

ТЕТЯНА ЗАСЕКИНА, МАКСИМ ГВОЗДЕЦЬКИЙ

# ФІЗИКА



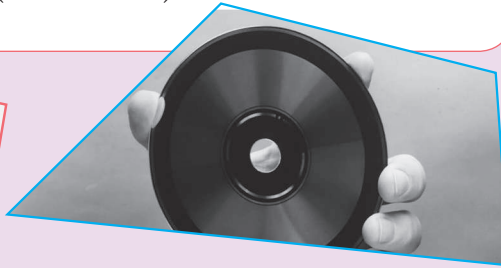
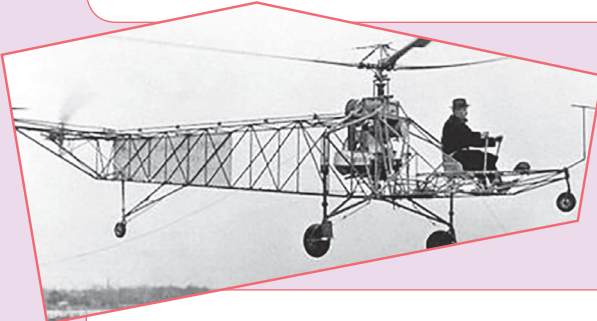
7  
КЛАС

# ФІЗИКА В УКРАЇНІ

## 5 ВІНАХОДІВ УКРАЇНЦІВ ЗА ПОХОДЖЕННЯМ

Одними з перших фізиків були:  
Тимофій Федорович Осиповський (1765–1832);  
Михайло Васильович Остроградський (1801–1862);  
Михайло Петрович Авенаріус (1835–1895)

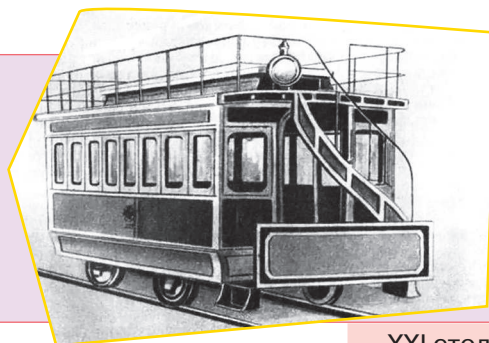
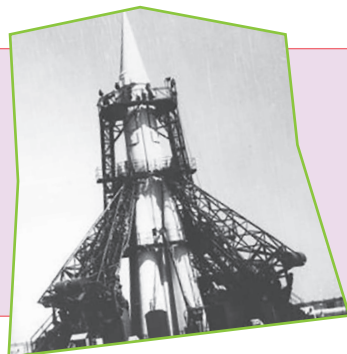
XIX століття



Світове визнання здобули науковці Харківського фізико-технічного інституту: О. І. Ахієзер, Л. Д. Ландау, О. І. Лейпунський, К. Д. Синельников, В. І. Обреїмов, Л. В. Шубніков.

Серед учених українського походження, які працювали за кордоном, особливе місце належить І. П. Пулюю та О. Т. Смакулі. Розвиток світової авіації та космонавтики став можливим завдяки вихідцям з України: І. І. Сікорському, О. К. Антонову, С. П. Корольову, В. М. Челомею, М. К. Янгелю.

XX століття

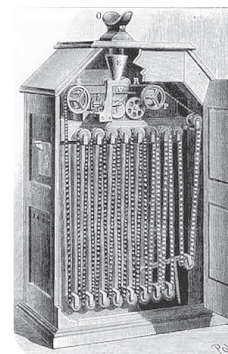


Сьогодні важливу роль у розвитку фізики в Україні відіграють установи Національної академії наук України й наукові товариства.

XXI століття



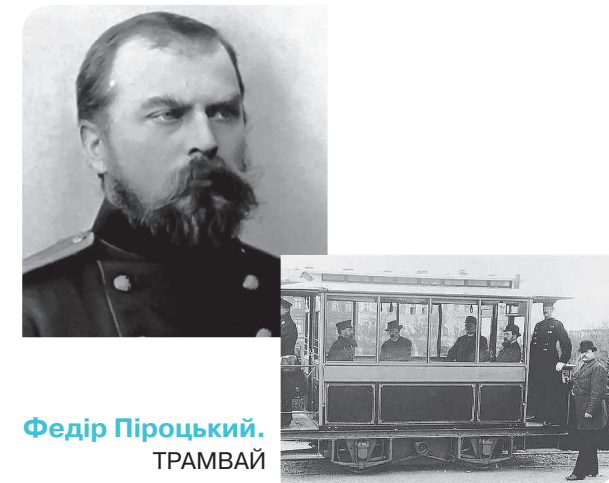
**Ігор Сікорський.**  
ГЕЛІКОПТЕР



**Йосип Тимченко.**  
КІНОАПАРАТ



**Сергій Корольов.**  
ПЕРШИЙ ШТУЧНИЙ  
СУПУТНИК ЗЕМЛІ



**Федір Піроцький.**  
ТРАМВАЙ



**Сергій Тимчук.**  
ІСТІВНИЙ ПОЛІЕТИЛЕН

Тетяна Засєкіна, Максим Гвоздецький

# ФІЗИКА

Підручник для 7 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Київ  
Видавничий дім «Освіта»  
2024

УДК 53\*кл7(075.3)  
З-36

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України  
(наказ Міністерства освіти і науки України від 05.02.2024 № 124)

**ВИДАНО ЗА РАХУНОК ДЕРЖАВНИХ КОШТІВ. ПРОДАЖ ЗАБОРОНЕНО**

Підручник розроблено  
за модельною навчальною програмою  
«Фізика. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти  
(авт. Головка М. В., Засекін Д. О., Засекіна Т. М., Крячко І. П.,  
Ляшенко О. І., Мацюк В. М., Мельник Ю. С., Непорожня Л. В., Сіпій В. В.)

Цифрові додатки до підручника за посиланням:

<http://inform1.yakistosviti.com.ua/pryroodnychi-nauky/fizyka-7-klass>

<https://vse.ee/cfti>



**Засекіна Т. М.**

З-36 Фізика : підруч. для 7 класу закладів загальної серед-  
ньої освіти / Т. М. Засекіна, М. С. Гвоздецький. — К. :  
Видавничий дім «Освіта», 2024. — 240 с. : іл.  
ISBN 978-966-983-469-0.

**УДК 53\*кл7(075.3)**

ISBN 978-966-983-469-0

© Засекіна Т. М., Гвоздецький М. С., 2023  
© Видавничий дім «Освіта», 2024

## ВІТАЄМО НА СТОРІНКАХ ПІДРУЧНИКА «ФІЗИКА»!

Цьогоріч ти продовжиш захопливі мандри світом науки. Тобі стануть у пригоді набуті у 5–6 класах уміння досліджувати природу, опрацьовувати інформацію, усвідомлювати закономірності природи, співпрацювати в команді, розв'язувати проблеми. Особливістю цього етапу навчання є те, що тепер ти вивчатимеш природу так, як це роблять фізики. Тому важливо удосконалювати вміння моделювати, організовувати, планувати та проводити дослідження (як теоретичні, так і практичні), аналізувати і тлумачити здобуті дані, пояснювати й розробляти рішення, аргументувати докази. Ти також багато чого навчишся — розв'язувати фізичні задачі різними способами, застосовувати наукові методи дослідження та інженерні підходи до розв'язання проблем. Допоможе тобі в цьому наш підручник у форматі 4Д:



**ДОСЛІДЖУЙ**

**ДІЗНАВАЙСЯ**

**ДУМАЙ**

**ДІЙ**

На початку кожного параграфу є проблемне питання, наприклад таке:



*Чим фізика відрізняється від інших природничих наук?*

**Твої дії:** Спробуй одразу дати на нього відповідь. Якщо відчуваєш, що ти вже можеш відповісти на нього, але виникають сумніви: чи правильна твоя відповідь, чи достатньо аргументована, тоді розпочинай ознайомлення з матеріалом з першої рубрики.

## ДОСЛІДЖУЙ



Саме ця рубрика допоможе тобі виявити невідоме, умотивувати шукати відповіді й почати розв'язувати проблему.

**Твої дії:** Спробуй самостійно виконувати завдання, розміщені в цій рубриці. Можеш виконувати одразу всі завдання рубрики, а можеш робити їх по черзі. Виконуючи завдання, тобі потрібно пересвідчитись у своїх висновках, спростувати або підтвердити припущення. Допоможе в цьому наступна рубрика.

Тут ти знайдеш новий і цікавий для тебе навчальний матеріал, а також пояснення до завдань.

**Твої дії:** Опрацювай самостійно або з допомогою вчителя / вчительки матеріал цієї рубрики. Читай параграф активно. Тут ти побачиш запитання, спонукання до виконання певних завдань — аналізування прочитаного, роботу з малюнками, графіками й таблицями. Тобі траплятимуться анімаційні картинки, що «оживляють» фізичні процеси. Для цього налаштуй у своєму гаджеті функцію зчитування інформації за QR-кодом.

## ДІЗНАВАЙСЯ



## ДУМАЙ

У цій рубриці дібрані завдання, які допоможуть пересвідчитись у тому, що ти самостійно можеш пояснити вивчене.

**Твої дії:** Шукай відповіді на поставлені запитання. Повертайся до прочитаного, роби нотатки.

## ДІЙ

Наступна рубрика допоможе оволодіти дослідницькими навичками. Вона містить фізичні задачі та завдання для досліджень.

**Твої дії:** Навчайся розв'язувати фізичні задачі й виконувати дослідження. І це одне з найважчих завдань. Упоратись із ним тобі допоможуть пам'ятки та вказівки, приклади розв'язування задач.

## ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Ця рубрика для узагальнення матеріалу теми, яку вивчали.

**Твої дії:** Упорядкуй подібну схему або узагальнювальну карту самостійно.

Тут тобі пропонуються завдання, подібні до тих, що виконували впродовж теми.

**Твої дії:** Виконай ці завдання. Скільки балів? Можливо, потрібно щось повторити?

Допомагатимуть тобі під час мандрів у світ науки учні 7-В класу школи № 35 міста Києва. Вони першими вивчали фізику в Новій українській школі за цим підручником. Тепер твоя черга поринути в захопливий світ цієї природничої науки. Саме такі запитання виникали в них, коли вони опрацьовували матеріал.

## ПЕРЕВІР СЕБЕ



А я вчитиму тебе формулювати правильні висновки й залучатиму до обговорення важливих питань.

У цифровому додатку ти знайдеш цікаву додаткову інформацію, відео дослідів, явищ і процесів, що вивчаєш, інструкції й пам'ятки, а також інтерактивні завдання, вправи для самоперевірки та дослідницькі задачі.



**цифровий додаток**

Розвивай у собі 4Д-риси дослідника / дослідниці:

Допитливість

Далекоглядність

Доброчесність

Діловитість

Щастя тобі на теренах природничих наук!

Автори

# ЗМІСТ

## Фізика — наука про природу

§ 1. Фізика — наука про природу .....	8
§ 2. Наукове дослідження та інженерна діяльність .....	15
Лабораторна робота № 1 .....	25

## Розділ 1. Механічний рух

§ 3. Дізнаємося про механічний рух .....	27
§ 4. Обчислюємо величини, якими характеризують рух .....	35
§ 5. Будуємо графіки прямолінійного рівномірного руху .....	47
§ 6. Дізнаємося про нерівномірний рух .....	54
§ 7. Дізнаємося про рух по колу .....	64
Лабораторна робота № 2 .....	75

## Розділ 2. Взаємодія тіл. Сила

§ 8. Дізнаємося про інерцію .....	80
Лабораторна робота № 3 .....	89
§ 9. Визначаємо густину речовини .....	90
Лабораторна робота № 4 .....	98
§ 10. Дізнаємося про силу .....	99
§ 11. Досліджуємо пружні властивості тіл .....	107
Лабораторна робота № 5 .....	114
§ 12. Дізнаємося про силу тяжіння, вагу і невагомість .....	116
§ 13. Досліджуємо рухи небесних тіл .....	125
§ 14. Досліджуємо тертя .....	131
Лабораторна робота № 6 .....	138

## Розділ 3. Тиск твердих тіл, рідин і газів

§ 15. Дізнаємося про тиск твердого тіла на поверхню .....	144
§ 16. Дізнаємося про тиск рідин і газів .....	150
§ 17. Дізнаємося про гідростатичний тиск .....	156
§ 18. Досліджуємо атмосферний тиск .....	162
§ 19. Досліджуємо сполучені посудини .....	168
§ 20. Дізнаємося про виштовхувальну силу .....	174
§ 21. Дізнаємося про судноплавання і повітроплавання .....	180
Лабораторна робота № 7 .....	186

## Розділ 4. Механічна робота й енергія

§ 22. Дізнаємося про механічну роботу й потужність .....	191
§ 23. Дізнаємося про механічну енергію .....	198
§ 24. Досліджуємо перетворення механічної енергії .....	206
§ 25. Досліджуємо прості механізми .....	211
Лабораторна робота № 8 .....	220
§ 26. Дізнаємося про коефіцієнт корисної дії .....	222
Лабораторна робота № 9 .....	229
Відповіді .....	234
Показчик .....	238





# ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ



## ТИ ДІЗНАЄШСЯ

Чим фізика відрізняється від інших природничих наук.  
Чим візняються науковий метод і технологічний процес.

## ТИ НАВЧИШСЯ



Застосовувати наукові методи дослідження природи.



## ТИ ЗРОЗУМІЄШ

Чим відрізняються фізичні та природні явища.  
Для чого вивчати фізику.  
Як виникла фізика.  
Яке значення має фізика у твоєму житті.



Для чого потрібно вивчати фізику?



# § 1. ФІЗИКА — НАУКА ПРО ПРИРОДУ



Чим фізика відрізняється від інших природничих наук?

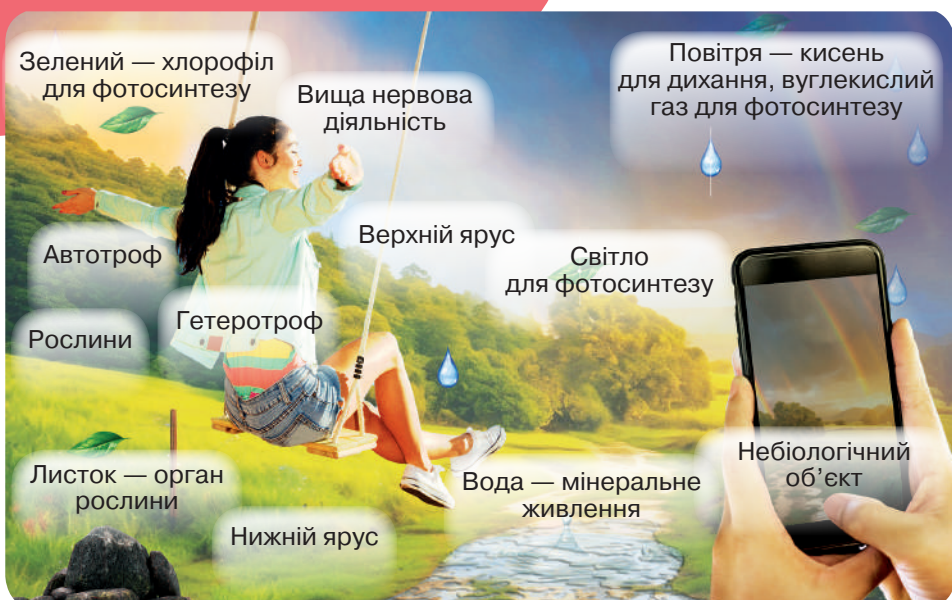
ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнок 1.1. Спробуй самостійно з'ясувати, що вивчає фізика і чим вона відрізняється від інших природничих наук.

## Світ очима фізиків



## Світ очима біологів



2

Об'єднайтеся в чотири групи. Складіть короткий перелік об'єктів вивчення кожної з природничих наук — ключові питання, на які науковці цієї галузі шукають відповідь. Знайдіть в інтернеті вислови вчених про природничі науки.



Мал. 1.1

**ДІЗНАВАЙСЯ**

Термін *фізика* (англ. *physics*) застосував давньогрецький учений Арістотель (бл. 384—322 рр. до н. е.). У перекладі з грецької *фізика* означає *природа*.

Фізику часто називають наукою про природу. Але природа — це все-все навкруги. Невже одна наука спроможна все пояснити?



До того ж із фізикою тісно пов'язані інші природничі науки, математика й техніка. Як же збагнути, що вивчає фізика?

Природа — це справді все-все, що є навкруги, і вивчати її почали ще в давні часи. Досліджуючи природу, вчені із часом стали виокремлювати сфери дослідження: небесні тіла, речовини, природні явища й об'єкти, організми. Досить часто дослідники групують і класифікують об'єкти вивчення.

Тобі вже відомо, що в довкіллі виокремлюють об'єкти живої та неживої природи. А ще все, що існує навколо, можна поділити на такі дві групи: рукотворні та природні об'єкти (мал. 1.2).

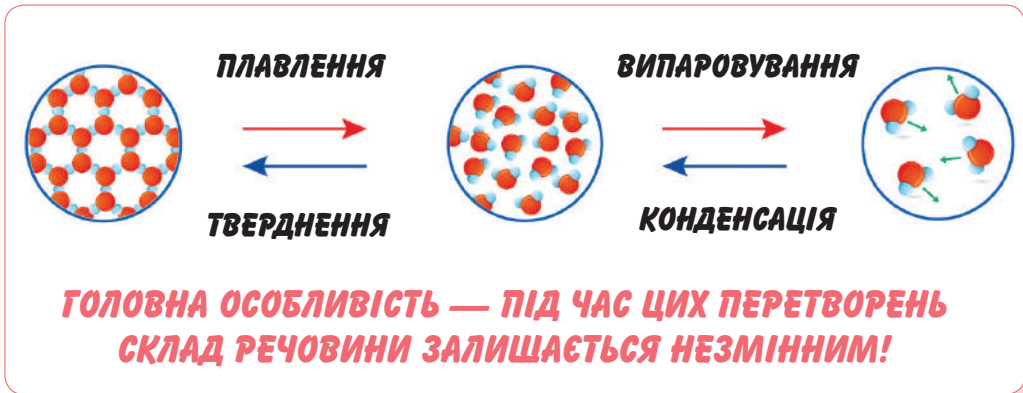


Мал. 1.2. Які об'єкти, на твою думку, вивчає фізика?

Проте все-все, що існує навколо, вчені називають одним поняттям — *матерія* (*matter*) — матеріальний світ.

Перший вид матерії — *речовина* (*substance*). І ти вже знаєш, що речовина може перебувати в одному з трьох станів: твердому, рідкому, газуватому (мал. 1.3).

Пригадай, що тобі відомо про будову твердих тіл, рідин і газів.



Мал. 1.3

А ще в природі є четвертий стан речовини — плазма. У такому стані перебуває понад 99 % об'єктів видимого Всесвіту. У земних умовах плазму можна спостерігати, наприклад, під час нагрівання газу до надзвичайно високих температур. За таких умов атоми газу вже не є цілісними частинками.

Повітря — це приклад речовини. Попри те, що ми не можемо побачити й помацати його, ми можемо відчувати його рух — вітер. А от інший вид матерії — *поле* (*field*) ти вже ніяк не відчужеш. Поле виявляє себе у взаємодії тіл — гравітаційне забезпечує притягання всіх без винятку тіл, електромагнітне — взаємодію електрично заряджених тіл.

Усе, що є в матеріальному світі, перебуває в русі й зазнає змін. Зміни в природі називають *природними явищами* (*natural phenomenon*). І ось тут варто розрізняти *природні* й *фізичні* явища (*physical phenomenon*).

Наприклад, гроза — це природне явище. Утім, фізики в цьому явищі виділяють *фізичні явища* (мал. 1.4, с. 12).



Гроза — природне явище

- **Гучний грім** — звукове явище
- **Загоряння від блискавки** — теплове явище
- **Вихід із ладу електричних пристроїв від потраплення блискавки** — електромагнітне явище
- **Спалах блискавки** — електричне і світлове явища
- **Падіння крапель дощу** — механічне явище

Мал. 1.4

Фізика — природнича наука, яка досліджує загальні властивості матерії та явищ у ній, а також виявляє закони, які керують цими явищами.



## ДУМАЙ

- 1 Часто нам трапляється вислів «Фізика — наука про неживу природу». Як ти вважаєш, чи правильне це твердження?
- 2 Розглянь десять причин, чому ти маєш знати фізику (мал. 1.5). Наведи приклади, що підтверджують або спростовують наведені вислови. Яка з причин видалася тобі найпереконливішою?

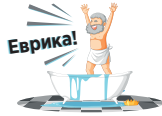
#1 Фізика допоможе тобі вступити до коледжу та знайти кохання.



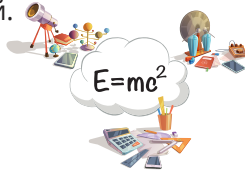
#6 Фізика дасть тобі роботу.



#2 Фізика робить відкриття.



#3 Фізика — основа техніки й технологій.



#7 Фізика допомагає в опануванні інших наук.



#8 Фізика пояснює, як усе відбувається в природі.



#4 Фізики можуть бути президентами, економістами, музикантами.



#9 Фізика вчить думати.



#5 На уроці фізики ти застосуєш свої знання з математики.



#10 Фізика допоможе тобі вибратися із чорної діри.



Мал. 1.5. Що тебе переконає вивчати фізику?

3 Обери фізичне явище та сформулюй відкриті й закриті запитання про нього.



Відкриті запитання мають починатися зі слів: *що; хто; які; із чого; у яких; у скільки*, а закриті — зі слів: *чому; для чого; що станеться, якщо; як ти ставишся до*.

4 З указанного переліку вибери фізичні тіла, речовини та фізичні явища: вода, туман, слон, Сонце, сонячний зайчик, вітер, горіння, лід, цунамі, землетрус, дощ, веселка, алюміній, блискавка, грім, пісок, кипіння, падіння, яблуко, олівець, пластилін, клей, фарба, мильна бульбашка, пір'їна, метал. Заповни таблицю:

Фізичні тіла	Речовини	Фізичні явища

ДІЙ

1 Об'єднайтеся в пари. Оберіть природний об'єкт / явище й дізнайтеся про нього з додаткових джерел. Спочатку один з учасників називає характеристики об'єкта / явища, а другий має вказати «знаю» / «не знаю». Потім учасники пари обмінюються ролями.

2 Організуйте спостереження за фізичними явищами, що відбуваються в природі впродовж вибраного періоду (доба, тиждень тощо). Форму для фіксування результатів спостереження оберіть самостійно.

3 Спробуйте самостійно розташувати на стрічці часу (мал. 1.6) імена відомих тобто вчених, що жили в певний період. Які відкриття вони здійснили? Які ще події відбувались у цей час? Скористайтесь цифровим додатком (Вступ, до § 1, інформаційна довідка «Хто створив фізику»).

4 Об'єднайтеся у групи і створіть презентацію з відомостями про: а) історію фізики; б) учених-фізиків; в) наукові установи й організації у світі та Україні; г) найважливіші винаходи й відкриття. Презентуйте результати.

5 Запиши зручним способом бліцінтерв'ю на тему «Що таке фізика і яке її значення» з людьми, різними за віком, статтю, професією тощо.

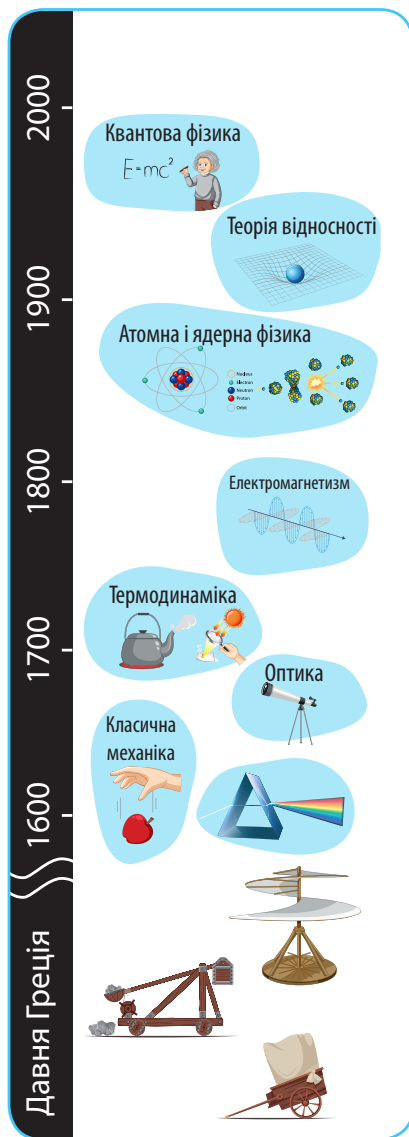
1) Згрупуйте за спільними ознаками: опитаних людей; одержані відповіді. З'ясуйте, чи є взаємозв'язок між особливостями тлумачення слова *фізика* та групою, до якої належить опитана людина.

2) Узагальніть результати дослідження і створіть інфографіку.

3) Чи можна вважати відповіді з опитування типовими для певної групи людей — тобто чи відповідатимуть так само на ці запитання й інші люди, які належать до цієї групи?

Мал. 1.6.

Простеж історію розвитку фізики





## § 2. НАУКОВЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ТА ІНЖЕНЕРНА ДІЯЛЬНІСТЬ



У чому особливість роботи вчених та інженерів?

### ДОСЛІДЖУЙ

1 Розглянь малюнок 2.1, а і б.

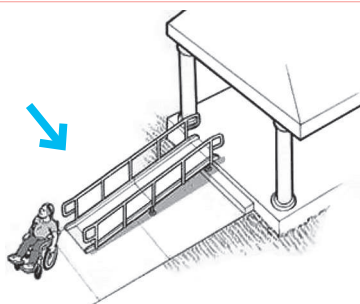
- Чи впливає маса коробок на швидкість їх спуску похилою площиною?
- Чи впливає кут нахилу площини на швидкість спуску коробок?
- Чи впливає довжина похилої площини на швидкість спуску коробок?
- Яке максимальне навантаження (у кг) здатна витримати ця конструкція?



а

Мал. 2.1

б



Опиши процес, який продемонстровано на малюнку а, і запропонуй власне бачення розвитку подій за такими етапами:

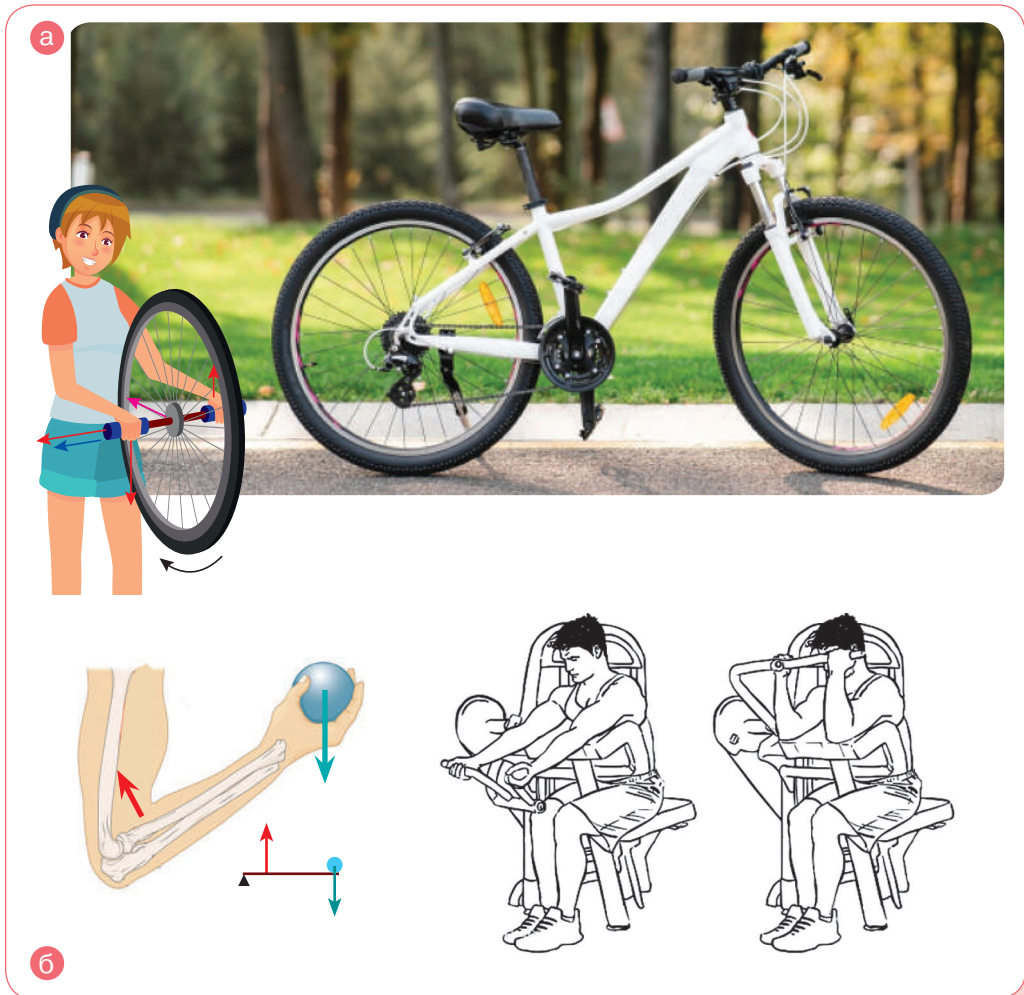
- формулювання проблеми;
- збір даних;
- висування гіпотези;
- аналіз даних;
- планування досліду;
- висновки.

Опиши дії, які потрібно виконати під час створення конструкції, зображеної на малюнку б, скориставшись таким планом:

- ознайомлення з технічним завданням;
- визначення вимог;
- проєктування виробу;
- добір матеріалів і технологій їх обробки;
- розроблення та виготовлення;
- тестування;
- впровадження і супровід.

## § 2. Наукове дослідження та інженерна діяльність

- Поясни, який із цих малюнків (2.1, **а** і **б**, с. 15), на твою думку, демонструє один з етапів наукового дослідження (*scientific research*), а який — інженерного проектування (*engineering design process*). Які саме етапи продемонстровано на кожному малюнку?
  - Поміркуй, які вимірювання необхідно виконати науковцям та інженерам для реалізації описаних завдань? Обґрунтуй необхідність опанування навичок вимірювання.
- 2** Поясни, як пов'язані між собою наукові дослідження і технічні рішення (мал. 2.2). Укажи на зв'язок фізики із життям.



Мал. 2.2

- 3** Об'єднайтеся в пари, назвіть власні приклади наукових досліджень і технічних рішень. За необхідності скористайтеся інтернетом.

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Як працюють учені та інженери-конструктори?** Чи доводилося тобі замислюватися над тим, що за кожен, навіть звичайнісінький предмет, котрий нас оточує, ми маємо завдячувати вченим, винахідникам та інженерам. Саме вони, використовуючи свій талант, знання і наполегливість, зробили наше повсякденне життя набагато комфортнішим.

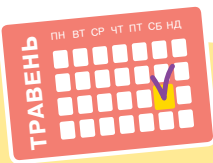


На етапі зародження людства ідеї для винаходів надавала сама природа. Головним завданням було розроблення такого технічного засобу, який би допоміг людині адаптуватися до середовища існування.

Накопичений досвід сприяв зародженню науки, оскільки виникала необхідність його описування і подальшого дослідження. Саме тому першим розділом фізики як науки стала *механіка*, що з мистецтва створення машин перетворилася на самостійний напрям досліджень механічного руху та взаємодії тіл.



І вчені, і інженери роблять свій внесок у світ людських знань, але різними способами. Учені використовують науковий метод, щоб давати пояснення та робити прогнози щодо пізнання світу. Інженери дотримуються технологічного процесу під час створення продуктів, що призначені розв'язувати проблеми людей. Хоча ці способи можуть взаємодіяти, їх цілі та підходи здебільшого різняться. Наукове дослідження спрямоване на розуміння явища, тоді як інженерне проектування — на створення конкретного продукту чи системи з визначеними вимогами.



Третя субота  
травня

**День науки  
в Україні**



Третя субота  
вересня

**День винахідника  
й раціоналізатора України**

**Що таке стартапи?** Уяви, що в тебе є ідея або винахід, який може полегшити чи покращити життя людей. Наприклад, ти хочеш створити новий тип додатка для смартфона. Можна реалізувати свою ідею і створити бізнес, а стартап — це як початок нового проекту чи компанії, яка перебуває на первинному етапі свого розвитку.

Під час народження стартапу поєднуються не лише наука, техніка й технології, до них додаються бізнес та маркетинг (мал. 2.3).



Мал. 2.3

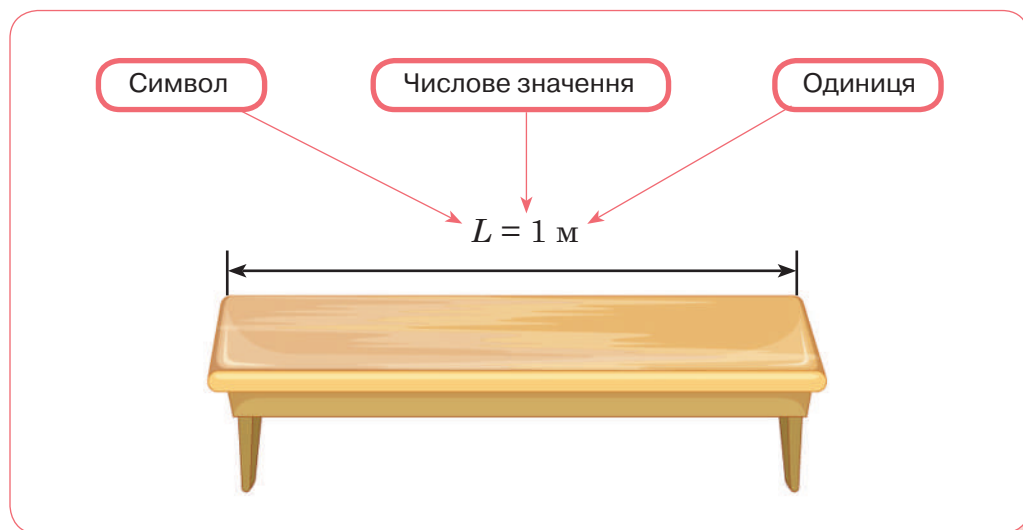
В Україні створюється дедалі більше стартапів — компаній, які об'єднують представників різних напрямів діяльності для впровадження інноваційних ідей і продуктів. Ключовою ознакою стартапу, роботи в науковій установі та конструкторському бюро є командна взаємодія.

Останнім часом з'явилися стартапи з розроблення біонічних протезів, оснащених датчиками, які вимірюють температуру і скоротливість м'язів (мал. 2.4). Адже зараз є багато людей, які втратили руки й ноги через війну. Така компанія зазвичай складається із 6 працівників: підприємець, який має досвід впровадження проектів, директор, що виконує операційні завдання, лікар-нейрохірург, який є спеціалістом у галузі біофізики, троє інженерів, які програмують, експериментують, виготовляють і тестують протези.



Мал. 2.4.  
Біонічний протез українського виробництва

**Набуваємо вмінь вимірювати.** Об'єкти, явища і процеси, як тобі відомо, описують не лише словами, ілюстраціями, графіками, а й кількісно, що передбачає вимірювання. Існує наука *метрологія*, яка визначає, що таке вимірювання, як вони здійснюються. Вимірювання — один зі спільних етапів, який застосовують і в науковому дослідженні, і в інженерному проектуванні, і в наці, техніці та технологіях.



Мал. 2.5

З багатьма фізичними величинами тобі вже доводилося мати справу на уроках природничих курсів. Ти вже знаєш, що фізичну величину можна виміряти, тобто порівняти її з однорідною величиною, яку взято за одиницю цієї величини. Наприклад, виміряти довжину стола — означає порівняти її з одиницею довжини — метром (мал. 2.5).

**Фізична величина** (*physical quantity*) — кількісна характеристика певної властивості тіла чи явища.

Для кожної фізичної величини встановлено свої одиниці. Для зручності всі країни світу прагнуть користуватись однаковими одиницями фізичних величин. Тому в 1960 році було прийнято Міжнародну систему одиниць, скорочено — СІ «система інтернаціональна». До неї входять сім основних одиниць — еталонів, на основі яких визначаються всі інші одиниці (таблиця 2.1, с. 20).

Таблиця 2.1

Фізична величина	Одиниця			
	Найменування	Позначення		
		Українська	Міжнародна	Символ
Довжина	метр	м	m	<i>L</i>
Маса	кілограм	кг	kg	<i>m</i>
Час	секунда	с	s	<i>t</i>
Сила електричного струму	ампер	А	A	<i>I</i>
Термодинамічна температура	кельвін	К	K	<i>T</i>
Кількість речовини	моль	моль	mol	<i>v</i>
Сила світла	кандела	кд	cd	<i>I</i>

Для зручного записування великих і малих значень фізичних величин використовують кратні й частинні одиниці та стандартний запис числа. Кратні одиниці більші за основні одиниці в 10, 100, 1000 і більше разів. Наприклад,  $1 \text{ км} = 1000 \text{ м} = 1 \cdot 10^3 \text{ м}$ ,  $1 \text{ т} = 1000 \text{ кг} = 1 \cdot 10^3 \text{ кг}$ .

Частинні одиниці менші від основних у 10, 100, 1000 і більше разів. Наприклад,  $1 \text{ см} = 0,1 \text{ м}$ ,  $1 \text{ мг} = 0,000001 \text{ кг} = 1 \cdot 10^{-6} \text{ кг}$ .

Назви кратних і частинних одиниць містять спеціальні префікси (див. форзац).

Існують два види вимірювань: *прямі* й *непрямі* вимірювання. Прямі вимірювання здійснюють за допомогою *мір* і *вимірювальних приладів*. Одні вже тобі відомі з курсу математики та природознавчих курсів (лінійка, мензурка, термометр, барометр, секундомір), з іншими ознайомишся під час подальшого вивчення фізики. Для здійснення вимірювань тобі слід пригадати, як визначають ціну поділки шкали приладу (мал. 2.6).

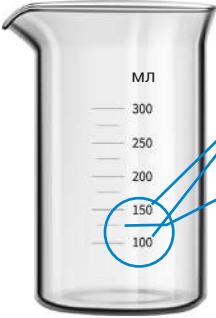
#### Прямі

Шукане значення фізичної величини отримують одразу, за показаннями вимірювального приладу.

#### Непрямі

Шукане значення фізичної величини визначають за певною формулою, підставивши в цю формулу значення інших фізичних величин, отриманих під час прямих вимірювань.

**Щоб визначити ціну поділки шкали вимірювального приладу, необхідно:**



1) обрати два значення величини, наведені на шкалі, і знайти їх різницю;

2) визначити кількість поділок між рисками, поряд з якими вказано ці значення;

3) отриману різницю поділити на кількість поділок.

1) 150 мл і 100 мл;  
150 мл – 100 мл = 50 мл;

2) 2 поділки;

3) 50 мл : 2 = 25 мл.

Отже, ціна поділки шкали приладу становить  $C = 25$  мл.

Мал. 2.6

У багатьох випадках від ціни поділки залежить *точність вимірювань* (*accuracy of measurements*). Надалі ти навчишся визначати різні види неточностей та науково оформляти результати вимірювань. Поки що будеш під час вимірювань враховувати лише *абсолютну похибку вимірювання*, що дорівнює **половині ціни поділки шкали** вимірювального приладу. Значення виміряної величини  $A$  з урахуванням похибки вимірювання записують так:

$A = a \pm \Delta a$ , де  $A$  — вимірювана величина;  $a$  — результат вимірювання;  $\Delta a$  — похибка вимірювання ( $\Delta$  — грецька літера «дельта»).

Інколи, щоб отримати точніший результат, виконують вимірювання кілька разів. Унаслідок кожного вимірювання отримують значення, які можуть дещо відрізнитись одне від одного. Потім результати всіх вимірювань додають, а отриманий результат ділять на кількість проведених вимірювань. Отримують *середнє значення* вимірюваної величини.

**ДУМАЙ**

**1**

Склади перелік термінів, якими, на твою думку, можна характеризувати роботу в науковій установі, конструкторському бюро та стартапі. Оформи їх у вигляді діаграми Ейлера<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Діаграма будується у вигляді двох або більше кіл, які частково перетинаються, утворюючи спільний простір. У частині кіл, що не перетнулися, записуємо ознаки множин, якими вони відрізняються одна від одної, у спільному просторі — ознаки, які для них є однаковими.

## § 2. Наукове дослідження та інженерна діяльність

**2** Опиши або намалюй типові, на твою думку, портрети людей, які займаються наукою, інженерним проектуванням, реалізацією бізнес-ідей, відобразивши, зокрема, їх вік, стать, зовнішні прикмети. Поясни, чому ти так вважаєш.

**3** Розглянь малюнок 2.7. Поміркуй, що досліджують твої однолітки. Опиши назву, мету, матеріали й обладнання, процедуру, спостереження та висновки. Хто, на твою думку, у цій групі лідер? Хто дослідник? Хто протоколює дослідження? Яку функцію хотів би / хотіла б виконувати в цій групі ти і чому?

**4** Як ти вважаєш, чи часто люди щось вимірюють? Наскільки важливо вміти це робити правильно? Які вимірювання ти здійснював / здійснювала сьогодні?

**5** Визнач ціну поділки шкали засобів вимірювання, зображених на мал. 2.8. Запиши показання, врахувавши похибку вимірювання.

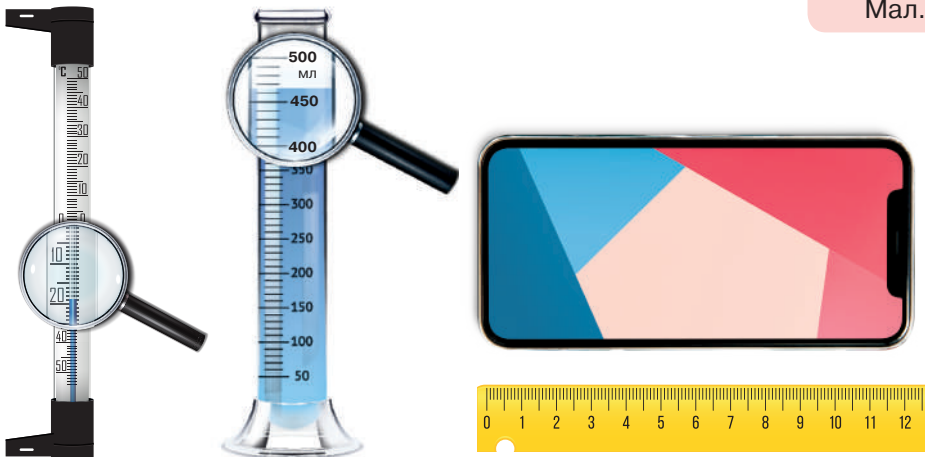
**6** Зніми показання з електронних засобів вимірювання (мал. 2.9).

**7** Запиши у стандартному вигляді значення фізичних величин 100 000 км, 0,0001 г.

**8** Запиши, використавши кратні або частинні одиниці: радіус Землі 6 400 000 м, масу Землі  $5,9 \cdot 10^{24}$  кг.



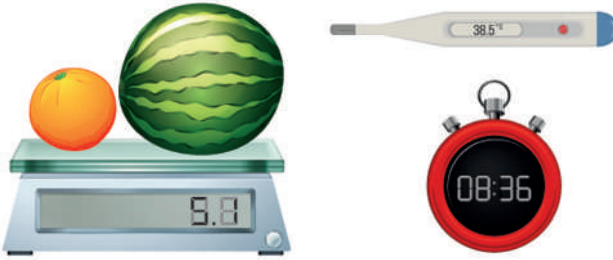
Мал. 2.7



Мал. 2.8



Мал. 2.9



## ПАМ'ЯТКА

### УЧИСЯ ПРОВОДИТИ НАУКОВІ ДОСЛІДЖЕННЯ, КОНСТРУЮВАТИ, МОДЕЛЮВАТИ І ПРОЄКТУВАТИ

Надалі в рубриці «Дій» тобі будуть запропоновані завдання, розв'язання яких потребує застосування наукових методів дослідження, інженерного проектування, конструювання, моделювання. Деякі з них ти виконуватимеш удома, деякі — в класі, індивідуально або в групі. Переважно тобі буде запропоновано самостійно розробити план дослідження, щось змоделювати чи сконструювати. Інколи завдання міститимуть указівки або інструкції. У деяких випадках тобі потрібно буде заповнювати аркуш дослідження (в окремому зошиті або роздрукований із цифрового додатка). Під час виконання наукового дослідження в пригоді стануть такі поради.

- 1. Запитування.** Це ключова частина дослідження. Що буде досліджуватись, у який спосіб? Такі й подібні запитання допоможуть у складанні плану дослідження.
- 2. Формулювання гіпотези.** Важливо пам'ятати, що гіпотеза — це не запитання, а твердження, яке можна перевірити. Як правило, слід застосовувати такі формулювання: «якщо..., то...», «якщо..., тоді...». Наприкінці експерименту вкажи, чи підтверджує висновок гіпотезу.
- 3. Планування дослідження.** Потрібно навчитися визначати необхідні етапи дослідження, прогнозувати результати кожного етапу, враховуючи умови його виконання, оцінювати ризики.
- 4. Виконання дослідження.** На цьому етапі ти навчишся користуватися фізичним обладнанням, добиратимеш

способи фіксування даних. За потреби моделюватимеш, застосовуватимеш математичні розрахунки, аналізуватимеш здобуті результати.

**5. Підбиття підсумків.** Найвирішальніший етап. Адже ти підтвердиш або спростуєш гіпотезу, дізнаєшся нове, сформулюєш висновки, презентуєш результати, з'ясуєш значення результатів дослідження в пізнанні природи, переконаєшся в достовірності фізичних законів.

## ДІЙ

- 1 Сплануй фізичне дослідження. Визнач те, що хочеш дослідити. Сформулюй запитання, на яке прагнеш знайти відповідь самотужки. Зроби припущення: що, на твою думку, відбудеться і чому? Визнач усі матеріали, які використовуватимеш. Склади план дій, зазнач, що робитимеш. Зафіксуй результати: чи справдилося припущення? Сформулюй висновки: що вдалося з'ясувати? Поясни чому.
- 2 Анкетуй письмово людей, різних за віком, статтю, професією тощо за запитаннями (за потреби доповни перелік): Що таке наука? Хто переважно займається наукою (вік, стать, зовнішні прикмети)? Чи можна розпізнати людину науки за зовнішністю? Узагальни здобуті дані анкетування (за вимогами, описаними в завданні 5, с. 14).
- 3 Запропонуй спосіб вимірювання об'єму власного тіла. Підказка: можеш скористатися ванною з водою і трилітровою банкою.
- 4 Виготов мензурку (мал. 2.10). Тобі знадобляться: шприц, дві склянки, вода, клейка стрічка і перманентний маркер. Набери води в одну зі склянок. На іншу (бажано з гладкими стінками) наклеї стрічку. Набери води у шприц і переливай у порожню склянку, щоразу позначаючи на смужці об'єм води.



Мал. 2.10

**ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ**

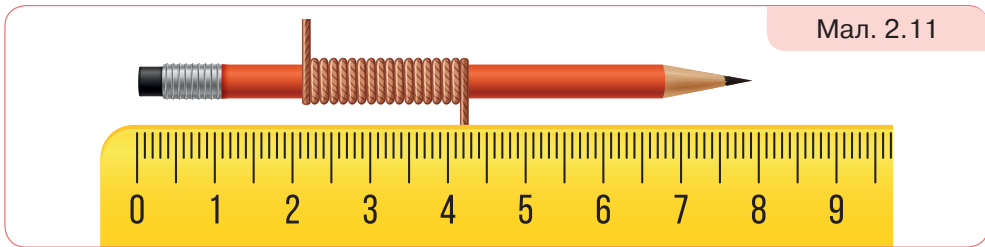
Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

**ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 1**

Для виконання робіт скористайся аркушами для оформлення результатів досліджень із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 2).

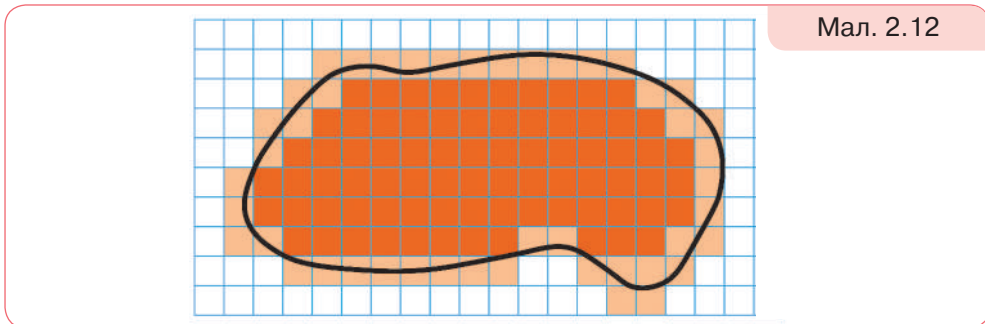


1. Визнач діаметр нитки (мал. 2.11). Як можна визначити довжину нитки, не розмотуючи її з олівця?



Мал. 2.11

2. Визнач довжину контуру та площу поверхні, обмежену цим контуром (мал. 2.12).



Мал. 2.12

**Підказка 1.** Щоб виміряти довжину контуру, скористайся ниткою. Виклади її по контуру, а потім за допомогою лінійки виміряй довжину.

**Підказка 2.** Щоб виміряти площу фігури, обмежену контуром, потрібно визначити площу однієї клітинки та підрахувати кількість клітинок. Слід урахувати, що кількість неповних клітинок (на малюнку виділено рожевим кольором) потрібно поділити на 2. Скористайся цим способом для вимірювання площі долоні, ступні.



## РОЗДІЛ 1. МЕХАНІЧНИЙ РУХ



### ТИ ДІЗНАЄШСЯ

Як описувати механічний рух тіла.  
Які вимірювання та обчислення потрібно здійснювати, щоб визначати положення і швидкість руху тіла.  
Які є види руху.  
У чому особливість руху по колу.  
Чи можна прямолінійний рух перетворити на рух по колу.

### ТИ НАВЧИШСЯ



Розрізняти види руху.  
Обчислювати й порівнювати величини, якими характеризують рух тіл.  
Будувати й аналізувати графіки прямолінійного руху.



### ТИ ЗРОЗУМІЄШ

Чому рух і спокій — відносні поняття.  
Коли достатньо знати про рух лише однієї точки тіла, щоб уявити, як рухалося тіло.

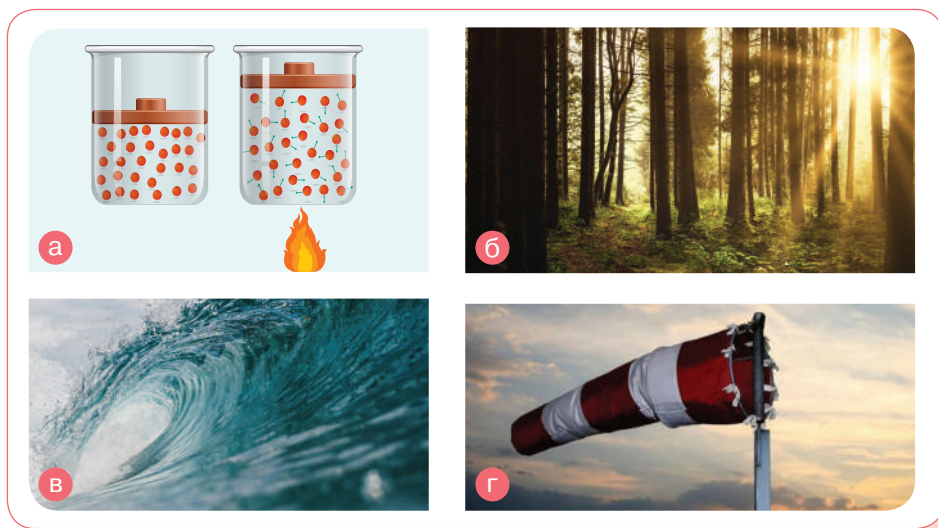
# § 3. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО МЕХАНІЧНИЙ РУХ



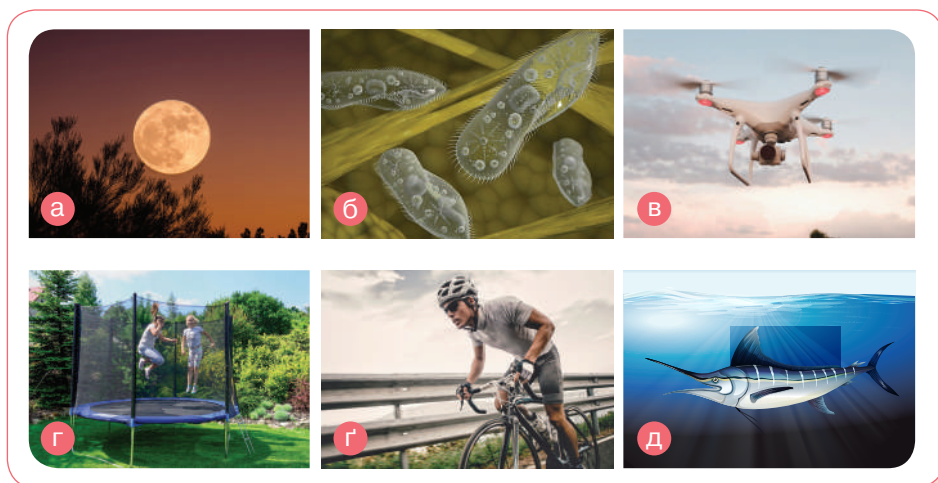
Як описати механічний рух тіла?

## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнок 3.1 й уяви собі, що ці тіла (організми, середовища, сигнали, молекули) рухаються. Поясни, чим, на твою думку, зображення руху на малюнку 3.1 відрізняються від зображень на малюнку 3.2.

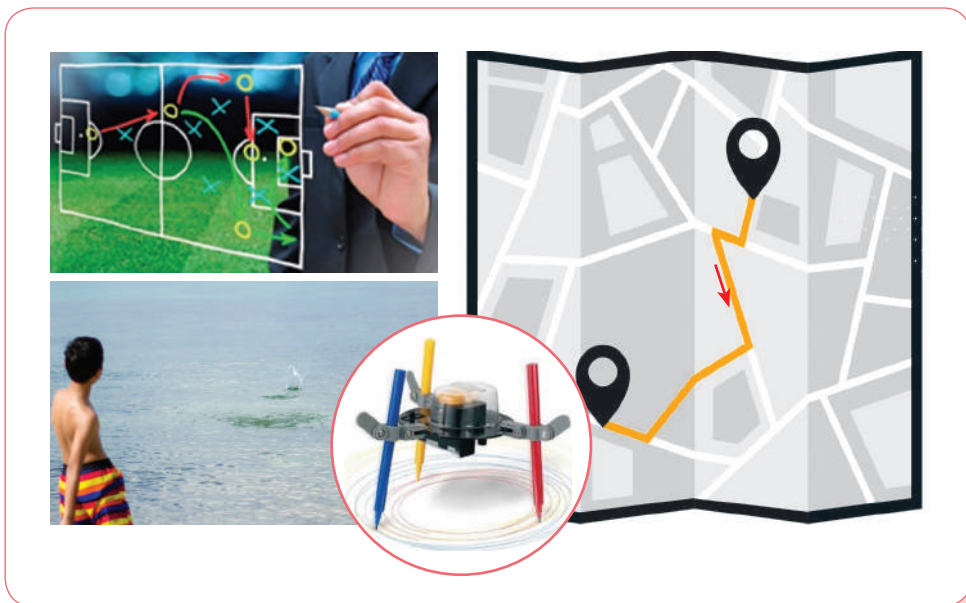


Мал. 3.1



Мал. 3.2

**2** Обери по одній світліні з малюнків 3.2 (с. 27) і 3.3. Чи можеш із впевненістю сказати, у якому напрямку рухаються тіла, яким буде їхнє положення через певний проміжок часу? Що на малюнку 3.3 стало тобі в пригоді для виконання завдання?

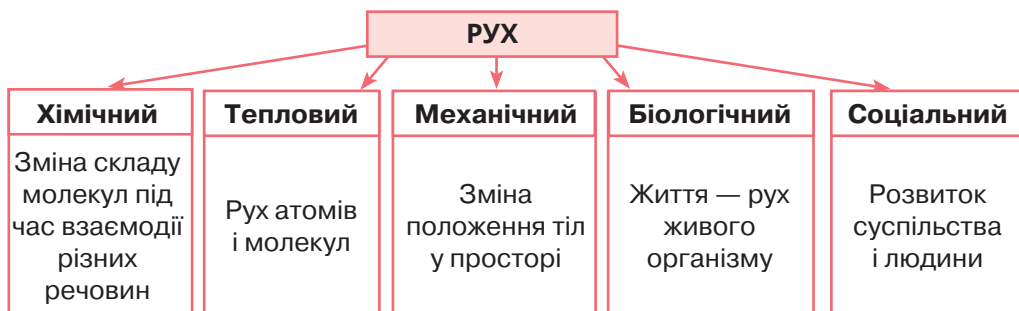


Мал. 3.3

**3** Об'єднайтеся в групи по троє. Нехай один виконує певні рухи, інший описує їх так, щоб третій, котрий не бачить рухів, відтворив їх за описом.

**ДІЗНАВАЙСЯ**

*Дізнаємося про механічний рух.* Поняття *рух* (*movement*) означає певну *зміну* (*change*). У сучасній науці досліджують різні форми руху. Ось основні з них.



Починаємо досліджувати *механічний рух тіл*.

Ще в давні часи люди намагалися змінити рухи тіл за допомогою певних *механізмів (mechanism)* — гвинта, важеля, колеса. Саме механічний рух був доступним для дослідження. Так виникла наука *механіка*, що вивчає механічний рух і взаємодію між тілами.

У цій темі ти переважно розглядатимеш рух тіл, які мають визначені розміри. Механічний рух суцільних середовищ (води, повітря) ти вивчатимеш згодом. Спочатку треба навчитися досліджувати прості форми механічного руху, якісно й кількісно описувати рух тіл, застосовуючи прийняті у фізиці поняття й величини.

**Учимося описувати механічний рух.** Розпочнемо з якісного опису механічного руху тіл.

**Механічний рух** — зміна із часом положення тіла (або частин тіла) в просторі відносно інших тіл.



Чи так важливо зазначати «*відносно інших тіл*»? І так зрозуміло: якщо тіло змінює своє положення, то воно рухається, якщо не змінює — перебуває у спокої.

Спробуй самостійно відповісти на своє запитання. Поклади на долоню іграшковий автомобіль. А тепер рухай рукою. Рухається автомобіль? Відносно руки — ні, а відносно підлоги?



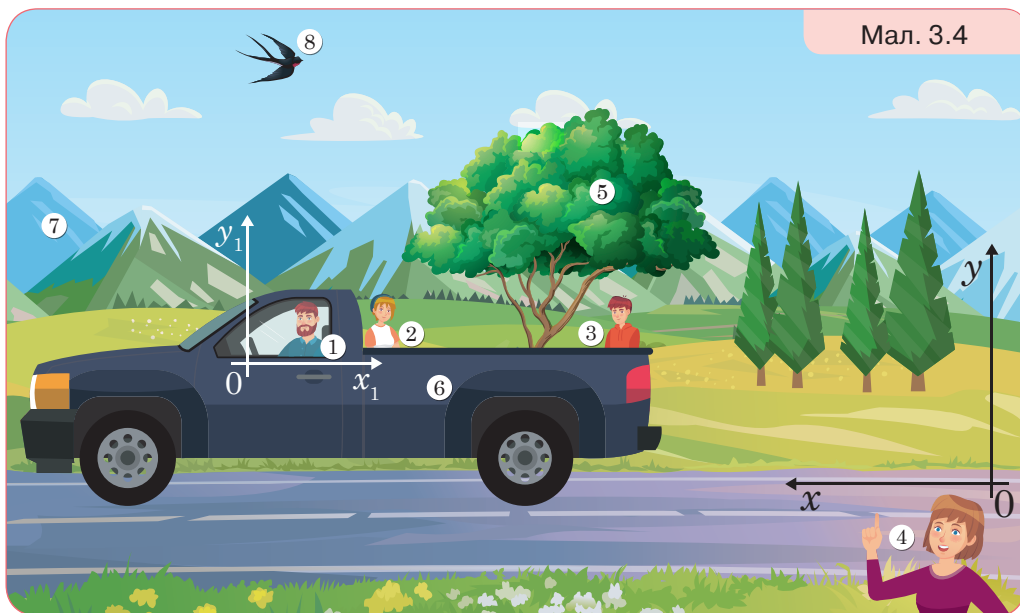
*Відносність (relativity)* — одна з найважливіших ознак механічного руху. Тому для розв'язання будь-якої задачі про рух треба передусім вибрати *тіло відліку*, відносно якого досліджуватиметься рух тіла.



Відносність руху

Розглянь малюнок 3.4 (с. 30). Обери довільне тіло відліку, наприклад автомобіль (6). Укажи, які з об'єктів (1–8) рухаються, а які перебувають у спокої відносно нього. Тепер обери за тіло відліку дерево (5).

Який з об'єктів (1–8) змінив свій стан? До речі, як ти вважаєш, до чого хоче привернути увагу персонаж (4)? Можливо, до дотримання правил дорожнього руху? Укажи, чи дотримано їх.



Мал. 3.4

Тіло відліку — довільно обране тіло, відносно якого розглядають положення рухомого тіла. Утім, для опису механічного руху тіла недостатньо лише обрати тіло відліку. Ще потрібно знати напрямок руху тіла, його початкове й кінцеве положення в обрані моменти часу. Тому щоб описувати зміну положення тіла в просторі, потрібна система координат і прилад для вимірювання часу (наприклад, годинник). Як правило, початок координат суміщають із тілом відліку. У цьому разі зміна положення рухомого тіла відносно тіла відліку визначатиметься *змінною його координат у часі*.

Сукупність тіла відліку, пов'язаної з ним системи координат і прилад для відліку часу утворюють **систему відліку** (*frame of reference*).

Розглянь малюнок 3.4. опиши рух ластівки відносно системи відліку  $xu$  та  $x_1y_1$ .

Якщо фіксувати безперервно положення рухомого тіла в просторі точками, то отримуємо лінію, яку називають *траєкторією руху*.

**Траєкторія** (*trajectory*) — неперервна уявна лінія, яку описує тіло під час свого руху в обраній системі відліку.



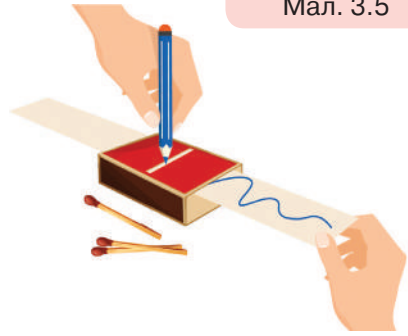


А чому наголошується «в обраній системі відліку»? Невже в одного й того самого рухомого тіла може бути різна траєкторія?

Спробуй самостійно відповісти на своє запитання, виконавши дослід, зображений на малюнку 3.5.



Візьми сірникову коробку, фломастер та смужку паперу. Проріж у коробці щілину, щоб вільно проходив стержень фломастера. Просунь смужку паперу під щілину. Рухай фломастером уздовж щілини вгору-вниз й одночасно протягуй паперову смужку. Розглянь отриману траєкторію руху фломастера.



Мал. 3.5

Траєкторія руху тіла інколи може бути заздалегідь відомою. Наприклад, траєкторія руху потяга визначена залізничною колією, траєкторія руху плоту — руслом річки. Траєкторія руху може бути видимою (сліди на снігу, туманний слід від літака, лінія, проведена олівцем) і невидимою (політ птаха). За формою траєкторії розрізняють два види руху: *прямолінійний* і *криволінійний*. Наведи приклади прямолінійних і криволінійних рухів (скористайся малюнком 3.3 на с. 28).

**Моделюємо механічний рух.** Механічні рухи тіл можуть бути різноманітними та складними. Проте в деяких випадках нам достатньо дослідити рух тіла за положенням лише однієї його точки, коли розміри та форма тіла несуттєві й ними можна знехтувати порівняно з відстанню, яку тіло долає. У цих випадках тіло приймають за точку, у фізиці кажуть — за *матеріальну точку*.

**Матеріальна точка** (*material point*) — тіло, розмірами й формою якого в певній задачі можна знехтувати.

Слід зазначити, що одне й те саме тіло не завжди можна вважати матеріальною точкою. Наприклад, велосипедиста, який рухається

дорогою й долає відстань 1 км, можна вважати матеріальною точкою (мал. 3.6, а), але не можна, коли потрібно визначити, на який кут він нахиляється під час повороту (мал. 3.6, б).



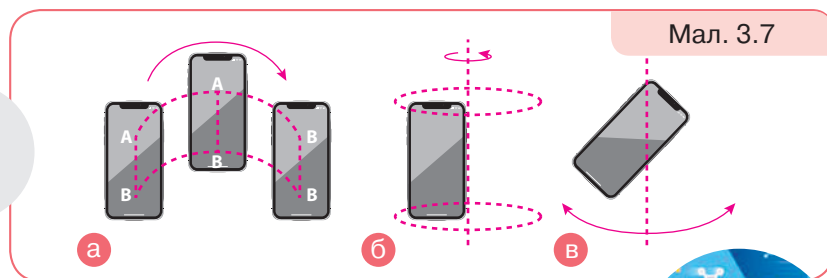
Мал. 3.6

Уважати чи ні тіло матеріальною точкою залежить не від розмірів тіла, а від поставленого завдання. За малюнком 3.2 (с. 27) укажи тіла, які можна вважати матеріальною точкою.

Матеріальна точка є *фізичною моделлю* тіла з певними розмірами. Згодом ти дізнаєшся і про інші фізичні моделі.



Тепер я можу описати рух, наприклад, свого телефона. Він може рухатися так, що всі його точки описуватимуть однакові траєкторії, а також може обертатися й коливатися (мал. 3.7).



Мал. 3.7

Так, це три основні прості види руху: поступальний, обертовий і коливальний.



**ДУМАЙ**

- 1 Чому рух тіла називають механічним?
- 2 Чому механічний рух відносний?
- 3 опиши рухи, які спостерігає хлопчик і які спостерігає дівчинка (мал. 3.8).



Мал. 3.8

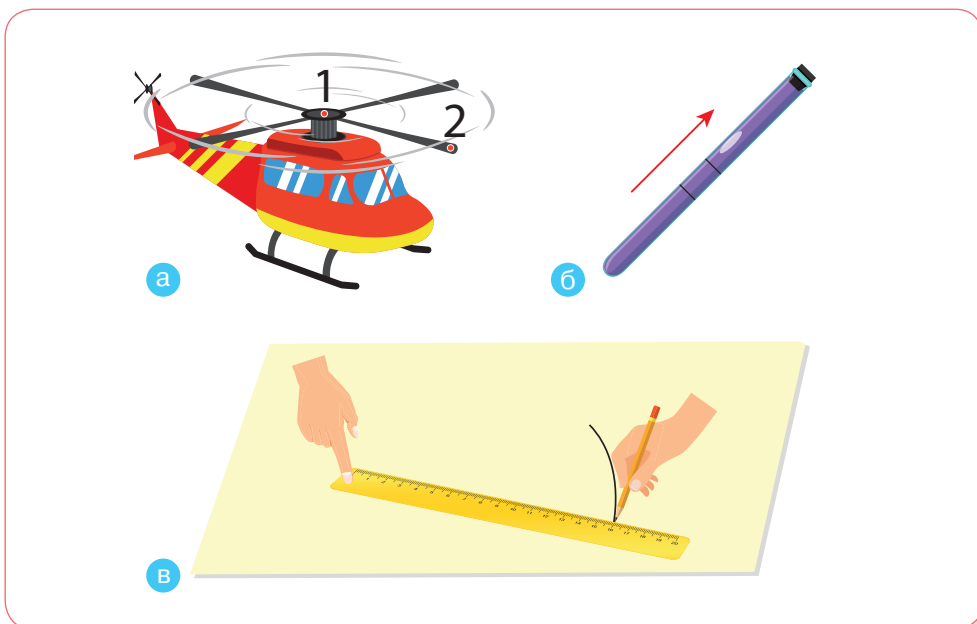
- 4 Порівняй поняття *тіло відліку* й *система відліку*. Чим вони відрізняються? Що в них спільного?
- 5 Які бувають механічні рухи за формою траєкторії?
- 6 Чому кажуть, що Сонце сходить і заходить? Що в цьому разі є тілом відліку?
- 7 Уяви, що ти перебуваєш у вагоні купе потяга, що прямує з Києва до Львова. Опиши характер свого руху відносно столика, залізничної колії, Південного залізничного вокзалу міста Києва, Сонця.
- 8 Два автомобілі рухаються в одному напрямку так, що деякий час відстань між ними не змінюється. Укажи, відносно яких тіл протягом цього інтервалу часу кожний автомобіль перебуває у спокої і відносно яких автомобілі рухаються.
- 9 Коли тіло вважають матеріальною точкою? Наведи приклади. Уважно розглянь малюнок 3.9, а–г. У яких випадках спортсменів можна вважати матеріальною точкою?
- 10 Дізнайся більше про українських чемпіонів у різних видах спорту. Розпочни дослідження про зв'язок фізики і спорту.



Мал. 3.9

## ДІЙ

- 1 Уяви, що твій стіл — система координат, початок якої — один із кутів стола, осі — прилеглі до кута краї стола. Накресли цю систему координат у масштабі в зошиті. Розташуй на столі пенал, ручку або інший предмет. Укажи його початкові координати. Пересувай предмет прямолінійно в певну точку стола. Запиши нові координати предмета. Рухай предмет у початкове положення криволінійною траєкторією.
- 2 Уяви, що гелікоптер піднімається вертикально вгору (мал. 3.10, а). Зобрази траєкторію руху точок 1 і 2, розташованих на лопатях гвинта гелікоптера: а) відносно пілота; б) відносно Землі. До речі, чи відомо тобі, що винахідником гелікоптерів є наш співвітчизник Ігор Сікорський? Дізнайся про нього більше.



Мал. 3.10

- 3 Візьми скляну трубку (пробірку). Заповни її підфарбованою водою майже до країв. Закрий корком. Переконайся, що у воді є бульбашка повітря (мал. 3.10, б). Вислови припущення, за яких умов бульбашка буде нерухомою відносно одного з кінців трубки. Перевір свою гіпотезу на досліді.
- 4 Візьми лінійку, олівець та аркуш паперу. Поклади лінійку на аркуш паперу. Зафіксуєй положення олівця біля однієї з відміток лінійки (наприклад, на позначці 16 см) (мал. 3.10, в). Що потрібно зробити, щоб олівець був нерухомим і водночас залишав слід на аркуші паперу?

## § 4. ОБЧИСЛЮЄМО ВЕЛИЧИНИ, ЯКИМИ ХАРАКТЕРИЗУЮТЬ РУХ



Які вимірювання та обчислення потрібно здійснити, щоб описати рух?

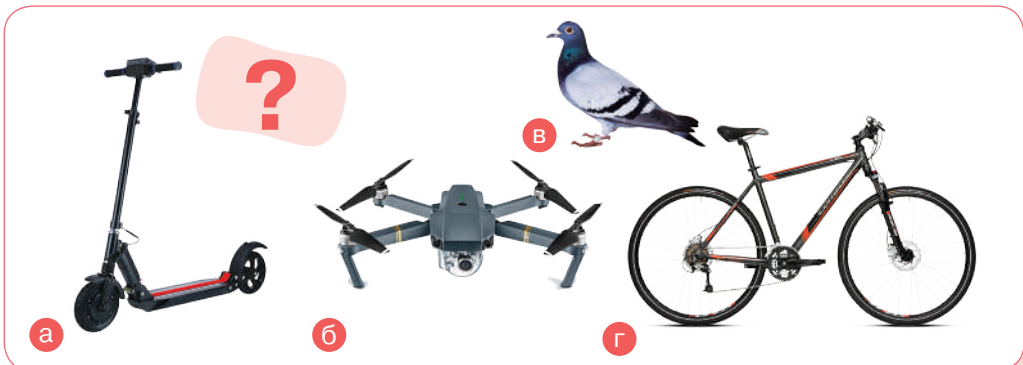
### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Уяви себе в подібній ситуації (мал. 4.1). Що треба знати, щоб розрахувати найшвидший спосіб передавання пакунка? Як будеш діяти ти?

Сашку, я вже відійшла далеко від нашого літнього табору і тоді лише згадала, що не взяла ліки. Передай мені їх, будь ласка, якомога швидше.



Добре, Віко, що в таборі є все необхідне: телефон, транспортні засоби й навіть поштові голуби. Але ж який спосіб передавання обрати, щоб було найшвидше?



Мал. 4.1

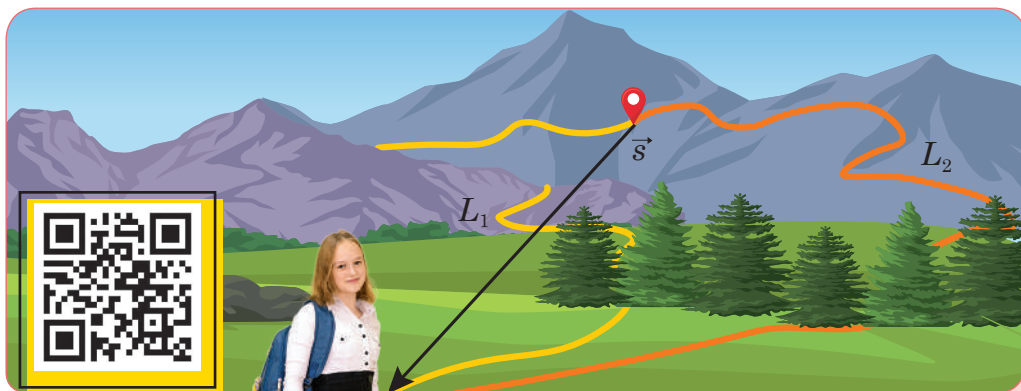
## ДІЗНАВАЙСЯ

**Чим відрізняються між собою траєкторія, шлях і переміщення?** Як видно з малюнка 4.1 (с. 35), дістатися до Віки можна кількома способами. Слід з'ясувати, у якому випадку відстань між початком і кінцем руху буде найкоротшою. Траєкторія тіла характеризується не лише формою, а й довжиною. Довжину траєкторії, яку проходить тіло за час руху, називають *пройденим шляхом*.

Шлях і траєкторія відрізняються тим, що траєкторія є якісною (описовою) характеристикою руху, шлях — кількісною, оскільки він вказує числове значення довжини траєкторії. Як правило, шлях позначають великою або малою літерою  $L$  ( $l$ ). Основною одиницею шляху є метр, 1 м. Похідні одиниці — кілометр (1 км), сантиметр (1 см) та ін.

**Шлях** (*distance*) — фізична величина, що дорівнює довжині траєкторії, яку описує тіло за час руху.

Сподіваємося, що Сашко зумів визначити точне місце перебування Віки (у їхніх телефонах увімкнено функцію геолокації) і за гугл-картою визначив обидва шляхи:  $L_1 = 2,3$  км,  $L_2 = 2,5$  км (мал. 4.2).



Траєкторія, шлях, переміщення

Мал. 4.2

Можна також визначити найкоротшу відстань, що сполучає табір із місцем перебування Віки. Щоб зображений відрізок дав більше інформації, звідки й куди потрібно рухатися, зробимо його напрямленим — у вигляді стрілочки. Зазначимо, що будь-який напрямлений відрізок має назву *вектор* (*vector*). У нашому випадку зображений вектор — це переміщення  $\vec{s}$ .

Так само як і шлях, переміщення вимірюють у метрах, кілометрах та інших одиницях довжини.



Даю довідку

**Переміщення** (*displacement*)  $\vec{s}$  — фізична величина, що характеризує зміну положення тіла у просторі та визначається напрямленим відрізком, який сполучає положення рухомого тіла на початку і в кінці певного інтервалу часу.

### Скалярні та векторні величини

Досі тобі доводилося мати справу з величинами, які характеризуються лише числовим значенням: довжина, шлях, площа, об'єм, час тощо. Такі величини називають *скалярними*.

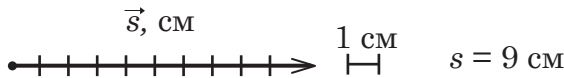
Скалярні величини позначають малими й великими латинськими літерами:  $L$ ,  $t$ ,  $V$ . Багато фізичних величин, як і переміщення, окрім свого числового значення, ще вказують напрямок у просторі. Незабаром ти з'ясуєш, що швидкість, сила — також векторні величини.

**Скалярна величина**, або **скаляр** (*scalar*), у фізиці — величина, кожне значення якої може бути виражене одним дійсним числом.

**Векторна величина**, або **вектор** (*vector*), — величина, яка, окрім числового значення, має ще й напрямок.

У позначеннях векторних величин до латинських літер додають над ними стрілочку. Значення довжини вектора ще називають *модулем* (*module*) вектора та позначають літерою без стрілочки.

Вектор графічно зображають напрямленим відрізком (стрілкою), довжина якого пропорційна його числовому значенню — модулю. Перед побудовою вектора обирають точку прикладання й одиницю довжини в певному масштабі, а потім відкладають потрібну кількість одиниць. Так, на малюнку 4.3 зображено вектор завдовжки 9 см.



Мал. 4.3

Зобразивши напрямлений відрізок, ми задаємо відразу три характеристики вектора: числове значення, напрямок і точку прикладання. Такі самі три характеристики має й кожна векторна фізична величина. Вектори, що мають однакові довжину і напрямок, є рівними. Залежно від досліджуваного випадку точку прикладання вектора задають жорстко, а інколи її можна зміщувати вздовж вектора.

Сашко визначив модуль переміщення:  $s = 1,8$  км (мал. 4.2). Як бачиш, для криволінійного руху шлях завжди більший, ніж переміщення. Якщо тіло рухається по прямій в одному напрямку, то

переміщення дорівнює шляху. (Подумай, чому важливо зазначити «в одному напрямку».)

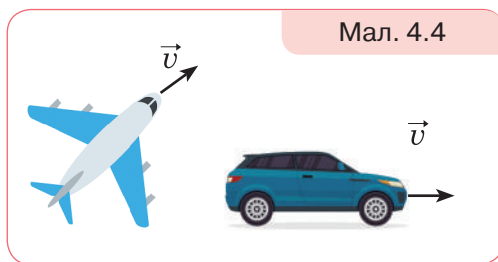
Які подальші дії Сашка? Як визначити найменший час на подолання цих відстаней певними засобами?

**Дізнаємося про швидкість.** Тобі відомо, що для порівняння стрімкості руху різних тіл використовують характеристику руху, яку називають *швидкістю*.

**Швидкість руху тіла** — фізична величина, яка показує, яку відстань проходить тіло за одиницю часу.

Позначають швидкість руху тіла малою латинською літерою  $\vec{v}$ . Це позначення походить від початкової літери латинського слова *velocitas* (швидкість). Знайоме тобі слово «велосипед» походить від слів *velox* (швидкий) і *pedes* (ноги).

В англійській мові є два значення швидкості — *speed* (як числове значення, скаляр) і *velocity* (як числове значення й напрямок, вектор). Швидкість, як і переміщення, є векторною величиною. У разі *прямолінійного руху* напрямок швидкості збігається з напрямком переміщення (мал. 4.4).

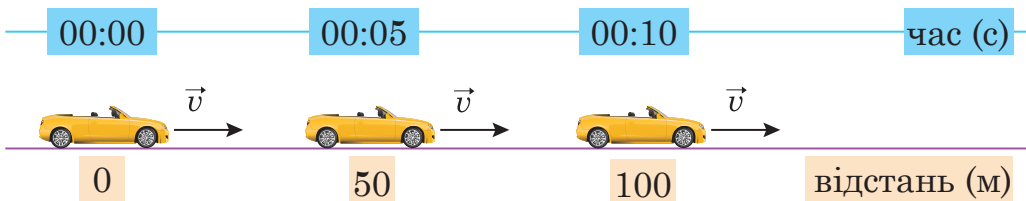


Мал. 4.4



Рівномірний рух

Якщо тіло за будь-які однакові інтервали часу долає однакові відстані, то такий рух називають *рівномірним* (мал. 4.5).



Мал. 4.5. Доведи або спростуй, що рух прямолінійний і рівномірний

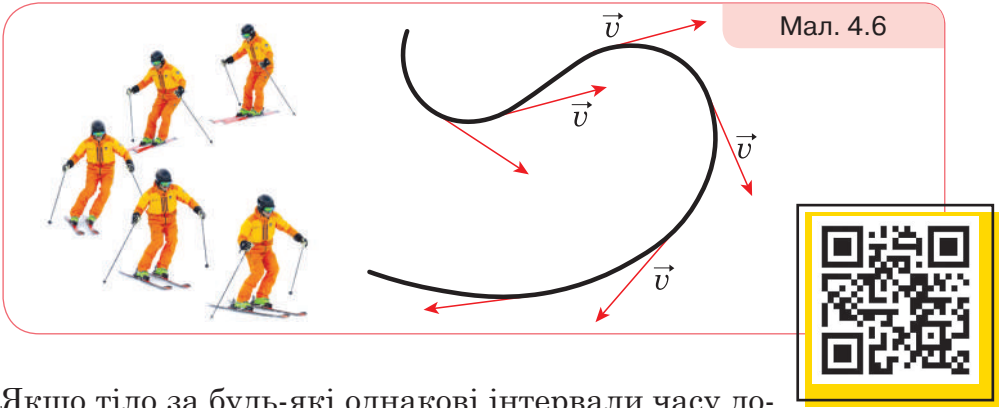
У разі *рівномірного прямолінійного руху* швидкість руху тіла залишається незмінною за модулем і напрямком.



Щоб визначити модуль швидкості рівномірного прямо- лінійного руху тіла, треба модуль переміщення  $s$  (або шлях  $L$ ) поділити на час  $t$ , протягом якого рухалося тіло:

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

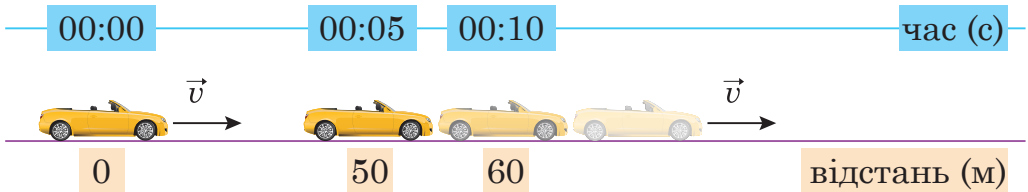
У разі *руху криволінійною траєкторією* швидкість руху тіла змінюється і за напрямком, і за значенням (мал. 4.6). Тобі це відомо з власного досвіду. Якщо біжиш або їдеш велосипедом, то пригальмовуєш на поворотах і розганяєшся на рівних ділянках.



Мал. 4.6

Якщо тіло за будь-які однакові інтервали часу до- лає різні відстані, то такий рух називають *нерівно- мірним* (мал. 4.7).

Нерівномірний рух



Мал. 4.7. Доведи, що рух прямолінійний і нерівномірний

У разі *нерівномірного руху* користуються *середньою шль- ховою швидкістю руху тіла*:

$$v_{\text{сеп}} = \frac{L}{t}$$

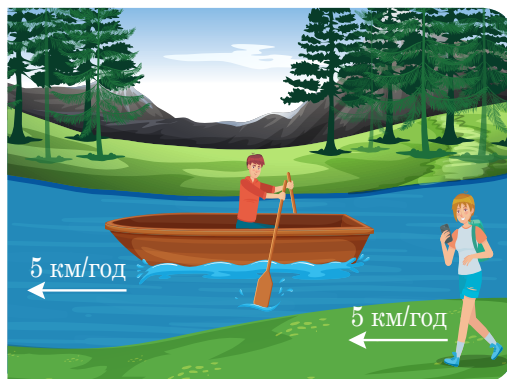
У Міжнародній системі одиниць (СІ) за одиницю швидкості беруть швидкість такого рівномірного руху, під час якого тіло за 1 с проходить відстань 1 м. Цю одиницю називають *метр за секунду* й позначають 1 м/с. Водночас на практиці використовують й інші одиниці, наприклад:

$$1 = \frac{\text{км}}{\text{год}} = \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} \approx 0,28 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad 1 \frac{\text{км}}{\text{хв}} = \frac{1000 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 16,67 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$1 = \frac{\text{м}}{\text{хв}} = \frac{1 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 0,017 \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad 1 \frac{\text{см}}{\text{хв}} = \frac{0,01 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 0,000167 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

Швидкість механічного руху тіла є *відносною* величиною. Її значення залежить від вибору тіла відліку, відносно якого визначається швидкість. Наприклад, швидкість будинку відносно Землі дорівнює нулю. Проте відносно Сонця будинок рухається разом із Землею з великою швидкістю — 30 км/с.

На малюнку 4.8 зображено школяра і школярку. Дівчинка йде вздовж берега річки зі швидкістю 5 км/год, хлопчик пливе в човні з такою самою швидкістю. Це швидкості хлопчика й дівчинки відносно Землі. Швидкість хлопчика відносно дівчинки (відносна швидкість) дорівнює нулю. Подумай, якою була б відносна швидкість школярів, якби вони рухалися в протилежних напрямках.



Мал. 4.8

### Яким способом найшвидше передати ліки дівчинці?

Тепер разом із Сашком визначимо, за який час можна доправити ліки для Віки. Скориставшись інтернетом, дізнаємося, з якою середньою швидкістю можуть рухатися: електросамокат на асфальтованій дорозі, велосипед на пересіченій гірській місцевості, квадрокоптер за відсутності вітру та поштовий голуб.

Ураховуємо, що  $L_1$  — це гірська дорога, якою може проїхати лише велосипедист, рухаючись із *середньою* швидкістю 10 км/год, або 2,8 м/с. Тоді час  $t_1$  у дорозі:

$$t_1 = \frac{L_1}{v_1} = \frac{2300 \text{ м}}{2,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 821 \text{ с} \approx 14 \text{ хв.}$$

Ділянка асфальтованої дороги, якою можна їхати на електро-самокаті, має довжину  $L_2 = 2,5$  км, *середня* швидкість руху цим транспортним засобом 20 км/год, або 5,5 м/с. Тоді час  $t_2$  у дорозі:

$$t_2 = \frac{L_2}{v_2} = \frac{2500 \text{ м}}{5,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 455 \text{ с} \approx 7,5 \text{ хв.}$$

Квадрокоптер може переміститися по прямій  $s = 1,8$  км, але до цієї відстані потрібно додати приблизно 200 м з урахуванням підйому і спуску. Тоді час  $t_3$  у дорозі:

$$t_3 = \frac{s}{v_3} = \frac{2000 \text{ м}}{4,7 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 425 \text{ с} \approx 7 \text{ хв.}$$

І якщо припустити, що поштовий голуб також долатиме шлях 2000 м зі швидкістю 100 км/год, або 28 м/с, то він доставить ліки за час:

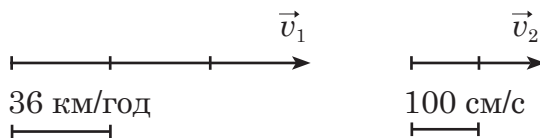
$$t_4 = \frac{s}{v_4} = \frac{2000 \text{ м}}{28 \frac{\text{м}}{\text{с}}} \approx 71 \text{ с.}$$

Як бачимо, найшвидше долетить поштовий голуб. Але слід урахувати, що голуби ефективні як посланці завдяки своїй природній здатності швидко знаходити найкоротший шлях додому. Тому самотійно знайти Віку голуб навряд чи зможе.

### ДУМАЙ

- 1 Чим шлях відрізняється від траєкторії, а переміщення — від шляху?
- 2 Чим скалярні величини відрізняються від векторних?
- 3 Як має рухатися тіло, щоб пройдений шлях був удвічі довшим за переміщення? Зобрази відповідь малюнком.
- 4 Чи є рух тіла рівномірним, якщо тіло за першу секунду від початку спостереження за його рухом проходить 10 м, за кожну половину секунди — 5 м, за кожну п'яту частину секунди — 2 м?
- 5 Два тіла рухаються рівномірно і прямолінійно. Чим можуть відрізнитися рухи цих тіл?

- 6 На малюнку 4.9 зображено вектори швидкостей двох тіл. У якого з тіл швидкість руху більша? У скільки разів?



Мал. 4.9

- 7 Рибалка пливе річкою в човні з веслами, а поряд пливе гілка. Що легше для рибалки: обігнати гілку на деяку відстань чи відстати від неї на таку саму відстань?

## ПАМ'ЯТКА

## ЯК РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

Важливим здобутком у навчанні фізики є вміння розв'язувати фізичні задачі. Ти їх розв'язуватимеш під час тематичних підсумкових робіт та зовнішнього незалежного оцінювання. І найголовніше, фізичні задачі часто трапляються в життєвих ситуаціях, тож отримані знання стануть у пригоді!

А допоможуть тобі добре засвоєні правила оформлення задач із фізики!

1. Уважно читай умову задачі. Іноді, не звернувши уваги на одне-єдине слово в умові, задача видаватиметься тобі нерозв'язною. Зорієнтуйся, до якої теми належить задача, тобто про які величини йдеться, які фізичні процеси розглядаються в ній.
2. Запиши коротко умову в лівому стовпчику під словом «Дано»: спочатку буквене позначення фізичної величини, потім її числове значення. Зверни увагу, іноді дані записуються в умові не числом, а словами. Наприклад: *за хвилину тіло перемістилося...*

Завжди залишай вільне місце в цьому стовпчику, адже в процесі розв'язання можуть знадобитися додаткові дані. Записуй числові значення величин з їхніми одиницями. Це обов'язкова вимога під час розв'язування задач із фізики!

3. З'ясуй, що треба визначити в задачі, і запиши буквене позначення цієї фізичної величини зі знаком питання.

4. Не забудь поруч із короткою умовою виділити стовпчик для перетворення одиниць у СІ.

Наприклад:

Дано:	СІ	Розв'язання:
$t = 1 \text{ год}$	$3600 \text{ с}$	
$s = 200 \text{ м}$		
$v = ?$		

5. Є завдання, розв'язання яких неможливе без схематичного малюнка. Наприклад, задачі на рух: потрібно зобразити координатну вісь, напрямок руху тіла, його початкове положення тощо. Часто саме завдяки малюнку можна збагнути умову задачі. До того ж ти розвинеш уміння подавати текстову інформацію в інший спосіб.
6. А тепер — безпосередньо запис розв'язання. Пам'ятай, що у фізиці перед розрахунками потрібно записувати формулу, а всі величини вказувати з їхніми одиницями.

Наприклад:  $t = \frac{s}{v}, t = \frac{200 \text{ м}}{20 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 10 \text{ с}$ .

Ще можна робити окремі записи — із числовими значеннями і з одиницями величин.

Наприклад:  $t = \frac{200}{20} = 10 \text{ с}; [t] = \frac{\text{м}}{\frac{\text{м}}{\text{с}}} = \frac{\text{м} \cdot \text{с}}{\text{м}} = \text{с}$ .

7. Розв'язувати задачу можна двома способами: а) за діями; б) у загальному вигляді, тобто вивести кінцеву формулу, а потім підставляти числові значення величин. Якщо тобі не вдається розв'язати задачу в загальному вигляді, спробуй за діями. Іноді ти не збагнеш, з якого боку за неї взятися. У цьому випадку допомагає «розв'язування з кінця». Подумай, що тобі треба знати для визначення шуканої величини. І розв'язуй задачу наче у зворотному напрямку. Слід обґрунтовувати свої дії — записувати пояснення.

8. Обов'язково перевір числове значення відповіді! Адже буде прикро, якщо ти зробиш помилку в математичних обчисленнях.
9. І, нарешті, напиши слово «відповідь» та обчислену величину, не забувши вказати її одиниці.

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА 1

З одного населеного пункту до іншого маршрутне таксі, рухаючись зі швидкістю 90 км/год (без зупинок), доїжджає за 15 хв. За скільки хвилин цю саму відстань подолає велосипедист, рухаючись зі швидкістю 15 м/с?

<i>Дано:</i>	<i>СІ</i>	<i>Розв'язання:</i>
$v_1 = 90 \text{ км/год}$	$25 \text{ м/с}$	Визначимо відстань, яку долає маршрутне таксі:
$v_2 = 15 \text{ м/с}$		
$t_1 = 15 \text{ хв}$	$900 \text{ с}$	$s_1 = v_1 t_1, s_1 = 25 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 900 \text{ с} = 22500 \text{ м.}$
$t_2 = ?$		Цю саму відстань долає велосипедист, отже, $s_1 = s_2$ . <i>Визначимо час руху велосипедиста:</i>
		$t_2 = \frac{22500 \text{ м}}{15 \frac{\text{м}}{\text{с}}} = 1500 \text{ с} = 25 \text{ хв.}$
<i>Відповідь:</i> 25 хв.		

### ЗАДАЧА 2

Паралельними залізничними коліями в одному напрямку їдуть два потяги: пасажирський завдовжки 200 м зі швидкістю 144 км/год і товарний — завдовжки 300 м зі швидкістю 108 км/год. Скільки часу пасажирський потяг обганятиме товарний? Відповідь запиши у секундах.

**Дано:**

$$v_1 = 144 \text{ км/год}$$

$$v_2 = 108 \text{ км/год}$$

$$s_1 = 200 \text{ м}$$

$$s_2 = 300 \text{ м}$$

$$t = ?$$

**СІ**

$$40 \text{ м/с}$$

$$30 \text{ м/с}$$

**Розв'язання:**

За тіло відліку приймемо товарний потяг, вісь  $X$  спрямуємо в напрямку руху потягів. Указані в умові значення швидкостей задано відносно нерухомої системи відліку, зв'язаної з поверхнею

Землі. Відносно рухомої системи відліку, зв'язаної з товарним потягом, пасажирський потяг має так звану відносну швидкість  $v = v_1 - v_2$ . Щоб обігнати товарний потяг, пасажирський має переміститися відносно нього на відстань, що дорівнює сумі довжин потягів. Тоді час обгону:

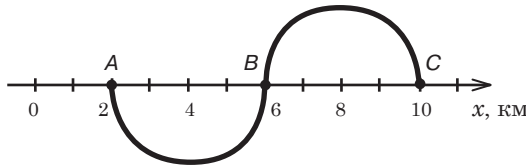
$$t = \frac{s_1 + s_2}{v_1 - v_2}, t = \frac{200 \text{ м} + 300 \text{ м}}{40 \text{ м/с} - 30 \text{ м/с}} = \frac{500 \text{ м}}{10 \text{ м/с}} = 50 \text{ с.}$$

**Відповідь:** 50 с.

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Вирази у м/с: 36 км/год; 36 км/хв; 36 м/хв.
- 2 Тіло здійснює рух уздовж сторін квадрата (довжина 20 см). Визнач шлях і переміщення тіла, якщо: а) тіло пройшло вздовж однієї сторони; б) двох сторін; в) трьох сторін; г) чотирьох сторін. Зроби малюнок до задачі, скориставшись лінійкою.
- 3 На малюнку 4.10 зображено траєкторію руху тіла, що почало рухатись із точки А. Визнач: а) координату початкового положення тіла; б) координату кінцевого положення тіла; в) зміну координати внаслідок руху тіла; г) шлях, пройдений тілом; г) модуль і напрямок переміщення тіла.



Мал. 4.10

- 4 Спортсмен відбив м'яч вертикально вгору, коли той перебував на відстані 0,5 м від підлоги, а спіймав його на висоті 1,9 м. Який шлях і яке переміщення м'яча, якщо під час польоту він піднімався на максимальну висоту 3 м?
- 5 Тіло перемістилося з точки, координати якої  $x_1 = 0$  см,  $y_1 = 3$  см, у точку з координатами  $x_2 = 4$  см,  $y_2 = 0$  см. Зобрази ці точки на координатній площині. Укажи, якими способами можна визначити модуль переміщення тіла.
- 6 Потяг їде зі швидкістю 144 км/год. Який шлях він долає за 30 хв? Відповідь запиши в метрах.
- 7 Тіло за 10 хв перемістилося на 15 м. На яку відстань переміститься тіло за 0,5 год?
- 8 Людина йде зі швидкістю 5,4 км/год. Скільки кроків за секунду вона робить? Довжина кроку — 75 см.

<sup>1</sup> У задачах 9–16 вказано середнє значення швидкості тіл.

- 9** На зустріч один одному рухаються мотоцикл і автомобіль зі швидкостями 30 км/год і 80 км/год відповідно. З якою швидкістю вони зближуються?
- 10** Два автомобілі рухаються зі швидкостями 60 км/год і 40 км/год. Визнач відносну швидкість їхнього руху, якщо вони рухаються: а) в одному напрямку; б) у протилежних напрямках.
- 11** Два потяги рухаються назустріч один одному зі швидкостями 54 км/год та 72 км/год. Пасажир першого потяга помічає, що другий потяг рухається повз нього протягом 4 с. Яка довжина другого потяга?
- 12** Два мотоциклісти виїхали з міст Хмельницький і Луцьк назустріч один одному. Перший мотоцикліст рухається зі швидкістю 60 км/год, а другий — 70 км/год. Знайди відстань між містами, якщо відомо, що мотоциклісти зустрілися через 120 хв.
- 13** Автобус й автомобіль одночасно виїхали з Одеси в бік Києва. Швидкість автобуса становить 75 км/год, автомобіля — 110 км/год. Яка відстань буде між транспортними засобами через 1 і 2 год?
- 14** Відстань між Дніпром і Запоріжжям 85 км. Із цих міст одночасно вирушили два велосипедисти в одному напрямку зі швидкостями 20 км/год і 15 км/год. Через скільки годин після старту один велосипедист наздожене другого?
- 15** Швидкість катера у стоячій воді — 25 км/год. Швидкість течії річки — 5 км/год. Яку відстань подолає катер за течією річки за 1 год?
- 16** Човен рухався проти течії і проплив 100 км за 5 год. Яка швидкість човна, якщо швидкість течії становить 3 км/год?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1** Розглянь малюнок 4.11, на якому зображено дитячий автомобіль, що живиться від батарейок і може рухатися по треку. За якої умови ввімкнений автомобіль буде нерухомим: а) відносно треку; б) відносно столу, на якому лежить трек? За можливості перевір своє припущення експериментально. Запропонуй свій варіант досліду, який ілюструє відносність швидкості.
- 2** Скориставшись онлайн-картою міста/села, у якому ти мешкаєш, побудуй траєкторію свого руху від дому до школи. Визнач шлях, який долаєш, і модуль переміщення. Обчисли середню швидкість свого руху.
- 3** Сплануй і опиши, як визначити шлях, швидкість руху й величину кроку, користуючись відповідними програмами в телефоні (мал. 4.12).



Мал. 4.11



Мал. 4.12



# § 5. БУДУЄМО ГРАФІКИ ПРЯМОЛІНІЙНОГО РІВНОМІРНОГО РУХУ

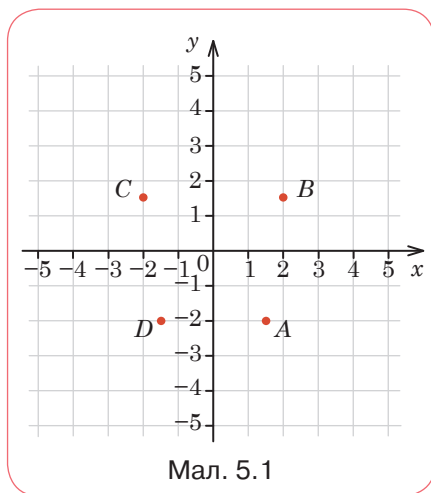


Як дізнатися про характер руху за його графіком?

## ДОСЛІДЖУЙ

**1** Розглянь малюнок 5.1. Установи відповідність між точками  $A$ – $D$  та їх координатами (1–5):

1. $(-2; -1,5)$	$A$
2. $(-2; 1,5)$	$B$
3. $(1,5; -2)$	$C$
4. $(-1,5; -2)$	$D$
5. $(2; 1,5)$	$A$



Пам'ятаєте, на уроках математики вам говорили, що вміння визначати координати, будувати графіки знадобиться на уроках фізики? Тепер слід пригадати, як ви це робили.



Я намалювала графік руху потяга, використовуючи дані з таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

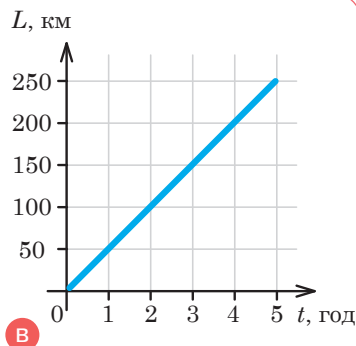
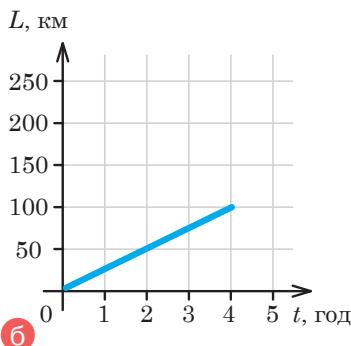
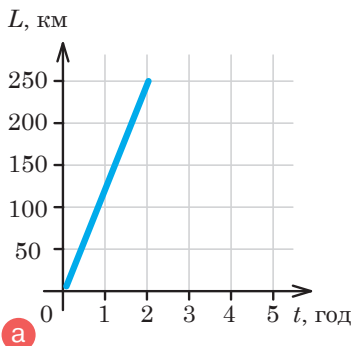
$t$ , год	1	2	3	4
$L$ , км	50	100	150	200

Таблиця 5.2

$t$ , год	1	2	3	4
$L$ , км	125	250	375	500

А я використав дані таблиці 5.2 і теж намалював графік руху потяга.

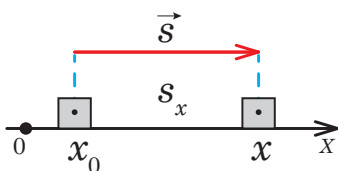
2 Укажи, якою літерою зображено графік, що намалювала Єва, і графік Сашка (мал. 5.2, а—в). Швидкість якого потяга більша? Як це можна визначити?



Мал. 5.2

### ДІЗНАВАЙСЯ

**Як записувати рівняння руху тіла.** Формула  $s = vt$  математично виражає залежність пройденого шляху від часу: пройдений під час рівномірного прямолінійного руху шлях прямо пропорційний часові.



Мал. 5.3

Розглянемо тіло, що в момент початку руху перебуває в точці з координатою  $x_0$  (мал. 5.3). Через деякий час  $t$ , здійснивши переміщення  $s$ , тіло матиме координату  $x$ . З малюнка видно, що числове значення переміщення вздовж осі  $X$  дорівнює зміні координати тіла  $x - x_0$ , тобто

тіло перемістилося на відстань, яку можна визначити як різницю між кінцевою й початковою координатами:  $s = x - x_0$ .

Враховуючи  $s = vt$  і вираз  $s = x - x_0$ , отримуємо:

$x = x_0 + vt$  — рівняння, яке називають *рівнянням руху*; воно дає змогу визначити координату тіла в будь-який момент часу.

Оскільки тіла в початковий момент часу можуть перебувати в довільному місці й рухатись у довільному напрямку з довільною швидкістю, то рівняння руху для кожного тіла матиме свій вигляд.



Розглянемо приклад руху автобуса й автомобіля, які перебувають на відстані 100 м один від одного й рухаються назустріч (мал. 5.4).



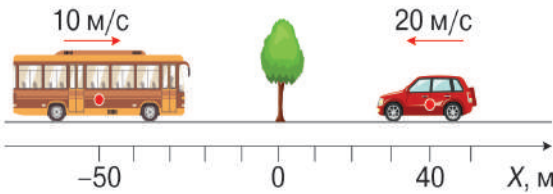
Мал. 5.4

З малюнка 5.4 видно, що швидкість автобуса 36 км/год, а швидкість автомобіля — 72 км/год.

Виразимо ці швидкості в м/с:

$$\text{швидкість автобуса } 36 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 36 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 10 \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$\text{швидкість автомобіля } 72 \frac{\text{км}}{\text{год}} = 72 \frac{1000 \text{ м}}{3600 \text{ с}} = 20 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$



Мал. 5.5

Оберемо систему відліку, у якій будемо досліджувати рух тіл (мал. 5.5):

- спрямуємо координатну вісь у напрямку руху автобуса;
- початок координат пов'яжемо з тілом відліку, відносно якого досліджуємо рух (наприклад, з деревом, що стоїть обабіч дороги). Тоді початкова координата автобуса — (-50 м), автомобіля — 40 м.



Напрямок осі  $X$  і тіло відліку можна обирати довільно?

Так, довільно.  
А тепер запиши рівняння руху тіл.



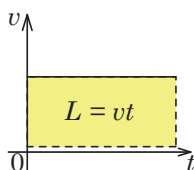
Складаючи рівняння руху, зверни увагу на початкову координату тіла й напрямок швидкості руху, що визначатиме знаки «+» та «-» у рівнянні руху, а також на те, що всі величини, які входять до рівняння, мають бути виражені в належних одиницях.

*Перевір себе.* Рівняння руху для автобуса:  $x_1 = -50 + 10t$ , м;  
для автомобіля:  $x_1 = 40 - 20t$ , м.



Графіки руху

**Учимося будувати графіки рівномірного прямолінійного руху та досліджувати за ними рух.** Для побудови графіків на горизонтальній осі (абсцис) відкладають час, а на вертикальній осі (ординат) — пройдений шлях, модуль переміщення або модуль швидкості руху тіла.



Мал. 5.6

Як відомо, швидкість тіла під час рівномірного прямолінійного руху із часом не змінюється. Тому графік швидкості руху тіла — це пряма, паралельна осі часу  $t$  (мал. 5.6).

Пройдений тілом шлях графічно визначається як площа прямокутника, обмеженого лінією графіка швидкості й перпендикуляром, опущеним на вісь часу  $t$  у точку, яка відповідає часу руху (мал. 5.6).

Графіком функції  $x = x_0 + vt$  є пряма, розташування якої залежить від того, де перебуває тіло на початку спостереження і куди спрямована швидкість руху тіла. Звернімося до зазначеного прикладу: рівняння руху для автобуса  $x_1 = -50 + 10t$ , м; для автомобіля:  $x_2 = 40 - 20t$ , м. Щоб побудувати відповідні графіки руху, застосуємо знання з математики. Підставляємо в рівняння довільні значення часу  $t$  в секундах, визначаємо відповідні значення координати тіла й будуємо графіки. Як відомо, для побудови прямої достатньо двох пар значень.

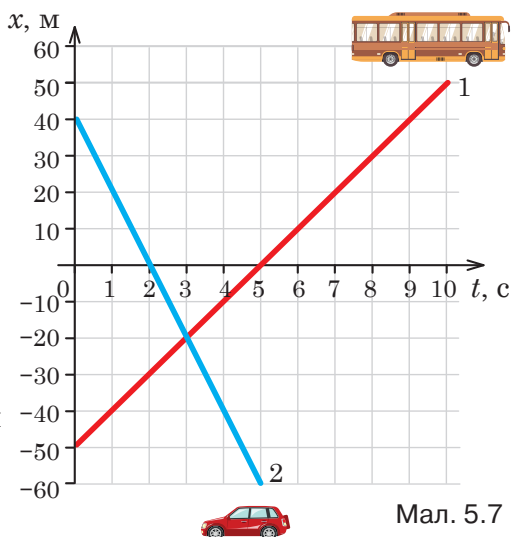
Для автобуса:

$t$ , с	0	10
$x$ , м	-50	50

Для автомобіля:

$t$ , с	0	5
$x$ , м	40	-60

Проаналізуй отримані графіки (мал. 5.7).



Мал. 5.7

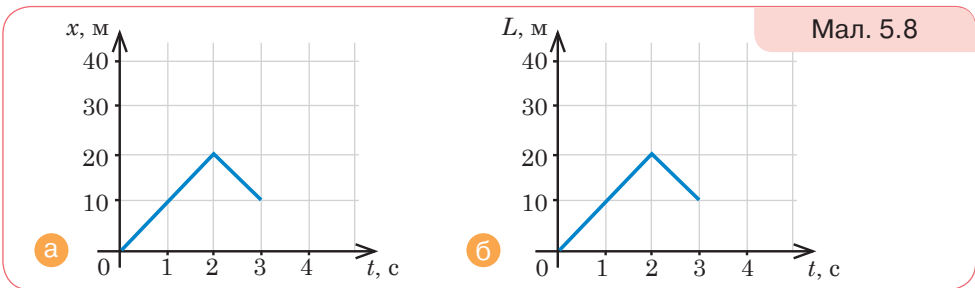
*Перевір себе.* Графік 1 спрямований угору. Це свідчить про те, що напрямок руху автобуса (тобто напрямок швидкості його руху) збігається з вибраним напрямком. Цей графік перетинає вісь часу в точці 5. Це означає, що через 5 с від початку руху автобус перебував біля тіла відліку — дерева (на початку координат).

Оскільки автомобіль рухається в протилежному до осі  $X$  напрямку, то графік його руху спрямований униз. Біля тіла відліку (дерева) автомобіль буде проїжджати через 2 с.

Координати точки перетину графіків визначають час та місце зустрічі тіл: через 3 с від початку руху обидва тіла будуть перебувати на відстані 20 м ліворуч від дерева.

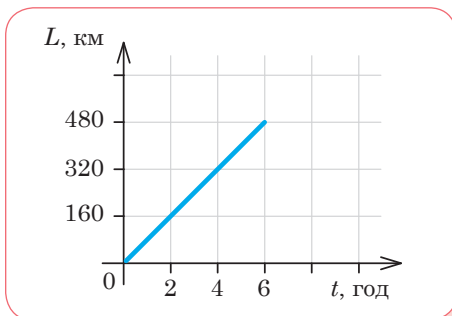


- 1 У чому різниця між траєкторією тіла і графіком його руху?
- 2 На малюнку 5.8, а, б зображено графіки залежності координати і пройденого шляху від часу для обох випадків руху. Поясни, у якому з графіків допущено помилку.

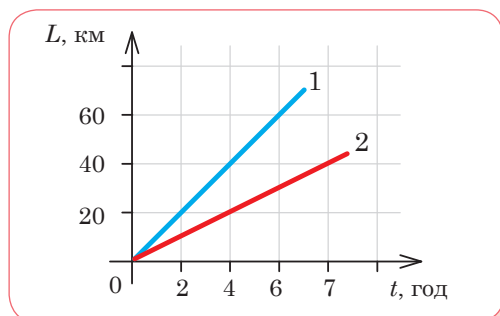


Мал. 5.8

- 3 З якою швидкістю рухається автомобіль, якщо графік його руху має вигляд, як на малюнку 5.9?



Мал. 5.9



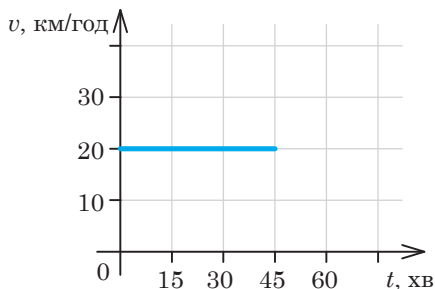
Мал. 5.10

- 4 На малюнку 5.10 (с. 51) зображено графіки залежності пройденого шляху від часу для двох тіл. У якого з тіл швидкість руху більша? У скільки разів?

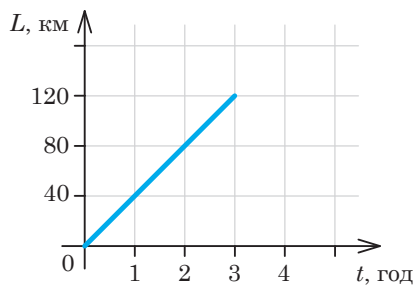
## ДІЙ

### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Побудуй графіки залежності  $v(t)$ ,  $L(t)$  для мотоцикла, що рухається зі сталою швидкістю 60 км/год протягом 20 хв.
- 2 На малюнку 5.11 зображено графік залежності швидкості від часу. Визнач шлях, який пройдено за 45 хв. Побудуй графік залежності пройденого шляху від часу.

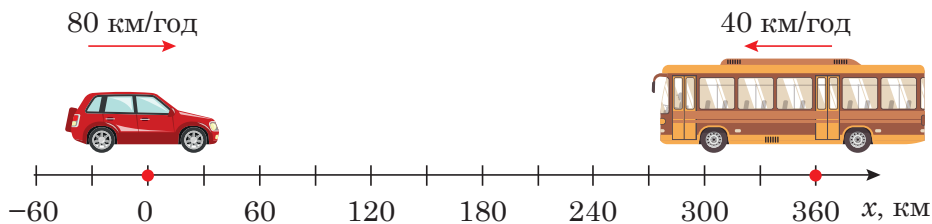


Мал. 5.11



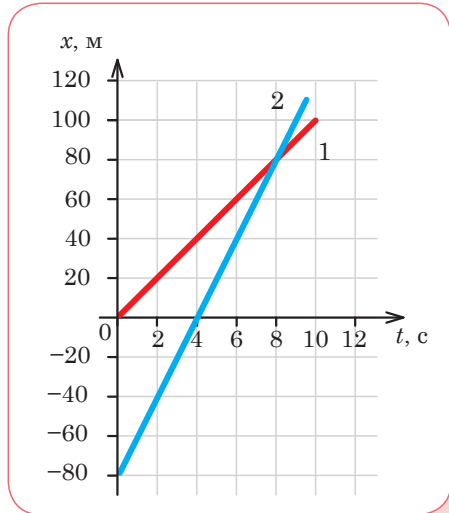
Мал. 5.12

- 3 Користуючись графіком залежності пройденого шляху від часу (мал. 5.12), побудуй графік залежності швидкості від часу.
- 4 На малюнку 5.13 зображено положення двох тіл у момент початку спостереження. Запиши рівняння руху тіл. Визнач: а) час і місце зустрічі тіл; б) шлях, який пройшли тіла до моменту зустрічі. Побудуй графіки залежності  $v(t)$ ,  $L(t)$ ,  $x(t)$  для кожного з тіл.



Мал. 5.13

**5** На малюнку 5.14 зображено графіки залежності координати тіла від часу. Визнач: а) відстань між тілами в момент початку спостереження; б) час і координату зустрічі тіл; в) швидкості руху тіл; г) шляхи, пройдені тілами до моменту зустрічі; г) відстань між тілами через 10 с від початку спостереження.

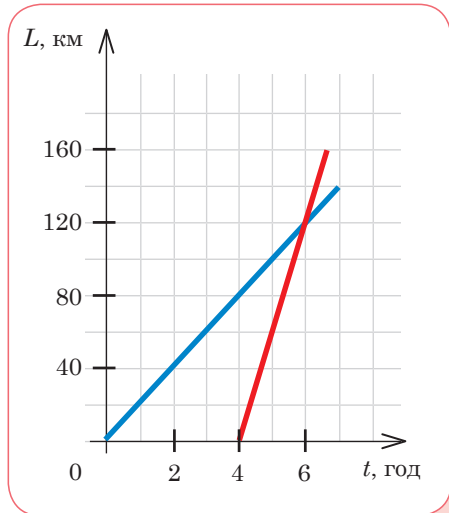


Мал. 5.14

**6** Від автостанції вирушив міжміський автобус зі швидкістю 75 км/год. Через 40 хв за тим самим маршрутом вирушило маршрутне таксі зі швидкістю 100 км/год. Через який час від початку руху автобуса маршрутне таксі буде на відстані 25 км позаду від автобуса? Через який час маршрутне таксі наздожене автобус? Побудуй на одному малюнку графіки залежності  $L(t)$  для автобуса й маршрутного таксі.

**7** Рух двох тіл заданий рівняннями  $x = 5t$  та  $x = 150 - 10t$ . Знайди час і місце зустрічі тіл графічно та аналітично.

**8** Склади й розв'яжи задачу, якщо тобі відомо про рух тіл за їхніми графіками (мал. 5.15).



Мал. 5.15

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**1** Досліди рух іграшкового автомобіля на батарейці й побудуй графік його руху. Для дослідження тобі знадобляться: іграшковий автомобіль, секундомір, рулетка, клейка стрічка. Познач на підлозі (або іншій рівній поверхні) за допомогою клейкої стрічки початкову та кінцеву точки. Розбий цю ділянку на рівні відрізки й познач відстань між ними клейкою стрічкою. Запускай автомобіль і фіксує час, за який він проходить відстань між позначками. Побудуй графік залежності шляху та швидкості від часу.

**2** Уяви, що ти дослідник / дослідниця, який / яка вивчає Національний природний парк «Синевир». Тебе зацікавив рух карпатських косуль у цьому парку. Опиши свій план дослідження, за яким хочеш визначити середню швидкість міграції косуль.

## § 6. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО НЕРІВНОМІРНИЙ РУХ



Про нерівномірний рух ми вже згадували в попередніх параграфах. Чи є ще щось, чого ми не знаємо?

### ДОСЛІДЖУЙ

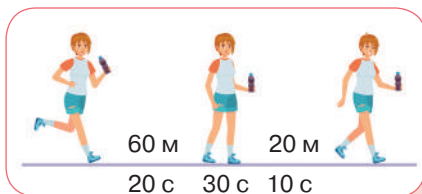
Розглянь випадки руху й поясни суперечності, що виникли.

**ВИПАДОК 1.** Плавчиня і плавець (мал. 6.1) долають у басейні відстань 50 м у прямому та зворотному напрямках за один і той самий час — 30 с. Інакше кажучи, за однакові інтервали часу проходять однакові відстані. Отже, їх рух рівномірний. Чи все-таки нерівномірний?



Мал. 6.1

**ВИПАДОК 2.** Сашко і Єва розв'язували задачу з визначення середньої швидкості руху людини (мал. 6.2) за такими даними: за 20 с людина пройшла 60 м, потім 30 с стояла і наступні 20 м пройшла за 10 с.



Мал. 6.2

Я розв'язав задачу так:

На першій ділянці швидкість  $v_1 = \frac{60 \text{ м}}{20 \text{ с}} = 3 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,

на другій  $v_2 = \frac{20 \text{ м}}{10 \text{ с}} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ ,

тоді середня швидкість  $v_0 = \frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{3 \frac{\text{м}}{\text{с}} + 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}}{2} = 2,5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$ .

А я розв'язала задачу так:

Увесь шлях  $L = L_1 + L_2 = 60 \text{ м} + 20 \text{ м} = 80 \text{ м}$ , увесь час руху  $t = t_1 + t_2 + t_3 = 20 \text{ с} + 30 \text{ с} = 60 \text{ с}$ , тоді середня швидкість

$$v_0 = \frac{L_{\text{зар}}}{t_{\text{зар}}} = \frac{80 \text{ м}}{60 \text{ с}} \approx 1,3 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

З якою середньою швидкістю насправді рухалася людина?



## ДІЗНАВАЙСЯ

**Чим рівномірний рух відрізняється від нерівномірного?**

Розглядаючи перший випадок, слід звернути увагу, що рівномірним рухом називають той, де за будь-які рівні інтервали часу тіло проходить однакові відстані.

Так, плавчиня і плавець проходять однакові відстані за кожні 30 с. А якщо ми доберемо інші інтервали часу, наприклад 5 с, то зрозуміло, що за перші 5 с і за наступні 5 с плавці проходять різні відстані. Їхня швидкість на окремих ділянках водної доріжки різна: зменшується під час розвороту, зростає під час відштовхування ногами від бортика тощо.

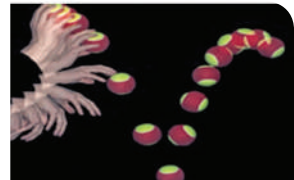
На певній ділянці можна спостерігати й рівномірний рух плавців, коли за кожні 5 с вони пропливатимуть однакові відстані, але загалом їхній рух нерівномірний.

**Нерівномірний рух** (*non-uniform motion*) — це рух, у якому тіло за будь-які рівні інтервали часу долає різний шлях.

У реальному житті найчастіше ми маємо справу з нерівномірним рухом. Тобі, можливо, доводилося спостерігати стробоскопічний ефект на концертах або під час інших шоу (мал. 6.3).

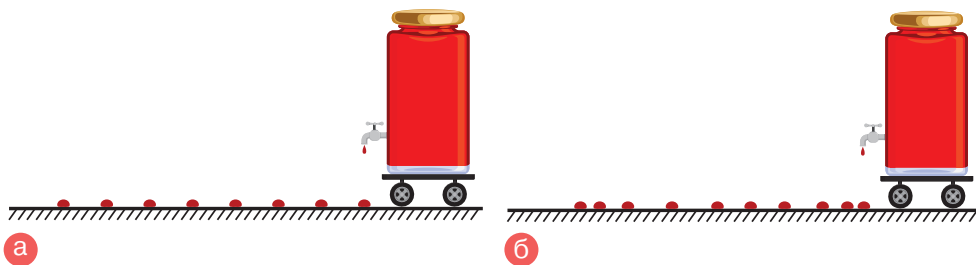
*Стробоскопічний ефект* — це зорова ілюзія, що виникає у випадках, коли спостереження якогонебудь предмета або картини здійснюється не безупинно, а протягом окремих послідовних інтервалів часу (наприклад, під час періодичних спалахів світла в темному приміщенні).

Обернений приклад — отримання суцільного сліду, а не послідовних положень тіла, що рухається. Наприклад, якщо затвор фотоапарата залишити відкритим досить довго або в камері телефона установити велику витримку, то можна зафіксувати обертання Землі: з'являться «сліди» від зір на зображенні.



Мал. 6.3

Ти також самостійно можеш змоделювати й отримати слід, за яким досліджуватимеш рух тіла. Розглянь малюнок 6.4 (с. 56) і поясни його.



Мал. 6.4. У якому випадку рух нерівномірний? Доведи

**Як визначити швидкість тіла, що рухається нерівномірно?** Ти вже знаєш, що для опису нерівномірного руху використовують поняття *середньої* швидкості. Водночас значення середньої швидкості може не збігатися зі швидкістю руху тіла на окремих ділянках траєкторії. Під час нерівномірного руху тіло на одних ділянках має меншу швидкість, на інших — більшу. Як-от у випадку з плавцями в басейні або руху транспортного засобу, який набирає швидкість на початку руху і зменшує її в кінці (мал. 6.4, а).

Середня швидкість характеризує рух тіла на певній ділянці траєкторії *за весь час* руху. Тому вона визначається відношенням усього пройденого шляху до всього інтервалу часу руху тіла:

$$v_c = \frac{L_{\text{зар}}}{t_{\text{зар}}} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

де  $L_1, L_2, \dots$  — ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу  $t_1, t_2, \dots$

**Зверни увагу!** Весь час руху  $t$  може охоплювати й час, витрачений на можливі зупинки, тобто час, коли тіло не рухається зовсім.



Зважаючи на таке визначення середньої швидкості нерівномірного руху, зрозуміло, що Єва розв'язала задачу правильно (с. 54). Проте визначати швидкість як середнє арифметичне, як це зробив Сашко, також можна, але лише в одному випадку. Про це дізнаєшся, коли розв'яжеш задачу 1 на сторінці 62. На прикладі розв'язування задачі 3 на сторінці 61 ти довідаєшся про графічний спосіб визначення середньої швидкості руху тіла.



Даю довідку

### Середня швидкість переміщення та миттєва швидкість

Окрім середньої швидкості (її ще називають середньою шляховою швидкістю, або середньою швидкістю проходження шляху), у фізиці застосовують *середню швидкість переміщення та миттєву швидкість*.

Середня швидкість переміщення визначається відношенням переміщення до інтервалу часу, протягом якого відбулося це переміщення:

$$\vec{v}_c = \frac{\vec{s}}{t} = \frac{\vec{s}_1 + \vec{s}_2 + \dots + \vec{s}_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n},$$

де  $\vec{s}_1, \vec{s}_2, \dots$  — переміщення тіла за відповідні інтервали часу  $t_1, t_2, \dots$

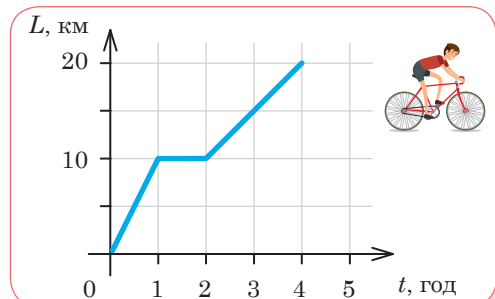
Ця швидкість — векторна, тоді як середня швидкість проходження шляху — величина скалярна.

Жодна із цих величин не дає інформації про рух тіла в певній точці траєкторії (у певний момент часу). Щоб знайти швидкість руху тіла в певний момент часу в певній точці траєкторії, застосовують поняття *миттєвої швидкості*. Саме миттєву швидкість фіксує спідометр автомобіля.

Про миттєву швидкість можна говорити й у випадку рівномірного руху. Миттєва швидкість рівномірного руху в будь-якій точці й у будь-який час однакова. Миттєва швидкість нерівномірного руху в різних точках траєкторії в різні моменти часу — різна.

**Який вигляд мають графіки залежності шляху і швидкості руху тіла від часу в разі нерівномірного руху?** На відміну від графіків прямолінійного рівномірного руху, графіки залежності шляху і швидкості руху тіла від часу в разі нерівномірного руху можуть мати різний вигляд у кожному конкретному випадку.

*Розглянь приклад.* На малюнку 6.5 зображено графік залежності шляху від часу для велосипедиста. Схарактеризуй його рух самостійно.



Мал. 6.5

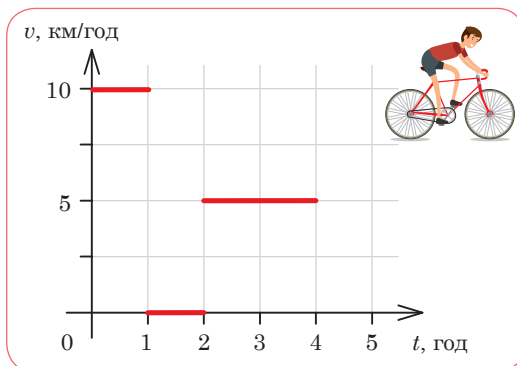
*Перевір себе.* З графіка бачимо, що протягом першої години велосипедист подолав відстань 10 км. Таким чином, швидкість його руху — 10 км/год. Протягом другої години пройдений шлях не змінювався — велосипедист не рухався. Протягом наступних двох годин (від 2 до 4 год) він проїхав ще 10 км. Отже, швидкість його руху на цій ділянці 5 км/год. Середня швидкість на всьому шляху:

$$v_c = \frac{10 \text{ км} + 0 + 10 \text{ км}}{1 \text{ год} + 1 \text{ год} + 2 \text{ год}} = 5 \text{ км/год.}$$



*Зверни увагу!* Шлях не може зменшуватися, тому графік шляху або піднімається, або залишається горизонтальним, однак ніколи не опускається.

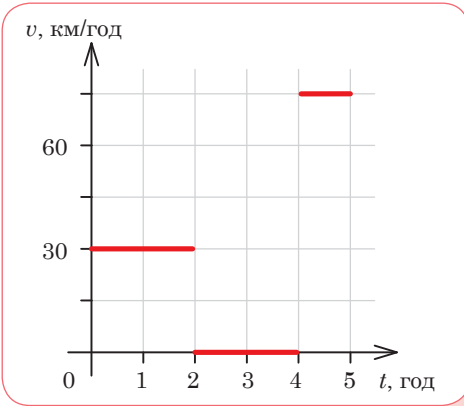
Відповідний графік залежності швидкості руху велосипедиста від часу складається з трьох частин. Це ти можеш побачити на малюнку 6.6.



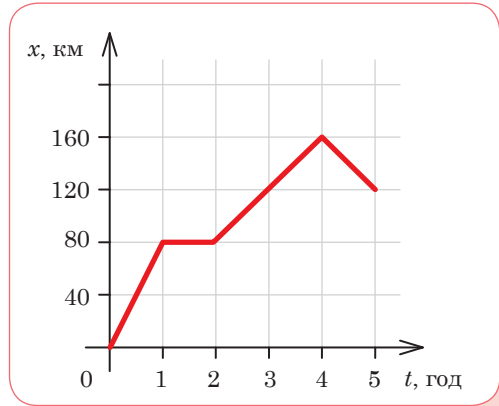
Мал. 6.6

## ДУМАЙ

- 1 Як визначають середню швидкість нерівномірного руху? Чим середня швидкість під час нерівномірного руху відрізняється від швидкості рівномірного руху?
- 2 Яку швидкість руху тіла мають на увазі, коли кажуть, що швидкість руху літака становить 700 км/год?
- 3 Поясни, як рухалося тіло, якщо його графік залежності швидкості руху від часу має вигляд, як на малюнку 6.7.

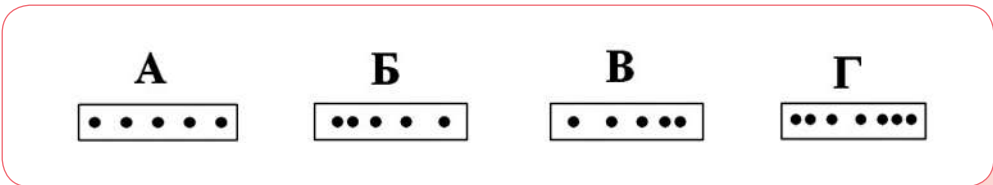


Мал. 6.7



Мал. 6.8

- 4 Поясни характер руху тіла, за графіком залежності його координати від часу зображено на малюнку 6.8. Який вигляд матиме графік залежності пройденого шляху від часу в цьому випадку? У чому відмінність між цими графіками?
- 5 Під час руху автомобіля щохвилини фіксували показання спідометра. Чи можна за цими даними визначити середню швидкість руху автомобіля?
- 6 На малюнку 6.9 точками відмічено через рівні інтервали часу положення тіла, що рухається праворуч. У якому випадку швидкість тіла зростає?



Мал. 6.9

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА 1

Уяви себе водієм маршрутки, середня швидкість її руху — 54 км/год. Упродовж поїздки ти робиш 8 зупинок, на які витрачаєш загалом 40 хв. Відстань між пунктом відправлення й пунктом прибуття — 60 км. Визнач: а) тривалість поїздки; б) час, за який пройдено перші 30 км; в) дату народження та ім'я водія.

**Дано:**

$$v_c = 54 \text{ км/год}$$

$$N = 8$$

$$t_{\text{зуп}} = 40 \text{ хв}$$

$$L = 60 \text{ км}$$

- а)  $t$  — ?  
 б)  $t_1$  — ?  
 в) дата народження? Ім'я?

**СІ**

$$15 \text{ м/с}$$

$$2400 \text{ с}$$

$$60\,000 \text{ м}$$

**Розв'язання:**

а) Середня швидкість визначається за формулою:

$$v_c = \frac{L}{t}; \text{ звідки час руху } t = \frac{L}{v_c}.$$

$$t = \frac{60\,000 \text{ м}}{15 \text{ м/с}} = 4000 \text{ с}.$$

$$\text{Тривалість поїздки } t = 4000 \text{ с} + 2400 \text{ с} = 6400 \text{ с} = 1 \text{ год } 47 \text{ хв}.$$

б) Щоб визначити час, за який маршрутка проходить першу половину шляху, потрібно знати середню швидкість її руху на цій ділянці.

За вказаними в умові задачі даними її визначити неможливо. Тому неможливо визначити й час.

в) Щоб дати відповідь на це запитання, потрібно уважно читати умову задачі.

**Відповідь:** а) 1 год 47 хв; б) — ; в) 20 грудня, Тетяна.

## ЗАДАЧА 2

Автобус їхав 1 год зі швидкістю 90 км/год, пів години стояв і проїхав ще 2 год зі швидкістю 60 км/год. Визнач середню швидкість руху автобуса ( $v$  км/год). Побудуй графіки  $v(t)$ ,  $L(t)$ .

**Дано:**

$$t_1 = 1 \text{ год}$$

$$t_{\text{зуп}} = 0,5 \text{ год}$$

$$t_2 = 2 \text{ год}$$

$$v_1 = 90 \text{ км/год}$$

$$v_2 = 60 \text{ км/год}$$


---


$$v_c \text{ — ?}$$

$$v(t), L(t)$$

**Розв'язання:**

З формули  $v_c = \frac{L}{t}$  визначимо шлях за вказані

інтервали часу руху  $L_1 = v_1 t_1$ ,  $L_2 = v_2 t_2$ ,

$$L_1 = 90 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 1 \text{ год} = 90 \text{ км},$$

$$L_2 = 60 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 2 \text{ год} = 120 \text{ км}.$$

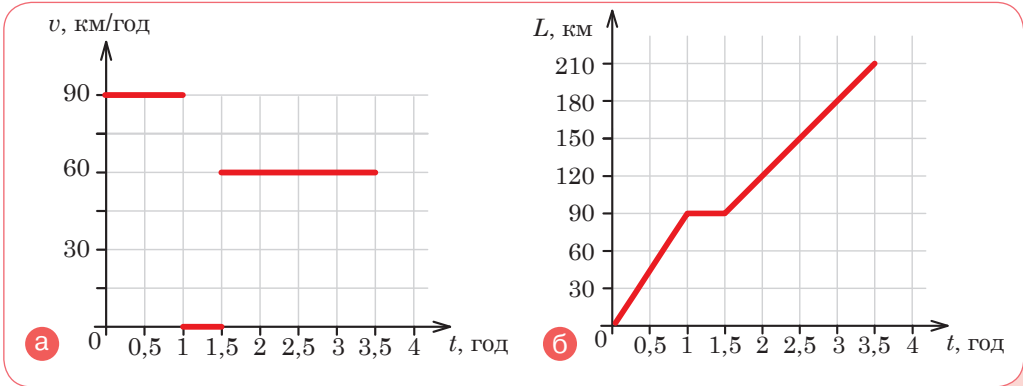
Для обчислення середньої швидкості можна підставляти числові значення кожної ділянки шляху або вирази для виведення загальної формули.

$$v_c = \frac{v_1 t_1 + v_2 t_2}{t_1 + t_{\text{зуп}} + t_2}.$$

Оскільки час і швидкість в умові задачі задані через однакові одиниці часу, то можемо виконати обчислення, підставляючи час у год та швидкість у км/год.

$$v_c = \frac{90 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 1 \text{ год} + 60 \frac{\text{км}}{\text{год}} \cdot 2 \text{ год}}{1 \text{ год} + 0,5 \text{ год} + 2 \text{ год}} = \frac{210 \text{ км}}{3,5 \text{ год}} = 60 \frac{\text{км}}{\text{год}}.$$

Графіки відповідно мають вигляд, як на малюнку 6.10.

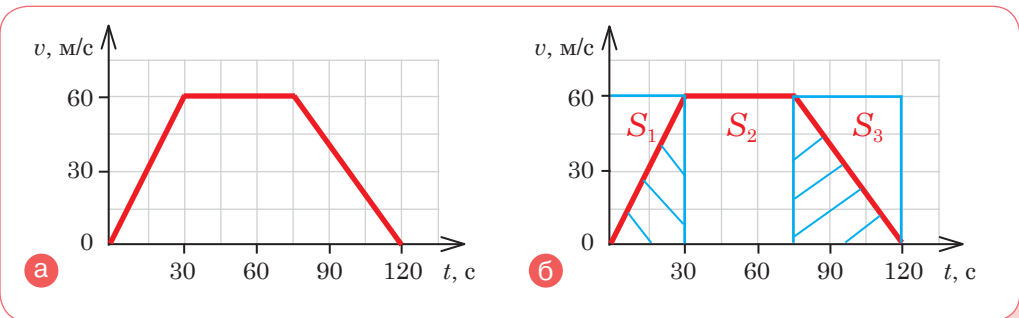


Мал. 6.10. Графіки: а  $v(t)$ ; б  $L(t)$

**Відповідь:** 60 км/год.

### ЗАДАЧА 3

За графіком швидкості руху тіла (мал. 6.11, а) визнач його максимальну та середню швидкість руху.



Мал. 6.11

**Розв'язання:**

З графіка видно, що за перші 30 с швидкість тіла збільшилася від 0 до 60 м/с. Від 30 до 75 с тіло рухалося рівномірно зі швидкістю 60 м/с і впродовж 45 с гальмувало до стану спокою.

Максимальна швидкість руху тіла — 60 м/с.

Середня швидкість руху визначається за формулою:

$v_c = \frac{L_{\text{зар}}}{t_{\text{зар}}} = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{t_1 + t_2 + t_3}$ , де  $L_1, L_2, L_3$  — ділянки шляху, пройдені за відповідні інтервали часу  $t_1, t_2, t_3$ .

Застосуємо графічний спосіб розв'язання задачі. Відстані  $L_1, L_2, L_3$  визначимо як площі фігур  $S_1, S_2, S_3$ , обмежені графіком (мал. 6.11, 6, с. 61).

$$L_1 = S_1 = \frac{60 \text{ м/с} \cdot 30 \text{ с}}{2} = 900 \text{ м}, L_2 = S_2 = 60 \text{ м/с} \cdot 45 \text{ с} = 2700 \text{ м},$$

$$L_3 = S_3 = \frac{60 \text{ м/с} \cdot 45 \text{ с}}{2} = 1350 \text{ м}.$$

$$v_c = \frac{L_1 + L_2 + L_3}{t_1 + t_2 + t_3} = \frac{900 \text{ м} + 2700 \text{ м} + 1350 \text{ м}}{30 \text{ с} + 45 \text{ с} + 45 \text{ с}} = 41,25 \text{ м/с}.$$

**Відповідь:** 60 м/с; 41,25 м/с.

## ДІЙ

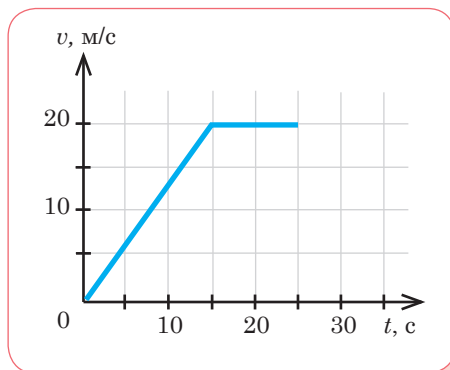
### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Першу половину часу автомобіль їхав зі швидкістю 100 км/год, а другу — зі швидкістю 80 км/год. Визнач середню швидкість руху автомобіля. Чи такою самою буде середня швидкість руху автомобіля у випадку, якщо він першу половину шляху їхав зі швидкістю 100 км/год, а другу — зі швидкістю 80 км/год? Це той випадок, коли середню швидкість можна визначити як середнє арифметичне.

**2** Турист рухався зі швидкістю 4 м/с і пройшов шлях 100 м. Наступні 1,2 км він рухався зі швидкістю 2 м/с. Визнач середню швидкість руху туриста. Побудуй графіки  $v(t), L(t)$ .

**3** Одне тіло проходить відстань 240 км зі швидкістю 80 км/год, а в зворотному напрямку — зі швидкістю 40 км/год. Інше тіло ту саму відстань в обидва боки проходить із сталою швидкістю 60 км/год. Чи однаковий час витрачають обидва тіла на шлях туди й назад?

**4** На малюнку 6.12 зображено графік залежності швидкості руху тіла від часу. Визнач середню швидкість руху тіла. Який шлях проходить тіло за 90 с? Побудуй графік залежності шляху від часу.

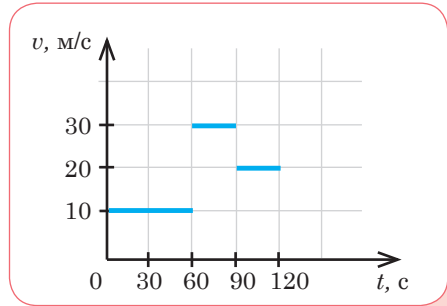


Мал. 6.12



5 Накресли графіки швидкості тіла, коли його швидкість рівномірно збільшується або зменшується.

6 Скориставшись графіком (мал. 6.13), з'ясує: як рухалося тіло; який шлях пододало за 25 с спостереження; якою була середня швидкість руху на цьому шляху.



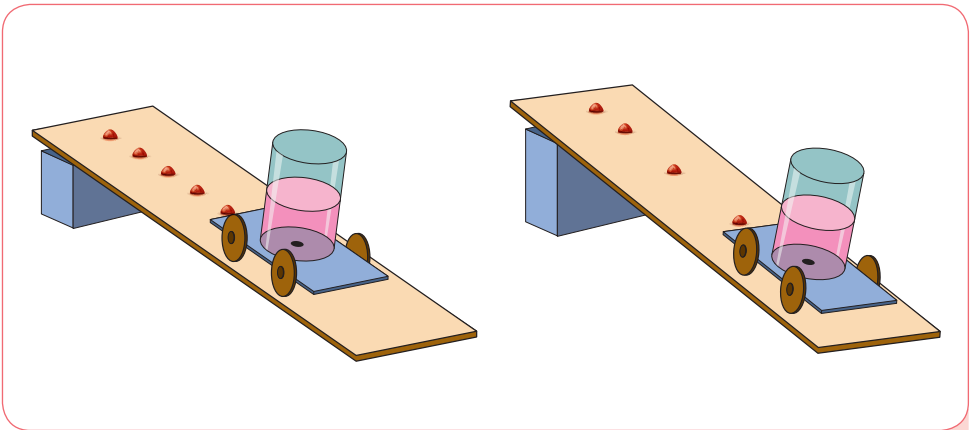
Мал. 6.13

7 Спостереження за равликом засвідчили, що впродовж 12 денних годин він рівномірно просувається вгору по стовпу на 2 м, а вночі, під час сну, рівномірно з'їжджає вниз на 1 м. За який найменший час равлик досягне висоти 6 м? Визнач переміщення і шлях равлика за 4 доби, швидкість долання шляху та швидкість переміщення.

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1 Сконструй пристрій, подібний до зображеного на малюнку 6.14, або запропонуй власну конструкцію пристрою, за допомогою якого наочно можна продемонструвати відмінності між рівномірним і нерівномірним рухом.



Мал. 6.14

2 Сплануй і опиши дослід із визначення середньої швидкості падіння повітряної кульки з деякої висоти.

3 Об'єднайтеся в групи. Кожна група має скласти для іншої маршрут переміщення школою (у певних місцях маршруту запропонуйте однокласникам і однокласницям розв'язати фізичні задачі). Загальне завдання: виміряйте середню швидкість пересування маршрутом (не забудьте врахувати час, який витратите на розв'язування задач).

## § 7. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО РУХ ПО КОЛУ



У чому особливість руху по колу? Чи можна прямолінійний рух перетворити на рух по колу?

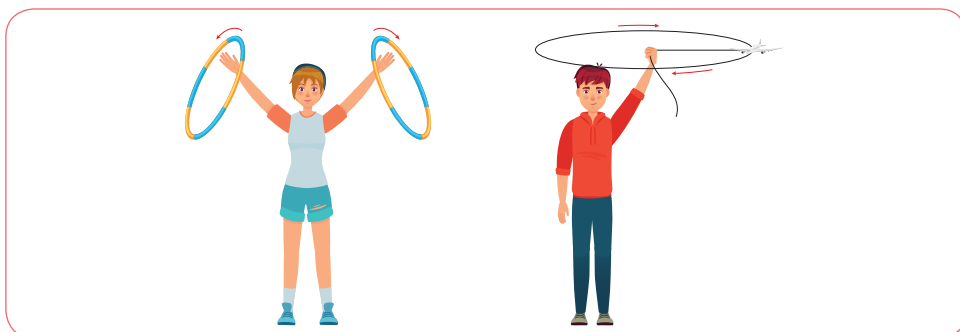
### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнок 7.1. опиши рух, вживаючи слова *обертання*, *коло*, *точка*. У якому випадку ти можеш сказати: всі точки тіла описують кола однакового радіуса; обрана точка тіла здійснює рівномірний рух по колу; тіло здійснює одночасно поступальний та обертальний рух?



Мал. 7.1

- 2 Тобі доводилось обертати на уроках фізкультури обруч на руці? Або бачити, як запускають літачок? (мал. 7.2). Що тобі відомо про рух тіл по колу? Куди впаде обруч, якщо припинити обертання, або літачок, якщо обірветься мотузка: вниз, у зворотному від обертання напрямку чи за напрямком обертання? Чи можна обчислити кількість обертів і час, що припадає на один оберт? І найскладніше запитання: чи можна такий рух вважати рівномірним?

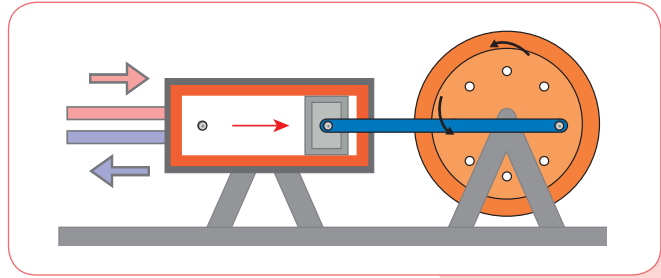


Мал. 7.2

- 3 Розглянь малюнок 7.3. У яких пристроях чи машинах є такий механізм, що перетворює поступальний рух на обертальний? Що тобі відомо про винахід колеса і про те, як він змінив життя людей?



Перетворення руху



Мал. 7.3

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Як описати обертальний рух?** До найпростіших видів руху, окрім поступального, належить і обертальний.

Добове обертання Землі навколо осі й обертання Землі навколо Сонця, обертання дзиги, рух стрілки годинника — усе це приклади обертального руху. Нерухомими в обертальному русі залишаються точки, що лежать на осі обертання.

**Обертальний рух** (*rotational motion*), або обертання (*rotation*), — це такий рух тіла, коли всі точки тіла рухаються по колах, центри яких розташовані на одній прямій лінії — осі обертання.

Поступальний рух тіла можна описати рухом однієї точки. Її швидкість і траєкторія будуть такими самими, як і будь-якої іншої точки тіла. А чи можна в обертальному русі досліджувати лише рух однієї точки?

При обертальному русі важливо знати, за рухом якої точки спостерігаємо, адже хоч усі точки тіла й описують кола, проте радіуси цих кіл можуть бути різними, а отже, різна і швидкість руху.

Лінійна швидкість



У разі руху по колу тіла, розмірами якого можна знехтувати, вважатимемо його матеріальною точкою. Надалі розглядатимемо *рух матеріальної точки по колу*. І найпростіший його випадок — рівномірний рух. Прикладами такого руху є рух кабінки оглядового колеса, кінець стрілки годинника (мал. 7.1, с. 64). Також як приклад рівномірного руху по колу розглядатимемо рух планет навколо Сонця (хоча реальний їхній рух здійснюється еліптичними орбітами).

Рівномірний рух по колу — це *періодичний рух*, тобто рух, який повторюється через певні однакові інтервали часу. Наведи приклади періодичних рухів тіл, але щоб їхня траєкторія не була колом.

Періодичний рух характеризується такими фізичними величинами, як *період* і *частота*. У разі рівномірного руху по колу говорять про *період обертання* та *обертovu частоту*.

**Рівномірний рух матеріальної точки по колу** — це такий криволінійний рух, під час якого точка, рухаючись коловою траєкторією, за будь-які рівні інтервали часу проходить однаковий шлях.

**Період обертання** (*rotation period*) — час одного повного оберту точки, що рухається по колу.

Період обертання позначається літерою  $T$ . Одиниця періоду — секунда, 1 с.

Якщо тіло робить  $N$  обертів, то  $T = \frac{t}{N}$ , де  $t$  — час обертання;  $N$  — кількість зроблених обертів.

Обертova частота позначається літерою  $n$ . Щоб визначити обертovu частоту матеріальної точки, треба кількість зроблених обертів  $N$ , які вона здійснила за час  $t$ , поділити на цей час:

**Обертova частота** (*rotation frequency*) — кількість обертів за одиницю часу.

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

Одиницею частоти обертання в СІ є одиниця, поділена на секунду,  $1 \frac{1}{\text{с}} = \text{с}^{-1}$ . У техніці таку одиницю ще називають обертом за секунду,  $1 \frac{\text{об}}{\text{с}}$ , або обертом за хвилину,  $1 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Легко помітити, що між обертovou частотою й періодом обертання існує взаємно обернена залежність:  $n = \frac{1}{T}$  і  $T = \frac{1}{n}$ .



Тобто що більшим є період обертання тіла, то меншою є його обертова частота, і навпаки.

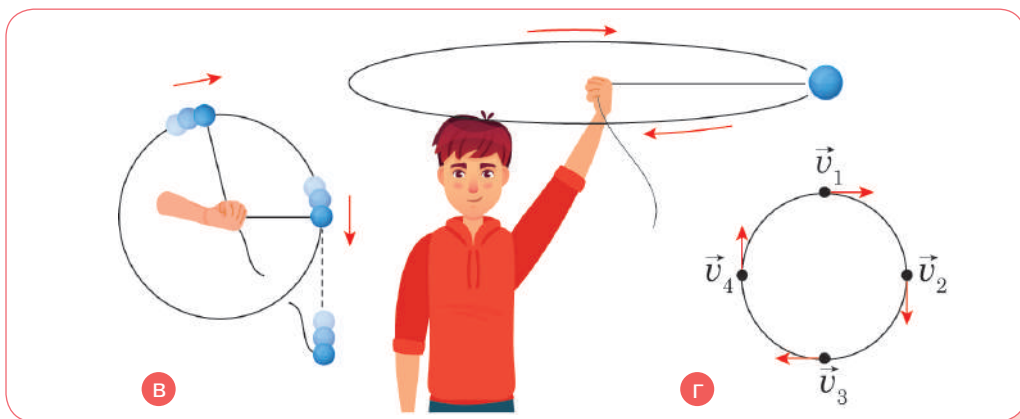
**Який напрямок має швидкість матеріальної точки, що рівномірно рухається по колу?** У прямолінійному русі напрямки швидкості й переміщення напрямлені в один бік. За *рівномірного прямолінійного руху* швидкість тіла не змінюється ні за значенням, ні за напрямком. За *нерівномірного прямолінійного руху* швидкість зберігає напрямок, але змінюється за значенням.

За *рівномірного руху матеріальної точки коловою траєкторією* швидкість зберігає значення, але змінює напрямок. Переконайся в цьому ти можеш на власному досвіді (мал. 7.2, с. 64), а також за малюнком 7.4. На малюнку 7.4, **а** показано, як ріжуть метал. Кожна іскра — це розжарена частинка, яка відірвалася від диска і летить із такою самою швидкістю, у тому самому напрямку, який вона мала в останній момент руху разом із диском.

Політ бризок від колеса автотранспорту, що буксує (мал. 7.4, **б**), напрямком руху шайби, яка відірвалася від мотузки (мал. 7.4, **в**, с. 68), переконують у тому, що швидкість матеріальної точки під час руху по колу напрямлена по дотичній (мал. 7.4, **г**, с. 68).



Мал. 7.4



Мал. 7.4 (продовження)

**Як визначити значення швидкості матеріальної точки під час рівномірного руху по колу?** Очевидно, що за період  $T$  матеріальна точка проходить шлях, що дорівнює довжині кола  $L = 2\pi r$ , тоді швидкість її рівномірного руху визначається:  $v = \frac{2\pi r}{T}$ , або  $v = 2\pi r \cdot n$ . Цю швидкість ще називають *лінійною швидкістю*.

**Як поступальний рух перетворити в обертальний?** Для передачі руху з перетворенням його виду та швидкості застосовують механізми передачі руху, які просто називають передавачами.

Даю довідку



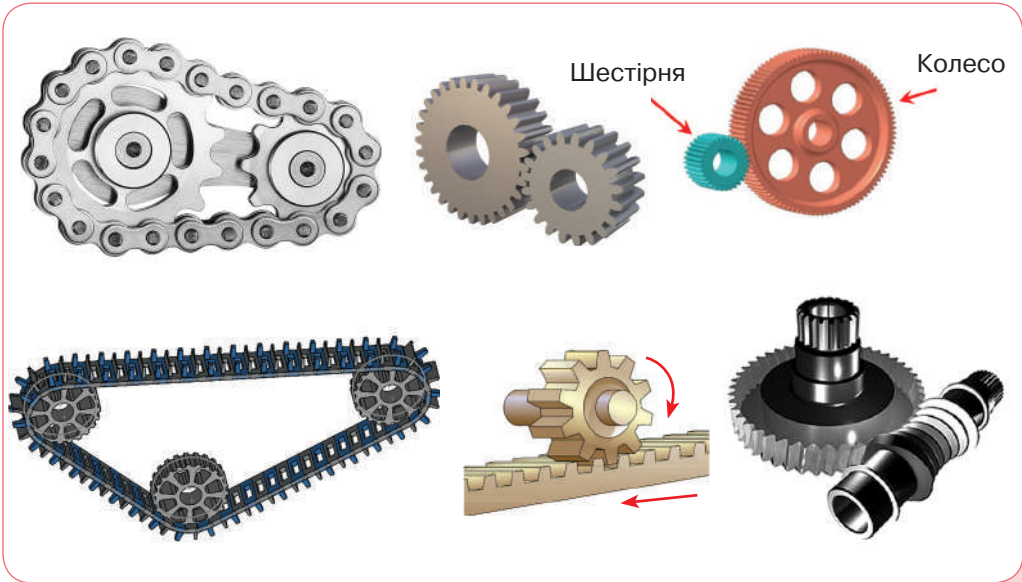
У технічних пристроях передавачі встановлюють у таких випадках:

- 1) якщо не збігаються швидкості окремих частин пристрою;
- 2) якщо потрібно періодично змінювати швидкість робочої частини пристрою;
- 3) якщо треба перетворити обертальний рух певної частини в поступальний або навпаки;
- 4) якщо потрібне безпосереднє з'єднання окремих рухомих частин пристрою.

Передавання руху можна здійснювати за допомогою тертя і зчеплення, тому механізми групують на два види:

за допомогою тертя: пасові, фрикційні;

за допомогою зачеплення: ланцюгові, зубчасті, черв'ячні (мал. 7.5).



Мал. 7.5

Основною деталлю зубчастої передачі є зубчасте колесо або шестірня. У машинобудуванні мале зубчасте колесо з меншим числом зубців прийнято називати шестірнею, а більше — колесом. Однак часто всі зубчасті колеса називають шестернями. Зубчасті колеса зазвичай використовуються парами з різним числом зубців з метою зміни кількості обертів, а отже, швидкості обертання на вході й виході.



Зубчаста передача

## ДУМАЙ

- 1 Чим відрізняються прямолінійні та криволінійні рухи; нерівномірний прямолінійний рух і рівномірний рух по колу?
- 2 Від чого залежить лінійна швидкість матеріальної точки?
- 3 Період обертання збільшився в 3 рази. Як змінилась обертова частота?
- 4 Який приблизно період обертання Землі навколо Сонця?
- 5 Фотографуючи зоряне небо, фотограф закріпив фотоапарат нерухомо й установив витримку протягом 8 годин. Який вигляд матиме зоряне небо?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА 1**

За 5 с колесо велосипеда радіусом 50 см зробило 20 обертів. Визнач період обертання, обертову частоту та швидкість точок обода.

**Дано:**

$t = 5 \text{ с}$

$r = 50 \text{ см}$

$N = 20$

$T = ?$

$n = ?$

$v = ?$

**СІ**

$0,5 \text{ м}$

**Розв'язання:**

Період визначається за формулою:

$$T = \frac{t}{N}, T = \frac{5 \text{ с}}{20} = 0,25 \text{ с}.$$

$$\text{Обертова частота: } n = \frac{1}{T}, n = \frac{1}{0,25} = 4 \frac{1}{\text{с}}.$$

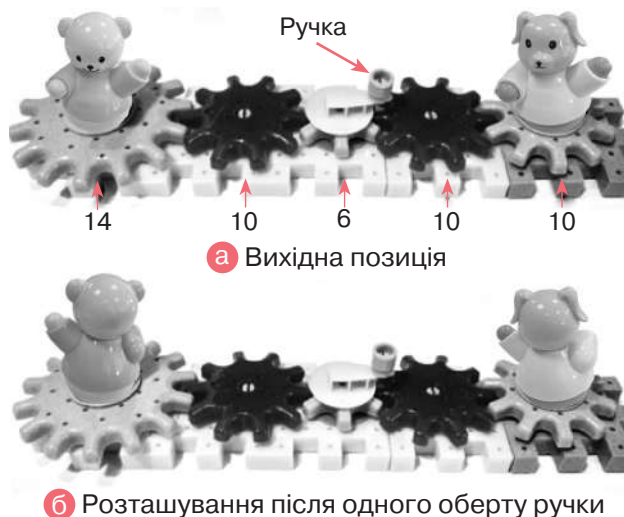
Лінійна швидкість:  $v = 2\pi r n$ ,

$$v = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,5 \text{ м} \cdot 4 \frac{1}{\text{с}} = 12,56 \frac{\text{м}}{\text{с}} \approx 12,6 \frac{\text{м}}{\text{с}}.$$

**Відповідь:** 0,25 с; 4 с<sup>-1</sup>; 12,6 м/с.

 **ЗАДАЧА 2**

На малюнку 7.6 зображено конструкцію, складену з п'яти шестерень. Перша шестірня має 14 зубців, друга — 10, третя — 6, четверта — 10 і п'ята — 10 зубців. На першій і останній шестернях розміщено іграшкові фігурки. Яку мінімальну кількість повних обертів ручки на третій шестірні потрібно зробити, щоб обидві фігурки повернулись у вихідну позицію?



Мал. 7.6



**Дано:**

$$k_1 = 14$$

$$k_3 = 6$$

$$k_2 = k_4 = k_5 = 10$$

$$N_3 = ?$$

**Розв'язання:**

Аналіз розташування шестерень і кількості зубців на них засвідчує, що для розв'язання задачі потрібно враховувати рух лише трьох шестерень: першої, третьої і п'ятої, оскільки друга й четверта шестерні лише передають обертальний рух від третьої шестірні на дві крайні.

Лінійні швидкості зубців шестерень однакові:  $v_1 = v_2 = v_3$ .

Прирівнявши швидкості шестерень за формулою:  $v = 2\pi r n = 2\pi r \frac{N}{t}$ ,

де  $r$  — радіуси шестерень, які пропорційні кількості зубців  $k$ ;  $N$  — кількість обертів;  $t$  — час обертання, який однаковий для всіх шестерень, отримуємо:

$$r_1 N_1 = r_3 N_3 = r_5 N_5.$$

Оскільки радіуси шестерень пропорційні кількостям зубців, то запишемо:

$$r_1 : r_3 : r_5 = k_1 : k_3 : k_5 = 14 : 6 : 10 = 7 : 3 : 5.$$

Тоді  $7N_1 = 3N_3 = 5N_5$ , або  $7N_1 = 3N_3$ ,  $3N_3 = 5N_5$ . Звідки

$$N_1 = \frac{3N_3}{7}, N_5 = \frac{3N_3}{5}.$$

Отримані співвідношення означають, що за одного оберту ручки ( $N_3 = 1$ ) перша шестірня зробить  $3/7$  оберту, а п'ята —  $3/5$  оберту.

Для того щоб перша шестірня зробила ціле число обертів,  $N_3$  повинно бути кратним 7, тобто перша шестірня повертається у вихідне положення після 7, 14, 21, 35, 42, 49 обертів ручки.

Для того щоб п'ята шестірня зробила ціле число обертів,  $N_3$  повинно бути кратним 5. Тобто п'ята шестірня повертається у вихідне положення після 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 обертів ручки.

Порівнюючи отримані ряди, бачимо, що мінімальною кількістю обертів  $N_3$ , за якої і перша, і п'ята шестерні повернуться у вихідне положення, є значення 35.

**Відповідь:**  $N_3 = 35$ .

## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Вал двигуна робить 2400 обертів за хвилину. Яка частота (у обертах за хвилину) обертання вала? Яка швидкість точки (в м/с), віддаленої від осі обертання на 20 см?
- 2 Чому дорівнює період обертання годинникової стрілки; хвилинної; секундної?
- 3 У скільки разів обертова частота хвилинної стрілки годинника більша, ніж частота годинникової стрілки?
- 4 Яку частину повного оберту здійснює за 15 с секундна стрілка?
- 5 Секундна стрілка годинника в 1,5 раза довша за хвилинну. У скільки разів швидкість руху кінця секундної стрілки більша від швидкості руху кінця хвилинної стрілки?
- 6 Штучний супутник Землі рухається по коловій орбіті на відстані 600 км від поверхні планети зі швидкістю 7,9 км/с. Який період (у хв) обертання супутника? Урахуй радіус Землі 6400 км.
- 7 Місяць рухається навколо Землі майже коловою орбітою радіусом 384 000 км протягом 27,3 доби. Визнач швидкість руху Місяця навколо Землі.
- 8 Під час запису інформації компакт-диск здійснює один оберт за 0,01 с. Визнач обертову частоту компакт-диска.
- 9 У скільки разів відрізняються швидкості руху точок диска, які розташовані на відстанях 1,5 і 4,5 см від осі обертання?
- 10 Велосипедист рухається по шосе рівномірно зі швидкістю 24 км/год. Визнач обертову частоту руху колеса, якщо радіус колеса дорівнює 26 см.
- 11 Маленьке зубчасте коліщатко обертається за годинниковою стрілкою із частотою 10 обертів за секунду (мал. 7.7). У який бік і з якою частотою обертається велике коліщатко? Який період обертання коліщаток?
- 12 Ведуча шестірня велосипеда має 44 зубці, а ведена — 20 зубців. Знайди найменше число обертів, що має зробити ведуча шестірня, щоб обидві шестерні опинились у вихідному положенні.

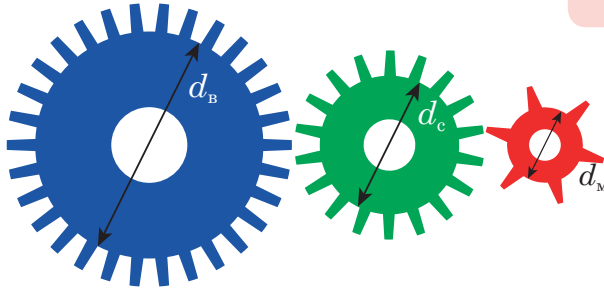


Мал. 7.7

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

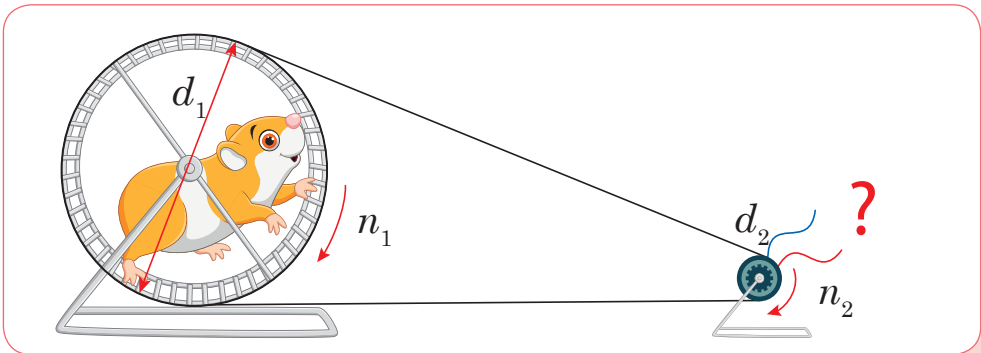
- 1 Вияви співвідношення між діаметрами зчеплених шестерень, довжинами їхніх кіл і кількостями зубців. Порахуй кількість зубців на великій (в), середній (с) та малій (м) шестернях (мал. 7.8). Обчисли відношення кількості зубців (N) та діаметрів (d) для пар шестерень: в–с, с–м. Зроби висновок.

Мал. 7.8



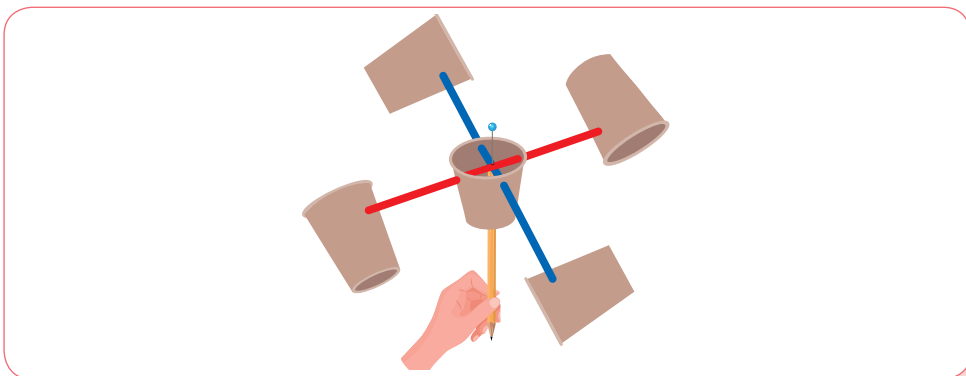
	Велика (в)	Середня (с)	Мала (м)	$\frac{N_B}{N_C}$	$\frac{N_C}{N_M}$	$\frac{d_B}{d_C}$	$\frac{d_C}{d_M}$
Кількість зубців ( $N$ )							
Діаметр ( $d$ ), см	7	4,2	1,6				
Довжина кола ( $L$ ), см							

- 2 Досліди, чи можна використати природну потребу хом'ячків бігати в колесі для того, щоб під'єднаний через пасову передачу електрогенератор виробляв напругу 2 В (мал. 7.9). Відомо, що для отримання напруги 2 В шків генератора має обертатися із частотою 1200 об/хв і мати діаметр 2 мм. Сирійський хом'ячок бігає із середньою швидкістю 1,5 м/с. Яким має бути діаметр колеса для хом'ячка? Як можна вдосконалити конструкцію?



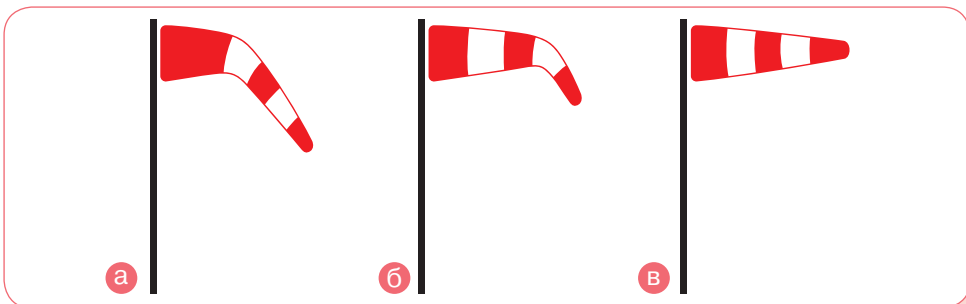
Мал. 7.9

- 3 Об'єднайтесь у групи й виконайте завдання. *Перша група.* Виготовте саморобний анемометр. Позначте один зі стаканчиків, за рухом якого будете вимірювати швидкість вітру (мал. 7.10). Виміряйте довжину кола, яке робить стаканчик. Порахуйте кількість обертів  $N$ , що робить стаканчик за  $t = 15$  с, визначте обертову частоту  $n = \frac{N}{t}$ . Обчисліть швидкість вітру:  $v = L \cdot n$ .



Мал. 7.10

*Друга група.* Сконструйте вітровказівник (мал. 7.11). Перевірте гіпотезу: якщо в приміщенні без вітру нести вітровказівник із різною швидкістю, то можна зробити на ньому відповідні позначки.



Мал. 7.11

Спосіб руху	Швидкість руху, м/с	Відхилення вітровказівника (малюнок)
Спокійний крок		
Неквапливий біг		
Швидкий біг		

Якщо тримати вітровказівник із позначками на вітру, то за відхиленням можна виявити залежність швидкості вітру від швидкості руху, за якої було зроблено відповідні позначки.

Виміряйте швидкість вітру. Обміняйтеся результатами вимірювання.

Порівняйте їх із вимірними за допомогою лабораторного анемометра або застосунку «Анемометр» у смартфоні.

4

Визнач частоту обертання дзиги. План дослідження склади самостійно.

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 2 «ВИЗНАЧЕННЯ ПЕРІОДУ ОБЕРТАННЯ ТА ШВИДКОСТІ РУХУ КУЛЬКИ ПО КОЛУ»

**Обладнання:** кулька, підвішена на нитці; штатив із кільцем і муфтами; секундомір або годинник із секундною стрілкою; вимірювальна стрічка, аркуш паперу з накресленим колом ( $r = 15$  см).

Аркуші для оформлення роботи завантаж із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 7).



### Вказівки щодо виконання роботи

1. Прив'яжи нитку завдовжки приблизно 45 см до кульки й підвісь до кільця штатива.
2. Обертай кульку по колу радіусом  $r$ , яке намальоване на аркуші паперу.
3. Виміряй час  $t$ , наприклад 15 обертів кульки. Дослід повтори п'ять разів.
4. Обчисли період  $T$  обертання кульки.
5. Обчисли середнє значення лінійної швидкості руху кульки.
6. Зроби висновки.

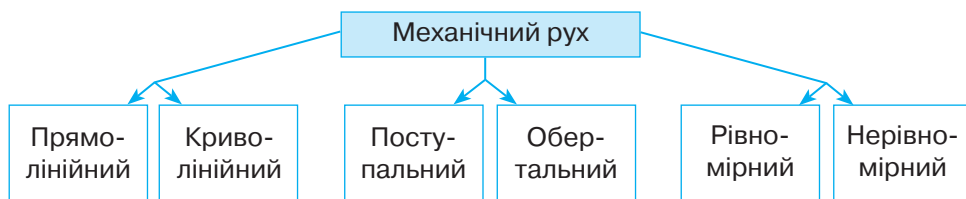
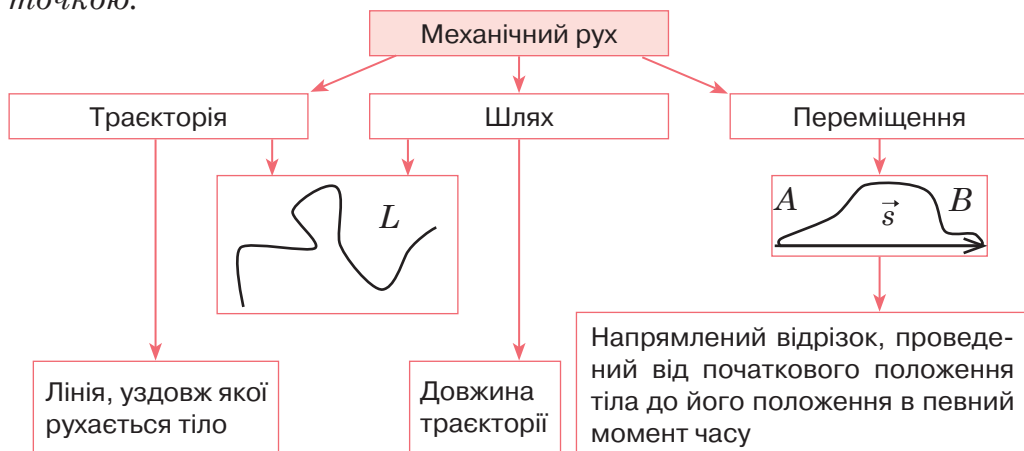
### ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

Механічним рухом називають зміну із часом положення тіла в просторі відносно інших тіл.

Рух і спокій — поняття відносні. Для опису механічного руху тіла вибирають систему відліку — тіло відліку, пов'язану з ним систему координат із зазначенням початку відліку часу.



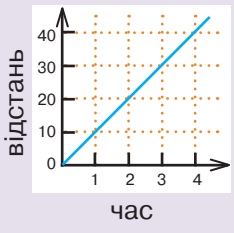
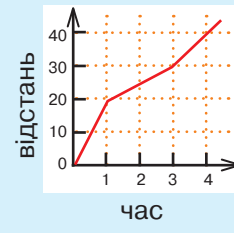
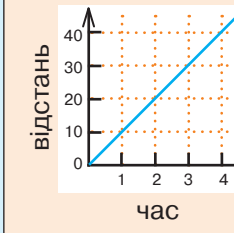
Механічний рух умовно поділяють на два найпростіші види: *поступальний* і *обертальний рухи*. Якщо розглядається поступальний рух тіла або рух тіла, розмірами якого можна знехтувати в умовах конкретної задачі, то тіло вважають *матеріальною точкою*.



*Швидкість руху тіла* — це фізична величина, яка характеризує стрімкість зміни положення тіла в просторі й показує, яку відстань проходить тіло за одиницю часу.

Характеристики руху	Прямолінійний рівномірний рух	Прямолінійний нерівномірний рух	Рівномірний рух по колу
Траекторія	Пряма	Пряма	Крива (коло)
Формула для визначення швидкості	$v = \frac{L}{t}$	$v_{\text{сер}} = \frac{L_{\text{заг}}}{t_{\text{заг}}} = \frac{L_1 + L_2 + \dots + L_n}{t_1 + t_2 + \dots + t_n}$	$v = 2\pi r n = \frac{2\pi r}{T} = 2\pi r \frac{N}{t}$

## Продовження таблиці

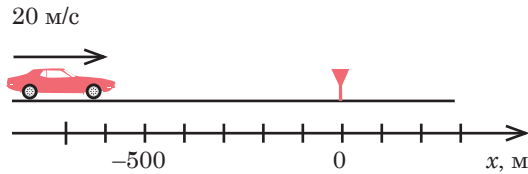
Значення швидкості	Не змінюється	Змінюється	Не змінюється
Напрямок швидкості	Не змінюється (за умови, що тіло не повертається)	Не змінюється (за умови, що тіло не повертається)	Змінюється
Графік залежності шляху від часу			

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

- (0,5 б.) Прикладом механічного руху є
  - A** затемнення Сонця
  - B** падіння яблука з дерева
  - B** плавлення льоду
  - Г** блискавка
- (0,5 б.) У якому випадку можна вважати Землю матеріальною точкою? Визначаючи
  - A** відстань від Землі до Сонця
  - B** шлях яблука під час його падіння на Землю
  - B** довжину екватора
  - Г** швидкість руху точки екватора під час добового обертання Землі навколо осі?
- (0,5 б.) Систему відліку становить сукупність
  - A** тіла відліку й матеріальної точки
  - B** тіла відліку й декартової системи координат
  - B** тіла відліку, матеріальної точки та годинника
  - Г** тіла відліку, системи координат і годинника
- (0,5 б.) Який із наведених нижче рухів можна вважати рівномірним?
  - A** рух людини на гойдалці
  - B** рух велосипедиста
  - B** рух кінця хвилинної стрілки
  - Г** рух футболіста на полі під час гри

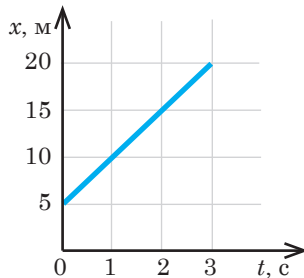


5. (0,5 б.) Рівняння руху має вигляд  $x = -2 + 8t$ . Визнач координату тіла через 5 с.
6. (0,5 б.) Точка, розташована на ободі колеса радіусом 30 см, зробила повний оберт. Який шлях вона пройшла?
7. (1 б.) Під час рівномірного руху пішохід проходить за 10 с шлях 15 м. Який шлях він пройде під час руху з тією самою швидкістю за наступні 3 с?  
**A** 5 м   **B** 3 м   **B** 4,5 м   **Г** 45 м
8. (1 б.) Користуючись малюнком, укажи рівняння руху автомобіля.



- A**  $x = -500 + 20t$    **B**  $x = -700 - 20t$   
**B**  $x = -700 + 20t$    **Г**  $x = 20 - 700t$

9. (1 б.) Визнач за цим графіком шлях, що проходить тіло за першу секунду руху.



10. (2 б.) Велосипедист рухався 5 хв із середньою швидкістю 9 м/с, а потім ще 10 хв із середньою швидкістю 6 м/с. Визнач середню швидкість велосипедиста за весь час руху.
11. (2 б.) Автомобіль і мотоцикл проїхали повз хлопчика, що стояв на узбіччі дороги, зі швидкостями 72 км/год і 15 м/с відповідно. Якою буде відстань між цими транспортними засобами через 1 хв, якщо вони рухаються з незмінними швидкостями в одному напрямку прямолінійною ділянкою дороги?
12. (2 б.) Швидкість катера в озері 7 м/с. За який час катер подолає відстань 960 м, рухаючись за течією річки, швидкість якої 1 м/с? Скільки часу витратить катер на подолання того самого шляху проти течії?





## РОЗДІЛ 2. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛА



### ТИ ДІЗНАЄШСЯ

Чому тіла рухаються. Що змушує їх зупинятися, змінювати швидкість.  
Чи завжди два тіла, які мають однакові об'єми, мають однакову масу.  
Чим фізичне поняття *сила* відрізняється від звичного слова.  
Чи можна виявити взаємозв'язок між величиною сили і зміною розмірів тіла.  
Як пов'язані між собою сила тяжіння, маса й вага тіла.  
Чому виникає тертя і яким воно може бути.

### ТИ НАВЧИШСЯ



Вимірювати масу й сили.  
Розрізняти сили (тяжіння, пружності, тертя, ваги).  
Визначати густину.



### ТИ ЗРОЗУМІЄШ

Що для руху причини не потрібні. Рух відбувається сам собою. Натомість для зміни руху причини потрібні.  
Що в кожній дії є протидія.  
Унаслідок дії сили тіло може змінювати свою швидкість руху і/або деформуватися.

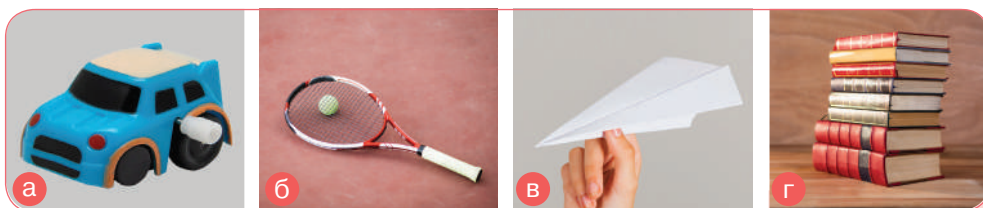
## § 8. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ІНЕРЦІЮ



Чому тіла рухаються? Що змушує їх зупинятися, змінювати швидкість?

### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Переконайся, що для того, щоб зображені на малюнку 8.1, **а**—**г** тіла почали рухатися (тобто набули швидкості), на них має подіяти інше тіло.



Мал. 8.1

- 2 Тобі доводилося кататися на самокаті й велосипеді, спостерігати за ковзанням шайби по льоду. Тож поміркую, яким буде твій рух певний час: прямолінійним чи криволінійним, — якщо розігнатися на самокаті чи велосипеді й не робити жодних зовнішніх зусиль — не нахилитися, не підводитися, не присідати (мал. 8.2, **а**, **б**).



Мал. 8.2

Уяви, що ключкою вдарили по шайбі, а тертя між нею й льодом чомусь зникло (мал. 8.2, **в**). Що відбудеться за деякий проміжок часу? Варіантів можливих відповідей кілька:

- 1) швидкість шайби збільшуватиметься;
- 2) швидкість шайби набуде певного значення і залишатиметься незмінною;
- 3) спостерігатиметься зменшення швидкості шайби.

Вибери правильний варіант та обґрунтуй свою відповідь. Узагальни: як рухається тіло, якщо на нього не діють сторонні тіла?

**3** Виконай дослід (мал. 8.3). Чи залежить результат дослідів від швидкості дій? Вислови припущення, чому монета потрапляє у склянку.



Мал. 8.3

## ДІЗНАВАЙСЯ

Тіло рухається тільки тоді, коли його щось рухає.

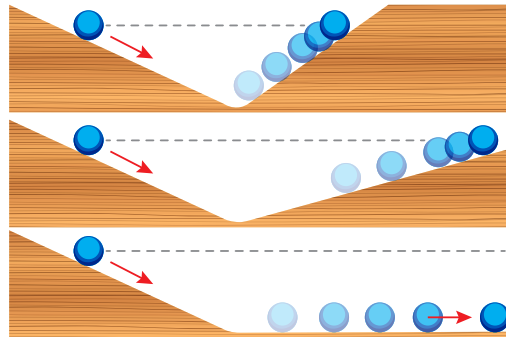
**Чи є причини для руху тіла?** Питання, що є причиною руху тіл, цікавило людей ще з давніх часів. Давньогрецький учений Арістотель переконував, що причиною руху є дія одного тіла на інше, тобто рух без сторонньої дії неможливий. Як аргумент він наводив приклад про коня і воза. Допоки кінь тягне воза, той рухається. Якщо кінь зупиниться — віз також не рухатиметься. Авторитет Арістотеля був таким значним, що його твердження ніхто не насмівся заперечувати протягом двох тисячоліть!



Лише в XVII ст. італійський учений-дослідник Галілео Галілей спробував спростувати це твердження.



Тіло рухається тільки тоді, коли йому ніщо не заважає рухатися.



Мал. 8.4

Досліджуючи рух кульки похилим жолобом (мал. 8.4, с. 81), він помітив, що швидкість кульки збільшується, коли вона котиться похилим жолобом униз, а коли котиться вгору — її швидкість зменшується. Галілей припустив, що, коли кулька котитиметься по горизонтальній площині за повної відсутності сили тертя та будь-якого опору, її швидкість залишатиметься постійною і для підтримання руху не потрібно жодної причини! Галілей був першим серед учених, хто почав перевіряти свої припущення на досліді.

Рух завжди існує сам собою. Тобто без будь-якої причини. А от щоб змінити рух тіла, наприклад його швидкість, уже потрібна якась дія.



**Як рухається тіло, коли на нього не діють інші тіла?** Дати відповідь на це запитання ти можеш самотужки. Уяви себе в ролі середньовічного вченого Г. Галілея і відтвори його відомий дослід. Скочуй кульку з похилого жолоба та спостерігай, як вона котитиметься поверхнями, що чинять різний опір. Якого висновку ти дійшов?



Що меншою є дія інших тіл на рухоме тіло, то довше не змінюється швидкість його руху, а його рух подібний до рівномірного.

Отримані Г. Галілеєм висновки згодом сформулював Ісаак Ньютон у вигляді закону:

Якщо на тіло не діють інші тіла (або дія тіл скомпенсована), то воно перебуває у стані спокою або прямолінійного рівномірного руху.

Щодо спокою, то цей закон підтверджується майже на кожному кроці: відносний спокій тіл можна порушити лише під впливом інших тіл. Зробити правильний висновок про те, що тіло зберігає також і стан прямолінійного рівномірного руху, людям заважало спостереження — у земних умовах механічний рух неодмінно супроводжується тертям, опором води, повітря тощо.

А чи можна якось переконатися, що тілу властиво зберігати не будь-який рух, а саме прямолінійний?





Думаю, що можна. Ось дивися: кулька, що рухається прямо- лінійно плоскою горизонтальною поверхнею, стикаючись із перешкодою, яка має криволінійну форму, під дією цієї перешкоди рухається по кривій (мал. 8.5). Однак, дійшовши до кінця перешкоди, кулька перестає рухатися криволіній- но і знову починає рухатися по прямій.



Мал. 8.5

**Що означає «рухатися за інерцією»?** Ти не повіриш, але рухатися за інерцією тобі доводилося неодноразово. Від раптової зупинки транспорту ти нахилився / нахилилася вперед. Або, розі- гнавшись на велосипеді (самока- ті), можна деякий час насолоджу- ватися рухом, не крутячи педалі!

**Інерція** (*inertia*) — явище збере- ження тілом стану спокою або пря- молінійного й рівномірного руху, коли на нього не діють інші тіла або дія тіл скомпенсована.

Рухом за інерцією (лат. *inertia* — «бездіяльність») називають рух тіла за відсутності дії на нього ін- ших тіл. А саме явище збереження тілом швидкості за відсутності зовнішніх дій на нього з боку інших тіл — явищем інерції.

Випадки прояву явища інерції зображені на малюнку 8.6, а—г. Прокоментуй їх.



Мал. 8.6

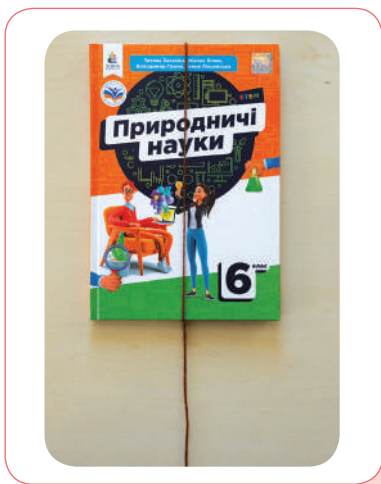
Прикладом застосування на практиці прояву інерції є паски безпеки автомобіля (їх ще називають інерційними) (мал. 8.6, **В**, с. 83). Вони спрацьовують під час різкого гальмування і запобігають травмуванню водія і пасажирів, які продовжують рух за інерцією з незмінною швидкістю, тоді як автомобіль зупиняється. Пасок безпеки сконструйовано так, що під час плавного руху за вільний кінець він видовжується на потрібну відстань. За різкого руху під час гальмування спрацьовує спеціальний фіксатор, який не дає паску рухатися й утримує пасажирів в сидінні автомобіля.



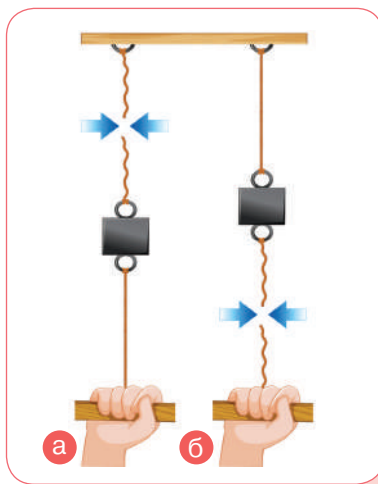
Інерція

**Як пов'язані інерція, час і маса тіла?** Якщо на тіло не діють інші тіла, воно зберігає свою швидкість незмінною. Відповідно, щоб тіло змінило свою швидкість, потрібний вплив іншого тіла. І прояв явища інерції в цьому випадку стає небезпечним, адже внаслідок інерції не можна миттю змінити швидкість руху тіла — для цього потрібен час.

Виконай дослід. Обв'яжи книжку ниткою, залишивши вільним кінець завдовжки 30–40 см (мал. 8.7). Натягни нитку. Першого разу плавно потягни за нитку, другого — різко. Спрогнозуй, що відбуватиметься з ниткою та книжкою. Перевір.



Мал. 8.7



Мал. 8.8

А тепер розглянь малюнок 8.8. Визнач, у якому випадку (**а** чи **б**) за нитку смикали різко.



З дослідів я зрозуміла: якщо за нитку тягнути повільно, то часу досить, щоб привести в рух тіло, і нитка вже розірветься за ним. А якщо нитку різко смикнути, то порветься тільки вона.

А я цей досвід використаю, коли допомагатиму бабусі виривати моркву. Коли швидко витягуєш моркву, гичка обривається, а коли повільно, — ні.



Спостереження на практиці явища інерції дають змогу встановити ще одну закономірність: що масивніше тіло, то більше часу потрібно, щоб змінити його швидкість.

Розглянь малюнок 8.9. Вислови припущення: який із візочків (а чи б) за короткий проміжок часу змінить свою швидкість, якщо їх штовхнути з однаковою силою.



Мал. 8.9



Як видно на малюнку 8.9, візочки мають різну масу. І внаслідок поштовху порожній візочок швидше змінить свій стан руху, навантажений — повільніше. Тобто тіло з більшою масою, яке під час взаємодії повільніше змінює свою швидкість, називають більш *інертним*, тіло меншої маси — менш *інертним*, а властивість тіла зберігати свій стан руху — *інертністю*.

**Що таке маса тіла?** Розглядаючи дослід із візочками, застосували поняття *маси тіла*. Усупереч тому, що, на перший погляд, це поняття здається простим і зрозумілим, воно неодноразово викликало наукові суперечки протягом усього часу становлення фізичної науки. Поняття є одним із фундаментальних і первинних у матеріальному світі. Його суть ти будеш поступово з'ясовувати під час подальшого вивчення фізики.

Будь-яке тіло — людина, Земля, Сонце, крапля води, атом, молекула тощо — має масу.

**Маса** (*mass*) — фізична величина, яка кількісно характеризує інертність тіла.

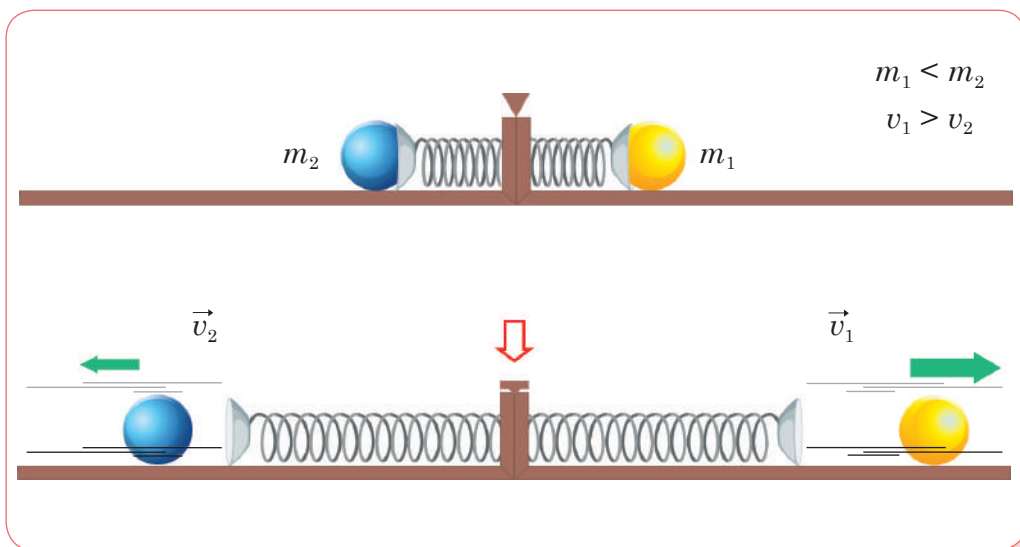
Масу позначають літерою  $m$ . У СІ одиницею маси є кілограм, 1 кг.

На практиці, окрім кілограма, застосовують й інші одиниці маси — тонна (т), центнер (ц), грам (г), міліграм (мг):

$$\begin{aligned} 1 \text{ т} &= 10^3 \text{ кг}; & 1 \text{ г} &= 10^{-3} \text{ кг}; \\ 1 \text{ ц} &= 100 \text{ кг}; & 1 \text{ мг} &= 10^{-6} \text{ кг}. \end{aligned}$$

Масу вимірюють кількома способами. На підставі дослідів із візочками можна зробити висновок: маси двох тіл обернено пропорційні модулям швидкостей, яких вони набувають під час взаємодії:

$$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1} \quad (\text{мал. 8.10}).$$



Мал. 8.10

Спосіб вимірювання маси тіла за зміною його швидкості під час взаємодії на практиці використовують не часто. Найпоширеніший спосіб — зважування тіла на вагах (мал. 8.11). Зважити тіло означає порівняти його масу з масою еталона в 1 кг.





Кухонні ваги



Поштові ваги



Гирні ваги



Пружинні ваги



Платформні ваги



Важільні терези



Електронні ваги

Мал. 8.11

## ДУМАЙ

- 1 Яким є стан руху тіла у випадках:
  - а) відсутності дії на нього сторонніх тіл;
  - б) компенсації дії на нього сторонніх тіл?
- 2 З наведених явищ оберти ті, що є проявом явища інерції:
  - а) м'яч падає на підлогу;
  - б) м'яч відскакує від підлоги;
  - в) м'яч випадково потрапляє в кущі і струшує з листя краплі, що залишилися після дощу.
- 3 Наведи приклади, які свідчать про те, що для зміни швидкості руху тіла потрібен час.
- 4 Чому людина, перечепившись за щось, падає в напрямку руху?
- 5 Поясни різницю очищення одягу від пилу за допомогою вибивання і витрушування.
- 6 Наведи приклади, що показують, як змінюється швидкість двох тіл різної маси внаслідок їх взаємодії.

- 7 Вантажний та легковий автомобілі їдуть з однаковими швидкостями й починають одночасно гальмувати перед світлофором. Зроби схематичний малянок й укажи гальмівний шлях автомобілів.
- 8 Чи може маса тіла дорівнювати нулю?
- 9 Рухома кулька зазнає зіткнення з нерухомою кулькою, унаслідок чого перша кулька зупиняється, а друга — набирає руху зі швидкістю першої кульки. Що можна сказати про маси цих кульок?
- 10 Прочитай речення. Визнач, до якої галузі знань застосовано термін *інертний*, яким характеризують певну властивість.

*Інертний* — позбавлений активності й ініціативи; недіяльний.

Окрім азоту й кисню, повітря містить *інертні* гази, які зазвичай не вступають у хімічні реакції.

Самотність часто переживають люди з *інертною* нервовою системою, яким складно знайомитися з новими людьми, вони повільно звикають до них.

*Інертна* людина вирізняється безініціативністю на роботі, у навчанні й інших сферах життя.

Тіло з більшою масою більш *інертне*.

## ДІЙ

### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Запиши в СІ такі значення маси тіл: 0,3 т; 200 мг; 20 г; 1 т 300 кг.
- 2 Визнач, у скільки разів маса другої кульки більша за масу першої кульки (мал. 8.10, с. 86), якщо перша кулька набрала швидкість 50 см/с, а друга — 10 см/с.
- 3 Ковзаняр стоячи на ковзанах кинув уперед гілку зі швидкістю 3 м/с і при цьому відкотився зі швидкістю 30 см/с. Яка маса гілки, якщо маса ковзаняря 60 кг?
- 4 З рушниці стріляють у горизонтальному напрямку. З якою швидкістю рухається після пострілу рушниця, якщо її маса становить 4 кг, маса кулі — 10 г, а швидкість руху кулі — 500 м/с?
- 5 З платформи, яка рухалася зі швидкістю 3 м/с, зіскочив хлопчик. Після стрибка платформа зупинилася. У який бік і з якою швидкістю відносно землі стрибнув хлопчик, якщо його маса становить 45 кг, а маса платформи — 150 кг?
- 6 Перебуваючи в нерухомому човні, турист у напрямку берега кинув рюкзак зі швидкістю 2 м/с. Унаслідок кидка човен набув швидкості 20 см/с. Якою є маса човна з туристом, якщо маса рюкзака — 10 кг?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Упорядкуй шкалу, на якій зображено приклади рекордсменів за масою в живій природі, а також рукотворних тіл. З'ясуй, які предмети у тебе вдома мають найменшу й найбільшу маси.
- 2 Виготов важільні терези з набором важків до них. Виконай вимірювання маси тіл за допомогою саморобних ваг.
- 3 Виконай досліди, зображені на малюнку 8.12. Переконайся, що є явище інерції.



Мал. 8.12

- 4 У магазині придбали негазовану воду, олію та згущене молоко в пластикових пляшках об'ємом 0,5 л. Опиши, як ти визначиш масу кожного продукту, якщо у тебе є: електронні ваги з верхньою межею 100 г, мірні циліндри об'ємом 50 і 100 мл та порожня пластикова пляшка об'ємом 0,5 л.

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 3 «ВИЗНАЧЕННЯ МАСИ ТІЛ»

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 8).



## § 9. ВИЗНАЧАЄМО ГУСТИНУ РЕЧОВИНИ

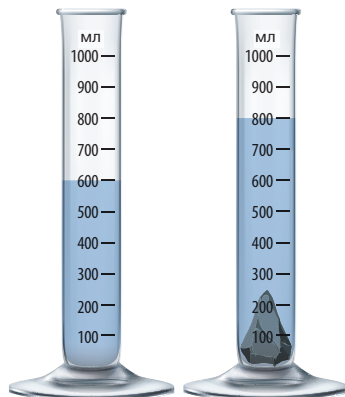


Чи завжди два тіла, які мають однакові об'єми, мають однакову масу?

### ДОСЛІДЖУЙ

**1** Поклади на шальки терезів два тіла, однакові за об'ємом, але з різних речовин. Спостерігай за положенням шальок. Поклади на шальки терезів тіла, однакові за масою, але виготовлені з різних речовин. Порівняй об'єми цих тіл. Зроби висновки.

**2** Визнач об'єм камінця за допомогою градуйованої склянки з водою (мал. 9.1). З'ясуй його масу. Поділи значення маси на значення об'єму. Вітаємо! Тобі вдалося дізнатися густину речовини камінця.



Мал. 9.1

### ДІЗНАВАЙСЯ

У чому відмінність термінів «*густина речовини*» й «*густина тіла*»? Результати виконання завдання 1 переконають, що різні тіла однакової маси займають різні об'єми. Тобто існує певна характеристика, за якою ці тіла різняться, — *густина*.

У завданні 2 тобі вдалося визначити її.



На мою думку, терміни *густина речовини* та *густина тіла* мають однакове значення, адже ми щойно визначали густину речовини камінця. Камінець — це тіло.

А якби ми вимірювали об'єм і масу, наприклад, олівця або горіха? Як тоді бути? Адже олівець містить графітовий стрижень і дерев'яний корпус, а горіх — порожнистий.



У разі однорідного (тобто такого, що складається з речовини одного виду) й суцільного (тобто не містить порожнин) тіла ми маємо справу з густиною речовини, з якої його виготовлено.



**Густина речовини** (*density*) — фізична величина, яка характеризує речовину й дорівнює відношенню маси суцільного тіла, виготовленого із цієї речовини, до об'єму цього тіла.

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

Густина речовини позначається літерою  $\rho$  (читається «ро»). Одиниця густини —  $1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Густину речовини записують і в  $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ . Оскільки  $1 \text{ кг} = 1000 \text{ г}$ , а  $1 \text{ м}^3 = 1 \cdot 10^6 \text{ см}^3$ , то співвідношення між цими одиницями буде таким:

$$1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = \frac{1000 \text{ г}}{1 \cdot 10^6 \text{ см}^3} = 0,001 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}, \text{ або } 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3} = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

У випадку, коли тіло містить порожнини, тобто не суцільне, або складається з різних речовин, можна визначити *середню густину тіла*, поділивши всю масу тіла на весь об'єм. Наприклад, середня густина тіла людини —  $1036 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ; середня густина крові —  $1050 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .

Дані про густину деяких речовин наведено в таблиці 9.1.

Таблиця 9.1. Густина деяких речовин

у твердому стані

Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Платина	21 500	21,5	Граніт	2600	2,6
Золото	19 300	19,3	Скло	2500	2,5
Свинець	11 300	11,3	Порцеляна	2300	2,3
Срібло	10 500	10,5	Бетон	2200	2,2
Мідь	8900	8,9	Оргскло	1200	1,2
Латунь	8500	8,5	Капрон	1140	1,14
Сталь, залізо	7800	7,8	Поліетилен	940	0,94
Олово	7300	7,3	Парафін	900	0,9

## Продовження таблиці 9.1

Цинк	7100	7,1	Лід	900	0,9
Чавун	7000	7,0	Дуб сухий	800	0,8
Алюміній	2700	2,7	Сосна суха	440	0,44
Мармур	2700	2,7	Корок	240	0,24

у рідкому стані

Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Ртуть	13 600	1,360	Машинне мастило	900	0,9
Рідке олово (за $t = 409 \text{ }^\circ\text{C}$ )	6830	6,83	Бензол	880	0,88
Сульфатна кислота	1800	1,8	Рідке повітря (за $t = -194 \text{ }^\circ\text{C}$ )	860	0,86
Мед	1420	1,42	Нафта	800	0,8
Гліцерин	1260	1,26	Гас	800	0,8
Рідкий кисень (за $t = -183 \text{ }^\circ\text{C}$ )	1140	1,14	Спирт	800	0,8
Вода морська	1030	1,03	Ацетон	790	0,79
Вода чиста (за $t = 4 \text{ }^\circ\text{C}$ )	1000	1,0	Ефір	710	0,71
Олія	900	0,9	Бензин	710	0,71

у газоподібному стані за нормальних умов

 $(t = 0 \text{ }^\circ\text{C}$ , атмосферний тиск 760 мм рт. ст.)

Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$	Речовина	Густина, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	Густина, $\frac{\text{г}}{\text{см}^3}$
Хлор	3,210	0,00321	Чадний газ	1,250	0,00125
Вуглекислий газ	1,980	0,00198	Водяна пара (за $t = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ )	0,88	0,00088
Кисень	1,430	0,000143	Гелій	0,180	0,00018
Повітря	1,290	0,000129	Водень	0,090	0,00009
Азот	1,250	0,000125			

Значення густини інших речовин містять спеціальні фізичні довідники.

Речовини з найбільшою густиною й найрозрідженіші речовини виявлено в космосі. Наприклад, густина речовини деяких зір така велика, що маса сірникової коробки із цієї речовини становила б 127 т. А в міжзоряному просторі речовини майже немає, на  $1 \text{ м}^3$  тут трапляється лише 1 атом, і густина такої речовини наближена до нуля.

Усі речовини складаються з молекул (або інших частинок), і масу будь-якого тіла можна визначити як суму мас його молекул (частинок). Наприклад, маса краплі води дорівнює добутку маси однієї молекули на число молекул у краплі. Густина речовини можна також обчислити за масою молекули та їх кількістю в одиниці об'єму.

### Чи змінюється значення густини речовини?

Як ти вважаєш, густина речовини в рідкому або газоподібному стані однакова? Не поспішай із відповіддю. Подумай.



Ти вже знаєш, що в різних агрегатних станах склад речовини не змінюється, отже, молекули (частинки) однакові, тобто однакові їхні маси. Але, як виявляється, густина речовини в різних агрегатних станах неоднакова. Наприклад, густина кисню в газоподібному стані —  $1,43 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Після стискання та охолодження отримують рідкий кисень. Його густина —  $1140 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ . Майже в 1000 разів більше! Як це пояснити?

Це означає, що в  $1 \text{ м}^3$  газоподібного або рідкого кисню міститься різна кількість молекул. Справді, у газах молекули розташовані на більших відстанях одна від одної, ніж у рідинах. Тому їх кількість в  $1 \text{ м}^3$  газу менша, ніж в  $1 \text{ м}^3$  рідини. Отже, можна стверджувати, що густина речовини характеризує щільність розташування в ній молекул.



Як ти вважаєш, густина речовини залежатиме від температури?

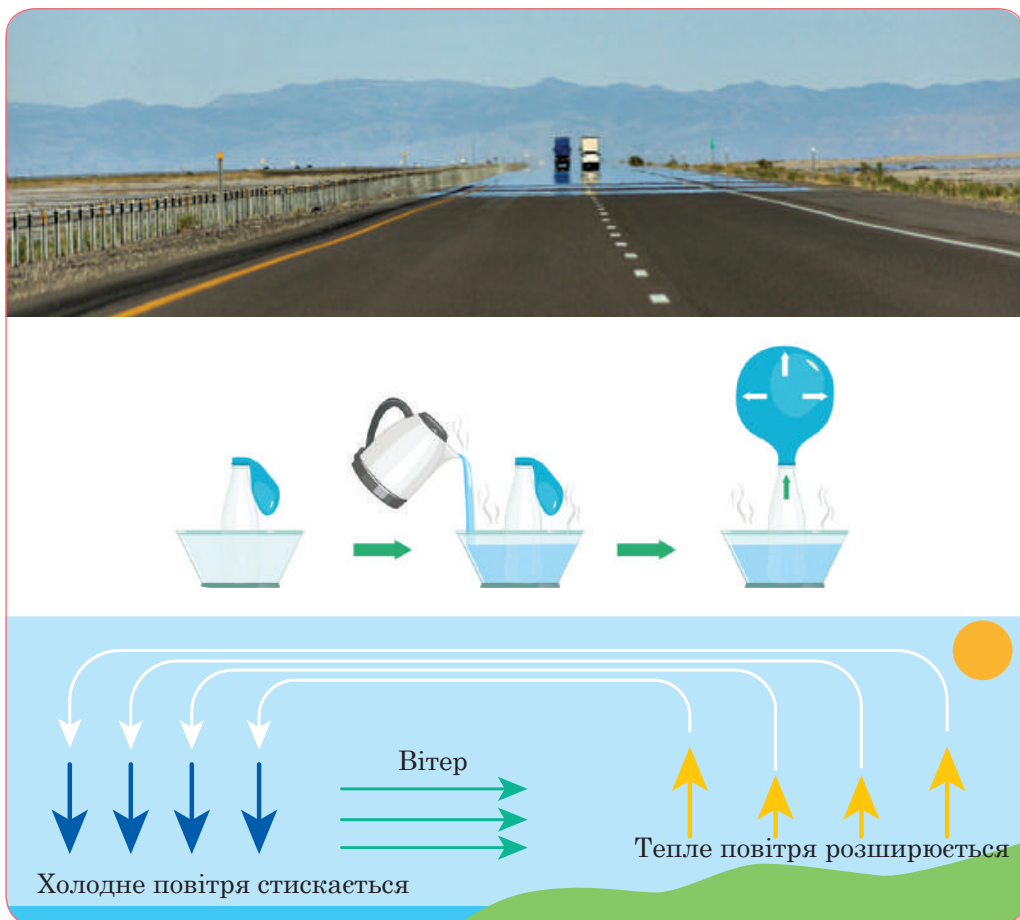
Тобі відомо, що тверді тіла, рідини й гази, як правило, під час нагрівання розширюються, а під час охолодження — стискаються. Винятками є вода, чавун і деякі інші речовини.

Під час нагрівання збільшується швидкість руху молекул, унаслідок чого збільшується середня відстань між молекулами, а отже, й об'єм тіла. Кількість молекул не змінюється, тож і маса речовини не змінюється. Як наслідок, густина зменшується. Під час охолодження, навпаки, — густина речовини збільшується.



Тепер мені зрозуміло, чому в таблиці 9.1 (с. 92) саме для газів указано їх значення за  $t = 0\text{ }^{\circ}\text{C}$  і нормального атмосферного тиску.

Пригадай і назви природні явища, що вивчали на уроках географії або природознавчих курсів, у яких відбувається зміна густини повітря (мал. 9.2).



Мал. 9.2



## ДУМАЙ

- 1 Які є способи визначення густини речовини?
- 2 Чому густина газів менша за густину рідин і густину твердих тіл?
- 3 У циліндрі під поршнем міститься кисень. Поршень опускають. Поясни, як змінюється: а) маса газу; б) об'єм газу; в) густина газу.

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА 1**

Кубик із ребром, що дорівнює 2 см, має масу 22 г. Визнач густину матеріалу, з якого виготовлено кубик.

**Дано:**

$$a = 2 \text{ см}$$

$$m = 22 \text{ г}$$

$$\rho \text{ — ?}$$

**СІ**

$$2 \cdot 10^{-2} \text{ м}$$

$$2,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}$$

**Розв'язання:**

Об'єм кубика з ребром  $a$  визначаємо за формулою  $V = a^3$ .

Підставляючи цей вираз у формулу для визначення густини, отримуємо:

$$\rho = \frac{m}{V} = \frac{m}{a^3}.$$

Підставляємо числові значення:  $\rho = \frac{2,2 \cdot 10^{-2} \text{ кг}}{(2 \cdot 10^{-2})^3 \text{ м}^3} = 2750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

**Відповідь:**  $2750 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$

 **ЗАДАЧА 2**

Свинцева куля об'ємом  $40 \text{ см}^3$  має масу  $0,565 \text{ кг}$ . З'ясуй, суцільна ця куля чи порожниста. Якщо куля порожниста, визнач об'єм порожнини.

**Дано:**

$$V_{\text{к}} = 40 \text{ см}^3$$

$$m = 0,565 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$\rho = 11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$V_{\text{пор}} \text{ — ?}$$

**СІ**

$$4 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$$

**Розв'язання:**

Якщо куля суцільна, то, знаючи густину свинцю й масу кулі, з'ясуємо, який вона повинна мати об'єм  $V$ . Якщо отримане значення об'єму буде збігатися із заданим у задачі об'ємом кулі ( $V_{\text{к}}$ ) — куля суцільна. Якщо  $V > V_{\text{к}}$  — куля має

порожнину. Зрозуміло, об'єм порожнини:  $V_{\text{пор}} = V - V_{\text{к}}$ .

З формули  $\rho = \frac{m}{V}$  виражаємо об'єм  $V = \frac{m}{\rho}$ .

Підставляємо числові значення:  $V = \frac{0,565 \text{ кг}}{11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3$ .

Як бачимо,  $V > V_{\text{к}}$  — куля має порожнину  $V_{\text{пор}} = V - V_{\text{к}}$ ;

$V_{\text{пор}} = 1 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3 = 10 \text{ см}^3$ .

**Відповідь:**  $10 \text{ см}^3$ .

**ДІЙ**

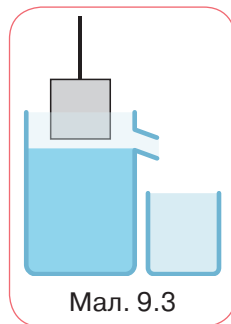
## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 З двох тіл однакового об'єму друге має в 7 разів меншу масу, ніж перше. У якого тіла маса одиниці об'єму речовини більша? У скільки разів?
- 2 Об'єм металевого виробу —  $50 \text{ см}^3$ , а його маса —  $355 \text{ г}$ . Обчисли густину цього металу. Який метал має таку густину?
- 3 Яка густина рідини,  $125 \text{ л}$  якої мають масу  $100 \text{ кг}$ ?
- 4 Обчисли масу тіла, об'єм якого  $250 \text{ см}^3$ , а густина речовини, з якої його виготовлено, дорівнює  $11\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ .
- 5 Об'єм залізної деталі —  $750 \text{ дм}^3$ . Визнач масу деталі.
- 6 Посудина, яку наповнили бензином, має масу  $2 \text{ кг}$ . Така сама посудина без бензину має масу  $600 \text{ г}$ . Визнач місткість посудини.
- 7 Маса срібної фігурки —  $707 \text{ г}$ , а її об'єм —  $0,7 \text{ дм}^3$ . Визнач, чи суцільна ця фігурка.
- 8 Скільки молекул міститься в  $1 \text{ м}^3$  води, якщо маса однієї молекули —  $3 \cdot 10^{-26} \text{ кг}$ .
- 9 Алюмінієвий циліндр масою  $1,35 \text{ кг}$  повністю занурили в посудину, до країв наповнену спиртом. Якою є маса спирту, що вилився?
- 10 Визнач масу порожнистого куба, виготовленого з латуні, якщо товщина стінок —  $2 \text{ см}$ , а довжина ребра —  $8 \text{ см}$ .
- 11 Яка довжина мідного дроту, змотаного в моток із середнім діаметром  $0,5 \text{ м}$ , якщо маса дроту становить  $22 \text{ кг}$ , а діаметр дроту —  $2 \text{ мм}$ ? Скільки приблизно витків дроту в мотку?

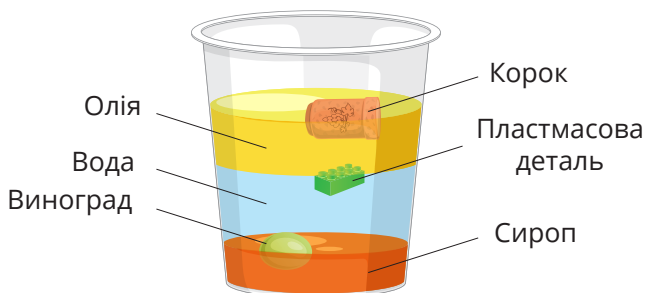
- 12 У посудині, маса якої 150 г, міститься 75 мл води. У посудину опустили п'ять однакових тіл (вода з посудини не виливається). Загальна маса посудини (з водою й тілами) становить 310 г. Визнач об'єм кожного тіла, якщо густина речовини, з якої вони виготовлені,  $4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$ .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Сплануй і проведи експерименти з визначення густини бруска мила, картоплини, молока. Обладнання добери самостійно.
- 2 Густина якої речовини більша: цукру чи кухонної солі? Поясни, чи можна це встановити без обчислень лише на підставі повсякденного досвіду. Сплануй і виконай цей дослід. Використай однакові сірникові коробки, терези й/або електронні ваги, щоб підтвердити чи спростувати свої міркування. Підготуй фото чи відеозвіт про дослідження і презентуй його в класі. Поясни, у чому особливість густини солі й цукру порівняно з густиною води чи мила.
- 3 Висунь гіпотезу, що відбуватиметься з картоплиною, яка міститься у склянці з водою, якщо у склянку поступово додавати сіль. Перевір гіпотезу. Поясни експеримент.
- 4 Визнач середню густину власного тіла, знаючи свою масу. Скористайся значенням об'єму тіла, яке визначав / визначала в завданні 3 (с. 24).
- 5 Розглянь малюнок 9.3. Запропонуй спосіб визначення маси води, що виллється з відливної посудини, якщо в неї повільно занурити алюмінієвий кубик із ребром 3 см. Опиши його з наукового погляду та як план технологічного процесу.
- 6 Виконай дослід (мал. 9.4). З'ясуй умови плавання тіл залежно від їх густини.
- 7 Запропонуй спосіб визначення густини аркуша паперу формату А4.



Мал. 9.3



Мал. 9.4



Відео дослідіду

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### **ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4 «ВИЗНАЧЕННЯ ГУСТИНИ РЕЧОВИНИ (ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН)»**

**Мета роботи:** навчитися визначати густину речовини.

**Обладнання:** важільні терези, набір важків, мензурка, лінійка, скляна посудина, брусок, тіло неправильної форми, посудина з рідиною невідомої густини.

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 9).



#### ***Вказівки щодо виконання роботи***

1. Виміряй лінійні розміри бруска та обчисли його об'єм. Виміряй масу бруска на терезах.
2. Розрахуй за формулою густину речовини, з якої виготовлено брусок. Визнач, із якої речовини виготовлено брусок.
3. Виміряй масу порожньої мензурки. Налий у неї воду. Виміряй масу мензурки з водою. Визнач масу води.
4. Обчисли за формулою густину води.
5. Зваж на терезах тіло неправильної форми. Набери в мензурку 100 мл води. Опустити в мензурку тіло та визнач його об'єм.
6. Обчисли за формулою густину речовини, з якої виготовлено тіло.

## § 10. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО СИЛУ



Чим фізичне поняття «сила» відрізняється від звичного значення?

### ДОСЛІДЖУЙ

1 Знайди в цитатах із художніх творів слово *сила*, якщо йдеться про фізичну величину. Поясни відмінність між *силою* — фізичною величиною й *силою* — художнім образом.

- ✓ Раптом побачив перед собою маленькі зелені вогники й вирішив, що то його манить нечиста сила (*В. Королів-Старий*).
- ✓ Море лютувало, але сила хвиль ще відставала від сили вітру (*М. Трублаїні*).
- ✓ Я єсть народ, якого Правди сила ніким звойована ще не була (*П. Тичина*).
- ✓ Як видно, реактивна сила в умовах невагомості — це не жарти (*М. Носов*).
- ✓ Двадцятилітній парубійко в селянському вбранні на ймення Іван Сила не квапився (*О. Гаврош*).
- ✓ Вона може, подолавши силу земного тяжіння, піднятися на повітряній кулі (*Г. Веллс*).

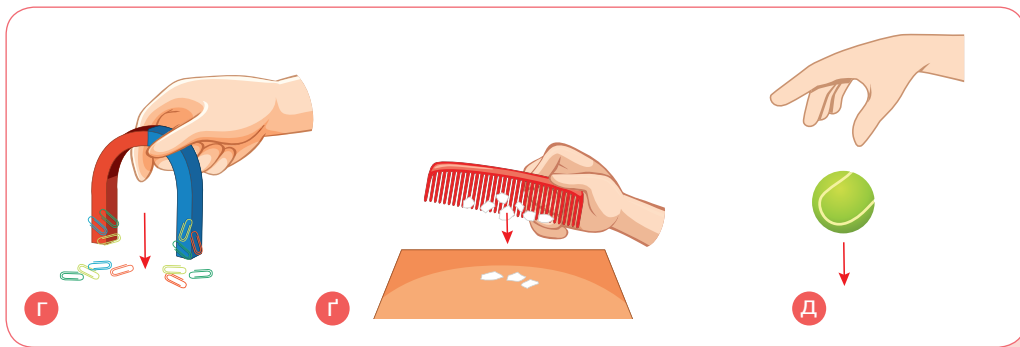
2 Розглянь зображення (мал. 10.1, а—д) і опиши, як взаємодіють тіла.

Укажи малюнки, де зображено:

- випадки механічної взаємодії тіл, які контактують між собою;
- випадки безконтактної взаємодії тіл.



Мал. 10.1



Мал. 10.1 (продовження)

У яких випадках, на твою думку, стрілочкою позначено:

- дію земного тяжіння;
- дію тертя кочення;
- пружну взаємодію тіл?

Доведи, що дія завжди є взаємодією, тобто якщо одне тіло діє на друге, то й друге тіло діє на перше.

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Чи можна виміряти взаємодію?** Ми з'ясували, якщо на тіло не діють інші тіла, то воно зберігає свою швидкість постійною. Відповідно, щоб тіло змінило свою швидкість, має бути вплив іншого тіла. До того ж практичний досвід підтверджує, що вплив одного тіла на інше не може бути одностороннім — обидва тіла діють одне на одне, як кажуть, взаємодіють. Усі тіла так чи інакше пов'язані між собою і взаємодіють одне з одним або безпосередньо (під час контакту одне з одним), або через різні поля.

Так, на малюнку 10.1, **Г** взаємодіють через електромагнітне поле магніт і металеві скріпки, а на малюнку 10.1, **Г** — гребінець і дрібні клаптики паперу. Унаслідок дії гравітаційного поля Землі падає м'яч (мал. 10.1, **Д**).

У разі безпосереднього контакту дія тіл також має свої прояви — тіло змінює стан руху (набуває



Безконтактна  
взаємодія



Контактна  
взаємодія

швидкості, сповільнюється, повертає), або змінює свої розміри (деформується), або одночасно зазнає цих змін.

У фізиці часто не зазначають, яке тіло і як діє на інше тіло, а кажуть, що на тіло діє *сила* або до тіла прикладено силу.

Уперше поняття *сили* у фізиці використав Ісаак Ньютон. Описуючи механічний рух, він розрізняв випадки руху за інерцією, коли на тіло не діють сторонні сили (або дія сил скомпенсована), і випадки, коли тіло змінювало свою швидкість унаслідок дії сили.

Сила є векторною величиною. Позначається літерою  $\vec{F}$ . Одиницею сили є ньютон, 1 Н. Прилад для вимірювання сили називається динамометром (мал. 10.2).

**Сила** (*force*) — фізична величина, яка кількісно характеризує взаємодію.



Шкільний лабораторний динамометр



Шкільний демонстративний динамометр



Цифровий динамометр



Кистьовий динамометр

Мал. 10.2

Що більша сила та що довше вона діє на тіло, то помітніше змінюється швидкість руху тіла або більше деформується тіло. Як ти вважаєш, чи однакова сила діє на футбольний і тенісний м'ячі?

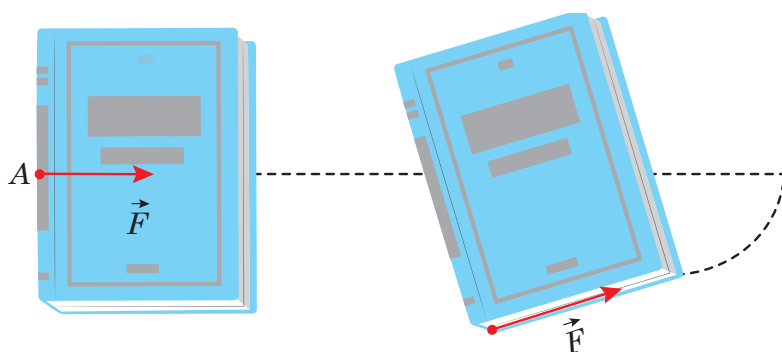
Футбольний м'яч масою 0,5 кг за 1 с змінює свою швидкість на 1 м/с, якщо на нього діє сила 0,5 Н. Щоб тенісний м'яч масою 50 г за 1 с змінив свою швидкість на 1 м/с, досить прикласти силу 0,05 Н. Щоб тіла різної маси за однаковий час змінювали швидкості своїх рухів однаково, на них мають діяти різні сили.

**Як графічно зобразити силу?** У кожен момент часу сила, що діє на тіло, характеризується модулем і напрямком у просторі.



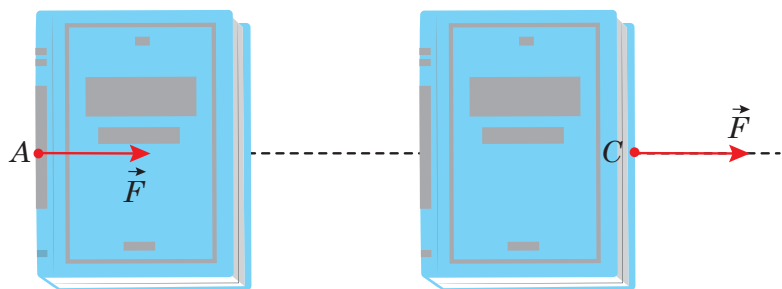
На відміну від відомих тобі векторних величин (переміщення, швидкість), сила, окрім значення й напрямку, характеризується точкою прикладання. Що це означає? Розглянемо приклад.

Якщо рухати книжку по столу (мал. 10.3), то результат цієї дії залежить від того, до якого місця книжки ми прикладемо силу. Незважаючи на те, що значення й напрямок сили однакові, результат різний: у першому випадку книжка рухається поступально, у другому — обертається.



Мал. 10.3

Проте якщо точку прикладання сили  $\vec{F}$  перенести з точки  $A$  в точку  $C$ , що лежить на продовженні прямої, уздовж якої діє сила (лінія дії сили), то результат дії сили не зміниться (мал. 10.4). Досліди свідчать, що *дія сили не змінюється, якщо точку прикладання переносити вздовж лінії дії сили*.



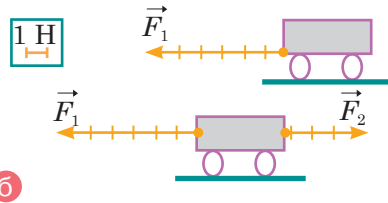
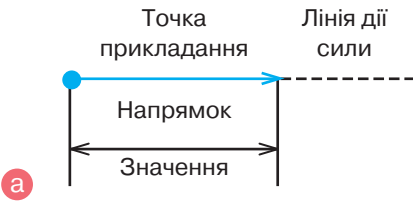
Мал. 10.4





Я вже можу підсумувати: щоб показати на малюнку силу, потрібно з точки прикладання спрямувати стрілочку, що вказує напрямком дії сили (мал. 10.5, а).

А щоб показати, яка із сил більша чи менша, довжину стрілки можна креслити в певному масштабі (мал. 10.5, б).



Мал. 10.5



Молодці! А чи зможете визначити, як рухатиметься тіло, якщо на нього діє кілька сил?

**Як визначити рівнодійну сил?** Здебільшого на тіло діє не одна, а одразу кілька сил. У кожному такому випадку можна замінити кілька сил, справді прикладених до тіла, однією силою, яка за своєю дією рівнозначна цим силам.

Рівнодійна двох сил, напрямлених по одній прямій в один бік, напрямлена в той самий бік, а її модуль дорівнює сумі модулів прикладених сил:  $F = F_1 + F_2$  (мал. 10.6, а, с. 104).

**Рівнодійною** (*net force*) називають силу, яка чинить на тіло таку саму дію, як і кілька сил, що діють одночасно.

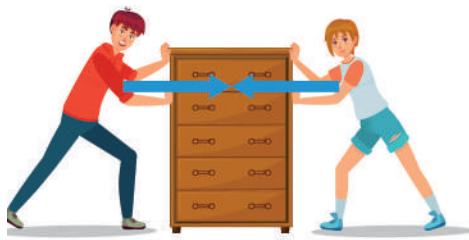
Рівнодійна двох сил, напрямлених по одній прямій у протилежні боки, напрямлена в бік більшої за модулем сили, а її модуль дорівнює різниці модулів прикладених сил:  $F = F_1 - F_2$ , якщо  $F_1 > F_2$  (мал. 10.6, б, с. 104). Якщо до тіла прикладено дві однакові й напрямлені в протилежні боки сили, то рівнодійна цих сил дорівнюватиме нулю й тіло перебуватиме в стані спокою або рухатиметься рівномірно і прямолінійно.



$$\begin{array}{c} \longrightarrow \\ \text{а } 200 \text{ Н} \end{array} + \begin{array}{c} \longrightarrow \\ 100 \text{ Н} \end{array} = \begin{array}{c} \longrightarrow \\ 300 \text{ Н} \end{array}$$



$$\begin{array}{c} \longrightarrow \\ \text{б } 200 \text{ Н} \end{array} + \begin{array}{c} \longleftarrow \\ -100 \text{ Н} \end{array} = \begin{array}{c} \longrightarrow \\ 100 \text{ Н} \end{array}$$



$$\begin{array}{c} \longrightarrow \\ \text{в } 200 \text{ Н} \end{array} + \begin{array}{c} \longleftarrow \\ -200 \text{ Н} \end{array} = ?$$



Мал. 10.6

Якщо напрямок руху тіла збігається з напрямком рівнодійної сил, то швидкість руху тіла збільшується. Інакше, коли напрямок руху тіла протилежний напрямку рівнодійної сили, то тіло зменшує швидкість.

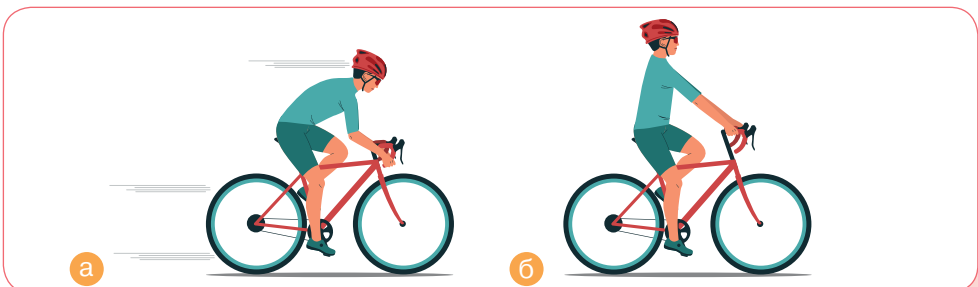
Сили можуть врівноважувати одна одну не лише тоді, коли вони діють уздовж однієї прямої, а й у складніших випадках. Випадок, коли на тіло діють кілька сил, які врівноважують одна одну, показано на малюнку 10.7. Зазначимо, що тіло перебуває у стані рівноваги.



Мал. 10.7

## ДУМАЙ

- 1 Наведи приклади взаємодії тіл (контактних і безконтактних).
- 2 Що відбувається з тілом, коли дії на нього інших тіл не скомпенсовані?
- 3 Як графічно зображують силу на малюнках?
- 4 Чому сила характеризується не тільки значенням, а й напрямком?
- 5 За якої умови тіло перебуватиме в стані спокою або рухатиметься рівномірно і прямолінійно?
- 6 Опиши сили, що зараз діють на тебе. Який результат дії цих сил? Які сили створюєш у цей момент ти?
- 7 Розглянь малюнок 10.8, а, б. Чи однакові сили діють на велосипедиста в кожному випадку? Як графічно це показати?



Мал. 10.8

**8** Установи відповідність між співвідношенням напрямку дії сили й напрямку руху тіла (1–4) та відповідним наслідком (А–Д).

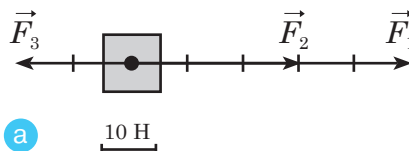
1	Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла	
2	Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла	
3	Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла	
4	Сила напрямлена під кутом до напрямку руху тіла	

- А** Значення швидкості руху тіла зменшується
- Б** Змінюються значення й напрямок швидкості руху
- В** Змінюється лише напрямок швидкості руху тіла
- Г** Значення швидкості руху тіла збільшується
- Д** Значення швидкості руху не змінюється, тіло рухається за інерцією

## ДІЙ

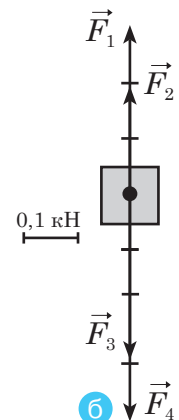
### РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- Обери довільне тіло і схематично зобрази сили 5 Н і 8 Н, що діють на нього. Порівняй свій малюнок із малюнками однокласників й однокласниць. Як потрібно змінити умову задачі, щоб ваші малюнки були однаковими?
- До однієї точки тіла прикладені сили 10 Н і 15 Н, напрямлені вздовж однієї прямої. Укажи значення, якому може дорівнювати їх рівнодійна.
- На тіло вздовж однієї прямої діють сили 3 Н; 4 Н; 5 Н. Чи може рівнодійна цих сил становити 1 Н; 2 Н; 3 Н; 4 Н; 6 Н; 10 Н; 12 Н; 15 Н?
- До тіла вздовж однієї прямої прикладено три сили, що дорівнюють відповідно 20 Н, 30 Н і 50 Н. Чому може дорівнювати рівнодійна цих сил? Спробуй знайти всі можливі варіанти. Відповідь проілюструй.
- На малюнку 10.9, **а**, **б** зображено сили, що діють на тіло. Визнач у кожному випадку: модулі сил; величину й напрямок рівнодійної сил. Схарактеризуй рух тіла для обох випадків.



Мал. 10.9

**а**



**б**

# § 11. ДОСЛІДЖУЄМО ПРУЖНІ ВЛАСТИВОСТІ ТІЛ



Чи можна виявити взаємозв'язок між величиною сили і зміною розмірів тіла?

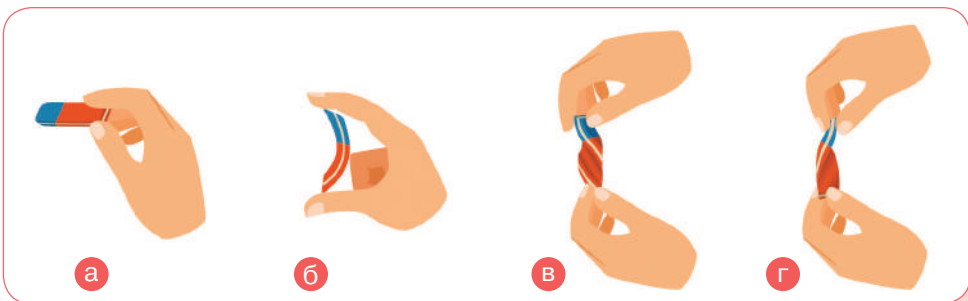
## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 У які дві групи можна об'єднати тіла (мал. 11.1) за їхньою властивістю протидіяти прикладеній силі?



Мал. 11.1

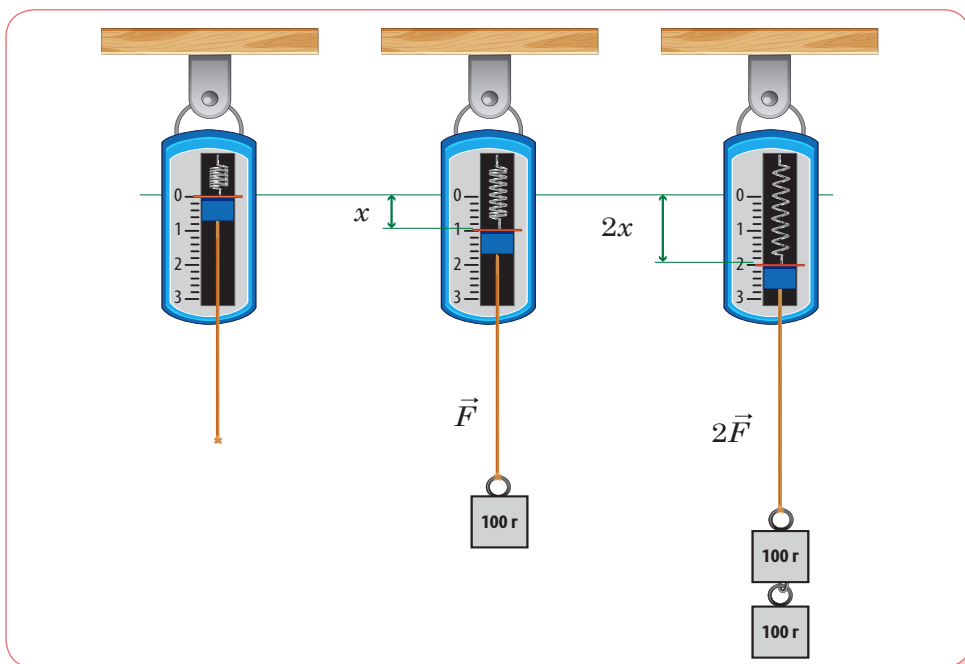
- 2 Деформує різними способами гумку — розтягуй, стискає, згинає, крути. Це різні види деформацій. Укажи, які види деформації зображено на малюнку (мал. 11.2, а—г).



Мал. 11.2

- 3 Виконай дослід, як показано на малюнку 11.3, с. 108. Прикріпи один тягарець до динамометра. Унаслідок дії земного тяжіння він рухається вниз і розтягує пружину доти, поки сила тяжіння не врівноважиться силою пружності,

що виникає у пружині. Зафіксуй, на скільки видовжилася пружина. Потім прикріпи другий тягарець і теж вимірй видовження. Переконайся, що у скільки разів збільшується прикладена сила, у стільки само разів збільшується й видовження пружини.



Мал. 11.3

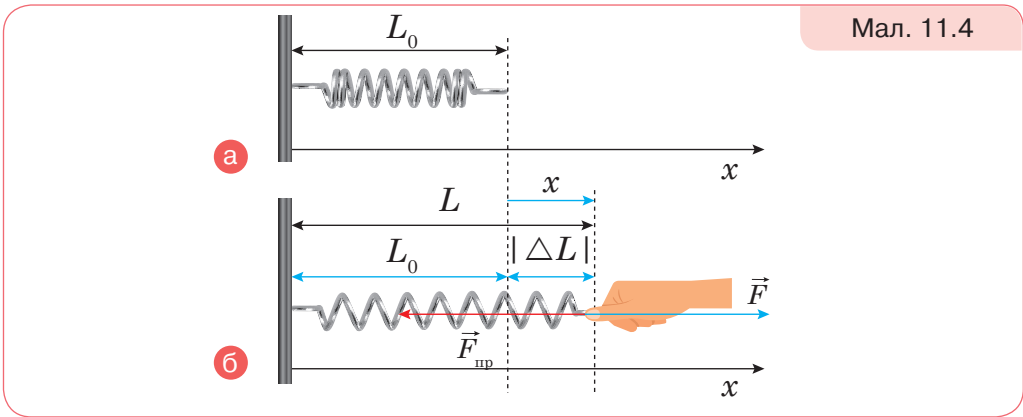
### ДІЗНАВАЙСЯ

**Якими бувають деформації?** Взаємодія тіл може зумовлювати не тільки зміну їх швидкостей, а й деформації. Пригадай, що *деформація* (*deformation*) — це зміна форми та (або) розмірів тіла. За тим, як саме частини тіла зміщуються одна відносно одної, розрізняють такі *види деформації*: розтягнення, стиснення, згин, кручення, зсув.

Деформації, які повністю зникають після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають *пружними* (*elastic deformation*). Деформації, які зберігаються після припинення дії на тіло зовнішніх сил, називають *пластичними* (*plastic deformation*).

**Як виникає і як напрямлена сила пружності?** Під час деформації завжди виникає сила, що прагне відновити той стан тіла, у якому воно перебувало до деформації. Цю силу називають *силою пружності*.

Розглянь малюнок 11.4, **а**. Початкова довжина пружини,  $L_0$ . Якщо до вільного кінця пружини прикласти зовнішню силу  $\vec{F}$ , то частини пружини починають рухатися і зміщуються відносно їх початкового положення. Пружина деформується. Водночас виникає сила, яка намагається повернути пружину в початковий (недеформований стан). Цю силу називають *силою пружності*  $\vec{F}_{\text{пр}}$ . Що сильніше ми тягнемо за кінець пружини, то більшою буде сила пружності. На малюнку 11.4, **б** прикладена сила  $\vec{F}$ , яка утримує пружину в деформованому стані, урівноважується силою пружності  $\vec{F}_{\text{пр}}$ . Обидві сили прикладені до тіла й протилежно напрямлені. У стані рівноваги пружини їх рівнодійна дорівнює нулю.



### Дізнаємося про закон Гука.

Для малих пружних деформацій розтягнення (стискання) англійський учений Роберт Гук у 1660 році експериментально встановив закон, який названо його ім'ям.

**Сила пружності (elastic force)** — сила, яка виникає під час деформації тіла й напрямлена протилежно напрямку зміщення частин цього тіла в ході деформації.

Проаналізуй одержані результати досліду щодо вивчення залежності видовження пружини від величини прикладеної сили. Скористайся позначеннями на малюнку 11.4 і переконайся:

Сила пружності  $\vec{F}_{\text{пр}}$ , яка виникає під час пружної деформації тіла, прямо пропорційна видовженню тіла  $x$  і напрямлена в бік, протилежний до напрямку переміщень частинок тіла під час деформації. Це і є *закон Гука*.

Пружини можуть бути різними. Одну розтягнути легко, а другу — тяжче. Тому, щоб записати залежність між силою пружності

й видовженням у вигляді рівності, потрібно враховувати пружні властивості кожної пружини. Для цього використовують коефіцієнт пружності  $k$ , який називають *жорсткістю*. Його вимірюють у ньютонах на метр,  $1 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$ .

Жорсткість пружини (як і будь-якого деформованого тіла) залежить від форми, розмірів та матеріалу, з якого її виготовлено.

Математично закон Гука записують так:  $F_{\text{пр}} = -kx$ ,

де  $k$  — коефіцієнт пружності, або жорсткість;

$x = \Delta L = |L_0 - L|$  — абсолютна деформація (лінійне видовження чи стиснення тіла). Знак мінус показує, що сила пружності напрямлена в бік, протилежний деформації.

Слід зазначити, якщо раптом надміру розтягнути пружину, то в певний момент вона перестане стискатися після припинення дії сили. Те саме може відбутися з гумовим шнуром — у певний момент він розтягнеться так, що вже більше не повернеться в початковий стан. Інакше кажучи, у кожного пружного тіла існує певна межа пружної деформації. Закон Гука виконується саме в межах пружної деформації.

Графічну залежність сили пружності від видовження тіла зображено на малюнку 11.5.

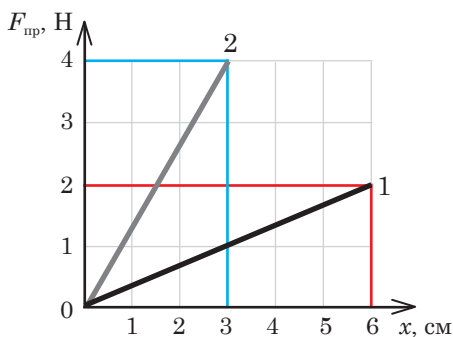
Аналізуючи графіки, бачимо, що жорсткість першого тіла:

$$k_1 = \frac{F}{x} = \frac{2 \text{ Н}}{6 \text{ см}} \approx 33 \frac{\text{Н}}{\text{м}},$$

а другого:

$$k_2 = \frac{F}{x} = \frac{4 \text{ Н}}{3 \text{ см}} \approx 133 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

Тобто що крутіше вгору напрямлений графік, то більша жорсткість тіла й воно сильніше протидіє деформації.



Мал. 11.5

На законі Гука ґрунтується дія приладів для вимірювання сили — динамометрів (або силомірів). Конструкції динамометрів досить різноманітні, але принцип їх роботи однаковий: у них використано властивість тіл подовжуватися, згинатися чи стискатися за пружної деформації прямо пропорційно до величини прикладеної сили.



Ми розглянули випадок із пружиною, бо її деформацію легко спостерігати. Подібно поведуть себе будь-які тіла. Тіл, які не деформуються, у природі не існує. Водночас досить часто маємо справу з такими малими деформаціями, що їх важко виявити, адже сили пружності, що виникають під час деформацій тіл, мають електромагнітну природу, оскільки зумовлені зміною відстаней між атомами, йонами чи молекулами.

Силу пружності ми переважно розглядали на прикладі деформації пружини. А як же інші тіла?

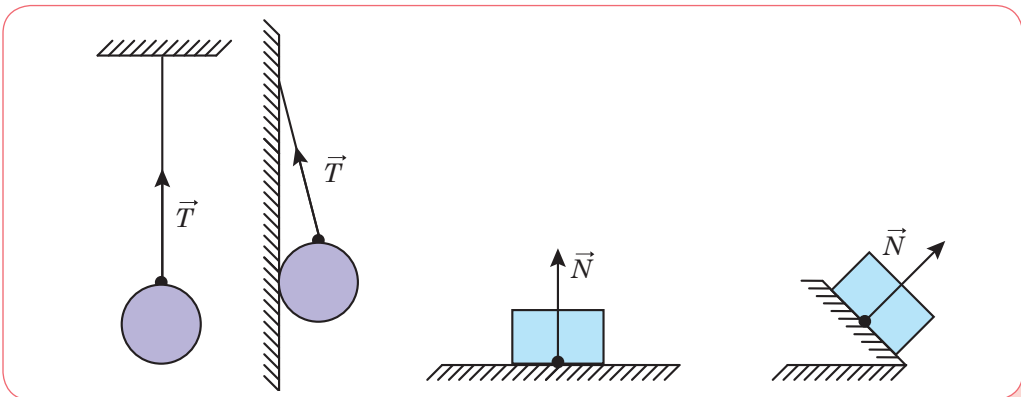


Сили взаємодії між молекулами й атомами мають таку особливість: зі збільшенням відстані між ними вони є силами притягання, а зі зменшенням — силами відштовхування. Цим і зумовлений напрямок сил пружності.

Сили пружності є найбільш поширеними й виникають у разі дотикання всіх тіл між собою, коли їх молекули наближаються на відстань  $10^{-9}$ – $10^{-10}$  м, щоб могли взаємодіяти їх електронні оболонки. Наприклад, якщо наступити на цеглину, то її висота зменшиться приблизно на 0,00005 см. За такої деформації сусідні атоми наближаються один до одного приблизно на  $2 \cdot 10^{-14}$  см.



Сили пружності оточують тебе майже повсюди. Ти сидиш на стільці, тиснеш на нього, а в ньому виникають сили пружності, що протидіють тисненню. Будь-яке тіло, що стоїть або висить на чомусь чи прикладене до чогось, викликає силу реакції опори (позначають літерою  $N$ ) або силу натягу підвісу — її позначають літерою  $T$  (мал. 11.6).

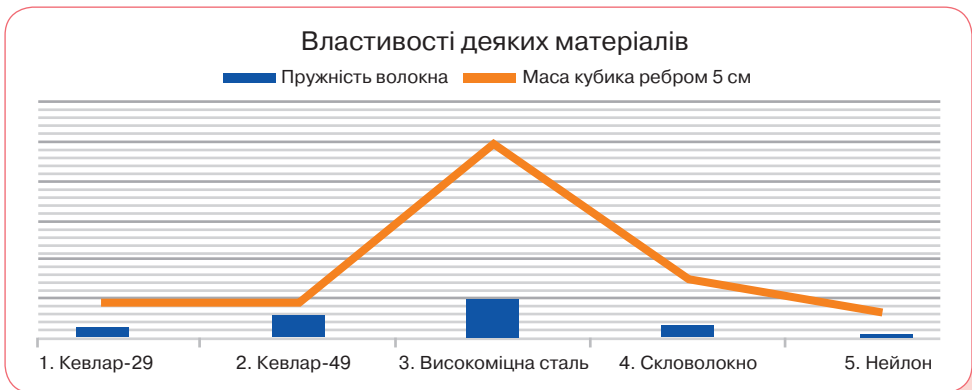


Мал. 11.6

Головною відмінністю сил пружності від інших сил (тяжіння, тертя) є те, що вони залежать лише від деформацій і не залежать від маси тіла, до якого прикладені.

## ДУМАЙ

- 1 Унаслідок чого виникає сила пружності? Яка природа цієї сили?
- 2 Яку деформацію називають пружною, а яку — пластичною? Назвіть види деформацій.
- 3 Як формулюється і записується закон Гука? Що означає, знак «—» у формулі?
- 4 Чи завжди в разі збільшення сили, яка розтягує тіло, у стільки само разів збільшується його деформація?
- 5 Проаналізуй дані, зображені на графіку (мал. 11.7). Який із матеріалів на малюнку варто обрати для виготовлення бронезилета з найліпшим співвідношенням властивостей легкість / пружність.



Мал. 11.7

- 6 Попрацюй із додатковими джерелами інформації та дізнайся, які ще відкриття належать Р. Гуку. Чому про нього говорять «забутий геній»?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ



## ЗАДАЧА

Щоб розтягнути пружину на 8 см, потрібно прикласти силу 40 Н. Яку силу треба прикласти, щоб розтягнути ту саму пружину ще на 6 см?

**Дано:**

$$F_1 = 40 \text{ Н}$$

$$x_1 = 8 \text{ см}$$

$$x_2 = 6 \text{ см}$$

$$F_2 = ?$$

**СІ**

$$0,08 \text{ м}$$

$$0,06 \text{ м}$$

**Розв'язання:**

Уважатимемо деформацію пружини пружною й застосуємо закон Гука:  $F_{\text{пр}} = kx$ . Оскільки прикладена сила  $F_1$  зумовлює силу пружності, то  $F_{\text{пр}} = F_1$ .

Щоб визначити силу, яку потрібно прикласти, щоб розтягнути ще на 6 см ту саму

пружину, нам потрібно знати її жорсткість.

$$k = \frac{F_1}{x_1}; k = \frac{40 \text{ Н}}{0,08 \text{ м}} = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}.$$

За умовою задачі, пружину не відпускали, отже, загальне видовження  $x = x_1 + x_2$ . Тоді  $F_2 = F_{\text{пр}} = kx = k(x_1 + x_2)$ .

$$F_2 = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,14 \text{ м} = 70 \text{ Н}.$$

Отже, потрібно прикласти силу на 30 Н більшу від попередньої.

**Відповідь:** 70 Н.

**ДІЙ**

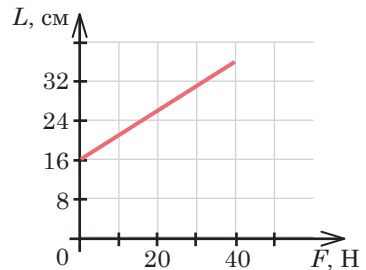
## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

**1** Під дією якої сили пружина, що має жорсткість 1 кН/м, стиснулася на 4 см?

**2** Визнач видовження пружини, якщо на неї діє сила 10 Н, а жорсткість пружини — 500 Н/м.

**3** Під дією сили пружності 20 Н видовження пружини дорівнює 6 мм. Яким буде видовження пружини під дією сили 30 Н?

**4** Розглянь графік залежності довжини пружини від значення сили, що розтягує пружину. Яка сила пружності виникає в пружині, якщо вона видовжена на 12 см? 17 см?



**5** Щоб пружина видовжилася до 15 см, потрібно прикласти силу 45 Н, а до 18 см — 72 Н. Визнач довжину пружини в недеформованому стані.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

**1** Досліди деформації гумової кульки та алюмінієвого дроту. Перевір, чи зміняться розміри гумової кульки після кількаразового розтягування, алюмінієвого дроту — після кількаразового розгинання.

- 2 Виготов саморобний динамометр зі смужки цупкого паперу й гумового шнура. Проградууй його.

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5 «ДОСЛІДЖЕННЯ ПРУЖНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТІЛ»

**Мета:** за даними дослідів установи залежність видовження пружного шнура від прикладеної до нього сили.

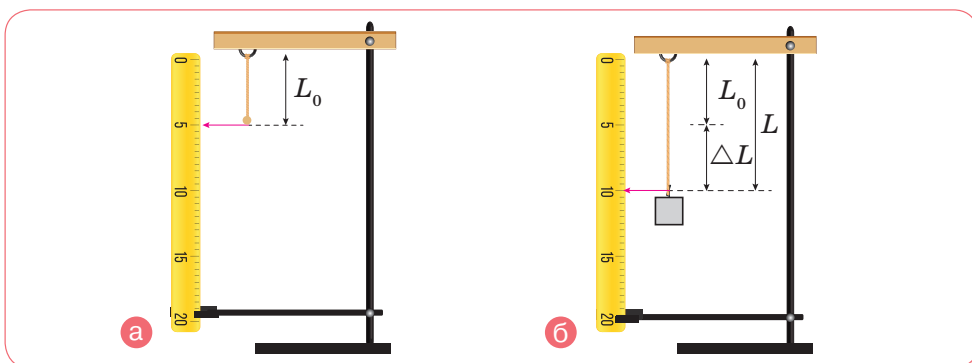
**Обладнання:** пружний шнур, штатив, набір тягарців відомої маси, лінійка.

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 11).



#### Вказівки щодо виконання роботи

1. Закріпи на штативі кінець пружного шнура. З іншого кінця шнура зроби невелику петлю, щоб підвішувати тягарці. Вузлик буде тобі орієнтиром для зняття показань (мал. 11.8, а).



Мал. 11.8

2. Вимірй довжину шнура від вузлика до кріплення на штативі. Це буде початкове значення  $L_0$ . Результат вимірювання запиши в таблицю.
3. Підвісь до пружини тягарець масою 100 г і вимірй довжину шнура в розтягнутому стані  $L$  (мал. 11.8, б). Результат вимірювання

запиши в таблицю. Урахуй, що тягарець масою 100 г спричиняє силу приблизно 1 Н.

- Обчисли видовження пружного шнура  $x = L - L_0$  і запиши в таблицю 1.
- До першого тягарця додавай по черзі другий, третій і т. д. Повторюй щоразу дії за пп. 3 і 4.
- Зверни увагу:* після кожного дослідів слід знімати тягарці й з'ясовувати, чи повернувся нижній вузлик шнура у вихідне положення. Якщо деформація шнура перестане бути пружною (після зняття тягарців шнур залишиться деформованим), досліди потрібно припинити.

Таблиця 1

Номер дослідів	$m$ , кг	$F$ , Н	$L_0$ , м	$L$ , м	$x$ , м	$k = \frac{F}{x}, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
1	0,1	1				
2	0,2	2				
3	0,3	3				
4	0,4	4				

Таблиця 2

Номер дослідів	$m$ , кг	$F$ , Н	$L_0$ , м	$L$ , м	$x$ , м	$k = \frac{F}{x}, \frac{\text{Н}}{\text{м}}$
1	0,1	1				
2	0,2	2				
3	0,3	3				
4	0,4	4				

- Повтори дослідження з пружним шнуром, зігнутих удвічі (таблиця 2).
- Обчисли й порівняй відношення  $k = \frac{F}{x}$ .
- Зроби висновок, у якому зазнач:
  - чи впливає навантаження на те, якою буде деформація (пружною або пластичною);
  - чи залежить у разі пружної деформації обчислений коефіцієнт  $k$  шнура від його видовження;
  - як змінився коефіцієнт  $k$  зі збільшенням його товщини вдвічі.

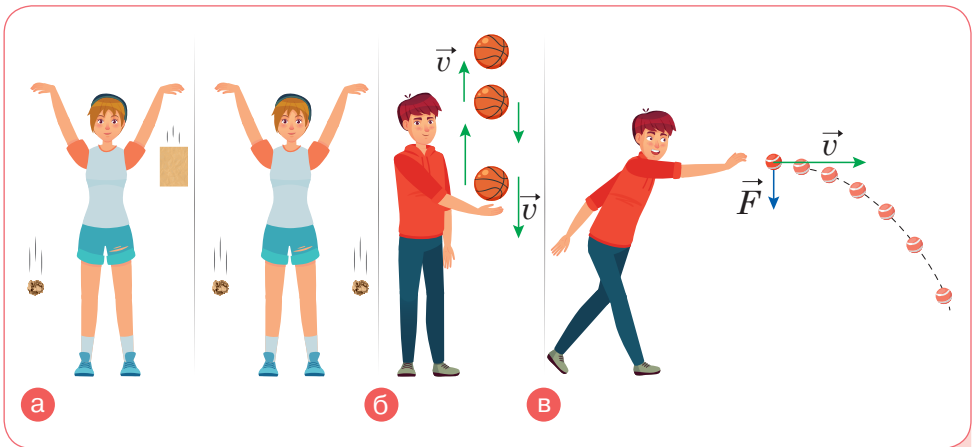
# § 12. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО СИЛУ ТЯЖІННЯ, ВАГУ І НЕВАТОМІСТЬ



Як пов'язані між собою сила тяжіння, маса та вага тіла?

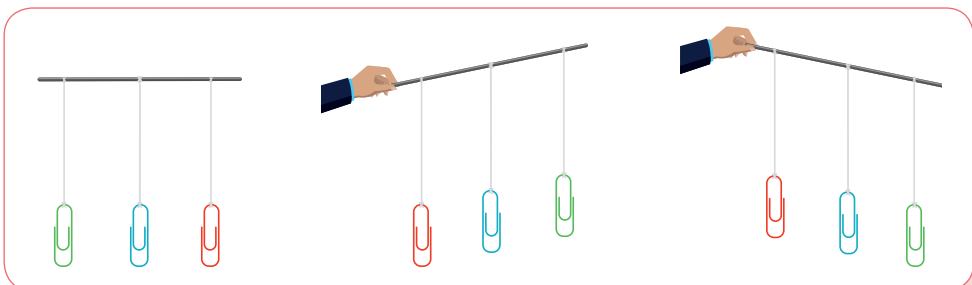
## ДОСЛІДЖУЙ

- 1** Поспостерігай за падінням тіл. Для дослідження потрібні: два папірці (наприклад, сторінки із зошита), м'яч, телефон із камерою. Чи однаково падатимуть цілий папірець і зім'ятий (мал. 12.1, **а**)? Чи рівномірно рухається кинутий угору м'яч (мал. 12.1, **б**)? Якою є траєкторія руху м'яча, кинутого горизонтально (мал. 12.1, **в**)? Які сили, на твою думку, впливають на рух тіл? За можливості зафільмуй падіння тіл у сповільненому режимі.



Мал. 12.1

- 2** Виконай дії зі шпажкою, на яку прикріплено скріпки (мал. 12.2). Нахили шпажку спочатку ліворуч, а потім праворуч. Що відбувається?



Мал. 12.2

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Чому притягання між тілами називають всесвітнім?**

Виконавши завдання 1, ти вчергове переконаєшся в тому, що будь-яке тіло, випущене з рук, падає вниз. Причиною цього є притягання тіл до Землі. Земля притягує не лише предмети біля поверхні. Дія притягання Землі, хоч і зменшується з віддаленням від її центру, але достатня, щоб притягати Місяць, штучні супутники, астероїди, які пролітають поблизу неї.

І оскільки, як ти знаєш, дія одного тіла на інше не може бути односторонньою, то й усі тіла притягають Землю до себе. До того ж і між собою всі тіла притягуються.



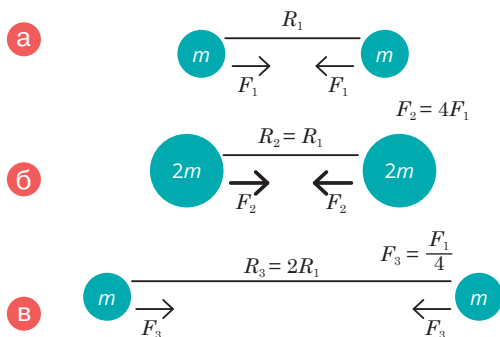
Чомусь ми не бачимо, як притягаються тіла одне до одного?

Взаємне притягання притаманне всім без винятку тілам, але інтенсивність притягання залежить від мас тіл, що взаємодіють, і відстані між ними.



Щоб виявити таку властивість тіл, як їх взаємне притягання, знадобилися допитливість і розумові здібності молодого вченого Ісаака Ньютона. За легендою, на відкриття явища притягання його наштовхнуло падіння яблука (кажуть, що просто йому на голову). Якщо яблуко падає на Землю, а не відлітає вгору, подумав Ньютон, то для цього має бути якась причина, що притягує його саме до Землі. Можливо, ця сама причина змушує й Місяць утримуватися на орбіті? От тільки маси яблука і Місяця різні, а ще й відстані від них до Землі, тому дія притягання неоднакова. Ісаак Ньютон перший, хто здогадався об'єднати ці процеси разом і дослідити їх.

Нехай два тіла однакової маси  $m$ , що перебувають на відстані  $R_1$ , притягуються з певною силою  $F_1$  (мал. 12.3, **а**, с. 118). Якщо маси цих тіл збільшити в два рази, вони стануть притягуватися з у 4 рази більшою силою  $F_2 = 4F_1$  (мал. 12.3, **б**, с. 118). Якщо відстань між цими тілами збільшити в два рази  $R_3 = 2R_1$ , то вони притягуватимуться із силою в 4 рази меншою  $F_3 = 0,25F_1$  (мал. 12.3, **в**, с. 118). Ці розрахунки лягли в основу *закону всесвітнього тяжіння*.



Взаємне притягання об'єктів є проявом *гравітаційної* взаємодії (*gravitation*). Як відомо, інтенсивність взаємодії вимірюють силою. Гравітаційну взаємодію вимірюють *гравітаційною силою* (*gravity*). Відповідно масу тіла розглядають як величину, що характеризує його гравітаційні властивості. Пригадай, яку ще властивість характеризує маса тіла. Гравітація в астрономічних вимірах створює значні сили, завдяки яким існує порядок у Всесвіті, визначається рух небесних тіл.

Силу, з якою Земля притягує до себе тіла, називають **СИЛОЮ ТЯЖІННЯ**.

**Як рухаються тіла під дією сили тяжіння?** Падіння тіла вертикально вниз відбувається під дією сили земного тяжіння. Окрім цієї сили, на тіло діє сила опору повітря, напрямлена вертикально вгору. Якщо ці сили рівні між собою, то тіло рухатиметься рівномірно з постійною швидкістю (мал. 12.4, а). Таким, наприклад, є рух парашутиста з відкритим парашутом.



Сила тяжіння

Якщо ж сила опору мала, а сила тяжіння набагато більша, то падіння тіла не буде рівномірним. Унаслідок дії земного тяжіння швидкість тіла буде весь час збільшуватися. Таким, наприклад, був рух парашутиста на початку стрибка, коли парашут ще не розкрився (мал. 12.4, б).

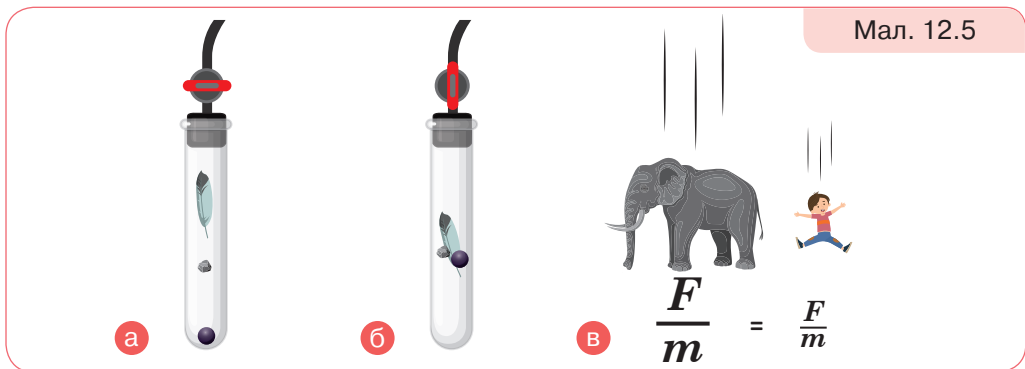


Мал. 12.4



Для експериментального дослідження вільного падіння використовують трубку, з якої можна викачувати повітря (її ще називають трубкою Ньютона) (мал. 12.5). Не відкачуючи повітря, помістимо у трубку пір'їну, корок та металеву кульку. Якщо трубку поставити вертикально, то всі три предмети впадуть не одночасно (мал. 12.5, а). Якщо ж викачати з трубки повітря й повторити дослід, то всі три предмети впадуть одночасно! (мал. 12.5, б).

Рух тіла під дією земного тяжіння, за умови, що опір повітря незначний і на тіло не діють інші сторонні сили, називають **вільним падінням** (*free fall*).



Відбувається це тому, що під дією однієї лише сили тяжіння швидкість усіх без винятку тіл, що падають (мал. 12.5, в), за кожну секунду збільшується на одне і те саме число, а саме на 9,8 м/с.

Зміну швидкості на  $9,8 \frac{\text{м}}{\text{с}}$  за 1 секунду для тіл, що вільно падають, назвали *прискоренням вільного падіння* (*acceleration due to gravity*).

Позначають літерою  $g$ . Його одиницею є  $\frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Середнє значення прискорення вільного падіння  $g = 9,81 \frac{\text{м}}{\text{с}^2}$ . Цю величину ще називають коефіцієнтом земного тяжіння і під час розв'язання задач для спрощення розрахунків інколи беруть  $g \approx 10 \frac{\text{н}}{\text{кг}}$ .

Виконуючи дослід зі скріпками, котрі висять на нитці (мал. 12.2, с. 116), можна переконалися, що сила тяжіння напрямлена вертикально вниз. Траєкторія руху м'яча, кинутого горизонтально (мал. 12.1, в, с. 116), викривляється внаслідок дії сили тяжіння. Як ми з'ясували, у тіл, що рухаються криволінійною траєкторією, змінюється напрямок швидкості (пригадайте рух по колу). У цьому випадку змінюється ще і значення швидкості.

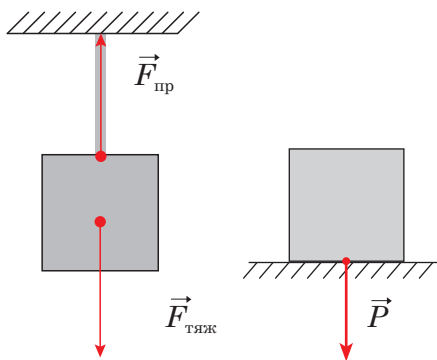
**Підсумуй!**

- Сила тяжіння Землі:
  - притягує всі тіла пропорційно до їхньої маси;
  - прискорює рух тіл незалежно від їхньої маси;
  - спрямована до центру Землі.
- Точкою прикладання сили тяжіння є центр тіла, на яке вона діє.
- Позначають силу тяжіння  $F_{\text{тяж}}$ ; визначають за формулою  $F_{\text{тяж}} = mg$ .

**Вага й маса — це одне й те саме?** Усі тіла через притягання до Землі стискають чи прогинають опору або розтягують підвіс. Силу, яка характеризує таку дію тіл, називають *вагою тіла (weight)*.

Вага, як і будь-яка сила, — векторна величина. Вагу тіла позначають літерою  $P$ . Одиницею ваги, як і будь-якої сили, є ньютон, 1 Н.

**Вага** — це сила, з якою тіло діє на опору або підвіс.



Мал. 12.6

Пам'ятай, що сила тяжіння і вага тіла мають різну фізичну природу: сила тяжіння виникає внаслідок взаємного притягання тіла і Землі, а вага тіла — внаслідок взаємодії тіла й опори. Саме тому точка прикладання сили тяжіння міститься на тілі, а точка прикладання ваги — на опорі (або підвісі) (мал. 12.6).

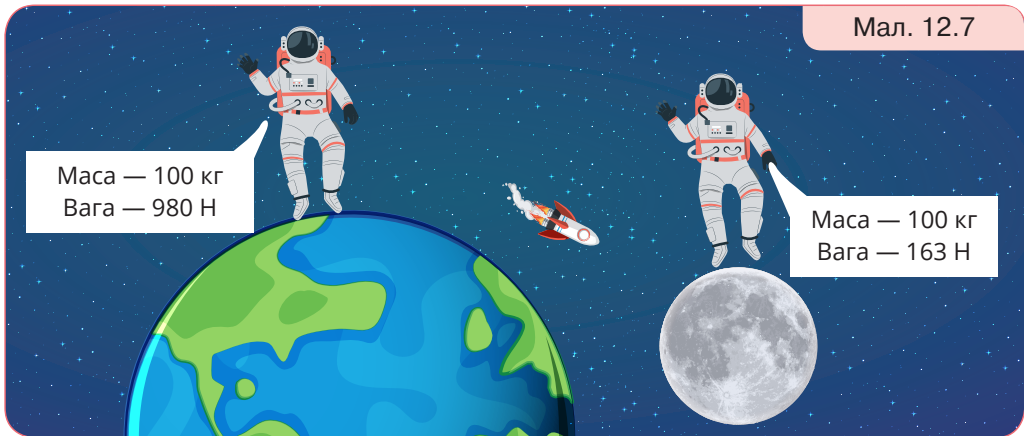
Вага тіла й сила пружності мають протилежні напрямки, водночас модулі цих сил рівні:  $P = F_{\text{спр}}$ . Тому вважають, що динамометром можна визначити не тільки силу пружності, а й вагу тіла. Динамометр ще називають *пружинними вагами*.

Вага тіла залежить від стану руху тіла. Якщо тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху, то вага тіла за числовим значенням дорівнює силі тяжіння, що діє на тіло:

$$P = F_{\text{тяж}}, \text{ або } P = mg.$$

Одиницею маси є кілограм, 1 кг. Маса — скалярна величина. Вага — векторна величина. Так, тіло масою 20 кг має вагу 200 Н (вважаючи, що  $g \approx 10 \text{ Н/кг}$ ), якщо воно перебуває на горизонтальній опорі на Землі.

Планети Сонячної системи мають відмінні від Землі маси, а отже, й різні сили тяжіння. Тому одне й те саме тіло матиме різну вагу на небесних тілах, зокрема на Місяці (мал. 12.7), маса ж тіла не змінюється.



У земних умовах тіло також може мати різну вагу або й узагалі не мати ваги у стані *невагомості* — якщо опора чи підвіс вільно падають разом із тілом.

Тіло поблизу поверхні Землі перебуває в стані невагомості, якщо на нього діє тільки одна сила — сила тяжіння.

На короткий час невагомість легко створити вдома, на вулиці, у класі тощо. Ти можеш, наприклад, підстрибнути й на мить опинитися в стані невагомості: у такому випадку, поки ти падаєш вниз, опір повітря є надто малим і можна вважати, що на тебе діє тільки сила тяжіння. Постійно в стані невагомості перебувають космічні орбітальні станції та все, що в них є.

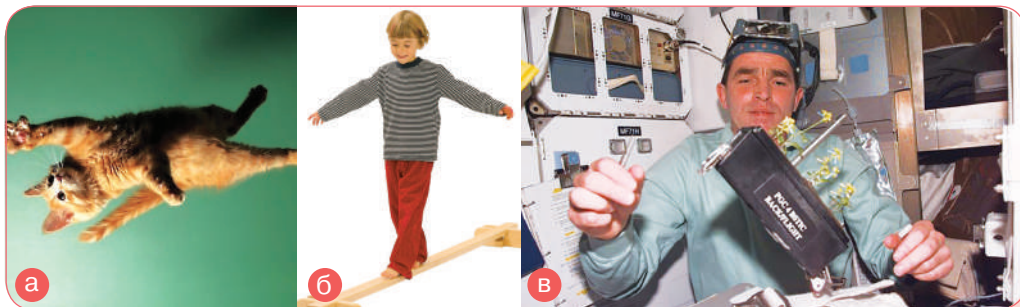
**Невагомість** — це стан тіла, за якого воно не має ваги й рухається лише під дією сили тяжіння.



Невагомість

Ми з вами пристосувалися жити під дією земного тяжіння. У людини і хребетних тварин є вестибулярний апарат, що розміщується у внутрішньому вусі. Також завдяки цьому органу чуття тіло зорієн-

товано у просторі (мал. 12.8, а, б, в, с. 122). Орієнтуються в просторі й рослини. Спробуй висадити пророщену квасолину догори корінцем і поспостерігай, що відбуватиметься. Як себе поведуть рослини в космосі, досліджував український космонавт Леонід Каденюк (мал. 12.8, в).



Мал. 12.8

## ДУМАЙ

- 1 Дві кішки (мал. 12.9) ось-ось будуть в обіймах одна одної. Чи є це проявом сили притягання між ними?
- 2 Який із проведених тобою дослідів беззаперечно доводить, що сила земного тяжіння напрямлена вертикально вниз?
- 3 Тягарець на вертикально закріпленій пружині здійснює коливання. Взаємодією яких тіл зумовлюється його рух униз? Угору?
- 4 Чим відрізняється вага тіла від сили тяжіння? А вага тіла від його маси?
- 5 За яких умов вага тіла не дорівнює за модулем силі тяжіння?
- 6 Поясни, як змінюється сила тяжіння й вага дівчинки, яка стрибає через скалку.



Мал. 12.9

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА

Яка сила тяжіння діє на людину, маса якої 75 кг? Зроби малюнок і покажи цю силу. Якою буде вага цієї людини на Місяці, якщо відомо, що там на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 1,62 Н?

**Дано:**

$$m = 75 \text{ кг}$$

$$g = 9,8 \text{ Н/кг}$$

$$m_0 = 1 \text{ кг}$$

$$F_0 = 1,62 \text{ Н}$$

$$F \text{ — ?}$$

$$P \text{ — ?}$$

$$P_{\text{на Місяці}} \text{ — ?}$$

**Розв'язання:**

Силу тяжіння, що діє на людину на Землі, визначають за формулою  $F = mg$ ,

$$\text{Отже, } F = 75 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} = 735 \text{ Н.}$$

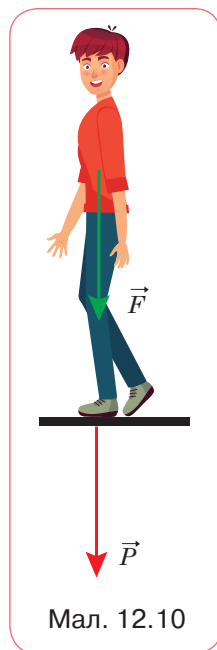
Вага людини, яка стоїть на Землі, за числовим значенням буде такою самою, як і сила тяжіння:  
 $P = mg = 735 \text{ Н.}$

Відмінність між цими силами полягає в тому, що сила тяжіння діє на тіло, тобто прикладена до самого тіла, а вага діє на опору, тобто прикладена до опори (мал. 12.10).

Оскільки на Місяці на тіло масою 1 кг діє сила тяжіння 1,62 Н, то вага людини масою 75 кг становитиме:  $P_{\text{на Місяці}} = \frac{75 \text{ кг} \cdot 1,62 \text{ Н}}{1 \text{ кг}} = 121,5 \text{ Н}$ , тобто вага

людини на Місяці менша, ніж на Землі, майже в 6 разів.

**Відповідь:**  $F = 735 \text{ Н}; P = 735 \text{ Н}; P_{\text{на Місяці}} = 121,5 \text{ Н.}$



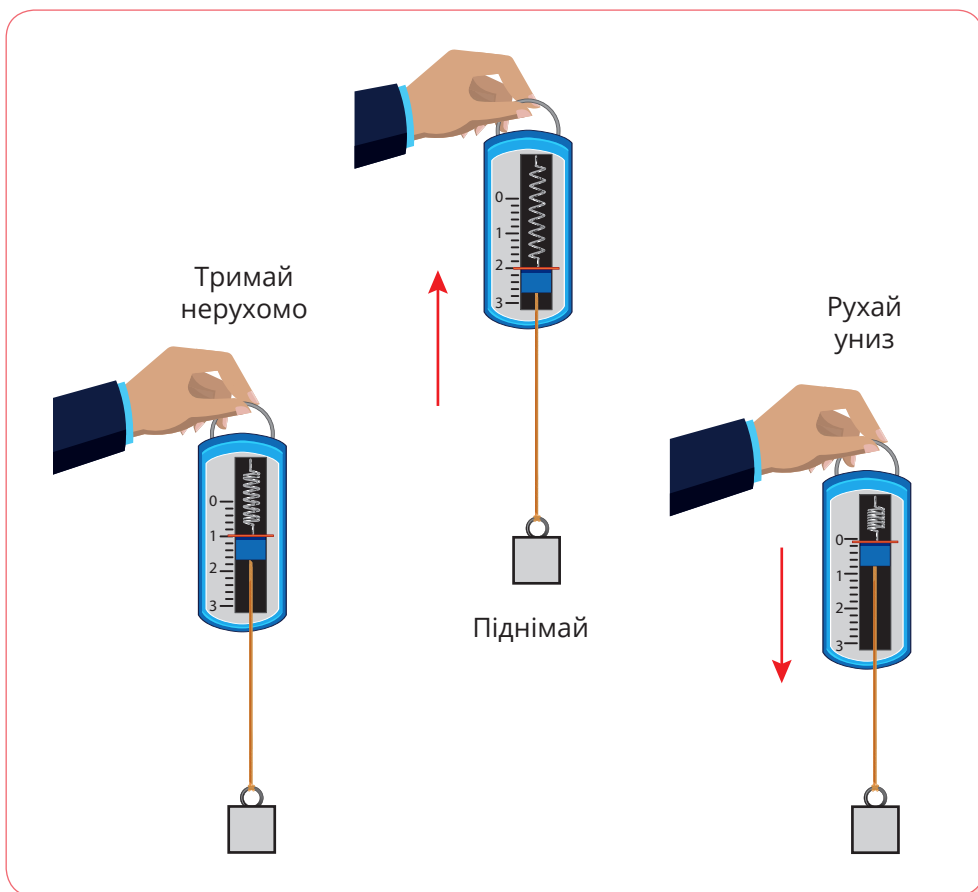
Мал. 12.10

**ДІЙ****РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ**

- 1 Обчисли силу тяжіння, що діє на тіло масою 6 кг. Накресли цю силу в масштабі 1 см — 10 Н.
- 2 З якою силою діє людина на підлогу, коли тримає в руках повне п'ятилітрове відро з водою? Маса людини — 43 кг, маса порожнього відра — 2 кг.
- 3 Яка сила тяжіння діє на алюмінієвий кубик із ребром 10 см?
- 4 Визнач вагу сухої соснової дошки, довжина якої 0,5 м, ширина — 10 см, товщина — 20 мм, а густина — 500 кг/м<sup>3</sup>.
- 5 Визнач об'єм алюмінієвої деталі, вага якої 540 Н.
- 6 Визнач вагу гасу, об'єм якого 18,75 л.
- 7 Люстра, підвішена до стелі, діє на неї із силою 49 Н. Яка маса люстри?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Якщо сила тяжіння напрямлена вертикально вниз, то чи можна її врівноважити якоюсь силою, що буде напрямлена вертикально вгору? *Вказівка:* можеш скористатися магнітом, гвіздком (металевою скріпкою), ниткою. Поясни, як ти будеш діяти.
- 2 Візьми в одну руку металеву пластинку (наприклад, монету), а в другу — паперову, трохи меншого розміру. Одночасно відпусти їх. Спрогнозуй, чи впродовж однакового часу вони падатимуть. Тепер візьми в руку металеву пластинку і на неї поклади паперову. Відпусти їх. Спрогнозуй, чи впродовж однакового часу вони падатимуть.
- 3 З'ясує, за яких умов вага тіла не дорівнює за модулем силі тяжіння. Виконай дослід, як показано на малюнку 12.11.
- 4 Перевір, чи змінюється твоя вага, коли ти рухаєшся в ліфті.



Мал. 12.11

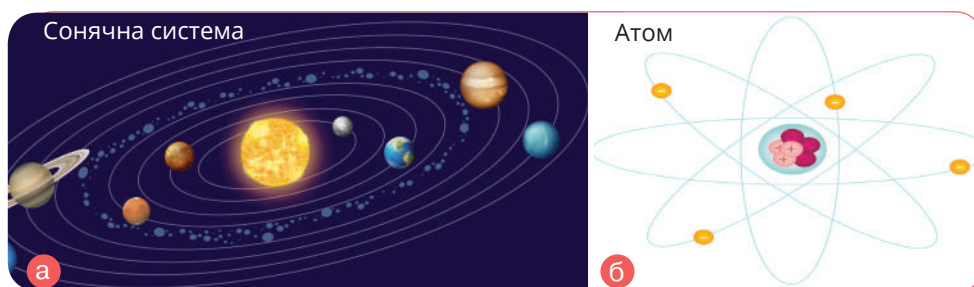
# § 13. ДОСЛІДЖУЄМО РУХИ НЕБЕСНИХ ТІЛ



Можливо, тобі доводилося спостерігати, як Венера змінює своє положення на небосхилі. Її рух і рух інших небесних тіл підпорядковується певним законам чи ні? Чи пов'язаний рух небесних тіл із твоїм життям?

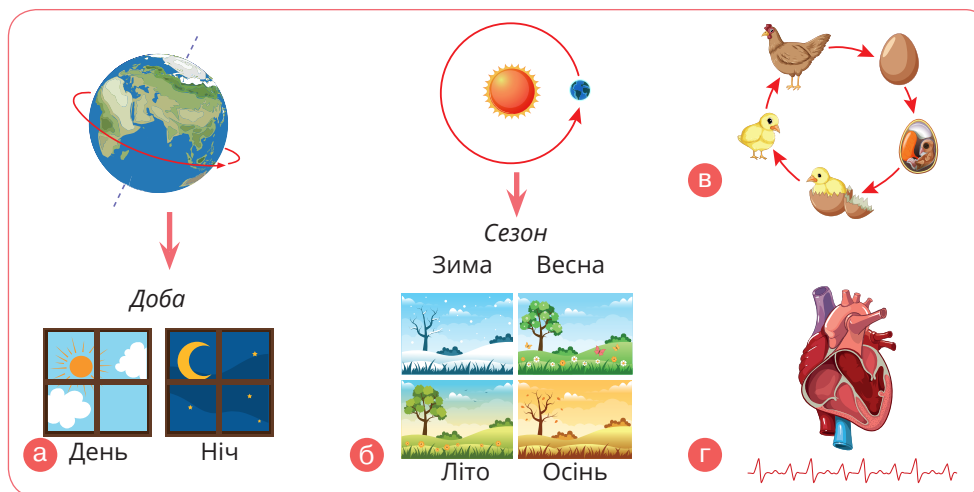
## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнок 13.1, **а** і **б**. Поясни, у чому подібність будови атома та Сонячної системи. З'ясуй і порівняй значення термінів *орбіта* та *орбіталь*.



Мал. 13.1

- 2 Розглянь малюнок 13.2. Які, на твою думку, частини малюнка **а**—**г** ілюструють поняття: *період*, *цикл*, *ритм*. У чому схожі й чим відмінні ці поняття? Поясни, як твій розпорядок дня пов'язаний із рухами небесних тіл.



Мал. 13.2

## ДІЗНАВАЙСЯ

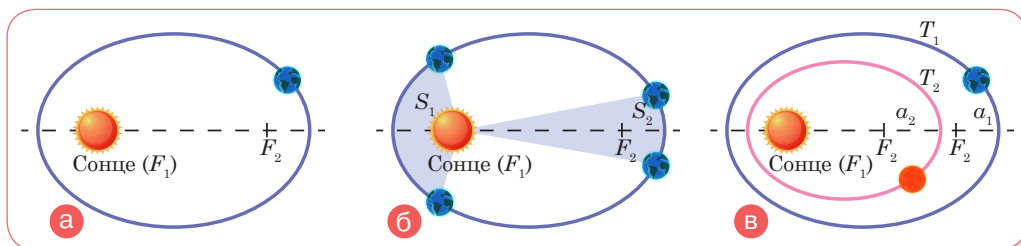
**Які є закони руху планет?** Ще в давнину люди помітили, що деякі об'єкти на небі змінюють своє розташування відносно інших непорушних зір. Саме за це «блукання» планети дістали свою назву (грец. *планета* — «той, що блукає»). Земля (*Earth*) та інші планети обертаються навколо Сонця (*Sun*) майже в одній площині, яку називають *площиною екліптики (ecliptic)*, й обертаються в один і той самий бік. Сонце обертається навколо власної осі в тому напрямку, що й планети (мал. 13.1, а, с. 125). Планети також обертаються навколо власних осей, які напрямлені під різними кутами до площини екліптики.

У 1600-х роках німецький астроном і математик Йоганн Кеплер на підставі точних даних про спостережувані планетарні рухи, які зібрав данський астроном Тихо Браге, встановив *три закони, які описують рух планет*.

*Перший закон Кеплера* стверджує, що кожна планета Сонячної системи рухається по еліптичній орбіті, і в одному з фокусів ( $F_1$ ) цього еліпса розташоване Сонце (мал. 13.3, а).

Рух планет орбітою нерівномірний — що далі планета від Сонця на своїй орбіті, то меншою є її лінійна швидкість. Проте за однакові проміжки часу відрізок, що сполучає планету й Сонце, описує рівні площі ( $S_1 = S_2$ ). Це *другий закон Кеплера* (мал. 13.3, б).

У *третьому законі Кеплера* йдеться про співвідношення між періодами обертання планет ( $T_1$  і  $T_2$ ) навколо Сонця і великими півосьми їхніх орбіт ( $a_1$  і  $a_2$ ) (мал. 13.3, в).



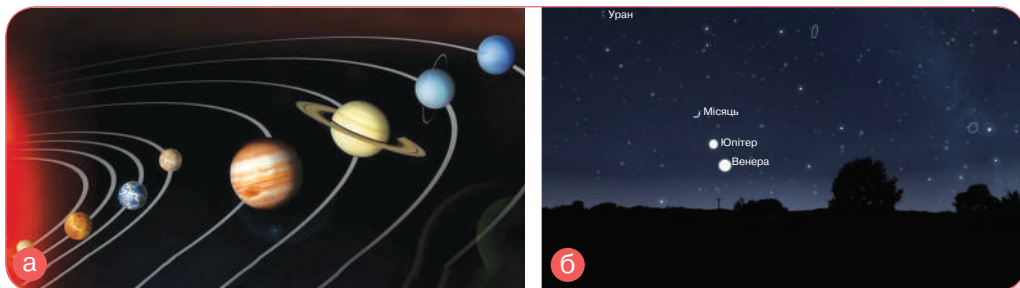
Мал. 13.3

Закони Кеплера застосовують і для інших тіл Сонячної системи (супутників планет, астероїдів) та штучних супутників Землі. Центром тяжіння для штучних супутників є Земля, що міститься у фокусі їхніх еліптичних орбіт.



### Які рухи небесних тіл можемо спостерігати із Землі?

Оскільки планети обертаються навколо Сонця на різних відстанях із різною швидкістю, то настає момент, коли всі вони опиняються по один бік від Сонця, вишикувавшись в один ряд, як на параді (мал. 13.4, а). Такий випадок називають *парадом планет* (*parade of planets*).



Мал. 13.4

Людині, яка неозброєним оком дивиться на небо із Землі, видимий рух планет видається іншим. Проте можна побачити, як вишиковуються поряд небесні тіла. Це явище можна спостерігати або ввечері, або вранці. Парад планет за участю чотирьох планет відбувається частіше, а мініпаради трьох планет спостерігаються щорічно, проте умови їх видимості не однакові на різних територіях Землі.

22 лютого 2023 року на небосхилі біля Місяця можна було роздивитися Венеру, а наступного дня до них приєднався Юпітер (мал. 13.4, б).

Венера — найяскравіше (після Сонця й Місяця) світло земного неба. Після заходу Сонця вона спалахує на небі в промінні вечірнього сяйва, і навіть на цьому тлі її чітко видно. Так само добре видно Венеру і в променях ранкової заграви. Тому її називають вранішньою або вечірньою зорею.

Процесів, що повторюються (періодичних рухів), у природі досить багато. Спостереження астрономів за рухами небесних тіл узяті за основу вимірювання часу. Так, обертання Землі навколо Сонця (рік), обертання Місяця навколо Землі (місяць), обертання нашої планети навколо своєї осі (доба).

Серед періодичних процесів можна виділити такі, що містять повну послідовність повторюваних подій. Їх ще називають *циклами*.

Багато періодичних процесів мають власну частоту зміни — *ритм*. Зміни у твоєму житті, які пов'язані з періодичними змінами на Землі, визначають твої біоритми.

До періодичних процесів, що відбуваються на Землі й зумовлені дією небесних тіл, а саме притяганням Місяцем і Сонцем водної поверхні, належать *припливи* та *відпливи* (мал. 13.5).



Мал. 13.5

Хоча Місяць має відносно невеликі розміри, він значно ближче розташований до Землі, ніж Сонце. Тому припливи, спричинені Місяцем, вищі за ті, що зумовлені Сонцем. Середня висота припливу в океані становить 0,5 м. Він супроводжується припливними течіями, швидкість яких досягає 15—20 км/год.

## ДУМАЙ

- 1 Накресли довільну орбіту штучного супутника, що обертається навколо Землі.
- 2 Назви періодичні процеси, пов'язані з рухом небесних тіл.
- 3 За допомогою яких спостережень можна підтвердити:
  - добове обертання Землі;
  - рух Місяця навколо Землі;
  - рух Землі навколо Сонця?
- 4 Що відбувається з мешканцями прибережного піщаного дна морів та океанів під час припливів і відпливів?

## ДІЙ

- 1 Розглянь наведену в таблиці 13.1 інформацію про планети. Періоди обертання планет зазначені в земних добах та роках. Відстань від планети до Сонця — це середній радіус орбіти.

Таблиця 13.1

Планета	Діаметр, км	Відстань до Сонця, млн км	Період обертання навколо Сонця	Період обертання навколо своєї осі
Меркурій	4880	57,9	88 діб	58 діб
Венера	12 104	108,2	224,7 доби	243 доби
Земля	12 742	150	365,26 доби	23 год 56 хв 4 с
Марс	6779	228	687 діб	24 год 37 хв 23 с
Юпітер	139 820	780	11,9 року	9 год 50 хв 30 с
Сатурн	116 460	1400	29,5 року	10 год 14 хв
Уран	50 724	2900	84,1 року	11 год
Нептун	49 244	4500	164,8 року	16 год


Упорядкуй планети за:

- збільшенням розмірів;
- збільшенням часу обертання навколо Сонця;
- віддаленням від Сонця.

Перевір достовірність ілюстрації (мал. 13.6).



Мал. 13.6

- 2 Визнач лінійні швидкості руху планет (табл. 13.1) відносно Сонця та швидкість руху Місяця навколо Землі, якщо його період обертання становить 27,3 земної доби, а середній радіус орбіти — 380 000 км.
- 3 Визнач сили тяжіння, що діють на космічний апарат масою 1 т біля поверхні Венери, Марса та Юпітера. Прискорення вільного падіння на цих планетах відповідно  $g_B = 8,69 \text{ Н/кг}$ ,  $g_M = 3,86 \text{ Н/кг}$ ,  $g_{Ю} = 3120 \text{ Н/кг}$ . Якою була б твоя вага на Марсі та Юпітері?
- 4 Розкрути на столі сире яйце і зварене. Чим відрізняються їхні обертання? Спробуй пояснити це явище.
- 5 Змодельюй: рух Землі й Місяця навколо Сонця (мал. 13.7, а); припливи і відпливи (мал. 13.7, б).  
Скористайся інструкціями в цифровому додатку (Розділ 2, до § 13, ) шаблон для моделювання руху Землі).



Мал. 13.7

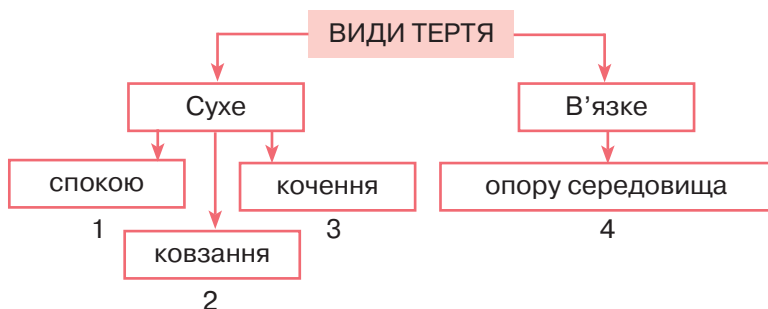
# § 14. ДОСЛІДЖУЄМО ТЕРТЯ



Чому виникає тертя і яким воно може бути?

## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнки 14.1, а—д і встанови їх відповідність із видами тертя на схемі (1–4). У яких випадках, на твою думку, тертя потрібно збільшувати, а в яких — зменшувати?



Мал. 14.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

Чому виникає тертя і яким воно може бути? Тертя (*friction*) — один із видів взаємодії тіл. Розрізняють сухе та в'язке тертя. Сухе виникає у площині дотику рухомого тіла з поверхнею,

в'язке — під час руху тіла в густому середовищі. І як будь-який вид взаємодії, тертя може бути більшим або меншим, що порівнюється й вимірюється відповідними силами тертя.

Сили тертя, як і сили пружності, — прояв сил міжмолекулярної взаємодії. Однією з причин виникнення сили тертя є шорсткість поверхонь тіл. Навіть гладенькі на вигляд поверхні тіл мають нерівності, горбки й подряпини. Коли одне тіло ковзає або котиться поверхнею іншого, ці нерівності зачіпляються одна за одну — виникає сила, що заважає руху. Друга причина тертя — взаємне притягання молекул поверхонь дотику. Коли поверхні дотику добре відполіровані, частина молекул розміщується так близько одна до одної, що стає відчутним притягання між молекулами тіл. У будь-якому випадку тертя перешкоджає взаємному переміщенню тіл, що контактують, і середовищ.



Причини тертя

Люди збільшують або зменшують тертя залежно від ситуації. Щоб зменшити тертя, додають між поверхнями дотику мастило. У цьому випадку ковзають одна по одній не поверхні тіл, а шари мастила, а тертя шарів рідин менше за тертя твердих тіл. Щоб збільшити тертя, поверхні роблять шорсткими, додають порошки чи інші речовини, що збільшують зчеплення.

**Як вимірюють сили сухого тертя?** Залежно від виду тертя розрізняють відповідні сили: спокою, ковзання, кочення.



Насте, Сашку, а чи зможете самостійно дослідити сили тертя? З'ясуйте, від чого вони залежать. Порівняйте їх. Скористайтеся тим, що у вас під рукою: книжками, олівцями, поверхнею парти. Я вам допомагатиму!

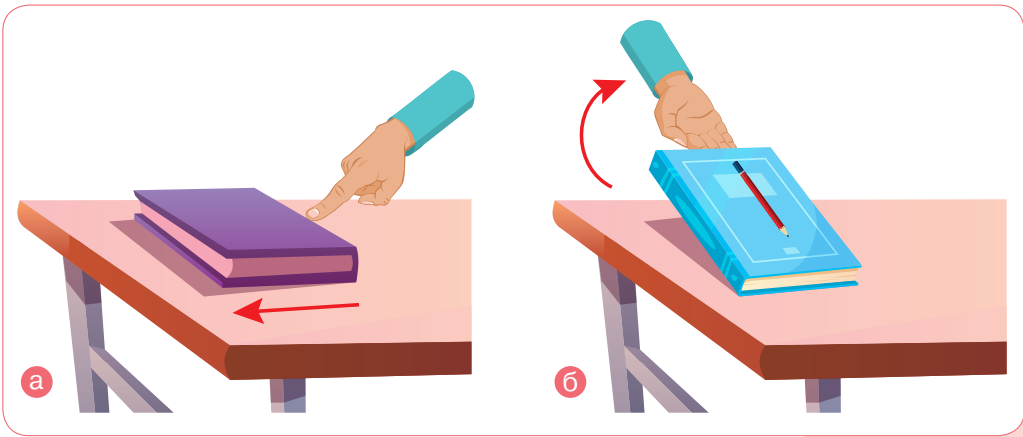


Гаразд, спробуємо!

Силу тертя спокою можна дослідити в такий спосіб. Спробуй зрушити з місця книжку, що лежить на парті (мал. 14.2, **a**). Тобі доведеться докласти хоч і незначних, але зусиль. А якщо потрібно зрушити вже дві книжки? Зусилля, які ти прикладеш, збільшаться, зросте й сила тертя спокою.

Якщо покласти на книжку олівець і піднімати її за один край, то можна побачити, як у певний момент часу олівець почне ковзати вниз (мал. 14.2, б). Тертя спокою утримувало олівець на книжці, допоки дія сили тяжіння не стала достатньою, щоб зрушити його з місця (подолати силу тертя спокою).

Сила тертя спокою  $F_{\text{тер. сп}}$  — це сила, яка виникає між двома дотичними тілами в разі спроби зрушити одне тіло відносно іншого й напрямлена в бік, протилежний тому, у який би рухалося тіло, якби тертя не було.



Мал. 14.2

Сила тертя спокою утримує вбиті в стіну цвяхи, перешкоджає мимовільно розв'язуватися шнуркам. Хоч як це дивно звучить, але саме тертя спокою забезпечує твій рух, оскільки з кожним кроком ти відштовхуєшся від нового місця поверхні.

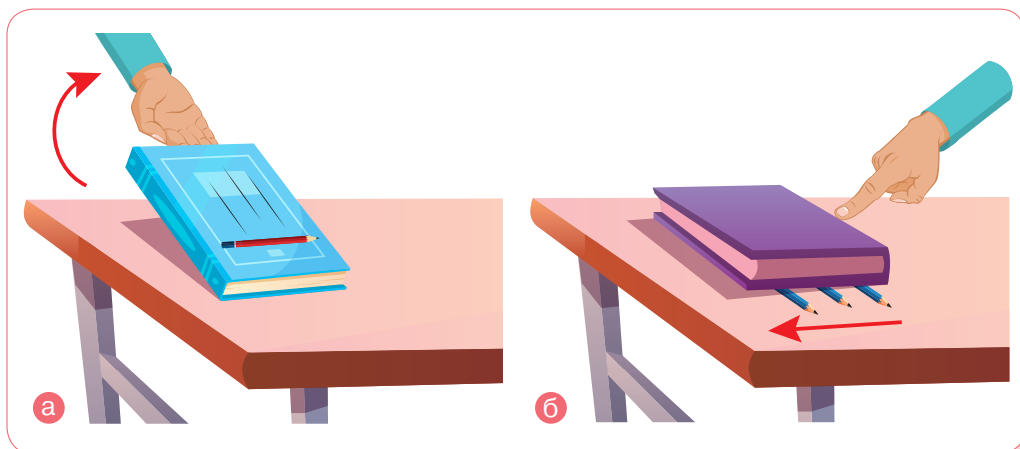
Тіло, зрушене зі стану спокою, може або ковзати, або котитися поверхнею. *Сила тертя ковзання* виникає тоді, коли одне тіло ковзає поверхнею іншого. Вона напрямлена паралельно площині дотику в бік, протилежний до напрямку руху. Дослідами встановлено, що сила тертя ковзання  $F_{\text{тер. ковз}}$  прямо пропорційна величині сили реакції опори (силі нормального тиску)  $N$ :  $F_{\text{тер. ковз}} = \mu N$ , де  $\mu$  (мю) — коефіцієнт пропорційності, який залежить від стану поверхонь тіл і властивостей речовин, з яких вони виготовлені.

Піднімаючи книжку, ми бачили, що олівець у певний момент починав ковзати — сила тертя спокою змінювалася силою тертя ковзання, що діє вздовж поверхні дотику тіл і трохи менша за максимальну силу тертя спокою. (Поясни чому. Візьми до уваги значення  $\mu$  у таблиці 14.1.) Саме тому тіла починають рухатися з місця ривком і зрушити їх важче, ніж потім переміщати.

Таблиця 14.1. Значення коефіцієнта тертя  $\mu$  для різних поверхонь

Поверхні, що контактують	Значення коефіцієнта тертя $\mu$	
	спокою	ковзання
Дерево і дерево	0,65	0,33
Метал і дерево	0,60	0,40
Залізо й залізо	0,15	0,14
Каучук і дерево чи метал	0,80	0,55
Гума і твердий ґрунт	0,4–0,6	0,3–0,5
Сталь і лід	0,02	0,015

Якщо покласти олівець поперек книжки й повторити дослід, то можна побачити, що котитися олівець починає раніше (мал. 14.3, а). Порівняй свої зусилля, які витрачаєш на переміщення книжки різними способами (мал. 14.3, б).



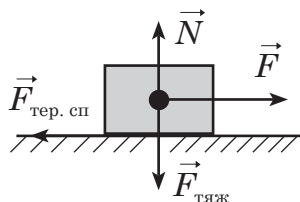
Мал. 14.3



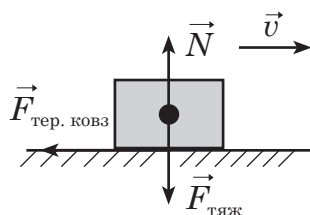


Підсумуй!

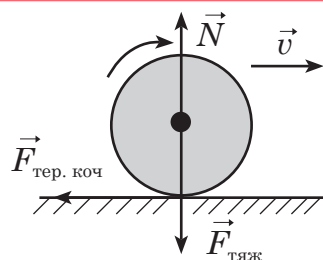
**Сила тертя спокою** (*static friction force*)  $F_{\text{тер. сп}}$  виникає між двома дотичними тілами, якщо спробувати вивести одне тіло зі стану спокою, і напрямлена проти того руху, який мав би виникнути. Зростає від 0 до  $F$ , за якої тіло починає рух.  $F_{\text{тер. сп}} = F$



**Сила тертя ковзання** (*sliding friction force*)  $F_{\text{тер. ковз}}$  виникає у випадку, коли одне тіло ковзає поверхнею іншого. Сила тертя ковзання  $F_{\text{тер. ковз}}$  прямо пропорційна силі нормальної реакції опори  $F_{\text{тер. ковз}} = \mu N$ , де  $\mu$  — коефіцієнт тертя ковзання. Якщо тіло тягнуть рівномірно, то  $F_{\text{тер. ковз}} = F$



**Сила тертя кочення** (*rolling friction force*)  $F_{\text{тер. коч}}$  виникає, якщо одне тіло котиться по іншому.  $F_{\text{тер. коч}} < F_{\text{тер. ковз}}$



**Дізнаємося про опір середовища.** Сила опору середовища (*fluid friction*) виникає під час руху тіла в середовищі (повітрі, рідині). Спостерігай уважно за зануренням тіл різної форми в рідини різної в'язкості: воді, олії, прозорому шампуні. Для досліду візьми кульки, скріпки, монети. Яким буде їх рух?

Очікувано, що густішою є рідина, то більшого опору зазнає кулька. Ще бачимо, що рідина теж набуває руху. Подібні додаткові рухи (завихрення) виникають і в повітрі навколо рухомого тіла.

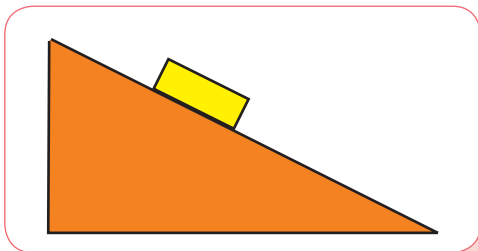
Найяскравіше явище, пов'язане з тертям у повітрі, — це зоряний дощ (мал. 14.4). Насправді жодна зоря не падає і не утворює дощу. Просто *метеороїди*, тверді уламки від піщинки до 30 м в діаметрі, потрапляючи в атмосферу Землі, зазнають такого тертя, що розжарюються, створюючи яскравий слід на небосхилі. Деякі з них не повністю згорають і можуть впасти на поверхню Землі. Такі тверді тіла називають *метеоритами*. Цікаво, що завдяки цим «космічним гостям» маса нашої планети збільшується.



Мал. 14.4

## ДУМАЙ

- 1 За яких умов виникає сила тертя спокою? А сила тертя ковзання? Сила тертя кочення? Від чого залежать ці сили?
- 2 Розглянь малюнок 14.5. Чому брусок не скочується вниз? Яка сила утримує його в стані спокою? Накресли в зошиті сили, що діють на брусок.
- 3 Розглянь малюнок 14.6. Поясни, що означає дорожній знак «Слизька дорога».



Мал. 14.5



Мал. 14.6

- 4 Чому важко писати крейдою по мокрій дошці?
- 5 У яких випадках потрібно:
  - збільшити тертя;
  - зменшити тертя?
- 6 Чому коефіцієнти тертя надано для пари матеріалів, а не для кожного матеріалу окремо? Чому для однієї і тієї самої пари матеріалів відрізняються коефіцієнти тертя спокою та ковзання?
- 7 Об'єднайтесь у дві групи. Проведіть змагання: одна група має навести приклади позитивного впливу тертя, інша — негативного.

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА**

Щоб рівномірно посунути валізу масою 3 кг горизонтальною підлогою, треба прикласти силу 6 Н. Якою буде сила тертя ковзання, якщо у валізу покласти вантаж масою 4 кг?

**Дано:**

$m_1 = 3 \text{ кг}$

$m_2 = 4 \text{ кг}$

$F_1 = 6 \text{ Н}$

$g = 9,8 \text{ Н/кг}$

$F_{\text{тер. ковз}} \text{ — ?}$

**Розв'язання:**

У разі рівномірного руху валізи, прикладена сила  $F_1$  урівноважується силою тертя ковзання  $F_{\text{тер. ковз}}$ , яка визначається за формулою

$F_{\text{тер. ковз}} = \mu N$ , а сила реакції опори урівноважується силою тяжіння:  $N = m_1 g$ .

Прирівнюємо:  $F_{\text{тер. ковз}} = \mu m_1 g = F_1$ . Звідки  $\mu = \frac{F_1}{m_1 g}$ .

Якщо у валізу покласти багаж, то:

$$F_{\text{тер. ковз}} = \mu N = \mu(m_1 + m_2)g = \frac{F_1}{m_1 g} (m_1 + m_2)g.$$

$$\text{Обчислюємо: } F_{\text{тер. ковз}} = \frac{6 \text{ Н} \cdot (3 \text{ кг} + 4 \text{ кг})}{3 \text{ кг}} = 14 \text{ Н}.$$

**Відповідь:** 14 Н.

**ДІЙ****РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ**

- 1 За допомогою динамометра рівномірно переміщують брусок уздовж горизонтальної поверхні. Чому дорівнює сила тертя спокою, якщо динамометр показує 4 Н?
- 2 Яка сила потрібна для рівномірного переміщення візка, якщо сила тертя становить 0,02 його ваги? Вага візка 500 Н.
- 3 Яка сила тертя між загальмованими колесами автомобіля та асфальтовою дорогою, якщо вона становить 0,4 ваги автомобіля, а вага автомобіля дорівнює 15 кН?
- 4 Під час ковзання дерев'яного бруска горизонтальною дошкою сила тертя становить 0,3 ваги тіла, а під час кочення дерев'яного циліндра сила тертя становить лише 0,06 ваги тіла. У скільки разів сила тертя кочення менша, ніж сила тертя ковзання?

5 Цеглину масою 1 кг рівномірно переміщують горизонтальною поверхнею. Визнач силу тертя, якщо коефіцієнт тертя між цеглиною і поверхнею 0,3.

6 Якщо до столу масою 80 кг прикласти зусилля 100 Н паралельно підлозі, він залишиться нерухомим. Яку додаткову силу необхідно прикласти, щоб зрушити стіл, якщо сила тертя спокою стола на підлозі становить 0,3 його ваги?

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6 «ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТА ТЕРТЯ КОВЗАННЯ»

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 14).



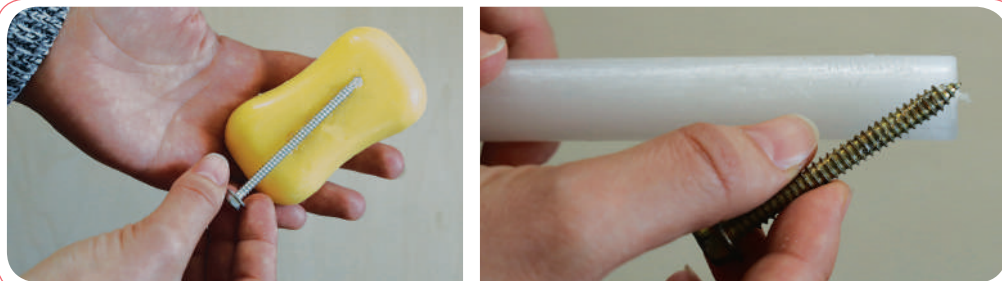
#### Вказівки щодо виконання роботи

1. Поклади брусок на горизонтально розміщену дерев'яну дошку. На брусок постав один тягарець. Прикріпивши до бруска динамометр, рівномірно тягни його вздовж дошки. Записуй показання динамометра (це буде значення сили тертя ковзання  $F_{\text{тер. ковз}}$ ).
2. Визнач вагу бруска з тягарцем (це і буде сила нормального тиску  $N$  на дошку).
3. Визнач коефіцієнт тертя ковзання за формулою  $\mu = \frac{F_{\text{тер. ковз}}}{N}$ .
4. До першого тягарця додавай по черзі другий, третій і виконуй виміри.
5. Визнач середнє арифметичне значення коефіцієнтів тертя, знайдених у трьох дослідах:  $\mu_c = \frac{\mu_1 + \mu_2 + \mu_3}{3}$ . Зроби висновок.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1. Визнач коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву, коли брусок третється об дерев'яну дошку вужчою гранню. Порівняй отримані значення коефіцієнта тертя. Зроби висновок про залежність коефіцієнта тертя ковзання від площі тертьових поверхонь. Наклей на нижню грань бруска папір (або будь-який інший матеріал). Визнач коефіцієнт тертя ковзання. Зроби висновок.

- Визнач коефіцієнт тертя кочення дерева по дереву. Порівняй коефіцієнти тертя ковзання та кочення дерева по дереву. Зроби висновок. Оформи роботу на окремому аркуші.
- Досліди способи збільшення і зменшення тертя. Чи полегшить використання парафінової свічки або мила процес укручування шурупа в дерев'яний брусок (мал. 14.7)? Перевір на практиці.



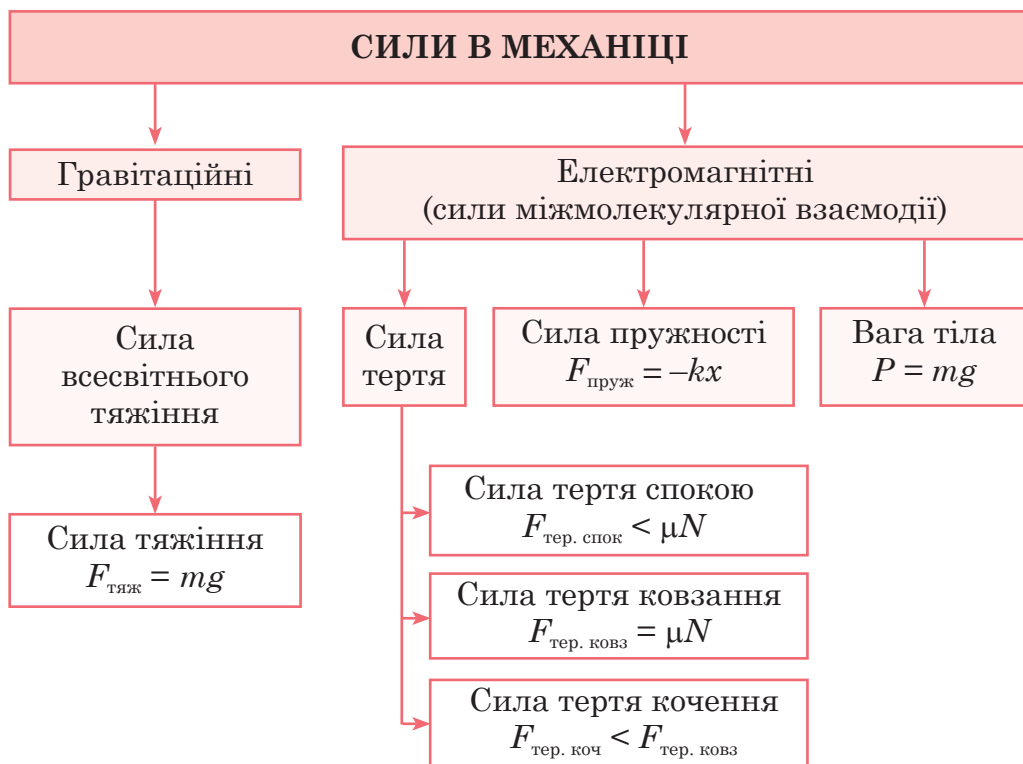
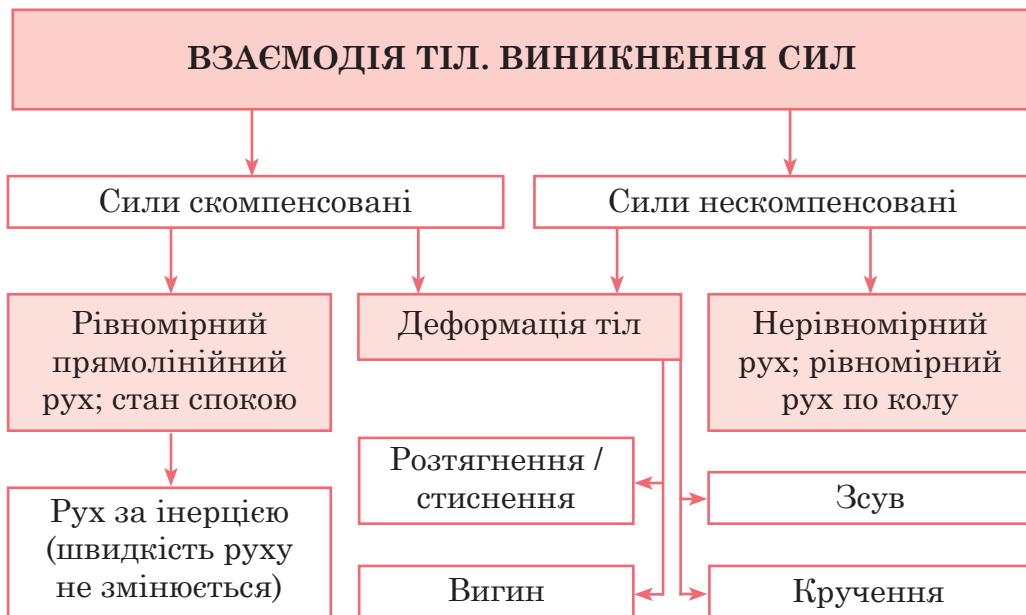
Мал. 14.7

### ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



### Основні фізичні величини, що характеризують речовину, тіло і взаємодію тіл

Фізична величина						
Назва	Що характеризує	Символ	Одиниця в СІ	Формула	Способи вимірювання	Особливості
Маса	Тіло	$m$ (ем)	кг (кілограм)	$\frac{m_1}{m_2} = \frac{v_2}{v_1}$	Зважування. За зміною швидкості руху тіл унаслідок їхньої взаємодії	Характеризує інертні та гравітаційні властивості
Густина	Речовину	$\rho$ (ро)	кг/м <sup>3</sup> (кілограм на метр кубічний)	$\rho = \frac{m}{V}$	За масою та об'ємом	Залежить від температури та агрегатного стану речовини
Сила	Взаємодію	$\vec{F}$ (еф)	Н (ньютон)	Залежить від того, яка це сила	Динамометром. За певними формулами	Під дією сил тіло змінює стан руху і/або деформується



## ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. (0,5 б.) За яких умов тіло зберігає свою швидкість постійною?

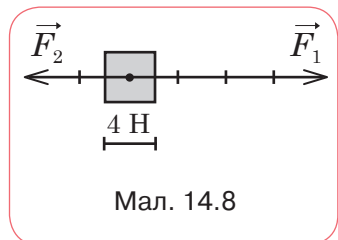
- А** Якщо дія на нього інших тіл компенсується  
**Б** Якщо на нього діє лише одна сила  
**В** Якщо інші тіла діють на нього по чергово  
**Г** Якщо на нього діятиме постійна сила



2. (0,5 б.) Під час взаємодії двох візочків масою 4 кг і 6 кг виявилось, що перший набув за певний інтервал часу швидкості 0,45 м/с. Яку швидкість матиме другий візочок за такий самий час?

- А** 0,67 м/с    **Б** 0,3 м/с    **В** 4,5 м/с    **Г** 0,15 м/с

3. (0,5 б.) На малюнку 14.8 зображено сили, що діють на тіло, та значення одичного відрізка. Визнач модулі сил, прикладених до тіла, величину й напрямок рівнодійної сил.



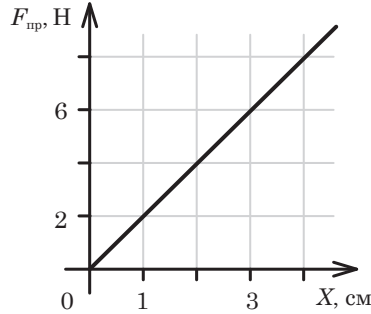
Мал. 14.8

- А**  $F_1 = 2 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 4 \text{ Н}$ ,  $F = 6 \text{ Н}$  у бік сили  $F_1$   
**Б**  $F_1 = 2 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 4 \text{ Н}$ ,  $F = 6 \text{ Н}$  у бік сили  $F_2$   
**В**  $F_1 = 8 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 16 \text{ Н}$ ,  $F = 8 \text{ Н}$  у бік сили  $F_1$   
**Г**  $F_1 = 8 \text{ Н}$ ,  $F_2 = 16 \text{ Н}$ ,  $F = 8 \text{ Н}$  у бік сили  $F_2$

4. (0,5 б.) Вага тіла 500 Н. Яка його маса? ( $g \approx 10 \text{ Н/кг}$ )

5. (1 б.) За графіком залежності сили пружності від видовження визнач жорсткість пружини (мал. 14.9, с. 142).

- А** 150 Н/м                      **В** 250 Н/м  
**Б** 200 Н/м                      **Г** 300 Н/м



6. (1 б.) Тіло вільно падає біля поверхні Землі. За цих умов:
- А Тіло має вагу й на нього діє сила тяжіння
  - Б На тіло діє сила тяжіння, а його вага дорівнює нулю
  - В Тіло має вагу, а сила тяжіння дорівнює нулю
  - Г Сила тяжіння і вага дорівнюють нулю
7. (1 б.) Яка густина рідини, 125 л якої мають масу 100 кг?
8. (1 б.) Яку силу потрібно прикласти до пружини, жорсткість якої дорівнює 50 Н/м, щоб вона видовжилася на 5 см?
9. (1 б.) Вага тіла на планеті Юпітер становить 540 Н. Визнач вагу цього тіла на Землі, якщо для Юпітера  $g = 27$  Н/кг.
10. (1 б.) Цеглину масою 1 кг рівномірно переміщують горизонтальною поверхнею. Визнач силу тертя, якщо коефіцієнт тертя між цеглою і поверхнею 0,3.
11. (2 б.) Якщо до столу масою 80 кг прикласти зусилля 100 Н паралельно підлозі, він залишиться нерухомим. Яку додаткову силу потрібно прикласти, щоб зрушити стіл, якщо сила тертя спокою стола на підлозі становить 0,3 його ваги?
12. (2 б.) Алюмінієвий брусок об'ємом  $200 \text{ см}^3$  підвісили до динамометра. Пружина розтягнулася на 5 см. Яку силу показуватиме динамометр, якщо розтяг його пружини становитиме 10 см?





## РОЗДІЛ 3. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ, РІДИН І ГАЗІВ



### ТИ ДІЗНАЄШСЯ

Від чого залежить тиск твердого тіла на поверхню.  
Чим тиск рідин і газів відрізняється від тиску твердих тіл.  
Як склянкою води можна розламати дерев'яну бочку.  
Який тиск чинить на тебе атмосфера.  
Які особливості мають сполучені посудини.  
Чому під водою можна легко підняти камінь, який зі значними зусиллями піднімаємо в повітрі.  
За яких умов тіло тоне, а за яких — спливає.



### ТИ НАВЧИШСЯ

Вимірювати (збільшувати та зменшувати) тиск твердих тіл, рідин і газів.  
Користуватися барометрами й манометрами.  
Визначати умови плавання тіл.



### ТИ ЗРОЗУМІЄШ

Практичне застосування закону Паскаля, закону Архімеда, властивостей сполучених посудин.  
Прояви тиску в природі й техніці.

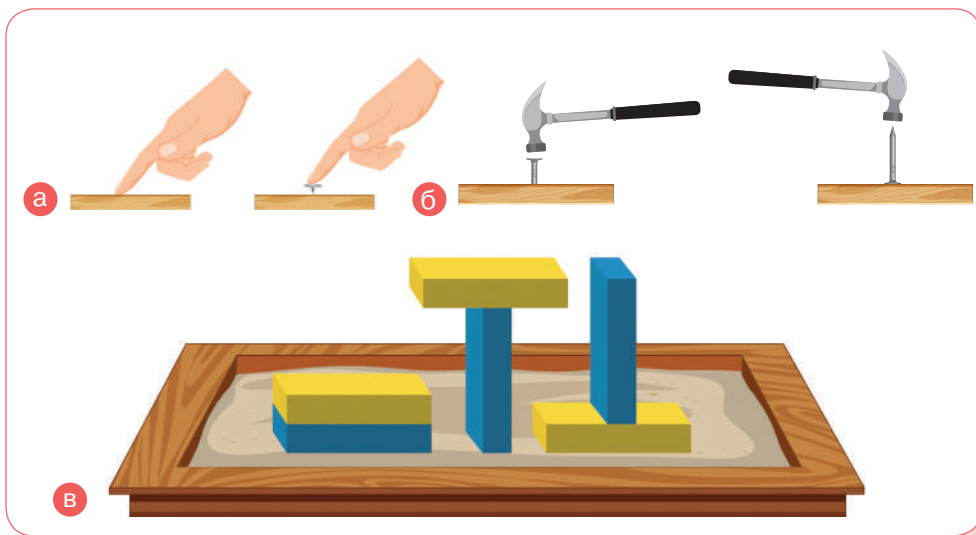
## § 15. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ТИСК ТВЕРДОГО ТІЛА НА ПОВЕРХНЮ



Від чого залежить тиск твердого тіла на поверхню?

### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Розглянь малюнок 15.1, а—в. Спробуй відтворити досліди. Натисни пальцем на стіл, а потім на канцелярську кнопку. Забий один цвях шапочною донизу, інший — гострим кінцем. Виклади в пісок однакові за масою бруски різними гранями. Чи можеш виявити залежність між прикладеною дією, силою тиску і площею поверхні?



Мал. 15.1

### ДІЗНАВАЙСЯ

*Від чого залежить результат дії сили?* Як тобі вже відомо, внаслідок дії сили тіло може змінювати свій стан руху і/або деформуватися. Результат дії сили на тіло залежить від її модуля, напрямку й точки прикладання. Сподіваємося, щойно ти і твої однокласники та однокласниці переконалися, що можна досить сильно тиснути пальцем на поверхню дерев'яної дошки, але вона не знає відчутних деформацій. Якщо з тією самою силою тиснути на металеву кнопку, то її гострий кінчик легко деформує дерев'яну

поверхню, проколюючи її. А які враження від спроби забити цвяха шапochкою вниз? Угору? Як видно з досліду (мал. 15.1, В), бруски діють з однаковою силою, що дорівнює їхній вазі, проте результат дії неоднаковий, бо різна площа поверхні.

Наведені приклади доводять, що результат дії сили залежить і від того, яка сила діє на одиницю площі поверхні. До того ж сила, що прикладена до тіла, напрямлена перпендикулярно до площі поверхні, на яку вона діє.

Тиск позначається літерою  $p$ .  
Одиницею тиску є паскаль, 1 Па.

Фізична величина, що характеризує дію сили, напрямленої перпендикулярно до поверхні, називається **ТИСКОМ** (*pressure*).

**Як визначити тиск твердого тіла на поверхню?** Щоб визначити тиск, треба силу, яка діє перпендикулярно до поверхні, поділити на площу поверхні:

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

де  $p$  — тиск;  $F$  — сила, яка діє на поверхню;  $S$  — площа поверхні.

Знаючи тиск, легко визначити *силу тиску*:  $F = pS$  або *площу* поверхні, на яку вона діє:  $S = \frac{F}{p}$ .

Одиницю тиску назвали на честь французького вченого Блеза Паскаля.

З формули  $p = \frac{F}{S}$  видно, що  $1 \text{ Па} = 1 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$ .

Використовують також інші одиниці тиску: гектопаскаль, 1 гПа, і кілопаскаль, 1 кПа.

$$1 \text{ кПа} = 1000 \text{ Па}, \quad 1 \text{ Па} = 0,001 \text{ кПа},$$

$$1 \text{ гПа} = 100 \text{ Па}, \quad 1 \text{ Па} = 0,01 \text{ гПа}.$$

Тиск 1 Па дуже малий. Такий тиск чинить тіло масою 1 г на поверхню площею  $100 \text{ см}^2$ . Наприклад, аркуш паперу на долоню.

У природі й техніці трапляються досить великі значення тиску:

- тиск жала бджоли —  $5 \cdot 10^7 \text{ Па}$ ;
- тиск ковзаняра на лід —  $10^6 \text{ Па}$ ;
- тиск автомобіля на дорогу —  $5 \cdot 10^5 \text{ Па}$ ;
- тиск гусениць трактора на ґрунт —  $5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ ;
- тиск людини під час ходьби —  $2,5 \cdot 10^4 \text{ Па}$ .

Зверни увагу на два останні значення тиску. Важкий гусеничний трактор, маса якого десятки тисяч кілограмів, чинить на ґрунт тиск, який лише у 2 рази більший, ніж тиск людини під час ходьби!

За потреби тиск можна змінювати. Чи можете назвати два способи зміни тиску?

Перший спосіб, думаю, такий: за незмінної сили слід змінити площу, на яку вона діє. Зі збільшенням площі тиск зменшиться. І навпаки, зі зменшенням площі тиск збільшиться.

А другий — такий: змінити силу, яка діє на поверхню певної площі. Зі збільшенням сили тиск зросте, зі зменшенням сили — зменшиться.



Щоб зменшити тиск снігоходів, усюдиходів та інших транспортних засобів для пересування по піску, снігу, болоту (мал. 15.2, **а**, **б**), їхні колеса роблять якомога ширшими. Менший тиск створює й наплічник із широкими лямками (мал. 15.2, **в**). Для збільшення тиску площу зменшують. Гострою голкою легше проколювати, гострим ножем — різати (мал. 15.2, **г**, **г**). Жало бджоли (мал. 15.2, **д**) здійснює на поверхню шкіри такий самий тиск, як і вантаж масою десятки тонн на  $1 \text{ см}^2$ . Щоб створити такий надвисокий тиск для промислових цілей (наприклад, для отримання штучних алмазів), інженери розробляють складне устаткування.



Мал. 15.2

## ДУМАЙ

- 1 Наведи приклади, які підтверджують, що дія сили залежить від площі поверхні, на яку вона діє.
- 2 Як зміниться тиск і сила тиску людини на підлогу, якщо вона підніме одну ногу?
- 3 Чому на м'якому ліжку лежати зручніше, ніж на твердій підлозі?
- 4 Яке значення тиску 6 Н/м<sup>2</sup>, 60 Н/см<sup>2</sup> чи 600 кПа — найбільше?
- 5 Розглянь малюнок 15.3, а, б. Укажи, де зображено євразійську, а де канадську рись. Які пристосування рисі до умов життя в певній місцевості пов'язані з темою, яку вивчає сьогодні на уроці? Що тобі відомо про карпатську рись?



Мал. 15.3

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА**

На скільки зміниться тиск людини масою 65 кг на підлогу, якщо вона ляже. Площа підшви взуття — 0,07 м<sup>2</sup>, площа людини в лежачому стані — 0,7 м<sup>2</sup>.

**Дано:**

$$m = 65 \text{ кг}$$

$$S_1 = 0,07 \text{ м}^2$$

$$S_2 = 0,7 \text{ м}^2$$

$$\Delta p \text{ — ?}$$

**Розв'язання:**

Тиск визначають за формулою  $p = \frac{F}{S}$ .

Сила, з якою людина тисне на підлогу, дорівнює її вазі:  $F = P = mg$ . Отже,  $p = \frac{mg}{S}$ .

$$\text{У першому випадку: } p_1 = \frac{65 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{0,07 \text{ м}^2} = 9100 \text{ Па.}$$

$$\text{У другому: } p_2 = \frac{65 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{0,7 \text{ м}^2} = 910 \text{ Па.}$$

Зміна тиску людини на підлогу:  $\Delta p = p_1 - p_2$ .  
 $\Delta p = 9100 \text{ Па} - 910 \text{ Па} = 8190 \text{ Па}$ .

**Відповідь:** на 8190 Па.

Аналізуючи розв'язок задачі, бачимо, що стоячи людина чинить тиск у 10 разів більший, ніж коли лежить. Це враховують рятувальники, яким доводиться витягувати людей, що провалилися під кригу (мал. 15.4).



Мал. 15.4

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

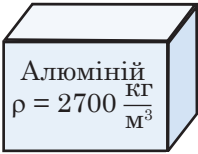
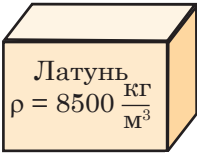
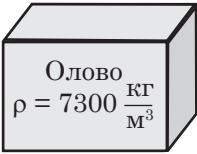
- Визнач тиск у кожному випадку та впорядкуй шкалу тиску за значенням від найбільшого до найменшого:
  - слон (площа підшви однієї ноги —  $750 \text{ см}^2$ , маса — 4 т);
  - шило, яким працює швець із силою 10 Н, площа вістря шила —  $0,25 \text{ мм}^2$ ;
  - голка, якою вишивають, діючи силою 5 Н, площа гострого кінця голки —  $0,01 \text{ мм}^2$ ;
  - лопата, яку встромляють у ґрунт із силою 400 Н. Ширина різального краю лопати — 20 см, товщина — 0,2 мм;
  - український танк Т-84 «Оплот» масою 48 т, загальна опорна площа гусениць —  $5 \text{ м}^2$ ;
  - вантажний автомобіль масою 8 т (площа дотику одного колеса з дорогою —  $400 \text{ см}^2$ );
  - коток масою 48 т, який ущільнює покриття під час будівництва доріг. Площа опори котка —  $0,12 \text{ м}^2$ ;
  - вовк масою 50 кг, що стоїть нерухомо. Площа лап —  $100 \text{ см}^2$ .
- Вислови припущення, хто чинить більший тиск (мал. 15.5). Обчисли тиск і перевір свою гіпотезу.

$m_1 = 4000 \text{ кг}$		$m_2 = 50 \text{ кг}$
$S_1 = 750 \text{ см}^2$		$S_2 = 2 \text{ см}^2$

Мал. 15.5

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Оціни свій тиск на підлогу. Щоб визначити площу підошви, стань на аркуш із зошита в клітинку й обведи контур підошви. Потрібно порахувати всі цілі клітинки й до них додати половину числа нецілих клітинок. Нагадаємо, що сторона клітинки становить 0,5 см.
- Об'єднайтеся в групи й виконайте практичні завдання. Використовуючи динамометр, обчисліть тиск, що чинить брусок на поверхню стола, якщо його розміщувати різними гранями. I група — площа бруска максимальна, II група — площа середня, III група — площа мінімальна. Обчисліть тиск брусків, користуючись малюнком (мал. 15.6). I група — брусок з алюмінію, II група — з латуні, III група — з олова.

		
--	--	--

Мал. 15.6

- Досліди, у скільки разів зміниться тиск на підлогу, який створює твій письмовий стіл, якщо його перевернути ніжками догори. Відповідь слід знайти, не перевертаючи і не зважуючи стіл!
- Знайди інформацію про найдавніше пристосування для пересування по снігу й болотистій місцевості — лапки, снігоходи, снігоступи, поступальні лижі. Склади каталог снігоступів, які використовують у Європі. Порівняй їх зі снігоступами жителів інших континентів. У чому особливості закарпатських снігоступів?
- Маленьке курчатко, коли вилуплюється, легко розколює шкаралупу яйця. А чи однаково просто розколоти яйце зовні? Досліди, яке навантаження може витримати яйце. Візьми чотири яйця однакового розміру, два лотки для яєць, картон, пластикові пляшки з водою (мал. 15.7).



Мал. 15.7

- Дізнайся з додаткових джерел, як архітектори й інженери враховують міцність опуклих конструкцій.

## § 16. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ТИСК РІДИН І ГАЗІВ



Чим тиск рідин і газів відрізняється від тиску твердих тіл?

### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Опускай склянку в посудину з водою, тримаючи її у вертикальному положенні догори дном, і спостерігай за рівнем води в ній (мал. 16.1). Можеш пояснити, чому рівень води у склянці менший, ніж у посудині?
- 2 Зроби голкою в гумовій кульці дрібні отвори. Набери в кульку воду й зав'яжи. Спрогнозууй, як полетиться вода, якщо стиснути кульку (мал. 16.2).



Мал. 16.1



Мал. 16.2

### ДІЗНАВАЙСЯ

**Чим зумовлений тиск газів?** Оскільки молекулярна будова газів відрізняється від будови твердих тіл, то і природа тиску газів відрізняється від природи тиску твердих тіл. У газах молекули безладно рухаються. Під час свого руху вони стикаються одна з одною, а також зі стінками посудини, у якій міститься газ. Розміри молекул дуже малі, й сила удару також мала. Але число молекул газу в посудині дуже велике (в  $1 \text{ см}^3$  міститься приблизно  $10^{19}$  молекул). Саме сумарною дією ударів молекул газу спричиняється тиск газу на стінки посудини (і на вміщене в газ тіло).

Для того щоб збільшити тиск газу, потрібно:

- а) збільшити кількість ударів молекул об стінки посудини;
- б) збільшити силу ударів;
- в) зробити й те, й інше одночасно.



Розглянь малюнок 16.3, **а**–**в**, і спробуй пояснити, що відбувається, як і чому змінюється тиск повітря. Перевір себе. Прочитай пояснення нижче.



Мал. 16.3

Шкіряний м'яч накачують повітрям (мал. 16.3, **а**). Збільшується кількість повітря (маса повітря), натомість об'єм камери м'яча залишається таким самим, отже, збільшується густина повітря. Тобі добре відомо, що накачаний м'яч важко стиснути — протидіє тиск повітря всередині м'яча. Збільшити густину повітря можна і в інший спосіб. У посудині під поршнем міститься повітря певної маси (мал. 16.3, **б**). Що відбуватиметься, якщо опускати поршень? У деякий момент ти можеш відчути, що далі поршень не опускається, навіть якщо сильно тиснути. Зменшується об'єм, що займає повітря під поршнем, а отже, збільшується густина повітря і його тиск під поршнем.

Кульки на малюнку 16.3, **в** і **г**, зав'язані й містять певну кількість повітря. Об'єм і масу цього повітря ми не змінюємо. Проте видно, що щось-таки змушує кульки роздуватися. Коли гумову кульку обливають гарячою водою (мал. 16.3, **в**), збільшується інтенсивність руху частинок повітря, а отже, й сила їхніх ударів.

У випадку на малюнку 16.3, **г**, відкачують повітря під скляним ковпаком. Відповідно, інтен-



Тиск газів

сивність ударів елементарних частинок повітря на кульку зменшується, а в кульці — зростає, і вона збільшується в об'ємі.

**Чим зумовлений тиск рідин?** Рідини, як і тверді тіла, тиснуть на дно посудини. Унаслідок земного тяжіння кожен верхній шар рідини своєю вагою тисне на шари, що містяться нижче. На відміну від твердих тіл, рідини плинні. Тому вони створюють тиск як на дно, так і на бічні стінки посудини, у якій містяться.

**Учому полягає закон Паскаля?** Рухомість молекул рідин і газів є причиною того, що тиск ними передається не лише в напрямку дії сили, а в усіх напрямках. Цю особливість дослідив французький фізик Блез Паскаль, який сформулював закон, названий на його честь *законом Паскаля (Pascal's law)*:



Тиск рідини

Тиск, який діє на рідину або газ, передається ними в усіх напрямках однаково.

Переконайтесь у цьому ти мав / мала змогу на досліді (мал. 16.2, с. 150).

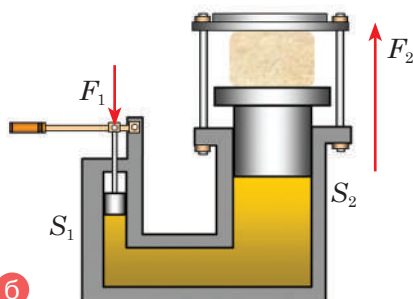


У природі властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках можна спостерігати в багатьох явищах та процесах. Наприклад, незважаючи на те, що кровоносні судини мають велику кількість вигинів, тиск, створюваний серцем, передається в усі частини тіла.

**Як застосовують закон Паскаля в техніці?** На законі Паскаля ґрунтується дія *пневматичних і гідравлічних машин*: відбійних молотків, гідравлічних гальм, пресів, підйомників тощо.



а



б

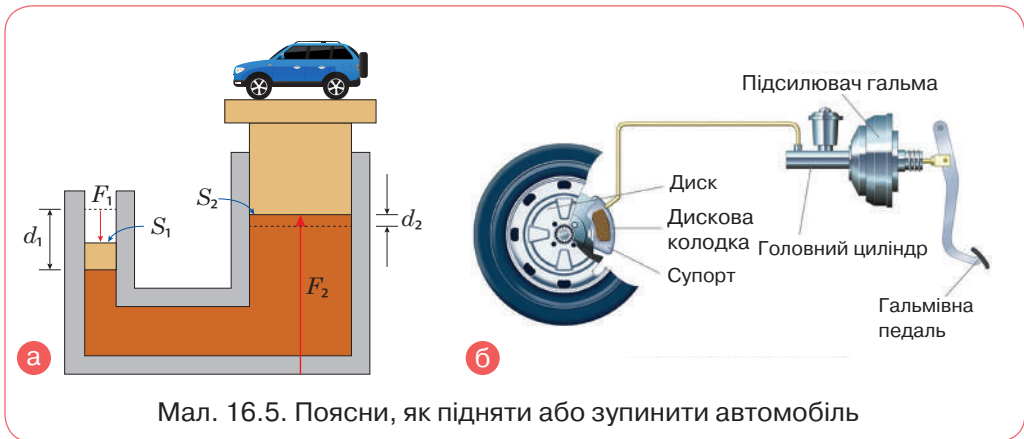
Мал. 16.4

Сучасні конструкції гідравлічних пресів (*hydraulic press*) дуже різноманітні залежно від призначення. На малюнку 16.4, **а**, показано один із типів гідравлічного преса. Він складається з двох циліндрів різного діаметра з поршнями (мал. 16.4, **б**). Принцип дії у них однаковий.



Гідравлічний прес

Якщо прикласти невеликі зусилля  $F_1$  до малого поршня  $S_1$ , створюється тиск  $p_1 = \frac{F_1}{S_1}$ . Цей тиск, за законом Паскаля, без зміни передається в кожную точку рідини, яка заповнює циліндри (як правило, використовують мінеральне мастило). Тому такий самий тиск діє і на другий поршень  $p_2 = \frac{F_2}{S_2}$ . Відповідно сила  $F_2$  у стільки разів більша за силу  $F_1$ , у скільки разів площа великого поршня  $S_2$  більша за площу малого поршня  $S_1$ :  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ . Відношення  $F_2/F_1$  називається виграшем у силі.



Мал. 16.5. Поясни, як підняти або зупинити автомобіль

За таким принципом працюють й інші гідравлічні інструменти та пристрої. Так, гідравлічний підйомник дає змогу, приклавши невелику силу, підняти важкий автомобіль (мал. 16.5, **а**), а гідравлічне гальмо — зупинити автомобіль, приклавши незначну силу тиску ноги (мал. 16.5, **б**).

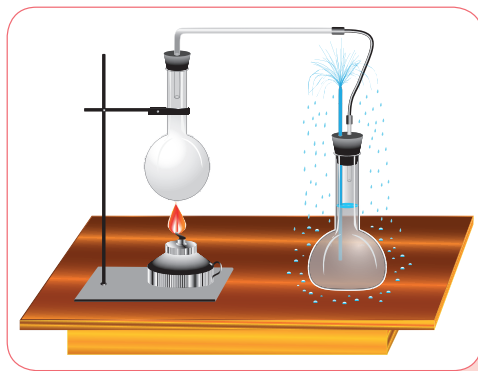
У роботі заклепувальних машин і відбійних молотків використовують стиснуте повітря. Стиснутим повітрям також відчиняють двері вагонів поїздів і тролейбусів.



Гідравлічне гальмо

**ДУМАЙ**

- 1 Чим тиск рідин і газів відрізняється від тиску твердих тіл?
- 2 Як пояснюють тиск газу на основі вчення про рух молекул?
- 3 Як можна змінити тиск газу?
- 4 Чим зумовлений тиск рідини?
- 5 Яка властивість є спільною для рідин і газів?
- 6 Доведи, що властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках має неабияке значення в нашому житті.
- 7 Поясни, чому вода б'є фонтаном (мал. 16.6).
- 8 Кидати скляний або металевий герметичний балон у багаття дуже небезпечно, навіть якщо в балоні міститься звичайне повітря. Поясни чому.
- 9 Чи зміниться, а якщо зміниться, то як, тиск у шинах велосипеда, якщо ти вирішиш покатати на ньому друга чи подругу?



Мал. 16.6

**ДІЙ**

**РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ**

- 1 Накресли таблицю в зошиті та заповни її (таблиця 16.1).
- 2 Під дією сили 300 Н малий поршень гідравлічної машини опустився на 4 см, а великий піднявся на 1 см. Визнач силу, що діяла на великий поршень.

Таблиця 16.1

Малий поршень		Великий поршень	
$F_1$	$S_1$	$F_2$	$S_2$
	4 см <sup>2</sup>	18 кН	180 см <sup>2</sup>
200 Н	10 см <sup>2</sup>		200 см <sup>2</sup>
100 Н		5 кН	120 см <sup>2</sup>

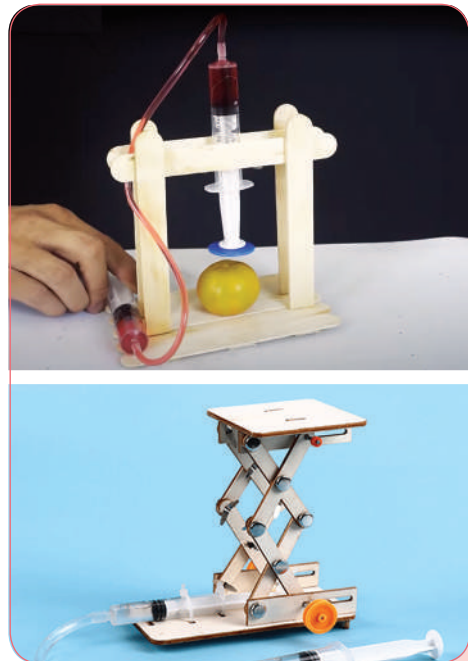
- 3 Малий поршень гідравлічного преса за один хід опускається на 25 см, а великий поршень піднімається на 5 мм. Яка сила тиску передається на великий поршень, якщо на малий поршень діє сила 200 Н?
- 4 Малий поршень гідравлічного преса під дією сили 400 Н опустився на 22 см. Визнач силу тиску на великий поршень, якщо відношення площ поршнів дорівнює 45. На скільки опустився великий поршень?

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Доведи на досліді, що гази створюють тиск на стінки посудини, у якій містяться.
- 2 Перевір принцип роботи механічної машини. Тобі знадобляться: шприци різних розмірів, гнучка трубка, вода (мал. 16.7). Визнач площі поршнів. З'єднай два шприци на 20 мл і на 5 мл гнучкою трубкою, заповненою водою. З'ясує, на скільки поділок зміститься поршень у великому шприці, якщо в малому змістити поршень на п'ять поділок. Перевір, чи можна таким механізмом підняти цей підручник. Виконай подібні досліди із з'єднаними шприцями інших розмірів.
- 3 Skorистайся додатковими джерелами інформації та дізнайся, як працюють деякі гідравлічні і пневматичні пристрої (наприклад, гідравлічні ножиці, пневматичні маніпулятори). Підготуй повідомлення й виготов модель одного з пристроїв (мал. 16.8).



Мал. 16.7



Мал. 16.8

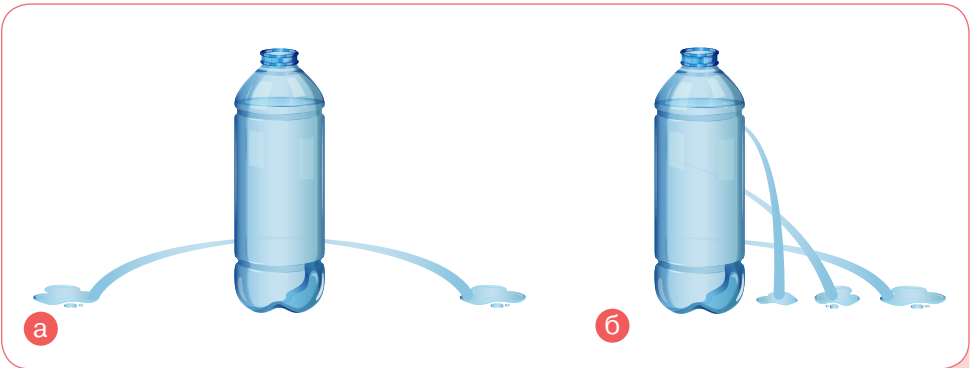
# § 17. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ТІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК



А чи відомо тобі, що склянкою води можна розламати дерев'яну бочку?

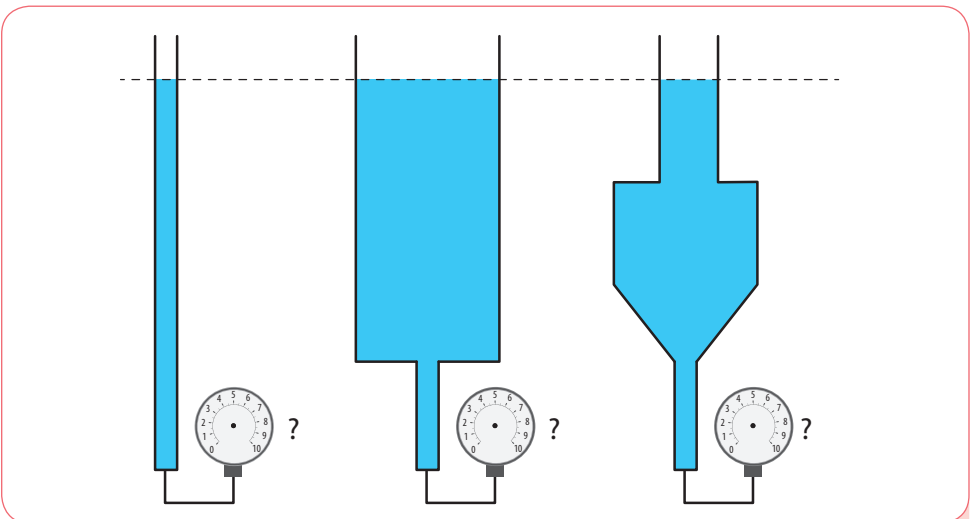
## ДОСЛІДЖУЙ

1 Виконай досліди або поясни зображене на малюнку 17.1, а і б.



Мал. 17.1

2 Розглянь малюнок 17.2. Усі три посудини містять воду, яку налито до однакової висоти. Як ти вважаєш, чи однаковий тиск покажуть прилади, встановлені внизу посудин? Не бійся помилитися. Цікаво перевірити свій прогноз?



Мал. 17.2

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Як визначити гідростатичний тиск?**

Унаслідок притягання до Землі та завдяки власній плинності рідина створює тиск як на дно, так і на стінки посудини, у якій вона міститься, та на будь-яке занурене в неї тіло.

Розрахуй гідростатичний тиск, який чинить рідина на дно посудини внаслідок дії на неї сили тяжіння (мал. 17.3, а). За означенням, тиск дорівнює відношенню сили тиску до площі поверхні, на яку діє сила:  $p = \frac{F}{S}$ . Силою тиску в цьому випадку є вага рідини:  $F = P = mg$ . Масу рідини найпростіше розрахувати за її густиною та об'ємом, який вона займає:  $m = \rho V$ . Об'єм, що займає рідина в посудині, можна обчислити таким способом:  $V = Sh$ , де  $h$  — рівень води в посудині;  $S$  — площа дна посудини. Тоді

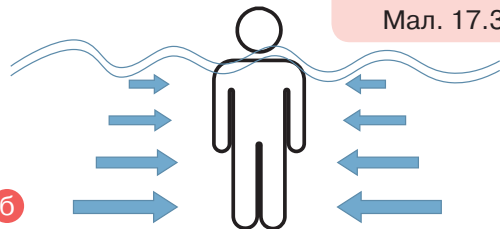
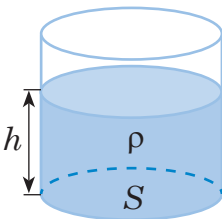
Тиск нерухокої рідини називають **гідростатичним тиском** (*hydrostatic pressure*).

$$p = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Vg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$$

З формули  $p = \rho gh$  видно, що тиск рідини на дно посудини залежить тільки від густини й висоти стовпа рідини. Тому зрозуміло, чому в досліді 17.1 вода з більшим напором виливалася з нижніх отворів у пляшці.

Тобто якщо я буду у воді, то на ноги вода тиснути-ме більше? А як тоді закон Паскаля? Тиск же має передаватися в усі боки однаково.

Так, тиск рідини на різних рівнях різний, але на одному і тому самому рівні він діє однаково в усі боки, з глибиною тиск збільшується (мал. 17.3, б). За формулою  $p = \rho gh$  можна визначити тиск усередині рідини, зокрема тиск знизу вгору та на стінки посудини будь-якої форми.



Мал. 17.3

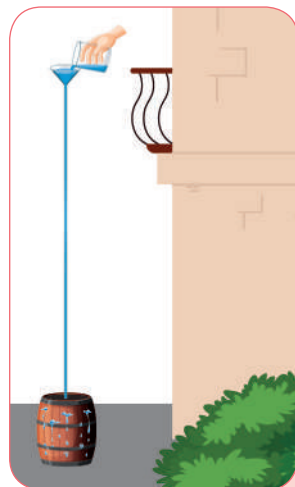
**Що таке гідростатичний парадокс?** У завданні 2 (с. 156) тобі пропонувалося висловити думку, чи однаковим буде тиск на дно посудин. У всіх посудинах вода налита до однакового рівня, отже, і створений тиск на дно кожної посудини буде однаковим.

Така відповідь очевидна, коли знаєш формулу гідростатичного тиску. Якщо ж обчислювати за формулою  $p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S}$  і взяти, наприклад, посудини різної форми, але з однаковою площею дна (мал. 17.4), то логічним буде висновок: що більша вага води, то більший тиск. Але не забувай про закон Паскаля. Сила тиску діє не лише на дно, а й на стінки посудини. Тому безпосередньо на дно посудин діє однаковий тиск, він не залежить від ваги рідини.



Мал. 17.4

Збільшити гідростатичний тиск можна, піднявши рівень рідини. Цим свого часу скористався Блез Паскаль. За його вказівкою міцну дубову бочку по самі вінця наповнили водою й наглухо закрили кришкою. У невеликий отвір у кришці вставили один кінець вертикальної трубки такої довжини, що інший кінець її виявився на рівні другого поверху. Вийшовши на балкон, Паскаль почав наповнювати трубку водою (мал. 17.5). Не встиг він вилити і другого кучля, як раптом, на подив роззяв, які обступили бочку, вона з тріском лопнула. Її розірвала незрозуміла сила. Паскаль пояснив це так: сила, що розірвала бочку, зовсім не залежить від кількості води в трубці. Уся справа у висоті, до якої трубка була заповнена. Цим дослідом підтверджується і властивість води передавати тиск по всьому об'єму, кожній точці стінки або дна.



Мал. 17.5



**Який гідростатичний тиск у водоймах?** Глибина океанів досягає кількох кілометрів. Тому на дні океану величезний тиск. Так, наприклад, на глибині 10 км (а є й більші глибини) тиск становить близько 100 000 000 Па. Незважаючи на це, внаслідок малої стисливості води густина її на дні океанів не набагато більша, ніж біля поверхні.

Як показують спеціальні дослідження, на великих океанських глибинах живуть риби й деякі інші живі істоти (мал. 17.6). Організм цих риб пристосований до існування в умовах великого тиску й температури. Їхні тіла здатні витримувати тиск у мільйони паскалів. Зрозуміло, що такий самий тиск існує і всередині самих риб.



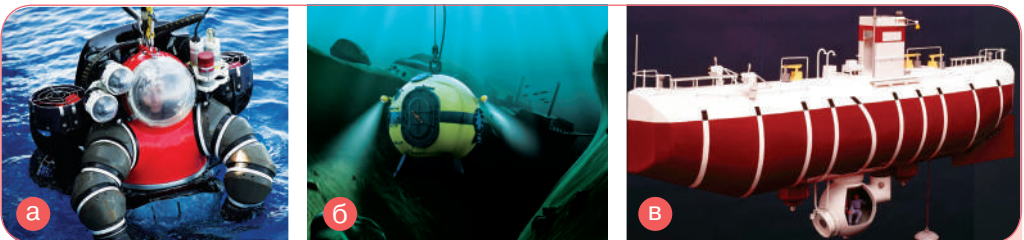
Мал. 17.6



Поясни, чому таких істот ми не зустрічаємо в поверхневих водах океану.

Людина після спеціального тренування може без особливих запобіжних засобів занурюватися на глибину до 80 м. Тиск води на таких глибинах — близько 800 кПа. На більших глибинах, якщо не вжити спеціальних засобів, грудна клітка людини може не витримати тиску води. Тому в таких випадках застосовують спеціальні водолазні костюми (мал. 17.7, а).

Для дослідження моря на значних глибинах використовують батисфери і батискафи. Батисферу опускають у море на сталевому тросі зі спеціального корабля (мал. 17.7, б). Батискаф не поєднаний із кораблем тросом. Він має власний двигун і здатний пересуватися на великій глибині в будь-якому напрямку (мал. 17.7, в).



Мал. 17.7

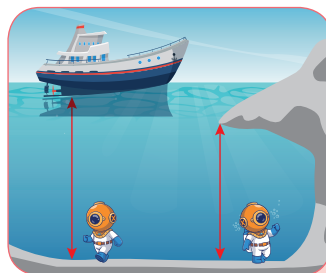
## ДУМАЙ

- 1 Чому виникає тиск рідин?
- 2 Які величини треба знати, щоб обчислити гідростатичний тиск рідини на стінки посудини?

3 Однакового чи різного тиску зазнають два водолази, які перебувають на дні моря (мал. 17.8)?

4 Як довести, що тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим?

5 Чи змінюється тиск води на дно ванни, коли людина у ванні сідає або встає? Якщо змінюється, то чому?



Мал. 17.8

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

## ЗАДАЧА

Визнач тиск, що діє на нижню й верхню грань кубика, який міститься у воді (мал. 17.9). Довжина ребра кубика 5 см, глибина занурення верхньої грані — 10 см.

## Дано:

$$a = 5 \text{ см}$$

$$h_1 = 10 \text{ см}$$

$$p_1 = ?$$

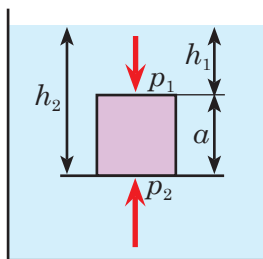
$$p_2 = ?$$

## СІ

$$0,05 \text{ м}$$

$$0,1 \text{ м}$$

## Розв'язання:



Мал. 17.9

На верхню грань кубика діє тиск стовпа рідини заввишки  $p_1 = \rho g h_1$ .

Тиск на нижню грань визначається стовпом рідини заввишки  $h_2 = h_1 + a$ .

За законом Паскаля цей тиск діє знизу догори:  $p_2 = \rho g h_2 = \rho g (h_1 + a)$ .

$$p_1 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м} = 0,98 \text{ кПа.}$$

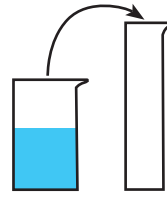
$$p_2 = 10^3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,15 \text{ м} = 1,47 \text{ кПа.}$$

**Відповідь:** на верхню грань діє тиск 0,98 кПа, на нижню — 1,47 кПа.

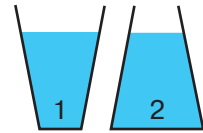
## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Зі скляного циліндра воду переливають у посудину, площа дна якої у 2 рази менша й має форму, зображену на малюнку 17.10. Яким буде тиск на дно цієї посудини порівняно з попереднім випадком?
- 2 Порівняй тиски та сили тисків на дно посудин, у які налили до одного рівня однакову рідину (мал. 17.11).
- 3 Українська плавчиня Катерина Садурська встановила світовий рекорд із глибоководного пірнання. Занурилася харків'янка із затримкою дихання на глибину 76 м без ластів, маски та інших допоміжних засобів. Визнач, який найбільший гідростатичний тиск діяв на пірнальницю.
- 4 У липні 2021 року в Дубаї відкрився новий атракціон для охочих до активних видів відпочинку — басейн для дайвінгу Deep Dive Dubai. Його глибина становить 60 метрів. Визнач тиск на дні цього басейну та на глибині 15 м від дна басейну.
- 5 На якій глибині тиск у воді становить 8 кПа? На якій глибині такий самий тиск буде в нафті?
- 6 Куб, довжина ребра якого 10 см, занурюють у воду так, що його верхня грань знаходиться на глибині 15 см. Визнач силу тиску води на нижню й бічну грані.
- 7 Бак, основа якого 100 см х 60 см, а висота — 40 см, повністю заповнений водою. Визнач силу тиску води на дно бака.
- 8 Акваріум, що має висоту 32 см, довжину 50 см і ширину 20 см, заповнено водою, рівень якої нижче від краю на 2 см. Визнач тиск води на дно акваріума та вагу води. З якою силою вода тисне на стінку шириною 20 см?
- 9 У циліндричну посудину налили рівну за масою кількість води і ртуті. Загальна висота стовпа рідини в посудині — 140 см. Визнач тиск на дно посудини.
- 10 Прямокутна посудина місткістю 2 л заповнена наполовину водою та наполовину гасом. Дно посудини квадратної форми зі стороною 10 см. Який тиск рідин на дно посудини? Яка вага рідин у посудині?
- 11 Яку силу слід прикласти, щоб відкрити аварійний люк підводного човна на глибині 150 м? Площа люка —  $4000 \text{ см}^2$ .
- 12 Визнач силу, яка тисне на дно бочки в досліді Паскаля, якщо висота води в трубці становить 4 м, а діаметр і висота бочки дорівнюють 0,8 м. Визнач масу тіла, яке тиснутиме на дно бочки саме з такою силою, якщо площа дотику тіла і дна дорівнюватиме площі дна.



Мал. 17.10



Мал. 17.11

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 З яким обладнанням ти можеш повторити дослід Б. Паскаля (мал. 17.5, с. 158)? Опиши свої дії. За можливості виконай дослід.

# § 18. ДОСЛІДЖУЄМО АТМОСФЕРНИЙ ТИСК



Який тиск чинить на тебе атмосфера?

## ДОСЛІДЖУЙ

Спрогнозуй, що відбуватиметься, якщо наповнену до половини водою склянку накрити аркушем паперу і, притримуючи долонею папір, перевернути. Що відбуватиметься, якщо відпустити долону? На малюнку 18.1 — правда чи фейк? Перевір. Підготуй додаткові заходи для проведення досліду (широку миску, відро тощо). Поясни результати.



Мал. 18.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

**У чому особливість атмосферного тиску?** Атмосфера (*atmosphere*) — це газова оболонка Землі. Суміш газів у нижньому шарі атмосфери називають *повітрям* (*air*). На відміну від газів, що містяться в балонах, повітря не обмежене стінками посудини.



Чому ж повітря не поширюється в космос?

За підрахунками, атмосфера Землі має масу близько  $5 \cdot 10^{18}$  кг. Планета притягує атмосферу завдяки земному тяжінню.



Чому тоді внаслідок земного тяжіння все повітря не притиснулося до поверхні Землі щільним-щільним шаром?

Молекули газів перебувають у постійному русі, вдаряються, змінюють напрямок. Спільна дія притягання та хаотичного руху й утримують атмосферу навколо Землі.



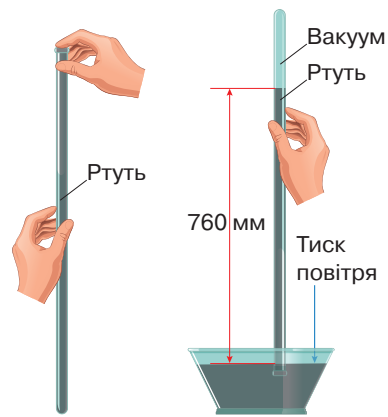
Ще одна особливість атмосфери — вона неоднорідна. На відмінну від газів у балонах, молекули яких рівномірно розподіляються в усьому об'ємі, з висотою атмосфера стає розрідженою, її густина зменшується.

На висоті 5 км густина повітря майже в 2 рази менша, ніж біля поверхні Землі.

Ти вже знаєш, що густина газів залежить від температури. Земна поверхня, від якої нагрівається повітря, прогрівається нерівномірно, що зумовлює виникнення в атмосфері Землі області з високим і низьким тиском.

**Як вимірюють атмосферний тиск?** Під дією земного тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари. Дослідження дали змогу обчислити тиск атмосферного повітря: на поверхню площею  $1 \text{ м}^2$  атмосфера тисне із силою  $10^5 \text{ Н}$ , тобто тиск атмосфери становить  $10^5 \text{ Па}$ . За законом Паскаля атмосферний тиск, створений усіма шарами повітря, біля поверхні Землі передається однаково в усіх напрямках. Ти мав / мала змогу в цьому переконатися, виконуючи дослід.

Виміряти атмосферний тиск можна за допомогою способу, запропонованого в XVII ст. італійським ученим Еванджеліста Торрічеллі (мал.18.2). Скляну трубку завдовжки близько 1 м, запаяну з одного кінця, наповнюють ртуттю. Потім, щільно закривши другий кінець трубки, її перевертають, опускають у чашку з ртуттю і під ртуттю відкривають кінець трубки. Частина ртуті виливається в чашку, а частина залишається в трубці. Висота стовпчика ртуті, яка залишилася у трубці, дорівнює приблизно 760 мм. У трубці над ртуттю повітря немає, там безповітряний простір.



Мал. 18.2

Торрічеллі, який запропонував описаний вище дослід, сам і пояснив його. Атмосфера тисне на поверхню ртуті в чашці. Створений стовпчик ртуті тиск врівноважується атмосферним тиском, який не дає ртуті вилитися. Якби тиск стовпчика ртуті був більшим за атмосферний тиск, то ртуть вилитася б із трубки в чашку, а якщо меншим, то ртуть піднімалася б у трубці вгору.

Звідси випливає, що *атмосферний тиск дорівнює тиску стовпчика ртуті в трубці*. Вимірявши висоту стовпчика ртуті, можна обчислити тиск, який чинить ртуть, — він і дорівнюватиме атмосферному тиску. Тому на практиці атмосферний тиск вимірюють висотою ртутного стовпчика (у міліметрах або сантиметрах). Якщо, наприклад, атмосферний тиск дорівнює 780 мм рт. ст., то це означає, що повітря чинить такий самий тиск, як і вертикальний стовпчик ртуті заввишки 780 мм. Отже, у цьому випадку за одиницю атмосферного тиску взято 1 мм ртутного стовпчика (1 мм рт. ст.). Визначивши тиск ртутного стовпчика висотою 1 мм за формулою  $p = \rho gh$ , отримуємо

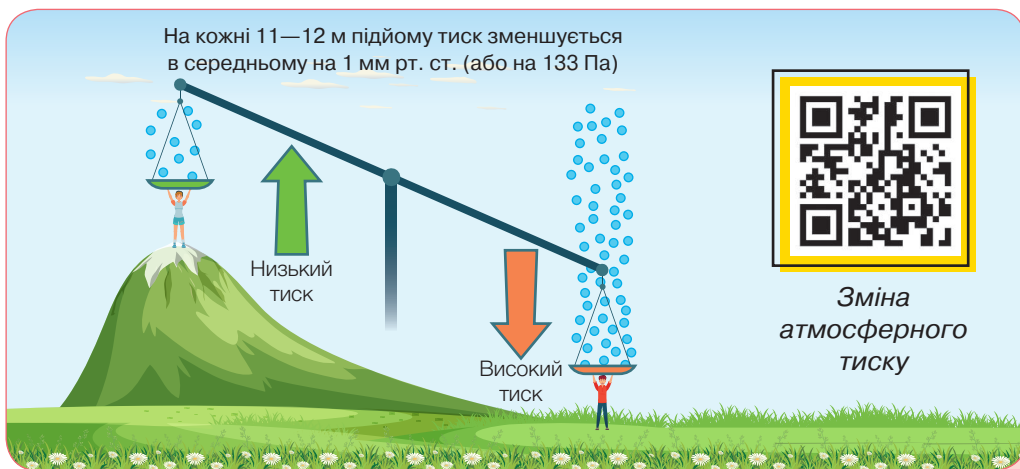
$$p = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,001 \text{ м} \approx 133,3 \text{ Па}.$$

**1 мм рт. ст.  $\approx$  133,3 Па**

Спостерігаючи щодня за висотою ртутного стовпчика в трубці, Торрічеллі встановив, що ця висота змінюється, тобто атмосферний тиск не сталий, він може збільшуватися і зменшуватися. Торрічеллі помітив також, що зміни атмосферного тиску якимось пов'язані зі зміною погоди.

Нормальним атмосферним тиском вважається тиск **760 мм рт. ст.**

На початку параграфа ми вказали, що густина атмосфери зменшується з висотою. Зрозуміло, що атмосферний тиск також зменшується з висотою підйому (мал. 18.3).



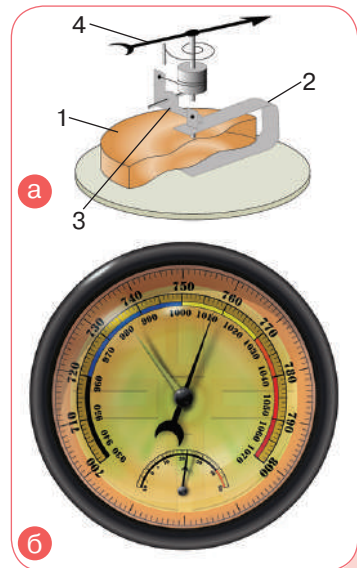
Мал. 18.3

Чому ж ми не відчуваємо дії атмосферного тиску? Річ у тому, що всередині нашого організму також є повітря. І воно знаходиться

під таким самим тиском. Тобто, тиск повітря усередині врівноважує тиск на організм ззовні. Тому тканини організму не деформуються і атмосферний тиск не відчувається. Якщо ж зовнішній атмосферний тиск змінюється, людина відчуває певний дискомфорт.

**Які ще є прилади для вимірювання атмосферного тиску?** Прикріпивши до трубки з ртуттю з досліду Торрічеллі вертикальну шкалу, отримують найпростіший *ртутний барометр* (грец. *барос* — «вага», *метрео* — «вимірюю») — прилад для вимірювання атмосферного тиску. Ртутний барометр є досить чутливим і точним приладом, проте користуватися ним трохи незручно. Тому в техніці й побуті значного поширення набули металеві барометри — *анероїди*, що означає «безрідинні».

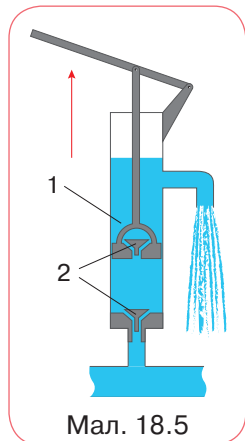
Головна складова такого барометра — металева коробочка 1 із хвилястою (гофрованою) поверхнею (мал. 18.4, а). Із цієї коробочки відкачано повітря, а щоб атмосферний тиск її не розчавив, пружина 2 відтягує кришку коробочки вгору. Коли атмосферний тиск збільшується, кришка прогинається вниз і натягує пружину. Зі зменшенням атмосферного тиску пружина випрямляє кришку. До пружини за допомогою передавального механізму 3 прикріплено стрілку-показчик 4, яка від зміни тиску рухається праворуч або ліворуч. Під стрілкою закріплено шкалу, поділки якої нанесено за показаннями ртутного барометра. Зовнішній вигляд барометра-анероїда зображено на малюнку 18.4, б.



Мал. 18.4

Знаючи залежність тиску від висоти, можна за зміною показань барометра визначити висоту над рівнем моря. Анероїди, що мають шкалу, за якою безпосередньо можна визначити висоту, називають *висотомірами*. Їх застосовують в авіації та під час сходжень у гори.

**Як працюють насоси?** Поршневий рідинний насос схематично зображено на малюнку 18.5. Основна його частина — циліндр, усередині якого рухається вгору і вниз поршень 1, що щільно



Мал. 18.5

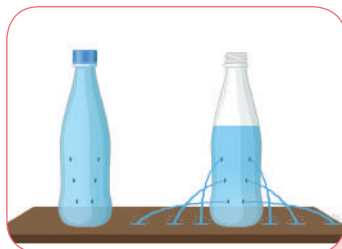
прилягає до стінок. У нижній частині циліндра і в самому поршні встановлено клапани 2, які рухаються під тиском води. Коли поршень рухається вгору, вода під дією атмосферного тиску входить у трубу, піднімає нижній клапан і рухається за поршнем.

Коли поршень рухається вниз, вода під ним тисне на нижній клапан, і він закривається. Одночасно під тиском води відкривається клапан усередині поршня, і вода переходить у простір над поршнем. Під час подальшого руху поршня вгору вода, що є над поршнем, також піднімається разом із ним і виливається у відповідну трубу. Одночасно за поршнем піднімається нова порція води, яка у разі наступного опускання поршня буде вже над ним і т. д.

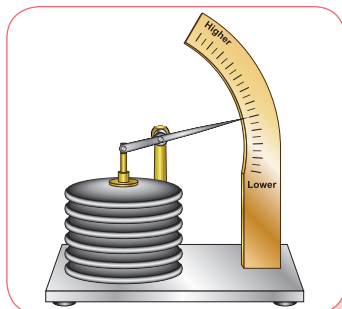
Рідинний поршневий насос підіймає воду з глибини не більше 10 м. Таке обмеження пояснюється тим, що нормальний атмосферний тиск урівноважується стовпом води заввишки 10,336 м.

## ДУМАЙ

- 1 Унаслідок чого створюється атмосферний тиск? Наведи приклади, які підтверджують існування атмосферного тиску.
- 2 Чому не можна вирахувати тиск повітря так само, як визначають тиск рідини на дно або стінки посудини?
- 3 У яких випадках важливо знати величину атмосферного тиску або характер його зміни?
- 4 У пластмасовій пляшці зробили невеликі отвори. Якщо пляшка закрита, рідина з отворів практично не витікає. Чому ж вона починає витікати, якщо відкрити пляшку (мал. 18.6)?
- 5 Чому піняться «шипучі» напої, якщо різко відкрити пляшку?
- 6 Чому в рідинних барометрах використовують ртуть, а не воду? Якої довжини трубку треба взяти для такого барометра?
- 7 Поясни, чому важко пити з пляшки, якщо щільно охопити її горлечко губами.
- 8 На малюнку 18.7 зображено модель барометра-анероїда. Куди пересуватиметься кінець стрілки у разі підвищення чи зниження атмосферного тиску?



Мал. 18.6



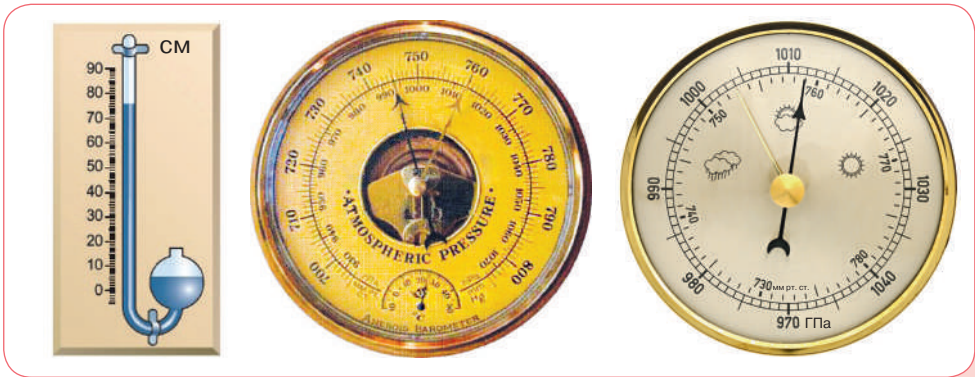
Мал. 18.7



## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Запиши показники барометрів (мал. 18.8).



Мал. 18.8

- 2 Визнач силу, з якою тисне повітря в кімнаті на стелю площею  $20 \text{ м}^2$ . Атмосферний тиск —  $100\,000 \text{ Па}$ .
- 3 Обчисли атмосферний тиск на даху хмарочоса, якщо біля його підніжжя барометр показує  $760 \text{ мм рт. ст.}$  Висота хмарочоса становить  $250 \text{ м}$ , температура повітря —  $0^\circ \text{ С}$ .
- 4 Барометр перенесли із дна шахти на поверхню, зафіксувавши зміну тиску від  $770$  до  $746 \text{ мм рт. ст.}$  Якою (приблизно) є глибина шахти?
- 5 Біля підніжжя гори барометр показував  $754 \text{ мм рт. ст.}$ , а на вершині —  $724 \text{ мм рт. ст.}$  Яка висота гори?
- 6 Визнач приблизну масу земної атмосфери, беручи для обчислень нормальний атмосферний тиск і радіус Землі. (Пригадай або відшукай формули, за якими обчислюється об'єм кулі та площа сфери.)
- 7 У 1733 році священник Хейлс виміряв артеріальний тиск крові коня за допомогою вертикальної трубки, з'єднаної зі стегновою артерією. Трубка наповнилася кров'ю до висоти  $2 \text{ м}$ . Який результат отримав священник? (Густина крові —  $1030 \text{ кг/м}^3$ .)
- 8 На скільки  $\text{мм рт. ст.}$  артеріальний тиск крові жирафа на рівні серця більший, ніж на рівні голови, якщо його зріст  $5,5 \text{ м}$ , а серце розташовано на висоті  $2,5 \text{ м}$ ? (Густина крові —  $1050 \text{ кг/м}^3$ .)

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Знайди в додаткових джерелах описи цікавих дослідів, що доводять існування атмосферного тиску, і виконай деякі з них. Обміняйся з однокласниками й однокласницями цікавими дослідями та досвідом їх виконання.

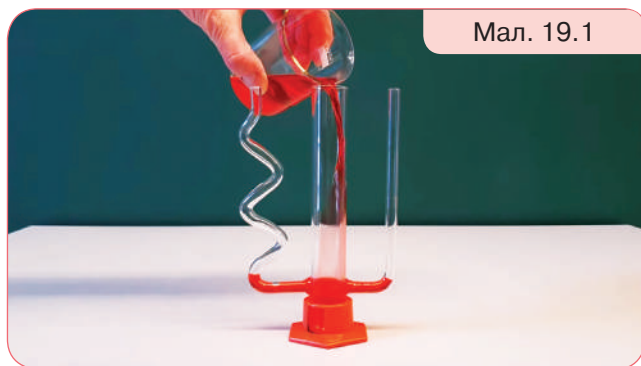
# § 19. ДОСЛІДЖУЄМО СПОЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ



Які особливості мають сполучені посудини?

## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 У шкільному кабінеті фізики є з'єднані між собою посудини різної форми, у яких рідина може вільно перетікати з однієї посудини в іншу (мал. 19.1). Їх називають *сполученими посудинами* (*connected vessels*). Вислови припущення, яким буде рівень рідини в кожній посудині, якщо наповнювати лише одну з них.

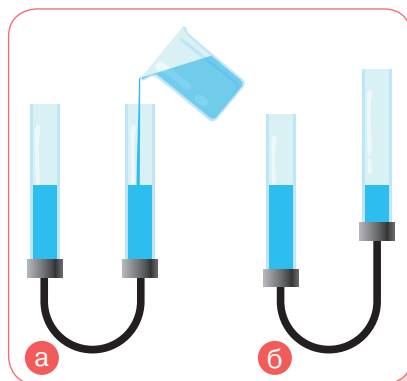


Мал. 19.1

- 2 Уяви, що тобі доручили відмітити горизонтальну лінію на стіні, щоб розташувати плакати, підготовлені до тижня фізики в школі. У твоєму розпорядженні є прозорий шланг певної довжини, вода, олівець і лінійка. Що будеш робити?

## ДІЗНАВАЙСЯ

*У чому полягає властивість сполучених посудин?* Найпростіші сполучені посудини — це дві з'єднані між собою трубки (мал. 19.2).



Мал. 19.2

Якщо в одну з трубок наливати воду, то вода перетікатиме в другу. Коли рух води припиниться, вода в обох трубках (обох колінах сполучених посудин) установиться на одному рівні (мал. 19.2, а). Якщо нахилити або піднімати одне з колін, то вода перетікатиме з коліна, розташованого вище, поки рівні води в обох колінах не будуть однаковими (мал. 19.2, б). У цьому полягає основна властивість сполучених посудин.

У сполучених посудинах будь-якої форми поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий).

Це правило можна обґрунтувати, міркуючи так: рідина в спокої не переміщується з однієї посудини в іншу, отже, її тиски в обох посудинах на будь-якому рівні однакові:

$$p_1 = p_2, \text{ або } \rho g h_1 = \rho g h_2.$$

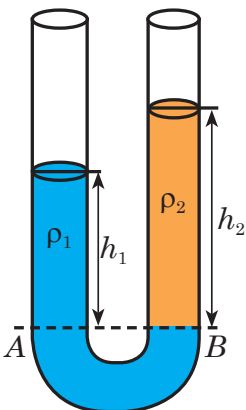
Оскільки рідина в обох посудинах одна й та сама, тобто має однакову густину, то має бути і однакова її висота:  $h_1 = h_2$ .



Сполучені посудини



А якщо в сполучені посудини налити різні рідини? Чи буде виконуватись основна властивість сполучених посудин?

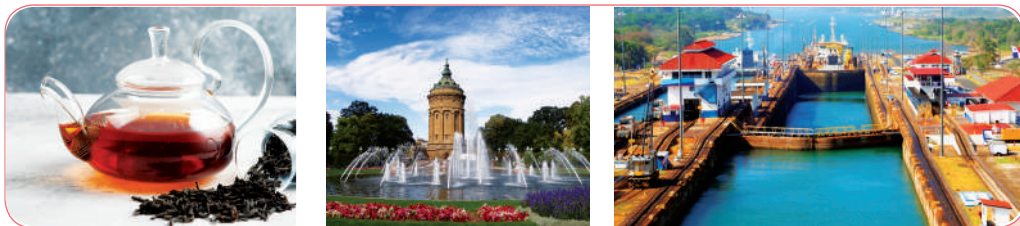


Мал. 19.3

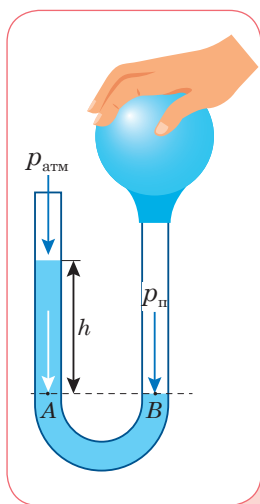
Якщо в одну зі сполучених посудин налити рідину однієї густини, а в другу — іншої, то рідини розмістяться так, що їхні рівні будуть різними (мал. 19.3). У разі однакового тиску висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша за висоту стовпчика рідини з меншою густиною:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2, \text{ або } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

**Де використовують сполучені посудини?** Прикладами сполучених посудин є: поливальниця, чайник, кавник, фонтан, артезіанський колодязь, водяний рівень (мал. 19.4). Цей принцип використовують у шлюзах, гідравлічних пристроях, водопроводі.



Мал. 19.4



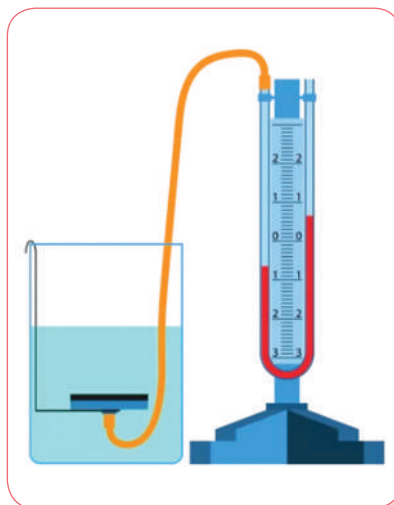
Мал. 19.5

Для вимірювання тиску застосовують *манометри* (*manometer*). Рідинний манометр складається з металевого або дерев'яного вертикального корпусу, на якому закріплена U-подібна скляна трубка і шкала для вимірювання висоти рівня рідини в кожному коліні трубки. Один із кінців трубки відкритий. До іншого кінця приєднують резервуар, у якому потрібно виміряти тиск. Наприклад, щоб визначити тиск повітря у груші (мал. 19.5), розмірковують так. На рівні  $AB$  тиск у рідині однаковий. У точці  $B$  це буде тиск  $p_{п}$  — тиск повітря в груші, у точці  $A$  — атмосферний тиск  $p_{атм}$  плюс гідростатичний тиск стовпчика рідини висотою  $h$ :  

$$p_{п} = p_{атм} + \rho gh.$$

Вимірявши різницю рівнів рідини в колінах трубки ( $h$ ), можна визначити, на скільки тиск газу в груші відрізняється від атмосферного.

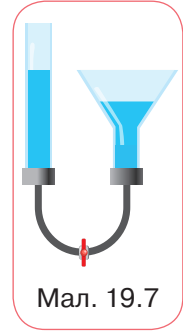
На малюнку 19.6 показано, як рідинним манометром можна вимірювати тиск усередині рідини. За допомогою гнучкої трубки одне з колін манометра з'єднують із круглою плоскою коробочкою, зтягнутою гумовою плівкою. Якщо натиснути на плівку, то рівень рідини в коліні манометра, з'єданого з коробочкою, знизиться, а в другому — на стільки само підвищиться.



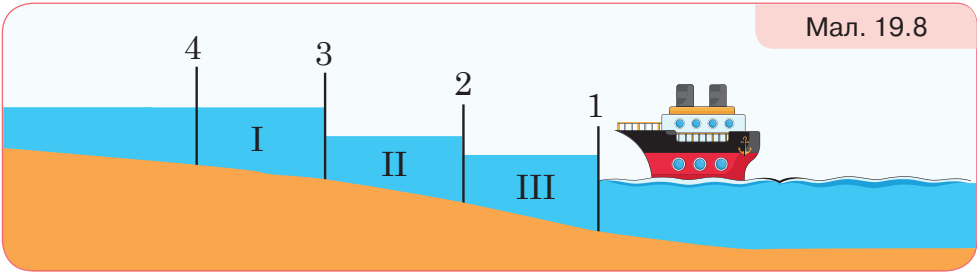
Мал. 19.6

## ДУМАЙ

- 1 Для чого стічну трубу під умивальником роблять зігнутою у формі коліна?
- 2 Кран між посудинами з водою, зображеними на малюнку 19.7, закритий. Поясни, що відбуватиметься, якщо кран відкрити.
- 3 Skorистайся додатковими джерелами інформації та дізнайся про принцип роботи шлюзу (мал. 19.8). Які дії виконують автоматичні пристрої для переведення судна через камери шлюзу?



Мал. 19.7



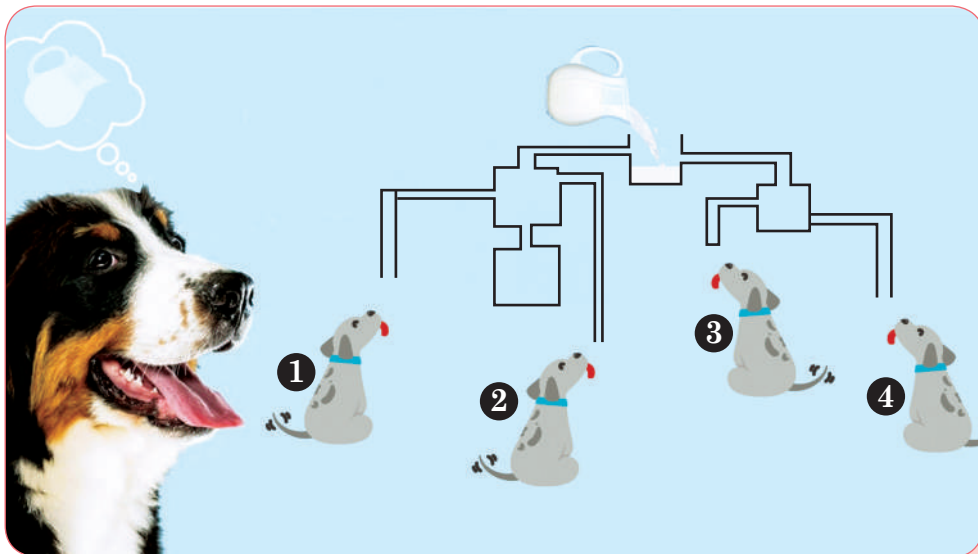
Мал. 19.8

- 4 Вода в ґрунті чинить гідростатичний тиск, що може призвести до руйнування фундаменту й потрапляння води в будинок (мал. 19.9). Поясни, які знання з біології, хімії, географії та фізики необхідні, щоб убезпечити будинок від руйнівної дії води.



Мал. 19.9

5 Допоможи песику. Чи всім цуценятам дістанеться молоко (мал. 19.10)?



Мал. 19.10

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА

У праве коліно сполучених посудин налито олію, а в ліве — воду. Висота стовпа олії становить 10 см. Яка висота стовпа води, виміряна від межі поділу олії та води? Густина олії —  $900 \text{ кг/м}^3$ .

#### Дано:

$$\begin{aligned} h_1 &= 10 \text{ см} \\ \rho_1 &= 900 \text{ кг/м}^3 \\ \rho_2 &= 1000 \text{ кг/м}^3 \\ h_2 &= ? \end{aligned}$$

#### СІ

$$0,1 \text{ м}$$

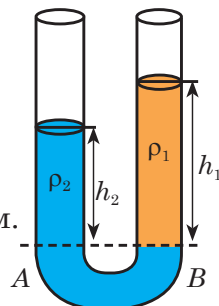
#### Розв'язання:

Розглянь схематичний малюнок до задачі. Лінія  $AB$  на малюнку — межа поділу олії та води. За властивістю сполучених посудин  $\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2$ .

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

$$\text{Підстав числові значення: } h_2 = \frac{900 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,1 \text{ м}}{1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = 0,09 \text{ м}.$$

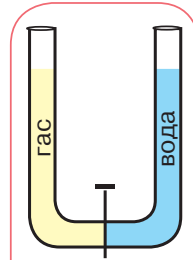
**Відповідь:** 9 см.



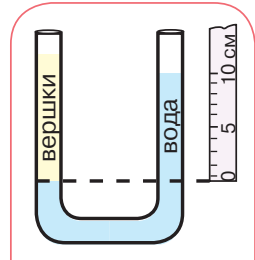
## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

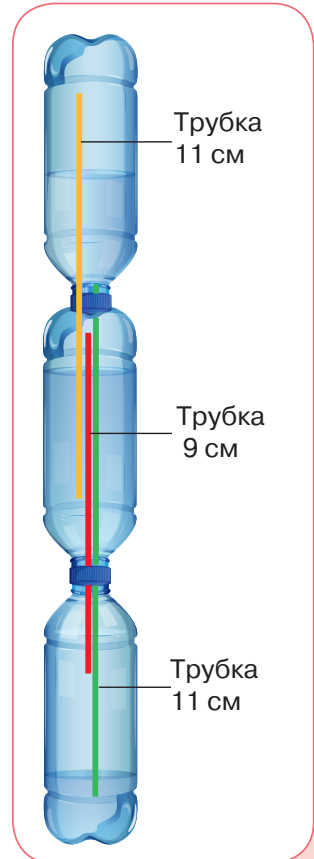
- В одне з колін сполучених посудин, частково наповнених водою, налили шар нафти. Якою буде різниця рівнів води у сполучених посудинах, якщо висота стовпчика нафти 15 см?
- У U-подібну трубку налито ртуть. В одне коліно доливається вода. Якої висоти повинен бути стовпчик води, щоб рівень ртуті в другому коліні піднявся на 1 см?
- Визнач різницю рівнів води й гасу, яка встановиться після відкриття крана. Густина гасу —  $800 \text{ кг/м}^3$ , висота рівнів до відкриття крана — 20 см (мал. 19.11).
- За малюнком 19.12 визнач: висоту стовпчика вершків, який тиск вони чинять на воду і з якою силою тиснуть. Площа поперечного перерізу посудин —  $4 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ , густина вершків —  $960 \text{ кг/м}^3$ .
- У двох сполучених трубках різного перерізу міститься ртуть. У широкую трубку з площею перерізу  $8 \text{ см}^2$  доливають 272 г води. Якою буде висота стовпа ртуті у вузькій трубці, виміряна від межі поділу води і ртуті?



Мал. 19.11



Мал. 19.12



Мал. 19.13

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- Для того щоб вода не вилитася з переповненої ванни, у її верхній частині зроблено отвір, який сполучається з каналізаційною трубою, у яку й починає вилитися «зайва» вода. Очевидно, що таке запобігання потопу призводить до значних втрат води. Запропонуй пристрій, який давав би «сигнал» про наповнення ванни, а за необхідності ще й припиняв її витікання з крана.
- Виготов модель сполучених посудин, манометра, фонтана.
- Сконструюй самостійно фонтан, який був винайдений давньогрецьким винахідником і математиком Героном Александрійським у I столітті. Тобі знадобляться: три пляшки об'ємом 0,5 л, три трубки, вода (мал. 19.13).

## § 20. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО ВИШТОВХУВАЛЬНУ СИЛУ



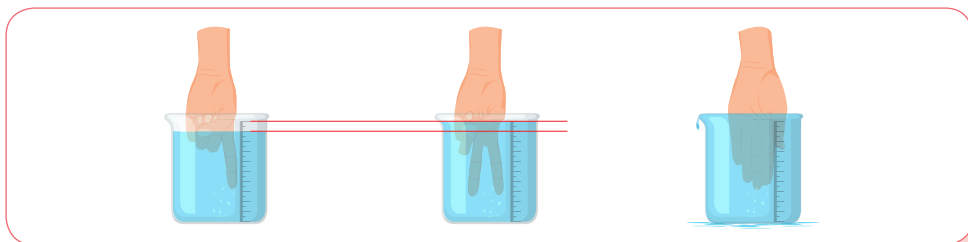
Чому під водою можна легко підняти камінь, який зі значними зусиллями піднімаємо в повітрі?

### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Прив'яжи до динамометра тягарець. Вислови припущення, як зміняться показання динамометра, якщо тягарець занурити у воду. Перевір своє припущення на досліді.
- 2 Візьми мірний стакан з водою. Відміть значення рівня води. Занур у воду один палець (мал. 20.1). Як змінилися показання? Занур два пальці. Тоді руку. Який об'єм твого вказівного пальця?



Відео досліду

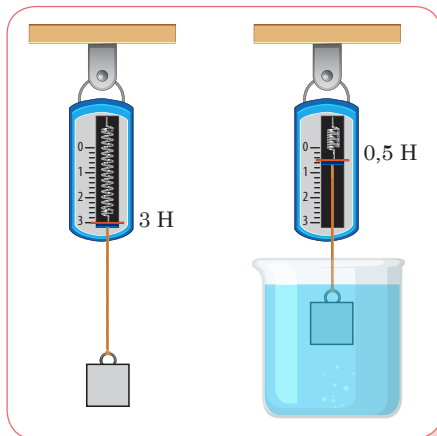


Мал. 20.1

### ДІЗНАВАЙСЯ

**Чому виникає виштовхувальна сила?** Вага тягарця у воді менша, ніж у повітрі (мал. 20.2). Такий самий ефект можна отримати в тому випадку, якщо знизу діяти якоюсь силою, наприклад піднімати рукою тягарець.

На тіло, занурене в рідину, діє виштовхувальна сила. Її називають ще *архімедовою силою* (*Archimedes' force*) на честь давньогрецького вченого Архімеда, який уперше довів існування цієї сили і з'ясував, як її визначити.



Мал. 20.2



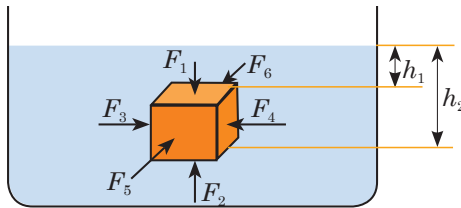


Від чого залежить виштовхувальна сила і як її обчислювати?



Як тобі відомо, рідина тисне на дно та стінки посудини, і якщо всередину рідини помістити яке-небудь тверде тіло, воно також зазнаватиме тиску. Щоб легше було міркувати, обери тіло, яке має форму паралелепіпеда з основами, паралельними поверхні рідини (мал. 20.3).

Сили, які діють на бічні грані тіла, попарно однакові й зрівноважують одна одну ( $F_3 = F_4$ ,  $F_5 = F_6$ ). Під дією цих сил тіло стискається. А сили, що діють на верхню й нижню грані тіла, неоднакові. На верхню грань тисне зверху із силою  $F_1$  стовп рідини висотою  $h_1$ . На рівні нижньої грані тіла тиск створює стовп рідини висотою  $h_2$ . Оскільки  $h_2$  більша за  $h_1$ , отже, і модуль сили  $F_2$  більший за модуль сили  $F_1$ . Тому тіло виштовхується з рідини із силою  $F_b$ , що дорівнює різниці сил  $F_2$  і  $F_1$ , тобто:  $F_b = F_2 - F_1$ .



Мал. 20.3

Сили  $F_2$  і  $F_1$ , які діють на верхню й нижню грані паралелепіпеда, можна обчислити за їх площами ( $S_1$  і  $S_2$ ) і тиском рідини на рівнях цих граней ( $p_1$  і  $p_2$ ):  $F_1 = p_1 S_1$  і  $F_2 = p_2 S_2$ , де  $p_1 = \rho g h_1$ ,  $p_2 = \rho g h_2$ .

Виштовхувальна сила (*buoyant force*), що діє на занурене в рідину тіло, обчислюється за формулою:  $F_b = \rho_p g V_T$ ,

де  $\rho_p$  — густина рідини, у яку повністю занурено тіло об'ємом  $V_T$ . Точка прикладання виштовхувальної сили розташована в центрі зануреної в рідину (або газ) частини тіла.

Оскільки  $S_1 = S_2 = S$  — площа основи паралелепіпеда, а різниця рівнів води на нижню й верхню грані дорівнює висоті паралелепіпеда  $h_2 - h_1 = h$ , то виштовхувальна сила:

$$F_b = F_2 - F_1 = \rho g h_2 S - \rho g h_1 S = \rho g h S,$$

де добуток  $Sh = V$  — об'єм паралелепіпеда.



Виштовхувальна сила залежить від густини рідини, у яку занурено тіло, і від об'єму тіла. Якщо одне й те саме тіло занурювати в рідини з різною густиною, то що більшою буде густина рідини, то більша виштовхувальна сила діятиме на занурене тіло.

Якщо занурювати в рідину тіла з однієї і тієї самої речовини, але різного об'єму, то на тіло більшого об'єму діятиме більша виштовхувальна сила.



З формули  $F_b = \rho_p g V_T$  видно, що виштовхувальна сила не залежить від речовини, з якої виготовлено тіло, і не залежить від глибини занурення. Якщо занурювати в рідину тіла, виготовлені з різних матеріалів, але однакового об'єму, то виштовхувальна сила буде однаковою. Хоча в повітрі ці тіла матимуть різну вагу.



**Який зв'язок між виштовхувальною силою і вагою тіла?**  
Тобі, можливо, доводилося чути слово *еврика* (з грец. — «знайшов»). Його застосовують у тому випадку, коли з радістю повідомляють, що знайдено розв'язання проблеми. Цей вислів приписують саме Архімеду. Сіракузький цар Гієрон доручив Архімеду перевірити, чи із чистого золота його корона. Архімед довго міркував над тим, як це зробити, але нічого не міг придумати, адже корона мала неправильну форму, і тому важко було обчислити її об'єм. Одного разу, купаючись у ванні, Архімед звернув увагу на те, що його тіло витісняє певний об'єм води. Йому спало на думку, як можна розв'язати поставлену проблему. Він так розхвилювався, що вискочив із ванни й побіг вулицею, вигукуючи: «Еврика, еврика!». Після цього випадку Архімед детальніше дослідив виштовхувальну силу і встановив закон.

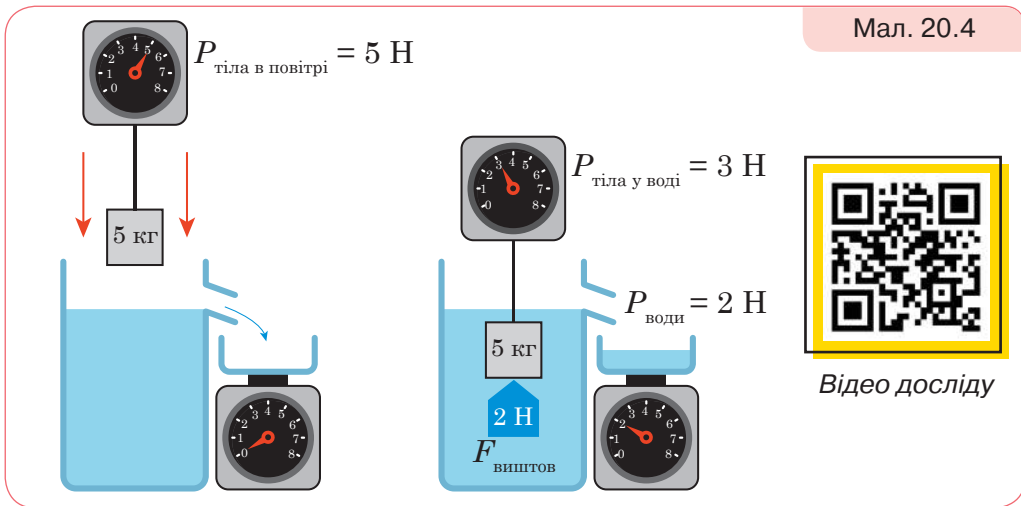


Спробуй за малюнком 20.4 сформулювати закон Архімеда.



З малюнка видно, що тіло в повітрі важило 5 Н, у воді — 3 Н, виштовхувальна сила — 2 Н. Під час занурення тіло витіснило воду, вага якої 2 Н. Отже, виштовхувальна сила дорівнює вазі рідини, витісненої тілом.

Мал. 20.4



Відео досліду

На малюнку зображено випадок повного занурення тіла. Об'єм витісненої води дорівнює об'єму тіла. Якщо тіло занурено не повністю, то об'єм витісненої рідини дорівнює об'єму зануреної частини.

Зважаючи на те, що виштовхувальна сила діє і в газах, закон Архімеда сформулюємо так:

На тіло, повністю занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі цього тіла.

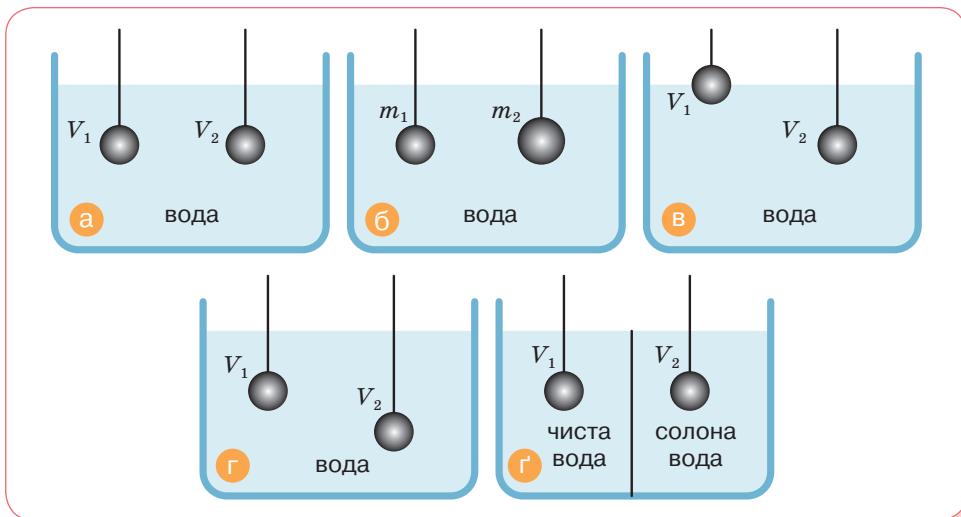
Сила, яка виштовхує тіло з рідини або газу, напрямлена протилежно силі тяжіння, прикладеній до цього тіла. Якщо яке-небудь тіло зважити в рідині або газі, то його вага буде меншою за вагу у вакуумі (пустоті). Закон Архімеда діє лише в умовах земного тяжіння. У невагомості закон Архімеда не діє.

## ДУМАЙ

- 1 Що є причиною виникнення виштовхувальної сили?
- 2 Від чого залежить виштовхувальна сила?
- 3 Чому каменистим дном річки не так боляче ходити босоніж, як по камінню на березі?
- 4 Чому виштовхувальна сила завжди напрямлена вгору?
- 5 Чому виштовхувальна сила, що діє на тіло в рідині, у багато разів більша від виштовхувальної сили, що діє на те саме тіло в будь-якому газі?
- 6 Через дію виштовхувальної сили повітря маса тіла, зваженого на терезах, дещо відрізняється від його справжньої маси: в бік збільшення чи зменшення?

7 У скільки разів відрізняються виштовхувальні сили, що діють на батискаф на глибині 100 м і 10 000 м?

8 Порівняй архімедові сили, що діють на кульки в кожному випадку (мал. 20.5, а—г).



Мал. 20.5

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА

Розв'яжи задачу, яку цар Гієрон задав Архімеду. Перевір, чи із чистого золота виготовлено царську корону. Архімед визначив, що вага корони в повітрі — 9,8 Н, а у воді — 9,2 Н.

#### Дано:

$$P_1 = 9,8 \text{ Н}$$

$$P_2 = 9,2 \text{ Н}$$

$$\rho \text{ — ?}$$

#### Розв'язання:

Виштовхувальна сила, що діє на корону у воді, визначається:  $F_b = P_1 - P_2$ . Враховуючи, що виштовхувальна сила обчислюється за формулою  $F_b = \rho g V$ , маємо:

$$P_1 - P_2 = \rho g V. \text{ Звідси об'єм корони: } V = \frac{P_1 - P_2}{\rho g}.$$

Маса корони виражається з формули ваги:  $P_1 = mg$ ,  $m = \frac{P_1}{g}$ .

Тоді густина речовини, з якої виготовлено корону:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{m}{V} = \frac{P_1 \rho g}{g (P_1 - P_2)} = \frac{P_1 \rho}{(P_1 - P_2)}.$$

Підставляючи числові значення, отримують:

$$\rho_{\text{к}} = \frac{9,8 \text{ Н} \cdot 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}}{9,8 \text{ Н} - 9,2 \text{ Н}} \approx 16\,300 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

Як відомо, густина золота становить  $19\,300 \text{ кг/м}^3$ .

**Відповідь:** корону виготовлено не із чистого золота.

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 На тіло, занурене у воду, діє виштовхувальна сила 5 Н. Яка виштовхувальна сила діятиме на це тіло, якщо його занурити в гас?
- 2 На тіло, вага якого в повітрі 7,8 Н, під час занурення у воду діє виштовхувальна сила 1 Н. З якої речовини виготовлено тіло?
- 3 На тіло, занурене у спирт, діє виштовхувальна сила 19,2 Н. Коли це тіло занурили в іншу рідину, то виштовхувальна сила стала 24 Н. Визнач об'єм тіла й густину невідомої речовини.
- 4 Алюмінієву кулю вагою 108 Н, підвішену до троса, занурили у воду. З якою силою розтягується трос?
- 5 Якого найменшого об'єму має бути надувний човен масою 7 кг, щоб утримати вантаж вагою 380 Н?
- 6 Площа крижини —  $8 \text{ м}^2$ , товщина — 25 см. Чи зануриться вона повністю у прісну воду, якщо на неї стане людина вагою 600 Н?
- 7 Яку силу треба прикласти, щоб підняти під водою камінь масою 30 кг, об'єм якого  $0,012 \text{ м}^3$ ?
- 8 Прямокутна коробочка, маса якої 76 г, площа основи  $38 \text{ см}^2$  і висота 6 см, плаває у воді. Визнач висоту надводної частини коробочки.
- 9 Надводна частина айсберга має об'єм  $500 \text{ м}^3$ . Визнач об'єм усього айсберга.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Як за допомогою мензурки з водою, лінійки і пружини з гачком виміряти масу тіла довільної форми?
- 2 Визнач вагу дерев'яного бруска, використовуючи посудину з водою і лінійку.
- 3 Виконай дослід, зображений на малюнку 20.4 (с. 177).

# § 21. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО СУДНОПЛАВСТВО І ПОВІТРОПЛАВАННЯ



За яких умов тіло тоне, а за яких — спливає?

## ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Візьми посудину з водою та кілька тіл різної густини. З'ясує, які з них тонуть, які плавають у товщі рідини, а які — на поверхні (мал. 21.1).
- 2 Перевір, чи літатиме гумова кулька, наповнена вуглекислим газом. Тобі знадобляться: гумова кулька, нитка, пляшка (на горлечко якої можна надіти кульку), оцет і сода.



Мал. 21.1

## ДІЗНАВАЙСЯ

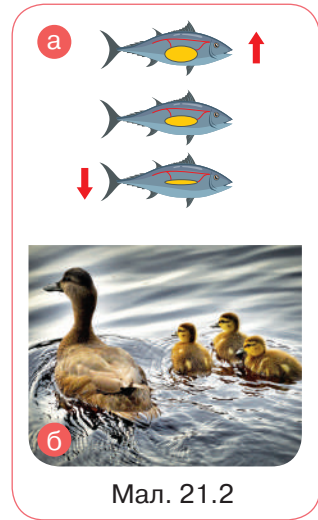
**За яких умов тіла плавають, тонуть, спливають?** На тіло в рідині діють дві сили: тяжіння  $F_{\text{тяж}} = mg = \rho_{\text{т}} V_{\text{т}} g$  та виштовхувальна  $F_{\text{в}} = \rho_{\text{р}} V_{\text{т}} g$ . Очевидно, що сила тяжіння більша за виштовхувальну тоді, коли густина тіла більша за густину рідини. І навпаки, сила тяжіння менша за виштовхувальну, коли густина тіла менша за густину рідини. Знаючи густину тіла й густину рідини, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині.

Тоне	Плаває в товщі рідини	Спливає	Плаває на поверхні
$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{р}}$	$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{р}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{р}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{р}}$
$F_{\text{тяж}} > F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} < F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{в}}$

Умови плавання тіл справедливі як для живих істот, так і для технічних засобів. Густина мешканців водойм (китів, дельфінів, риб) мало відрізняється від густини води. Для плавання у воді вони мають різні пристосування, необхідні для регулювання глибини занурення. Ці пристосування пов'язані зі зміною об'єму певних органів. У риб таким органом є плавальний міхур, у китів — легені.

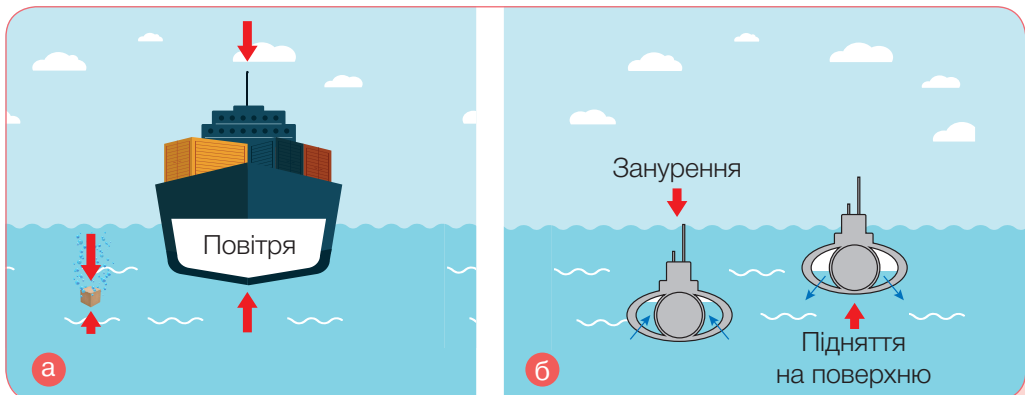
Якщо риба опускається нижче, то зовнішній тиск води стискає її тіло більше й повітряний міхурець зменшує об'єм. Під час підйому на поверхню об'єм міхурця збільшується, отже, збільшується сила, що виштовхує рибу вгору (мал. 21.2, а).

Лебеді, гуси, качки плавають на поверхні води (мал. 21.2, б), бо мають товстий шар пір'я й пуху, який змащений жировими виділеннями спеціальних залоз. Це ускладнює змочування пір'я й пуху, тому шар містить багато повітря. Завдяки цьому середня густина птаха значно менша від густини води.



Мал. 21.2

**У чому секрети плавання суден?** Пластинка із жерсті або фольги тоне у воді. Проте якщо надати фользі форму коробочки (або кораблика), то вона буде плавати (мал. 21.3, а). Судна, що плавають річками, озерами й морями, збудовані з різних матеріалів неоднакової густини. Особливістю їх виготовлення є те, що вага води, яку витісняє підводна частина судна, дорівнює вазі судна з вантажем у повітрі або силі тяжіння, що діє на судно з вантажем.



Мал. 21.3

Змінюючи густину підводного човна, керують його зануренням. У середині човна є баластні цистерни (мал. 21.3, **б**, с. 181), і якщо туди набрати воду, то густина човна стає більшою за густину води, і він починає занурюватися. Для того щоб човен почав спливати, треба витіснити за допомогою стисненого повітря із цистерн воду за межі човна — «продути баласт». Траплялися випадки, коли підводний човен опускався на глинисте дно й більше не міг піднятися. Так стається через те, що за відсутності дії сили тиску води на дно тіла виштовхувальна сила не виникає. Навпаки, сили тиску в такому випадку притискають тіло до дна.

**Що потрібно, щоб злетіти?** Виштовхувальну силу, що діє в повітрі на всі тіла, використовують для створення літальних апаратів, які легші за повітря, — *аеростатів, дирижаблів*.

Перший аеростат (грец. *аеро* — «повітря» і *стат* — «нерухомий») сконструювали брати Монгольф'єр (Франція). Це була величезна куля, яку вони наповнили гарячим повітрям і 21 листопада 1783 року здійснили політ на висоті близько 1 км (мал. 21.4, **а**).

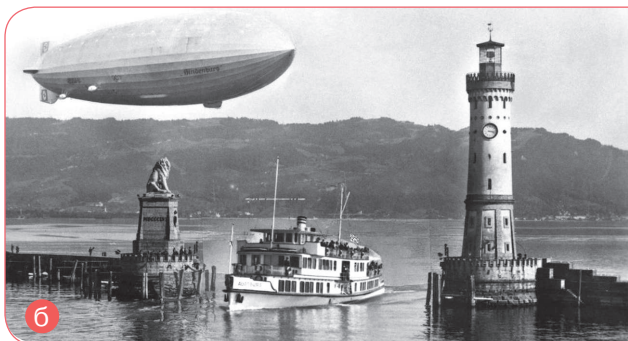
У першій половині ХХ століття популярними були дирижаблі (фр. *dirigeable* — «керований»), якими мандрували з Європи до Америки. На відміну від аеростатів, дирижаблі були обладнані пропелерами, за допомогою яких екіпаж керував напрямком руху. На світлині (мал. 21.4, **б**) зображено дирижабль «Гінденбург».

У наші дні запускають спеціальні метеорологічні аеростати (метеозонди), які здіймаються у стратосферу й вимірюють там характеристики повітря (вологість, тиск тощо) (мал. 21.4, **в**).



Мал. 21.4





б



в

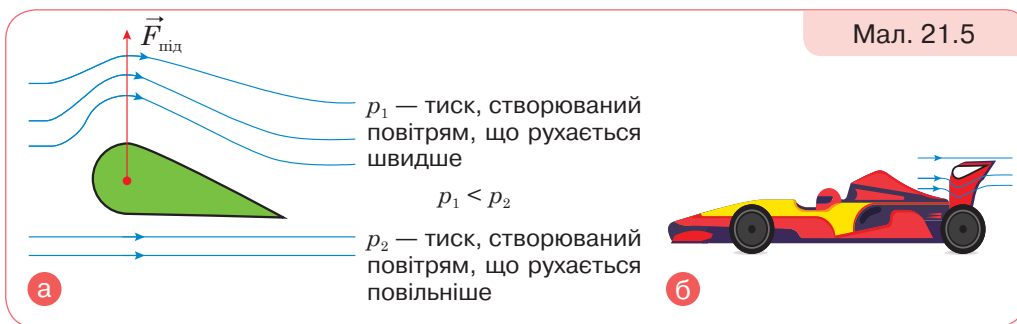
Мал. 21.4

Але ж літаки важчі за повітря, чому вони літають?

Літальні апарати використовують повітря для створення підйомної тяги, проте за різним принципом — аеростатичним або аеродинамічним.



Політ аеростатичних апаратів ґрунтується переважно на дії висптовхувальної сили. Політ аеродинамічних апаратів відбувається в результаті дії *підйомної сили*. Вона виникає внаслідок кількох чинників і залежить, зокрема, від швидкості руху апарата й повітря, форми і розмірів крила. Що більша швидкість руху літака і більші його крила, то більша підйомна сила (мал. 21.5, а). Коли підйомна сила перевищить силу тяжіння, літак злетить у повітря. Зазвичай це стається за швидкості не менш ніж 180 км/год.



Підйомну силу повітря ти можеш відчути, висунувши руку у вікно автівки під час швидкого руху. Тому в перегонових автомобілях встановлюють антикрило (мал. 21.5, б).

## ДУМАЙ

- 1 Яка умова того, що тіло: а) плаває; б) спливає; в) тоне?
- 2 Щоб пірнути, кит мусить збільшити свою густину. Як він це робить?
- 3 Чому тенісний м'ячик, занурений у воду, піднімається на поверхню, а повітряна куля зупиняється, не досягнувши краю атмосфери?
- 4 У який спосіб можна «відірвати» підводний човен від глинистого дна: а) прокопати під ним тунелі; б) зробити холостий постріл?
- 5 Дізнайся про катастрофу, що сталася 1937 року з дирижаблем «Гінденбург». Які висновки щодо використання дирижаблів було зроблено після цього? Чому нині знову відновлюють застосування дирижаблів?
- 6 Обговоріть проблему: повітряні ліхтарики для когось — задоволення, для когось — лихо.

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 ЗАДАЧА

Визнач густину тіла, що плаває, занурившись на  $\frac{2}{5}$  свого об'єму у воду.

## Дано:

$$\rho_p = 1000 \text{ кг/м}^3$$

$$V_{\text{з.ч.}} = \frac{2}{5} V_T$$

$$\rho_T = ?$$

## Розв'язання:

За умовою плавання  $F_{\text{тяж}} = F_{\text{в}}$ ,

де  $F_{\text{тяж}} = mg = \rho_T V_T g$  і  $F_{\text{в}} = \rho_p V_{\text{з.ч.}} g$ .

Прирівнюємо й визначаємо  $\rho_T$ .

$$\rho_T V_T g = \rho_p V_{\text{з.ч.}} g = \rho_p \frac{2}{5} V_T g, \text{ звідки } \rho_T = \frac{2}{5} \rho_p.$$

$$\text{Обчислюємо: } \rho_T = \frac{2}{5} 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} = 400 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

**Відповідь:** 400 кг/м<sup>3</sup>.

## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Тіло масою 200 г плаває у воді повністю занурившись. Яку масу води витісняє тіло?
- 2 Деяке тіло має вагу в повітрі 380 Н і об'єм  $0,045 \text{ м}^3$ . Плаває це тіло у воді чи тоне?
- 3 У річці плаває плоска крижина завтовжки 0,2 м. Яка висота надводної частини крижини?
- 4 Наповнена гелієм куля об'ємом  $1 \text{ м}^3$  може підняти вантаж 1 кг. Який максимальний вантаж вона підніме, якщо її наповнити воднем?
- 5 Обчисли виштовхувальну силу, що діє на аеростат, наповнений воднем, об'ємом  $20\,000 \text{ м}^3$ . Визнач піднімальну силу. Чи змінюється піднімальна сила аеростата зі збільшенням висоти його підйому?
- 6 Кулю-зонд об'ємом  $10 \text{ м}^3$  наповнили гелієм. Яка виштовхувальна сила діятиме на кулю-зонд? Чи буде вона змінюватися з висотою?
- 7 Найбільша повітряна куля у світі була сконструйована 2002 року в американському аерокосмічному агентстві НАСА. Об'єм її оболонки становив  $1\,700\,000$  кубічних метрів, а маса — понад 690 кг. Яка сила Архімеда діє на неї, коли вона перебуває в повітрі?
- 8 Яку силу необхідно прикласти, щоб утримати у воді камінь, маса якого 10 кг? Густина каменя —  $2,6 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$ .

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Перевір дослідним шляхом, яке навантаження може витримати сірникова коробка й не потонути у воді (для досліду скористайся монетами, масу яких дізнайся з додаткових джерел). На скільки підніметься вода в посудині, коли коробка потоне?
- 2 Перевір, як зміниться рівень води в посудині, у якій плаває порожня чашка, якщо потопити цю чашку, зачерпнувши нею воду із цієї самої посудини.
- 3 Дерев'яний кубик лежить на дні склянки. Перевір, чи спливе він, якщо в склянку налити води так, щоб вона не проникала під кубик.
- 4 Досліди, плаватиме чи потоне мандарин у склянці з водою. Чи зміняться умови плавання, якщо почистити мандарин? Поясни результати дослідження.
- 5 Підготуй доповідь або презентацію на одну з тем: «Історія повітроплавання», «Історія судноплаводства».

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7 «УМОВИ ПЛAVАННЯ ТІЛ»

**Мета роботи:** експериментально встановити умови плавання тіл.

**Обладнання:** важільні терези, набір важків, пробірка з корком, сухий пісок, фільтрувальний папір, гачок із жорсткого дроту або нитка, мензурка або мірний циліндр із водою.

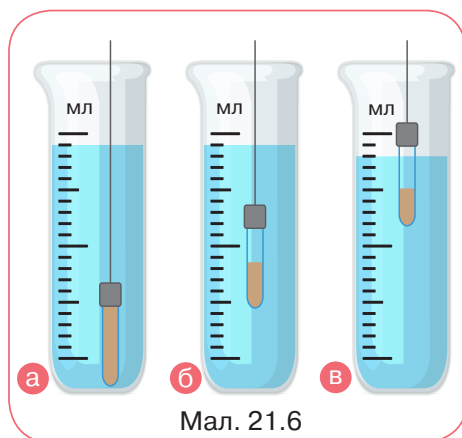
Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 21).



### Вказівки щодо виконання роботи

Ти можеш змінювати об'єм повітря в пробірці, досипаючи й відсипаючи з неї пісок (мал. 21.6).

1. Спочатку з'ясуй умову, за якої пробірка тоне. Наповни пробірку піском. Виміряй її масу. Виміряй об'єм води в мензурці. Опустивши в неї пробірку, наповнену піском. Переконайся, що пробірка опинилася на дні посудини (мал. 21.6, а). Виміряй, на скільки піднявся рівень води в мензурці (це об'єм пробірки). Обчисли й порівняй силу тяжіння і виштовхувальну силу.



Мал. 21.6

- Поступово відсипай пісок із пробірки й досягни того, щоб занурена пробірка плавала у воді (на будь-якій глибині), не спливаючи і не тонути (мал. 21.6, б). Повтори вимірювання й обчислення.
- Відсипай пісок із пробірки й досягни того, щоб пробірка плавала на поверхні (мал. 21.6, в). Повтори вимірювання й обчислення.

4. Результати вимірювань і розрахунків запиши в таблицю. Зроби висновки.

Об'єм пробірки, $V, \text{ м}^3$	Архімедова сила, $F_b, \text{ Н}$	Маса пробірки з піском, $m, \text{ кг}$	Сила тяжіння, $F_{\text{тяж}}, \text{ Н}$	Порівняння сил $F_b$ і $F_{\text{тяж}}$	Спостережуване явище

### ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ

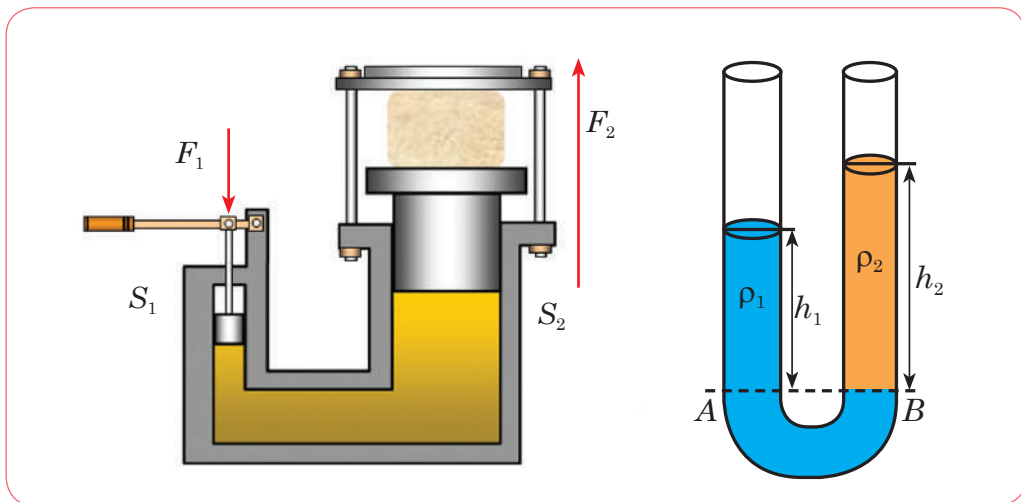
Тиск, який чинять тверді тіла, рідини й гази, мають свої особливості.



Тиск		
Тверді тіла	Рідини	Гази
Тиск, що чинять тверді тіла, утворюється під дією прикладеної перпендикулярно до поверхні сили й передається ними в напрямку дії сили. Що менша площа, на яку діє сила, то більший тиск, і навпаки — що більша площа, то менший тиск:	Тиск усередині рідини (гідростатичний тиск) зумовлений силою тяжіння й залежить від густини рідини та висоти стовпчика рідини: $p = \rho gh$	Тиск газів зумовлений ударами молекул об стінки посудини
$p = \frac{F}{S}$	Тиск, який діє на рідину (газ), передається в кожен точку рідини (газу) без змін (закон Паскаля)	Атмосферний тиск зумовлений дією сили тяжіння на повітря, що оточує Землю
	На занурене в рідину (газ) тіло діє виштовхувальна сила (архімедова), напрямлена вертикально вгору, яка чисельно дорівнює вазі рідини (газу) в об'ємі зануреної частини тіла: $F_b = \rho_p g V_T$	

Дія закону Паскаля використовується у пневматичних і гідравлічних механізмах.

Гідравлічний прес дає вигреш у силі:  $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$ .



У сполучених посудинах будь-якої форми *поверхні однорідної рідини встановлюються на однаковому рівні* (за умови, що тиск повітря над рідиною однаковий). У разі однакового тиску висота стовпчика рідини з більшою густиною буде менша за висоту стовпчика рідини з меншою густиною:

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2, \text{ або } \frac{\rho_1}{\rho_2} = \frac{h_2}{h_1}.$$

Прикладами сполучених посудин є: поливальниця, чайник, кавник, фонтан, артезіанський колодязь, водяний рівень. Цей принцип використовують у шлюзах, гідравлічних пристроях, водопроводі.

Знаючи густину тіла й густину рідини, можна передбачити, як поводитиме себе тіло в рідині.

Тоне	Плаває в товщі рідини	Спливає	Плаває на поверхні
$\rho_t > \rho_p$	$\rho_t = \rho_p$	$\rho_t < \rho_p$	$\rho_t < \rho_p$
$F_{\text{тяж}} > F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} < F_{\text{в}}$	$F_{\text{тяж}} = F_{\text{в}}$

## ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. (0,5 б.) Тиск рідини на дно і стінки посудини обчислюють за формулою:

А  $\rho gh$     Б  $\rho gV$     В  $mg$     Г  $\frac{F}{S}$

2. (0,5 б.) Прилад для вимірювання атмосферного тиску називається:

А динамометр    В альтиметр  
Б барометр    Г манометр

3. (1 б.) Який тиск чинить тіло вагою 75 Н на опору, якщо її площа 0,25 м<sup>2</sup>?

А 0,003 Па    Б 18,75 Па    В 75,25 Па    Г 300 Па

4. (1 б.) Склянку заввишки 12 см до краю наповнили водою. Визнач тиск води на дно склянки.

А 1,2 Па    Б 12 Па    В 120 Па    Г 1200 Па

5. (1 б.) На яке з тіл, зображених на малюнку 21.7, діє найбільша виштовхувальна сила?

А тіло 1    Б тіло 2    В тіло 3

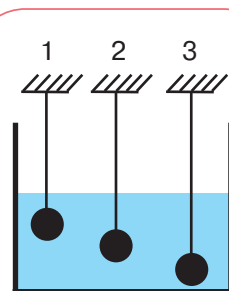
Г на всі тіла діють однакові виштовхувальні сили

6. (1 б.) У ліве коліно сполучених посудин налито олію, у праве — воду. Висота стовпа олії — 10 см, її густина — 900 кг/м<sup>3</sup>. Визнач висоту стовпа води від межі поділу олії та води.

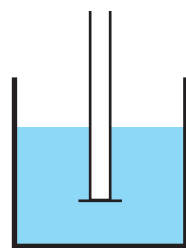
7. (2 б.) На столі стоїть суцільний куб з алюмінію. Яка маса куба, якщо він створює на стіл тиск 2,7 кПа?

8. (2 б.) Визнач об'єм шматка скла, повністю зануреного у воду, якщо на нього діє виштовхувальна сила 250 Н.

9. (3 б.) У посудину з водою опущена трубка, дно якої закрито легеньким диском із картону (мал. 21.8). Диск відпадає, якщо у трубку налити шар олії висотою 30 см. На якій відстані від поверхні води міститься дно трубки?



Мал. 21.7



Мал. 21.8



## РОЗДІЛ 4. МЕХАНІЧНА РОБОТА Й ЕНЕРГІЯ



### ТИ ДІЗНАЄШСЯ

Як фізики вимірюють роботу й потужність.  
Як пов'язані між собою робота та енергія.  
Як розподіляється й перетворюється енергія під час взаємодії тіл.  
Як можна підняти вантаж, не докладаючи великих зусиль.  
Який вигаш у роботі дають прості механізми.

### ТИ НАВЧИШСЯ



Визначати механічну роботу, потужність та енергію.  
Розрізняти види механічної енергії, різновиди простих механізмів.  
Визначати вигаш у силі, що дають прості механізми.  
Конструювати прості механізми і пристрої для перетворення механічної енергії.



### ТИ ЗРОЗУМІЄШ

Що енергія не береться нізвідки і не зникає безслідно.  
Що прості механізми дають вигаш у силі, але не дають вигашу в роботі.  
Чому прості механізми застосовують і в наш час.



# § 22. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО МЕХАНІЧНУ РОБОТУ Й ПОТУЖНІСТЬ



Як фізики вимірюють роботу й потужність?

## ДОСЛІДЖУЙ

### ВИКОНАЙ ДОСЛІДИ

- 1 Підними з підлоги на парту цей підручник (тільки прочитай завдання до кінця). Тепер підними з підлоги й поклади на парту наплічник. Яка величина є однаковою, а яка відрізняється щодо цих предметів?
- 2 Візьми два підручники (можна об'єднатися з однокласником чи однокласницею). Один підручник так само підними з підлоги на парту, а інший — підними над головою на витягнутій руці. Що залишилося незмінним порівняно з попереднім дослідом, а що змінилося?
- 3 Потримай наплічник на витягнутих руках деякий час нерухомо.
- 4 У якому випадку тобі довелося виконати найбільшу роботу? Перевір свою відповідь із поняттям *роботи*, про яке йтиметься в цьому параграфі.

## ДІЗНАВАЙСЯ

**У якому випадку виконується механічна робота?** Напевно, про роботу ти маєш уявлення. Дорослі ходять на роботу, а ввечері повертаючись, цікавляться: яку роботу виконав / виконала ти, зокрема домашні завдання. Роботу виконує вітер, що жене вітрильник, баштовий кран, що піднімає вантаж на будівництві, електричний чайник, що нагріває воду. І таких прикладів можна наводити багато. У побуті словом «робота» називають будь-яку корисну працю — фізичну, розумову чи творчу. У цьому параграфі ти дізнаєшся про механічну роботу, пов'язану з рухом і переміщенням тіл.

Проаналізуємо досліди, проведені на початку уроку. Виконана тобою робота з погляду фізики визначається добутком сили на переміщення, здійснене в напрямку дії цієї сили. У нашому випадку переміщення — це висота, на яку піднімали предмети. За умови рівномірного піднімання прикладена тобою сила зрівноважувала

силу тяжіння, яка, як ти знаєш, пропорційна масі тіла. Оскільки маса наплічника значно більша за масу пенала, то й виконана робота була різною, попри те, що висота була однаковою. У другому випадку однаковим було прикладене зусилля на подолання сили тяжіння, проте різною була висота, на яку піднімали книжки. Якщо виміряти переміщення й масу тіл, що брали участь у дослідах, можна обчислити значення роботи в кожному випадку та визначити її найбільше значення.

Механічну роботу позначають великою літерою  $A$ . Одиниця роботи — джоуль,  $1 \text{ Дж} = 1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Ця одиниця названа на честь англійського фізика Джеймса Джоуля.

**Механічна робота** (*mechanical work*) — це фізична величина, яка характеризує дію сили. У випадку переміщення тіла в напрямку дії сили робота обчислюється за формулою:  $A = Fs$ .



А як щодо третього досліді? Тримати наплічник було найважче.

Здається мені, що, зважаючи на означення, роботи в цьому випадку саме й не було. Ми ж тримали наплічники нерухомо.



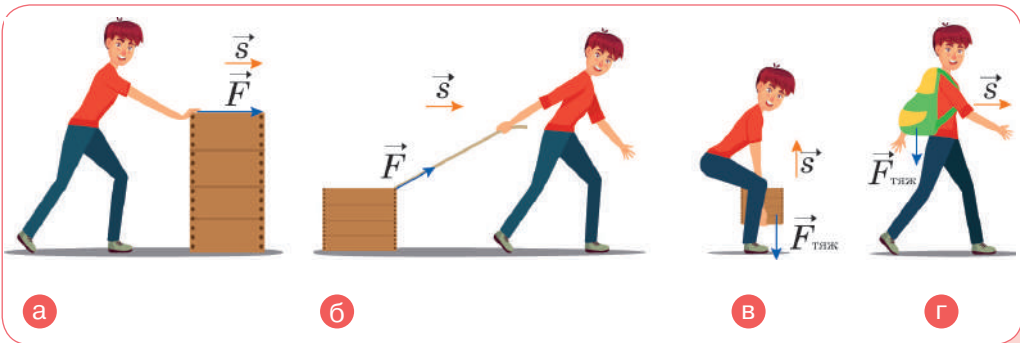
Дослід 1	Дослід 2	Дослід 3
<p>На піднімання підручника масою <math>m_1 = 0,3 \text{ кг}</math> та наплічника масою <math>m_2 = 3 \text{ кг}</math> на висоту парти <math>h = 0,8 \text{ м}</math> виконана така робота:</p> $A_1 = 0,3 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,8 \text{ м} = 2,4 \text{ Дж}$ $A_2 = 3 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,8 \text{ м} = 24 \text{ Дж}$	<p>На піднімання книжок масою <math>m_1 = m_2 = 0,3 \text{ кг}</math> на висоту парти <math>h_1 = 0,8 \text{ м}</math> і на витягнуту руку <math>h_2 = 1,8 \text{ м}</math> виконана така робота:</p> $A_1 = 0,3 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 0,8 \text{ м} = 2,4 \text{ Дж}$ $A_2 = 0,3 \text{ кг} \cdot 10 \text{ Н/кг} \cdot 1,8 \text{ м} = 5,4 \text{ Дж}$	<p>Робота не виконується</p>

З огляду на те, що сила може набувати різного значення й напрямку, потрібно з'ясувати: чи збігається напрямок сили і напрямок руху. Залежно від того, куди напрямлена сила відносно напрямку руху тіла, робота може бути додатною, від'ємною або дорівнювати нулю.

З додатною роботою зрозуміло: напрямок сили й напрямок переміщення збігаються (мал. 22.1, а). І навіть якщо напрямок дії сили й переміщення утворюють гострий кут, робота буде додатною (мал. 22.1, б).

Від'ємною робота буде, якщо ці напрямки протилежні. Наприклад, сила, що діє на тіло, зменшує його швидкість (сила тертя або сила тяжіння під час руху тіла вгору, мал. 22.1, в).

Робота дорівнюватиме нулю, якщо сила діє перпендикулярно до напрямку переміщення тіла (наприклад, на наплічник діє сила тяжіння, але він рухається в горизонтальному напрямку, мал. 22.1, г).



Мал. 22.1

**Як визначають швидкість виконання роботи?** Слово *потужність* тобі також добре відоме. У фізиці потужність — це фізична величина, яка безпосередньо пов'язана з роботою. Наприклад, підйомний кран на будівництві за кілька хвилин піднімає на верхній поверх будинку кілька сотень цеглин. Коли б цю цеглу переносив робітник, він витратив би кілька годин. Зрозуміло, що підйомний кран виконує ту саму роботу швидше, ніж робітник. Швидкість виконання роботи у фізиці характеризують особливою величиною, яку називають *потужністю*.

Щоб обчислити потужність, треба значення роботи поділити на інтервал часу, за який цю роботу виконано:

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

Одиниця потужності — ват,  $1 \text{ Вт} = 1 \frac{\text{Дж}}{\text{с}}$ .

Одиниця потужності названа на честь англійського механіка Джеймса Ватта (1736—1819 рр.), який зробив значний внесок у теорію і практику побудови теплових двигунів.

Знаючи потужність і час, можна обчислити виконану роботу:  $A = Nt$ .

Швидкість виконання роботи пов'язана зі швидкістю руху тіла:  $N = \frac{A}{t} = \frac{Fs}{t} = F \frac{s}{t} = Fv$ , де  $F$  — сила, яка виконує роботу;  $v$  — швидкість руху тіла.

Якщо відомі потужність двигуна і значення сил опору, то можна обчислити можливу швидкість автомобіля чи іншої машини, яка виконує роботу:  $v = \frac{N}{F}$ .

Отже, з двох автомобілів за однакових сил опору більшу швидкість матиме той, у якого потужність двигуна більша.

Часто трапляється одиниця роботи  $\text{кВт} \cdot \text{год}$ :

$$1 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 3,6 \cdot 10^6 \text{ Дж}.$$

А також позасистемна одиниця — кінська сила:

$$1 \text{ к. с.} = 735,5 \text{ Вт}.$$

**Потужність** (power) — це фізична величина, яка характеризує швидкість виконання роботи й визначається відношенням роботи до часу, за який її було виконано.



Потужність

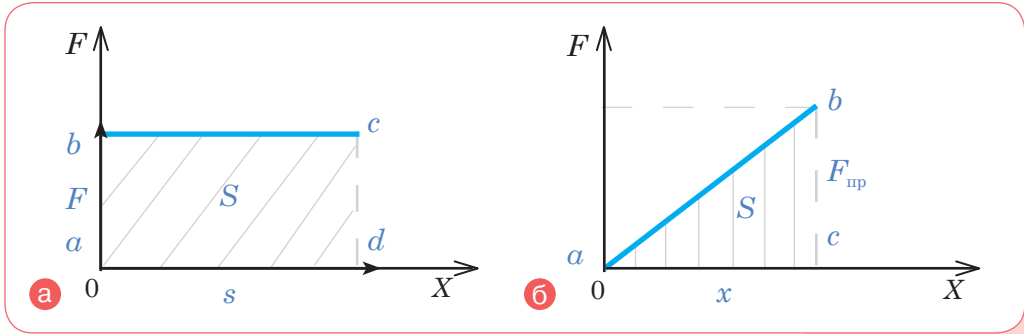
**Як графічно визначити механічну роботу й потужність?**  
Накресли графік залежності величини сили  $F$  від переміщення  $s$  для випадку, коли величина сили не змінюється, а напрямок сили збігається з напрямком переміщення (мал. 22.2, а). З графіка видно, що добуток  $F \cdot s$  збігається за числовим значенням із площею прямокутника  $abcd$ , тобто робота може бути обчислена як площа під графіком сили.



Графічний спосіб обчислення роботи стає в пригоді, коли сила змінюється в процесі переміщення.

Наприклад, у випадку, коли ти розтягуєш пружину з деякою силою  $F$ , величина цієї сили, згідно із законом Гука, збільшується в міру збільшення видовження пружини. Отже, обчислювати роботу за формулою  $A = Fs$  вже не можна.

Накресли графік сили для цього випадку (мал. 22.2, 6). Робота чисельно дорівнює площі трикутника  $abc$  ( $S = \frac{1}{2} ac \cdot bc$ ), де  $ac = x$  — видовження, а відрізок  $bc = F_{\text{пр}}$  — максимальна сила пружності, яка втримує пружину у видовженому стані. Отже, робота з видовження пружини дорівнює  $A = \frac{1}{2} F_{\text{пр}} \cdot x$ . Враховуючи, що за законом Гука  $F_{\text{пр}} = kx$ , отримуємо  $A = \frac{kx^2}{2}$ .



Мал. 22.2

## ДУМАЙ

- 1 Наведи різні способи визначення роботи.
- 2 Чи виконує роботу людина, яка тримає в руці важку валізу?
- 3 У яких випадках про силу можна сказати, що вона виконує додатну роботу?
- 4 Автомобіль рухається рівною дорогою. Чи здійснює роботу сила тяжіння, що діє на автомобіль?
- 5 Чи завжди швидкість виконання роботи однакова? Наведи приклади різної швидкості виконання роботи.
- 6 Чому людина, яка піднялася на гору, виконує більшу роботу, ніж тоді, коли проходить таку саму відстань горизонтальною дорогою?
- 7 Чому навантажений автомобіль з тією самою потужністю двигуна рухається повільніше за ненавантажений?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА 1**

Визнач роботу, яка виконується під час піднімання гранітної плити об'ємом  $0,5 \text{ м}^3$  на висоту  $20 \text{ м}$ . Густина граніту —  $2500 \text{ кг/м}^3$ .

**Дано:**

$$V = 0,5 \text{ м}^3$$

$$h = 20 \text{ м}$$

$$\rho = 2500 \text{ кг/м}^3$$

 $A = ?$ **Розв'язання:**

Робота під час піднімання плити:  $A = Fs$ , де  $F$  — сила, яку треба прикласти, щоб рівномірно піднімати плиту вгору, яка за модулем дорівнює силі тяжіння, що діє на плиту;  $s = h$  — висота, на яку піднімають плиту.

Сила тяжіння визначається за формулою  $F = mg$ . Масу плити можна визначити, знаючи її об'єм і густину граніту:  $m = \rho V$ .

Отже,  $A = \rho Vgh$ .

$$A = 2500 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 0,5 \text{ м}^3 \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 20 \text{ м} = 245\,000 \text{ Дж} = 245 \text{ кДж}.$$

**Відповідь:**  $A = 245 \text{ кДж}$ .
 **ЗАДАЧА 2**

Підймальний кран працював  $5 \text{ хв}$ . За цей час була виконана робота  $9 \text{ МДж}$ . Яку потужність розвивав кран?

**Дано:**

$$t = 5 \text{ хв}$$

$$A = 9 \text{ МДж}$$

 $N = ?$ **СІ**

$$300 \text{ с}$$

$$9 \cdot 10^6 \text{ Дж}$$

**Розв'язання:**За визначенням:  $N = \frac{A}{t}$ ,

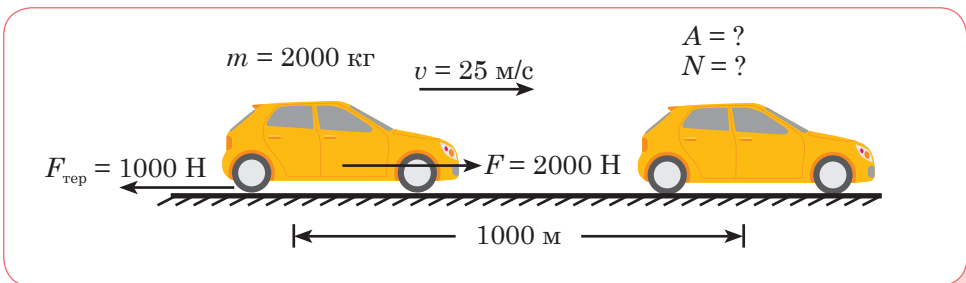
$$N = \frac{9 \cdot 10^6 \text{ Дж}}{300 \text{ с}} = 3 \cdot 10^4 \text{ Вт} = 30 \text{ кВт}.$$

**Відповідь:**  $N = 30 \text{ кВт}$ .

## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Яка робота виконується, коли кран піднімає вантаж масою 10 т на висоту 30 м? Яка потужність крана, якщо цю роботу кран виконує за 2 хв?
- 2 М'яч масою 100 г підкинули на висоту 5 м. Визнач роботу сили тяжіння під час руху м'яча: а) вгору; б) вниз.
- 3 Гиря годинника має масу 0,8 кг і за добу опускається на 120 см. Яка потужність такого механізму? Яка робота виконується під час опускання гирі?
- 4 Спортсмен піднімає штангу масою 125 кг на висоту 2,2 м за 0,2 с. Яку потужність розвиває спортсмен?
- 5 Піднімальний кран підіймає вантаж масою 4,6 т на висоту 8 м. Двигун має потужність 12 кВт. Скільки часу затрачено на піднімання вантажу?
- 6 Поїзд, рухаючись рівномірно, проходить шлях 12 км за 10 хв. Потужність локомотива 3 МВт. Визнач силу тяги локомотива.
- 7 На шляху 50 м рівномірно переміщують санки масою 30 кг. Визнач виконану роботу, якщо сила тертя становить 0,06 ваги санок?
- 8 На останній поверх будинку заввишки 440 м людина масою 60 кг піднялася за 44 хв. Яку середню потужність вона розвивала?
- 9 Автомобіль Bugatti Chiron Super Sport 300+ — один із найшвидших автомобілів у світі. Ним встановлено рекорд максимальної швидкості 490,484 км/год. Його потужність — 1600 к. с. Чому дорівнює потужність цього автомобіля у Вт і сила тяги під час досягнення максимальної швидкості автомобіля?
- 10 Склади за малюнком 22.3 задачу й розв'яжи її.



Мал. 22.3

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Визнач роботу, яку ти виконуєш: а) коли піднімаєш із підлоги на стілець наплічник; б) коли піднімаєшся на третій поверх (у школі чи будинку). Яку роботу за такої умови виконує сила тяжіння? Оформи звіт, у якому вкажи, які прилади було використано для визначення роботи, які вимірювання та розрахунки зроблено, які результати отримано.

## § 23. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО МЕХАНІЧНУ ЕНЕРГІЮ

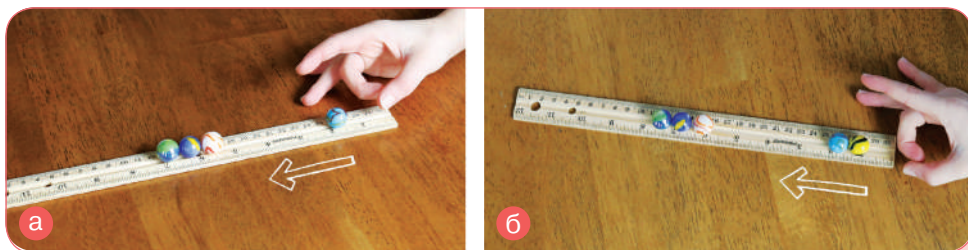


Як пов'язані між собою робота й енергія?

### ДОСЛІДЖУЙ

#### ВИКОНАЙ ДОСЛІДИ

- 1 Тобі знадобляться: пластилін, картон і металева кулька. Розташуй тонким шаром пластилін на аркуші картону. Намагайся зробити поверхню пластиліну якомога гладшою. Підними над поверхнею стола кульку й відпусти її так, щоб вона впала на пластилін. Зафіксуй вм'ятину. Тепер підними кульку на ту саму висоту, але аркуш картону поклади на підлогу. Відпусти кульку. Порівняй результати падіння металевих кульок за вм'ятинами.
- 2 Тобі знадобляться лінійка з канавкою посередині та кілька кульок. Поклади три кульки посередині та одну скраю лінійки. Спрогнозуй, що відбудеться, якщо вдарити крайню кульку в напрямку до інших кульок (мал. 23.1, а). Повтори експеримент із різними конфігураціями кульок (наприклад, запускай по 2 чи 3 кульки до тих, що розташовані посередині лінійки) (мал. 23.1, б).
- 3 Шукай пояснення результатів дослідів у цьому параграфі.



Мал. 23.1

### ДІЗНАВАЙСЯ

**Що тобі відомо про енергію?** Слово *енергія* відоме тобі з повсякденного життя та уроків природознавчих курсів. Поняття *енергії* ввійшло у фізику тоді, коли було встановлено, що один вид руху може змінитися на інший. *Енергія* (грец. — «дія», «діяльність») — це фізична характеристика всіх форм руху матерії та варіантів їхніх взаємодій. Проте у фізиці замість терміна *енергія механічного*

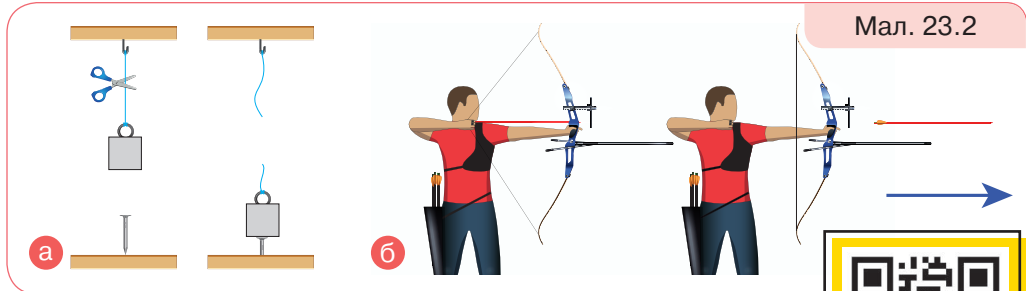


руху говорять просто *механічна енергія*, замість *енергія теплового руху* — *внутрішня енергія*. Тобі відомі й такі терміни, як *електроенергія*, *ядерна енергія*, *світлова енергія*, *магнітна енергія* тощо. Тому необхідно чітко розуміти, що енергія — це універсальна характеристика руху, й вона не існує сама по собі, тобто окремо від тіл, які взаємодіють.

**У яких випадках тіла мають механічну енергію?** Найпростішою формою руху є механічний рух. Механічна енергія позначається літерою *E*.

Енергія, яка проявляється під час взаємодії тіл, руху окремих тіл або частин тіл, називається **механічною енергією** (*mechanical energy*).

Якщо тіло або кілька тіл, які взаємодіють між собою (система тіл), можуть виконувати механічну роботу, то кажуть, що вони мають механічну енергію. Наприклад, піднятий над землею нерухомий вантаж хоч і не виконує роботи, але має запас енергії, і якщо він впаде вниз, то виконає роботу (наприклад, заб'є цвях (мал. 23.2, **а**)). Натягнута тятива лука має запас енергії, адже може виконати роботу з переміщення стріли (мал. 23.2, **б**). Здатність виконувати роботу має і стріла, як і будь-яке рухоме тіло.



Що більшу роботу може виконувати тіло, то більшу енергію воно має. Водночас енергію тіло має завжди, навіть коли немає необхідності здійснювати роботу. Достатньо мати таку можливість, а вже у процесі виконання роботи енергія тіла змінюється.



Перетворення енергії

Виконана робота дорівнює зміні енергії:  $A = \Delta E$ . Тому одиницею енергії є також джоуль.

**Які є види енергії?** Розрізняють два види механічної енергії: *потенціальну* й *кінетичну*. Поверніться до наших прикладів (мал. 23.2). Від чого залежить енергія?



У випадку, зображеному на малюнку 23.2, **а** (с. 199), енергія вантажу залежить від висоти, на яку він піднятий, або, іншими словами, від взаємного розташування тіл — цвяха на поверхні й піднятого над ним вантажу.



У випадку, зображеному на малюнку 23.2, **б** (с. 199), енергія натягнутої тятиви залежить від її розтягу, тобто деформації самої тятиви — наскільки зміщується середина тятиви від якогось нульового положення.

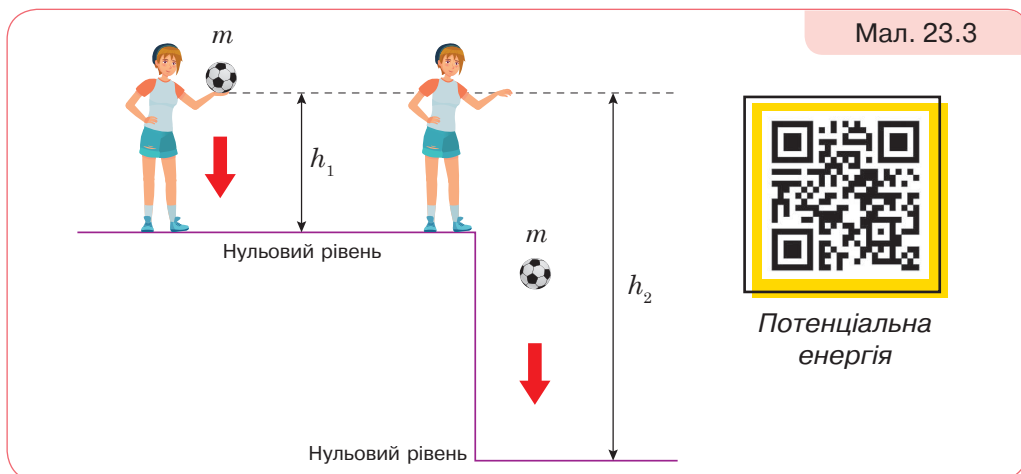
Енергія, яка визначається взаємним положенням тіл, які взаємодіють, або частин одного й того самого тіла, називається потенціальною (лат. *potentia* — «можливість»). Підняте над поверхнею землі тіло, стиснута пружина, стиснутий газ, вода, що падає з греблі, — все це приклади тіл, які мають потенціальну енергію.

Потенціальну енергію позначають  $E_{\text{п}}$ .

Найпростіше обчислити потенціальну енергію піднятого над землею тіла. Нехай тіло масою  $m$  падає з деякої висоти  $h$  (мал. 23.3). На тіло діє постійна сила тяжіння  $F = mg$ . Оскільки переміщення й напрямок сили тяжіння збігаються, то робота сили тяжіння обчислюється:  $A = Fs = mgh$ . Потенціальна енергія тіла залежить від висоти, на якій перебуває тіло, тому *вибір нульового рівня* — *рівня, від якого буде вимірюватися висота*, — впливає на значення потенціальної енергії. Проведені тобою досліди падіння кульок із різних висот переконують у цьому (завдання 1, с. 198).

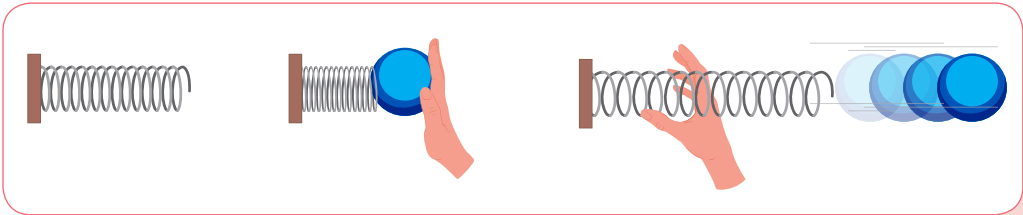
**Потенціальна енергія** (*potential energy*) — це енергія взаємодії тіл або частин тіла, яка визначається їх взаємним положенням.

Підняте над землею тіло на висоті  $h$  має потенціальну енергію  $E_{\text{п}} = mgh$ .



Мал. 23.3

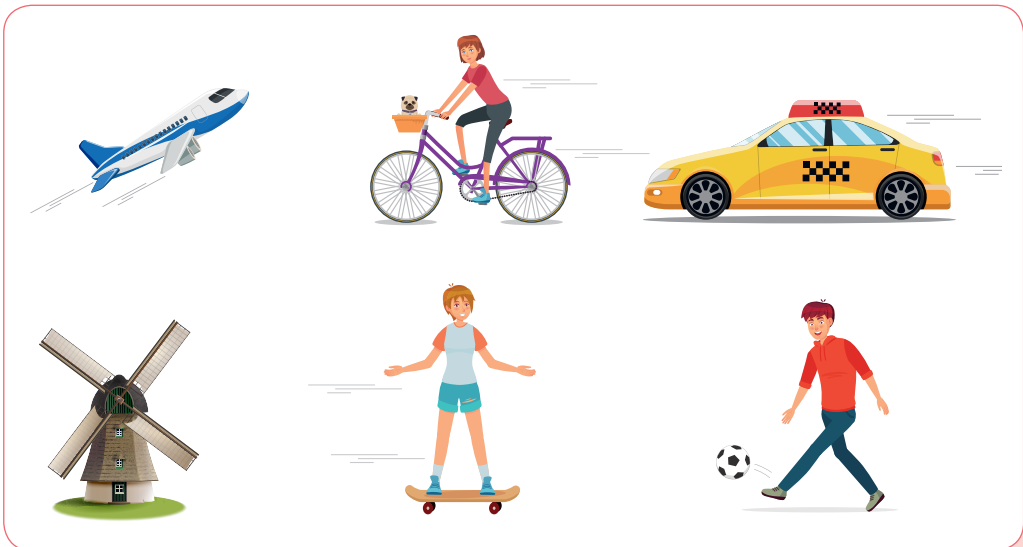
У пружно деформованому тілі (наприклад, пружині, гумовому шнурі тощо) частини тіла взаємодіють силами пружності. Якщо тіло «звільнити», то сили пружності повернуть його до недеформованого стану, виконавши механічну роботу. Наприклад, стиснута пружина, повертаючись до недеформованого стану, штовхає кульку (мал. 23.4). Таким чином, пружно деформоване тіло теж має потенціальну енергію.



Мал. 23.4

Пружно деформована (розтягнена або стиснена) пружина має потенціальну енергію:  $E_{\text{п}} = \frac{kx^2}{2}$ , де  $k$  — жорсткість пружини;  $x$  — видовження (стиснення) пружини.

Кінетична енергія — це енергія, яку має тіло внаслідок свого руху (грец. *кінема* — «рух»). Автомобіль, що рухається, літак, що летить, м'яч, який котиться, — всі ці тіла мають кінетичну енергію (мал. 23.5).



Мал. 23.5

Кінетичну енергію позначають  $E_k$ .

За допомогою дослідів встановлено: що більша маса тіла і швидкість, з якою тіло рухається, то більша його кінетична енергія. Математично кінетична енергія тіла виражається так:

$$E_k = \frac{mv^2}{2}.$$

Виконуючи досліди (завдання 2, с. 198), у тебе була змога пере-свідчитися, що кулька, яка котиться, передає свою енергію іншим кулькам і приводить у рух лише одну кульку. Якщо котяться дві — енергії достатньо, щоб почали рухатися дві кульки.

Кінетичну енергію тіл використовують із певною метою. Так, вода, піднята греблею, має велику потенціальну енергію. Під час падіння з греблі вода рухається і має таку саму велику кінетичну енергію. Вона приводить у рух турбіну, яка з'єднана з генератором, що виробляє електричну енергію. В Україні на Дніпрі побудовано каскад гідроелектростанцій. Завдяки кінетичній енергії вітру обертаються лопаті вітряних електростанцій (мал. 23.6).



Мал. 23.6

Досить часто тіло одночасно має кінетичну й потенціальну енергію. Наприклад, літак, що летить. Оскільки він летить на деякій висоті над Землею, то має потенціальну енергію, і, зрозуміло, унаслідок свого руху — кінетичну енергію. Тобто повна механічна енергія літака  $E = E_k + E_{п}$ .

Отже, енергію не можна побачити, понюхати, скуштувати на смак чи помацати, проте можна її виявити в якомусь певному процесі.

Кінетичну енергію має будь-яке рухоме тіло. Тіло, підняте над землею або пружнодеформоване, має потенціальну енергію. Повна механічна енергія тіла складається із цих двох видів енергії.

Інші види енергії (електрична, внутрішня, теплова тощо) будуть розглянуті в інших курсах фізики.



## ДУМАЙ

- 1 Поясни вираз: «Тіло (або система тіл) має енергію».
- 2 Доведи, що під час виконання роботи енергія тіла змінюється.
- 3 Чому, вказуючи потенціальну енергію тіла, що перебуває на деякій висоті над землею, потрібно ще й зазначати нульовий рівень?
- 4 Який вид енергії мають:
  - а) вітер;
  - б) піднята греблею вода;
  - в) вода, що падає на лопаті турбіни ГЕС?
- 5 Чи можуть два тіла різної маси мати однакову кінетичну енергію? За якої умови?
- 6 За якої умови два тіла різної маси, підняті на різну висоту, матимуть однакову потенціальну енергію?
- 7 Яку роботу треба виконати, щоб: а) тіло маси  $m$  підняти на висоту  $h$ ; б) пружині жорсткості  $k$  надати видовження  $x$ ; в) тілу маси  $m$  надати швидкість  $v$ ?
- 8 Швидкість тіла зростає у 5 разів. У скільки разів збільшилася його кінетична енергія?
- 9 Чи однакова потенціальна енергія люстри, якщо її обчислюють відносно стола й відносно підлоги?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

 **ЗАДАЧА**

Яку роботу необхідно виконати, щоб потяг, який рухається зі швидкістю 72 км/год, збільшив свою швидкість до 108 км/год? Маса потяга — 1000 т. Якою має бути сила тяги локомотива потяга, щоб це збільшення швидкості відбулося на ділянці завдовжки 2000 м?

**Дано:**

$$\begin{aligned}v_0 &= 72 \text{ км/год} \\v &= 108 \text{ км/год} \\m &= 1 \cdot 10^6 \text{ кг} \\s &= 2 \cdot 10^3 \text{ м}\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}A &— ? \\F &— ?\end{aligned}$$

**СІ**

$$\begin{aligned}20 \text{ м/с} \\30 \text{ м/с}\end{aligned}$$

**Розв'язання:**

Робота, яка виконується під час розгону потяга, визначається зміною його кінетичної енергії:

$$A = \frac{mv^2}{2} - \frac{mv_0^2}{2} = \frac{m}{2} (v^2 - v_0^2).$$

$$A = \frac{10^6 \text{ кг}}{2} \left( 900 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} - 400 \frac{\text{м}^2}{\text{с}^2} \right) = 2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}.$$

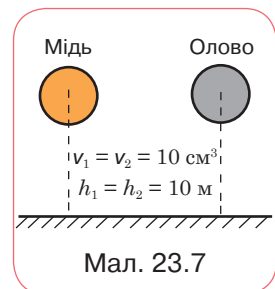
Сила тяги локомотива визначається із співвідношення:  $A = Fs$ .

$$F = \frac{A}{s} = \frac{2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}}{2 \cdot 10^3 \text{ м}} = 125 \text{ кН}.$$

**Відповідь:**  $A = 2,5 \cdot 10^8 \text{ Дж}$ ;  $F = 125 \text{ кН}$ .

**ДІЙ****РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ**

- Обчисли потенціальну енергію космічного корабля масою 1400 кг на висоті 250 км над поверхнею Землі.
- Тіло масою 2 кг розташоване на висоті 9 м над поверхнею Землі. На якій висоті тіло масою 3 кг має таку саму потенціальну енергію?
- Визнач роботу, яку треба виконати, щоб видовжити пружину жорсткістю 400 Н/м на 0,02 м.
- Пружина жорсткістю 150 Н/см стиснута на 4 см. Який запас енергії пружини?
- На малюнку 23.7 вказано розташування двох куль відносно поверхні Землі. У якої із цих куль потенціальна енергія більша і на скільки?



- 6 У скільки разів зміниться кінетична енергія автомобіля в разі збільшення його швидкості з 5 м/с до 72 км/год?
- 7 Тіло масою  $m$  під дією сили  $F$  змінило на шляху  $s$  свою швидкість від  $v_0$  до  $v$ . Користуючись таблицею, визнач: а) зміну кінетичної енергії тіла; б) механічну роботу; в) силу, що діяла на тіло.

№ завдання	$m$	$v_0$	$v$	$s$
1	2 кг	2 м/с	3 м/с	10 м
2	400 г	4 м/с	2 м/с	2 м

- 8 Якою буде потенціальна енергія пружини динамометра, якщо її розтягнути від нульової відмітки до позначки: а) 1 Н; б) 2 Н? Жорсткість пружини 200 Н/м.
- 9 Пружину спочатку видовжили з недеформованого стану до позначки 10 Н, а потім до позначки 20 Н.  
а) У скільки разів робота в другому випадку більша, ніж у першому?  
б) Розв'яжи задачу за допомогою графіка.
- 10 Склади за малюнком 23.8 задачу і розв'яжи її.



## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Добери необхідне обладнання й вимірювальні засоби і визнач значення потенціальної та кінетичної енергії кульок у проведених дослідах (с. 198).
- 2 Досліди залежність кінетичної енергії тіла від його швидкості й маси. Тобі знадобляться: кульки різної маси — 2 шт., жолоб, брусок, стрічка вимірювальна, штатив.
- Закріпи жолоб у похилому положенні за допомогою штатива. До нижнього кінця пристав дерев'яний брусок. Поклади на середину жолоба кульку меншої маси і, відпустивши її, спостерігай, як кулька, скотившись із жолоба і вдарившись об дерев'яний брусок, пересуне його на деяку відстань, здійснивши роботу з подолання сили тертя. Вимірй відстань, на яку перемістився брусок.
  - Повтори дослід, пустивши кульку з верхнього кінця жолоба, і знову вимірй відстань, на яку перемістився брусок.
  - Пустити із середини жолоба кульку більшої маси і знову вимірй переміщення бруска.
  - Повтори дослід, пустивши кульку більшої маси з верхнього кінця жолоба, і знову вимірй відстань, на яку перемістився брусок.
  - Зроби висновки.

## § 24. ДОСЛІДЖУЄМО ПЕРЕТВОРЕННЯ МЕХАНІЧНОЇ ЕНЕРГІЇ



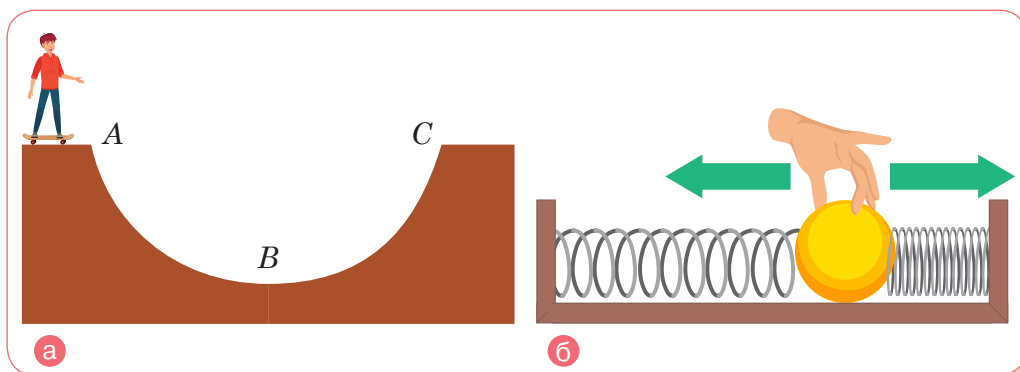
Як розподіляється і перетворюється енергія під час взаємодії тіл?

### ДОСЛІДЖУЙ



Розглянь малюнок 24.1. Укажи випадки, коли потенціальна енергія тіла перетворюється на кінетичну. Як змінюється значення кожного виду енергії? Як змінюється повна енергія системи тіл, які взаємодіють?

Перетворення енергії



Мал. 24.1

### ДІЗНАВАЙСЯ

**Які є перетворення механічної енергії?** У повсякденному житті тобі часто доводилося спостерігати, як потенціальна енергія тіла перетворювалася в його кінетичну енергію і навпаки: кінетична — в потенціальну.

Розглянь приклад перетворення потенціальної енергії тіла в кінетичну (мал. 24.1, а). Потрібно обрати нульовий рівень. Нехай це буде пряма, що проходить через точку *B*. Тоді у верхній точці *A* треку скейтбордист має максимальну потенціальну енергію. За такої умови його кінетична енергія дорівнює нулю (скейтбордист нерухомий). З початком спуску його потенціальна енергія зменшується, а кінетична наростає. У точці *B* його потенціальна енергія дорівнює нулю (це нульовий рівень, від якого вимірюється потенціальна енергія в цьому випадку), а кінетична енергія — максимальна.



За рахунок цієї енергії скейтбордист може підніматися вгору, втрачаючи її, але набуваючи потенціальної енергії. У точці  $C$  його потенціальна енергія максимальна, кінетична — дорівнює нулю. Самостійно опиши перетворення енергії за малюнком 24.1, **б**. Наведи інші приклади перетворення механічної енергії.

**За яких умов справджується закон збереження і перетворення механічної енергії?** У наведених прикладах бачимо, що якщо зменшується один вид енергії, то інший, навпаки, — збільшується. У розглянутих тобою прикладах, якщо знехтувати проявом сил тертя й опору повітря, рух скейтбордиста здійснюється за рахунок сили тяжіння (мал. 24.1, **а**), а рух кульки — за рахунок сили пружності (мал. 24.1, **б**).

Численні й досить точні досліди показали, що для системи тіл, які взаємодіють тільки силою пружності й силою тяжіння, кінетична енергія збільшується настільки, наскільки зменшується потенціальна, тобто сума потенціальної та кінетичної енергії залишається постійною (зберігається). Цю властивість називають *законом збереження і перетворення механічної енергії (the law of conservation and transformation of mechanical energy)*.

У системі тіл, які взаємодіють одне з одним тільки силами пружності та силами тяжіння, повна механічна енергія не змінюється.

Сума потенціальної енергії і кінетичної енергії на початку спостереження

$$E_{k_0} + E_{\pi_0} = E_k + E_{\pi}$$

Сума потенціальної енергії і кінетичної енергії в кінці спостереження



А якщо тертя й опір досить великі, то закон не діє?

Якщо в системі існує тертя, то повна механічна енергія із часом зменшується: частина механічної енергії перетворюється на теплову енергію (під час тертя тіла нагріваються).



Закон збереження механічної енергії є окремим випадком *загального закону збереження і перетворення енергії* в усіх явищах природи, відкритого у 1840 р. Робертом фон Маєром. Незважаючи на те що науковець здійснив відкриття на основі медико-біологічних досліджень, цей закон виявився справедливим для всієї природи.

Закон збереження механічної енергії має надзвичайно важливе теоретичне і практичне значення. Він широко застосовується в науці, техніці та повсякденному житті.

Цей закон слугує основою для розуміння багатьох явищ: від роботи механічних пристроїв до поведінки живих організмів. Енергія має багато форм: механічну, теплову, електричну, ядерну, хімічну, світлову, біологічну тощо. Одна форма енергії може переходити в іншу.

Енергія не виникає і не зникає: вона лише переходить з одного виду в інший — **фундаментальний закон природи**.

ДУМАЙ

1

Наведи приклади перетворення одного виду механічної енергії в інший. На яких світлинах (мал. 24.2) зображено перетворення: а) потенціальної енергії в кінетичну; б) кінетичної енергії в електричну?



Мал. 24.2

- 2 За яких умов виконується закон збереження повної механічної енергії?
- 3 Під час скочування санок із гори їх швидкість безперервно збільшується. Чому?
- 4 Поясни, які перетворення енергії відбуваються під час запускання стріли з лука.
- 5 Чому м'яч, який упав із деякої висоти на землю й відскочив, уже не може піднятися на попередню висоту? Чому м'яч, який упав у пісок, узагалі не підскакує?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### 📌 ЗАДАЧА 1

Тіло масою 2 кг підняте над Землею на висоту 10 м. Визнач повну механічну енергію тіла на цій висоті. Яку потенціальну та кінетичну енергію матиме тіло внаслідок падіння з висоти 5 м?

#### Дано:

$$h_1 = 10 \text{ м}$$

$$h_2 = 5 \text{ м}$$

$$m = 2 \text{ кг}$$

$$E \text{ — ?}$$

$$E_{\text{п}} \text{ — ?}$$

$$E_{\text{к}} \text{ — ?}$$

#### Розв'язання:

Коли тіло розташоване на висоті 10 м і нерухоме, його повна енергія визначається лише його потенціальною енергією:  $E = E_{\text{п}} = mgh_1$ , кінетична енергія в цьому випадку дорівнює нулю.

$$E = 2 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 10 \text{ м} = 196 \text{ Дж.}$$

На висоті 5 м потенціальна енергія тіла  $E_{\text{п}} = mgh_2$  і становить  $E_{\text{п}} = 2 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 98 \text{ Дж.}$

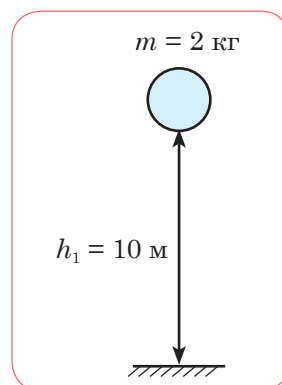
Оскільки, за законом збереження енергії, кінетична й потенціальна енергії тіл можуть змінюватися із часом, але в замкненій системі їх сума залишається сталою, то

$$E_{\text{к}} = E - E_{\text{п}}.$$

$$E_{\text{к}} = 196 \text{ Н} - 98 \text{ Н} = 98 \text{ Н.}$$

#### Відповідь:

$$E = 196 \text{ Дж}; E_{\text{п}} = 98 \text{ Дж}; E_{\text{к}} = 98 \text{ Н.}$$



## ДІЙ

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

- 1 Угору кинуту м'яч зі швидкістю 5 м/с. З більшою чи меншою швидкістю м'яч упаде на землю? Розглянь випадки, коли опору повітря немає й коли він є.
- 2 На яку висоту підніметься камінець, випущений із рогатки, маючи на поверхні землі швидкість 20 м/с і кінетичну енергію 4 Дж? Яка маса камінця?
- 3 М'яч підкинуто вертикально вгору на висоту 2 м. Яка маса м'яча, якщо біля поверхні землі його кінетична енергія становила 20 Дж?
- 4 Тіло вільно падає з висоти 40 м. На якій висоті його потенціальна й кінетична енергії зрівняються? На якій висоті його кінетична енергія стане в 3 рази більша від потенціальної? Опором повітря можна знехтувати.
- 5 Визнач, як зміниться висота підйому кульки пружинного пістолета під час пострілу вертикально вгору, якщо швидкість її вильоту збільшити вдвічі.

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1 Досліди, як відбивається тенісний м'яч від різних предметів: стола, зошита, килима, ракетки тощо. Чи може м'яч підскочити на більшу висоту, ніж та, з якої він упав?
- 2 Сконструуй механізми, які рухатимуться за рахунок перетворення потенціальної енергії в кінетичну (мал. 24.3).



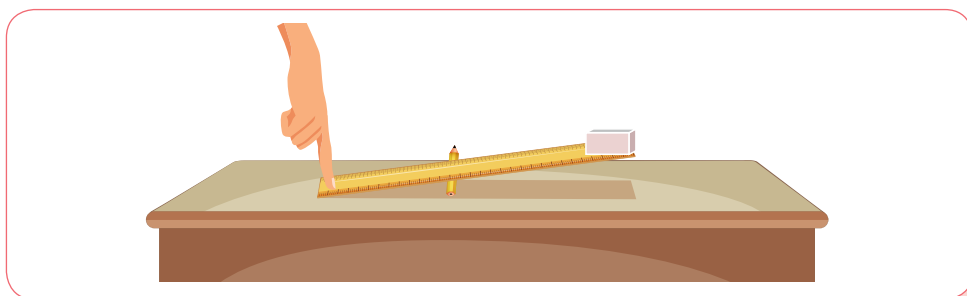
## § 25. ДОСЛІДЖУЄМО ПРОСТІ МЕХАНІЗМИ



Як можна підняти вантаж, не докладаючи великих зусиль?

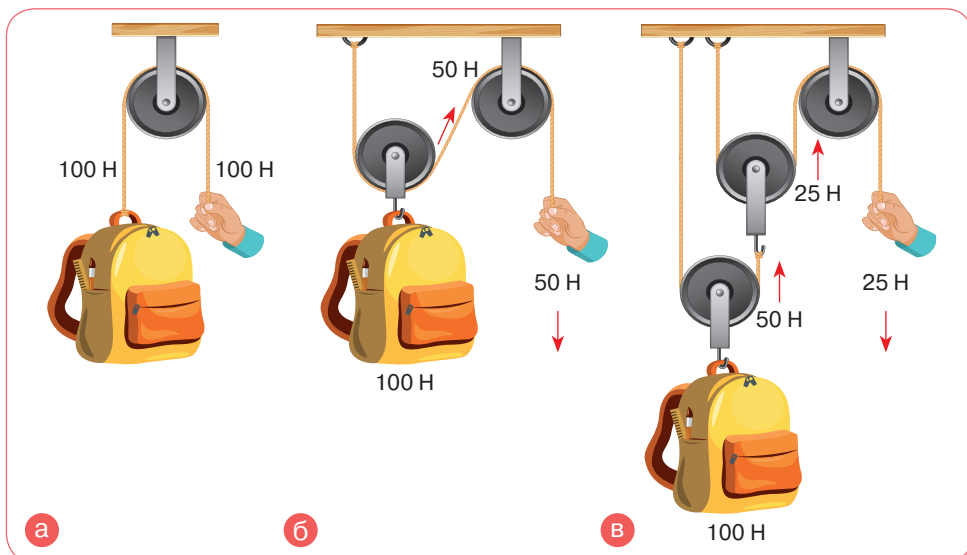
### ДОСЛІДЖУЙ

- 1 Сконструй важіль (мал. 25.1). Змінюй положення олівця під лінійкою і піднімай предмети. У якому положенні зусилля були меншими?



Мал. 25.1

- 2 Розглянь малюнок 25.2, а—в. Укажи, якими цифрами позначені блоки, закріплені нерухомо, та блоки, що можуть вільно переміщатися. У якому випадку докладено найменших зусиль для піднімання вантажу?



Мал. 25.2

## ДІЗНАВАЙСЯ

**Які механізми називають простими?** Прості механізми застосовують здебільшого для того, щоб дістати вигравш у силі. Прикладаючи досить малу силу, можна підняти порівняно важке тіло або змінити напрямок прикладеної сили на зручніший для людини.

До простих механізмів належать: важіль і його різновиди — блок, коловорот; похила площина та її різновиди — клин, гвинт (мал. 25.3).

Пристрої, призначені для перетворення сили, називають **простими механізмами** (*simple mechanisms*).



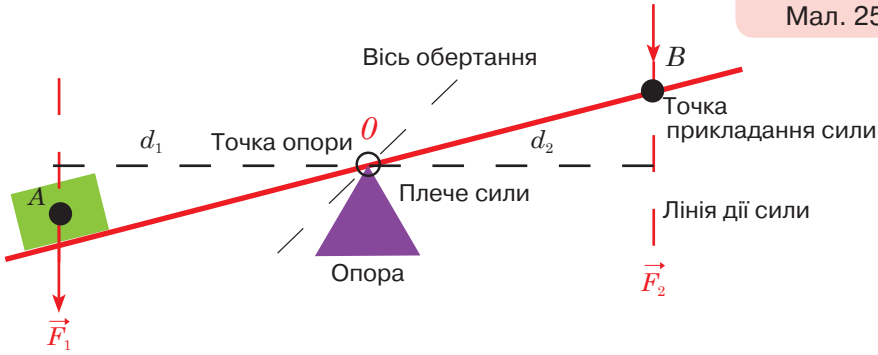
Мал. 25.3

**Які властивості має важіль?** Тобі відомо, що важке тіло підняти значно легше, якщо просунути під нього міцний стрижень — палку, лом чи навіть лінійку (завдання 1, с. 211). Це і є приклади *важеля*.

Щоб описати дію і властивості важеля, застосовують такі поняття: точка прикладання сили, вісь обертання, лінія дії сили та плече сили (мал. 25.4).

**Важіль** (*lever*) — це тверде тіло, яке може обертатися навколо нерухомої опори.

Мал. 25.4



Точками прикладання сили називають точки, у яких на важіль діють сили. Наприклад, у точці  $A$  на вантаж діє сила тяжіння, у точці  $B$  — прикладена сила, щоб підняти цей вантаж. Лінія дії сили — це лінія, уздовж якої напрямлена сила, прикладена до важеля. Плече сили ( $d_1$  та  $d_2$ ) — найкоротша відстань від осі обертання (точки опори  $O$ ) до лінії дії сили. Щоб визначити плече сили, необхідно з точки опори провести перпендикуляр до лінії дії сили. Вісь обертання важеля може проходити через один із його кінців або всередині важеля — між точками прикладання сил.



Важіль

У разі дії кількох сил на важіль він може обертатись або бути нерухомим. Величину, яка характеризує обертальну дію сили, називають *моментом сили*.

Момент сили позначається літерою  $M$ . Одиниця моменту сили —  $1 \text{ Н} \cdot \text{м}$ . Момент сили називають ще *обертальним моментом*.

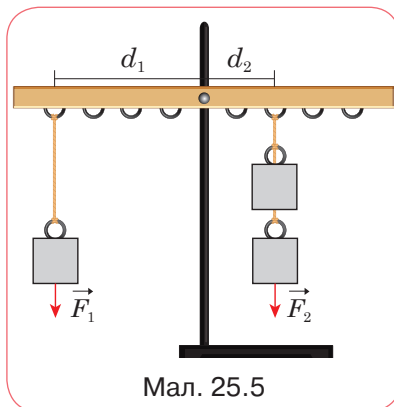
**Момент сили** (*moment of force*) — це фізична величина, яка характеризує обертальну дію сили відносно нерухомої точки  $O$  і визначається добутком сили на плече:  $M = Fd$ .

На малюнку 25.5 зображено шкільний лабораторний важіль. За відсутності тертя для утримання важеля з вантажем у рівновазі необхідно, щоб значення моменту, що обертає важіль за годинниковою стрілкою (тут — момент сили  $\vec{F}_2$ ) відносно осі обертання важеля  $O$ , дорівнювало значенню моменту сили  $\vec{F}_1$  відносно тієї самої осі, що обертає важіль у протилежному напрямку:

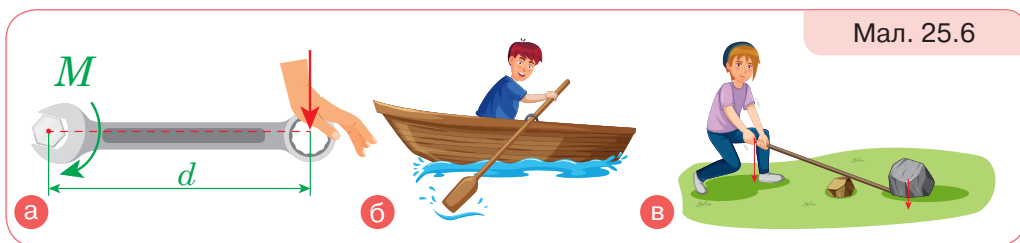
$$F_1 d_1 = F_2 d_2, \text{ або } \frac{F_1}{F_2} = \frac{d_2}{d_1} \text{ — умова рівноваги важеля.}$$

Іншими словами, важіль перебуває в рівновазі, якщо сума моментів сил, що обертають важіль в одному напрямку, дорівнює сумі моментів сил, що обертають його в протилежному напрямку.

Із цього правила видно, що меншу силу можна зрівноважити більшою силою за допомогою важеля. Але слід збільшити довжину плеча важеля. Усім відомо, що гайку легше викрутити довгим гайковим ключем, ніж коротким; важкий камінь зсунути легше довгим важелем (мал. 25.6, а, в). Важіль використовують і задля збільшення відстані. Наприклад, весляр тягне за коротке плече важеля, прикладаючи значну силу, а отримує вигравш у швидкості на кінці довгого плеча (мал. 25.6, б).

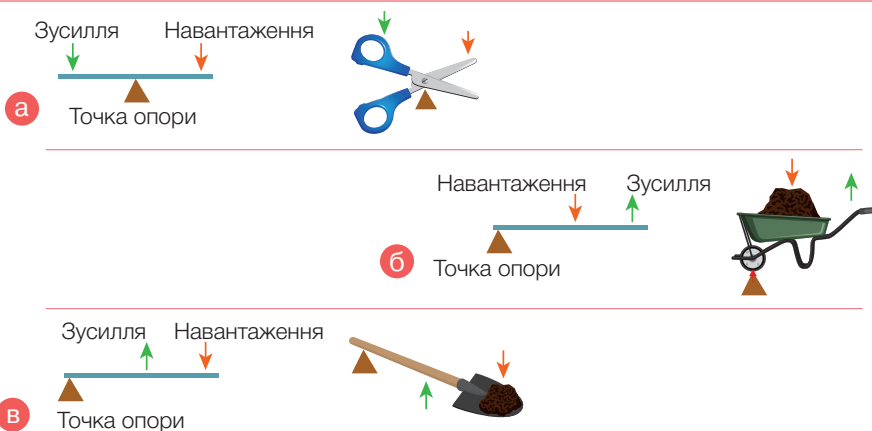


Мал. 25.5



Мал. 25.6

**Які бувають види важелів?** Як було сказано вище, вісь обертання важеля може бути розташована між плечима (мал. 25.7, а) — це важіль першого виду або на одному з країв плеча: важіль другого виду (25.7, б) і третього виду (мал. 25.7, в).



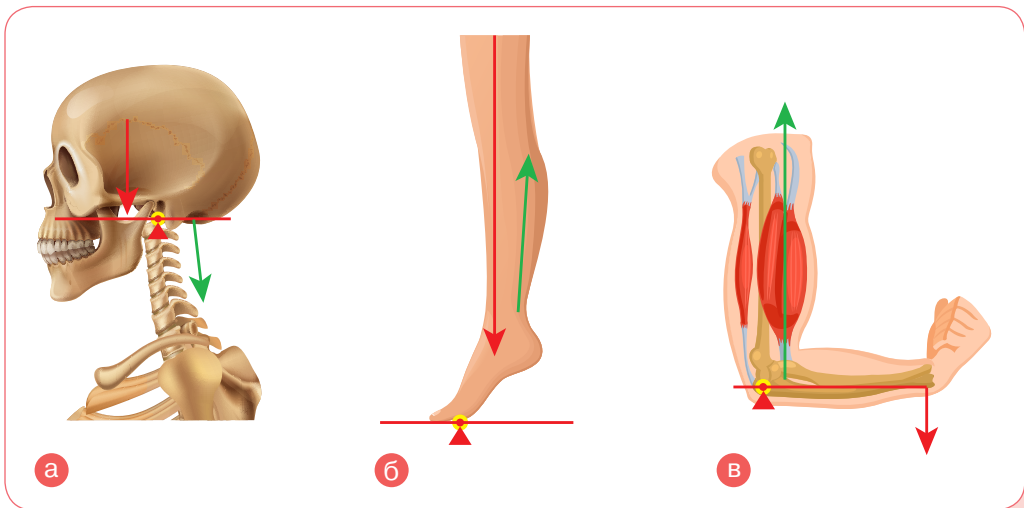
Мал. 25.7



У системі опорно-рухового апарату людини кістки, суглоби і м'язи утворюють своєрідні важелі. Наприклад, кивання головою діє як важіль першого виду. Твій череп є плечем важеля, а м'язи шиї забезпечують силу (зусилля), щоб підняти голову проти ваги голови (навантаження). Коли м'язи шиї розслабляються, голова нахилиється вперед (мал. 25.8, а).

Стійку навшипиньки тобі забезпечує важіль другого виду. У цьому випадку навантаження (вага тіла) міститься між точкою прикладання (шарніром, що міститься в суглобах пальців ніг), а литкові м'язи та ахіллове сухожилля забезпечують зусилля. За рахунок зусилля (скорочення литкових м'язів) тіло піднімається. Ступня діє як важіль (мал. 25.8, б).

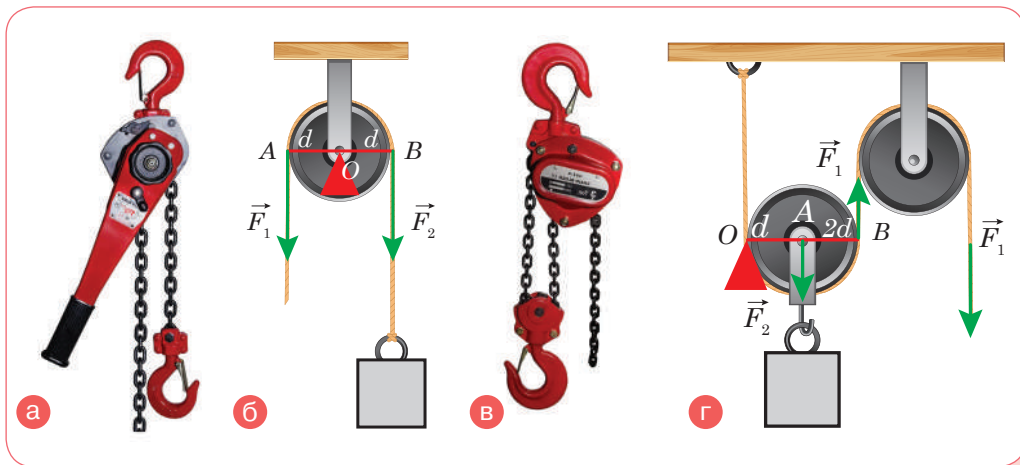
У важелі третього виду навантаження міститься далі від точки обертання, ніж зусилля. Механічної переваги немає, тому що зусилля більше, ніж навантаження. Однак цей недолік компенсується більшим рухом. Цей тип важільної системи також дає нам перевагу для набуття набагато більшої швидкості руху. Зігнута рука — це важіль третього виду. Шарнір міститься в лікті, а передпліччя виконує роль плеча важеля. Двоголовий м'яз забезпечує зусилля (силу) і згинає передпліччя проти ваги передпліччя та будь-якої ваги, яку може тримати рука (мал. 25.8, в).



Мал. 25.8

**Чим блок і коловорот подібні на важіль?** Блок (*block*) — це колесо із жолобом, закріплене в обоймі. По жолобу блока пропускають трос або ланцюг. Нерухомим блоком називають такий блок,

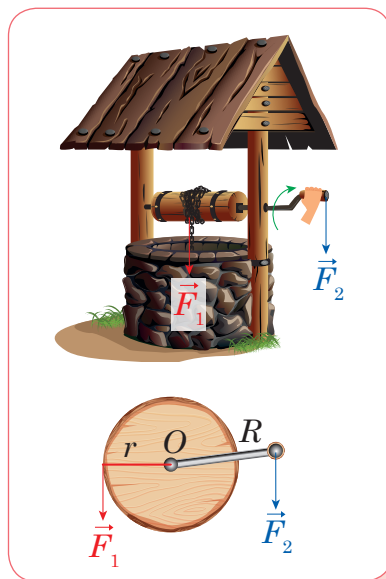
вісь якого закріплена і під час піднімання вантажів не рухається (мал. 25.9, а). *Нерухоми́й блок* можна розглядати як рівноплечий важіль, у якого плечі сил дорівнюють радіусу колеса (мал. 25.9, б). Такий блок не дає виграшу в силі, але дає можливість змінювати напрямок дії сили.



Мал. 25.9

Звичайно на практиці застосовують комбінацію нерухомого блока з рухомим (мал. 25.9, в). Рухомий блок піднімається й опускається разом із вантажем. Такий блок відповідає важелю, що має точку опори на одному кінці, а сили прикладені відповідно до центру важеля й до другого його кінця. У цьому випадку одне плече ( $OB$ ) довше від другого ( $OA$ ) в 2 рази (мал. 25.9, г). Отже, *рухоми́й блок дає виграш у силі в 2 рази*. Нерухоми́й блок використовують разом із рухомим для зручності. Він не дає виграшу в силі, але змінює напрям дії сили, наприклад, дає змогу піднімати вантаж, стоячи на землі.

Окрім блоків, різновидом важеля є *коловорот (wheel and axle)*. Він дає виграш у силі у стільки разів, у скільки довжина ручки коловорота  $R$  більша, ніж його радіус  $r$  (мал. 25.10).

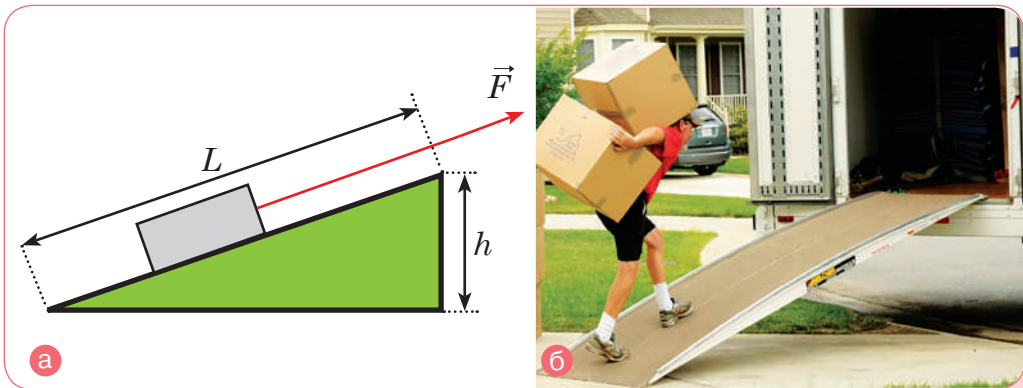


Мал. 25.10

Друга група простих механізмів — похила площина, гвинт і клин теж схожі між собою. *Похила площина (inclined plane)* — це будь-яка плоска поверхня, нахилена під деяким кутом до горизонту. Що більшим є відношення довжини похилої площини  $L$  до її висоти  $h$ , то більший виграш у силі  $n$ . Виграш у силі:  $n = \frac{L}{h}$  разів (мал. 25.11, а). Похилу площину використовують, щоб затягнути або закатити важкий вантаж вгору, оскільки так легше подолати силу тяжіння Землі, ніж піднімати його вертикально (мал. 25.11, б).

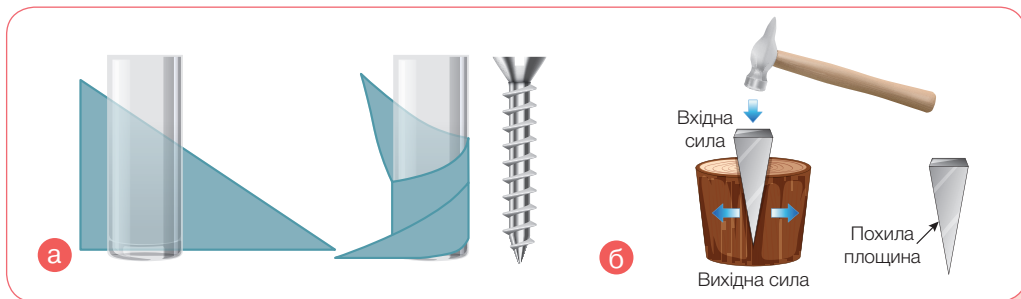


Мені здається, що похила площина в цьому випадку застосовується неефективно (мал. 25.11). А ти як гадаєш?



Мал. 25.11

Окремим різновидом похилої площини є *гвинт (screw)* (мал. 25.12, а, с. 218). Що дрібніша нарізка гвинта, то легше його закрутити, наприклад, у дерево. Гвинти, як правило, дають значний виграш у силі, тому їх застосовують у різних технічних пристроях для надійного з'єднання деталей. Ще одним різновидом похилої площини є *клин (wedge)* (мал. 25.12, б, с. 218). Клин утворюють одна або дві складені разом похилі площини. За принципом клина працюють, наприклад, ножі, голки, сокири та рубанки. Сила, яка діє на верхню поверхню клина, ділиться на сили, спрямовані у бічні сторони. Що менший кут клина, то більший виграш у силі можна отримати.



Мал. 25.12

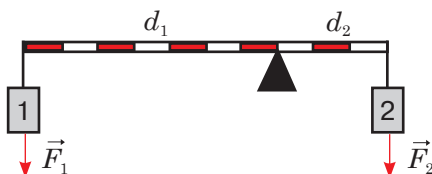
## ДУМАЙ

- 1 У чому полягає правило рівноваги важеля?
- 2 Чому дверні ручки ніхто не кріпить посередині дверей або біля петель?
- 3 Чому довгий стержень легше утримувати в горизонтальному положенні за середину, ніж за край?
- 4 У якому випадку важіль не дає виграшу в силі?
- 5 Чому зігнутою в лікті рукою можна підняти більший вантаж, ніж витягнутою?
- 6 Чому весляр береться за коротку частину весла?
- 7 Який виграш у силі дає нерухомий блок?
- 8 Якої ваги вантаж можна підняти за допомогою нерухомого блока, якщо тягнути мотузку із силою 100 Н?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ

### ЗАДАЧА 1

На малюнку 25.13 зображено важіль, що перебуває в рівновазі. Визнач маси вантажів, якщо їх загальна маса 30 кг.



Мал. 25.13

**Дано:**

$$m_1 + m_2 = 30 \text{ кг}$$

$$m_1 \text{ — ?}$$

$$m_2 \text{ — ?}$$

**Розв'язання:**

$$\text{Умова рівноваги важеля: } \frac{F_1}{F_2} = \frac{m_1 g}{m_2 g} = \frac{d_2}{d_1}.$$

$$\text{З малюнка видно, що } \frac{d_2}{d_1} = \frac{3}{7}. \text{ Тоді } \frac{m_1}{m_2} = \frac{3}{7}.$$

$$\text{Виразимо } m_1 = \frac{3m_2}{7}.$$

$$\text{За умовою } m_1 + m_2 = 30 \text{ кг. Тоді } \frac{3m_2}{7} + m_2 = 30, \quad \frac{3m_2 + 7m_2}{7} = 30,$$

$$10m_2 = 210, \quad m_2 = 21 \text{ кг. Тоді } m_1 = 9 \text{ кг.}$$

**Відповідь:** 21 кг; 9 кг.

## ЗАДАЧА 2

За допомогою рухомого й нерухомого блоків піднімають вантаж, докладаючи зусилля 250 Н. Визнач масу вантажу, якщо маса рухомого блока — 5 кг.

**Дано:**

$$F = 250 \text{ Н}$$

$$m_1 = 5 \text{ кг}$$

$$m_2 \text{ — ?}$$

**Розв'язання:**

$$\text{Рухомий блок дає вигреш у силі в 2 рази: } \frac{P}{F} = 2,$$

$$\text{де } P \text{ — вага вантажу з блоком. } P = (m_1 + m_2)g,$$

$$(m_1 + m_2)g = 2F, \quad m_2 = \frac{2F - m_1 g}{g}.$$

$$m_2 = \frac{2 \cdot 250 \text{ Н} - 5 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} \approx 46 \text{ кг.}$$

**Відповідь:**  $m_2 = 46 \text{ кг.}$

**ДІЙ**

## РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ

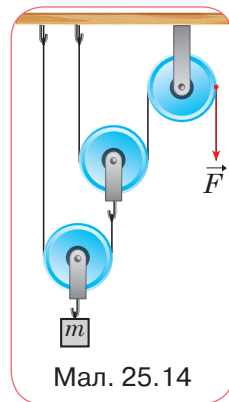
- 1 До короткого плеча важеля підвішено вантаж вагою 4 Н. Плечі важеля відповідно становлять 20 см і 60 см. Обчисли силу, яку необхідно прикласти до довгого плеча, щоб важіль перебував у рівновазі.
- 2 Визнач силу, що діє на довге плече важеля, якщо до його короткого плеча прикладено силу 3,2 Н. Довжина важеля — 1,2 м, довжина короткого плеча — 30 см.

3 До кінців урівноваженого важеля завдовжки 1 м прикладено сили 2 Н і 18 Н. Визнач плечі важеля.

4 До кінця стержня масою 10 кг і завдовжки 40 см підвісили вантажі 400 Н і 100 Н. Де треба підперти стержень, щоб він перебував у рівновазі?

5 Яку силу  $F$  необхідно прикласти до кінця мотузки під час піднімання вантажу масою 200 кг за допомогою системи блоків так, як показано на малюнку 25.14? Тертям можна знехтувати.

6 Стержень, до одного кінця якого прикладено спрямовану вертикально вниз силу 100 Н, перебуває в горизонтальному положенні, якщо його підперти на відстані 0,3 довжини стержня від точки дії сили. Яка маса стержня?



Мал. 25.14

## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

1 Спробуй кілька разів розламати сірник на рівні частини. Чому маленькі шматочки важче розламувати, ніж цілий сірник?

2 Знайди у себе вдома кілька пристроїв, дія яких ґрунтується на умові рівноваги важеля. Згрупуй їх за видами важелів. Проведи необхідні вимірювання та обчислення й дізнайся, який найбільший вигравш у силі (або відстані) можна отримати за їхньою допомогою.

3 Виготов простий механізм власноруч, наприклад водяний гвинт Архімеда. Презентуй свій виріб, супроводжуючи розповіддю про його вплив на якість і спосіб життя людей.

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

**Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!**

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8 «ВИВЧЕННЯ УМОВИ РІВНОВАГИ ВАЖЕЛЯ»

**Мета роботи:** дослідити, за якого співвідношення сил і їхніх плечей важіль перебуває в рівновазі.

**Обладнання:** важіль на штативі, набір тягарців, лінійка, динамометр.

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 25).

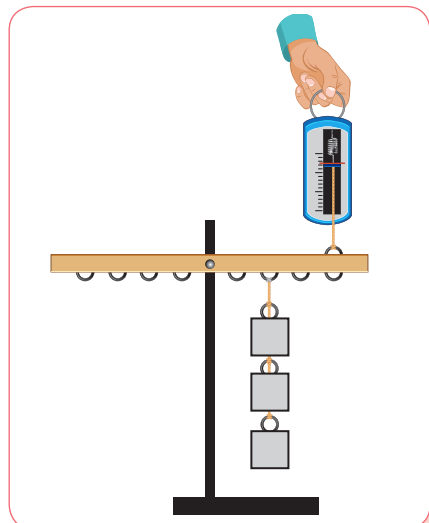


**Вказівки щодо виконання роботи**

- Зрівноваж важіль, обертаючи гайки на його кінцях так, щоб він розмістився горизонтально. Підвісь два тягарці на лівій частині важеля на відстані 12 см від осі обертання.
- Урівноваж важіль, розташовуючи на правій частині важеля один тягарець, три тягарці. Вимірй відстані до осі обертання в кожному випадку.
- Беручи до уваги, що кожен тягарець важить 1 Н, запиши дані й виміряні величини в таблицю. Обчисли відношення сил і плечей для кожного з дослідів.
- Перевір, чи підтверджують результати дослідів умову рівноваги важеля під дією прикладених до нього сил і правило моментів сил.

Номер дослідів	Сила на лівій частині важеля, $F_1$ , Н	Плеце, $d_1$ , см	Сила на правій частині важеля, $F_2$ , Н	Плеце, $d_2$ , см	Відношення сил і плечей
				$\frac{F_1}{F_2}$	$\frac{d_2}{d_1}$

- Підвісь три тягарці праворуч від осі обертання важеля на відстані 6 см (мал. 25.15). За допомогою динамометра визнач силу, яку треба прикласти на відстані 15 см від осі обертання праворуч від тягарців, щоб утримувати важіль у рівновазі.
- Обчисли відношення сил і плечей для випадку, зазначеного вище, та зроби відповідний висновок.



Мал. 25.15

## § 26. ДІЗНАЄМОСЯ ПРО КОЕФІЦІЄНТ КОРИСНОЇ ДІЇ

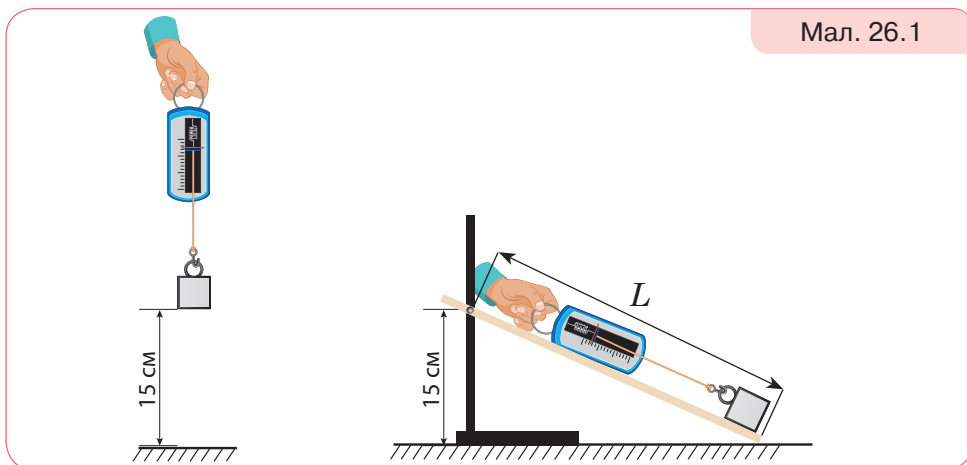


Який вигреш у роботі дають прості механізми?

### ДОСЛІДЖУЙ

#### ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ (мал. 26.1)

- 1 Зачеми за гачок динамометра тягарець і підними його на висоту 15 см. Запиши показання динамометра.
- 2 Закріпи лінійку так, щоб її верхній кінець був на висоті 15 см від поверхні парти. Динамометром тягни тягарець уздовж лінійки. Запиши показання динамометра й довжину шляху, яким рухався вантаж. Порівняй значення сили з попередніми.
- 3 Зроби висновок, чи однакові зусилля затрачено. Чи однакову роботу виконано?

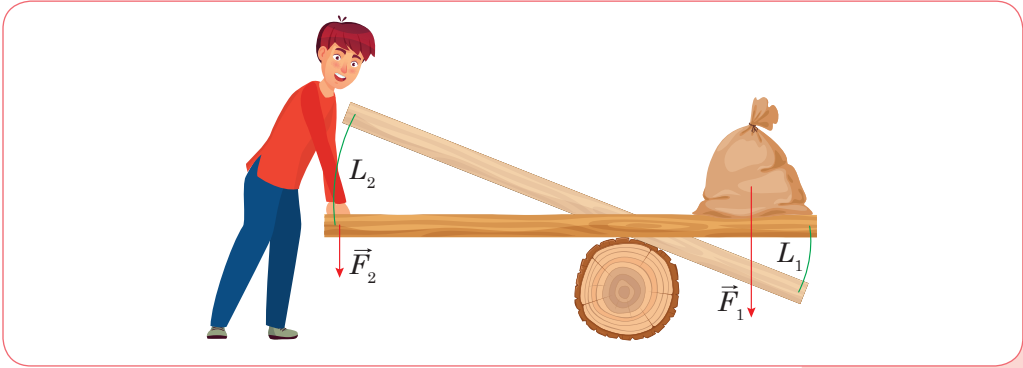


### ДІЗНАВАЙСЯ

**Чи дають вигреш у роботі прості механізми?** Прості механізми допомагають людині виконувати роботу, тому цілком логічно виникає запитання: оскільки прості механізми застосовують для одержання вигрешу в силі або відстані, то, можливо, вони дають вигреш у роботі?



Досліди показують, що під час піднімання вантажу за допомогою важеля за один і той самий час точка прикладання меншої сили  $F_2$  долає більший шлях  $L_2$ , ніж точка прикладання більшої сили  $F_1$  (шлях  $L_1$ ) (мал. 26.2).



Мал. 26.2

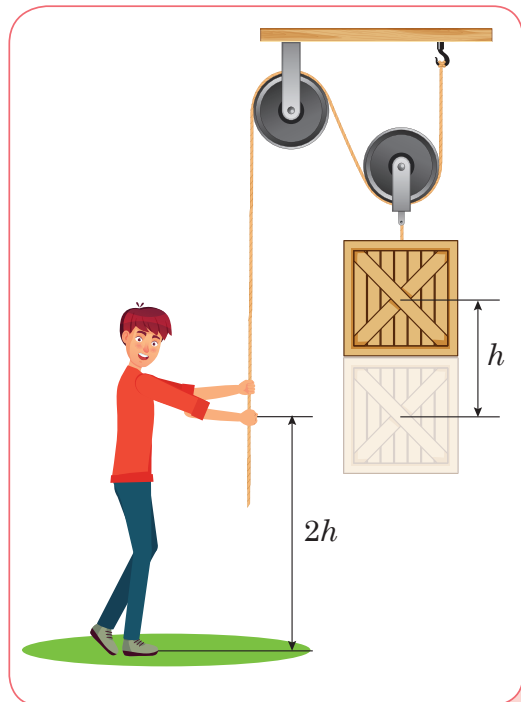
Багаторазові досліди та вимірювання показують, що завжди шляхи, пройдені точками прикладання сил, обернено пропорційні

силам:  $\frac{L_1}{L_2} = \frac{F_2}{F_1}$ .

Важіль не дає виграшу в роботі:  $F_1 L_1 = F_2 L_2$ .

Користуючись важелем, можна виграти або в силі, або у відстані. Якщо ми силу прикладаємо до довгого плеча, то виграємо в силі, але у стільки само разів програємо у відстані. Діючи силою на коротке плече важеля, виграємо у відстані, але у стільки само разів програємо в силі.

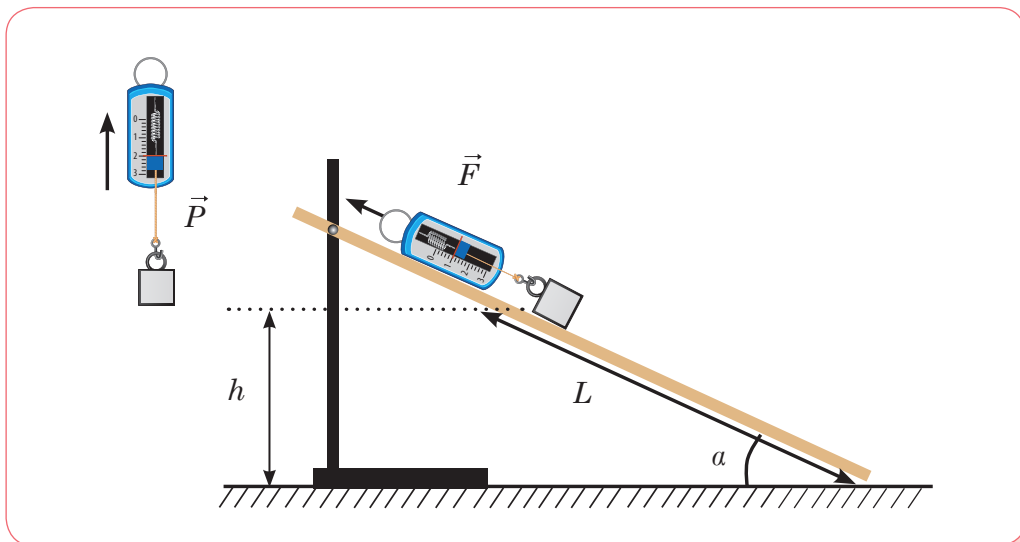
Подібні результати про виграш у силі й однаковість робіт одержимо внаслідок порівняння роботи, яку виконують сили, прикладені до обої рухомого блока та вільного кінця мотузки. Для того щоб



Мал. 26.3

підняти вантаж на висоту  $h$ , доведеться вільний кінець мотузки, до якого ми докладаємо силу, перемістити на відстань  $2h$ , хоча підніматимемо вантаж, прикладаючи силу в 2 рази меншу. Це саме стосується й системи блоків (поліспасти) (мал. 26.3, с. 223). Якщо система дає вигравш у силі в 10 разів, то відстань, на яку нам доведеться перемістити вільний кінець мотузки, буде в 10 разів більшою.

Похила площина також не дає вигравшу в роботі. Використання похилої площини дає змогу отримати вигравш у силі. Наприклад, якщо піднімати брусок масою 200 г на деяку висоту  $h$  за допомогою динамометра, то динамометр покаже силу приблизно  $P = 2$  Н. Якщо сконструювати похилу площину висотою  $h$  і витягувати по ній цей самий брусок, то значення динамометра будуть меншими, ніж у першому випадку  $F < P$  (мал. 26.4).



Мал. 26.4

Похила площина може мати різні значення висоти  $h$  і довжини  $L$ . Що менша висота похилої площини  $h$  порівняно з її довжиною  $L$ , то більшим буде вигравш у силі:  $F = P \frac{h}{L}$ , або  $\frac{h}{L} = \frac{F}{P}$ , де  $F$  — прикладена сила;  $P$  — вага вантажу. Значення роботи, яку нам доведеться виконати, переміщаючи тіло вздовж похилої площини, та роботи, щоб підняти вантаж на ту саму висоту вертикально, — однакові.



Отакої! Жоден простий механізм не дає виграшу в роботі.

Так. У скільки би разів ми не виграли в силі, у стільки само разів програємо у відстані — це правило назвали *золотим правилом механіки*.



## *Як виміряти втрати енергії у використанні простих механізмів?*



До цього часу ми розглядали ідеальні умови використання простих механізмів — уважали, що важіль та блок є невагомими, а сила тертя між частинами механізмів чи тілом та похилою площиною дорівнює нулю. А що ж відбувається в реальних умовах використання простих механізмів?

Виявляється, що під час використання простих механізмів частина виконуваної роботи витрачається на подолання сил тертя, піднімання важеля чи блока або хоча б того самого троса. Як бачиш, роботу можна схарактеризувати за певними ознаками.



*Корисною* називають роботу, для виконання якої застосовують пристрій. Наприклад, робота для підйому вантажів.

*Витрачена*, або *повна*, робота — це та робота, яку необхідно виконати під час користування простим механізмом.

Витрачена робота завжди більша за корисну, тому що частина роботи (енергії) йде на подолання сил тертя й переміщення окремих частин механізму (важеля, блока тощо). Тому доцільно вміти оцінювати ефективність роботи того чи іншого механізму, приладу тощо. Із цією метою використовують фізичну величину, яку називають *коефіцієнт корисної дії* та позначають літерою  $\eta$  («ета»).

Зазвичай ККД вимірюють у %, проте під час розв'язування задач доволі часто зручніше користуватися відносними одиницями. Наприклад, ККД у 80 % означає, що корисна робота становить 0,8 від витраченої.

**Коефіцієнт корисної дії (ККД)** — це фізична величина, що показує ефективність роботи механізму й чисельно дорівнює відношенню корисної роботи до витраченої (повної) роботи:  $\eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{в}}} 100 \%$ .

Хоч би який ми взяли механізм чи машину, корисна робота буде завжди меншою за виконану, оскільки постійно існують втрати енергії, пов'язані із силами тертя та необхідністю прикладати зусилля на переміщення частин механізмів. Отже, ККД будь-якого механізму завжди менше ніж 100 %.

Конструктори механізмів щоразу намагаються збільшити ККД. Для цього зменшують вагу складових елементів та силу тертя між частинами механічних пристроїв. Наразі існують машини та механізми, ККД яких досягає 98–99 %. Проте побудувати пристрій із ККД у 100 % неможливо.



Якщо ідеальних простих механізмів не існує, то не діє правило моментів для важеля? І розрахунки виграшу в роботі для блоків були неправильними?

Насправді, якщо маса простого механізму чи його частини значно менша за масу тіла, яке необхідно підняти, або ж сили, що прикладають під час виконання роботи, значно більші за сили тертя, то похибка під час обчислення величин за формулами для ідеальних простих механізмів є незначною.



### ДУМАЙ

- 1 Наведи приклади природних і штучних важелів, що забезпечують виграш у відстані й програш у силі.
- 2 Олівець або ручка є важелем. Де розміщується точка опори під час писання?
- 3 Як знайти середину бруска, не вимірюючи його довжини?

- 4 З якою метою рухомий блок зазвичай використовують у комбінації з нерухомим?
- 5 Від чого залежить виграш у силі під час руху тіла похилою площиною?
- 6 Чи може людина підняти себе за допомогою нерухомого блока?
- 7 Чому важко підніматися крутими сходами?
- 8 Чому дорога в горах має багато поворотів?
- 9 Поясни, чому гвинт і гвинтовий домкрат є частинними випадками похилої площини.
- 10 Чому треба так довго крутити ручку домкрата, щоб хоча б трохи підняти корпус автомобіля?

## УЧИСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ФІЗИЧНІ ЗАДАЧІ



### ЗАДАЧА 1

За допомогою рухомого блока масою 2 кг на висоту 5 м підняли вантаж масою 20 кг. Який ККД пристрою?

**Дано:**

$$m_1 = 20 \text{ кг}$$

$$m_2 = 2 \text{ кг}$$

$$h = 5 \text{ м}$$

$\eta$  — ?

**Розв'язання:**

$$\text{За означенням } \eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{в}}} \cdot 100 \text{ \%}.$$

Корисна робота в цьому випадку — це робота, яка витрачається на подолання сили тяжіння, що діє на вантаж масою  $m_1$  і піднімання вантажу на висоту  $h$ :  
 $A_{\text{к}} = Fh = m_1gh$ .

$$A_{\text{к}} = 20 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 980 \text{ Дж}.$$

Застосовуючи рухомий блок, виконують додаткову роботу й на піднімання самого блока. Тоді повна робота:  $A_{\text{в}} = (m_1 + m_2)gh$ .

$$A_{\text{в}} = (20 \text{ кг} + 2 \text{ кг}) \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 5 \text{ м} = 1078 \text{ Дж}.$$

$$\eta = \frac{980 \text{ Дж}}{1078 \text{ Дж}} \cdot 100 \% = 91 \text{ \%}.$$

**Відповідь:**  $\eta = 91 \text{ \%}$ .

 **ЗАДАЧА 2**

Під час рівномірного переміщення вантажу масою 15 кг похилою площиною динамометр, прикріплений до вантажу, показує силу 40 Н. Обчисліть ККД похилої площини, якщо її довжина — 1,8 м, висота — 30 см.

**Дано:**

$m = 15 \text{ кг}$

$F = 40 \text{ Н}$

$h = 0,3 \text{ м}$

$L = 1,8 \text{ м}$

$\eta \text{ — ?}$

**Розв'язання:**

$$\text{За означенням } \eta = \frac{A_{\text{к}}}{A_{\text{в}}} \cdot 100 \%$$

Корисна робота в цьому випадку — це робота, яка затрачається на подолання сили тяжіння, що діє на вантаж масою  $m$  і піднімання його на висоту  $h$ :  $A_{\text{к}} = mgh$ .

Затрачена робота — це робота, яка виконується під час руху вантажу похилою площиною на відстань, що дорівнює довжині похилої площини:  $A_{\text{в}} = FL$ , де  $F$  — сила, що показує динамометр.

$$\eta = \frac{mgh}{FL} \cdot 100 \%$$

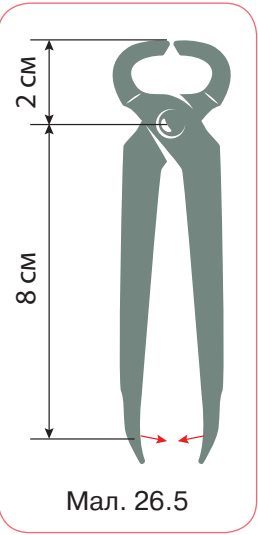
$$\eta = \frac{15 \text{ кг} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,3 \text{ м}}{40 \text{ Н} \cdot 1,8 \text{ м}} \cdot 100 \% = 61 \%$$

**Відповідь:**  $\eta = 61 \%$ .


**ДІЙ**
**РОЗВ'ЯЖИ ЗАДАЧІ**

- 1** Відро з піском масою 24,5 кг піднімають за допомогою нерухомого блока на висоту 10 м, діючи на мотузку силою 250 Н. Обчисли ККД установки.
- 2** Вантаж масою 1,2 кг рівномірно перемістили до вершини похилої площини, довжина якої 0,8 м і висота — 0,2 м. Під час цього переміщення сила, яка була прикладена до вантажу, дорівнювала 5,4 Н. Який ККД похилої площини?
- 3** На яку висоту потрібно підняти край дошки завдовжки 1,8 м, щоб витягти по ній вантаж масою 120 кг, прикладаючи силу 400 Н?
- 4** Підіймальний кран рівномірно піднімає вантаж масою 60 кг на висоту 50 м за 2 хв. Визнач потужність цього крана, якщо його ККД становить 80%.

- 5** Двигун насоса має потужність 25 кВт і піднімає  $100 \text{ м}^3$  нафти на висоту 6 м за 8 хв. Визначи ККД нафтового насоса.
- 6** Щоб «перекусити» дрід товщиною 3 мм, використали обценьки (мал. 26.5). Яку роботу виконано під час «перекушування» дроту, якщо до ручок обценьок прикладено зусилля 200 Н?



## ВИКОНАЙ ДОСЛІДЖЕННЯ

- 1** З'ясуй, як залежить ККД похилої площини від кута її нахилу. Чому змінюється ККД у разі зміни кута нахилу площини?

## ВИКОНАЙ ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

Виконуй досліди з дотриманням правил безпеки життєдіяльності!

### ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9 «ВИЗНАЧЕННЯ ККД ПОХИЛОЇ ПЛОЩИНИ»

**Мета роботи:** переконатися, що корисна робота менша від витраченої; навчитися визначати коефіцієнт корисної дії простого механізму.

**Обладнання:** дошка, динамометр, лінійка, брусок, штатив із лапкою.

Аркуш для оформлення роботи роздрукуй із цифрового додатка (Лабораторні роботи, до § 26).



#### *Вказівки щодо виконання роботи*

1. Установи дошку похило у штативі. Вимірй висоту й довжину похилої площини.
2. Підвісь до динамометра брусок і тягарці та визнач їх сумарну вагу,  $P = mg$ .
3. Витягуй за допомогою динамометра брусок із тягарцями похилою площиною. Визначи силу, з якою тіло переміщують похилою площиною  $F$ .

4. Обчисли витрачену роботу  $A_B = FL$  та коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{A_K}{A_B} 100 \%$$

5. Повтори досліди, змінюючи висоту похилої площини.

№ досліду	Висота похилої площини, $h$ , м	Вага вантажу, $P$ , Н	Корисна робота, $A_K$ , Дж	Довжина похилої площини, $L$ , м	Сила тяги, $F$ , Н	Витрачена робота, $A_B$ , Дж	Коефіцієнт корисної дії, $\eta$ , %
1							
2							
3							

### ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ



*Механічна робота виконується тільки тоді, коли на тіло діє сила і тіло переміщується під дією цієї сили. Потужність показує, яка робота виконується за одиницю часу.*

Робота є додатною, $A > 0$	Робота є від'ємною, $A < 0$	Робота дорівнює нулю, $A = 0$
Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла $A = Fs$	Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла $A = -Fs$	Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла $A = 0$
$A = Fs$ 	$N = \frac{A}{t}$ 	

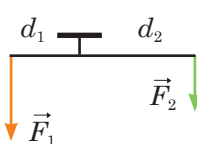
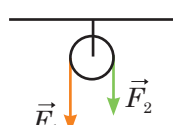


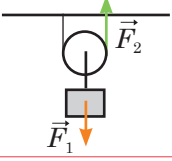
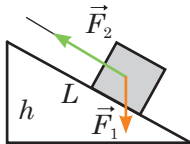
*Енергія* — це фізична величина, що характеризує здатність тіла виконувати роботу:  $\Delta E = A$ .

Види механічної енергії		
<b>Кінетична енергія</b> $E_k$ — енергія, зумовлена рухом тіла	<b>Потенціальна енергія <math>E_n</math></b> — енергія, зумовлена взаємодією тіл або частин тіла	
$E_k = \frac{mv^2}{2}$ <p><math>m</math> — маса тіла; <math>v</math> — модуль швидкості руху тіла</p>	<p><math>E_n</math> піднятого тіла:</p> $E_n = mgh$ <p><math>m</math> — маса тіла; <math>h</math> — висота відносно нульового рівня</p>	<p><math>E_n</math> пружно деформованої пружини (шнура):</p> $E_n = \frac{kx^2}{2}$ <p><math>k</math> — жорсткість пружини (шнура); <math>x</math> — видовження</p>
Сума кінетичної та потенціальної енергії тіла (системи тіл) — це повна механічна енергія тіла (системи тіл): $E = E_k + E_n$		

*Закон збереження енергії* стверджує, що енергія не виникає з нічого і не зникає нікуди, вона лише переходить з одного виду в інший або від одного тіла до іншого.

*Прості механізми* перетворюють силу під час виконання роботи.

Простий механізм	Виграш у силі за ідеальних умов	Виграш у відстані	ККД за реальних умов	Причини зменшення ККД
Важіль 	$\frac{F_2}{F_1}$	$\frac{d_1}{d_2}$	$\eta = \frac{F_1 d_1}{F_2 d_2}$	Вага важеля, сила тертя в осі важеля
Блок нерухомий 	Не дає	Не дає	$\eta = \frac{F_1}{F_2}$	Вага мотузки, сила тертя в осі блока

Простий механізм	Виграш у силі за ідеальних умов	Виграш у відстані	ККД за реальних умов	Причини зменшення ККД
Блок рухомий 	2	0,5	$\eta = \frac{0,5F_1}{F_2}$	Вага блока і мотузки, сила тертя в осі блока
Похила площина 	$\frac{L}{h}$	$\frac{h}{L}$	$\eta = \frac{F_1 h}{F_2 L}$	Сила тертя

### ПЕРЕВІР СЕБЕ

1. (0,5 б.) Під дією сили 5 Н тіло перемістилося на 3 м в напрямку дії сили. Яку механічну роботу виконала ця сила?

**A** 2 Дж **Б** 3 Дж **В** 15 Дж **Г** 2,5 Дж

2. (0,5 б.) Яка із зазначених фізичних величин вимірюється в джоулях?

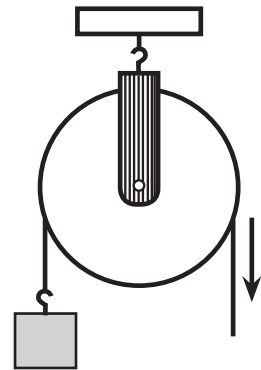
**A** маса **Б** сила **В** тиск **Г** потужність  
**Г** енергія

3. (0,5 б.) Який простий механізм зображено на малюнку?

**A** важіль **Б** рухомий блок  
**В** нерухомий блок **Г** гвинт

4. (0,5 б.) Яку роботу виконує двигун потужністю 240 Вт за 20 с?

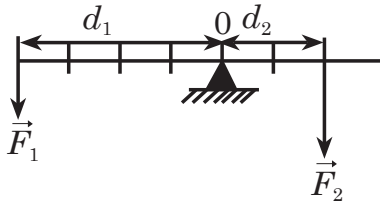
**A** 12 Дж **Б** 120 Дж **В** 240 Дж **Г** 4800 Дж



5. (1 б.) М'яч підкинули вертикально вгору. Яку потенціальну енергію він матиме у верхній точці траєкторії, якщо біля поверхні Землі його кінетична енергія становила 20 Дж?

А 0 Дж   Б 10 Дж   В 20 Дж   Г 40 Дж

6. (1 б.) Важіль, зображений на малюнку, перебуває в рівновазі. Визнач  $F_1$  і  $d_2$ , якщо  $F_2 = 40$  Н,  $d_1 = 40$  см.



7. (2 б.) За допомогою рухомого блока рівномірно піднімають тіло масою 2 т на висоту 2 м. Який ККД механізму, якщо затрачена робота дорівнює 55 000 Дж?

8. (2 б.) На деякій висоті над Землею тіло має потенціальну енергію 80 Дж. Яку кінетичну енергію матиме це тіло під час вільного падіння в точці, у якій його потенціальна енергія вже становитиме 30 Дж?

9. (2 б.) Похилою площиною переміщують вантаж вагою 3,5 кН на висоту 1,4 м. Обчисли роботу, яку виконують, якщо ККД похилої площини становить 60 %.

10. (2 б.) Із дна озера піднімають кам'яну брилу розмірами 40 см × 50 см × 75 см. Яку мінімальну роботу потрібно виконати, якщо глибина озера 12 м? Брилу піднімають повільно й опором води можна знехтувати. Густина каменя — 2500 кг/м<sup>3</sup>.

### Семикласнику і семикласниці!

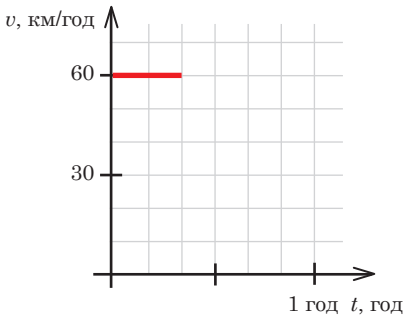
Сподіваємося, що вивчення фізики було захопливим і цікавим. Спробуйте свої сили у виконанні дослідницьких задач, скориставшись відео та інструкціями із цифрового додатка (Дослідницькі задачі, до с. 233).



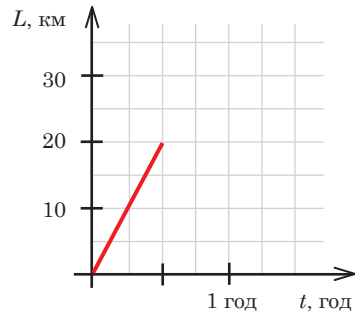
## ВІДПОВІДІ

- § 4. 1. 10 м/с, 600 м/с, 0,6 м/с. 2. а) 20 см; 20 см; б) 40 см; скористайся лінійкою; в) 60 см; 20 см; г) 80 см; 0 см. 3. а) 2 км; б) 10 км; в) 8 км; г) 12,56 км; д) 8 км, у напрямку осі X. 4.  $L = 3,6$  м.  $s = 1,4$  м. 5. 5 м. 6. 72 000 м. 7. 45 м. 8. 2 кроки за секунду. 9. 110 км/год. 10. а) 20 км/год; б) 100 км/год. 11. 260 км. 12. 140 м. 13. через 1 год — 35 км, через 2 год — 70 км. 14. 17 год. 15. 30 км. 16. 23 км/год.

- § 5. 1. Графіки зображено на малюнку 1, **а**, **б**.



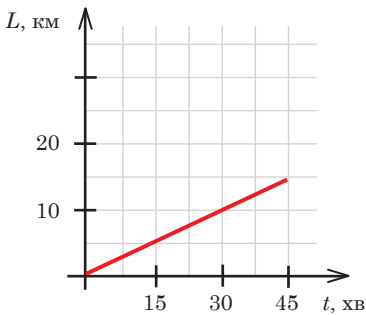
Мал. 1, **а** Графік  $v(t)$



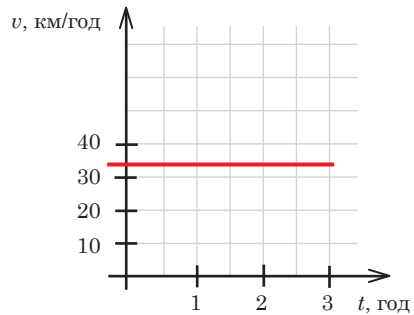
**б** Графік  $L(t)$

2. 15 км. Графік зображено на мал. 2.

3. Графік зображено на мал. 3.

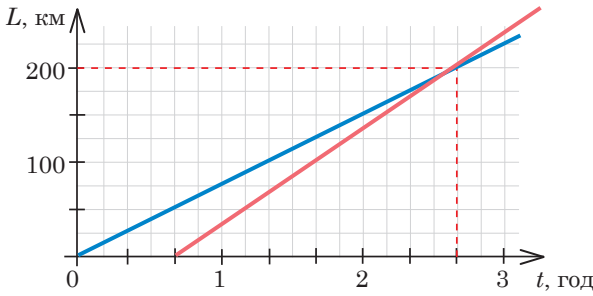


Мал. 2



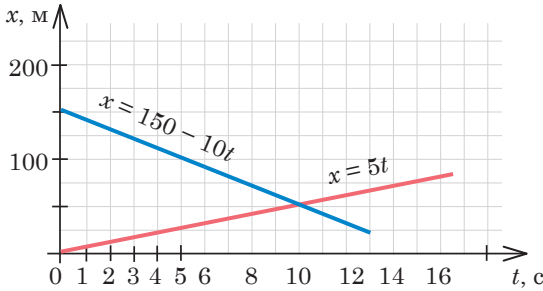
Мал. 3

4. Для автомобіля  $x_1 = 0 + 80t$ , км; для автобуса  $x_2 = 360 - 40t$ , км (час у годинах). Час зустрічі 3 год від початку руху, місце зустрічі — 240 км. До моменту зустрічі автомобіль пройшов 240 км, автобус — 120 км. 5. а) 80 м; б) 8 с, 80 м; в) 10 м/с, 20 м/с; г) 80 м, 160 м; д) 20 м. 6. 20 хв; за 2 год після початку руху маршрутного таксі або за 2 год 40 хв після початку спостереження. Графік зображено на мал. 4.



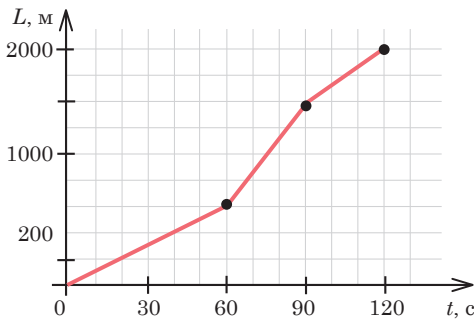
Мал. 4

7. 50 м; 10 с. Графічний спосіб зображено на мал. 5.

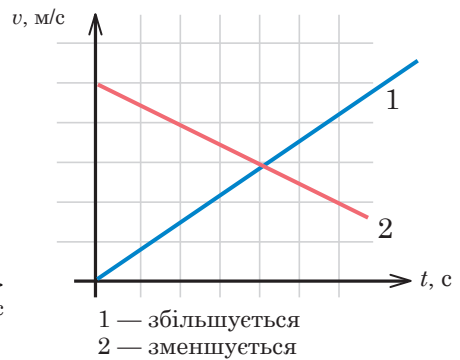


Мал. 5

- § 6. 1. 90 км/год, 89 км/год. 2. 2,08 м/с. 3. Різний: перше — 9 год, друге — 8 год.  
4. 17,5 м /с; 1500 м. Графік на мал. 6.  
5. Нерівномірно, 350 м, 14 м/с.



Мал. 6



Мал. 7

6. Графіки на мал. 7. 7. 108 год, 12 м, 4 м, 3 м/добу, 1 м/добу.

- § 7. 1. 2400 об/хв; 50,2 м/с. 2. 60 с; 3600 с; 43200 с. 3. У 12 разів.  
4.  $\frac{1}{4}$  оберту. 5. У 90 разів. 6. 92 хв 45 с. 7. 1022,4 м /с;  
3680,6 км/год. 8. 100 об/с. 9. У 3 рази. 10. 0,41 об/хв. 11. Проти  
годинникової стрілки; 5 об/с; 0,2 с; 0,1 с.

## Перевір себе.

1. В. 2. А. 3. Г. 4. В. 5. 38 м. 6. 3,77 м. 7. В. 8. Б. 9. 5 м.  
10. 7 м/с. 11. 300 м. 12. 120 с.

§ 8. 1. 300 кг; 0,0002 кг; 0,02 кг; 1300 кг. 2. У 5 разів. 3. 6 кг.  
4. 1,25 м/с. 5. 13 м/с. 6. 100 кг.

§ 9. 1. Перше тіло має в 7 разів більшу густину. 2. 7 100 кг/м<sup>3</sup>;  
цинк. 3. 800 кг/м<sup>3</sup>. 4. 2,825 кг. 5. 5850 кг. 6. 2 дм<sup>3</sup>, або 2 л.  
7. Не суцільна. 8.  $3,3 \cdot 10^{28}$ . 9. 0,4 кг. 10. 3,8 кг. 11. 787 м;  
500 витків. 12. 4,25 см<sup>3</sup>.

§ 10. 2. 25 Н, 5 Н. 3. Може бути 12 Н; 6 Н; 4 Н; 2Н. 4. 0 Н; 40 Н;  
60 Н; 100 Н. 5. а) 60 Н праворуч; б) 200 Н вниз.

§ 11. 1. 40 Н. 2. 0,02 Н/м. 3. 9 мм. 4. 24 Н; 34 Н. 5. 10 см.

§ 12. 1. 58,8 Н. 2. 490 Н. 3. 26,46 Н. 4. 4,9 Н. 5. 0,02 м<sup>3</sup>. 6. 147 Н.  
7. 5 кг.

§ 13. 2. Меркурій:  $v = 1,7 \cdot 10^5$  км/год, Венера:  $v = 1,3 \cdot 10^5$  км/  
год, Земля:  $v = 1 \cdot 10^5$  км/год, Марс:  $v = 0,8 \cdot 10^5$  км/год, Юпітер:  
 $v = 0,5 \cdot 10^5$  км/год, Сатурн:  $v = 0,3 \cdot 10^5$  км/год, Уран:  
 $v = 0,2 \cdot 10^5$  км/год, Нептун:  $v = 0,2 \cdot 10^5$  км/год, Місяць  
навколо Землі:  $v = 0,04 \cdot 10^5$  км/год. 3. Біля Венери 8690 Н,  
біля Марса 3860 Н, біля Юпітера 3 120 000 Н.

§ 14. 1. Сила тертя спокою змінилася силою тертя ковзання,  
яка становить 4 Н. 2. Сила, що перевищує 10 Н. 3. 6 кН.  
4. У 5 разів. 5. 2,94 Н. 6. 135,2 Н.

## Перевір себе.

1. А. 2. Б. 3. В. 4. 50 кг. 5. Б. 6. Б. 7. 800 кг/м<sup>3</sup>. 8. 2,5 Н. 9. 196 Н.  
10. 2,94 Н. 11. 135,2 Н. 12. 10,6 Н.

§ 15. 1. а)  $1,3 \cdot 10^5$  Па; б) 40 МПа; в) 500 МПа; г) 10 МПа;  
ґ) 94 кПа; д) 490 кПа; е) 3920 кПа; є) 120 кПа. 2. Тиск люди-  
ни на підборах 2,45 МПа, слона —  $1,3 \cdot 10^5$  Па.

§ 16. 1.

$F_1$	$S_1$	$F_2$	$S_2$
0,4 кН	4 см <sup>2</sup>	18 кН	180 см <sup>2</sup>
200 Н	10 см <sup>2</sup>	4000 кН	200 см <sup>2</sup>
100 Н	2400 см <sup>2</sup>	5 кН	120 см <sup>2</sup>

2. 1200 Н. 3. 10 кН. 4. 18 кН; 4,9 мм.

- § 17. 1. У 2 рази більшим. 2. Тиск однаковий. Сила тиску вдвічі більша в другій посудині. 3. 744,8 кПа. 4. 588,6 кПа; 147 кПа. 5. У воді на глибині 0,816 м, у нафті на глибині 1,02 м. 6. 24,5 Н, 19,6 Н. 7. 2352 Н. 8. 2,94 кПа; 294 Н; 88,2 Н. 9. 25,6 кПа. 10. 1,764 кПа; 17,64 Н. 11. 0,6 МН. 12. 26 366 Н; 2 412 кг.
- § 18. 1. 75 см рт.ст.; 745 мм рт.ст.; 1012 ГПа. 2. 2 МН. 3. 735 мм рт.ст. 4. 240 м. 5. 300 м. 6.  $5,2 \cdot 10^{18}$  кг. 7. 20 188 Па. 8. 30 870 Па.
- § 19. 1. 12 см. 2. 13,6 см. 3. 4 см. 4. 12 см; 1129 Па; 0,45 Н. 5. 25 мм.
- § 20. 1. 4 Н. 2. Капрон. 3.  $2,45 \cdot 10^{-3}$  м<sup>3</sup>;  $\approx 1000$  кг/м<sup>3</sup>. 4.  $\approx 68$  Н. 5. 0,046 м<sup>3</sup>. 6. Не зануриться. 7. Більше 176,4 Н. 8. 4 см. 9. 3962 м<sup>3</sup>.
- § 21. 1. 200 г. 2. Плаває. 3. 0,02 м. 4. 1,081 кг. 5. 235 200 Н. Зменшується. 6. 109 Н. Зменшується. 7. 21,5 МН.

### Перевір себе.

1. А. 2. Б. 3. Г. 4. Г. 5. Г. 6. 9 см. 7. 2,9 кг. 8. 0,026 м<sup>3</sup>. 9. 21 см.
- § 22. 1.  $2,94 \cdot 10^6$  Дж; 24,5 кВт. 2. 4,9 Дж. 3.  $1,1 \cdot 10^{-4}$  Вт; 9,408 Дж. 4. 13 475 Вт. 5. 30 с. 6. 150 кН. 7. 882 Дж. 8. 98 Вт. 9. 1,2 МВт; 675 Н. 10. 25 кВт; 100 кДж.
- § 23. 1.  $3,43 \cdot 10^9$  Дж. 2. 6 м. 5. Потенціальна енергія мідної кулі більша на 1,274 Дж. 6. У 16 разів. 7. 1. а) 5 Дж; б) 1,6 Дж; в) 0,5 Н. 2. а)  $-1,6$  Дж; б) 1,6 Дж; в) 0,8 Н. 8. а) 2,5 МДж; б) 10 МДж. 9. У 4 рази.
- § 24. 1. Однаковою або меншою. 2. 20 м; 0,02 кг. 3. 1 кг. 4. 20 м; 10 м. 5. Збільшиться в 4 рази.
- § 25. 1. 1,33 Н. 3. 0,9 м; 0,1 м. 4. На відстані 10 см від точки прикладання сили 400 Н. 5. Більше 490 Н. 6. 15,3 кг.
- § 26. 1. 96%. 2. 54%. 3. 0,61 м. 4. 306,25 Вт. 5. 39,2%. 6. 2,4 Дж.

### Перевір себе.

1. В. 2. Д. 3. В. 4. Г. 5. В. 6. 20 Н; 20 см. 7. 0,71%. 8. 50 Дж. 9. 8167 Дж. 10. 26 460 Дж.

## ПОКАЖЧИК

- Абсолютна деформація 110  
Барометр 165  
Барометр-анероїд 165  
Блок 215  
Вага 120  
Важіль 212  
Ват 194  
Вектор 36  
Векторна величина 37  
Взаємодія 100  
Відносність 29  
Вільне падіння 119  
Всесвітнє тяжіння 117  
Гвинт 217  
Гідравлічний прес 153  
Гідростатичний парадокс 158  
Густина 91  
Деформація 108  
Джоуль 192  
Динамометр 101  
Енергія 198  
Енергія кінетична 202  
Енергія механічна 199  
Енергія повна 202  
Енергія потенціальна 200  
Жорсткість 110  
Закон Архімеда 177  
Закон Гука 109  
Закон збереження енергії 208  
Закон інерції 85  
Закон Паскаля 152  
Золоте правило механіки 225  
Інертність 85  
Інерція 83  
Коефіцієнт корисної дії 226  
Коефіцієнт пружності 110  
Коефіцієнт тертя ковзання 133  
Криволінійний рух 31  
Лінійна швидкість 68  
Манометр 170  
Маса 86  
Матеріальна точка 31  
Матерія 11  
Механічна робота 192  
Механічний рух 29  
Миттєва швидкість руху тіла 57  
Міжнародна система одиниць фізичних величин 19  
Модуль вектора 37  
Момент сили 213  
Насос 165  
Невагомість 121  
Нерівномірний рух 55



- Обертальний рух 65  
Обертова частота 66  
Паскаль 145  
Переміщення 37  
Пластична деформація 108  
Плече сили 213  
Поділка шкали приладу 20  
Поле 11  
Поступальний рух 65  
Потужність 194  
Похибка вимірювань 21  
Прискорення вільного падіння 119  
Пружна деформація 108  
Прямолінійний рівномірний рух 38  
Рівнодійна сил 103  
Рівномірний рух по колу 66  
Рівняння рівномірного прямолінійного руху 48  
Робота витрачена (повна) 225  
Робота корисна 225  
Робота механічна 192  
Середня шляхова швидкість руху тіла 39  
Сила 101  
Сила Архімеда 174  
Сила виштовхувальна 175  
Сила пружності 109  
Сила тертя 132  
Сила тертя ковзання 133  
Сила тертя кочення 135  
Сила тертя спокою 135  
Сила тиску 145  
Сила тяжіння 118  
Система відліку 30  
Скаляр 37  
Скалярна величина 37  
Сполучені посудини 168  
Терези 87  
Тиск 145  
Тиск атмосферний 164  
Тиск газу 150  
Тиск гідростатичний 157  
Тиск рідини 152  
Тіло відліку 29  
Траєкторія 30  
Умова рівноваги важеля 213  
Фізика 10  
Фізична величина 19  
Фізичне явище 11  
Швидкість руху тіла 38  
Шлях 36

*Навчальне видання*

ЗАСЄКІНА Тетяна Миколаївна  
ГВОЗДЕЦЬКИЙ Максим Сергійович

# ФІЗИКА

Підручник для 7 класу  
закладів загальної середньої освіти

*Рекомендовано Міністерством освіти і науки України*

Підручник відповідає Державним санітарним нормам і правилам  
«Гігієнічні вимоги до друкованої продукції для дітей»

Редактор *Г. О. Давидова*  
Технічний редактор *Л. І. Аленіна*  
Комп'ютерна верстка *Д. Д. Карачов*  
Коректор *Н. М. Левчук*  
Дизайн обкладинки *П. В. Ширнін*

Формат 70x100  $\frac{1}{16}$ .  
Ум. друк. арк. 19,44 + 0,324 форзац.  
Обл.-вид. арк. 15,90 + 0,55 форзац.  
Наклад 26 330 пр.  
Зам. .

У підручнику використано малюнки художника І. В. Денисова, а також таких авторів із сайтів:  
uk.wikipedia.org: Albert Tissandier; shutterstock.com: Brian McEntire, Artur Synenko, James Steidl,  
Fouad A. Saad, Serorion, Lasse Johansson, irina02, Master1305, BlueRingMedia, L.Mendizabal,  
Ruslan Shevchenko, George Rudy, Tartila, vectorfusionart, vectorpouch, prochasson frederic,  
FabrikaSimf, Profitrollka, АТИКАН PORNCHAIPRASIT, Stock-Studio, Olga Besnard, Elnur, alexsol,  
Mirko Graul, Galina Savina, jewelspics, Philip Armitage, Hrecheniuk Oleksii, BESTWEB, DPLK, 3d\_man,  
Ramon Espelt Photography, twobee, Arthur Barga, Sergei Domashenko, Light and Vision, White Space  
Illustrations, Anton Vierietin, Denis Kuvaev, iurii, Lopolo, Lazyllama, Nadya\_Art, Sergey Ginak,  
Sergey Nivens, gooko, VitaminCo, BlueRingMedia; freepik.com: vecstock, blkstudio, macrovector,  
artcookstudio, EyeEm, azerbaijan\_stockers, wirestock, dnepr.photo, bluefish\_ds, artcookstudio,  
blkstudio; інших: sport.kg, Ulrik Pedersen, ArturVerkhovetskiy, courant.com, zmist.pl.ua

## **ТОВ «ВИДАВНИЧИЙ ДІМ «ОСВІТА»**

Свідоцтво «Про внесення суб'єкта видавничої справи  
до державного реєстру видавців, виготовлювачів і розповсюджувачів видавничої продукції»  
Серія ДК № 6109 від 27.03.2018 р.

Адреса видавництва: 03057, м. Київ, вул. О. Довженка, 3  
[www.osvita-dim.com.ua](http://www.osvita-dim.com.ua)

Віддруковано  
в АТ «ХАРКІВСЬКА КНИЖКОВА ФАБРИКА «ГЛОБУС»  
61011, м. Харків, вул. Різдяна, 11.  
Свідоцтво ДК № 7032 від 27.12.2019 р.  
[www.globus-book.com](http://www.globus-book.com)

## ПРАВИЛА БЕЗПЕКИ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ



**1** Перед початком роботи організуй робоче місце, забери зайві предмети, щоб вони не заважали. Розміщуй прилади, матеріали, обладнання на своєму робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.

**2** Чітко з'ясуй порядок і правила безпечного проведення досліду. Ознайомся з інструкціями до обладнання, якщо це передбачено завданнями дослідження.

**3** Починай виконувати завдання лише після дозволу вчителя.

**4** Не відволікайся на фото чи відеофіксування дослідів, якщо це не передбачено завданнями дослідження.

**5** Поводься надзвичайно обережно з різальними інструментами, з відкритим вогнем, скляним посудом чи приладами (термометрами, лінзами, покривними скельцями), з обертовими (рухомими) частинами пристроїв та гарячими предметами.

**6** Не торкайся брудними руками очей, носа й рота. Не вживай їжу безпосередньо під час проведення досліджень чи одразу після них, не помивши руки.

**7** Під час проведення дослідів не допускай граничних навантажень вимірювальних приладів. Стеж за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайся до тих частин машин, які обертаються, і не нахиляйся над ними.

**8** Під час виконання робіт з електричними приладами не вмикай джерело струму в електричне коло без дозволу вчителя.

**9** Виявивши несправність в електричних пристроях, що перебувають під напругою, негайно вимкни джерело електроживлення і повідом про це вчителя.

**10** По закінченню дослідження обов'язково прибери на робочому місці, вимий руки. Якщо є необхідність – вийди із приміщення кабінету (лабораторії), щоб провітрити.

**11** Дотримуйся загальних правил безпеки життєдіяльності (протипожежної безпеки, дорожнього руху, користування електричними приладами, поведінки на вулиці, у довіллі тощо).

**12** Якщо під час досліджень ти отримаєш травму або трапиться неприємна ситуація, чи в тебе виникне стан тривожності — негайно повідом учителя / учительку! Що б не сталося — не панікуй!



### ДОВІДКОВІ ДАНІ

Тера (Т)  $1\,000\,000\,000\,000 = 10^{12}$

Гіга (Г)  $1\,000\,000\,000 = 10^9$

Мега (М)  $1\,000\,000 = 10^6$

Кіло (к)  $1\,000 = 10^3$

Гекто (г)  $100 = 10^2$

Дека (да)  $10 = 10^1$

Сантис (с)  $0,01 = 10^{-2}$

Мілі (мл)  $0,001 = 10^{-3}$

Мікро (мк)  $0,000\,001 = 10^{-6}$

Нано (н)  $0,000\,000\,001 = 10^{-9}$

