

ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**

НІНА ГОДОВАНА, ТЕТЯНА КРАВЕЦЬ

# ФІЗИЧНІ ЯВИЩА НАВКОЛО НАС



$$v^2 = u^2 + 2as$$

$$s = \left(\frac{u+v}{2}\right)t$$

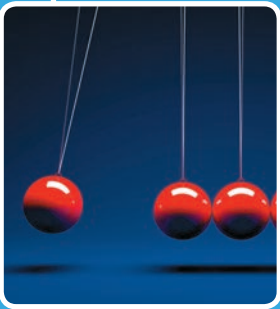
$$s = vt$$

$$PE = mgh$$

$$PE = m \times g \times h$$



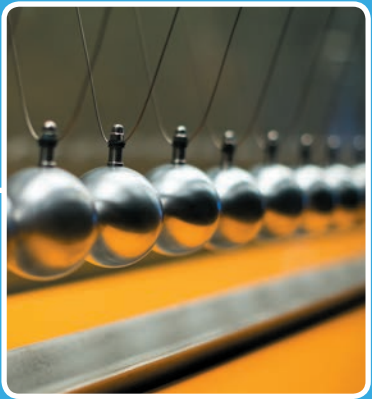
$$I = \frac{U}{R}$$



$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$



ШКІЛЬНА  
**7**  
БІБЛІОТЕКА



Немає нічого більш винахідливого, ніж природа.  
Цицерон

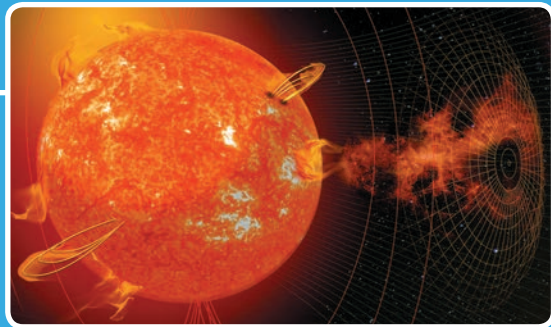


$$v^2 = u^2 + 2as$$

Занапасти природу не можна. Можна лише загинути разом із нею.  
Жак-Ів Кусто



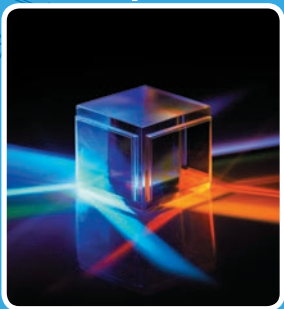
Відкриття приходять лише до тих, хто готовий до їх розуміння.  
Луї Пастер



Без сумніву, всі наші знання починаються з дослідів.  
Іммануїл Кант

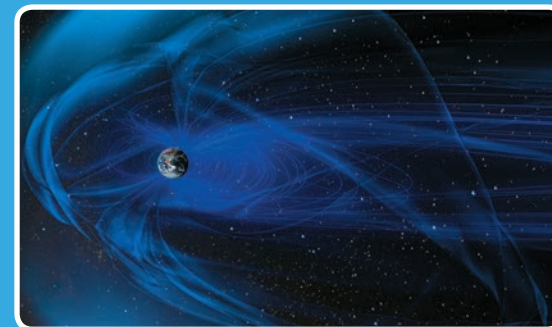


$$PE = m \times$$



$$w = 2\pi r f$$

$$t = \frac{1}{f}$$



$$E = mg^2$$

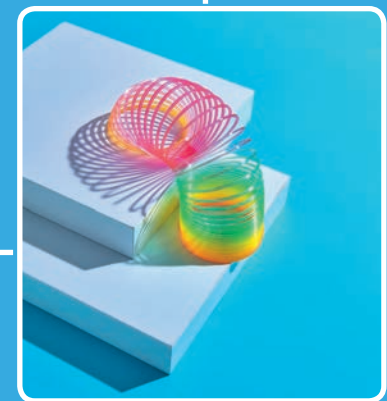
$$PE = mgh$$

$$I = \frac{E}{R \cdot r}$$

З видимого пізнавай невидиме.  
Григорій Сковорода



При вивченні наук приклади корисніші за правила.  
Ісак Ньютон



$$s = ut + \frac{1}{2}at^2$$



**НІНА ГОДОВАНА, ТЕТЯНА КРАВЕЦЬ**

# **ФІЗИЧНІ ЯВИЩА НАВКОЛО НАС**

Посібник серії «Шкільна бібліотека»  
для 7 класу закладів загальної середньої освіти

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України



Харків  
Видавництво «Ранок»  
2020

УДК 53.1(075.4)  
Г59

Серія «Шкільна бібліотека»

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**  
(лист Міністерства освіти і науки України від 12.10.2020 № 1/11-6962)

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

**Годована Н. Б.**

**Г59** Фізичні явища навколо нас : посіб. серії «Шкільна бібліотека» для 7 кл. закл. загал. серед. освіти / Н. Б. Годована, Т. А. Кравець. — Харків : Вид-во «Ранок», 2020. — 128 с. : іл. — (Серія «Шкільна бібліотека»).

ISBN 978-617-09-6797-8

Посібник у захопливій формі знайомить із фізичними явищами та законами. Пропоновані досліді обов'язково зацікавлять кожного, хто хоче пізнати світ навколо себе. Читайте, проводьте експерименти, спостерігайте, як працюють закони фізики в природі. Призначено для учнів 7 класу закладів загальної середньої освіти та вчителів фізики.

УДК 53.1(075.4)



Інтернет-підтримка

ISBN 978-617-09-6797-8

© Годована Н. Б., Кравець Т. А., 2020  
© ТОВ Видавництво «Ранок», 2020

# ЗМІСТ

Передмова ..... 4

## Фізика як природнича наука

Мікро, макро, мега..... 6

Дифузія навколо нас ..... 14

## Механічний рух

У витоків механіки..... 26

Знання — сила ..... 33

## Тиск. Закон Архімеда

Через сполучені посудини ..... 48

Скільки «важить» повітря? ..... 59

Людина під водою ..... 68

Куди «падає» барометр ..... 79

Плавання і повітроплавання..... 89

## Енергія

Робота і потужність ..... 102

Механічна енергія ..... 118

Джерела ..... 127

Відповіді до задач ..... 127

## Дорогий друже!

Ти вперше перегорнув кольорову обкладинку цього видання, а можливо, переглянув і декілька його сторінок. Спантеличений? Ще не таке буде!

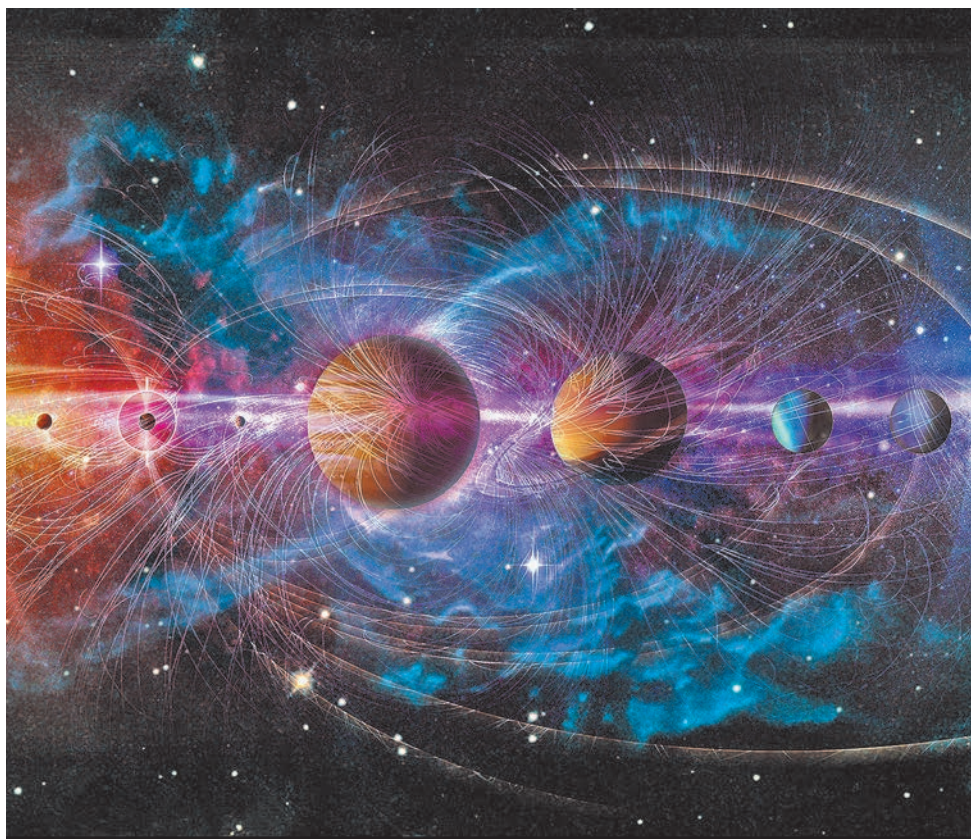
Озирнись навколо:

- у тебе вдома є холодильник і мікрохвильова піч — слід подякувати фізикам та інженерам;
- тобі подобається смартфон та інші гаджети — однозначно спасибі фізикам, а також інженерам і програмістам;
- ти носиш контактні лінзи для корекції зору або сонячні окуляри — за це теж маємо подякувати фізикам та інженерам;
- тобі роблять нетравматичне ультразвукове або рентгенівське обстеження — і за це спасибі фізикам, інженерам і лікарям;
- ти рухаєшся на велосипеді чи скейтборді, ідеш або сидиш — усе це фізика.

Світ неозорний, але пізнаваний. Прямуй на вітрилах своєї фантазії в цей світ, вивчай фізичні явища та закони. Проходь через рифи механічного руху; чини опір «шкідливим» силам; завзято використовуй корисну виштовхувальну силу; уперто виконуй повсякденну роботу на всі 100 відсотків потужності.

Ця книга написана завдяки нашим учням. Саме вони ставили питання, яких ми не очікували, пропонували нові досліді, брали участь в експериментах, робили фотографії, знімали відеоролики й урешті-решт змусили нас написати цю книгу. Нам хотілося зробити її захопливою, щоб фізика стала для тебе такою ж цікавою, як і для них.

# ФІЗИКА ЯК ПРИРОДНИЧА НАУКА



# МІКРО, МАКРО, МЕГА

Якщо ти замислишся й назвеш фізичні тіла, що тебе оточують, то майже напевно це будуть меблі, прилади, книжки тощо. Усі ці тіла взаємодіють одне з одним, з ними відбуваються різноманітні природні явища, які люди намагаються дослідити, виміряти та пояснити.

Учені умовно поділили Всесвіт на три рівні: макро-, мікро- та мегасвіт.

**Макросвіт** — це звичний нам світ, у якому розміри всіх тіл співвідносні з розмірами людини. Досліджуючи його, людина створила зручну систему одиниць фізичних величин СІ (метр, кілограм, секунда). Саме в макросвіті ми можемо не тільки спостерігати явища, а й втручатися в них. Проте існує багато чого поза межами макросвіту.



**Мегасвіт** — світ зоряних скупчень і галактик, пульсарів і чорних дір. У Всесвіті все велике — маси, розміри, час тощо. Щоб уявити такі масштаби, треба мати неабияку фантазію.

А от об'єкти **мікросвіту** людина змогла спостерігати тільки після винайдення мікроскопа. Тоді стало відомо про існування мікроорганізмів, удалося довести, що найдрібніші частинки речовини перебувають у неперервному русі. Для дослідження молекул та атомів створено електронний мікроскоп та інші складні пристрої.

Дослідження фізичних процесів у макро-, мікро- та мегасвітах — складна задача. Чи можна «побачити» або сфотографувати атом або електрон? Як виміряти температуру зорі й відстань до неї? Які процеси відбуваються в глибині Сонця?

Які проблеми постають перед дослідниками? Одна з них — це фізичні вимірювання й розрахунки.





які називають транзисторами. Розмір одного такого елемента дорівнює 0,0000014 см.

На цей випадок математики придумали від'ємний степінь. Знову скористаємося сходами, але напишемо їх у зворотному порядку:

$$10^4 = 10\,000$$

$$10^3 = 1\,000$$

$$10^2 = 100$$

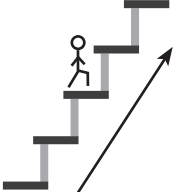
Кожен крок нагору — це множення на число 10. А тепер спробуємо спуститися цими сходами. Що таке число в степені 0 або  $-3$ ? Хіба можна перемножити числа 0 разів? Звісно, ні. Але можна зійти сходами ще нижче: кожен крок — це ділення на 10. Ось що в нас вийшло:

$$10^4 = 10\,000$$

$$10^3 = 1\,000$$

$$10^2 = 100$$

$$10^1 = 10$$



$$10^4 = 10\,000$$

$$10^3 = 1\,000$$

$$10^2 = 100$$

$$10^1 = 10$$

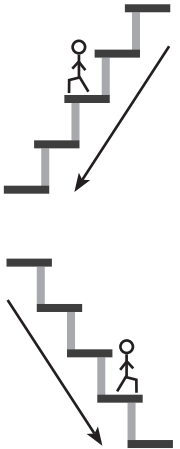
$$10^0 = 1$$

$$10^{-1} = 0,1$$

$$10^{-2} = 0,01$$

$$10^{-3} = 0,001$$

$$10^{-4} = 0,0001$$



Отже, число  $10^{-3}$  означає, що ми зробили 3 кроки вниз від одиниці, тобто поділили 1 на  $10^3$ . Довжина транзистора дорівнює  $0,0000014$  см =  $1,4 \cdot 10^{-6}$  см.

$$0, \underbrace{0\,0\,0\,0\,0\,1\,4}_{\substack{\leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow \leftarrow}} = 1,4 \cdot 10^{-6}$$

Ми перенесли кому так, щоб перед нею стояла лише одна цифра, але не нуль.

Для зручності подання запису чисел цифри групують в класи по три розряди в кожному (тисячі, мільйони, мільярди).

Тому і в Міжнародній системі одиниць СІ для запису використовують префікси, більшість з яких кратні тисячі: мега-, кіло-, мілі-, мікро-, а порядок кратний трьом.

### ПРЕФІКСИ МІЖНАРОДНОЇ СИСТЕМИ ОДИНИЦЬ

Множник	Префікс	Українське позначення	Міжнародне позначення
$1\,000\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{18}$	екса	Е	Е
$1\,000\,000\,000\,000\,000 = 10^{15}$	пета	П	П
$1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$	тера	Т	Т
$1\,000\,000\,000 = 10^9$	гіга	Г	G
$1\,000\,000 = 10^6$	мега	М	M
$1\,000 = 10^3$	кіло	к	k
$100 = 10^2$	гекто	г	h
$10 = 10^1$	дека	да	da
$0,1 = 10^{-1}$	деци	д	d
$0,01 = 10^{-2}$	санти	с	c
$0,001 = 10^{-3}$	мілі	м	m
$0,000\,001 = 10^{-6}$	мікро	мк	μ
$0,000\,000\,001 = 10^{-9}$	нано	н	n
$0,000\,000\,000\,001 = 10^{-12}$	піко	п	p
$0,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-15}$	фемто	ф	f
$0,000\,000\,000\,000\,000\,001 = 10^{-18}$	ато	а	a

Повернемося до трьох рівнів світів: макро-, мега- і мікро-. Кожен із них має свої виміри.

Просторові величини макросвіту виражаються в мікрометрах, міліметрах, сантиметрах, метрах, кілометрах, астрономічних одиницях, світлових роках:  $10^{-8}$ ... $10^{24}$  м.

Відстані в мегасвіті вимірюються сотнями тисяч світлових років (більш ніж  $10^{26}$  м).

Просторові величини мікросвіту — від  $10^{-8}$  до  $10^{-18}$  м.

## Цікавий факт

У давнину люди вимірювали відстань суб'єктивними одиницями, які неможливо було точно відтворити. Наприклад, у Японії одиницею вимірювання відстані був кінський черевик, тобто шлях, який проходив кінь, поки не зноситься солом'яна підшва, що заміняла підкову. Єгипетський стадій — це шлях, який людина пройшла за час між першим променем Сонця і появою на небі всього диска, тобто приблизно за дві хвилини.

У багатьох народів траплялися одиниці, пов'язані з розміром частин тіла. Вони були зручними для вимірювання довжини мотузки або тканини: у ліктях (відстань від кінця пальців до ліктьового суглоба), аршинах (від персидської «арш» — лікоть, приблизно 71 см), п'ядях (відстань між кінцями розставлених великого і вказівного пальців, близько 18 см).

## Дослід. «Вимірюємо Відстань»

Разом із друзями проведіть такий експеримент: виміряйте кроками відстань в 1 милю (це 2000 кроків римських легіонерів на марші). Кількість кроків можна порахувати за допомо-

гою мобільного застосунку «Крокомір».

Відстань (у СІ) визначте за Google-мапою. Чи однакові результати у вас вийшли? Чи дорівнюють вони 1 милі?

1 миля — це 1,609 км.

Спробуйте виміряти в такий же спосіб інші фізичні величини (лікоть, п'ядь). Чи співпали результати?

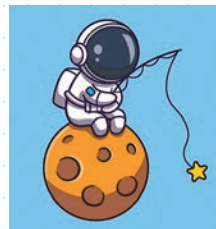
## Розбір дослідів

Результати точно співпали? Не може того бути! Повинна бути похибка вимірювань. Крім того, довжина кроку, ліктів та пальців у людей різні — ми ж не роботи!



## Задачі

1. До яких рівнів Всесвіту належать бактерії, галактика Мала Магелланова Хмара, атом?
2. Переведи в СІ (метр, кілограм, секунда) і подай у стандартній формі такі величини:

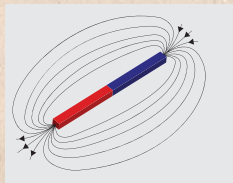


- діаметр лейкоцита — 4 мкм;
- радіус Місяця — 1,737 тис. км;
- довжина хвилі червоного світла — 700 нм;
- 1 світова хвилина — відстань, яку світло проходить за 1 хвилину; швидкість світла дорівнює 300 000 км/с;
- час, за який електрон робить один оберт навколо ядра в атомі водню, — 1,52 фс;
- час навчання людини в середній школі — 11 років;
- час існування Сонячної системи — 4,6 млрд років;
- маса літака АН-140 (випуск Харківського авіаційного заводу) — 12,81 тонни;
- маса бактерії — 42 мкг;
- загальна маса води на Землі — 1 460 000 000 мільярдів тонн.

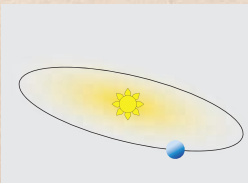
## Цікаві факти

Міжнародне бюро мір і ваг — міжнародна організація з визначення еталонів, розташована в західному передмісті Парижа. У 1799 році у Франції були виготовлені два еталони — для одиниці довжини (метр) і для одиниці маси (кілограм). Ці еталони мають зараз історичну цінність, бо замінені на інші, пов'язані з фізичними явищами. Наприклад, метр — це відстань, яку світло проходить у вакуумі за  $1/299\,792\,458$  секунди.

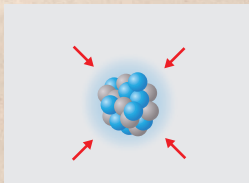
Усе різноманіття фізичних явищ: механічних, теплових, електромагнітних, хімічних, оптичних тощо — можна описати всього чотирма видами фундаментальних взаємодій. Будь-які сили: тяжіння, пружності, опору, тертя, сила Архімеда — зводяться до цих взаємодій. Це гравітаційна, слабка, електромагнітна та сильна, або ядерна, взаємодії. І в кожній з них є своя «зона відповідальності».



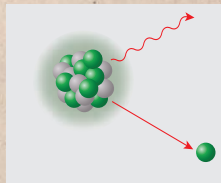
Електромагнетизм



Гравітація

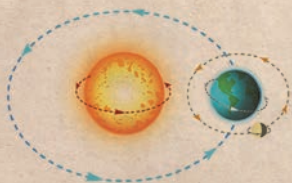


Ядерний синтез



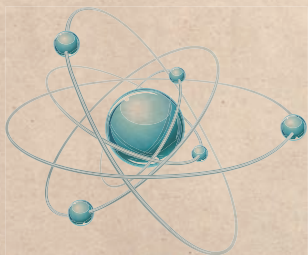
Ядерний розпад

### Гравітаційна взаємодія



Наприклад, за утворення планет, зорь, галактик відповідає гравітація: усі тіла притягаються одне до одного тим сильніше, чим більша їхня маса. Це дуже слабка взаємодія, але речовину в зорях та галактиках утримує саме вона.

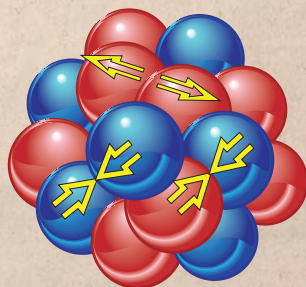
### Електромагнітна взаємодія



За «хімію», тобто утворення атомів і молекул, а з них речовин, відповідає електромагнітна взаємодія. Електрична сила значно більша, ніж гравітаційна. Але, на відміну від маси, заряди бувають двох видів — позитивні та негативні. Вони можуть як притягатися, так і відштовхуватися. Тому на великих відстанях ці сили можуть «екранувати» одна одну.

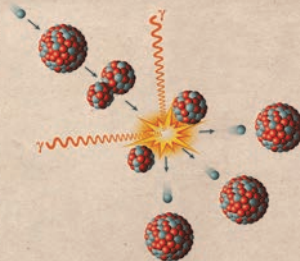
### Ядерна взаємодія

За стабільність атомного ядра відповідає сильна взаємодія. Як протони утримуються разом у ядрі, якщо мають позитивний заряд? Адже однойменні заряди відштовхуються! Між частинками в ядрі (протонами і нейтронами) діють ще й сили притягання. Ядерні сили більші за електромагнітні і, відповідно, набагато більші за гравітаційні. Але чому ж усі частинки у Всесвіті не «зліпилися» в один великий ком? У сильної взаємодії «руки короткі»: вони діють лише на дуже малих відстанях —  $10^{-14}$  м. Тому існування дуже великого атомного ядра неможливе.



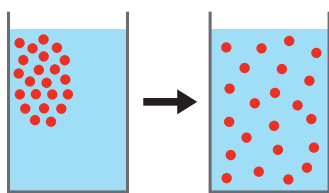
### Слабка взаємодія

Нарешті, слабка взаємодія відповідає за розпад елементарних частинок. Її вплив можна «помітити» лише на відстані  $2 \cdot 10^{-18}$  м. «Слабкі» сили менші за ядерні та електромагнітні, але набагато більші за гравітаційні.



# ДИФУЗІЯ НАВКОЛО НАС

Уяви класну кімнату. Чи може бути так, що ти і твої одно-класники сидите разом в одному кутку класу? Так, можливо. Та й парти і стільці розташовані рівномірно, щоб ви не сиділи занадто близько одне до одного. Але діти частіше бігають! Саме так «працює» дифузія. Частинки рідини і газу «не бажають» скупчуватись в одному місці. Вони завжди намагаються розподілитися рівномірно! Ти вже знаєш, що всі тіла складаються з атомів та молекул. Молекули — це найменші частинки речовини.



На рисунку зліва ми бачимо частинки, які опинилися в рідині, а на рисунку справа — ту саму рідину через деякий час. Молекули однієї речовини розподіляються між молекулами іншої речовини. Це і є процес дифузії.

Дифузія може відбуватися з речовиною в будь-якому стані, але найчастіше — з рідинами та газами. У цьому випадку між частинками вистачає місця, і це дозволяє їм рухатися. У твердих тілах частинки щільно «упаковані» й можуть лише коливатись. Однак газ може проникати крізь тверде тіло. Ти помічав, що повітряна кулька повільно здувається за кілька днів після веселого дня народження. Це відбувається тому, що повітря повільно виходить через оболонку з кульки туди, де у нього більше місця для руху!

Отже, **дифузія** — це хаотичне, самовільне й незворотне перенесення частинок однієї речовини в іншу в результаті теплового руху. Її результатом є перемішування речовин.

Наведемо деякі приклади дифузії, знайомі кожній людині:

- кубик цукру розчиняється у воді і робить її солодкою;
- запахи їжі поширюються в повітрі, і ми їх відчуваємо;
- і приготування чашки кави, і з'єднання металів під час їх зварювання також не обійдеться без дифузії.



Однак не все так просто, як здається на перший погляд. Дифузія — це досить повільний пасивний процес. Однак ми зазвичай досить швидко сприймаємо запахи, навіть перебуваючи далеко від джерела. Як це пояснити?

Щоб розібратися в цьому, звернемо увагу на інше фізичне явище — конвекцію. **Конвекція** — це передача тепла, пов'язана з рухом потоків рідини або газу. Коли холодна вода або повітря нагріваються, потоки гарячої речовини піднімаються вгору, а потоки холодної — опускаються вниз. Електричний радіатор нагріває повітря, яке потоком підіймається вгору. Конвекція веде до того, що вода, яка гріється в каструлі, і повітря в приміщенні постійно рухаються, хоча ми цього й не бачимо.

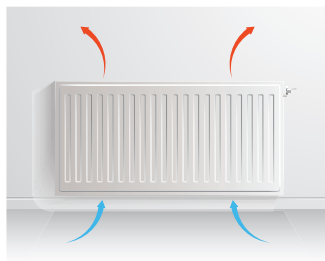
У процесі дифузії переміщуються окремі частинки, а під час конвекції — потоки рідини чи газу, і перенесення речовини відбувається значно швидше. На відміну від дифузії, конвекція в твердих тілах неможлива.

Проведемо кілька дослідів.

### Дослід 1. «Дифузія в газах»

Використаємо парфуми та електронний годинник.

В одному кутку кімнати розпили парфуми, і приблизно за хвилину в протилежному кутку (відстань ~ 5 м) відчуєш їхній запах. Чому так сталося?



## Розбір досліду

Молекули парфумів проникають у простір між молекулами повітря — відбувається дифузія. Деякі з молекул парфумів потрапляють у потоки повітря і переміщуються по кімнаті в різних напрямках — відбувається конвекція. Ми не можемо візуально спостерігати рух молекул під час досліду, але наявність запаху свідчить про їхнє переміщення.

Явища дифузії і конвекції в газах проявляються спільно. Саме такі явища ти спостерігаєш, коли відчуваєш запах домашньої випічки або свіжих квітів.

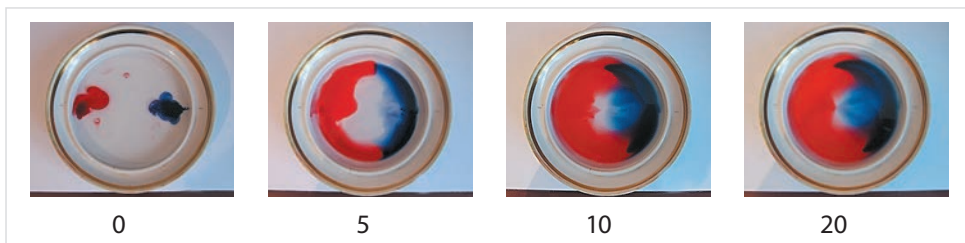
## Дослід 2. «Дифузія в рідинах»



Візьмемо два харчових барвника, тарілку і трохи води.

Наллємо воду в тарілку. Барвники одночасно насипаємо у воду з протилежних країв тарілки. Спостерігаємо.

### Час фіксації процесу дифузії (хвилини)



Через 5 хвилин від початку досліду колір води стає більш насиченим. Дифузія закінчується, коли пігмент повністю розчиняється.

## Розбір досліду

Молекули пігменту поступово проникають між молекулами води. Під час проведення цього досліду ми спостерігаємо,

що процес дифузії відбувається в усіх напрямках. Молекули пігменту самовільно, безперервно й хаотично рухаються в різні боки між молекулами води та поступово поширюються по всьому об'єму.

Отже, дифузія рідини і речовини у твердому стані є більш тривалим процесом (порівняно із дифузією в газах). Результатом цього процесу є розчинення пігменту.

### Дослід 3. «Залежність дифузії від температури»

Використовуємо прозорі пластикові стакани — 4 шт.; гуаш червоного й синього кольорів; холодну й гарячу воду; дві піпетки.

У два пластикові стакани наливаємо окремо гарячу й холодну воду та додаємо до неї трохи гуаші для візуалізації: у гарячу воду — фарбу червоного кольору; у холодну — синього.

Додатково робимо насичені розчини: з синьою фарбою — гарячий, з червоною — холодний. Зверни увагу, що кольори ми поміняли місцями.

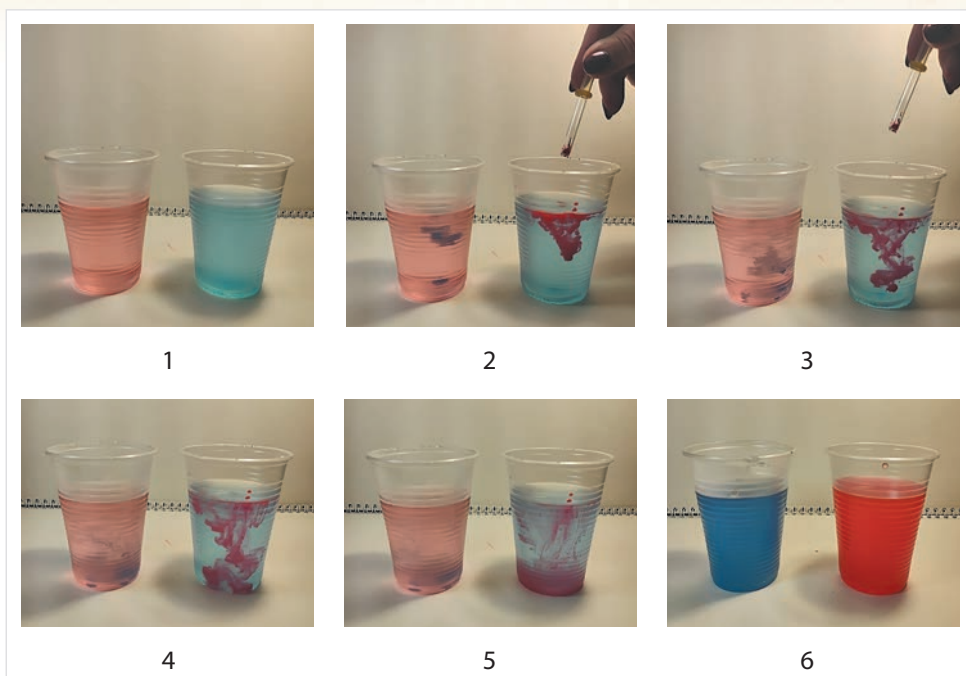
Набравши в шприці насичені розчини фарб червоного й синього кольорів окремо, вливаємо їх у стакани з підфарбованою водою так:

- 1) у стакан із гарячою водою блідого червоного кольору — насичений розчин синьої фарби;
- 2) у стакан із холодною водою блідого синього кольору — насичений розчин червоної фарби.

В гарячу воду ми додали гарячий розчин, а в холодну — холодний! Так ми зменшили вплив конвекції.

Результати експерименту можна побачити на фото (див. с. 18).





Добре видно, що дифузія в гарячій воді (стакан ліворуч) відбувається інтенсивніше: синя фарба швидко розподіляється по всьому об'єму рівномірно на відміну від червоної в холодній воді.

### Розбір досліду

Молекули води не мають визначеного положення, але одночасно їм недоступна повна свобода пересувань. Молекули води розташовані майже впритул одна до одної. Між ними існує притягання, досить сильне, щоб утримати їх на малій відстані в певному інтервалі температур. Молекули води постійно й хаотично рухаються, під час нагрівання води швидкість руху молекул зростає. Молекули коливаються й можуть «перестрибувати» з одного місця на інше (цим зумовлена текучість води).

Отже, ми з'ясували, що чим вища температура води, до якої додається інша речовина, тим швидше відбувається дифузія у зв'язку з тим, що молекули води рухаються швидше.

## Дослід 4. «І знову про дифузію»

Спробуємо дослідити дифузію у твердих тілах. Використовуємо шматочок вершкового масла; шматочок твердого молочного шоколаду; невелику склянку; мікрохвильову піч.

Для проведення експерименту в склянку двома шарами (товщиною не більше 1 см) викладаємо:

- 1) шматочок вершкового масла;
- 2) шматочок молочного шоколаду.

Склянку ставимо до мікрохвильової печі.

У результаті досліду (після охолодження) утворюється однорідна тверда речовина коричневого кольору. Спостереження результатів досліду:



до початку нагрівання



через невеликий проміжок часу



після закінчення дифузії

## Розбір досліду

Побачити дифузію у твердих тілах складно, тому що вона відбувається надзвичайно повільно. Але ж ми отримали однорідну речовину! Чи це дифузія твердих тіл? Ні! Під час досліду речовини нагрілися, стали рідкими, і ми знову спостерігали дифузію в рідинах.

Якщо ми підготуємо склянку з маслом і шоколадом для досліду і ввечері «забудемо» її на столі, то вранці побачимо, що вони ледь-ледь пофарбували одне одного. В морозильній камері вони взагалі залишаться чистими. Отже, дифузія у твердих тілах протікає набагато повільніше, ніж у рідинах та газах.

Нижче наведено приклади дифузії у природі.

## Дифузія і конвекція в атмосфері



Нижній шар атмосфери (тропосфера) складається із суміші газів, придатної для життя: азоту, кисню, вуглекислого газу й парів води. За відсутності дифузії сталося б розшарування під дією сили тяжіння: унизу опинився б шар важкого вуглекислого газу, над ним — кисень, вище — азот та інертні гази.



Дим від вогнища розповсюджується на великі відстані значною мірою за рахунок конвекції.



Дерева поглинають вуглекислий газ і виділяють кисень.

## Дифузія в рідині



Велике значення дифузія має в постачанні мешканців природних водойм і акваріумів киснем: він потрапляє в більш глибокі шари води в стоячих водах за рахунок дифузії через їх вільну поверхню.

Акули відчують запах крові на відстані кількох кілометрів.



## Дифузія в рослинному середовищі

Берег озера заріс травами. До кожного пагона, кожного листка рослин через кореневі волоски з ґрунту проникають поживні речовини, розчинені у воді.



Природа нагородила дерева великою кроною через те, що дифузійний обмін крізь поверхню листків виконує функцію як дихання, так частково й живлення. Зараз практикують позакореневе підживлення плодкових дерев шляхом обприскування їхньої крони розчинами поживних речовин.



## Дифузія в житті комах

Квіти різних рослин мають свій особливий запах, який бджоли зазвичай не плутають. Торкаючись вусиками інших бджіл, вони розпізнають цей запах і за ним знаходять квітучі рослини.





Метелики, які живляться м'якоттю фруктів, знаходять їжу за запахом.



Мурахам притаманна висока чутливість до запахів, тому запахи для них — один зі способів спілкування, пошуку їжі та орієнтування в просторі.

## Дифузія у світі тварин



Жук-плавунець висуває з води кінчик черевця та, піднявши надкрила, набирає повітря в дихальця — отвори в черевці, від них відходять трахеї — трубочки — до кожного органа жука. Завдяки дифузії кисень із трахей проникає в кожну клітину організму жука, а вуглекислий газ із клітин проникає в трахеї та виводиться назовні.



Жаба — дуже цікава тварина: живе у воді і не п'є її, на суші дихає легеньми й вологою шкірою, у воді — шкірою.



У великих тварин дихання відбувається через спеціальні органи — легені. Проникнення кисню з повітря через мембрани легневих бульбашок у кров, а вуглекислого газу — із крові в повітря відбувається завдяки дифузії.



## Пропоную підбити підсумки!

Дифузія відіграє величезну роль у природі, житті людини та техніці. Дифузія може позитивно впливати на життєдіяльність людини, на існування тваринного і рослинного світів.

На явищі дифузії ґрунтується багато фізіологічних процесів, що відбуваються в організмі людини: дихання, усмоктування поживних речовин у кишечнику та ін.

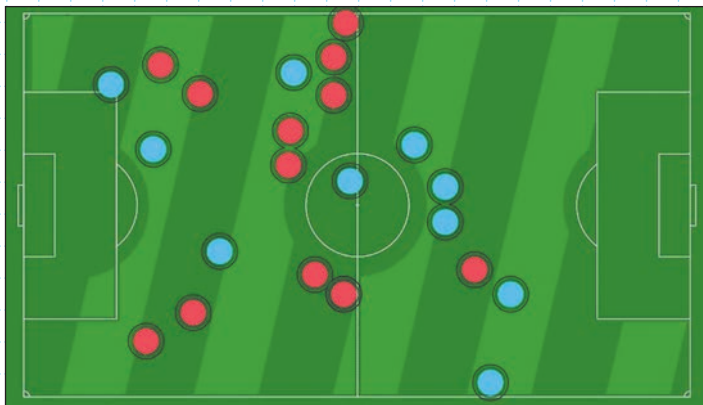
Ми можемо захистити себе від багатьох хвороб, приймаючи ліки, які засвоюються організмом завдяки дифузії.

На явищі дифузії ґрунтується зварювання металів. Деталі поміщають у закриту зварювальну камеру із сильним розрідженням, стискають і нагрівають до 800 градусів. При цьому відбувається інтенсивна взаємна дифузія речовин.



### Задачі

1. Що спільного між схематичним зображенням гравців на футбольному полі і явищем дифузії?



2. Помідори чері були одночасно залиті: одна банка — холодним розсолем, друга — гарячим. У другій банці помідори чері просолились швидше. Чому?

3. Уяви, що в тебе є сучасний мікроскоп. Що ти побачиш у ньому, розглядаючи будову речовини?
4. Допмагаючи мамі, Валерія випрала різнокольорові речі. Коли мама дістала мокрі речі з пральної машини, щоб розвісити їх, вона дуже засмутилася. Чому не слід мокрі різнокольорові речі залишати на тривалий час в зіткненні з білими?
5. Як старша сестра, сидячи за комп'ютером, здогадалася, що її молодша сестра пролила мамині улюблені парфуми?



### Цікаві факти

Коли дві чисті, без шару оксидів частини однакових металів стикаються у відкритому космосі, вони міцно з'єднуються, нібито «склеюються». Видатний американський вчений Річард Фейнман образно пояснив це явище тим, що атоми одного виду не можуть «дізнатися», якому саме тілу вони належать. За відсутності молекул оксидів і повітря вони наближуються настільки, що між ними починають діяти значні сили міжмолекулярного притягання. Таке «холодне зварювання», тобто дифузія, стало причиною проблем під час польоту космічного апарата «Галілео» до Юпітера. Деталі антени «зрослися», і це ускладнило передачу даних на Землю.

Людина навчилася використовувати властивості дифузії для створення власної безпеки. Природний горючий газ, яким ми користуємося вдома, не має ані кольору, ані запаху. Щоб можна було помітити його витік, на розподільних станціях газ змішують з особливою речовиною, яка має різкий неприємний запах, і людина його легко відчуває.

# МЕХАНІЧНИЙ РУХ



# У ВИТОКІВ МЕХАНІКИ



Ми виходимо зі своїх відчуттів: розрізняємо кольори, смаки, запахи, відчуваємо холод, стомленість і багато іншого. Органи чуття дозволяють нам отримувати відомості про оточуючий світ. На підставі відчуттів формуються уявлення про природу, частиною якої є людина, про явища, що спостерігаються навколо нас.

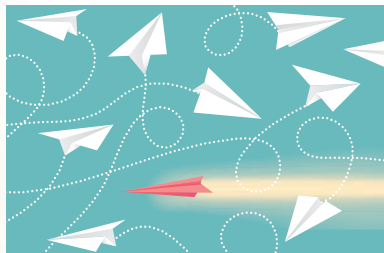
Поговоримо про положення тіл у просторі, рух тіл і відстані між ними. Ці поняття тісно взаємопов'язані. І якщо ми хочемо вправно користуватися кожним із них, ми не маємо іншого способу, окрім як зробити перший крок до їх пізнання.

Розглянемо поняття **простір**, або **протяжність**. Ідучи повільно, можна виміряти кроками подолану відстань. Висоту будівлі ми вимірюємо в поверхах.



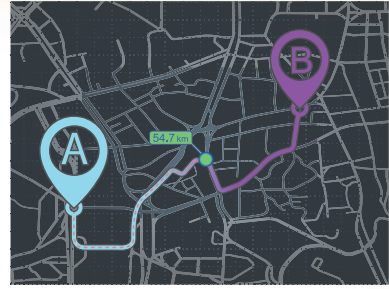
Ще одне важливе поняття у фізиці — **рух** матеріальних тіл.

Розглянемо **механічний рух** матеріальних тіл, пов'язуючи положення їх у просторі з їхньою швидкістю. Вивчаючи рух тіл завжди важливо знати, де в певний момент часу тіло перебуває і як воно туди потрапило.



Наведемо простий приклад. Пролунав дзвоник, і голодні учні побігли до буфету що-небудь перехопити. Ти маєш розуміти, що під час руху учень у просторі школи описав деяку уявну лінію. Нехай двері класу — початок

цієї лінії, а двері буфету — її кінець. Таку лінію, за якою рухалось тіло, називають **траєкторією**. Дивовижний факт: траєкторії учнів зовсім різні, навіть якщо вони вибігли з одних дверей, і можуть бути і прямолінійними, і криволінійними.



А зараз виміряємо довжину траєкторії. Для цього, наприклад, можна визначити кількість кроків, зроблених одним із тих, хто біг до буфету. Знаючи довжину кроку, можна виміряти довжину траєкторії в одиницях довжини, тобто в міліметрах, сантиметрах або метрах. Довжина траєкторії, виміряна в одиницях довжини, у фізиці називається **шлях**.

Рухаємось далі. З'єднаємо двоє дверей — умовно обрані нами початок і кінець уже відомої нам шкільної траєкторії. З'єднуємо, як під лінійку, прямою лінією через усі перепони: вікна, стіни, стелю і т. д. — виходить прямий відрізок. А якщо до одного з кінців цього відрізка прикріпити стрілку, вийде спрямований відрізок, який у фізиці називається **переміщення**.



А тепер спробуй розв'язати «хитру» задачу: «Збігав ти до буфету, трохи поїв і повернувся в клас. Чому дорівнює довжина переміщення?» Ти правильно вважаєш, що в цьому випадку довжина переміщення дорівнює нулю.

Розглянемо таке важливе поняття фізики, як **швидкість**. Вона дуже точно характеризує механічний рух.

Ти знаєш, що в природі існують різні тварини. Вони відрізняються розмірами, швидкістю пересування, масою. Саме рух тварин і швидкість руху ми спробуємо обговорити.

Спочатку поговоримо про деяких найповільніших тварин.



У Північній Америці мешкає велика отруйна ящірка аризонський ядозуб. Він може переміщуватись зі швидкістю 667 сантиметрів за секунду.



В Австралії можна побачити сумчасту тварину коала. Вона пересувається по деревах зі швидкістю приблизно 447 сантиметрів за секунду.



Поблизу берегів і в річках екваторіальної Африки живуть ламантини — великі трав'яїдні водні ссавці. Вони розвивають швидкість до 220 сантиметрів за секунду.

А зараз — про деяких найшвидших тварин.



Плавні рухи жирафів виглядають як уповільнена зйомка, але їхня швидкість при цьому може сягати 50 кілометрів за годину.



Антилопа спрингбок може бігти зі швидкістю 88 кілометрів за годину.

Риба вітрильник вирізняється високою швидкістю підкорення океанічних вод. Вона здатна розігнатися до 110 кілометрів за годину.



Чи знаєш ти, що людина в середньому проходить за одну годину 5 кілометрів? А світовий рекорд із бігу на 100 метрів складає 9,58 секунди, він встановлений уродженцем Ямайки Усейном Болтом 16 серпня 2009 року.

Порівняймо швидкість людини зі швидкістю тварин, про яких ішлося. Для цього необхідно подати їхні швидкості в одній системі одиниць. Переведемо швидкості в СІ, урахувавши, що:  $1 \text{ м/с} = 100 \text{ см/с}$ ;  $1 \text{ км/год} = 1000/3600 \text{ м/с} = 10/36 \text{ м/с}$ .

	Швидкість	Швидкість у СІ
<b>Повільні тварини</b>		
Аризонський ядозуб	667 сантиметрів за секунду	6,67 метра за секунду
Коала	447 сантиметрів за секунду	4,47 метра за секунду
Ламантин	139 сантиметрів за секунду	1,39 метра за секунду
<b>Швидкі тварини</b>		
Жираф	50 кілометрів за годину	~ 14 метрів за секунду
Спрингбок	88 кілометрів за годину	~ 24 метри за секунду
Риба вітрильник	110 кілометрів за годину	~ 30,6 метра за секунду
Людина	пішки — 5 кілометрів за годину	~ 1,4 метра за секунду
	бігом — 100 метрів за 9,58 секунди	~ 10,4 метра за секунду

Фізичні можливості людини не дозволяють їй наздогнати швидких тварин, але і з повільними тваринами їй важко змагатися.

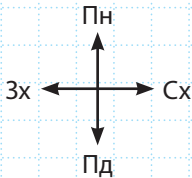


## «Детективна гра»

Щоб узяти участь у цій грі, тобі потрібні олівець і жива уява. Спробуй на деякий час стати детективом і використати знання з фізики, щоб знайти дитинча жирафа, якого злодії вкрали із зоопарку. Єдиний доказ, знайдений на місці злочину, — залишений кимось шматок паперу з інформацією, де заховали дитинча.

...від зоопарку пройти на північ 4 км, повернути на захід і пройти 5 км, повернути на південь і пройти 6 км, повернути на захід і пройти 1,5 км, потім ще 2 км на північ...

На наведеному нижче плані місцевості намалюй олівцем траєкторію руху злочинців, використовуючи відомості, указані в записці, і познач місце, де заховали дитинча жирафа. Масштаб плану місцевості: 1 клітинка — 0,5 кілометра.



Порівняй свою траєкторію з тією, що накреслив детектив-професіонал (див. наступну сторінку).

Порахуй, будь ласка, **шлях**, який обрали злочинці, щоби вкрасти дитинча жирафа, склавши довжини всіх 5 відрізків траєкторії, і запиши результат:

$$l = \text{_____ км.}$$





Дякуємо за допомогу! Незабаром дитинча жирафа повернулося до зоопарку. Це завдяки тому, що тобі вдалося дізнатися, як дістатися потрібного місця найкоротшим шляхом, і розрахувати, скільки часу для цього знадобиться.

Наша невелика подорож світом механічних явищ і наше невелике розслідування наблизились кінця. Сподіваюсь, вони були корисними й водночас захопливими.



### Задачі

1. Ігор іде зі швидкістю 5 км/год. Після кожного пройденого кілометра він відпочиває 2 хвилини. Скільки часу йому потрібно, щоб подолати відстань 4 км?
2. Марійка їде до школи на велосипеді зі швидкістю 7,5 км/год і запізнюється на 10 хвилин. Якщо вона буде їхати зі швидкістю 10 км/год, то прибуде на 10 хвилин раніше. Яка відстань від дому до школи?

### Цікаві факти

Один автобус може перевозити таку ж кількість людей, як 30 автомобілів, при цьому займаючи дорогу в довжину, як три автомобілі.

Чи замислювався ти коли-небудь, якою була найдовша в історії автомобільна пробка? «Книга рекордів Гіннеса» стверджує, що це сталося у Франції 16 лютого 1980 року, і простяглась пробка від Ліона до Парижа на 175 км. Причина — погана погода та численні автомобілі, що поверталися з лижних канікул.

# ЗНАННЯ — СИЛА

Говорячи про рух матеріальних тіл, ми розглядали їх переміщення з однієї точки простору до іншої. Ти вже вмієш розраховувати відстані, що їх пододало тіло, знаючи його швидкість і час руху, а також будувати графіки швидкості та шляху. Таким описом руху матеріальних тіл займається **кінематика**. Наступний розділ механіки — **динаміка**. У ньому ми з'ясуємо причини руху та його зміни. Спробуємо дати відповіді на непрості запитання: «Що приводить тіла в рух і що підтримує цей рух?»

Із чим зазвичай ми пов'язуємо «причину руху»? Ти знаєш відповідь: із силою м'язів, коли, наприклад, допомагаєш другу перенести якийсь важкий предмет або відчиняєш масивні двері. Ці зусилля ми й називаємо силами. Звідси поняття **сили**, застосовуване у фізиці. Зі збільшенням знань про природу поняття сили вийшло за межі фізичних можливостей людини настільки, що охопило всі причини руху.



Розглянемо три види руху:

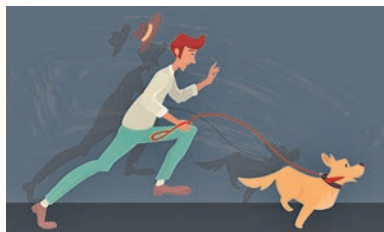
- 1) рух тіл, до яких прикладають зовнішні сили;
- 2) рух тіл, що падають на земну поверхню без прикладання якої-небудь очевидної зовнішньої сили;
- 3) неперервний рух усіх космічних об'єктів (планет, зорь, галактик).

Як же пов'язані між собою рух і сила?

Припустимо, ти везеш навантажені санчата. Звичайно, щоб вони безперервно рухалися, ти маєш весь час прикладати до них свою, тобто зовнішню, силу.



Повсякденний життєвий досвід показує, що для того, щоб будь-яке тіло рухалося, до нього необхідно прикладати певні зусилля:



- люди і тварини для пересування використовують м'язи;



- усі транспортні засоби забезпечені двигунами;



- якщо не штовхати візок із вантажем, він зупиняється;
- якщо дме вітер, парасолька може вилетіти з рук.

Тому складається враження, що причиною руху тіла завжди є зовнішній вплив. Така точка зору панувала в наукових уявленнях людства протягом півтори тисячі років.

Доводилося навіть вигадувати екзотичні пояснення простих рухів. Так, наприклад, для пояснення польоту стріли, випущеної з лука, було придумано таку хитромудру теорію: стріла рухається в повітрі, а позаду стріли створюється порожнеча. За уявленнями стародавніх філософів, «природа не терпить порожнечі», і тому повітря з великою швидкістю заповнює цю порожнечу і тим самим штовхає стрілу вперед.

Однак подивимося на рух з іншої точки зору, спробуємо більш детально розглянути результати впливу одного тіла на інше. Наприклад, штовхнемо дерев'яний кубик по поверхні дерев'яного столу. Пересунувшись на деяку відстань, кубик зупиниться. Отже, він рухається зі швидкістю, яка зменшується. Замінімо поверхню столу листом гладенького пластика. І знову штовхнемо дерев'яний кубик. У цьому випадку кубик пройде до зупинки набагато більшу відстань. А якщо замінити стіл на каток із гладеньким льодом, то відстань ще збільшиться. Тому розумно вважати, що причиною зміни дальності руху є сила опору з боку поверхні, якою рухається кубик. Якщо якимось чином виключити силу опору поверхні, разом з іншими силами, то рух кубика має тривати нескінченно довго.

Виявляється, у всіх випадках можна знайти причину зміни і дальності, і швидкості руху тіл — це дія інших тіл. Отже, можна стверджувати, що за відсутності зовнішнього впливу тіло рухається з постійною швидкістю нескінченно довго. Це твердження у фізиці має назву **закон інерції Галілея**, встановленого вченим 1632 року. Рух тіл без впливу інших тіл називається рухом за **інерцією**, а властивість тіл зберігати свою швидкість без впливу інших тіл називається **інертністю**.

Прояв явища інерції нам постійно трапляється в навколишньому світі. Згадай, як важко повернути на гладкому льоду ковзанки — не вистачає зовнішніх сил, здатних змінити напрямок руху. У цьому випадку доводиться використовувати яку-небудь перешкоду — наприклад, такого ж фігуриста, щоб уцепитися за нього, або лавку, щоб відштовхнутися від неї. Коли автобус різко гальмує, пасажирів завжди «кидає» вперед — вони продовжують рухатися завдяки власній інертності. Спробуй уявити собі, що Земля зупиниться в одну секунду. Для жителів екватора

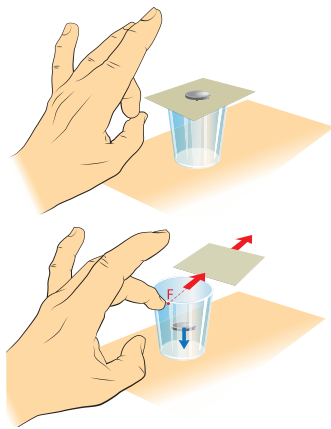


ця зупинка буде схожа на різке гальмування транспортного засобу, який рухається зі швидкістю 1674 км/год, або 465 м/с.

Проведемо уявний дослід. Спробуємо зрушити з місця слона й тенісний м'яч, прикладаючи до них однакову силу. Неважко здогадатись, що потрібна невелика сила, щоб змусити тенісний м'яч почати рух або, іншими словами, змінити швидкість. Якщо таку ж силу прикласти до слона, то він її навіть не відчує. Уявіть собі, з якою швидкістю почне рухатись м'яч, якщо до нього прикласти силу, яка змусить пересуватись слона. Уся справа в інертності, яка у слона набагато більша, ніж у м'яча.

Мірою інертності тіла є його маса. Вона визначає, на скільки зміниться швидкість тіла під дією певної сили. Або чим більша сила, що діє на тіло певної маси, тим більшою є зміна швидкості цього тіла під дією сили. Для ознайомлення з явищем інерції пропоную тобі виконати такий дослід.

### Дослід. «Де покладеш, там і загубиш»



Тобі знадобляться: прозора склянка; пластикова картка або гральна карта; монети 10 і 50 коп.

Постав склянку на стіл. На неї поклади пластикову картку, а на картку — монету. Різко клацни пальцем по картці, вибиваючи її з-під монети.

Спостерігай: картка злітає, а монетка падає в склянку.

### Розбір досліду

Справа в тому, що за різкого вибивання пластикової картки з-під монети час взаємодії цих тіл надто малий. Отже, невелика за величиною сила тертя, що діє на монету, не може

надати їй помітної швидкості в горизонтальному напрямку. Дослід ґрунтується на законі інерції: монета перебуває в стані спокою, а поштовх такий різкий, що рух пластикової картки не встигає передатися монетці.

Монета практично залишається у стані спокою, але, залишившись без опори, під дією сили тяжіння падає в склянку.

Сила, по-перше, є мірою дії одного тіла на інше і, як наслідок, має чисельне значення з одиницею вимірювання ньютон (Н), напрямок і точку прикладання.

## Сила Тертя

Немає людини, яка хоча б раз не послизнулася на льоду! Але ж ми можемо втриматись і не впасти. Чому? Тертя надає нам можливість, по-перше, ходити й бігати у взутті й босоніж; по-друге, не боятися, що книжки «з'їдуть» зі стола, а стіл буде ковзати по підлозі; по-третє, поїсти, не даючи ложці вислизнути з пальців. Погодьтеся: тертя — особливі гальма руху!

Спочатку згадаємо **тертя спокою**. Уяви, що тобі потрібно пересунути диван, але зробити це важко. Що саме заважає зрушити його з місця? Це **сила тертя спокою**! Вона залежить від ваги тіла і стану поверхонь, що стикаються. Стілець або портфель пересунути легше, а щоб зрушити з місця диван, треба докласти більше зусиль.

Проведемо уявний експеримент. Легенько притиснемо долоню до зошита, який лежить на столі, і почнемо зошит пересувати. Він рухатиметься відносно поверхні стола, але буде нерухомим по відношенню до долоні. За допомогою чого ти змусив зошит рухатись? За допомогою тертя спокою зошита об поверхню долоні.

Так само тертя не дає відокремлюватись застібкам-липучкам на взутті та одязі, перешкоджає цвяхам «вилазити» з дощок тощо.





Сила тертя спокою може бути різною. Вона зростає разом із силою, яка намагається зсунути тіло з місця. Але для будь-яких двох тіл, що стикаються, вона має певне максимальне значення, більше за яке бути не може. Якщо прикласти до зошита силу, яка перевищує максимальну силу тертя спокою, зошит зсунеться з місця й почне рухатись. Тертя спокою при цьому замінюється **тертям ковзання**.

Спробуй дати відповідь на простеньке запитання: «Чому зупиняються санки, які скотились із гірки?» Гадаю, ти відповіси за мить: через тертя ковзання. І це правильна відповідь! Якщо до цього ти ще додаси, що сила тертя ковзання завжди спрямована в бік, протилежний напрямку руху, можеш похвалити себе за професіоналізм.

Тертя ковзання виникає завдяки шорсткості поверхонь дотичних тіл. Навіть ті поверхні, які виглядають гладенькими, наприклад скляні, насправді мають дуже дрібні нерівності (виступи й западини). Коли одне тіло ковзає поверхнею іншого, ці нерівності деформують і руйнують одна одну й гальмують рух. Коли якась сила притискає тіла одне до одного, нерівності зминаються, загальна площа контакту поверхонь збільшується, а міжмолекулярне притягання значно зростає.



Уявімо тіло, яке не ковзає по поверхні іншого тіла, а котиться по ній, як колесо або куля. У цьому випадку тертя, що виникає в місці контакту цих тіл, називають **тертям кочення**. Для прикладу розглянемо колесо, що котиться. Воно вдавлюється в поверхню, якою котиться, і, отже, перед ним завжди трапляється нерівність, яку треба подолати. Також відіграє роль міжмолекулярне притягання



у місці контакту колеса та поверхні, по якій воно котиться. Цим і зумовлене тертя кочення. При цьому чим твердіша поверхня, тим тертя кочення менше. Цікаво, що ще в далеку давнину люди помітили: у більшості випадків сила тертя кочення значно менша за силу тертя ковзання.

Буде цікаво побачити силу тертя в дії.

### Дослід. «Тертя — це сила»

Тобі знадобиться: 0,5 кг рисової крупи; пластикова пляшка ємністю 0,5 л; дерев'яна шпажка довжиною 20 см; воронка.

1. За допомогою воронки наповни крупою пластикову пляшку приблизно на  $\frac{1}{3}$  і для ущільнення кілька разів акуратно стукни дном пляшки по столу.
2. Так само наповни крупою пляшку ще на  $\frac{1}{3}$  її об'єму і знову стукни дном об стіл.
3. Заповни пляшку крупою до початку горлечка й ущільни в такий самий спосіб.

Спостерігай: верхня межа рисової крупи опуститься на 1,5–2 см нижче початку горлечка.

4. Увіткни шпажку по центру пляшки у рису так, щоб над пляшкою залишилось приблизно 3–5 см шпажки.
5. Обережно спробуй підняти пляшку, узявшись за шпажку.

Спостерігай: пляшка, наповнена крупою, легко відривається від поверхні стола.



### Розбір досліду

Цей дослід демонструє дію сил тертя ковзання та спокою, які виникають між шпажкою та рисовою крупою.

Під час постукування дном пляшки об стіл змінюється щільність частинок зернової маси — в одиниці об'єму збільшується кількість крупи. Коли шпажка проходить крізь крупу, вона взаємодіє з великою кількістю крупинок, отже, виникає сила тертя ковзання, викликана нерівностями поверхонь зіткнення. Сила тертя ковзання — це сила, спрямована протилежно напрямку руху, тому треба докласти певну силу, щоб заглибити шпажку в рис. Інша картина виникає, коли ми намагаємося витягнути шпажку з пляшки. Сила тертя спокою між крупою та шпажкою досить велика, щоб тримати шпажку в рисі, і пляшка легко відривається від поверхні стола.



### Задачі

1. Перед пранням куртки свого сина мати необачно декілька разів її струсила. Результат був несподіваний: з кишень вилетіли телефон, шоколадний батончик, кольорові камінчики і жувальна гумка без цукру. У чому причина такого дивного явища?
2. У 1851 р. відбулось офіційне відкриття залізниці Санкт-Петербург — Москва. За легендою в цей день стався конфуз: догідливий чиновник, бажаючи вислужитись перед імператором, наказав пофарбувати рейки білою масляною фарбою. Яка проблема через це виникла і як вдалося розв'язати її за допомогою піску?
3. Чому шматок крейди залишає слід на дошці в класі?

### Цікаві факти

У риб луска вкрита шаром слизу, який виділяється шкірними залозами; слиз зменшує тертя тіла риби об воду.

1500 року видатний італійський художник, скульптор і вчений Леонардо да Вінчі проводив дивні досліди. Він тягав по підлозі мотузку. В одному випадку вона була щільно скручена, у другому — розтягнута на всю довжину. Виявляється, ученого цікавила відповідь на питання: чи залежить сила тертя ковзання від величини площі тіл, що стикаються в русі? У результаті він отримав приголомшливий висновок: сила тертя ковзання не залежить від площі тіл, що стикаються.

## Сила пружності

Відповімо на таке запитання: «Що відбувається з тілами, коли їх деформують?» Відповідь проста: коли до тіл прикладають силу, вони розтягуються або стискаються у відповідь на цю силу. Кожне тіло по-різному реагує на зусилля, яке до нього прикладають. Тобі вже відомо, що існує два основних типи деформації: 1) пружна деформація; 2) пластична деформація.

Погодся, було б дивно, якби тебе штовхали, а ти при цьому не чинив опір. Усі тіла чинять опір деформаціям. А роблять це тіла, застосовуючи власну силу. Ця сила у фізиці називається **силою пружності**. Природно, що сила пружності спрямована проти тієї зовнішньої сили, яка хоче змінити зовнішній вигляд тіл.

Англійський натураліст і винахідник Роберт Гук, вивчаючи властивості пружини, помітив, що залежність сили, яку прикладають до пружини, і деформацію, що виникає в пружині, можна узагальнено визначити таким чином: «Сила пружності, яка виявляється за незначної деформації тіла, пропорційна подовженню тіла». І цю залежність називають **законом Гука**.

В земних умовах усі тіла в стані спокою трохи деформовані тому, що кожна



часточка будь-якого тіла відчуває дію зовнішніх сил. Цеглини в стінах будинків, опори мостів, троси й канати, котрі утримують вантажі, стрижні, нитки, пружини — усі вони за деформації виявляють схожі властивості. Звичайно, у більшості тіл результат зовнішнього впливу спостерігати непросто.

Сили пружності використовують в різних видах спорту: стрільбі з лука, стрибках на батуті, стрибках з жердиною тощо. Автомобілі, залізничні вагони, мотоцикли та інші транспортні засоби мають пружні деталі — ресори. Їх застосування дає змогу зробити рух транспортного засобу більш плавним.

У країнах, де часто бувають землетруси, споруди ставлять на спеціальні пружні елементи. Наприклад, у місті Лос-Анджелес фундаменти будинків високої відповідальності (школи, лікарні, електростанції) спираються на декілька еластичних резинових циліндрів, які діють як автомобільні ресори, перетворюючи різкі поштовхи на легку вібрацію. При цьому споруди залишаються майже нерухожими.

### Дослід. «Летюча шпажка!»



Тобі знадобиться: порожній пластиковий контейнер від «Кіндер Сюрприза»; резинка шириною 8 мм; дерев'яна шпажка довжиною 210 мм; ножиці.

1. Спочатку виготов рогатку й набій до неї:
  - 1) у порожньому контейнері від «Кіндер Сюрприза» в обох дінцях у центрі зроби отвори діаметром трохи більшим за діаметр шпажки; відріж резинку довжиною приблизно 19 см; у відкритий контейнер вклади один навпроти одного кінці резинки (приблизно по 1,5 см) і закрив контейнер — вийшла рогатка;
  - 2) обріж шпажку до довжини 15–16 см — це набій.
2. Підготуй мішень.

- Заряди рогатку: протягни набій через отвори в контейнері.
- Тримай контейнер однією рукою, а другою зачепи набій резинкою і, розтягнувши її, зроби постріл.

### Розбір досліду

Рогатка — метальна зброя. Її використання не потребує зайвих зусиль, окрім фізичної сили стрільця. Щоб розтягнути (деформувати) резинку рогатки, необхідно прикласти певну силу, за значенням рівну силі пружності резинки. Чим сильніше розтягнути (деформувати) резинку, тим далі можна запустити соломинку.

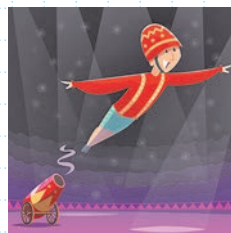
### Цікавий факт

Завдяки використанню дії сили пружності та деформації сконструйовано батут. Перший чемпіонат світу з батутного спорту відбувся в Лондоні в 1964 році.



### Задача

Ще в XIX столітті в цирку з'явився номер під назвою «Людина-ядро». Для цього на арені цирку встановили величезних розмірів гармату, з якої катапультивали людину. «Заряд» пролітав кілька десятків метрів і приземлявся на заздалегідь натягнуту сітку. Глядачі були шоковані цим номером, бо не підозрювали, що постріл був зроблений не за допомогою порохівих газів. Як, на твою думку, працювала ця гармата?



## СИЛА ТЯЖІННЯ

Ще одна сила ховається там, де ми навіть не підозрюємо. Гравітація — приголомшлива фундаментальна сила. **Гравітація** — це природне явище, у якому всі тіла й об'єкти, що мають масу (ми з вами, тіла навколо нас, астероїди, планети, зорі, галактики тощо), тяжіють одне до одного. Чим більша маса тіла, тим більше воно притягує інші тіла.



У фізиці силу гравітаційного тяжіння Землі, котра діє на тіла поблизу її поверхні, називають **силою тяжіння**. На Землі гравітація надає **вагу** всім фізичним тілам. Не плутай: сила тяжіння прикладена безпосередньо до тіла з боку Землі, а вага — до опори або підвісу, на якому перебуває тіло.

Не забувай про зв'язок сили тяжіння й ваги тіла: вага тіла в стані спокою, а також під час рівномірного й прямолінійного руху (відносно Землі) за своїм чисельним значенням дорівнює силі тяжіння, яка на нього діє.

Тобі доводилося зістрибувати з невеликої висоти, коли нема за що ухопитися й нема на що обпертися? У фізиці такий стан тіла називається **невагомістю**. У цьому стані тіла втрачають вагу. Відмітна особливість стану невагомості

в тому, що за невагомості сила тяжіння, яка діє на частинки тіла, не викликає взаємних тисків частинок тіла одну на одну.

### Дослід. «Пляшка в невагомості»

Спостерігати стан невагомості дуже просто. Візьмемо звичайну пластикову пляшку і зробимо у дні маленький отвір.

Якщо налити туди води і не закривати кришку, вона, звісно, буде вилитися. Тепер увага! Щоб зупинити потік води, досить пляшку просто... відпустити, щоб вона вільно падала. Доки вона летить, вода не тече.

## Розбір досліду

І пляшка, і вода перебувають у невагомості. Це означає, що під дією сили тяжіння вони будуть просто вільно падати і їхні швидкості в кожний момент часу будуть співпадати.



## Задачі

1. Маса квадрокоптера і величезної сріблястої повітряної кулі (метеозонду) однакові й дорівнюють 800 г. Як відрізняються сили тяжіння, що діють на кулю і квадрокоптер? Чому вони дорівнюють?
2. Український спортсмен Сергій Бубка встановив 35 світових рекордів зі стрибків із жердиною. Першим у світі він подолав шестиметровий бар'єр. Яка сила допомогла йому це зробити?  
Як змінюється сила тяжіння спортсмена під час стрибка? Чи перестала діяти на нього сила тяжіння, коли він вже приземлився?  
Чому дорівнює вага спортсмена у найвищій точці? А під час падіння?
3. Узимку й улітку автомобілісти купують гуму для коліс із різним рельєфним рисунком і з різним складом гуми. Навіщо вони так роблять?



## Цікаві факти

Якщо сила тяжіння відсутня, павуки плетуть кулеподібну павутину. Це підтвердила серія експериментів на борту Міжнародної космічної станції.

Щоб подолати силу тяжіння Землі, ракета має розігнатися до швидкості 11,2 км/с — це швидкість, за якої космічні апарати залишають навколосезний простір і стають супутниками Сонця.

За відсутності гравітації свічка горить не жовтим, а синім полум'ям. Вогонь не піднімається догори, а розповсюджується в усі боки одночасно: створюється своєрідна вогняна куля.

Після повернення з орбіти космонавти вимушені наново звикати до гравітації на Землі. За час, проведений у космосі, вони нерідко встигають забути про те, що предмети мають вагу і падають, якщо їх відпустити.

Пити газовану воду за відсутності гравітації небезпечно для здоров'я людини: гази розподіляються в організмі хаотично, це може призвести до поганих наслідків.



Український космонавт Леонід Каденюк у спільному українсько-американському проєкті проводив фізичні та біологічні дослідження, у тому числі вивчав вплив стану невагомості на людину. Справа в тому, що на Землі серце і судини мають протидіяти гравітації, щоб доставити кров до голови. В невагомості ця задача стає значно легшою. Так це ж добре? Зовсім ні, тому що кров починає приливати до голови. Так само неправильно починають працювати інші системи організму. Космонавти, які кілька місяців провели на орбіті, після повернення на Землю вимушені знов учитися ходити, незважаючи на щоденні тренування на космічній станції.



# ТИСК. ЗАКОН АРХИМЕДА



# ЧЕРЕЗ СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ



Ти любиш море? А пригоди? Тоді запрошую тебе до морської подорожі. Стоп. Чи вмієш ти плавати? А пірнати? Якщо ні, то цього нескладно навчитися. Але не все так просто. Людина може пірнути на 2–3 метри без проблем. А от далі...

Отже, під час подорожі в нас буде можливість із цим розібратися.



Є невеличка проблема — ми ще не на морі. Та оскільки вже налаштувалися на подорож, спробуємо дістатися до моря Дніпром. Сідаємо в Києві на теплохід і вирушаємо в путь!



Але Дніпро — зовсім не така «гладенька» ріка, як здається. На ній є гідроелектростанції. Наприклад, у місті Запоріжжя на нас чекає гребля найпотужнішої ГЕС України — Дніпровської. Її висота — 60 метрів, тобто як два дев'ятиповерхових будинки. Як наше судно через неї «перестрибне»?

Доки ми пливемо до першої греблі, маємо із цим розібратися.

Яка пора року подобається тобі найбільше? Улітку можна плавати, засмагати, бігати босоніж по траві. А взимку — кататися на лижах, санчатах і ковзанах. Якщо ставати на той

самий сніг на цих знаряддях, то у якому випадку сліди будуть глибшими? Відповідь очевидна. А це ми ще про сноуборд не згадали!

Чому ж одна й та сама людина в ковзанах майже провалиться в сніг, а на лижах спокійно стоятиме на поверхні? Адже вага майже не змінилася.

Ну звісно: вага, тобто сила, з якою людина тисне на сніг, не змінилася, а от площа — так. Чим більша площа поверхні, тим сліди менші. Отже, формула для розрахунку тиску:

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

де  $p$  — тиск,  $F$  — сила, а  $S$  — площа поверхні.

Одиниця тиску — паскаль, тобто ньютон, поділений на метр квадратний:

$$1 \text{ Па} = 1 \text{ Н}/1 \text{ м}^2$$

Чому прізвища видатних учених написані з маленької літери? Тому що це повна назва одиниці фізичної величини. А в скороченому вигляді її записують з великої літери, наприклад: Н = ньютон, Па = паскаль.

Одна з величезних почесей для фізика, коли на його честь називають одиницю фізичної величини.

Якщо наступити на цвях, що стирчить із підлоги, буде дуже боляче та навіть потече кров. Це тому, що, хоча твоя вага і не дуже велика, площа поверхні зовсім маленька.



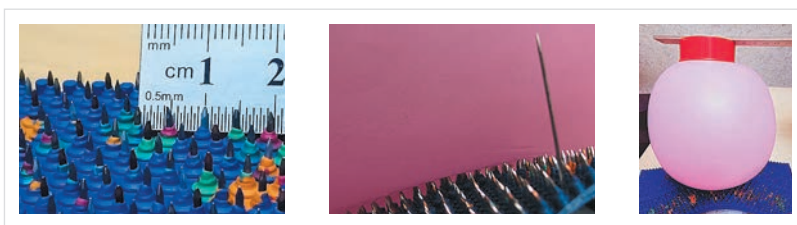


Отже, тиск виходить великий. А от на стілець, рясно вкритий цвяхами, людина може сісти спокійно, навіть із комфортом. Площа поверхні збільшилася в багато разів, і в результаті тиск зменшився.

Не віриш, але не хочеш перевіряти на собі? Тоді проведемо дослід із повітряною кулькою.

### Дослід 1. «На голках чи на стаканах?»

Візьмемо медичний аплікатор. Це такий невеликий масажний килимок із голочками, на якому людина може лежати й навіть стояти. Ми спеціально сфотографували його поруч із лінійкою і зі звичайною швацькою голкою, щоб можна було порівняти їхні розміри. Усі знають, що звичайна голка робить з повітряною кулькою: досить доторкнутися, як кулька відразу ж лопне. А от якщо голок буде багато, вони просто зроблять кульці легкий «масаж» навіть при натисканні.



В тебе немає такого килимка з голками? Для дослідів можна взяти звичайні паперові або пластикові стакани. Що буде, коли ти наступиш на стакан? Здогадатися нескладно: він помнеться і воду тримати вже не буде. Тепер спробуй поставити на підлогу кілька стаканів (від 6 до 10) і накрити їх фанерою чи картонною кришкою від коробки для взуття. Така конструкція може витримати навіть дорослу людину. Але ставати на неї потрібно дуже обережно. Як ти вважаєш чому? І в якому випадку конструкція зможе витримати більшу вагу?

## Розбір досліду

Чому кулька не лопається, а стакани можуть витримати людину? Уся справа в тиску, а саме — у збільшенні площі поверхні. Тиск із боку голок на повітряну кульку набагато менший, ніж тиск однієї голки. А от на конструкцію зі стаканів бажано ставати дуже обережно, особливо на картонну кришку. Спочатку, коли ти наступаєш однією ногою, площа поверхні буде вдвічі менша. Тому під час експерименту спочатку потрібно на щось спиратися, щоб перенести на опору частину ваги. Але це стосується лише картону, бо він не дуже жорсткий. Якщо використовувати фанеру, вага розподіляється на всю площу рівномірно.



## Задачі

1. Площа отвору голки шприца  $0,45 \text{ мм}^2$ , а площа його поршня —  $2 \text{ см}^2$ . Медсестра тисне на нього з силою  $9 \text{ Н}$ . Чому дорівнює тиск? Знайдіть силу, з якою виштовхуються ліки з голки. Шприц замінили на інший, з площею поршня  $5 \text{ см}^2$ , а голку залишили ту саму. Як медсестра має змінити силу тиску, щоб пацієнт не відчув різниці?
2. Який тиск чинить на сніг дівчинка масою  $45 \text{ кг}$ , що стоїть на лижах? Довжина однієї лижі дорівнює  $1,6 \text{ м}$ , ширина —  $10 \text{ см}$ .
3. Знайдіть товщину леза ковзанів, якщо їхня довжина дорівнює  $20 \text{ см}$ , а тиск на лід, який спричиняє в них юний хокеїст масою  $40 \text{ кг}$ , дорівнює  $250 \text{ кПа}$ .



А тепер швиденько робимо наступні експерименти! З голками та стаканами ми вже розібралися, тепер черга звичайних пластикових пляшок.

## Дослід 2. «Сполучені посудини»



Візьмемо дві пластикові пляшки та пластикову трубку. Зробимо невеликі отвори в нижній частині пляшок. З'єднаємо їх трубкою і за допомогою клейового пістолета зробимо з'єднання герметичним. **Ми виготовили сполучені посудини.** Тепер наливаємо в одну пляшку воду. Трохи води перетікає в іншу пляшку, але рівні води не стають однаковими! Відкоркуємо другу пляшку. Якщо ми тепер підніматимемо або опускатимемо пляшки по черзі, то вода буде перетікати з однієї пляшки в іншу, щоб рівні води залишалися однаковими.

### Розбір дослідів

Усе просто: це тиск! **Атмосферний та гідростатичний.** Умова рівноваги: на тіло мають діяти однакові сили в протилежному напрямку. Оскільки тиск — це сила, що діє на одиницю площі, то на поверхню рідини з обох боків має впливати однаковий тиск. За законом Паскаля тиск рідини або газу однаково передається в будь-яку точку в усіх напрямках. Отже, ззовні тисне атмосфера, а зсередини — рідина, тиск якої залежить лише від висоти стовпа.

Вода перетікає в закрити пляшку, повітря стискається, і його тиск зростає. За умовою рівноваги тиск рідини в закритій пляшці має бути меншим, ніж у відкритій.

Формула гідростатичного тиску:

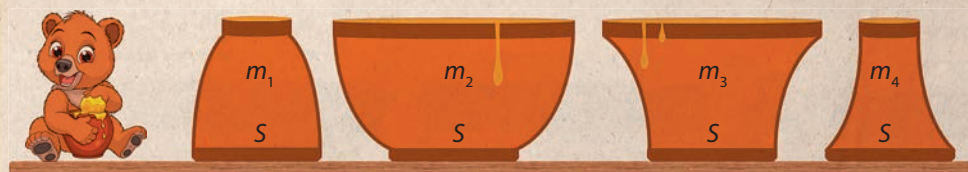
$$p = \rho gh,$$

де  $\rho$  — густина рідини;  $g$  — прискорення вільного падіння поблизу Землі;  $h$  — висота стовпа рідини.

Отже, форма посудини значення не має. Це гідростатичний парадокс.

### Цікавий факт

Ми йдемо в гості до Вінні-Пуха й несемо чотири горщики з медом з однаковою площею дна, але різної форми, як на рисунку. Їхня висота однакова, і всі вони заповнені по самі вінця! Тоді сили, з якими мед тисне на денця, однакові. Але ж кількість меду різна! Так, маса різна, а сила і тиск однакові. Такий парадокс!



$$p_1 = p_2 = p_3 = p_4$$

Чому так? справа в тому, що частина ваги розподіляється ще й на бокові стінки горщиків, якщо вони не вертикальні.

Проведемо ще кілька експериментів зі сполученими посудинами.

### Дослід 3. «Посудини сполучені й не тільки»

На горлечко однієї з пляшок надягаємо повітряну кульку, а воду наливаємо в іншу пляшку. Вода перетікає через трубку, рівні залишаються різними, а повітряна кулька сама починає надуватися! До речі, якщо відкриту пляшку підняти вище, кулька збільшиться.



Тепер обидві пляшки відкриті і з водою. Надуваємо повітряну кульку й надягаємо її на одну з пляшок. Якщо це складно зробити, то спочатку затиснемо горлечко надutoї кульки прищепкою, а після вдягання на пляшку зніmemo її. Спостерігаємо, як повітря з кульки витісняє воду в іншу пляшку.

### Розбір досліду

Як і в попередньому досліді, повітря під кулькою стискається за рахунок води, його тиск збільшується, і кулька сама «надувається».

Коли на пляшку надягли надуту кульку, тиск повітря виштовхнув воду з пляшки. Якщо рівень води впав нижче трубки, а в кульки ще є «запас» повітря, воно також переходить в іншу пляшку просто через воду. Тоді ми побачимо бульбашки.

### Дослід 4. «І знов сполучені посудини»

Для наступного експерименту (і для деяких інших також) нам буде потрібна дуже солонa вода, майже як у Мертвому морі. Для цього в літрі води треба розчинити 8 столових ложок солі. Щоб так «круто» посолити воду, її треба спочатку закип'ятити з сіллю, а потім охолодити.

Починаємо новий експеримент.

Одночасно обережно наливаємо: в одну пляшку розчин солі (його краще підфарбувати харчовим барвником), а в другу — прісну воду. Наливати треба так, щоб рідини не дуже змішувались. Для цього слід спочатку налити рідини до рівнів отворів, а після цього уважно слідкувати за кольором. Деякий час рівень солонної води буде нижчим, а потім поступово зрівняється



з рівнем води в другій пляшці. До речі, колір також стане більш однорідним.

Такий самий дослід можна провести з водою й соняшниковою олією. Тільки для нього використовуй чисті пляшки та нефарбовану воду! У чому буде різниця?

### Розбір досліду

Так, тиск стовпа рідини залежить від її висоти. А від чого ще? За формулою гідростатичного тиску — від густини рідини й прискорення вільного падіння. Оскільки густина розчину солі більша, тому висота стовпа менша. За рахунок дифузії рідини будуть змішуватися, і їх рівні ставатимуть ближчими один до одного.

Олія й вода не змішуються. Густина олії менша, тому її рівень у пляшці буде вищий.

### Дослід 5. «І нарешті, просто фонтан»

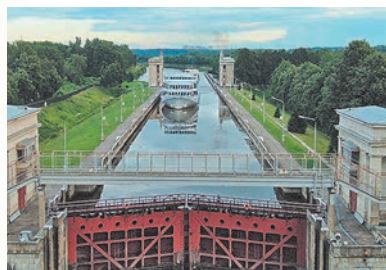
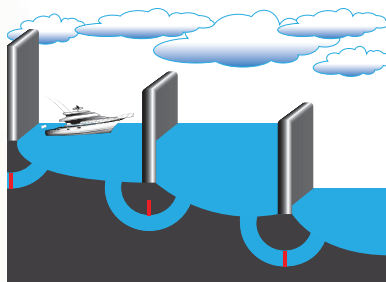
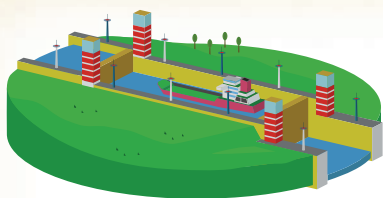
Візьмемо установку і зробимо в трубці, що з'єднує пляшки, маленький отвір. Це не просто фонтан, це майже артезіанська свердловина!

Або одна відкрита (обрізана) пляшка, тоненька трубка, вода. Знов фонтан! Якщо трубку підняти вище рівня води, фонтана не буде. А от якщо опустити нижче...

### Розбір досліду

Ну що тут розбирати? Фонтан — це завжди прекрасно, особливо спекотним літнім днем. Навіть фонтан із пластикової пляшки. А артезіанська свердловина — це джерело чистої смачної води.





Наше судно дісталось першої греблі. А ми розібралися зі сполученими посудинами. Зараз це стане нам у пригоді.

Перед теплоходом — щось схоже на вузький канал, що закінчується стіною. Але раптом у стіні... відчиняються ворота. Перед нами вода, але ні берегів, ні ріки не видно. Це просто камера, хоча й дуже велика. У неї заходить наше судно, і там навіть ще лишається місце. За нами щільно закриваються ворота. Ми бачимо лише стіни та шматок неба. Раптом стіни починають... рости! Ні, це ми опускаємося разом із водою в камері. Що відбувається?

Це — шлюз. У нас є схема шлюзу; тому, доки ми опускаємось, маємо час на те, щоб зрозуміти, як він працює. Виявляється, що герметичні ворота не тільки позаду нас, але й попереду. Там ще одна така сама камера. Під дном ріки ці камери з'єднані трубою, тобто вони і є сполученими посудинами!

Коли ми зайшли через ворота, рівень води в нашій камері був високим, таким, як у водосховищі перед греблею, а труба була перекрита. Тепер її відкрили, вода витікає в наступну камеру, і її рівень у нашій камері швидко знижується. Коли рівні води в нашій та наступній камерах стануть однаковими, ворота між ними можна буде відкрити й потрапити в наступну камеру шлюзу. Ми долаємо греблю такими «сходінками». А з останньої камери ворота відкриваються просто у Дніпро нижче греблі.

Отже, коли ми з'єднали трубкою дві пляшки, то фактично побудували шлюз! А прищепка, якою ми перекривали з'єднання, — це перепускний клапан.

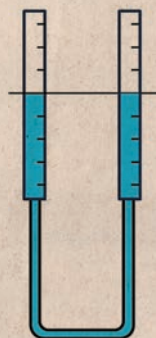
## Цікаві факти

Для того щоб стіни були перпендикулярними стелі й підлозі, а вікна й двері легко відчинялися й зачинялися, фахівці користуються приладом, який має назву будівельний рівень.

Це така рівенька планка, у якій розташована прозора ємність із рідиною, а в рідині — бульбашка повітря. Коли планка розташована горизонтально, бульбашка знаходиться по центру ємності.

Або використовують інший прилад — складний і дорогий лазерний рівень.

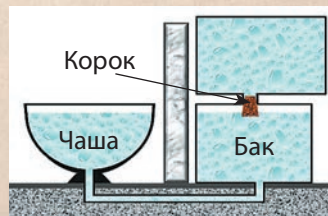
А що робити, коли обладнання, яке треба виставити на одному рівні, розташоване далеко одне від одного або взагалі в різних приміщеннях? Лазер через стінку «не бачить». Тут у пригоді стають сполучені посудини. Такий прилад має назву гідрорівень, його часто використовують на будівництві.

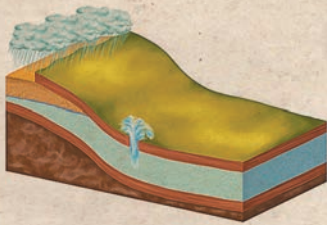


У Стародавній Греції розумілися на сполучених посудинах. У деяких храмах вони створювали так звані невичерпні чаші.

Чашу розташовували у відкритому залі, а за стіною було ще два баки. Один із них був з'єднаний із чашею трубкою. Для наповнення бака існувала ще одна велика ємність із краном. Це був навіть не кран, а корок, який закривав трубу, коли бак був повним.

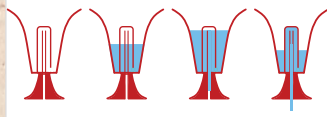
Чаша та бак сполучалися, і рівень води в них був однаковий. Коли із чаші брали воду, рівень води знижувався і в баку. Корок відкривав трубу, і вода додавалася в бак до того рівня, коли корок підніметься і закриє трубу.





Першу відому артезіанську свердловину побудували в 1126 році у Франції в містечку Артуа. З того часу глибокі свердловини називають артезіанськими. Їх будують у тих місцях, де поверхня землі знаходиться нижче водоносного горизонту. Під час риття колодязя в Артуа дуже довго не з'являлася вода. Раптом на великій глибині дно колодязя стало підніматися. Через деякий час із нього почав бити фонтан води. Справа в тому, що артезіанські води розташовані між водонепроникними шарами й часто перебувають під тиском вищих водоносних пластів. Вони набагато чистіші, ніж інші води, бо проходять через вапняний фільтр.

Чаша Піфагора, або справедлива чаша (або кружка жадібності),— посмішка генія.



Цей винахід дозволяє людині випити рідини не більше визначеної кількості. Усередині чаша містить зігнуту трубку, довгий кінець якої виходить униз назовні, а короткий залишається в чаші. Якщо рівень напою не досягає камери у верхній частині трубки, він залишається всередині і напоєм можна полачувати. А коли рівень рідини стає вищим, вона потрапляє в найвищу точку трубки, її тиск «вмикає» сифон, і весь напій виливається назовні.



Відео

Цей пристрій нагадує сифон для чищення акваріума. Щоб вода почала переливатися через стінку акваріума, у трубці треба зменшити тиск, тоді вже воду не зупиниш.

Отже, стародавні греки добре розумілися на сполучених посудинах. Принаймні Піфагор так точно!

# СКІЛЬКИ «ВАЖИТЬ» ПОВІТРЯ?

На глибині, крім атмосфери, на людину тисне ще й вода. З'ясуємо, на якій глибині тиск води буде такий самий, як і атмосферний, тобто приблизно  $10^5$  Па.

Із формули для гідростатичного тиску  $p = \rho gh$  отримуємо

$$h = \frac{p}{\rho g},$$

де  $\rho = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$  — густина води, а  $g \approx 10 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ .

Отже,  $h \approx \frac{10^5}{1000 \cdot 10} \approx 10$  м, тобто шар води глибиною 10 метрів буде створювати такий самий тиск, як і атмосфера Землі на рівні моря. Більш точні розрахунки дають значення 10,3 м.

Тиск — це фізична величина, для вимірювання якої використовують багато одиниць. Ти вже знаєш, що в СІ тиск вимірюють в паскалях (Па, або Pa), а ще є фізична й технічна атмосфери, бари, міліметри ртутного та водяного стовпчика, *psi* тощо. Як же в них розібратися?

Атмосфери й бари — це майже те саме. Торрічеллі виміряв, що тиск однієї атмосфери на рівні моря приблизно дорівнює тиску стовпчика ртуті висотою 760 мм. Густина ртуті  $\rho = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Отже, за формулою  $p = \rho gh$  атмосферний тиск дорівнює  $p = 13\,600 \cdot 9,8 \cdot 0,76 = 101\,300 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$ .

Ми вже розрахували висоту водяного стовпа. І справді, оскільки густина води в 13,6 разів менша за густину ртуті,



то висота водяного стовпа буде в стільки ж разів більша, тобто приблизно 10 метрів. Отже,

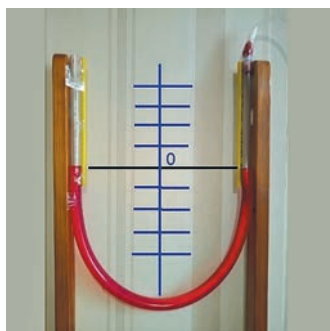
$$1 \text{ атм} = 1,013 \cdot 10^5 \text{ Па} \approx 10^5 \text{ Па}$$

$$1 \text{ атм} = 760 \text{ мм рт. ст.} = 0,76 \text{ м рт. ст.}$$

$$1 \text{ атм} = 0,76 \cdot 13,6 = 10,3 \approx 10 \text{ м в. ст.}$$

## Дослід 1. «Манометр»

Проведемо вимірювання тиску. Для цього нам не потрібні складні прилади. Ми виготовимо їх самі.



Візьмемо прозору силіконову трубку (діаметр 16 мм) і зігнемо її у вигляді англійської літери U. Закріпимо її таким чином, щоб кінці трубки були на одному рівні. Між ними встановимо шкалу: аркуш паперу з певними рисками. Ми впевнилися, що рівень рідини в обох половинах трубки однаковий. Позначимо цей рівень на шкалі нулем.



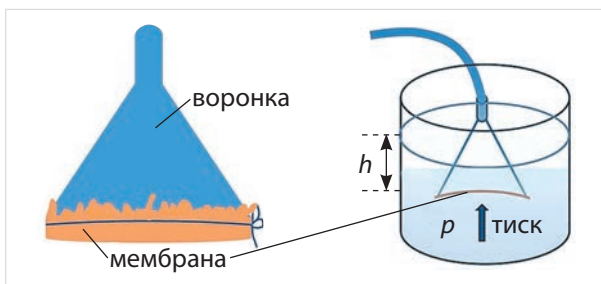
Тепер нам потрібна інша трубка — тонка та довга (діаметр 6 мм), яка щільно ввійде в трубку манометра. Виготовимо мембрану: на широку частину воронки натягнемо невеликий шматочок гуми з повітряної кульки й ретельно перев'яжемо їх (ниткою або гумою). З'єднаємо один кінець трубки з воронкою, а інший — із манометром. Для герметичності з'єднання скористаємось термоклеєм. Трохи схоже на душ, чи не так?

Ми виготовили манометр, тобто прилад для вимірювання різниці тисків. Тепер будемо занурювати воронку

з мембраною на різні глибини й вимірювати гідростатичний тиск, тобто визначати рівень рідини в обох колінах.

## Розбір досліду

Під дією гідростатичного тиску мембрана вигинається. Надлишковий гідростатичний тиск призводить до «виштовхування» води із закритого коліна манометра. Отже, під час занурення воронки у відро на більші глибини різниця між рівнями рідини в манометрі буде зростати. Цей дослід схожий на дослід із пляшками. Але за допомогою шкали ми можемо вимірювати різницю тисків у міліметрах водяного стовпа. Зробивши вимірювання глибини занурення мембрани та гідростатичного тиску, ми можемо перевірити справедливність формули  $p = \rho gh$ .



## Дослід 2. «Хто сильніший — вода чи повітря?»

Візьмемо звичайнісіньку пластикову пляшку (краще від мінеральної води). Тримавши голку (або тоненький цвях) плоскогубцями, нагріємо її над полум'ям і ближче до дна зробимо в пляшці маленький отвір.

Цей дослід доцільно проводити у ванній кімнаті або влітку десь на березі річки чи моря. Наберемо повну пляшку води й ретельно закриємо її кришкою. Чи багато води вилилося через отвір? Якщо не стискати пляшку, то кілька крапель — і все.



Відео



Тепер повільно відкриваємо пляшку. Один-два оберти — і струмінь води тече! У кого досі не було водяного пістолета, тепер він його має.

Зробимо кілька отворів у пляшці на різній висоті. Щоб було зручніше набирати воду (усі отвори одночасно складно закривати пальцями), можна вставити в отвори зубочистки. По черзі відкриваємо отвори і спостерігаємо за струменями води. Чим нижче отвір, тим більша відстань, на яку б'є струмінь, тобто швидкість води буде більшою. Коли рівень води в пляшці зменшується, струмені стають слабкішими.

### Розбір досліду

У всьому знову винен тиск! Коли пляшка закрита, то зовні на воду діє атмосферний тиск, а зсередини — гідростатичний. Висота стовпа води у пляшці набагато менша десяти метрів, а тому гідростатичний тиск менший за атмосферний.

У пляшці під кришкою ще було повітря, але коли трохи води вилилося, воно розширилося і його тиск зменшився.



Відкриваємо кришку — і тиск усередині стає більшим, ніж зовні. Тепер він дорівнює сумі атмосферного і гідростатичного тисків. Чим більша «глибина», на якій розташований отвір, тим більше і стовп води, і її тиск, і швидкість витікання.

Ми провели вимірювання та деякі розрахунки. А тепер хотілося б уявити, що ж це за тиск такий — одна атмосфера. Для цього розрахуємо, з якою силою тисне атмосфера на поверхню площею  $1 \text{ см}^2$ :

$$F = p \cdot S.$$



Оскільки в одному квадратному метрі 10000 см<sup>2</sup>, то

$$1 \text{ см}^2 = 10^{-4} \text{ м}^2, \text{ а } F = 10^5 \cdot 10^{-4} = 10 \text{ Н.}$$

Отже, сила дорівнює 10 Н, а це — вага тіла масою 1 кг!

Це означає, що на кожен квадратний сантиметр нашого тіла тисне вантаж масою 1 кг. Уявили? Це і є одна атмосфера. Виникає питання: чому ми цього не відчуваємо? Справа в тому, що в тканинах нашого тіла є і рідина, і газ, тиск яких зрівноважує атмосферний тиск.



### Дослід 3. «Важка газета»

Чи залежить вага газети від того, згорнута вона чи ні? Яка з них важча? Не здається, що запитання якісь дивні?



Візьмемо звичайнісіньку лінійку й покладемо її на стіл так, щоб приблизно половина її висіла в повітрі. Ледь-ледь, щоб не впала. На той кінець, що лежить на столі, покладемо згорнуту газету. А тепер сильно вдаримо по вільному кінцю лінійки. Мабуть, газета улетить разом із лінійкою.

Тепер повністю розгорнемо газету й накриємо нею лінійку. Повторимо дослід. Це треба робити обережно, щоб не зламати лінійку. Як би сильно ми не били, лінійка трохи підскачить, але газету не підніме, хіба що може її прорвати. Отака важка газета!

## Розбір досліду

Ти вже здогадався, що це не газета така важка, а атмосферний тиск такий «сильний»? Та все зовсім не так просто, адже між газетою і поверхнею стола також є повітря, отже тиск з усіх боків однаковий. Після удару на газету буде діяти сила опору повітря, і саме вона заважає руху газети.

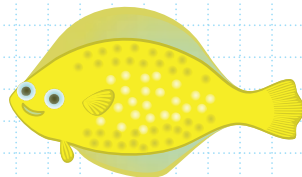
Візьмемо поліетиленову плівку, площа якої дорівнює площі згорнутої газети. Трохи змочимо її і повторимо дослід з лінійкою. Поверхня стола має бути гладенькою, щоб плівка до неї прилипла. От тепер ми досліджуємо саме атмосферний тиск! Відірвати невелику мокру плівку від поверхні стола буде так само складно, як і велику газету. Для цього лінійку треба повернути, щоб плівка відлипла від столу.



## Задачі

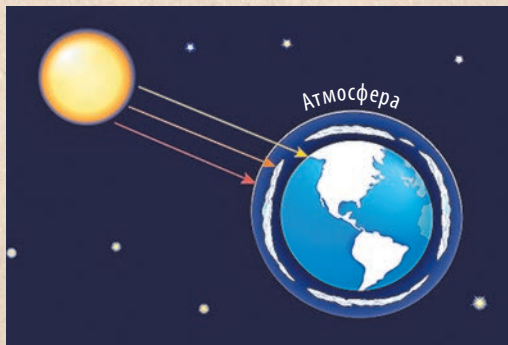
1. У пляшці зроблено три отвори. Розрахуй тиск води, під яким витікає кожний струмінь у даний момент. Висота стовпа води дорівнює 28 см, а отвори знаходяться на висотах 10 см, 18 см і 25 см від дна пляшки. Як зміниться тиск, якщо замість води в пляшку налити олію або 25-відсотковий цукровий сироп? Густина олії дорівнює  $920 \text{ кг/м}^3$ , а сиропу —  $1105 \text{ кг/м}^3$ ?
2. Розрахуй, вантажі якої маси треба покласти на лінійку, щоб ними можна було замінити атмосферний тиск на газету і на плівку. Розміри газети, яку ми взяли, —  $60 \times 40 \text{ см}$ , а розміри плівки —  $20 \times 30 \text{ см}$  (як аркуш альбому). Проведи досліди і зроби власні вимірювання та розрахунки.

3. Спробуй оцінити масу атмосфери Землі, якщо радіус нашої планети  $R \approx 6400$  км. Площу поверхні сфери можна розрахувати за формулою  $S = 4\pi R^2$ .
4. Знайди силу, зумовлену атмосферним тиском, що діє на поверхню тіла дорослої людини. Вважай, що площа поверхні тіла людини дорівнює  $1,6 \text{ м}^2$ .
5. Риба камбала перебуває на глибині 460 м. Площа тіла поверхні дорівнює  $530 \text{ см}^2$ . Знайди силу, з якою її стискає вода.



## Цікаві факти

Атмосфера — це не лише повітря, яким ми дихаємо. Це наш щит. Вона захищає Землю від переохолодження та перегріву. Озоновий шар на висоті близько 20 км захищає нас від сонячної радіації. А ще повітря — це захист від метеорів. Від тертя вони згорають, не долітаючи до поверхні Землі.





За рахунок сонячної енергії потужна теплова «машина» щорічно піднімає в атмосферу 511 тисяч кубічних кілометрів води, з них 411 тисяч кубічних кілометрів — з поверхні океану. Завдяки вітру й конвекції пара долає великі відстані й повертається на землю у вигляді опадів. Морська вода стає прісною і очищується. Цей процес протікає досить швидко: вся вода повертається на поверхню Землі трохи менше ніж за два тижні. До чого тут атмосферний тиск, ти дізнаєшся з наступних частин книги.



Навіщо потрібна подушка? Щоб зручніше було відпочивати. А щоб прибирати? Чи можна підняти холодильник або, наприклад, пральну машину, щоб їх посунути, за допомогою подушки? За допомогою надувної подушки — можна. Просто уяви собі, що звичайну повітряну кульку підсунули під важкий предмет і надули. Це незручно, і кулька врешті-решт лопне. Тому пневматична подушка для підйому вантажу набагато міцніша, а надувають її насосом.

**Відео «Повітряний підйомник»**



1654 рік. Місто Магдебург. Щоб довести існування атмосферного тиску та зробити презентацію свого насоса, Отто Геріке влаштував справжнє наукове шоу. Він викачав повітря з порожнини між двома металевими півкулями, складеними разом. Їхній діаметр приблизно дорівнював 35,6 см. Тиск атмосфери так сильно притиснув півкулі одну до одної, що 8 пар коней не змогли їх розділити.

Коні бувають різні. Є породи могутніх коней (їх називають ваговозами), які можуть розвивати тяглове зусилля в 900 Н. Зусилля восьми таких коней дорівнює 7200 Н. Звичайний кінь розвиває зусилля приблизно в 300 Н.

Отже, розрахуємо, який тиск притискав одну півкулю до іншої. Площа круга дорівнює:

$$S = \pi r^2 = 3,14 \cdot 0,178^2 \approx 0,1 \text{ м}^2.$$

Атмосфера тисне на поверхню півкулі з силою

$$F = p \cdot S, F = 10^5 \cdot 0,1 = 10000 \text{ Н}.$$

12 звичайних коней розвивають силу 3600 Н, тобто майже втричі меншу. А як ти вважаєш, чи змогли б 8 ваговозів розірвати півкулі? А 12 ваговозів?

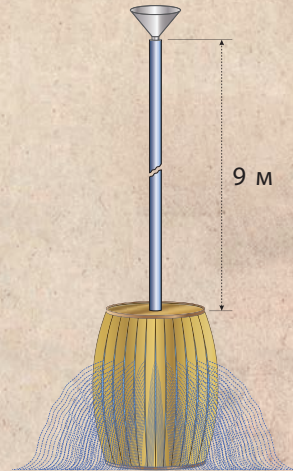


Блез Паскаль — автор багатьох оригінальних дослідів з атмосферним тиском.

В одному з них використали герметичну дубову діжку з водою. Туди вставили вертикальну скляну трубку, яка досягала другого поверху. Бочка лопнула, коли з балкона через трубку в неї долили всього кілька кувалд води.

Також Паскаль повторив дослід Торрічеллі із запаяною трубкою і ртуттю. Якщо в трубку налити ртуть, затиснути трубку пальцем і перевернути в чашку зі ртуттю, то частина рідини залишається в трубці (її висота приблизно 76 см). Це є принципом дії ртутного барометра. На замовлення Паскаля склудуви виготовили трубки довжиною 12 метрів. Їх прив'язали до щогли вітрильника і заповнювали водою та іншими рідинами. Рівень рідин відрізнявся, бо залежав від їхньої густини. А ще Паскаль помітив, що рівень рідини залежить від погоди.

Нарешті, був проведений дослід, який довів, що атмосферний тиск залежить від висоти. Одного дня за допомогою трубки зі ртуттю тиск був вимірний біля підніжжя і на вершині гори Пюї-де-Дом (висота 1647 метрів). Висота стовпчика ртуті на горі виявилася меншою майже на 9 см! На честь цього відкриття одиницю тиску назвали паскалем.



# ЛЮДИНА ПІД ВОДОЮ

Ми плануємо пірнати, тому розглянемо детальніше, що відбувається з рідиною і газами всередині нашого тіла. Під час занурення у воду зовнішній тиск зростає! Відповідно збільшується і тиск рідини в організмі. Так само і тиск повітря, що знаходиться в легенях, зростає, бо вони оточені м'якими тканинами, які стискаються самі й стискають повітря.

## Дослід 1. «ЯК МИ П'ЄМО?»



Чи вміємо ми пити? Що тут питати? Треба спробувати!

Виготовляємо пристрій для напоїв. У кришці від пластикової пляшки зробимо два отвори для трубочок і з'єднаємо їх герметично. Клей не є харчовим матеріалом, але це місце з напоєм контактувати не буде. Бажано, щоб одна соломинка була гофрована й гнучка, а інша — гладенька. Гладенька соломинка має досягати нижньої частини пляшки.



Наповнимо пляшку питною водою приблизно до середини й щільно закриємо її кришкою з трубочками. Спробуємо пити через гнучку соломинку. Це нескладно. А тепер закриємо отвір другої трубки пальцем. Щось попити водички не дуже виходить.

Тепер беремо дві соломинки й тоненькою голкою робимо отвір на місці згину на одній із них. Можна починати

експеримент. Воду або сік із чашки за допомогою цілої соломинки випити можна, а за допомогою «підготовленої» — ні.

І знову дві соломинки. Обидві беремо в рот, але одну занурюємо в напій, а іншу — ні. Вийшло випити що-небудь? Знову ні?



Відео

## Розбір досліду

Коли людина п'є через соломинку, вона м'язовим зусиллям розширює грудну клітку й створює низький тиск в легенях, ротовій порожнині та соломинці. У першому експерименті, коли друга соломинка відкрита, вода піднімається, бо з іншого боку на неї тисне атмосфера. Якщо закрити другу соломинку, то різницю тисків створити вже не вийде.

У другому експерименті отвір у соломинці не дозволить зробити в ній низький тиск, бо з'єднає її з повітрям, тому «насос» не працюватиме.

У третьому експерименті зайва трубка також з'єднає ротову порожнину з атмосферою.

Отже, виявляється, що не так-то і легко «просто попити водички».



## Задачі

1. Розрахуй висоту стовпа морської води, який створює тиск, що дорівнює атмосферному. Густина морської води —  $1025 \text{ кг/м}^3$ , а атмосферний тиск —  $1,013 \cdot 10^5 \text{ Па}$ .
2. У скільки разів тиск на глибині 50 метрів перевищує атмосферний?
3. Чому має дорівнювати тиск повітря, яке вдихає дайвер, якщо людина перебуває на глибині 35 метрів?

4. Порівняйте подані манометри. Яку максимальну глибину моря можна виміряти кожним із них?



Наш теплохід уже вийшов у Чорне море і прямує до Одеси. Якщо ми хочемо завітати там до дайвінг-клубу та спробувати поплавати з аквалангом, то маємо розібратися з фізичними та біологічними процесами, що відбуваються під водою.

Почнемо з легенів. Процес дихання схожий на процес пиття через соломинку: м'язове зусилля розширює грудну клітку і створює низький тиск в легенях та в дихальних шляхах, що призводить до вдиху. Легені оточені м'якими тканинами, які під дією зовнішнього тиску стискаються. Отже, якщо зовнішній тиск і тиск повітря, яким ми дихаємо, співпадають, то дихати можна. А от якщо пірнути, наприклад, на 5 метрів і взяти таку довгу трубку для дихання, щоб вона діставала повітря ззовні, то різниця тисків у легенях і на поверхні буде складати пів атмосфери. М'язових зусиль не вистачить, щоб зробити вдих.

### Дослід 2. «Як ми дихаємо?»

Візьмемо повітряну кульку, вдягнемо її на горлечко пластикової пляшки й запроavimo всередину. Тепер спробуємо надути кульку. Не виходить?

А якщо стиснути пляшку, то кулька, навпаки, вискочить назовні й трохи надується.

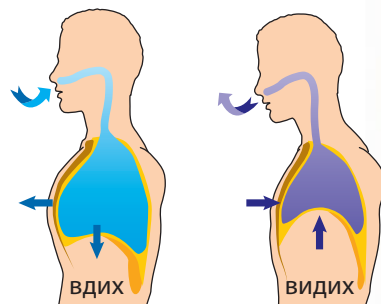


Тепер відріжемо від пляшки дно і замінимо його мембраною, зробленою з іншої кульки. Спробуємо знов надути першу кульку. Тепер це вдається, причому мембрана вигинається вниз. А під час спроби вдихнути втягується в середину пляшки.

### Розбір досліду

Та що тут розбирати? Усередині пляшки вже є повітря, і його тиск не менший за атмосферний. Стискання пляшки імітує видих. А під час вдиху, навпаки, об'єм грудної порожнини збільшується, зменшуючи тиск. Це призводить до втягування повітря в легені.

Ми замінили дно пляшки пружною мембраною, і імітація процесу дихання стала точнішою. А мембрана — це модель діафрагми.



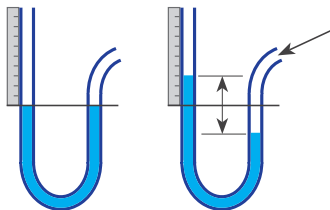
### Дослід 3. «ЯКИЙ ТИСК МОЖНА СТВОРИТИ НА ВИДИХУ?»

Нам потрібен манометр, причому це має бути прозора трубка довжиною не менше 4 метрів. Її можна прикріпити просто до стіни або до дверей, а потім налити води до середини та додати до системи лінійку або рулетку. Від цього рівня ми будемо позначати різницю тисків. Візьмемо вільний кінець трубки манометра в рот і з усієї сили



різко подуємо туди. До якої максимальної відмітки підніметься вода в трубці? Чи зможемо ми «видути» воду з манометра?

### Розбір досліду



Різниця тисків у трубках манометра визначить тиск, який наші легені створюють на видиху. Для цього показники шкали, як видно з рисунку, треба помножити на 2. У кожній людини результат буде свій, але дослід показує, що навіть якщо дуже постаратися, ми не зможемо видути воду з трубки. Тобто наші легені не можуть створити навіть тиск, що дорівнює 2 метрам водяного стовпчика, тобто 0,2 атмосфери.

Цей самий прилад допоможе виміряти тиск не тільки на видиху, а й на вдиху.

Отже, із цих дослідів зрозуміло, що апарат для дихання має подавати повітря під тиском, який дорівнює тиску оточуючого середовища. Як цього досягти?

Рішення знайшли Жак-Ів Кусто та Еміль Ганьян. У 1943 році вони виготовили апарат, який отримав назву акваланг і став найпопулярнішим апаратом для підводного плавання. Вони



скористалися розробками пристрою для регулювання тиску під час подачі газу у двигун. Редуктор акваланга містить мембрану, яка вигинається під дією тиску води. Таку саму мембрану, яку ми використовували для виготовлення манометра (тільки зроблену не з повітряної кульки)!

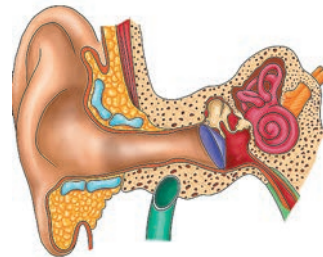
Редуктор встановлюють на балони, у яких повітря знаходиться під великим тиском (200–300 атмосфер). Але не можна просто відкрутити вентиль такого балона та дихати, бо повітря розірве легені. Редуктор регулює тиск:

під дією води мембрана вигинається й відкриває пристрій для подачі повітря. Коли тиски вирівнюються, мембрана повертається на місце та закриває балон.



Отже, акваланг дає можливість повітрю надходити в легені під таким самим тиском, що й тиск зовнішній. Його назва складається з двох слів: *aqua* (вода) і *lung* (легені), тобто підводні легені.

Усередині вуха також є порожнина з повітрям, яка відділена від зовнішнього середовища лише барабанною перетинкою завтовшки пів міліметра. Кістки черепа під впливом надлишкового тиску не деформуються, тому удар приймає на себе ніжна барабанна перетинка. Якщо під час занурення не вирівнювати тиск, можна отримати баротравму вуха, тобто розрив барабанної перетинки.



Діаметр барабанної перетинки дорівнює приблизно 0,9–1 см, тобто її площа  $S \approx 0,7 \text{ мм}^2$ . Оскільки на поверхні Землі на один квадратний сантиметр «тисне» вантаж в 1 кг, то на барабанну перетинку «тисне» приблизно 700 г, причому з обох боків. Отже, під час занурення на глибину 3 м перепад тисків складає 0,3 атмосфери, а це додатковий вантаж масою 200 г. Біль у вухах сигналізує, що далі збільшувати тиск небезпечно.

А як же пірнають дайвери?

Слухова, або евстахієва, труба з'єднує вухо з носоглоткою. Зазвичай вона закрита, але під час ковтання відкривається, і тиск може зрівнятися із зовнішнім. Дайвери користуються спеціальною технікою «продування».

Під час вирівнювання тиску людина відчуває характерне клацання у вухах. До речі, в літаку на висоті також іноді «закладає» вуха. Для зрівнювання тиску можна смоктати льодяники або пити, особливо через соломинку.

#### Дослід 4. «Простий, але небезпечний»

Відкриємо пляшку із сильногазованою водою. У ній майже в усьому об'ємі будуть утворюватися бульбашки вуглекислого газу. Що ж тут небезпечного?



#### Розбір дослідів

Розберемося, як бульбашки могли опинитися всередині рідини і чому стали виходити з неї лише після відкриття пляшки. Узагалі гази розчиняються у воді. Якщо в тебе є акваріум, ти знаєш про це. Риbam також необхідно дихати, і кисень вони беруть із води. Отже, щоб зробити воду газованою, через неї пропускають вуглекислий газ.

Зверніть увагу: пляшка сильногазованої води тверда, стиснути її майже неможливо, хоча над водою є трохи повітря. Чим більший тиск, тим більшу кількість газу можна розчинити в рідині. Коли ми відкриваємо пляшку, тиск зменшується

до атмосферного і кількість розчиненого газу, яку може «втримати» вода, також зменшується. «Зайвий» газ стає бульбашками по всьому об'єму пляшки. Зовні цей процес нагадує кипіння.

Що ж такого небезпечного в цьому досліді? Майже нічого, якщо ти не дайвер або льотчик. Коли дайвер занурюється, він деякий час дихає повітрям, тиск якого суттєво більший за атмосферний. У його крові збільшується кількість розчиненого азоту, бо повітря складається з азоту на 78 %. Коли дайвер різко спливає, тиск падає і в крові утворюються такі самі бульбашки. Вони перекривають судини, що призводить до важкої кесонної хвороби або навіть спричиняє смерть.

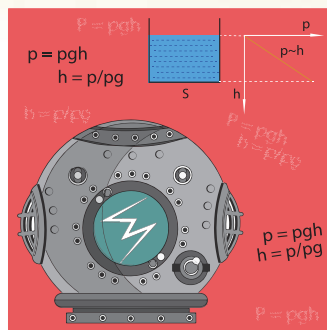
Щоб уникнути такого захворювання, дайвер має підніматися з глибини повільно, зупиняючись на різних глибинах для декомпресії, тобто для того, щоб «зайвий» азот устиг вийти з крові. Якщо підйом був аварійним, людину відразу мають помістити в барокамеру, тобто в камеру з підвищеним тиском.

Якщо на великій висоті відбувається розгерметизація літака, льотчику загрожує така сама небезпека. Іноді помилково кажуть, що його кров «закипає».

## Дослід 5. «Водолазний дзвін»

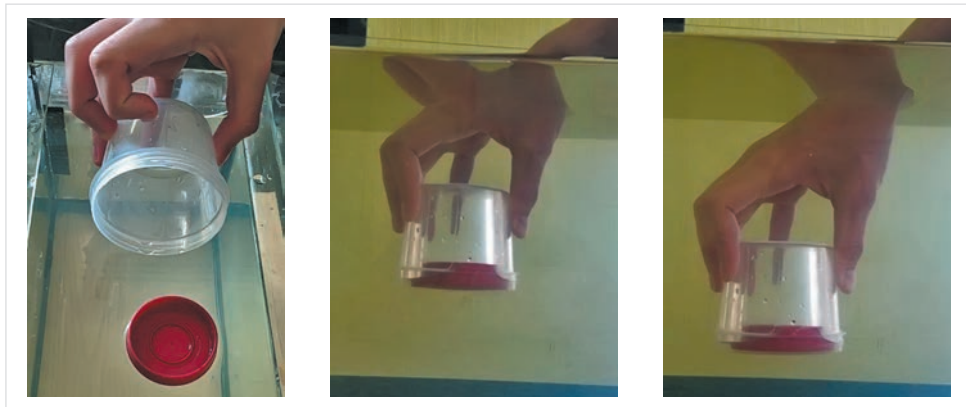
Водолазний дзвін — це відкрита камера, у якій людину або обладнання можна опустити під воду.

Для досліді нам знадобляться: велика прозора пластикова пляшка (5 літрів) із відрізаним верхом або акваріум (це буде наше море), невелика



Відео

прозора посудина, пластикова кришка та серветка. Наповнимо велику посудину водою трохи не до верху, щоб залишилось місце для дзвона. Друга посудина буде нашим повітряним дзвоном.



Пластикову кришку покладемо на поверхню води, а зверху — маленьку суху серветку. Тепер зануримо дзвін до дна (відкритою частиною вниз!) так, щоб кришка опинилася всередині. Через прозорі стінки видно, що рівень води у дзвоні піднімається, а кришка плаває на поверхні. Вийнявши дзвін із води, ми бачимо, що паперова серветка навіть не намокла.

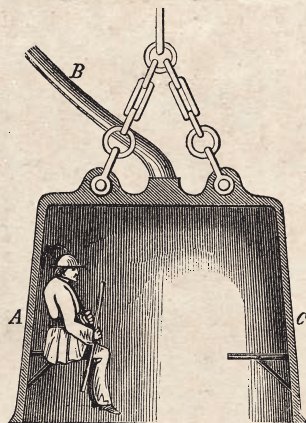
## Цікаві факти



Під час зльоту літака тиск у салоні знижується, а під час заходу на посадку — зростає. Тому в польоті часто «закладає» вуха. Якщо в людини застуда або є запальний процес у вусі, то слиз і набряк можуть звужити або заблокувати слухову трубу. Це перешкоджатиме вільному проходу повітря. Із цієї причини небажано літати із закладеним носом і застудою.

У водолазному дзвоні людину можна опустити під воду. За рахунок повітря, яке нагнітають із поверхні, у ній підтримують тиск, достатній для компенсації зовнішнього тиску. Водолаз може покидати дзвін для виконання робіт через відкрите дно.

Ще Арістотель описував використання водолазного дзвона: «...Вони дозволяють нирцям добре дихати, опускаючи котел, тому що він не наповнюється водою, але затримує повітря, бо прямує вниз, у воду».

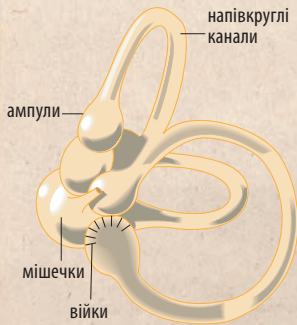


Винахідник акваланга Жак-Ів Кусто присвятив усе своє життя дослідженню Світового океану. Він став режисером багатьох науково-популярних фільмів, зокрема «Підводної Одиссеї», написав безліч книг про підводний світ. Друзі та знайомі називали його Капітаном Кусто. Він відкрив «блакитний континент» для багатьох людей.

Жак-Ів Кусто мріяв про підводні фото- і кінозйомки. З підручних матеріалів він зібрав першу водонепроникну відеокамеру для підводного плавання, розробив освітлювальний прилад, а пізніше — першу телевізійну систему, здатну знімати відео на великій глибині. Його документальна картина «У світі безмовності» була нагороджена найпрестижнішими кінематографічними преміями «Оскар» і «Золота пальмова гілка».

Протягом 31 року він був директором Океанографічного музею в Монако, відомого як «Храм моря». Тепер на подвір'ї музею стоїть своєрідний пам'ятник Кусто — глибоководний жовтий дослідницький човен (батискаф).





Вестибулярний апарат — це орган людини, розташований у середньому вусі. Він оцінює, наскільки різко ми нахилиємо чи повертаємо голову. Він містить три напівкруглі канали, розташовані перпендикулярно один до одного так само, як координатні осі  $x$ ,  $y$ ,  $z$ . Канали заповнені густою рідиною. Під час різкого повороту або нахилу голови через власну інертність ця рідина починає рухатись у протилежному напрямку. Рідина спричиняє тиск на війки клітин-рецепторів, а вони вже передають сигнали в мозок.



Відомий харківський біолог Андрій Утевський, який неодноразово брав участь у підводних дослідженнях на українській станції «Академік Вернадський» в Антарктиді, у 2018 році розповів про це в інтерв'ю BBC України.

Йому доводилося занурюватися на глибину до 60 метрів, потрапляти під льодові поля. При цьому часто виникала необхідність у тривалих декомпресіях. Так, після одного занурення йому довелося підніматися на поверхню майже 65 хвилин.

У таких складних умовах українські вчені збирають унікальний науковий матеріал, відкривають нові, невідомі науці види тварин.

До речі, масштабні підводні дослідження в Антарктиді проводять лише три країни: Британія, США та Україна.

У підводних мандрах людину очікують різні небезпеки. Баротравму можна отримати не тільки під час спуску під воду. Баротравма легенів виникає під час швидких підйомів дайвера з глибини, коли надлишкове повітря не встигає виходити назовні. При цьому воно розширюється, і альвеоли (маленькі комірочки з повітрям, у яких власне й відбувається газообмін між повітрям і кров'ю) можуть розірватися. Щоб цього уникнути, не можна затримувати дихання під час підйому і треба підніматися з глибини не швидше за бульбашки повітря.



# КУДИ «ПАДАЄ» БАРОМЕТР

У фільмах та книгах про піратів буває так, що капітан вітрильника каже: «Барометр падає!» — і командує: «Прибрати вітрила!» Але при цьому прилад не летить за борт. «Літати», причому швидко, починають матроси. Чому команда корабля починає ретельно готуватися до шторму?

Барометр — це прилад для вимірювання атмосферного тиску. У ті часи, коли не було метеостанцій, супутників та інтернету, це був найнадійніший спосіб для визначення прогнозу погоди. Недарма крім шкали на приладі позначені ще сонце та хмари. Як покази барометра пов'язані з погодою? Тут треба розбиратися з атмосферним тиском. Чому він змінюється й до чого це призводить?

## Дослід 1. «АТМОСФЕРНИЙ ТИСК»

Візьмемо пластикову пляшку і наллємо в неї 200–300 мл гарячої води. Її температура має бути не більше 70 °С. Обережно! Якщо вода буде дуже гарячою, пляшка деформується. Збовтаймо воду так, щоб повітря у пляшці добре нагрілося. Тепер виллємо воду й герметично закриємо пляшку. Коли повітря у пляшці охолоне, пляшка буде виглядати так, наче на неї наступили. (Щоб прискорити процес, занурте пляшку в холодну воду.)



## Розбір досліду

У відкритій пляшці тиск теплого повітря дорівнює атмосферному. У закритій пляшці повітря із часом стає холоднішим, його об'єм і тиск падають. Отже, тиск і об'єм повітря залежать від температури.

## Дослід 2. «Автоматична напувалка для птахів»



Для напувалки нам стануть у пригоді: пластикова пляшка, кришка від банки або інша посудина та матеріали для кріплення.

Матеріали залежать від того, якого птаха ми будемо напувати,— хвилястого папугу чи курку.

По-перше, потрібно зробити просте кріплення для перевернутої пляшки. Її треба розташувати над кріпленням так, щоб горлечко знаходилося трохи нижче рівня води. Але потрібно зробити так, щоб пляшку можна було легко зняти, наповнити водою й повернути на місце.

Тепер пляшку наповнимо водою, обережно перевернемо та вставимо в кріплення. Якась кількість води потрапить у кришку. Але в той момент, коли горлечко пляшки опиниться під водою, рідина вже не витікатиме.

## Розбір досліду

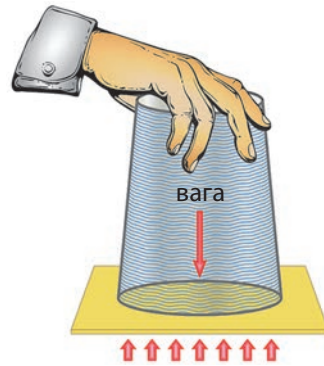
Вода не буде вилитися з кришки, тому що зовні на воду впливає атмосферний тиск, а всередині — гідростатичний тиск.

Крім цього, у пляшці є трохи повітря. Коли вода витікає, воно розширюється і тиск падає. Вода витікає, доки сумарний тиск цього повітря й води стане таким самим, як і атмосферний. Ти ж пам'ятаєш: на один малесенький квадратний сантиметр тисне цілих 10 ньютонів!

Пташка випила пару крапель — зовні рівень води зменшився, і з пляшки знов витекло трохи води.

### Дослід 3. «Перевернута кришка»

Схожий дослід можна зробити з пляшкою або склянкою та невеликим шматком картону чи пластику. Якщо просто прикрити повну склянку цією «кришкою» та перевернути, то вона «прилипне» і вода не витікатиме. А якщо в склянці буде хоча б трошки повітря, дослід не вийде. Чому?



### Розбір досліду

Усе майже так само, як і в попередньому досліді. Але... Чому в склянці не має бути повітря? Справа в тому, що на початку досліді його тиск дорівнює атмосферному. Щоб знизився тиск, зі склянки має вилитися хоча б трохи води. Але тоді «кришка» відразу впаде!



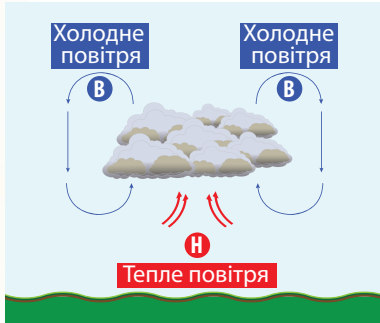
Відео

Наша планета нерівномірно прогрівається Сонцем. Чому? Ти бачиш на рисунку, що ближче до полюсів сонячні промені падають під іншим кутом. У результаті така сама кількість енергії розподіляється на більшу



площу. Це чимось схоже на тиск: чим більша площа поверхні (якщо сила, звісно, така сама), тим менший тиск.

Біля екватора Земля отримує більше сонячної енергії, ніж біля полюсів. Атмосферний тиск знижується, тому що тепле вологе повітря поблизу екватора піднімається вгору. На його місце приходить холодне повітря із субтропічних широт. Така циркуляція повітря призводить до утворення постійних вітрів — пасатів. Повітря, що піднялося, нагорі розширюється й охолоджується. При цьому вода конденсується й утворює дощові хмари, тому на екваторі часто йдуть рясні дощі.



Денний бриз



Нічний бриз

Отже, області зниженого тиску призводять до утворення циклонів, у яких унаслідок обертання Землі повітря починає рухатися по спіралі. Ось чому «падіння барометра», тобто атмосферного тиску, попереджає шторми та урагани. У центрі кожного тропічного циклону формується кругла область низького тиску з ясною і спокійною погодою — так зване «око бурі».

Такі вітри, як мусон і бриз, також з'являються за рахунок нерівномірного нагрівання повітря. Це відбувається на межі між морем та суходолом і веде до утворення областей низького й високого атмосферного тиску. Узимку над океаном повітря нагрівається більше, ніж над сушею, а влітку — навпаки. Тому мусони змінюють свій напрямок

двічі на рік. А такий вітерець, як бриз, обумовлений різницею температур на узбережжі вдень і вночі.

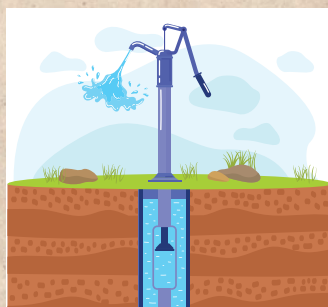
## Цікаві факти

Обертання Землі навколо власної осі веде до того, що пасати завжди дмуть у постійному напрямку до екватора: у північній півкулі — із північного сходу, а в південній — із південного сходу.



У Середньовіччі широко застосовували всмоктувальний поршневий насос. У ньому піднімався поршень і «всмоктував» воду. Але він міг підняти воду на висоту не більше 10 метрів. Галілео Галілей, до якого звернулися будівельники фонтану у Флоренції, запропонував розібратися з цією проблемою своїм учням — Еванджелісті Торрічеллі і Вінченцо Вівіані.

Торрічеллі висловив думку, що вода піднімається під дією атмосферного тиску. Стовп води висотою 10,3 метри врівноважує його, тому вище вода не піднімається. Учений узяв скляну трубку із запаяним кінцем і заповнив її ртуттю. Затиснувши отвір, він перевернув трубку й занурив у посудину зі ртуттю. Стовп рідини в трубці встановився на висоті 760 мм над поверхнею. Так уперше був виміряний атмосферний тиск і встановлені одиниці вимірювання: міліметри ртутного стовпчика.





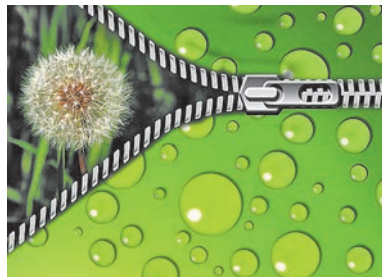
## Задачі

1. Як ти вважаєш, буде рівень води в посудині для папуги весь час однаковий чи він змінюватиметься зі зменшенням води в пляшці? Спробуй пояснити чому.
2. У який бік спрямовані мусони взимку та влітку? Куди спрямований бриз удень та вночі?
3. У яких одиницях вимірюється атмосферний тиск на зовнішній та внутрішній шкалах барометра, наведеного на рисунку? (Числа на зовнішній шкалі — 73 і 74; на внутрішній — 980 і 990.) Чому дорівнює виміряний тиск у СІ?
4. Поясни принцип дії піпетки для переливання малої кількості рідини. Чи можна замість піпетки використовувати шприц? Чим відрізняється принцип їхньої дії?
5. Чому склянка, помита теплою водою й перевернута на покритий поліетиленовою скатертиною стіл, щільно прилягає та трохи втягує її всередину? Чи буде спостерігатися подібне явище, якщо скатертину виготовлена з тканини? Спробуй провести дослід самостійно.
6. Знайди тиск, який створює поршень насоса, що качає воду на висоту 15 м. Цей насос нагнітальний чи всмоктувальний?



## Дослід 4. «Кругообіг води на підвіконні»

Якщо взяти пакет із застібкою zip-lock, налити туди невелику кількість підфарбованої води, ретельно застібнути, поставити на підвіконня та закріпити скотчем, можна кілька днів спостерігати таке: удень вода в пакеті під впливом сонячних променів випаровується. Коли пара охолоджується, то осідає на стінки пакета у вигляді дрібних крапельок (роса випадає), а коли достатня кількість води конденсується, починається дощ. До речі, і тиск повітря всередині змінюється, бо пакет стає то «товстішим» (удень), то «тоншим».



Можна ще зробити «осінь» і «зиму» в холодильнику та в морозильній камері.

## Розбір досліду

Майже все, як у природі. Лише вихорів не вистачає — циклонів і торнадо.

## Дослід 5. «Торнадо чи коливання»

Беремо звичайну пластикову пляшку ємністю 1,5 літра. Наливаємо в неї води (приблизно  $\frac{3}{4}$  пляшки), одночасно вмикаємо секундомір і перевертаємо пляшку над ємністю. Тепер спостерігаємо за витіканням води й не забуваємо виміряти час, за який виливається вода. Це перша частина досліду. Спочатку з пляшки витече трохи води. Ви відчуєте це рукою, бо пляшка трохи «схудне». Тиск усередині зменшиться, вода не зможе витікати й назустріч їй «прорвуться» повітряні





бульбашки. Тепер тиск збільшиться, і вода зможе вилитися знов. Щоб краще відчутти й побачити коливання тиску, можна закрутити пробку, зробити в ній отвір і вставити туди трубочку діаметром 5–6 мм і довжиною 5–10 см. З'єднання треба зробити герметичним за допомогою пластиліну або термоклею.

Друга частина досліду — власне «торнадо». Пригадаємо, що спричиняє атмосферні вихори: різниця тисків, вода (випаровування) й обертання Землі. Тому візьмемо пляшку без кришки, різко перевернемо її, надаючи обертального руху. Не забудемо виміряти час витікання. Якщо дослід вийде добре, ви побачите, що жодних перешкод для витікання води вихор не створює. У його центрі утворюється «око» з меншим тиском, і повітря вільно потрапляє в пляшку. Швидкість витікання виявляється приблизно в 1,5 рази більшою, ніж під час звичайного витікання.

Обидві частини досліду можна поліпшити (й ускладнити), приклеївши до цієї пляшки ще одну, таку саму, щоб вийшла конструкція, схожа на пісочний годинник.

### Розбір досліду

Колівання тиску у пляшці в першій частині досліду називають автоколиваннями, тому що система сама «керує» процесом. А що стосується торнадо... Процес утворення вихорів в атмосфері ще й досі ретельно не досліджений. До речі, дослід не завжди виходить — треба потренуватися.

### Дослід 6. «Кулька, тримай!»

Беремо дві повітряні кульки, надуваємо їх (не дуже сильно). Хвостик треба міцно зав'язати мотузкою. Тепер сильно, але обережно вдавлюємо хвостик усередину, притискаємо



до протилежного боку кульки і з'єднаємо їх за допомогою мотузки. На протилежному боці утворилося поглиблення. Так само вчиняємо з другою кулькою.

Змочимо кульки з боку поглиблення водою і з силою притиснемо до гладенької поверхні: одну кульку — до столу, а другу — до стіни. У нас вийшли присоски! Витягнемо назвні мотузки, якими ми зав'язали хвостики. На них можна підвісити досить важкі речі.



### Розбір досліду

Атмосферний тиск! У нас вийшли майже Магдебурзькі півкулі! Коли ми із силою притиснули кульку до поверхні й надавили на хвостик, то зробили те саме, що робить насос, — виштовхнули повітря з-під неї. Отже, зовні — атмосфера, між кулькою і стіною — вакуум, а вода перешкоджає їм «спілкуватись».



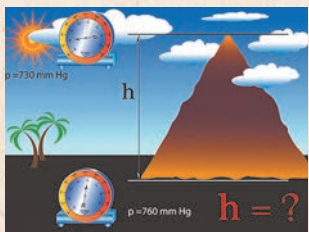
Відео

### Цікаві факти

Є така цікава наука — біоніка. Людина «підглядає» секрети живої природи й використовує їх у техніці. Наприклад, за допомогою присосків деякі молюски, риби, п'явки та навіть рослини прикріплюються до твердих поверхонь. Іноді буває дуже складно їх відірвати. Сила, яка тут працює, — теж атмосферний тиск.

Людина стала використовувати такі засоби для кріплення, прочистки труб тощо.





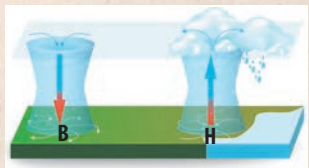
Зі збільшенням висоти атмосферний тиск падає. Це пов'язано з тим, що під час підйому зменшується висота стовпа повітря над нами. Крім того, густина повітря, яка на рівні моря становить  $1,29 \text{ кг/м}^3$ , зменшується з висотою і на висоті 100 км дорівнює  $0,032 \text{ кг/м}^3$ . До речі, згідно з рішенням Міжнародної авіаційної федерації, саме цю висоту вважають кордоном між атмосферою й космосом. Ця межа називається лінією Кармана.

Поблизу поверхні Землі атмосферний тиск зменшується приблизно на 1 мм рт. ст. при підйомі на кожні 10,5 м. Таким чином, на найвищій на Землі горі Еверест, висота якої 8848 м, тиск має зменшитися на 843 мм рт. ст. На рівні моря він дорівнює 760 мм рт. ст. Але ж тиск не може бути від'ємним! Це означає, що така залежність працює лише на малих висотах. Насправді тиск на Евересті дорівнює приблизно 190 мм. рт. ст.

До речі, а яка висота гори на рисунку?

Одним із механізмів формування погоди є своєрідні «повітряні насоси» — циклони — атмосферні вихори величезних розмірів. Їхня висота — до 20 км, а діаметр досягає 5 тис. км.

Циклон — це область низького тиску. Він збирає повітря й піднімає його вгору. Висхідні потоки повітря формуються в центрі циклону. Найнижчий тиск — 658 мм рт. ст. — було відзначено 24 вересня 1958 року під час тайфуни в Тихому океані біля острова Гуам.



Антициклон    Циклон

Антициклон характеризується високим тиском. Він, навпаки, утягує повітря з верхніх шарів атмосфери і розподіляє його біля поверхні землі. Найвищий атмосферний тиск був зареєстрований на півночі Західного Сибіру 31 грудня 1968 року й дорівнював 812 мм рт. ст.

# ПЛАВАННЯ І ПОВІТРОПЛАВАННЯ

Як ти вважаєш, хто найбільше цікавиться законом Архімеда? Думаєш, моряки чи дайвери? Або ювеліри, намагаючись вигадати новий метод шахрайства? Можливо. А найбільше цей закон до вподоби дітям. Повітряні кульки, наповнені гелієм, паперові, дерев'яні та пластикові човники, м'яч або порожня пляшка, які допомагають триматися на воді,— усе це «працює» завдяки закону Архімеда. Мабуть, ти вже досконально дослідив цей закон.

Пригадаємо його формулювання точніше.

На будь-яке тіло, занурене в рідину або газ, діє **виштовхувальна сила**. Щоб її знайти, треба просто розрахувати вагу витісненої цим тілом рідини. За напрямом сила Архімеда протилежна силі тяжіння, що діє на витіснену рідину, і прикладена до її центру мас.



$$F_A = \rho_p \cdot g \cdot V_T,$$

де  $\rho_p$  — густина рідини,  $g$  — прискорення вільного падіння,  $V_T$  — об'єм тіла.

Наш теплохід нарешті пришвартувався в Одесі. Для занурення з аквалангом нам доведеться разом зі знаряддям відплисти від берега на катері. А на ньому всі люди мають вдягти рятівні жилети.

## Дослід 1. «РЯТІВНИЙ ЖИЛЕТ»

Візьмемо дві смачненькі мандаринки. А краще — три. Ще буде потрібна чиста посудина з питною водою. Одну мандаринку



почистимо повністю, другу — частково, третю залишаємо неочищеною.

Покладемо у воду неочищену мандаринку. Виявляється, вона добре плаває!

Зануримо поруч із нею очищену. Вона тоне! Мандаринка, очищена частково, буде перебувати в стані байдужої рівноваги — не плаває і не тоне. Як це пояснити?

### Розбір досліду

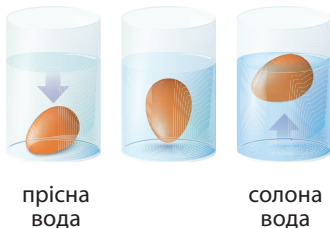
На мандаринку в рідині діють дві сили — сила тяжіння й виштовхувальна сила. Вони спрямовані протилежно, і від того, яка з них більша, залежить, буде тіло плавати чи тонути. Якщо густина тіла більша за густину рідини, то тіло тоне. Якщо густини однакові, то тіло плаватиме, повністю занурившись у рідину. А якщо густина тіла менша, то тіло плаватиме на поверхні.

Отже, густина очищеної мандаринки виявилася більшою за густину води, а неочищеної — меншою. Справа в тому, що сік містить кислоту, густина якої більша за густину води. А шкурка буде грати роль рятівного жилета. Тож мандаринка, яка скинула тільки частину жилета, може мати «нульову плавучість».

Тепер мандаринки можна з'їсти.

### Дослід 2. «Мертве море»

Тепер зробимо такий самий дослід, тільки з яйцем. У звичайній воді воно тоне. Якщо додати у воду солі, то нічого не зміниться, тому що багато солі у воді не розчиниться. А от якщо зробити насичений сольовий розчин (закип'ятити пів літра води з 4 столовими ложками солі, а потім охолодити), то яйце сплыве.



## Розбір досліду

Відомі фотографії з Мертвого моря, де людина, сидючи на воді, читає газету, зумовлені тим, що густина соляного розчину в ньому майже в півтора рази більша, ніж у звичайної води.



## Дослід 3. «Coca-Cola»

Тепер спробуємо «втопити» дві баночки кока-коли: одну — звичайну Coca-Cola, а другу — Coca-Cola Zero. Виявляється, що звичайна тоне, а Coca-Cola Zero — ні.

## Розбір досліду

У склад звичайного напою Coca-Cola входить 35 грамів цукру, а в Coca-Cola Zero — підсолоджувач. Штучних підсолоджувачів потрібно в багато разів менше, ніж звичайного цукру, тому їх кількість зовсім мала. Тож середня густина рідини звичайної Coca-Cola більша за густину води, а рідини Coca-Cola Zero — менша.

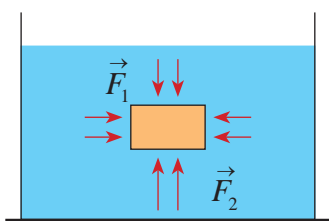
## Дослід 4. «Досліджуємо силу Архімеда»

Скористаємось тією самою пляшкою без дна з повітряною кулькою, яку ми виготовили для дослідження тиску легенів. Тепер перевернемо її так, щоб кулька була знизу, і зануримо в посудину з водою (див. с. 92).

На деякій глибині занурення повітряна кулька раптом втягнеться всередину пляшки. При цьому сила пружності оболонки кульки змінить напрямок на протилежний. Сила повного гідростатичного тиску врівноважує силу тяжіння води, що знаходиться в пляшці, і силу пружності оболонки кульки.



## Розбір досліду



Сила Архімеда викликана тим, що на тіло впливає гідростатичний тиск. За законом Паскаля тиск однаково передається в усі боки й залежить тільки від глибини. Тож якщо подивитися на рівенький брусочок (прямокутний паралелепіпед), то сила тиску на бічні поверхні буде однаковою, але спрямованою протилежно, тобто скомпенсованою. А от сили тиску на верхню й на нижню поверхні будуть відрізнятися за рахунок різної глибини занурення поверхонь у рідину.

Отже, сила Архімеда, як і гідростатичний тиск, викликана силою тяжіння. Ми вже розглядали таке явище, як конвекція. Тепла вода і повітря піднімаються вгору, а холодні опускаються вниз. Це відбувається тому, що при підвищенні температури тіла розширюються, їхня густина стає меншою. Ми вже розглядали атмосферні явища, до яких веде сила Архімеда (вітри, течії та інші). Пригадайте тепловий насос! У системах опалення гаряча вода і повітря циркулюють також за рахунок сили Архімеда, тому опалювальні прилади розташовують ближче до підлоги.

До речі, ти знаєш, яка доля чекає на повітряну кульку з гелієм, коли ти відпускаєш її в небо? Гелій легший за повітря

приблизно у 8 разів. Оскільки сила Архімеда більша за силу тяжіння, то кулька буде підніматися все вище й вище. А що далі?

Кулька перестане підніматися і зупиниться на певній висоті тому, що на цій висоті густина повітря зовні кульки стане такою самою, як середня густина газу всередині.

До того ж зі збільшенням висоти атмосферний тиск падає, а кількість газу в кульці залишається такою ж. Ми ж робили мембрану з кульки! Матеріал оболонки починає розтягуватися. Що далі? По-перше, кулька може лопнути і впасти на землю. А якщо матеріал міцний, то кулька з часом припинить підніматися і зупиниться на певній висоті, адже густина повітря ззовні кульки стане такою самою, як густина газу всередині. Але на досягнутій висоті кулька не залишиться: за рахунок дифузії маленькі атоми гелію будуть виходити через оболонку, і врешті-решт кулька таки впаде на землю.



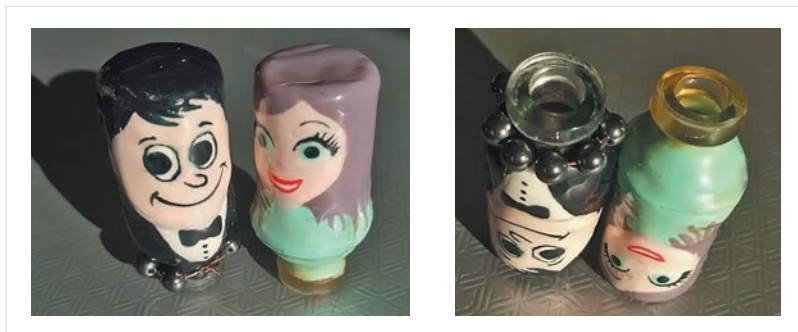
### Цікавий факт

Коли ти запускаєш повітряну кульку в небо, ти маєш пам'ятати дві речі. По-перше, через деякий час кулька обов'язково впаде на землю. Це забруднює нашу природу, є небезпечним для птахів і тварин, які можуть з'їсти кульку і загинути. Відома історія про те, як у 1986 році в США свято перетворилося на трагедію. Півтора мільйони гелієвих кульок забруднили річки та озера, зупинили авіасполучення, збільшили кількість ДТП.

По-друге, гелію, тобто «сонячного газу», на Землі небагато. Його «відкрили» під час вивчення сонячного випромінювання. Газ, який ми випускаємо разом із кульками, піднімається вгору й назад уже не повертається. У деяких українських науково-дослідних інститутах гелій використовують для досліджень за низьких температур. Спеціалізовані лабораторії, наприклад, у Фізико-технічному інституті низьких температур ім. Б. І. Веркіна НАН України, обладнані газгольдерами. Це такі спеціальні ємності, у які після дослідів повертають гелій.

## Дослід 5. «Картезіанський дайвер»

Картезіанський дайвер — це невелика посудина (пробірка, піпетка), у якій центр мас знаходиться ближче до відкритого горлечка. Ми зробили з пластикових пляшок «хлопчика» й «дівчинку», щоб подивитися, як вони будуть пірнати.



Відео

Ми помістили їх у пляшку з водою. Вони чимось схожі на водолазний дзвін. Оскільки всередині пляшок повітря, наші дайвери будуть плавати на поверхні. Для занурення достатньо стиснути пляшку пальцями.

### Розбір досліду

Коли ми стискаємо пляшку, збільшується тиск і повітря, і води. Це призводить до того, що повітря всередині дайвера теж стискається і туди заходить більше води. За рахунок цього середня густина вмісту пляшки збільшується, і дайвер занурюється.



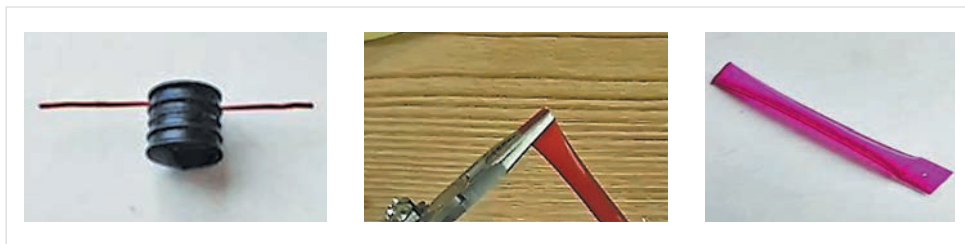


Отже, щоб тіло могло плавати, його густина має бути меншою за густину рідини. А яка середня густина тіла людини? Вона весь час змінюється, бо ми дихаємо. Під час вдиху наші легені розширюються і густина тіла зменшується, під час видиху — навпаки. Густина води (прісної) дорівнює  $1000 \text{ кг/м}^3$ , а густина тіла може змінюватися від  $940 \text{ кг/м}^3$  до  $1070 \text{ кг/м}^3$ . Тому людина може і плавати, і пірнати. До речі, у морі плавати легше, бо густина води в ньому більша: кажуть, що морська вода краще тримає людину.

### Дослід 6. «Порада для плавця»

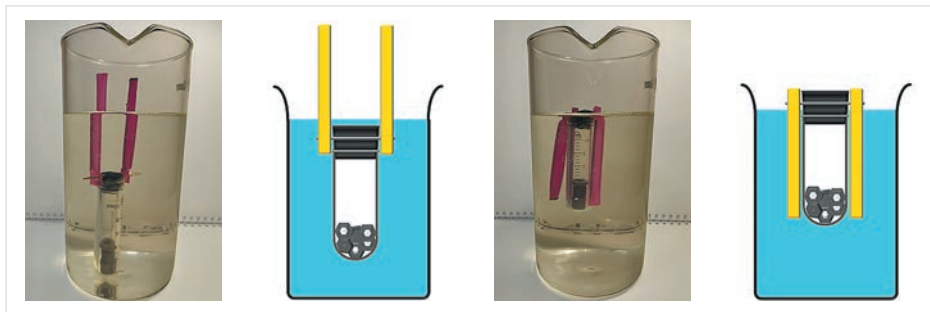
Зробимо іграшку «плавець». Візьмемо два однакових шприци, витягнемо резинові поршні і склеїмо з них пробку. Вставимо в неї ближче до верхньої частини дріт довжиною приблизно 7 см. Конус шприца, на який прикріплюють голку, треба залити термоклеєм для герметичності. Усередину шприца помістимо щось важке (гайки, пісок тощо).

Із трубочки для пиття виготовимо дві повітряні камери довжиною по 8 см. Для цього з обох кінців їх треба запаяти. З одного боку це можна зробити праскою на довжині приблизно 1 см. Щоб не зіпсувати праску, на трубку й під неї доцільно покласти папір. У цю частину ми вставимо дріт. З іншого боку трубку можна просто нагріти запальничкою та стиснути плоскогубцями.



Тепер зберемо таку конструкцію, як на фото (див. с. 96).

Закриємо шприц пробкою та прилаштуємо до нього «руки» (повітряні камери) за допомогою дроту. Тепер можна «поплавати». Спочатку підніємо «руки» вгору. Плавець починає тонути, тобто занурюється з «головою». Але варто «руки» опустити, як він спливає.



### Розбір досліду

Цей дослід вдається відтворити, лише якщо середня густина плавця менша за густину води. Тут має значення розподіл густини: вона більша в нижній частині плавця і менша — у повітряних камерах. Отже, коли «руки» підняті вгору, менша частина повітряних камер знаходиться у воді й виштовхувальна сила менша. «Голова» «плавця» опинилася під водою, тому він навіть не може покликати на допомогу. А от якщо «руки» опустити, «голова» опиниться над водою.

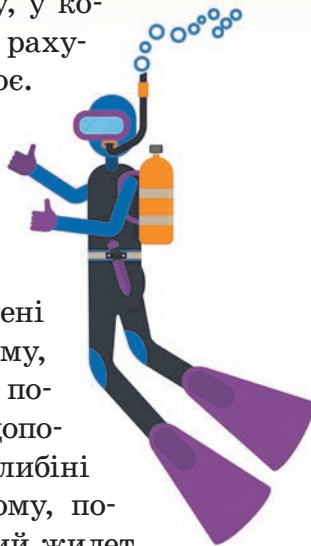
Яку пораду можна дати людині, що не вмє плавати? По-перше, вести себе на воді обережно й не заходити на глибину! По-друге, якщо вже так вийшло, розташувати тіло майже вертикально, опустити руки у воду й відштовхуватися від води ногами.

Повернемося до нашої подорожі. Уявіть, що ми таки потрапили в дайвінг-клуб. Перед зануренням необхідно перевірити й надягти зняряддя. Яке саме?

По-перше, це мокрий гідрокостюм. Чому мокрий? Справа в тому, що він виготовлений із пористого матеріалу — неопрену, тобто з гумової тканини, що містить тисячі бульбашок

із повітрям. Коли людина заходить у воду, у костюм потрапляє вода. Вона зігрівається за рахунок тепла тіла й більше майже не циркулює.

По-друге, це має бути акваланг із двома манометрами: один — для вимірювання глибини, другий — для вимірювання тиску повітря в балонах. Серед обладнання дайвера мають бути вантажний пояс і компенсатор. Вони призначені для регулювання плавучості. Справа в тому, що гідрокостюм легкий, і без вантажного пояса людина не зможе зануритися. Пояс допомагає спуститися під воду, а коли на глибині тиск призводить до стискання гідрокостюму, потрібен компенсатор. Він схожий на рятувальний жилет, у який дайвер може додати трохи повітря з балонів. Регулюючи об'єм повітря в компенсаторі, людина регулює середню густину тіла й виштовхувальну силу. Щоб зануритися у воду, потрібно зменшити об'єм повітря в компенсаторі, а щоб піднятися — збільшити. Така собі підводна «повітряна кулька».



## Задачі

1. До коромисла терезів підвісили дві кульки однакової маси: мідну й сталеву, терези при цьому перебувають у рівновазі. Чи зміниться рівновага терезів, якщо опустити їх у воду?
2. Знайди максимальну масу вантажу, яку може підняти повітряна куля, заповнена гелієм, якщо її об'єм  $5 \text{ м}^3$ , а маса оболонки —  $560 \text{ г}$ . Як зміниться маса вантажу, якщо кулю наповнити воднем? Густина повітря —  $1,29 \text{ кг/м}^3$ . Густина гелію у  $7,25$ , а водню — у  $14,5$  рази менша за густину повітря.

3. Оленка, Костя та Сашко навесні прочитали книгу Джерома Клапки Джерома «Трое у човні, якщо не рахувати собаки» і вирішили мандрувати. Оскільки човна в них не було, вони збудували дерев'яний пліт на подушці з пластикових пляшок. Знайшли 10 соснових дощок довжиною по 2,5 метри, шириною 20 см і товщиною 3 см. Яка мінімальна кількість 5-літрових пляшок їм знадобиться, щоб дерев'яний настил під час подорожі залишився сухим? Густина сосни —  $700 \text{ кг/м}^3$ , маса Оленки — 47 кг, Кості — 54 кг, Сашка — 45 кг, такси Пірата — 14 кг, вантажу — 17 кг, а маса однієї пляшки — лише 90 г.



## Цікаві факти

А як плавають риби? Що вони роблять, коли їм потрібно піднятися вгору або зануритися глибше? У них є такий орган — плавальний міхур. Під час підйому й спуску він автоматично наповнюється газами або звільняється від них. Гази риба витягує з власних тканин.



Якщо міхур з'єднаний із кишечником (наприклад, у щуки, оселедця, лосося, сома), то гази виходять через рот у воду. Коли спливає зграя риб, то спочатку на поверхні з'являються бульбашки.

Якщо міхур герметичний (у кефалі, наваги, тріски), то гази спочатку надходять у кров, а потім через зябра потрапляють у воду. Такі риби спливають повільніше. Якщо витягнути кефаль із великої глибини, риба роздується, тому що тиск у міхурі великий. А от у акул, які часто змінюють глибину занурення, плавального міхура взагалі немає.

Цар Герон доручив Архімеду перевірити чесність майстра, який виготовив йому золоту корону: хоча корона важила стільки, скільки було відпущено на неї золота, у царя виникла підозра, що туди додали дешевші метали. Архімед лежав у ванні і розмірковував над цією проблемою. Коли йому прийшло рішення, він вискочив із ванни й побіг у кімнату по корону, щоб негайно визначити втрату її ваги у воді.

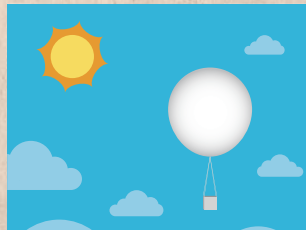
Але Архімеду, який відкрив свій закон, для виконання доручення царя цей закон був зовсім не потрібний. Учений просто мав визначити об'єм корони у воді, а потім зважити корону. Замість цього він відкрив закон про виштовхувальну силу.



У романі «П'ять тижнів на повітряній кулі» Жуля Верна троє мандрівників подорожували Африкою на аеростаті, наповненому воднем. Цей газ нескладно отримати. Він майже в 15 разів легший за повітря, але дуже небезпечний: під час з'єднання з киснем може вибухнути. Через це його майже не використовують у повітряних кулях.

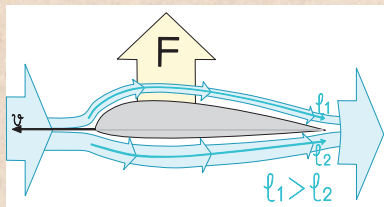
Політ на повітряній кулі — один із видів сучасних розваг. Замість гелію або водню часто використовують тепле повітря, яке легше за холодне і теж може підняти вантаж. До речі, наприкінці роману через аварійну ситуацію героям довелося-таки скористатися цим способом. Водень став витікати з оболонки, і вони нагріли повітря в кулі, щоб перелетіти через ріку Сенегал.

Але повітряна куля — це не тільки розвага. На всій планеті щоденно випускають метеозонди, тобто аеростати, наповнені гелієм. Вони призначені для вивчення атмосфери та необхідні для складання прогнозу погоди. За допомогою зонда метеорологи дізнаються про температуру й вологість повітря, швидкість і напрям вітру на різних висотах. Зонди піднімаються на висоту до 50 км, де їхня оболонка розривається, як і у звичайної кульки.



Більшість літальних апаратів, які використовує людство, піднімається в небо і рухається завдяки взаємодії з повітрям. Винятком є космічні кораблі, які пересуваються в космосі (безповітряному просторі) за рахунок викидання струменя газу, що утворюється під час згорання палива.

Для легких апаратів підйомною силою є сила Архімеда. А для літака — різниця тисків із нижнього та верхнього боку крила. Ця сила виникає під час руху тіла з великою швидкістю і зумовлена формою крила й кутом його нахилу, так званим кутом атаки.



Тому, на відміну від повітряної кулі, літак «просто висіти» в повітрі не може. Швидкість сучасних пасажирських літаків — від 500 до 900 км/год, а деякі військові літаки розвивають швидкість до 3500 км/год. В обох випадках — і для

легких, і для важких літальних апаратів — підйомну силу створює різниця тисків повітря, на якому вони «лежать», як на повітряній подушці.

На початку ХХ століття одночасно з розробкою й будівництвом літаків почалося будівництво дирижаблів. Цей літальний апарат легший за повітря, його оболонка наповнена гелієм, воднем або теплим повітрям. Існував проєкт створення вакуумного дирижабля, у якому відкачується повітря з жорсткої оболонки. Різниця густин оточуючого дирижабля повітря й дуже розрідженого повітря всередині дирижабля створює підйомну силу. На відміну від літака, дирижабль може літати з невеликою швидкістю.

У 1929 році дирижабль «Граф Цепелін» здійснив кругосвітній переліт із трьома посадками. За 20 днів він подолав понад 34 тисячі кілометрів із середньою швидкістю 115 км/год.

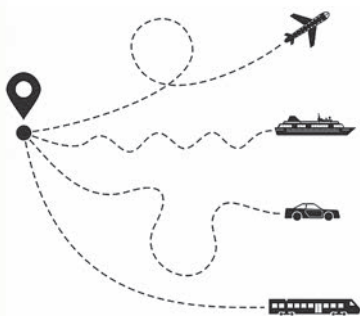
Перша епоха пасажирських дирижаблів закінчилася в 1937 році, коли зазнав аварії німецький пасажирський дирижабль-лайнер «Гінденбург». Але наприкінці ХХ століття інтерес до дирижаблів відновився. Замість водню тепер використовують гелій. У деяких країнах Європи і в США розробляються проєкти нових сучасних і безпечних дирижаблів.

# ЕНЕРГІЯ



# РОБОТА І ПОТУЖНІСТЬ

Що таке робота й у яких одиницях вона вимірюється? Не дуже цікаве запитання? Трохи змінимо його. Нехай це буде *твоя* робота. Отже, одиниці роботи... У чому б ти хотів, щоб вона вимірювалася? У цукерках? Чи краще в смартфонах? А може просто в грошових одиницях?



Робота буває різна. Працюють і будівельник, і продавець, і програміст. Але ми зараз говоримо про **механічну роботу**, тож сідаймо на велосипед (автомобіль, літак) і перевеземо вантаж. Від чого буде залежати оплата? У першу чергу, від кількості палива, тобто від двигуна та відстані. Двигун літака зазвичай розвиває більшу силу, тому й вантажу може перевезти більше. І палива витрачає більше!

А як же велосипед? Для нього ж не потрібне паливо? Ще й як потрібне! Якщо ти не поспідаєш, то далеко не поїдеш.

Отже, у визначенні механічної роботи важливі дві величини — сила і переміщення.

Механічна робота = Сила × Переміщення

$$A = F \times S$$

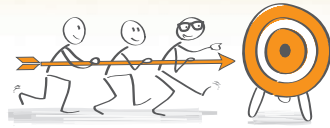
Механічну роботу як фізичну величину будемо вимірювати, звісно, не в грошових одиницях. Оскільки одиницею сили в СІ є ньютон, а одиницею переміщення — метр, то одиницею роботи є ньютон × метр. Ця одиниця має назву джоуль і позначається так:  $[A] = \text{Дж}$ .

Залежно від напрямків дії сили і переміщення розрізняють такі випадки:



- 1) сила може допомагати руху, якщо їх напрями співпадають. У цьому випадку сила виконує додатну роботу: рухає тіло вперед!

$$A > 0$$



- 2) сила може перешкоджати руху, якщо їх напрями протилежні. Тепер сила виконує від'ємну роботу — вона гальмує!

$$A < 0$$



- 3) сила може не штовхати і не гальмувати, якщо спрямована перпендикулярно напрямку руху. Тоді її робота дорівнює нулю.

$$A = 0$$



Але і в цьому випадку ми не можемо сказати, що сила ніяк не впливає на рух. Згадайте лише про Сонячну систему. Земля притягує Місяць, а Сонце — Землю та інші планети. Сила тяжіння перпендикулярна напрямку їхнього руху, отже, її робота дорівнює нулю! Однак майже кругова форма їхніх орбіт залежить саме від сили тяжіння.

Зробимо маленьку паузу. Як завжди, під час цієї паузи на нас і на всі тіла діє сила тяжіння. Якщо ми піднімемо великий вантаж над головою й будемо його тримати, то чому дорівнюватиме робота? Вантаж узагалі не переміщується, тому робота не виконується. Тим не менш ми втомлюємось, виконуючи цю роботу. То ж що відбувається?

Виявляється, наше тіло працює нашими м'язами, щоб підтримувати необхідну напругу для утримання вантажу. Організм робить це, посилаючи каскад нервових імпульсів кожному м'язу. Кожний імпульс примушує м'яз на мить скорочуватись і розслаблятися. Усе це відбувається так швидко,

що спочатку ми можемо помітити лише легке посмикування. Кінець кінцем у м'язах стає недостатньо хімічної енергії, і вони більше не можуть справлятися зі своїми функціями. Зазвичай після посмикування ми починаємо труситись і маємо трохи відпочити, звільнившись від вантажу. Тож робота триває, але не з вантажем.

Завжди можна виміряти час, протягом якого виконується механічна робота. Усі знають, що на виконання різної роботи потрібен різний час. І це залежить від того, хто і як ставиться до роботи, яка виконується. Чим більше роботи ми виконали за одиницю часу, тим більшою є **потужність**.

$$\text{Потужність} = \frac{\text{Робота}}{\text{Час}}.$$



Одну й ту саму роботу можна виконати за різний час. Наприклад, хто швидше вирине траншею: робочий із лопатою чи екскаватор? У кого з них більша потужність?

Ми кожен день користуємось механізмами, які виконують роботу. Як з'ясувати, який із механізмів «вигідніший»? Спробуємо за допомогою електричного насоса накачати 200 літрів води з колодязя глибиною  $h = 40$  м. Вимкнемо всі інші прилади й подивимося на електричний лічильник: скільки енергії ми витратили? Виявляється, 100 кДж! Але на що саме?

Щоб підняти воду на поверхню (для подолання сили тяжіння  $F = mg$ ) потрібна робота:

$$A = F \cdot s = mgh,$$

$$A = 200 \cdot 9,8 \cdot 40 \approx 80\,000 \text{ Дж} = 80 \text{ кДж}.$$

Нам довелося заплатити за 100 кДж (**загальна робота**), але лише 80 кДж (**корисна робота**) були нам насправді потрібні. Решту було витрачено на нагрівання насоса, води та інші

«зайві» речі. Тож скільки відсотків від загальної роботи «пішло на користь»? Складаємо пропорцію:

$$100 \text{ кДж} \quad \text{—} \quad 100 \%$$

$$80 \text{ кДж} \quad \text{—} \quad x \%$$

Звідси знаходимо коефіцієнт корисної дії (ККД) = 80 %.

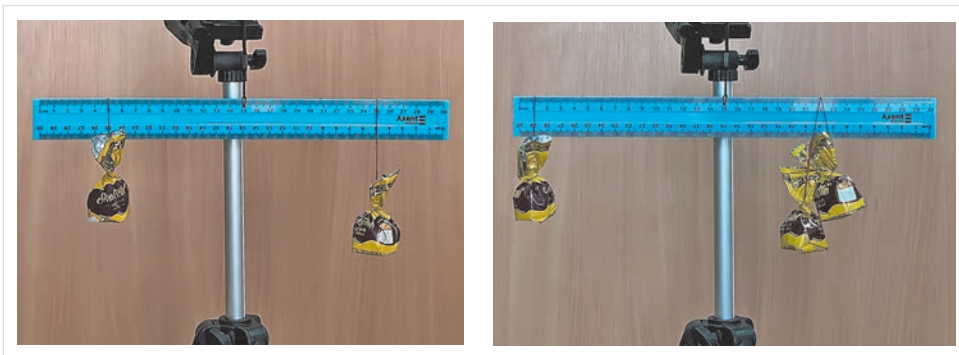
А що таке коефіцієнт корисної дії? Ця величина якраз і «говорить», яка частка загальної роботи пішла «на користь». Його можна обчислити за формулою:

$$\eta = \frac{A_{\text{корисна}}}{A_{\text{загальна}}} \cdot 100 \%$$

### Дослід «Гойдалка чи терези?»

Беремо звичайнісіньку лінійку і робимо в ній точно посередині невеличкий отвір. Протягнемо в отвір мотузку й підвісимо лінійку на гачок. Мабуть, вона буде перехилитися в один бік. Це не проблема! Ми можемо взяти що-небудь легке (наприклад, канцелярську скріпку) і прив'язати до «легшого» боку лінійки. Або просто намотати на край лінійки маленьку резинку для волосся. Для остаточного налаштування терезів можна зсунути резинку трохи вбік, доки не врівноважимо лінійку.

Так, ми зробили саме **терези**! Навіщо? Звісно, щоб зважувати цукерки! Візьмемо кілька однакових цукерок, зробимо з них підвіси й почнемо дослідження. Такі терези можна зробити



простішими. Наприклад, лінійку не підвішувати, а покласти на олівець і зважувати монети або скріпки, але вимірювання будуть не такими точними.

Нехай довжина лінійки 30 см, тоді точка підвісу буде перетинати риску 15 см. На однакових відстанях від центра підвісимо цукерки (з кожного боку по одній). Наші терези мають залишитися в рівновазі. Це очевидно. Тепер з одного боку додамо ще одну цукерку. Чи можна зробити так, щоб лінійка залишилась у стані рівноваги? Так, і в дуже простий спосіб. Дві цукерки підвісимо в одній точці ближче до центра, а одну, на протилежному боці — далі від центра. Виміряємо відстані до точок підвісу. Виявляється, що відстань до однієї цукерки вдвічі більша, ніж до двох. А якщо врівноважити одну і три цукерки, то відстані будуть відрізнятись втричі.

Схоже, що добуток маси й відстані від точки підвісу не змінюється. Але чому обов'язково маси? Якщо на лінійку натиснути рукою, можна також домогтися рівноваги. Та й цукерки діють на неї із силою, бо мають вагу  $mg$ . Це означає, що ми повинні порівнювати добутки сил і відстаней від точки підвісу. Отже, величину  $M = F \cdot d$  називають **моментом сили**, а ми сформулювали **правило моментів**:

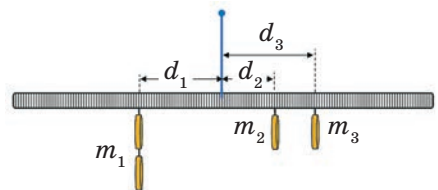
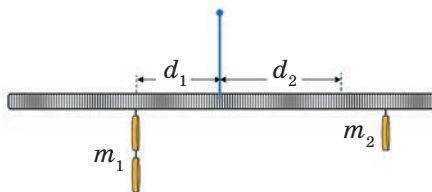
$$M_{\text{л}} = M_{\text{пр}}.$$

Це означає, що сума моментів сили зліва від точки підвісу дорівнює сумі моментів справа. Для першого рисунку все просто:

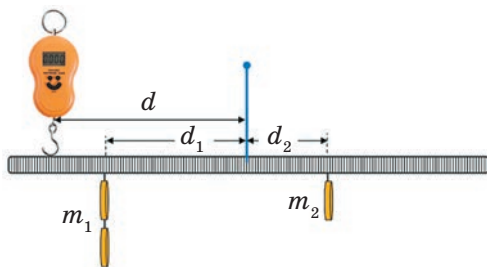
$$m_1 d_1 = m_2 d_2$$

Для другого — трохи складніше:

$$m_1 d_1 = m_2 d_2 + m_3 d_3$$



Тепер будемо додавати й пересувати цукерки так, щоб лінійка залишалася в рівновазі, і перевіримо, чи працює це правило. Нарешті зробимо ще один дослід. Для нього цукерки або монетки не підходять, треба взяти щось більше, наприклад однакові пляшки з водою (по 0,5 літра). Та й ваги мають бути міцнішими. А врівноважувати їх будемо... терезами. Так, візьмемо звичайний безмін (такі побутові пружинні ваги) і підтримаємо нашу лінійку так, щоб вона була горизонтальною. До речі, безмін треба розташувати строго вертикально. Усе так, як на рисунку. Якщо виконати вимірювання акуратно, то буде виконуватися таке правило моментів:



$$m_1 d_1 - m d = m_2 d_2, \text{ або } m_1 d_1 = m_2 d_2 + m d$$

Ти питаєш, чому поруч із  $m d$  стоїть знак «мінус»? І що таке  $m$ ? Зверни увагу, що важок  $m_2$  обертає лінійку проти годинникової стрілки, важок  $m_1$  і безмін — за годинниковою стрілкою. А  $m$  — це просто маса, яку він указує, хоча насправді вимірює вагу  $m g$ .

Отже, ми розібралися з правилом моментів. Та його ж кожна дитина використовує! Коли малеча качається на гойдалці (такій, як на рисунку), більша дитина сідає ближче до центра.



## Цікавий факт

Існують люди, чиє життя залежить від того, чи вміють вони користуватися правилом моментів. Це канатоходці. Навіщо їм потрібна жердина або парасолька чи віяло? Виявляється, ці предмети допомагають людині зберегти рівновагу. Але ж вони надто легкі порівняно з людиною! Проте для збереження рівноваги важливий саме момент сили! А він залежить, як ти пам'ятаєш, від сили (у нашому випадку — ваги) і відстані від осі.

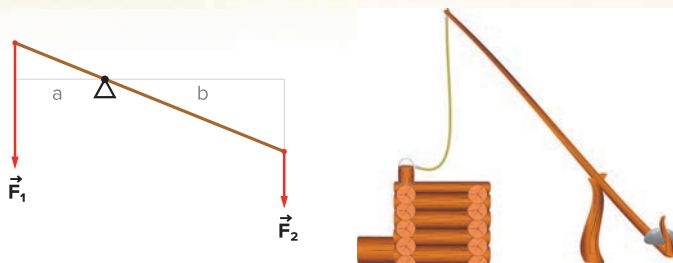


Відео

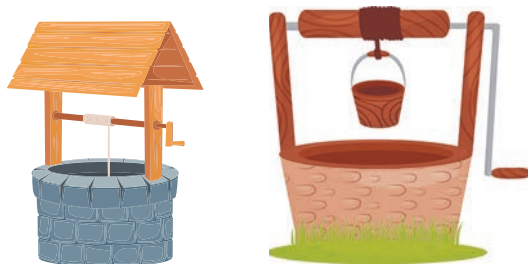


І знов-таки все це добре відомо маленьким дітям. Малюкам (і не тільки) подобається ходити по бордюрах і гімнастичних знаряддях. Щоб утримати рівновагу, треба розставити руки. А от тримати руки в карманах не варто, навіть коли йдеш рівною дорогою: можна не втримати рівновагу.

Правило моментів ще називають правилом важеля. Подивись на цей криничний журавель (довга жердина, що може повертатися, до неї на мотузці причеплено відро). У цьому пристрої є маленький «секрет»: піднімати воду допомагає вантаж, закріплений на короткому кінці жердини. Зрозуміло, що опустити порожнє відро (водночас піднімаючи вантаж), набагато легше, ніж піднімати повне. Для цього просто тягнуть мотузку вниз. Ця жердина і є важелем. Оскільки ми тягнемо за довгий кінець жердини, то прикладаємо меншу силу, ніж вага вантажу. А от відстань, на яку треба нахилити «стрілу», буде у стільки ж разів більшою, у скільки та, яку долає вантаж.



Так само і в колодязях із коловоротом: у колодязі справа крутити його набагато легше, але за кожний оберт рука долатиме більший шлях.



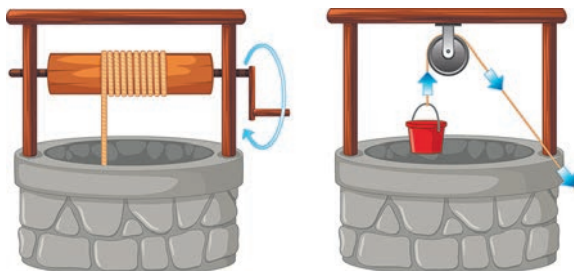
Отже, виходячи з правила моментів, у скільки разів ти виграєш у силі, у стільки ж разів програєш у відстані. А що ж вигідніше? У якому випадку доведеться виконувати меншу роботу? А якщо замість нас обертати коловорот буде двигун, то як витратити менше палива? Якщо ти пригадаєш формулу для роботи, то збагнеш: у жодному випадку. Робота залишається такою самою! Це фундаментальний **закон збереження енергії**, про який ти дізнаєшся далі.

Правило моментів використовують у простих механізмах, які допомагають людині виконувати роботу за рахунок виграшу в силі та програшу у відстані: це важіль, клин, блок, похила площина тощо. Прості механізми можуть змінювати напрям і величину сили, але вони не виконують за нас роботу, на відміну від двигунів.

Повернемося до колодязів. Зліва — звична нам конструкція з коловоротом (див. с. 110). Знай собі крути ручку! Чим більша

відстань від осі до ручки, тобто важіль, тим легше її крутити. Знову виграєш у силі — програєш у відстані.

А як ти вважаєш, чи є виграш або програш у силі в правому колодязі? Напевно, немає. Конструкцію, яку ти бачиш, називають **нерухомим блоком**. Навіщо він потрібен? Він змінює напрям сили на зручній тобі. Щоб витягти відро нагору, треба було б весь час перехоплювати мотузку. А так тягнеш собі вниз — і все. Але силу доведеться прикладати таку саму.



Чому ж блок називають нерухомим, хоча він крутиться? Це дуже просто: він обертається, але залишається на місці. А от **рухомий блок** — це зовсім інша історія.

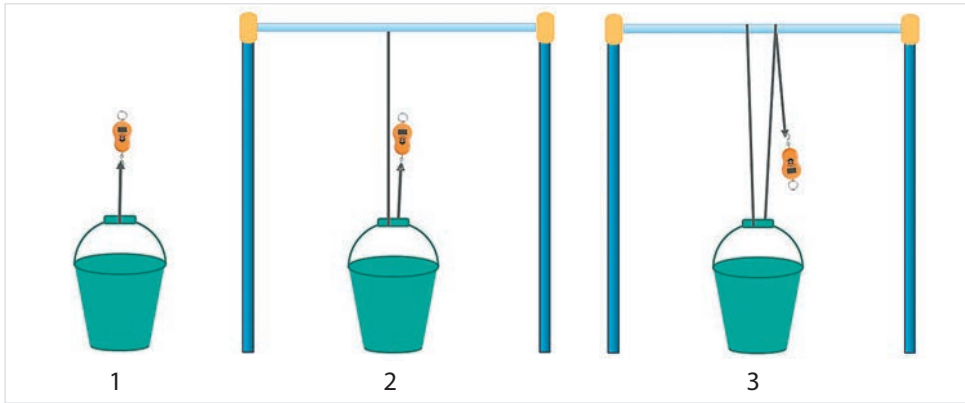
### Дослід. «**Рухомий блок**»

Ти можеш легко провести цей дослід. У тебе немає рухомого блока? Не може бути! Тоді візьми побутові ваги і звичайне відро з дерев'яною ручкою, яка може вільно обертатися.

Наллємо у відро води приблизно до половини і зважимо його (див. с. 111, рис. 1). Тепер знайдемо міцний гачок і прив'яжемо до нього мотузку. Якщо такого гачка немає, можна скористатися турніком у дворі або на спортивному майданчику. Робимо другий дослід і знов вимірюємо силу натягу мотузки. Вона виявляється майже вдвічі меншою! Але вгору піднімати відро, навіть коли сила натягу мотузки зменшилася, не дуже зручно, хіба що на турнік залізити і тягнути вже звідти.



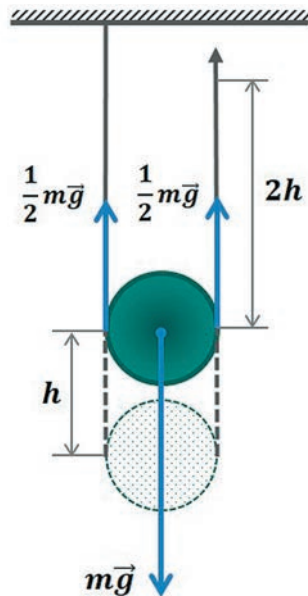
Та навіщо? Ми ж можемо просто перекинути мотузку через планку (рис. 3). Тепер сила натягу мотузки трохи зросла.



### Розбір досліду

Отже, у першому випадку безмін «показав» 5 кг. Це маса відра, а його вага ( $m\vec{g}$ ) дорівнює 50 Н. У другому випадку безмін показав трохи більше ніж 2,5 кг! Не може бути, щоб маса і вага зменшилися майже вдвічі, бо ми воду не виливали! Але наш прилад фіксує зменшення ваги! Та й піднімати відро стало вдвічі легше. Насправді безмін фіксує не вагу, а силу, з якою на нього діє мотузка. А вага відра розподіляється між турніком і безміном. Зрозуміло, що в силі ми виграли вдвічі. Але й мотузку нам довелося витягти вдвічі більше.

У третьому випадку «вага» трохи збільшиться. Перекладину турніка ми застосовуємо замість нерухомого блока. Проте перекладина не обертається, і сили тертя між перекладиною



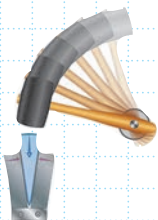
та мотузкою можуть суттєво вплинути на результат. Тут корисна робота буде меншою, тому що частину зусиль ми витратимо на подолання сил тертя. У справжніх блоках — і в рухомому, і в нерухомому — діє сила тертя кочення. Вона набагато менша за силу тертя ковзання, тому ККД цих механізмів буде більшим, ніж у нашому випадку.

Так само і **похила площина** дає можливість підняти вантаж на деяку висоту, прикладаючи меншу силу, ніж його вага. Але при цьому відстань, яку треба подолати, буде більшою, ніж висота, на яку його треба підняти. Залежно від того, як ми будемо пересувати вантаж (котити чи штовхати), який матеріал поверхні й вантажу, зміниться коефіцієнт тертя, а з ним і ККД.

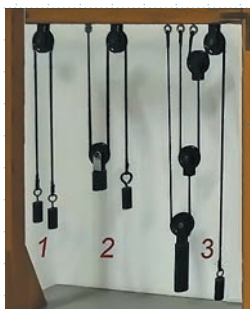


## Задачі

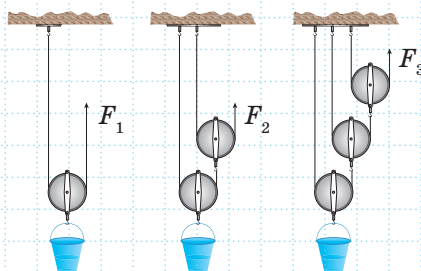
1. Уважно подивись на рисунки й назви зображені на них прості механізми.



- Знайди коефіцієнт корисної дії двох пристроїв для підйому відра (дослід «Рухомий блок»). У першому досліді безмін показав 5 кг; у другому — 2 кг 550 г, а в третьому — 2 кг 700 г.
- Який пандус (див. фото на с. 112) має більший коефіцієнт корисної дії — зелений чи жовтий? А яким із них легше користуватися людям з інвалідністю?
- Дві сестри сіли на гойдалку. Вони змогли врівноважити гойдалку, лише коли молодша, маса якої 10 кг, сіла на відстані 1 м 6 см від осі, а старша — на відстані 44 см. Знайди масу старшої дівчинки.
- Подивись уважно на чотири системи блоків. Знайди відношення мас великого і маленького важків для кожної системи. Коефіцієнтом тертя можна знехтувати.



Для кожної з трьох систем на рисунку нижче знайди довжину мотузки, яку необхідно витягти, щоб підняти відро на 2 метри.

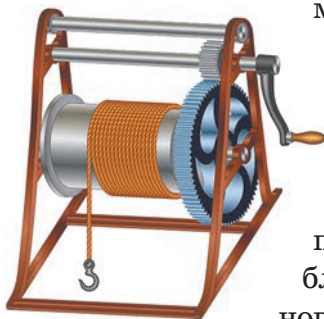


6. Судно вийшло з дельти Дніпра в Чорне море. При цьому потужність, яку розвиває двигун, та число обертів гвинта не змінилися. Як ти гадаєш, змінилася чи ні швидкість руху корабля відносно води? А відносно берега? До речі, на морі був штиль і взагалі чудова погода.
7. Яку силу треба прикласти до ручки, щоб відчинити двері, на які з протилежного боку хтось тисне із силою 300 Н на відстані 25 см від петель? Ширина дверей — 80 см. Чому ручку кріплять біля краю дверей?



Існують інші способи змінити силу або відстань за допомогою різних механізмів (не тільки простих). Можна застосувати шестерні. Якщо ми додаємо зусиль для обертання великого колеса, то доки воно робить один оберт, маленьке встигає обернутися кілька разів.

Виграш у силі або відстані визначається співвідношенням кількості зубців у шестернях. Цей пристрій має назву лебідка і дозволяє піднімати важкі предмети навіть дитині.



Зубчасту передачу для синхронізації руху використовують також личинки деяких комах із сімейства рівнокрилих. Учені виявили невеликі нарости у формі шестерні на їхніх задніх лапках. Ці нарости мають зубці розміром близько 0,4 мм, які чіпляються один за одного. Синхронізація руху лівої і правої лапки дозволяє личинкам стрибати зі швидкістю

4 м/с у точно заданому напрямку. Ці шестерні є першим зубчастим зчепленням, виявленим у світі тварин.

## Цікавий факт

Антикітерський механізм. В Егейському морі, біля грецького острова Антикітера, на глибині понад 40 метрів був знайдений античний корабель, який близько двох тисяч років тому перевозив бронзові й мармурові статуї. Серед знайдених речей була невелика дерев'яна скринька, усередині якої виявилися бронзові шестерні — 7 великих і 75 менших. Такі складні механізми почали робити приблизно на 1400 років пізніше. Більше століття триває дослідження загадкової знахідки. Зрозуміти призначення і принцип дії механізму довгий час не вдавалося, доки вчені не прочитали частину майже стертих написів на колесах і шкалах приладу. Це виявилися назви небесних світил і знаків зодіаку. Отже, археологи дійшли висновку, що це прилад для астрономічних обчислень, тобто астрономічний комп'ютер!

Що треба зробити, щоб переключити швидкість на велосипеді? Пересунути рукоятку? Що при цьому відбувається? Давай з'ясуємо, як це працює.

Передача на велосипеді здійснюється за рахунок зірочки і ланцюга. Зірочки, схожі на шестерні, поєднані з педалями і з заднім колесом, а ланцюг має передавати обертальний рух між ними. Це так звана «зубчаста передача». Звісно, на дитячих велосипедах з обох боків — по одній зірочці. А от на велосипедах для дорослих їх може бути декілька, причому всі різного діаметра. Спеціальний механізм перекидає ланцюг з однієї зірочки на іншу.

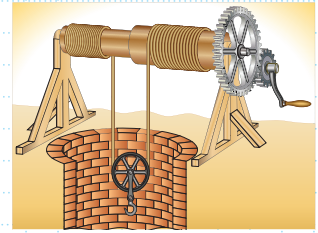
Коли велосипедист їде вгору, йому важко, йому важко, тому на першій швидкості він має робити максимальну кількість обертів для подолання маленької відстані. Отже, біля педалей до ланцюга має бути підключена маленька зірочка, а біля осі колеса — велика. Для максимальної швидкості підключення має бути протилежним.



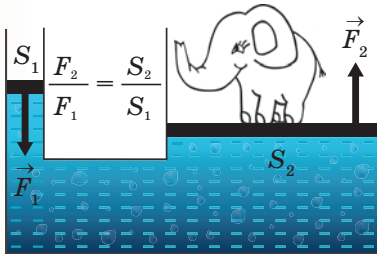


## Задачі

8. У колодязі використано кілька різних механізмів для отримання виграшу в силі. Назви ці механізми. Який виграш в силі дає кожний з них? Знайди загальний виграш в силі, що дає цей пристрій. На маленькій шестерні — 16 зубців, а на великій — 40.



9. На велосипеді біля педалей є 3 зірочки, причому кількість зубців на них різна: від 32 до 52. А на осі колеса — 7 зірочок, і кількість зубців — від 17 до 34. У скільки разів ми отримуємо виграш або програш у силі на максимальній і мінімальній швидкостях, якщо відстань педалі від осі дорівнює 16 см, а діаметр колеса — 56 см.



Як працює гідростатичний прес? За законом Паскаля... До чого тут закон Паскаля? Ми ж розбираємося із простими механізмами! Якщо у нас є сполучені посудини, то тиск в будь-яку точку передається однаковий. Як ти вважаєш, у посудині з більшою площею сила гідростатичного тиску буде більшою чи меншою? Оскільки тиск однаковий (це умова рівноваги), то чим площа більша, тим і сила більша!

$$p = \frac{F}{S}; \text{ звідси } \frac{F_1}{S_1} = \frac{F_2}{S_2}.$$

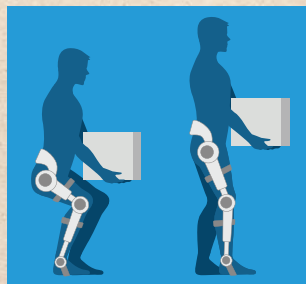
Тобто, щоб підняти слона на платформі, досить одним пальчиком натиснути на маленький поршень — усе легко.

Щось тут не так. Ми знаємо, що завжди виграш у силі супроводжується програшем у відстані. Рідина майже не стискається, тому об'єм, який ми виштовхуємо зліва, з'являється в іншій частині пристрою. Чим більша площа поверхні, тим меншою є висота, на яку підніметься платформа зі слоном. Отже, давити одним пальчиком на поршень доведеться довго, але слон усе ж таки підніметься. Робота знов залишається незмінною! Так само працюють гідравлічний і пневматичний домкрати. Пам'ятаєш подушку з відео «Повітряний підйомник»? Її довелось надувати доволі довго.

### Цікавий факт

За прикладами важеля далеко ходити не треба — у кожного з нас є власні. Наші кінцівки (руки, ноги) — це важелі, а суглоби — точки опори. М'язи прикладають силу для того, щоб привести кінцівки до руху. Не віриш? Візьми в руку який-небудь невеликий предмет. Опустив руку з ним вниз, потім піднімай вгору, а потім — уперед, причому один раз зігни лікоть під кутом  $90^\circ$ , а другий раз — випрями. У якому випадку ти протримаєшся найдовше, а в якому — найменше?

Якби всі м'язи людини потягнули предмет в один бік, вона легко могла б підняти автобус. І це за умови, що м'язи ніколи не скорочуються повністю: частина м'язових волокон завжди «відпочиває». Природа створила людину досконалою з точки зору фізики, а саме — використання важеля. Люди і тут «підглядають» секрети у природи й беруть усе найцінніше. У робототехніці використовують знання про важелі і будову суглобів, щоб створити роботів, кінцівки яких працюють за тим самим принципом.



# МЕХАНІЧНА ЕНЕРГІЯ

Слово «енергія» часто вживається в повсякденному житті. Але воно має конкретне фізичне значення.

**Енергія** — це міра здатності будь якого тіла виконувати роботу. Існують різні види енергії і кілька одиниць для її вимірювання. В СІ одиницею енергії, як і роботи, є джоуль. Електричну енергію можна вимірювати в кіловат-годинах, а енергію продуктів харчування зазвичай вимірюють в калоріях.

Існує дві форми механічної енергії — **потенціальна** та **кінетична**.

Поговоримо про потенціальну енергію. Слово «потенціальна» походить від латинського *potentia*, що означає «можливість», а слово «енергія» — від грецького *energia*, тобто «дія», «діяльність». Отже, величина потенціальної енергії характеризує можливість тіла виконати якусь роботу за рахунок взаємодії з іншими тілами.

Наприклад, тіло, що перебуває на деякій висоті над землею, може впасти і здійснити роботу, тому що його притягує Земля. Потенціальна енергія дорівнює:

$$E_{\text{п}} = mgh,$$

де  $E_{\text{п}}$  — гравітаційна потенціальна енергія тіла;  $m$  — його маса;  $g$  — прискорення вільного падіння;  $h$  — висота тіла над поверхнею Землі.

Пригадайте Дніпровську гідроелектростанцію! При падінні води з висоти 60 метрів її потенціальна енергія перетворюється на кінетичну та на електричну, яка живить електроенергією підприємства та житлові будинки.

Щоб завести такий годинник, треба підняти гиру, тобто надати їй потенціальну енергію. Гиру





буде опускатися і передавати потенціальну гравітаційну енергію маятнику, а той, у свою чергу,— стрілкам.

А от лук, що посилає стріли, має в запасі потенціальну пружну енергію, тобто його частини взаємодіють між собою.

$$E_{\text{п}} = \frac{1}{2}k\Delta x^2,$$

де  $E_{\text{п}}$  — пружна потенціальна енергія;  
 $k$  — жорсткість (Н/м);  $\Delta x$  — зміна довжини тіла (м).

Коли натягується тятива, положення частин лука змінюється відносно їх звичайного положення. Лук накопичує та зберігає потенціальну енергію завдяки новому положенню тятиви.

Насправді це електромагнітна енергія. Як це електромагнітна? Це ж сила пружності!

Ти пам'ятаєш, що всі сили можна звести до чотирьох видів взаємодій. Тіла складаються з атомів, а ті, у свою чергу, — із позитивно й негативно заряджених частинок. Коли тіло не деформовано, сили відштовхування та притягання атомів урівноважені, тобто рівнодійна дорівнює нулю. Під час розтягування більшою стає сила притягання, а під час стискання — сила відштовхування.

Кінетична енергія — це енергія руху. Тіло може виконувати роботу не тільки за рахунок взаємодії з іншими тілами, але й завдяки власному руху. Таку енергію називають кінетичною. Ти ж знаєш, що молоток, щоб забити цвях, має добряче розігнатися. Але легкому молотку це не допоможе, якщо цвях надто великий. Отже, кінетична енергія залежить від маси й швидкості руху тіла:



$$E_k = \frac{1}{2}mv^2,$$

де  $E_k$  — кінетична енергія;  $m$  — маса тіла;  $v$  — швидкість руху тіла (м/с).

Розглядаючи рівняння кінетичної енергії, можна відзначити кілька цікавих фактів:

- 1) кінетична енергія залежить від квадрата швидкості руху тіла — це означає, що зі збільшенням швидкості руху тіла вдвічі його кінетична енергія збільшується вчетверо;
- 2) кінетична енергія завжди буває або нульовою, або позитивною.

До цього часу ми розглядали два види енергії: потенціальну енергію та кінетичну енергію. Сума потенціальної та кінетичної енергії називається **повною механічною енергією**:

$$E_{\text{повна}} = E_{\text{п}} + E_k.$$

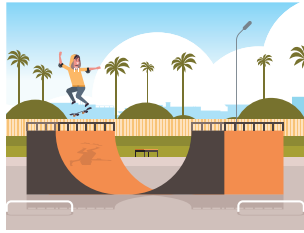
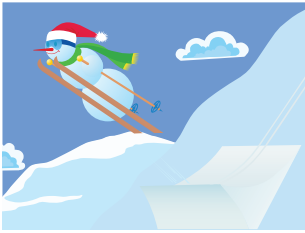
Зазвичай ми говоримо про споживання енергії, насправді ж енергія нікуди не зникає. Вона просто переходить з одного виду в інший. У фізиці це називається **законом збереження енергії**: загальна кількість енергії замкненої системи тіл залишається сталою. Енергія не виникає нізвідки й нікуди не зникає — відбувається лише перетворення одного виду енергії в інший або передача енергії від одних тіл до інших. А якщо ніякі сили, окрім сил тяжіння і пружності в системі тіл не діють, то сталою залишається також і повна механічна енергія. Тоді кажуть про **закон збереження повної механічної енергії**.

У природі існують також інші види енергії, наприклад:

- теплова, або внутрішня,— пов'язана з хаотичним рухом молекул у середовищі (часто вживається відносно температури);
- хімічна — зберігається в певних хімічних речовинах і може виділятися внаслідок реакцій;
- електрична — пов'язана з електричним і магнітним полями;
- променева — переноситься світлом та іншим електромагнітним випромінюванням.

Можна навести такі приклади переходу одного виду енергії в інший:

- стрибки на лижах із трампліна;
- катання на рампах для скейтбордистів, фріскейтерів, ролерів;
- розхитування на гойдалках.



## Дослід. «Автомобіль із гумовим мотором»

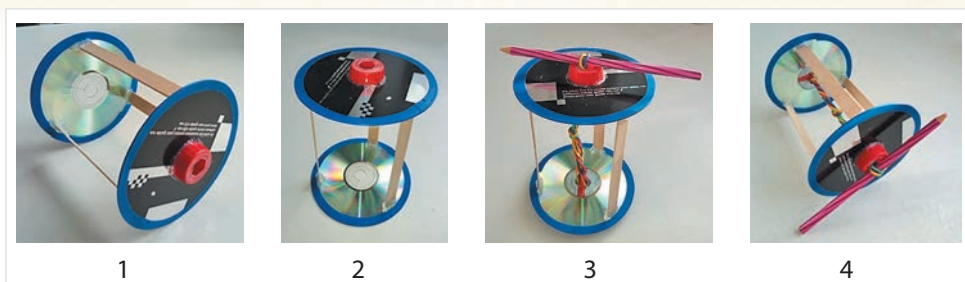
Тобі знадобляться:

- 1) використаний компакт-диск — 2 шт.;
- 2) шпатель дерев'яний довжиною 14 см — 3 шт.;
- 3) кришка діаметром 28 мм для пластикової пляшки;
- 4) резинки діаметром 60 мм — 6 шт.;
- 5) ізоляційна стрічка;
- 6) упор для резинок (олівець або паличка довжиною 7–8 см);
- 7) олівець довжиною 17–18 см.

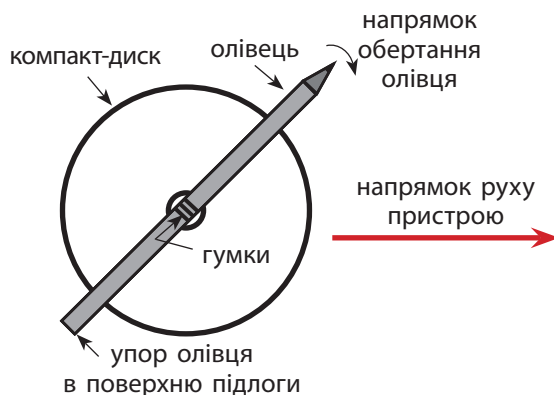
Виготовлення пристрою:

- а) з'єднай компакт-диски, шпатель і пластикову кришку, як показано на фото 1, 2 (див. с. 122);
- б) протягни резинки крізь отвори в компакт-дисках і зафіксуй їх за допомогою упора для резинок і олівця, як на фото 3, 4.

1. Підготуй поверхню підлоги.
2. За допомогою олівця скрути резинку, зробивши певну кількість обертів (вона визначаються шляхом досліду).



3. Обіпрі кінець олівця, який повинен виступати за контур компакт-диска приблизно на 2 см, об поверхню підлоги.
4. Відпусти пристрій:  
Спостерігай: пристосування рухається поверхню підлоги.



### Розбір досліду

Цей дослід демонструє дію закону збереження й перетворення механічної енергії.

Потенціальна енергія (у цьому експерименті — енергія пружної деформації) накопичується в еластичних резинках, коли їх скручують олівцем. Коли скручена зв'язка резинок вивільняється, її потенціальна енергія, накопичена під час скручування, поступово переходить у кінетичну енергію пристрою. Розкручуючись, зв'язка резинок щільно притискає олівець до поверхні підлоги, і єдиним фізичним тілом, яке витрачає

механічну енергію системи тіл, є компакт-диски пристрою, що обертаються навколо власної осі. Це дозволяє пристрою (умовно названому «автомобілем») переміщуватися (котитися) вперед поверхнею підлоги.

Пристрій припиняє свій рух (зупиняється), тому що для подолання сили тертя, яка діє на пристрій, що рухається, необхідно виконати певну роботу. Енергія для виконання цієї роботи спочатку була накопичена в скрученій зв'язці резинок, і під час руху пристрою енергія поступово витрачається.

Кілька слів про тертя в цьому досліді — тертя корисне чи шкідливе? Коли ми резинки натягуємо, скручуючи їх олівцем, упор для резинок міцніше притискає упор до поверхні компакт-диска. Між упором для резинок і поверхнею компакт-диска існує тертя спокою. Якби цього тертя не було, упор для резинок крутився б абсолютно вільно, і пристрій взагалі не можна було б завести навіть на один оберт. Це означає, що тут тертя спокою корисне, тому що допомагає роботі (руху) пристрою.

З іншого боку, олівець повинен легше ковзати по поверхні пластикової кришки. Це необхідно, щоб пристрій, обертаючись, просунувся далі. Це означає, що тут тертя ковзання шкідливе, тому що воно заважає роботі (руху) пристрою. Пластикові кришки були обрані в цьому експерименті через те, що між її поверхнею й поверхнею оболонки олівця, рівномірно вкритою лаком, коефіцієнт тертя буде невеликим.

Ізоляційна стрічка, надіта на краї компакт-дисків, забезпечує виникнення такого значення сили тертя спокою, яка дозволяє пристрою котитися поверхнею без прослизання (не «пробуксовувати», як кажуть шофери). Це означає, що тут тертя спокою корисне, тому що допомагає роботі пристрою, збільшуючи зчеплення компакт-дисків із поверхнею підлоги.

У пристрою є тертя ще в одному місці — це тертя кінчика олівця об поверхню підлоги, по якій олівець «повзе» слідом за пристроєм. Це означає, що тут тертя ковзання шкідливе,

тому що воно заважає роботі (затримує рух уперед) пристрою. Але тут важко щось зробити, аби зменшити тертя.

**Висновок:**

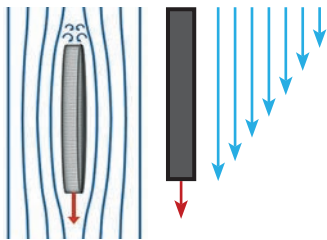
- 1) там, де частини механізму повинні рухатись, тертя шкідливе, і його необхідно зменшувати;
- 2) там, де частини механізму не повинні рухатись, де необхідне хороше зчеплення, тертя корисне, і його треба збільшувати.

От і закінчилась наша подорож. Є така прикмета: щоб повернутися у якесь місце, потрібно кинути у воду монетку. Кинемо і ми монетку з палуби теплохода.

Спочатку ми підкинемо її вгору. Кінетична енергія буде перетворюватися в потенціальну, доки не стане рівною нулю. Тоді монетка зупиниться, а потенціальна енергія стане максимальною.

Під час падіння, навпаки, потенціальна енергія буде зменшуватися, а кінетична — зростати, доки монета не досягне поверхні води. Під час польоту на неї діятиме сила опору повітря й трохи гальмувати її. До речі, робота цієї сили має знак мінус. При цьому частина механічної енергії перейде у внутрішню енергію й буде витрачена на нагрівання повітря та монети. Звісно, це невелика енергія, і суттєвого впливу на рух монети опір повітря не здійснює. Але хіба можна сказати таке про падіння парашутиста або метеорита?

Нарешті, монета впаде у воду. Її швидкість зменшиться, бо на нагрівання води витратиметься більше механічної енергії.



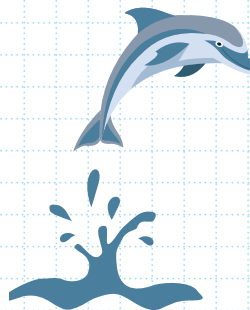
Коли монетка падає у воді, найближчі шари води «прилипають» до неї, а інші рухаються з меншими швидкостями.

Нарешті, при досяганні дна вся механічна енергія перейде у внутрішню енергію оточуючого середовища.



## Задачі

1. Маса тенісного м'яча 58,5 г. Яку кінетичну енергію мав передати йому тенісист Іво Карлович, щоб установити офіційний рекорд швидкості тенісного м'яча після удару — 251 км/год?
2. Яка пружна енергія накопичується в сухожиллі спортсмена, що під час стрибка розтягується на 9 мм, якщо його жорсткість 10 кН/м?
3. Підкинемо монетку (2 гривні) зі швидкістю 7 м/с вертикально вгору. На яку висоту вона підлетить, якщо не враховувати опір повітря? В цій і наступній задачі прискорення вільного падіння доцільно взяти 9,8 м/с<sup>2</sup>.
4. Ми не стали ловити монетку, і вона впала у воду. З якою швидкістю вона увійде у воду, якщо ми стоїмо на другій палубі на висоті 7,5 м над поверхнею води? Яку енергію монетка витратить на нагрівання води і дна, якщо її маса дорівнює 4 г, а глибина занурення — 12 м?
5. Спортсмен масою 70 кг здійснює стрибок з парашутом з висоти 1200 метрів. Швидкість його приземлення — приблизно 5 м/с. Яка частина (у відсотках) механічної енергії перейшла «по дорозі» у внутрішню? З якої висоти мав би стрибнути спортсмен без парашута, щоб приземлитися з тією самою швидкістю?
6. Коли дельфін вистрибує з води, він може піднятися на висоту 5 метрів над її поверхнею. Яка початкова швидкість дельфіна?



## Цікаві факти

Кінська сила — це насправді не сила, а потужність. Поняття «кінська сила» увів шотландець Джеймс Ватт для опису потужності своїх парових машин.



Спостерігаючи за кіньми на вугільних копальнях, Ватт вирахував, що середньостатистичний кінь здатен протягом тривалого часу піднімати із шахти вантаж вагою близько 75 кілограмів зі швидкістю один метр за секунду (що дорівнює 3,6 км/год). Ця потужність і була прийнята за одну кінську силу (скорочено к. с.).

Із цією швидкістю кінь може довго тягнути лише 15 % своєї ваги, тобто кінь вагою 500 кг розвиває потужність 1 к. с. У сучасних одиницях це 735 Вт. Однак коні мають різну вагу. Поні вагою 170 кг навряд чи покаже більше третини кінської сили, а півторатонний вагозов може працювати за трьох коней. У ривку середній кінь здатен розвивати потужність до 15 к. с.

Ми з тобою живемо на планеті Земля. Її адреса — Галактика Чумацький Шлях, Сонячна система. Сонце — це джерело енергії, яка бере участь у майже всіх процесах, що відбуваються на Землі. Кожну секунду воно випромінює



енергію 386 мільярдів МДж. (До речі, пригадай, як це число записати в стандартній формі). Коли ця енергія досягає Землі, на кожен квадратний метр має «приходити» за секунду 1367 Дж (величину 1367 Вт/м<sup>2</sup> називають сонячною сталою). Але коли ця енергія проходить через атмосферу, то за рахунок поглинання вона зменшується приблизно в 5 разів. Це та енергія, яка дає нашій планеті життя.

Кисень у нашому повітрі й органічні речовини — результат фотосинтезу, який відбувається в рослинах під дією сонячних променів. Гігантський «тепловий насос» веде до пересування великих мас повітря й кругообігу води в природі. Енергія вітру, води, органічних видів палива, не кажучи вже про сонячні електростанції — це також результат впливу Сонця. У всіх цих процесах відбувається перетворення сонячної енергії на інші види енергії.



## Джерела

1. Hubáček Z. High and Low Pressure [Електронний ресурс] / Zdeněk Hubáček // Science on Stage Festival 2019. — 2019. — Режим доступу до ресурсу: <https://sons2019.eu/workshops-held-by-festival-delegates/>.
2. Верн Ж. П'ять тижнів на повітряній кулі [Електронний ресурс] / Жуль Верн // Укрліб. — Режим доступу до ресурсу: <https://www.ukrlib.com.ua/world/printit.php?tid=8644>.
3. Даминов Р. В. Опыты с бутылками [Електронний ресурс] / Р. В. Даминов // Наука и жизнь. — 2001. — Режим доступу до ресурсу: <https://m.nkj.ru/archive/articles/12835/>.
4. Загадковий світ Антарктики: льодові перемоги каразінських вчених [Електронний ресурс] // Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна. — 2016. — Режим доступу до ресурсу: [https://www.univer.kharkov.ua/ua/general/univer\\_today/news?news\\_id=5602](https://www.univer.kharkov.ua/ua/general/univer_today/news?news_id=5602).
5. Роберт Гук [Електронний ресурс] // «Наука». — 1984. — Режим доступу до ресурсу: [http://pyrkov-professor.ru/Portals/0/Mediateka/XVII%20vek/bogolyubov\\_a\\_n\\_robert\\_guk.pdf](http://pyrkov-professor.ru/Portals/0/Mediateka/XVII%20vek/bogolyubov_a_n_robert_guk.pdf).
6. Супруненко П. Великий експеримент на Пьюи-де-Дом [Електронний ресурс] / П. Супруненко, Ю. Супруненко // Химия и жизнь, № 11. — 2005. — Режим доступу до ресурсу: [http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/9f0a508c-955c-464c-0ce1-e678d876b5f6/42-45\\_11\\_2005.pdf](http://files.school-collection.edu.ru/dlrstore/9f0a508c-955c-464c-0ce1-e678d876b5f6/42-45_11_2005.pdf).
7. Том Т. Научные забавы: интересные опыты, самоделки, развлечения / Тит Том. — Москва: Издательский Дом Мещерякова, 2008. — 224 с.
8. ТОП-5 самых больших автомобильных пробок в истории [Електронний ресурс] // Сегодня. — 2015. — Режим доступу до ресурсу: <https://economics.segodnya.ua/economics/avto/top-5-samyh-bolshih-avtomobilnyh-probok-v-istorii-599163.html>.
9. Холодная сварка в космосе — причина аварий космических аппаратов [Електронний ресурс] // lllolll.RU — Режим доступу до ресурсу: <http://lllolll.ru/svarka/>.
10. Цікаві факти зі світу спорту [Електронний ресурс]. — Режим доступу до ресурсу: <https://medium.com/@mfntmail/интересные-факты-из-мира-спорта-afcf2aa62407>.
11. Шульга А. Почему воздушные шары вредны [Електронний ресурс] / Аліна Шульга // Накипіло. — 2019. — Режим доступу до ресурсу: <https://nakipelo.ua/pochemu-vozdushnye-shariki-vredny/amp/>.

Відповіді до Задач



Навчальне видання  
Серія «Шкільна бібліотека»

*ГОДОВАНА Ніна Борисівна*  
*КРАВЕЦЬ Тетяна Анатоліївна*

**«ФІЗИЧНІ ЯВИЩА НАВКОЛО НАС»**

посібник серії «Шкільна бібліотека»  
для 7 класу закладів загальної середньої освіти

**Рекомендовано Міністерством освіти і науки України**

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Провідний редактор *І. Л. Морева*. Редактор *І. В. Копитіна*.  
Технічний редактор *А. В. Плisko*. Художнє оформлення *В. І. Труфена*.  
Коректор *Н. В. Красна*

При оформленні посібника використані джерела,  
викладені у вільному доступі в мережі інтернет,  
а також фотографії з приватного архіву авторів.

Підписано до друку 01.12.2020. Формат 70×90/16.  
Папір офсетний. Гарнітура Шкільна. Друк офсетний.  
Ум. друк. арк. 9,36. Обл.-вид. арк. 9,3.  
Тираж 82 547 прим. Зам. № 9510-2020.

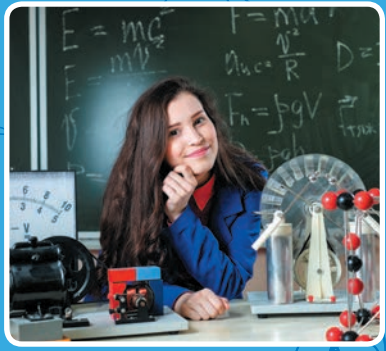
ТОВ Видавництво «Ранок»,  
вул. Кібальчича, 27, к. 135, Харків, 61071.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5215 від 22.09.2016.  
Адреса редакції: вул. Космічна, 21а, Харків, 61145.  
E-mail: office@ranok.com.ua. Тел. (057) 719-48-65, тел./факс (057) 719-58-67.

Посібник надруковано на папері українського виробництва

Надруковано у друкарні ТОВ «ТРИАДА-ПАК»,  
пров. Сімферопольський, 6, Харків, 61052.  
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 5340 від 15.05.2017.  
Тел. +38 (057) 712-20-00. E-mail: sale@triada.kharkov.ua



Пізнання починається зі здивування.  
*Арістотель*



Природу перемагають, підкоряючись її законам.  
*Френсіс Бекон*

$$v^2 = u^2 + 2as$$



Усі ідеї в науці народилися в драматичному конфлікті між реальністю й нашими способами її зрозуміти.  
*Альберт Ейнштейн*



Природа так про все подбала, що повсюди ти знаходиш, чому вчитися.  
*Леонардо да Вінчі*



$$PE = m \times$$



Досліджуй все, нехай для тебе на першому місці буде розум, дозволь йому керувати собою.  
*Піфагор*



Три шляхи ведуть до знань: шлях наслідування — найлегший, шлях роздумів — найскладніший і шлях дослідження — найцікавіший.  
*Конфуцій*



$$s = vt + \frac{1}{2}at^2$$

$$W = 2Tf$$

$$t = \frac{1}{f}$$

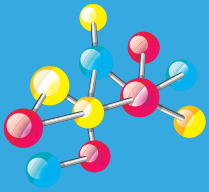
$$E = mc^2$$

$$W = F \times S$$

$$E = mc^2$$

$$PE = mgh$$

$$I = \frac{E}{R \times t}$$



$$v = u + at$$



Світ незорий, але пізнаваний. Прямуй на вітрилах своєї фантазії в цей світ, вивчай фізичні явища та закони. Долай рифи механічного руху; чини опір «шкідливим» силам; завзято використовуй корисну виштовхувальну силу; уперто виконуй повсякденну роботу на всі сто відсотків потужності



$$w = 2\pi f$$
$$t = \frac{s}{v}$$

$$P = \frac{W}{t}$$



$$E = mc^2$$

$$W = F \cdot S$$



ВИДАВНИЦТВО  
**РАНОК**



ISBN 978-617-09-6797-8



Інтернет-підтримка

