

ФІЗИКА

7

За редакцією Станіслава Довгого
Частина 2



ІНСТРУКЦІЯ З БЕЗПЕКИ ДЛЯ УЧНЯ / УЧЕНИЦІ ПІД ЧАС ЗАНЯТЬ У КАБІНЕТІ ФІЗИКИ

1. Загальні положення

- 1.1. У кабінеті фізики необхідно суворо дотримуватися правил безпеки та правил внутрішнього розпорядку закладу освіти, установлених норм і режимів праці та відпочинку.
- 1.2. У кабінеті фізики можна перебувати тільки в присутності вчителя / вчительки або лаборанта / лаборантки.
- 1.3. Про кожний нещасний випадок, що трапився під час освітнього процесу, необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.
- 1.4. Про вихід із ладу або несправність обладнання необхідно негайно повідомити вчителя / вчительку.

2. Вимоги безпеки в екстремальних ситуаціях

- 2.1. У разі травмування, нездужання тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.
- 2.2. У разі виникнення загоряння, пожежі тощо негайно повідомте про це вчителя / вчительку.
- 2.3. У випадку евакуації чітко виконуйте розпорядження вчителя / вчительки.

3. Вимоги безпеки перед початком роботи (експериментального дослідження, фронтального експерименту, лабораторної роботи)

- 3.1. Чітко з'ясуйте порядок і правила виконання роботи.
- 3.2. Звільніть робоче місце від усіх не потрібних для роботи предметів і матеріалів.
- 3.3. Перевірте наявність і надійність з'єднувальних проводів, приладів та інших предметів, необхідних для виконання завдань.

- 3.4. Починайте виконувати роботу тільки з дозволу вчителя / вчительки.
- 3.5. Виконуйте тільки ті завдання, які передбачені в роботі або доручені вчителем / вчителькою.

4. Вимоги безпеки під час роботи

- 4.1. Працюйте лише на своєму робочому місці.
- 4.2. Будьте уважні й дисципліновані, точно виконуйте вказівки вчителя / вчительки.
- 4.3. Розміщуйте прилади, матеріали, обладнання на робочому місці так, щоб запобігти їх падінню або перекиданню.
- 4.4. Під час проведення дослідів не допускайте граничних навантажень вимірювальних приладів.
- 4.5. Стежте за справністю всіх кріплень у приладах і пристроях. Не торкайтесь обертових частин машин і не нахиляйтеся над ними.
- 4.6. Для запобігання падінню скляних посудин або приладів обережно закріплюйте їх у лапці штатива або розташуйте на спеціальній підставці. Термометр одразу після проведення вимірювань кладіть у футляр.
- 4.7. Забороняється користуватися лабораторним посудом із відколотими краями та за наявності тріщин.
- 4.8. Якщо скляна посудина або прилад розбилися, не торкайтесь осколків незахищеними руками — користуйтеся совком і щіткою.
- 4.9. Не залишайте робоче місце без дозволу вчителя / вчительки.

5. Вимоги безпеки після закінчення роботи

- 5.1. Обов'язково приберіть своє робоче місце. Прибирання виконуйте тільки з дозволу вчителя / вчительки.

ФІЗИКА

7

**ПІДРУЧНИК
для осіб з особливими
освітніми потребами**

(Н 54.1 — Н 54.2)

7 клас
(у 2-х частинах)

За редакцією Станіслава Довгого

Частина 2

Рекомендовано
Міністерством освіти і науки України

Київ · Харків
Видавництво «Ранок»
2024

УДК 376:53(075.3)

Ф 48

Авторський колектив:

Віктор Бар'яхтар, Фаїна Божинова, Станіслав Довгий,
Микола Кірюхін, Олена Кірюхіна

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 створено відповідно до модельної навчальної програми
«Фізика. 7–9 класи» для закладів загальної середньої освіти
(автори Кременський Б. Г., Гельфгат І. М., Божинова Ф. Я.,
Ненашев І. Ю., Кірюхіна О. О.)

Рецензенти:

І. М. Гельфгат, учитель фізики комунального закладу «Харківський фізико-математичний науковий ліцей № 27 Харківської міської ради», учитель-методист, заслужений вчитель України, кандидат фізико-математичних наук;

С. В. Каплун, завідувачка кафедри методики природничо-математичної освіти КВНЗ «Харківська академія неперервної освіти», кандидат педагогічних наук, доцент, відмінник освіти;

А. Б. Трофімчук, методист лабораторії природничо-математичної освіти та технологій Рівненського обласного інституту післядипломної педагогічної освіти

Ілюстрації *Володимира Хорошенка*

Обкладинка *Марії Соловйової*

Фізика : підруч. для осіб з особливими освітніми потребами
Ф 48 (Н 54.1 — Н 54.2) 7 клас (у 2-х частинах) : Ч. 2 / [В. Г. Бар'яхтар,
Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна] ;
за ред. С. О. Довгого. — Х. : Вид-во «Ранок», 2024. — 224 с. :
іл., фот.

ISBN 978-617-09-8934-5

УДК 376:53(075.3)



Електронний
інтерактивний додаток
до підручника
доступний за QR-кодом
або посиланням
rnk.com.ua/108392



ЗРОБЛЕНО
В УКРАЇНІ

ISBN 978-617-09-8933-8 (Ч. 1)

ISBN 978-617-09-8934-5 (Ч. 2)

© Бар'яхтар В. Г., Божинова Ф. Я., Довгий С. О.,
Кірюхін М. М., Кірюхіна О. О., 2024

© Хорошенко В. Д., ілюстрації, 2024

© Вірченко М. Ю., фотографії, 2024

© Соловйова М. І., обкладинка, 2024

© ТОВ Видавництво «Ранок», 2024

Дорогі друзі!

Ви продовжуєте подорож світом фізики разом із надійним помічником — підручником.

Як і раніше, ви будете спостерігати явища природи, проводити справжні наукові експерименти й на кожному уроку робити власні маленькі відкриття.

*Цікавої подорожі світом фізики,
нехай вам щастить!*

Зверніть увагу на те, що в підручнику використано позначки, які допоможуть вам краще орієнтуватися в поданому матеріалі:



Дослідження



Вправа



Контрольні запитання



Творче завдання



Підбиваємо підсумки



Ключові терміни



Експериментальне завдання

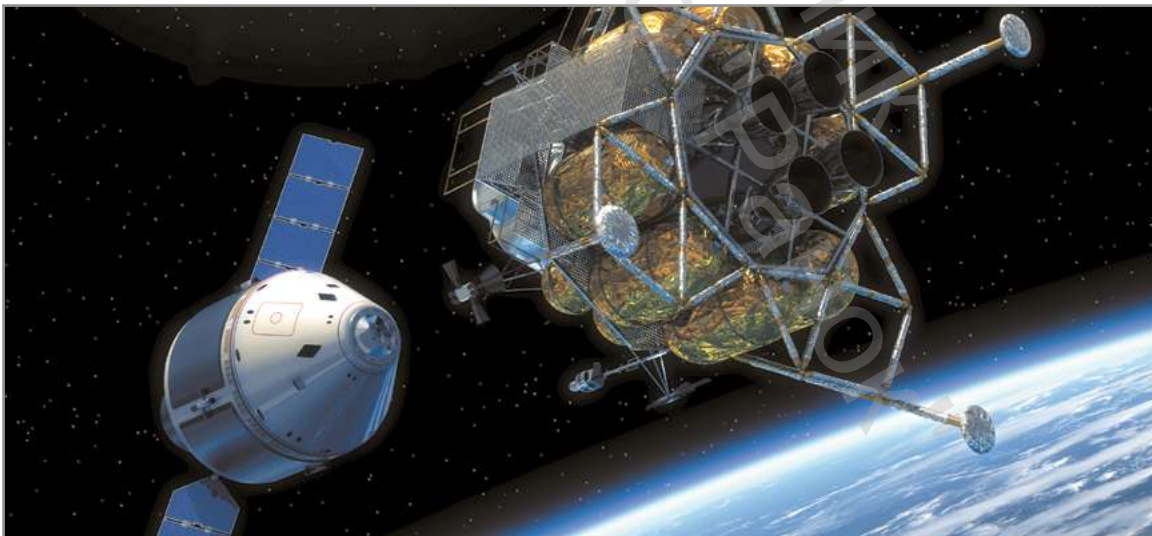
Розділ 3

Взаємодія тіл. Сили в природі

Частина 2.

«Імпульс тіла. Реактивний рух»

- Ви спостерігали реактивний «танець» незав'язаної повітряної кульки, що випадково вирвалася із рук, а дізнаєтесь, як реактивний рух забезпечує космічні польоти
- Ви бачили змагання з більярду або керлінгу, а з'ясуєте, який фізичний закон застосовують чемпіони із цих видів спорту
- Ви знаєте, що людина може виходити у відкритий космос, а дізнаєтесь, навіщо до початку виходу вона має прив'язати себе до станції тросом





§ 19. ІМПУЛЬС ТІЛА. ЗАКОН ЗБЕРЕЖЕННЯ ІМПУЛЬСУ

Французький учений Рене Декарт (1596–1650) писав: «Я приймаю, що у Всесвіті... є певна кількість руху, яка ніколи не збільшується, не зменшується, і відповідно, якщо одне тіло приводить у рух інше, то втрачає стільки свого руху, скільки його надає». Що таке кількість руху і який закон сформулював Декарт? Дізнаймося.

1. Що таке імпульс у фізиці?

Усі ви, напевно, чули слово «імпульс». Наприклад: «нервова система подає імпульс», «він отримав імпульс до швидкого закінчення справи». Узагалі імпульс — це філософське поняття, що означає поштовх, внутрішнє або зовнішнє спонукання до чого-небудь.

У фізиці *імпульсом*, або *кількістю руху*, називають фізичну величину, яка характеризує тіло, що рухається. Чим більшою є маса тіла і чим швидше це тіло рухається, тим більший імпульс воно має (рис. 19.1).

Імпульс тіла — це векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на швидкість його руху:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

Одиниця імпульсу тіла в СІ — кілограм-метр за секунду: $[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$.

Імпульс тіла

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

\vec{p} — імпульс тіла;

m — маса тіла;

\vec{v} — швидкість руху тіла.

Напрямок імпульсу завжди збігається з напрямком швидкості руху тіла.

Рис. 19.1. Чим більшу швидкість надає атлетка ядру і чим більшою є його маса, тим більший імпульс отримує ядро



Чи знаєте ви, що...

У фізиці поняття «імпульс» уперше застосував французький філософ і механік Жан Буридан (1300–1358). Він писав: «...під час стрільби з лука тятива деякий час рухається разом зі стрілою, штовхаючи її... Поки тятива контактує зі стрілою, стріла безперервно набуває імпульсу, тому її рух стає швидшим... Після відриву стріла рухається тільки завдяки імпульсу, який у зв'язку з опором середовища послаблюється, і швидкість стріли зменшується».



2. Коли імпульс тіла змінюється?

Будь-яке тіло, що рухається, має імпульс. У ході взаємодії тіла з іншими тілами його імпульс зазнає змін, адже змінюється швидкість руху тіла.

Наприклад, під час гри ви випустили з руки м'яч (рис. 19.2). Поки ви його тримали, імпульс м'яча дорівнював нулю, адже м'яч не рухався ($\vec{p} = 0$).

Потім унаслідок гравітаційної взаємодії із Землею м'яч починає падати. Швидкість руху м'яча, а отже, і значення його імпульсу весь час, поки м'яч прямує до

підлоги, збільшуватимуться. А от напрямок імпульсу залишиться незмінним.

Після удару об підлогу м'яч може не втратити своєї швидкості, але змінить напрямок руху — почне рухатися вгору. Отже, унаслідок взаємодії з підлогою зміниться напрямок імпульсу.

Якщо ж підлога або м'яч не досить пружні, то внаслідок удару імпульс м'яча зміниться і за напрямком, і за значенням.

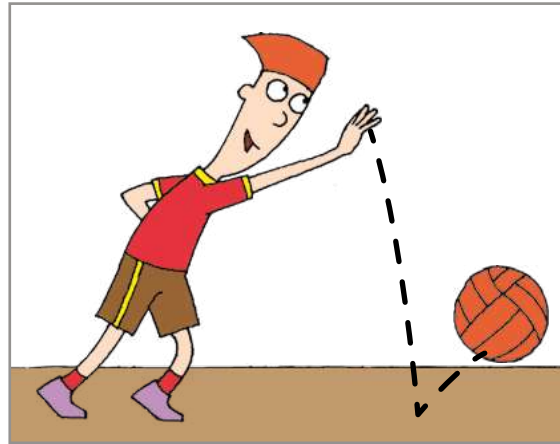


Рис. 19.2. Під час руху м'яча його імпульс змінюється або за значенням, або за напрямком, або за значенням і за напрямком одночасно

Поясніть, як і чому змінюється імпульс м'ячика під час гри в пінг-понг. Як і чому змінюється імпульс автомобіля під час руху містом? Наведіть власний приклад. Поміркуйте, від чого залежить зміна імпульсу.

Отже, можемо зробити висновок: *чим сильнішою є взаємодія, тим більше змінюється імпульс тіла.*

3. За яких умов систему можна вважати замкненою?

Декілька тіл, що взаємодіють одне з одним, утворюють систему тіл. *Якщо тіла системи взаємодіють тільки між собою, то таку систему тіл називають замкненою.*

Насправді на Землі неможливо знайти замкнену систему тіл: будь-яке тіло притягується до Землі, будь-який рух тіл супроводжується тертям. На практиці систему тіл вважають замкненою, якщо зовнішні дії зрівноважені або тіла системи діють одне на одне набагато сильніше, ніж тіла, що діють іззовні.

Наприклад, під час вибуху феєрверка (рис. 19.3, а) дія пороху, яка спричинила відштовхування уламків, набагато потужніша, ніж притягання Землі та опір повітря, тому під час вибуху систему тіл «уламки» можна вважати замкненою.

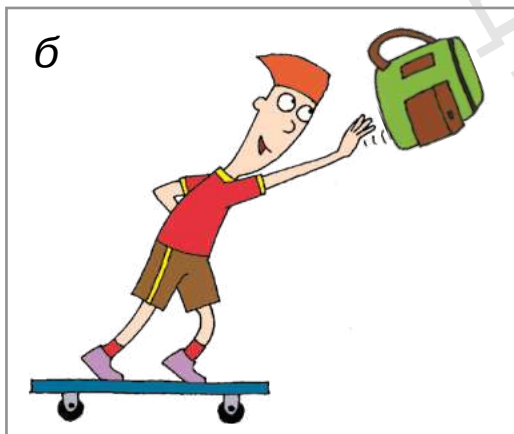
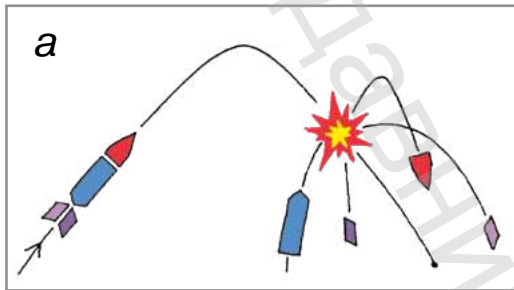


Рис. 19.3. Якщо зовнішні дії зрівноважені або значно слабші, ніж взаємодія тіл системи, то таку систему можна вважати замкненою

А от після вибуху притяганням Землі й опором повітря нехтувати не можна. Отже, система тіл «уламки» буде незамкненою.

Якщо людина, наприклад, кидає рюкзак в горизонтальному напрямку, стоячи на скейті (рис. 19.3, б), то систему тіл «людина на скейті — рюкзак» можна вважати замкненою, адже дія Землі та дія опори (дошки скейта) зрівноважені, а тертя є незначним. Якщо ж людина кидає рюкзак, стоячи на землі, то система тіл «людина — рюкзак» є незамкненою, бо в цьому випадку тертя буде суттєвим.

Розгляньте рисунки. Чому системи зображених тіл можна вважати замкненими? Обґрунтуйте відповідь.



4. Закон збереження імпульсу

Згадаймо дослід із візками, описаний у § 16. Унаслідок взаємодії візок більшої маси набуває меншої швидкості, і навпаки (рис. 19.4). При цьому справджується рівність:

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

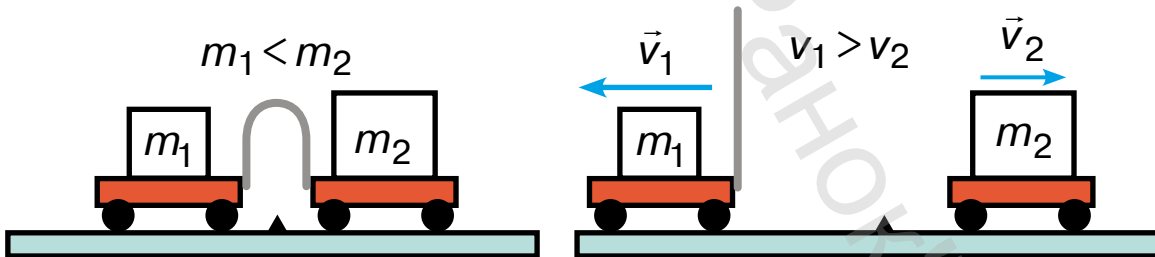


Рис. 19.4. Візки різної маси за однакової дії набувають різних швидкостей

Скориставшись правилом пропорції, отримаємо таку рівність:

$$m_1 v_1 = m_2 v_2.$$

В обох частинах рівності маємо добуток значення швидкості руху тіла та його маси, тобто значення імпульсу тіла. Отже, можемо записати:

$$p_1 = p_2.$$

Але ж імпульс — це векторна величина. Ми бачимо, що візки набули протилежних за напрямком імпульсів. Відповідно, правильною буде й така рівність:

$$\vec{p}_1 = -\vec{p}_2, \text{ або } \vec{p}_1 + \vec{p}_2 = 0.$$

Міркуємо далі: до початку дії пружної стрічки візки перебували в стані спокою, тобто їхній сумарний імпульс дорівнював нулю:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = 0.$$

Отже, хоча після взаємодії імпульс кожного візка змінився, сумарний імпульс системи зберігся:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2.$$

Досліди свідчать, що сумарний імпульс системи залишається незмінним, але за тієї умови, що система є замкненою (рис. 19.5). Якщо система незамкнена, її сумарний імпульс змінюється (рис. 19.6).

Ми отримали закон, який свого часу сформулював Р. Декарт, — **закон збереження імпульсу**:

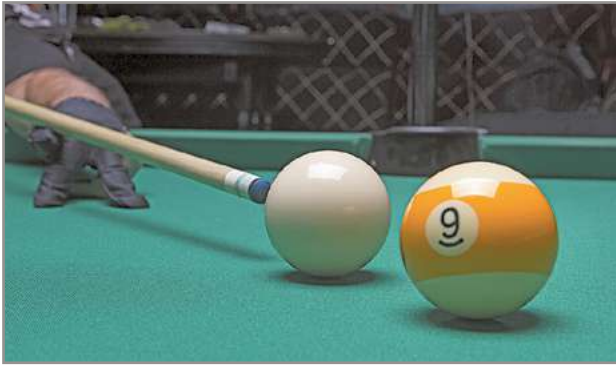


Рис. 19.5. Систему з двох більярдних куль можна вважати замкненою, тому сумарний імпульс куль до зіткнення дорівнює сумарному імпульсу куль після зіткнення



Рис. 19.6. Систему тіл «пожежник — брендспойт» не можна вважати замкненою, тому струмінь, що б'є з брендспойта, не відкидає пожежника назад

У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів тіл до взаємодії дорівнює векторній сумі імпульсів тіл після взаємодії:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2, \text{ або} \\ m_1 \vec{v}_{01} + m_2 \vec{v}_{02} = m_1 \vec{v}_1 + m_2 \vec{v}_2$$

Закон збереження імпульсу справджується для замкненої системи, що містить будь-яку кількість тіл, — це *фундаментальний закон фізики*.

А як насправді?

— А я не згодна! — обурилася Яринка. — Про яке збереження імпульсу може бути мова, коли я бачу, що він весь час зникає? Учора на уроці фізкультури я сильно розігнала-ся й набула величезного імпульсу, щоб стрибнути якомога далі...

— І що, не вийшло? — посміхнувся Петро.

— Та вийшло! 12 балів! Я про інше... Звідки взявся мій імпульс і куди зник? Він же мав зберігатися?

А як ви вважаєте, чи має рацію Яринка, стверджуючи, що закон збереження імпульсу виконується не завжди?



Підбиваємо підсумки

Імпульс тіла — це векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на швидкість його руху:

$$\vec{p} = m\vec{v}$$

- Значення імпульсу: $p = mv$.
- Напрямок імпульсу збігається з напрямком швидкості руху тіла.
- Імпульс може передаватися іншому тілу під час взаємодії частково або повністю.

Закон збереження імпульсу:

У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів тіл до взаємодії дорівнює векторній сумі імпульсів тіл після взаємодії:

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2$$

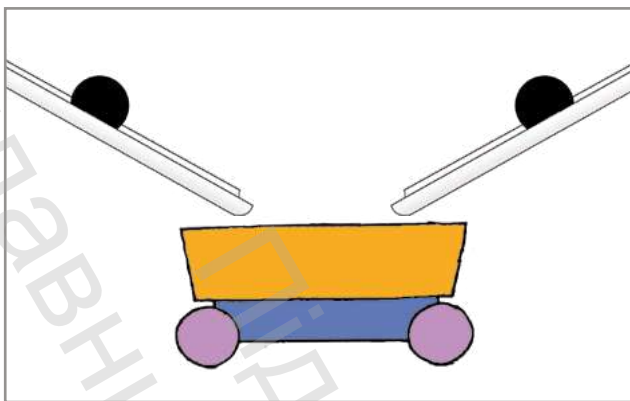
Контрольні запитання

1. Яку систему тіл можна вважати замкненою? Наведіть приклади. **2.** Дайте означення імпульсу тіла. Якою є одиниця імпульсу тіла в СІ? **3.** Сформулюйте закон збереження імпульсу.

Вправа № 19

- 1.** Футболіст веде м'яч масою 450 г, рухаючись зі швидкістю 4 м/с відносно поверхні Землі. Визначте імпульс м'яча відносно: а) поверхні Землі; б) футболіста, який веде м'яч.
- 2.** Чому пожежники, використовуючи брандспойт, зазвичай тримають його вдвох, а інколи й втрьох (див. заставку до § 19)?
- 3.** Завантажена вантажівка масою 4,5 т рухається зі швидкістю 20 м/с. На скільки зміниться значення імпульсу вантажівки, якщо після того, як знімуть вантаж масою 2 т, вона повертатиметься в гараж зі швидкістю 90 км/год?
- 4.** Метеорит згоряє в атмосфері Землі. Куди при цьому зникає його імпульс?
- 5.** Кулька масою 100 г рухається зі швидкістю 2 м/с. Її наздоганяє кулька масою 200 г, що рухається зі швидкістю 3 м/с. Визначте значення і напрям сумарного імпульсу кульок. Яким буде сумарний імпульс кульок, якщо вони рухатимуться назустріч одна одній?

- ◆ 6. Над нерухомим візком розташовані два жолоби, якими скочуються на візок дві кульки (див. [рисунок](#)). Якщо скочується лише ліва кулька, візок починає рух; якщо лише права — візок теж починає рух. А якщо одночасно скочуються обидві кульки, візок залишається нерухомим. Чому так відбувається?



- ◆ 7. Порівняйте ваш імпульс під час бігу на 100 м та імпульс, який має сокіл, коли шугає вниз. Дані задайте самостійно.



Ключові терміни

Імпульс тіла; замкнена система тіл; закон збереження імпульсу

Дано:

$m_1 = 2 \text{ кг}$

$m_2 = 0,5 \text{ кг}$

$v_{o1} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$v_{o2} = 2 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$v_1 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$

$v_2 = ?$

До

Після

$$m_1 v_{o1} - m_2 v_{o2} = m_1 v_1 + m_2 v_2$$

$$m_1 v_{o1} - m_2 v_{o2} - m_1 v_1 = m_2 v_2$$

$$v_2 = \frac{m_1 v_{o1} - m_2 v_{o2} - m_1 v_1}{m_2}$$

$$v_2 = \frac{2 \cdot 2 - 0,5 \cdot 2 - 2 \cdot 1}{0,5}$$

§ 20. УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

У законі збереження імпульсу ми додаємо векторні величини, тому маємо враховувати напрямок. Як позбутися векторів? Нескладно, якщо тіла рухаються вздовж однієї прямої. Потрібно вздовж цієї прямої задати напрямок (вісь). Далі записати закон збереження імпульсу без векторів, але з урахуванням знаків: якщо тіло рухається в напрямку осі — імпульс беремо зі знаком «+», а якщо в протилежному — зі знаком «-». Розпочнімо!

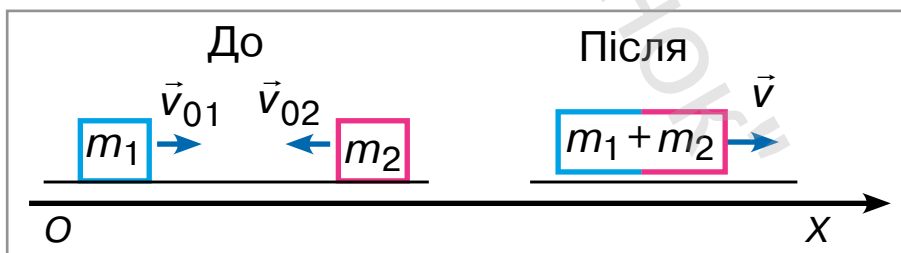
Алгоритм розв'язування задач на застосування закону збереження імпульсу

1. Уважно читаємо умову задачі, з'ясуємо, яка фізична ситуація розглядається, про які фізичні величини йдеться.
2. Записуємо коротку умову задачі. Зазвичай подаємо маси й швидкості руху тіл в одиницях СІ (кг, м/с).

3. Виконуємо рисунок, на якому схематично зображуємо тіла та напрямки швидкостей їхнього руху спочатку до, потім — після взаємодії.
4. Записуємо закон збереження імпульсу, урахувавши напрямки руху тіл. Для цього обираємо напрямок (вісь Ox): імпульси тіл, що рухаються в напрямку осі Ox , беремо зі знаком «+», а в напрямку, протилежному до осі Ox , — зі знаком «-».
5. Розв'язуємо одержане рівняння відносно невідомої величини в загальному вигляді, а потім виконуємо розрахунки.
6. Аналізуємо результати. Записуємо відповідь.

■ **Задача 1.** Візок 1 масою 2 кг, що рухається горизонтально зі швидкістю 1,3 м/с, зіштовхується з візком 2 масою 3 кг, що рухається назустріч зі швидкістю 40 см/с, та зчіплюється з ним. Якою буде швидкість руху візків після зчеплення? ■

Аналіз фізичної проблеми. Систему «візок 1 — візок 2» можна вважати замкненою, адже притягання Землі зрівноважене дією опори, а тертя нехтовно мале. Візки зчепилися, тож після взаємодії вони матимуть однакову швидкість.



Дано:

$$m_1 = 2 \text{ кг}$$

$$v_{01} = 1,3 \text{ м/с}$$

$$m_2 = 3 \text{ кг}$$

$$v_{02} = 40 \text{ см/с} = 0,4 \text{ м/с}$$

$$v_1 = v_2 = v$$

Знайти: v — ?

До зіткнення імпульс візка 1 більший за імпульс візка 2, тому після зчеплення візки рухатимуться в напрямку руху візка 1.

$$m_1 v_{01} - m_2 v_{02} = (m_1 + m_2) v \Rightarrow$$

$$\Rightarrow v = \frac{m_1 v_{01} - m_2 v_{02}}{m_1 + m_2}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[v] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{кг} + \text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}};$$

$$v = \frac{2 \cdot 1,3 - 3 \cdot 0,4}{2 + 3} = \frac{2,6 - 1,2}{5} = 0,28 \left(\frac{\text{м}}{\text{с}} \right).$$

Аналіз результатів. Швидкості руху візків зменшилися — це реальний результат.

Відповідь: $v = 0,28 \text{ м/с}$.

А як насправді?

Хлопчик, якому не дуже подобається математика, але який захоплюється фізикою, стверджує, що одержати відповідь можна набагато простіше. Він пропонує не розв'язувати задачу в загальному вигляді, а відразу підставити в закон збереження імпульсу числові дані. Ось розв'язання хлопчика:

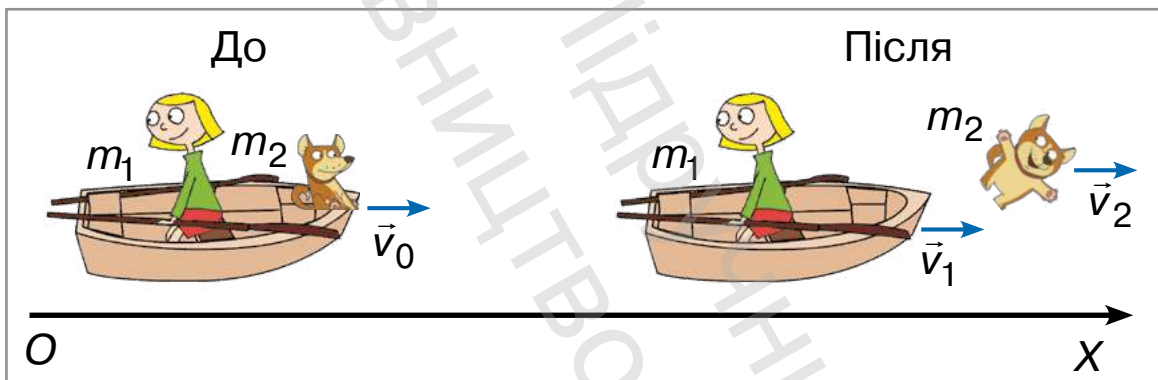
$$m_1 v_{01} - m_2 v_{02} = (m_1 + m_2) v \Rightarrow 2 \cdot 1,3 - 3 \cdot 0,4 = (2 + 3) v,$$

або $1,4 = 5v$, тобто $v = 0,28 \text{ м/с}$.

Чи згодні ви з тим, що можна так розв'язувати фізичні задачі?

■ **Задача 2.** З носа човна, маса якого разом із рибалкою дорівнює 160 кг, у напрямку руху човна стрибає собака масою 40 кг. Визначте швидкість руху човна після стрибка собаки, якщо швидкість руху собаки горизонтальна й дорівнює 5 м/с, а початкова швидкість руху човна — 1 м/с. ■

Аналіз фізичної проблеми. Систему «човен — собака» можна вважати замкненою, оскільки притягання Землі зрівноважене виштовхуванням води, а опір рухові є незначним. На початку спостереження собака рухався на човні, тому початкові швидкості руху човна й собаки є однаковими.



Дано:

$$m_1 = 160 \text{ кг}$$

$$m_2 = 40 \text{ кг}$$

$$v_2 = 5 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$v_{01} = v_{02} = v_0 = 1 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

Знайти: v_1 — ?

Запишемо закон збереження імпульсу, урахувавши напрямки руху тіл:

$$(m_1 + m_2)v_0 = m_1v_1 + m_2v_2$$

Перенесемо відомі доданки в ліву частину рівняння:

$$(m_1 + m_2)v_0 - m_2v_2 = m_1v_1 \Rightarrow v_1 = \frac{(m_1 + m_2)v_0 - m_2v_2}{m_1}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

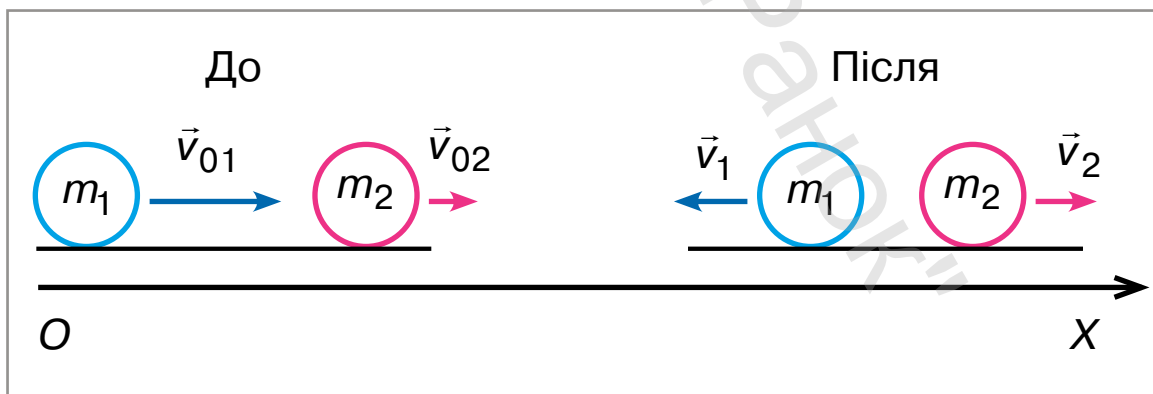
$$[v_1] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}} - \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}}{\text{кг}} = \frac{\text{м}}{\text{с}}; \quad v_1 = \frac{(160 + 40) \cdot 1 - 40 \cdot 5}{160} = 0.$$

Аналіз результатів. Швидкість руху човна зменшилася до нуля. Отже, човен зупинився.

Відповідь: $v_1 = 0$ — човен зупинився.

■ **Задача 3.** Кулька 1 масою 200 г, яка рухається зі швидкістю 10 м/с, наздоганяє таку ж за розміром кульку 2, що рухається в тому самому напрямку зі швидкістю 1 м/с. Якою є маса кульки 2, якщо після зіткнення вона збільшила швидкість свого руху до 1,5 м/с, а кулька 1 почала рухатися зі швидкістю 5 м/с у зворотному напрямку? ■

Аналіз фізичної проблеми. Систему «кулька 1 — кулька 2» можна вважати замкненою. Поміркуйте чому.



Дано:

$$m_1 = 0,2 \text{ кг}$$

$$v_{01} = 10 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

$$v_{02} = 1 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

$$v_2 = 1,5 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

$$v_1 = 5 \frac{\text{М}}{\text{С}}$$

Знайти:

$$m_2 \text{ — ?}$$

Запишемо закон збереження імпульсу, ураховуючи напрямки руху тіл:

$$m_1 v_{01} + m_2 v_{02} = -m_1 v_1 + m_2 v_2.$$

Перенесемо доданки, які містять m_1 , у ліву частину рівняння, а доданки, які містять m_2 , — у праву:

$$m_1 v_{01} + m_1 v_1 = m_2 v_2 - m_2 v_{02}.$$

Винесемо за дужки спільні множники:

$$m_1 (v_{01} + v_1) = m_2 (v_2 - v_{02}) \Rightarrow$$

$$\Rightarrow m_2 = \frac{m_1 (v_{01} + v_1)}{v_2 - v_{02}}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[m_2] = \frac{\text{кг} \cdot \left(\frac{\text{М}}{\text{С}} + \frac{\text{М}}{\text{С}} \right)}{\frac{\text{М}}{\text{С}} - \frac{\text{М}}{\text{С}}} = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{М}}{\text{С}}}{\frac{\text{М}}{\text{С}}} = \text{кг};$$

$$m_2 = \frac{0,2 \cdot (10 + 5)}{1,5 - 1} = \frac{3}{0,5} = 6 \text{ (кг)}.$$

Аналіз результатів. Маса кульки 2 виявилася набагато більшою за масу кульки 1. Це цілком реальний результат, адже якби маса кульки 2 була меншою, то кулька 1 не відскочила б від кульки 2, а продовжила б рух у тому самому напрямку.

Відповідь: $m_2 = 6 \text{ кг}$.



Дослідження

Що знадобиться: три кришечки від пластикових пляшок однакового розміру; пластилін.

Одну з кришечок заповніть пластиліном. Дослідіть центральне зіткнення пар кришечок: 1) важка кришечка нерухома, а дві інші по черзі зіштовхуються з нею; 2) кришечки рухаються назустріч одна одній; 3) одна з кришечок наздоганяє іншу. Поясніть результати зіткнень. Запишіть для кожного випадку закон збереження імпульсу.



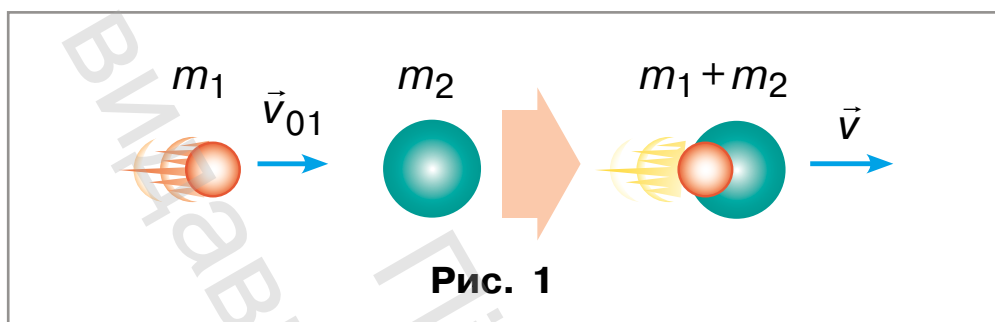
Вправа № 20

- ◆ 1. М'яч масою 600 г кинуте вертикально вгору зі швидкістю 5 м/с. Знайдіть імпульс м'яча на початку руху та у верхній точці траєкторії.
- ◆ 2. Кіт женеться за мишею. Чи зможе кіт наздогнати мишу, якщо імпульс kota дорівнює імпульсу миші?
- ◆ 3. Два тіла рухаються вздовж однієї прямої. Маса першого тіла вдвічі більша за масу другого, а швидкість руху другого тіла втричі менша від швидкості руху першого.
 - 1) Знайдіть відношення модулів імпульсів цих тіл.
 - 2) Знайдіть сумарний імпульс цих тіл, якщо маса й швидкість руху першого тіла дорівнюють 200 г і 6 м/с відповідно.

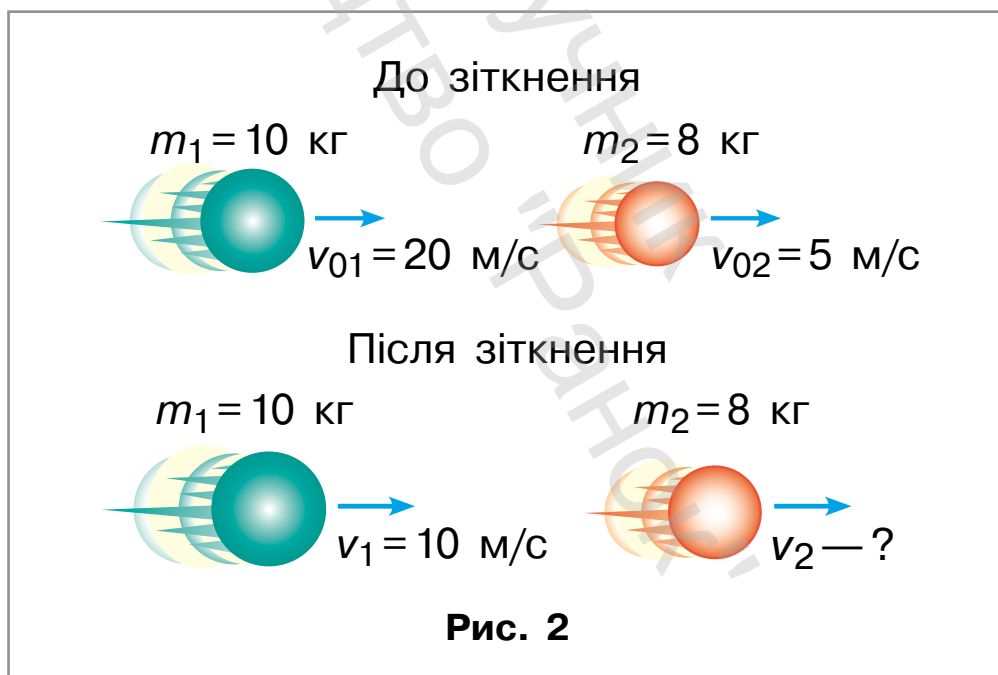
Розгляньте два випадки:

- а) тіла рухаються в одному напрямку;
- б) тіла рухаються в протилежних напрямках.

- ◆ **4.** Кулька масою 100 г влучає в нерухому кульку масою 150 г і застрягає в ній (рис. 1). Визначте швидкість руху кульки до зіткнення, якщо після зіткнення система рухалася зі швидкістю 10 м/с.



- ◆ **5.** Складіть і розв'яжіть задачу за поданими на рис. 2 даними.



- ◆ **6.** Зі старовинної гармати, установленної на рівній горизонтальній поверхні, горизонтально випущено ядро зі швидкістю 400 м/с. Якої швидкості набуде гармата після пострілу, якщо маса ядра 20 кг, а маса гармати 2 т?
- ◆ **7.** Із човна масою 200 кг, що рухається зі швидкістю 2 м/с, стрибає хлопчик масою 50 кг зі швидкістю 6 м/с відносно поверхні землі. Визначте швидкість руху човна після стрибка, якщо хлопчик стрибає: а) з корми човна горизонтально в бік, протилежний рухові човна; б) з носа човна горизонтально в напрямку руху човна. Якою має бути швидкість руху хлопчика, щоб після стрибка з носа човен зупинився?



§ 21. РЕАКТИВНИЙ РУХ

Завдяки чому рухаються люди, автомобілі, тварини? Чому літають планери й птахи? Чому плавають риби та підводні човни? Відповідь проста: усі ці тіла від чогось відштовхуються — від поверхні Землі, від повітря, від води. А як пояснити рух космічного корабля, якому немає від чого відштовхнутися? Проте космічні кораблі літають у відкритому космосі, виконують маневри й повертаються на Землю. Від чого ж вони відштовхуються? З'ясуємо.

1. Що таке реактивний рух?



Дослідження

Що знадобиться: повітряна кулька.

Надуйте повітряну кульку і, не стягуючи її отвір ниткою, відпустіть.



Що ви бачите? Чому кулька рухається? Чому рух кульки із часом припиняється?

Ви можете також влаштувати змагання: чия кулька полетить далі, чия кулька рухається швидше, чия кулька тримається довше. Чи можете ви спрогнозувати деякі результати змагань?

Напевно, ви здогадалися, що кулька рухається завдяки повітрю, яке виривається з її отвору. Тільки-но повітря припинить вириватися, рух кульки почне сповільнюватися й кулька швидко зупиниться. У цьому досліді ми мали справу з реактивним рухом.

Реактивний рух — це рух, що виникає внаслідок відділення з деякою швидкістю від тіла якоїсь його частини.

Основою реактивного руху є закон збереження імпульсу. Повернемося до досліді з кулькою (рис. 21.1).

Якщо отвір кульки закритий, вона перебуває в стані спокою й імпульс системи «кулька — повітря» дорівнює нулю.

Щойно ви відкриєте отвір, повітря почне вириватися назовні з досить великою швидкістю, тобто набуде певного імпульсу:

$$\vec{p}_п = m_п \vec{v}_п.$$

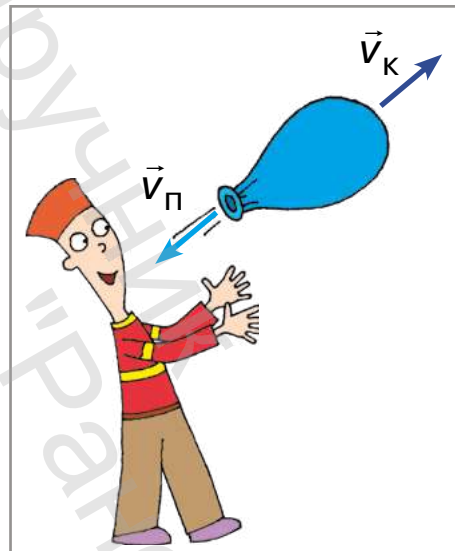


Рис. 21.1. Рух кульки під дією повітря, що виривається з отвору, — це реактивний рух

Сама кулька теж набуде імпульсу, напрямленого в бік, протилежний напрямку імпульсу повітря:

$$\vec{p}_k = m_k \vec{v}_k.$$

Уявімо, що система «кулька — повітря» є замкненою. Тоді відповідно до закону збереження імпульсу загальний імпульс системи «кулька — повітря» залишається незмінним і дорівнює нулю. Тож з урахуванням напрямків швидкостей маємо:

$$m_k v_k - m_p v_p = 0.$$

Отже, швидкість руху кульки становить:

$$v_k = \frac{m_p v_p}{m_k}.$$

Аналогічно виникає рушійна реактивна сила в ракеті або реактивному літаку, коли з їхніх сопел викидається газ.

Стоячи на скейті, ви відкинули від себе важку сумку. У якому напрямку ви почали рухатися? Чи можна цей рух вважати реактивним рухом?

Чи знаєте ви, що...

Прообразом сучасних реактивних двигунів можна вважати «кулю Герона», або «еоліпіл». Цей пристрій у I ст. створив видатний давньогрецький математик і механік Герон з Александрії. Пара, що виходить із закріплених на кулі зігнутих трубочок (сопел), змушує кулю обертатися.



2. Чому ракета має декілька ступенів?

Ракета* — літальний апарат, який переміщується в просторі завдяки реактивній тязі, що виникає внаслідок викидання ракетою газового струменя.

Струмінь гарячого газу, який є відокремлюваною частиною ракети, утворюється в ході згоряння палива. Коли газовий струмінь із величезною швидкістю викидається із сопла ракети, вона одержує потужний імпульс, напрямлений у бік, протилежний швидкості руху струменя (рис. 21.2).

Уявімо: у момент старту все паливо ракети згоряє миттєво. Оскільки до старту ракета перебуває в стані спокою, то закон збереження імпульсу після згоряння палива з урахуванням напрямків швидкостей виглядав би так:

$$0 = m_{\text{об}} v_{\text{об}} - m_{\text{газу}} v_{\text{газу}}, \quad (1)$$

де $m_{\text{об}}$ і $v_{\text{об}}$ — маса та швидкість руху оболонки ракети; $m_{\text{газу}}$ і $v_{\text{газу}}$ — маса та швидкість руху газового струменя.

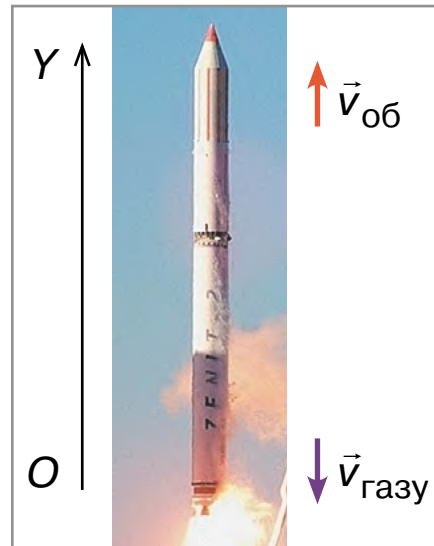


Рис. 21.2. Старт ракети «Зеніт» (вироблена в Україні)

* У цьому пункті ми розглядаємо лише так звані важкі ракети, призначені для польотів у космос. Досвід їх створення та успішного запуску має обмежене коло країн, зокрема Україна. Такі країни називають космічними державами.

З рівняння (1) знайдемо швидкість руху оболонки:

$$v_{\text{об}} = \frac{m_{\text{газу}} v_{\text{газу}}}{m_{\text{об}}} \quad (2)$$

Якщо припустити, що маса палива в 4 рази більша за масу оболонки, а швидкість струменя газу — 2 км/с, то одержимо, що швидкість руху ракети дорівнює 8 км/с.

Скориставшись рівнянням 2, доведіть останнє твердження самостійно. 8 км/с — це перша космічна швидкість. Таку швидкість повинно мати тіло, щоб стати штучним супутником Землі.

Отже, *якби руху ракети нічого не заважало*, то швидкість, набрана ракетою, була б достатньою для того, щоб ракета вийшла на орбіту. Однак у реальності рух *ракети суттєво гальмують опір повітря та інші чинники*. Розрахунки свідчать, що для досягнення ракетою першої космічної швидкості маса палива має перевищувати масу оболонки значно більше, ніж у 4 рази, а це дуже важко реалізувати технічно.

Саме тому всі ракети є багатоступеневими, а їхні ступені зі спорожнілими паливними резервуарами відкидаються в польоті (рис. 21.3). При



Рис. 21.3. Відділення ступенів від космічного корабля

цьому маса ракети зменшується, відповідно збільшується швидкість її руху.

Саме завдяки багатоступеневим ракетам людство зробило перші кроки в космос: 4 жовтня 1957 р. на навколоземну орбіту було виведено перший штучний супутник Землі; 12 квітня 1961 р. відбувся перший політ людини в космос; 21 липня 1969 р. дослідники вперше висадилися на Місяці (рис. 21.4).

Дослідження космосу тривають.



Рис. 21.4. Першим на поверхню Місяця ступив 21 липня 1969 р. Ніл Армстронг

Чи знаєте ви, що...

13 квітня 2025 р. — 40 років із дня першого запуску української ракети-носія «Зеніт».

І до сьогодні вдосконалена триступенева ракета-носій «Зеніт-3SL» є одним із найпотужніших літальних апаратів свого класу. Екологічно чистий і надійний «Зеніт» можна запускати за будь-яких метеорологічних умов. Ракета здатна виводити на навколоземну орбіту супутники масою до 13 т.



3. Реактивний рух у природі

Багато мешканців морів та океанів використовують реактивний рух для пересування (рис. 21.5).

Розглянемо, як пересувається кальмар. Під мантиєю кальмара є порожнина та дві воронки: вхідна — для всмоктування води, вихідна — для її випускання. За допомогою м'язів кальмар розширює мантию, і вода заповнює мантийну порожнину. Після її заповнення вхідний отвір закривається, потужні м'язи скорочуються, і вода з величезною швидкістю виривається крізь вихідний отвір назовні, унаслідок чого тіло кальмара отримує потужний імпульс. Кальмари можуть досягати швидкості до 40 км/год. Напрямок вихідної воронки може змінюватися, тому кальмар здатен регулювати напрямок свого руху: рухатися вперед і назад, повертатися, зупинятися.

Поясніть, чому, розробляючи турбореактивні двигуни, учені вивчали пересування кальмарів.



Рис. 21.5. Кальмари, восьминоги, каракатиці пересуваються завдяки реактивному руху

Реактивним рухом не хestують і рослини. Поширений на берегах Середземного та Чорного морів «скажений» огірок (*Echballium*) розкидає своє насіння саме завдяки реактивному руху (рис. 21.6). Коли плід дозріває, усередині нього починається бродіння, тиск рідини підвищується. Тому в разі незначного струсу (особливо спричиненого торканням тварини чи людини) плід відокремлюється від плодоніжки. Крізь отвір вміст огірка виривається назовні, а огірок за законом збереження імпульсу рухається в протилежному напрямку.

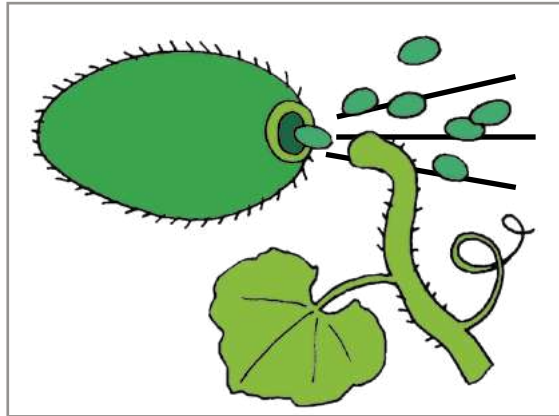


Рис. 21.6. Завдяки реактивному руху «скажений» огірок (огірок-пирскач) може подолати відстань до 12 м, розсіюючи по дорозі насіння

А як насправді?

Під час руху медуза нагадує парасольку, яка то складається, то розкривається. Біологи, які досліджують медуз, стверджують, що ці морські тварини пересуваються завдяки реактивному руху, адже коли медуза стискає парасольку, з-під неї виштовхується вода, тобто виникає віддача, яка штовхає медузу. Підтвердьте або спростуйте думку біологів.



Підбиваємо підсумки

Реактивний рух — це рух, що виникає внаслідок відділення з деякою швидкістю від тіла якоїсь його частини.

Основою реактивного руху є **закон збереження імпульсу**:

$$m_1v_1 - m_2v_2 = 0.$$

Ракета — це літальний апарат, який переміщується в просторі завдяки реактивній тязі, що виникає внаслідок викидання ракетною газового струменя.

Реактивний рух спостерігається в природі: деякі тварини використовують його для пересування, рослини — для розсіювання насіння.



Контрольні запитання

1. Дайте означення реактивного руху. Опишіть досліди зі спостереження за реактивним рухом.
2. Запишіть закон збереження імпульсу для старту ракети, припустивши, що все її паливо згоряє під час старту.
3. Чому для польотів у космос використовують багатоступеневі ракети?
4. У яких ще технічних пристроях застосовують реактивний рух?
5. Де в природі можна спостерігати реактивний рух?



Вправа № 21

- ◆ 1. Що спільного між рухом кальмарів, реактивних літаків і катерів із водометними двигунами?
- ◆ 2. Чим відрізняється рух автомобіля від руху ракети?

- ◆ 3. Чому під час пострілу з мисливської рушниці потрібно обов'язково притискати приклад до плеча?
- ◆ 4. «Сегнерове колесо» — пристрій, який винайшов фізик, математик, механік *Янош Андраш Сегнер* (1704–1777), — зараз застосовують для поливання газонів. Розгляньте рисунок і поясніть, як працює цей пристрій. Чи можна його вважати реактивним двигуном?
- ◆ 5. Під час запуску моделі ракети загальною масою 600 г із її сопла вилітає 500 г води. Оцініть швидкість витікання води, якщо ракета набула швидкості руху 12 м/с. Чому можна саме оцінити, а не визначити швидкість витікання води?
- ◆ 6. Підготуйте стислу доповідь про українських космонавтів.



Експериментальне завдання

Із пластикової пляшки й трубочок для коктейлю виготовте «сегнерове колесо». Перевірте, як працює цей пристрій.



Ключові терміни

Реактивний рух; ракета; багатоступенева ракета

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3 Частина 2 «Імпульс тіла. Реактивний рух»

1. Ви дізналися, що тіло, яке рухається, характеризує фізична величина, яка називається *імпульсом тіла*.

Імпульс тіла \vec{p} — це векторна фізична величина, яка дорівнює добутку маси тіла на швидкість його руху: $\vec{p} = m\vec{v}$.

Напрямок імпульсу тіла збігається з напрямком руху тіла:

$$\vec{p} \uparrow \uparrow \vec{v}$$

Одиниця імпульсу тіла в СІ — кілограм-метр за секунду:

$$[p] = \text{кг} \cdot \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

2. Ви вивчили один із фундаментальних законів фізики — *закон збереження імпульсу*, дізналися про *реактивний рух*.

У замкненій системі тіл векторна сума імпульсів тіл до взаємодії дорівнює векторній сумі імпульсів тіл після взаємодії:

$$\vec{p}_{01} + \vec{p}_{02} = \vec{p}_1 + \vec{p}_2,$$

або

$$m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2.$$

ТЕМИ РЕФЕРАТИВ І ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Реактивний рух у природі.
2. Історія космонавтики. Україна — космічна держава.
3. Життєвий шлях і наукова діяльність С. П. Корольова.
4. Багаторазові космічні кораблі.
5. Пружні та непружні зіткнення.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Створення і спостереження реактивного руху.
2. Дослідження пружного та непружного ударів.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Застосування закону збереження імпульсу в техніці та виготовлення відповідних пристроїв.
2. Виготовлення дієвої моделі ракети та дослідження її руху.

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Частина 2 «Імпульс тіла. Реактивний рух»



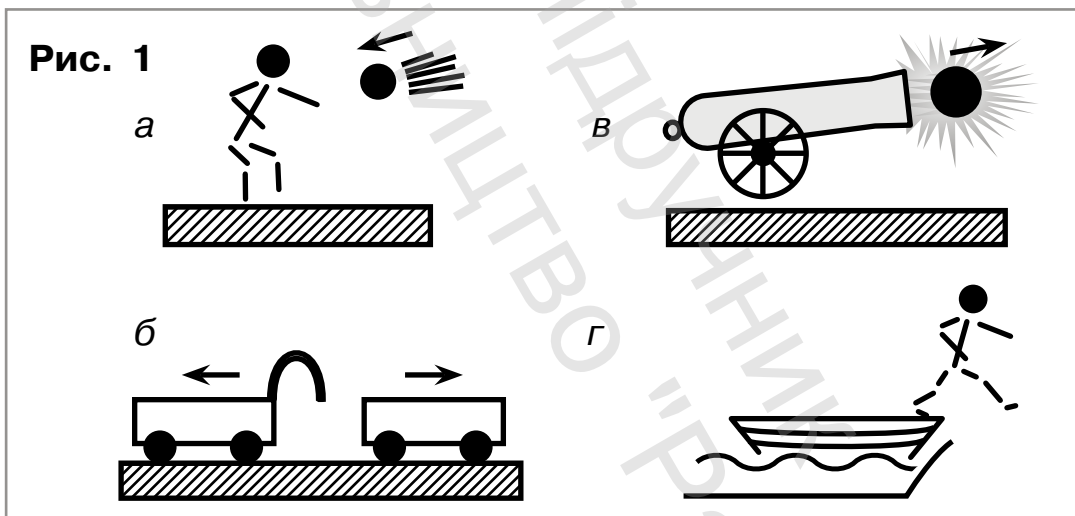
rnk.com.
ua/106661

У завданнях 1–9 виберіть одну правильну відповідь.

1. (1 бал) Як позначають імпульс тіла?
а) \vec{p} ; б) \vec{s} ; в) \vec{F} ; г) \vec{v} .

2. (1 бал) Куди напрямлений імпульс газів, що вириваються із сопла ракети, яка рухається вертикально вгору?
- а) вертикально вгору;
 - б) вертикально вниз;
 - в) імпульс газів дорівнює нулю;
 - г) у напрямку обертання Землі.
3. (1 бал) Який імпульс має хлопчик масою 55 кг, коли під час змагань він рухається зі швидкістю 5 м/с?
- а) 11 кг·м/с;
 - б) 50 кг·м/с;
 - в) 275 кг·м/с;
 - г) 135 кг·м/с.
4. (1 бал) Кіт масою 3 кг рухається з однаковою швидкістю з мишею, маса якої 30 г. Імпульс якої тварини є більшим і в скільки разів?
- а) імпульс миші більший у 10 разів;
 - б) імпульс kota більший у 10 разів;
 - в) імпульси тварин є однаковими;
 - г) імпульс kota більший у 100 разів.
5. (1 бал) На підлозі ліфта стоїть валіза масою 20 кг. Ліфт рухається зі швидкістю 5 м/с. Чому дорівнює імпульс валізи відносно ліфта?
- а) 4 кг·м/с;
 - б) 100 кг·м/с;
 - в) 25 кг·м/с;
 - г) 0.
6. (1 бал) З якою швидкістю рухається автомобіль масою 2 т, якщо його імпульс 30 000 кг·м/с?
- а) 15 000 м/с;
 - б) 6 000 м/с;
 - в) 15 м/с;
 - г) 60 м/с.

7. (1 бал) Чому дорівнює маса гепарда, який біжить зі швидкістю 72 км/год, якщо його імпульс дорівнює 720 кг·м/с?
- а) 10 кг; б) 20 кг; в) 36 кг; г) 72 кг.
8. (2 бали) Два візки масою 2 кг і 5 кг рухаються назустріч один одному зі швидкостями 2,5 м/с і 1 м/с відповідно. Чому дорівнює сумарний імпульс цих візків?
- а) 10 кг·м/с; б) 5 кг·м/с; в) 2,5 кг·м/с; г) 0.
9. (2 бали) На рис. 1 зображено чотири ситуації взаємодії двох тіл. У якому з випадків а–г систему тіл **не** можна вважати замкненою?



10. (2 бали) Щільно закоркована пляшка масою 100 г, у якій залишилася невелика кількість води, лежала на сонці. За деякий час корок, маса якого 5 г, вилетів із пляшки зі швидкістю 18 м/с. Якої б швидкості набула пляшка, якби система «пляшка — вода» була замкненою?

11. (2 бали) За графіком швидкості руху кулі масою 200 г (рис. 2) визначте імпульс кулі в момент часу 2 с.

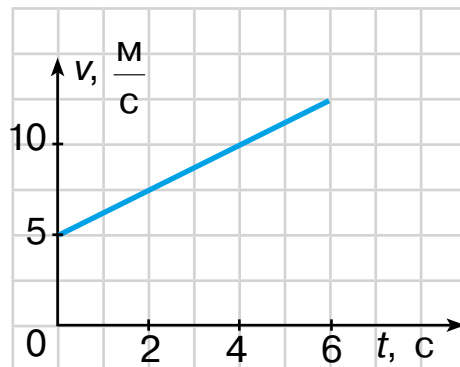


Рис. 2

12. (3 бали) Хлопчик, який рухається на скейті зі швидкістю 5 м/с, не гальмуючи схопив свій рюкзак масою 8 кг. З якою швидкістю почав рухатися хлопчик, якщо його маса разом зі скейтом дорівнює 72 кг?

13. (3 бали) Дівчинка масою 40 кг наздоганяє візок масою 30 кг, який рухається зі швидкістю 1 м/с, та застрибує на нього. З якою швидкістю рухалася дівчинка до стрибка, якщо візок почав рухатися зі швидкістю 3 м/с?

14. (3 бали) Кулька, яка рухалася зі швидкістю 1,8 м/с, зіштовхнулася з кулькою вдвічі більшої маси, що рухалася назустріч зі швидкістю 3,6 м/с. Якої швидкості набула перша кулька після зіткнення, якщо друга кулька продовжила рух у тому самому напрямку зі швидкістю 2,1 м/с?

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними наприкінці підручника. У завданнях, які ви виконали правильно, полічіть суму балів і поділіть її на 2. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

Розділ 3

Взаємодія тіл. Сили в природі

Частина 3.

«Сили в природі»

- Ви вмієте вимірювати масу тіла, а навчитеся вимірювати його вагу
- Ви розумієте, що руху тіла заважає сила тертя, а будете знати, чому сила тертя спричиняє рух
- Ви знаєте, що космонавти під час польоту перебувають у невагомості, а дізнаєтесь, як стати невагомим, не виходячи з кімнати





§ 22. СИЛА — МІРА ВЗАЄМОДІЇ. ГРАФІЧНЕ ЗОБРАЖЕННЯ СИЛ. ДОДАВАННЯ СИЛ

Що ви уявляєте, коли вимовляєте такі слова, як «сильний», «силач», «найсильніший»? Найімовірніше, ці слова ви пов'язуєте з можливостями людини або тварини, потужністю механізму або з інтенсивністю прояву природних явищ. А який зміст надають поняттю «сила» фізики?

1. Що означає поняття «сила» у фізиці?



Дослідження

Що знадобиться: олівець; вільна поверхня стола.

Покладіть олівець на край стола та несильно штовхніть його вздовж стільниці. Що відбулося



з олівцем? Чи досяг він протилежного краю стола? Чому він зупинився? Що відбудеться, якщо штовхнути олівець сильніше? Чи відчули ви дію олівця на вашу руку? А тепер спробуйте відповісти на ці запитання, оперуючи поняттями, «дія», «взаємодія», «зміна швидкості руху».

Виконавши дослідження, ви ще раз переконалися в тому, що *причиною зміни швидкості руху тіла є його взаємодія з іншими тілами*. Щоб олівець почав рух, ви штовхаєте його, але водночас і олівець діє на вашу руку. Поверхня стола діє на олівець, зупиняючи його, й олівець теж діє на поверхню стола.

Наведемо ще один приклад: щоб зупинити велосипед, ви натискаєте на ручку гальма та водночас відчуваєте, як ручка тисне на вашу долоню.

Зверніть увагу: у будь-якому разі результат залежить від того, наскільки «сильною» буде взаємодія: сильніше штовхнете олівець — він набере більшу швидкість; сильніше натиснете на гальмо — скоріше зупиниться велосипед.

Мірою дії одного тіла на інше слугує фізична величина *сила*.

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

Силу зазвичай позначають символом F (від латин. *fortis*, що означає «сильний»).

Одиниця сили в СІ — **НЬЮТОН** (названа так на честь Ісаака Ньютона):

$$[F] = \text{Н.}$$

Рис. 22.1. Дорослий тенісист здатний змусити м'яч летіти зі швидкістю руху спортивного автомобіля; дівчинка не може сильно вдарити по м'ячу, тому надає йому досить невеликої швидкості руху

1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг протягом 1 с, змінює швидкість руху цього тіла на 1 м/с.

Чим більшою є сила та чим тривалішим є час її дії на тіло, тим помітніше змінюється швидкість руху цього тіла (рис. 22.1).

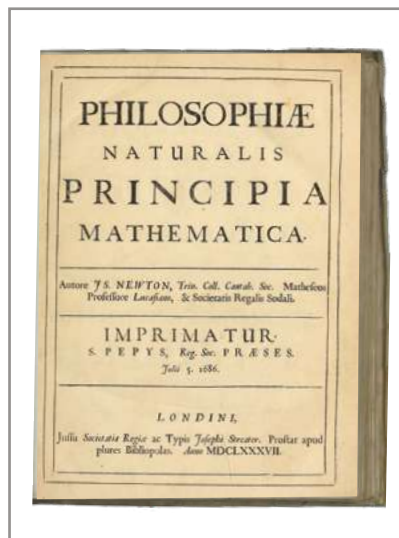
Щоб тіла різної маси за однаковий час змінювали швидкості своїх рухів однаково, на них мають діяти різні сили (рис. 22.2).



Рис. 22.2. Щоб важкий автомобіль міг розігнатися так само швидко, як легкий мотоцикл, на автомобіль слід установити потужніший двигун

Чи знаєте ви, що...

Термін «сила» в тому сенсі, у якому ми розуміємо його сьогодні, уперше застосував *Ісаак Ньютон*. У своїй роботі «Математичні начала натуральної філософії» («Philosophiae Naturalis Principia Mathematica»), надрукованій у 1687 р. в кількості 300 примірників, Ньютон дав означення прискорювальній силі, тобто силі, що «відповідає» за зміну швидкості руху тіла.



2. Чому сила є векторною величиною?



Дослідження

Покладіть на стіл олівець. Намагаючись діяти з тією самою силою, клацніть пальцем по торцю олівця спочатку в одному напрямку, а потім у протилежному; тепер спробуйте клацнути перпендикулярно до олівця, спочатку діючи на його середину, а потім на його кінець. Чи однаковим буде результат дії тієї самої за значенням сили?

Виконуючи дослідження, ви побачили, що результат дії сили (результат вашої дії) залежить не лише від значення сили, а й від її напрямку та точки, до якої цю силу прикладено.

Згадайте: фізичні величини, які мають значення та напрямок, називають *векторними*. Отже, *сила* — *векторна величина*.

На рисунках вектор сили починають у точці, куди прикладена сила (цю точку так і називають — *точка прикладання сили*), і спрямовують у напрямку дії сили. Довжину стрілки іноді обирають такою, щоб вона в певному масштабі відповідала значенню сили (рис. 22.3).

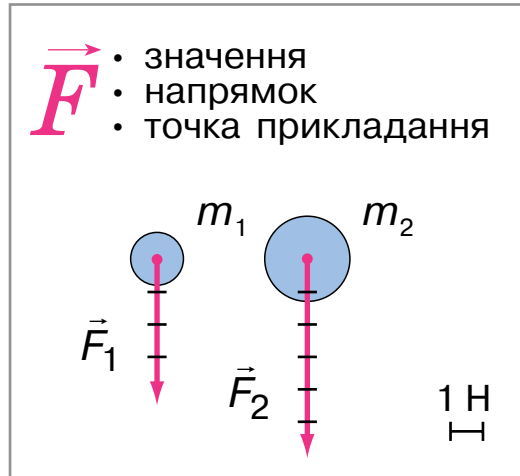
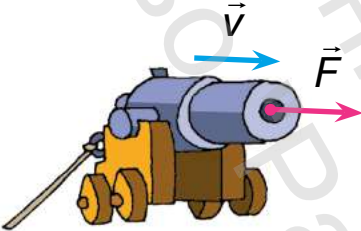

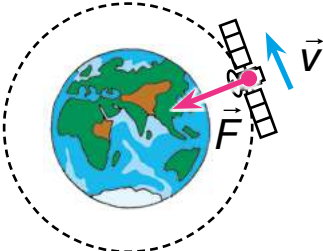



Рис. 22.3. З боку Землі на тіло масою $m_1=400$ г діє сила $F_1=4$ Н, на тіло масою $m_2=600$ г діє сила $F_2=6$ Н. Довжини стрілок, які зображують ці сили, у певному масштабі дорівнюють значенням сил

Розгляньте [таблицю](#) та дізнайтесь, як напрямок дії сили впливає на характер зміни швидкості руху тіла. Наведіть власний приклад до кожного стовпчика таблиці.

<p>Напрямок сили збігається з напрямком руху тіла</p>		<p>Значення швидкості руху тіла збільшується</p>
<p>Напрямок сили протилежний напрямку руху тіла</p>		<p>Значення швидкості руху тіла зменшується</p>

<p>Напрямок сили перпендикулярний до напрямку руху тіла</p>		<p>Змінюється лише напрямок швидкості руху тіла</p>
<p>Сила напрямлена під кутом до напрямку руху тіла</p>		<p>Змінюються значення і напрямок швидкості руху тіла</p>

3. Що таке рівнодійна та як її визначити?

Зазвичай на тіло діє не одна сила, а дві, три або більше.

Розглянемо приклад, коли на тіло в одному напрямку діють дві сили. Поставимо на стіл візок і прив'яжемо до нього дві нитки. Нехай одна людина тягне візок за одну нитку із силою 3 Н, а інша людина тягне візок у тому самому напрямку за другу нитку із силою 5 Н (див. [рис. 22.4](#)). Візок почне рухатися, збільшуючи

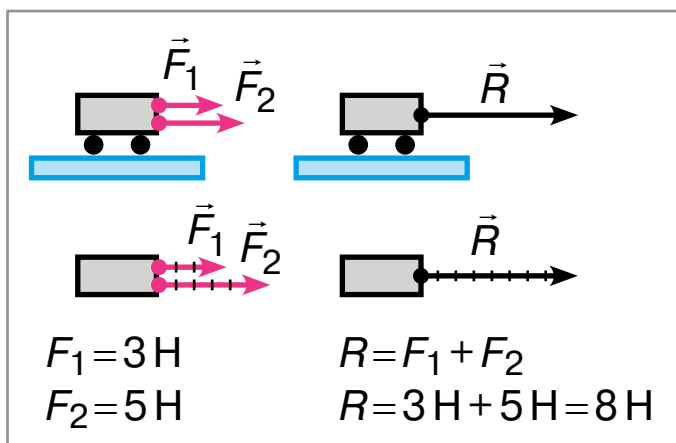


Рис. 22.4. Коли сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що діють на тіло, напрямлені в один бік, то напрямок їх рівнодійної \vec{R} збігається з напрямком дії сил

швидкість свого руху. Збільшення швидкості руху візка буде таким, ніби на нього в цьому напрямку діє лише одна сила 8 Н. Силу 8 Н, якою тут можна замінити дві сили 3 і 5 Н, називають *рівнодійною* двох сил і позначають символом \vec{R} (або \vec{F}).

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

Якщо тягти візок за дві нитки в протилежні боки, то сили не «допомагатимуть» одна одній розганяти візок, а навпаки — «заважатимуть» (рис. 22.5). У випадку, поданому на рисунку, візок буде рухатися так, ніби на нього діє сила 2 Н, напрямлена в бік дії сили 5 Н. Тобто тут рівнодійною двох сил 3 і 5 Н буде сила 2 Н: $R = 5\text{ Н} - 3\text{ Н} = 2\text{ Н}$.

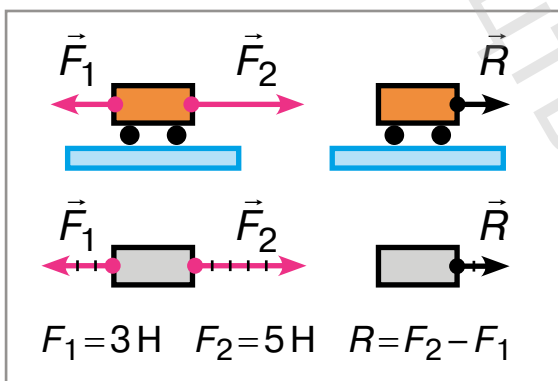


Рис. 22.5. Коли сили \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що діють на тіло, напрямлені протилежно, то *напрямок їх рівнодійної \vec{R} збігається з напрямком більшої сили*

4. Як рухається тіло, коли сили скомпенсовані?

Якою буде рівнодійна, якщо нитки, прив'язані до візка з протилежних боків, потягти із силами, однаковими за значенням, — наприклад, 5 Н? Чи зміниться швидкість руху візка?

Думаємо, ви правильно відповіли і самостійно дійшли висновку: *якщо дві сили рівні за значенням, протилежні за напрямком і прикладені до одного тіла, то їх рівнодійна дорівнює нулю. У такому випадку сили зрівноважують одна одну, тому причини для зміни швидкості руху тіла не існує: тіло не рухається або рухається рівномірно прямолінійно.*

Так, горизонтальним прямолінійним відрізком шосе автомобіль рухається рівномірно, якщо сила тяги двигуна компенсує силу опору рухові (рис. 22.6, а). (Сила опору рухові досить швидко зупинить автомобіль, якщо двигун не буде обертати колеса.) Портфель у руці перебуває в стані спокою, якщо сила притягання Землі, яка діє на портфель, компенсується силою, яку прикладає до портфеля людина (рис. 22.6, б).

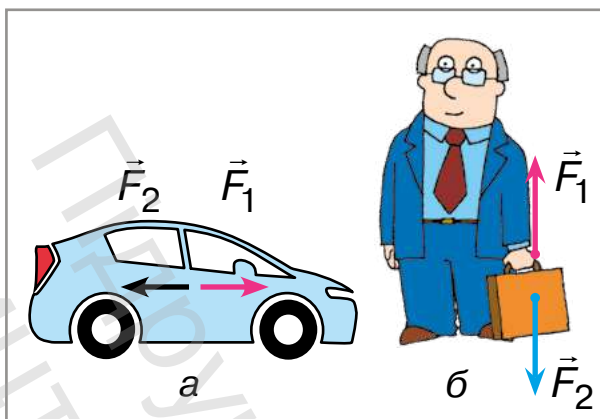


Рис. 22.6. Якщо сили, які діють на тіло, рівні за значенням і протилежні за напрямком, то тіло рухається рівномірно прямолінійно (а) або перебуває в стані спокою (б)

А як насправді?

Софія стверджує: якщо на тіло діють лише дві однакові за модулем сили, наприклад 20 Н, то рівнодійна цих сил може або дорівнювати нулю, або становити 40 Н. Микита заперечує та наголошує на тому, що рівнодійна може набувати будь-якого значення від 0 до 40 Н. Хто має рацію?



Підбиваємо підсумки

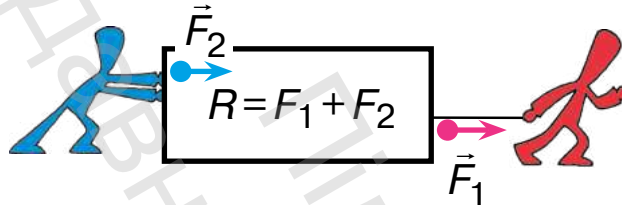
Сила (\vec{F}) — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (є мірою взаємодії тіл).

Одиниця сили в СІ — **ньютон** (Н).

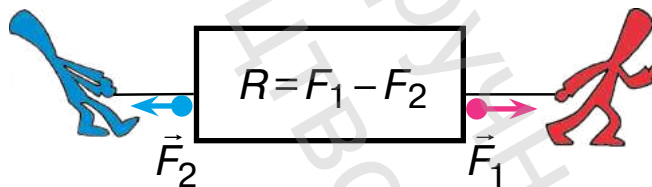
1 Н дорівнює силі, яка, діючи на тіло масою 1 кг протягом 1 с, змінює швидкість його руху на 1 м/с.

Спільну дію декількох сил можна замінити дією однієї сили — **рівнодійної** (\vec{R}).

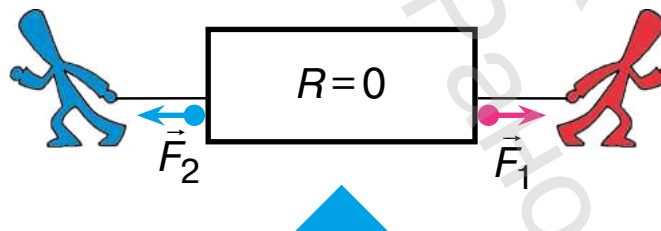
Сили діють в одному напрямку:



Сили протилежні за напрямком:



Сили скомпенсовані:



- протилежні за напрямком;
- рівні за модулем;
- прикладені до одного тіла.

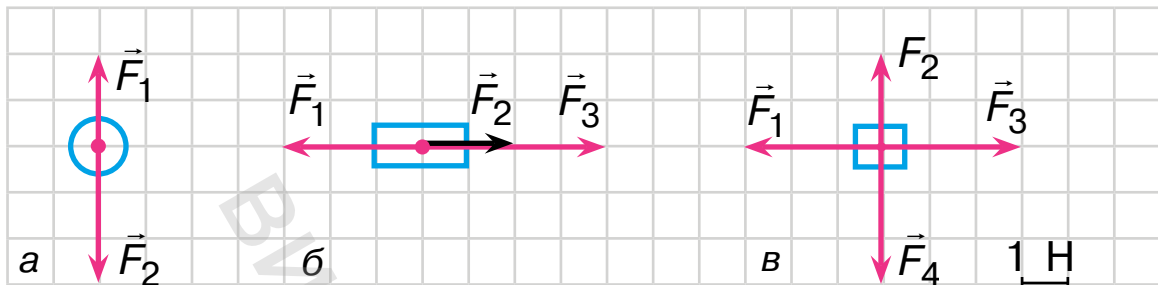
Контрольні запитання

1. Дайте означення сили. **2.** Якою є одиниця сили в СІ? **3.** Чому сила — це векторна величина? **4.** Як показують силу на рисунках? **5.** Як знайти рівнодійну двох сил, які діють уздовж однієї прямої в одному напрямку? у протилежних напрямках? **6.** За яких умов дві сили зрівноважують одна одну?

Вправа № 22

- ◆ **1.** Доберіть масштаб і накресліть у зошиті сили, що дорівнюють 3,2 Н; 5,6 Н; 8 Н. Зіставте своє креслення з кресленнями однокласників. Чи відрізняються вони? Чому?
- ◆ **2.** Канат, який тягнуть у протилежні боки дві людини, залишається нерухомим. Одна людина тягне канат із силою 300 Н. З якою силою тягне канат друга людина? Зобразіть на рисунку сили, що діють на канат. Чому дорівнює рівнодійна цих сил?
- ◆ **3.** Два хлопчики тягнуть санки, прикладаючи горизонтальні сили 50 і 70 Н, напрямлені вздовж однієї прямої. Яким може бути значення рівнодійної цих сил?
- ◆ **4.** Людина діє на підлогу із силою 800 Н. З якою силою людина діятиме на підлогу, якщо візьме в руки вантаж, який, зі свого боку, діє на людину із силою 200 Н? Відповідь поясніть за допомогою схематичного рисунка.

- ◆ **5.** На рисунку зображено тіла та сили, що на них діють (1 клітинка — 1 Н). Перенесіть рисунок до зошита, для кожного випадку *a–в* знайдіть рівнодійну та зобразіть її.



- ◆ **6.** Чи може рухатись автомобіль, якщо рівнодійна всіх сил, прикладених до нього, напрямлена протилежно напрямку руху? Якщо може, наведіть приклад.
- ◆ **7.** На тіло діють три сили, напрямлені вздовж однієї прямої. Дві сили мають значення 30 і 50 Н. Яке значення може мати третя сила, якщо рівнодійна трьох сил дорівнює 100 Н? Скільки розв'язків має ця задача? Виконайте в зошиті відповідні схематичні рисунки.



Ключові терміни

Взаємодія; сила; значення сили (модуль); напрямок сили; точка прикладання сили; ньютон; додавання сил; рівнодійна



§ 23. ДЕФОРМАЦІЯ ТІЛА. СИЛА ПРУЖНОСТІ

На початку відомого твору Івана Котляревського «Наталка Полтавка» дівчина співає пісню: «Віють вітри, віють буйні, аж дерева гнуться...». Фізики кажуть: дерева деформуються. Про деформацію та види деформації йтиметься в цьому параграфі.

1. Що таке деформація? Види деформації

Наслідком дії сили на тіло може бути як зміна швидкості його руху, так і деформація тіла. Наприклад, якщо штовхнути м'ячик, то він почне рухатись, а деякі його частини під час поштовху змістяться одні відносно інших — м'ячик *деформується*.

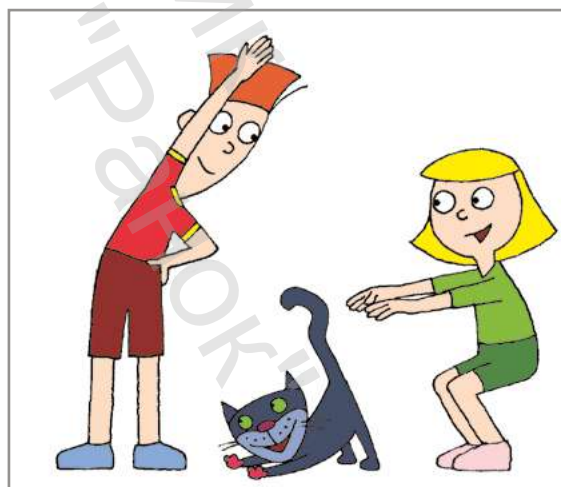
■ **Деформація** — зміна форми та (або) розмірів тіла.

За тим, як саме частини тіла зміщуються одна відносно одної, розрізняють деформації *розтягнення*, *стиснення*, *вигину*, *кручення*, *зсуву* (див. [таблицю](#)).

Види деформацій				
розтягнення	стиснення	вигин	кручення	зсув
				
Настроюємо гітару — <i>розтягуємо</i> струни	Сідаємо в автомобіль — пружини підвіски <i>стискаються</i>	Стаємо на дошку — дошка <i>вигинається</i>	Затягуємо шуруп — відбувається <i>кручення</i> викрутки	Пересуваємо меблі — відбувається деформація <i>зсуву</i>

Для кожного стовпчика поданої вище [таблиці](#) наведіть три власні приклади деформації (у техніці, побуті, природі).

Завдання. Підведіться зі стільця та виконайте фізичні вправи: присідання, повороти тулуба, нахили тощо. Яких видів деформацій зазнає ваш хребет під час виконання цих вправ? Обґрунтуйте свою відповідь.



2. Як розрізнити пружні та пластичні деформації?



Дослідження

Що знадобиться: губка для миття посуду; шматочок пластиліну.

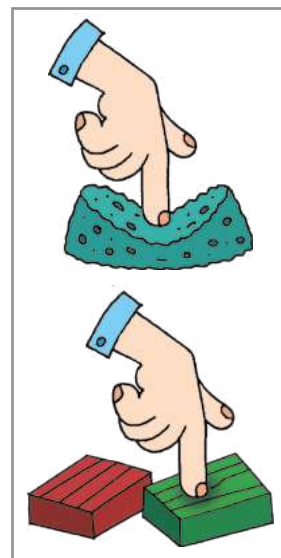
Візьміть спочатку губку та стисніть її, потім скрутіть, зігніть, розтягніть тощо. Тепер виконайте ті самі дії зі шматочком пластиліну. Яке тіло відновлює свою форму?

Чи можете ви назвати іншу пару матеріалів зі схожими властивостями?

Під час виконання дослідження ви спостерігали *пружну деформацію* і *пластичну деформацію*. Ці види деформацій розрізняють за властивістю тіл відновлювати свою форму після припинення дії сили.

Губка, якщо перестати її скручувати, стискати, розтягувати тощо, повністю відновлює свою форму — деформація губки зникає. Таку деформацію називають *пружною*.

Пластилін «не пам'ятає» своєї форми та не відновлює її. Кажуть, що пластилін зазнає *пластичної деформації*.



Пружна деформація — це деформація, яка повністю зникає після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Пластична деформація — це деформація, яка зберігається після припинення дії на тіло зовнішніх сил.



Рис. 23.1. Пружні та пластичні деформації

Розгляньте [рис. 23.1](#). Яких деформацій (пружних чи пластичних) зазнають зображені тіла? Обґрунтуйте свою відповідь. Наведіть власні приклади застосування або спостереження пружних і пластичних деформацій.

Чи знаєте ви, що...

Залежно від умов багато матеріалів можуть виявляти як пружні, так і пластичні властивості. Наприклад, *свинець* за звичайних умов є пластичним: якщо ви зігнете свинцеву пластинку, вона так і залишиться деформованою. Проте якщо свинець охолодити до температури $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$, то він стає пружним і після вигину свинцева пластинка повернеться в початковий стан.

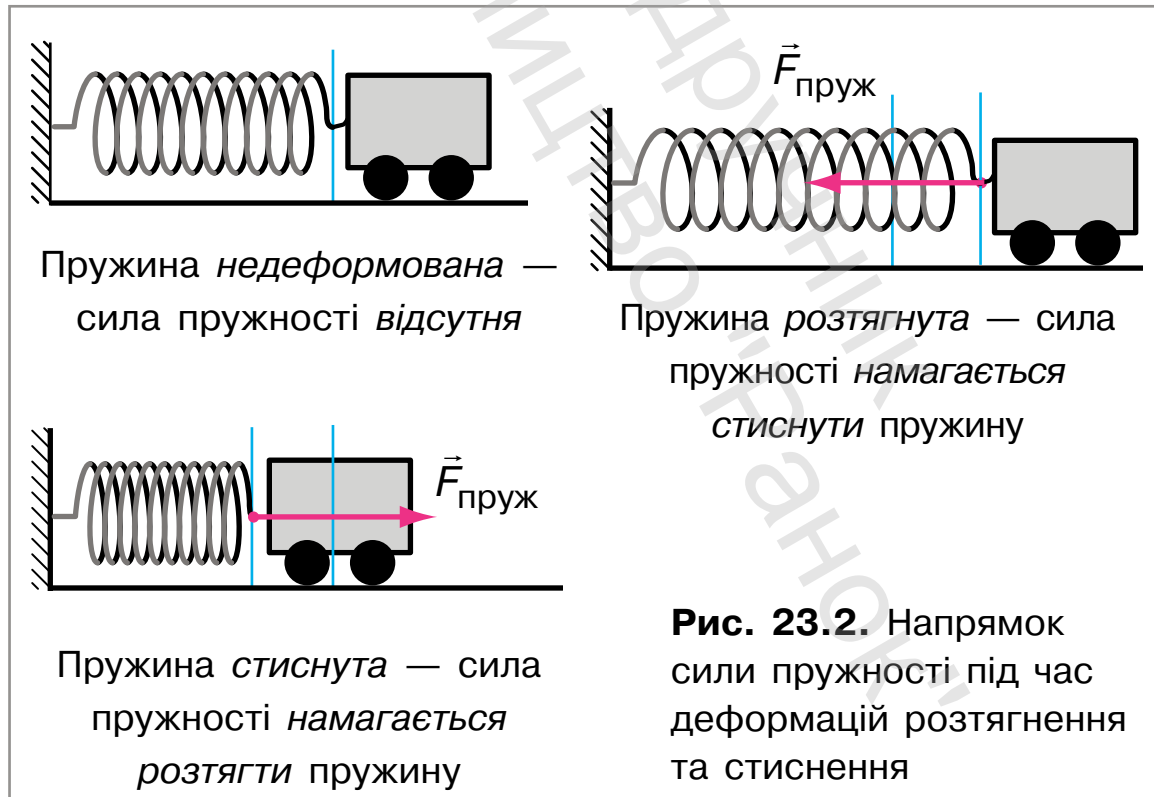
Гуму вважають досить пружним матеріалом, тому її використовують, наприклад, для виготовлення ущільнювачів, але за низьких температур гума змінює свої властивості. Якщо гумову кулю охолодити в рідкому азоті (див. [рисунок](#)), а потім ударити молотком, то куля розколеться на кілька частин.



У 1986 р. за 73 секунди після старту вибухнув американський шатл *Challenger*. У ході розслідування катастрофи американський фізик Річард Філіпс Фейнман продемонстрував експеримент: він опустив гуму в склянку з крижаною водою та показав, що гума значно зменшила свою еластичність. На думку Фейнмана, однією з причин аварії могла бути зміна пружних властивостей гумового ущільнювача на кораблі внаслідок сильного охолодження.

3. Сили пружності

Під час деформації завжди виникає сила, що прагне відновити той стан тіла, в якому тіло перебувало до деформації. Цю силу називають *силою пружності* (рис. 23.2).



Сила пружності — це сила, яка виникає під час деформації тіла та напрямлена протилежно напрямку зміщення частин цього тіла в ході деформації.

Зазвичай силу пружності позначають символом $\vec{F}_{\text{пруж}}$, але в деяких випадках використовують інші символи.

Якщо тіло тисне на опору, то опора деформується (вигинається). Деформація опори викликає появу сили пружності, яка діє на тіло *перпендикулярно до поверхні опори*. Цю силу називають **силою нормальної реакції опори** та позначають символом \vec{N} (рис. 23.3).

Якщо тіло розтягує підвіс (нитку, джгут, шнур), то виникає сила пружності, напрямлена *вздовж підвісу*. Цю силу називають **силою натягу підвісу** та інколи позначають символом \vec{T} (рис. 23.4).

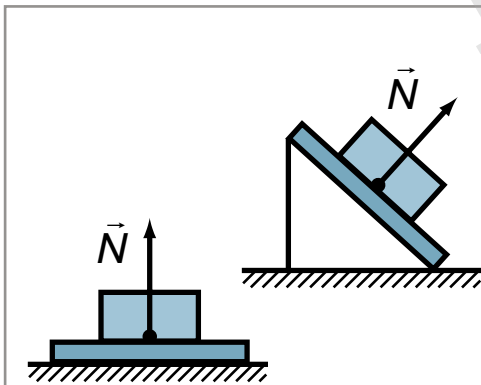


Рис. 23.3. Сила нормальної реакції опори (\vec{N}) завжди напрямлена перпендикулярно до поверхні опори

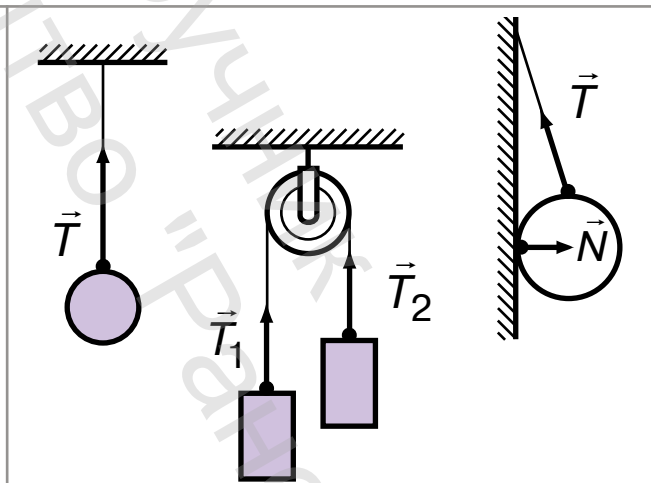


Рис. 23.4. Сила натягу підвісу (\vec{T}) завжди напрямлена вздовж підвісу

4. Чому виникає сила пружності?

Ви вже знаєте, що всі тіла складаються із частинок (атомів, молекул, йонів). У твердих тілах частинки коливаються біля положень рівноваги і взаємодіють міжмолекулярними силами притягання та відштовхування. У положеннях рівноваги ці сили зрівноважені (рис. 23.5, а).

Під час деформації тіла у взаємному розташуванні його частинок виникають певні зміни. Якщо відстань між частинками зростає, то міжмолекулярні сили притягання стають сильнішими за сили відштовхування (рис. 23.5, б). Якщо ж частинки зближуються, то сильнішими стають міжмолекулярні сили відштовхування (рис. 23.5, в).

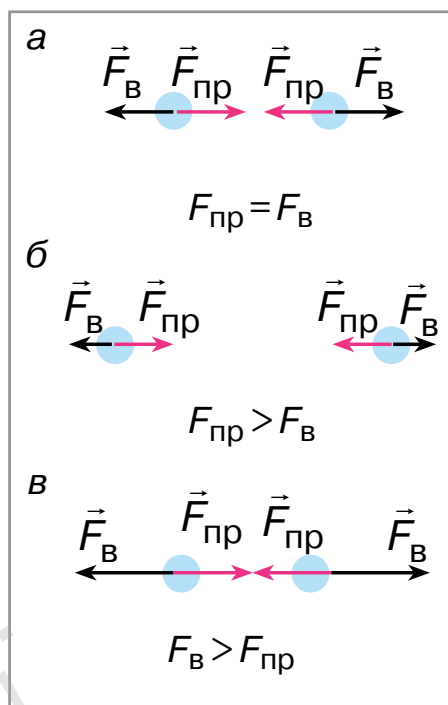


Рис. 23.5. Міжмолекулярні сили притягання ($\vec{F}_{\text{пр}}$) та відштовхування ($\vec{F}_{\text{в}}$) у випадках різного розташування частинок

Таким чином: у разі деформації тіла його частинки «прагнуть» відновити положення рівноваги.

Сили, що виникають у разі зміни положення однієї частинки, дуже малі. Однак коли тіло деформується, то змінюється розташування величезної кількості частинок. У результаті рівнодійна стає значною та протидіє деформації тіла. Це і є сила пружності. Отже, сила пружності — прояв дії міжмолекулярних сил.



Підбиваємо підсумки

Деформація — це зміна форми і (або) розмірів тіла.

Пружна деформація — деформація, яка повністю зникає після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Пластична деформація — деформація, яка залишається після припинення дії на тіло зовнішніх сил.

Сила пружності — це сила, яка виникає під час деформації тіла та намагається повернути тіло в недеформований стан:

- є проявом дії міжмолекулярних сил;
- напрямлена протилежно напрямку зміщення частин тіла під час деформації.



Контрольні запитання

1. Що таке деформація? У чому причина її виникнення?
2. Які існують види деформації? Наведіть приклади.
3. Дайте означення сили пружності. Як напрямлена сила пружності? У чому причина її виникнення?



Вправа № 23

- ◆ 1. Хлопчик намагається стрибнути з трампліна (рис. 1). Якої деформації зазнає дошка трампліна? Яка сила змушує дошку відновити свою форму?



Рис. 1

- ◆ 2. Якої деформації зазнає ланцюг під час витягування відра з водою з колодязя? Куди напрямлена сила пружності, що діє на відро? Як її позначають?
- ◆ 3. На стіл поставили важкий брусок. Що відбувається зі стільницею? Виконайте рисунок і зазначте на ньому силу пружності, що діє на брусок.
- ◆ 4. Брусок поклали на гладеньку горизонтальну поверхню і приєднали до стіни за допомогою двох пружин (рис. 2). До бруска приклали силу 6,7 Н, розтягуючи пружини. Брусок припинив рух, коли сила пружності в одній із пружин досягла 2,9 Н. Визначте силу пружності в другій пружині. Виконайте рисунок, на якому в певному масштабі зобразить сили, що діють на брусок.

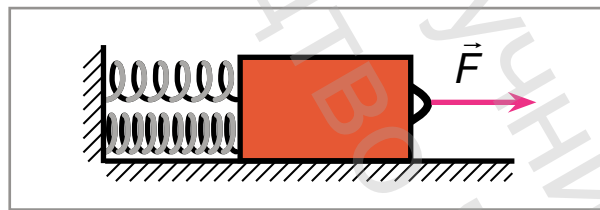


Рис. 2



Ключові терміни

Деформація; розтягнення; стиснення; вигин; зсув; кручення; пружна деформація; пластична деформація; сила пружності



§ 24. ЗАКОН ГУКА. ДИНАМОМЕТР

Банджі-батут обожнюють і діти, і дорослі! Ви злітаєте, приземляєтеся на еластичне полотно й знову зринаєте в небо завдяки гумовим стрічкам, що розтягуються та діють на вас силою пружності. Дізнаймося, як розрахувати цю силу.

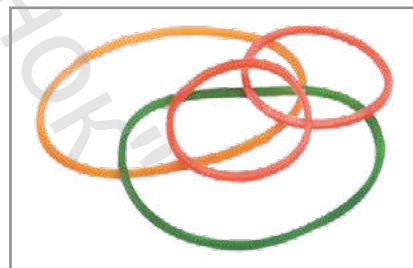
1. Від чого залежить сила пружності?



Дослідження

Що знадобиться: дві різні гумові стрічки (резинки для плетіння, для кріплення, для волосся тощо).

Візьміть спочатку одну резинку й трохи розтягніть її. Ви відчуєте, що на вашу руку з боку резинки діятиме сила пружності, яка буде намагатися повернути резинку в недеформований (нерозтягнутий) стан. Чим сильніше ви розтягуватимете

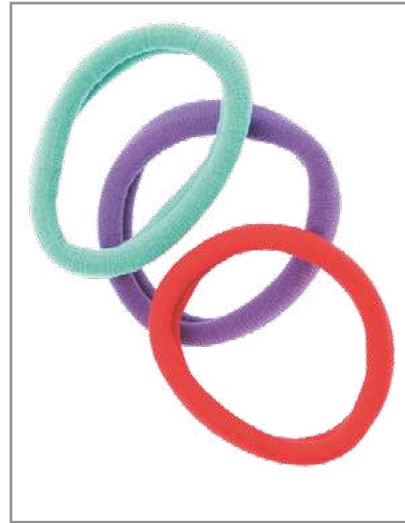


резинку, тим більшою буде сила пружності. Тепер проведіть ті самі дії з іншою резинкою. Ого! Сила пружності суттєво змінилася!

Завдяки дослідженню ви з'ясували:

1) сила пружності збільшується зі збільшенням видовження стрічки;

2) за однакового видовження сила пружності є різною для різних стрічок.



Видовження — це фізична величина, яка характеризує деформації розтягнення і стиснення та дорівнює зміні довжини тіла внаслідок деформації.

Видовження позначають символом x або Δl і визначають за формулою:

$$x = l - l_0,$$

де l — довжина деформованого тіла; l_0 — довжина недеформованого тіла (рис. 24.1).

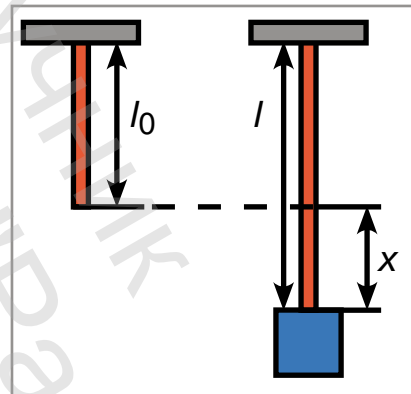


Рис. 24.1. Якщо до гумового шнура підвісити тягар, то довжина шнура збільшиться

Розтягніть гумову стрічку. З'ясуйте, якого видовження зазнала стрічка. Який прилад вам для цього потрібен? У яких одиницях ви вимірюватиме видовження?

2. Закон Гука

Наукове дослідження процесів розтягування та стиснення тіл розпочав у XVII ст. *Роберт Гук* (рис. 24.2). Результатом роботи вченого став закон, який згодом отримав назву **закон Гука**:

У разі пружних деформацій* розтягнення або стиснення сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла та завжди намагається повернути тіло в недеформований стан:

$$F_{\text{пруж}} = k |x|,$$



Рис. 24.2. Роберт Гук (1635–1703) — видатний англійський природознавець, один із засновників експериментальної фізики

де $F_{\text{пруж}}$ — сила пружності; x — видовження тіла; k — коефіцієнт пропорційності, який називають **жорсткістю тіла***.

Жорсткість тіла можна визначити, скориставшись законом Гука:

$$F_{\text{пруж}} = k |x| \Rightarrow k = \frac{F_{\text{пруж}}}{|x|}$$

Одиниця жорсткості в СІ — ньютон на метр: $[k] = \text{Н/м}$.

Жорсткість — це характеристика тіла, тому вона не залежить ані від сили пружності, ані від видовження.

* Насправді Р. Гук використовував термін «малі пружні деформації», адже він досліджував деформацію металевих стрижнів. Докладніше про це ви дізнаєтеся в старших класах.

Жорсткість залежить від форми та розмірів тіла, а також від матеріалу, з якого тіло виготовлено.

Оскільки сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла, то графіком залежності сили пружності від видовження тіла є пряма (рис. 24.3). Чим більшою є жорсткість тіла, тим вище розташований графік.

Доведіть останнє твердження, визначивши за рис. 24.3 жорсткість кожного з тіл I–III.

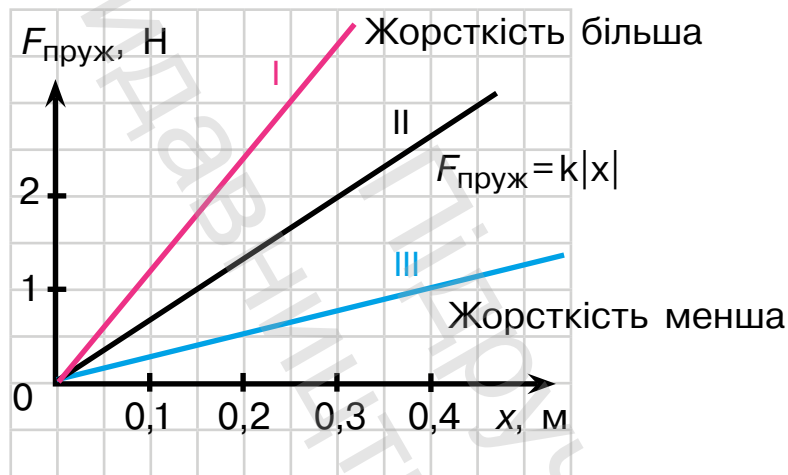


Рис. 24.3. Графік $F_{\text{пруж}}(|x|)$ — залежності сили пружності від видовження тіла — пряма

Чи знаєте ви, що...

Роберт Гук був не лише відомим фізиком, а й винахідником і архітектором.

Він, зокрема, сконструював дзеркальний телескоп, удосконалив мікроскоп; винайшов морський барометр; створив проекти, за якими збудовано Гринвіцьку обсерваторію; розробив повітряний насос і прилад для вимірювання сили вітру; досліджував структуру рослин і запровадив у науку термін «клітина».

3. Як працює прилад для вимірювання сил?

Сила — це фізична величина, тому її можна вимірювати.

Прилади для вимірювання сили називають **динамометрами**.

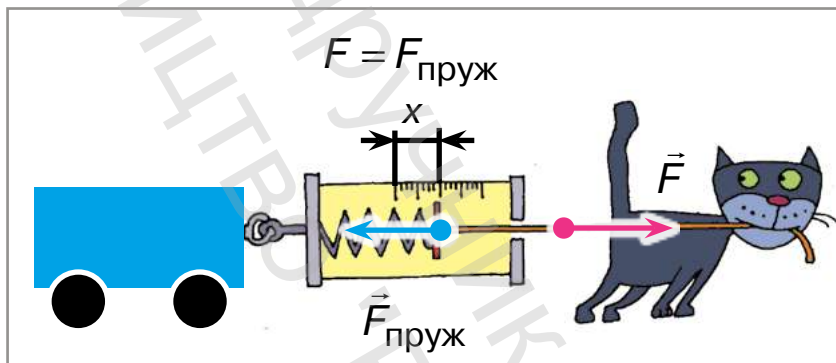
Основна складова найпростіших динамометрів — *пружина*. Щоб за допомогою пружини відомої жорсткості k виміряти силу F , із якою, наприклад, кіт тягне візок (рис. 24.4), необхідно:

1) виміряти видовження x пружини;

2) скориставшись законом Гука, визначити силу пружності ($F_{\text{пруж}} = k|x|$), яка діє на kota з боку пружини та за значенням дорівнює силі F тяги kota: $F = F_{\text{пруж}}$.

Рис. 24.4.

Силу, з якою кіт тягне візок, можна виміряти за допомогою пружини



Зрозуміло, що кожного разу вимірювати видовження та розраховувати силу незручно. Тому для вимірювання сил пружину закріплюють на *панелі*, на яку наносять *шкалу*, градуюючи її відразу в *одиницях сили*. Саме таку будову мають найпростіші шкільні лабораторні динамометри (рис. 24.5). Існують й інші види пружинних динамометрів (рис. 24.6).

Рис. 24.5. Шкільні пружинні лабораторні динамометри:
 1 — панель; пластиковий корпус; 2 — пружина; 3 — шкала;
 4 — повідець із гачком

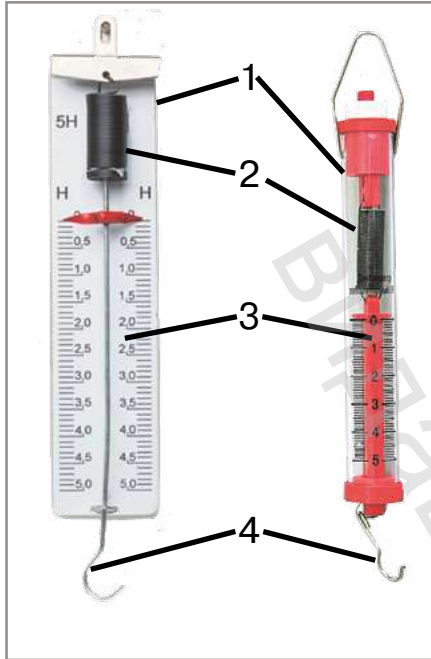


Рис. 24.6. Тяговий динамометр, призначений для вимірювання великих сил, наприклад сили тяги трактора

А як насправді?

Наталка стверджує, що динамометри використовують лише на уроках фізики та інколи в техніці. Микола не погоджується: він вважає, що люди користуються динамометрами в усіх сферах життя, навіть під час розваг. А як думаєте ви?

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача 1.** Діючи на пружину силою 40 Н, учень розтягнув її на 8 см. Визначте жорсткість пружини. Яку силу треба прикласти учневі, щоб розтягти ту саму пружину ще на 6 см? Деформацію пружини вважайте пружною. ■

Аналіз фізичної проблеми. Сила, яку прикладає учень, за значенням дорівнює силі пружності, що виникає в пружині: $F = F_{\text{пруж}}$. Деформація є пружною, тому скористаємося законом Гука. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Дано:

$$F_1 = 40 \text{ Н}$$

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

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

Знайти:

$$k - ?$$

$$F_2 - ?$$

1. Визначимо жорсткість пружини:

$$F_{\text{пруж}1} = k x_1, \text{ тому } k = \frac{F_{\text{пруж}1}}{x_1} = \frac{F_1}{x_1};$$

$$k = \frac{40 \text{ Н}}{0,08 \text{ м}} = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

2. Знайдемо силу, яку треба прикласти учневі, щоб додатково розтягнути пружину:

$$F_2 = F_{\text{пруж}2} = k x_2.$$

За умовою $x_2 - x_1 = 0,06 \text{ м}$, тому:

$$x_2 = x_1 + 0,06 \text{ м} = 0,08 \text{ м} + 0,06 \text{ м} = 0,14 \text{ м}.$$

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

Аналіз результатів. Для видовження пружини на 8 см учень прикладає силу 40 Н; для видовження пружини ще на 6 см учневі треба збільшити силу на 30 Н — це правдоподібний результат.

$$\text{Відповідь: } k = 500 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; F_2 = 70 \text{ Н}.$$

■ **Задача 2.** Під час експерименту дівчинка збільшувала навантаження гумового шнура, щоразу вимірюючи силу, яка діє на шнур, і відповідне видовження шнура. Скориставшись таблицею, яку отримала дівчинка, побудуйте графік $F_{\text{пруж}}(x)$ — залежності сили пружності від видовження шнура. За допомогою графіка визначте:

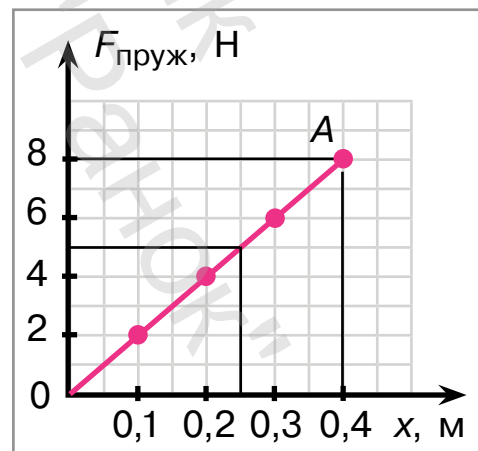
- 1) жорсткість шнура;
- 2) видовження шнура, коли до нього прикладено силу 5 Н;
- 3) силу, яку треба прикласти до шнура, щоб його видовження становило 6 см. ■

Сила F , Н	2	4	6	8
Видовження x , м	0,1	0,2	0,3	0,4

Аналіз фізичної проблеми. Під час розтягнення шнура виникає сила пружності, яка за значенням дорівнює силі, що діє на шнур: $F_{\text{пруж}} = F$.

Накреслимо дві взаємно перпендикулярні осі. На горизонтальній осі відкладатимемо видовження x шнура, а на вертикальній — відповідне значення сили пружності $F_{\text{пруж}}$.

Розв'язання. Побудувавши за поданою таблицею відповідні точки (див. рисунок), побачимо, що всі вони належать одній прямій; отже, для будь-якої точки графіка маємо: $F_{\text{пруж}} = kx$.



1) За будь-якою точкою графіка, наприклад А, знайдемо жорсткість шнура:

$$k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x} = \frac{8 \text{ Н}}{0,4 \text{ м}} = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

2) Видовження шнура внаслідок дії сили 5 Н знайдемо за графіком: якщо $F_{\text{пруж}} = 5 \text{ Н}$, то $x = 0,25 \text{ м}$.

3) Силу, яку треба прикласти до шнура, щоб він був видовжений на 0,06 м, знайдемо за законом Гука:

$$F = F_{\text{пруж}} = k x = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot 0,06 \text{ м} = 1,2 \text{ Н}.$$

$$\text{Відповідь: } k = 20 \frac{\text{Н}}{\text{м}}; x = 0,25 \text{ м}; F = 1,2 \text{ Н}.$$



Підбиваємо підсумки

Закон Гука: У разі пружних деформацій розтягнення або стиснення сила пружності прямо пропорційна видовженню тіла та завжди намагається повернути тіло в недеформований стан:

$$F_{\text{пруж}} = k|x|$$

- закон *установив* експериментальним шляхом англійський фізик *Роберт Гук* у 1660 р.;
- *межі застосування:* пружна деформація розтягнення або стиснення.

Видовження x — фізична величина, яка дорівнює зміні довжини тіла внаслідок деформації:

$$x = l - l_0, [x] = \text{м}.$$

Жорсткість k — фізична величина, що характеризує пружні властивості тіла (стрижня, шнура, пружини); $[k] = \text{Н/м}$.

- залежить від форми та розмірів тіла, від матеріалу, з якого тіло виготовлено;

Динамометр — прилад для вимірювання сили.



Контрольні запитання

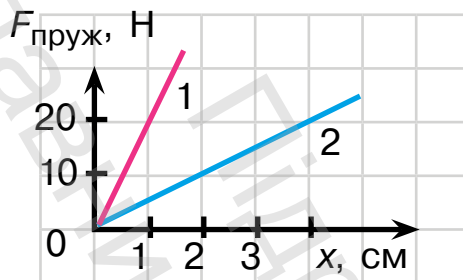
1. Дайте означення видовження. 2. Сформулюйте закон Гука. Які межі його застосування? 3. Схарактеризуйте жорсткість як фізичну величину. 4. Від чого залежить жорсткість тіла? 5. Чи залежить жорсткість тіла від видовження? 6. Який прилад застосовують для вимірювання сили? Як він працює?



Вправа № 24

- ◆ 1. Розтягнута пружина має довжину 12 см. Якою є довжина недеформованої пружини, якщо видовження дорівнює 20 мм?
- ◆ 2. Жорсткість пружини становить 20 Н/м. Яку силу потрібно прикласти до пружини, щоб розтягти її на 0,1 м?
- ◆ 3. За поданими силою пружності та видовженням пружини визначте жорсткість пружини: а) $F_{\text{пруж}} = 10 \text{ Н}$, $x = 0,2 \text{ м}$; б) $F_{\text{пруж}} = 3 \text{ кН}$, $x = 0,15 \text{ м}$; в) $F_{\text{пруж}} = 2,1 \text{ Н}$, $x = 3,5 \text{ мм}$.
- ◆ 4. Якщо стиснути пружину на 7 см, виникає сила пружності 2,8 кН. Якою буде сила пружності, якщо пружину стиснути на 4,2 мм?

- ◆ **5.** Скориставшись законом Гука, знайдіть значення фізичних величин ($F_{\text{пруж}}$ або k , або x), якщо:
 а) $x=2$ см, $F_{\text{пруж}}=13$ Н; б) $k=2$ Н/см, $x=4$ мм;
 в) $F_{\text{пруж}}=1,8$ кН, $k=1200$ Н/м.
- ◆ **6.** Багато виробників подають характеристики пружин за допомогою графіків. За графіками залежності $F_{\text{пруж}}(x)$ (див. [рисунок](#)) визначте жорсткості пружин 1 і 2. Обчисліть видовження пружин у разі прикладення сили 25 Н.



- ◆ **7.** Дві пружини жорсткостями 40 Н/м і 50 Н/м з'єднані послідовно. Знайдіть видовження цієї системи пружин, якщо до неї прикласти силу $F=10$ Н. Визначте жорсткість системи.

У разі послідовного з'єднання пружин сила пружності буде однаковою в будь-якій точці системи:

$$F_{\text{пруж}} = F_{\text{пруж1}} = F_{\text{пруж2}}.$$



Ключові терміни

Видовження; закон Гука; жорсткість тіла (шнура, пружини); межі застосування; динамометр

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6



Тема. Дослідження пружних властивостей тіл.

rnk.com.ua/
106664

Мета: дослідити пружні властивості гумового шнура під час деформації розтягнення.

Обладнання: штатив із муфтою та лапкою; гумовий шнур завдовжки 15–20 см; 4 тягарці масою 100 г кожен; учнівська лінійка.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - 1) Що таке деформація? Які існують види деформації?
 - 2) Які деформації називають пружними? пластичними?
 - 3) За якою формулою розраховують силу пружності?
2. Визначте ціну поділки шкали лінійки.
3. Зберіть пристрій.
 - 1) На кінцях гумового шнура зав'яжіть петлі так, щоб відстань між вузликami становила близько 8 см.
 - 2) Підвісьте шнур за одну з петель на лапку штатива (рис. 1).

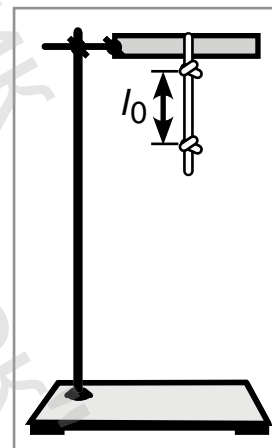


Рис. 1

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань та обчислень відразу заносьте до таблиці.

1. Вирівняйте шнур, не розтягуючи його. Виміряйте відстань l_0 між вузликами — довжину недеформованого шнура (див. рис. 1).
2. Підвісьте до шнура тягарець масою 100 г. Виміряйте відстань l між вузликами — довжину деформованого шнура (рис. 2).

Підвішений до шнура тягарець масою 100 г розтягує шнур із силою приблизно 1 Н.

3. Зніміть тягарець. З'ясуйте, чи повернувся нижній вузлик у вихідне положення, тобто чи була деформація шнура пружною.
4. Послідовно підвішуйте до шнура спочатку 2, потім 3, потім 4 тягарці, кожного разу вимірюючи довжину деформованого шнура.

Зверніть увагу: після кожного дослідів знімайте тягарці та з'ясовуйте, чи повернувся нижній вузлик шнура у вихідне положення. Якщо після зняття тягарців шнур залишиться деформованим (деформація вже не пружна), дослідів припиніть.

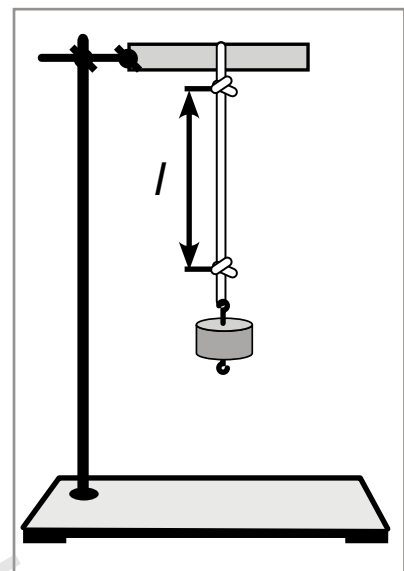


Рис. 2

Опрацювання результатів експерименту

Для кожного досліду:

- 1) визначте видовження шнура: $x = l - l_0$; одержані результати подайте в метрах.
- 2) знайдіть відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$.

Номер досліду	Маса тягарця, m , г	Сила пружності $F_{\text{пруж}}$, Н	Довжина		Видовження x , м	Відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, $\frac{\text{Н}}{\text{м}}$
			l_0 , см	l , см		
1	100	1				
2	200	2				
3	300	3				
4	400	4				

Аналіз експерименту та його результатів

Порівняйте відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, одержані в досліді.

Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) чи впливає навантаження на те, якою буде деформація (пружною або пластичною); 2) чи залежить у разі пружної деформації жорсткість шнура $\left(k = \frac{F_{\text{пруж}}}{x}\right)$ від його видовження.



Творче завдання

Чи зміниться відношення $\frac{F_{\text{пруж}}}{x}$, одержане в роботі, якщо шнур замінити на такий самий, але вдвічі довший? вдвічі товщий? Перевірте результати своїх міркувань експериментально.



§ 25. СИЛА ТЯЖІННЯ. ВАГА ТІЛА

Візьмемо м'яч, піднімемо його та відпустимо — м'яч обов'язково впаде. Поставимо рюкзак на лаву — лаву (хоч і непомітно для ока) прогнеться. Підвісимо до гумового шнура важку сумку — шнур помітно розтягнеться. Чому так відбувається? З'ясуємо!

1. Як виявляється гравітаційна взаємодія?

Чому будь-який предмет: випущений із руки олівець, крапля дощу, листок дерева тощо — падає вниз? Чому стріла, пущена з лука, не летить увесь час горизонтально, а врешті падає на землю? Чому Місяць рухається навколо Землі? Причина всіх цих явищ полягає в тому, що *Земля притягує до себе всі тіла* (рис. 25.1).

Усі тіла також притягують до себе Землю. Наприклад, притягання Місяця спричиняє на

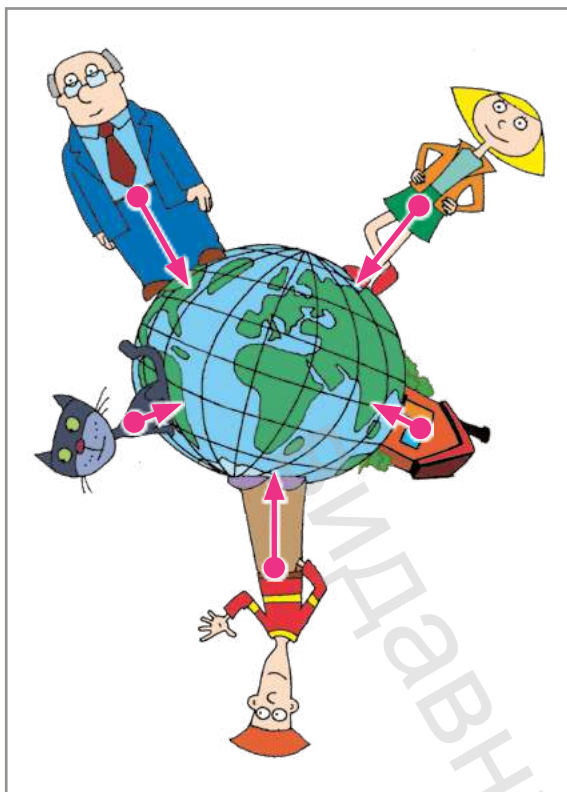


Рис. 25.1. Земля притягує до себе всі тіла

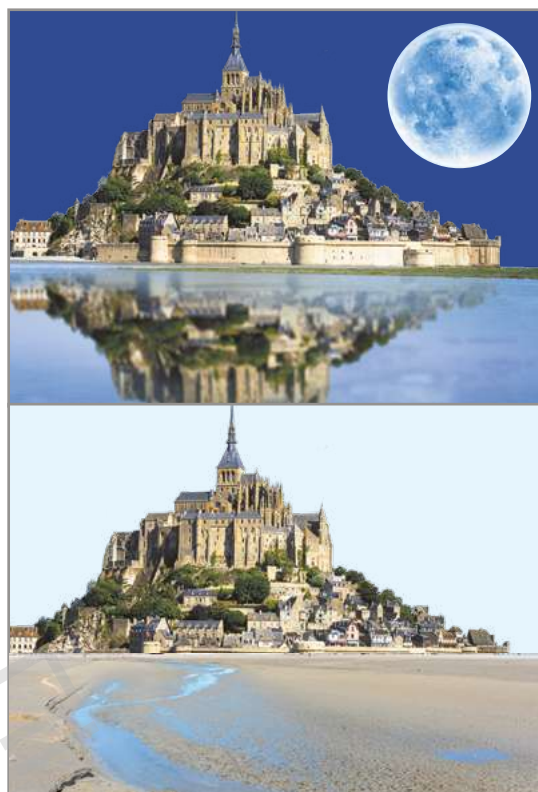


Рис. 25.2. Припливи та відпливи є наслідками притягання Землі до Місяця

Землі припливи та відпливи (рис. 25.2). Завдяки притяганню Сонця Земля та інші планети Сонячної системи рухаються навколо Сонця по певних орбітах.

У 1687 р. *Ісаак Ньютон* сформулював закон, згідно з яким між усіма тілами Всесвіту існує взаємне притягання. Таке взаємне притягання об'єктів називають *гравітаційною взаємодією*, або *всесвітнім тяжінням*.

Спираючись на досліди та математичні розрахунки, Ньютон виявив, що *інтенсивність гравітаційної взаємодії збільшується зі збільшенням мас тіл, які взаємодіють*.

А як насправді?

— Тепер зрозуміло, чому ми добре помічаємо притягання Землі й зовсім не відчуваємо притягання сусіда по парті, — сказав Петро.

— Це дійсно так. Але чому тоді я не відчуваю притягання Юпітера, маса якого є значно більшою за масу Землі? Тут є суперечність! — наголосила Яринка.

А як насправді?

2. Як знайти силу тяжіння?

У фізиці силу гравітаційного притягання, яка діє на тіла поблизу поверхні Землі*, називають *силою тяжіння*.

Сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — це сила, з якою Земля притягує до себе тіла, що перебувають на її поверхні або поблизу неї.

Сила тяжіння прикладена до тіла, яке притягується Землею, і напрямлена вертикально вниз (рис. 25.3).

$$F_{\text{тяж}} = mg,$$

* Вважатимемо, що, коли говорять «поблизу поверхні Землі», мають на увазі відстань, яка не перевищує кількох десятків кілометрів.

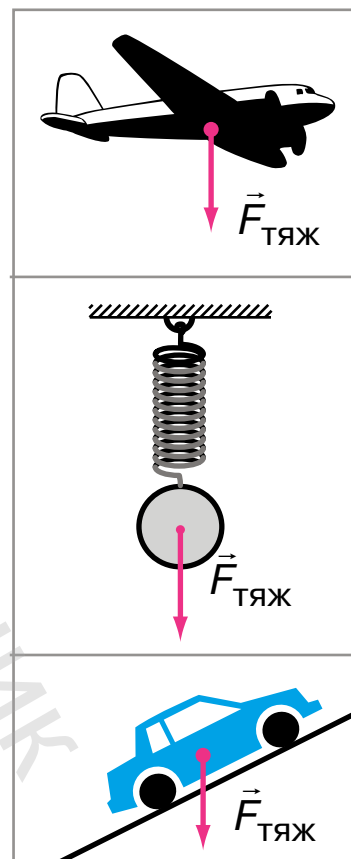


Рис. 25.3. Сила тяжіння завжди прикладена до тіла та напрямлена вертикально вниз

де $F_{\text{тяж}}$ — значення сили тяжіння; m — маса тіла; g — коефіцієнт пропорційності, який називають **прискорення вільного падіння** і який є однаковим для будь-яких тіл.

Поблизу поверхні Землі прискорення вільного падіння становить приблизно 9,8 ньютонів на кілограм:

$$g \approx 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.*$$

Значення прискорення вільного падіння незначно змінюється на екваторі й полюсах Землі (рис. 25.4), у разі підняття вгору та спуску в шахту.

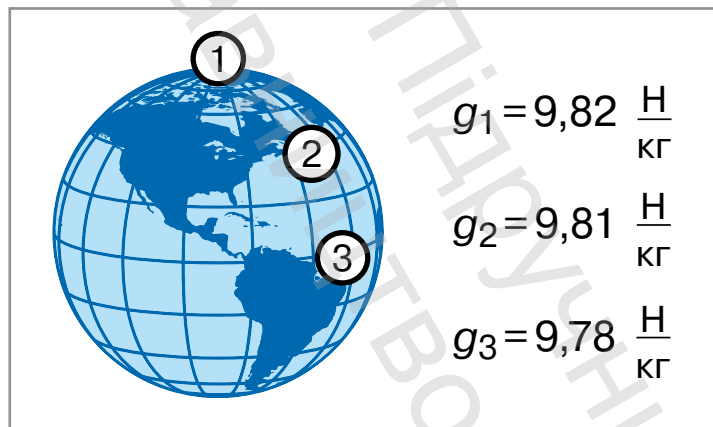


Рис. 25.4. Прискорення вільного падіння на екваторі (g_3) є незначно меншим, ніж на полюсі (g_1)

Скориставшись рис. 25.4, дізнайтеся, на скільки сила тяжіння, яка діє на вас, на екваторі менша, ніж на полюсі.

* Для спрощення розрахунків, якщо не потрібна велика точність, вважатимемо, що $g = 10 \text{ Н/кг}$.

3. Що фізики називають вагою тіла?

Усі тіла через притягання до Землі стискають чи прогинають опору або розтягують підвіс. Сила, яка характеризує таку дію тіл, називається *вагою тіла* (рис. 25.5).

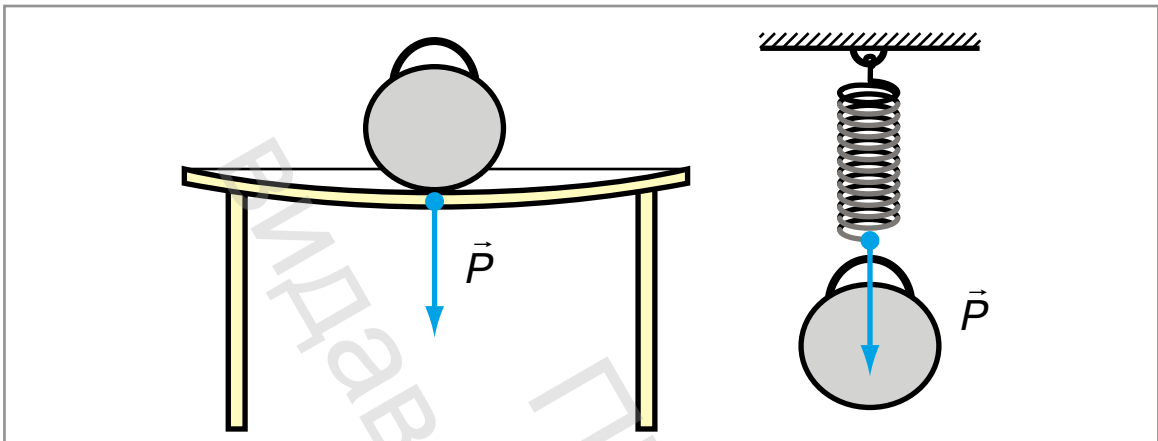


Рис. 25.5. Тіла, розміщені на опорі або підвісі, діють на них із силою, яку називають *вагою тіла*

Вага тіла \vec{P} — це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло тисне на опору або розтягує підвіс.

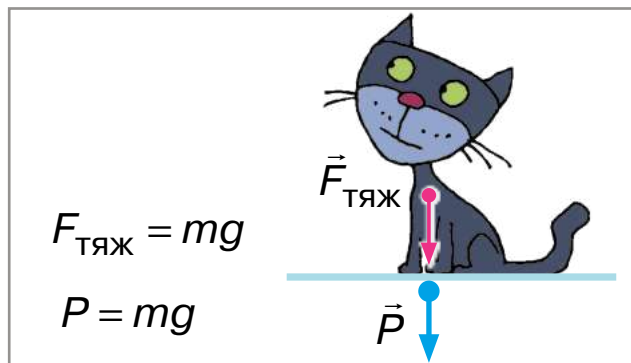
Одиниця ваги в СІ, як і будь-якої іншої сили, — **ньютон** (1 Н): $[P] = \text{Н}$.

Якщо тіло перебуває в стані спокою або прямолінійного рівномірного руху, то його вага збігається за напрямком із силою тяжіння та дорівнює їй за значенням:

$$P = mg$$

На відміну від сили тяжіння, яка прикладена до тіла, вага прикладена до опорі або підвісу (рис. 25.6).

Рис. 25.6. Сила тяжіння діє на тіло, вага тіла — на опору



Чи знаєте ви, що...

Окрім гравітаційної, є ще декілька видів взаємодії. Одна з них — електромагнітна. Сила тяжіння зумовлена гравітаційною взаємодією, а сила пружності — електромагнітною. Вага тіла — це зазвичай сила пружності (найчастіше вона виникає внаслідок деформації), тому вага тіла — електромагнітна сила.

4. Чи можете ви відчути стан невагомості?

Дехто вважає, що невагомість — це стан, який спостерігається лише в космосі, де немає повітря, або там, де відсутня гравітація. Але це не так! Відсутність повітря сама по собі не спричиняє невагомості, а від гравітації взагалі не сховаєшся — у Всесвіті немає жодного куточка, де б не діяли сили всесвітнього тяжіння*.

Невагомість — це такий стан тіла, за якого тіло не діє на опору чи підвіс.

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

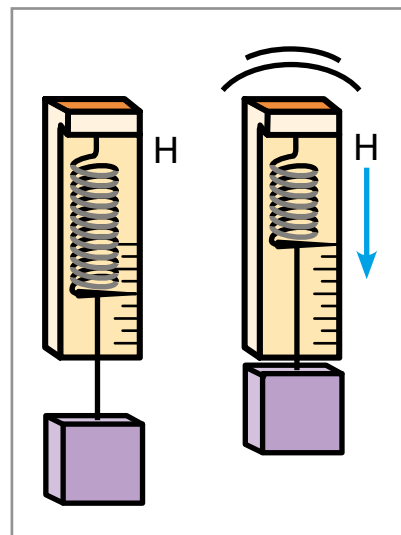
* Цікаво, що густина матерії в нашому Всесвіті досить мала (2–3 атоми водню на 1 м^3), тому у Всесвіті в середньому дуже мала й гравітація. Її називають *мікрогравітацією*.



Дослідження

Що знадобиться: динамометр; важок.

Підвісьте важок до пружини динамометра — пружина розтягнеться. А тепер на короткий час випустіть із руки динамометр із підвішеним важком, водночас уважно спостерігаючи за показами динамометра. Поясніть, у якому стані перебуває важок під час падіння.



У стані невагомості можете опинитися й ви, наприклад підстрибнувши: поки ви «падаєте», опір повітря є нехтовно малим і можна вважати, що на вас діє тільки сила тяжіння.

У стані невагомості перебувають космічні орбітальні станції та все, що в них є (рис. 25.7). Це пов'язане з тим, що космічні кораблі «постійно падають» на Землю через її притягання і водночас залишаються на орбіті завдяки своїй величезній швидкості.

У нетренованої людини тривале перебування



Рис. 25.7. Орбітальні станції рухаються навколо Землі під дією тільки сили тяжіння, тому вони перебувають у стані невагомості

в стані невагомості зазвичай супроводжується нудотою, порушенням роботи м'язів, вестибулярного апарату, нервовими розладами. Саме тому космонавти проходять серйозну фізичну підготовку (рис. 25.8).



Рис. 25.8. Щоб тривалий час працювати на орбіті в стані невагомості, космонавти проходять спеціальну підготовку



Підбиваємо підсумки

У Всесвіті всі тіла притягуються одне до одного. Таку взаємодію тіл називають *гравітаційною взаємодією*.

Розрізняємо вагу та силу тяжіння

Сила тяжіння $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — сила, з якою Земля притягує до себе тіла, розташовані на її поверхні або поблизу неї:

- *гравітаційна сила;*
- *прикладена до тіла;*
- *завжди визначають за формулою: $F_{\text{тяж}} = mg$.*

Вага тіла \vec{P} — це сила, з якою внаслідок притягання до Землі тіло діє на опору або підвіс:

- електромагнітна сила;
- прикладена до опори або підвісу;
- визначають за формулою $P = mg$ лише тоді, коли тіло перебуває у стані спокою або рівномірного прямолінійного руху.

Коли тіло рухається під дією лише сили тяжіння, воно перебуває в стані невагомості (його вага дорівнює нулю).



Контрольні запитання

1. Чи діє на вас сила притягання до Місяця? до Сонця? до вашого сусіда по парті? **2.** Дайте означення сили тяжіння. За якою формулою її обчислюють? **3.** До чого прикладена та куди напрямлена сила тяжіння? **4.** Дайте означення ваги тіла. У яких випадках її обчислюють за формулою $P = mg$? **5.** Що таке невагомість? За яких умов тіло перебуватиме в невагомості?



Вправа № 25

- ◆ **1.** Чи притягує Землю автомобіль, який стоїть на автостоянці? космічна станція, яка перебуває на орбіті?
- ◆ **2.** Книжка лежить на столі. На яке тіло діє вага книжки?

- ◆ 3. Визначте силу тяжіння, яка діє на м'яч масою 600 г.
- ◆ 4. Якою є маса чашки, що стоїть на столі, якщо її вага дорівнює 0,5 Н?
- ◆ 5. Горщик місткістю 1 л до країв заповнили медом. Визначте вагу меду в горщику.
- ◆ 6. У відро масою 1,5 кг налили 5,5 л води. Яку силу треба прикладати, щоб утримувати відро в руці? Виконайте рисунок, зазначивши сили, що діють на відро.
- ◆ 7. Складіть задачу, обернену до задачі 5 цієї вправи, та розв'яжіть її.
- ◆ 8. Визначте силу тяжіння, яка діяла б на вас особисто в разі космічної подорожі на інші планети Сонячної системи (або супутники). Поміркуйте, до яких наслідків це могло б призвести.
- ◆ 9. Скориставшись планом характеристики фізичної величини (див. форзац 2 підручника), зіставте дві величини: вагу тіла та масу тіла.



Ключові терміни

Всесвітнє тяжіння; гравітаційна взаємодія; сила тяжіння; прискорення вільного падіння; вага тіла; невагомість



§ 26. ТЕРТЯ. СИЛА ТЕРТЯ

Французький фізик *Гійом Амонтон* (1663–1705) писав: «Усім нам траплялося виходити в ожеледицю: скільки зусиль потрібно, щоб уберегтися від падіння, скільки смішних рухів доводиться робити, аби встояти на ногах... Уявімо, що тертя зникло зовсім. Тоді ніякі тіла не втримаються одне на одному. Якби не було тертя, Земля стала б кулею без нерівностей, подібною до рідкої краплини». Саме про силу тертя йтиметься в цьому параграфі.

1. Коли виникає сила тертя спокою?

Згадайте: ви намагаєтеся пересунути великий ящик, але ніяк не можете його зрушити з місця. Незважаючи на те що ви докладаете чимало зусиль, ящик так і залишається в стані спокою. Це означає, що між підлогою та дном ящика виникає сила, яка теж збільшується та зрівноважує силу, яку ви прикладаєте. Це і є *сила тертя спокою* (рис. 26.1).

Сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$ — це сила, яка виникає між двома дотичними тілами під час спроби зрушити одне тіло відносно іншого та напрямлена в бік, протилежний тому, в який рухалося б тіло, якби тертя не було.

Сила тертя спокою за значенням дорівнює силі \vec{F} , що намагається зрушити тіло (рис. 26.2):

$$F_{\text{тертя сп}} = F.$$

У разі збільшення сили \vec{F} , що намагається зрушити тіло, збільшується й сила тертя спокою. Коли сила \vec{F} досягне певного значення й тіло почне рух, сила тертя спокою *перейде в силу тертя ковзання*.

Отже, для кожного випадку сила тертя спокою не може перевищувати певного максимального значення.

Візьміть підручник і тримайте його перед собою. Чому, на вашу думку, підручник не падає на підлогу, адже сила тяжіння тягне його вниз?

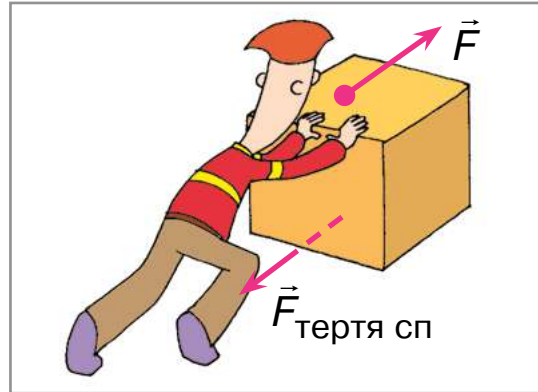


Рис. 26.1. Не вдається зрушити ящик із місця — заважає сила тертя спокою ($\vec{F}_{\text{тертя сп}}$)

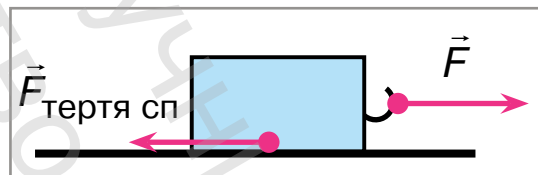


Рис. 26.2. Сила \vec{F} , яка намагається зрушити тіло, і сила тертя спокою $\vec{F}_{\text{тертя сп}}$ зрівноважують одна одну — тіло перебуває в стані спокою

Чому не розв'язуються шнурки на ваших кросівках, адже під час деформації виникає сила пружності, яка прагне повернути шнурки в недеформований стан?

Чому ви можете стояти на крутому схилі й не сковзати вниз?

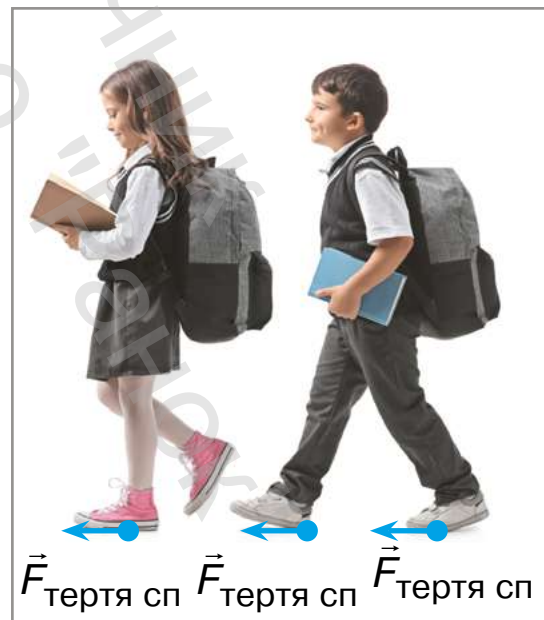
Сподіваємося, що ваші відповіді були приблизно такими: «Нам допомагає дія сили тертя спокою».

Найчастіше дія сили тертя спокою є дуже «корисною»: завдяки їй речі не вислизають із рук, не розв'язуються вузли; ця сила утримує піщини в купі піску, а важкі камені — на схилі гори. Саме сила тертя спокою є тією силою, завдяки якій пересуваються люди, тварини, транспорт (рис. 26.3).

Наведіть власні приклади прояву або застосування сили тертя спокою. А що буде, якщо сила тертя спокою зникне?

У техніці й у побуті часто вживають заходів, щоб поверхня одного тіла не рухалася відносно поверхні іншого. Так, для збільшення максимальної сили тертя спокою тротуари під час ожеледиці посипають піском, узимку автомобілі «перевзують» у зимові шини.

Рис. 26.3. Ступні людини в момент дотику з поверхнею дороги намагаються, по суті, здійснити рух назад. Через це виникає сила тертя спокою, напрямлена вперед, — «рушійна» сила



А як насправді?

Одного разу тренер сказав гравцям: «Сьогодні бігати вам буде легко: після сильного дощу зчеплення з футбольним полем є дуже добрим!» Тренер має рацію чи щось наплутав?

2. Від чого залежить сила тертя ковзання?

Сила тертя ковзання $\vec{F}_{\text{тертя ковз}}$ — це сила, яка виникає під час ковзання одного тіла по поверхні іншого та напрямлена протилежно напрямку руху тіла.

Сила тертя ковзання діє вздовж поверхні дотику тіл (рис. 26.4) і трохи менша за максимальну силу тертя спокою. Саме тому тіла починають рухатися з місця ривком і зрушити їх важче, ніж потім рухати.

Від чого залежить сила тертя ковзання? Проведемо досліди (рис. 26.5–26.7). Прикріпимо

до дерев'яного бруска гачок динамометра і будемо рівномірно тягти брусок по горизонтальній поверхні.

На брусок у напрямку його руху діє сила пружності з боку пружини динамометра, а в протилежному напрямку діє сила тертя ковзання. Брусок рухається *рівномірно*, і це свідчить про те, що сила пружності *зрівноважує* силу тертя ковзання. Отже, *динамометр показує значення сили тертя ковзання*.

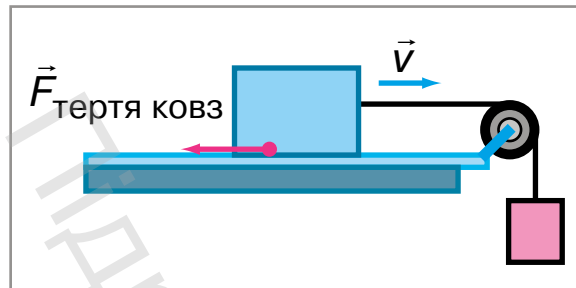


Рис. 26.4. Сила тертя ковзання діє вздовж поверхні дотику тіла й опори та завжди напрямлена в бік, протилежний напрямку руху тіла

Завдання 1. Розгляньте [рис. 26.5](#) і зробіть висновок щодо залежності сили тертя ковзання від властивостей дотичних поверхонь.

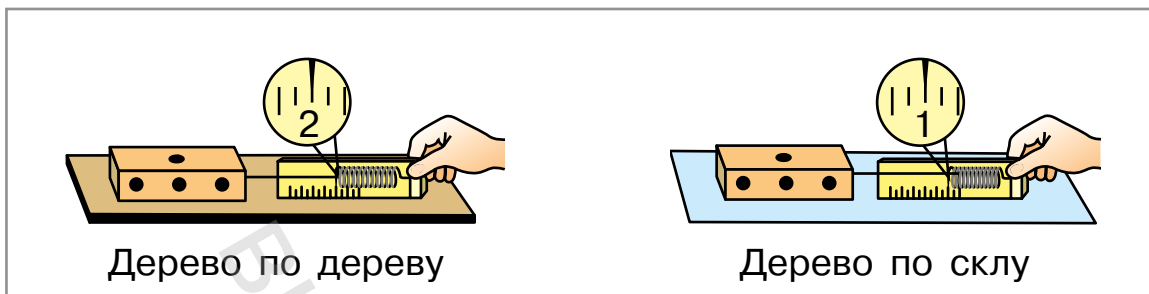


Рис. 26.5. Дослідження залежності сили тертя ковзання від властивостей дотичних поверхонь

Завдання 2. Розгляньте [рис. 26.6](#) і зробіть висновок щодо залежності сили тертя ковзання від площі дотику поверхонь.

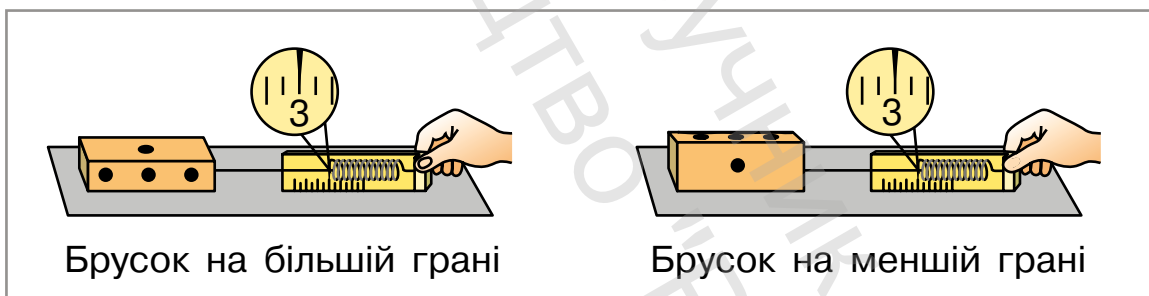


Рис. 26.6. Дослідження залежності сили тертя ковзання від площі дотику поверхонь

Завдання 3. Розгляньте [рис. 26.7](#) і зробіть висновок щодо залежності сили тертя ковзання від сили, що притискає тіло до поверхні столу, а отже, і від сили нормальної реакції опори.

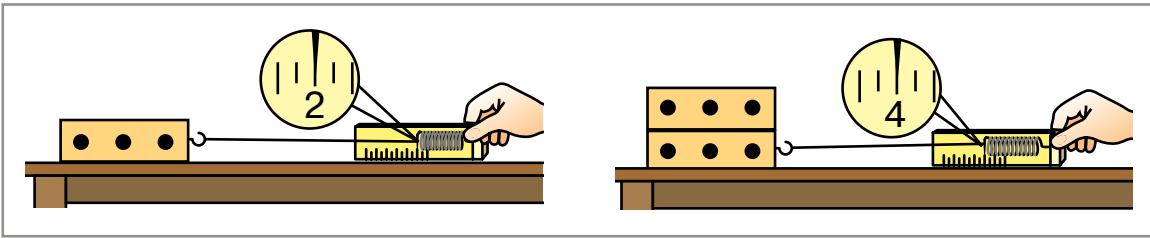


Рис. 26.7. Дослідження залежності сили тертя ковзання від сили нормальної реакції опори

Сподіваємося, ви були уважні, зробили правильні висновки й тепер можете добре усвідомити закон, установлений французьким ученим *Г. Амонтоном* і перевірений його співвітчизником *Ш. Кулоном* (1736–1806).

Закон Амонтона — Кулона:

Сила тертя ковзання не залежить від площі дотику тіл і прямо пропорційна силі нормальної реакції опори:

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N$$

Тут μ — *коефіцієнт тертя ковзання*, який залежить:

- від матеріалів дотичних поверхонь;
- якості обробки дотичних поверхонь;
- відносної швидкості руху дотичних поверхонь (незначно).

Оскільки і силу тертя ковзання, і силу нормальної реакції опори вимірюють у ньютонах, то *коефіцієнт тертя ковзання є величиною, що не має розмірності*:

$$\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}; [\mu] = \frac{H}{H} = 1.$$

Значення коефіцієнтів тертя ковзання встановлюють виключно експериментально. Зазвичай *таблиці коефіцієнтів тертя ковзання* містять орієнтовні середні значення для пар матеріалів (див. [таблицю](#)).

Матеріали	Коефіцієнт тертя ковзання
Сталь по льоду	0,02
Сталь по сталі	0,15
Дерево по дереву	0,25
Папір по дереву	0,40
Шкіра по чавуну	0,56
Гума по бетону	0,75

3. Чому виникає сила тертя та як її зменшити?

Поверхні твердих тіл завжди є шорсткими, нерівними. Під час руху або спроби руху нерівності чіпляються одна за одну й деформуються. У результаті виникає сила тертя, що протидіє руху тіла (рис. 26.8, *a*).

Сила тертя, як і сила пружності, — прояв сил міжмолекулярної взаємодії.

Здавалося б, для зменшення сили тертя слід ретельно відполірувати поверхні і в такий спосіб звести

до мінімуму розміри нерівностей. Однак це може спричинити навіть зростання сили тертя, оскільки, зокрема, значна кількість молекул опиниться на відстані, на якій стає суттєвим міжмолекулярне притягання*.

Силу тертя ковзання можна зменшити, якщо *змастити поверхні*.

Масило, переважно рідке, потрапивши між дотичними поверхнями, віддаляє їх одну від одної. Тобто ковзатимуть не поверхні тіл, а шари мастила: тертя ковзання — *сухе тертя* — заміниться на *рідке (в'язке) тертя*, за якого сила тертя є істотно меншою (рис. 26.8, б).

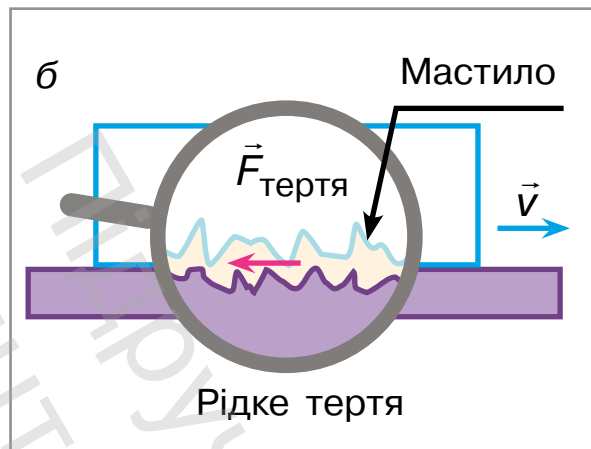
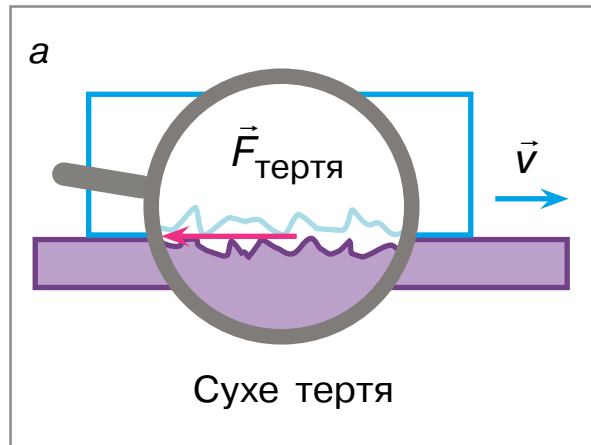


Рис. 26.8. Виникнення сили тертя пов'язане з наявністю нерівностей на поверхнях дотичних тіл (а). Масило віддаляє поверхні одну від одної, тому значно зменшує силу тертя (б)

* Зауважимо, що ретельне обґрунтування причин виникнення тертя є досить складним і виходить за межі шкільного курсу фізики.

4. Сила тертя кочення

🔍 Дослідження

Що знадобиться: стрічка з м'якої гуми; достатньо важке тіло (наприклад, стос із 2–3 книжок); нитка; два циліндри (наприклад, два круглі олівці).

Закріпіть нитку та гумову стрічку так, як показано на [рис. 1](#).

Тримаючи стрічку, рівномірно тягніть стос книжок. Зверніть увагу на видовження стрічки.

Тепер покладіть книжки на олівці та повторіть дослід ([рис. 2](#)).

Орієнтуючись на видовження стрічки, порівняйте силу тертя ковзання із силою тертя кочення. Яка сила виявиться помітно меншою?



Рис. 1



Рис. 2

Давній досвід людства показує, що важку кам'яну брилу легше перекочувати на колодах, ніж просто тягти по землі.

Якщо одне тіло котиться вздовж поверхні іншого, то маємо справу з **тертям кочення**. *Сила тертя*

кочення зазвичай набагато менша від сили тертя ковзання (рис. 26.9). Саме тому для зменшення сили тертя людство здавна використовує колесо, а в різноманітних машинах і механізмах — підшипники (рис. 26.10).



Рис. 26.9. Заміна ковзання на кочення приводить до зменшення сили тертя



Рис. 26.10. Кульковий (а) і роликовий (б) підшипники

Чи знаєте ви, що...

Перший роликовий підшипник винайшов у IV ст. до н. е. давньогрецький інженер-винахідник *Діадес*. Підшипник був частиною тарана — пристрою для руйнування стін і становив собою дерев'яні ролики (циліндри), які перекочувалися по дерев'яних жолобах. А от перший кульковий підшипник було створено набагато пізніше — на початку нашої ери в Стародавньому Римі, за правління імператора Калігули. У середні віки *Леонардо да Вінчі* створив перше креслення кулькового підшипника. Саме такі підшипники він використовував у своїх винаходах.



Підбиваємо підсумки

Сила тертя — це сила, яка виникає внаслідок руху або спроби руху одного тіла по поверхні іншого:

- *напрявлена* проти відносного руху дотичних поверхонь або спроби такого руху;
- *причина виникнення* — дія міжмолекулярних сил.

Види сил тертя

Сила тертя спокою. Завжди перешкоджає появі відносного руху дотичних тіл, дорівнює за значенням і протилежна за напрямком силі \vec{F} , що намагається зрушити тіло:

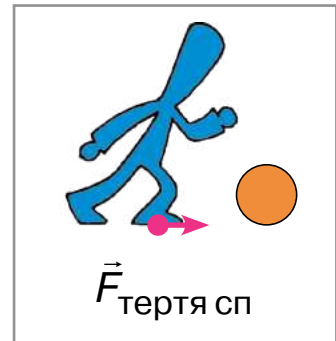
$$\vec{F}_{\text{тертя сп}} = -\vec{F}.$$

Сила тертя ковзання. Закон Амонтона — Кулона: сила тертя ковзання не залежить від площі дотику тіл і прямо пропорційна силі нормальної реакції опори:

$$F_{\text{тертя ковз}} = \mu N,$$

μ — *коефіцієнт тертя ковзання*, залежить від матеріалів та якості обробки поверхонь дотичних тіл.

Сила тертя кочення. Зазвичай менша від сили тертя ковзання.





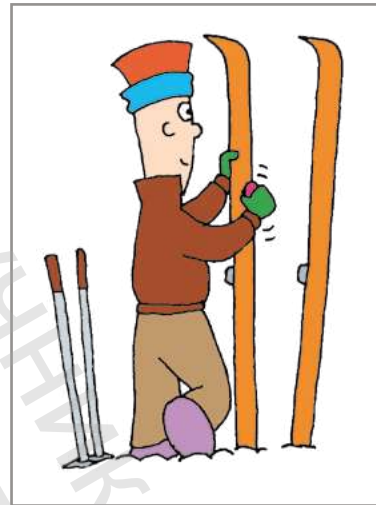
Контрольні запитання

1. Які види тертя ви знаєте? 2. Чому силу тертя спокою називають рушійною силою? 3. Коли виникає сила тертя ковзання та від яких чинників вона залежить? 4. Від чого залежить коефіцієнт тертя ковзання? 5. Чому виникає сила тертя ковзання? Як її можна зменшити? 6. Чому кругле тіло котити легше, ніж тягти?



Вправа № 26

- ◆ 1. Чи діє сила тертя на книжку, яка лежить на горизонтальній поверхні стола?
- ◆ 2. Щоб відкрити гайку, треба докласти зусиль. Чому гайка набагато легше відкручується, якщо гвинт, на який її накручено, змастити?
- ◆ 3. Знайдіть на рисунку приклади зміни коефіцієнта тертя, коли збільшуються або зменшуються нерівності поверхонь.
- ◆ 4. До бруска, розташованого на горизонтальній поверхні стола, прикладають горизонтальну силу 3 Н. Брусок при цьому рухається рівномірно в напрямку дії сили. З'ясуйте: а) чому дорівнює сила тертя, що діє на брусок; б) як поводитиметься брусок і якою буде сила тертя, якщо показ динамометра 2 Н.



- ◆ **5.** Проаналізуйте *правила поведінки під час ожеледиці* та поясніть, які властивості сили тертя в них ураховано. Додайте ще два-три правила.

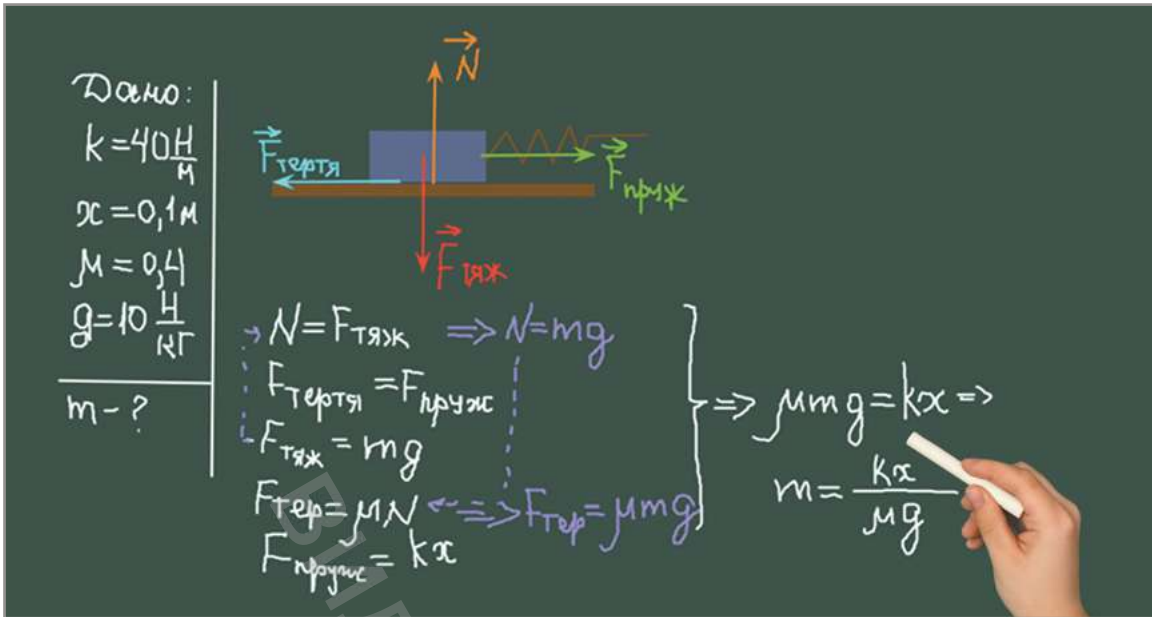
Правила поведінки під час ожеледиці

1. Вибирайте чоботи з товстою рельєфною підошвою з пористого матеріалу.
 2. Обходьте слизькі місця.
 3. Ідучи тротуаром, не підходьте близько до проїжджої частини.
 4. Пересувайтеся невеликими кроками.
 5. Не тримайте руки в кишенях.
- ◆ **6.** Зменшення тертя внаслідок розташування твердих котків між поверхнями, які ковзають одна по одній, є добре відомим. Підготуйте повідомлення про відповідні історичні приклади.



Ключові терміни

Сила тертя спокою; сила тертя ковзання; сила тертя кочення; Закон Амонтона — Кулона; коефіцієнт тертя; підшипники



§ 27. УЧИМОСЯ РОЗВ'ЯЗУВАТИ ЗАДАЧІ

Як розв'язувати задачі на рівномірний рух або стан спокою тіла внаслідок дії кількох сил? Як завжди. Уважно читаємо умову задачі, усвідомлюємо описану ситуацію, записуємо коротку умову. У подібних задачах дуже допомагає рисунок, на якому зображено тіло та сили, що на нього діють. Тому обов'язково його виконуємо. Пам'ятаємо, що ці сили скомпенсовані. Залишилося записати формули для обчислення сил і виконати розрахунки. Починаймо!

■ **Задача 1.** Тягарець нерухомо висить на пружині жорсткістю 200 Н/м ; видовження пружини — $0,5 \text{ см}$. Визначте масу тягарця. ■

Аналіз фізичної проблеми. Тягарець висить нерухомо. Отже, сили, що на нього діють, скомпенсовані.

На тягарець діють дві сили: 1) сила тяжіння ($\vec{F}_{\text{тяж}}$), яка завжди напрямлена вертикально вниз; 2) сила пружності ($\vec{F}_{\text{пруж}}$), яка в цьому випадку напрямлена вертикально

вгору. Для визначення сили пружності скористаємося законом Гука.

Дано:

$$k = 200 \frac{\text{Н}}{\text{м}}$$

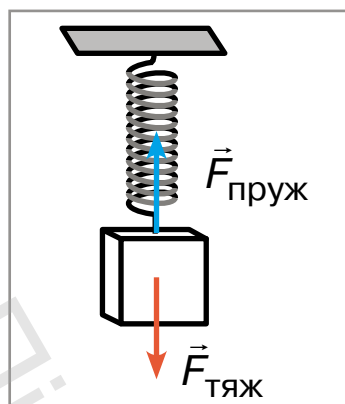
$$x = 0,005 \text{ м}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:
 m — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Виконаємо рисунок.



Тягарець нерухомий, отже, сили скомпенсовані:

$$F_{\text{пруж}} = F_{\text{тяж}}.$$

Запишемо закон Гука та формулу для визначення сили тяжіння:

$$F_{\text{пруж}} = k x ; F_{\text{тяж}} = mg.$$

$$F_{\text{пруж}} = F_{\text{тяж}}, \text{ тому } k x = mg \Rightarrow m = \frac{k x}{g}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[m] = \frac{\frac{\text{Н}}{\text{м}} \cdot \text{м}}{\frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = \frac{\text{Н} \cdot \text{кг}}{\text{Н}} = \text{кг}; \quad m = \frac{200 \cdot 0,005}{10} = 0,1 \text{ (кг)}.$$

Відповідь: $m = 100 \text{ г}$.

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

Аналіз фізичної проблеми. Скористаємося законом Амонтона — Кулона ($F_{\text{тертяковз}} = \mu N$). Для визначення коефіцієнта тертя слід знайти силу тертя та силу нормальної реакції опори.

Під час руху на книжку діють сила тяжіння ($\vec{F}_{\text{тяж}}$), сила нормальної реакції опори (\vec{N}), сила, з якою тягнуть книжку (\vec{F}), та сила тертя ковзання ($\vec{F}_{\text{тертяковз}}$), яка заважає руху.

Дано:

$$m = 1 \text{ кг}$$

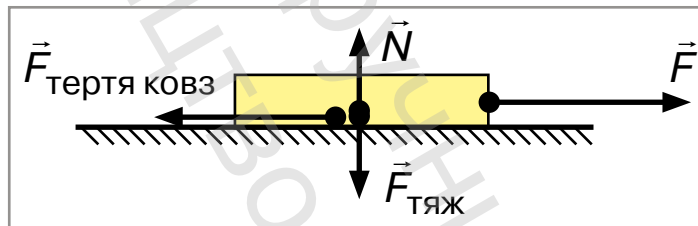
$$F = 2 \text{ Н}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

μ — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.
Виконаємо рисунок:



Книжка рухається рівномірно, а отже, сили попарно скомпенсовані:

$$F_{\text{тертяковз}} = F; \quad N = F_{\text{тяж}}.$$

За законом Амонтона — Кулона:

$$F_{\text{тертяковз}} = \mu N \Rightarrow \mu = \frac{F_{\text{тертяковз}}}{N}.$$

Оскільки $F_{\text{тертяковз}} = F$, а $N = F_{\text{тяж}} = mg$, то $\mu = \frac{F}{mg}$.

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

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

Аналіз результатів: коефіцієнт тертя 0,2 властивий такій парі, як папір по дереву, отже, результат правдоподібний.

Відповідь: $\mu = 0,2$.



Вправа № 27

- ◆ 1. Візок рівномірно тягнуть горизонтальною поверхнею за допомогою горизонтально натягнутої мотузки. Виконайте рисунок, на якому зобразить візок і сили, що на нього діють. Чому дорівнює сила тертя кочення, що діє на візок, якщо до мотузки прикладають силу 40 Н?
- ◆ 2. Книжка нерухомо лежить на горизонтальній поверхні стола. На книжку поклали пенал вагою 1,5 Н. Визначте силу тяжіння, що діє на книжку, та масу книжки, якщо з боку стола на неї діє сила нормальної реакції опори 5 Н.
- ◆ 3. Намагаючись зрушити з місця шафу, до неї прикладають горизонтальну силу, що поступово збільшується. Шафа почала рухатися, коли сила досягла 175 Н.
 - 1) Як змінювалася сила тертя між шафою та підлогою?

2) Яким є коефіцієнт тертя ковзання між шафою та підлогою, якщо маса шафи становить 70 кг?

- ◆ 4. Знайдіть густину речовини, з якої виготовлений кубик, і жорсткість пружини динамометра (рис. 1), якщо ребро кубика дорівнює 4 см, а видовження пружини — 5 см.

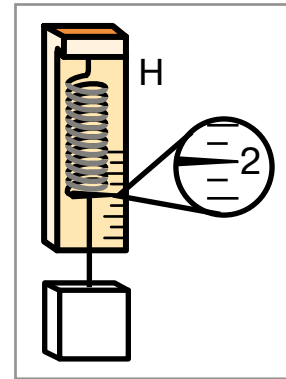


Рис. 1

- ◆ 5. За допомогою пружини жорсткістю 96 Н/м брусок масою 2,4 кг рівномірно тягнуть по столу. Яким є видовження пружини, якщо коефіцієнт тертя між бруском і столом дорівнює 0,2?

- ◆ 6. Дошку масою 400 г підвішено на двох однакових вертикальних пружинах (див. рис. 2); жорсткість кожної пружини — 80 Н/м. На середину дошки поклали вантаж масою 2 кг. Визначте видовження пружин після того, як коливання дошки припинились.

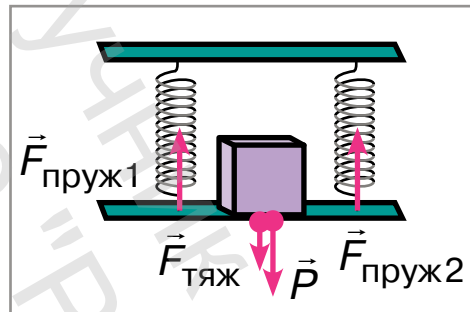


Рис. 2

- ◆ 7. Складіть задачу на рівномірний рух тіла внаслідок дії кількох сил і розв'яжіть її. Пам'ятайте, що значення фізичних величин, подані в умові задачі, та одержаний результат мають бути реальними.

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7



Тема. Визначення коефіцієнта тертя ковзання.

rnk.com.ua/
106667

Мета: визначити коефіцієнт тертя ковзання дерева по дереву.

Обладнання: дерев'яний брусок; дерев'яна дошка (трибометр); набір тягарців; динамометр.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Перед тим як виконувати роботу, згадайте відповіді на такі запитання.
 - 1) Від яких чинників залежить сила тертя ковзання та куди вона напрямлена?
 - 2) За якою формулою обчислюють силу тертя ковзання?
2. Визначте ціну поділки шкали динамометра.

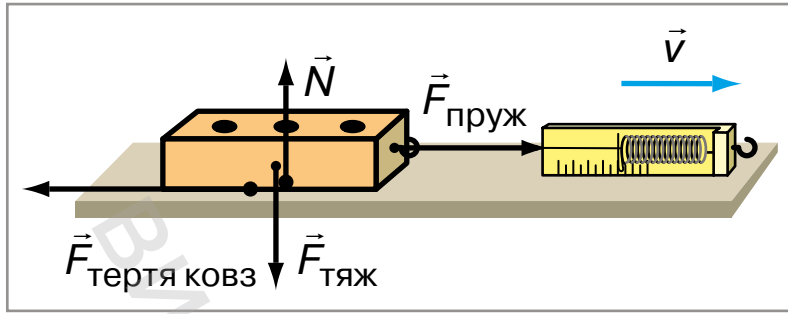
Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

1. Підвісивши брусок до динамометра, виміряйте вагу бруска, яка під час експерименту буде дорівнювати силі нормальної реакції опори ($N = P$).
2. Прикріпивши брусок до гачка динамометра, покладіть брусок широким боком на горизонтально

розташовану дошку. Рівномірно переміщуйте брусок уздовж дошки (див. [рисунок](#)). За показом динамометра визначте силу тертя ковзання ($F_{\text{тертя ковз}} = F_{\text{пруж}}$).



3. Повторіть дослід ще тричі, поклавши на брусок спочатку один тягарець, потім одночасно два, а потім одночасно три тягарці ($N = P_{\text{брус}} + P_{\text{тягар}}$).

Номер дослід	Сила тертя ковзання $F_{\text{тертя ковз}}$, Н	Сила нормальної реакції опори N , Н	Коефіцієнт тертя ковзання, μ

Опрацювання результатів експерименту

Для кожного досліді обчисліть коефіцієнт тертя ковзання за формулою: $\mu = \frac{F_{\text{тертя ковз}}}{N}$; результати занесіть до таблиці.

Аналіз експерименту та його результатів

Зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину ви вимірювали; 2) чи залежить коефіцієнт тертя ковзання від ваги тіла; 3) чи збігаються одержані результати з табличним значенням коефіцієнта тертя ковзання дерева по дереву; 4) які чинники вплинули на точність експерименту.



Творче завдання

Запишіть план проведення експерименту на підтвердження того, що коефіцієнт тертя ковзання не залежить від площі дотичних поверхонь. Проведіть цей експеримент.

Фізика і техніка в Україні

Перший президент Академії наук України ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ ВЕРНАДСЬКИЙ (1863–1945) був одним із найвидатніших природознавців, ученим, який не лише розвивав відомі наукові напрями, а й став фундатором кількох нових наук.



Сьогодні багато відомих міжнародних організацій у своїх прогнозах розвитку людства базуються на концепції *безперервного розвитку суспільства*, яка є продовженням учення В. І. Вернадського про *ноосферу* (сферу взаємодії суспільства й природи). Мета концепції полягає в тому, щоб від покоління до покоління не знижувались якість і безпека життя людей, не погіршувався стан навколишнього середовища, щоб відбувався соціальний прогрес.

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

Частина 3 «Сили в природі»

1. Ви дізналися: причиною зміни швидкості руху, форми, об'єму тіл є *взаємодія* з іншими тілами, а *характеристикою взаємодії* є *сила*.

Сила \vec{F} — це фізична величина, яка є мірою дії одного тіла на інше (мірою взаємодії тіл).

\vec{F}

- Значення
- Напрямок
- Точка прикладання

Одиниця сили в СІ —
НЬЮТОН:
 $[F] = 1 \text{ Н}$

2. Ви виявили, що зазвичай на тіло *діють декілька сил*, тому необхідно вміти знаходити *рівнодійну*.

Рівнодійна сил (\vec{R}) — це сила, яка здійснює на тіло ту саму дію, як декілька сил, що діють одночасно.

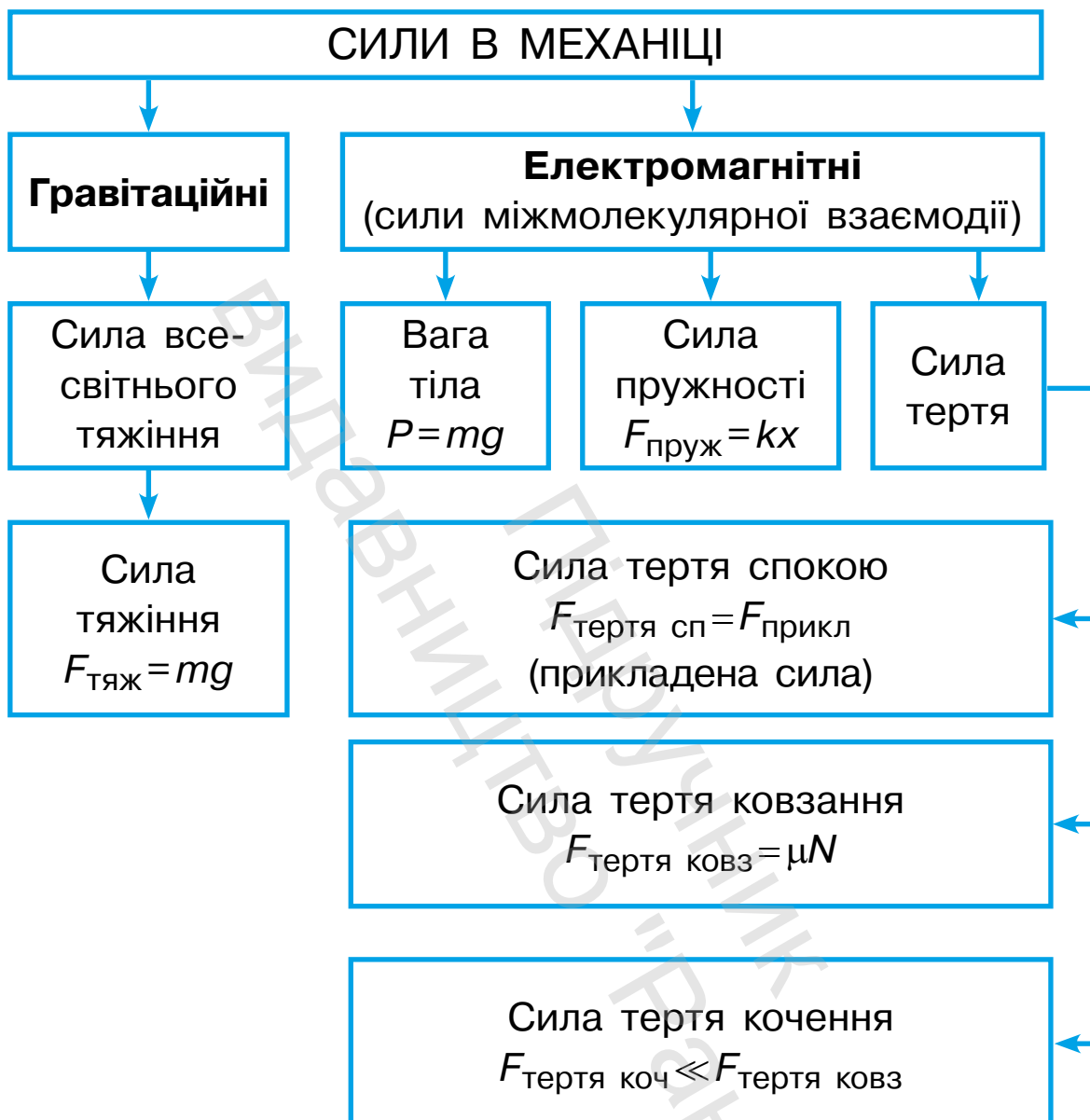
Значення рівнодійної дорівнює...

...сумі значень сил, якщо сили напрямлені в один бік

...різниці значень сил, якщо сили напрямлені в протилежні боки

...нулю, якщо сили рівні за значенням і протилежні за напрямком

3. Ви ознайомилися з деякими силами в механіці.



ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 3



Частина 3 «Сили в природі»

rnk.com.ua/
106668

У завданнях 1–8 виберіть одну правильну відповідь.

Вважайте, що $g = 10$ Н/кг.

- 1.** (1 бал) Якої деформації зазнає поперечина турніка, коли ви виконуєте підтягування?
 - а) розтягнення;
 - б) стиснення;
 - в) зсув;
 - г) вигин;
 - д) кручення.

- 2.** (1 бал) Сила тяжіння — це:
 - а) сила притягання тіла до Землі;
 - б) сила, яка виникає в разі будь-якої деформації тіла;
 - в) сила, з якою тіло тисне на опору або розтягує підвіс;
 - г) сила, яка виникає під час ковзання тіла.

- 3.** (1 бал) У якому випадку на автомобіль НЕ діє сила тертя спокою?
 - а) автомобіль рухається з місця;
 - б) автомобіль рухається рівномірно прямолінійно;
 - в) автомобіль перебуває у стані спокою на горизонтальній дорозі;
 - г) автомобіль перебуває у стані спокою на схилі.

4. (1 бал) Деформація тіла є причиною виникнення сили:

- а) тяжіння; в) пружності;
б) тертя ковзання; г) тертя спокою.

5. (2 бали) Одна з найбільших комах живе в Новій Зеландії (рис. 1). Її маса сягає 80 г. З якою силою Земля притягує цю комаху?

- а) 8 мН; б) 80 мН; в) 0,8 Н; г) 8 Н.



Рис. 1

6. (2 бали) Щоб розтягнути недеформовану пружину на 5 см, треба прикласти силу 15 Н. Якою є жорсткість пружини?

- а) 0,3 Н/м; в) 75 Н/м;
б) 3 Н/м; г) 300 Н/м.

7. (2 бали) Кулька підвішена до динамометра (рис. 2). Якою є маса кульки?

- а) 3,5 г; в) 350 г;
б) 35 г; г) 3,5 кг.

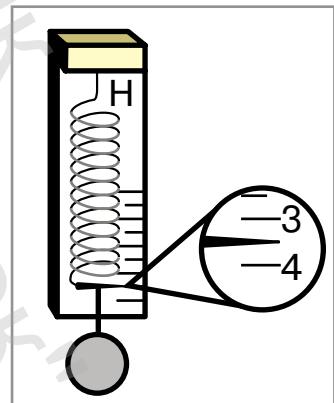


Рис. 2

8. (2 бали) На [рис. 3](#) зображено тіло та сили, що на нього діють (1 клітинка — 2 Н). Визначте модуль рівнодійної сил.

а) 10 Н;

в) 8 Н;

б) 20 Н;

г) 4 Н.

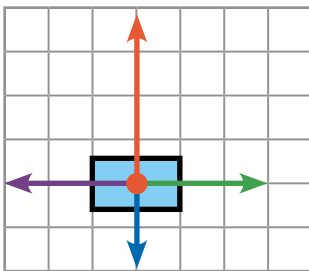


Рис. 3

9. (2 бали) На [рис. 4](#) зображено сили, що діють на тіло, яке за допомогою динамометра рівномірно тягнуть по столу в горизонтальному напрямку. Назвіть ці сили.

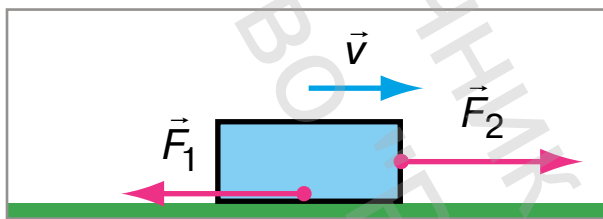


Рис. 4

10. (2 бали) На цеглину масою 5 кг, що лежить на підлозі, поклали таку саму цеглину ([рис. 5](#)). Виконайте схематичний рисунок у зошиті та зобразіть сили, що діють на нижню цеглину. Масштаб: 1 см — 25 Н.

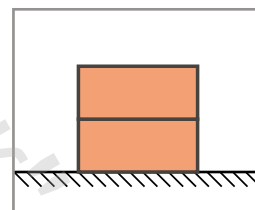


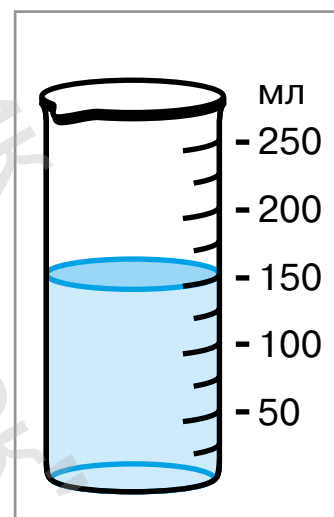
Рис. 5

- 11.** (2 бали) Установіть відповідність між назвою сили та явищем, яке відбувається завдяки дії цієї сили.

А Сила пружності	1 Гепард розганяється під час полювання
Б Сила тертя ковзання	2 Літак здійснює політ
В Сила тертя спокою	3 Ковзаняр гальмує після фінішу
Г Сила тяжіння	4 Краплі дощу скочуються з даху
	5 Стріла набирає швидкість під час пострілу

- 12.** (3 бали) Відро місткістю 12 л наповнили водою на одну третину. З якою силою відро тисне на підлогу? Масою відра знехтуйте.

- 13.** (3 бали) У порожній вимірювальний циліндр налили рідину (рис. 6). Сила тяжіння, що діє на рідину, дорівнює 1,5 Н. Визначте, яку рідину налили в циліндр.



- 14.** (4 бали) Для рівномірного руху горизонтальною дорогою до саней треба прикладати горизонтальну силу 500 Н. Визначте масу саней, якщо коефіцієнт тертя між саньми і дорогою дорівнює 0,2.

Рис. 6

15. (4 бали) На рис. 7 подано графік залежності видовження пружини від маси підвішеного до неї тягаря. Визначте жорсткість пружини.

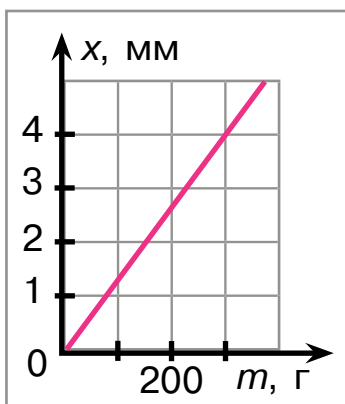


Рис. 7

16. (4 бали) Алюмінієвий брусок розмірами $4\text{ см} \times 5\text{ см} \times 20\text{ см}$ рухають рівномірно по горизонтальній поверхні, прикладаючи силу $2,7\text{ Н}$. Визначте коефіцієнт тертя ковзання.

Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними наприкінці підручника. У завданнях, які ви виконали правильно, полічіть суму балів і поділіть її на 3. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ТЕМИ РЕФЕРАТИВ І ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Види деформацій у спорудах.
2. Сила тяжіння на планетах Сонячної системи та їх супутниках.

3. Г. Галілей, І. Ньютон. Відкриття законів механіки.
4. Чи заважатиме невагомість у повсякденному житті?
5. Позасистемні одиниці сили (кілограм-сила, дина, паундаль тощо).
6. Без сили тертя немає життя.
7. Способи збільшення та зменшення тертя в живій природі.
8. Як зменшити опір повітря?

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Дослідження жорсткості гумових стрічок.
2. Визначення коефіцієнта тертя між компонентами сипких будівельних матеріалів.
3. Моделювання процесу утворення снігових лавин за допомогою підручних сипких речовин: пшона, манки, борошна тощо.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Інертність як причина порушення правил дорожнього руху. Гальмівний шлях автомобіля.
2. Шкода та користь сили тертя, способи й методи збільшення та зменшення сили тертя в техніці.

Розділ 3

Взаємодія тіл. Сили в природі

Частина 4.

«Тиск твердих тіл, рідин і газів»

- Ви знаєте, що всюдиходи мають великі колеса і що в досвідченого кухаря завжди гострі ножі, а дізнаєтеся, як фізика пов'язує одне з іншим
- Ви чули прогноз синоптиків «Атмосферний тиск збільшується, буде сонячно» або невтішний висновок слюсаря «На верхніх поверхах немає води, бо тиск слабкий», а з'ясуєте, як і якими приладами вимірюють тиск
- Ви знаєте, що треба об'єднати зусилля кількох дорослих, щоб відірвати легковий автомобіль від землі, а дізнаєтеся, як це зробити самотужки

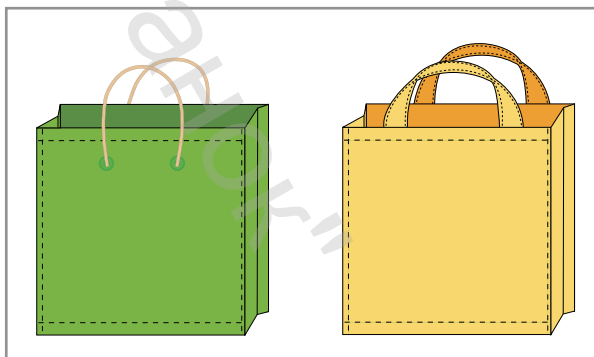




§ 28. ТИСК ТВЕРДИХ ТІЛ НА ПОВЕРХНЮ. СИЛА ТИСКУ

Чому мешканці Півночі для пересування по снігу використовують лижі? Чому влітку жінка, взута в туфлі на тонких підборах, залишає на м'якому асфальті помітні глибокі сліди? Навіщо леза ножів час від часу нагострюють? Для чого цвях має вістря? Спробуємо одержати відповіді на ці запитання.

Питання для обговорення. Уявіть, що вам потрібно донести продукти масою майже 10 кг. Яку із зображених сумок ви виберете для цього? Чому?



1. Як результат дії сили залежить від площі поверхні, на яку діє ця сила?

Одним із наслідків дії сили є деформація тіла. У більшості випадків виконується правило: *чим меншою є площа поверхні, на яку діє певна сила, тим більшою буде деформація* (рис. 28.1).



Рис. 28.1. Коли знімаємо лижі, відразу починаємо провалюватися в сніг



Дослідження

Що знадобиться: невелика миска з борошном; сірникова коробка із сіллю або брусок пластиліну.

Продемонструйте, що результат дії сили на поверхню залежить від площі, на яку діє ця сила.

Які чинники вплинули на коректність результату експерименту?

2. Що таке тиск?

Для характеристики залежності результату дії сили від площі поверхні, на яку діє ця сила, використовують поняття *ТИСК*.

Тиск — це фізична величина, яка характеризує результат дії сили та дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

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

де p — тиск; F — *сила тиску* — сила, що діє на поверхню перпендикулярно до неї; S — площа цієї поверхні.

Одиниця тиску в СІ — **паскаль** (Па); названа на честь *Блеза Паскаля* (рис. 28.2):



Рис. 28.2. Блез Паскаль (1623–1662) — видатний французький математик, фізик, філософ

$$[p] = \text{Па}.$$

1 Па — це тиск, який створює сила 1 Н, що діє перпендикулярно до поверхні площею 1 м²:

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

1 Па — невеликий тиск (приблизно такий тиск чинить на стіл аркуш альбому для малювання), тому частіше використовують кратні одиниці тиску: *гектопаскаль* (1 гПа = 100 Па), *кілопаскаль* (1 кПа = 1000 Па), *мегапаскаль* (1 МПа = 1 000 000 Па).

Розгляньте таблицю та зіставте створювані тиски. Знайдіть пару, яка найбільше вас здивувала.

Тиск, який створюють деякі тіла

Тіло, яке створює тиск	Тиск p , кПа	Тіло, яке створює тиск	Тиск p , кПа
Людина, що стоїть, на підлогу	20–30	Швацька голка на тканину	До 100 000
Гусениці трактора на ґрунт	25–50	Колеса залізничного вагона на рейки	300 000
Колеса легкового автомобіля на ґрунт	200–300	Зуби собаки на кістку	До 150 000
Лезо лопати на ґрунт	1000–2000	Жало осі на шкіру	33 000 000

Чи знаєте ви, що...

На с. 115 зображено всюдихід, який створили українські інженери. Ця машина є справжнім технічним дивом. Величезні шини допомагають долати будь-яке бездоріжжя. Тиск у шинах є наднизьким, щоб захистити екіпаж від струсів і поштовхів. Шини підкачуються за допомогою вихлопних газів. До того ж у диски коліс вмонтовано паливні баки — це дало змогу збільшити простір у кабіні.

3. Як можна збільшити або зменшити тиск?

З означення тиску $\left(p = \frac{F}{S}\right)$ стає зрозумілим, що тиск твердих тіл можна змінити двома способами.

Перший спосіб: змінити силу, яка діє на поверхню. Зі збільшенням сили тиск збільшиться, а зі зменшенням — зменшиться.

Другий спосіб: змінити площу поверхні, на яку діє сила тиску. Для збільшення тиску площу слід зменшити — саме тому нагострюють інструменти: ножиці, ножі, шила тощо (рис. 28.3). І навпаки, для зменшення тиску площу поверхні збільшують.



Рис. 28.3. Щоб докладати менше зусиль під час роботи з деякими інструментами, їх нагострюють

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** Порівняйте тиски, які чинять на сніг юні турист і лижник. Маса кожного юнака — 63 кг. Площа підшви черевика туриста — приблизно 210 см^2 , площа лижі — приблизно 1800 см^2 . ■

Аналіз фізичної проблеми. Тиск, який створює кожен юнак, визначається силою тиску та площею, на яку він спирається. Сила тиску в обох випадках — це вага юнака, і вона розподіляється на дві підшви або дві лижі. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

$$m_1 = m_2 = 63 \text{ кг}$$

$$S_{01} = 210 \text{ см}^2 = 0,021 \text{ м}^2$$

$$S_{02} = 1800 \text{ см}^2 = 0,18 \text{ м}^2$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$$p_1 - ?$$

$$p_2 - ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання.

$$p = \frac{F}{S}. \quad \text{Тут} \quad F = P = mg,$$

$$\text{а } S = 2S_0 \Rightarrow p = \frac{mg}{2S_0}.$$

Перевіримо одиниці, знайдемо шукані величини:

$$[p] = \frac{\text{кг} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}}}{\text{м}^2} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} = \text{Па};$$

для туриста:

$$p_1 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,021} = \frac{30}{0,002} = 15\,000 \text{ (Па)}, \quad p_1 = 15 \text{ (кПа)};$$

для лижника:

$$p_2 = \frac{63 \cdot 10}{2 \cdot 0,18} = \frac{70}{0,04} = 1750 \text{ (Па)}, \quad p_2 = 1,75 \text{ (кПа)}.$$

Аналіз результатів. Тиск, що створює турист, більший за тиск, що створює лижник $\left(\frac{p_1}{p_2} = \frac{15 \text{ кПа}}{1,75 \text{ кПа}} \approx 8,6 \right)$. Це реальний результат, адже за рівних сил більший тиск створює та сила, яка діє на меншу площу.

Відповідь: $p_1 = 15 \text{ кПа}$; $p_2 = 1,75 \text{ кПа}$; $p_1 > p_2 \approx \text{у } 8,6 \text{ разу}$.



Підбиваємо підсумки

Тиск p — це фізична величина, яка характеризує результат дії сили та дорівнює відношенню сили, що діє перпендикулярно до поверхні, до площі цієї поверхні:

$$p = \frac{F}{S}. \text{ Одиниця тиску в СІ — паскаль } \left(1 \text{ Па} = \frac{1 \text{ Н}}{1 \text{ м}^2} \right).$$



Контрольні запитання

1. Від чого залежить результат дії сили? **2.** Дайте означення тиску. **3.** Назвіть одиницю тиску в СІ. **4.** Дайте означення одиниці тиску. **5.** Як можна збільшити тиск? Як можна зменшити тиск? Наведіть приклади.



Вправа № 28

- ◆ **1.** Людина сидить на дивані. Як зміниться тиск, що створює людина на диван, якщо вона ляже?
- ◆ **2.** У яких випадках (рис. 1–4) тиск намагаються зробити якомога меншим? більшим? У який спосіб?



Рис. 1



Рис. 2



Рис. 3



Рис. 4

- ◆ 3. Подайте в паскалях: 2 кПа; 4 гПа; 0,3 МПа; 0,35 кН/м²; 1,5 Н/см²; 36 мН/см².
- ◆ 4. Площа різального краю лопати — 0,7 см². Який тиск створює лопата на ґрунт, якщо людина діє на лопату із силою 210 Н?
- ◆ 5. Тиск гусеничного трактора на ґрунт становить 27 кПа. Що це означає? З якою силою трактор тисне на ґрунт, якщо площа, на яку спираються його гусениці, становить 2,9 м²?
- ◆ 6. Хлопчик виїхав на лижах на снігову галявину. Сніговий наст галявини витримує тиск 2 кПа. Ширина кожної лижі — 7,5 см, а довжина — 1,8 м. Якою може бути максимальна маса хлопчика, щоб він не провалювався в сніг?
- ◆ 7. Не можна бути повністю застрахованим від нещасного випадку на водоймі, вкритій льодом. Як повинні поводитися рятувальник і сам

постраждалий, якщо сталася біда (рис. 5)? Обґрунтуйте їхні дії.



Рис. 5



Ключові терміни

Тиск; сила тиску; паскаль; кілопаскаль; мегапаскаль

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 8



Тема. Вимірювання тиску твердого тіла на опору.

Мета: визначити тиск твердого тіла на горизонтальну поверхню і виявити залежність тиску від ваги тіла та площі поверхні, на яку спирається тіло.

Обладнання: дерев'яний брусок; динамометр; учнівська лінійка; два тягарці.

[rnk.com.ua/
106671](http://rnk.com.ua/106671)

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

Переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.

- 1) За якою формулою визначають тиск? Яка одиниця тиску в СІ?

- 2) Як визначити площу прямокутника?
- 3) Якими способами можна змінити тиск?

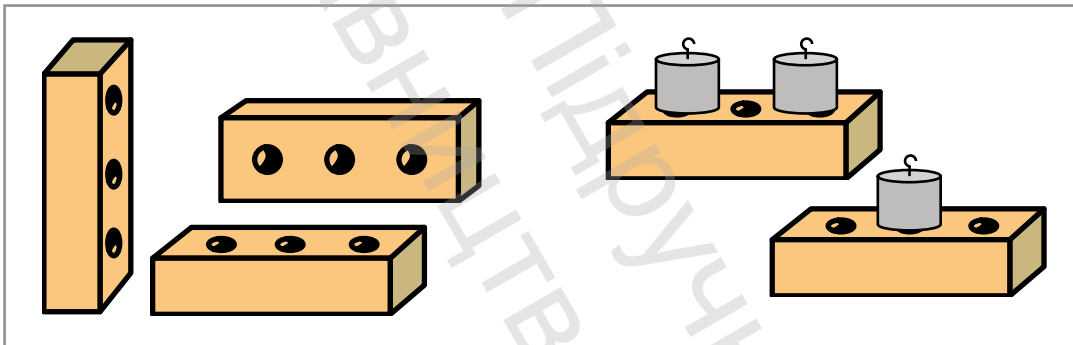
Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Дослідження залежності тиску від площі опори

Результати вимірювань відразу заносьте до табл. 1.

1. Виміряйте вагу бруска.
2. Виміряйте розміри (довжину l , ширину d , висоту h) бруска.



Таблиця 1

Грані бруска	Лінійні розміри бруска			Площа грані		Вага бруска P , Н	Сила тиску F , Н	Тиск p , Па
	l , см	d , см	h , см	S , см ²	S , м ²			
1								
2								
3								

Опрацювання результатів дослідження

Результати обчислень відразу заносьте до табл. 1.

1. Визначте силу, з якою брусок тисне на поверхню стола.
2. Визначте площу кожної грані бруска. Подайте площі в метрах квадратних (м^2).
3. Обчисліть тиск, який створює брусок на поверхню стола кожною з трьох граней.

Дослідження залежності тиску від ваги тіла

Результати вимірювань відразу заносьте до табл. 2.

1. Запишіть у табл. 2 вагу бруска та площу його найбільшої грані.
2. Виміряйте вагу бруска разом із одним тягарцем.
3. Виміряйте вагу бруска разом із двома тягарцями.

Таблиця 2

Тверде тіло	Вага P , Н	Сила тиску F , Н	Площа грані S , м^2	Тиск p , Па
Брусок				
Брусок із тягарцем				
Брусок із двома тягарцями				

Опрацювання результатів дослідження

Визначте тиск, який створює брусок на поверхню в кожному випадку. *Результати обчислень занесіть до табл. 2.*

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент та його результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) які фізичні величини ви виміряли; 2) значення якої величини визначили; 3) які результати отримали; 4) які залежності виявили.



Творче завдання

Визначте тиск, який ви створюєте на підлогу під час ходіння; коли стоїте на місці.

Площу S фігури, яка має неправильну геометричну форму, можна визначити за контуром фігури, намальованим на папері в клітинку:

$$S = \left(n + \frac{1}{2}k \right) S_0,$$

де n — кількість цілих квадратів, k — кількість нецілих квадратів, S_0 — площа одного квадрата.

Фізика і техніка в Україні

СТЕПАН ПРОКОПОВИЧ ТИМОШЕНКО (1878–1972) — видатний український учений-механік, один із організаторів і перших академіків Української академії наук, засновник Інституту механіки АН України й школи прикладної механіки в США.



Основні напрями наукової роботи С. П. Тимошенка — фундаментальні праці з опору матеріалів, теорії пружності, теорії коливань механічних систем, теорії споруд і будівельної механіки.



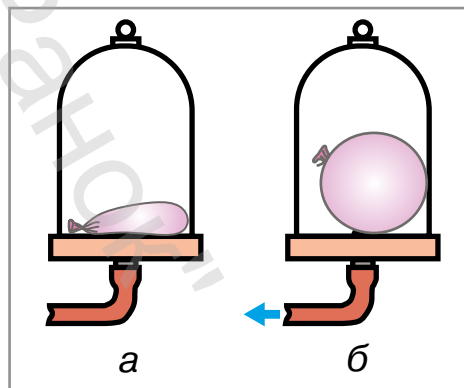
§ 29. ТИСК ГАЗІВ І РІДИН. ЗАКОН ПАСКАЛЯ

Чи можна збільшити об'єм гумової повітряної кульки, не надуваючи її? Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, а й на бічні стінки? Ці загадки тиску газів і рідин ми й спробуємо розгадати.

1. Чому гази створюють тиск?

Покладемо злегка надуту зав'язану повітряну кульку під ковпак повітряного насоса (рис. 29.1, а). Якщо з-під ковпака відкачувати повітря, то об'єм кульки почне збільшуватися (рис. 29.1, б). Чому так відбувається?

Рис. 29.1. Об'єм злегка надutoї повітряної кульки (а) збільшується в разі зменшення зовнішнього тиску (б)



Повітря всередині й зовні кульки створює тиск відповідно на внутрішню і зовнішню поверхні гумової плівки. Якщо ці тиски є однаковими, гумова плівка не розтягується. А от якщо тиск усередині кульки стає більшим за зовнішній тиск, то кулька збільшує свій об'єм.

Чи знаєте ви, що...

Стратостати — повітряні кулі для дослідження надвисоких шарів атмосфери. Ліворуч на заставці до § 29 зображений стратостат на початку польоту. Оскільки на великій висоті тиск зовнішнього повітря суттєво знижується, то з «ганчірки» повітроплавний апарат перетворюється на ідеальну кулю (на заставці праворуч). Розміри цих куль вражають: вони можуть бути завбільшки з 50-поверховий будинок. Саме за допомогою стратостатів людина піднялася на шалену висоту без застосування двигунів. Світовий рекорд, установлений у 2014 р., — 41 км.

2. Від чого залежить тиск газів?

Тиск газу створюється ударами його частинок, тому збільшення як кількості, так і сили ударів на певну поверхню спричинить збільшення тиску газу (рис. 29.2). Отже, тиск газів можна збільшити двома способами.

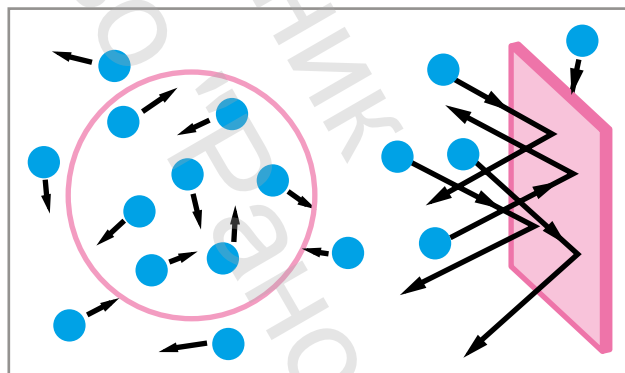


Рис. 29.2. Тиск газу на поверхню створюється численними ударами молекул газу

Перший спосіб — збільшити густину газу $\left(\rho = \frac{m}{V}\right)$. Для цього можна додати газу всередину посудини (збільшити масу m газу) або зменшити об'єм V самої посудини (рис. 29.3).

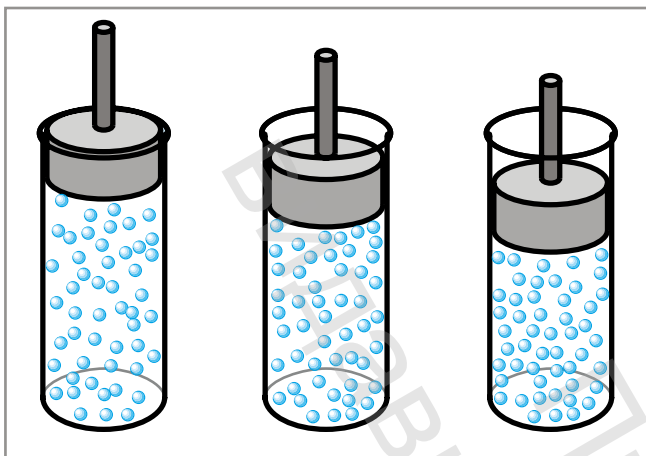


Рис. 29.3. Якщо за допомогою поршня зменшити об'єм газу, то збільшиться кількість ударів молекул газу на одиницю площі стінок посудини — тиск газу зросте

Другий спосіб — збільшити температуру газу. Чим вища температура газу, тим більшою буде швидкість руху його частинок. Удари частинок об стінки посудини стануть частішими, сила їх ударів зросте — внаслідок цього тиск газу в посудині збільшиться.

Відповідно зменшення тиску газу буде відбуватися в разі зменшення густини або температури газу.

Сподіваємося, тепер ви зможете пояснити, чому повітряна кулька роздувається і тоді, коли ми її надуваємо, і тоді, коли відкачуємо повітря ззовні.



Дослідження

Що знадобиться: пластикова пляшка з кришкою; каструля з гарячою водою (до 60 °С); морозильна камера; допомога дорослих.

Дослід 1. Стисніть пляшку, щільно закрутіть кришку та занурте деформовану пляшку в гарячу воду. Почекайте приблизно 1–2 хвилини.

Дослід 2. Залиште недеформовану пляшку зі щільно закрученою кришкою на 1 годину в морозильній камері.

Поясніть, чому пляшка в гарячій воді «саморемонтується», а в морозильній камері — навпаки.

3. Як тиснуть рідини?

На відміну від твердих тіл рідини легко змінюють свою форму — вони набувають форми тієї посудини, у якій містяться, тобто *рідини є плинними*. Тому рідини створюють тиск як на дно, так і на бічні стінки посудини, в якій містяться (тоді як тверді тіла тиснуть тільки на поверхню, на якій розміщені). Якщо в стінці посудини, заповненої рідиною, зробити отвори, то рідина полетиться через них (рис. 29.4).



Рис. 29.4. Рідина створює тиск не тільки на дно, але й на бічні поверхні посудин

Наслідком плинності рідин є також те, що *на будь-яке занурене в рідину тіло рідина тисне з усіх боків*.

4. Відкриваємо закон Паскаля

Через свою плинність рідина здатна передавати тиск по всьому об'єму посудини, в якій міститься. Зробимо голкою невеликі отвори в поліетиленовому



Рис. 29.5. Вода передає додатковий тиск у всі боки, і саме тому вода виходить із отворів у пакеті в усіх напрямках

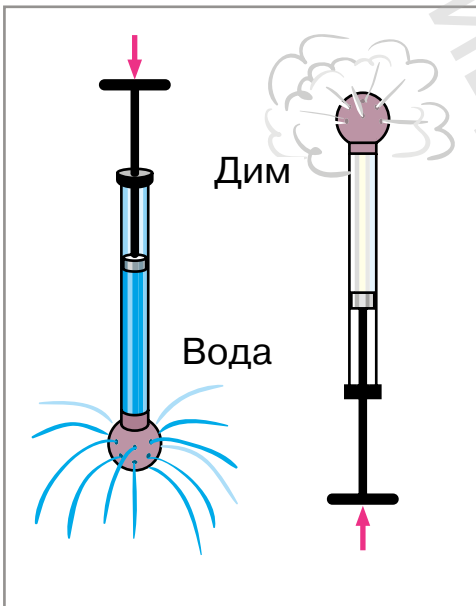


Рис. 29.6. Газ, як і рідина, передає додатковий тиск у всі боки

пакеті, наберемо в пакет воду й зав'яжемо. Натиснемо на пакет — вода буде вилитися з усіх отворів (рис. 29.5).

Ґрунтуючись на подібних дослідах, французький учений *Блез Паскаль* відкрив закон, який зараз має назву **закон Паскаля**:

Тиск, створюваний на нерухомому рідину, передається рідиною однаково в усіх напрямках.

Те саме можна сказати й про гази (рис. 29.6).

5. Де застосовують закон Паскаля?

Властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках ми спостерігаємо в повсякденному житті, її широко використовують у техніці.

Завдяки цій властивості ми можемо чути, адже повітря передає звуковий тиск; працює наша серцево-судинна система, адже незважаючи на те, що кровоносні судини мають

велику кількість вигинів, тиск, створюваний серцем, передається в усі частини тіла. На законі Паскаля ґрунтуються дія системи гальмування багатьох транспортних засобів, дія домкратів, насосів та інших *гідравлічних машин*.

А як насправді?

Один блогер написав, що виробник сосисок використовує спеціальну пластикову обгортку, склад якої є таємницею. За 2 хв перебування в киплячій воді обгортка лопається, щоб забезпечити насичення сосиски водою. Ця інновація робить будь-яку сосиску соковитою та покращує її смак. Як ви вважаєте, для того щоб обгортка сосиски луснула, потрібен спеціальний пластик чи причина руйнування інша?



Підбиваємо підсумки

Причина тиску газів

Гази створюють тиск на поверхню внаслідок численних ударів об цю поверхню частинок газу.

Закон Паскаля

Тиск, створюваний на нерухому рідину, передається однаково в усіх напрямках.



Контрольні запитання

1. Як довести, що газу створюють тиск на стінки посудини? **2.** У чому причина тиску газів? **3.** Чому тиск газів зростає зі зростанням їхньої густини? у разі збільшення температури? **4.** Чому рідина створює тиск не тільки на дно посудини, а й на її бічні стінки? **5.** Сформулюйте закон Паскаля. **6.** Доведіть, що властивість рідин і газів передавати тиск у всіх напрямках має неабияке значення в нашому житті.



Вправа № 29

- ◆ 1. Як буде змінюватися тиск у повітряній кульці, якщо її спочатку надути, а потім міцно притиснути до твердого предмета? Чи можна передбачити, у якому місці лусне кулька?
- ◆ 2. Чому не можна допускати зайвого нагрівання газових балонів (навіть із газом, який не горить)?
- ◆ 3. Чи змінився, а якщо змінився, то як, тиск у шинах велосипеда, коли хлопчик вирішив покатати свою приятельку (рис. 1)?
- ◆ 4. У нафтовій промисловості для підймання нафти на поверхню землі застосовують стиснуте повітря, яке компресори нагнітають у простір над поверхнею нафтоносного шару. На якому законі ґрунтується цей спосіб? Поясніть свою думку.
- ◆ 5. Чому вибух снаряда під водою є згубним для істот, які живуть у воді?
- ◆ 6. Якщо вистрілити з дрібнокаліберної рушниці у варене яйце, то в яйці утвориться отвір, а якщо в сире — яйце розлетиться. Поясніть це явище.



Рис. 1

- ◆ 7. У циліндрі під поршнем площею 80 см^2 міститься вода. Вантаж якої маси потрібно покласти на поршень, щоб тиск води на дно циліндра зріс на 2 кПа ?
- ◆ 8. Які зміни відбуватимуться з поверхнею рідини в запаяній зверху трубці (рис. 2), якщо трубку охолоджувати? нагрівати?

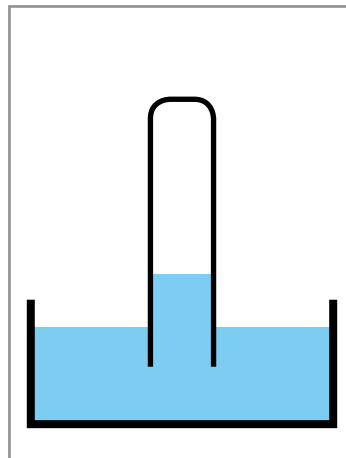


Рис. 2



Ключові терміни

Тиск газів; тиск рідини; плинність; закон Паскаля

Фізика і техніка в Україні

ІНСТИТУТ МЕХАНІКИ ІМ. С. П. ТИМОШЕНКА НАН УКРАЇНИ (КИЇВ), заснований у 1918 р., — відомий у світі та найпотужніший в Україні дослідницький центр. Основні напрями наукової діяльності інституту — механіка неоднорідних середовищ, динаміка та стійкість механічних систем, механіка руйнування та втома матеріалів.

Теоретичні й експериментальні результати науковців інституту застосовують у ракетно-космічній, авіаційній, суднобудівній та інших галузях промисловості.





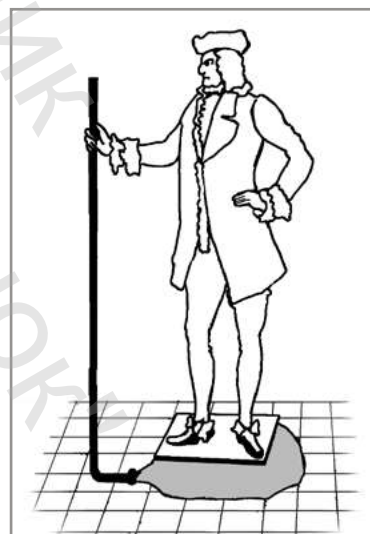
§ 30. ГІДРОСТАТИЧНИЙ ТИСК

Безпечна глибина занурення звичайного аквалангіста становить приблизно 20 м. Для досвідчених плавців цей ліміт трохи більший. А чому досягти місця, де лежить затонулий лайнер «Титанік» (на глибині майже 4 км), людина може тільки всередині глибоководних апаратів? Спробуймо це з'ясувати.

1. Як розрахувати гідростатичний тиск?

Дослід, який ви бачите на [рис. 30.1](#), проводили ще в XVII ст., за часів *Блеза Паскаля*: вода зі шкіряної

Рис. 30.1. Сила тиску води в шкіряній подушці є достатньою, щоб утримувати дорослу людину



подушки не витікає під вагою дорослої людини, хоча подушка сполучена з відкритою зверху трубкою. Як таке може бути?

Ви вже знаєте, що внаслідок притягання до Землі та завдяки власній плинності рідина створює тиск як на дно, так і на стінки посудини, у якій вона міститься. Рідина створює тиск і на будь-яке занурене в неї тіло.

*Тиск нерухомої рідини називають **гідростатичним тиском**.*

Визначимо — гідростатичний тиск на дно посудини. Щоб спростити одержання формули, візьмемо циліндричну посудину з площею дна S . Нехай у посудину налита рідина густиною ρ , а висота стовпа рідини в посудині дорівнює h (рис. 30.2).

Щоб визначити тиск, який створює рідина на дно посудини, слід силу F , що діє на дно посудини, поділити на площу S дна:

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

У цьому випадку сила F , яка створює тиск на дно посудини, — це вага P рідини. Оскільки рідина в посудині нерухома, то вага рідини дорівнює добутку маси m рідини на прискорення вільного падіння g :

$$F = P = mg.$$

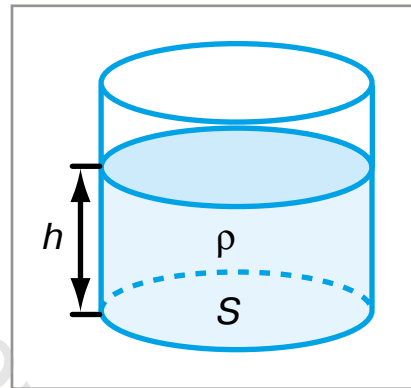


Рис. 30.2. Через притягання Землі рідина створює тиск на дно посудини

Масу рідини визначимо через об'єм і густину рідини: $m = \rho V$; об'єм налитої в посудину рідини — через висоту h стовпа рідини та площу S дна посудини: $V = Sh$. Таким чином, масу рідини можна визначити за формулою:

$$m = \rho Sh.$$

Підставивши по черзі вирази для F і m у формулу тиску, отримаємо:

$$p = \frac{F}{S} = \frac{mg}{S} = \frac{\rho Shg}{S} = \rho gh.$$

Отже, маємо **формулу для визначення гідростатичного тиску** — тиску, який чинить нерухома рідина:

$$p = \rho gh$$

Як бачимо, *гідростатичний тиск залежить тільки від густини рідини та висоти стовпа рідини в посудині.*



Дослідження

Що знадобиться: медична гумова грілка з пробкою для приєднання трубки; прозора пластикова трубка.

Спробуйте провести дослід, схожий на той, що проводили в XVII ст. (див. рис. 30.1).

Заповніть грілку водою, під'єднайте трубку та покладіть грілку на дно ванни. Тримайте трубку в руці,



обережно натисніть на грілку однією ногою. Поступово збільшуйте тиск на грілку й уважно спостерігайте за рівнем води в трубці. Опишіть одержаний результат. Висуньте гіпотезу, чому отриманий вами результат, найімовірніше, не збігатиметься з результатом досліду, який проводили в XVII ст. Що слід змінити, щоб результати збіглися?

2. Проводимо досліди, робимо висновки

Залежність гідростатичного тиску від висоти стовпа рідини вперше продемонстрував *Блез Паскаль*. Узявши бочку, до країв заповнену водою, дослідник герметично закрити її кришкою зі вставленою довгою тонкою трубкою. Піднявшись на балкон другого поверху будинку, Паскаль вилив у трубку лише одну склянку води. Вода заповнила всю трубку і створила на стінки та дно бочки настільки величезний тиск, що в бічних стінках бочки з'явилися щілини (рис. 30.3).

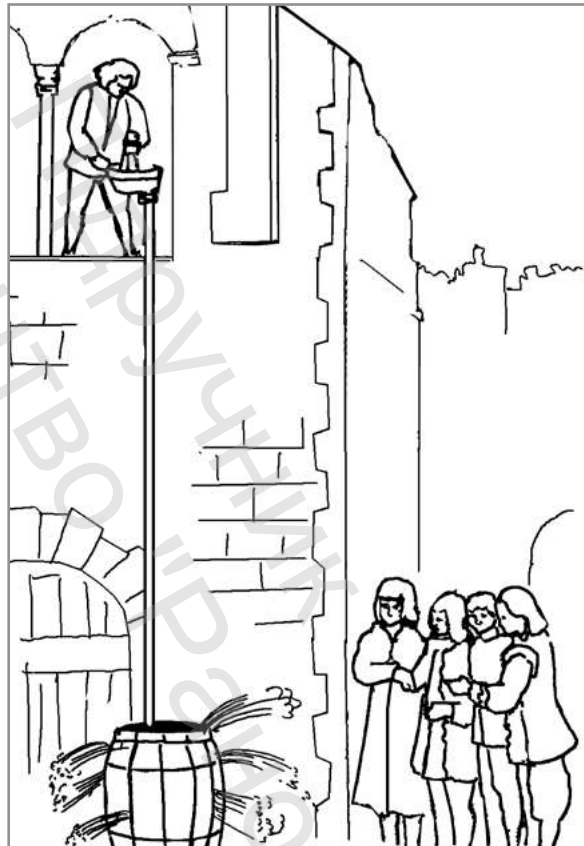


Рис. 30.3. У 1648 р. Блез Паскаль розірвав бочку склянкою води

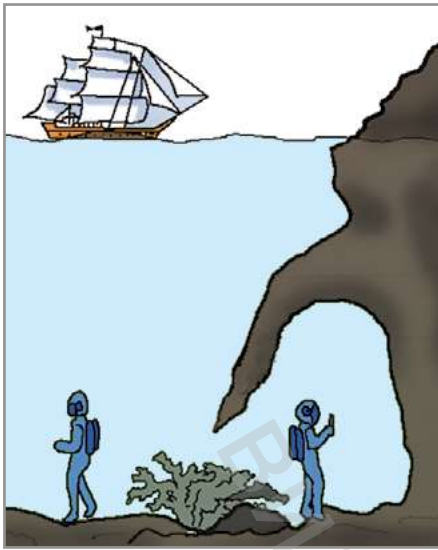


Рис. 30.4. Тиск води на водолазів є однаковим, — вони на одному рівні

Зверніть увагу! За законом Паскаля, тиск рідини передається в усіх напрямках, тож за формулою $p = \rho gh$ можна також визначити тиск, який створює шар рідини висотою h на будь-яке тіло, занурене в цю рідину, а також тиск на стінки посудини.

Із закону Паскаля та формули гідростатичного тиску також випливає, що *тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим* (рівнем називають будь-яку горизонтальну поверхню).

Розгляньте [рис. 30.4](#). Здавалося б, тиск води на дні підводної печери менший, ніж на дні відкритого моря. Проте якби це дійсно було так, унаслідок більшого тиску вода з моря ринула б до печери. Але цього не відбувається.

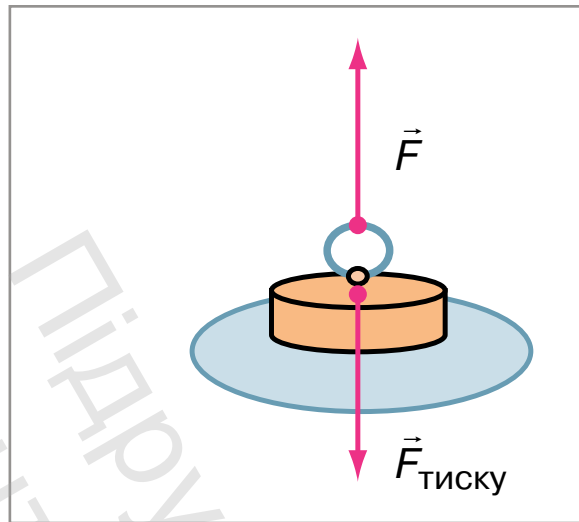
А як насправді?

Дві блогерки посперечалися. Позиція однієї така. Рекордна глибина занурення аквалангіста — 300 м. Для її досягнення людина має дихати спеціальною сумішшю, адже звичайне повітря є отрутою за високого тиску. Тож морські тварини, які мають легені, не можуть занурюватися на таку глибину, бо їх ніхто не забезпечить сумішами. Інша блогерка заперечує це твердження, зазначивши, що кити здатні занурюватися на глибину до 2 км. Хто з них має рацію?

3. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** На дні басейну розташований круглий отвір, закритий пробкою радіусом 5 см. Яку силу потрібно прикласти до пробки, щоб витягти її з отвору, якщо висота води в басейні дорівнює 2 м? Масою пробки та силою тертя між пробкою й отвором знехтуйте. ■

Аналіз фізичної проблеми. Витягти пробку заважає сила тиску води в басейні. Сила \vec{F} , потрібна для витягання пробки з отвору, за значенням має бути не менша, ніж сила гідростатичного тиску води на пробку: $F = F_{\text{тиску}}$ (див. [рисунок](#)).



Дано:

$$r = 5 \text{ см} = 0,05 \text{ м}$$

$$h = 2 \text{ м}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$$F - ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням тиску:

$$p = \frac{F_{\text{тиску}}}{S} \Rightarrow F_{\text{тиску}} = pS.$$

Тут $p = \rho gh$ — гідростатичний тиск; $S = \pi r^2$ — площа круга.

Підставивши вирази для ρ і S у формулу для $F_{\text{тиску}}$, одержимо:

$$F_{\text{тиску}} = \rho gh \cdot \pi r^2.$$

$$F = F_{\text{тиску}}, \text{ тому } F = \rho gh \cdot \pi r^2.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[F] = \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{м} \cdot \text{м}^2 = \text{Н};$$

$$F = 1000 \cdot 10 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot (0,05)^2 = 157 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: потрібно прикласти силу, не меншу ніж 157 Н.

Чи знаєте ви, що...

На заставці до § 30 подано панораму міста Дубай (ОАЕ). Праворуч — один із найвищих готелів у світі «Бурдж-аль-Араб», висота якого 321 м. Ліворуч від нього бачимо «голку» — це Бурдж-Халіфа, найвища будівля у світі: її висота становить 828 м. Як забезпечити водою мешканців цих величезних споруд?

У звичайних багатоповерхівках вода подається в спеціальний резервуар на верхньому (технічному) поверсі, а звідти розподіляється по квартирах. Проте як вирішити цю проблему для будинку заввишки майже кілометр? Інженери-конструктори вбудували кілька технічних поверхів (сім — для Бурдж-Халіфи), кожен із яких постачає воду на нижчі рівні, а також є джерелом для подачі води на вищі технічні рівні.

? Контрольні запитання

1. У чому причина тиску рідини? 2. За якою формулою обчислюють гідростатичний тиск? 3. Як змінюється тиск у рідині залежно від висоти стовпа рідини? від густини рідини? 4. Опишіть дослід Блеза Паскаля. 5. Чому тиск усередині нерухомої однорідної рідини на одному рівні є однаковим?

Вправа № 30

1. Тиск води на дно посудини в точці *A* дорівнює 200 Па (рис. 1). Який тиск на дно створює вода в точці *B*? точці *C*?

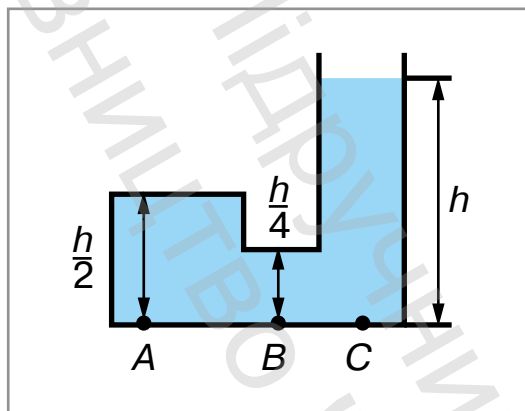


Рис. 1

2. Любитель фрідайвінгу занурився на глибину 100 м. Який гідростатичний тиск діяв на нього під час занурення?
3. Занурте палець у склянку з водою, не торкаючись дна. Чи змінилася сила тиску води на дно? Якщо змінилася, то як?
4. На якій глибині тиск у мастилi — 8 кПа?

- ◆ 5. У дві посудини до одного рівня налили однакову рідину (рис. 2). Порівняйте тиски та сили тисків на дно посудин.

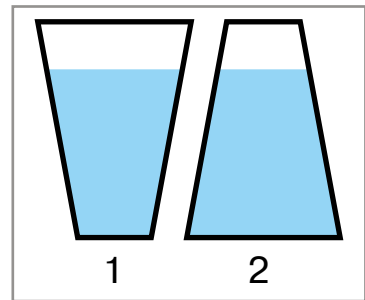


Рис. 2

- ◆ 6. Складіть і розв'яжіть задачу, обернену до задачі, розглянутої в § 30.
- ◆ 7. Наталка мешкає на третьому поверсі. Чи вдасться їй прийняти душ, якщо насос, який стоїть на першому поверсі, подає воду під тиском 80 кПа, висота одного поверху будинку — 2,8 м, а лійка душу розташована на висоті 2 м від підлоги?
- ◆ 8. Якою є маса дослідника (див. рис. 30.1), якщо площа дотику подушки й дошки — 800 см^2 , а вода в трубці встановилася на висоті 1 м? Як, не нахилиючи трубку, вигнати воду назовні?
- ◆ 9. Визначте силу тиску на дно бочки (див. рис. 30.3), якщо висота води в трубці становить 4 м, а діаметр і висота бочки — 0,8 м. Визначте масу тіла, яке тиснутиме на дно бочки з такою силою.
- ◆ 10. Підготуйте повідомлення про гідростатичний тиск на глибинах, на які занурюються аквалангісти та водолази, опускаються батисфери, підводні човни та батискафи.



Ключові терміни

Гідростатичний тиск; дослід Паскаля



§ 31. АТМОСФЕРНИЙ ТИСК І ЙОГО ВИМІРЮВАННЯ. БАРОМЕТРИ

Більшість із вас чули скарги дорослих на погане самопочуття: «Щось болить голова, напевно, знову погода змінюється!» Насправді зміна погоди зазвичай пов'язана зі зміною атмосферного тиску. А що таке атмосферний тиск? Як його вимірюють? Яке значення атмосферного тиску є нормальним? Відповіді ви знайдете в цьому параграфі.

1. Що ми знаємо про атмосферу?

Ви знаєте, що наша планета оточена повітряною оболонкою — *атмосферою* (з грец. — «пара» і «сфера») (рис. 31.1). Чому ж існує повітряна оболонка Землі?



Рис. 31.1. Атмосфера починається біля поверхні Землі й простягається в космічний простір приблизно на 100 км

Повітря, як і все інше, складається з молекул і атомів. *Молекули й атоми* мають масу, тому вони *притягуються до Землі* завдяки дії сили тяжіння.

Водночас молекули й атоми газів, що утворюють атмосферу, перебувають у неперервному хаотичному русі. Вони увесь час зіштовхуються, відскакують одне від одного, змінюють значення та напрямок швидкості свого руху... Тому частинки не падають на Землю, а перебувають у просторі біля неї.

2. Чи існують докази існування атмосферного тиску?

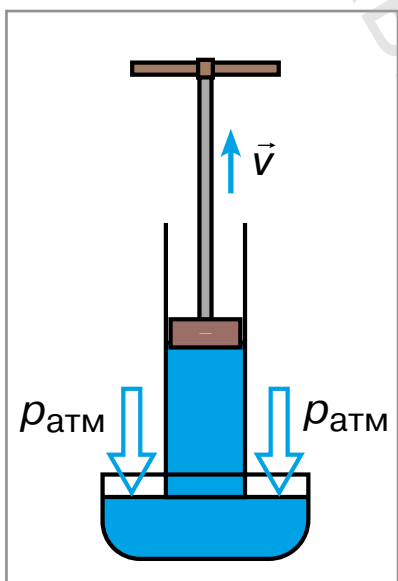


Рис. 31.2. Рідина підіймається за поршнем, тому що на вільну поверхню рідини в посудині тисне атмосфера

За підрахунками, атмосфера Землі має масу близько $5 \cdot 10^{18}$ кг. Під дією сили тяжіння верхні шари атмосфери тиснуть на її нижні шари, тому повітряний шар навколо поверхні Землі стиснутий найбільше і, згідно із законом Паскаля, створює тиск на поверхню Землі й на всі тіла поблизу неї. Це і є **атмосферний тиск** ($p_{\text{атм}}$).

Завдяки атмосферному тиску існує всмоктування — підняття рідини за поршнем (у насосах, шприцах тощо) (рис. 31.2). Якщо підіймати поршень, то атмосферний тиск, діючи на вільну поверхню рідини в посудині, нагнітатиме

рідину вгору, у порожнечу під поршнем. Ззовні все має такий вигляд, наче рідина підіймається за поршнем сама по собі.

Протягом тривалого часу підняття рідини за поршнем залишалось одним із доказів відомого принципу «природа боїться порожнечі», автором якого був *Аристотель*. Проте в середині XVII ст. під час спорудження фонтанів у Флоренції зіткнулися з незрозумілим — виявилось, що вода, яку всмоктують насоси, не підіймається вище за 10,3 м (рис. 31.3). *Галілео Галілей* запропонував розібратися в цьому своїм учням — *Еванджелісті Торрічеллі* (1608–1647) і *Вінченцо Вівіані* (1622–1703). Розв'язуючи цю проблему, Е. Торрічеллі вперше довів існування атмосферного тиску.

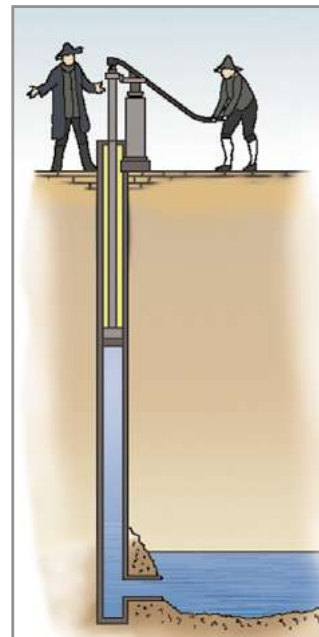


Рис. 31.3. У 1638 р. не вдалося прикрасити сади Флоренції фонтанами, оскільки вода не підіймалася вище за 10,3 м



Дослідження

Що знадобиться: чашка; пластикова пляшка; скляна банка; аркуші цупкого паперу.

Дослід краще проводити над раковиною. Заповніть водою чашку до країв і покладіть зверху аркуш. Увесь час притискаючи аркуш долонею, обережно переверніть чашку так, щоб

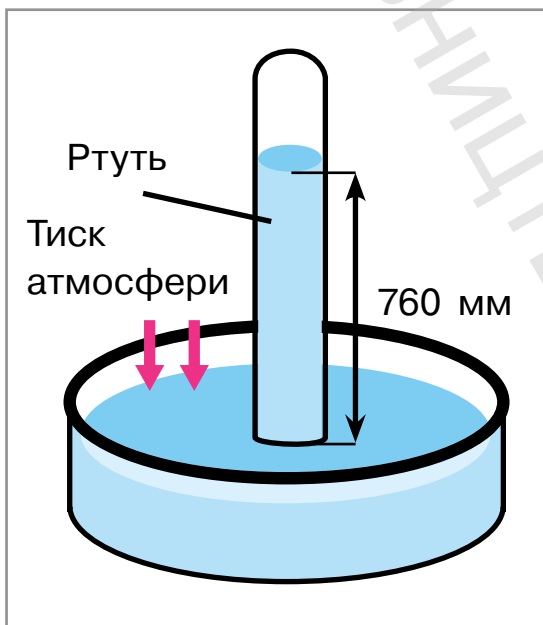


папір опинився знизу. Приберіть руку. Вода залишиться в чашці!

Поясніть одержаний результат. Повторіть дослід з іншим посудом. З'ясуйте, чи залежить результат від розміру посуду. Які фактори впливають на успішність демонстрації?

3. Вимірюємо атмосферний тиск

Для зручності проведення дослідів Е. Торрічеллі замінив воду рідиною зі значно більшою густиною. Скляну трубку завдовжки близько метра, запаяну з одного кінця, він наповнив доверху ртуттю. Щільно закривши отвір,



учений перевернув трубку, опустив її в чашу з ртуттю та відкрив отвір — частина рідини з трубки вилася в чашу. У трубці залишився стовп ртуті приблизно 760 мм заввишки, а над ртуттю утворилася порожнеча (рис. 31.4).

Рис. 31.4. Модель трубки Торрічеллі: висота h стовпа ртуті в трубці завжди становить близько 760 мм

Провівши численні дослідів, Торрічеллі встановив: висота стовпа ртуті, що залишається в трубці, не залежить ані від довжини трубки, ані від її діаметра. Висота трохи змінюється тільки від погоди.

Учений пояснив, чим визначається саме така висота стовпа ртуті. Ртуть у трубці та чаші не рухається, і це означає, що *тиск на поверхню ртуті з боку атмосфери й гідростатичний тиск стовпа ртуті є однаковими*. Тобто тиск стовпа ртуті висотою 760 мм дорівнює атмосферному.

Тиск, який створює стовп ртуті висотою 760 мм, називають **нормальним атмосферним тиском**:

$$p_{\text{атм.н}} = 760 \text{ мм рт. ст.}$$

У цьому випадку за *одиницю атмосферного тиску* прийнято **один міліметр ртутного стовпа** (1 мм рт. ст.).

подамо *нормальний атмосферний тиск* у **паскалях**.

Гідростатичний тиск обчислюють за формулою $p = \rho gh$.

$\rho_{\text{рт}} = 13\,600 \text{ кг/м}^3$, $g = 9,8 \text{ Н/кг}$, $h = 0,76 \text{ м}$, тому:

$$\begin{aligned} p_{\text{атм.н}} &= \rho_{\text{рт}} gh = 13\,600 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,76 \text{ м} \approx \\ &\approx 101,3 \cdot 10^3 \frac{\text{Н}}{\text{м}^2} \approx 100 \text{ кПа.} \end{aligned}$$

Зверніть увагу: для переведення міліметрів ртутного стовпа (мм рт. ст.) в паскалі (Па) та навпаки слід брати

$$g = 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}.$$

У фізиці й техніці також використовують *позасистемну одиницю атмосферного тиску* — **фізичну атмосферу** (1 атм):

$$1 \text{ атм} \approx 100 \text{ кПа.}$$

ЗАСТЕРЕЖЕННЯ

Учені XVII ст. не знали, що парі ртуті є отрутою, тому часто контактували з ртуттю без захисту. Зараз виконувати роботи з ртуттю без індивідуального захисту заборонено. Популярні ртутні термометри поступово замінюють на *галінстанові*, в яких замість отруйної ртуті використовують безпечний сплав галію, індію та олова.

Чи знаєте ви, що...

У XVII ст. максимальна висота фонтанів сягала 10 м. Знання законів фізики та розвиток техніки дозволили інженерам значно перевищити середньовічне досягнення.

На заставці до § 31 зображений найвідоміший у світі фонтан Же-До в Женеві (Швейцарія). Висота стовпа води в ньому сягає 147 м. Одночасно в повітрі перебуває приблизно 8 т води, насиченої повітрям. Саме це надає струменю початково білого кольору. А от різні кольори фонтану дає підсвічування. У XIX ст. фонтан регулював рівень води для гідротехнічних споруд. Згодом його перенесли ближче до центра міста та зробили однією з візитівок Женеві.

4. Навіщо було створено барометр-анероїд?

Якщо вдосконалити трубку Торрічеллі (див. [рис. 31.4](#)), приєднавши до неї вертикальну шкалу (лінійку), то отримаємо найпростіший барометр.

Барометр — прилад для вимірювання атмосферного тиску.

Дія барометра Торрічеллі заснована на тому, що стовп рідини припиняє рухатися, коли гідростатичний тиск стовпа цієї рідини дорівнює атмосферному тиску.

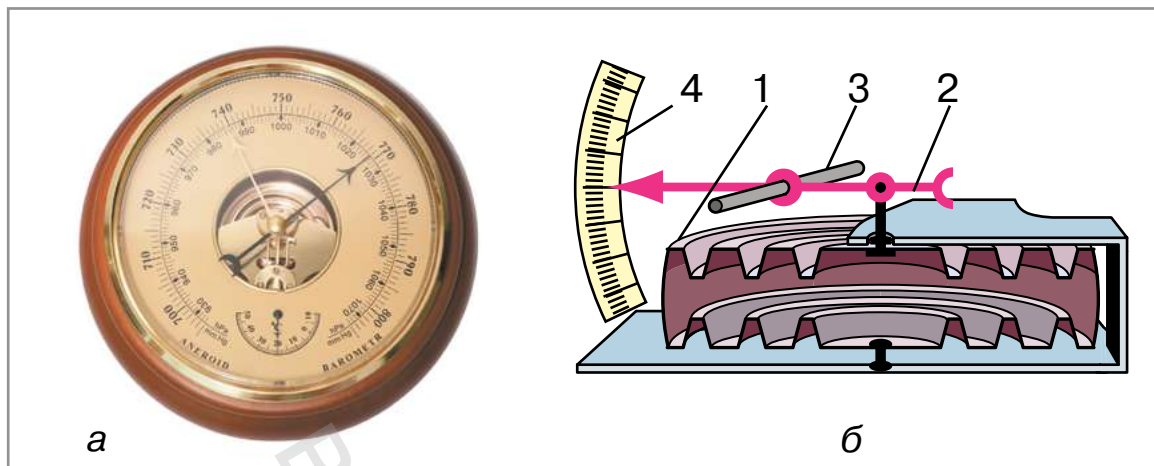


Рис. 31.5. Барометр-анероїд: *а* — зовнішній вигляд; *б* — будова

Барометр Торрічеллі є точним приладом, але великий розмір, отруйні пари ртуті та скляна трубка роблять його незручним для повсякденного використання. Тому сьогодні частіше застосовують **барометри-анероїди** — прилади для вимірювання атмосферного тиску, які працюють без рідини (рис. 31.5).

Головна частина барометра-анероїда — легка й пружна порожня металева коробочка *1* з гофрованою (ребристою) поверхнею. Повітря в коробочці перебуває за зниженого тиску. До стінки коробочки прикріплена стрілка *2*, насаджена на вісь *3*. Кінець стрілки пересувається по шкалі *4*, розміченій у міліметрах ртутного стовпчика або в паскалях. Усі деталі барометра розміщені в корпусі, закритому спереду склом.

Зміна атмосферного тиску зумовлює зміну сили, яка стискає стінки коробочки. Відповідно змінюється й вигин цих стінок, що спричиняє рух стрілки.

Барометри-анероїди зручніші у використанні, ніж ртутні прилади: вони легкі, компактні та безпечні.

А як насправді?

Андрій, Юля та Вітя обговорюють майбутні професії. «Я хотів би стати пілотом, — почав Віктор, — тому потрібно мати міцні знання та добру спортивну підготовку, яку здійснюють, зокрема, у барокамері». «Стривай, — заперечила Юля, — барокамера — це лікувальне обладнання в лікарнях, я планую стати лікаркою і точно це знаю». «Стоп, — долучається Андрій, — мабуть, ви щось наплутали: барокамера — це помічник водолазів для занурення на великі глибини». А як насправді?

5. Як залежить атмосферний тиск від погоди та висоти?

Спостерігаючи за показами барометра, можна дізнатися про зміну погоди. Зазвичай атмосферний тиск перед негодою падає, а перед сонячною погодою зростає.

Покази барометра залежать також від висоти місця спостереження над рівнем моря: *чим більша висота, тим меншим є атмосферний тиск*. Поблизу поверхні Землі через кожні 11 м висоти тиск меншає приблизно на 1 мм рт. ст.



Рис. 31.6. Альтиметр на руці парашутиста

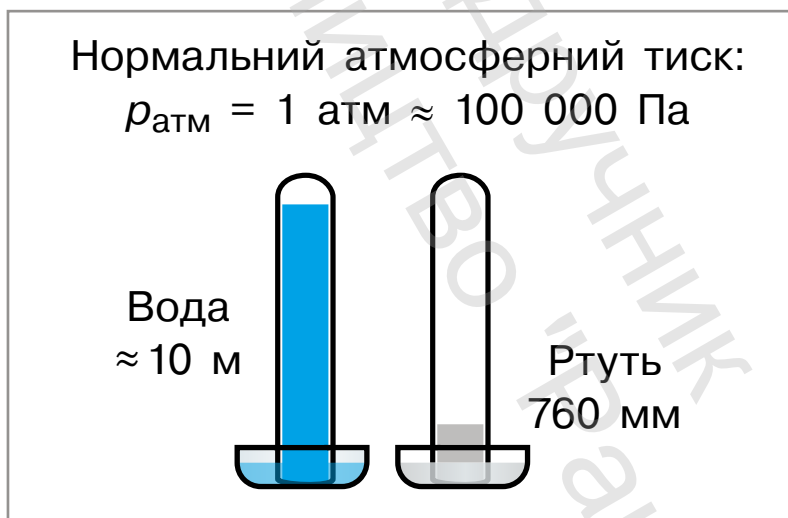
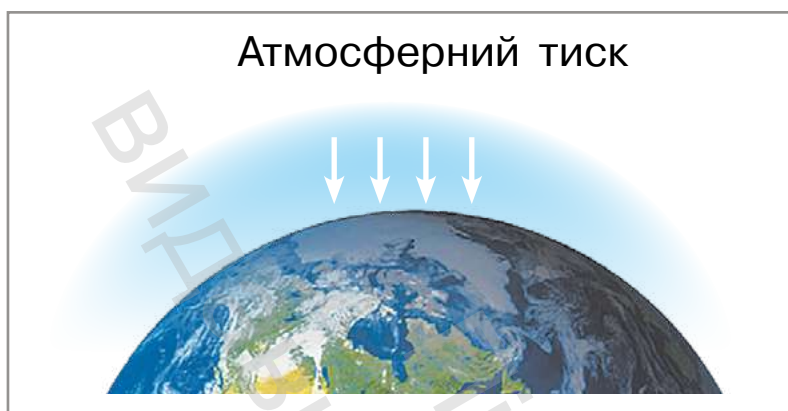
Завдяки тому що атмосферний тиск залежить від висоти, барометр можна проградувати так, щоб за тиском повітря визначати висоту. Так було винайдено **альтиметр** — *прилад для вимірювання висоти* (рис. 31.6).



Підбиваємо підсумки

Через притягання Землі верхні шари її повітряної оболонки — *атмосфери* — тиснуть на нижні.

Атмосферний тиск — тиск повітря на поверхню Землі та на всі тіла поблизу неї.



Контрольні запитання

1. Що таке атмосфера й чому вона існує? **2.** Чому існує атмосферний тиск? Які факти свідчать про його існування? **3.** Опишіть будову та принцип дії ртутного барометра.

4. У яких одиницях вимірюють атмосферний тиск?
5. Опишіть конструкцію та принцип дії барометра-анероїда. Які переваги він має? 6. Чому за допомогою барометрів можна прогнозувати погоду та вимірювати висоту?



Вправа № 31

- ◆ 1. Чи діє на рибок в акваріумі атмосферний тиск? Чому?
- ◆ 2. Чому воду можна втягувати через соломинку?
- ◆ 3. Чи можна розрахувати атмосферний тиск за формулою $p = \rho gh$, де ρ — густина повітря, а h — висота атмосфери?
- ◆ 4. Подайте тиск 1 мм рт. ст. у паскалях, а тиск 93324 Па — у міліметрах ртутного стовпа.
- ◆ 5. Чому зі збільшенням висоти атмосферний тиск зменшується?
- ◆ 6. На якій висоті розташований оглядовий майданчик телевізійної вежі, якщо атмосферний тиск біля підніжжя вежі становить 760 мм рт. ст., а на висоті майданчика — 740 мм рт. ст.?
- ◆ 7. Підготуйте стисле повідомлення про роль атмосферного тиску в житті людей і тварин.



Ключові терміни

Атмосферний тиск; атмосфера (одиниця тиску); барометр



§ 32. СПЛУЧЕНІ ПОСУДИНИ. МАНОМЕТРИ

Щоранку, прокидаючись, ми поспішаємо вмитися. А чи знаєте ви, чому з крана біжить вода, коли ми його відкриваємо? А чому виливається вода з носика чайника, якщо його нахилити? І що спільного між водопроводом і чайником? Відповіді на ці та багато інших запитань ви матиме після вивчення цього параграфа.

1. Які властивості мають сплучені посудини?

Сплучені посудини — це посудини, з'єднані між собою так, що між ними може перетікати рідина.

Найпростіші сплучені посудини — це дві з'єднані трубки. Якщо в одну з трубок наливати воду, то вода перетікатиме в іншу. Коли рух води припиниться, вода в обох трубках (обох *колінах* сплучених посудин)

установиться на одному рівні (рис. 32.1, а). Якщо нахилити або підіймати одне з колін, то вода перетікатиме доти, доки рівні води в обох колінах не зрівняються (рис. 32.1, б).

Отже, ми виявили **основну властивість сполучених посудин**:

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

Зверніть увагу! Вільні поверхні рідини встановлюються на одному рівні не лише у двох, але й у будь-якій кількості сполучених посудин — незалежно від того, яку форму вони мають і як розташовані в просторі (рис. 32.2).

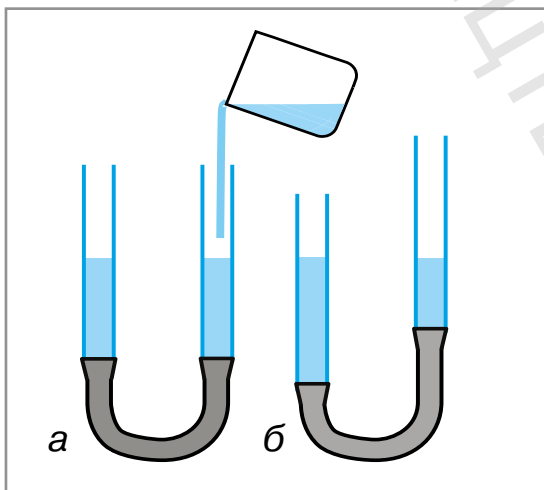


Рис. 32.1. У відкритих сполучених посудинах однорідна рідина встановлюється на одному рівні

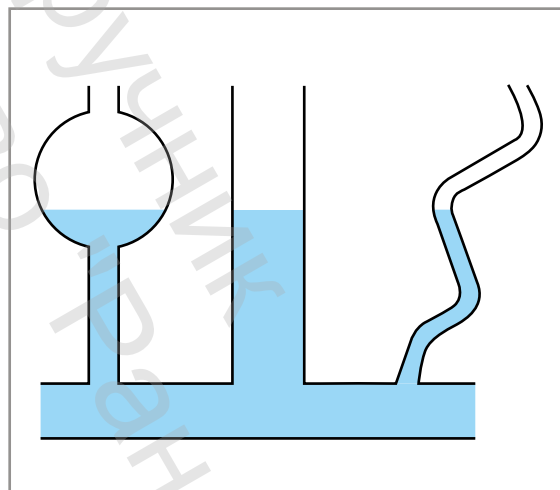


Рис. 32.2. Незалежно від форми відкритих сполучених посудин рівень рідини в них є однаковим

А от якщо в праве й ліве коліна сполучених посудин налити рідини, які не змішуються та мають різні густини, наприклад гас і воду, результат буде іншим.

Розглянемо [рис. 32.3](#). На рівні CD тиск стовпчиків рідин у посудинах є однаковим:

$$p_C = p_D,$$

$$\text{тобто } \rho_1 g h_1 = \rho_2 g h_2 \Rightarrow$$

$$\rho_1 h_1 = \rho_2 h_2, \text{ або:}$$

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

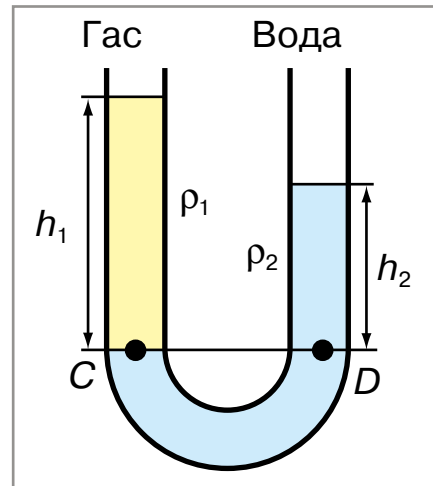


Рис. 32.3. У відкритих сполучених посудинах рівень рідини меншої густини встановлюється на більшій висоті ($\rho_1 < \rho_2$, $h_1 > h_2$)

Це друга **властивість сполучених посудин**:

У відкритих сполучених посудинах стовпчик нерухомої рідини меншої густини вищий, ніж стовпчик нерухомої рідини більшої густини.

Чи знаєте ви, що...

На заставці до § 32 подано найбільшу гідроелектростанцію у світі, яка розташована в Китаї та має назву «Три ущелини». Для забезпечення судноплавства було створено каскад шлюзів (на заставці праворуч). Прохід кораблів через каскад шлюзів — це досить тривалий процес. Щоб його прискорити, інженери впровадили унікальний ліфт, що може переміщати корабель разом із водою, в якій він плаває, усього за 40 хв. Корабель заходить у ліфт і виходить із нього завдяки основній властивості сполучених посудин.

Сполучені посудини широко застосовують у побуті, медицині, техніці тощо. Шлюзи, водогони, артезіанські колодязі, лійки, крапельниці — усе це приклади сполучених посудин.

- Розгляньте [рис. 32.4](#) і поясніть принцип дії пристроїв.

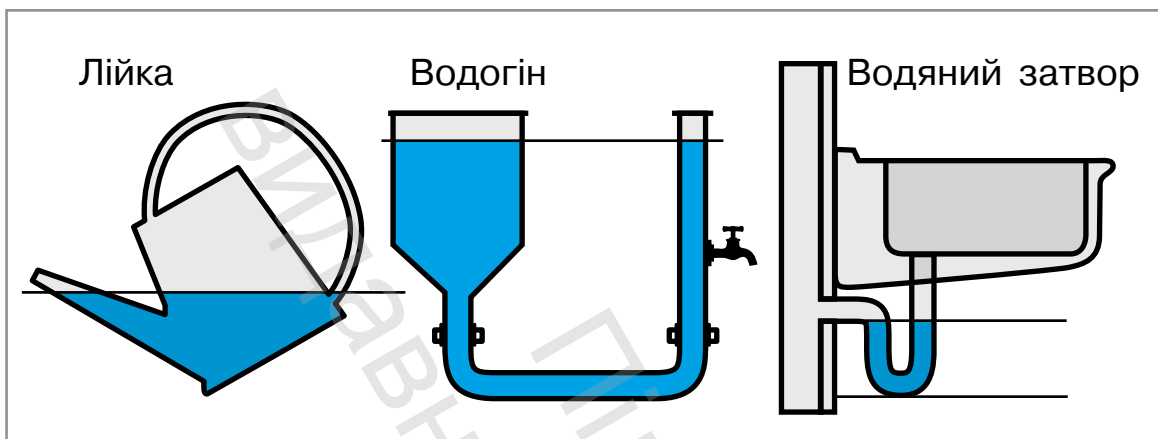


Рис. 32.4. Застосування сполучених посудин у побуті

2. Як виготовити відкритий рідинний манометр?

На праве коліно U-подібної трубки, у яку налито рідину, надінемо гумову грушу й злегка її стиснемо. Стовпчик рідини в правому коліні трубки опуститься, а в лівому підніметься (рис. 32.5).

Визначимо тиск повітря $p_{\text{п}}$ у груші. На рівні AB тиск однаковий ($p_A = p_B$). У точці B — це тиск повітря $p_{\text{п}}$ в груші, у точці A — атмосферний тиск $p_{\text{атм}}$ плюс гідростатичний тиск стовпчика рідини висотою h . Отже, одержуємо:

$$p_{\text{п}} = p_{\text{атм}} + \rho gh.$$

Тож за допомогою U-подібної трубки, заповненої рідиною відомої густини ρ , і лінійки можна визначити, на скільки тиск газу в груші відрізняється від атмосферного. Подібний прилад має назву відкритий рідинний манометр (рис. 32.6).

Манометр — це прилад для вимірювання тиску рідин і газів.

Наприклад, припустимо, що на рис. 32.6, б манометр заповнений водою. Різниця рівнів води в колінах становить

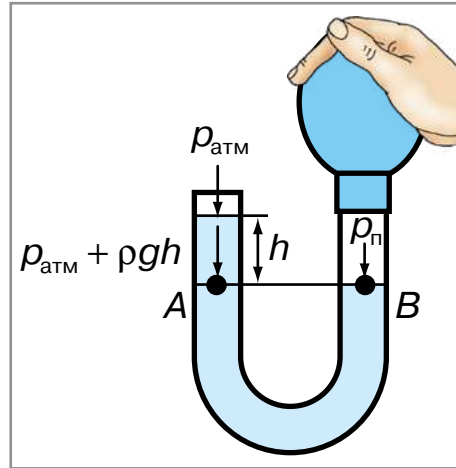


Рис. 32.5. Різниця тиску повітря p_p й атмосферного тиску $p_{\text{атм}}$ компенсується тиском стовпчика рідини висотою h

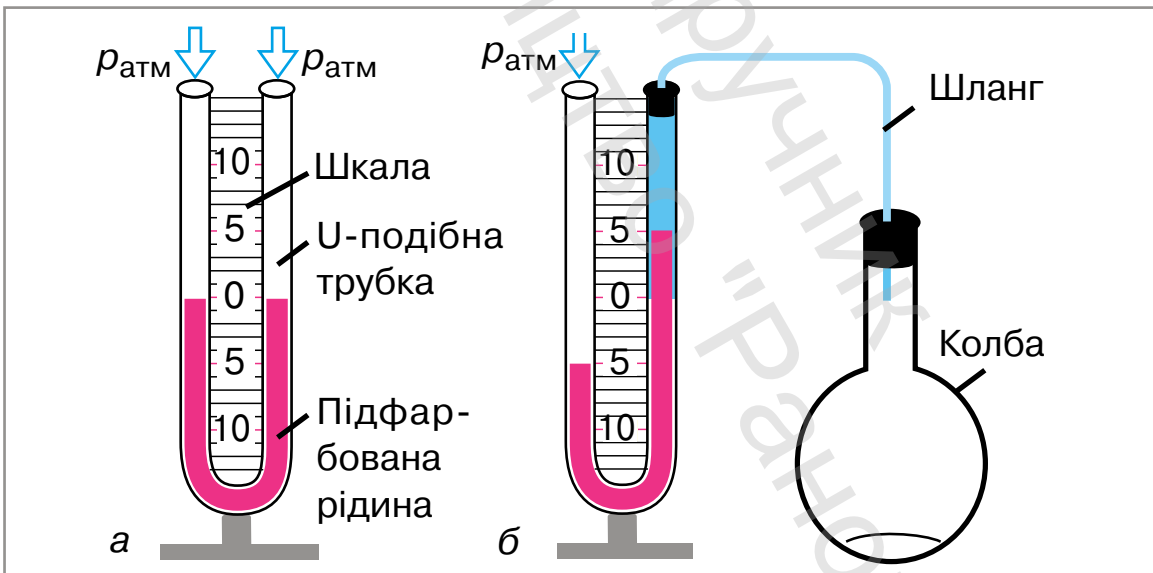


Рис. 32.6. U-подібна трубка, яка наповнена рідиною і має шкалу, — відкритий рідинний манометр: а — будова; б — вимірювання тиску газу в колбі

10 см ($h=0,1$ м). Отже, тиск газу в колбі менший від атмосферного тиску на 980 Па:

$$\rho_{\text{води}}gh = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 9,8 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 0,1 \text{ м} = 980 \text{ Па.}$$

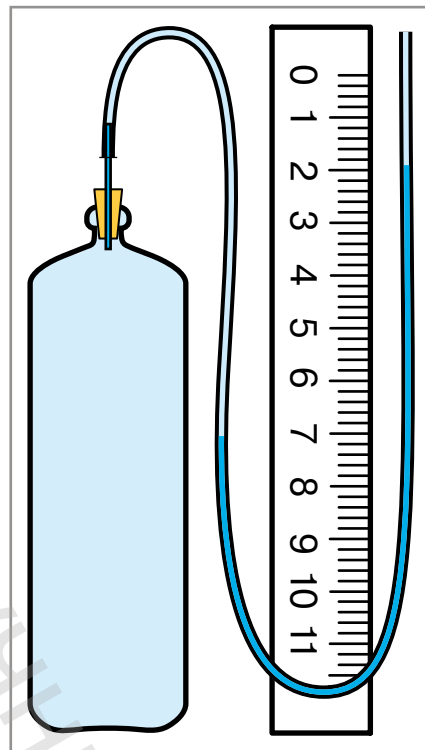
🔍 Дослідження

Що знадобиться: порожня пластикова пляшка; прозора трубка; вода; лінійка; пластилін.

Розгляньте [рисунок](#) і сконструйте манометр, який вимірюватиме різницю тисків в атмосфері та в пляшці.

1. З'ясуйте зміну тиску повітря в пляшці внаслідок зміни її об'єму; температури.

2. Запишіть зміни рівня води протягом тижня. Простежте взаємозв'язок зміни рівня води з погодою.



3. Як манометри використовують у техніці?

Рідинний манометр не завжди зручний у використанні: необхідно готувати його до вимірювань (наливати рідину до потрібного рівня), здійснювати обчислення. Тому в техніці використовують *металеві деформаційні манометри* ([рис. 32.7](#)).

Основний елемент металевого деформаційного манометра — гнучка дугоподібна трубка 1, один кінець

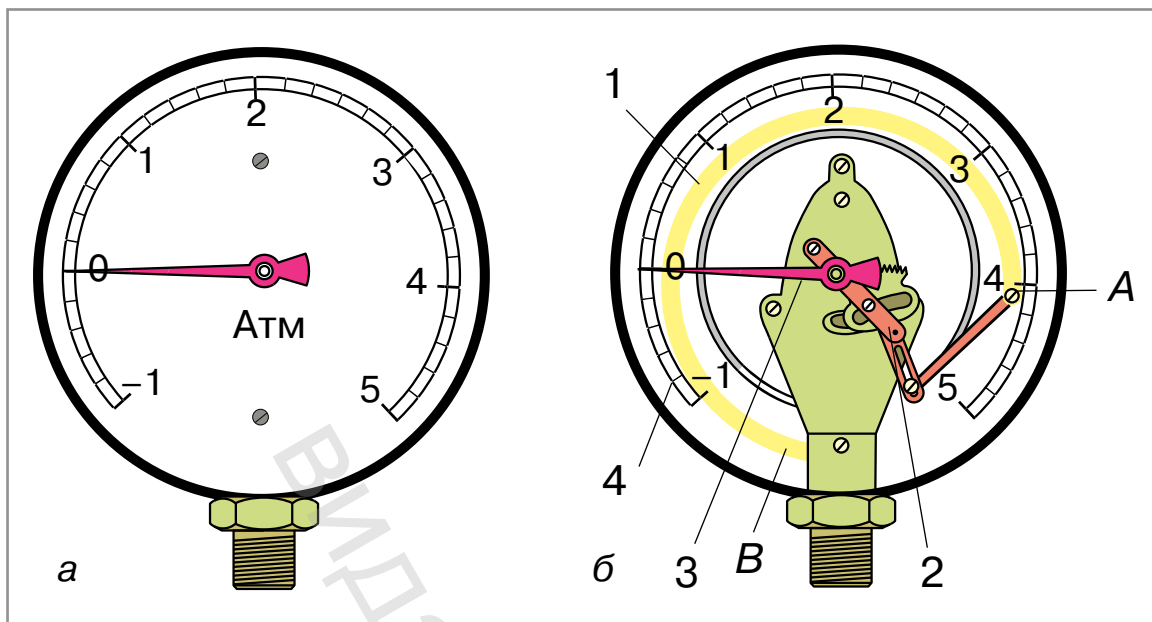


Рис. 32.7. Металевий деформаційний манометр: а — загальний вигляд; б — будова: трубку 1 за допомогою передавального механізму 2 з'єднано зі стрілкою 3. Тиск визначають за шкалою 4

якої (А) є запаяним. Інший кінець трубки (В) сполучають із резервуаром, де потрібно виміряти тиск.

Якщо тиск газу всередині трубки більший за атмосферний, то гнучка трубка розпрямляється, а її рух передається через механізм 2 до стрілки 3, що рухається вздовж шкали 4 приладу. Після зменшення тиску газу до атмосферного трубка повертається в початкове (недеформоване) положення, а стрілка зупиняється на позначці 0. Шкала металевого деформаційного манометра проградуєвана в атмосферах або в паскалях.

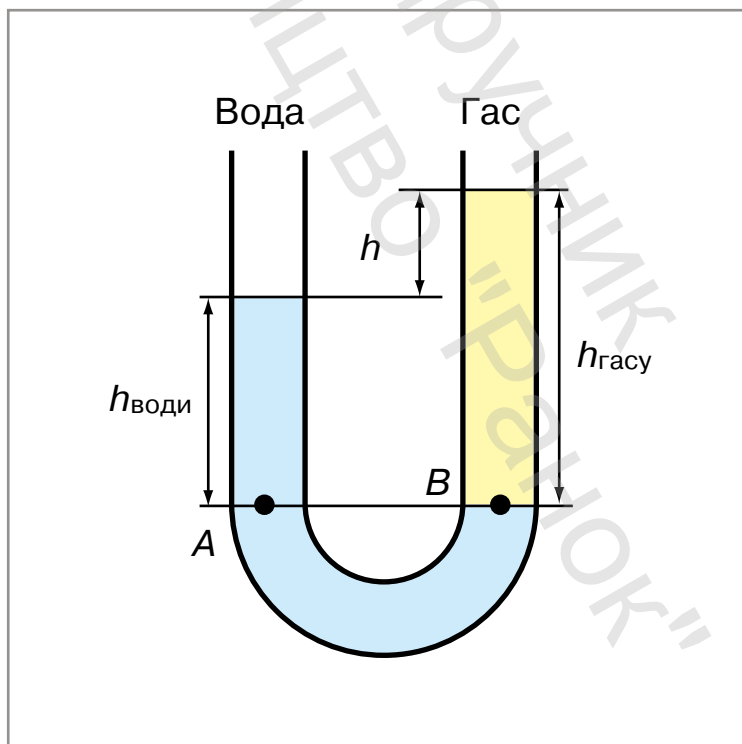
Зверніть увагу! Металевий деформаційний манометр, як і рідинний, показує, *на скільки* вимірюваний тиск більший або менший, ніж атмосферний.

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** У праве коліно відкритої U-подібної трубки, яка містила воду, налили шар гасу висотою 12,5 см (див. [рисунок](#)). Визначте різницю h рівнів води й гасу в правому та лівому колінах U-подібної трубки. Гас і вода не змішуються ■.

Аналіз фізичної проблеми. Для одержання відповіді слід знайти висоту стовпчика води ($h_{\text{води}}$). Скористаємося тим, що на рівні AB тиски є однаковими. Тиск на цьому рівні складається з атмосферного тиску та гідростатичного тиску відповідної рідини.

Для визначення гідростатичних тисків рідин необхідно знати густини рідин, які дістанемо з *таблиці густин*. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.



Дано:

$$h_{\text{гасу}} = 12,5 \text{ см} = 0,125 \text{ м}$$

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

$$\rho_{\text{гасу}} = 800 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

Знайти:

h — ?

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Знайдемо тиск у точках А і В:

$$p_A = p_{\text{атм}} + \rho_{\text{води}} g h_{\text{води}};$$

$$p_B = p_{\text{атм}} + \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}.$$

$$p_A = p_B, \text{ ТОМУ:}$$

$$\rho_{\text{води}} g h_{\text{води}} = \rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}} \Rightarrow$$

$$\Rightarrow h_{\text{води}} = \frac{\rho_{\text{гасу}} g h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}} g} = \frac{\rho_{\text{гасу}} h_{\text{гасу}}}{\rho_{\text{води}}}.$$

$$\left[h_{\text{води}} \right] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \text{м}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{м}; \quad h_{\text{води}} = \frac{800 \cdot 0,125}{1000} = 0,1 \text{ (м)}.$$

Отже, різниця рівнів води й гасу в правому і лівому колінах трубки: $h = 12,5 \text{ см} - 10 \text{ см} = 2,5 \text{ см}$.

Відповідь: $h = 2,5 \text{ см}$.

А як насправді?

Усі океани й майже всі моря Землі з'єднані між собою. Тож природно розглядати океани як гігантські сполучені посудини та дійти висновку, що рівень води всюди однаковий. Але що робити з явищем припливів і відливів? Так, в Одесі рівень моря завжди однаковий. А ось у бельгійському містечку Остенде на березі Північного моря вода в певні години відступає на сотні метрів. Можливо, в Україні та Бельгії діють різні закони фізики? А як насправді?



Підбиваємо підсумки

Сполучені посудини — це посудини, з'єднані між собою так, що між ними може перетікати рідина.

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

За **манометром** (рідинним, металевим) можна визначити, на скільки тиск у газі більший або менший, ніж атмосферний тиск



Контрольні запитання

1. Наведіть приклади сполучених посудин. **2.** Сформулюйте властивості сполучених посудин. **3.** Що таке манометр? **4.** Як працює відкритий рідинний манометр? **5.** Опишіть будову та принцип дії металевого деформаційного манометра.



Вправа № 32

- ◆ **1.** Ліве коліно манометра відкрите в атмосферу (рис. 1). Який тиск більший — атмосферний чи в балоні? На скільки?

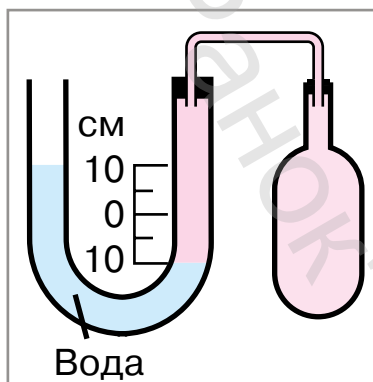


Рис. 1

- ◆ 2. У деяких храмах Стародавньої Греції була так звана «невичерпна чаша» (рис. 2). Поясніть за рисунком, як працювало це «диво».

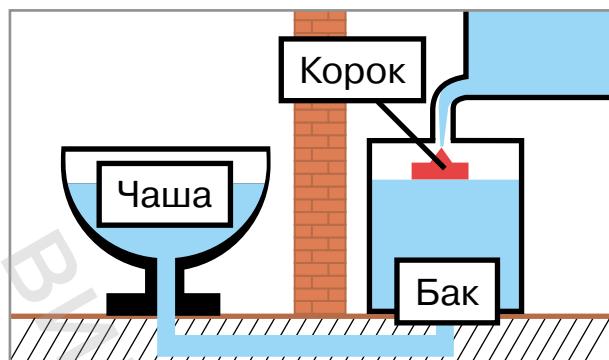


Рис. 2

- ◆ 3. Яким є тиск газу в колбі В (рис. 3), якщо тиск газу в колбі А дорівнює 100 гПа?

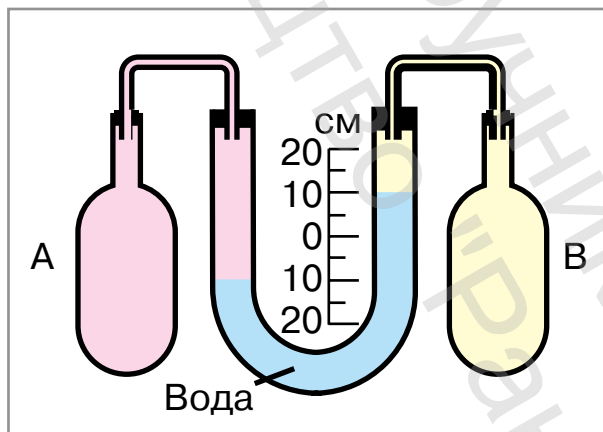


Рис. 3



Ключові терміни

Сполучені посудини; манометр



§ 33. ГІДРАВЛІЧНІ ТА ПНЕВМАТИЧНІ ПРИСТРОЇ

Напевно, ви бачили невеличку річку, на якій побудована гребля та створено водосховище. Рівень води до та після греблі може відрізнятись на кілька метрів, а от на великій річці ця різниця може сягати й сотень метрів. Як тоді забезпечити судноплавство? Запропонувати кораблям «стрибати» з греблі?

Питання для обговорення. На [рис. 33.1](#) схематично зображено гідротехнічну споруду. Висловіть припущення щодо її призначення та принципу роботи.

1. Як кораблі долають греблі?

Для вирішення проблеми винайшли *шлюз*.

Судноплавний шлюз — гідротехнічна споруда для забезпечення переходу судна на плаву з однієї водойми в іншу з різними рівнями води.

Найпростіший судноплавний шлюз — це «коридор без стелі», що з'єднує обидві сторони греблі та обладнаний воротами. Розміри «коридору» досить великі, що дозволяє суднам увійти всередину.

Як працює шлюз? За своєю суттю шлюз — це система сполучених посудин. Розглянемо процес підняття корабля у водосховище (рис. 33.1).

Спочатку судно повільно підходить до зачинених нижніх воріт шлюзу. Якщо рівень води в шлюзі однаковий із рівнем води біля корабля в річці (як показано на рис. 33.1), нижні ворота відчиняються, судно входить у шлюз і нижні ворота зачиняються. Після цього поряд із верхніми воротами відкривається отвір і вода поступово заповнює шлюз. Коли рівень води в шлюзі вирівнюється з рівнем води у водосховищі, верхні ворота відчиняються і корабель повільно виходить зі шлюзу. Дії для спуску корабля виконуються у зворотному порядку (у такому разі відчинятиметься отвір біля нижніх воріт).

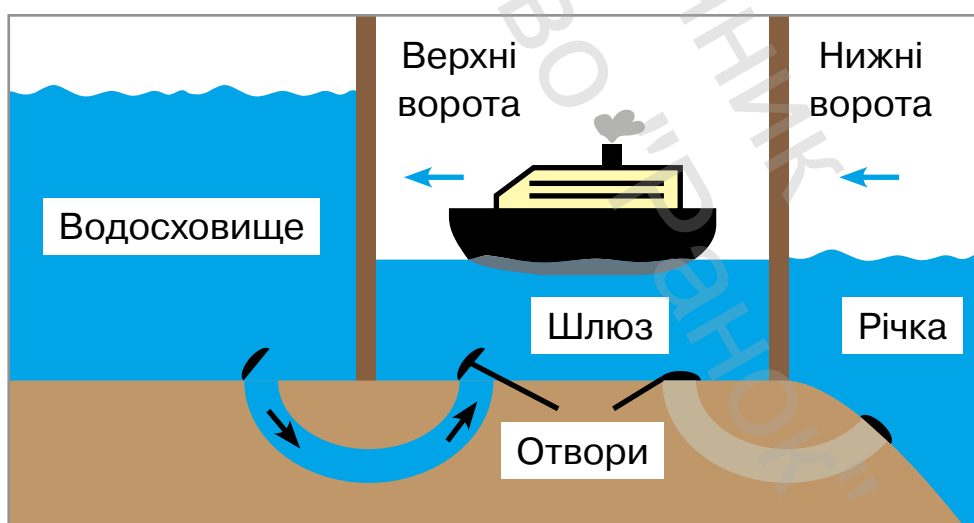


Рис. 33.1. Схематичне зображення шлюзу

Чи знаєте ви, що...

На заставці до § 33 зображено корабель, що прямує *Панамським каналом*. Цей канал — одна з найбільших гідротехнічних споруд у світі. Довжину каналу скорочено завдяки водоймам, зокрема великому озеру Гатун. Рівень води в озері майже на 26 м вищий за рівень води у Світовому океані, що вимагало створення шлюзів як з боку Тихого, так і з боку Атлантичного океанів. Розміри шлюзів величезні, проте судна завдовжки понад 300 м не можуть пройти через Панамський канал. Це спричинило встановлення стандарту світового судноплавства, відомого як «Панамакс».

2. Як підняти автомобіль однією рукою?

У виготовленні деталей для механізмів, у процесах виробництва олії, пресування фанери тощо застосовують гідравлічний прес.

Гідравлічний прес — це найпростіша гідравлічна машина, призначена для створення великих сил тиску.

Гідравлічний прес складається з двох сполучених між собою циліндрів різного діаметра, які заповнені робочою рідиною (частіше мастилом) і закриті рухомими поршнями (рис. 33.2, а).

Якщо до поршня меншого циліндра прикласти силу \vec{F}_1 (рис. 33.2, б), то ця сила створить на поверхню рідини певний додатковий тиск p :

$$p = \frac{F_1}{S_1}, \text{ де } S_1 \text{ — площа меншого поршня.}$$

Згідно із законом Паскаля цей додатковий тиск передаватиметься в усі точки рідини, яка заповнює

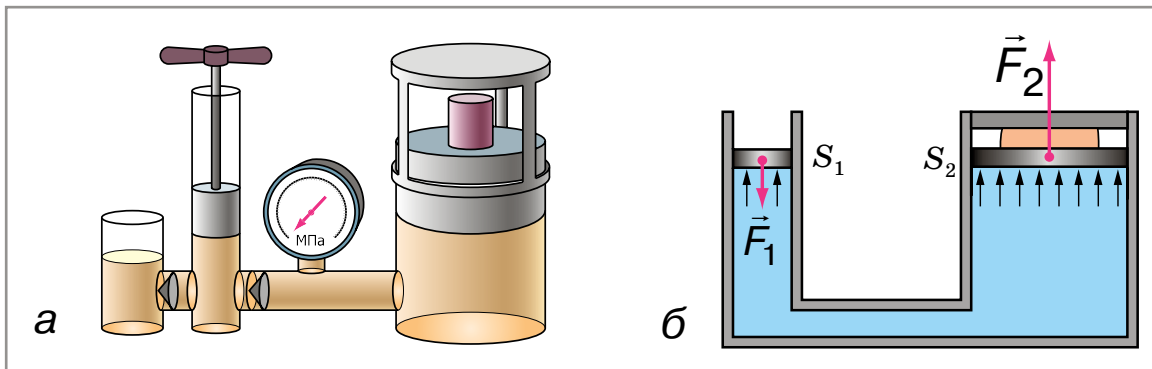


Рис. 33.2. Гідравлічний прес: а — загальний вигляд; б — принцип дії. Гідравлічний прес дає змогу одержати вигреш у силі: діючи на малий поршень із площею S_1 меншою силою F_1 , можна стискати (пресувати) тіло, розташоване над поршнем із площею S_2 , більшою силою F_2

сполучені циліндри. Отже, рідина почне тиснути на поршень більшого циліндра з певною силою \vec{F}_2 : $F_2 = pS_2$, де S_2 — площа більшого поршня; p — додатковий тиск.

Оскільки $p = \frac{F_1}{S_1}$, то маємо: $F_2 = \frac{F_1}{S_1} \cdot S_2 = F_1 \cdot \frac{S_2}{S_1}$, або $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

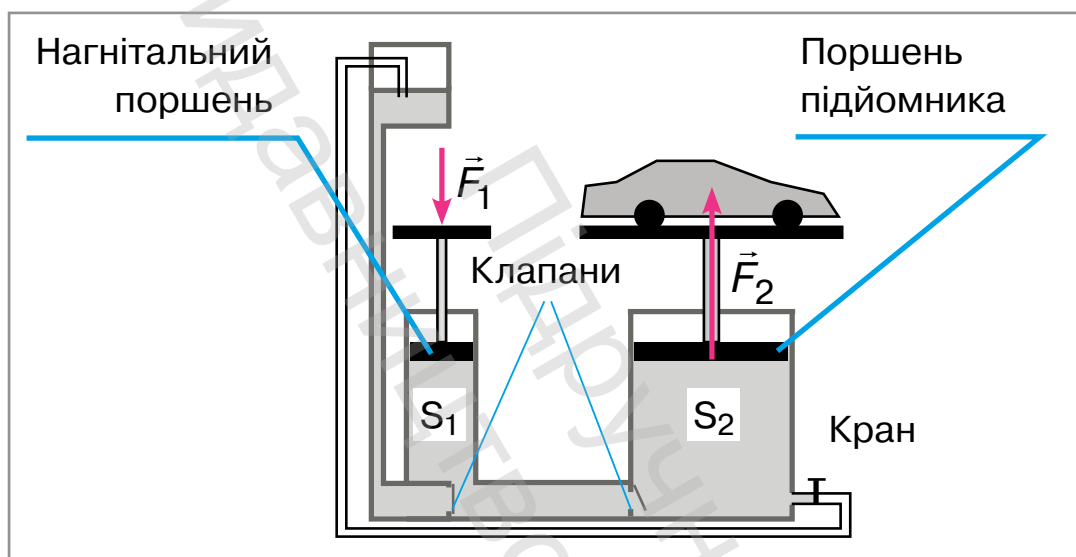
Сила F_2 , яка діє з боку рідини на великий поршень, є більшою за силу F_1 , яка діє на малий поршень, у стільки разів, у скільки площа S_2 великого поршня

більша за площу S_1 малого: $\frac{F_2}{F_1} = \frac{S_2}{S_1}$.

Гідравлічний прес дозволяє одержати значний вигреш у силі: чим більше різнитимуться між собою площі поршнів, тим більший вигреш у силі матимемо. За таким

принципом працюють й інші гідравлічні пристрої: гідравлічний підйомник, гідравлічне гальмо, яке дозволяє зупинити автомобіль, приклавши незначну силу тиску ноги, тощо.

Гідравлічний підйомник дозволяє, приклавши невелику силу, підняти важкий автомобіль. Спробуйте розібратися за рисунком, як працює гідравлічний підйомник. Поміркуйте, яка функція клапанів.



А як насправді?

Природні алмази утворюються на глибині сотень кілометрів під впливом тиску в мільйони кілопаскалів і за температури вище $1000\text{ }^\circ\text{C}$. Ученим вдалося відтворити природний процес утворення алмазів за допомогою використання суперпресів у поєднанні з нагріванням до високих температур. Виробництво штучних алмазів зараз реалізується на промисловому рівні. Крім того, нібито існує технологія, яка дозволяє отримувати якісні алмази за низького тиску. Як ви думаєте, чи є це правдою?

3. Які гідравлічні та пневматичні пристрої ви знаєте?

Для керування першими літаками вистачало лише м'язової сили пілота. У сучасних літаках навіть казковому велетню не вистачило б довжини рук та сили м'язів, щоб зупинити літак після приземлення, випустити або сховати шасі. Сучасний пілот робить це дотиком пальця завдяки *гідравлічним пристроям* (рис. 33.3). Без допомоги таких пристроїв не може працювати й будь-яка дорожня техніка, зокрема екскаватори, самоскиди, бульдозери.

Аби полум'я не згасло, людина вдихає повітря та дмухає на вугілля. У такий спосіб легені виконують функцію, подібну до роботи *пневматичного пристрою* (від грец. *pneumaticos* — повітряний, дихальний).

Аерозольний балончик із фарбою або дозатор у флаконі з антисептиком слугують прикладами *пневматичних пристроїв*. У промисловості використовують фарбопульти, що під'єднані до лінії, яка подає повітря під високим тиском до пультів (рис. 33.4).



Рис. 33.3. Гідравлічні пристрої допомагають «розкрити» крила сучасного літака та сприяють швидшому гальмуванню під час посадки



Рис. 33.4. Промислове фарбування сталевих конструкцій за допомогою фарбопульта



Дослідження

Знайдіть у домашньому господарстві вашої родини щонайменше 5 різних гідравлічних і пневматичних пристроїв. Поясніть, як вони працюють.

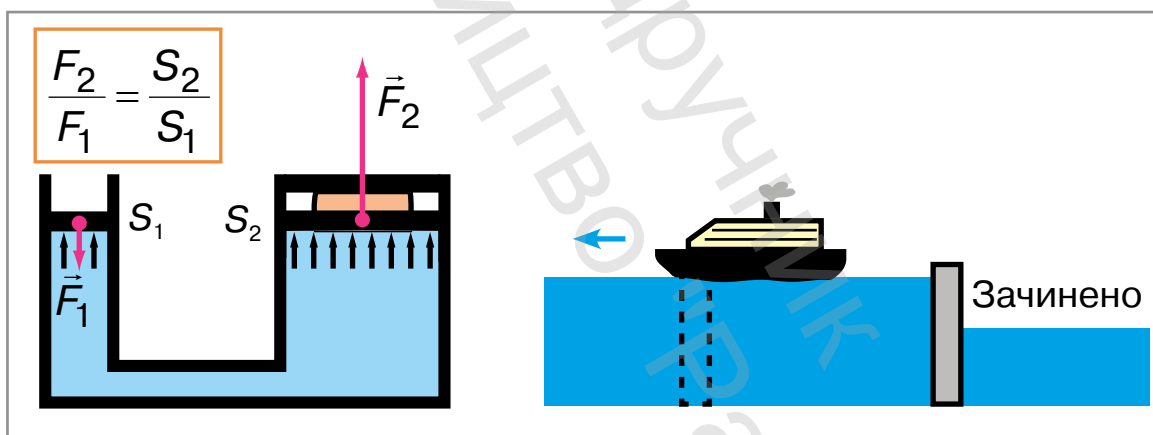


Підбиваємо підсумки

Дія гідравлічної машини базується на властивості рідин передавати тиск однаково в усіх напрямках.

Гідравлічний прес — це гідравлічна машина, яку використовують для створення великих сил тиску.

Принцип дії шлюзів заснований на властивості рідини в сполучених посудинах установлюватися на одному рівні.



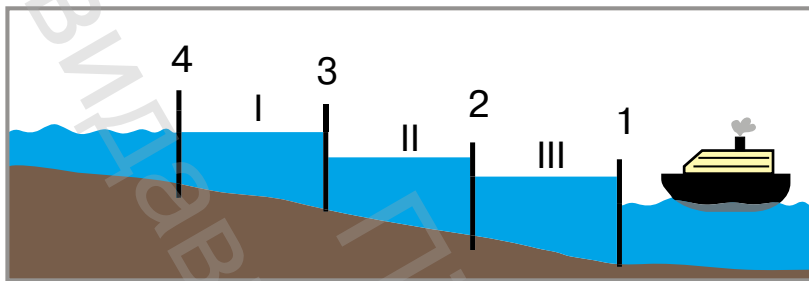
Контрольні запитання

1. Доведіть, що властивість рідин і газів передавати тиск в усіх напрямках має неабияке значення в нашому житті. **2.** Що таке гідравлічний прес і де його застосовують? **3.** Для чого призначений і як працює шлюз?



Вправа № 33

- ◆ 1. Уявіть, що ви оператор шлюзу. Складіть систему команд для переведення судна через камери шлюзу. Дозволяється використовувати команди: відчинити (зачинити) ворота (1, 2, 3, 4); спустити воду з камери (I, II, III); запустити воду в камеру (I, II, III); перейти в камеру (I, II, III).



- ◆ 2. Площа малого поршня гідравлічної машини становить 15 см^2 , а великого — 3 дм^2 . Визначте максимальну масу вантажу, який можна підняти, приклавши до малого поршня силу 200 Н .
- ◆ 3. Під дією сили 300 Н малий поршень гідравлічної машини опустився на 4 см , а великий поршень піднявся на 1 см . Визначте силу, яка діяла на великий поршень.
- ◆ 4. Дізнайтеся, як працюють деякі гідравлічні пристрої (гідравлічна система гальмування автомобіля, гідравлічні ножиці тощо).



Ключові терміни

Гідравлічні пристрої; пневматичні пристрої; шлюз

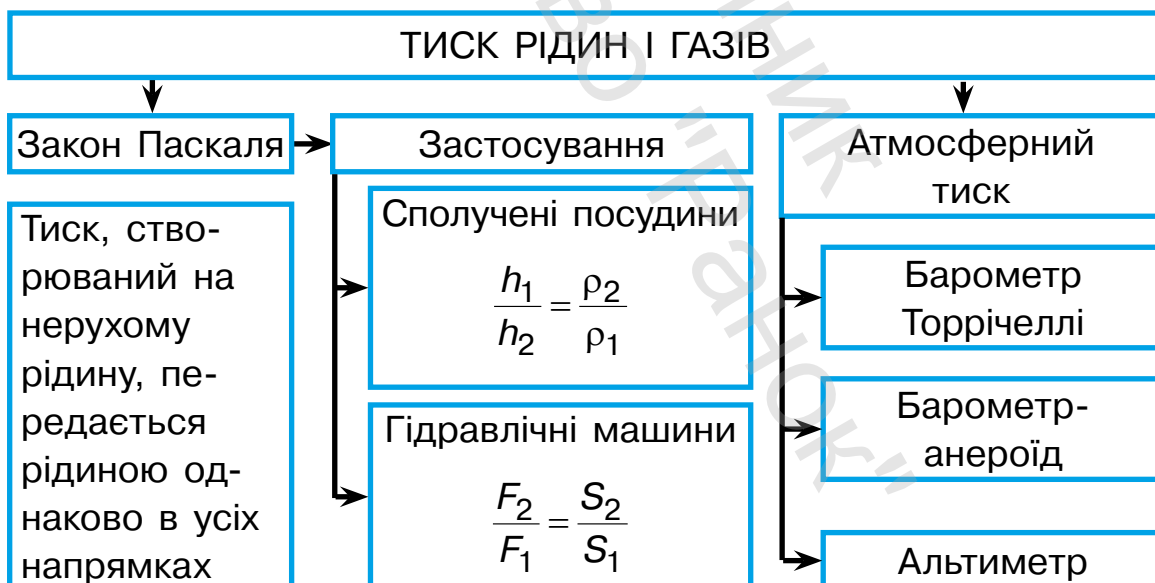
ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

Частина 4 «Тиск твердих тіл, рідин і газів»

1. Ви дізналися про фізичну величину — *тиск*.

ФІЗИЧНА ВЕЛИЧИНА — ТИСК				
Що характеризує	Формула	Одиниця в СІ	Способи вимірювання	Особливості
Результат дії сили	$p = \frac{F}{S}$ <p>F — сила, що діє перпендикулярно до поверхні; S — площа поверхні</p>	Па (паскаль) $1 \text{ Па} = \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$	<ul style="list-style-type: none"> • За силою та площею. • Манометр (тиск газів і рідин). • Барометр (атмосферний тиск) 	Гідростатичний тиск визначають за формулою: $p_{\text{атм}} = \rho gh$

2. Ви дізналися про закон Паскаля, довели наявність *атмосферного тиску*.



- 3.** Ви встановили залежність тиску p (твердих тіл; рідин; газів) від інших фізичних величин: сили F , площі опори S , висоти h .

Тиск твердих тіл	Якщо $F \uparrow$, то $p \uparrow$
	Якщо $S \uparrow$, то $p \downarrow$
Атмосферний тиск	Якщо $h \uparrow$, то $p_{\text{атм}} \downarrow$
Гідростатичний тиск	Якщо $h \uparrow$, то $p_{\text{гідр}} \uparrow$

ЗАВДАННЯ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ ДО РОЗДІЛУ 3

Частина 4 «Тиск твердих тіл, рідин і газів»



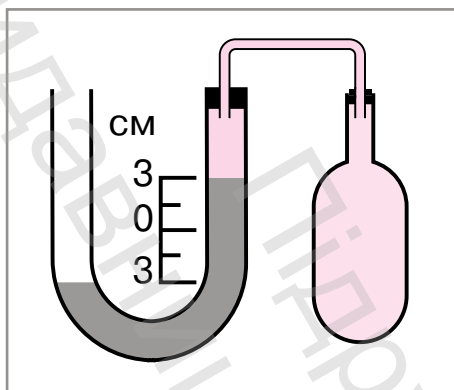
rnk.com.ua/
106678

У завданнях 1–5 виберіть одну правильну відповідь.

- (1 бал)* Для вимірювання атмосферного тиску використовують:
 - ареометр;
 - барометр;
 - динамометр;
 - манометр.
- (1 бал)* Тиск рідини в посудині:
 - однаковий у всіх точках;
 - зростає зі збільшенням глибини;
 - зменшується зі збільшенням глибини;
 - зростає зі зменшенням густини рідини.

- 3.** (2 бали) За допомогою ручної помпи хлопчик накачував шини велосипеда. Тиск повітря в шинах збільшився внаслідок:
- а) збільшення об'єму шин;
 - б) збільшення маси повітря в шинах;
 - в) зменшення густини повітря в шинах;
 - г) зменшення швидкості руху молекул повітря всередині шин.
- 4.** (2 бали) Заміна коліс на гусениці дозволяє значно підвищити прохідність трактора. Це відбувається внаслідок:
- а) збільшення потужності двигуна;
 - б) збільшення маси трактора;
 - в) зменшення тиску трактора на ґрунт;
 - г) збільшення швидкості руху трактора.
- 5.** (2 бали) На горизонтальній поверхні стола розташовані три суцільні кубики однакового розміру: мідний, алюмінієвий і чавунний. Який кубик створює на стіл найбільший тиск?
- а) мідний;
 - б) чавунний;
 - в) алюмінієвий;
 - г) тиск усіх кубиків є однаковим.
- 6.** (3 бали) Який тиск створює вістря цвяха на дошку, якщо площа вістря цвяха — $0,6 \text{ мм}^2$, а сила, з якою він діє на дошку, дорівнює 30 Н ?
- 7.** (3 бали) Визначте, на якій глибині тиск у водоймі дорівнює 250 кПа . Вважайте, що атмосферний тиск становить 100 кПа .

8. (4 бали) Подайте в міліметрах ртутного стовпа тиск 136 кПа.
9. (6 балів) Припустимо, що в рідинний манометр налито рідину з густиною 1300 кг/м^3 (див. [рисунок](#)). Праве коліно манометра з'єднане з газовим балоном, а ліве відкрите в атмосферу. Яким є тиск у балоні, якщо атмосферний тиск дорівнює 750 мм рт. ст.? Відповідь дайте в кілопаскалях.



Звірте ваші відповіді на завдання з наведеними наприкінці підручника. У завданнях, які ви виконали правильно, полічіть суму балів і поділіть її на 2. Одержане число відповідатиме рівню ваших навчальних досягнень.

ТЕМИ РЕФЕРАТИВ І ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Життя і досягнення Блеза Паскаля.
2. Демонстрація сили тиску атмосферного повітря: дивовижний дослід бургомістра Маґдебурґа Отто фон Геріке.

3. Гідравлічні машини.
4. Гальма автомобіля як гідравлічна машина.
5. Склад атмосфери й атмосферний тиск на планетах Сонячної системи.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Створення моделі фонтана й демонстрація його дії.
2. Створення моделі «Барометр для рибалок».
3. Створення пристрою для демонстрації залежності гідростатичного тиску рідини від глибини занурення.
4. Проведення низки дослідів для демонстрації атмосферного тиску.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Повітряна оболонка Землі. Атмосферний тиск і його застосування. Вплив атмосферного тиску на самопочуття людини.
2. Гідравлічні машини та механізми: гальма автомобіля, помпи, амортизатори тощо.
3. Фонтани: природні та штучні.

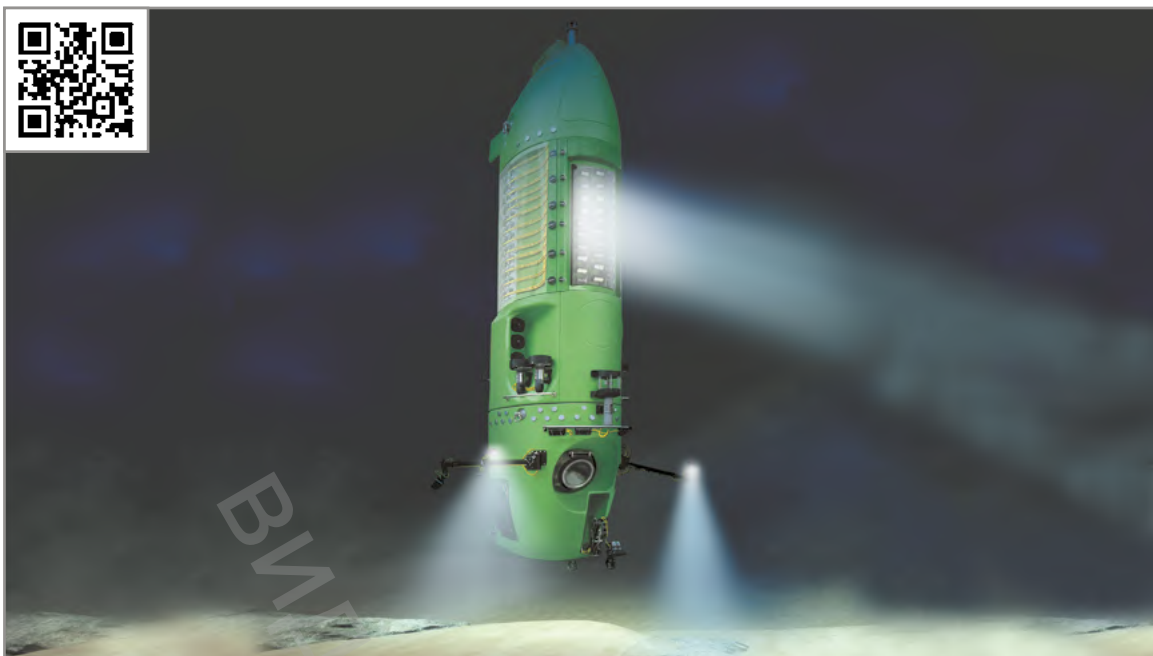
Розділ 3

Взаємодія тіл. Сили в природі

Частина 5. «Виштовхувальна сила. Плавання тіл»

- Ви знаєте, що вода «допомагає» підняти тіло, а дізнаєтеся, чому так відбувається
- Ви бачили, як злітають у небо повітряні кульки з гелієм, а зможете розрахувати розміри кулі, що підніме в повітря саме вас
- Ви знаєте, що водні мешканці почуваються комфортно в морських глибинах, а дізнаєтеся, навіщо і як вони змінюють середню густину свого тіла





§ 34. ВИШТОВХУВАЛЬНА СИЛА В РІДИНАХ І ГАЗАХ. ЗАКОН АРХІМЕДА

Чому м'яч, який занурили у воду й відпустили, вискакує над поверхнею води? Чому важкий камінь, який на суходолі не можна посунути з місця, легко підняти під водою? Чому корабель, що сів на мілину, не може самотужки зрушити з місця? Спробуємо розібратися!

1. Чому тіла у воді здаються легкими?

Підвісимо до коромисла терезів дві однакові кулі. Маса куль є рівними, отже, терези будуть зрівноважені (рис. 34.1, а). Підставимо під праву кулю порожню посудину (рис. 34.1, б). Наллємо в посудину воду й побачимо, що рівновага терезів порушилася (рис. 34.1, в), — якась сила намагається виштовхнути кулю

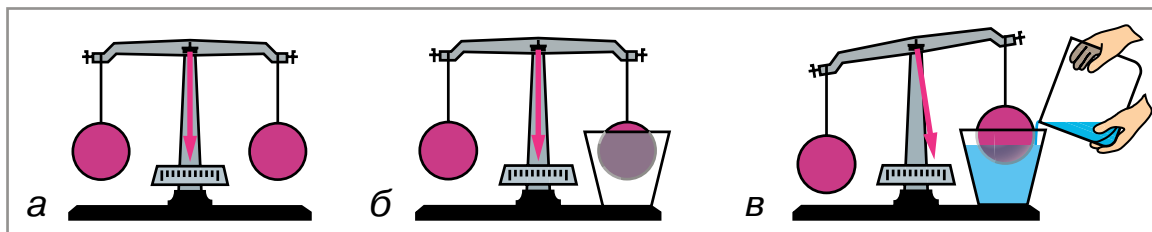


Рис. 34.1. У воді на кулю діє сила, напрямлена вгору

з води. Звідки береться ця сила? Щоб розібратися, розглянемо занурений у рідину кубик. На нього з усіх боків діють сили гідростатичного тиску рідини (рис. 34.2).

Сили гідростатичного тиску \vec{F}_3 і \vec{F}_4 , що діють на бічні грані кубика, є протилежними за напрямком і рівними за значенням, оскільки площі бічних граней однакові й ці грані розташовані на однаковій глибині. Такі сили зрівноважують одна одну.

А от сили гідростатичного тиску \vec{F}_1 і \vec{F}_2 , що відповідно діють на верхню та нижню грані кубика, одна одну не зрівноважують.

На верхню грань кубика діє сила тиску \vec{F}_1 :

$$F_1 = p_1 S = \rho_{\text{рід}} g h_1 S,$$

де $p_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1$ — гідростатичний тиск рідини; S — площа грані.

На нижню грань кубика діє сила тиску \vec{F}_2 :

$$F_2 = p_2 S = \rho_{\text{рід}} g h_2 S.$$

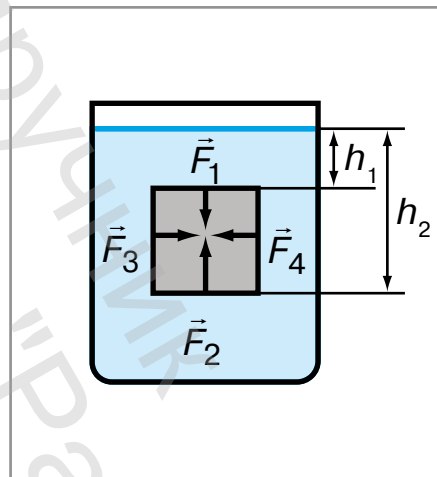


Рис. 34.2. Сила тиску \vec{F}_2 , яка діє на нижню грань кубика, більша за силу тиску \vec{F}_1 , що діє на верхню грань ($F_2 > F_1$)

Нижня грань перебуває на більшій глибині, ніж верхня ($h_2 > h_1$), тому сила тиску F_2 більша за силу тиску F_1 . Рівнодійна цих сил напрямлена в бік дії більшої сили, тобто вертикально вгору.

На кубик, занурений у рідину, вертикально вгору діє сила, зумовлена різницею тисків на його нижню та верхню грані, — **виштовхувальна сила**:

$$F_{\text{вишт}} = F_2 - F_1.$$

На тіло в газі також діє виштовхувальна сила, але значно менша, ніж та, що діє на те саме тіло в рідині, адже густина газу набагато менша від густини рідини.

Виштовхувальну силу, що діє на тіло в рідині або в газі, називають також **архімедовою силою** (на честь давньогрецького вченого *Архімеда*, який першим звернув увагу на її існування та визначив її значення).



Дослідження

Що знадобиться: скляна посудина з прозорими стінками; газована вода; кілька родзинок.

Наповніть посудину газованою водою. Киньте родзинки у воду. Ви побачите, як родзинки спочатку тонуть, а за деякий час підіймаються на поверхню. Потім процес повторюється.

Поясніть, чому родзинки спливають. Які сили на них діють? Чи можете ви пояснити, чому родзинки рухаються вгору та вниз? Якщо ні, поверніться до цього питання після опрацювання § 35.



2. Як розрахувати архімедову силу?

Отримаємо формулу для визначення архімедової (виштовхувальної) сили для кубика, повністю зануреного в рідину (рис. 34.3):

$$F_{\text{арх}} = F_2 - F_1,$$

де $F_1 = \rho_{\text{рід}} g h_1 S$ — сила тиску рідини на верхню грань кубика; $F_2 = \rho_{\text{рід}} g h_2 S$ — сила тиску рідини на нижню грань кубика. Отже:

$$\begin{aligned} F_{\text{арх}} &= \rho_{\text{рід}} g h_2 S - \rho_{\text{рід}} g h_1 S = \\ &= \rho_{\text{рід}} g S (h_2 - h_1). \end{aligned}$$

$h_2 - h_1$ — це висота h кубика, $S \cdot h$ — це об'єм V кубика. Тож маємо формулу для розрахунку архімедової сили:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V$$

Тут $\rho_{\text{рід}} V$ — це маса рідини в об'ємі кубика, тобто маса рідини, об'єм якої дорівнює об'єму кубика. Оскільки $\rho_{\text{рід}} V = m_{\text{рід}}$, то

$$F_{\text{арх}} = m_{\text{рід}} g = P_{\text{рід}}.$$

Архімедова сила дорівнює вазі рідини в об'ємі кубика: $F_{\text{арх}} = P_{\text{рід}}$.

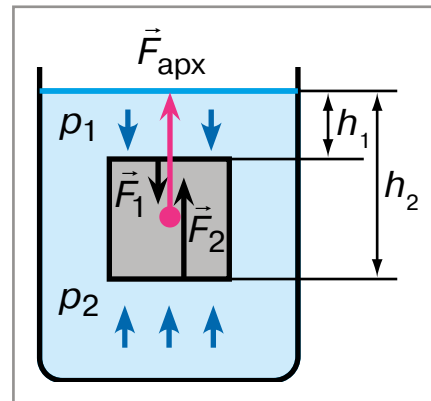


Рис. 34.3. Архімедова сила дорівнює різниці сил тисків рідини на нижню та верхню грані кубика:

$$\vec{F}_{\text{арх}} = \vec{F}_2 - \vec{F}_1$$

Одержаний результат справджується для тіла будь-якої форми й у випадках, коли тіло занурене в рідину частково, — лише потрібно брати *об'єм зануреної в рідину частини тіла*. Крім того, результат справджується й для газів.

А тепер сформулюємо **закон Архімеда**:

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід (газу)}} g V_{\text{зан}},$$

де $F_{\text{арх}}$ — архімедова сила; $\rho_{\text{рід (газу)}}$ — густина рідини або газу; $V_{\text{зан}}$ — об'єм зануреної частини тіла.

Архімедова сила прикладена до центра зануреної частини тіла та напрямлена вертикально вгору (рис. 34.4).

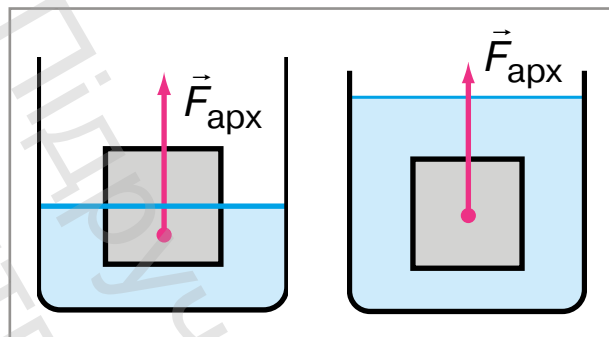


Рис. 34.4. Точка прикладання та напрямок дії архімедової сили

3. Чи завжди на тіло, занурене в рідину, діє архімедова сила?

У воді ви можете легко підняти, наприклад, друга чи подругу, хоча сильнішими не стаєте. Здається, що у воді тіло «втрачає» частину своєї ваги. Але *втрати ваги тіла в рідині не відбувається*, адже в будь-якому разі тіло тисне на опору — рідину.

Коли тіло плаває, його вага розподіляється на воду, що оточує всю поверхню тіла. Тому під час плавання вам здається, що ви втратили вагу. Такі комфортні умови підтримування важкого



Рис. 34.5. Найбільша тварина на нашій планеті — кит, маса якого може сягати 150 т, а довжина — 35 м

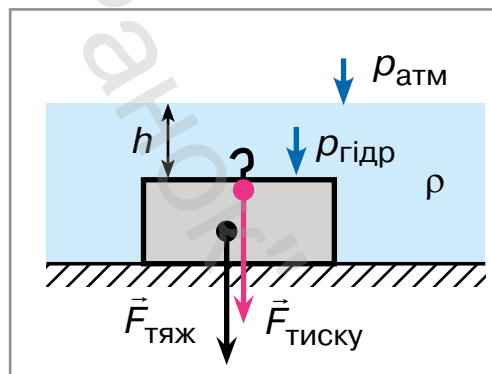
тіла зумовили те, що внаслідок еволюції наймасивніші істоти на Землі мешкають в океані (рис. 34.5).

Саме архімедова сила допомагає підіймати у воді важкі предмети, адже частина сили тяжіння, що діє на ці тіла, зрівноважується не силою наших рук, а виштовхувальною силою.

Однак є випадки, коли вода не допомагає підняти тіло, а, навпаки, заважає. Це буває, коли тіло лежить на дні й щільно до нього прилягає. Вода не може потрапити під нижню поверхню тіла й допомогти своїм тиском підняти його.

Щоб відірвати тіло від дна, треба подолати силу тяжіння, яка діє на тіло, а також силу тиску води на верхню поверхню тіла (рис. 34.6). Це явище може

Рис. 34.6. На тіло, яке щільно прилягає до дна, архімедова сила не діє, натомість додатково діє сила тиску: $F_{\text{тиску}} = pS$, де $p = p_{\text{атм}} + \rho gh$



призвести й до трагедії: якщо підводний човен опуститься на глинисте дно й витіснить із-під себе воду, самотужки спливати він не зможе.

А як насправді?

Незвичайна подорож на стратостаті на висоту приблизно 30 км! Дванадцять щасливчиків стануть пасажирами герметичної гондоли, у якій можна перебувати без скафандрів. Як ви вважаєте, чи є це правдою?

4. Учимося розв'язувати задачі

■ **Задача.** Суцільний алюмінієвий брусок масою 540 г повністю занурений у воду й не торкається дна та стінок посудини. Визначте архімедову силу, що діє на брусок. ■

Аналіз фізичної проблеми. Для обчислення архімедової сили потрібно знати густину води та об'єм бруска. Об'єм бруска визначимо за його масою та густиною. Густини води та алюмінію дізнаємось із таблиць густин. Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Дано:

$$m = 540 \text{ г} = 0,54 \text{ кг}$$

$$\rho_{\text{ал}} = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

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

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$$F_{\text{арх}} = ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За законом Архімеда:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} g V_{\text{бр}}$$

З означення густини:

$$\rho_{\text{ал}} = \frac{m}{V_{\text{бр}}} \Rightarrow V_{\text{бр}} = \frac{m}{\rho_{\text{ал}}}$$

Підставимо одержаний вираз у формулу для розрахунку архімедової сили:

$$F_{\text{арх}} = \frac{\rho_{\text{води}} g m}{\rho_{\text{ал}}}.$$

Перевіримо одиницю, знайдемо значення шуканої величини:

$$[F_{\text{арх}}] = \frac{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot \text{кг}}{\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}} = \text{Н};$$

$$F_{\text{арх}} = \frac{1000 \cdot 10 \cdot 0,54}{2700} = 2 \text{ (Н)}.$$

Відповідь: $F_{\text{арх}} = 2 \text{ Н}$.

Чи знаєте ви, що...

Батискаф — глибоководний апарат для досліджень на великій морській глибині, оснащений механізмами для самостійного пересування під водою. У 1960 р. батискаф «Трієст» установив рекорд, занурившись на майже 11 км у найглибше місце Світового океану — Маріанську западину. Повторне занурення в Маріанську западину відбулося лише за 52 роки на батискафі «Deepsea Challenger» (див. заставку до § 34). Завдяки передовим технологіям його розміри значно зменшились, а можливість перебування на глибині зростає. Рекордні дослідження тривають!



Підбиваємо підсумки

Закон Архімеда:

На тіло, занурене в рідину або газ, діє виштовхувальна сила, яка дорівнює вазі рідини або газу в об'ємі зануреної частини тіла.

Архімедова сила $F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V_{\text{зан}}$



Контрольні запитання

1. Куди напрямлена сила, яка діє з боку рідини або газу на тіло, що в них занурене? **2.** Що є причиною виникнення виштовхувальної (архімедової) сили? **3.** Сформулюйте закон Архімеда. **4.** Чи втрачає вагу тіло, занурене в рідину або газ? Чому? **5.** У яких випадках на тіло, занурене в рідину, не діє виштовхувальна сила? Чому?



Вправа № 34

- 1.** Порівняйте виштовхувальні сили, що діють на суцільні кульки у випадках: а) однакові залізні кульки в посудині з водою (рис. 1); б) однакові залізні кульки в посудинах із різними рідинами (рис. 2); в) різні за розміром залізні кульки в посудині з водою (рис. 3); г) однакові за розміром кульки з різних матеріалів у посудині з водою (рис. 4).

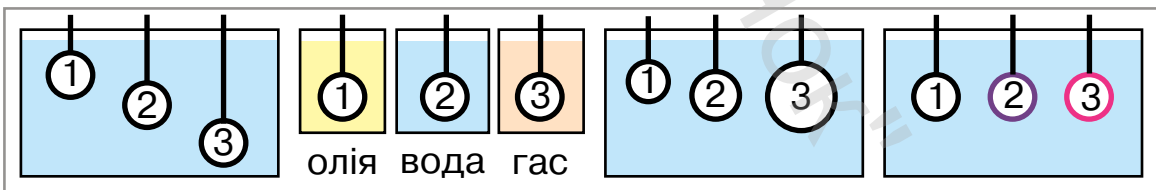


Рис. 1

Рис. 2

Рис. 3

Рис. 4

- ◆ 2. Щоб відірвати підводний човен від глинистого дна, водолази прокопують під ним тунелі. Для чого вони це роблять?
- ◆ 3. Сталева куля об'ємом 400 см^3 занурена в гас. Визначте архімедову силу, що діє на кулю.
- ◆ 4. На кулю, повністю занурену в ртуть, діє архімедова сила 136 Н . Визначте об'єм кулі.
- ◆ 5. Алюмінієвий брусок масою $2,7 \text{ кг}$ частково занурений у воду. На брусок діє архімедова сила $2,5 \text{ Н}$. Яка частина бруска занурена у воду?
- ◆ 6. Яким буде показ динамометра, якщо підвішений до нього тягар масою $1,6 \text{ кг}$ і об'ємом 1000 см^3 занурити у воду?
- ◆ 7. Якщо підвішений до динамометра брусок занурюють у воду, динамометр показує 34 Н , а якщо цей брусок занурюють у гас, динамометр показує 38 Н . Визначте масу та густину бруска.
- ◆ 8. Чи діють на штучному супутнику Землі закон Паскаля і закон Архімеда?
- ◆ 9. На сталевому тросі, жорсткість якого становить 3 МН/м , рівномірно підіймають із дна водойми статую об'ємом $0,5 \text{ м}^3$. Поки статуя була під водою, видовження троса дорівнювало 3 мм . Визначте масу статуї. Опором води знехтуйте.

- ◆ **10.** Одна з легенд, які існували ще за життя Архімеда, розповідає про подію, що передувала відкриттю закону, який із часом було названо законом Архімеда. Скориставшись додатковими джерелами інформації, з'ясуйте, що це за легенда.

Як би, на вашу думку, відповів Архімед на таке запитання: чи можна вважати, що виріб виготовлено із чистого золота, якщо його вага в повітрі дорівнює 20 Н, а у воді — 18,7 Н?



Ключові терміни

Архімедова (виштовхувальна) сила • Закон Архімеда

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 9

Тема. Гідростатичне зважування тіла.

Мета: опанувати один із методів визначення маси тіла, а саме метод гідростатичного зважування.

Обладнання: лінійка; пружина або гумовий шнур; штатив із муфтою та лапкою; вимірювальний циліндр із водою; два тіла, кожне з яких тоне у воді (наприклад, шматок пластиліну та брелок).



rnk.com.ua/
106680

Теоретичні відомості

Якщо досліджуване тіло тоне у воді, то для визначення його маси *методом гідростатичного зважування* виконують такі дії.

Крок 1. Вимірюють початкову довжину l_0 пружини. Потім тіло підвішують на пружині в повітрі та вимірюють видовження x_1 пружини: $x_1 = l_1 - l_0$ (див. [рис. 1](#)). На тіло діють дві сили — сила тяжіння й сила пружності, адже дією архімедової сили в повітрі можна знехтувати. Тіло перебуває в стані спокою, тому сили, що діють на нього, є зрівноваженими: $F_{\text{пруж}} = F_{\text{тяж}}$.

Тут $F_{\text{пруж}} = kx_1$ (де k — жорсткість пружини), а $F_{\text{тяж}} = mg$. Отже, дістанемо:

$$kx_1 = mg. \quad (1)$$

Крок 2. Вимірюють об'єм V_0 води у вимірювальному циліндрі. Потім, зануривши тіло у вимірювальний циліндр з водою, вимірюють: 1) об'єм V_T тіла; 2) видовження x_2 пружини: $x_2 = l_2 - l_0$ (див. [рис. 2](#)). Тепер на тіло діють три сили: сила тяжіння, сила пружності й архімедова сила. Сили зрівноважені:

$$F_{\text{пруж}} + F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}}$$

$$F_{\text{пруж}} = kx_2, \text{ а } F_{\text{арх}} = \rho_{\text{води}} gV_T,$$

тому

$$\begin{aligned} kx_2 + \rho_{\text{води}} gV_T &= mg \Rightarrow \\ \Rightarrow kx_2 &= mg - \rho_{\text{води}} gV_T. \end{aligned} \quad (2)$$

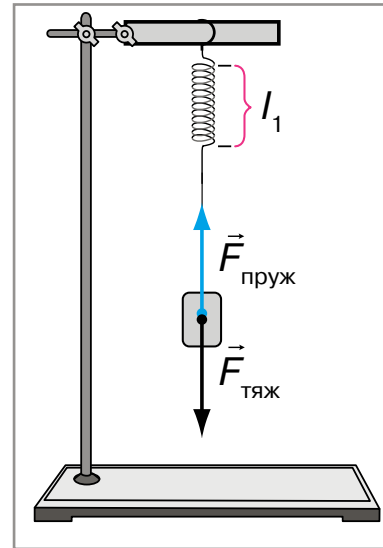


Рис. 1

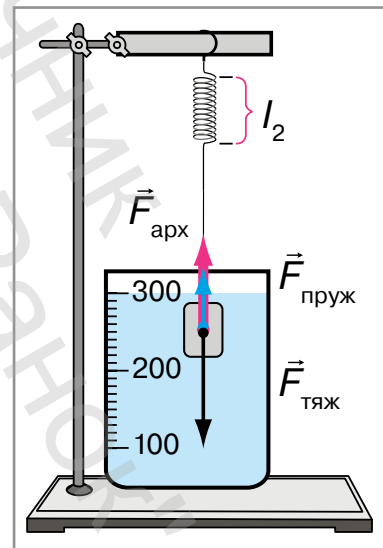


Рис. 2

Поділивши рівняння (2) на рівняння (1) і виконавши перетворення, одержимо формулу для визначення маси тіла:

$$m = \frac{\rho_{\text{води}} V_{\text{T}} x_1}{x_1 - x_2} \quad (3)$$

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Уважно прочитайте теоретичні відомості.
2. Зберіть пристрій, як показано на [рис. 1](#). Якщо ви застосовуєте гумовий шнур, то, перш ніж його закріпити, зав'яжіть на його кінцях петлі на відстані близько 8 см (див. с. 73).
3. Визначте ціну поділки шкал вимірювальних приладів.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до [таблиці](#).

1. Визначте об'єм V_0 води у вимірювальному циліндрі.
2. Виміряйте початкову довжину l_0 пружини. Підвісьте до пружини одне з тіл. Виміряйте довжину l_1 пружини.
3. Повністю занурте досліджуване тіло у воду. Виміряйте довжину l_2 пружини й об'єм V води і тіла в циліндрі.
4. Повторіть дослід для іншого тіла.

Опрацювання результатів експерименту

1. Для кожного тіла визначте:

- 1) об'єм V_T тіла: $V_T = V - V_0$;
- 2) видовження x_1 та x_2 пружини: $x_1 = l_1 - l_0$; $x_2 = l_2 - l_0$;
- 3) масу m тіла за формулою (3).

2. Результати обчислень занесіть до таблиці.

Тіло	Об'єм, см ³			Довжина пружини, см			Видовження пружини, см		Маса тіла m , г
	V_0	V	V_T	l_0	l_1	l_2	x_1	x_2	

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент і його результати, зробіть висновок, у якому зазначте: 1) яку фізичну величину і яким способом ви вимірювали; 2) які ще методи вимірювання цієї фізичної величини ви знаєте; 3) у чому перевага опанованого методу.



Творче завдання

Обміркуйте й запишіть план проведення експерименту з визначення маси тіла, яке не тоне у воді. Проведіть експеримент.



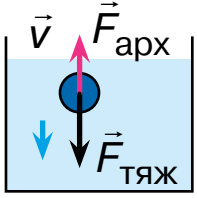
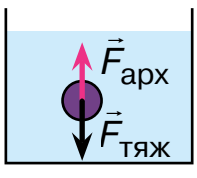
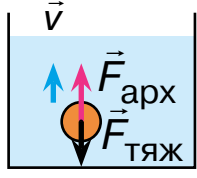
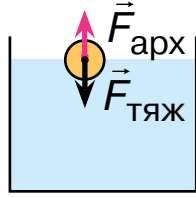

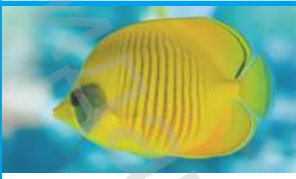


§ 35. УМОВИ ПЛАВАННЯ ТІЛ

Щоб оцінити, чи достатньо солі в розчині для засолювання м'яса або риби, господарка використовує сире яйце: якщо солі замало, то яйце тоне, а якщо забагато — спливає. Як це пов'язано з конструюванням кораблів, підводних човнів, аеростатів? Дізнаймося!

1. Чому м'яч плаває, а камінь тоне?

Проведемо дослід. Візьмемо кілька кульок із різних матеріалів і будемо по черзі занурювати їх у посудину з водою, а потім відпускати. Далі залежно від густини тіла* можливі різні варіанти.

* Зауважимо, що під густиною тіла ми розуміємо його середню густина. Під час плавання середня густина деяких тіл може змінюватися. Як це роблять мешканці водойм — див. с. 198.

Занурення	Плавання всередині рідини	Спливання	Плавання на поверхні рідини
 $F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}$	 $F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}$	 $F_{\text{тяж}} < F_{\text{арх}}$	 $F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}}$
$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$	$\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$	$\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$	
			
Камінь тоне у воді	Риба плаває у воді на певній глибині	Підводний човен підіймається з глибини	Лебідь плаває на поверхні води

1. Занурення. Тіло починає тонути і врешті опускається на дно посудини. Чому це відбувається?

На тіло діють дві сили (рис. 35.1):

1) сила тяжіння

$F_{\text{тяж}} = m_{\text{т}}g = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}g$ (оскільки $m_{\text{т}} = \rho_{\text{т}}V_{\text{т}}$), яка напрямлена вниз;

2) виштовхувальна сила

$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}}gV_{\text{т}}$, яка напрямлена вгору.

Тіло занурюється, отже,

$F_{\text{тяж}} > F_{\text{арх}}$. Звідси $\rho_{\text{т}}V_{\text{т}}g > \rho_{\text{рід}}gV_{\text{т}}$.

Після скорочення маємо:

$$\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$$

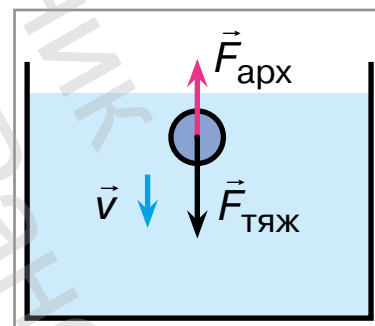


Рис. 35.1. Тіло тоне в рідині, адже сила тяжіння більша за виштовхувальну

Тіло тоне в рідині, якщо густина тіла є більшою за густину рідини.

2. Плавання всередині рідини. Тіло не тоне й не спливає, якщо:

$$\rho_T = \rho_{\text{рід}}$$

Тіло плаває в товщі рідини, якщо густина тіла дорівнює густині рідини.

Доведіть це самостійно.

3. Спливання. Тіло спливає і врешті зупиняється на поверхні (рис. 35.2). Поки тіло спливає, $F_{\text{тяж}} < F_{\text{арх}} \Rightarrow \rho_T V_T g < \rho_{\text{рід}} g V_T$, або:

$$\rho_T < \rho_{\text{рід}}$$

У момент, коли тіло досягне поверхні рідини й почне підніматися над нею, об'єм зануреної частини почне зменшуватися, відповідно зменшуватиметься й архімедова сила. Цей процес відбуватиметься доти, доки архімедова сила не зрівняється із силою тяжіння.

Тіло спливає в рідині або плаває на поверхні рідини, якщо густина тіла є меншою, ніж густина рідини.

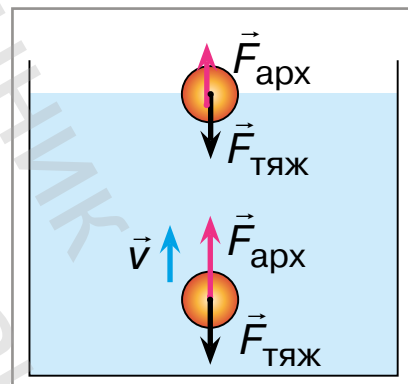


Рис. 35.2.

Тіло спливає, доки виштовхувальна сила більша за силу тяжіння

Зверніть увагу: отримані результати справджуються й для газів.

Дослідження

Що знадобиться: пластикова пляшка з водою (1,5 л); дві невеликі кульки з пластиліну; пластикова соломинка; склянка з водою; ножиці.

Відріжте від соломинки невеликий шматок (5–6 см). Розплющте отриману соломинку, дайте їй розпрямитися, а потім заліпіть її кінці пластиліновими кульками різного розміру. Опустіть соломинку в склянку з водою і, змінюючи кількість пластиліну на її кінцях, доможіться того, щоб вона плавала всередині рідини. Помістіть соломинку в пляшку з водою, щільно закрутіть кришечку. Фізична іграшка «Картезіанський вододлаз» готова. Стисканням пляшки доможіться занурення та спливання соломинки. Поясніть принцип дії іграшки.



2. Для чого і як мешканці водою змінюють власну густину?

Тіла мешканців морів і річок містять у своєму складі багато води, тому їхня середня густина близька до густини води. Щоб вільно рухатися в рідині, вони мають «керувати» середньою густиною свого тіла. Для цього водні мешканці використовують різні «прийоми».

У риб із плавальним міхуром таке керування відбувається завдяки зміні об'єму міхура (рис. 35.3).

Молюск наutilus, який живе в тропічних морях, може швидко спливати й знову опускатися на дно завдяки тому, що здатний змінювати об'єм внутрішніх порожнин у своєму організмі (молюск живе в закрученій спіраллю мушлі).

Поширений у Європі водяний павук (рис. 35.4) несе із собою в глибину повітряну оболонку на черевці — саме вона й допомагає павуку повернутися на поверхню.

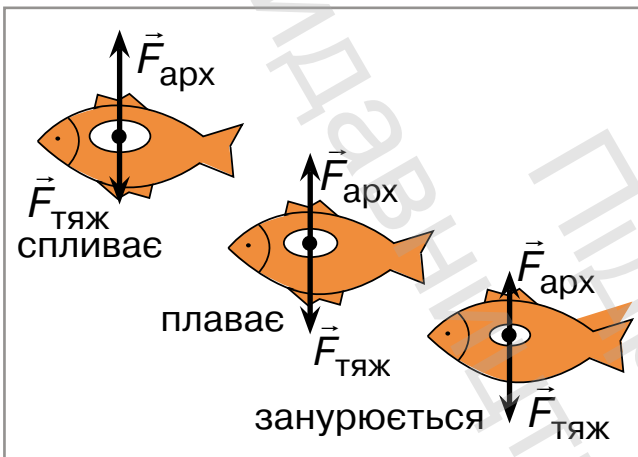


Рис. 35.3. Змінюючи об'єм плавального міхура, риба може спливати, плавати всередині рідини або занурюватися



Рис. 35.4. Повітряна оболонка дозволяє водяному павукові підійматися з глибини

А як насправді?

Середня густина тіла людини трохи перевищує густину води. Тож для того, щоб залишатися на поверхні водойми, людині треба триматися за щось, що має невелику густину. Проте для плавання, наприклад, в Мертвому морі не потрібні допоміжні засоби, і на його поверхні людина почувається так, наче вона спокійнісінько лежить у ліжку. Як це пояснити?

3. Учимось розв'язувати задачі

■ **Задача.** Чи плаватиме у воді мідна куля масою 445 г, усередині якої є порожнина об'ємом 450 см³? ■

Аналіз фізичної проблеми. Щоб визначити, чи плаватиме куля, потрібно середню густину кулі порівняти з густиною води.

Для обчислення середньої густини кулі знайдемо її масу та об'єм. Маса повітря в кулі є незначною, тому $m_{\text{кулі}} = m_{\text{міді}}$. Об'єм кулі — це об'єм мідної оболонки $V_{\text{міді}}$ та об'єм порожнини $V_{\text{порожн}}$. Об'єм оболонки визначимо за масою та густиною міді.

Густини міді та води дізнаємось із таблиць густин. Задачу доцільно розв'язувати в поданих одиницях.

Дано:

$$m_{\text{кулі}} = m_{\text{міді}} = 445 \text{ г}$$

$$V_{\text{порожн}} = 450 \text{ см}^3$$

$$\rho_{\text{міді}} = 8,9 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

$$\rho_{\text{води}} = 1 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$$

Знайти:

$$\rho_{\text{кулі}} - ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання.

За означенням густини:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{кулі}}}{V_{\text{кулі}}}$$

$$V_{\text{кулі}} = V_{\text{міді}} + V_{\text{порожн}}$$

де $V_{\text{міді}} = \frac{m_{\text{міді}}}{\rho_{\text{міді}}}$ — об'єм мідної оболонки.

$$\text{Отже, } V_{\text{кулі}} = \frac{m_{\text{міді}}}{\rho_{\text{міді}}} + V_{\text{порожн}}$$

Розв'яжемо задачу по діях.

1. Визначимо об'єм кулі:

$$V_{\text{кулі}} = \frac{445 \text{ г}}{8,9 \text{ г/см}^3} + 450 \text{ см}^3 = 50 \text{ см}^3 + 450 \text{ см}^3 = 500 \text{ см}^3.$$

2. Знаючи об'єм і масу кулі, визначимо її середню густину:

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{445 \text{ г}}{500 \text{ см}^3} = 0,89 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}.$$

Відповідь: середня густина кулі менша від густини води, тож куля плаватиме на поверхні води.

Чи знаєте ви, що...

Серед сучасних кораблів найбільшими у світі вважаються круїзні лайнери (див. заставку до § 35). А найбільшим серед лайнерів є «Icon of the Seas» («Ікона морів»), що має рекордну довжину — 365 м. Цей лайнер здатен перевозити 7600 пасажирів, а його екіпаж становить 2350 осіб.

Порівняймо: в Україні статус міста має населений пункт, із не менш ніж 10000 мешканців. Тож якби «Icon of the Seas» був здатний узяти на борт на 50 пасажирів більше, то він міг би претендувати на статус українського міста.



Підбиваємо підсумки

Умови плавання тіл

Тіло тоне в рідині, якщо густина тіла є більшою за густину рідини.

Тіло плаває в товщі рідини, якщо густина тіла дорівнює густині рідини.

Тіло спливає в рідині або плаває на її поверхні, якщо густина тіла є меншою від густини рідини.



Контрольні запитання

1. За якої умови тіло тонути в рідині? Наведіть приклади. **2.** Яка умова має виконуватися, щоб тіло плавало в товщі рідини? Наведіть приклади. **3.** Сформулюйте умову спливання тіла в рідині. Наведіть приклади. **4.** Для чого і як мешканці морів і річок змінюють власну густину?



Вправа № 35

- ◆ **1.** Чи плаватиме суцільний свинцевий брусок у воді? в олії?
- ◆ **2.** Розташуйте кульки, зображені на [рис. 1](#), за збільшенням густини.
- ◆ **3.** Чи плаватиме у воді брусок, який має масу 120 г і об'єм 150 см^3 ?
- ◆ **4.** За [рис. 2](#) поясніть, як підводний човен здійснює занурення та підняття на поверхню.
- ◆ **5.** Визначте об'єм зануреної у воду частини машини-амфібії, якщо на неї діє архімедова сила 140 кН. Якою є маса машини-амфібії?

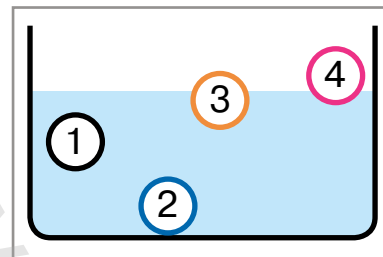


Рис. 1

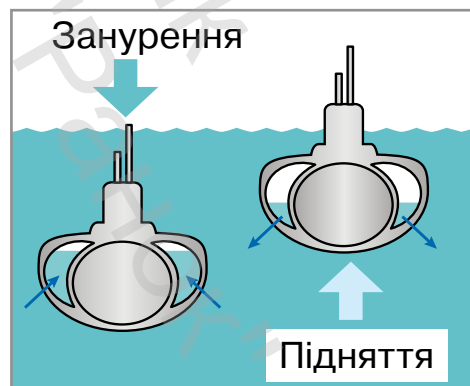


Рис. 2

- ◆ **6.** Тіло плаває в гасі, повністю занурившись. Якою є маса тіла, якщо його об'єм становить 250 см^3 ?
- ◆ **7.** У посудину налили три рідини, які не змішуються, — ртуть, воду й гас (рис. 3). Потім опустили три кульки: сталеву, пінопластову та дубову. Як розташувалися шари рідин у посудині? Де яка кулька?

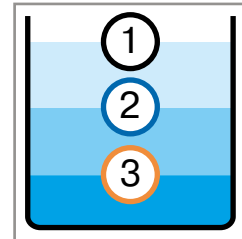


Рис. 3

- ◆ **8.** Установіть відповідність між густиною тіла, яке плаває у воді, і частиною цього тіла, що перебуває над поверхнею води.

А $\rho_T = 400 \text{ кг/м}^3$	1 0
Б $\rho_T = 600 \text{ кг/м}^3$	2 0,1
В $\rho_T = 900 \text{ кг/м}^3$	3 0,4
Г $\rho_T = 1000 \text{ кг/м}^3$	4 0,6
	5 0,9

- ◆ **9.** Заповніть таблицю. Вважайте, що в кожному випадку тіло повністю занурене в рідину.

Маса тіла, кг	Об'єм тіла, м^3	Густина тіла, г/см^3	Густина рідини, кг/м^3	Архімедова сила, Н	Формули для розрахунку
20	0,008		1000		
		4	900	180	
0,1		0,4		2	

- ◆ **10.** Дізнайтеся про будову та принцип дії *ареометра* — приладу для вимірювання густини рідин. Напишіть інструкцію, як ним користуватися.

От

Ключові терміни

Умови плавання тіл; густина рідини; середня густина тіла

ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 10



rnk.com.ua/
106681

Тема. Перевірка умов плавання тіла.

Мета: дослідним шляхом перевірити, за якої умови: тіло плаває на поверхні рідини; тіло плаває всередині рідини; тіло тоне в рідині.

Обладнання: пробірка (або невелика склянка з-під ліків) з корком; нитка (або дротинка) завдовжки 20–25 см; посудина із сухим піском; вимірювальний циліндр, до половини наповнений водою; терези; паперові серветки.

Вказівки до роботи

Підготовка до експерименту

1. Перш ніж виконувати роботу, переконайтеся, що ви знаєте відповіді на такі запитання.
 - 1) Які сили діють на тіло, занурене в рідину?
 - 2) За якою формулою визначають: силу тяжіння; архімедову силу; середню густину тіла?
 - 3) Якими є умови плавання тіл?
2. Визначте ціну поділки шкали вимірювального циліндра.
3. Закріпіть пробірку на нитці так, щоб, тримаючи за нитку, можна було занурити пробірку у воду, а потім витягти її.
4. Підготуйте терези до роботи.

Експеримент

Дотримуйтесь інструкції з безпеки.

Результати вимірювань відразу заносьте до таблиці.

Дослід 1. Перевірка умови, за якої тіло тоне в рідині

1. Виміряйте об'єм води V_0 у вимірювальному циліндрі.
2. Наповніть пробірку піском до країв. Закрийте корок.
3. Опустіть пробірку у вимірювальний циліндр. У результаті ваших дій пробірка має опинитися на дні (рис. 1).
4. Виміряйте об'єм V води і пробірки; визначте об'єм $V_{\text{п}}$ пробірки: $V_{\text{п}} = V - V_0$.
5. Витягніть пробірку, протріть її серветкою.
6. Покладіть пробірку на терези та виміряйте її масу з точністю до 0,5 г.

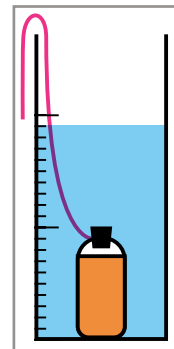


Рис. 1

Дослід 2. Перевірка умови, за якої тіло плаває всередині рідини

1. Відсипаючи пісок із пробірки, доможіться того, щоб пробірка вільно плавала всередині рідини (рис. 2).
2. Повторіть дії, описані в п. 5–6 досліді 1.

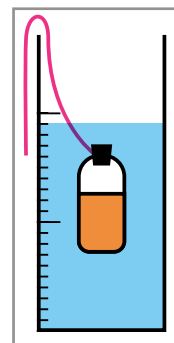


Рис. 2

Дослід 3. Перевірка умови, за якої тіло плаває на поверхні рідини

1. Відсипте з пробірки ще деяку кількість піску. Переконайтеся, що після повного занурення пробірки з піском у рідину пробірка спливає на поверхню рідини (рис. 3).

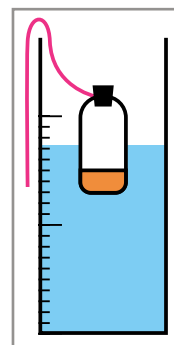


Рис. 3

2. Повторіть дії, описані в п. 5–6 досліду 1.

Номер досліду		1	2	3
Об'єм	рідини V_0 , см^3			
	рідини й пробірки V , см^3			
	пробірки $V_{\text{п}} = V - V_0$, см^3			
Маса пробірки з піском m , г				
Густина	середня пробірки з піском $\rho_{\text{п}}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$			
	рідини $\rho_{\text{р}}, \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$			
	порівняння $\rho_{\text{п}}$ і $\rho_{\text{р}}$ ($=, <, >$)			
Яке явище спостерігається (тіло тоне; спливає; плаває всередині рідини)				

Опрацювання результатів експерименту

- Для кожного досліду:
 - виконайте схематичне креслення, на якому зазначте сили, що діють на пробірку;
 - визначте середню густину $\rho_{\text{п}}$ пробірки з піском.
- Занесіть до таблиці результати обчислень, закінчіть її заповнення.

Аналіз експерименту та його результатів

Проаналізувавши експеримент, зробіть висновок, у якому зазначте результати перевірки умов плавання тіл.



Творче завдання

Запропонуйте два способи визначення середньої густини яйця. Запишіть план проведення кожного досліду.



§ 36. СУДНОПЛАВСТВО ТА ПОВІТРОПЛАВАННЯ

Сталевий брусок у воді тоне, проте судна, що зроблені зі сталі, плавають. Шматок нейлонової тканини, якщо його відпустити, почне падати, а повітряні кулі, виготовлені із цієї тканини, не лише здіймаються вгору, а й піднімають вантаж. Чому так? З'ясуємо.

1. Чому судна плавають?

На перший погляд, сталь не є придатною для виготовлення плавучого засобу: густина сталі набагато більша за густину води, тому сталева пластинка у воді тоне. Але якщо з пластинки зробити човник і покласти його на поверхню води, він плаватиме (рис. 36.1). Чому?

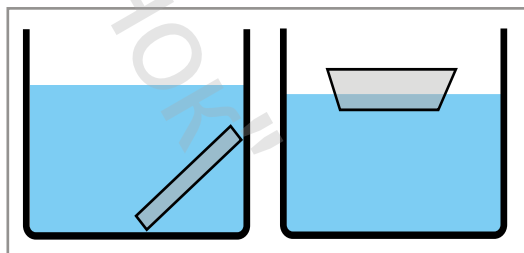


Рис. 36.1. Сталева пластинка тоне, а виготовлений із неї човник плаває

Річ у тім, що всередині човника є повітря. Якщо розрахувати середню густину човника, то отримаємо значення, яке набагато менше від густини води:

$$\begin{aligned} \text{Середня густина тіла} &= \\ &= \frac{\text{маса оболонки} + \text{маса речовини всередині}}{\text{загальний об'єм}} \end{aligned}$$

Конструкція будь-якого судна передбачає наявність усередині нього повітря, тому *судна плавають на поверхні води, занурюючись на відносно невелику частину свого об'єму.*

2. У чому різниця між водотоннажністю та вантажністю судна?

Коли нове судно спускають на воду, воно починає занурюватися. Нижня частина судна починає витіснити воду, унаслідок чого виникає архімедова сила. Коли архімедова сила зрівноважує силу тяжіння, судно перестає занурюватися:

$$F_{\text{арх}} = F_{\text{тяж}} = (m_{\text{судна}} + m_{\text{вант}})g.$$

Глибину, на яку занурюється судно, називають *осадкою*. *Осадка судна змінюється залежно від навантаження судна та від того, у річковій чи морській воді воно перебуває.* Зрозуміло, що судно не можна перевантажувати.

Лінію на корпусі судна, що позначає його максимально допустиму осадку, за якої судно може безпечно

плавати, називають *ватерлінією* (рис. 36.2). Коли судно повністю навантажене, то воно занурене у воду нарівні з ватерлінією.

Поміркуйте, чому небезпечним є плавання судна, зануреного як нижче від ватерлінії, так і вище за ватерлінію.

Вагу води, яку витісняє судно, занурене до ватерлінії, тобто значення архімедової сили, що діє на повністю навантажене судно, називають **повною водотоннажністю судна**.

Найбільші судна (танкери для нафти) мають повну водотоннажність до 5 млн кН, тобто їхня маса з вантажем сягає 500 000 т.

Якщо з повної водотоннажності виключити вагу самого судна, то отримуємо *максимальну вагу вантажу, який може взяти на борт це судно*, тобто визначимо *вантажність судна*.

Вантажність судна — максимальна вага вантажу, який судно може взяти на борт, — це різниця між повною водотоннажністю судна та його вагою.

Україна — морська держава. Судна багатьох країн світу користуються українськими портами.



Рис. 36.2. Корпус суден фарбують у два кольори зазвичай так, що вище від ватерлінії він чорний або білий, а нижче — відповідно червоний або чорний



Дослідження

Що знадобиться: тазик із водою; пластилін; пісок (сіль) або набір дрібних предметів однакового розміру, густина яких більша за густину води (однакові монети тощо).

Виготовте з пластиліну човник і запустіть його в плавання. Послідовно навантажуючи човник, визначте його вантажність. Запишіть результат у відповідних одиницях (наприклад: вантажність човника дорівнює вазі 3 ложок піску або вазі 5 монет по 1 грн).

3. Як здійснилася мрія людини літати?

Люди вже давно використовують *повітряні кулі (аеростати)*, що здіймаються завдяки заповненню їхньої оболонки гарячим повітрям або легким газом. *Середня густина повітряної кулі менша від густини повітря, що оточує кулю, тому виштовхувальна сила більша за силу тяжіння — куля підіймається.*

Піднімальна сила повітряної кулі — це різниця між архімедовою силою та силою тяжіння, які діють на кулю: $F_{\text{під}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{тяж}}$.

Зараз повітряні кулі використовують для метеорологічних та інших досліджень, змагань, пізнавальних подорожей тощо.

Повітряні кулі, наповнені легким газом (переважно гелієм), називають *шарльєрами*, а кулі, наповнені гарячим повітрям, — *монгольф'єрами*, на честь братів Монгольф'є з Франції, які у XVIII ст. зробили цей винахід.

Високу температуру повітря всередині кулі підтримують газові пальники, установлені в горловині кулі.

Оскільки густина повітря з висотою зменшується, повітряні кулі не можуть піднятися на довільну висоту.

Повітряні кулі підіймаються лише до тієї висоти, де густина повітря, що оточує кулю, дорівнює середній густині кулі з вантажем.

Чи знаєте ви, що...

Усього 100 років тому серйозним конкурентом літаків, які зараз домінують у повітрі, був *дирижабль* — літальний апарат, що має гвинтовий двигун і корпус, наповнений легким газом (вигляд сучасного дирижабля див. на заставці до § 36). Проте низка катастроф у 30-х роках минулого століття привела до програшу дирижабля в конкурентній боротьбі з літаком.

Близько 10 років тому здавалося, що настає відродження дирижабля: Google розпочав проєкт зі створення мережі дирижаблів, які забезпечать інтернетом усе населення Землі. Але перемогу здобули супутники Starlink.

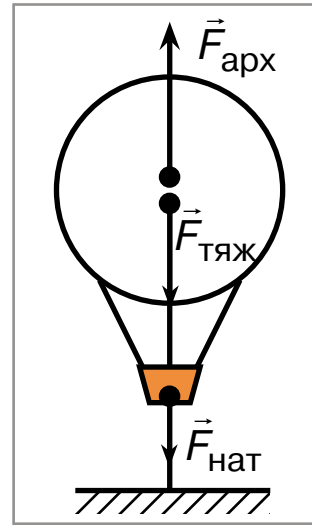
Тож зараз дирижаблі, незважаючи на безліч переваг, не мають широкого застосування. Їх використовують для перевезень вантажів із великими габаритами, для наукових досліджень, у комерційних та військових цілях.

4. Учимось розв'язувати задачі

■ **Задача.** Об'єм повітряної кулі дорівнює 400 м^3 . Куля натягує трос, яким прикріплена до причалу, із силою 800 Н . Після відкріплення троса куля змогла піднятися на певну висоту. Якою є густина повітря на цій висоті, якщо густина повітря навколо причалу становить $1,3 \text{ кг/м}^3$? ■

Аналіз фізичної проблеми. Куля припинила підніматися тому, що на цій висоті її середня густина дорівнює густині повітря. Щоб визначити середню густину кулі, треба знайти її масу. Маса кулі знайдемо за силою тяжіння, що діє на неї.

Виконаємо пояснювальний рисунок, на якому зобразимо сили, що діяли на кулю на причалі: $\vec{F}_{\text{тяж}}$ — сила тяжіння; $\vec{F}_{\text{арх}}$ — архімедова сила, $\vec{F}_{\text{нат}}$ — сила натягу троса. Прикріплена куля не рухалася, тому ці сили були скомпенсовані.



Задачу розв'язуватимемо в одиницях СІ.

Ми розв'яжемо задачу по діях. Ознайомтеся з розв'язанням, а потім спробуйте розв'язати цю задачу в загальному вигляді (отримайте загальну формулу, перевірте одиницю, знайдіть числове значення шуканої величини).

Дано:

$$V_{\text{кулі}} = 400 \text{ м}^3$$

$$F_{\text{нат}} = 800 \text{ Н}$$

$$\rho_{0 \text{ пов}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$$

$$g = 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}$$

Знайти:

$$\rho_{\text{пов}} = ?$$

Пошук математичної моделі, розв'язання.

Сили, які діяли на прикріплену до причалу кулю, скомпенсовані, отже:

$$F_{\text{тяж}} + F_{\text{нат}} = F_{\text{арх}} \Rightarrow F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}.$$

1. Визначимо архімедову силу, що діяла на прикріплену до причалу кулю:

$$F_{\text{арх}} = \rho_{0 \text{ пов}} g V_{\text{кулі}};$$

$$F_{\text{арх}} = 1,3 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3} \cdot 10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}} \cdot 400 \text{ м}^3 = 5200 \text{ Н}$$

2. Визначимо силу тяжіння, що діє на кулю:

$$F_{\text{тяж}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{нат}}; F_{\text{тяж}} = 5200 \text{ Н} - 800 \text{ Н} = 4400 \text{ Н}.$$

3. Визначимо масу та середню густину кулі:

$$F_{\text{тяж}} = mg \Rightarrow m = \frac{F_{\text{тяж}}}{g}; m = \frac{4400 \text{ Н}}{10 \frac{\text{Н}}{\text{кг}}} = 440 \text{ кг}.$$

$$\rho_{\text{кулі}} = \frac{m}{V_{\text{кулі}}}; \rho_{\text{кулі}} = \frac{440 \text{ кг}}{400 \text{ м}^3} = 1,1 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}.$$

4. Густина повітря на висоті найбільшого підняття кулі дорівнює середній густині кулі, тому на цій висоті $\rho_{\text{пов}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$.

Відповідь: $\rho_{\text{пов}} = 1,1 \text{ кг/м}^3$.



Підбиваємо підсумки


Повна водотоннажність — вага води, яку витісняє судно, занурене до ватерлінії.

Вантажність — максимальна вага вантажу, який судно може взяти на борт.


$$\begin{aligned} \text{Середня густина тіла} &= \\ &= \frac{\text{маса оболонки} + \text{маса речовини всередині}}{\text{загальний об'єм}} \end{aligned}$$

$$\text{Піднімальна сила } F_{\text{під}} = F_{\text{арх}} - F_{\text{тяж}}$$

Повітряні кулі піднімаються на висоту, де густина повітря дорівнює середній густині кулі.

 **Контрольні запитання**

1. Чому металеве судно плаває на поверхні води?
2. Що таке осадка судна? 3. Як позначають на корпусі судна максимально допустиму осадку? 4. Дайте означення вантажності судна. 5. Як знайти піднімальну силу повітряної кулі? 6. Чому повітряні кулі не можуть підійматися як завгодно високо?

 **Вправа № 36**

- ◆ 1. У річці судно витісняє воду об'ємом 15000 м^3 . Визначте: а) повну водотоннажність судна; б) вагу вантажу, якщо власна вага судна 50 МН .
- ◆ 2. Вантаж якої найбільшої маси можна перевезти на плоті, якщо маса плоту дорівнює 100 кг , а його об'єм — 1 м^3 ?
- ◆ 3. Гелієва кулька масою 100 г натягує нитку із силою 2 Н . Визначте: а) силу тяжіння, що діє на кульку; б) архімедову силу, що діє на кульку; в) піднімальну силу кульки; г) масу вантажу, який кулька може підняти.
- ◆ 4. Чи зміниться виштовхувальна сила, яка діє на судно, коли судно перейде з річки в море? Чи зміниться осадка судна? Обґрунтуйте свою відповідь.
- ◆ 5. У річці судно витісняє воду об'ємом 20000 м^3 . На скільки зміниться об'єм води, яку витісняє судно, якщо воно перейде з річки до моря?

- ◆ 6. Густина повітря дорівнює $1,29 \text{ кг/м}^3$. Якою має бути густина теплого повітря всередині повітряної кулі, щоб куля почала підійматися? Об'єм кулі 500 м^3 , маса оболонки й вантажу — 150 кг .
- ◆ 7. У якій водоймі вантажність того самого човна буде найбільшою: а) в озері Світязь; б) у Середземному морі; в) у Чорному морі; г) в озері Кунігунда?



Ключові терміни

Водотоннажність; вантажність; ватерлінія; осадка; піднімальна сила; аеростат; середня густина тіла

ПІДБИВАЄМО ПІДСУМКИ РОЗДІЛУ 3

Частина 5 «Виштовхувальна сила. Плавання тіл»

1. Ви дізналися, що на тіло, яке перебуває в рідині або газі, діє *виштовхувальна (архімедова) сила*.

$$F_{\text{арх}} = \rho_{\text{рід}} g V .$$

2. Ви дослідили *умови плавання тіл*. Занурення: $\rho_{\text{т}} > \rho_{\text{рід}}$; плавання всередині рідини: $\rho_{\text{т}} = \rho_{\text{рід}}$; спливання, плавання на поверхні рідини $\rho_{\text{т}} < \rho_{\text{рід}}$.
3. Ви з'ясували, *чому плавають судна*, дізналися про їхні *характеристики*.
4. Ви дізналися, що розуміють під *піднімальною силою повітряної кулі* й до якої висоти може піднятися повітряна куля.

ТЕМИ РЕФЕРАТІВ І ПОВІДОМЛЕНЬ

1. Глибини, підкорені аквалангістами. Заходи безпеки під час підкорення морських глибин.
2. Апарати для вивчення морських і океанських глибин.
3. Класифікація морських суден.
4. Історія польотів на повітряних кулях.
5. Від повітряної кулі до сучасних літаків.
6. Від стародавніх вітрильників до сучасних океанських лайнерів.
7. Видатний конструктор українського походження І. І. Сікорський.

ТЕМИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

1. Плавання тіл: експериментальна перевірка рівності $V_{\text{зан}}/V_{\text{т}} = \rho_{\text{т}}/\rho_{\text{рід}}$ за допомогою підручних засобів.
2. Дослідження і пояснення поведінки пакета для сміття, який наповнили теплим повітрям.

ТЕМИ НАВЧАЛЬНИХ ПРОЄКТІВ

1. Досягнення українських конструкторів у повітроплаванні.
2. Моделювання плавання суден за допомогою підручних засобів.
3. Моделювання повітроплавання за допомогою повітряних кульок, наповнених гелієм.

ТАБЛИЦІ ГУСТИН ДЕЯКИХ РЕЧОВИН (за температури 0 °С і тиску 760 мм рт. ст.)

Таблиця густин деяких речовин у твердому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Алюміній	2700	2,70	Олово	7300	7,30
Бетон	2200	2,20	Оргскло	1200	1,20
Граніт	2700	2,70	Осмій	22 500	22,50
Дуб сухий	800	0,80	Парафін	900	0,90
Залізо	7800	7,80	Платина	21 500	21,50
Золото	19 300	19,30	Поліетилен	940	0,94
Іридій	22 400	22,40	Порцеляна	2300	2,30
Капрон	1140	1,14	Свинець	11 300	11,30
Корок	240	0,24	Скло	2500	2,50
Крейда	2400	2,40	Сосна суха	440	0,44
Латунь	8500	8,50	Срібло	10 500	10,50
Лід	900	0,90	Сталь	7800	7,80
Мармур	2500	2,50	Цинк	7100	7,10
Мідь	8900	8,90	Чавун	7000	7,00

Таблиця густин деяких речовин у рідкому стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Ацетон	790	0,79	Мастило	900	0,90
Бензин	710	0,71	Мед	1420	1,42
Бензол	880	0,88	Олія	900	0,90
Вода морська	1030	1,03	Олово рідке (за $t=409\text{ }^{\circ}\text{C}$)	6830	6,83
Вода чиста	1000	1,00	Нафта	800	0,80
Гас	800	0,80	Ртуть	13600	13,60
Гліцерин	1260	1,26	Спирт	800	0,80
Дизельне паливо	840	0,84	Сульфатна кислота	1800	1,80

Таблиця густин деяких речовин у газоподібному стані

Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³	Речовина	ρ , кг/м ³	ρ , г/см ³
Азот	1,250	0,001 25	Кисень	1,430	0,001 43
Водень	0,090	0,000 09	Повітря	1,290	0,001 29
Вуглекислий газ	1,980	0,001 98	Чадний газ	1,250	0,001 25
Гелій	0,180	0,000 18	Хлор	3,210	0,003 21

ВІДПОВІДІ ДО ВПРАВ І ЗАВДАНЬ ДЛЯ САМОПЕРЕВІРКИ

Розділ 3. ВЗАЄМОДІЯ ТІЛ. СИЛИ В ПРИРОДІ

Частина 2 «Імпульс тіла. Реактивний рух»

- № 19.** 1. а) $1,8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; б) 0. 2. Імпульс струменю є дуже великим. 3. Зменшиться на $27500 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 4. Передається молекулам газів, які утворюють атмосферу. 5. $0,8 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, у напрямку руху кульок; $0,4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$, у напрямку руху другої кульки.
- № 20.** 1. $3 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; 0. 2. Ні. 3. 1) 6; 2) а) $1,4 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$; б) $1 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 4. 25 м/с . 5. $v_2 = 17,5 \text{ м/с}$. 6. 4 м/с . 7. а) 4 м/с ; б) 1 м/с ; 10 м/с .
- № 21.** 4. Так, можна. 5. $2,4 \text{ м/с}$; не вся вода витікає під час старту.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина 2

1. а. 2. б. 3. в. 4. г. 5. г. 6. в. 7. в. 8. г. 9. а. 10. $0,9 \text{ м/с}$. 11. $1,5 \text{ кг} \cdot \text{м/с}$. 12. $4,5 \text{ м/с}$. 13. $4,5 \text{ м/с}$. 14. $1,2 \text{ м/с}$.

Частина 3 «Сили в природі»

- № 22.** 2. $F_2 = 300 \text{ Н}$; $R = 0$. 3. 20 Н або 120 Н . 4. 1 кН . 5. а) 1 Н ; б) 3 Н ; в) 1 Н . 6. Так; якщо автомобіль гальмує. 7. 20 Н ; 80 Н ; 120 Н ; 180 Н . **№ 23.** 4. $3,8 \text{ Н}$. **№ 24.** 1. 10 см . 2. 2 Н . 3. а) 50 Н/м ; б) 20 кН/м ; в) 600 Н/м . 4. 168 Н . 5. а) $k = 650 \text{ Н/м}$; б) $F_{\text{пруж}} = 0,8 \text{ Н}$; в) $x = 1,5 \text{ м}$. 6. $k_1 = 2 \text{ кН/м}$, $x_1 = 12,5 \text{ мм}$; $k_2 = 500 \text{ Н/м}$, $x_2 = 5 \text{ см}$. 7. 45 см ; $22,2 \text{ Н/м}$. **№ 25.** 1. Так; так. 2. На стіл. 3. 6 Н . 4. 50 г . 5. $14,2 \text{ Н}$. 6. 70 Н . **№ 26.** 1. Ні. 2. Зменшиться сила тертя. 4. а) 3 Н ; б) у стані спокою, 2 Н . **№ 27.** 1. 40 Н . 2. $3,5 \text{ Н}$; 350 г . 3. 1) Збільшувалася від 0 до 175 Н ; 2) $0,25$. 4. 3125 кг/м^3 ; 40 Н/м . 5. 5 см . 7. 15 см .

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина 3

1. г. 2. а. 3. в. 4. в. 5. в. 6. г. 7. в. 8. г. 9. \vec{F}_1 — сила тертя, \vec{F}_2 — сила тяги, $F_1 = F_2$. 10. 50 Н , $F_{\text{тяж}}$ напрямлена вниз; $P = 50 \text{ Н}$, напрямлена вниз; $N = 50 \text{ Н}$, напрямлена вгору. 11. А—5, Б—3, В—1, Г—4. 12. 40 Н . 13. Вода. 14. 250 кг . 15. 750 Н/м . 16. $0,25$.

Частина 4 «Тиск твердих тіл, рідин і газів»

№ 28. 1. Зменшиться. 3. 2000 Па; 400 Па; 300 000 Па; 350 Па; 15 000 Па; 360 Па. 4. 3 МПа. 5. На 1 м² ґрунту трактор діє із силою 27 кН; 78,3 кН. 6. 54 кг. **№ 29.** 1. Збільшиться; не можна. 3. Збільшився. 4. На законі Паскаля. 7. 1,6 кг. **№ 30.** 1. 200 Па. 2. 1 МПа. 3. Збільшилася. 4. ≈ 90 см. 5. Тиск однаковий; $F_{\text{тиску}2} > F_{\text{тиску}1}$. 7. Так. 8. 80 кг. 9. 24 кН; $\approx 2,4$ т. **№ 31.** 1. Так. 2. Тиск повітря над поверхнею води в соломинці менший від атмосферного. 3. Ні. 4. ≈ 133 Па; ≈ 700 мм рт. ст. 6. 220 м. **№ 32.** 1. У балоні; приблизно на 2 кПа. 3. ≈ 80 гПа. **№ 33.** 2. 400 кг. 3. 1200 Н.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина 4

1. б. 2. б. 3. б. 4. в. 5. а. 6. 50 МПа. 7. 15 м. 8. ≈ 1020 мм рт. ст. 9. ≈ 92 кПа.

Частина 5 «Виштовхувальна сила. Плавання тіл»

№ 34. 1. а) $F_{\text{арх}1} = F_{\text{арх}2} = F_{\text{арх}3}$; б) $F_{\text{арх}3} < F_{\text{арх}1} < F_{\text{арх}2}$; в) $F_{\text{арх}1} < F_{\text{арх}2} < F_{\text{арх}3}$; г) $F_{\text{арх}1} = F_{\text{арх}2} = F_{\text{арх}3}$. 2. Щоб на човен почала діяти виштовхувальна сила. 3. 3,2 Н. 4. 1 дм³. 5. 1/4 частина бруска. 6. 6 Н. 7. 5,4 кг; 2700 кг/м³. 8. Закон Паскаля — так; Архімеда — ні. 9. 1,4 т. 10. Ні. **№ 35.** 1. Так; ні; ні. 2. $\rho_4 < \rho_3 < \rho_1 < \rho_2$. 3. Так. 5. 14 м³, 14 т. 6. 200 г. 8. А–4, Б–3, В–2, Г–1. 9. 2,5 г/см³, 80 Н, $\rho_T = m_T / V_T$, $F_{\text{арх}} = V_T \rho_p g$; 80 кг, 0,02 м³, $m_T = \rho_T V_T$, $V_T = F_{\text{арх}} / \rho_p g$; $2,5 \cdot 10^{-4}$ м³, 800 кг/м³, $V_T = m_T / \rho_T$, $\rho_p = F_{\text{арх}} / g V_T$. **№ 36.** 1. а) 150 МН; б) 100 МН. 2. 900 кг. 3. а) 1 Н; б) 3 Н; в) 2 Н; г) 200 г. 4. $F_{\text{арх}}$ не зміниться; осадка зменшиться. 5. Зменшиться на ≈ 583 м³. 6. Менш ніж 0,99 кг/м³. 7. г.

Завдання для самоперевірки до розділу 3. Частина 5

1. а. 2. а. 3. в. 4. д. 5. г. 6. б. 8. 200 см³. 9. 4000 кг/м³.

АЛФАВІТНИЙ ПОКАЖЧИК

- А** Атмосфера 145
- Б** Барометр 150
- В** Вага тіла 80
Видовження 63
- Д** Деформація 53
Динамометр 66
- Ж** Жорсткість 64
- З** Закон: Амонтона —
Кулона 91
— Архімеда 184
— Гука 64
— збереження
імпульсу 13
— Паскаля 132
- І** Імпульс 7
- К** Коефіцієнт тертя
ковзання 91
- М** Манометр 159
- Н** Невагомість 81
Ньютон 43
- П** Паскаль 118
Посудини сполучені 155
Прес гідравлічний 168
Прискорення вільного
падіння 79
- Р** Рух реактивний 27
- С** Сила 43
— архімедова
(виштовхувальна) 182
— нормальної реакції
опори 58
— пружності 58
— рівнодійна 48
— тертя ковзання 89
— тертя кочення 94
— тертя спокою 87
— тяжіння 78
- Т** Тиск 118
— атмосферний 146
— гідростатичний 137
- Ш** Шлюз
судноплавний 166

ЗМІСТ

Розділ 3. Взаємодія тіл. Сили в природі (закінчення)

Частина 2. «Імпульс тіла. Реактивний рух»

§ 19. Імпульс тіла. Закон збереження імпульсу	6
§ 20. Учимося розв'язувати задачі	17
§ 21. Реактивний рух	26
Підбиваємо підсумки розділу 3, частина 2	36
Завдання для самоперевірки до розділу 3, частина 2	37

Частина 3. «Сили в природі»

§ 22. Сила — міра взаємодії. Графічне зображення сил. Додавання сил	42
§ 23. Деформація тіла. Сила пружності	53
§ 24. Закон Гука. Динамометр	62
<i>Лабораторна робота № 6</i>	73
§ 25. Сила тяжіння. Вага тіла	76
§ 26. Тертя. Сила тертя	86
§ 27. Учимося розв'язувати задачі	99
<i>Лабораторна робота № 7</i>	104
Підбиваємо підсумки розділу 3, частина 3.	107
Завдання для самоперевірки до розділу 3, частина 3	109

Частина 4. «Тиск твердих тіл, рідин і газів»

§ 28. Тиск твердих тіл на поверхню. Сила тиску	116
<i>Лабораторна робота № 8</i>	124
§ 29. Тиск газів і рідин. Закон Паскаля	128
§ 30. Гідростатичний тиск	136
§ 31. Атмосферний тиск і його вимірювання. Барометри	145
§ 32. Сполучені посудини. Манометри	155
§ 33. Гідравлічні та пневматичні пристрої	166
Підбиваємо підсумки розділу 3, частина 4.	174
Завдання для самоперевірки до розділу 3, частина 4	175

Частина 4. «Виштовхувальна сила. Плавання тіл»

§ 34. Виштовхувальна сила в рідинах і газах.	
Закон Архімеда	180
<i>Лабораторна робота № 9</i>	190
§ 35. Умови плавання тіл	194
<i>Лабораторна робота № 10</i>	203
§ 36. Судноплавство та повітроплавання	207
Підбиваємо підсумки розділу 3, частина 5.	214
Завдання для самоперевірки до розділу 3, частина 5	215
Таблиці густин деяких речовин	218
Відповіді до вправ і завдань для самоперевірки	220
Алфавітний покажчик	222

Рубрика «Фізика і техніка в Україні»:

В. І. Вернадський (106),

С. П. Тимошенко (127),

Інститут механіки ім. С. П. Тимошенка (135).

Відомості про користування підручником

№ з/п	Прізвище та ім'я учня/учениці	Навчальний рік	Стан підручника	
			на початку року	у кінці року
1				
2				
3				
4				
5				

Навчальне видання

БАР'ЯХТАР Віктор Григорович
БОЖИНОВА Фаїна Яківна
ДОВГИЙ Станіслав Олексійович
КІРЮХІН Микола Михайлович
КІРЮХІНА Олена Олександрівна

«ФІЗИКА»

Підручник для осіб з особливими освітніми потребами

(Н 54.1 — Н 54.2)

7 клас

(у 2-х частинах)

За редакцією Довгого Станіслава Олексійовича

(Частина 2)

Рекомендовано Міністерством освіти і науки України

Видано за рахунок державних коштів. Продаж заборонено

Адаптовано за виданням: Фізика : підруч. для 7 кл. закл. загал. серед. освіти / [В. Г. Бар'яхтар, Ф. Я. Божинова, С. О. Довгий, М. М. Кірюхін, О. О. Кірюхіна] ; за ред. С. О. Довгого. — Х. : Вид-во «Ранок», 2024. — 272 с. : іл., фот.

Провідний редактор *І. Л. Морєва*. Редактор *С. В. Русінова*.

Технічний редактор *А. В. Пліско*.

Художнє оформлення *В. І. Труфена, Т. В. Задорожної*.

Комп'ютерна верстка *О. А. Песнін*. Коректор *В. П. Нестерчук*.

Підписано до друку 31.07.2024 р. Формат 84×108/16. Папір офсетний. Гарнітура Прагматика. Друк офсетний. Ум. друк. арк. 23,52. Обл.-вид. арк. 12,92. Наклад 1669 пр. Зам. № 8707-2024.

ТОВ Видавництво «Ранок»,
вул. Космічна, 21а, Харків, 61145; вул. Деревлянська, 13, к. 3316, Київ, 04119.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 7548 від 16.12.2021.
E-mail: office@ranok.com.ua

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

ІМПУЛЬС

$$\text{імпульс, кг} \cdot \text{м/с} \rightarrow \boxed{\vec{p} = m\vec{v}} \leftarrow \text{швидкість руху, м/с}$$

↑
маса, кг

Закон збереження імпульсу

сума імпульсів до взаємодії сума імпульсів після взаємодії

$$\boxed{m_1\vec{v}_{01} + m_2\vec{v}_{02} = m_1\vec{v}_1 + m_2\vec{v}_2}$$

СИЛИ

$$\text{сила тяжіння, Н} \rightarrow \boxed{F_{\text{тяж}} = mg} \leftarrow \text{прискорення вільного падіння, Н/кг}$$

↑
маса, кг

$$\text{сила пружності, Н} \rightarrow \boxed{F_{\text{пруж}} = k|x|} \leftarrow \text{видовження, м}$$

↑
жорсткість, Н/м

$$\text{сила тертя ковзання, Н} \rightarrow \boxed{F_{\text{тертя ковз}} = \mu N} \leftarrow \text{сила реакції опори, Н}$$

↑
коефіцієнт тертя ковзання

$$\text{вага тіла, Н} \rightarrow \boxed{P = mg} \leftarrow \text{прискорення вільного падіння, Н/кг}$$

↑
маса, кг

$$F = pS$$

сила тиску, Н

тиск, Па

площа поверхні, м²

$$F_{\text{арх}} = \rho g V_{\text{зан}}$$

архімедова сила, Н

густина рідини, кг/м³

об'єм зануреної частини, м³

ТИСК

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

Тиск, Па

сила тиску, Н

площа поверхні, м²

$$p = \rho g h$$

гідростатичний тиск, Па

густина рідини, кг/м³

висота стовпа рідини, м

ГІДРАВЛИЧНІ МАШИНИ

Формула преса

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

сила, що діє на великий поршень, Н

Виграш у силі

площа великого поршня, м²

сила, що діє на малий поршень, Н

площа малого поршня, м²

ФІЗИКА

Підручник для 7 класу
Частина 2

7

Підручник вирізняє наявність таких матеріалів:

- ▶ тексти та ілюстрації для мотивації навчальної діяльності
- ▶ алгоритми розв'язання основних типів фізичних задач
- ▶ приклади практичного застосування фізики
- ▶ покрокові описи лабораторних робіт
- ▶ експериментальні завдання і дослідження
- ▶ завдання для розвитку критичного мислення
- ▶ вправи для самоперевірки
- ▶ тематичне узагальнення і систематизація матеріалу
- ▶ теми рефератів, експериментальних досліджень і проєктів
- ▶ відомості про досягнення фізики й техніки в Україні

Електронний інтерактивний додаток дозволить:

- ▶ здійснити онлайн-тестування за кожною темою
- ▶ унаочнити фізичний дослід або процес за допомогою навчальних відео
- ▶ ознайомитися з додатковими відомостями



ISBN 978-617-09-8934-5



9 786170 989345



Електронний
інтерактивний додаток
до підручника
доступний за QR-кодом
або посиланням
rnk.com.ua/108392