежить не тільки від сили, але й від площі стичних поверхонь.



6. Ви дізналися про тиск рідин та газів, ознайомилися із законами Паскаля та Архімеда, довели наявність атмосферного тиску.

### ТИСК РІДИН ТА ГАЗІВ



## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 2 «ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ»

Частина 1. Взаємодія тіл. Сили. Види сил. Важіль. Блок

*Завдання 1—9 містять тільки одну правильну відповідь.*

- (1 бал) Що відбувається з тілом, якщо на нього не діють інші тіла?

  - Тіло рухається зі швидкістю, яка збільшується;
  - тіло рухається зі швидкістю, яка зменшується;
  - тіло може перебувати тільки в стані спокою;
  - тіло або рухається прямолінійно рівномірно, або перебуває в стані спокою.
- (1 бал) Деформація тіла є причиною виникнення сили:

  - тяжіння;
  - пружності;
  - тертя ковзання;
  - тертя спокою.
- (1 бал) Взаємодія Землі й літака, що летить, характеризується силою:

  - пружності;
  - тертя ковзання;
  - тертя спокою;
  - тяжіння.
- (1 бал) Вага тіла — це:

  - сила притягання тіла до Землі;
  - сила пружності, що виникає в разі деформації тіла;
  - сила, з якою тіло діє на опору або розтягує підвіс;
  - сила тертя, що виникає під час ковзання одного тіла по поверхні іншого.
- (1 бал) Нерухомий блок:

  - дає виграш у силі в 2 рази;
  - не дає виграшу в силі;
  - дає виграш у силі в 4 рази;
  - дає виграш у відстані.
- (2 бали) З якою силою Земля притягує учня масою 40 кг?

  - 4 Н;
  - 8 Н;
  - 40 Н;
  - 400 Н.
- (2 бали) Щоб розтягти недеформовану пружину на 5 см, треба прикласти силу 15 Н. На скільки розтяглася б ця пружина, якби до неї була прикладена сила 3 Н?

  - На 1 см;
  - 3 см;
  - 9 см;
  - 10 см.
- (2 бали) Суцільна чавунна кулька підвішена до динамометра (див. рис. 1). Яким є об'єм кульки?

  - 350 см<sup>3</sup>;
  - 70 см<sup>3</sup>;
  - 50 см<sup>3</sup>;
  - 35 см<sup>3</sup>.

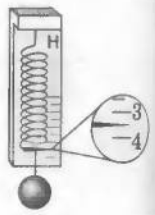


Рис. 1

9. (2 бали) Сталева балка масою 800 кг лежить, спираючись на дві опори. З якою силою балка тисне на другу опору, якщо на першу вона тисне із силою 2800 Н?  
 а) 2000 Н;                      в) 2800 Н;  
 б) 1200 Н;                      г) 5200 Н.
10. (3 бали) На рис. 2 зображені сили, що діють на книжку, яку рівномірно тягнуть за допомогою динамометра по столу в горизонтальному напрямку. Назвіть ці сили. Порівняйте їх.
11. (3 бали) На підлозі лежить цеглина масою 8 кг. На неї кладуть ще таку саму (рис. 3). Виконайте схематичний рисунок у зошиті і зобразіть сили, що діють на нижню цеглину. Масштаб: 1 см — 40 Н.
12. (3 бали) Відро об'ємом 12 л наповнили водою на одну третину. На скільки змінилася сила, з якою відро тисне на підлогу?
13. (3 бали) Довжина нерозтягнутої пружини дорівнює 10 см. Щоб збільшити її довжину до 16 см, треба прикласти силу 3 Н. Якою є жорсткість пружини?
14. (3 бали) Яка маса саней, якщо для рівномірного руху по горизонтальній дорозі до них треба прикладати горизонтальну силу 500 Н? Коефіцієнт тертя між санями та дорогою дорівнює 0,2.
15. (4 бали) Загальна маса двох вантажів на рис. 4 дорівнює 25 кг. Якою є маса кожного вантажу, якщо важіль перебуває в рівновазі?
16. (4 бали) Яку силу треба прикласти до вільного кінця шнура (рис. 5), щоб рівномірно піднімати вантаж масою 12 кг? На яку висоту підніметься вантаж, якщо точка А переміститься на 20 см?

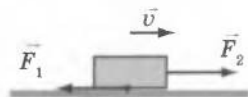


Рис. 2



Рис. 3

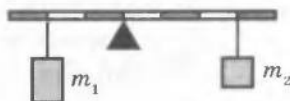


Рис. 4

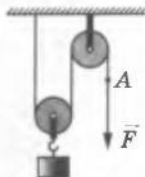


Рис. 5

*Зверте ваші відповіді з наведеними в кінці підручника. Позначте запитання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на три. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.*

*Завдання 1—11 містять тільки одну правильну відповідь.*

1. (1 бал) За якою формулою можна обчислити тиск рідини на дно посудини?

а)  $P = gt$ ;                      б)  $F = pS$ ;                      в)  $\rho = \frac{m}{V}$ ;                      г)  $p = g\rho h$ .
2. (1 бал) Тиск води в посудині:

а) однаковий у всіх точках;  
б) зростає зі збільшенням глибини;  
в) зменшується зі збільшенням глибини;  
г) різний у точках, які лежать на одному рівні.
3. (1 бал) За допомогою ручного насоса хлопчик накачав шини велосипеда. Тиск повітря в шинах зріс унаслідок:

а) збільшення об'єму шин;  
б) збільшення маси повітря в шинах;  
в) зменшення густини повітря в шинах;  
г) зменшення швидкості молекул повітря всередині шин.
4. (1 бал) Тиск тіла на опору тим більший, чим:

а) більша вага тіла й більша площа опори;  
б) більша вага тіла й менша площа опори;  
в) менша вага тіла й менша площа опори;  
г) менша вага тіла й більша площа опори.
5. (1 бал) Заміна коліс на гусениці дозволяє значно підвищити прохідність трактора. Це відбувається внаслідок:

а) збільшення потужності двигуна трактора;  
б) збільшення маси трактора;  
в) зменшення тиску трактора на ґрунт;  
г) збільшення максимальної швидкості трактора.
6. (1 бал) Для вимірювання атмосферного тиску використовують:

а) барометр-анероїд;                      в) динамометр;  
б) рідинний манометр;                      г) термометр.
7. (1 бал) За якої умови тіло плаває на поверхні рідини?

а) Якщо густина тіла менша за густину рідини;  
б) густина тіла більша від густини рідини;  
в) густина тіла дорівнює густині рідини;  
г) архімедова сила менша за силу ваги.
8. (2 бали) Якою є висота шару гасу в бідоні, якщо його тиск на дно бідона дорівнює 800 Па?

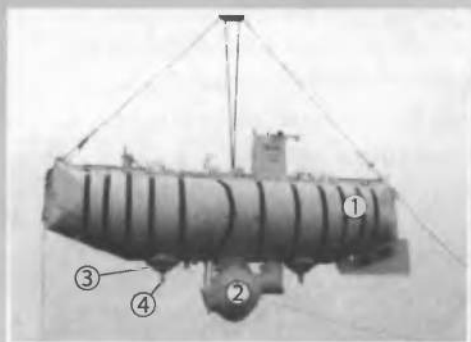
а) 1 мм;                      б) 1 см;                      в) 1 дм;                      г) 1 м.



## Навіщо нирцю повітряна куля

Як відомо, свого часу повітряна куля була сконструйована для польотів людини «за хмарами». Сьогодні завдяки розвитку техніки повітряні кулі й дирижаблі використовують не як транспортні засоби, а переважно для розваг. Реалізація ж самої ідеї в іншій галузі техніки дозволила створити *батискафи* — апарати для глибоководних досліджень. Найвідомішим з них став «Трієст», який у січні 1960 р. дістався найглибшої точки у Світовому океані — Маріанської западини.

Спробуємо уявити хід міркувань конструкторів батискафа. Якщо помістити повітряну кулю на поверхню моря й навантажити її надлишковим баластом, так щоб вся конструкція виявилася важчою за воду, то природно, що куля почне опускатися і через деякий час дістанеться дна. Якщо після цього скинути баласт, то куля спливе на поверхню. Проте це загальна ідея, а як її реалізувати на практиці? Інженерні рішення, використані у «Трієсті», зрозумілі з наведених фото.



Батискаф «Трієст»

Основний елемент конструкції батискафа — «повітряна куля» (1). Проте повітрям наповнювати таку кулю не слід, адже тиск на великій глибині її просто розчавить. Конструктори запропонували наповнити кулю бензином: по-перше, бензин легший за воду й не гірше від повітря забезпечить спливання апарата, по-друге, стінки кулі в такому випадку можна зробити досить тонкими, а отже, легкими, оскільки від деформування їх буде захищати нестисливість внутрішньої рідини. Гондола з товстими стінками (завтовшки 127 мм) (2) є надійним притулком для екіпажу з двох осіб. Баласт (залізний дріб) засипаний у ємності, які схожі на перевернені бідони з кришками (3) і закриваються електромагнітними замками (4).

Таке технічне вирішення забезпечує надійний захист дослідника й пілота у разі аварії. Живлення батискафа здійснюється від акумуляторів, які мають обмежений ресурс. Це означає, що через деякий час після аварії (наприклад, батискаф застряг на дні) акумулятори розрядяться й припинять постачати струм до електромагнітних замків. У результаті кришки відкриються, баласт упаде на дно, а батискаф спливе на поверхню. На щастя, цей запобіжний прийом так і не став у пригоді.

З моменту рекордного занурення «Трієста» пройшло майже півстоліття. За цей строк людство здійснило справжній прорив у багатьох галузях техніки, але конструкція «Трієста» залишилася неперевершеною.

## Польоти на потязі, або Що таке маглев

Якщо чоловікові не вистачає сил переставити важку шафу, то він може прийняти стандартне рішення — збільшити силу, тобто запросити на допомогу сусіда.

А може згадати, що шафа погано рухається через велику силу тертя, і, покликавши сумлінного учня 8-го класу, разом з ним вигадати, як зменшити цю силу. У результаті вони, наприклад, можуть підкласти під кути (опори) шафи пластикові кришки, якими зазвичай закривають банки для консервування. Сила тертя зменшиться, і тепер зусиль однієї людини буде достатньо, щоб переставити шафу. Проте це приклад побутового рівня. А як розв'язують подібні завдання у разі створення складних технічних пристроїв?



Маглев-потяг у Шанхаї (Китай)

Щоб зменшити силу тертя, інженери зазвичай використовують різні мастила — речовини, які забезпечують більш легке ковзання дотичних поверхонь. А ще силу тертя ковзання можна зменшити, використавши відповідні стичні матеріали (згадайте приклад із шафою). Проте хоч як полегшуй ковзання, поверхні будуть стикатися й тертя залишиться. От якби та шафа могла літати над землею... тоді й першокласник зміг би її пересунути! І було придумано ось що.

Інженери, які винайшли *маглев* (скорочене від англ. *magnetic levitation* — «магнітна левітація»), напевне уважно вивчали фізику. Спробуємо переконатися.

Згадаємо: якщо взяти два магніти й зблизити їх однойменні полюси, магніти будуть відштовхуватися. А тепер проведемо уявний експеримент. Що буде, якщо потужний магніт розмістити, наприклад, на підставці, а зверху до нього однойменним полюсом піднести невеликий магніт? Якщо другий магніт буде досить легким, таким щоб сила магнітного відштовхування зрівноважила силу притягання Землі, то він має летати в повітрі!

Пристрої, які використовують описаний вище ефект, одержали загальну назву «маглев». Найбільш вражаючими, мабуть, є маглев-потяги. Під час руху такі потяги не торкаються колії — вони утримуються над нею потужними магнітами. Таким чином, тертя об опору є відсутнім, і перешкоджає руху маглев-потягів тільки опір повітря (як і літакам!). Саме тому швидкість руху маглев-потяга можна порівняти зі швидкістю руху літака (до 500 км/год).

## § 26. МЕХАНІЧНА РОБОТА. ОДИНИЦІ РОБОТИ

**?!** На перший погляд, навести приклади ситуацій, коли виконується робота, дуже просто. Роботу виконують верстати і машини, механізми й пристрої, будівельник, складаючи цеглини, програміст, сидючи за комп'ютером. А чи виконує роботу учень, який нерухомо тримає в руках важкий портфель? розв'яже задачу? І взагалі, що мають на увазі фізики, коли говорять про роботу?

### **1** Визначаємо фізичний зміст роботи

У повсякденному житті словом «робота» ми називаємо корисну дію людини або якогось пристрою. Наприклад, ми кажемо: тесляр за роботою, робота телевізора. У фізиці ж термін «робота» має більш строго визначений зміст.



**Рис. 26.1.** Буксир діє на баржу і переміщує її. Груз також діє на баржу, але під його дією баржа не переміщується

Розглянемо сили, які діють на певне тіло. Так, на рис. 26.1 буксир тягне баржу і діє на неї з певною силою — силою тяги ( $F_{\text{тяги}}$ ). Груз, розташований на баржі, тисне на неї із силою тиску ( $F_{\text{тиску}}$ ).

Фізики у таких випадках говорять, що сила тяги виконує механічну роботу, тому що баржа рухається в напрямку сили тяги, а сила тиску механічної роботи не виконує, тому що баржа в напрямку сили тиску (тобто вниз) не рухається.

Чим більший шлях пройде баржа під дією сили тяги, тим більша механічна робота буде виконана цією силою. Механічна робота збільшиться і в разі зростання сили тяги: це станеться, якщо, наприклад, на баржу покласти додатковий вантаж або змусити буксир з баржею рухатися з більшою швидкістю. Узагалі механічна робота, яку виконує певна сила, залежить від значення сили та шляху, який тіло пройде під дією цієї сили.



**Механічна робота** — це фізична величина, яка дорівнює добутку сили на шлях, що пройдений тілом у напрямку цієї сили.

Механічну роботу позначають символом  $A$  та обчислюють за формулою

$$A = Fl,$$

де  $F$  — сила, яка діє на тіло;  $l$  — шлях, який пройшло тіло в напрямку цієї сили.

Одиниця роботи в СІ — **джоуль** (Дж). Вона отримала назву на честь англійського вченого Дж. Джоуля (рис. 26.2).

1 Дж — це механічна робота, яку виконує сила 1 Н під час переміщення тіла на 1 м у напрямку сили, тобто  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot 1 \text{ м}$ .

## 2 З'ясовуємо, яких значень може набувати механічна робота

Ви знаєте, що сила має напрямок. Робота сили, що діє на тіло, не має напрямку, але вона може бути додатною, від'ємною або дорівнювати нулю — залежно від того, куди напрямлена сила відносно напрямку руху самого тіла.

Якщо напрямок сили збігається з напрямком руху тіла (сила «прискорює» рух тіла), то механічну роботу цієї сили вважають **додатною** (рис. 26.3, а).

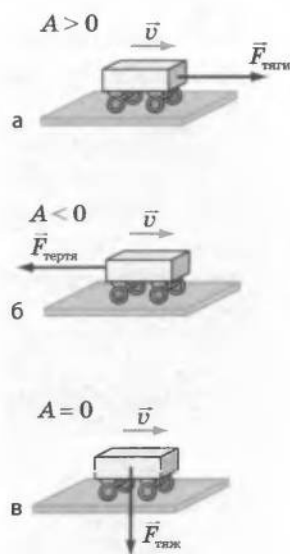
Якщо напрямок сили протилежний напрямку руху тіла (сила «гальмує» рух тіла), то механічну роботу сили вважають **від'ємною** (рис. 26.3, б).

Якщо напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла, то така сила механічної роботи не виконує, тобто **дорівнює нулю** (рис. 26.3, в).

Наприклад, автомобіль рухається прямолінійною ділянкою дороги. На нього діють сила тяжіння, сила реакції опори, сила тяги двигунів, сила опору руху. Сила тяги виконує додатну роботу, сила опору — від'ємну; робота сили тяжіння та робота сили реакції опори дорівнюють нулю.



**Рис. 26.2.** Джеймс Прескотт Джоуль (1818–1889), відомий англійський фізик, експериментально довів закон збереження енергії, визначив механічний еквівалент тепла



**Рис. 26.3.** Залежно від напрямку сили та напрямку руху тіла, до якого ця сила прикладена, механічна робота може бути додатною (а); від'ємною (б); дорівнювати нулю (в)

### 3 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Під дією сили 10 Н брусок ковзає по столу зі сталою швидкістю 5 см/с. Яку роботу виконає ця сила за 20 с?

Дано:

$$F = 10 \text{ Н}$$

$$v = 5 \frac{\text{см}}{\text{с}} = 0,05 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$t = 20 \text{ с}$$

$A = ?$

*Аналіз фізичної проблеми*

Щоб обчислити роботу, яку виконає сила з переміщення бруска, потрібно знайти шлях, що його подолав брусок.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

За означенням  $A = Fl$ .

Оскільки  $l = vt$ , то остаточно отримаємо:

$$A = Fvt.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[A] = \text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot \text{с} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{Дж}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{A\} = 10 \cdot 0,05 \cdot 20 = 10; \quad A = 10 \text{ Дж}.$$

*Відповідь:* сила виконає роботу 10 Дж.

### ! Підбиваємо підсумки

Механічною роботою називають фізичну величину, яка дорівнює добутку сили на шлях, що пройдений тілом у напрямку цієї сили.

Механічна робота обчислюється за формулою  $A = Fl$ .

Одиниця роботи в СІ — джоуль (Дж); 1 Дж = 1 Н · 1 м.

Залежно від напрямку дії сили та напрямку руху тіла механічна робота може мати додатне значення, від'ємне значення або дорівнювати нулю.

### ? Контрольні запитання

1. Що ми розуміємо під словом «робота» в повсякденному житті?
2. Що таке механічна робота з точки зору фізики?
3. Які умови необхідні для виконання механічної роботи?
4. Як залежить значення механічної роботи від сили та шляху, який пройшло тіло під дією цієї сили?
5. Назвіть одиниці роботи в СІ.
6. На честь якого вченого отримала свою назву одиниця роботи?
7. Що таке джоуль?
8. У яких випадках механічна робота має додатне значення? від'ємне значення? дорівнює нулю?



### Вправа № 26

1. Вантаж нерухомо висить на пружині. Чи виконує роботу сила пружності, що діє на нього? сила тяжіння?
2. Чи виконує роботу сила тяжіння, що діє на баскетбольний м'яч, який:  
а) лежить на землі; б) котиться підлогою спортивної зали; в) летить угору; г) падає? Якщо виконує, то яку — додатну чи від'ємну?
3. Наведіть приклади ситуацій, коли сила, що діє на тіло, виконує додатну роботу; від'ємну роботу; не виконує роботи.

4. Супутник рухається навколо Землі коловою орбітою. Чи виконує роботу сила тяжіння, що діє на супутник?
- 5\*. Наведіть приклади ситуацій, коли сила тертя спокою виконує роботу.
6. Поверхнею стола протягли зі сталою швидкістю вантаж, прикладаючи горизонтальну силу 50 Н. При цьому було виконано роботу 150 Дж. Який шлях подолав вантаж?
7. Камінь масою 4 кг падає з висоти 5 м. Яка сила виконує додатну роботу під час падіння каменя? Чому дорівнює ця робота?
8. Хлопчик веде велосипед, прикладаючи горизонтальну силу 40 Н. При цьому велосипед рухається рівномірно. Знайдіть швидкість руху велосипеда, якщо за 5 хв хлопчик виконав роботу 12 кДж.
9. Під дією сили тиску газу поршень у циліндрі рівномірно пересунувся на 4 см (див. рисунок). Яку роботу виконано силою тиску? Тиск газу в циліндрі є сталим і дорівнює 0,6 МПа, площа поршня становить 0,005 м<sup>2</sup>.
10. Яку роботу треба виконати, щоб підняти з дна на поверхню озера камінь масою 15 кг? Глибина озера становить 2 м, середня густина каменя — 3000 кг/м<sup>3</sup>. Опором води знехтувати.



### Експериментальне завдання

Визначте роботу, яку ви виконуєте, піднімаючи з підлоги на стілець відро, наповнене водою. Яку роботу при цьому виконує сила тяжіння, що діє на відро?



### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

**Сергій Павлович Корольов** (1907–1966) — всесвітньо відомий вчений і конструктор, творець стратегічної космічної зброї середньої та міжконтинентальної дальності в Радянському Союзі, засновник практичної космонавтики.

Саме за допомогою ракет, що були створені під керівництвом С. П. Корольова, у 1957 р. був запущений перший штучний супутник Землі; вдалося сфотографувати зворотний бік Місяця; у 1961 р. здійснив політ у космос перший космонавт нашої планети Юрій Олександрович Гагарін.

На створених Корольовим космічних кораблях «Восток» відбувся перший політ жінки у космос, уперше був здійснений вихід людини у відкритий космос.

Багато ідей ученого було реалізовано вже після його смерті. Так, технічні рішення, що були втілені в космічному кораблі «Союз», заклали підвалини для створення орбітальних станцій.

За наукові заслуги у 1958 р. С. П. Корольов був обраний дійсним членом Академії наук СРСР, йому двічі було присвоєно звання Героя Соціалістичної праці.

На честь С. П. Корольова названо вулиці в багатьох містах колишнього Радянського Союзу, зокрема в Києві, Москві. Ім'я видатного вченого було присвоєно двом науково-дослідним суднам, високогірному піку на Памірі, перевалу на Тянь-Шані.

З Україною були тісно пов'язані молоді роки Сергія Павловича Корольова. Він народився в Житомирі, навчався в Київському політехнічному інституті, свої перші розробки літальних апаратів — планерів — випробував у Криму, поблизу Коктебеля.

## § 27. ПОТУЖНІСТЬ

?! Відправною точкою розвитку людської цивілізації, можливо, став час, коли людина почала виготовляти прості знаряддя та зброю, будувати примітивне житло, орати землю. Спочатку вона використовувала для виконання роботи тільки м'язову силу своїх рук, потім силу свійських тварин: коней, волів, ослів, верблюдів. Це дозволило за менший час виконувати ту саму роботу. Але справжній прорив стався завдяки використанню машин та механізмів: автомобілів, суден, потягів, кранів, екскаваторів тощо. Сучасні машини можуть виконувати роботу в тисячі разів швидше за людину. Яка ж характеристика машин є показником їхньої ефективності?

### 1 Знайомимося з потужністю

Різним виконавцям для здійснення тієї самої роботи потрібен різний час. Так, якщо екскаватор і грабар одночасно розпочнуть копати траншеї (рис. 27.1), то зрозуміло, що екскаватор виконає роботу значно швидше, ніж грабар. Так само кран швидше перенесе потрібну кількість цеглин, ніж вантажник (рис. 27.2). Швидкість виконання роботи у фізиці характеризують *потужністю*.

**Потужність** — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і чисельно дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано.

Потужність позначається символом  $N$  і обчислюється за формулою

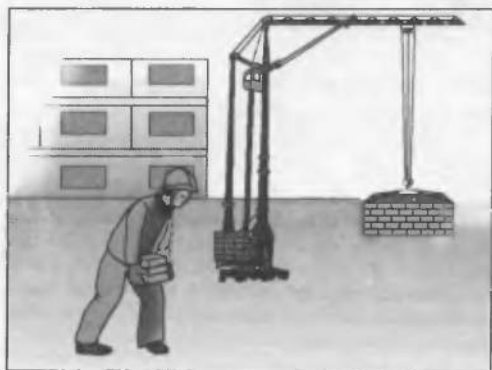
$$N = \frac{A}{t},$$

де  $A$  — робота;  $t$  — час, за який цю роботу було виконано.

**Рис. 27.1.** Екскаватор виконає роботу з викопування траншеї значно швидше, ніж грабар



**Рис. 27.2.** Будівельний кран перенесе за один раз стільки цеглин, скільки вантажник носить протягом декількох годин



Одиниця потужності в СІ — **ват** (Вт)\*. Вона одержала свою назву на честь британського вченого Дж. Ватта (рис. 27.3).

1 ват — це така потужність, за якої протягом 1 с виконується робота 1 Дж, тобто

$$1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{1 \text{ с}}.$$

З означення потужності випливає, що потужність чисельно дорівнює роботі, яку виконано за одну секунду. Отже, під час виконання механічної роботи більшу потужність розвиває те тіло, яке за той самий час виконує більшу роботу.

У таблиці наведено потужність двигунів деяких технічних засобів:

Технічний засіб	Потужність	
	кВт	к. с.
Двигуни CD-RW, CD-ROM	0,01–0,02	—
Пральні машини	0,15–0,90	—
Пилососи	1,3–2,0	—
Моторолери (скутери)	3,0–7,5	4,1–10,0
Мотоцикли	11–74	15–100
Легкові автомобілі	37–150	50–200
Трактори	45–260	62–350
Вантажні автомобілі	35–515	50–700
Гелікоптери	425–7350	575–10 000
Літак АН-140 (1 двигун)	1850	2500
Літак АН-225 «Мрія» (1 двигун)	52 000	70 000
Ракета-носій «Протон»	$\approx 4,4 \cdot 10^7$	$\approx 5,9 \cdot 10^7$
Ракета-носій «Енергія»	$\approx 1,25 \cdot 10^8$	$\approx 1,7 \cdot 10^8$



Рис. 27.3. Джеймс Ватт (1736–1819), британський винахідник-механік, творець універсальної парової машини

## 2 Учимося розв'язувати задачі

**Задача 1.** Людина рівномірно піднімає відро з водою на висоту 20 м за 20 с. Яку потужність розвиває людина, якщо маса відра з водою дорівнює 10 кг?

\* Позасистемна одиниця потужності, яка також використовується в техніці, — кінська сила: 1 к. с.  $\approx 735,5$  Вт.

Дано:  
 $h = 20$  м  
 $t = 20$  с  
 $m = 10$  кг  
 $g = 10$  Н/кг  
 $N$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Для обчислення потужності треба розрахувати роботу, яку виконала людина, піднімаючи відро на певну висоту. Для цього слід знайти силу, з якою людина діє на відро. На відро діють дві сили: сила тяжіння  $F_{\text{тяж}}$  та сила  $F$ , з якою на відро діє людина. Відро рухається рівномірно, тому ці сили скомпенсовані. Тобто  $F_{\text{тяж}} = F$ .

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

За означенням потужності  $N = \frac{A}{t}$  (1); робота, яку виконала людина  $A = Fl$ . Оскільки  $F = F_{\text{тяж}} = mg$ , а  $l = h$ , то робота людини  $A = mgh$  (2). Підставивши формулу (2) у формулу (1), остаточно отримуємо:  $N = \frac{mgh}{t}$ .

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[N] = \frac{\frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м}}{\text{с}}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{N\} = \frac{10 \cdot 10 \cdot 20}{20} = 100; \quad N = 100 \text{ Вт}.$$

*Відповідь:* людина розвиває потужність 100 Вт.

**Задача 2.** Трактор тягне плуг зі сталою швидкістю 5,4 км/год, прикладаючи до нього силу 50 кН. Яку потужність розвиває двигун трактора?

Дано:  
 $v = 5,4$  км/год =  
 $= 1,5$  м/с  
 $F = 50$  кН =  
 $= 5 \cdot 10^4$  Н  
 $N$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Для обчислення потужності, яку розвиває двигун трактора, потрібно роботу, що виконує трактор за певний час, поділити на час, необхідний для виконання роботи. У свою чергу, робота може бути обчислена через силу, яку трактор прикладає до плуга, і шлях, який він пройде за певний час.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

За означенням, потужність  $N = \frac{A}{t}$ . У свою чергу,  $A = Fl$ . Оскільки рух трактора рівномірний, то  $l = vt$ .

$$\text{Тоді } N = \frac{Fl}{t} = \frac{Fvt}{t} = Fv.*$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[N] = \text{Н} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{с}} = \frac{\text{Дж}}{\text{с}} = \text{Вт}.$$

\* Зверніть увагу: потужність можна обчислити не тільки за формулою

$$N = \frac{A}{t}, \text{ а й за формулою } N = Fv.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{N\} = 5 \cdot 10^4 \cdot 1,5 = 7,5 \cdot 10^4; N = 7,5 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 75 \text{ кВт}.$$

Проаналізуємо результат: за таблицею потужність тракторів становить 45–260 кВт, тобто отриманий результат є цілком правдоподібним.

*Відповідь:* двигун трактора розвиває потужність 75 кВт.

### **!** Підбиваємо підсумки

Потужність — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи і чисельно дорівнює відношенню виконаної роботи до часу, за який цю роботу виконано:  $N = A/t$ .

Одиницею потужності в СІ є ват (Вт);  $1 \text{ Вт} = 1 \text{ Дж}/1 \text{ с}$ .

Потужність також можна обчислити за формулою  $N = Fv$ .

### **?** Контрольні запитання

1. Що характеризує потужність?
2. Дайте означення потужності.
3. Назвіть одиниці потужності в СІ.
4. Що таке ват?
5. Яка позасистемна одиниця потужності вам відома?
6. Як обчислити потужність, що розвиває тіло, якщо відомі сила, яка діє на тіло, і швидкість руху тіла?

### **✍** Вправа № 27

1. Першокласник і одинадятикласник за однаковий час піднялися сходами з першого поверху на другий. Хто з них розвинув під час руху більшу потужність?
2. Рухаючись горизонтально ділянкою дороги, автомобіль під'їхав до підйому. Чи зміниться швидкість автомобіля під час підняття в разі незмінної потужності двигуна?
3. Горизонтальні ділянки дороги чергуються з підйомами і спусками. Як має змінюватися потужність двигуна в міру подолання автомобілем цих ділянок, якщо автомобіль рухається зі сталою швидкістю?
4. Хлопчик, піднімаючись сходами, розвинув потужність 160 Вт. Яку роботу виконав хлопчик за 20 с?
5. За який час двигун автомобіля, розвиваючи потужність 150 кВт, виконає роботу 900 кДж?
6. Потужність двигунів літака становить 10 МВт. Визначте силу опору руху, якщо літак рухається зі сталою швидкістю 720 км/год.



### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Перший набір студентів **Дніпропетровський національний університет** здійснив у 1918 р. Тоді в ньому навчалось 2750 осіб. Першим ректором університету був відомий учений-біолог В. П. Карпов. За час свого існування заклад підготував понад 70 тис. фахівців.

Перетворення закладу на один із провідних вузів України пов'язується з ім'ям іншого науковця — академіка В. І. Моссаковського, який був ректором уні-

верситету в 1964–1986 рр. З 1951 р. Дніпропетровський університет розпочав підготовку фахівців ракетобудування, пізніше з'явилися нові наукові школи в галузях математики, механіки, фізики, радіоелектроніки. Зважаючи на загальнодержавне й міжнародне визнання результатів діяльності, Дніпропетровському університету присвоєно статус національного.

## § 28. ЕНЕРГІЯ. ПОТЕНЦІАЛЬНА ЕНЕРГІЯ ТІЛА

**?!** Слово «енергія» можна почути в телевізійних репортажах, побачити на шпальтах газет тощо. Ним можна скористатися для характеристики людей (енергійна людина), природних явищ (енергія землетрусу чи урагану), машин та механізмів (електроенергія, яку споживають побутові прилади). А що ж таке енергія з точки зору фізики?

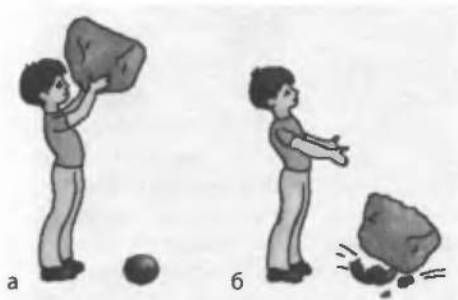
**1** Пригадаємо, що таке енергія і як вона пов'язана з механічною роботою

У 7-му класі ви вже ознайомилися з поняттям енергії, дізналися, що енергія характеризує здатність тіла виконувати роботу. Пригадаємо бурульку, що звисає з даху, автомобіль, який мчить по дорозі, або натягнуту тятиву лука. Усе це приклади тіл, які здатні виконати роботу.

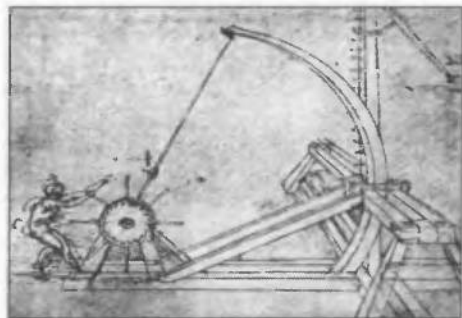
Щоб детальніше з'ясувати значення терміна «енергія» та зв'язок енергії з механічною роботою, розглянемо приклади. На рис. 28.1 хлопчик тримає камінь на деякій висоті. Камінь не рухається і тому механічну роботу не виконує. Але якщо камінь відпустити, він упаде і розколе горіх. При цьому висота, на якій розташований камінь, зменшиться. На рис. 28.2 міцна мотузка втримує деформовану балку катапульти. Балка роботи не виконує, але може виконати, якщо мотузку відпустити: розпрямляючись, балка надасть швидкості металевому снаряду. При цьому деформація балки зменшиться.

Багатьом із вас, напевно, доводилося бачити, як грають у боулінг. Ми пускаємо кулю горизонтальною гладенькою доріжкою. Спочатку куля рухається практично за інерцією і роботи не виконує, але потім, коли розкидає кеглі, куля виконує певну роботу (рис. 28.3). При цьому швидкість руху кулі зменшується.

**Рис. 28.1.** Хлопчик тримає камінь на певній висоті (а). Камінь має енергію, тобто може виконати механічну роботу, наприклад розколоти горіх (б)



**Рис. 28.2.** Деформована балка катапульти має енергію: якщо мотузку звільнити, балка розпрямиться і надасть швидкості снаряду, тобто виконає роботу (рис. Леонардо да Вінчі)





**Рис. 28.3.** Куля, що рухається гладенькою підлогою, має енергію, оскільки може виконати роботу — збити кеглі



Якщо тіло або система тіл можуть виконати механічну роботу, то кажуть, що вони **мають енергію**.

Енергія позначається символом  $W$ . *Одиницею енергії в СІ, як і роботи, є джоуль (Дж).*

*Чим більшу роботу може виконати тіло, тим більшою енергією воно володіє.*

Під час виконання механічної роботи енергія тіла змінюється. Отже, *механічна робота є мірою зміни енергії тіла.*

Так, коли вантажник на будівництві піднімає цеглини, енергія цеглин збільшується на значення виконаної ним роботи (рис. 28.4).



**Рис. 28.4.** Піднімаючи цеглини, вантажник виконує механічну роботу, яка дорівнює зміні енергії цеглин

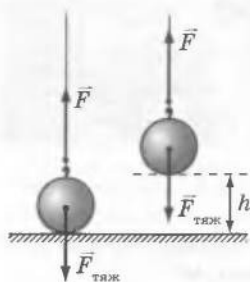
## 2 Знайомимось з потенціальною енергією тіла, піднятого над поверхнею Землі

Підняте над поверхнею Землі тіло, наприклад ящик або якийсь інший вантаж, має певну енергію, що зумовлена взаємодією цього тіла та Землі. Таку енергію називають *потенціальною* (від латин. *potentia* — сила, можливість).

**Потенціальна енергія  $W_p$**  — це енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин одного тіла.

Спробуємо визначити зв'язок між зміною потенціальної енергії тіла, яке притягається до Землі, та механічною роботою. Щоб рівномірно підняти камінь масою  $m$  на висоту  $h$  над поверхнею Землі, нам потрібно виконати роботу  $A = Fl$ . Оскільки  $F = F_{\text{тяж}} = mg$ , а  $l = h$ , то для роботи з піднімання каменя отримаємо  $A = mgh$  (рис. 28.5).

Ви вже знаєте, що механічна робота є мірою зміни енергії тіла. Якщо умовно обрати



**Рис. 28.5.** Під час рівномірного підняття тіла до нього потрібно прикласти силу, що дорівнює силі тяжіння ( $F = F_{\text{тяж}}$ ) і напрямлена вгору



**Рис. 28.6.** Потенціальна енергія книжки, розташованої на четвертій полиці, відносно підлоги є більшою, ніж відносно другої полиці

значення потенціальної енергії каменя на поверхні Землі таким, що дорівнює нулю, то на висоті  $h$  його потенціальна енергія буде більшою від нуля на величину  $mgh$ , отже,  $W_{\text{п}} = mgh$ .

**Потенціальна енергія** тіла, піднятого над поверхнею Землі, — це добуток маси  $m$  тіла, прискорення вільного падіння  $g$  і висоти  $h$ , на якій перебуває тіло:

$$W_{\text{п}} = mgh$$

Потенціальна енергія тіла масою  $m$  залежить від висоти, на якій воно перебуває, — отже, вибір *нульового рівня* (рівня, від якого буде вимірюватися висота) суттєво впливає на значення потенціальної енергії. Так, потенціальна енергія книжки, що лежить на четвертій полиці, відносно підлоги кімнати буде більшою, ніж потенціальна енергія тієї самої книжки відносно другої полиці (рис. 28.6).

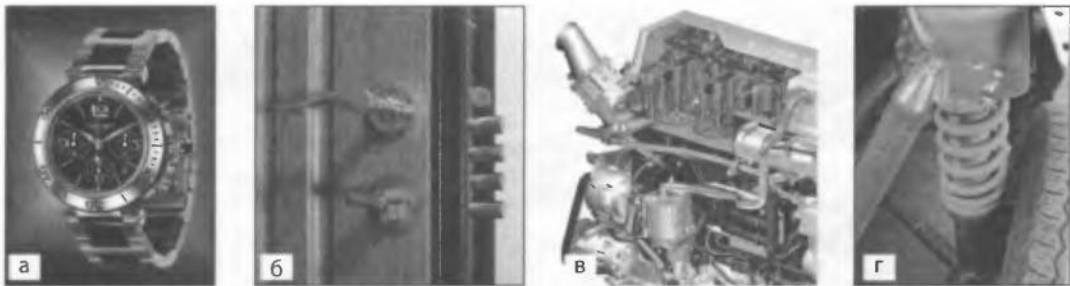


**Рис. 28.7.** Чим більше деформовано тятиву лука, тим більшою буде його потенціальна енергія

**3** З'ясовуємо, що пружно деформовані тіла також мають потенціальну енергію. У пружно деформованому тілі частини цього тіла взаємодіють силами пружності. Якщо звільнити пружно деформоване тіло від зовнішньої дії, то сили пружності повернуть тіло до початкового, недеформованого, стану: під дією сили буде відбуватися переміщення — тобто буде виконана механічна робота. Отже, пружно деформоване тіло має потенціальну енергію.

Наприклад, чим більшою є сила пружності, що виникає під час натягування тятиви лука, й чим далі ця тятива відтягнута, тим більшу потенціальну енергію має лук і тим більшу роботу він може виконати — надати стрілі більшої швидкості руху (рис. 28.7).

Потенціальна енергія деформованої пружини використовується для виконання роботи в більшості механічних годинників,



**Рис. 28.8.** Властивість деформованої пружини запасати потенціальну енергію, а потім за її рахунок виконувати механічну роботу використовується в багатьох механізмах: механічних годинниках (а); дверних замках (б); клапанах двигунів автомобілей (в); амортизаторах автомобілей (г) тощо.

автоматичних клапанах, для автоматичного закриття дверей тощо (рис. 28.8).

### ! Підбиваємо підсумки

Якщо тіло (або система тіл) може виконати механічну роботу, то кажуть, що воно має енергію. Механічна робота є мірою зміни енергії тіла.

Енергія позначається символом  $W$ . Одиницею енергії в СІ, як і роботи, є джоуль (Дж).

Енергію, зумовлену взаємодією тіл або частин одного тіла, називають потенціальною енергією. Потенціальну енергію мають пружно деформоване тіло і тіло, підняте над поверхнею Землі.

Потенціальну енергію піднятого над поверхнею Землі тіла можна обчислити за формулою  $W_{п.макс} = mgh_{макс}$ , де  $m$  — маса тіла;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $h$  — висота відносно нульового рівня.

### ? Контрольні запитання

1. Що означає вислів «тіло (або система тіл) має енергію»?
2. Назвіть одиниці енергії в СІ.
3. Наведіть приклади на підтвердження того, що під час виконання роботи енергія змінюється.
4. Що таке потенціальна енергія?
5. За якою формулою можна обчислити потенціальну енергію тіла, яке підняте на висоту  $h$  над поверхнею Землі?
6. Які тіла, крім тих, що підняті над поверхнею Землі, мають потенціальну енергію?

### ✍ Вправа № 28

1. Наведіть приклади тіл, що мають потенціальну енергію.
2. Опишіть, як змінюється потенціальна енергія літака під час зльоту та посадки.
3. Обчисліть потенціальну енергію портфеля, що лежить на парті, відносно підлоги. Маса портфеля дорівнює 3 кг, висота парті становить 80 см.
4. Людина витягла з колодязя завглибшки 12 м відро з водою масою 10 кг і поставила на лаву. Порівняйте потенціальну енергію відра до і після підняття. Збільшилася вона чи зменшилася? на скільки?

## § 29. КІНЕТИЧНА ЕНЕРГІЯ ТІЛА. ПОВНА МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

?!

Із телевізійних новин вам, напевне, відомі наслідки таких стихійних лих, як шторми та урагани. Так, ураганний вітер ламає опори електромереж, вириває з корінням дерева, руйнує будівлі. А чи відомо вам, за рахунок якої енергії це відбувається?

### 1 Знайомимося з кінетичною енергією тіла

Згадаємо приклад із кулею в боулінгу: вона котиться, розкидає в різні боки кеглі й зменшує швидкість свого руху. Куля виконала механічну роботу і зменшила свою енергію. Проте потенціальна енергія кулі до і після зіткнення з кеглями залишається незмінною, адже весь час куля перебувала на тій самій висоті — змінювалася тільки швидкість її руху. Отже, енергія, яка дозволила кулі виконати роботу, була пов'язана з рухом кулі. У фізиці цю енергію називають *кінетичною* (від грец. *kinēta* — рух).

**Кінетична енергія**  $W_k$  — це енергія, яка зумовлена рухом тіла.

Кінетична енергія залежить від маси тіла та швидкості його руху. Так, із двох куль, які рухаються з однаковою швидкістю, куля більшої маси може відштовхнути той самий брусок на більшу відстань (рис. 29.1). Тобто за умови певної швидкості руху робота, яку може виконати більша за масою куля, також є більшою.

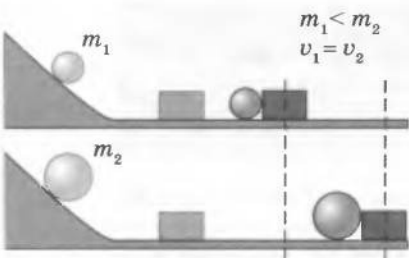
Куля, що починає котитися з більшої висоти, набуває більшої швидкості руху. Вона зможе відштовхнути брусок на більшу відстань, тобто виконає більшу роботу (рис. 29.2).

У фізиці доведено: *кінетична енергія тіла дорівнює добутку маси тіла на квадрат швидкості його руху, поділеному на два:*

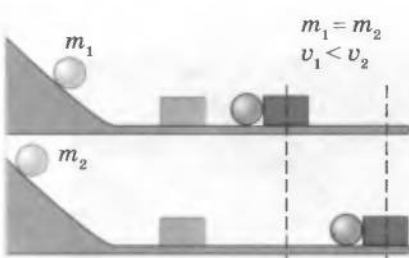
$$W_k = \frac{mv^2}{2},$$

де  $m$  — маса тіла;  $v$  — швидкість руху тіла.

Кінетична енергія того самого тіла для різних спостерігачів може бути різною, оскільки різною відносно них може бути швидкість руху цього тіла (рис. 29.3, 29.4).



**Рис. 29.1.** Чим більшою є маса кулі, тим більшу роботу виконує куля під час зупинки



**Рис. 29.2.** Чим більшою є швидкість кулі, що рухається з певною швидкістю, тим більшу роботу вона виконує під час зупинки



**Рис. 29.3.** Відносно туриста камінь не має кінетичної енергії, але має її відносно велосипедиста, який стрімко наближається до каменя



**Рис. 29.4.** Відносно пасажиря потяга, що рухається, кінетична енергія книжки дорівнює нулю. Проте для особи, яка стоїть на платформі, книжка має певну кінетичну енергію

## 2 Даємо означення повній механічній енергії тіла

Досить часто тіло має як потенціальну, так і кінетичну енергії. Наприклад, літак, який летить над Землею на певній висоті, має і потенціальну енергію (бо взаємодіє із Землею), і кінетичну енергію (бо рухається).

Суму потенціальної та кінетичної енергій тіла називають **повною механічною енергією тіла**.

## ! Підбиваємо підсумки

Енергію, яка зумовлена рухом тіла, називають кінетичною енергією  $W_k$ .

Кінетичну енергію тіла обчислюють за формулою  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ , де  $m$  — маса тіла;  $v$  — швидкість руху тіла.

Суму потенціальної та кінетичної енергій тіла називають **повною механічною енергією тіла**.

## ? Контрольні запитання

1. Що таке кінетична енергія тіла?
2. За якою формулою можна розрахувати кінетичну енергію тіла?
3. Чому кінетична енергія того самого тіла може бути різною для різних спостерігачів?
4. Що таке повна механічна енергія тіла?

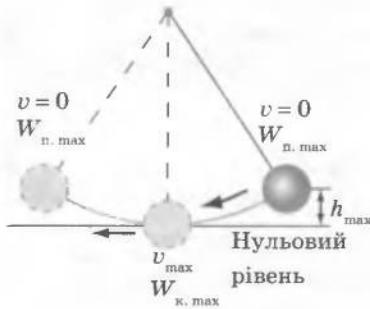
## ✍ Вправа № 29

1. Обчисліть кінетичну енергію велосипедиста, який рухається зі швидкістю 36 км/год. Маса велосипедиста становить 50 кг.
2. Автомобіль розганявся на горизонтальній ділянці дороги завдовжки 400 м під дією сили 10 кН. Збільшилася чи зменшилася кінетична енергія автомобіля? на скільки?
3. Автомобіль масою 2 т рушив з місця і на горизонтальному відрізку дороги набув швидкості руху 54 км/год. Яку роботу виконав двигун автомобіля?
4. М'яч під час баскетбольного матчу кинуту в напрямку кільця. Обчисліть повну механічну енергію м'яча на висоті 3 м, якщо на цій висоті він рухається зі швидкістю 10 м/с. Маса м'яча становить 400 г. За нульовий рівень потенціальної енергії візьміть рівень підлоги спортивної зали.

## § 30 ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ

?!

Напевне, багато хто з вас «стріляв» із трубочки, видуваючи з неї з певною швидкістю невеличкі кульки. Згадайте: кульки злітають догори, а потім падають. Добре помітно, що, коли кульки летять догори, швидкість їхнього руху зменшується, — адже для того, щоб упасти, вони мають зупинитися на певній висоті і почати рухатися вниз. Кінетична енергія кульок під час руху вгору теж зменшується. Чи безслідно вона зникає?



**Рис. 30.1.** Під час коливання нитяного маятника відбувається постійне перетворення потенціальної енергії кульки на її кінетичну енергію і навпаки



**Рис. 30.2.** Взаємне перетворення потенціальної і кінетичної енергій триватиме доти, доки струна коливатиметься

### **1** Спостерігаємо перетворення потенціальної енергії на кінетичну та навпаки

Розглянемо перетворення потенціальної енергії на кінетичну і навпаки під час вільних коливань маятника. За нульовий рівень виберемо найнижче положення кульки (положення рівноваги) (рис 30.1).

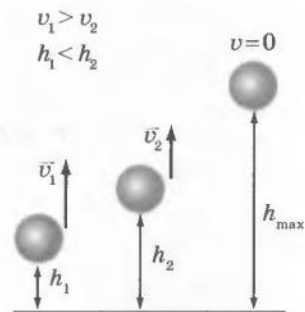
У правому крайньому положенні кулька перебуває на висоті  $h_{\max}$  відносно нульового рівня, отже, має найбільшу потенціальну енергію ( $W_{п. \max} = mgh_{\max}$ ). У цьому положенні кулька не рухається, тому її кінетична енергія дорівнює нулю. Коли кулька починає рухатися, швидкість її руху поступово збільшується, відповідно зростає й кінетична енергія кульки.

Коли кулька опускається до точки свого найнижчого положення, її потенціальна енергія зменшується до нуля. Саме у цей момент швидкість руху кульки є найбільшою і найбільшою є її кінетична енергія ( $W_{к. \max} = \frac{mv_{\max}^2}{2}$ ).

За рахунок запасу кінетичної енергії кулька продовжує рухатися вліво, піднімаючись усе вище, внаслідок чого зростає її потенціальна енергія. Натомість швидкість руху кульки зменшується, відповідно зменшується її кінетична енергія. Таким чином, один вид енергії переходить в інший: кінетична енергія перетворюється на потенціальну, і навпаки.

Такі самі перетворення механічної енергії спостерігаються під час коливання натягнутої струни (рис. 30.2). Відтягнемо струну вбік — у цей момент деформована струна має тільки потенціальну енергію: вона деформована, але не рухається. Якщо відпустити струну, вона почне

рухатись і її кінетична енергія зростатиме. При цьому деформація струни зменшується і відповідно зменшується її потенціальна енергія. Найбільшого значення кінетична енергія набуває в момент, коли струна проходить положення рівноваги, — у цей момент її швидкість максимальна, а деформація відсутня. Далі струна продовжує рух, її кінетична енергія зменшується, а потенціальна — збільшується.



**Рис. 30.3.** У міру того як кулька піднімається, її потенціальна енергія збільшується, а кінетична — зменшується

## 2 Відкриваємо закон збереження механічної енергії

Наведемо ще один приклад — рух металевої кульки, яку кинуту вгору. Оскільки висота кульки відносно поверхні Землі зростає, то зростає і потенціальна енергія кульки. Швидкість руху кульки зменшується, відповідно зменшується її кінетична енергія (рис. 30.3). Досліди свідчать, що за умови відсутності сили опору повітря кінетична енергія кульки зменшується на стільки, на скільки збільшується її потенціальна енергія, і навпаки, тобто повна механічна енергія не змінюється. Те саме можна сказати і про енергії маятника та струни під час їхніх коливань: за відсутності сил тертя їх повна механічна енергія залишається незмінною.

Теоретичні та експериментальні дослідження дозволили сформулювати **закон збереження механічної енергії**:

У системі тіл, які взаємодіють тільки одні з одними і тільки силами пружності й силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється.

Слід ще раз наголосити, що закон збереження механічної енергії справджується лише в тому випадку, коли немає втрат механічної енергії, зокрема за умови відсутності сили тертя. Якщо тертя враховувати, то повна механічна енергія з часом зменшується. Відбувається перетворення механічної енергії на інші види енергії. Прикладом такого перетворення може бути всім відоме нагрівання тіл унаслідок тертя: механічна енергія перетворюється на теплову.

## 3 Учимося розв'язувати задачі

**Задача 1.** Тіло масою 1 кг без початкової швидкості падає на поверхню Землі з висоти 20 м. На якій висоті кінетична енергія тіла дорівнюватиме 100 Дж? Опором повітря знехтувати.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

$$v_0 = 0$$

$$h_0 = 20 \text{ м}$$

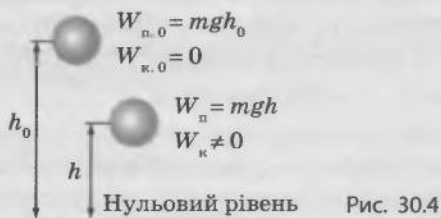
$$W_k = 100 \text{ Дж}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

$h$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Оскільки опір повітря відсутній, то виконується закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія тіла не змінюється. Виберемо за нульовий рівень поверхню Землі (див. рис. 30.4).



*Пошук математичної моделі, розв'язання*

На висоті  $h_0$  повна механічна енергія тіла:  $W_{п.0} + W_{к.0}$ , на шуканій висоті  $h$ :  $W_{п} + W_{к}$ . За законом збереження механічної енергії:  $W_{п.0} + W_{к.0} = W_{п} + W_{к}$ .

На висоті (перед початком падіння):  $W_{п.0} = mgh_0$ ;  $W_{к.0} = 0$  (адже  $v_0 = 0$ ). На висоті  $h$  (під час падіння):  $W_{п} = mgh$ ;  $W_{к} \neq 0$  (адже тіло рухається). Тоді  $mgh_0 + 0 = mgh + W_{к}$ . Звідси  $mgh = mgh_0 - W_{к} \Rightarrow h = h_0 - \frac{W_{к}}{mg}$ .

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{h\} = m - \frac{\text{Дж}}{\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = m - \frac{\text{Дж}}{\text{Н}} = m - \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{Н}} = m;$$

$$\{h\} = 20 - \frac{100}{10} = 20 - 10 = 10; h = 10 \text{ м.}$$

*Відповідь:* кінетична енергія тіла дорівнюватиме 100 Дж на висоті 10 м.

**Задача 2.** Тіло кидають вертикально вгору зі швидкістю 20 м/с. На якій висоті потенціальна енергія тіла зрівняється з його кінетичною енергією? Опором повітря знехтувати.

Дано:

$$v_0 = 20 \text{ м/с}$$

$$W_{п} = W_{к}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2} *$$

$$h_0 = 0$$

$h$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Оскільки опір повітря відсутній, то виконується закон збереження механічної енергії: повна механічна енергія тіла не змінюється. Виберемо за нульовий рівень потенціальної енергії рівень, з якого кидають тіло.

*Пошук математичної моделі, розв'язання*  
За законом збереження механічної енергії

$$W_{п.0} + W_{к.0} = W_{п} + W_{к}.$$

\* Оскільки  $W_{к} = mv^2/2$ , то між одиницями енергії є таке співвідношення:  $\text{Дж} = \text{Н} \cdot \text{м} = \text{кг} \cdot \text{м}^2/\text{с}^2 \Rightarrow \text{Н}/\text{кг} = \text{м}/\text{с}^2$ . Детальніше про це йтиметься в 10-му класі.



Оскільки  $h_0=0$ , то  $W_{п.0}=0$ . За умовою задачі  $W_{п}=W_{к}$ . Тому  $W_{к.0}=W_{п}+W_{п}$ , тобто  $W_{к.0}=2W_{п}$ . Враховуючи, що потенціальна енергія тіла на шуканій висоті  $W_{п}=mgh$ , а початкова кінетична енергія  $W_{к.0}=\frac{mv_0^2}{2}$ , остаточно отримуємо:

$$2mgh = \frac{mv_0^2}{2} \Rightarrow h = \frac{v_0^2}{4g}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[h] = \frac{\frac{\text{м}^2}{\text{с}^2}}{\frac{\text{м}}{\text{с}^2}} = \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \cdot \frac{\text{с}^2}{\text{м}} = \text{м}; \quad \{h\} = \frac{20^2}{4 \cdot 10} = \frac{400}{40} = 10; \quad h = 10 \text{ м}.$$

*Відповідь:* потенціальна енергія тіла дорівнюватиме його кінетичній енергії на висоті 10 м.

### **□** Підбиваємо підсумки

Потенціальна енергія тіла (системи тіл) може перетворюватися на кінетичну енергію і навпаки.

Закон збереження механічної енергії: у системі тіл, які взаємодіють тільки одні з одними і тільки силами пружності й силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється. Вона лише перетворюється з кінетичної енергії на потенціальну, і навпаки.

### **?** Контрольні запитання

1. Наведіть приклади перетворення потенціальної енергії тіла на кінетичну та навпаки. 2. Сформулюйте закон збереження механічної енергії. 3. За яких умов виконується закон збереження механічної енергії? 4. Наведіть приклади, коли повна механічна енергія не зберігається.

### **✍** Вправа № 30

- Пружинний пістолет заряджають кулькою і стріляють угору. Які перетворення енергії відбуваються при цьому?
- Шайба скочується з льодової гірки на асфальт і зупиняється. Чи виконується в цьому випадку закон збереження механічної енергії?
- Початкова потенціальна енергія тіла, яке перебуває в стані спокою на певній висоті, дорівнює 400 Дж. Тіло відпускають. Якою буде кінетична енергія тіла в момент, коли потенціальна енергія становитиме 150 Дж? Опором повітря знехтувати.
- Тіло кидають угору, надаючи йому кінетичну енергію 300 Дж. На певній висоті його кінетична енергія зменшиться до 120 Дж. Якою буде потенціальна енергія тіла на цій висоті? Опором повітря знехтувати.
- Тіло, що перебувало в стані спокою, падає з висоти 20 м. На якій висоті швидкість його руху дорівнюватиме 10 м/с? Опором повітря знехтувати.

### **♀** Експериментальне завдання

Підкиньте вгору якийсь невеличкий тіло, наприклад сірникову коробку. Виміряйте або оцініть на око висоту, на яку піднялася коробка. Нехтуючи опором повітря, визначте початкову швидкість коробки.

## § 31. ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ. «ЗОЛОТЕ ПРАВИЛО» МЕХАНІКИ

**?!** Давні греки не лише навчилися користуватися такими простими механізмами, як важіль, блок тощо, а й з'ясували, чому ці пристрої дозволяють отримати вигравш у зусиллях. Разом із тим прості механізми дають програш у відстані. А чи дають вони вигравш у роботі? Слід зазначити, що винаходи стародавніх механіків не відійшли в минуле, — і сьогодні вдосконалені «нащадки» тих простих механізмів зустрічаються на заводах та будівельних майданчиках, транспортних засобах та побутових приладах. Чому так?

### **1** Пригадуємо важіль та блок

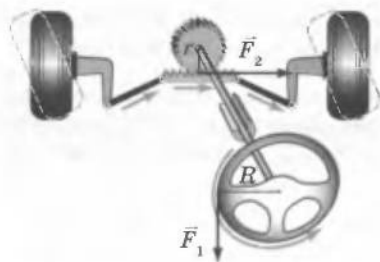
Для полегшення праці людина з давніх-давен використовувала різні прості механізми. З деякими з них ви вже знайомі. Пригадаємо, що важелем користувалися ще в Стародавньому Єгипті під час будівництва пірамід і храмів. Властивість важеля давати вигравш у силі впливає з умови його рівноваги. Ви вже знаєте, що блоки можна розглядати як важелі з рівними плечами (нерухомий блок) та з плечами, які за довжиною відрізняються у 2 рази (рухомий блок). Різновидом важеля є коловорот, який, наприклад, використовується у системі рульового керування автомобілем (рис. 31.1).

### **2** Відкриваємо «золоте правило» механіки

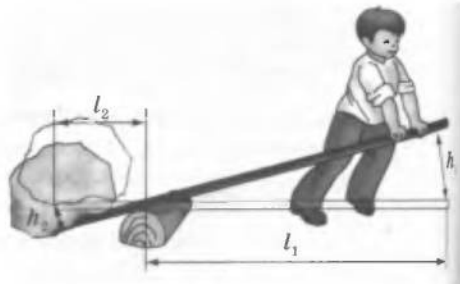
Отже, важелі з різними плечами та рухомі блоки дозволяють одержати вигравш у силі. Та чи «задарма» дається такий вигравш? Виявляється, що під час застосування важеля довший його кінець проходить більший шлях (рис. 31.2): важке тіло підніметься на невелику висоту ( $h_2$ ), а кінець довгого плеча важеля, до якого прикладена мала сила, опуститься на значно більшу висоту ( $h_1$ ). Таким чином, отримавши перевагу в силі, ми програємо у відстані. Тот самий результат ми отримуємо під час використання рухомого блока (рис. 31.3).

Класичні розрахунки дій важелів і блоків належать видатному му античному механікови *Архімеду*.

**Рис. 31.1.** Вигравш у силі  $F_2/F_1$ , який дає кермо, дорівнює відношенню радіуса  $R$  керма до радіуса  $r$  шестерні, яка повертає колеса автомобіля



**Рис. 31.2.** У скільки разів плече  $l_1$  важеля довше від плеча  $l_2$ , у стільки разів висота  $h_1$  більша від висоти  $h_2$



Архімед вивів правило, яке можна застосувати не лише до важеля, але й до всіх простих механізмів. Це правило отримало назву «золотого правила» механіки:

У скільки разів простий механізм дає вигреш у силі, у стільки ж разів він дає програш у відстані.

Слід зазначити, що «золоте правило» виконується за *ідеальних умов*, коли рухомі частини простих механізмів не мають ваги, а між тілами, які ковзають або котяться одне по одному, немає тертя.

Із закону збереження енергії випливає, що прості механізми не дають вигрешу в роботі. Дійсно, згідно із «золотим правилом» механіки

$$\frac{F_1}{F_2} = \frac{l_2}{l_1}. \text{ Тобто } F_1 l_1 = F_2 l_2 \Rightarrow A_1 = A_2.$$

### 3 Досліджуємо похилу площину

Окрім важеля та блока люди з античних часів використовують ще один простий механізм — *похилу площину* (рис. 31.4). За допомогою похилої площини можна піднімати важкі предмети, прикладаючи до них відносно невелику силу.

«Тіло на похилій площині втримується силою, що... за величиною у стільки разів менша за вагу цього тіла, у скільки разів довжина похилої площини більша від її висоти» — так умову рівноваги сил на похилій площині сформулював голландський учений *Симон Стевін* (1548–1620).

Доведемо це дослідним шляхом. Наприклад, треба втягти тіло на висоту  $h$  по похилій площині завдовжки  $l$ . Для зменшення сили тертя краще скористатися котком (рис. 31.5). Щоб підняти коток, потрібно прикладати до нього силу, значення якої дорівнює значенню сили тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ , а щоб втягувати його похилою площиною — силу  $F$ . У разі піднімання котка на висоту  $h$  виконується робота  $A_1 = F_{\text{тяж}} h$ . У разі втягування котка похилою площиною на відстань  $l$  виконується робота  $A_2 = Fl$ . За відсутності тертя  $A_1 = A_2$ , тобто  $F_{\text{тяж}} h = Fl \Rightarrow \frac{F_{\text{тяж}}}{F} = \frac{l}{h}$ .

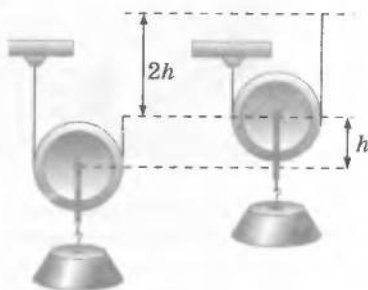


Рис. 31.3. Якщо мотузку підняти на висоту  $2h$ , то рухомий блок із вантажем підніметься на висоту  $h$



Рис. 31.4. Похила площина є незамінною, коли потрібно підняти вантаж. Чим пологіший ухил площини, тим легше виконати цю роботу

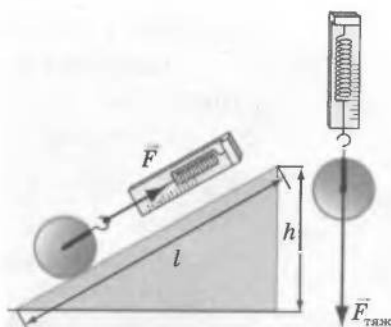
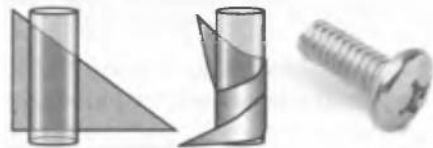


Рис. 31.5. Для втягування тіла по похилій площині потрібна значно менша сила, ніж для безпосереднього підняття тіла



**Рис. 31.6.** Клин не тільки дає вигреш у силі, але й змінює її напрямок



**Рис. 31.7.** Різновидом похилої площини є гвинт

Для похилої площини «золоте правило» механіки виконується за умови відсутності тертя між тілом, яке втягають похилою площиною, і поверхнею площини.

#### **4** Знайомимосся з різновидами похилої площини

Властивості похилої площини реалізуються у використанні, наприклад, ескалаторів, звичайних сходів і конвеєрів. Одним із різновидів похилої площини є *клин*. Щоб полегшити рубання дров, у тріщину колоди вставляють клин і б'ють по ньому обухом сокири. Під час ударяння на клин діють три тіла: зверху обух сокири і з боків — дві частини колоди. Відповідно клин діє на обух сокири вгору, а на деревину колоди — в боки, тобто розсовує половинки колоди. Таким чином, клин змінює напрямок сили сокири. Крім того, сила, з якою він розсовує половинки колоди в різні боки, набагато більша від сили, з якою сокира вдаряє по клину (рис. 31.6).

Різновидом похилої площини також є *гвинт*. Візьмемо трикутник, який вирізано з картону і розташуємо його поряд із циліндром. Похилою площиною слугуватиме ребро картону. Обгорнувши трикутник навколо циліндра, ми одержимо гвинтову похилу площину (рис. 31.7). Нарізка гвинта — це похила площина, яку багато разів обернуто навколо циліндра. Подібно до клина гвинт може змінювати напрямок і числове значення прикладеної сили.

Принцип дії гвинта використовують у багатьох механізмах та пристроях: механічних домкратах і підйомниках, м'ясорубці, лещатах, струбцинах, свердлах, шурупах, різьбових кріпленнях тощо.

#### **5** Доводимо «золоте правило» механіки для гідравлічного преса

«Золоте правило» механіки справджується і для гідравлічного преса. Під час стискання рідина практично не змінює свого об'єму, тому при опусканні малий поршень витісняє з малого циліндра такий самий об'єм рідини, який потрапляє до великого циліндра:  $V_1 = V_2$ . Оскільки  $V_1 = S_1 h_1$ , а  $V_2 = S_2 h_2$  (де  $S_1$  та  $S_2$  — площі малого та великого поршнів відповідно;  $h_1$  та  $h_2$  — відстані, на які від-

повідно пересуваються поршні), то  $S_1 h_1 = S_2 h_2 \Rightarrow \frac{h_1}{h_2} = \frac{S_2}{S_1}$ .

З умови рівноваги для гідравлічно-го преса  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$  (де  $F_1$  та  $F_2$  — сили, що діють відповідно на малий та великий поршні) (див. § 22) отримуємо  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{h_1}{h_2}$ .

Тобто у скільки разів прес збільшує силу на великому поршні, у стільки ж разів зменшується відстань, на яку пересувається великий поршень. Таким чином, одержавши виграв у силі, ми знов отримуємо такий самий програш у відстані (рис. 31.8).

Для гідравлічного преса «золоте правило» виконується за умови нехтування масою поршнів та силою опору руху рідини під час її перетікання з малого циліндра у великий.

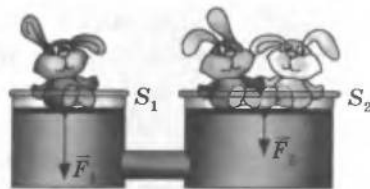
## 6 Знаходимо прості механізми в сучасних машинах

Прості механізми — це трудівники зі стажем роботи понад 30 століть, але вони анітрохи не «постаріли», адже в кожному сучасному технічному пристрої ми обов'язково знайдемо простий механізм, і не один.

Так, важелі та коловороти можна знайти в конструкції велосипеда і автомобіля. На будь-якому будівельному майданчику працюють піднімальні крани — це сполучення важелів, блоків, коловоротів. Важелі та блоки — неодмінні складники конструкцій шляхо- і трубоукладальників (рис. 31.9), піднімальних кранів та інших машин. Транспортери, які використовують у шахтах та на фабриках, є прикладами похилої площини (рис. 31.10). Коловорот та гвинт використовуються в механічних домкратах.

## ! Підбиваємо підсумки

З давніх часів людина для полегшення своєї праці використовувала прості механізми. До простих механізмів належать: важіль, блок, коловорот, похила площина, клин, гвинт.



**Рис. 31.8.** Сила тиску на поршень одного кроленяти вдвічі менша за силу тиску двох кроленят. Тому, якщо одне кроленя опустити на певну висоту, то двоє кроленят піднімуться на вдвічі меншу висоту



**Рис. 31.9.** Блоки та важелі легко вгадуються в конструкції трубоукладальників та інших машин



**Рис. 31.10.** Конвейер є прикладом використання властивостей похилої площини

Для всіх простих механізмів і для гідравлічного преса справджується «золоте правило» механіки: у скільки разів простий механізм дає вигреш у силі, у стільки ж разів він дає програш у відстані. «Золоте правило» механіки виконується за ідеальних умов.

Простий механізм — неодмінний складник сучасних машин. У цих машинах може бути декілька простих механізмів.

- ?** **Контрольні запитання**
1. Для чого використовують прості механізми?
  2. Сформулюйте «золоте правило» механіки для простого механізму.
  3. Назвіть різновиди похилої площини.
  4. Який вигреш у силі дає похила площина?
  5. Сформулюйте «золоте правило» механіки для гідравлічного преса.
  6. Наведіть приклади використання простих механізмів у сучасних машинах.

**✍** **Вправа № 31**

*Вважайте, що дії відбуваються за ідеальних умов.*

1. Піднімаючи вантаж за допомогою важеля, отримали вигреш у силі в 3 рази. При цьому вантаж, який був прив'язаний до лівого кінця важеля, піднявся на висоту 20 см. На скільки опустився правий кінець важеля?
2. За допомогою рухомого блока людина піднімає відро масою 20 кг. Якою силою при цьому людина діє на мотузку?
3. За допомогою важеля підняли вантаж масою 100 кг. На яку висоту було піднято вантаж, якщо на довге плече важеля діяла сила 250 Н, а точка прикладання сили опустилася на 30 см?
4. Яку силу треба прикласти, щоб підняти похилою площиною візок масою 60 кг, якщо висота похилої площини дорівнює 80 см, а її довжина становить 3,2 м?
5. У результаті стискання деталі гідравлічним пресом силою 10 кН великий поршень піднявся на 5 мм. Яка сила була прикладена до малого поршня, якщо він опустився на 20 см?

**?** **Експериментальне завдання**

Огляньте побутову м'ясорубку. Укажіть усі прості механізми, що входять до її складу.

## § 32. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ МЕХАНІЗМІВ

**?!** «Золоте правило» механіки підказує нам, що вигреш у силі, який дають прості механізми, компенсується програшем у відстані. Тому ніякого виграшу в роботі за допомогою простих механізмів ми не отримуємо. Більш того, виявляється, що ми програємо у роботі — частина роботи кудись «зникає». Спробуємо з'ясувати, куди.

**1** Знайомимосся з важливою характеристикою механізмів

Припустімо, нам треба підняти на певну висоту вантаж. Для цього перекинемо через нерухомий блок мотузку, прив'яжемо до неї вантаж і будемо рівномірно тягти мотузку вниз. Вантаж почне

підніматися. Оскільки нерухомий блок можна уявити як рівноплечий важіль, то сила, з якою людина тягне мотузку, дорівнюватиме вазі вантажу:  $F = P$ . Однак на практиці завжди є сила тертя і тому, щоб підняти вантаж, до вільного кінця мотузки треба прикласти силу, що є більшою від ваги вантажу:  $F > P$  (рис. 32.1). Під час піднімання вантажу на потрібну висоту  $h$  виконується корисна робота  $A_{\text{кор}} = Ph$ . Робота ж людини з витягування мотузки на довжину  $h$  (повна робота) обчислюється за формулою:  $A_{\text{повна}} = Fh$ . Повна робота буде більшою, ніж корисна робота ( $Fh > Ph$ ), унаслідок тертя.

На практиці корисна робота, яку ми виконуємо за допомогою будь-якого механізму, завжди менша за повну роботу:  $A_{\text{кор}} < A_{\text{повна}}$ . Тільки в ідеальних випадках корисна робота дорівнювала б повній роботі, але цього ніколи не відбувається.

Відношення корисної роботи до повної роботи називають **кофіцієнтом корисної дії (ККД)**.

ККД позначають символом  $\eta$  («ета») та обчислюють за формулою

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \quad \text{або у відсотках:} \quad \eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%$$

ККД будь-якого механізму демонструє, яку частину повної роботи механізм перетворює на корисну. Оскільки в ході використання механізмів корисна робота завжди менша за повну, ККД будь-якого механізму завжди менший за 100 %.

## 2 Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Тіло масою 20 кг піднімають похилою площиною. Яку силу потрібно прикладати в напрямку руху тіла, якщо довжина похилої площини дорівнює 4 м, висота — 1 м, а ККД становить 80 %?

Дано:

$$m = 20 \text{ кг}$$

$$l = 4 \text{ м}$$

$$h = 1 \text{ м}$$

$$\eta = 80\%$$

$$F = ?$$

*Аналіз фізичної проблеми*

Під час піднімання вантажу похилою площиною сила, яка прикладена до вантажу вздовж похилої площини, виконує повну роботу. Корисною роботою є зміна потенціальної енергії вантажу, який піднімають похилою площиною. Відношення корисної та повної робіт є ККД похилої площини.



**Рис. 32.1.** Якщо в нерухомому блоці є тертя, то сила  $F$ , з якою людина має тягти мотузку, більша за вагу вантажу

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Скористаємося визначенням ККД:  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%$ .

При цьому  $A_{\text{кор}} = mgh$ ,  $A_{\text{повна}} = Fl$ .

$$\text{Звідси } \eta = \frac{mgh}{Fl} \cdot 100\% \Rightarrow F = \frac{mgh}{\eta l} \cdot 100\%.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[F] = \frac{\text{Н}}{\frac{\text{кг} \cdot \text{м}}{\% \cdot \text{м}}} \cdot \% = \text{Н}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{F\} = \frac{20 \cdot 10 \cdot 1}{80 \cdot 4} \cdot 100 = 62,5; F = 62,5 \text{ Н}.$$

Проаналізуємо результат: сила 62,5 Н є меншою за вагу тіла 200 Н, тобто похила площина дала вигреш у силі  $200/62,5 = 3,2$ . За умовою програш у відстані  $4/1 = 4$ . Через те що ККД площини менший за 100 %, вигреш у силі менший за програш у відстані, — це правдоподібний результат.

*Відповідь:* до тіла потрібно прикладати силу 62,5 Н.

**!** Підбиваємо підсумки

На практиці корисна робота, яку ми виконуємо за допомогою будь-якого механізму, завжди є меншою за повну роботу:  $A_{\text{кор}} < A_{\text{повна}}$ .

Відношення корисної роботи до повної роботи називають коефіцієнтом корисної дії (ККД):  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}}$ ;  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\%$ .

ККД будь-якого механізму завжди менший за 100 %.



**Контрольні запитання**

1. Чому на практиці корисна робота завжди менша за повну роботу? 2. Дайте визначення ККД. 3. Яким є максимальне значення ККД будь-якого механізму?

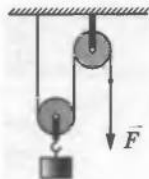


**Вправа № 32**

- За допомогою простого механізму виконано корисну роботу 120 Дж. Знайдіть ККД механізму, якщо повна робота дорівнює 150 Дж.
- Тіло піднімають похилою площиною, виконуючи корисну роботу 180 кДж. Знайдіть повну роботу, якщо ККД похилої площини становить 90%.
- Вантаж масою 160 кг підняли за допомогою важеля на 25 см, прикладаючи до довгого плеча важеля силу 400 Н. Визначте ККД важеля, якщо кінець довгого плеча опустився на 1 м 25 см.
- Тіло піднімають похилою площиною, прикладаючи в напрямку руху тіла силу 50 Н. Визначте масу тіла, якщо довжина похилої площини дорівнює 2 м, висота — 50 см, а ККД становить 80 %?



5. Вантаж масою 9 кг піднімають за допомогою пристрою, який складається з рухомого та нерухомого блоків (див. рисунок). Яку силу потрібно прикладати до мотузки, яку перекинуто через нерухомий блок, якщо ККД пристрою становить 90 %?



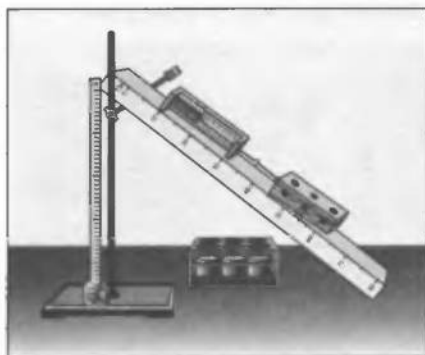
### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Одеський національний університет ім. І. І. Мечникова від дня створення у 1865 р. посідає одне з провідних місць в Україні. Він є одним із найстаріших університетів України і разом з Харківським, Київським і Львівським університетами фактично визначає стан і перспективи розвитку освіти, науки та культури країни.

Навчальний процес в університеті забезпечують 10 факультетів. Кількість студентів — близько 14 500 осіб. В університеті працюють 125 докторів наук, професорів, 576 кандидатів наук, доцентів.

Багато яскравих сторінок вписали в історію України та університету всесвітньо відомі вчені: мікробіологи І. І. Мечников, Д. К. Заболотний, фізики Ф. Н. Шведов, М. О. Розумів, фізіолог І. М. Сеченов та інші.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10



**Тема.** Визначення ККД похилої площини.

**Мета:** переконатися на досліді, що корисна робота, виконана за допомогою похилої площини, менша від повної; визначити ККД похилої площини.

**Прилади та матеріали:** мірна стрічка, динамометр, набір тягарців, дерев'яна лінійка, штатив із муфтою та лапкою, дерев'яний брусок.

### ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, пригадайте відповіді на такі запитання:

- 1) Які види простих механізмів ви знаєте?

- 2) Що називають коефіцієнтом корисної дії?  
 3) Чому ККД будь-якого механізму завжди менший за 100 %?
- Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
  - Зберіть експериментальний пристрій, як показано на рисунку, поданому на початку роботи.

### ▶ Експеримент

*Результати вимірювань одразу заносьте до таблиці.*

- Виміряйте за допомогою мірної стрічки довжину  $l$  і висоту  $h$  похилої площини.
- Визначте за допомогою динамометра вагу  $P$  бруска.
- Покладіть брусок на похилу площину й за допомогою динамометра рівномірно пересувайте його площиною вгору. Виміряйте силу тяги  $F$ , що діє на брусок з боку динамометра.
- Не змінюючи кута нахилу площини, повторіть дослід іще тричі, розмістивши на бруску спочатку один, потім два, а потім три тягарці.

### ▶ Опрацювання результатів експерименту

- Для кожного досліду обчисліть:

1) повну роботу:  $A_{\text{повна}} = Fl$ ;

2) корисну роботу:  $A_{\text{кор}} = Ph$ ;

3) виграш у силі, який дає похила площина:  $\frac{P}{F}$ ;

4) ККД похилої площини:  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{A_{\text{повна}}} \cdot 100\% = \frac{Ph}{Fl} \cdot 100\%$ .

- Результати обчислень занесіть до таблиці.

Номер досліду	Вага бруска і тягарців $P$ , Н	Висота похилої площини $h$ , м	Корисна робота, $A_{\text{кор}}$ , Дж	Сила тяги $F$ , Н	Довжина похилої площини $l$ , м	Повна робота $A_{\text{повна}}$ , Дж	Виграш $\frac{P}{F}$ у силі	ККД $\eta$ , %

### □ Аналіз результатів експерименту

Порівняйте показання динамометра зі значенням ваги бруска і зробіть висновок про виграш у силі, який дає похила площина; порівняйте одержані значення ККД і зробіть висновок, чи залежить ККД від ваги тіла, яке піднімають похилою площиною.

### ✦ Творче завдання

З'ясуйте за допомогою експерименту, як залежить ККД похилої площини від кута її нахилу. Чому, на вашу думку, змінюється ККД, якщо змінити кут нахилу площини?

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 «РОБОТА І ЕНЕРГІЯ»

1. У розділі 3 ви дізналися, що таке механічна робота, енергія та потужність.

Механічна робота, Дж	Енергія, Дж	Потужність, Вт
$A = Fl$ $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>до тіла прикладена сила</li> <li>під дією цієї сили тіло рухається</li> <li>напрямок руху тіла і напрямку сили не є перпендикулярними</li> </ul>	$W$ <ul style="list-style-type: none"> <li>характеризує здатність тіла (або системи тіл) виконати роботу</li> <li>під час змінення енергії виконується робота</li> <li>зміна енергії дорівнює роботі</li> </ul>	$N = \frac{A}{t}$ $1 \text{ Вт} = \frac{1 \text{ Дж}}{\text{с}}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>характеризує швидкість виконання роботи</li> </ul>

2. Ви навчилися розрізняти кінетичну та потенціальну енергії, познайомились із законом збереження механічної енергії.

- Кінетична енергія  $W_k = \frac{mv^2}{2}$ . Потенціальна енергія  $W_{п.макс} = mgh_{макс}$
- За умови відсутності тертя виконується закон збереження механічної енергії:  $W_{п.0} + W_{к.0} = W_{п} + W_{к}$

3. Ви ознайомилися з простими механізмами та з'ясували, що жоден простий механізм не дає виграшу в роботі, та познайомилися з фізичною величиною — коефіцієнтом корисної дії (ККД).

$$\eta = \frac{A_{кор}}{A_{повн}} \cdot 100\%$$

Простий механізм	Виграш у силі за ідеальних умов	Виграш у відстані	ККД за ідеальних умов, %	ККД за реальних умов, %	Причини зменшення ККД
Важіль	$\frac{l_1}{l_2}$	$\frac{l_2}{l_1}$	100	< 100	Вага важеля, сила тертя в осі обертання
Блок нерухомий	Не дає	Не дає	100	< 100	Сила тертя в осі обертання
Блок рухомий	У 2 рази	У 0,5 разу	100	< 100	Вага блока, сила тертя в осі обертання
Похила площина, клин, гвинт	$\frac{l}{h}$	$\frac{h}{l}$	100	< 100	Сила тертя

## ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ЗА РОЗДІЛОМ 3 «РОБОТА І ЕНЕРГІЯ»

*Завдання 1—11 містять тільки одну правильну відповідь.*

1. (1 бал) Механічна робота виконується, якщо:

  - а) сила перпендикулярна до напрямку руху тіла;
  - б) тіло є нерухомим;
  - в) тіло рухається під дією сили;
  - г) на тіло не діють сили.
2. (1 бал) Нерухомий блок:

  - а) дає вигреш у силі в 2 рази;
  - б) не дає виграшу в силі;
  - в) дає вигреш у роботі;
  - г) дає вигреш у відстані.
3. (1 бал) Потенціальна енергія тіла, піднятого над землею, залежить:

  - а) від маси та швидкості тіла;
  - б) від маси тіла та його висоти над землею;
  - в) від висоти тіла над землею та швидкості його руху;
  - г) тільки від швидкості руху тіла.
4. (1 бал) Кінетична енергія тіла, що рухається, залежить:

  - а) від маси та швидкості руху тіла;
  - б) тільки від висоти тіла над поверхнею Землі;
  - в) від висоти тіла над поверхнею Землі та швидкості його руху;
  - г) тільки від швидкості руху тіла.
5. (1 бал) Якщо потужність механізму дорівнює 100 Вт, то:

  - а) за 100 с він виконує роботу 1 Дж;
  - б) за 10 с він виконує роботу 10 Дж;
  - в) за 1 с він виконує роботу 0,01 Дж;
  - г) за 1 с він виконує роботу 100 Дж.
6. (1 бал) Якщо використання простого механізму дає вигреш у силі в 6 разів, то за ідеальних умов він дає:

  - а) програш у відстані в 6 разів;
  - б) вигреш у відстані в 6 разів;
  - в) програш у відстані в 36 разів;
  - г) вигреш у відстані в 36 разів.
7. (1 бал) Рухомий блок:

  - а) дає вигреш у силі в 2 рази;
  - б) не дає виграшу в силі;
  - в) дає вигреш у роботі;
  - г) дає вигреш у відстані.
8. (2 бали) Яку роботу треба виконати, щоб витягти відро з водою з колодязя завглибшки 12 м? Маса відра з водою становить 8 кг. Вважайте, що  $g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$ .

  - а) 1,5 Дж;
  - б) 15 Дж;
  - в) 96 Дж;
  - г) 960 Дж.

9. (2 бали) Якою є потужність двигуна, якщо за 4 хв він виконає роботу 12 кДж?  
а) 50 Вт;                      б) 500 Вт;                      в) 3 кВт;                      г) 12 кВт.
10. (2 бали) Кран підняв вантаж вагою 24 кН, виконавши при цьому роботу 360 кДж. На яку висоту було піднято вантаж?  
а) 15 см;                      б) 1,5 м;                      в) 15 м;                      г) 21,6 м.
11. (2 бали) За який час двигун потужністю 100 Вт виконає роботу 2 кДж?  
а) За 20 с;                      б) 200 с;                      в) 50 с;                      г) 0,05 с.
12. (3 бали) Кит, плаваючи під водою зі швидкістю 18 км/год, розвиває потужність 150 кВт. Визначте силу опору води.
13. (4 бали) За допомогою підйомника автомобіль масою 2 т підняли на висоту 2 м. Визначте виконану під час цього роботу, якщо ККД підйомника становить 80 %.
14. (4 бали) За допомогою рухомого блока піднімають вантаж масою 40 кг, а вільний кінець шнура тягнуть із силою 300 Н. Визначте ККД рухомого блока.
15. (4 бали) За допомогою нерухомого блока піднімають вантаж, прикладаючи силу 1,6 кН. Якою є маса вантажу, якщо ККД блока становить 80 %?
16. (4 бали) Довге плече важеля в 3 рази більше від короткого. Щоб підняти вантаж масою 60 кг, який підвішено до короткого плеча важеля, до довгого плеча прикладають силу 250 Н. Визначте ККД важеля.
17. (4 бали) ККД похилої площини становить 70 %. Щоб підняти вантаж масою 14 кг, необхідно прикладати силу 60 Н. Якою є довжина похилої площини, якщо її висота дорівнює 30 см?
18. (5 балів) М'яч масою 0,5 кг підкидають вертикально вгору з початковою швидкістю  $v$ , що дорівнює 20 м/с. Знайдіть потенціальну і кінетичну енергії м'яча в той момент, коли його швидкість зменшиться у 2 рази. Опір повітря не враховуйте.
19. (5 бали) Під дією певної сили тіло набуло швидкості руху 10 м/с і пройшло відстань 10 м. Обчисліть значення цієї сили. Силою тертя нехуйте.

*Звірте ваші відповіді на запитання з наведеними в кінці підручника. Позначте запитання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на чотири. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.*

## Навіщо свідомо знищувати автомобілі

Народна мудрість говорить: «Знав би, де впадеш, соломки б підстелив». Здебільшого цей вираз використовують у переносному значенні, проте й буквально його значення є правильним з точки зору фізики. «Соломка», на яку м'якше падати, — це спортивні мати у фізкультурному залі, купа порожніх картонних ящиків для страхування каскадерів та інші прості засоби захисту людини від ушкоджень під час імовірного необережного падіння. А як згадану народну мудрість використовують інженери?

Якщо тіло, що рухається, зіткнеться з перешкодою, то відбудеться деформація тіла. У випадку якщо таким тілом є, наприклад, морозиво, яке впало на підлогу, то, погодьтеса, лихо є невеликим. А от якщо автомобіль зіштовхнеться з іншим автомобілем або з бетонною огорожею, то справа може закінчитися трагедією.

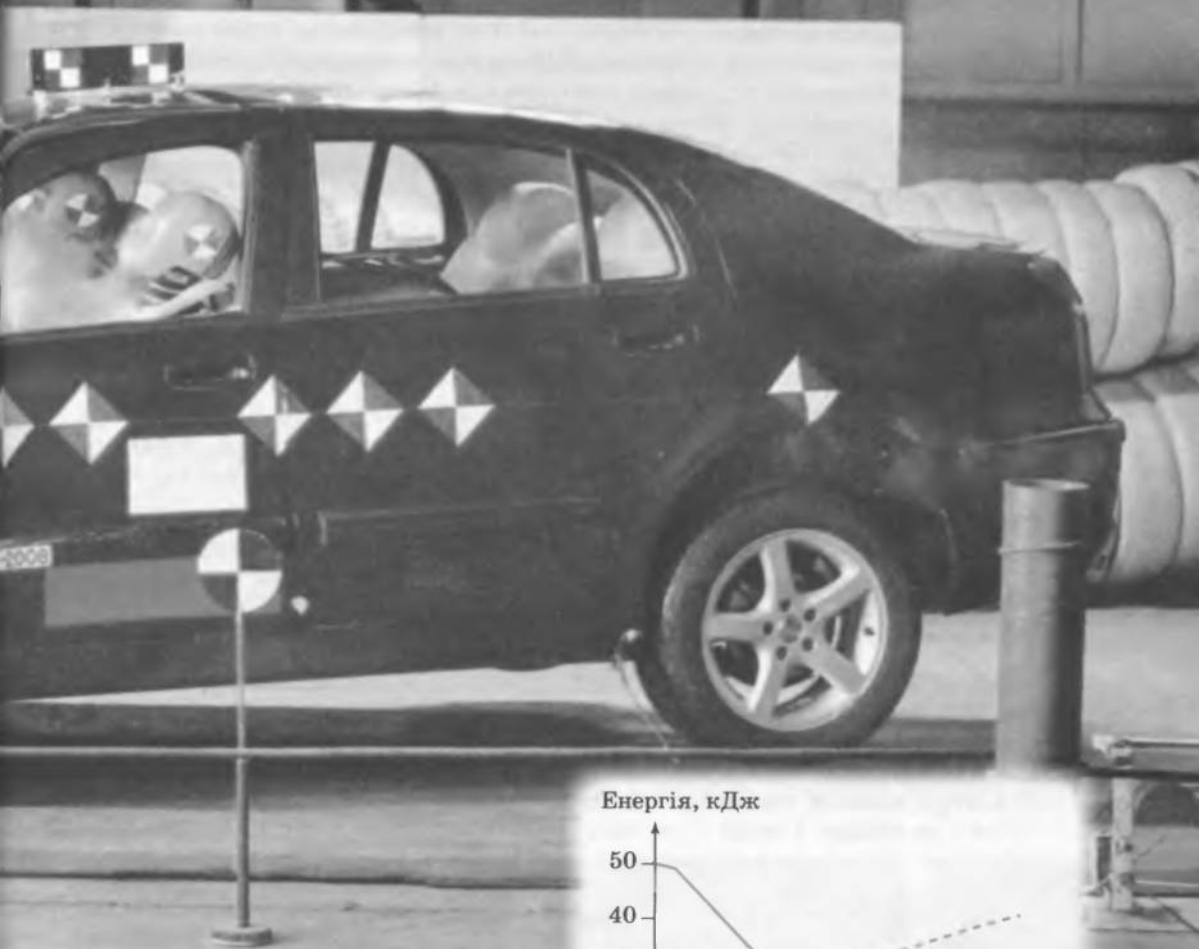


Зрозуміло, що конструктори автомобілів не можуть повністю запобігти ймовірності аварії, проте вони намагаються зробити так, щоб її наслідки були якомога меншими.

Для цього автомобілі конструюють таким чином, щоб деформації піддавалися тільки його передня (задня) частина, а салон був якнайкраще захищений від зминання. Перевірку своїх ідей інженери здійснюють за допомогою так званих *краш-тестів*. Для проведення такого тесту абсолютно новий автомобіль оснащують величезною кількістю датчиків, у салоні розміщують манекени, які теж оснащені датчиками. Після цього автомобіль розганяють до швидкості 40–60 км/год й спрямовують на перешкоду.

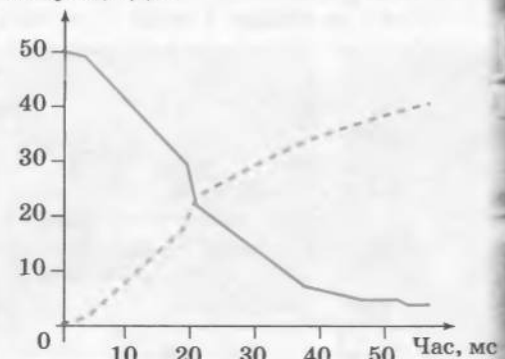
І зовсім не шкода свідомо знищувати новенький автомобіль, адже дані, отримані в результаті таких випробувань, дозволяють зберегти десятки людських життів. Обсяг даних, здобутих завдяки краш-тестам, величезний (далі йтиметься тільки про ті, що безпосередньо стосуються досліджуваної теми).

На схемі наведено графік залежності кінетичної енергії й енергії деформації від часу після зіткнення автомобіля зі стіною. (Нагадаємо: зменшення одного виду й зростання іншого виду енергії було наочно вивчене в § 30 «Перетворення механічної енергії. Закон збереження механічної енергії».) Уважні учні, напевно, помітять, що якщо додати величини енергії деформації й кінетичної енергії за швидкості, скажімо, 40 м/с, то сума буде трохи меншою, ніж початкова кінетична енергія. Це пов'язане з тим, що вихідна кінетична енергія перетвориться й на інші види енергії, які не показані на графіку.



*Результати краш-тесту: залежність кінетичної енергії (суцільна лінія) і енергії деформації (штрихова лінія) від часу випробування. Нуль на графіку позначає удар автомобіля об стіну*

Енергія, кДж



## § 33. ТЕПЛОВИЙ СТАН ТІЛ. ТЕМПЕРАТУРА ТА ЇЇ ВИМІРЮВАННЯ

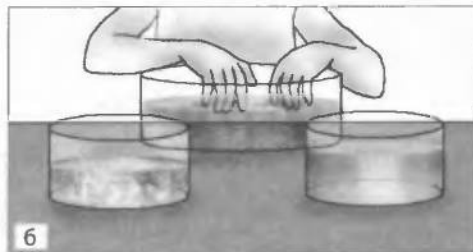
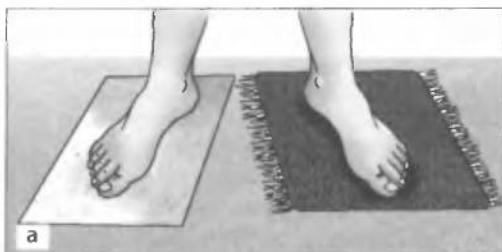
**?!** Усім змалку є звичними слова: гаряче, тепле, холодне. «Обережно, чашка гаряча, обпечешся»,— застерігали нас дорослі. Ми не розуміли, що означає «гаряча», доторкалися до чашки — і обпікалися. «Сніг холодний, не знімай рукавичок, пальчики змерзнуть»,— умовляла бабуся. Нам дуже хотілося дізнатись, а як це — «холодний», ми знімали рукавички й невдовзі розуміли значення цього слова. «Доведеться побути в ліжку. Температура висока»,— наполягав лікар. А що ж таке температура з погляду фізики?

**1** Знайомимося з поняттям «температура»

Початкових уявлень про температуру людина набула за допомогою дотику. Характеризуючи, наприклад, тепловий стан дуже холодного тіла, можна сказати про нього «крижане», тобто порівняти свої відчуття від дотику до цього тіла з відчуттями, що виникають унаслідок дотику до криги.

Визначаючи, *наскільки нагріті* ті чи інші тіла, ми порівнюємо їхні температури. Коли говорять: «Сьогодні надворі тепліше, ніж учора», — це означає, що температура повітря на вулиці сьогодні вища, ніж учора; фраза «Сніг на дотик холодний» означає, що температура снігу нижча від температури руки. Таким чином, на інтуїтивному рівні ми визначаємо температуру тіла як фізичну величину, що характеризує ступінь нагрітості тіла.

**Рис. 33.1.** Досліди на підтвердження суб'єктивності наших відчуттів: *а* — гладенький папір здається холоднішим, ніж шорсткий килимок; *б* — якщо занурити ліву руку в теплу воду, праву — в холодну, а через певний час обидві руки помістити в посудину з водою кімнатної температури, то виникне дивне відчуття: ту саму воду ліва рука сприйме як холодну, а права — як теплу





Однак, визначаючи ступінь нагрятості тіл на дотик, можна дати лише приблизну оцінку їхньої температури. Крім того, не завжди можна торкнутися тіла та оцінити, наскільки воно гаряче або холодне. Більш того, відчуття можуть обманювати нас. Справді, за тієї самої кімнатної температури металеві предмети здаються холоднішими від дерев'яних або пластмасових, а шорсткі — теплішими за гладенькі (рис. 33.1, а). І навіть одне тіло в той самий момент може мати на дотик різний ступінь нагрятості (рис. 33.1, б). Тому для *якіснішого порівняння температур тіл використовують не суб'єктивні, а об'єктивні чинники*. Про деякі з них ітиметься нижче.

## 2 Вводимо поняття теплової рівноваги

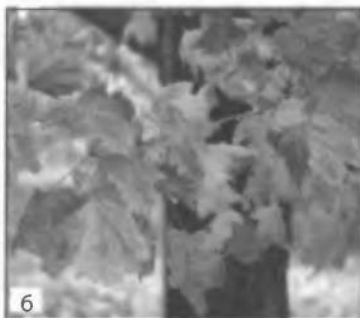
Досліди показують: коли більш нагріте тіло контактує з менш нагрітим, то більш нагріте тіло завжди охолоджується, а менш нагріте — нагрівається. До того ж можуть змінюватися й інші властивості тіл: вони можуть стати більшими або меншими за розмірами, перейти в інший агрегатний стан, краще чи гірше проводитимуть електричний струм, випромінюватимуть світло іншого кольору тощо. Натомість однаково нагріті тіла, контактуючи одне з одним, не змінюють своїх властивостей, і тоді кажуть, що ці тіла перебувають *у стані теплової рівноваги* (рис. 33.2). Отже, надамо означення температури.

**Температура** — це фізична величина, яка характеризує стан теплової рівноваги системи тіл.

## 3 Згадуємо фізичний зміст поняття температури

Із курсу фізики 7-го класу ви знаєте, що температура тіла тісно пов'язана зі швидкістю хаотичного руху його мікрочастинок (атомів, молекул, іонів). Цей рух так і називають — *тепловий*.

**Рис. 33.2.** Однаково гарячі або однаково холодні тіла перебувають у стані теплової рівноваги: а — книжка, що лежить на столі, перебуває у стані теплової рівноваги зі столом; б — дерево перебуває у стані теплової рівноваги з повітрям; в — іграшки перебувають у стані теплової рівноваги з водою



Частинки тіла завжди рухаються, отже, завжди *мають кінетичну енергію*. Чим швидше рухаються частинки, тим вища температура тіла.

Ви також знаєте, що швидкість руху окремих частинок, а отже, їхня кінетична енергія постійно змінюються. Але під час теплової рівноваги середня кінетична енергія частинок усіх тіл системи, тобто кінетична енергія, що припадає в середньому на кожен частинку, є однаковою. Таким чином, з точки зору атомно-молекулярної теорії *температура є мірою середньої кінетичної енергії хаотичного руху частинок, із яких складається тіло (система тіл)*.

Отже, ми знайшли певний об'єктивний чинник для визначення температури — це середня кінетична енергія частинок речовини. Цей чинник не залежить від наших відчуттів, проте він аж ніяк не допоможе виміряти температуру. Адже безпосередньо виміряти середню кінетичну енергію руху частинок неможливо.

#### **4** Вимірюємо температуру

Вже зазначалося, що зі зміною температури тіла змінюються і його певні властивості. Таким чином, вимірюючи фізичну величину, що характеризує якусь із таких властивостей тіла, можна зробити висновок і про зміну його температури.

Прилади для вимірювання температури називають **термометрами** (від грец. *thermos* — теплий) (рис. 33.3).

Розглянемо *рідинний* термометр, принцип дії якого ґрунтується на розширенні рідини під час нагрівання (з цим явищем ви знайомі із 7-го класу). Найпростіший рідинний термометр (рис. 33.4) складається з резервуара, наповненого рідиною, довгої тонкої трубки, в яку виступає стовпчик цієї рідини, і шкали. Довжина стовпчика рідини є мірою температури: чим вища температура тіла, тим вищим є стовпчик рідини в термометрі.

**Рис. 33.3.** Різні види термометрів: *а* — *рідинний* (мірою температури є довжина стовпчика рідини); *б* — *металевий* (біметалічна пластинка, яка з'єднана зі стрілкою термометра, вигинається в результаті нагрівання); *в* — *термометр опору* (зі зміною температури змінюється сила електричного струму в колі); *г* — *медичний* (унаслідок зміни температури змінюється колір відповідної ділянки термометра)



а



б



в



г

Щоб за довжиною стовпчика рідини можна було визначати температуру, слід нанести шкалу, насамперед позначивши на ній так звані *реперні* точки. Такі точки мають бути однозначно пов'язані з якимись фізичними процесами, які легко відтворити. Так, для виготовлення найбільш використовуваної шкали *Цельсія* за реперні точки беруть:

— *температуру танення чистого льоду за нормального атмосферного тиску*. Для цього майбутній термометр опускають у лід, що тоне, і, дочекавшись, коли стовпчик рідини припинить рух, навпроти верхнього положення стовпчика ставлять позначку  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 33.5, а);

— *температуру кипіння води за нормального атмосферного тиску*. Термометр частково занурюють у киплячу воду і положення стовпчика рідини позначають як  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  (рис. 33.5, б).

Поділивши проміжок між позначками  $0$  і  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$  на сто рівних частин, дістанемо термометр, який проградуєвано за шкалою *Цельсія*, та одиницю температури за цією шкалою — *градус Цельсія\** ( $^{\circ}\text{C}$ ).

*Один градус Цельсія дорівнює одній сотій частині зміни температури води під час її нагрівання від температури плавлення до температури кипіння за нормального атмосферного тиску.*

Температуру, виміряну за шкалою *Цельсія*, позначають символом  $t$ .

Звернемо увагу на таку обставину. *Термометр завжди показує свою власну температуру*, отже, вимірюючи температуру будь-якого тіла, слід дочекатися стану теплової рівноваги між цим тілом і термометром.

\* Крім шкали *Цельсія*, використовують інші температурні шкали: Кельвіна, Фаренгейта, Реомюра. У СІ за основну одиницю температури взято *кельвін* (К).

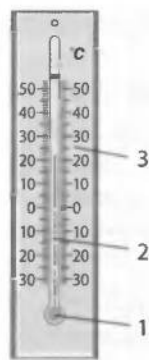


Рис. 33.4. Будова рідинного термометра: 1 — резервуар; 2 — трубка; 3 — шкала

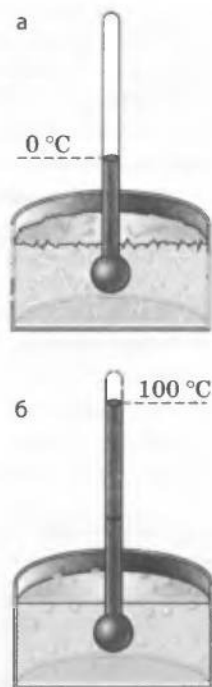


Рис. 33.5. Побудова температурної шкали *Цельсія*: а — температурі танення льоду приписують значення  $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; б — температурі кипіння води — значення  $100\text{ }^{\circ}\text{C}$

### 5 Підбиваємо підсумки

Якщо в будь-який спосіб створити контакт між тілами і певний час почекати, врешті-решт їх властивості припинять змінюватися. Тоді говорять, що тіла перебувають у стані теплової рівноваги. Фізичну величину, яка характеризує стан теплової рівноваги, називають температурою. Температура є мірою середньої кінетичної енергії руху частинок, із яких складається тіло.

На практиці ми частіше маємо справу з такою одиницею температури, як градус Цельсія ( $^{\circ}\text{C}$ ). Один градус Цельсія дорівнює одній сотій частині зміни температури води під час її нагрівання від температури плавлення до температури кипіння за нормального атмосферного тиску.

Прилади для вимірювання температури називають термометрами. Дія термометрів ґрунтується на зміні властивостей тіл, що пов'язані зі зміною температури.

#### ? Контрольні запитання

1. Чому неможливо точно оцінити температуру тіла за допомогою відчуттів?
2. У чому полягає стан теплової рівноваги? 3. Дайте означення температури тіла.
4. Чому хаотичний рух молекул тіла називають тепловим рухом? 5. Що таке термометр? 6. Наведіть приклади різних термометрів. Опишіть принцип дії рідинного термометра.
7. Назвіть реперні точки шкали Цельсія.
8. Температуру якого тіла завжди показує термометр?

#### Вправа № 33

1. Пригадайте будову й принцип дії рідинного термометра та поясніть, що сильніше розширюється під час нагрівання: скло чи рідина? Обґрунтуйте відповідь.
2. Уявіть термометр, який замість ртуті заповнено водою. Чим такий термометр буде незручним? Назвіть як мінімум два недоліки.
3. Вимірюючи температуру тіла, термометр слід тримати кілька хвилин. Чому?
4. Чому розміри термометра мають бути невеликими порівняно з розмірами тіла, температуру якого вимірюють?

#### ♀ Експериментальне завдання

Проведіть дослід із гарячою та холодною водою, описаний у пункті 1 параграфа. Опишіть послідовність своїх дій та зробіть висновок.

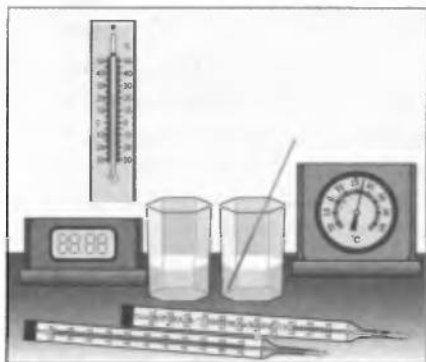


#### ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Чернівецький національний університет ім. Юрія Федьковича був заснований у 1875 р. указом імператора Австро-Угорщини Франца Йосифа. Тоді в університеті були лише теологічний, філософський та юридичний факультети.

Сьогодні в університеті функціонує 16 факультетів, де навчається понад 16 тисяч студентів. Навчально-наукову роботу забезпечують майже 100 докторів наук, професорів, близько 500 кандидатів наук, доцентів.

Серед основних напрямків досліджень, пов'язаних з фізикою, можна назвати теоретичні та прикладні дослідження напівпровідникового матеріалознавства; розроблення нових технологій, матеріалів, мікросхем і приладів для опто-, радіо- та мікроелектроніки, напівпровідникового приладобудування; статичну оптику; голографію та ін.



**Тема.** Вимірювання температури за допомогою різних термометрів.

**Мета:** виміряти температуру води та повітря, користуючись різними термометрами; вивчити будову та принцип дії спиртового термометра.


**Обладнання:** два спиртові термометри з різними цінами поділок, різні кімнатні термометри (наприклад, рідинний, металевий, електронний), дві склянки, одна з яких приблизно наполовину наповнена холодною водою, а друга — теплою, дерев'яна або пластикова паличка для перемішування рідин (мішалка).

## Теоретичні відомості

Правила користування рідинним термометром

- 1) Термометр необхідно зберігати в спеціальному резервуарі. Після здійснення вимірювання термометр слід відразу ж прибрати в резервуар.
- 2) Знімаючи показання, термометр слід увесь час тримати в середовищі, температура якого вимірюється (винятком є, наприклад, термометри максимальної температури\*).
- 3) Під час вимірювання потрібно стежити за правильним положенням очей — вони мають бути на рівні верхньої межі стовпчика рідини.
- 4) Вимірюючи температуру рідини, її слід злегка перемішувати мішалкою.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

 Підготовка до експерименту

1. Уважно прочитайте правила користування термометром.
2. Розгляньте будову спиртового термометра (резервуар зі спиртом, запаяну зверху тонку скляну трубку, шкалу), розберіться в принципі його дії.
3. Визначте ціну поділки шкали й межі вимірювання всіх запропонованих термометрів (якщо термометр цифровий, то межі вимірювання визначають за паспортом).

\* Звичайний медичний термометр — це термометр максимальної температури: після досягнення найбільшої температури стовпчик термометра самостійно назад не повертається.

#### 4. Результати занесіть до табл. 1.

Таблиця 1

Термометр	Блок позначок шкали				
	Два сусідніх значення, позначені цифрами	Кількість поділок між сусідніми цифрами	Ціна поділки шкали	Межі вимірювання	
				верхня	нижня



#### Експеримент

1. За допомогою різних кімнатних термометрів визначте температуру повітря в кімнаті. Результати вимірювань занесіть до табл. 2.
2. Обома спиртовими термометрами виміряйте температуру холодної води.
3. Повторіть вимірювання обома спиртовими термометрами для склянки з теплою водою.
4. Виміряйте температуру суміші. Для цього в склянку з теплою водою вилийте холодну воду; обережно перемішуючи воду мішалкою, спостерігайте за зміною температури на обох спиртових термометрах. Запишіть найбільші показання кожного термометра.
5. Закінчіть заповнення табл. 2.

Таблиця 2

Вимірювання температури повітря		Вимірювання температури рідини			
Термометр	Температура $t$ , °C	Термометр	Температура води $t$ , °C		
			Холодна	Гаряча	Суміш



#### Аналіз результатів експерименту

Порівняйте результати вимірювань, які були виконані за допомогою різних термометрів. Зробіть висновок, у якому зазначте, яку фізичну величину ви вимірювали, який термометр, на ваш погляд, дає найбільш точний результат, який є найзручнішим у застосуванні, який — більш універсальним, більш практичним.



#### Творче завдання

Підготуйте реферат на одну із тем: «Історія термометрів»; «Різні температурні шкали»; «Найдивовижніші термометри».

## § 34. ВНУТРІШНЯ ЕНЕРГІЯ

?! У новинах, коли йдеться про космічні дослідження, ви, напевне, чули фразу типу: «Супутник увійшов в атмосферу Землі й припинив своє існування». Але ж відомо, що супутник мав величезну механічну енергію: кінетичну, оскільки він рухався, та потенціальну, оскільки був високо над поверхнею Землі. Виникає запитання: куди щезла колосальна енергія супутника? Фізики пояснюють, що вона передалася молекулам повітря та супутника, тобто перейшла в енергію усередині речовини. Природно тому, що цю енергію називають внутрішньою. Про те, що таке «внутрішня енергія», і йтиметься далі.

### 1 Знайомимося з поняттям внутрішньої енергії

Ми вже звертали увагу на те, що завдяки тепловому руху *кожна частинка речовини завжди має кінетичну енергію* (рис. 34.1).

Зрозуміло, що значення кінетичної енергії окремої частинки невелике, оскільки маса частинки є дуже малою. Наприклад, кінетична енергія, що припадає в середньому на одну молекулу газу за кімнатної температури, становить приблизно  $5 \cdot 10^{-21}$  Дж. Водночас кількість молекул в одиниці об'єму речовини величезна. Так, сума кінетичних енергій усіх молекул повітря у великій шафі становить близько  $4 \cdot 10^5$  Дж (рис. 34.2).

Крім кінетичної енергії частинки речовини мають і потенціальну енергію, тому що (пригадайте атомно-молекулярну теорію) взаємодіють одна з одною: притягуються й відштовхуються.

Суму кінетичної енергії теплового руху частинок, із яких складається тіло, і потенціальної енергії їхньої взаємодії називають **внутрішньою енергією тіла**

Одиницею внутрішньої енергії в СІ є **джоуль** (Дж).

### 2 З'ясуємо, від чого залежить внутрішня енергія тіла

Мірою середньої кінетичної енергії руху частинок, із яких складається тіло, є температура. Тому зміна температури означає й зміну сумарної кінетичної енергії всіх частинок, а отже, зміну внутрішньої енергії тіла.

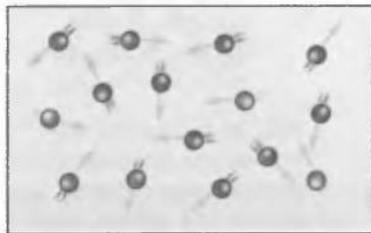
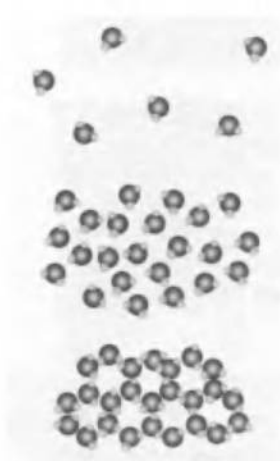


Рис. 34.1. Кожна частинка речовини перебуває в стані безперервного хаотичного руху, завдяки чому має кінетичну енергію



Рис. 34.2. Сума кінетичних енергій усіх молекул повітря у великій шафі становить близько 0,4 МДж. Цієї енергії достатньо, щоб усіх учнів вашого класу піднести приблизно до 25 м



**Рис. 34.3.** У різних агрегатних станах взаємне розташування молекул речовини є різним, тому відрізняється і потенціальна енергія взаємодії молекул

Крім того, зі зміною температури тіло розширюється або стискається. При цьому змінюється відстань між частинками речовини і, як наслідок, змінюється потенціальна енергія їхньої взаємодії. Це теж, у свою чергу, зумовлює зміну внутрішньої енергії тіла.

Отже, *внутрішня енергія тіла залежить від температури тіла.*

Також *внутрішня енергія залежить від агрегатного стану речовини:* у результаті зміни агрегатного стану змінюється взаємне розташування її частинок, тому змінюється й потенціальна енергія їхньої взаємодії (рис. 34.3, 34.4).

**3** Розрізняємо внутрішню і механічну енергії. Під час вивчення механіки йшлося про те, що суму кінетичної та потенціальної енергій системи тіл називають повною механічною енергією цієї системи. Дехто з вас, можливо, скаже: «То виходить, що внутрішня й механічна енергія — одне й те саме!» Проте це не так.

Дещо схожі за формальними ознаками, ці поняття значно відрізняються за своєю сутністю — їх навіть вивчають у різних розділах фізики. Згодом ви дізнаєтеся про це детальніше, а зараз зазначимо тільки деякі відмінності.

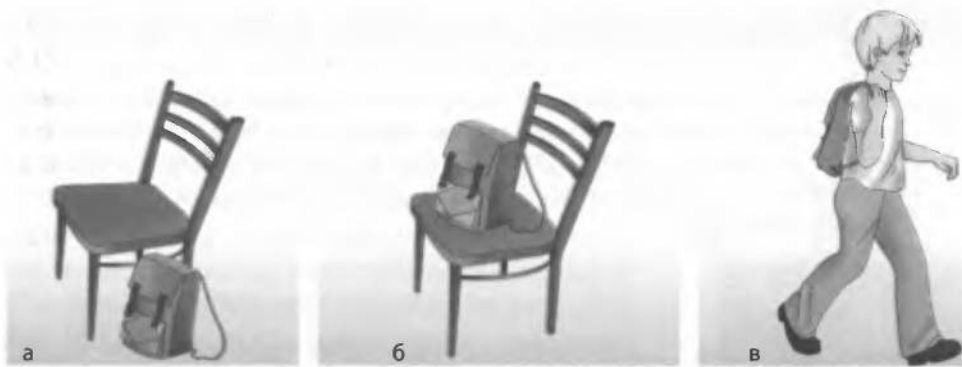
По-перше, коли розглядають механічну енергію, то це означає, що йдеться про тіло (або декілька тіл). А от коли розглядають внутрішню енергію, то йдеться про рух та взаємодію дуже великої кількості частинок ( $10^{23}$  або більше). Зрозуміло, що у випадку з внутрішньою енергією не можна відстежити індивідуальні характеристики кожної частинки, — тому фізики використовують тільки *середні характеристики* (про середню кінетичну енергію ви вже знаєте).

По-друге, для одного фізичного тіла ми завжди можемо знайти систему відліку, відносно якої це тіло не буде мати механічної енергії (див. рис. 29.4). Проте неможливо знайти систему відліку, відносно якої дорівнювала б нулю внутрішня енергія тіла, оскільки не існує системи відліку, відносно якої усі частинки тіла не рухались би.



**Рис. 34.4.** За однакової температури внутрішня енергія льоду є меншою за внутрішню енергію такої самої маси води: під час переходу речовини з твердого стану в рідкий збільшується потенціальна енергія взаємодії молекул води





**Рис. 34.5.** Внутрішня енергія наплічника, що стоїть на стільці (а), лежить на підлозі (б) або рухається разом із хлопчиком (в), є однаковою, а механічна енергія — різною

По-третє, механічна енергія залежить від руху й розташування фізичного тіла відносно інших тіл або частин тіла відносно одна одної. Натомість внутрішня енергія визначається характером руху та взаємодії тільки частинок тіла. Так, внутрішня енергія наплічника, що стоїть на стільці, лежить на підлозі або «подорожує» разом із вами шкільним коридором, є однаковою. А от його механічна енергія у цих ситуаціях буде різною (рис. 34.5).

### ! Підбиваємо підсумки

Будь-яке фізичне тіло має внутрішню енергію. Внутрішня енергія тіла — це сума кінетичних енергій усіх частинок, із яких складається тіло й потенціальних енергій їхньої взаємодії.

Внутрішня енергія тіла залежить від його температури та агрегатного стану речовини, з якої це тіло складається.

### ? Контрольні запитання

1. Чому частинки речовини мають потенціальну енергію? завжди мають кінетичну енергію?
2. Що називають внутрішньою енергією тіла?
3. Від чого залежить внутрішня енергія тіла?
4. Доки лід плавиться, його температура не змінюється. Чи змінюється при цьому внутрішня енергія льоду?
5. Чи може тіло мати внутрішню енергію, але не мати при цьому механічної енергії?

### ✍ Вправа № 34

1. Якщо підняти камінь з поверхні землі, то потенціальна енергія каменя, а отже, кожної його частинки, збільшується. Чи означає це, що внутрішня енергія каменя також збільшується? Обґрунтуйте свою відповідь.
2. М'яч кинуту вгору. Як під час руху м'яча змінюється його внутрішня енергія? механічна енергія? Опором повітря знехтувати.
3. Як змінюються внутрішня й механічна енергії пляшки з водою у вашому наплічнику, коли ви в морозну погоду заходите з вулиці в теплий будинок? піднімаєтеся на другий поверх будівлі? прискорюєте рух шкільним коридором?
4. Металеву кульку підвісили на мотузці й нагріли. Як змінилася внутрішня енергія кульки? механічна енергія?

## § 35. СПОСОБИ ЗМІНЕННЯ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ



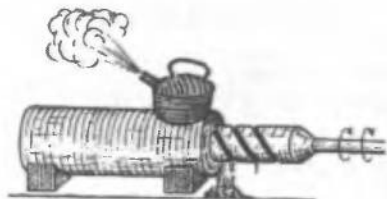
Пригадайте, як ваші однокласники повертаються до школи після того, як на перерві грали в сніжки. Хтось енергійно тре руки, хтось тулить їх до теплої батареї. Для чого вони це роблять? Звичайно, щоб зігріти змерзлі руки. А чим відрізняються способи нагрівання за допомогою тертя та внаслідок контакту з тілом, яке має вищу температуру?



**Рис. 35.1.** Вимкнена гаряча праска холодне — передає певну кількість теплоти навколишньому середовищу, доки не встановиться теплова рівновага



**Рис. 35.2.** Бенджамін Томсон (граф Румфорд) (1753–1814), англійський фізик, наприкінці XVIII ст. уперше експериментально показав, що теплота — це енергія, яку можна одержати за рахунок виконання роботи



### **1** Знайомимосся з процесом теплопередачі та поняттям кількості теплоти

Пригадаємо деякі приклади з життя: якщо вимкнути з розетки гарячу праску, за якийсь час вона охолоне (рис. 35.1); занурена в гарячий чай холодна ложка обов'язково нагріється. У кожному з цих прикладів змінюється температура тіл, і це означає, що змінюється їхня внутрішня енергія. У той же час усі ці тіла залишаються на своїх місцях, отже, ніякої роботи не виконують.

У таких випадках кажуть про *передачу тепла*. Нагріта праска передає тепло навколишньому повітрю, гарячий чай — тій частині ложки, яку занурено в нього, більш нагріта частина ложки — менш нагрітій тощо.

Процес зміни внутрішньої енергії тіла або частин тіла без виконання роботи називають **теплопередачею (теплообміном)**.

Для кількісної характеристики процесу теплопередачі використовують поняття *кількості теплоти*.

**Кількість теплоти** — це фізична величина, значення якої дорівнює енергії, яку тіло одержує або віддає в процесі теплопередачі.

**Рис. 35.3.** Схема експерименту Румфорда: вода в казані, поставленому на заготовку гарматного дула, закипає за рахунок теплоти, що виділяється внаслідок свердління дула

Кількість теплоти позначають символом  $Q$ . Одиницею кількості теплоти в СІ є **джоуль** (Дж)\*.

Досліди переконують у тому, що процес теплопередачі можливий тільки в разі наявності різниці температур, причому тепло доволно може передаватися тільки від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою. Чим більшою є різниця температур, тим швидше за інших рівних умов здійснюється процес передачі тепла. Цей процес триватиме, доки температури тіл не стануть однаковими, тобто доки між ними не встановиться *теплова рівновага*.

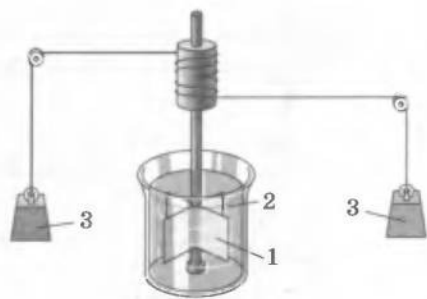
## **2** Змінюємо внутрішню енергію, виконуючи роботу

Численні спостереження й експерименти переконують: *навіть у разі відсутності теплообміну внутрішня енергія тіла може збільшуватися, якщо над тілом виконується робота* (рис. 35.2—35.4).

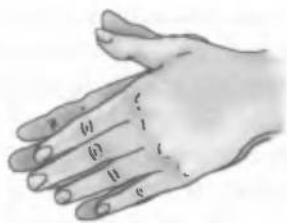
Так, робота сил тертя шин автомобіля об шляхове покриття спричиняє збільшення внутрішньої енергії шин та покриття дороги. Доказом цього є їхнє нагрівання під час руху автомобіля. Так само, якщо інтенсивно терти долоні одну об одну, їхня внутрішня енергія збільшується (тобто вони розігріваються) внаслідок роботи сили тертя (рис. 35.5).

З описаним явищем доводиться мати справу в техніці. Наприклад, у процесі оброблення металевих деталей за рахунок роботи сил тертя помітно зростає температура як самого інструмента (свердла, різця тощо), так і деталі, яку обробляють.

А як зміниться внутрішня енергія тіла, якщо воно саме виконує роботу? Для



**Рис. 35.4.** Прилад, за допомогою якого у середині XVIII ст. Джеймс Джоуль зміг точно виміряти зміну температури води внаслідок виконання над нею певної механічної роботи. Джоуль нагрівав воду, перемішуючи її за допомогою спеціального колеса з лопатками (1), поміщеного в ізольований контейнер із водою (2); руху колесу надавали тягарці (3)



**Рис. 35.5.** Якщо інтенсивно потерти долоні одну об одну, вони розігріваються — їхня внутрішня енергія збільшується внаслідок виконання роботи

\* Для вимірювання кількості теплоти здавна застосовували таку одиницю, як *калорія* (від латин. *calor* — тепло). Зараз цю одиницю часто використовують для обчислення енергії, що виділяється в результаті споживання харчових продуктів: 1 кал  $\approx$  4,2 Дж.



**Рис. 35.6.** Дослід, який підтверджує, що в ході виконання повітрям роботи його внутрішня енергія зменшується. Доказом цього є поява туману в посудині

відповіді на це запитання проведемо дослід. Скористаємося товстостінною скляною посудиною, дно якої вкрите шаром води. Через випаровування в посудині буде присутньою водяна пара. Закоркуємо посудину і через корок пропустимо трубку. З'єднаємо трубку з насосом та почнемо накачувати до посудини повітря.

Через деякий час корок вилетить, при цьому в посудині утвориться туман (рис. 35.6). Туман — то дрібні краплинки води, що утворилися з водяної пари. Поява туману відбувається в разі зниження температури. Отже, температура повітря в посудині зменшилась, відповідно, зменшилась його внутрішня енергія. Таким чином, повітря виконало механічну роботу (виштовхнуло корок) за рахунок зменшення власної внутрішньої енергії. *Якщо тіло саме виконує роботу, то його внутрішня енергія зменшується.*

#### **□** Підбиваємо підсумки

Існують два способи змінити внутрішню енергію тіла: виконання роботи та теплопередача.

Процес змінення внутрішньої енергії тіла без виконання роботи називають теплопередачею. Енергія в процесі теплопередачі може довільно передаватися тільки від тіла з більшою температурою до тіла з меншою температурою.

Кількість теплоти — це фізична величина, значення якої дорівнює зміні внутрішньої енергії в процесі теплопередачі. Кількість теплоти позначають символом  $Q$  і вимірюють у джоулях (Дж).

У разі відсутності теплообміну, коли над тілом виконується робота, внутрішня енергія тіла збільшується. Якщо ж тіло саме виконує роботу, то його внутрішня енергія зменшується.

#### **?** Контрольні запитання

1. У які способи можна змінити внутрішню енергію тіла?
2. Що називають теплопередачею?
3. Наведіть приклади теплопередачі.
4. Що таке кількість теплоти?
5. Назвіть одиницю кількості теплоти.
6. Наведіть приклади змінення внутрішньої енергії тіла внаслідок виконання роботи.
7. Як змінюється внутрішня енергія тіла, коли воно виконує роботу і коли над ним виконують роботу, при тому що теплообмін із навколишніми тілами відсутній?

#### **✎** Вправа № 35

1. Чому бійці, що десантуються з гелікоптерів по канатах, надівають рукавички?
2. Чим відрізняються способи нагрівання рук за допомогою тертя та внаслідок взаємодії з тілом, яке має вищу температуру?

3. Чи правильним є твердження, що в процесі теплопередачі енергія завжди переходить від тіла з більшою внутрішньою енергією до тіла з меншою внутрішньою енергією? Свою відповідь обґрунтуйте.
- 4\*. Наведіть приклади змінення внутрішньої енергії тіла, коли водночас виконується робота та відбувається теплопередача. Чи може у таких випадках внутрішня енергія залишитися незмінною?

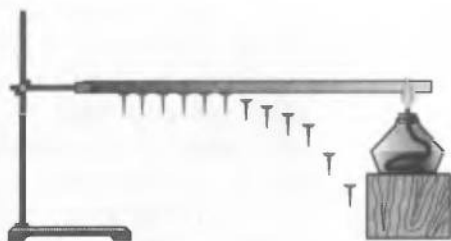
## § 36. ТЕПЛОПРОВІДНІСТЬ

- ?** Навіщо влітку жителі спекотних районів Центральної Азії носять ватяні халати? Як зробити, щоб морозиво в літню спеку швидко не розтануло, якщо поблизу немає холодильника? У якому взутті швидше змерзнуть ноги: в тому, яке щільно прилягає до ноги, чи в просторому? Після вивчення матеріалу цього параграфа ви зможете правильно відповісти на всі ці запитання.

### **1** Знайомимося з механізмом теплопровідності

Проведемо дослід. Закріпивши в лапці штатива мідний стрижень, за допомогою воску прикріпимо вздовж стрижня кілька канцелярських кнопок (рис. 36.1). Почнемо нагрівати вільний кінець стрижня в полум'ї пальника. Через деякий час побачимо, що кнопки по черзі падатимуть на стіл.

Для пояснення цього явища скористаємося знаннями з атомно-молекулярної теорії. Коли кінець стрижня поміщують у полум'я пальника, то спочатку розігрівається саме ця частина стрижня й збільшується швидкість коливального руху тільки тих частинок металу, які перебувають власне в полум'ї. Ці частинки завдяки взаємодії із сусідніми частинками «розгойдують» і їх, тобто збільшують швидкість їхнього коливального руху. У результаті підвищується температура наступної частини стрижня й т. д. Образно можна сказати, що вздовж стрижня йде «хвиля» тепла, яке послідовно розігріває метал. Тепло від металу передається до воску, він розм'якшується, і завдяки цьому кнопки одна за одною відпадають від стрижня.



**Рис. 36.1.** Дослід, який демонструє теплопровідність металів



**Рис. 36.2.** Досліди, що ілюструють погану теплопровідність дерева (а) та води (б)

Зверніть увагу, що в ході цього процесу сама речовина (мідь) не переміщується від одного кінця стрижня до іншого.

**Теплопровідність** — це процес передачі тепла від одних частин тіла до інших його частин або від одних тіл до інших, який зумовлений хаотичним рухом частинок речовини й не супроводжується перенесенням цієї речовини.

## 2 Переконаємося, що різні речовини по-різному проводять тепло

Ви, напевне, помічали, що одні речовини проводять тепло краще, ніж інші. Так, якщо помістити в склянку з гарячим чаєм дві чайні ложки — сталеву і срібну, то срібна нагріється набагато швидше за сталеву. Це означає, що срібло краще проводить тепло, ніж сталь.

Досліди показали, що найкращими провідниками тепла є метали. Дерево, скло, чимало видів пластмас проводять тепло значно гірше, саме тому ми можемо, наприклад, тримати запалений сірник доти, доки полум'я не досягне пальців (рис. 36.2, а).

Погано проводять тепло й рідини (винятком є розплавлені метали). Проведемо відповідний дослід. Покладемо на дно пробірки з холодною водою шматочок льоду, а щоб лід не спливав, притиснемо його важком (рис. 36.2, б). Нагріватимемо на спиртівці верхній шар води. Через певний час вода поблизу поверхні закипить, а лід унизу пробірки ще не розтане.

Ще гірше за рідину проводять тепло гази. І цей факт легко пояснити. Відстань між молекулами газів набагато більша, ніж відстань між молекулами рідин і твердих тіл. Отже, зіткнення частинок і відповідно перенесення енергії від однієї частинки до іншої відбуваються рідше.

Скловолокно, вата, хутро дуже погано проводять тепло, оскільки, по-перше, між їхніми волокнами є повітря, а по-друге — ці волокна погано проводять тепло самі по собі.

## 3 Звертаємо увагу на теплопровідність у природі та житті людини

Ви, напевне, знаєте, що свійські тварини навесні та восени линяють. Навесні хутро тварин стає коротшим і менш густим, восени ж навпаки — довшає та гущішає. Вовна, хутро, пух погано проводять тепло й надійно захищають тіло тварин від охолодження.



**Рис. 36.3.** Там, де потрібно швидко передати тепло від одного тіла до іншого, застосовують речовини з великою теплопровідністю

**Рис. 36.4.** Щоб запобігти нагріванню або охолодженню тіл, застосовують речовини з малою теплопровідністю: *a* — пориста цегла є гарним теплоізолятором; *б* — куртка, підкладка якої наповнена пухом, надійно захистить від холоду

Істоти, які живуть або полюють у холодних морях, мають під шкірою товстий жировий прошарок, який завдяки слабкій теплопровідності дозволяє їм тривалий час перебувати у воді без значного переохолодження.

Багато комах узимку закопуються глибоко в землю — її гарні теплоізоляційні властивості дозволяють комахам вижити навіть у люті морози. Деякі рослини пустелі вкриті дрібними ворсинками: повітря між ними перешкоджає теплообміну з довкіллям.

Людина в різних сферах діяльності застосовує ті чи інші речовини, зважаючи на їхню теплопровідність. Речовини з кращою теплопровідністю застосовують там, де потрібно швидко передати тепло від одного тіла до іншого. Наприклад, каструлі, сковорідки, батареї опалення тощо виготовляють із металів (рис. 36.3).

Там, де потрібно запобігти нагріванню або охолодженню тіл, застосовують речовини, що погано проводять тепло. Наприклад, дерев'яна ручка джезви дозволить налити каву, не використовуючи рукавичок, а у водогінних трубах, які прокладено глибоко під землею, вода не замерзне й у люті холоди і т. д. (рис. 36.4).

### **Підбиваємо підсумки**

Теплопровідність — це процес передачі енергії від одних тіл до інших або від одних частин тіла до інших частин того самого тіла, який зумовлений хаотичним рухом частинок речовини й не супроводжується перенесенням цієї речовини.

Різні речовини та речовини, що перебувають у різних агрегатних станах, по-різному проводять тепло. Найкращими теплопровідниками є метали, найгіршими — гази.

Людина широко використовує у своїй життєдіяльності здатність різних речовин по-різному проводити тепло.



### Контрольні запитання

1. Що називають теплопровідністю? 2. На якому прикладі можна спостерігати, що метали добре проводять тепло? 3. Як відбувається передача енергії в процесі теплопровідності? 4. У якому стані речовина гірше проводить тепло — у твердому, рідкому чи газоподібному? 5. Чому тварини не замерзають навіть у сильний холод? 6. Які матеріали добре проводять тепло? Де їх застосовують? 7. Назвіть матеріали, які погано проводять тепло. Де їх застосовують?



### Вправа № 36

1. Чому з точки зору фізики вираз «шуба гріє» є неправильним?
2. Чому під соломою сніг довго не тоне?
3. Чому подвійні рами у вікнах сприяють кращій теплоізоляції квартир?
4. Чому безсніжними зимами озимина потерпає від морозів?
- 5\*. За кімнатної температури металеві речі на дотик здаються холоднішими, ніж дерев'яні. Чому? За якої умови металеві предмети здаватимуться на дотик більш теплими, ніж дерев'яні? однаковими з ними за температурою?



### Експериментальне завдання

Візьміть два шматочки льоду, кожний покладіть в окремий поліетиленовий пакет. Один із пакетів ретельно обмотайте ватою. Покладіть пакети на тарілки та поставте їх у шафу. За годину розгорніть пакети. Поясніть результат.

## § 37. КОНВЕКЦІЯ



Уявіть спекотний літній полудень, берег моря. Вода на поверхні тепла, а її нижні шари — прохолодні. Від води віє легкий вітерець. А чи знаєте ви, чому виникає той вітерець, адже трохи далі від води дерева навіть не поворухнуться? І чому нагрівся тільки верхній шар води, адже сонце пече вже досить довго? Спробуємо відповісти на ці запитання та низку інших.



**Рис. 37.1.** Дослід, що демонструє конвекцію в рідині. Теплі забарвлені струминки води піднімаються, а холодні — опускаються



### Спостерігаємо конвекцію в рідинах і газах

Вам уже відомо, що гази й рідини погано проводять тепло. Виникають запитання: чому ж тоді нагрівається повітря в кімнаті від радіаторів водяного опалення? чому нагрівається вода в каструлі, яку поставлено на ввімкнену плиту? Щоб відповісти на них, звернемося до дослідів.

Наповнимо круглодонну колбу на три чверті водою й закріпимо її в лапці штатива. Скляною паличкою покладемо на дно колби кілька дрібок акварельної фарби. Потім нагріватимемо колбу знизу. Через деякий час зі дна колби почнуть підніматися забарвлені струминки води. Досягши верхніх шарів води, вони



спускатимуться вздовж більш холодних стінок (рис. 37.1); далі процес повториться. У результаті відбудеться природне перемішування нагрітих і ненагрітих частин рідини.

Такий самий процес може бути й в газах. Щоб у цьому переконатися, достатньо потримати долоню над гарячою електроплиткою або ввімкненою електричною лампою. Потоки гарячого повітря, що піднімаються, навіть можуть обертати легку вертушку (рис. 37.2).

У наведених прикладах спостерігаємо ще один вид теплопередачі — *конвекцію*.

**Конвекція** — це вид теплопередачі, здійснюваний шляхом перенесення теплоти потоками рідини або газу.

Зверніть увагу: *конвекція не може відбуватись у твердих тілах*, оскільки в них не можуть виникнути потоки речовини.

**2** Знайомимось з механізмом конвекції. З'ясуємо причини виникнення *природної конвекції*. Для цього подумки виділимо невеличкий об'єм рідини на дні посудини, що розміщена над пальником.

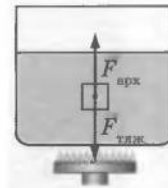
Ви знаєте: на будь-яке тіло, що міститься всередині рідини (або газу), діють сила тяжіння та архімедова сила. Ті самі сили діють на будь-який невеликий об'єм самої рідини (рис. 37.3). Як відомо, у разі підвищення температури рідина розширюється, її густина зменшується й архімедова сила, що діє на виділений об'єм рідини, стає більшою, ніж сила тяжіння. Унаслідок цього нагріта рідина (яка має меншу густину) спливає, а холодна рідина (яка має більшу густину) опускається.

Аналогічні міркування є справедливими й для газів.

Часто природне перемішування шарів рідини або газу є неможливим або недостатнім. У такому разі вдаються до їхнього штучного перемішування — *примусової*



**Рис. 37.2.** Висхідні потоки гарячого повітря, діючи на легку металеву вертушку, надають їй досить швидкого руху



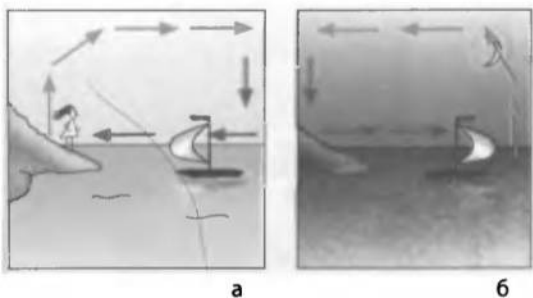
**Рис. 37.3.** На будь-який невеликий об'єм рідини, розташований усередині рідини, діють сила тяжіння та архімедова сила



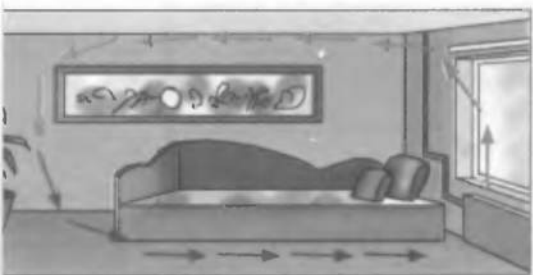
**Рис. 37.4.** Вода в посудині нагрівається завдяки природній конвекції. Та для більш рівномірного прогрівання, наприклад, густої каші господиня вдається до примусової конвекції — перемішує кашу ложкою



**Рис. 37.5.** Сильні вітри — це потужні конвекційні потоки (І. К. Айвазовський «Дев'ятий вал»)



**Рис. 37.6.** Утворення бризів — денних і нічних — пояснюється конвекцією: *а* — денний (морський) бриз; *б* — нічний (береговий) бриз



**Рис. 37.7.** Невеликий тепловий радіатор завдяки конвекції обігриває усе приміщення

конвекції (рис. 37.4). Так, у космічному кораблі, в умовах невагомості, де не діє сила Архімеда, здійснюють примусове перемішування повітря.

**3** Спостерігаємо конвекцію в природі та використовуємо її в повсякденні. Природна конвекція має дуже велике значення в природі й широко застосовується людиною.

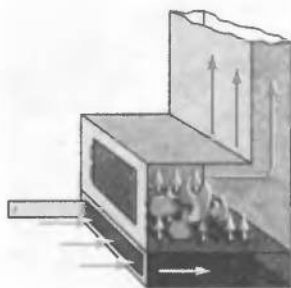
З курсу географії вам відомо, що одним із чинників, які впливають на клімат Землі, є вітри. А чи знаєте ви, що однією з основних причин появи вітрів на планеті є конвекція (рис. 37.5)?

Розглянемо, наприклад, як утворюється бриз — вітер, що виникає поблизу берега моря чи великого озера. Удень суходіл прогрівається швидше за воду, тому температура повітря над суходолом вища, ніж над поверхнею води. Повітря над суходолом розширюється, його густина зменшується, повітря підіймається. У результаті тиск над суходолом падає і холодне повітря з водойми починає низом переміщуватися до суходолу — виникає *денний (морський) бриз* (рис. 37.6, *а*). Уночі картина змінюється на протилежну: суходіл швидше холоне, вода має вищу температуру, і вітер біля поверхні землі дме з берега до моря. Цей вітер — *нічний (береговий) бриз* (рис. 37.6, *б*).

Через нерівномірне нагрівання води виникають постійні течії у водах річок, морів, океанів. Океанські течії, як і вітри, відіграють значну роль у формуванні клімату на нашій планеті.

З конвекцією ми маємо справу не тільки в природі, але й у повсякденному житті. Так, унаслідок конвекції здійснюється обігрівання та охолодження помешкань (рис. 37.7). Завдяки

конвекції рівномірно нагрівається борщ у каструлі. Створення тяги також є проявом конвекції (рис. 37.8). Повітря в печі нагрівається і розширюється, його густина зменшується, і тепле повітря прямує уверх, у трубу. У результаті тиск повітря навколо дров і в трубі зменшується і стає меншим за тиск у кімнаті; завдяки цьому збагачене киснем холодне повітря рине до дров.



**Рис. 37.8.** Створення тяги: збагачене киснем холодне повітря потрапляє до печі завдяки конвекції

## 1 Підбиваємо підсумки

Конвекція — це вид теплопередачі, що здійснюється шляхом перенесення теплоти потоками рідини або газу. У твердих речовинах цей вид теплопередачі неможливий. Розрізняють природну і примусову конвекції.

Природну конвекцію можна пояснити наявністю архімедової сили та явищем теплового розширення. Теплі шари рідини або газу (які мають меншу густину) прямують угору, а холодні (більшої густини) — опускаються.

?

### Контрольні запитання

1. Опишіть дослід на доведення того, що в процесі нагрівання теплі потоки рідини піднімаються, а холодні — опускаються.
2. Що таке конвекція?
3. Чим відрізняється конвекція від теплопровідності?
4. Назвіть причини виникнення природної конвекції.
5. Чи можлива конвекція в речовинах, які перебувають у твердому стані? Обґрунтуйте відповідь.
6. Що називають примусовою конвекцією?
7. Наведіть приклади проявів конвекції в природі та в житті людини.



### Вправа № 37

1. Де краще розмістити посудину з водою, щоб швидше її нагріти: над нагрівником, під нагрівником чи збоку від нього? Де краще розмістити тіло, щоб швидше охолодити його за допомогою льоду: на льоду, під льодом чи поряд із ним? Відповіді аргументуйте.
2. Чому язика полум'я підіймаються?
3. Чому влітку вода в річці на глибині холодніша, ніж на поверхні?
- 4\*. Відомо, що внаслідок конвекції шари рідини з більшою густиною завжди опускаються. Чому ж узимку водойми не промерзають до дна?

?

### Експериментальні завдання

1. Запаліть свічку, яку поставлено на підставку, й дослідіть напрямок конвекційних потоків уздовж відчинених дверей (див. рис. 1). Поясніть результати спостереження.



Рис. 1

2. Виріжте з тонкого паперу прямокутник, зігніть його по середніх лініях і знову розправте. Потім закріпіть на гумці швацьку голку вістрям угору і покладіть на нього підготований аркушик (див. рис. 2). Обережно наблизьте розкриту долоню до аркушика. Він почне обертатися. Відсуньте долоню — аркушик зупиниться. Вам залишається тільки показати фокус друзям і пояснити явище. (*Підказка:* температура долоні не скрізь однакова.)



Рис. 2

## § 38. ВИПРОМІНЮВАННЯ

- ?!** Основа нашої цивілізації — обмін енергією. Здебільшого енергія потрапляє на Землю від Сонця (рис. 38.1). Листя, що розпускається навесні під сонячним промінням, вітри й течії, які виникають унаслідок різниці температур прогрітих Сонцем ділянок Землі, «використовують» сонячну енергію сьогодення. А такі джерела теплової енергії, як нафта, газ, вугілля, «виросли» під сонячними променями глибокої давнини. Однак виникає питання: як енергія від Сонця потрапляє на Землю, адже між цими космічними об'єктами практично немає молекул, тобто ані про теплопровідність, ані про конвекцію не може бути й мови?

### **1** Знайомимося з випромінюванням

Якщо стати біля відкритого вогню (багаття, пічки тощо), то можна відчутти, що обличчя та інші відкриті ділянки тіла нагріваються. Це означає, що від вогню передається певна кількість теплоти. Але як передається це тепло? Щоб одержати відповідь, скористаємося науковими методами вивчення природи, до яких належать спостереження, розмірковування, експеримент.

Ми *спостерігаємо*, що язики полум'я піднімаються (якщо це багаття) чи спрямовуються в трубу (якщо це пічка чи комин), отже, туди ж рухається й тепле повітря. Звідси перший висновок: тепло від відкритого вогню передається не завдяки конвекції (рис. 38.2).



**Рис. 38.1.** Сонце щосекунди випромінює в навколишній простір колосальну кількість енергії, певна частина якої потрапляє на Землю

Висуємо *гіпотезу*: можливо, енергія передається завдяки теплопровідності.

Щоб перевірити гіпотезу, проведемо *експеримент*: помістимо біля вогню лист металу (рис. 38.3). Він надійно захистить від жару, незважаючи на те що метал добре проводить тепло. Замінивши лист металу на скло, можна відчути, що прозоре скло, незважаючи на гарні теплоізоляційні властивості, менше захищає, ніж непрозорий метал. Робимо другий висновок: тепло від відкритого вогню до обличчя передається не тільки завдяки теплопровідності.

Отже, маємо справу ще з одним видом теплопередачі. Він дістав назву *випромінювання*.

**Випромінювання** — це вид теплопередачі, при якому енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль.

Електромагнітні хвилі завжди випромінює будь-яке тіло. Чим вища температура тіла, тим більше енергії воно випромінює.

## 2 Виявляємо деякі особливості випромінювання

Електромагнітні хвилі можуть поширюватись у вакуумі, тому випромінювання відрізняється від інших видів теплопередачі тим, що енергія може передаватися через простір, у якому відсутня речовина. Наприклад, енергія від Сонця до Землі й інших планет передається тільки завдяки випромінюванню. Однак неправильно було б думати, що випромінювання відіграє важливу роль тільки в космосі. *Випромінювання — це універсальний вид теплопередачі, воно здійснюється між усіма тілами.*

З курсу фізики 7-го класу вам відомо, що тіла частково відбивають видиме світло, частково поглинають і частково пропускають його. Ці процеси залежать від оптичних властивостей матеріалів, із яких складаються тіла. Так, чорна фарба, нанесена на поверхню тіла, поглинає світло, біла — відбиває, а прозоре скло пропускає більшу частину світла, що падає. Ці властивості видимого світла притаманні й *тепловому випромінюванню*.



**Рис. 38.2.** Спостереження підтверджують, що, стоячи біля відкритого вогню, ми одержуємо енергію, але не в результаті конвекції



**Рис. 38.3.** Метал, який добре проводить тепло, краще захищає від гарячого полум'я, ніж скло, що є поганим теплопровідником



**Рис. 38.4.** Теплоприймач:  
 1 — відполірована поверхня;  
 2 — чорна поверхня;  
 3 — ручка; 4 — трубочка для  
 сполучення внутрішньої частини  
 коробки теплоприймача з рідинним манометром

Щоб довести це, скористаємося *теплоприймачем* (рис. 38.4). Закріпимо його в муфті штатива та сполучимо з рідинним манометром. До чорного боку теплоприймача піднесемо електричну плитку (рис. 38.5, а). Рівень рідини в коліні манометра, сполученому з теплоприймачем, знизиться. Це означає, що повітря в коробці нагрілось і розширилось. Повернемо теплоприймач до плитки полірованою поверхнею — у цьому випадку різниця рівнів рідини в колінах манометра буде набагато меншою (рис. 38.5, б), тобто повітря в теплоприймачі нагріється слабше.

Отже, *тіла з темною поверхнею краще поглинають теплове випромінювання, ніж тіла зі світлою або полірованою поверхнею.*

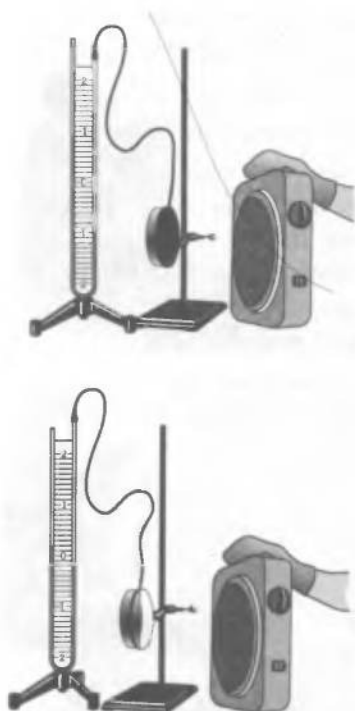
За допомогою схожих дослідів також встановлено, що *тіла з темною поверхнею не тільки краще поглинають теплове випромінювання, але й активніше випромінюють тепло, а отже, швидше охолоджуються.*

Слід додати, що всі тіла за будь-якої температури обмінюються енергією завдяки випромінюванню. Тобто *будь-яке тіло водночас і випромінює, і поглинає тепло.* Якщо температура тіла більша від температури тіл навколо, то воно випромінює енергії більше, ніж поглинає. Якщо ж тіло холодніше від навколишніх тіл, то енергія, яку воно поглинає, буде більшою, ніж випромінювана. Отже, *випромінювання, як і будь-який інший вид теплопередачі, врешті-решт веде до теплової рівноваги.*

### ! Підбиваємо підсумки

Вид теплопередачі, при якому енергія передається за допомогою електромагнітних хвиль, називають випромінюванням.


Випромінювання — це універсальний вид теплопередачі, воно здійснюється між усіма тілами (навіть тоді, коли ці тіла перебувають у вакуумі).



**Рис. 38.5.** Дослід, який демонструє залежність здатності тіла до поглинання тепла від кольору його поверхні

Інтенсивність випромінювання і поглинання тілом енергії залежить від кольору його поверхні. Сильніше випромінюють і краще поглинають енергію тіла з темною поверхнею. Тіла світлих і сріблястих кольорів, навпаки, гірше і випромінюють, і поглинають тепло.

- ? **Контрольні запитання**
1. Чому енергія від Сонця до Землі не може передаватися ані конвекцією, ані теплопровідністю?
  2. Опишіть дослід на підтвердження того, що енергія від багаття може передаватися не тільки завдяки теплопровідності.
  3. Що таке випромінювання?
  4. Тіла якого кольору краще поглинають тепло? Опишіть дослід, що підтверджує вашу відповідь.
  5. Чи існують такі умови, за яких тіло не випромінює або не поглинає енергії?
  6. Що можна сказати про співвідношення поглинання і випромінювання енергії тілом, якщо температура тіла зменшується?

-  **Вправа № 38**
1. Чому влітку люди зазвичай носять світлий одяг?
  2. Чому опалювальні батареї краще фарбувати в темний колір?
  3. У який колір краще фарбувати фургони рефрижераторів?
  4. Узимку в неопалюваному приміщенні, вікна якого «дивляться» на південь, досить тепло. Коли таке може бути? Чому?
  5. Чому навесні забруднений сніг тоне швидше, ніж чистий?
  6. Для чого в термосах відкачують повітря між стінками колби, а поверхню колби вкривають шаром полірованого металу?

## § 39. ПИТОМА ТЕПЛОЄМНІСТЬ РЕЧОВИНИ. КІЛЬКІСТЬ ТЕПЛОТИ, ЩО ПОГЛИНАЄТЬСЯ РЕЧОВИНОЮ В ХОДІ НАГРІВАННЯ АБО ВИДІЛЯЄТЬСЯ ПІД ЧАС ОХОЛОДЖЕННЯ

- ?! На запитання: «Що швидше нагріється: два чи три кілограми рідини?» — хтось швиденько відповість, що два: зрозуміло ж бо, що три кілограми нагріватимуться довше. І ця відповідь, можливо, буде правильною, а можливо — ні. Отже, не кваптеся з висновками, з'ясуємо все послідовно.

**1** З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, що необхідна для нагрівання тіла

Якщо в однакові посудини помістити дві рідини масами 0,2 і 0,3 кг і за допомогою однакових нагрівників нагріти їх від 20 до 100 °С, рідина якої маси нагріється швидше?

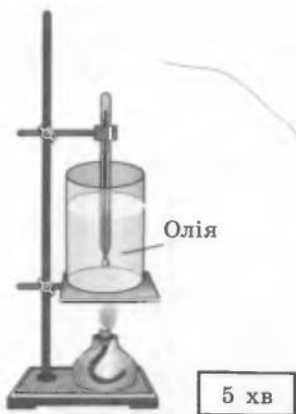
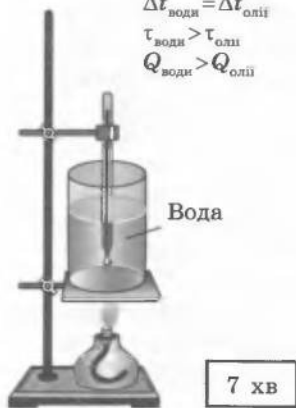
Поміркуємо над цим запитанням. По-перше, є очевидним: якщо рідина одна й та сама, наприклад, це вода, то для нагрівання 0,3 кг води потрібно більше часу, а отже, і більша кількість теплоти, ніж для нагрівання 0,2 кг. Це означає, що *кількість теплоти,*

$$m_{\text{води}} = m_{\text{олії}}$$

$$\Delta t_{\text{води}} = \Delta t_{\text{олії}}$$

$$\tau_{\text{води}} > \tau_{\text{олії}}$$

$$Q_{\text{води}} > Q_{\text{олії}}$$



**Рис. 39.1.** Досліди з вивчення залежності кількості теплоти, яка необхідна для нагрівання речовини, від роду речовини. Узято різні речовини однакової маси. Для однакової зміни їхньої температури потрібен різний час, тобто різна кількість теплоти ( $\tau_{\text{води}} > \tau_{\text{олії}} \Rightarrow Q_{\text{води}} > Q_{\text{олії}}$ )

необхідна для нагрівання тіла, залежить від маси цього тіла.

По-друге, згадаємо до речі, що нагрівання певної кількості води від 20 до 100 °С потребуватиме більше часу, ніж нагрівання тієї самої кількості води від 20 до, наприклад, 50 °С. Отже, чим більше в ході нагрівання змінюється температура тіла, тим більшу кількість теплоти необхідно йому передати.

Проте ми не знаємо, про які рідини йдеться в запитанні, і тому не можемо однозначно відповісти, яка з них нагріється швидше. Адже необхідна для нагрівання кількість теплоти залежить від роду речовини. Доведемо це за допомогою досліду.

Візьмемо 0,3 кг води і 0,3 кг олії та нагріємо обидві рідини від 20 до 100 °С. Вимірявши час нагрівання, помітимо, що олія нагріється швидше, а отже, одержить меншу кількість теплоти, ніж вода (рис. 39.1). Тобто кількість теплоти, яку необхідно передати речовині для певної зміни її температури, залежить від роду речовини.

Змінюючи масу речовини, її рід, спосіб нагрівання, зважаючи на теплові втрати й намагаючись звести їх до мінімуму, вчені довели, що кількість теплоти, яка поглинається тілом під час нагрівання:

- пропорційна масі тіла ( $Q \sim m$ );
- пропорційна зміні температури тіла ( $Q \sim \Delta t$ );
- залежить від роду речовини, з якої тіло виготовлене (складається).

Це твердження можна записати формулою

$$Q = cm\Delta t,$$

де  $Q$  — кількість теплоти;  $m$  — маса речовини;  $\Delta t$  — зміна температури;  $c$  — коефіцієнт пропорційності, що визначається родом речовини. У фізиці цей коефіцієнт має назву *питома теплоємність речовини*.

За формулою  $Q = cm\Delta t$  також визначають кількість теплоти, що виділяється під час охолодження тіла.



**2** Даємо визначення питомої теплоємності речовини

Ми вже зазначали, що *питома теплоємність є характеристикою речовини*. З'ясуємо *фізичний зміст* питомої теплоємності речовини. Якщо маса речовини дорівнює 1 кг ( $m=1$  кг), а зміна температури під час нагрівання склала  $1^\circ\text{C}$  ( $\Delta t=1^\circ\text{C}$ ), то з формули  $Q=cm\Delta t$  отримуємо, що чисельне значення кількості теплоти дорівнює чисельному значенню питомої теплоємності речовини:  $\{Q\}=\{c\}$ .

**Питома теплоємність речовини** — це фізична величина, яка характеризує речовину і чисельно дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на  $1^\circ\text{C}$ .

Питому теплоємність позначають символом  $c$  і визначають за формулою

$$c = \frac{Q}{m\Delta t}$$

З формули для визначення питомої теплоємності дістанемо її одиницю — **джоуль на кілограм-градус Цельсія**  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}\right)^*$ .

*Питома теплоємність показує, на скільки джоулів змінюється внутрішня енергія речовини масою 1 кг у разі зміни температури на  $1^\circ\text{C}$ .*

**3** Порівнюємо питомі теплоємності різних речовин

*Питомі теплоємності різних речовин і матеріалів можуть суттєво відрізнятися*. Так, питома теплоємність золота становить

$130 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ , що означає: під час нагрівання 1 кг золота на  $1^\circ\text{C}$  воно

поглинає 130 Дж теплоти, а якщо 1 кг золота охолоне на  $1^\circ\text{C}$ , то при цьому виділиться 130 Дж теплоти. Питома ж теплоємність соняш-

никової олії становить  $1700 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ , тобто під час нагрівання 1 кг

олії на  $1^\circ\text{C}$  вона поглинає 1700 Дж теплоти, а в процесі охолодження 1 кг олії на  $1^\circ\text{C}$  виділяє 1700 Дж теплоти.

*Питома теплоємність речовини в різних агрегатних станах є різною*. Наприклад, питома теплоємність води становить

$4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ , а льоду —  $2100 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ ; заліза у твердому стані —

$460 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ , а розплавленого заліза —  $830 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$ .

Значення питомих теплоємностей речовин визначають дослідним шляхом.

\* У СІ питому теплоємність вимірюють у  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ ; числові значення питомої теплоємності, поданої в  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$  і  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot\text{K}}$ , є однаковими.

У таблицях 1–3 наведено питомі теплоємності деяких речовин у різних агрегатних станах\*.

*Таблиця 1. Питома теплоємність речовин у твердому стані*

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Золото	130	Сталь	500
Свинець	140	Чавун	540
Олово	230	Графіт	750
Срібло	250	Скло	840
Мідь	400	Цегла	880
Цинк	400	Алюміній	920
Латунь	400	Лід	2100
Залізо	460	Дерево (дуб)	2400

*Таблиця 2. Питома теплоємність речовин у рідкому стані*

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Ртуть	140	Гас	2100
Залізо	830	Ефір	2350
Алюміній	1080	Спирт	2500
Олія соняшникова	1700	Вода	4200

*Таблиця 3. Питома теплоємність речовин у газоподібному стані (за умов сталого тиску)*

Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Речовина	$c, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$
Вуглекислий газ	830	Водяна пара	2200
Кисень	920	Гелій	5210
Повітря	1000	Водень	14 300

\* Точніше, у разі зміни температури питома теплоємність речовини змінюється навіть без зміни агрегатного стану. Однак для не дуже точних обчислень цією зміною нехтують. За низьких температур такою зміною нехтувати не можна.

#### 4 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Під час остигання цегляної печі масою 2 т від  $60^\circ\text{C}$  до  $10^\circ\text{C}$  виділилося 8,8 МДж теплоти. Користуючися даними задачі, визначте питому теплоємність цегли.

Дано:

$$m = 2000 \text{ кг}$$

$$t_1 = 60^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 10^\circ\text{C}$$

$$Q = 8,8 \text{ МДж} = 8800000 \text{ Дж}$$

$c = ?$

*Аналіз фізичної проблеми*

Питому теплоємність цегли можна знайти з формули, що визначає питому теплоємність речовини.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

$$\text{Оскільки } c = \frac{Q}{m\Delta t}, \text{ а } \Delta t = t_1 - t_2,$$

$$\text{то дістанемо: } c = \frac{Q}{m(t_1 - t_2)}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[c] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot (^\circ\text{C} - ^\circ\text{C})} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{c\} = \frac{8800000}{2000(60 - 10)} = 880; \quad c = 880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}.$$

Проаналізуємо результат: одержане значення питомої теплоємності збігається з даними таблиці (див. с. 194), отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:* питома теплоємність цегли дорівнює  $880 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ .

#### ! Підбиваємо підсумки

Дослідним шляхом можна встановити, що кількість теплоти, яка поглинається тілом під час нагрівання або виділяється під час його охолодження, пропорційна масі цього тіла, зміні його температури та залежить від роду речовини, з якої це тіло виготовлене (складається):  $Q = cm\Delta t$ .

Питомою теплоємністю речовини називають фізичну величину, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати речовині масою 1 кг, щоб нагріти її на  $1^\circ\text{C}$ .

Питому теплоємність речовини позначають символом  $c$  і вимірюють у  $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Її можна обчислити за формулою  $c = \frac{Q}{m\Delta t}$  або знайти у відповідних таблицях.



### Контрольні запитання

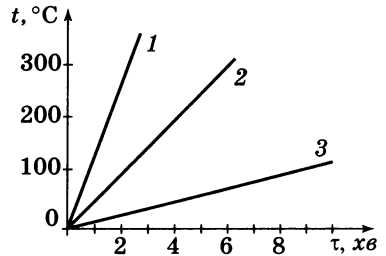
1. Від чого залежить кількість теплоти, необхідна для нагрівання тіла?
2. За якою формулою обчислюють кількість теплоти, передану тілу в ході нагрівання або виділену ним під час охолодження?
3. Яким є фізичний зміст питомої теплоємності речовини?
4. Назвіть одиницю питомої теплоємності речовини.
5. Як відомо,  $c = \frac{Q}{m\Delta t}$ .

Чи можемо ми сказати, що питома теплоємність залежить від маси речовини? від зміни температури речовини? від кількості переданої теплоти?



### Вправа № 39

1. Питома теплоємність срібла дорівнює  $250 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$ . Що це означає?
2. Чому в системах охолодження найчастіше використовують воду?
3. Чому біля моря перепади температур менші, ніж у глибині континенту?
4. Сталеву ложку масою 40 г нагріли в окропі. Яка кількість теплоти пішла на її нагрівання, якщо температура ложки збільшилася від 20 до 80 °C?
5. Для нагрівання на 160 °C деталі масою 250 г було передано 20 кДж теплоти. З якого матеріалу зроблено деталь?
6. Олію масою 0,3 кг і воду масою 0,2 кг нагрівають від 20 до 100 °C в однакових посудинах і за допомогою однакових нагрівників. Яка рідина нагріється швидше?
7. В алюмінієвій каструлі масою 500 г нагріли 1,5 кг води від 20 °C до кипіння. Яку кількість теплоти передано каструлі з водою?
8. Вивчаючи теплові властивості речовин, досліджували залежність зміни температури речовини від часу нагрівання. Для цього на однакових нагрівниках нагрівали мідне, алюмінієве та золоте тіла однакової маси. За результатами спостережень побудовано три графіки (див. рисунок). Визначте, якій речовині відповідає кожний графік.



## § 40. ТЕПЛОВИЙ БАЛАНС

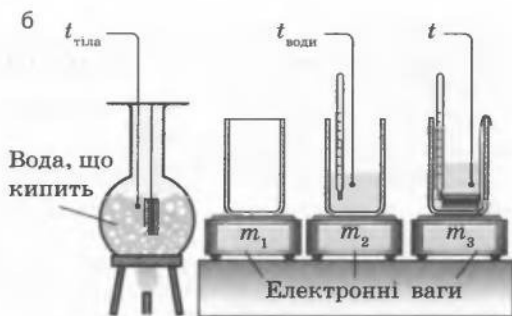


Усі явища в природі відбуваються згідно із законом збереження енергії. Цей закон виконується й для процесу теплопередачі. Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу. Pozнайомимося з цим рівнянням і навчимося застосовувати його для розв'язання задач.



Записуємо рівняння теплового балансу

Уявіть систему тіл, яка не одержує енергії ззовні (така система називається *ізолюваною*), а зменшення або збільшення внутрішньої



**Рис. 40.1.** Деякі приклади застосування рівняння теплового балансу до розв'язування практичних задач. Рівняння теплового балансу можна застосувати: *a* — для обчислення кількості води різної температури, що треба додати в посудину для отримання теплої води заданої температури; *b* — для визначення питомої теплоємності речовини:

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)}. \text{ При цьому } m_{\text{води}} = m_2 - m_1; m_{\text{тіла}} = m_3 - m_2$$

енергії тіл системи відбувається лише внаслідок теплопередачі між тілами цієї системи. У такому випадку на підставі закону збереження енергії можна стверджувати: скільки теплоти віддадуть одні тіла системи, стільки ж теплоти одержать інші тіла цієї системи.

Позначимо  $Q^+$  кількість теплоти, одержану якимось тілом системи, а  $Q^-$  — кількість теплоти, віддану якимось тілом цієї системи. Тоді закон збереження енергії для процесу теплопередачі можна записати у вигляді рівняння:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+.$$

Це рівняння називають **рівнянням теплового балансу**. Формулюється воно так: *в ізолюваній системі сума, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі, сума кількостей теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює сумі кількостей теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.*

Рівняння теплового балансу застосовують для розв'язання низки задач, з якими ми часто маємо справу на практиці (рис. 40.1). Розв'язуючи задачі на складання рівняння теплового балансу, слід також пам'ятати: якщо процес теплообміну триватиме досить довго, то зрештою встановиться стан теплової рівноваги, тобто температура всіх тіл системи стане однаковою.

**2** Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** У воду масою 400 г, узятую за температури 20 °С, додали 100 г гарячої води, що має температуру 70 °С. Якою буде кінцева температура води? Вважайте, що під час досліду теплообмін із довкіллям не відбувається.

Дано:

$$m_1 = 400 \text{ г} = 0,4 \text{ кг}$$

$$t_1 = 20 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_2 = 100 \text{ г} = 0,1 \text{ кг}$$

$$t_2 = 70 \text{ }^\circ\text{C}$$

$t$  — ?

### Аналіз фізичної проблеми

У теплообміні беруть участь два тіла: віддає енергію гаряча вода, одержує — холодна. За умовою, теплообмін з довіллям не відбувається, тому для розв'язання задачі можна скористатися рівнянням теплового балансу.

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Кількість теплоти, віддана гарячою водою:

$$Q_1 = cm_1(t - t_1). \quad (1)$$

Кількість теплоти, одержана холодною водою:

$$Q_2 = cm_2(t_2 - t). \quad (2)$$

Відповідно до рівняння теплового балансу:

$$Q_1 = Q_2. \quad (3)$$

Підставивши рівняння (1) і (2) у рівняння (3), дістанемо:

$$cm_1(t - t_1) = cm_2(t_2 - t) \Rightarrow m_1(t - t_1) = m_2(t_2 - t).$$

Зробимо потрібні перетворення:

$$m_1t - m_1t_1 = m_2t_2 - m_2t.$$

Звідси

$$m_1t + m_2t = m_2t_2 + m_1t_1 \Rightarrow t(m_1 + m_2) = m_2t_2 + m_1t_1.$$

$$\text{Остаточоно отримуємо: } t = \frac{m_2t_2 + m_1t_1}{m_1 + m_2}.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[t] = \frac{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C} + \text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}{\text{кг}} = ^\circ\text{C}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{t\} = \frac{0,4 \cdot 20 + 0,1 \cdot 70}{0,4 + 0,1} = 30; \quad t = 30 \text{ }^\circ\text{C}.$$

Проаналізуємо результат: одержане значення кінцевої температури води ( $30 \text{ }^\circ\text{C}$ ) є цілком реальним, оскільки воно більше від  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  і менше за  $40 \text{ }^\circ\text{C}$ .

*Відповідь:* кінцева температура води дорівнюватиме  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ .

### ! Підбиваємо підсумки

Для будь-яких процесів, що відбуваються в природі, виконується закон збереження енергії. Для ізольованої системи, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі між тілами цієї системи, закон збереження енергії можна сформулювати так: сума кількостей теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює сумі кількостей теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.

Математичним вираженням закону збереження енергії в процесі теплопередачі є рівняння теплового балансу:

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+.$$



### Контрольні запитання

1. Яка система називається теплоізолюваною? 2. Сформулюйте закон збереження енергії, на підставі якого складають рівняння теплового балансу.

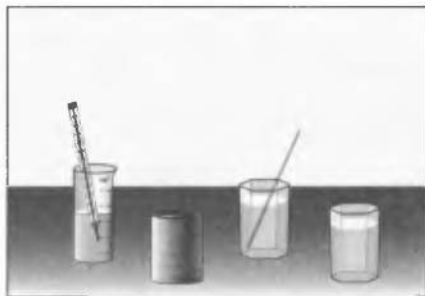


### Вправа № 40

Під час розв'язування задач теплообміном з довіллям нехуйте.

1. У каструлю залили 2 кг води, нагрітої до температури 40 °С, а потім додали 4 кг води, що має температуру 85 °С. Визначте температуру суміші.
2. У ванну налито 80 л води, що має температуру 10 °С. Скільки літрів води, яка має температуру 100 °С, потрібно додати у ванну, щоб температура води в ній дорівнювала 25 °С?
3. У латунний калориметр масою 200 г налили 400 г води, яка має температуру 20 °С, і опустили 800 г срібла, що має температуру 69 °С. Вода нагрілася до 25 °С. Визначте питому теплоємність срібла.
4. Використовуючи рис. 40.1, б, складіть план проведення експерименту щодо визначення питомої теплоємності речовини.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 12



**Тема.** Вивчення теплового балансу при змішуванні води різної температури.

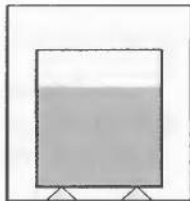
**Мета:** ознайомитися з будовою та принципом дії калориметра; визначити кількість теплоти, віддану гарячою водою, і кількість теплоти, одержану холодною водою, в результаті змішування води різної температури, порівняти результати.

**Обладнання:** мірний циліндр, термометр, калориметр, склянка з холодною водою, склянка з гарячою водою, паперові серветки, мішалка.



### Теоретичні відомості

Для багатьох дослідів із вивчення теплових явищ застосовують калориметр — пристрій, який складається з двох посудин (склянок), які розміщені одна в одній і розділені повітряним прошарком (див. рисунок). Унаслідок слабкої теплопровідності повітря й завдяки невеликій відстані між внутрішньою і зовнішньою посудинами, що зумовлює відсутність конвекційних потоків, калориметр являє собою прилад, у якому теплообмін із довкіллям значно зменшується.



## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

### II Підготовка до експерименту

1. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
2. Пригадайте, яких правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з мірним циліндром, термометром, гарячою водою.

### ► Експеримент

*Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.*

1. Ознайомтесь із будовою калориметра.
2. Налийте в мірний циліндр 60–80 мл холодної води. Визначте її об'єм ( $V_1$ ) і виміряйте її температуру ( $t_1$ ).
3. Налийте в калориметр гарячої води (1/3 внутрішньої посудини калориметра) і виміряйте її температуру ( $t_2$ ).
4. Не виймаючи термометра, вилийте в калориметр холодну воду з мірного циліндра і, обережно перемішуючи суміш мішалкою, стежте за показаннями термометра. Щойно змінення температури стане непомітним, виміряйте температуру суміші ( $t$ ).
5. Обережно вийміть термометр із води, протріть серветкою та сховайте у футляр.
6. Перелийте всю воду з калориметра в мірний циліндр, виміряйте загальний об'єм  $V$  води.

### ► Опрацювання результатів експерименту

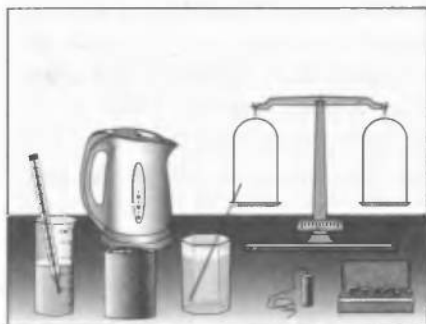
1. Визначте масу холодної води:  $m_1 = \rho_{\text{води}} V_1$ . За формулою  $Q_1 = c_{\text{води}} m_1 (t - t_1)$  обчисліть кількість теплоти, одержану холодною водою.
2. Визначте об'єм  $V_2$  і масу  $m_2$  гарячої води:  $V_2 = V - V_1$ ,  $m_2 = \rho_{\text{води}} V_2$ . За формулою  $Q_2 = c_{\text{води}} m_2 (t_2 - t)$  обчисліть кількість теплоти, віддану гарячою водою.
3. Закінчіть заповнення таблиці.

Температура, °C			Об'єм води, мл			Маса, кг		Кількість теплоти, Дж	
$t_1$	$t_2$	$t$	$V_1$	$V$	$V_2$	$m_1$	$m_2$	$Q_1$	$Q_2$

### □ Аналіз результатів експерименту

Порівняйте кількість теплоти, віддану гарячою водою, з кількістю теплоти, одержаною холодною водою. Зробіть висновок, де зазначте причину можливої розбіжності результатів.





**Тема.** Визначення питомої теплоємності речовини.

**Мета:** визначити питому теплоємність речовини у твердому стані.

**Обладнання:** мірний циліндр, терези з важками, термометр, калориметр, металевий циліндр із ниткою, склянка із водою, електричний чайник із водою (один на клас), паперові серветки, мішалка.

### Теоретичні відомості

Для визначення питомої теплоємності речовини в твердому стані можна скористатися таким методом. Тіло нагрівають у кип'ятку (у воді за температури  $100\text{ }^\circ\text{C}$ ), а потім опускають у калориметр із холодною водою (див. рис. 40.1, б). Відбувається теплообмін, у якому беруть участь чотири тіла: віддає енергію тверде тіло, одержують — вода, калориметр, термометр. Оскільки термометр і калориметр порівняно з водою одержують незначну кількість теплоти, можемо вважати, що кількість теплоти, віддана твердим тілом, дорівнює кількості теплоти, одержаної холодною водою:  $Q_{\text{тіла}} = Q_{\text{води}}$ . Отже,  $c_{\text{тіла}} m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t) = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})$  звідси

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_{\text{води}})}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)},$$

де  $c_{\text{тіла}}$ ,  $c_{\text{води}}$  — питомі теплоємності речовини, з якої складається тіло, та води;  $m_{\text{тіла}}$ ,  $m_{\text{води}}$  — маси тіла й води;  $t_{\text{тіла}}$  і  $t_{\text{води}}$  — температури тіла й води на початку досліду,  $t$  — температура тіла й води після встановлення теплової рівноваги.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ

### Підготовка до експерименту

1. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
2. Пригадайте, яких правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з мірним циліндром, термометром, гарячою водою.

### Експеримент

*Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.*

1. За допомогою мірного циліндра налейте в калориметр  $100\text{--}150$  мл води. Виміряйте об'єм води ( $V_{\text{води}}$ ).
2. Виміряйте температуру води в калориметрі ( $t_{\text{води}}$ ).

3. Вийміть термометр із води покладіть його на серветку. Підійдіть з калориметром до вчителя, який із чайника з киплячою водою дістане за нитку металевий циліндр і покладе його у ваш калориметр.
4. Знову помістіть термометр у калориметр і, злегка перемішуючи воду мішалкою, стежте за підвищенням температури. Щойно змінення температури стане непомітним (тобто встановиться теплова рівновага), запишіть показання термометра ( $t$ ).
5. Вийміть термометр із води, осушіть його паперовою серветкою та покладіть у футляр.
6. Вийміть металевий циліндр із води, осушіть його паперовою серветкою та зважте.



### Опрацювання результатів експерименту

1. Визначте масу води в калориметрі ( $m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} V_{\text{води}}$ ).
2. Скориставшись формулою

$$c_{\text{тіла}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t - t_1)}{m_{\text{тіла}} (t_{\text{тіла}} - t)},$$

обчисліть питому теплоємність металу, з якого виготовлений циліндр ( $c_{\text{тіла}}$ ).

3. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Початкова температура води $t_{\text{води}}, ^\circ\text{C}$	Кінцева температура води $t, ^\circ\text{C}$	Об'єм води $V_{\text{води}}, \text{м}$	Маса води $m_{\text{води}}, \text{кг}$	Питома теплоємність води $c_{\text{води}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	Початкова температура тіла $t_{\text{тіла}}, ^\circ\text{C}$	Кінцева температура тіла $t, ^\circ\text{C}$	Маса тіла $m_{\text{тіла}}, \text{кг}$	Питома теплоємність тіла $c_{\text{тіла}}, \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$



### Аналіз результатів експерименту

Скориставшись таблицею питомих теплоємностей речовин у твердому стані (див. с. 194), визначте речовину, з якої виготовлений циліндр. Зробіть висновок, де зазначте, яку величину ви сьогодні визначали, який результат отримали, які чинники вплинули на точність отриманого результату.



### Творче завдання

Запропонуйте спосіб визначення питомої теплоємності рідини. Запишіть план експерименту.

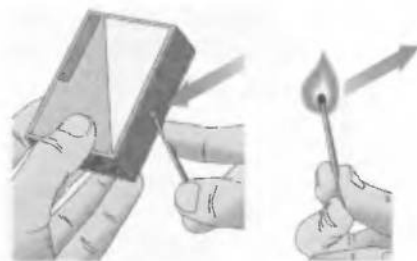
## § 41. ТЕПЛОТА ЗГОРЯННЯ ПАЛИВА. КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ НАГРІВНИКА

**?!**  Візьміть коробку із сірниками, витягніть один сірник. Перед вами — два холодних твердих тіла (рис. 41.1). Але якщо потерти головку сірника об коробку, то сірник спалахне. Звідки береться ця енергія? Завдяки виконаній роботі? Але ж якщо навіть довго й із зусиллями терти сірник об коробку другим кінцем, стільки тепла не виділиться. Якщо піднести запалений сірник до ввімкненого газового пальника, то миттєво почне виділятися достатньо велика енергія. Звідки з'явилася ця енергія в газі? Відповіді на поставлені запитання ви знайдете в цьому параграфі.

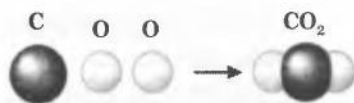
**1** Знайомимося з різними видами палива  
У житті ми часто маємо потребу збільшити температуру якогось тіла. Так, щоб у кімнаті стало тепліше, слід збільшити температуру води в батареях опалення, щоб приготувати їжу — температуру повітря в духовці. Здавна людство для збільшення температури використовувало енергію, яка виділяється під час хімічної реакції *горіння палива*.

З курсу хімії ви вже знаєте, що *реакція горіння*, — а зазвичай це є реакція взаємодії Карбону або Гідрогену з Оксигеном (рис. 41.2), — *екзотермічна реакція*, тобто реакція, яка відбувається з виділенням теплоти.

Паливом можуть слугувати як природні речовини (кам'яне вугілля, нафта, торф, дрова, природний газ) (рис. 41.3), так і спеціально одержані людиною (гас, бензин,



**Рис. 41.1.** Незапалений сірник і коробка — два холодних твердих тіла. Але достатньо потерти сірник об коробку — і сірник спалахне



**Рис. 41.2.** Реакція окиснення Карбону супроводжується виділенням теплоти:  $C + O_2 = CO_2 + Q$

**Рис. 41.3.** Дрова — поширене тверде природне паливо



**Рис. 41.4.** Гас, бензин, дизельне паливо — рідке паливо, одержане людиною





**Рис. 41.5.** Для сучасної цивілізації паливо є необхідною умовою існування

порох, деревне вугілля, етиловий спирт тощо) (рис. 41.4). Як бачимо, паливо буває *твердим* (кам'яне вугілля, торф, дрова, сухий спирт), *рідким* (нафта, гас, бензин, дизельне паливо) і *газоподібним* (природний газ, пропан, бутан).

Для сучасної цивілізації паливо — необхідна умова існування. Для роботи транспорту, різних механізмів у промисловості й сільському господарстві, обігрівання житла та готування їжі людина перетворює енергію палива в інші форми (рис. 41.5).

## **2** Вводимо поняття питомої теплоти згорання палива

Різні види палива відрізняються один від одного за тепловою здатністю. Переконаємось у цьому за допомогою простого досліду. Поставимо на ліву шальку терезів спиртівку, наповнену спиртом. Над спиртівкою підвісимо металеву банку з водою, перед тим вимірявши температуру та об'єм води. Після того як зрівноважимо терези, покладемо на ліву шальку важок масою 1 г. Рівновага терезів порушиться (рис. 41.6, а). Запалимо спиртівку. У міру згорання спирту маса спиртівки зі спиртом зменшуватиметься, і через якийсь час рівновага терезів відновиться (це означає, що згорів 1 г спирту) (рис. 41.6, б). У цей момент погасимо спиртівку, після чого виміряємо й зафіксуємо температуру води. Повторимо дослід,

наповнивши спиртівку гасом, і переконаємося, що в цьому випадку вода нагріється більше. Це означає, що під час згорання 1 г гасу виділилося більше енергії, ніж у ході горіння 1 г спирту.

Для кількісної характеристики теплотвірної здатності палива застосовують фізичну величину, яку називають *питомою теплотою згорання палива*.

**Питома теплота згорання палива** — це фізична величина, яка характеризує певне паливо і чисельно дорівнює кількості теплоти, що виділяється в процесі повного згорання 1 кг палива.

Питому теплоту згорання палива позначають символом  $q$  та обчислюють за формулою

$$q = \frac{Q}{m},$$

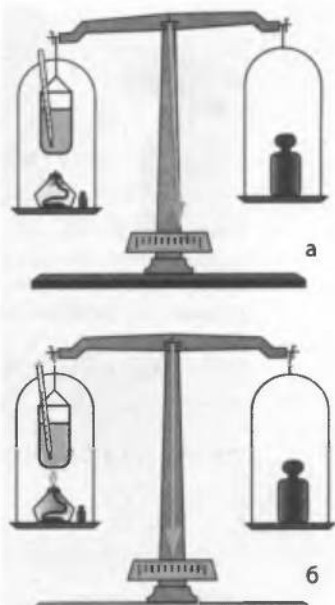
де  $Q$  — кількість теплоти, що виділяється в ході повного згорання палива масою  $m$ .

З формули для визначення питомої теплоти згорання палива дістанемо *одиницю цієї величини в СІ — джоуль на кілограм*  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

Питому теплоту згорання різних видів палива визначають у лабораторних умовах і заносять до таблиць.

*Питома теплота згорання деяких видів палива*

Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Паливо	$q, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Порох	4	Деревне вугілля	34
Дрова сухі	10	Дизельне паливо	42
Буре вугілля	12	Природний газ	44
Солома	14	Нафта	44
Торф	15	Бензин	46
Тротил	15	Гас	46
Кам'яне вугілля	27	Пропан	46
Спирт	27	Ацетилен	50
Антрацит	30	Водень	120



**Рис. 41.6.** Дослід, який демонструє якісну відмінність різних видів палива



**Рис. 41.7.** Різноманітні нагрівальні пристрої, використовувані людиною в різні часи: примус (а); газова плита (б); паяльна лампа (в); газовий котел (г).

Знаючи питому теплоту згоряння й масу палива, легко обчислити кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння

цього палива: оскільки  $q = \frac{Q}{m}$ , то

$$Q = qm$$

### 3 Обчислюємо коефіцієнт корисної дії нагрівника

Для спалювання палива використовують різні нагрівники: печі та комины, газові пальники й спиртівки, примуси, паяльні лампи та інше (рис. 41.7).

Тип нагрівника залежить від виду палива, яке в ньому згорає, і від того, для чого використовують теплоту. Наприклад, якщо потрібно опалювати помешкання, а паливом є газ, то доцільно придбати газовий котел (див. рис. 41.7, г); для фізичних дослідів, під час яких паливом буде спирт, як нагрівник слід обрати спиртівку. Проте навіть за допомогою найсучасніших нагрівників *неможливо повністю використати всю енергію*, що «накопичена» в паливі. По-перше, жодне паливо не може в реальних умовах згоріти повністю. По-друге, якась частина енергії витрачається марно (наприклад, виноситься з продуктами згоряння, йде на нагрівання навколишнього середовища).

**Коефіцієнт корисної дії нагрівника** — це фізична величина, яка характеризує ефективність нагрівника й дорівнює відношенню корисно зужитої теплоти до всієї теплоти, яка може бути виділена в процесі повного згоряння палива.

Математично це записують так:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}},$$

де  $\eta$  — коефіцієнт корисної дії (ККД) нагрівника;  $Q_{\text{кор}}$  — корисно зужита теплота;  $Q_{\text{повна}}$  — теплота, яка може бути виділена в процесі повного згоряння палива.

Зазвичай ККД подають у відсотках:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повня}}} \cdot 100\%$$

#### 4 Учимся розв'язувати задачі

**Задача.** Туристи зупинились на перепочинок біля струмка й вирішили приготувати чай. Яку кількість дров їм треба заготовити, щоб закип'ятити 10 кг води? Вода одержує 15 % енергії, що виділяється під час повного згоряння дров. Температура води в струмку дорівнює 15 °С.

Дано:

$$m_{\text{води}} = 10 \text{ кг}$$

$$\eta = 15\% = 0,15$$

$$t_1 = 15 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100 \text{ }^\circ\text{C}$$

$$c_{\text{води}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}}$$

$$q_{\text{дров}} = 1 \cdot 10^7 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$$m_{\text{дров}} \text{ — ?}$$

*Аналіз фізичної проблеми, пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Для розв'язання задачі скористаємося формулою для обчислення ККД нагрівника:

$$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повня}}} \quad (1)$$

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння дров:

$$Q_{\text{повня}} = q_{\text{дров}} m_{\text{дров}} \quad (2)$$

Кількість теплоти, яку необхідно витратити на нагрівання води:

$$Q_{\text{кор}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1) \quad (3)$$

Підставивши формули (3) і (2) у формулу (1), дістанемо:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1)}{q_{\text{дров}} m_{\text{дров}}} \Rightarrow \eta q_{\text{дров}} m_{\text{дров}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1) \Rightarrow \\ &\Rightarrow m_{\text{дров}} = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1)}{\eta q_{\text{дров}}} \end{aligned}$$

При нормальному атмосферному тиску вода кипить за температури 100 °С. Питому теплоємність води й питому теплоту згоряння дров знайдемо в таблицях (див. с. 194 і с. 205).

Визначимо значення шуканої величини:

$$[m] = \left( \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot \text{ }^\circ\text{C} \right) : \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж} \cdot \text{кг}}{\text{Дж}} = \text{кг}.$$

$$\{m\} = \frac{4200 \cdot 10 \cdot (10 - 15)}{0,15 \cdot 10^7} = 2,38; m = 2,38 \text{ кг}.$$

Проаналізуємо результат. Щоб нагріти воду, туристам потрібно 2,38 кг сухих дров. Для сухих дров результат є цілком реальним.

**Відповідь:** необхідно заготовити 2,38 кг дров.

## Підбиваємо підсумки

Хімічна реакція горіння палива — екзотермічна, тобто відбувається з виділенням теплоти.

Кількість теплоти, яка виділяється під час повного згоряння палива, обчислюють за формулою  $Q = qm$ , де  $q$  — питома теплота згоряння палива;  $m$  — маса згорілого палива.

Питома теплота згоряння палива дорівнює кількості теплоти, яка виділяється в процесі повного згоряння 1 кг палива. Ця фізична величина є характеристикою теплотворної здатності палива

й вимірюється в джоулях на кілограм  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

Згоряння палива відбувається в нагрівниках. ККД нагрівника позначають символом  $\eta$  і обчислюють за формулою  $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$ .

Зазвичай ККД подають у відсотках:  $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$ .



### Контрольні запитання

1. Які види палива ви знаєте?
2. Опишіть досвід, який підтверджує, що під час горіння різних видів палива виділяється різна кількість теплоти.
3. Яким є фізичний зміст питомої теплоти згоряння палива? У яких одиницях її вимірюють?
4. Як обчислити кількість теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива?
5. Дайте означення ККД нагрівника.



### Вправа № 41

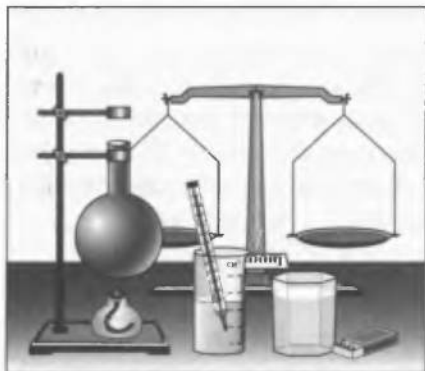
1. Питома теплота згоряння дров  $q = 10$  МДж/кг. Що це означає?
2. Питома теплота згоряння пороху набагато менша за питому теплоту згоряння дров. Чому ж якщо у вас у руках горить сірник, то це є досить безпечним, а коли спалахує така сама маса пороху, то можна серйозно постраждати?
3. Яка кількість теплоти виділиться під час повного згоряння кам'яного вугілля масою 10 кг?
4. У процесі повного згоряння гасу виділилося 92 кДж теплоти. Якою була маса згорілого гасу?
5. На спиртівці нагріли 300 г води від 15 до 75 °С. Визначте ККД нагрівника, якщо на нагрівання витрачено 8 г спирту.
6. У чайник налито 2 кг води, яка має температуру 20 °С. Скільки природного газу потрібно для того, щоб закип'ятити чайник, якщо вода одержує 40% тепла, яке може бути виділене під час повного згоряння газу?

## ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

Науково-технологічний комплекс (НТК) «Інститут монокристалів» НАН України (Харків) розпочав свою історію у 1955 р. Сьогодні до складу НТК входять декілька наукових інститутів та завод хімічних реактивів. У сфері наукових інтересів учених комплексу — фундаментальні дослідження процесів росту кристалів та взаємодії випромінювання з речовиною; розроблення технології одержання детекторів і створення приладів на їх основі. Останнім часом велика увага приділяється розробленню тест-систем для діагностики хвороб людини та тварин (ВІЛ/СНІД, вірусні гепатити В і С тощо).

НТК «Інститут монокристалів» має тісні творчі зв'язки з багатьма провідними науковими центрами й університетами Росії, Білорусі, Ізраїлю, Китаю, Індії, Японії, США та країн Західної Європи.





**Тема.** Визначення коефіцієнта корисної дії нагрівника.

**Мета:** виміряти ККД пристрою, у якому нагрівником є спиртівка (або сухий спирт); переконатися на досліді, що ККД нагрівника є меншим за 100 %.

**Обладнання:** терези, набір важків, мірний циліндр, термометр, склянка з водою, круглодонна колба, спиртівка зі спиртом (або сухий спирт), сірники.



### Теоретичні відомості

У лабораторній роботі воду нагріватимемо за допомогою спиртівки.

За визначенням ККД нагрівника становить:  $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$ ,

де  $Q_{\text{кор}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1)$  — кількість теплоти, яку одержить вода під час нагрівання;  $Q_{\text{повна}} = m_{\text{спирту}} q_{\text{спирту}}$  — кількість теплоти, що виділиться в ході згоряння спирту.

Тут  $m_{\text{води}}$  — маса води;  $c_{\text{води}}$  — питома теплоємність води;  $t_1$  — температура води до початку нагрівання;  $t_2$  — температура води наприкінці нагрівання;  $m_{\text{спирту}}$  — маса згорілого спирту,  $q_{\text{спирту}}$  — питома теплота згоряння спирту.

## ВКАЗІВКИ ЩОДО РОБОТИ



Підготовка до експерименту

1. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.
2. Пригадайте, яких правил безпеки необхідно дотримуватися під час роботи з мірним циліндром, термометром, гарячою водою, спиртівкою.
3. Уважно прочитайте теоретичні відомості. Подумайте, значення яких фізичних величин вам необхідно з'ясувати шляхом вимірювань та обчислень, а значення яких можна знайти в таблицях (знайдіть їх).
4. Зберіть пристрій, як показано на рисунку, поданому на початку роботи.



Експеримент

*Результати вимірювань відразу ж заносьте до таблиці.*

1. Налийте зі склянки у мірний циліндр 80–100 см<sup>3</sup> води. Визначте об'єм води ( $V_{\text{води}}$ ).

- Перелійте воду в колбу. Виміряйте температуру  $t_1$  води в колбі.
- Визначте за допомогою терезів масу  $m_1$  спиртівки зі спиртом (або масу резервуара із сухим спиртом).
- Поставте спиртівку під колбу з водою й запаліть її.
- Поки вода в колбі нагріватиметься, стежте за показаннями термометра. Коли вода нагріється до  $70\text{--}80^\circ\text{C}$ , загасіть полум'я спиртівки (накрийте спиртівку або сухий спирт ковпачком). Виміряйте температуру  $t_2$  води в колбі.
- Повторно виміряйте масу спиртівки зі спиртом ( $m_2$ ).



### Опрацювання результатів експерименту

#### 1. Обчисліть:

- масу води:  $m_{\text{води}} = \rho_{\text{води}} V_{\text{води}}$ ;
- масу згорілого спирту:  $m_{\text{спирту}} = m_1 - m_2$ ;
- кількість теплоти, одержану водою під час нагрівання:  
 $Q_{\text{кор}} = c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_2 - t_1)$ ;
- кількість теплоти, що виділилася в ході згоряння спирту:  
 $Q_{\text{повна}} = m_{\text{спирту}} q_{\text{спирту}}$ ;

#### 2. Визначте ККД нагрівника: $\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$ .

#### 3. Завершіть заповнювати таблицю.

Вода					Спирт				ККД $\eta$ , %
$t_1$ , $^\circ\text{C}$	$t_2$ , $^\circ\text{C}$	$V_{\text{води}}$ , $\text{м}^3$	$m_{\text{води}}$ , $\text{кг}$	$Q_{\text{кор}}$ , $\text{Дж}$	$m_1$ , $\text{кг}$	$m_2$ , $\text{кг}$	$m_{\text{спирту}}$ , $\text{кг}$	$Q_{\text{повна}}$ , $\text{Дж}$	



### Аналіз результатів експерименту

Проаналізуйте хід експерименту та його результат. Зробіть висновок, де зазначте, яку фізичну величину ви сьогодні вимірювали, який результат одержали, де вам можуть придатися набуті навички.



#### Додаткове завдання

Запропонуйте план експерименту з визначення ККД електричного чайника. Потужність чайника зазначено в його паспорті.

## § 42. ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ. ККД ТЕПЛОВОГО ДВИГУНА

?! Фізично розвинена людина може за добу виконати роботу близько 1 млн джоулів. Середньодобове споживання енергії, що припадає на одного жителя Землі, є більшим у сотні разів. З усієї енергії, яку споживає людина, близько 90 % становить енергія палива. На обігрівання приміщень і готування їжі йде тільки незначна частина цієї енергії — переважно людина використовує енергію палива, перетворюючи її на механічну. Але як це відбувається і за яких умов є можливим таке перетворення?

**1** Знайомимося з принципом дії теплових двигунів

Проведемо простий дослід. Щільно закоркуємо носик чайника і поставимо чайник із водою на пальник газової плити. Через деякий час помітимо, що кришка чайника починає підстрибувати. З'ясуємо, чому так відбувається.

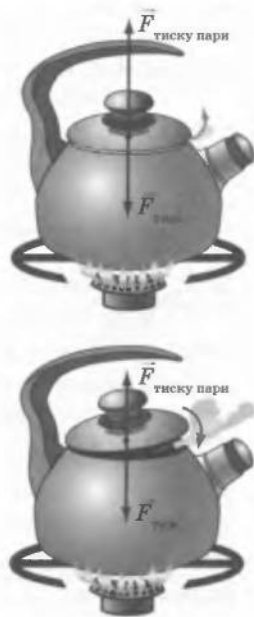
Вода в чайнику починає закипати, тиск пари під кришкою збільшується. У результаті настає момент, коли сила тиску пари стає більшою від сили тяжіння, що діє на кришку, і кришка підстрибує. У цей момент частина пари виходить назовні, сила тиску пари на кришку зменшується і сила тяжіння повертає кришку на місце (рис. 42.1). Якщо нагрівання продовжувати, то процес повторюватиметься.

Отже, в описаній системі, що складається з газового пальника й чайника з кришкою та киплячою водою, за рахунок енергії, що виділяється в ході згоряння палива, виконується механічна робота, при цьому частина енергії віддається довкіллю.

Якщо з кришкою чайника з'єднати якийсь механізм, то дістанемо найпростішу модель теплового двигуна.

**Тепловий двигун** — це машина, яка циклічно працює і яка енергію палива перетворює на механічну роботу.

З'ясуємо на прикладі вищезазначеної моделі, з яких основних частин має складатися тепла машина. (Крім теплових двигунів існують інші види теплових машин. Докладніше про це йтиметься в старших класах.)



**Рис. 42.1.** На кришку чайника діють сила тяжіння ( $F_{\text{тяж}} = mg$ ) та сила тиску пари. Якщо  $F_{\text{тиску пари}} > F_{\text{тяж}}$ , кришка підстрибує; якщо  $F_{\text{тиску пари}} < F_{\text{тяж}}$ , кришка повертається назад



**Рис. 42.2.** Принцип дії теплових машин: робоче тіло одержує певну кількість теплоти ( $Q_1$ ) від нагрівника, ця теплота частково перетворюється на механічну енергію (робоче тіло виконує роботу  $A$ ), а частково ( $Q_2$ ) передається холодильнику

По-перше, у цій системі механічну роботу виконує пара, яка, розширюючись, піднімає кришку. Газ, що виконує роботу в процесі розширення, називають *робочим тілом*.

По-друге, пара під кришкою чайника розширюється внаслідок підвищення її тиску під час нагрівання чайника на газовому пальнику. Пристрій, від якого робоче тіло одержує певну кількість теплоти, називають *нагрівником*.

По-третє, під час досліду водяна пара з чайника періодично віддає частину енергії довкіллю (якщо б цього не відбувалося, двигун не зміг би працювати циклічно — кришка не поверталася б у початкове положення і процес не повторювався би). Об'єкт, якому робоче тіло віддає певну кількість теплоти, називають *холодильником*.

*Будь-яка теплова машина складається з трьох основних частин: нагрівника, робочого тіла, холодильника (рис. 42.2).*

## 2 Визначаємо ККД теплового двигуна

У будь-якому тепловому двигуні лише частина енергії, яку виділяє паливо, витрачається на виконання роботи, частина ж енергії передається довкіллю (втрачається). Але втрати енергії в теплових двигунах не обмежуються тільки *тепловими втратами*. Справа в тому, що частина енергії витрачається на виконання роботи проти сил тертя частин і механізмів двигуна. Такі втрати енергії називають *механічними*. Очевидно: чим меншими є теплові й механічні втрати у двигуні, тим менше палива потрібно спалити\*, щоб одержати ту саму корисну роботу, і тим економічнішим є двигун.

**Коефіцієнт корисної дії двигуна** — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії, що виділяється в процесі повного згоряння палива, перетворюється на корисну роботу.

Коефіцієнт корисної дії двигуна ( $\eta$ ) обчислюють за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}},$$

де  $A_{\text{кор}}$  — корисна робота;  $Q_{\text{повна}}$  — кількість теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива.

\* Під час використання ядерного палива енергія виділяється в процесі ядерних реакцій (докладніше про це йтиметься в старших класах).

Зазвичай ККД подають у відсотках:

$$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$$

Оскільки корисна робота завжди менша за кількість теплоти, що виділяється в процесі повного згоряння палива, то зрозуміло, що ККД теплового двигуна завжди є меншим за 1 (за 100 %). Зазвичай ККД теплових двигунів становить 20–40 %.

### **Підбиваємо підсумки**

Тепловим двигуном називають машину, яка циклічно працює і яка енергію палива перетворює на механічну роботу.

Будь-яка тепла машина складається з трьох основних частин: нагрівника, робочого тіла, холодильника.

Принцип дії теплових машин: робоче тіло одержує певну кількість теплоти від нагрівника; частина цієї теплоти перетворюється на механічну енергію (робоче тіло виконує роботу), а частина віддається холодильнику.

Коефіцієнт корисної дії  $\eta$  двигуна — це фізична величина, що характеризує економічність теплового двигуна й показує, яка частина всієї енергії  $Q$ , що виділяється в процесі повного згоряння палива, перетворюється на корисну роботу  $A_{\text{кор}}$ . ККД теплового

двигуна обчислюють за формулою  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}}$  (або  $\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$ ).

### **Контрольні запитання**

1. Що таке тепловий двигун?
2. Назвіть основні частини теплового двигуна.
3. У чому полягає принцип дії теплового двигуна?
4. Назвіть основні види втрат енергії в теплових двигунах.
5. Що називають ККД теплового двигуна?
6. Чому ККД теплового двигуна завжди менший за 100 %?

### **Вправа № 42**

1. Під час роботи теплового двигуна використано 0,5 кг дизельного палива. При цьому двигун виконав корисну роботу, що дорівнює 7 МДж. Обчисліть ККД двигуна.
2. Яку корисну роботу виконає тепловий двигун, ККД якого становить 20 %, якщо в ньому згорить 10 л бензину?
3. Яку середню потужність розвиває двигун мотоцикла, якщо за швидкості його руху 90 км/год витрата бензину становить 4 кг на 100 км шляху? ККД двигуна дорівнює 25 %.

### **Експериментальне завдання**

Візьміть скляну пляшку, ополосніть її водою і закоркуйте пляшку картоплиною (обережно втисніть шийку пляшки в картоплину та приберіть залишки картоплини). Поставте закорковану пляшку в каструлю з водою й нагрівайте воду. Через деякий час «корок» вилетить (див. рисунок). Поясніть це явище.



## § 43. ДЕЯКІ ВИДИ ТЕПЛОВИХ ДВИГУНІВ

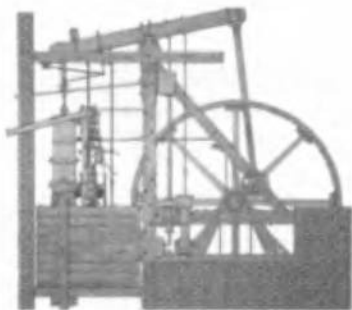


Рис. 43.1. Парова машина Ватта

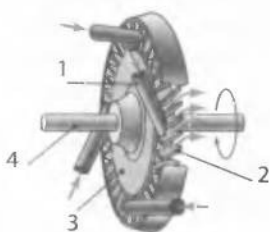


Рис. 43.2. Схема будови найпростішої парової турбіни:  
1 — сопло; 2 — лопатки;  
3 — диск; 4 — вал



Рис. 43.3. У сучасних турбінах для максимального використання енергії пари застосовують кілька дисків з лопатками, які насаджено на один спільний вал

**?!** Історія промислового застосування теплових двигунів починається з парової машини, яку створив англійський учений Джеймс Ватт у 1768 р. (рис. 43.1). Протягом декількох років Ватт удосконалював її конструкцію. Починаючи з 1775 р. машини Ватта почали широко застосовувати в шахтах та на металургійних заводах Англії. У ХХ ст. на зміну першим паровим машинам прийшли сучасні двигуни внутрішнього згоряння, парові й газові турбіни, реактивні двигуни. У цьому параграфі ви дізнаєтеся, як працюють деякі з них.

### **1** Вивчаємо будову та принцип дії парової турбіни

*Парова турбіна* (від латин. *turbo* — вихор, швидке обертання) — один із прикладів *парових теплових двигунів*.

У парових двигунах *енергія, яка виділяється під час згоряння палива, іде на утворення водяної пари та на її нагрівання, а вже потім нагріта пара, розширюючись, виконує роботу.*

Отже, робочим тілом парової турбіни є пара, яка утворюється з води й нагрівається до температури близько  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  у спеціальних парових котлах. З котла пара під високим тиском надходить до турбіни.

Розглянемо принцип дії найпростішої парової турбіни (рис. 43.2). Струмień пари, вихоплюючись із сопла (1), спрямовується на лопатки (2), що закріплено на диску (3), який, у свою чергу, нерухомо закріплений на валу (4) турбіни. Під дією пари диск турбіни, а отже, і вал обертаються, тобто пара виконує роботу (рис. 43.3).

Парові турбіни широко використовують на електростанціях, де механічна енергія обертання турбіни перетворюється на електричну. На транспорті парові турбіни не набули широкого застосування в основному через великі габарити. До того ж швидкість обертання турбіни не може змінюватися в широких межах.

## 2 Знайомимося з будовою двигуна внутрішнього згоряння

Одним із найпоширеніших видів теплових двигунів, що використовуються в транспортних засобах, є *двигун внутрішнього згоряння*, який сконструював німецький винахідник *Ніколаус Отто* (рис. 43.4).

У процесі роботи двигуна внутрішнього згоряння *паливо згорає безпосередньо всередині його циліндрів*, звідси й походження назви двигуна. Двигуни внутрішнього згоряння працюють на рідкому паливі або газі.

Двигун внутрішнього згоряння (рис. 43.5) складається з *циліндра (1)*, у якому пересувається *поршень (2)*. Усередині поршня шарнірно закріплений *шатун (3)*. Шатун, у свою чергу, з'єднаний із *колінчастим валом (4)*, обертання якого забезпечує обертання тягових коліс транспортного засобу.

У верхній частині циліндра є два канали, закриті *клапанами (5)*. Через *впускний клапан* пальна суміш (суміш повітря з бензином або газом) надходить до циліндра; через *випускний клапан* викидаються відпрацьовані гази. Крім клапанів у верхній частині циліндра деяких двигунів розміщено *свічку (6)* — пристрій для запалювання пальної суміші за допомогою електричної іскри.

## 3 Розглядаємо роботу чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння

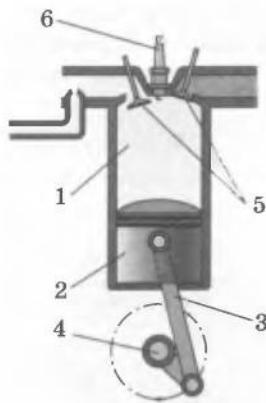
Робочий цикл чотиритактного двигуна складається відповідно з чотирьох тактів (рис. 43.6).

*I такт — усмоктування.* Поршень рухається вниз (рис. 43.6, а), у циліндрі утворюється розрідження. У цей час відкривається впускний клапан, і пальна суміш усмоктується в циліндр. Наприкінці I такту впускний клапан закривається.

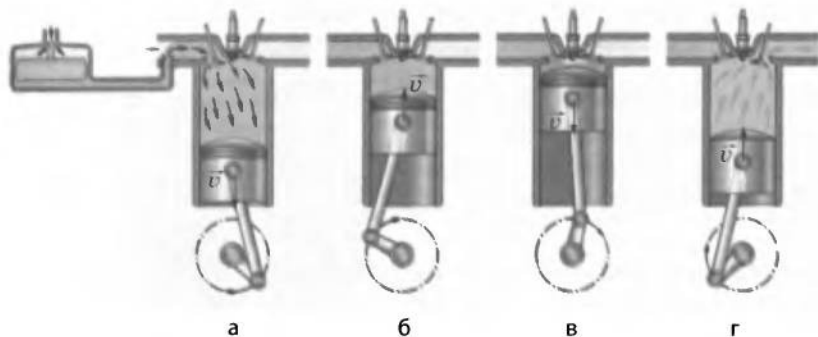
*II такт — стиснення.* Поршень рухається вгору (рис. 43.6, б) і стискає пальну суміш. Коли поршень доходить до крайнього верхнього положення, проскакує іскра і пальна суміш займається.



**Рис. 43.4.** Ніколаус Август Отто (1832–1891), німецький конструктор і підприємець, творець чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння з електричним запалюванням



**Рис. 43.5.** Схема будови найпростішого двигуна внутрішнього згоряння:  
1 — циліндр;  
2 — поршень;  
3 — шатун;  
4 — колінчастий вал;  
5 — клапани;  
6 — свічка



**Рис. 43.6.** Робота чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння: а — усмоктування; б — стиснення; в — робочий хід; г — випускання



**Рис. 43.7.** Сучасний 8-циліндровий двигун внутрішнього згоряння



**Рис. 43.8.** Рудольф Дізель (1858–1913), німецький інженер. Творець двигуна внутрішнього згоряння із запалюванням від стиснення

*III такт — робочий хід.* Розжарені гази штовхають поршень униз (рис. 43.6, в). Поршень через шатун штовхає колінчастий вал і примушує останній обертатися. Двигун виконує *корисну роботу*. Наприкінці III такту відкривається випускний клапан.

*IV такт — випускання.* Поршень рухається вгору (рис. 43.6, г) і виштовхує продукти згоряння через випускну трубу в атмосферу. Наприкінці IV такту випускний клапан закривається. Випускання відпрацьованих газів супроводжується *передачею деякої кількості теплоти доквіллю*.

Як і в будь-якому тепловому двигуні, у двигуні внутрішнього згоряння є *нагрівник* (повітряна суміш, що горить), *робоче тіло* (розжарені гази), *холодильник* (доквілля).

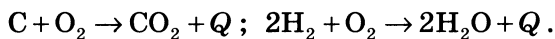
Гази штовхають поршень тільки один раз за цикл, тому для рівномірної роботи двигунів найчастіше ставлять чотири циліндри. Їх установлюють на колінчастому валу таким чином, що під час кожного такту працює один із циліндрів. Існують двигуни, які мають 6, 8 і більше циліндрів (рис. 43.7).

Закінчуючи ознайомлення з двигунами внутрішнього згоряння, не можна не звернути увагу на такий факт. Останнім часом дедалі ширше застосовують *дизельні двигуни*, названі на честь німецького інженера *Рудольфа Дізеля* (рис. 43.8). Ці двигуни, зокрема, не мають свічок запалювання, їхній ККД більш високий. У двигунів, описаних вище, він становить 20–25 %, у дизельних — 40 %.



#### **4** Розмірковуємо про плюси та мінуси використання теплових двигунів

Робота теплових двигунів, з якими ви познайомилися, ґрунтується на перетворенні теплової енергії, що виникає переважно в ході двох хімічних реакцій:



Якщо подивитися на сполуки, які утворюються в результаті зазначених хімічних реакцій, то складається враження, що теплові машини є досить досконалими, адже в наведених хімічних реакціях не лише виділяється тепло, але й продукти реакції є «звичайними» сполуками. Дійсно, вуглекислий газ входить до складу повітря, вода наявна всюди навколо нас. Отже, ці речовини є екологічно чистими, тобто не забруднюють природу.

Проте не слід робити занадто квапливих висновків.

По-перше, поряд з основними елементами (Карбоном та Гідрогеном) практично всі види палива містять невелику кількість Сульфуру, який з часом перетворюється на шкідливу сульфатну кислоту.

По-друге, на більшій частині теплових станцій вугілля подається в топки в подрібненому вигляді. Ці частинки, згоряючи, перетворюються на попіл, і певна його кількість розлітається на місцевості, забруднюючи все навколо.

По-третє, в автомобільному моторі паливо не завжди згоряє «до кінця», тому у вихлопних газах міститься значна частка отруйного чадного газу (CO).

І це далеко не вичерпний перелік шкідливих чинників.

У розв'язанні відповідних проблем існує кілька напрямків.

Перший і найпростіший — *зменшення (або принаймні збереження на стабільному рівні) сумарної потужності теплових машин*. Іншими словами, *споживачі енергії* (телевізори, холодильники, лампи тощо) *мають використовувати менше енергії*.

Другий напрямок — *зменшення шкідливих викидів теплових електростанцій*. Для цього застосовують, зокрема, спеціальні фільтри.

Третій напрямок — *використання нетеплових джерел енергії*.

#### **!** Підбиваємо підсумки


Найдавнішим із теплових двигунів, що застосовуються в сучасній техніці, є парова турбіна, у якій нагріта пара за допомогою сопел спрямовується на лопатки турбіни та обертає її.

Ще одним прикладом теплового двигуна є двигун внутрішнього згоряння. У ньому паливо згоряє всередині циліндрів і нагріте повітря, розширюючись, виконує роботу. Робочий цикл

чотиритактного двигуна внутрішнього згоряння має відповідно чотири такти: усмоктування, стиснення, робочий хід, випускання.

Останнім часом дуже гостро стоїть проблема забруднення навколишнього середовища через шкідливі вияви роботи теплових машин.

- ?** **Контрольні запитання**
1. Які двигуни називають паровими?
  2. Назвіть основні частини парової турбіни.
  3. Опишіть, як працює парова турбіна.
  4. Що в паровій турбіні слугує нагрівником? холодильником? робочим тілом?
  5. Звідки походить назва двигуна внутрішнього згоряння?
  6. Назвіть основні частини двигуна внутрішнього згоряння та їхнє призначення.
  7. Які процеси відбуваються у чотиритактному двигуні внутрішнього згоряння протягом кожного з чотирьох тактів?
  8. Доведіть, що теплові двигуни шкідливо впливають на довкілля, і запропонуйте способи розв'язання цієї проблеми.

-  **Вправа № 43**
1. ККД дизельного двигуна становить 40 %. Поясніть, що це означає.
  2. Досвідчені автолюбители легко визначають, яка свічка двигуна не працює. Як вони це роблять? Обґрунтуйте свою відповідь.
  3. Теплові двигуни, незважаючи на чисельні недоліки, є найпоширенішими. Чому людина віддає перевагу саме їм?

## § 44. ПЛАВЛЕННЯ ТА КРИСТАЛІЗАЦІЯ ТВЕРДИХ ТІЛ

- ?!** Чи замислювалися ви над тим, чому грудочка снігу, нагріта в руці, тане? А чи знаєте ви, чому утворюються крижані бурульки і коли вони утворюються — у відлигу чи, навпаки, в мороз? Як охолодити трохи снігу без морозильної камери? Чому шматочок свинцю можна розплавити в сталевій ложці, а шматочок сталі у свинцевій — не можна? Невдовзі ви напевне зможете відповісти на ці запитання.

### **1** Знайомимось з процесами плавлення та кристалізації, дізнаємось про температуру плавлення

Якщо в морозяний день набрати надворі трохи снігу й занести до теплої кімнати, то через деякий час він розтане, або, як кажуть фізики, *розплавиться*.

**Плавлення** — це процес переходу речовини з твердого стану в рідкий.

Простежимо зміну температури снігу в процесі його танення в теплій кімнаті (рис. 44.1). На початку досліду температура снігу є нижчою за 0 °С, сніг не тане, а його температура швидко

збільшується. Щойно стовпчик термометра досягає позначки  $0^{\circ}\text{C}$ , температура перестає збільшуватись, а в склянці починає з'являтися вода (сніг починає плавитися). Обережно перемішаємо воду із залишками снігу й відзначимо, що температура суміші залишається незмінною. І тільки після того як сніг повністю розплавиться, температура знову починає зростати.

З цього досліді можна зробити щонайменше два висновки: по-перше, під час плавлення температура снігу не змінюється; по-друге, сніг починає плавитися тільки після досягнення ним температури  $0^{\circ}\text{C}$ .

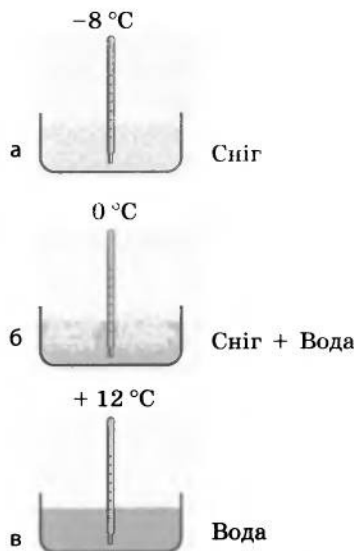
Досліді показують: *практично всі кристалічні речовини плавляться після досягнення певної температури, і в процесі їхнього плавлення температура не змінюється.*

**Температура плавлення** — це температура, за якої тверда кристалічна речовина переходить у рідкий стан.

Так само як тверда речовина в разі досягнення певної температури перетворюється на рідину, рідини за певних умов тверднуть (кристалізуються). Наприклад, якщо ми винесемо воду на мороз або поставимо посудину з водою у морозильну камеру, то вода з часом кристалізується, перетворюючись на лід (рис. 44.2).

**Кристалізація** — це процес переходу речовини з рідкого стану в кристалічний.

Вимірюючи температуру речовин у процесі їх охолодження й подальшої кристалізації, доходимо висновків, які аналогічні висновкам щодо плавлення речовин: по-перше, *в процесі кристалізації температура речовини не змінюється*; по-друге, *процес кристалізації починається тільки після охолодження рідини до певної температури.*



**Рис. 44.1.** Спостереження процесу танення снігу в кімнаті: а — за від'ємної температури вода перебуває у твердому стані; б — за температури  $0^{\circ}\text{C}$  сніг починає танути, і в процесі танення температура суміші незмінно дорівнює  $0^{\circ}\text{C}$ ; в — за додатної температури вода перебуває у рідкому стані



**Рис. 44.2.** Вода, яку вміщено в морозильну камеру, кристалізується, перетворюючись на лід

Вимірювання показують, що *температура кристалізації дорівнює температурі плавлення*.

Температури плавлення та кристалізації різних речовин досить сильно відрізняються (див. таблицю).

*Температура плавлення і кристалізації деяких речовин за нормального атмосферного тиску*

Речовина	$t, ^\circ\text{C}$	Речовина	$t, ^\circ\text{C}$
Водень	-256	Алюміній	660
Спирт	-115	Срібло	962
Ртуть	-39	Золото	1065
Лід	0	Мідь	1087
Парафін	55	Чавун	1200
Нафталін	80	Сталь	1400
Олово	232	Залізо	1535
Свинець	327	Титан	1660
Цинк	420	Вольфрам	3387

У наведеній таблиці немає *аморфних речовин*, бо вони, як вам уже відомо із 7-го класу, не мають певної температури плавлення: нагріваючись, вони поступово м'якшають, а в ході охолодження поступово густішають. Надалі, вивчаючи процеси плавлення та кристалізації, ми розглядатимемо тільки кристалічні речовини.

**2** Переконаємося, що процеси плавлення і кристалізації неможливі без передачі енергії

Якщо провести дослід із таненням снігу в холодильній камері, температура в якій є сталою й дорівнює  $0^\circ\text{C}$ , з'ясується таке.

Як і в досліді з таненням снігу в теплій кімнаті, температура снігу буде спочатку збільшуватися (правда, повільніше). Це означає, що збільшується внутрішня енергія снігу. Адже температура в камері вища від температури снігу, тому більш нагріте повітря в ній віддає певну кількість теплоти менш нагрітому снігу. Збільшення температури триватиме доти, доки температура снігу не досягне  $0^\circ\text{C}$ . І отут починається найцікавіше. Температура снігу сягнула температури плавлення, а сніг не тоне (рис. 44.3). Чому?

Згадайте: перший дослід проводився в теплій кімнаті (температура в якій була вищою від  $0^\circ\text{C}$ ). Отже, протягом усього часу спостереження відбувався теплообмін між повітрям у кімнаті та снігом. При цьому весь час сніг *одержував* енергію, зокрема й тоді, коли його температура залишалася незмінною. І сніг при цьому танув. У другому досліді температура плавлення снігу й температура

повітря в холодильній камері є однаковими, тому теплообмін не відбувається. Сніг *не одержує енергії, отже, й не тане.*

Робимо висновок: *щоб речовина плавилася, потрібно, щоб вона отримувала енергію. А це означає, що за однакової температури внутрішня енергія речовини в рідкому стані більша від внутрішньої енергії речовини у твердому стані.*

Отже, якщо до холодильної камери з температурою повітря  $0^{\circ}\text{C}$  помістити теплу воду, то температура води буде зменшуватися до  $0^{\circ}\text{C}$  (тепла вода віддає енергію повітрю в камері). Однак після досягнення  $0^{\circ}\text{C}$  вода не кристалізуватиметься, оскільки тепер, щоб перейти в стан із меншою внутрішньою енергією, їй потрібно віддати довшію деяку кількість теплоти, а у випадку теплової рівноваги теплообмін не відбувається.



**Рис. 44.3.** У холодильній камері, де температура повітря становить  $0^{\circ}\text{C}$ , сніг досягає температури плавлення, але не тане

### **3** Будуємо графік і пояснюємо процеси плавлення та кристалізації речовини

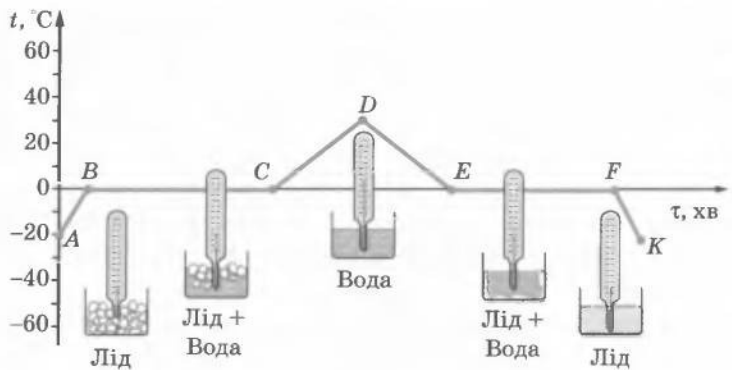
Для більш детального вивчення процесів плавлення та кристалізації речовини розглянемо графік залежності температури кристалічної речовини (льоду) від часу її нагрівання або охолодження (рис. 44.4).

Ділянка графіка від точки *A* до точки *D* відповідає передачі певної кількості теплоти від нагрівника речовині, а отже, відповідає збільшенню внутрішньої енергії речовини. Ділянка від точки *D* до точки *K* відповідає передачі теплоти від речовини холодильнику, а отже, відповідає зменшенню внутрішньої енергії речовини.

З графіка видно, що в момент початку спостереження (точка *A*) температура льоду становила  $-20^{\circ}\text{C}$ . Під час подальшої роботи нагрівника температура льоду збільшується (ділянка *AB*). З погляду атомно-молекулярної теорії в цей час збільшується кінетична енергія коливального руху молекул води у вузлах кристалічної ґратки льоду.

Після досягнення температури  $0^{\circ}\text{C}$  лід починає плавитися, температура речовини не змінюється (ділянка *BC*), незважаючи на те що нагрівник продовжує працювати й передавати льоду певну кількість теплоти. Уся енергія, що надходить від нагрівника, іде на руйнування кристалічної ґратки льоду. У цей проміжок часу внутрішня енергія льоду зростає тільки за рахунок збільшення потенціальної енергії молекул.

**Рис. 44.4.** Графік плавлення та кристалізації льоду (без дотримання масштабу)



Після того як весь лід розплавився й перетворився на воду (точка *C*), температура знову почала збільшуватися (ділянка *CD*), тобто почала зростати кінетична енергія руху молекул.

У той момент, коли температура сягнула  $30^{\circ}\text{C}$  (точка *D*), нагрівник вимкнули. Воду помістили в холодильник, і її температура почала падати (ділянка *DE*). Зниження температури свідчить про те, що кінетична енергія, а отже, швидкість руху молекул зменшуються.

Коли досягнуто температури кристалізації  $0^{\circ}\text{C}$  (точка *E*), швидкість молекул зменшується настільки, що вони вже не можуть перестрибувати з місця на місце. Вони поступово займають фіксоване положення (ділянка *EF*), і до моменту завершення кристалізації вже всі молекули коливаються тільки біля положення рівноваги. Вода переходить у стан із меншою внутрішньою енергією — повністю перетворюється на лід (точка *F*).

Під час подальшої роботи холодильника замерзла вода (лід) холодне, а кінетична енергія коливального руху молекул зменшується (ділянка *FK*).

### **Підбиваємо підсумки**

Тепловий процес переходу речовини з твердого стану в рідкий називають плавленням. У процесі плавлення температура речовини не змінюється. Температура, за якої тверда кристалічна речовина переходить у рідкий стан, називається температурою плавлення.

За однакової температури внутрішня енергія речовини в рідкому стані більша від внутрішньої енергії речовини у твердому стані.

Щоб речовину перевести з твердого стану в рідкий, необхідно виконання двох обов'язкових умов: по-перше, потрібно нагріти речовину до температури плавлення; по-друге, під час плавлення речовина має одержувати енергію.

Процес переходу речовини з рідкого стану у твердий називають кристалізацією. Температура кристалізації дорівнює температурі плавлення.

Щоб речовину перевести з рідкого стану в кристалічний, так само мають бути виконані дві умови: по-перше, рідину потрібно охолодити до температури кристалізації; по-друге, під час кристалізації речовина повинна мати можливість віддавати енергію.

### ? Контрольні запитання

1. Який процес називають плавленням? 2. Як змінюється температура речовини в процесі плавлення? 3. Який процес називають кристалізацією? 4. Порівняйте температури плавлення і кристалізації речовини. 5. Чи танутиме лід у холодильнику, температура в якому становить  $0^{\circ}\text{C}$ ? А чи замерзатиме за такої температури вода? 6. Опишіть процеси, що відбуваються під час плавлення та кристалізації льоду.

### ✍ Вправа № 44

1. Чи можна розплавити сталь у свинцевій ложці? Обґрунтуйте свою відповідь.
2. У відрі з водою плавають шматки льоду. Що відбуватиметься: танутиме лід чи замерзатиме вода? Від чого це залежить?
3. На рис. 1 подано графіки плавлення деяких речовин. У якій з речовин вища температура плавлення? Яка з речовин на початку досліду мала вищу температуру? Скориставшись таблицею на с. 220, визначте, про які речовини йдеться.
4. На рис. 2 наведено графік плавлення та кристалізації певної речовини. Якому стану речовини відповідають точки *A*, *B*, *C* і *D* графіка?

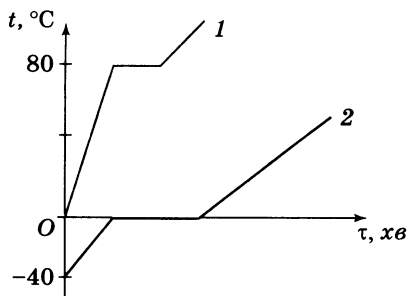


Рис. 1

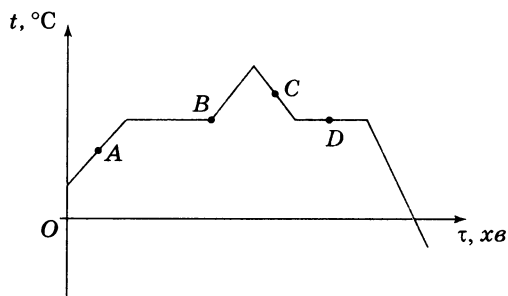


Рис. 2

### 🔑 Експериментальне завдання

Змішайте 100 г снігу, взятого за температури  $0^{\circ}\text{C}$ , з 30 г кухонної солі (1 столова ложка з гіркою). Сніг почне швидко танути й холонати. Якщо в такий розчин опустити шматочок картоплини, то він замерзне. Поясніть, чому. (Підказка: температура замерзання розчину солі набагато менша, ніж температура замерзання води.)

## § 45. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПЛАВЛЕННЯ

**?!**  Ви вже знаєте, що під час переходу з твердого стану в рідкий речовина поглинає певну кількість теплоти і внутрішня енергія речовини збільшується, а перехід речовини з рідкого стану у твердий супроводжується виділенням теплоти та зменшенням внутрішньої енергії речовини. З'ясуємо, від чого залежить кількість теплоти, що необхідна для плавлення певної маси речовини, і яка кількість теплоти виділяється під час кристалізації.

**□**  Вводимо поняття питомої теплоти плавлення речовини. Вивчення процесів плавлення та кристалізації показало, що *кількість теплоти, яку необхідно витратити на плавлення певної маси речовини, дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час її кристалізації.*

Досліди так само показують, що *зміна внутрішньої енергії речовини в ході цих процесів є прямо пропорційною масі речовини.*

Виникає запитання: чи однакову кількість теплоти необхідно витратити на плавлення різних речовин однакової маси?

Логічно припустити, що різну, адже сили взаємодії між частинками різних речовин є різними, тому на руйнування різних кристалічних ґраток напевне потрібна різна кількість енергії. І це справді так. Фізики порахували: наприклад, щоб розплавити 1 кг льоду, йому потрібно передати в 10 разів більше теплоти, ніж необхідно для плавлення 1 кг свинцю.

**Питома теплота плавлення** — фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати твердій кристалічній речовині масою 1 кг, щоб за температури плавлення повністю перевести її в рідину.

Питому теплоту плавлення позначають символом  $\lambda$  («лямбда») і обчислюють за формулою

$$\lambda = \frac{Q}{m},$$

де  $Q$  — кількість теплоти, необхідна для плавлення речовини масою  $m$ .

З формули для визначення питомої теплоти плавлення дістанемо *одиницю цієї величини в СІ — джоуль на кілограм*  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

*Питома теплота плавлення показує, на скільки за температури плавлення внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані більша, ніж внутрішня енергія 1 кг цієї речовини у твердому стані. У цьому полягає фізичний зміст питомої теплоти плавлення.*



Питому теплоту плавлення визначають дослідним шляхом (рис. 45.1) і фіксують у таблицях.

*Питома теплота плавлення деяких речовин  
(за нормального атмосферного тиску)*

Речовина	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$\lambda, \frac{\text{кДж}}{\text{кг}}$
Алюміній	393	Срібло	87
Лід	332	Сталь	84
Залізо	270	Золото	67
Мідь	213	Водень	59
Вольфрам	185	Олово	59
Парафін	150	Свинець	25
Платина	113	Кисень	14
Спирт	105	Ртуть	12

**2** Обчислюємо кількість теплоти, що необхідна для плавлення речовини або виділяється під час її кристалізації

З формули для визначення питомої теплоти плавлення  $\lambda = \frac{Q}{m}$  дістанемо формулу для обчислення кількості теплоти, яку необхідно передати твердій речовині масою  $m$ , щоб перетворити її на рідину за температури плавлення:

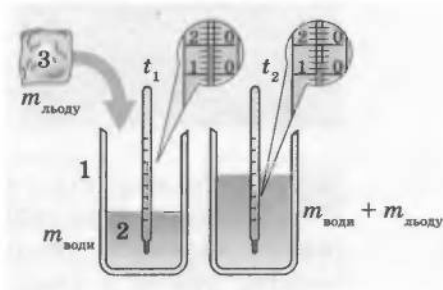
$$Q = \lambda m$$

Отже, щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для плавлення кристалічної речовини, узятій за температури плавлення, потрібно питому теплоту плавлення цієї речовини помножити на її масу.

Зрозуміло, що кількість теплоти, яка виділяється під час кристалізації, розраховують за тією самою формулою:  $Q = \lambda m$ .

**Рис. 45.1.** Дослід щодо визначення питомої теплоти плавлення води. У калориметр (1), який містить відому масу води (2), занурюють лід (3) за температури 0°C. Виміривши масу води після плавлення льоду і температуру води до і після плавлення льоду ( $t_1$  і  $t_2$ ), визначають питому теплоту плавлення льоду:

$$\lambda = \frac{c_{\text{води}} m_{\text{води}} (t_1 - t_2)}{m_{\text{льоду}}}$$



## 3

## Учимося розв'язувати задачі

**Задача.** Яка кількість теплоти потрібна, щоб розплавити 5 кг свинцю, узятото за температури 27 °С?

Дано:

$$m = 5 \text{ кг}$$

$$t_1 = 27 \text{ °С}$$

$$t_2 = 327 \text{ °С}$$

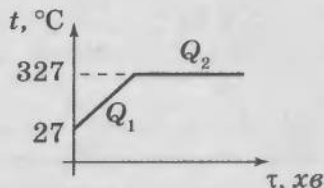
$$c = 140 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}}$$

$$\lambda = 25 \frac{\text{кДж}}{\text{кг}} = 25\,000 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

$Q = ?$

*Аналіз фізичної проблеми*

Щоб розплавити свинець, його спочатку потрібно нагріти до температури плавлення. Знайдемо в таблиці (с. 220) температуру  $t_2$  плавлення свинцю та побудуємо схематичний графік процесу:



Загальна кількість теплоти  $Q$  дорівнюватиме сумі кількості теплоти  $Q_1$ , необхідної для нагрівання свинцю до температури плавлення, та кількості теплоти  $Q_2$ , необхідної для плавлення. Питому теплоємність  $c$  і питому теплоту плавлення  $\lambda$  свинцю знайдемо в таблицях (відповідно див. с. 194, с. 225).

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

$$Q = Q_1 + Q_2; \quad (1)$$

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) \text{ — нагрівання}; \quad (2)$$

$$Q_2 = \lambda m \text{ — плавлення}. \quad (3)$$

Підставивши формули (2) і (3) у формулу (1), остаточно отримаємо:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + \lambda m.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot \text{°С}} \cdot \text{кг} \cdot \text{°С} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\begin{aligned} \{Q\} &= 140 \cdot 5 \cdot (327 - 27) + 25\,000 \cdot 5 = 335\,000; \\ Q &= 335\,000 \text{ Дж} = 335 \text{ кДж}. \end{aligned}$$

*Відповідь:* необхідна кількість теплоти становить 335 кДж.

### ! Підбиваємо підсумки

Фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати 1 кг цієї речовини, узятото у твердому стані, щоб за температури плавлення

повністю перевести її в рідину, називається питомою теплою плавлення  $\lambda$ .

Питома теплота плавлення показує, на скільки внутрішня енергія 1 кг речовини в рідкому стані, узятій за температури плавлення, більша, ніж внутрішня енергія 1 кг цієї речовини у твердому стані.

Питома теплота плавлення обчислюється за формулою  $\lambda = \frac{Q}{m}$  і в СІ вимірюється в джоулях на кілограм  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

Кількість теплоти, яку необхідно витратити на плавлення певної речовини, узятій за температури плавлення, дорівнює кількості теплоти, що виділяється під час кристалізації цієї речовини. Цю кількість теплоти обчислюють за формулою  $Q = \lambda m$ .



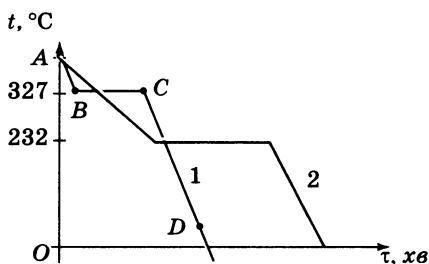
### Контрольні запитання

1. Від чого залежить кількість теплоти, що виділяється під час кристалізації речовини?
2. Що називають питомою теплою плавлення речовини?
3. Яким є фізичний зміст питомої теплоти плавлення?
4. Як обчислити кількість теплоти, що необхідна для плавлення речовини або виділяється під час її кристалізації?



### Вправа № 45

1. Питома теплота плавлення сталі становить 84 кДж/кг. Що це означає?
2. Яке з тіл має більшу внутрішню енергію: алюмінієвий брусок масою 1 кг, узятий за температури плавлення, чи 1 кг розплавленого алюмінію за тієї самої температури? На скільки більшу?
3. Яка кількість теплоти необхідна, щоб розплавити 500 г міді, узятій за температури плавлення?
4. Яка кількість теплоти виділиться під час кристалізації 100 кг сталі та подальшому її охолодженні до  $0^\circ\text{C}$ ? Початкова температура сталі дорівнює  $1400^\circ\text{C}$ .
5. Яка кількість теплоти потрібна для перетворення 25 г льоду, узятото за температури  $-15^\circ\text{C}$ , на воду за температури  $10^\circ\text{C}$ ?
6. У гарячу воду поклали лід, маса якого дорівнює масі води. Після того як весь лід розтанув, температура води зменшилася до  $0^\circ\text{C}$ . Якою була початкова температура води, якщо початкова температура льоду дорівнювала  $0^\circ\text{C}$ ?
7. На рисунку зображено графіки залежності температур від часу в процесі кристалізації двох речовин однакової маси. Яка речовина має вищу температуру плавлення? У якій з них більша питома теплота плавлення? Яка речовина має більшу питому теплоємність у твердому стані? Назвіть ці речовини.





## ФІЗИКА ТА ТЕХНІКА В УКРАЇНІ

**Михайло Петрович Авенаріус** (1835–1895) закінчив Петербурзький університет, протягом 1865–1891 рр. працював у Київському університеті; член-кореспондент Петербурзької Академії наук. Учений був організатором і керівником київської школи фізиків-експериментаторів — першої фізичної школи в Україні.

Наукові праці М. П. Авенаріуса стосуються термоелектрики та молекулярної фізики. Вчений запропонував й обґрунтував одну з основних формул, яка описує явище термоелектрики (*закон Авенаріуса*). Про термоелектрику ви дізнаєтеся пізніше, у наступних курсах фізики.

У галузі молекулярної фізики вчений вивчав рідкий стан і пару речовин в умовах змінення температур і тисків. Протягом 1873–1877 рр. саме в київській лабораторії Авенаріус разом зі своїми учнями одержав кількісні характеристики цих процесів, які увійшли до фізичних довідників того часу та завдяки високій точності проведених вимірювань довгий час лишалися незмінними.

## § 46. ВИПАРОВУВАННЯ ТА КОНДЕНСАЦІЯ

**?! Чому, виходячи з річки спекотного літнього дня, ми відчуваємо прохолоду? Куди зникають калюжі після дощу? Для чого в спеку собака висуває язика? Чому, якщо хочемо остудити руки, ми на них дмемо, а якщо хочемо зігріти, то дихаємо? Щодня можна поставити собі безліч таких запитань. У цьому параграфі ви знайдете відповіді на деякі з них.**

### **1** Знайомимося з процесом випаровування

Будь-яка речовина може переходити з одного агрегатного стану в інший. За певних умов тверде тіло може перетворитися на рідину, рідина може знову стати твердою чи перетворитися на газ.

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають **пароутворенням**.

Рідина може перетворюватися на газ двома способами: *випаровуванням* і *кипінням*. Знайомство з пароутворенням рідини почнемо з процесу випаровування.

Якщо розлити воду, то через якийсь час калюжа зникне; речі, що промокли під дощем, обов'язково з часом стануть сухими; навіть масний слід, який лишився на асфальті від несправної машини, згодом стає майже непомітним. Усі ці явища можна пояснити випаровуванням рідини.

**2** Пояснюємо процес випаровування та робимо висновки

Розглянемо процес випаровування з погляду атомно-молекулярної теорії. Уявіть собі молекули рідини. Вони завжди рухаються, постійно змінюючи швидкість свого руху.

Серед молекул рідини, які хаотично рухаються біля її поверхні, завжди знайдуться такі, що «намагаються» вилетіти з рідини. Ті з них, що в певну мить рухаються повільно, не зможуть подолати притягання сусідніх молекул і залишаться в рідині. Якщо ж поблизу поверхні опиниться «швидка» молекула, то її кінетичної енергії буде достатньо, щоб виконати роботу проти сил міжмолекулярного притягання, і молекула вилетить за межі рідини (рис. 46.1).

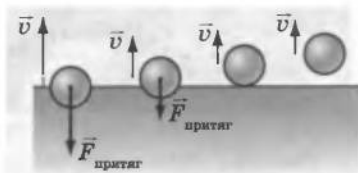
Після ознайомлення з механізмом випаровування можна зробити декілька висновків.

По-перше, той факт, що в рідині завжди є молекули, які рухаються досить швидко, дозволяє зробити висновок, що *випаровування рідин відбувається за будь-якої температури*.

По-друге, оскільки в процесі випаровування рідину залишають найшвидші молекули, то середня кінетична енергія решти молекул зменшується. Тому, *якщо рідина не отримує енергії ззовні, вона холодне*. До того ж під час випаровування виконується робота проти сил міжмолекулярного притягання та проти сил зовнішнього тиску, тому *процес випаровування супроводжується поглинанням енергії*. Саме тому, виходячи з річки після купання або перебуваючи в мокрому одязі, ми відчуваємо прохолоду.

**3** З'ясуємо, від чого залежить швидкість випаровування

Для того щоб швидко висушити одяг, ми зазвичай кладемо його на батарею опалення або прасуємо. Чому ми це робимо? Тому що *чим вища температура рідини, тим швидше вона випаровується*. Зі збільшенням температури рідини збільшується кількість «швидких» молекул, а отже, дедалі більша їх кількість має змогу подолати сили міжмолекулярного притягання й вилетіти за межі рідини.



**Рис. 46.1.** Молекула, яка вилітає з рідини, має подолати сили міжмолекулярного притягання, що тягнуть її назад у рідину

\* Процес пароутворення здійснюється і з поверхні твердих тіл (ви напевне відчували запах нафталіну, помічали, що під час сильних морозів кудись зникають замерзлі калюжі тощо). Цей процес називають *сублімацією* (або *перегоном*).



**Рис. 46.2.** Зі збільшенням площі поверхні (чай перелито з чашки в блюдце) швидкість випаровування збільшується. А оскільки в ході випаровування чай утрачає енергію, він швидше холодне (Б. М. Кустодієв «Бариня за чаєм»)



**Рис. 46.3.** Демонстрація залежності швидкості випаровування від роду рідини. Через хвилину фігурка, яку намальовано спиртом, повністю зникла (а); фігурка, намальована водою, залишилася частково (б); випаровування олії зовсім не помітне (в)

Звернемо увагу ще на один момент. Намагаючись швидко висушити одяг, ми не покладемо його на батарею жмутом, а розправимо, бо зім'ятий одяг висихає набагато повільніше. Чому? Тому що *швидкість випаровування залежить від площі вільної поверхні рідини*. Адже чим більша площа поверхні рідини, тим більше «швидких» молекул на цій поверхні опиняться і тим швидше рідина випаровується (рис. 46.2).

Намалюємо мокрою серветкою на склі або класній дошці три фігурки. Одну зобразимо серветкою, змоченою у спирті, другу — серветкою, змоченою у воді, третю — в олії (рис. 46.3). «Спиртова» фігурка миттю випарується, «водяна» протримається трохи довше, натомість «олійна» радуватиме нас кілька днів. Річ у тім, що сили притягання між молекулами різних рідин є різними, тому *швидкість випаровування залежить від роду рідини*. Очевидно, що швидше випаровуються ті рідини, молекули яких слабше взаємодіють одна з одною.

Життєвий досвід показує, що *швидкість випаровування залежить також від руху повітря*. Насправді, щоб швидко висушити волосся, ми вмикаємо фен на потужніший режим; щоб остудити обпечену руку, дмемо на неї. Білизна, вивішена на вітрі, сохне швидше, ніж у затишку. Таку залежність теж легко пояснити з погляду молекулярного руху. Біля поверхні рідини завжди існує «хмара» молекул, які повилітали з неї (рис. 46.4). Ці молекули хаотично рухаються, зіштовхуються одна з одною та з молекулами інших газів, що складають повітря. Унаслідок цього молекула рідини може так близько підлетіти до її поверхні, що її «захоплять» сили міжмолекулярної взаємодії та знову повернуть у рідину. А якщо є вітер, то він відносить молекули, що вилетіли, і не дає їм змоги повернутися.

Якби молекули, залишаючи рідину, зовсім не поверталися до неї, то швидкість випаровування була би просто колосальною. Наприклад, за кімнатної температури повна склянка води випарувалася би за 6 хвилин, адже за цих умов з  $1 \text{ см}^2$  води щосекунди вилітає  $10^{21}$  молекул.

#### 4 Знайомимося з процесом конденсації

Ми вже знаємо, що молекули весь час вилітають із рідини і певна їх кількість знову повертається. Таким чином, поряд із процесом випаровування, у ході якого рідина перетворюється на пару, існує зворотний процес, коли речовина з газоподібного стану переходить у рідкий.

Процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий називають **конденсацією**.

Процеси конденсації (від латин. *condensatio* — згущення, ущільнення) води в природі ми спостерігаємо щодня. Так, літнього ранку на листі рослин ми бачимо прозорі краплинки *роси* (рис. 46.5, *а*). Це водяна пара, яка вдень накопичується в повітрі внаслідок випаровування, а вночі, охолоджуючись, конденсується.

Коли вологе повітря піднімається у вищі шари атмосфери, то, охолоджуючись, воно утворює *хмари* (рис. 46.5, *б*). Хмари складаються з дрібних краплинок води, що утворилися внаслідок конденсації водяної пари. А коли вологе повітря охолоджується поблизу поверхні Землі, утворюється *туман* (рис. 46.5, *в*). Оскільки процес конденсації супроводжується виділенням енергії, то утворення туману затримує зниження температури повітря.

**Рис. 46.5.** Прояви конденсації в природі: випадання роси (*а*); утворення хмар (*б*); поява туману (*в*);



**Рис. 46.4.** Багато молекул, які залишили рідину, можуть знову повернутися в неї через тепловий рух



Підбиваємо підсумки

Процес переходу речовини з рідкого стану в газоподібний називають пароутворенням. Процес пароутворення з поверхні рідини називається випаровуванням.

Випаровування відбувається за будь-якої температури, і воно є тим інтенсивнішим, чим вищою є температура рідини. Швидкість випаровування збільшується також зі збільшенням площі вільної поверхні рідини і внаслідок видаляння пари, яка утворюється над рідиною. Крім того, інтенсивність випаровування залежить від роду рідини.

Поряд із процесом випаровування існує і процес конденсації. Конденсацією називають процес переходу речовини з газоподібного стану в рідкий.

Процес випаровування відбувається з поглинанням енергії. Процес конденсації, навпаки, супроводжується виділенням енергії.



#### Контрольні запитання

1. Що таке пароутворення?
2. Які способи пароутворення ви знаєте?
3. Що таке випаровування?
4. Від яких чинників і чому залежить швидкість випаровування? Наведіть приклади.
5. Що таке конденсація? Наведіть приклади конденсації в природі.



#### Вправа № 46

1. Чому вода у відкритій посудині завжди трохи холодніша, ніж навколишнє повітря?
2. Для чого собака в спеку висуває язика?
3. Залишаючись тривалий час у мокрому одязі чи взутті, можна застудитися. Чому?
4. Чому, щоб волосся швидше висохло, його слід розчісувати й струшувати?
5. Коли калюжі після дощу висихають швидше: у теплу чи прохолодну погоду? Чому?
6. Чому після змочування руки спиртом відчуття холоду сильніше, ніж після змочування водою?
7. Навесні, коли інтенсивно тане сніг, над полями іноді утворюється туман. У міру його розсіювання стає помітним, що кількість снігу значно зменшилася. У народі кажуть: «Весняний туман сніг з'їдає». Поясніть це твердження з точки зору фізики.
8. У країнах Азії для питної води використовують спеціальні посудини зі слабко випаленої глини — алькарацца (див. рисунок). Вода, налита в такі посудини, може просочуватися крізь глину. Чому вода в них залишається прохолодною навіть у спекотний літній день?
9. Перебуваючи надворі в морозяний день, ви можете спостерігати «пару», що йде з рота людей. Що ви бачите насправді?



#### Експериментальне завдання

Візьміть добре зволожену та віджату бавовняну серветку, покладіть її на блюдце, а блюдце поставте в холодильну камеру. Переконайтеся, що через деякий час серветка затвердіє, а через кілька днів висохне. Напишіть звіт, у якому використайте інформацію про випаровування твердих тіл, знайдену в додатковій літературі та Інтернеті.



## § 47. КИПІННЯ. ПИТОМА ТЕПЛОТА ПАРООУТВОРЕННЯ

**?!** До якої температури можна нагріти воду? Чи має сенс збільшувати потужність пальника, щоб прискорити готування борщу? Як закип'ятити воду за допомогою снігу? На деякі з цих питань ви знайдете відповіді в наступному параграфі, на деякі зможете відповісти самі після його вивчення.

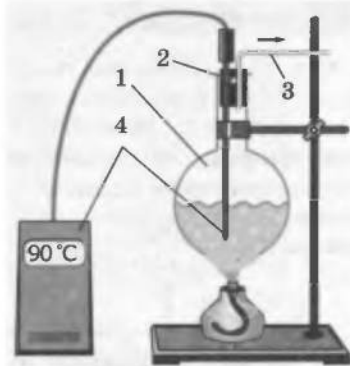
**1** Знайомимося з процесом кипіння

Проведемо експеримент. Закріпимо колбу з водою в лапці штатива і щільно закоркуємо, лишивши в корку два отвори. В один з отворів вставимо трубку для виходу пари, у другий помістимо термометр (рис. 47.1). Нагріватимемо воду в колбі за допомогою спиртівки.

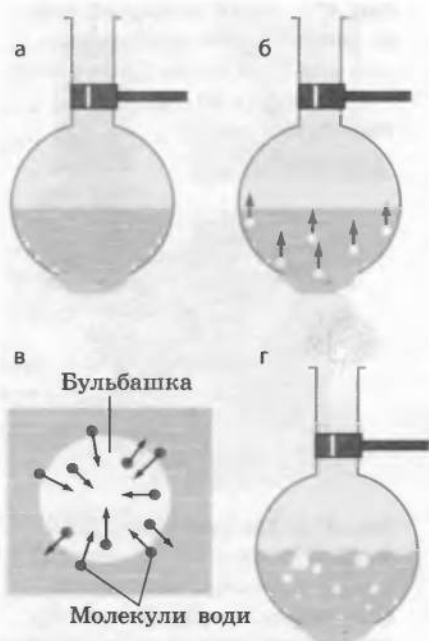
Через якийсь час дно та стінки колби вкриються *бульбашками* (рис. 47.2, а). Ці бульбашки утворені розчиненим у воді повітрям. Річ у тім, що в рідині завжди є розчинені гази, однак зі збільшенням температури розчинність газів зменшується, а «зайвий» газ виділяється у вигляді бульбашок. Оскільки бульбашки перебувають у воді, то в них, окрім повітря, є ще й водяна пара.

Після досягнення бульбашкою певного розміру *архімедова сила, що діє на бульбашку, відриває її від стінки чи дна посудини й бульбашка піднімається* (рис. 47.2, б). На місці бульбашки залишається невелика кількість повітря — *зародок* нової бульбашки. Верхні шари води певний час холодніші за нижні, тому у верхніх шарах водяна пара в бульбашці конденсується, повітря, яке було в бульбашці, розчиняється і вона різко зменшується в об'ємі — *захлопується*. Цей процес супроводжується шумом.

Коли вся рідина достатньо прогріється, а температура верхніх і нижніх шарів зрівняється, бульбашки, піднімаючись, уже не зменшуватимуться в об'ємі, а навпаки, будуть збільшуватися. *Протягом цього часу всередину бульбашок активно випаровується вода* (рис. 47.2, в). Досягнувши поверхні води, бульбашки лопаються і викидають назовні



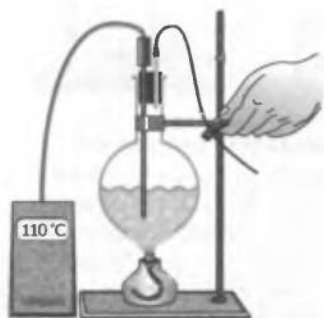
**Рис. 47.1.** Пристрій для спостереження та вивчення процесу кипіння рідини: 1 — скляна колба; 2 — гумовий корок з отворами; 3 — трубка для відведення водяної пари; 4 — термометри



**Рис. 47.2.** Спостереження процесу закипання води



**Рис. 47.3.** У процесі кипіння температура рідини є незмінною. Тому під час готування їжі, після того як вода закипить, слід зменшувати потужність нагрівника. Це дасть економію енергії і не змінить часу готування



**Рис. 47.4.** У разі затискання трубки для відведення водяної пари тиск усередині колби збільшується, і це приводить до підвищення температури рідини



**Рис. 47.5.** Каструля-скороварка: завдяки клапанам та герметичній кришці в просторі над рідиною підтримується високий тиск, тому температура кипіння води в такій каструлі сягає  $200^{\circ}\text{C}$

значну кількість водяної пари (рис. 47.2, *г*). Вода починає виривати й клетотіти — ми кажемо, що вона закипіла. Термометр у цей момент показує температуру  $100^{\circ}\text{C}$ .

**Кипіння** — це процес пароутворення, що відбувається в усьому об'ємі рідини й супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари.

## **2** З'ясуємо, від чого залежить температура кипіння

Продовжимо нагрівати тепер уже киплячу воду і спостерігати за показаннями термометра. Ми побачимо, що стовпчик термометра застиг на позначці  $100^{\circ}\text{C}$ . Отже, *під час кипіння температура рідини не змінюється* (рис. 47.3).

Температура, за якої рідина кипить, називають **температурою кипіння**.

З'ясуємо, від чого залежить температура кипіння рідини.

Для початку зменшимо вихід пари з колби, досить міцно затиснувши трубку, що відводить пару (рис. 47.4). Пара збиратиметься над поверхнею води, тиск над рідиною збільшиться, кипіння на якийсь час припиниться, а температура рідини почне підвищуватися.

Таким чином, температура кипіння залежить від зовнішнього тиску. *Зі збільшенням зовнішнього тиску температура кипіння рідини зростає* (рис. 47.5).

Наллємо в колбу воду кімнатної температури. За допомогою насоса відкачуємо повітря з колби. Через якийсь час на внутрішній поверхні колби з'являться бульбашки газу. Якщо відкачувати повітря й далі, вода закипить (рис. 47.6), але вже за температури, набагато нижчої від  $100^{\circ}\text{C}$ . Отже, *якщо зовнішній тиск зменшується, температура кипіння рідини знижується*.

Спостерігаючи кипіння інших рідин, наприклад спирту, олії, ефіру, можна помі-

тити, що за умови нормального тиску вони киплять за різних температур, які відрізняються від температури кипіння води. Тобто *температура кипіння залежить від роду рідини* (див. таблицю).

*Температура кипіння деяких речовин  
(за нормального атмосферного тиску)*

Речовина	Температура кипіння, °С	Речовина	Температура кипіння, °С
Водень	-253	Гліцерин	290
Кисень	-183	Олія	310
Ефір	35	Ртуть	357
Спирт	78	Свинець	1740
Молоко	100	Мідь	2567
Вода	100	Залізо	2750

*Температура кипіння також сильно залежить від наявності в рідині розчиненого газу.* Якщо довго кип'ятити воду, видаливши тим самим із неї розчинений газ, то повторно за нормального тиску цю воду можна буде нагріти до температури, що перевищує 100 °С. Таку воду називають *перегрітою*.

### **3** Вводимо поняття питомої теплоти пароутворення

Процес кипіння — це процес переходу рідини в пару, і цей процес іде з поглинанням енергії. Тому *для підтримання кипіння рідини до неї потрібно підводити певну кількість теплоти.* Ця енергія йде на розривання міжмолекулярних зв'язків і утворення пари.

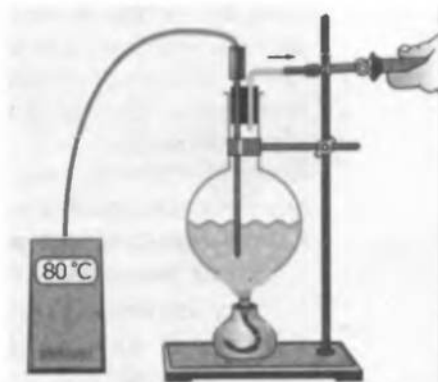
Досліди показують: *кількість теплоти, яка необхідна для перетворення рідини на пару за незмінної температури, пропорційна масі рідини й залежить від роду рідини.*

**Питома теплота пароутворення** — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

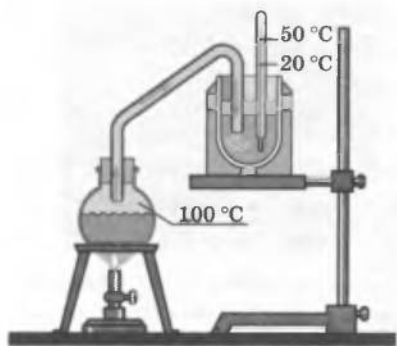
Питому теплоту пароутворення позначають символом  $L$  і обчислюють за формулою

$$L = \frac{Q}{m},$$

де  $Q$  — кількість теплоти, яка отримана рідиною;  $m$  — маса одержаної пари.



**Рис. 47.6.** Спостереження зниження температури кипіння води за умови зменшення зовнішнього тиску



**Рис. 47.7.** Дослід щодо визначення питомої теплоти пароутворення води (див. також задачу 2 на с. 238)

Питома теплота пароутворення показує, на скільки за даної температури внутрішня енергія 1 кг речовини в газоподібному стані більша, ніж внутрішня енергія 1 кг цієї самої речовини в рідкому стані.

З формули для визначення питомої теплоти пароутворення дістанемо одиницю цієї величини в СІ — **джоуль на кілограм**  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

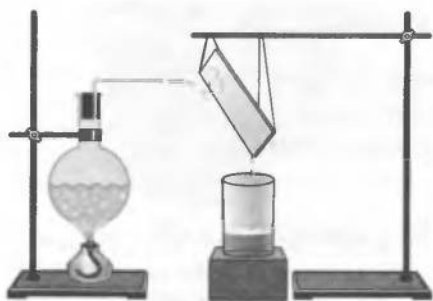
Питому теплоту пароутворення визначають дослідним шляхом (рис. 47.7) і заносять до таблиць.

*Питома теплота пароутворення деяких речовин (за температури кипіння й нормального атмосферного тиску)*

Речовина	$L, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$	Речовина	$L, \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}$
Вода	2,3	Ефір	0,4
Аміак	1,4	Ртуть	0,3
Спирт	0,9	Повітря	0,2

**4** Обчислюємо кількість теплоти, яка витрачається на перетворення рідини на пару або виділяється в ході конденсації пари. З формули для визначення питомої теплоти пароутворення речовини легко дістати формулу для обчислення кількості теплоти ( $Q$ ), яку необхідно передати рідині (масою  $m$ ) для того, щоб перетворити її на пару за незмінної температури. Справді, за визначенням  $L = \frac{Q}{m}$ , звідси

$$Q = Lm$$



**Рис. 47.8.** Дослід, що демонструє конденсацію пари

Щоб обчислити кількість теплоти, необхідну для перетворення рідини на пару за незмінної температури, потрібно питому теплоту пароутворення цієї рідини помножити на її масу.

Якщо перед трубкою для відведення пари помістити якийсь холодний предмет, то пара конденсуватиметься на ньому (рис. 47.8). Дуже ретельні вимірювання показують, що в ході конденсації пари виділяється точно така сама кількість теплоти, яка йде на її утворення.

**5** Учимся розв'язувати задачі

**Задача 1.** Яку кількість енергії потрібно витратити, щоб 3 кг води, узятої за температури  $0^\circ\text{C}$ , довести до кипіння й повністю випарувати? Побудуйте графік процесу (не дотримуючись масштабу).

Дано:

$$m = 3 \text{ кг}$$

$$t_1 = 0^\circ\text{C}$$

$$t_2 = 100^\circ\text{C}$$

$$c = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$$

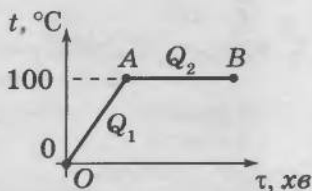
$$L = 2,3 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}} =$$

$$= 2,3 \cdot 10^6 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$$

 $Q = ?$ *Аналіз фізичної проблеми*

Побудуємо графік залежності температури речовини від часу нагрівання.

У перший момент часу температура води ( $t_1$ ) становила  $0^\circ\text{C}$  — точка  $O$  на графіку. У ході подальшого нагрівання температура води збільшуватиметься пропорційно кількості переданої теплоти  $Q_1$ , а отже, і часу нагрівання (ділянка  $OA$ ).



Нагрівшись до  $100^\circ\text{C}$  (температура кипіння води), вода починає кипіти і її температура не змінюватиметься доти, доки вся вода не випарується (ділянка  $AB$  графіка). Вода при цьому одержує певну кількість теплоти  $Q_2$ . Загальна кількість теплоти  $Q$  дорівнюватиме сумі кількості теплоти  $Q_1$ , необхідної для нагрівання води до температури кипіння, і кількості теплоти  $Q_2$ , необхідної для пароутворення. Питому теплоємність  $c$  води і питому теплоту пароутворення  $L$  знайдемо в таблицях (див. відповідно с. 194, с. 236).

*Пошук математичної моделі, розв'язання*

$$Q_1 = cm(t_2 - t_1) \text{ — нагрівання води;} \quad (1)$$

$$Q_2 = Lm \text{ — пароутворення;} \quad (2)$$

$$Q = Q_1 + Q_2. \quad (3)$$

Підставивши формули (1) і (2) у формулу (3), остаточно отримуємо:

$$Q = cm(t_2 - t_1) + Lm.$$

Перевіримо одиницю шуканої величини:

$$[Q] = \frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}} \cdot \text{кг} \cdot ^\circ\text{C} + \frac{\text{Дж}}{\text{кг}} \cdot \text{кг} = \text{Дж} + \text{Дж} = \text{Дж}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$\{Q\} = 4200 \cdot 3 \cdot (100 - 10) + 2,3 \cdot 10^6 \cdot 3 = 803\,400;$$

$$Q = 803\,400 \text{ Дж} = 803,4 \text{ кДж}.$$

*Відповідь:* потрібно витратити 803,4 кДж теплоти.

**Задача 2.** Під час досліду щодо визначення питомої теплоти пароутворення води водяна пара, що має температуру  $100\text{ }^\circ\text{C}$ , надходить до калориметра, у якому міститься  $500\text{ г}$  води за температури  $20\text{ }^\circ\text{C}$  (див. рис. 47.7). Після закінчення досліду температура води в калориметрі становила  $50\text{ }^\circ\text{C}$ , а її маса збільшилася на  $25\text{ г}$ . За даними досліду обчисліть питому теплоту пароутворення води. Вважайте, що під час досліду теплообмін з довкіллям не відбувався.

Дано:

$$t_1 = 100\text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{води}} = 500\text{ г} = 0,5\text{ кг}$$

$$t_2 = 20\text{ }^\circ\text{C}$$

$$t = 50\text{ }^\circ\text{C}$$

$$m_{\text{пари}} = 25\text{ г} = 0,025\text{ кг}$$

$$c_{\text{води}} = 4200 \frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}}$$

$L$  — ?

*Аналіз фізичної проблеми*

Під час досліду відбувається теплообмін між водою в калориметрі та паром. Віддає енергію водяна пара ( $Q_{\text{пари}}$ ), яка спочатку конденсується ( $Q_1$ ), а потім охолоджується ( $Q_2$ ). Отримує тепло вода ( $Q_{\text{води}}$ ). За умовою теплообмін з довкіллям не відбувається, тому  $Q_{\text{пари}} = Q_{\text{води}}$ . (1)

*Пошук математичної моделі, розв'язання та аналіз результатів*

Загальна кількість теплоти, яку віддає пара:  $Q_{\text{пари}} = Q_1 + Q_2$ , де  $Q_1 = Lm_{\text{пари}}$ ;  $Q_2 = c_{\text{води}}m_{\text{пари}}(t_1 - t)$ . Отже,  $Q_{\text{пари}} = Lm_{\text{пари}} + c_{\text{води}}m_{\text{пари}}(t_1 - t)$ . (2)

Кількість теплоти, яку отримує вода:

$$Q_{\text{води}} = c_{\text{води}}m_{\text{води}}(t - t_2). \quad (3)$$

Підставивши рівняння (2) і (3) у рівняння (1), отримаємо:

$$Lm_{\text{пари}} + c_{\text{води}}m_{\text{пари}}(t_1 - t) = c_{\text{води}}m_{\text{води}}(t - t_2) \Rightarrow \\ \Rightarrow Lm_{\text{пари}} = c_{\text{води}}m_{\text{води}}(t - t_2) - c_{\text{води}}m_{\text{пари}}(t_1 - t).$$

$$\text{Остаточнo } L = \frac{c_{\text{води}}m_{\text{води}}(t - t_2) - c_{\text{води}}m_{\text{пари}}(t_1 - t)}{m_{\text{пари}}}.$$

Визначимо значення шуканої величини:

$$[L] = \frac{\frac{\text{Дж}}{\text{кг}\cdot^\circ\text{C}} \text{кг}(\text{ }^\circ\text{C} - \text{ }^\circ\text{C})}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж}\cdot^\circ\text{C}}{\text{кг}} = \frac{\text{Дж}}{\text{кг}};$$

$$\{L\} = \frac{4200 \cdot 0,5 \cdot 30 - 4200 \cdot 0,025 \cdot 50}{0,025} = 2\,310\,000;$$

$$L = 2,31 \frac{\text{МДж}}{\text{кг}}.$$

Отриманий результат ( $L = 2,31\text{ МДж/кг}$ ) збігається з табличним значенням, отже, задачу розв'язано правильно.

*Відповідь:* питома теплота пароутворення води становить  $2,31\text{ МДж/кг}$ .

### **Підбиваємо підсумки**

Процес пароутворення, що відбувається в усьому об'ємі рідини й супроводжується утворенням і зростанням бульбашок пари, називають кипінням.

Температура кипіння рідини залежить від зовнішнього тиску, роду рідини й наявності розчинених у рідині газів.

Питома теплота пароутворення — це фізична величина, що характеризує певну речовину й дорівнює кількості теплоти, яку необхідно передати рідині масою 1 кг, щоб за незмінної температури перетворити її на пару.

Питому теплоту обчислюють за формулою  $L = \frac{Q}{m}$  і вимірюють у джоулях на кілограм  $\left(\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}\right)$ .

Кількість теплоти, що необхідна для перетворення рідини на пару за незмінної температури, дорівнює кількості теплоти, яку виділяє пара, конденсуючись за незмінної температури. Цю кількість теплоти обчислюють за формулою  $Q = Lm$ .

### Контрольні запитання

1. Що таке кипіння? 2. Які явища спостерігаються в рідині перед тим, як вона починає кипіти? 3. Яка сила змушує бульбашку газу підніматися на поверхню рідини? 4. Чи змінюється температура рідини під час кипіння? 5. Від яких чинників залежить температура кипіння рідини? 6. На що витрачається енергія, яку одержує рідина під час кипіння? 7. Що називають питомою теплотою пароутворення? 8. За якою формулою можна обчислити кількість теплоти, що виділяється в ході пароутворення та конденсації рідини?

### Вправа № 47

1. Питома теплота пароутворення води становить 2,3 МДж/кг. Що це означає?
2. Чим можна пояснити, що тривалість варіння овочів починаючи з моменту закипання води не залежить від інтенсивності нагрівання?
3. Відомо, що температура кипіння води на вершині гори Еверест становить близько 70 °С. Як ви думаєте, чому?
4. Чому опік паром є небезпечнішим, ніж опік окропом?
5. Яку кількість теплоти необхідно передати воді масою 10 кг, узятій за температури кипіння, щоб перетворити її на пару? Скільки дров потрібно спалити для цього? Вважайте, що вся енергія, яка виділяється в ході згорання дров, іде на випаровування води.
6. На скільки збільшиться внутрішня енергія 10 кг льоду, узятото за температури 0 °С, у результаті перетворення його на пару з температурою 100 °С?
7. У каструлі з водою, що кипить, розміщено відкриту колбу з водою. Чи кипить вода в колбі?

### Експериментальні завдання

1. Обережно налийте в прозору скляну пляшку невелику кількість гарячої води. Покачайте воду в пляшці, збільшуючи таким чином площу вільної поверхні води, а отже, швидкість випаровування. Новоутворена пара витисне із пляшки частину повітря. Щільно закоркуйте пляшку, переверніть і охолодіть її дно за допомогою холодної води або снігу. Вода в пляшці закипить. Поясніть це явище.
2. Візьміть одноразовий шприц без голки, приблизно наполовину заповніть його теплою водою. Щільно затуліть отвір пальцем. Повільно витягуйте поршень та спостерігайте за кипінням води (див. рисунок). Поясніть явище, що спостерігається.

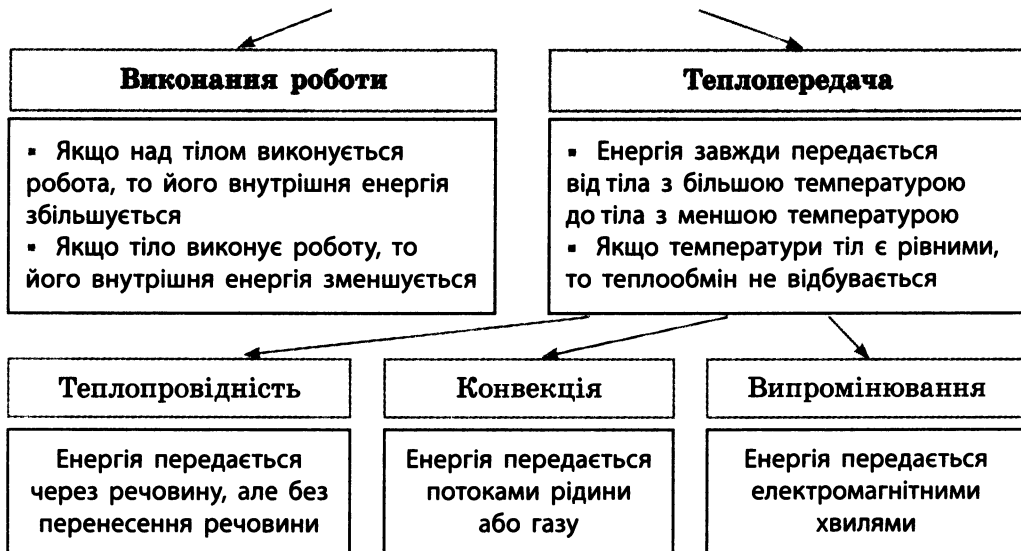


## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 4 «ТЕПЛОВІ ЯВИЩА»

У ході вивчення цього розділу ви познайомилися з деякими тепловими процесами, фізичними величинами, що характеризують ці процеси, а також з такими фундаментальними поняттями фізики, як температура та внутрішня енергія.

1. Ви довідалися, що внутрішню енергію можна змінити двома способами.

### СПОСОБИ ЗМІНИ ВНУТРІШНЬОЇ ЕНЕРГІЇ



2. Ви довідалися, що зміну внутрішньої енергії в процесі теплопередачі характеризує фізична величина — кількість теплоти  $Q$ . Як і енергія, кількість теплоти в СІ вимірюється в джоулях.

3. Ви дізналися про рівняння теплового балансу, яке виражає закон збереження енергії під час теплообміну.

### РІВНЯННЯ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСУ

В ізольованій системі, в якій внутрішня енергія тіл змінюється тільки внаслідок теплопередачі, сума кількостей теплоти, відданої одними тілами системи, дорівнює сумі кількостей теплоти, одержаної іншими тілами цієї системи.

$$Q_1^- + Q_2^- + \dots + Q_n^- = Q_1^+ + Q_2^+ + \dots + Q_n^+$$



4. Ви познайомилися з фізичними величинами, які характеризують теплові властивості речовин:

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення
Питома теплоємність	$c$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	$c = \frac{Q}{m\Delta t}$
Питома теплота плавлення	$\lambda$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$\lambda = \frac{Q}{m}$
Питома теплота пароутворення	$L$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$L = \frac{Q}{m}$

5. Ви переконалися, що в процесі згоряння палива виділяється енергія, і довідалися, що ця енергія використовується у роботі як різних нагрівальних пристроїв, так і теплових двигунів.

### ПРИНЦИП ДІЇ ТЕПЛОВИХ МАШИН



6. Ви познайомилися з фізичними величинами, які характеризують паливо, нагрівальні пристрої та теплові двигуни.

Фізична величина	Символ для позначення	Одиниця	Формула для визначення
Питома теплота згоряння палива	$q$	$\frac{\text{Дж}}{\text{кг}}$	$q = \frac{Q}{m}$
ККД нагрівника	$\eta$	%	$\eta = \frac{Q_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$
ККД теплового двигуна	$\eta$	%	$\eta = \frac{A_{\text{кор}}}{Q_{\text{повна}}} \cdot 100\%$



## Частина 2. Зміна агрегатного стану речовини

Завдання 1–5 містять тільки одну правильну відповідь.

- (1 бал) Що відбувається з температурою речовини під час кристалізації?

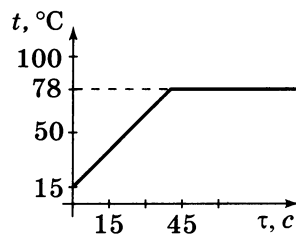
а) зменшується;  
б) збільшується;  
в) залишається незмінною;  
г) для одних речовин збільшується, для інших — зменшується.
- (1 бал) За якою із наведених формул визначається питома теплота пароутворення?

а)  $L = Q/m$ ;      б)  $q = Q/m$ ;      в)  $\lambda = Q/m$ ;      г)  $c = Q/m\Delta t$ .
- (2 бали) Яку речовину можна розплавити в посудині зі свинцю?

а) залізо;      б) мідь;      в) олово;      г) вольфрам.
- (2 бали) У лабораторних умовах за нормального атмосферного тиску проводили дослідження залежності температури деякої рідини від часу її нагрівання. Результати дослідження подано на графіку. Використовуючи таблицю температур кипіння, визначте, яку рідину досліджували.

а) вода;      в) спирт;  
б) ефір;      г) олія.
- (3 бали) Яку кількість теплоти необхідно витратити для плавлення 5 кг алюмінію за температури плавлення?

а) 0,3 кДж;      б) 3036 кДж;      в) 607 кДж;      г) 1965 кДж.
- (4 бали) Яка кількість теплоти виділяється під час конденсації 0,1 кг ефіру, який взято за температури кипіння, та наступного його охолодження до 15 °С?
- (5 балів) У залізній коробці масою 200 г міститься свинець масою 250 г за температури 27 °С. Яка кількість теплоти необхідна, щоб розплавити цей свинець?
- (6 балів) У калориметр, де міститься вода за температури 0 °С, впустили 42 г водяної пари за температури 100 °С. Після встановлення теплової рівноваги температура в калориметрі дорівнювала 50 °С. Обчисліть масу води на початку досліду. Втратами тепла знехтувати.



Зверте ваші відповіді на завдання з наведеними в кінці підручника. Позначте завдання, на які ви відповіли правильно, і полічіть суму балів. Потім цю суму поділіть на два. Одержане число відповідає тиме рівню ваших навчальних досягнень.

## Що таке теплові трубки

Ви вже знаєте, що найкращі провідники тепла — метали, а серед них «рекордсменами» є мідь, срібло, алюміній. І коли у вас запитують: «Як найшвидше передати тепло з однієї ділянки до іншої?», — ви, безумовно, згадаєте, що якщо один кінець мідного (або алюмінієвого, срібного) стрижня розташувати в гарячому місці, то другий його кінець швидко нагріється. А чи можна передати тепло швидше, ніж за допомогою цих металів? Нібито ні, адже ці метали недаремно називають рекордсменами. Проте інженери розв'язали й таке завдання, а винайдений пристрій назвали *тепловою трубкою*.

Пояснимо принцип її дії (рис. 1). Візьмемо запаяну трубку з невеликою кількістю води всередині. Верхній кінець трубки помістимо у гаряче місце. Крапельки води, що залишилися на внутрішній поверхні цієї частини трубки, почнуть перетворюватися на пару. Молекули пари «політять» у всі боки, у тому числі вниз, де і сконденсуються в ділянці холодного кінця трубки. Величина теплоти випаровування води є дуже великою, тому передача тепла в трубці відбувається надзвичайно ефективно.

На жаль, конструкція має дуже суттєвий недолік — «одноразовість»: крапельки води випаровуються, і процес передачі тепла зупиняється. Для розв'язання цієї проблеми інженери скористалися так званим *капілярним ефектом*. (Пригадайте: якщо край сорочки або сукні потрапить у воду, то мокрим стає не тільки сам край, але й тканина навколо.)

Капілярні структури розмістили вздовж внутрішніх стінок теплової трубки (червона смуга на рис. 1), і трубка стала «багаторазовою». У такому пристрої вода рухається «по колу»: на гарячому кінці трубки (угорі) вода випаровується, пара переноситься униз і конденсується в холодній частині трубки; утворена вода капілярами надходить угору, знову випаровується і т. д.

Для розв'язання конкретних завдань трубки виготовляють із металу, а капіляри роблять у вигляді або дротяного джгута (рис. 2), або напилених мікрочастинок (рис. 3).

Теплові трубки є дуже поширеними. Так, тепла трубка, подібна до наведеної на рис. 2, застосовується для охолодження персональних комп'ютерів.

Несподіване застосування теплових трубок є на Алясці. На рис. 4 наведено ділянку газопроводу, побудованого на території вічної мерзлоти. Під час перекачування газу відбувається його певне розігрівання, тепло передається на трубу, а частина цього тепла нагріває опори і йде в землю. Якщо теплової енергії передавати багато, то ділянка вічної мерзлоти навколо опори розтане і виникне ризик аварії. Конструктори розв'язали проблему, оснастивши кожну опору тепловими трубками (білі стрижні на рис. 4), завдяки яким надлишкове тепло йде вгору, в атмосферу.



Рис. 1



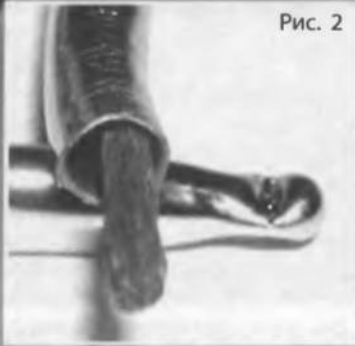


Рис. 2

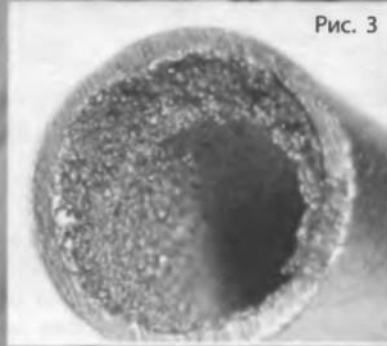


Рис. 3



Рис. 4

## Ефект «пам'яті форми»

Ви вже дізналися про найпростіші перетворення речовини: тверде тіло — рідина; рідина — газ. У 7-му класі познайомилися з четвертим станом речовини — плазмою. Однак це не всі ймовірні перетворення. У ХХ ст. фізики виявили надзвичайно цікаве явище, що згодом набуло широкого застосування. Ідеться про так званий ефект «пам'яті форми». У чому ж полягає його сутність?

Скористаємося простим прикладом. Ефект «пам'яті форми» властивий деяким сплавам, найвідомішим із яких є нітинол — сплав нікелю й титану. Візьмемо довгий стрижень, виготовлений з нітинолу, нагріємо і в гарячому стані надамо йому будь-якої форми, скажімо, звернемо у вигляді кільця. Потім дамо стрижню охолонути до кімнатної температури й надамо йому іншої форми, тобто не кільця, — наприклад, розпрямимо його або згорнемо у вигляді будь-якої іншої фігури. Якщо ж тепер знову нагріти стрижень, то він, ніби жива істота, «згадає» свою історію і самостійно набуде своєї початкової форми, тобто в цьому випадку зігнеться в кільце. Більш того, стрижень надовго «зберігає пам'ять» про свою початкову форму й може набувати її за зазначених умов багато разів. Це явище й називають ефектом «пам'яті форми». Його широко застосовують у техніці. Наприклад, на рис. 5 показано кінцівку робота. «Пальці», що виготовлені зі сплаву, якому властивий ефект «пам'яті форми», були зігнуті в гарячому стані. «Суглоби пальців» являють собою електричні нагрівники, і, якщо пропустити через них струм, «суглоби» нагріються і «п'ясть» стиснеться в кулак.

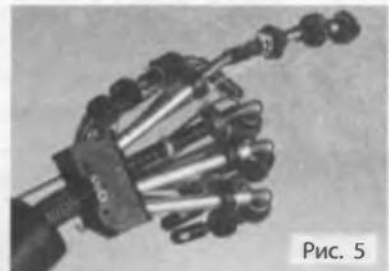


Рис. 5

# ЕНЕРГІЯ В ЖИТТІ ЛЮДИНИ. Теплоенергетика.

## Способи збереження енергетичних ресурсів.

### Енергозберезні технології. Використання енергії людиною й охорона природи

?!

Життєдіяльність сучасної людини на кожному кроці потребує споживання енергії. Наведемо лише декілька прикладів. Переважна більшість людей на планеті живе в помірних широтах, де температура довкілля майже півроку є доволі низькою. Людина не залягає, як ведмідь, у зимову сплячку, тому в холодну пору мусить обігрівати своє житло. Енергія потрібна також для руху транспорту, функціонування підприємств, для виготовлення та перероблення харчових продуктів, приготування їжі тощо.

На жаль, енергії зазвичай не вистачає, тому протягом свого існування людство накопичує знання щодо її економії. Особливо це є актуальним останнім часом, коли стало помітним «дно» світових запасів органічного палива (викопних ресурсів). І саме зараз сформовано декілька загальних принципів енергозбереження та розроблено технології для втілення цих принципів у життя через новітні пристрої та обладнання.

Усе зазначене і є предметом узагальнюючого заняття.



Дізнаємося про роль теплоенергетики в житті людини

Від найдавніших часів енергія палива відіграє визначальну роль у житті людства. Протягом багатьох століть полум'я багаття (печі, каміна) було практично єдиним джерелом енергії для людей, інші джерела (вітер і вода) посідали незначне місце.

Тільки у ХХ ст. *альтернативні* джерела енергії стали відігравати помітну роль в енергетиці. Прикладами таких джерел енергії є *гідроелектростанції, атомні станції, вітрогенератори, сонячні батареї* (рис. 1–4).

Альтернативні джерела енергії, розроблення й створення яких потребує значних витрат, виникли «не від доброго життя». Адже саме у ХХ ст. різко зросло використання теплових машин — при-

Рис. 1. Гідроелектростанція (ДніпроГЕС)

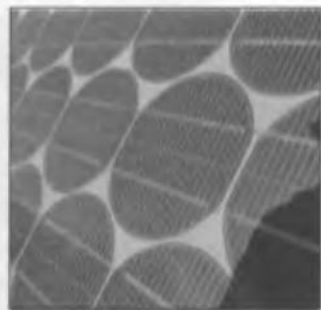




**Рис. 2.** Загальний вигляд атомної електростанції (Запорізька АЕС)



**Рис. 3.** Вітрогенератор



**Рис. 4.** Панель сонячних батарей

строїв, що перетворюють енергію палива на інші види (електричну, механічну). Ідеться насамперед про автомобілі та решту транспортних засобів, що використовують як джерело енергії продукти переробки *нафти* (передусім бензин). Крім того, практично всюди для обігрівання житла та приготування їжі застосовують пристрої, що спалюють *природний газ*. Цей самий газ у значній кількості використовують також у виробничих процесах (металургія, хімічний синтез). Газ, нафту, *вугілля* застосовують для вироблення електроенергії на теплових електростанціях.

Як ви знаєте, зазначені види палива є *викопними ресурсами* і їх запаси *обмежені*. Швидке збільшення кількості теплових машин призвело до зникнення чималої частини викопних ресурсів. Так, мільйони автомобілів приблизно за 100 років «з'їли» значну кількість світових запасів нафти. За оцінками фахівців, запаси природного газу вичерпаються протягом десь 40 років. Деяко більше розвіданих запасів вугілля — на кілька сотень років споживання.

## **2** Розмірковуємо про збереження енергетичних ресурсів

Наведені вище дані свідчать про те, що через 10–15 років звичні зараз види палива (наприклад, бензин) опиняться на межі зникнення. Що ж робити?

На сьогодні пропонують такі *три напрямки розв'язання проблеми майбутнього «енергетичного голоду»*.

1. *Економія наявних викопних ресурсів*. Ідеться про використання нових технічних рішень — *енергозберезних технологій*.

2. *Поступова заміна палива з викопних ресурсів на паливо, одержуване з рослин*. Зараз на практиці вже використовують два типи технологій виробництва рослинного палива: видобування заміників бензину з рослин, що містять цукор, та переробляння олії, одержуваної з деяких рослин (наприклад, ріпака), на дизельне паливо. Попередні розрахунки вітчизняних фахівців показують,



**Рис. 5.** Загальний вигляд дослідної термоядерної установки

що за розумного використання посівні площі країни дозволяють повністю забезпечити внутрішні потреби в паливі.

**3. Використання альтернативних джерел енергії.** Насамперед ідеться про ядерну та термоядерну енергії. Вископних запасів урану — палива для атомних станцій — вистачить на кілька сотень років. У багатьох країнах (Франція, Україна, США) цей вид виробництва електричної енергії є одним із провідних. Так, в Україні на атомних станціях виробляють близько половини всієї електроенергії.

Невичерпним джерелом може стати термоядерна енергія (рис. 5). Запасів важкого водню — палива для термоядерного устаткування — у Світовому океані вистачить для забезпечення потреб людства на багато тисячоліть.

### **3** Знайомимося з енергозбережними технологіями

З попереднього курсу фізики ви вже знаєте про один зі способів енергозбереження — заміну традиційних електричних ламп розжарювання на новий тип *економічних ламп*. Цей простий спосіб насправді вражає. Так, якщо у квартирі замінити всі традиційні лампи розжарювання на економічні, то споживання енергії для освітлення зменшиться приблизно в 10 разів (!). Разом із цим сучасні принципи енергозбереження полягають не лише в застосуванні певних новинок, нехай і унікальних. Принциповим є завдання *комплексного використання кількох технологій*.

Проілюструємо цю тезу на прикладі звичайної квартири. Найбільша кількість енергії, що надходить до неї, — це енергія, яка необхідна для обігрівання. Відповідно саме з цього й слід починати економити. Заміна традиційних вікон на склопакети, утеплення дверей, нанесення спеціального теплозахисного покриття на зовнішні стіни будинку дозволяють зменшити споживання тепла на десятки відсотків. Гаряча вода надходить у батареї будинків від теплоелектростанцій, зазвичай розташованих на відстані в декілька кілометрів. Усю цю відстань гаряча вода проходить по трубах. Хоча труби й ізолюють, усе одно такий довгий шлях постачання пов'язаний з великими втратами тепла. Якщо ж обігрівач (електричний або газовий котел) установити в квартирі, то цей шлях складатиме лише кілька метрів — очевидно, що за інших рівних умов кількості тепла для обігрівання буде потрібно значно менше. Більш того, котел не тільки нагріває батареї, але й забезпечує гарячу воду для кухні та ванної.



Для економії електричної енергії слід застосовувати вищезгадані економічні лампи та електричні прилади з невеликим споживанням енергії. (Поміркуйте, за рахунок чого ще можлива економія в домішках.)

Ми навели простий приклад комплексного підходу до енергозберігання в помешканнях. Аналогічні принципи, тільки зі значно більшим кількісним ефектом, успішно застосовують і щодо виробничих процесів.

#### **4** Дізнаємося, як впливає теплоенергетика на природу

Доки теплові станції не мали великої потужності, а автомобілів було небагато, шкідливість теплових машин не дуже турбувала людство. Проблема стала актуальною в другій половині ХХ ст., коли з'явилися кислотні дощі, спричинені викидами з труб електростанцій продуктів згоряння вугілля, люди почали задихатися в автомобільних заторах, вдихати разом з повітрям отруйний чадний газ тощо.

Учені пропонують різні технічні рішення для зменшення шкідливості теплових машин. Як приклад наведемо кілька найважливіших рішень щодо зменшення викидів бензинових двигунів:

- видалення зі складу бензину отруйних сполук свинцю;
- «доспалювання» чадного газу до менш шкідливого вуглекислого газу за допомогою спеціальних пристроїв;
- використання гібридних автомобілів, оснащених двома двигунами — електричним і бензиновим: екологічно чистий електричний двигун доцільно використовувати в місті (де забагато автомобілів), а бензиновий — за містом (де забруднення повітря не є таким небезпечним);

— створення електромобілів — екологічно чистих автомобілів, що працюють на сонячних батареях. Зараз існують дослідні зразки цих справжніх автомобілів майбутнього (рис. 6). Електромобілі практично не забруднюють довкілля: в них використовується електричний двигун, що живиться від акумуляторів, підзарядка яких здійснюється від сонячних батарей.

Для людства існує ще одна велика проблема. Річ у тім, що під час роботи теплових машин виділяється вуглекислий газ ( $\text{CO}_2$ ), який у великій кількості стає дуже небезпечним. За оцінками вчених, за 200 років інтенсивної роботи теплових машин в атмосферу було викинуто близько одного трильйона ( $10^{12}$ ) тонн  $\text{CO}_2$ . Ця величезна кількість вуглекислого газу спричинила так званий парниковий ефект — підвищення температури поверхні Землі. Чому так сталося?



**Рис. 6.** Зовні електричні автомобілі зовсім не відрізняються від своїх «бензинових братів»

Сонце, як ви знаєте, не тільки освітлює, але й обігріває Землю. Ще сто років тому одержуване Землею тепло практично повністю випромінювалось (поверталось) у космос. Останніми роками у верхніх шарах атмосфери накопичилася значна кількість вуглекислого газу і цей газ став своєрідним «дзеркалом» для випромінювання з поверхні Землі. У результаті частина енергії затримується в атмосфері й нагріває її. Через парниковий ефект середня температура поверхні Землі підвищилася на 0,6 °С. Але навіть це невелике нагрівання вже призвело, на думку багатьох учених, до глобальних змін клімату. Якщо ж середня температура поверхні Землі підвищиться на 2 °С, то неминучими стануть глобальні катаклізми: танення льодовиків, піднімання рівня Світового океану, затоплення портових міст та ін.

Щоб уникнути таких катастрофічних наслідків, у 1997 р. в м. Кіото (Японія) уряди багатьох країн підписали так званий Кіотський протокол. Згідно з цим протоколом для кожної країни світу визначено максимальний об'єм викидів CO<sub>2</sub> (від промислових і побутових джерел разом). Якщо цей об'єм перевищено, то країна-порушник сплачує певну суму штрафу, яка потім використовується для зниження рівня викидів.

У липні 2008 р. країни «великої вісімки» дійшли згоди щодо зменшення до 2050 р. шкідливих викидів в атмосферу на 50 %.

#### **!** Підбиваємо підсумки

Нафта, природний газ і вугілля — це викопні ресурси, запаси яких є вичерпними, обмеженими. Швидке збільшення кількості теплових машин призвело до безповоротного зникнення значної частини викопних ресурсів.

Основні напрямки щодо подолання енергетичної кризи:

- економія наявних викопних ресурсів;
- поступова заміна палива з викопних ресурсів на паливо, одержуване з рослин;
- використання альтернативних джерел енергії, насамперед ядерної та термоядерної енергії.

Використання новітніх технологій дозволяє зменшити споживання теплової енергії в декілька разів.

Теплові джерела енергії (особливо у великій кількості) надто негативно впливають на навколишнє середовище. Кількість шкідливих викидів для кожної країни обмежена відповідно до міжнародної угоди (Кіотський протокол).

#### **?**

#### **Контрольні запитання**

1. Які джерела енергії здавна використовує людство?
2. Які існують типи альтернативних джерел енергії?
3. Яка причина безповоротного зменшення викопних ресурсів?
4. Перелічіть основні напрямки подолання енергетичної кризи.
5. Наведіть приклади енергозбережних технологій.
6. Як впливають теплові джерела енергії на навколишнє середовище?
7. Що таке Кіотський протокол?

## Густина деяких речовин у твердому стані

Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Осмій	22 500	22,5	Мармур	2700	2,7
Іридій	22 400	22,4	Граніт	2600	2,6
Платина	21 500	21,5	Скло	2500	2,5
Золото	19 300	19,3	Порцеляна	2300	2,3
Свинець	11 300	11,3	Бетон	2200	2,2
Срібло	10 500	10,5	Оргскло	1200	1,2
Мідь	8900	8,9	Капрон	1140	1,1
Латунь	8500	8,5	Поліетилен	940	0,9
Сталь, залізо	7800	7,8	Парафін	900	0,9
Олово	7300	7,3	Лід	900	0,9
Цинк	7100	7,1	Дуб сухий	800	0,8
Чавун	7000	7,0	Сосна суха	440	0,4
Алюміній	2700	2,7	Корок	240	0,2

## Густина деяких речовин у рідкому стані

Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Ртуть	13600	13,60	Бензол	880	0,88
Рідке олово (за $t = 409 \text{ } ^\circ\text{C}$ )	6830	6,83	Рідке повітря (за $t = -194 \text{ } ^\circ\text{C}$ )	860	0,86
Сульфатна кислота	1800	1,80	Нафта	800	0,80
Мед	1420	1,42	Гас	800	0,80
Вода морська	1030	1,03	Спирт	800	0,80
Вода чиста	1000	1,00	Ацетон	790	0,79
Олія	900	0,90	Ефір	710	0,71
Машинне масло	900	0,90	Бензин	710	0,71

Густина деяких речовин у газоподібному стані  
(за температури  $0 \text{ } ^\circ\text{C}$  та тиску 760 мм рт. ст.)

Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	Речовина	$\rho$ , кг/м <sup>3</sup>	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>
Хлор	3,210	0,00321	Азот	1,250	0,00125
Вуглекислий газ	1,980	0,00198	Чадний газ	1,250	0,00125
Кисень	1,430	0,00143	Гелій	0,180	0,00018
Повітря	1,290	0,00129	Водень	0,090	0,00009

# ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ ТА ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

## Розділ 1 «МЕХАНІЧНИЙ РУХ»

№ 1. 2. а) можна; б) не можна. 4. 7,5 м, 407,5 м. № 2. 1. Ні. 2. 16 м/с. 3. Додому. 4. 1 м/с. 5. 25 хв. 6. 216 км. 7.  $v_1 = 36$  км/год,  $v_2 = 6$  км/год. 8. 30 с. № 3. 1. 60 км/год. 2. 70 км/год. 3. 6 км/год. № 4. 4. 66,7 км/год. 5. а) 540 км; б) 90 км, 270 км, 180 км; в) 30 км/год, 90 км/год, 60 км/год; г) 60 км/год. № 5. 1. 0,75 с. 2. 15 об/с. 3. 5 об/с. 4. 0,2 с. № 6. 2. 2 см. 3. 2 с. 4. 480. 5. 0,5 с, 2 Гц. 6. 2 Гц. 7. 20 см, 80 см. № 7. 3. 2 с. 4. 0,5 с. № 8. 4. Так. 7\*. 3 точністю 17 мм.

### Завдання для самоперевірки за розділом 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
б	г	б	а	в	в	а	а	3 км/год	54 км/год, 15 м/с	20 000	2 км	15 с	75 км/год, 122 км	70 км/год, 80 км/год

## Розділ 2 «ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ»

№ 10. 6. 0,1 м/с. 7. 45 кг. 8. 20 м/с. № 11. 1. 1000 Н. 2. Від 20 до 120 Н. 3. 300 Н, 0 Н. 5. 20 Н, 80 Н, 120 Н, 180 Н. № 12. 1. 6 Н. 2. 60 кг. 4. 70 Н. 5. г). № 13. 3. 5 см. 4. 0,2 Н. 5. 1,68 кН. 6. 100 г. 7. 3125 кг/м<sup>3</sup>. № 14. 1. Ні. 3. 3 Н, 2 Н. 4. 0,4. 5. 2,5 кг. № 15. 1. 5,4 кг. 2.  $m_1 = 18$  кг,  $m_2 = 30$  кг. 3. 16 кг. 4. 30 см. 5. 20 кг. № 16. 1. На 5 см. 2. 8 кг. 3. 250 Н, на 12 см. 4. 510 Н. 5. 30 кг, 15 см. № 17. 5. Зменшиться в 1,5 рази. 6. 3 МПа. 7. 60 кг. № 18. 4. 1,6 кг. № 19. 2. 200 Па. 3. 1 м. 4. 103 кН. 5. Тиск рівний. 6. 80 кг. № 20. 5. 73,3 кПа,  $\approx 700$  мм рт. ст. 6. 20 м. 7. 35,17 кН. № 21. 1. Більше на 2 кПа. 2. 94, 56 кПа. 3. 16 см. 4. 180 кПа. № 22. 1. Униз. 2. 10 кН. 3. 100 Н. 4. 60 см<sup>2</sup>. 5. 1,2 кН. № 23. 2. 3,2 Н. 3. 1 дм<sup>3</sup>. 4. 1/4 бруска. 5. 6 Н. 6. 5,4 кг, 2700 кг/м<sup>3</sup>. 8. 1400 кг. № 24. 2. Зверху вниз: гас, вода, ртуть; 1 — пінопластова, 2 — дубова, 3 — сталева. 3. Буде. 4. 200 г. № 25. 2. 900 кг. 3. 2 Н. 4. 145 МН. 5. Зменшиться на 582,5 м<sup>3</sup>. 6. 1,09 кг/м<sup>3</sup>. 7. 0,99 кг/м<sup>3</sup>.

### Завдання для самоперевірки за розділом 2

#### Частина 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
г	б	г	в	б	г	а	б	а	$F_{\text{тертя}} (F_1), F_{\text{пруж}} (F_2);$ $F_1 = F_2$	$F_{\text{тяж}};$ $N, P$	40 Н	50 Н/м	250 кг	15 кг, 10 кг	60 Н, 10 см

#### Частина 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
г	б	б	б	в	а	а	в	а	г	744 мм рт. ст.	25 м	16 см	4 мм	200 см <sup>3</sup>	4000 кг/м <sup>3</sup>

## Розділ 3 «РОБОТА І ЕНЕРГІЯ»

№ 26. 6. 3 м. 7. Сила тяжіння, 200 Дж. 8. 1 м/с. 9. 120 Дж. 10. 200 Дж. № 27. 1. Одинадцятикласник. 2. Зменшиться. 4. 3,2 кДж. 5. 6 с. 6. 50 кН. № 28. 3. 24 Дж. 4. Збільшилася на 1,2 кДж. № 29. 1. 2,5 кДж. 2. Збільшиться на 4 МДж. 3. 225 кДж. 4. 32 Дж. № 30. 2. Ні. 3. 250 Дж. 4. 180 Дж. 5. 15 м. № 31. 1. На 60 см. 2. 100 Н. 3. 7,5 см. 4. 150 Н. 5. 250 Н. № 32. 1. 80%. 2. 200 Дж. 3. 80%. 4. 16 кг. 5. 250 Н.

### Завдання для самоперевірки за розділом 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
в	б	б	а	г	а	а	г	а	б	а	30 кН	50 кДж	67 %	128 кг	80 %	1 м	25 Дж, 75 Дж

## Розділ 4 «ТЕПЛОВІ ЯВИЩА»

№ 39. 4. 1,2 кДж. 5. Зі сталі. 6. Олія. 7. 540,8 кДж. 8. 1 — золоте, 2 — мідне, 3 — алюмінієве. № 40. 1. 70°C. 2. 16 л. 3. 250 Дж/(кг·°C). № 41. 3. 270 МДж. 4. 2 г. 5. 33%. 6. 39,3 г. № 42. 1. 33,3%. 2. 65,32 МДж. 3. 11,5 кВт. № 45. 2. 393 °C. 3. 106,5 кДж. 4. 78,4 МДж. 5. 10,4 кДж. 6. 79 °C. № 47. 5. 23 МДж, 2,3 кг. 6. На 30,52 МДж. 7. Ні.

### Завдання для самоперевірки за розділом 4

#### Частина 1

#### Частина 2

1	2	3	4	5	6	7	8	1	2	3	4	5	6	7	8
в	г	в	а	0,75	250 °C	150 л, 100 л	1,26 кН	в	а	в	в	г	44,7 кДж	44 350 Дж	0,5 кг

- А** Амплітуда коливань 30
- Б** Барометр 102  
Блок 87, 88
- В** Вага тіла 62  
Важіль 80  
Випаровування 229  
Випромінювання 189  
Внутрішня енергія 175
- Г** Гідравличний прес 109  
Графік  
— швидкості 19  
— шляху 17
- Д** Динамометр 70
- Е** Енергія 144  
— кінетична 148  
— повна механічна 149  
— потенціальна 145
- Ж** Жорсткість 67
- З** Закон  
— Архімеда 114  
— Гука 67  
— збереження енергії 151  
— Паскаля 97  
Звук 35, 39  
— висота тону 39  
— гучність 39  
«Золоте правило» механіки 155
- І** Інертність 54  
Інерція 51
- К** Калориметр 199  
Киціння 234  
Кількість теплоти 179  
Коефіцієнт корисної дії (ККД)  
— двигуна 212  
— механізму 159  
— нагрівника 206  
Коефіцієнт тертя ковзання 75  
Конвекція 185  
Конденсація 231  
Кристалізація 219
- Л** Луна 36
- М** Манометр 106  
Маса тіла 54  
Матеріальна точка 6  
Маятник 29  
— математичний 29  
Механічна робота 137  
Механічний рух 4  
— нерівномірний 14  
— рівномірний 9  
Момент сили 82
- Н** Невагомість 63
- П** Пароутворення 228  
Період  
— коливань 30  
— обертання 24  
Питома теплоємність речовини 193  
Питома теплота  
— згоряння палива 205  
— плавлення 224  
— пароутворення 235  
Плавлення 218  
Плече сили 81  
Потужність 140  
Похила площина 155  
Правило  
— важеля 81  
— моментів 83
- Р** Рівнодійна сил 59  
Рівняння теплового балансу 197
- С** Сила 56  
— архімедова (виштовхувальна) 113, 114  
— пружності 67  
— тертя ковзання 74  
— тертя кочення 76  
— тертя спокою 73  
— тяжіння 61  
Сполучені посудини 105
- Т** Температура 169  
Теплова рівновага 169  
Тепловий двигун 211  
Теплопередача (теплообмін) 178  
Теплопровідність 182  
Термометр 170  
Тиск 91  
— атмосферний 101  
— гідростатичний 98  
Траєкторія 5
- Ч** Частота  
— коливань 30, 31  
— обертання 24
- Ш** Швидкість  
— рівномірного руху тіла 9  
— середня 14  
Шлях 7

**Розділ 1. Механічний рух**

§ 1. Механічний рух. Відносність руху. Траєкторія. Шлях, який пройшло тіло . . . . .	4
§ 2. Швидкість руху. Одиниці швидкості руху . . . . .	8
§ 3. Види рухів. Середня швидкість нерівномірного руху . . . . .	13
§ 4. Графіки руху тіла . . . . .	16
<i>Лабораторна робота № 1</i> . . . . .	21
§ 5. Обертальний рух тіла. Період та частота обертання. Місяць — природний супутник Землі . . . . .	23
<i>Лабораторна робота № 2</i> . . . . .	27
§ 6. Коливальний рух. Амплітуда, період і частота коливань. Маятники. Математичний маятник . . . . .	28
<i>Лабораторна робота № 3</i> . . . . .	33
§ 7. Звук. Поширення звуку в різних середовищах. Відбивання звуку . . . . .	35
§ 8. Джерела та приймачі звуку. Сприймання звуку людиною. Інфразвук та ультразвук. Вплив звуків на живі організми . . . . .	38
<i>Лабораторна робота № 4</i> . . . . .	42
Підбиваємо підсумки розділу 1 «Механічний рух» . . . . .	44
Завдання для самоперевірки за розділом 1 «Механічний рух» . . . . .	46
Енциклопедична сторінка . . . . .	48

**Розділ 2. Взаємодія тіл**

§ 9. Взаємодія тіл. Інерція . . . . .	50
§ 10. Маса як міра інертності тіл. Сила . . . . .	53
§ 11. Графічне зображення сил. Додавання сил . . . . .	58
§ 12. Сила тяжіння. Вага тіла. Невагомість . . . . .	61
§ 13. Деформація тіла. Сила пружності. Закон Гука . . . . .	65
<i>Лабораторна робота № 5</i> . . . . .	70
<i>Лабораторна робота № 6</i> . . . . .	72
§ 14. Тертя. Сила тертя . . . . .	73
<i>Лабораторна робота № 7</i> . . . . .	79
§ 15. Момент сили. Умова рівноваги важеля . . . . .	80
<i>Лабораторна робота № 8</i> . . . . .	85
§ 16. Блок . . . . .	87
§ 17. Тиск і сила тиску. Одиниці тиску . . . . .	91
§ 18. Тиск газів та рідин. Закон Паскаля . . . . .	94
§ 19. Гідростатичний тиск рідини . . . . .	98
§ 20. Атмосферний тиск та його вимірювання. Барометри. Залежність атмосферного тиску від висоти . . . . .	101
§ 21. Сполучені посудини. Манометри . . . . .	105
§ 22. Гідравлічні машини. Насоси . . . . .	109
§ 23. Виштовхувальна сила. Закон Архімеда . . . . .	113
<i>Лабораторна робота № 9</i> . . . . .	118
§ 24. Умови плавання тіл . . . . .	120
§ 25. Судноплавство та повітроплавання . . . . .	123
Підбиваємо підсумки розділу 2 «Взаємодія тіл» . . . . .	128
Завдання для самоперевірки за розділом 2 «Взаємодія тіл» . . . . .	130
Енциклопедична сторінка . . . . .	184

### **Розділ 3. Робота і енергія**

§ 26. Механічна робота. Одиниці роботи . . . . .	136
§ 27. Потужність . . . . .	140
§ 28. Енергія. Потенціальна енергія тіла. . . . .	144
§ 29. Кінетична енергія тіла. Повна механічна енергія . . . . .	148
§ 30. Перетворення механічної енергії. Закон збереження механічної енергії . . . . .	150
§ 31. Прості механізми. «Золоте правило» механіки . . . . .	154
§ 32. Коефіцієнт корисної дії механізмів. . . . .	158
<i>Лабораторна робота № 10</i> . . . . .	161
Підбиваємо підсумки розділу 3 «Робота і енергія» . . . . .	163
Завдання для самоперевірки за розділом 3 «Робота і енергія» . . . . .	164
Енциклопедична сторінка. . . . .	166

### **Розділ 4. Теплові явища**

§ 33. Тепловий стан тіл. Температура та її вимірювання. . . . .	168
<i>Лабораторна робота № 11</i> . . . . .	173
§ 34. Внутрішня енергія . . . . .	175
§ 35. Способи змінення внутрішньої енергії . . . . .	178
§ 36. Теплопровідність . . . . .	181
§ 37. Конвекція. . . . .	184
§ 38. Випромінювання . . . . .	188
§ 39. Питома теплоємність речовини. Кількість теплоти, що поглинається речовиною в ході нагрівання або виділяється під час охолодження . . . . .	191
§ 40. Тепловий баланс . . . . .	196
<i>Лабораторна робота № 12</i> . . . . .	199
<i>Лабораторна робота № 13</i> . . . . .	201
§ 41. Теплота згоряння палива. Коефіцієнт корисної дії нагрівника . . . . .	203
<i>Лабораторна робота № 14</i> . . . . .	209
§ 42. Принцип дії теплових двигунів. ККД теплового двигуна . . . . .	211
§ 43. Деякі види теплових двигунів . . . . .	214
§ 44. Плавлення та кристалізація твердих тіл . . . . .	218
§ 45. Питома теплота плавлення. . . . .	224
§ 46. Випаровування та конденсація . . . . .	228
§ 47. Кипіння. Питома теплота пароутворення. . . . .	233
Підбиваємо підсумки розділу 4 «Теплові явища» . . . . .	240
Завдання для самоперевірки за розділом 4 «Теплові явища» . . . . .	242
Енциклопедична сторінка. . . . .	244

Енергія в житті людини. Теплоенергетика. Способи збереження енергетичних ресурсів. Енергозбережні технології.

Використання енергії людиною й охорона природи. . . . . 246

Таблиці густин деяких речовин (*додаток*) . . . . . 251

Відповіді до вправ та завдань для самоперевірки. . . . . 252

Алфавітний покажчик . . . . . 253

Видано за державні кошти  
Продаж заборонено

Навчальне видання  
*БОЖИНОВА Фаїна Яківна,  
НЕНАШЕВ Ігор Юрійович,  
КІРЮХІН Микола Михайлович*

## **ФІЗИКА**

**8 клас**

Підручник для загальноосвітніх  
навчальних закладів

Редактор *Г. В. Доніна*  
Технічний редактор *С. Я. Захарченко*  
Коректор *Н. В. Красна*

Підписано до друку 25.05.2008. Формат 70×100/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 20,64. Обл.-вид. арк. 26,7. Наклад 137 500 прим.  
Зам. № 8-0664.

ПП «Ранок-НТ». Свідоцтво ДК № 2121 від 10.03.2005.  
61052 Харків, пров. Сімферопольський, 6

Віддруковано ВАТ «Харківська книжкова фабрика “Глобус”»  
61012, м. Харків, вул. Енгельса, 11.